《自动生产线安装与调试》企业案例

目录

1. 案例 1 C650 普通车床 PLC 控制系统设计.....3
2. 案例 2 DELTA 机电产品在丝网印刷机的应用.....21
3. 案例 3 Modbus RTU 通讯协议在 S7-200 中的应用.....27
4. 案例 4 PLC 和变频器在纺织厂中的应用. 34
5. 案例 5 PLC 技术在工程中的应用... 37
6. 案例 6 PLC 气动机械手设计.....43
7. 案例 7 PLC 与 MCGS 控制系统的设计.....75
8. 案例 8 PLC 在电厂锅炉设备变频器上的应用.....111
9. 案例 9 PLC 在电镀生产线控制系统中的应用.....117
10. 案例 10 PLC 在数控机床控制系统中的应用.....132
11. 案例 11PLC 及其通讯技术在炼钢电弧炉及精炼炉上应用.....146
12. 案例 12PLC 系统中热插拔功能的应用与说明.....154
13. 案例 13 纯净水灌装机 PLC 系统控制的设计.....163
14. 案例 14 定量给料机控制系统设计.....188
15. 案例 15 汇控 PLC 在反渗透水处理设备上的应用.....222
16. 案例 16 基于 PLC 的中央空调控制系统设计.....228
17. 案例 17 基于 PLC 的工业污水处理控制系统的设计.....292
18. 案列 18 基于 PLC 四层电梯控制系统设计.....327
19. 案列 19 西门子 PLC 在机械手的发展及应用.....358
20. 案例 20PLC 的控制系统在热电厂中的应用.....379
21. 案例 21PLC 在轨道交通直流牵引监控系统中的应用.....382
22. 案例 22PLC 轨道交通直流牵引监控系统应用.....386
23. 案例 23 西门子 S7-200 PLC 均匀化电源中应用.....391
24. 案列 24 西门子 S7-300 PLC 箍筋生产设备.....400
25. 案例 25 亿维 PLC 暖通空调系统的应用.....404
26. 案例 26PLC 在高压水除鳞系统中的应用.....408
27. 案例 27PLC 在海化纯碱厂软化水工程中的应用.....412
28. 案例 28 西门子 PLC 在全自动混料系统中的应用及升级.....415
29. 案例 29 西门子 PLC 在水处理控制系统中的应用.....418
30. 案例 30 西门子 PLC 在中药生产中的应用.....420
31. 案例 31 西门子 PLC 在 315T 液压机上的应用.....426
32. 案例 32 西门子在除尘设备改造中的应用.....445
33. 案例 33 西门子 S7-200PLC 在配料生产线上的应用.....449
34. 案例 34 西门子 S7-200PLC 在枕式包装机的应用.....453
35. 案例 35 用 S7-300 与 S7-200 通过 EM277 DP 通讯实例.....459
36. 案例 36 十字路口交通灯 PLC 控制系统设计.....463

案例 1

C650 普通车床 PLC 控制系统设计

摘　要

本次设计介绍了 C650 卧式车床电气控制系统的工作原理及其运动形式，编写了 PLC 控制梯形图程序和指令表程序。利用 PLC 控制系统，实现了车床启动、正转反转、反接制动、刀架快速移动、冷却泵在作等一些列功能，改由 PLC 控制后，其控制系统大大的简单化,并且维修方便,易于检查，节省大量的继电器元件,机床的各项性能有了很大的改善，工作效率有了明显提高。

第一章　绪论

本设计采用可编程控制器代替继电器对机床进行控制，因为可编程控制器组成的控制系统在设计、安装、调试和维修等方面，不仅减少了工作量，而且减少了开支，缩减了成本，效益更高。通过使用 PLC 改造该机床电气系统后，去掉了原机床的中间继电器，时间继电器等等，使线路简化,维修方便。

同时要达到的要求有：

（1）车床正反向工作及反接制动；

（2）主电动机点动；

（3）刀架快速移动及冷却泵工作；

（4）对主电动机进行电流监控；

设计 PLC 控制系统首先要对控制要求进行分析，选择最佳的系统方案，然后对系统硬件设计进行选择，比如：交流接触器；中间继电器；保护电器等。最关键的是选择合适的 PLC，对 I/O 地址分配，再进行梯形图设计。

1.1 C650 型卧式车床简介

C650 卧式车床属于中型车床，可加工的最大工件回转直径为 1020mm，最大工件长度为 30000mm，它主要由床身、主轴变速箱、尾座、进给箱、丝杆、光杆、刀架和溜板箱等组成，如图 1-1。

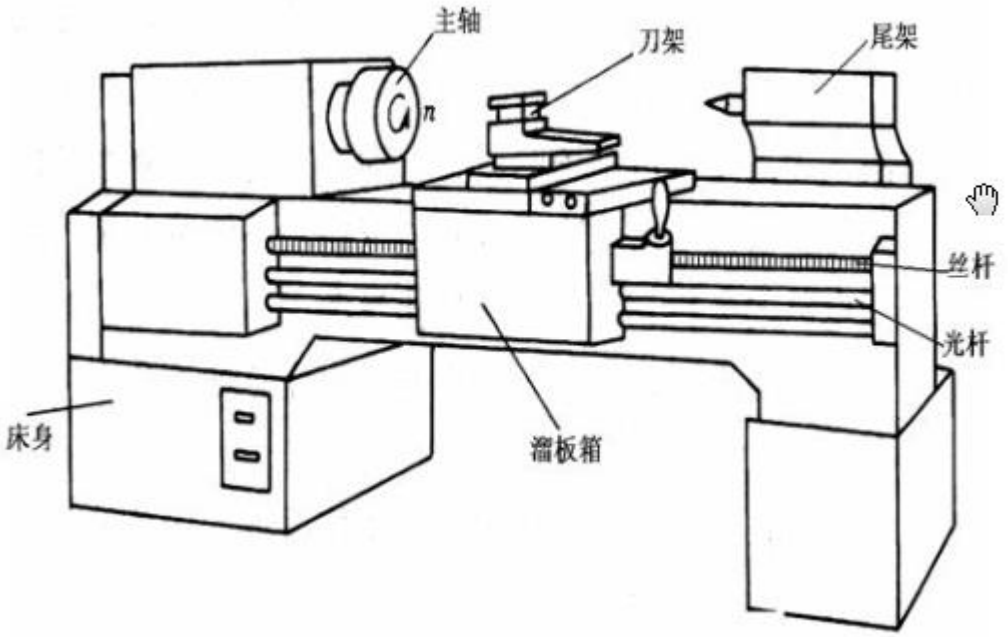


图 1-1 C650 卧式车床结构图

C650 车床由主轴运动和刀具进给运动完成切削加工，车床的主轴、冷却泵、刀架快速移动均由三相异步电动机拖动。车床有三种运动形式：车削加工的主运动是主轴通过卡盘或者鸡心夹头带动工件的旋转运动，它承受车削加工时的主要切削功率；进给运动是溜板带动刀架的纵向或横向运动；辅助运动为溜板箱的快速移动，尾座的移动和工件的夹紧与放松。主轴的旋转运动由主电动机，经传动机构实现。机床车削加工时，要求车床主轴能在较大范围内变速。通常根据被加工零件的材料性能、零件尺寸精度要求、车刀材料、冷却条件及加工方式等来选择切削速度，采用机械变速方法。车床纵、横两个方向的进给运动由主轴变速箱的输出轴，经挂轮箱、进给箱、光杆传入溜板箱而获得，其运动方式有手动与机

动两种。其工作过程过程如下：

(1) 正常车削加工时一般不要求反转，但在加工螺纹时，为保证螺纹的加工质量，为避免乱扣，加工完毕后要求反转退刀，且工件旋转速度与刀具的移动速度

之间保持严格的比例关系。因此，C650 卧式车床溜板箱与主轴变速箱之间通过齿轮传动来连接，由同一台电动机拖动。

(2) C650 卧式车床通过主电动机的正、反转来实现主轴的正、反转，当主轴反转时，刀架也跟着后退。

(3) 电流表 A 经电流互感器 TA 接在主电动机 M1 的动力回路上，用来监测电动机的负载情况。

(4) 车削加工近似于恒功率负载，主电动机 M1 通常选用普通笼型异步电动机（功率为 30KW），完成主轴运动和刀具进给运动的驱动。M1 电动机采用直接启动的方式，可正反两个方向旋转，为加工方便，还具有点动功能。由于加工的工件比较大，加工时其转动惯量也比较大，需停车时不易立即停止转动，必须有停车制动动能，C650 车床的正反停车采用速度继电器控制电源的反接制动，以提高生产效率。

(5) 车削加工中，为防止刀具和工件的温度过高，延长刀具使用寿命，提高加工质量，车床附有一台单方向旋转的冷却泵电动机 M2，功率为 0.18KW。

(6) C650 卧式车床的床身较长，为了提高生产效率、减轻工人的劳动强度，专门设置了一台功率为 2.2KW 的电动机来拖动溜板箱快速移动。电动机可根据使用需要，随时手动控制起停。

(7) C650 在进行车削加工时，因被加工的工件材料、形状、大小、性质及工艺要求不同，且使用的刀具也不同，所以要求切削速度也不同，这就要求主轴有较大的调速范围。车床大多采用机械方法调速，变换主轴箱外的手柄位置，可改变主轴的转速。

1.2 PLC 在电气控制系统中的应用

PLC 是先进的工业化国家通用的标准工业控制设备，在现代工业自动化控制中是最值得重视的先进控制技术，现在已经成为现代工业控制三大技术支柱(PLC,CAD/CAM,ROBOT) 之一，可编程逻辑控制器是专为在工业环境下应用而设计的一种数字运算操作电子系统。它采用了可编程序的存储器，用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令，并通过数字量、模拟量的输入和输出，控制各种类型的机械或生产过程。PLC 是微机技术与传统的继电接触控制技术相结合的产物，它克服了继电接触控制系统中

的机械触点的接线复杂、可靠性低、功耗高、通用性和灵活性差的缺点，充分利用了微处理器的优点。用PLC 控制改造其继电器控制电路，可靠性高、逻辑功能强、体积小，降低了设备故障率，提高了设备使用效率，运行效果良好。随着我国电力体制改革的深化，电力市场竞争将更加激烈，降低资源损耗和提高管理效益成为各发电企业的迫切需求。为此，对火电厂辅助车间自动控制水平提出了更高的要求。经过科技人员的不断引进、开发、研究，我国大型火电站的辅助系统（输煤、化水、除灰、除渣、燃油泵房、循环水泵房等）已由继电器控制过渡到完全由PLC 监控。 PLC 是一种专为工业生产自动化控制设计的，一般而言，无须任何保护措施就可以直接在工业环境中使用。然而，当生产环境过于恶劣，电磁干扰特别强烈，或安装使用不当，就可能造成程序错误或运算错误，从而产生误输入并引起误输出，这将会造成设备的失控和误动作，从而不能保证PLC 的正常运行。要提高PLC 控制系统可靠性，一方面生产厂家要提高PLC 的抗干扰能力；另一方面，要在设计、安装和使用维护中引起高度重视，多方配合，减少及消除干扰对PLC 的影响。在新的时代，PLC 会有更大的发展，产品的品种会更丰富、规格更齐全，通过完美的人机界面、完备的通信设备、成熟的现场总线通信能力会更好地适应各种工业控制场合的需求，PLC 作为自动化控制网络和国际通用网络的重要组成部分，将在我国发电厂的电气自动化建设中发挥越来越大的作用。

1.3 C650 型卧式车床发展趋势

数控技术的应用不但给传统制造业带来了革命性的变化，使制造业成为工业化的象征，而且随着数控技术的不断发展和应用领域的扩大，它对国计民生的一些重要行业(IT、汽车、轻工、医疗等)的发展起着越来越重要的作用，因为这些行业所需装备的数字化已是现代发展的大趋势。当前数控车床呈现以下发展趋势。 1. 高速、高精密化高速、精密是机床发展永恒的目标。随着科学技术突飞猛进的发展，机电产品更新换代速度加快，对零件加工的精度和表面质量的要求也愈来愈高。为满足这个复杂多变市场的需求，当前机床正向高速切削、干切削和准干切削方向发展，加工精度也在不断地提高。另一方面，电主轴和直线电机的成功应用，陶瓷滚珠轴承、高精度大导程空心内冷和滚珠螺

母强冷的低温高速滚珠丝杠副及带滚珠保持器的直线导轨副等机床功能部件的面市，也为机床向高速、精密发展创造了条件。 数控车床采用电主轴，取消了皮带、带轮和齿轮等环节，大大减少了主传动的转动惯量，提高了主轴动态响应速度和工作精度，彻底解决了主轴高速运转时皮带和带轮等传动的振动和噪声问题。采用电主轴结构可使主轴转速达到10000r/min以上。 直线电机驱动速度高，加减速特性好，有优越的响应特性和跟随精度。用直线电机作伺服驱动，省去了滚珠丝杠这一中间传动环节，消除了传动间隙(包括反向间隙)，运动惯量小，系统刚性好，在高速下能精密定位，从而极大地提高了伺服精度。直线滚动导轨副，由于其具有各向间隙为零和非常小的滚动摩擦，磨损小，发热可忽略不计，有非常好的热稳定性，提高了全程的定位精度和重复定位精度。通过直线电机和直线滚动导轨副的应用，可使机床的快速移动速度由目前的10～20m/mim提高到60～80m/min，甚至高达120m/min。 2. 高可靠性 数控机床的可靠性是数控机床产品质量的一项关键性指标。数控机床能否发挥其高性能、高精度和高效率，并获得良好的效益，关键取决于其可靠性的高低。 3. 数控车床设计CAD化、结构设计模块化。随着计算机应用的普及及软件技术的发展，CAD技术得到了广泛发展。CAD不仅可以替代人工完成繁琐的绘图工作，更重要的是可以进行设计方案选择和大件整机的静、动态特性分析、计算、预测及优化设计，可以对整机各工作部件进行动态模拟仿真。在模块化的基础上在设计阶段就可以看出产品的三维几何模型和逼真的色彩。采用CAD，还可以大大提高工作效率，提高设计的一次成功率，从而缩短试制周期，降低设计成本，提高市场竞争能力。 通过对机床部件进行模块化设计，不仅能减少重复性劳动，而且可以快速响应市场，缩短产品开发设计周期。 4. 功能复合化 功能复合化的目的是进一步提高机床的生产效率，使用于非加工辅助时间减至最少。通过功能的复合化，可以扩大机床的使用范围、提高效率，实现一机多用、一机多能，即一台数控车床既可以实现车削功能，也可以实现铣削加工；或在以铣为主的机床上也可以实现磨削加工。宝鸡机床厂已经研制成功的CX25Y数控车铣复合中心，该机床同时具有X、Z轴以及C轴和Y轴。通过C轴和Y轴，可以实现平面铣削和偏孔、槽的加工。该机床还配置有强动力刀架和副主

轴。副主轴采用内藏式电主轴结构，通过数控系统可直接实现主、副主轴转速同步。该机床工件一次装夹即可完成全部加工，极大地提高了效率。

第二章　系统总体方案设计

2.1　C650 卧式车床控制要求

轴与进给电动机M1、冷却泵电动机M2和溜板箱快速移动电动机M3。从车削加工工艺出发,对各台电动机的控制要求如下:

(1)主轴与进给电动机M1,允许在空载下直接起动。其要求能实现正、反转,从而经主轴变速箱实现主轴的正、反转,或通过挂轮箱传给溜板箱来拖动刀架以实现刀架的横向左、右移动。为便于进行车削加工前的对刀,则要求主轴拖动工件作调整点动,所以要求主轴与进给电动机能实现单方向旋转的低速点动控制。主电动机停车时,由于加工工件转动惯量较大,需采用反接制动。

(2)冷却泵电动机M2,用于在车削加工时,供出冷却液,对工件与刀具进行冷却。

2.2 C650 卧式车床控制原理分析

2.2.1 主电路分析

如图 2-1，C650 卧式车床主电路设有三台电动机的驱动电路。组合开关 QS 为电源开关，将电源引入。FU1 为主电动机 M1 的短路保护熔断器，FR1 为 M1 过载保护热继电器。R 为限流电阻，当主轴点动时，限制启动电流，在停车反转制动时，又起限制过大的反向制动电流的作用。电流表 A 用来监视电动机 M1 的绕组电流，由于主轴电机 M1 的功率很大，故电流表 A 经电流互感器 TA 接在主电动机 M1 的动力回路上。图中时间继电器的常闭开关 KT 作用是短接电流表 A，在机床刚开始启动时，以让电流表躲避启动尖峰电流冲击，待时间继电器延时一定时间后，常闭 KT 断开，电流表 A 接入电路，开始监测主轴电动机绕组电流。当机床工作时，可调整切削用量，使电流表 A 的电流接近主电动机 M1 额定电流的对应值（经电流互感器 TA 后减小了的电流值），以便提高生产效率和充分利用电动机 M1 的潜力。KM1、KM2 为控制主轴电机正反转接触器，KM3 用于短

接电阻 R 的接触器，由它们的主触头相互组合控制主轴电机 M1。速度继电器 KS 为控制电机的正反转制动用。

FU2 为冷却泵电动机 M2 的短路保护熔断器，KM4 为控制 M2 运行的接触器，FR2 为 M2 过载保护热继电器。FU3 为快速移动电动机 M3 的短路熔断器，KM5 为控制 M3 运行的接触器点动时运行，故不设置热继电器保护。

2.2.2 主电动机点动控制分析

如图 2-1，SB2 为控制主电动机的按钮开关，当按下 SB2 且不松手时，接触器 KM1 线圈通电，KM1 主触点闭合接通电路，这时接触器 KM3 线圈没有接通，电网电压经限流电阻接入主电动机 M1，从而减少了起动电流。由于中间继电器 KA 未通电，虽然此时 KM1 的常开触点（13-15）已闭合，但并未能自锁。因此，当松开 SB2 后，KM1 线圈随即断电，主电动机 M1 停止运行。

2.2.3 主电动机的正反转控制分析

如图 2-1，虽然主电动机 M1 的额定功率为 30KW，但只是在车削时消耗功率较大，而启动负载很小，因而启动电流并不很大。所以，在非频繁点动的一般工_作时，仍然采用了全压直接启动。SB3 为正向启动控制按钮开关，当按下 SB3 时，SB3（7—15）闭合，交流接触器 KM3 线圈通电，KM3 主触点闭合，短接限流电阻 R，另一个常开辅助触点（5-23）闭合，中间继电器 KA 线圈通电，其常开触点（7-19）闭合，使得 KM3 在 SB3 松开后保持通电，进而 KA 也保持通电。同时 KA 的常闭触点将停车制动的基本电路切除。另一方面，当 SB3 尚未松开时，由于 KA 的另一个常开辅助触点（9-13）已闭合，因而使得交流接触器 KM1 线圈通电，其主触点闭合，主电动机 M1 全压启动运行。

与此同时，KM1 的常开辅助触点（13-15）闭合，与之前闭合的两个 KA 常开触点（7-19、9-13）形成自锁通路，当 SB3 松开后，从而 KM1 保持通电。KT 的常闭触点在主电路中短接电流表 A，其作用是使电流表避过启动尖峰电流的冲击。在 KA 常开触点（7-19）闭合 KM3 通电的同时，通电延时时间继电器 KT

通电，开始延时，时间到后，其主电路的常闭触点断开，此时电流表接入电路开始监测主电动机 M1 的绕组电流。

如图所示，SB4（13 区）为反向启动按钮开关，反向启动控制过程与正向启动控制过程类似，在此不在分析。

2.2.4 主电动机反接制动分析

如图 2-1， C650 卧式车床采用反接制动方式进行停车制动，使用速度继电器 KS（3 区）进行检测与控制。

当主电动机正转启动时，主轴电动机正向旋转达到 120r/min 时，速度继电器 KS 的正向常开触点 KS1（17-23）闭合，制动电路处于准备状态，当按下总停按钮 SB1（3-5）开关后，原来通电的 KM1、KM3、KA、KT 就马上失电，它们的所有触点均被释放复位到常态。而主电动机因惯性仍然运转，因速度不可能立刻降下来（n ＜ 100r/min），所以速度继电器 KS1（17-23）仍闭合，当 SB1（3-5）复位时——KS1（17-23）与控制反接制动电路的 KA 常闭辅助触点（7-17）一起接通接触器 KM2 的线圈电路，电流通路是：TC（110V）→ FU5 （1-3）→ SB1 常闭触点（3-5）→ FR1（5-7）→ KA 常闭触点（7-17）→KS 正向常开触点 KS1（17-23）→KM1 常闭触点（23-25）→KM2 线圈（4-25）→FU5（2-4）→TC 。

这样，主电动机 M1 主电路即串入限流电阻 R 进行反接制动，强迫电动机迅速停止，正向转速很快就降下来，当降到（n ＜ 100r/min）很低时，速度继电器 KS 的正向常开触点 KS1（17-23）复位断开，这样就切断了上面的 KM2 线圈通路，其相应的主触点复位，电动机断电，则正向反接制动结束。

反转时的反接制动过程与正转停车制动时的反接制动过程相似，则不在作详细分析。在反接状态下，速度继电器 KS 的反向常开触点 KS2（9-17）闭合，制动时接通 KM1（4-11）的线圈电路，进行反接制动。

2.2.5 快速电动机与冷却泵电动机控制分析

如图 2-1，若要使快速电动机动作(刀架快速移动),则转动刀架手柄,使其压合位置开关 SQ(5-23),SQ 闭合,接通 KM5 线圈电路,KM5 线圈主触点(5 区)闭合,这样快速电动机 M3 就开始运转,经传动系统驱动溜板箱,带动刀架快速移动。当刀架手柄复位时，快速电动机 M3 停止运行。

SB5、SB6 按钮开关分别为冷却泵电动机 M2 的停止、启动开关，控制接触器 KM4 线圈电路的通断，达到控制冷却泵 M2 的通断运行。

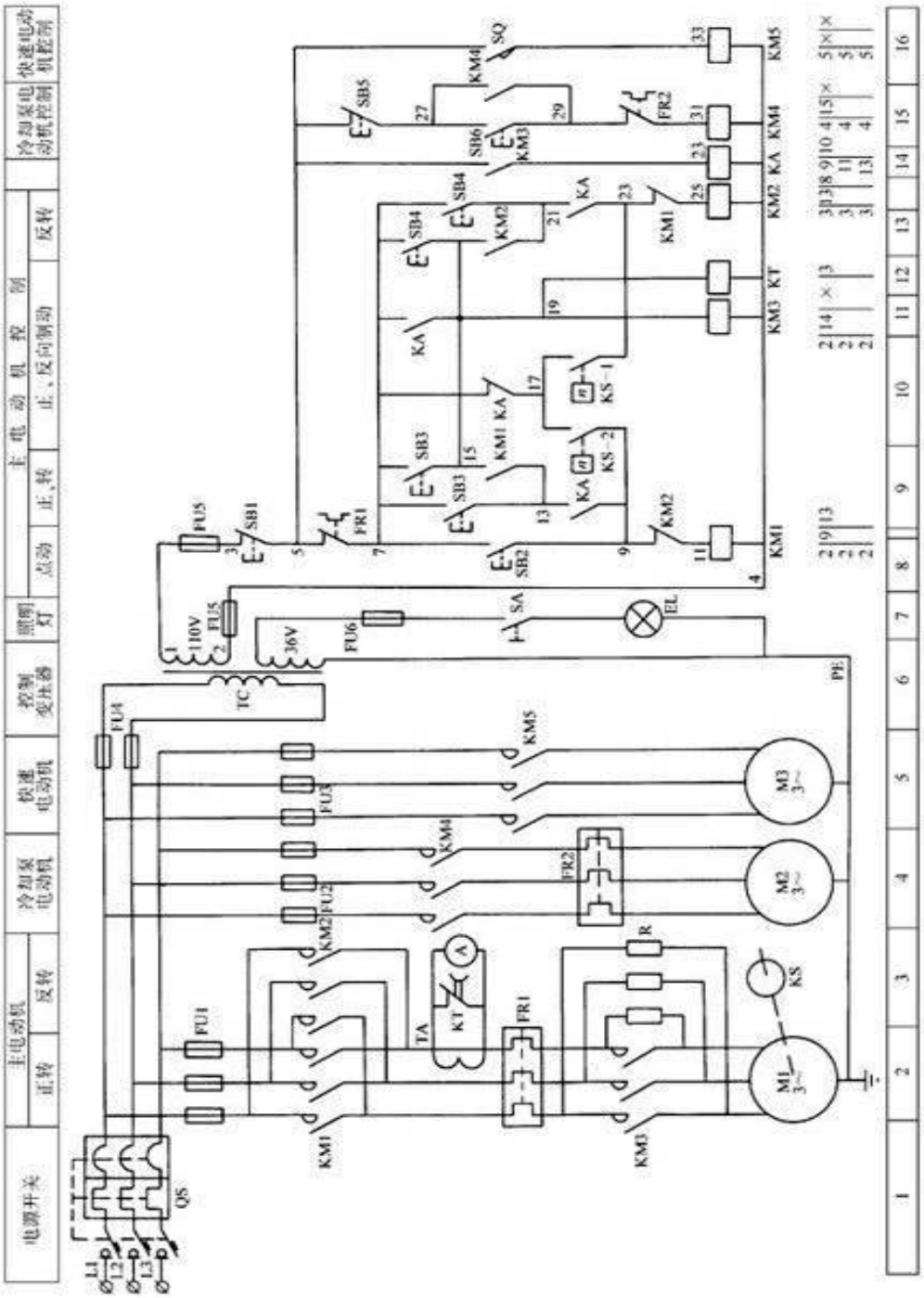


图 2-1 C650 车床控制原理图

2.3 辅助电路分析

2.3.1 照明电路和控制电源分析

如图 2-1，TC 为控制变压器，二次侧有两路，一路为 110V，为控制电路提供电源；而另一路为 36V（安全电压），供照明电路照明，SA（7 区）为控制照明电路的开关，SA 闭合时照明灯 HL（7 区）点亮，断开则熄灭。

2.3.2 电流表保护电路

如图 2-1，电流表 A（3 区）经电流互感器 TA（2 区）接在主电动机 M1 的主电路上，由于在主电动机在刚启动时，启动尖峰电流很大，为了让电流表躲过启动尖峰电流的冲击，则在线路上设置了时间继电器 KT（12 区）的常闭开关 KT（3 区）进行保护。在主电动机正向或反向启动后，时间继电器 KT（12 区）通电，延时开始，延时时间尚未到时，电流表 A（3 区）被时间继电器 KT（12 区）延时常闭触点（3 区）短路，延时时间到后，电流表开始指示（监测主电动机绕组电流）。

第三章　PLC 控制系统的设计

3.1　PLC 的选型

PLC 是控制系统的核心部件，正确的选择 PLC 对整个控制系统技术经济性指标起着重要的作用。选型的基本原则是：所选的 PLC 应能够满足控制系统的功能需要。选型的基本内容应包括以下几个方面：

(1) PLC 结构的选择 在相同功能和相同 I/O 点数的情况下，整体式 PLC 比模块式 PLC 价格低。

(2) PLC 输出方式的选择 不同的负载对 PLC 的输出方式有相应的要求。继电器输出型的 PLC 可以带直流负载和交流负载；晶体管型与双向晶闸管型输出模块分别用于直流负载和交流负载。

(3) I/O 响应时间的选择 PLC 的响应时间包括输入滤波时间、输出电路的延迟和扫描周期引起的时间延迟。

(4) 联网通信的选择 若 PLC 控制系统需要联入工厂自动化网络，则所选用的 PLC 需要有通信联网功能，即要求 PLC 应具有连接其它 PLC 、上位计算机及 CRT 等接口的能力。

(5) PLC 电源的选择 电源是 PLC 干扰引入的主要途径之一，因此应选择优质电源以助于提高 PLC 控制系统的可靠性。一般可选用畸变较小的稳压器或带有隔离变压器的电源，使用直流电源时要选用桥式全波整流电源。

(6) I/O 点数及 I/O 接口设备的选择

(7) 存储容量的选择 PLC 程序存储器的容量通常以字或步为单位，用户程序存储器的容量可以作粗略的估算。一般情况下用户程序所需的存储器容量可按照如下经验公式计算： 程序容量 =K ×总输入点数 / 总输出点数 对于简单的控制系统， K=6 ；若为普通系统， K=8 ；若为较复杂系统， K=10 ；若为复杂系统，则 K=12 。在选择内存容量时同样应留有裕量，一般是运行程序的 25% 。不应单纯追求大容量，在大多数情况下，满足 I/O 点数的 PLC ，内存容量也

能满足。 车床电气控制系统所需的 I/ 0 点总数在 256 以下，属于小型机的范围. 控制系统只需要逻辑运算等简单功能。主要用来实现条件控制和顺序控制。为实现 C650 车床上述的电气控制要求，所以 PLC 可以选择西门子公司的 S7 - 200 系列。它的价格低，体积小，非常适用于单机自动化控制系统. 该机床的输入信号是开关量信号，输出是负载三相交流电动机接触器等。 车床电气控制系统需要 11 个外部输入信号，6 个输出信号。PLC 所具有的输入点和输出点一般要比所需冗余 30 % ，以便于系统的完善和今后的扩展预留。所以本系统所需的输入点为 14 个,输出点为 7 个。现选择西门子公司生产的 S7 - 200 系列的 CPU224 型 PLC ，24V 直流 14 点输入。

3.2 I/O 地址的分配

根据该系统的控制要求，输入输出设备，确定了 I/O 点数。根据需要控制的开关、设备大约输入点为 11 个,输出点为 6 个需进行控制，现将 I/O 地址分配如下图 3-1 所示。

输入信号	PLC 地址	输出信号	PLC 地址

主轴电动机 MA1 的正转按钮 SF1	I0.0	主电动机 M1 正转 KM1	Q0.0
主轴电动机 MA1 的反转按钮 SF2	I0.1	主电动机 M1 反转 KM2	Q0.1
主轴停止按钮 SF3	I0.2	短接制动电阻 KM3	Q0.2
主轴电动机 MA1 的点动按钮 SF4	I0.3	主电动机 M1 点动	Q0.3
速度继电器正转常开触头 KS1	I0.4	冷却泵电动机 M2 起、停 KM4	Q0.4
速度继电器正转常开触头 KS2	I0.5	快速电动机 M3 起、停 KM5	Q0.5
冷却泵电动机 MA2 起动、停止开关 SF5	I0.6		
快速电动机 MA3 起动按钮 SF6	I0.7		
热继电器 BB1	I1.0		
热继电器 BB2	I1.1		
过流继电器 KF	I1.2		

图 3-1 C650 卧式车床 PLC 控制系统 I/O 地址分配图

3.3 I/O 接线图

根据 PLC I/O 端子的分配，画出了 C650 卧式车床 PLC 控制系统 I/O 接线图如下图 3-2 所示

代 号	名 称	型 号 及 规 格	用 途	数量
MA1	三相交流异步电动机	JO3-802-6 0.75KW 380V 905r/min	主电动机	1
MA2	三相交流异步电动机	JO3-802-6 0.75KW 380V 905r/min	冷却泵电动机	1
MA3	三相交流异步电动机	JO3-802-6 0.75KW 380V 905r/min	快速移动电动机	1
FA1	熔断器	RL1-15 15A	主电动机过载保护	1
FA2	熔断器	RL1-15 15A	M2、M3 短路保护	1
QA1	交流接触器	CJ10-40A 线圈电压 220V	M1 正转接触器	1
QA2	交流接触器	CJ10-40A 线圈电压 220V	M1 反转接触器	1
QA3	交流接触器	CJ10-40A 线圈电压 220V	短接制动按钮	1

QA4	交流接触器	CJ10-75A 线圈电压 220V	控制 M2	1
QA5	交流接触器	CJ10-40A 线圈电压 220V	控制 M3	1
QA6	交流接触器	CJ10-40A 线圈电压 220V	M1 点动接触器	1
BB1	热继电器	JR10-60 52.5A	M1 过载保护	1
BB2	热继电器	JR10-10 *14 7.20A	M2 过载保护	1
SF1	按钮	黑色	M1 正转	1
SF2	按钮	黑色	M1 反转	1
SF3	按钮	黑色	M1 停止	1
SF4	按钮	黑色	M1 点动	1
SF5	开关	黑色	M2 起动停止	1
SF6	按钮	黑色	快速移动电机	1
KS1	速度继电器	LA2 红色	反接制动	1
KS2	速度继电器	LA19-11J 红色	反接制动	1
TA	电流互感器	LQG-0.5 100/5A	-------	1
KA	中间继电器	1A	欠电流保护	1
KF	过流继电器		过电流保护	1

图 3-2 C650 卧式车床 PLC 控制系统 I/O 接线图

第四章 系统软件设计

4.1 控制系统的梯形图程序设计

(1) 车床正反向工作及反接制动过程

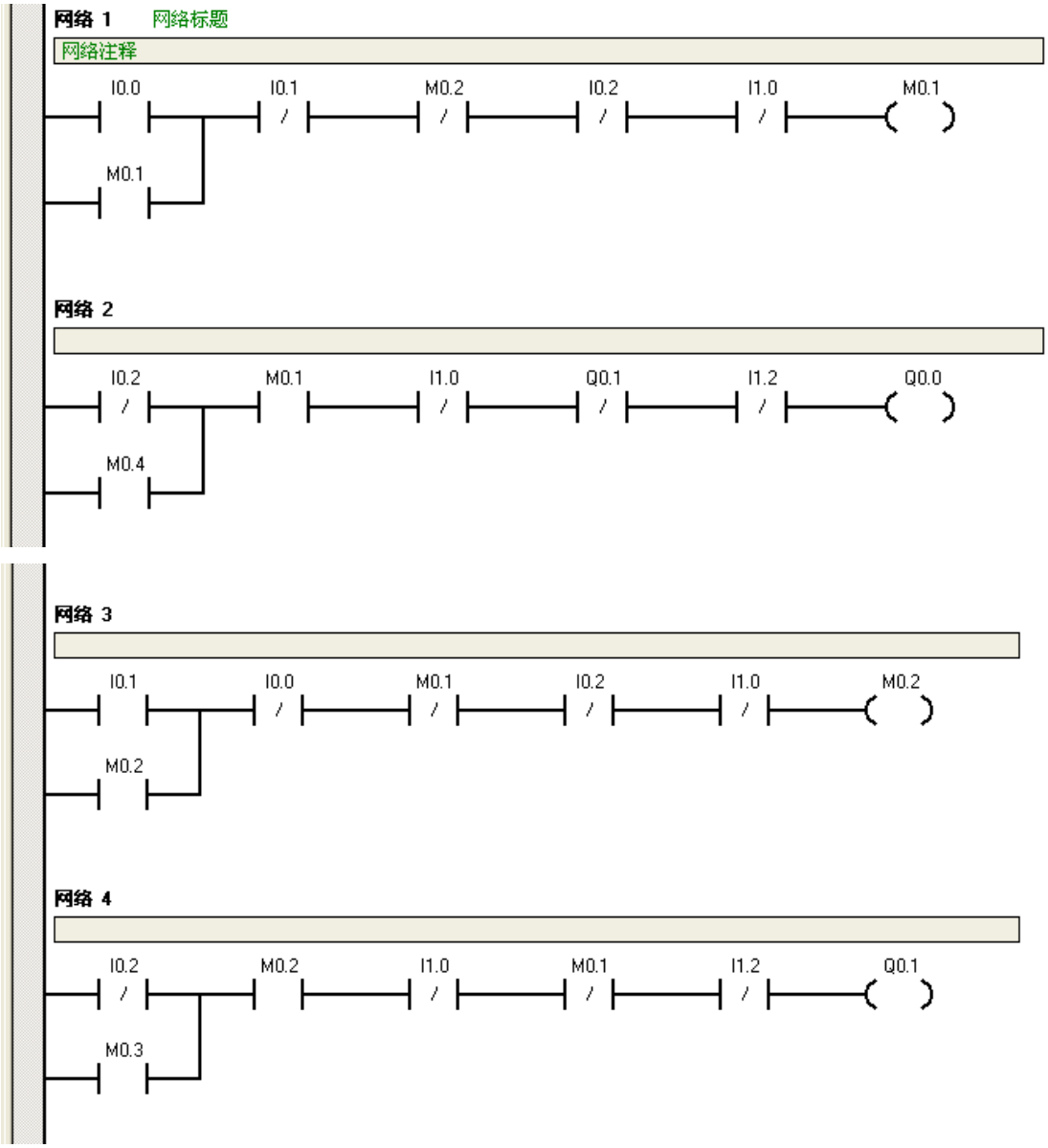
该控制程序步骤为：按下 SF1，M0.1 导通，Q0.2 动作，QA3 吸合短接电阻 R，同时 M0.1 动作，Q0.0 动作，QA 1 吸合，主电动机 M1 正转起动运行，开始车削加工。要停车时，按下 SF3，Q0.0、Q0.2 释放，松开 SF3，Q0.1 动作，QA2 吸合，主电动机 M1 串电阻反接制动，当速度接近于零时，速度继电器正转常开触头 KS1 断开，QA2 释放电动机 M1 停转。反向工作过程与正向相同。

(2)主电动机点动过程

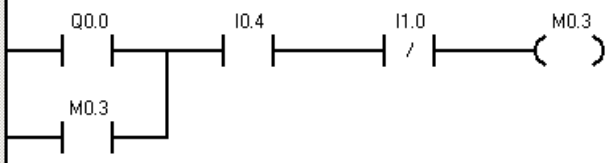
按下 SF5，Q0.3 动作，使 QA 1 吸合，M1 串电阻限流点动，松开 SF5，Q0.3 断开，M1 停转，实现点动控制。

(3) 刀架快速移动及冷却泵工作过程

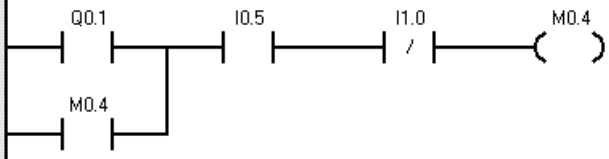
该控制程序步骤为：刀架快速移动过程为按下开关 SF6，Q0.5 动作，QA5 吸合，M3 起动运行 。 冷却泵工作过程为按下开关 SF5，Q0.4 动作 QA 4 线圈得电，冷却泵电动机 M2 工作，停止时按下 SF5 即可。梯形图程序见下图 4-1



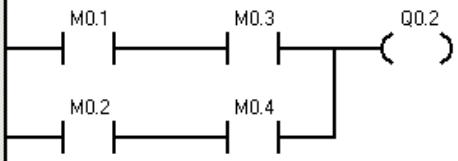
网络 5



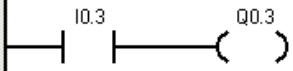
网络 6



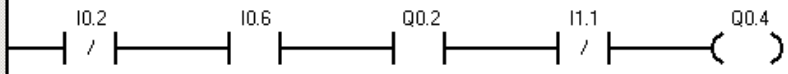
网络 7



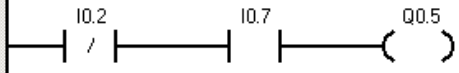
网络 8



网络 9



网络 10



网络 1 网络标题

网络注释

```
LD      I0.0
O       M0.1
AN      I0.1
AN      M0.2
AN      I0.2
AN      I1.0
=       M0.1
```

网络 2

```
LDN     I0.2
O       M0.4
A       M0.1
AN      I1.0
AN      Q0.1
AN      I1.2
=       Q0.0
```

网络 3

```
LD      I0.1
O       M0.2
AN      I0.0
AN      M0.1
AN      I0.2
AN      I1.0
=       M0.2
```

网络 4

```
LDN     I0.2
O       M0.3
A       M0.2
AN      I1.0
AN      M0.1
AN      I1.2
=       Q0.1
```

网络 5

```
LD      Q0.0
O       M0.3
A       I0.4
AN      I1.0
=       M0.3
```

网络 6

```
LD      Q0.1
O       M0.4
A       I0.5
AN      I1.0
=       M0.4
```

网络 7

```
LD      M0.1
A       M0.3
LD      M0.2
A       M0.4
OLD
=       Q0.2
```

网络 8

```
LD      I0.3
=       Q0.3
```

网络 9

```
LDN     I0.2
A       I0.6
A       Q0.2
AN      I1.1
=       Q0.4
```

网络 10

```
LDN     I0.2
A       I0.7
=       Q0.5
```

图 4-1 梯形图及语句表

第五章　系统调试

在调试前我们需要对线路进行检查，按照接线图检查电源线和接地线是否可靠，主线路和控制线路连接是否正确，绝缘是否良好，各开关是否处于“0”位，插头和各插接件是否全部插紧；检查工作台等部件的位置是否合适，防止通电时发生失误。在检查完各部分正确无误后，便可接上设备的工作电源，开始通电调试了。

5.1　硬件检查

合上实验台上供电的电源开关，用万用表测量系统总电源开关进线端的电压，看一看电压是否正常，有无断相或三相电压特别不平衡的现象。如果一切正常，便可合上总电源开关 SB1，并用万用表测量电源能供到的各支路终端的电压是否正常。有无断相。 用万用表测量各硬件的接线情况，看是否有短接，

断接和虚连的情况，并与电路控制原理图一一对照，看是否有无接错的地方。各部分都正确无误的情况下进行软硬件联调。

5.2 系统综合调试

将编写好的 PLC 程序进行编译，下载至 PLC，由于控制系统运行电压是在 220V，为了保证安全只好先在实验台上分步模拟，观察各步的动作都正确无误后，按照 PLC 控制系统接线图在实验台上整体模拟，输出部分（接触器，电动机，快速移动刀架）用实验台上的指示灯代替，观察输出端点指示灯在一个工作循环里的状态变化，并与工艺过程对照。在对照前由于忘记对 PLC 进行复位，虽然程序正确当没达到控制效果，所以在调试前应先进行复位操作。 在实验台上整体模拟无误后，将检查完毕的硬件连接电路（各电动机连接的电路）与 PLC 连接在一起，分别观察各电动机的工作状态，分步运行无误后，将所有的电动机按照 PLC 接线图连接在一起，分别观察各个电动机的运行状态，并与工艺过程比较，没有发现什么问题。此控制程序设计能够满足控制系统的要求。

DELTA 机电产品在丝网印刷机的应用

摘　要：丝网印刷作为五种印刷方式其中之一，有着非常重要的地位，丝网印刷机械种类、型号繁多，但其基本工作原理相同。高精密斜臂式丝网印刷机有着较为普遍的意义。

关键字：可编程控制器（PLC）、交流伺服（SERVO）、丝网印刷机。

系统介绍：

1. 前言

在开始前，先简单介绍一下与本文有关的印刷机械分类，以便于大家从总体掌握。

如果按印刷版型来分类包括：凸版印刷机、凹板印刷机、平板印刷机、网版印刷机、特殊印刷机。

毫无疑问，本文提到的机器属于网版印刷机。

如果按生产过程来分类：印前设备、印中设备、印后设备。

那么也毫无问题的其属于印中设备。

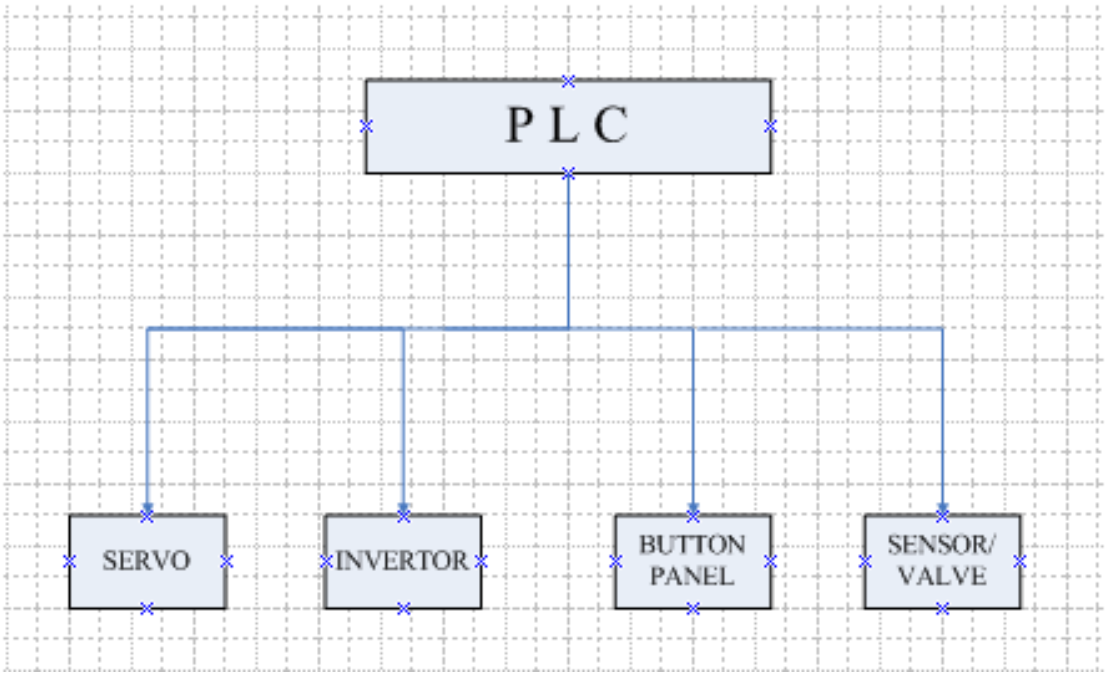
2. 系统架构：

a. 硬件架构：

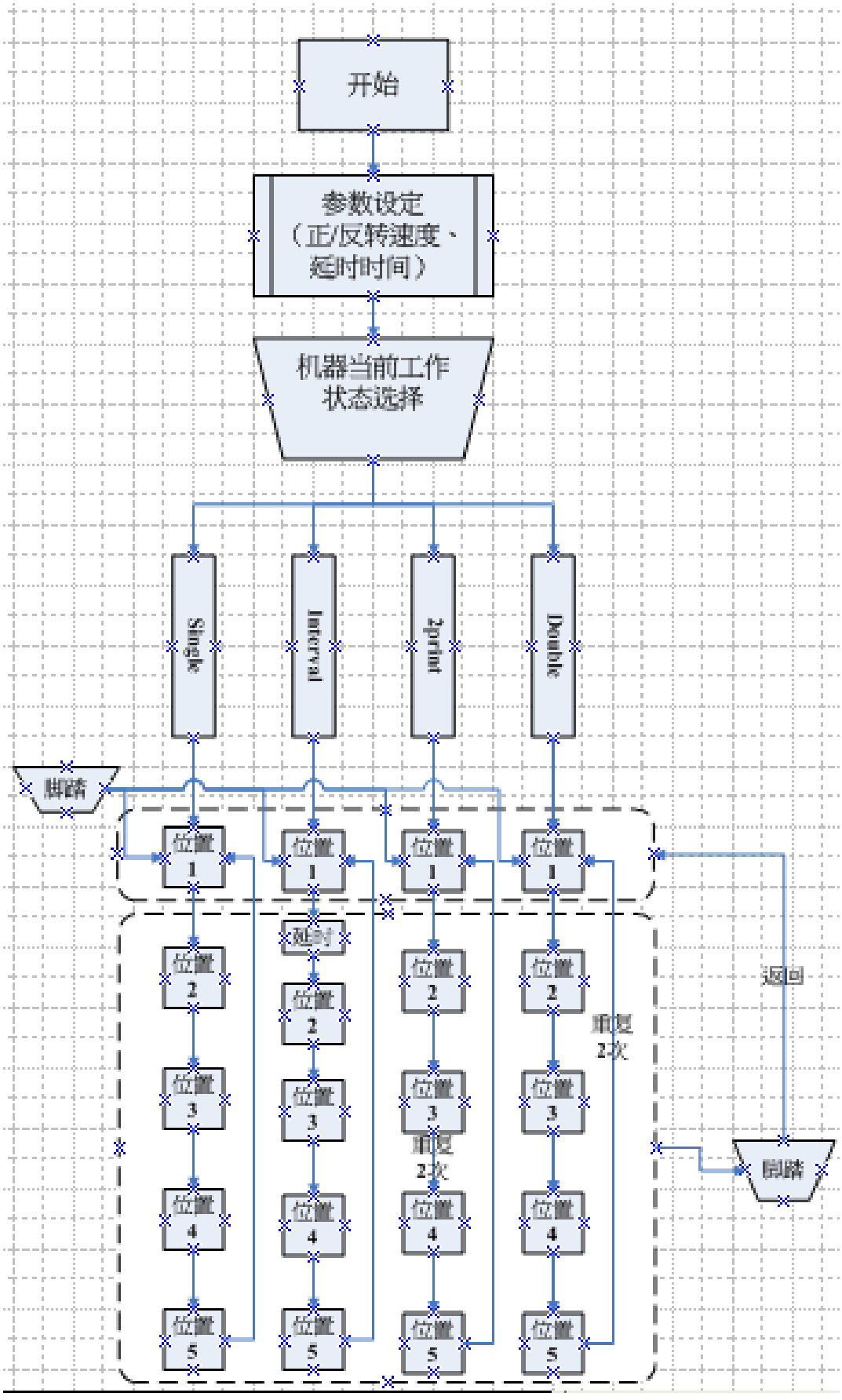
伺服驱动器：ASD-A0421LA　1 台

伺服电机：　ASMT04L250AK　1 台

PLC: DVP24ES00R2 1 台
DI/DO 扩展：DVP08XP11R 1 台



b. 软件流程：


开始
参数设定
（正/反转速度、
延时时间）
机器当前工作
状态选择
Single
Interval
2print
Double
脚踏
位置 1
位置 2
位置 3
位置 4
位置 5
延时
重复
2次
返回
脚踏

3. 工艺介绍：

--AUTO/CONTINUE:真空吸附分为 AUTO（自动）模式和 CONTINUE（连续）模式。

真空吸附在 CONTINUE 模式下，不论机器在何种状态下，持续的吸附印刷物。真空吸附在 ATUO 模式下，会随着印刷的周期，往复地吸附和非吸附动作。

--AUOT/MANU：

机器状态分为 AUTO（连动）状态和 MANU（手动）状态。

机器在 AUTO 时，有四种印刷模式：1-SINGLE，2-DOUBLE，3-2PRINT，4-INTERVAL。

1)- SINGLE 印刷模式：当电源开启后，机器状态设定在 AUTO，真空吸附设定在 AUTO，印刷模式设定在 SINGLE，踏一下脚踏板，机器自动印刷一回后停止。
2)- DOUBLE 印刷模式：当电源开启后，机器状态设定在 AUTO，真空吸附设定在 AUTO，印刷模式设定在 DOUBLE，踏一下脚踏板，机器会自动连续印刷 2 回后停止。
3)- 2PRINT 印刷模式：当电源开启后，机器状态设定在 AUTO，真空吸附设定在 AUTO，印刷模式设定在 2PRINT，踏一下脚踏板，侧臂无须上升，机器会自动地印刷 2 回后停止。
4)- INTERVAL 印刷模式：当电源开启后，机器状态设定在 AUTO，真空吸附设定在 AUTO，印刷模式设定在 INTERVAL，踏一下脚踏板，机器便在连动状态下启动。每印刷完一回维持由‘INTERVAL--连动定时调节器’所设定时间的停顿后，继续周期运行。

机器在 MANU 时，可以对如下按钮进行个别动作操作：

1)- 回墨刀 回墨刀上升，刮刀下降 按钮操作；
2)- 刮刀 回墨刀下降，刮刀上升 按钮操作；
3)- 丝网（SCREEN UP）上升 按钮操作；
4)- 丝网（SCREEN DOWN）下降 按钮操作；
5)- 刮刀/回墨刀（S/Q FORWARD）前进 按钮操作；
6)- 刮刀/回墨刀（S/Q BACKWARD）后进 按钮操作；

其他功能按钮：

--吸附马达开关

按一下按钮，指示灯亮，马达启动；再按一下，指示灯熄灭，马达停止。

--脚踏板

自动状态下，做循环操作的启动按钮

机器运转时，踩一下脚踏板，机器返回初始位置。

--EMERGENCY

机器紧急停止按钮

--PRINTING

印刷速度调节器，即丝网升降的速度。(范围：100~800mm/sec)

--INTERVAL+

连动定时调节器（设定范围：0~7 秒）。

--COATING+

油墨涂布正向速度调节器（范围：100~800mm/sec）

--COATING-

油墨涂布反向速度调节器（范围：100~800mm/sec）

--COUNTER

计数器，对印刷的数量进行计数。

4. 调试：

第一：检查控制柜和机器的接线，确认无误；

第二：DI/DO 检查，确认信号和控制的无误；

第三：伺服为速度模式（运转时）和位置模式（停止时），2 个速度电位器控制正/反转速度，设定最大速度比例。为防止对机械的冲击，减速时间调整非常重要。

设备 DI/DO 表：

I/O 地址表							
DI	定义	中文	解释	DO	定义	中文	解释
X0	AUTO/MANU	自动/手动	自动--生产运行状态 手动--手动测试状态	Y0	真空控制阀		
X1	AUTO/CONTINUE	自动/连续	自动--真空吸附随着机器运转周期开启和关闭 连续--真空吸附持续吸附	Y1	刮刀上升/回墨刀下降阀		
X2	INTERVAL/SINGLE	连动/单动	连动--自动状态下的连动 单动--踏一下脚踏板，印刷 1 次后停止。	Y2	刮刀下降/回墨刀上升阀		
X3	2PRINT	重复印	在自动状态下，踏一下脚踏板，大臂不动作，连续印刷 2 次后停止。	Y3	成品计数		
X4	DOUBLE	双印	在自动状态下，踏一下脚踏板，连续印刷 2 次后停止。	Y4	大臂电机正传		
X5	SCREEN UP	大臂上升	在手动状态下，按住按钮上升。	Y5	大臂电机反转		
X6	SCREEN DOMN	大臂下降	在手动状态下，按住按钮下降。	Y6	伺服模式切换		
X7	S/Q FORWARD	刮刀/回墨刀前进	在手动状态下，按住按钮前进。	Y7	伺服换向		

X10	S/Q BACKWARD	刮刀/回墨刀后退	在手动状态下，按住按钮后退	Y10	AUTO/MANU LAMP	指示灯	
X11	T	刀具操作+	在手动状态下，按住按钮，刮刀上升，回墨刀下降	Y11	INTERVAL/SINGLE LAMP	指示灯	
X12	Q	刀具操作-	在手动状态下，按住按钮，刮刀下降，回墨刀上升	Y12	AUTO/CONTINUE LAMP	指示灯	
X13	VACUUM MOTOR	真空泵	按一下泵启动，再按一下泵停止	Y13	定时器控制		
X14	脚踏板		机器在停止状态下，踏一下脚踏板，启动 机器在运动过程中，踏一下脚踏板，机器立即返回原点停止。				
X15	门拉急停		机器在运动过程中，拉一下门拉急停，机器立即返回原点停止。				
X16	水平前限位						
X17	水平后限位						
X20	大臂 0 度检测						
X21	大臂 180 度检测						
X22	定时器信号						

案例 3

Modbus RTU 通讯协议在 S7-200 中的应用

1　引言

工业控制已从单机控制走向集中监控、集散控制，如今已进入网络集约制造时代。工业控制器连网也为网络管理提供了方便。Modbus 就是工业控制器的网络协议中的一种。Modbus 协议是应用于电子控制器上的一种通讯约规。通过此协议，控制器相互之间、控制器经由网络(例如以太网)和其它设备之间可以通信。它已经成为主流的工业标准之一。他为符合 Modbus 协议的不同厂商生产的控制设备可以连成工业网络，进行集中监控。

2　Modbus RTU 协议在 S7-200 中的应用原理

2.1　Modbus RTU 协议与 S7-200 相互关系简介

S7-200 CPU 上的通讯口 Port0 可以支持 Modbus RTU 协议，成为 Modbus RTU 从站。此功能是通过 S7-200 的自由口通讯模式实现，因此可以通过无线数据电台等慢速通讯设备传输。

如果想在 S7-200 CPU 与其他支持 Modbus RTU 的设备使用 Modbus RTU 协议通讯，需要由有 S7-200 CPU 做 Modbus 主站。S7-200 CPU 做主站必须由用户自己用自由口模式，按相关协议编程。

在 S7 -200 控制系统应用中，Modbus RTU 从站指令库只支持 CPU 上的通讯 0 口(Port0)。要实现 Modbus RTU 通讯，需要 Step7-Micro/WIN32 V3.2 以上版本的编程软件，而且须安装 Step7-Micro/WIN32 V3.2 Instruction Library(指令库)。Modbus RTU 功能是通过指令库中预先编好的程序功能块实现的。

2.2　Modbus RTU 协议在 S7-200 中应用的基本过程

(1) 首先检查 S7-200 控制系统中所用 Micro/WIN 的软件版本，应当是 Step7-Micro/WIN V3.2 以上版本。

(2) 检查 Micro/WIN 的指令树中是否存在 Modbus RTU 从站指令库(图 1)，库中应当包括 MBUS_INIT 和 MBUS_SLAVE 两个子程序。如果没有，须安装 Micro/WIN32 V3.2 Instruction Library(指令库)软件包，如图 1 所示。

图 1　　指令树中的库指令

(3) 编程时使用 SM0.1—调用子程序 MBUS_INIT 进行初始化，使用 SM0.0—调用

研究 MBUS_SLAVE，并指定相应参数。关于参数的详细说明，可在子程序的局部变量表中找到。
示例参见图 2:

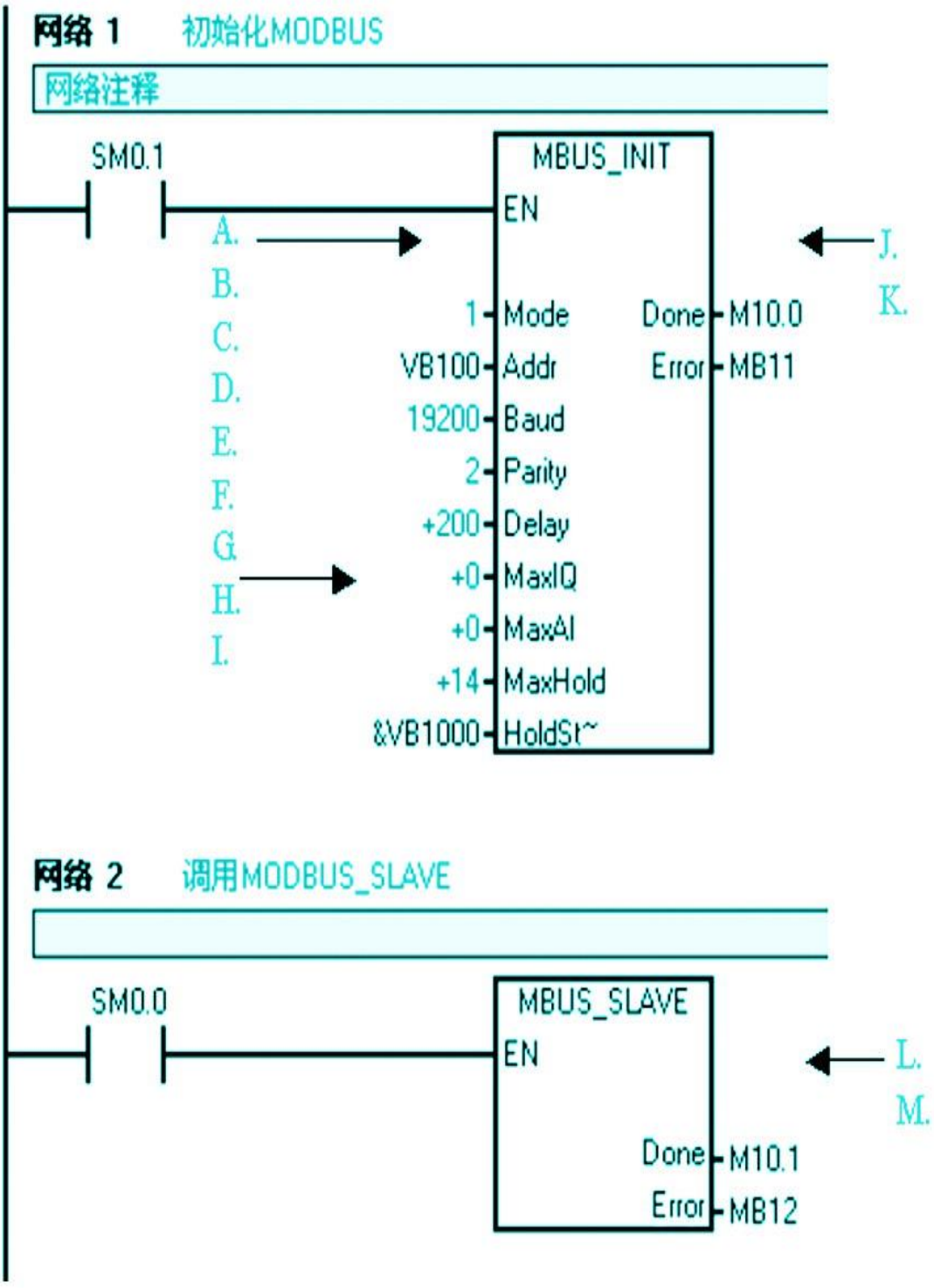


图 2　　调用 MODBUS 通讯指令库
图 2 中参数意义如下:
●模式选择:启动/停止 MODBUS，1=启动;0=停止;
●　从站地址:MODBUS 从站地址，取值 1~247;

● 波特率:可选 1200，2400，4800，9600，19200，38400，57600;
● 奇偶校验:0=无校验;1=奇校验;2=偶校验;
● 延时:附加字符间延时，缺省值为 0;
●最大 I/Q 位:参与通讯的最大 I/O 点数，S7-200 的 I/O 映像区为 128/128，缺省值为 128;
●最大 AI 字数:参与通讯的最大 AI 通道数，可为 16 或 32;
●最大保持寄存器区:参与通讯的 V 存储区字(VW);
● 保持寄存器区起始地址:以&VBx 指定(间接寻址方式);
● 初始化完成标志:成功初始化后置 1;
●初始化错误代码;
● MODBUS 执行:通讯中时置 1;
● 错误代码:0=无错误。

(4) 注意的问题

调用 Step7-Mciro/WIN32 V3.2 Instruction Library(指令库)需要分配库指令数据区(Library Memory)。库指令数据区是相应库的子程序和中断程序所要用到的变量存储空间。如果在编程时不分配库指令数据区，编译时会产生许多相同的错误。

由子程序参数 HoldStart 和 MaxHold 指定的保持寄存器区，是在 S7-200 CPU 的 V 数据存储区中分配，此数据区不能和库指令数据区有任何重叠，否则在运行时会产生错误，不能正常通讯。注意 Modbus 中的保持寄存器区按“字”寻址，即 MaxHold 规定的是 VW 而不是 VB 的个数。

3 Modbus RTU 协议测试

包含 Modbus RTU 从站指令库的项目编译、下载到 CPU 中后，在编程计算机(PG/PC)上运行一些 Modbus 测试软件可以检验 S7-200 的 Modbus RTU 通讯是否正常，这对查找故障点很有用。测试软件通过计算机串口(RS-232)和 PC/PPI 电缆连接 CPU。

(以 ModScan32 测试软件为例作以检测说明)

3.1 测试软件

测试软件 ModScan32 如图 3 所示。

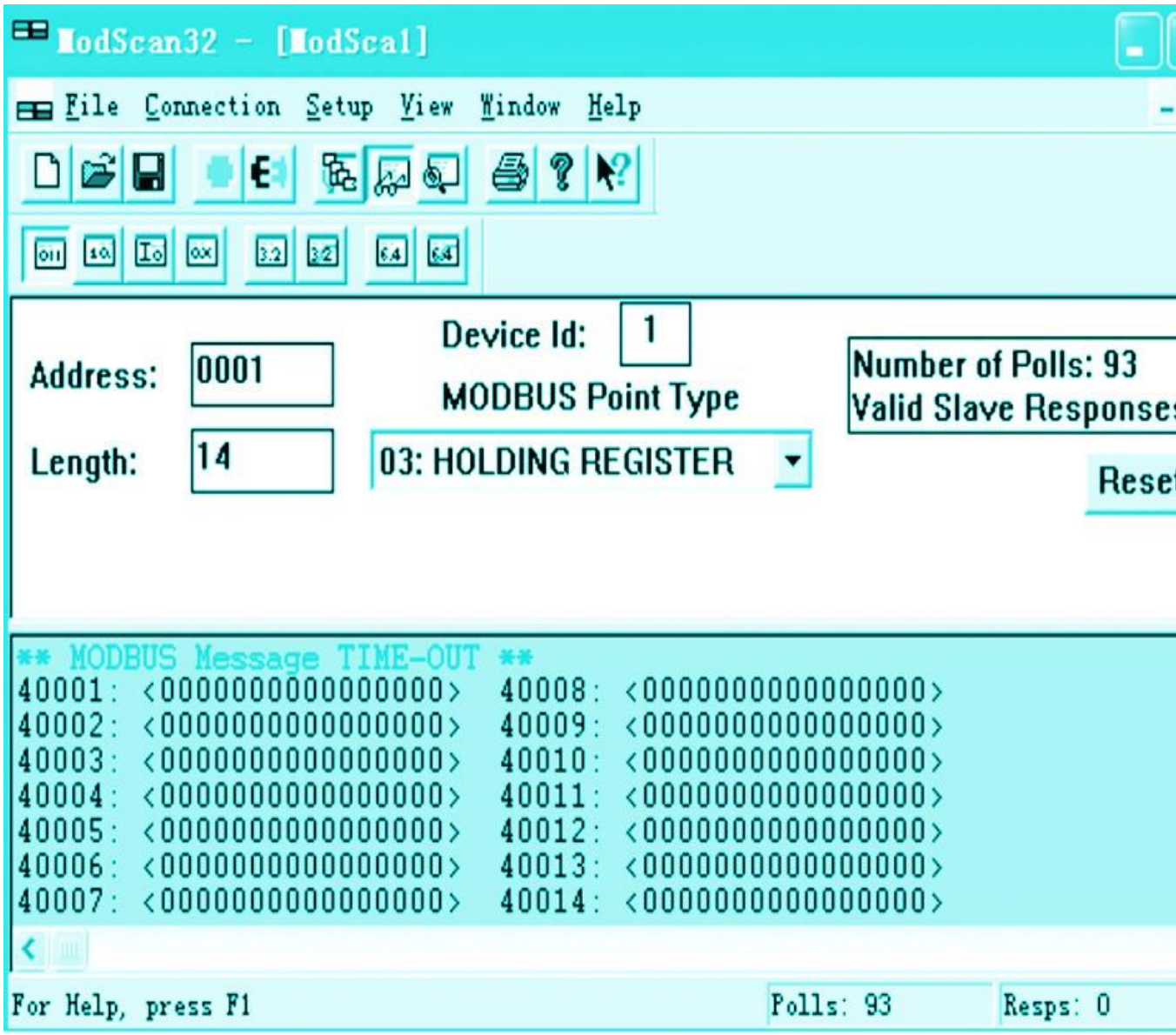


图 3　　Modbus RTU 测试软件:ModScan32

图 3 中，ModScan32 测试软件的画面中相关参数意义如下:

Address:ModBus 中存储区的起始地址;

Device Id:PLC ModBus 的端口地址;

Length:参与通讯的 V 存储区字的长度。

3.2　参数设置

对 ModScan32 测试软件的通讯参数进行相关设置，要与 S7-200 的 Modbus RTU 指令库 MBUS_INIT 中所设定的参数相统一，这样即可进行通讯检测。ModScan32 通讯参数设置如图 4 所示。

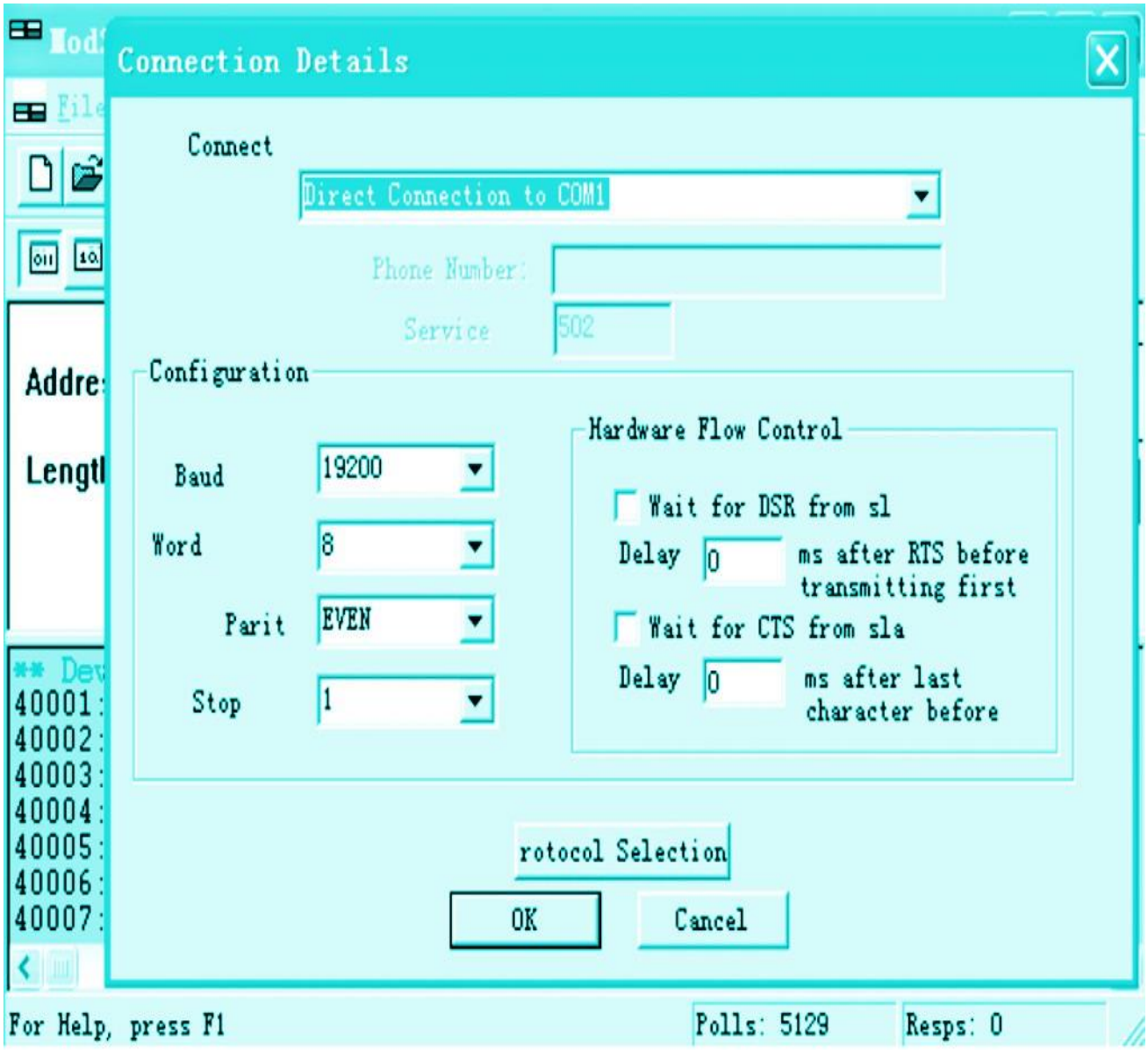


图 4　　ModScan32 通讯参数设置

4　MODBUS RTU 地址与 S7-200 的地址对应关系

MODBUS 地址总是以 00001、30004 之类的形式出现。S7-200 内部的数据存储区与 MODBUS 的 0、1、3、4 共 4 类地址的对应关系如附表所示:

附表　　MODBUS 地址对应表

MODBUS地址	S7-200数据区
00001-00128	Q0.0 -Q15.7
10001-10128	I0.0 -I15.7
30001-30032	AIW0 -AIW62
40001-4xxxx	T -T + 2 * (xxxx-1)

说明:其中 T 为 S7-200 中的缓冲区起始地址，即 HoldStart。
如果已知 S7-200 中的 V 存储区地址，推算 MODBUS 地址的公式如下:
MODBUS 地址=40000+(T/2+1)
其中 T 为偶数。

5 结束语

Modbus RTU 作为一种工业控制器的网络通讯协议，其在如今众多的控制器之间进行联网、监控、相互通讯等方面发挥着重大作用，本文以典型的 S7-200 控制系统为例，详述了如何应用 Modbus RTU 通讯协议以及检测方法，使得控制器之间的通讯变得更加简易和清晰。

案例 4

PLC 和变频器在纺织厂中的应用

工艺要求

棉纺过程有开纤（开棉、除尘、混棉），制纱（梳棉、制棉条），粗纺（将棉条进一步延伸，稍加搓捻），最后是精纺（将粗纱延伸、搓捻成细纱）。细纱机是棉纺过程的最后一道工序，精纺机械的纺织时间最长，而且需要强驱动力。该道工序的好坏直接影响到棉纱的产量和质量，所以选择细纱机的传动装置是十分重要的。

细纱机是将粗纱或条子纺成一定支数细纱的纺织机器。它的控制系统性能稳定与否直接影响到生产成本。采用 PLC 和变频器控制细纱机，操作简单，接线少，系统稳定可靠，成纱质量好，且维修方便，便于管理。

细纱机有低速运行、高速运行、吹吸风、落纱等过程。落纱分为自动落纱和中途落纱（暂停工作），自动落纱又分定长落纱和定时落纱。自动落纱的方式、落纱时间及长度均可设置，并能掉电保持。细纱机所需的电气传动装置应满足如下条件：

（1）高效率

细纱机所需的传动动力占棉纺过程的 50%以上，且连续运行。所以传动装置的效率直接影响到整个棉纺过程。

（2）可软启动

启动时如果受到过大的的张力或者张力变化急剧都会造成断纱。

（3）良好的速度控制性能

高生产率的纺纱速度是断纱少的最高速度，但断纱由于种种原因而变化，纺纱速度也应对应于各种条件进行调整。

根据纺纱过程的工艺要求，采用松下的 FP0 型 PLC 和 3G3JV 小型变频器可以满足上述要求，3G3JV 变频器的模块化设计理念、快速的 I/O 处理时间和良好的动态响应可以实现灵活地配置控制系统。

在系统中采用 FP0 型 PLC 对各个变频器进行集中监控，PLC 和变频器之间通过 RS-485 总线相连，变频器和电动机的各个参数如电机电流、电机运行的最大和最小频率、变频器的斜坡上升和下降时间等都可以由 PLC 通过通信口来实时地访问和修改。这样就增强了系统的控制性能，减少了系统的布线和调试时间，降低了工程施工的成本，提高了系统的可靠性，方便了系统的维护，降低了维护费用。

4 系统配置

一台细纱机通常有 250～400 个纱锭，纺纱锭数一般用细纱机台数×40 来表示。细纱机本身的纺纱能力用纱锭的转速表示。细纱机的运行模式分为高、低速两档。在启动开绕和绕满停车时，为了防止断纱而实行软启动和停车。系统中用了 16 台内置 EMC 滤波器的变频器和 16 台三相 250W 的电机。控制系统采用 PLC。所有的变频器都由 PLC 通过 RS485 串行通信口来控制。这样不仅增强了系统的控制性能，而且还减少了系统布线和调试的时间。控制系统的框图如图 1 所示。运行模式如图 2 所示。

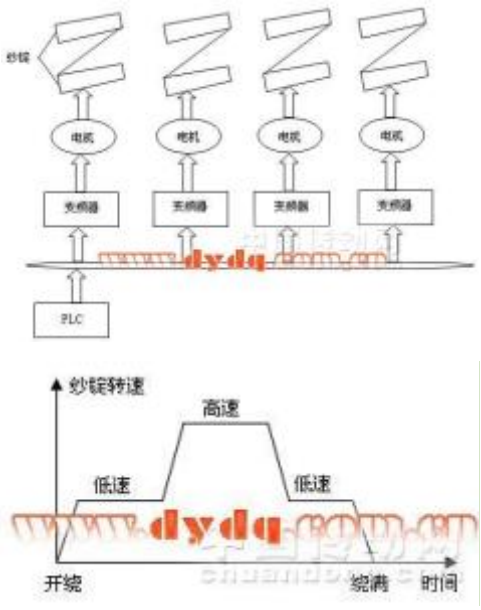


图 2 系统运行模式

纺纱过程中由电机来带动纱锭（线轴）工作。电机在变频器的控制下运转而带动纱锭进行纺纱。纺纱的质量取决于变频器能否在负载变化时保持稳定的运行。系统中采用欧姆龙 3G3JV 变频器来控制纱锭电机的运行，3G3JV 变频器具有很高的动态性能容许负载快速变化，其 FCC 控制功能可以提供非常平稳的运行速度，从而减少了断纱，提高了纺纱的质量。3G3JV 变频器具有快速的捕捉再启动功能，当电网故障时可以快速地再同步纱锭速度，以避免断纱的产生。3G3JV 变频器可以控制电机在负载变化时从静止到输出 650Hz 平稳地运行。所有的变频器和电机的参数，如电机的实际速度、电机电流、电机的输出力矩以及变频器和电机的运行状态都可以通过串行口来访问。

细纱机的运行模式分为高速和低速两档。在系统开绕到低速以及由低速到高速的加速过渡过程中，电机带动纱锭在变频器的控制下在设定的时间内均匀加速。在由高速到低速以及由低速到绕满停车的减速过渡过程中，电机在变频器的控制下在设定的时间内均匀减速，如系统的运行模式图所示。在启动开绕和绕满停车时，变频器实行软启动和停车，以避免断纱的出现。低速和高速的持续时间由 PLC 控制，而具体的运行速度是通过对变频器的设定来确定的。

接通电源后，吸风电动机开始工作。同时，钢领板升降电动机正转，钢领板上升。当钢领板升到了始纺位置时，其复位开关动作，电动机停止。按下低速起动按钮，主机开始低速运行，进行细纱接头。按下高速起动按钮，转换为高速运转，全机进入正常纺纱阶段。

纺纱满管后，钢领板复位开关动作，满管信号灯亮。进入工作位置，主机停止开关接通，此时，主机高速接触器释放，钢领板升降中间继电器吸合，主机断电保持惯性回转。随后，钢领板升降电动机反转，钢领板开始下降，降到极限位置时，钢领板下降限位开关动作，停止下降。撑爪电磁铁吸合时，将撑爪打开，主轴制动电磁铁吸合，主轴制动刹车。经过一段延时后，切断控制电源，落纱完毕。

需要中途停车时，按下中途停车按钮，主机即可停车，并自行制动。需要提前落纱时，按下中途落纱按钮即可。当机器发生意外时，按下紧急停车择钮，可使全机立即停车。

在程序中设置了各个过程、设备之间的联锁保护，使生产过程更加安全、合理。

5 结束语

系统中采用的3G3JV变频器的防护等级为IP20，为了保证变频器长期可靠地运行，在系统工作过程中需要注意以下几个方面：

（1）由于纺织生产本身的工艺要求，要保持车间一定的温度和湿度，在炎热的夏季一定要注意变频器柜体的温度不要超限，要确保柜体的通风。

（2）由于纺纱车间的粉尘较多，如果变频器的柜体设计密封程度不够，粉尘进入变频器内堆积，吸附在电力、电子元件上，将会导致绝缘降低，引起变频器故障。因此在设计柜体时要注意防尘，并定期清理柜子的过滤器。

（3）由于供电质量低以及同一电网连接多台变频器，故需考虑在每台变频器的输入端加进线电抗器，以保护变频器长久地正常运行。

案例 5

PLC 技术在工程中的应用

摘要：在工业生产过程中，大量的开关量顺序的控制，需要它们按照一定的逻辑顺序条件进行一定的顺序动作，并按照相应的逻辑关系进行连锁保护动作的控制，以及大量离散量的数据的采集。传统上，这些工作是通过气动或者电气控制系统来加以实现的。自从有了 PLC 技术使其变得异常方便快捷。

关键词：PLC 的特点，PLC 的应用领域，PLC 程序模块化，移动机器人。

前言

在 1968 年美国通用汽车公司提取出取代继电气控制装置的要求，第二年，美国数字公司研制出了基于集成电路和电子技术的控制装置，首次采用了程序化的手段应用于电气化的控制，这就是第一代可编程控制器，称为 Programmable Controller(PC)。个人计算机（简称 PC）发展起来后，为了方便，也为了反映可编程控制器的功能特点，可编程控制器定名为 Programmable Logic Controller（PLC）。

上个世纪 80 年代至 90 年代中期是 PLC 发展最快的时期，年增长率一直保持在 30%--40%之间。在这个时期，PLC 在处理模拟量能力、人机接口能力和网络能力得到了大幅度的提高，PLC 逐渐进入了过程控制领域，在某些应用上取代了在过程控制领域处于统治地位的 DCS 系统。

第一章 PLC 的特点

PLC 具有通用性强、使用方便、适应面广、可靠性高、抗干扰性能强、编程简单等特点。PLC 在工业自动化控制特别是顺序控制中的地位在现在乃至今后一段很长的时间内将是其他控制系统不能替代的。

（1）可靠性高，抗干扰能力强

高可靠性是电气控制设备的关键性能。PLC 由于采用现代大规模集成电路技术，采用严格的生产工艺制造，内部电路采取了先进的抗干扰技术，具有很高的可靠性。例如三菱公司生产的 F 系列 PLC 平均无故障时间高达 30 万小时。一些使用冗余 CPU 的 PLC 的平均无故障工作时间则更长。从 PLC 的机外电路来

说，使用 PLC 构成控制系统，和同等规模的继电接触器系统相比，电气接线及开关接点已减少到数百甚至数千分之一，故障也就大大降低。此外，PLC 带有硬件故障自我检测功能，出现故障时可及时发出警报信息。在应用软件中，应用者还可以编入外围器件的故障自诊断程序，使系统中除 PLC 以外的电路及设备也获得故障自诊断保护。这样，整个系统具有极高的可靠性也就不奇怪了。

（2）配套齐全，功能完善，适用性强

PLC 发展到今天，已经形成了大、中、小各种规模的系列化产品。可以用于各种规模的工业控制场合。除了逻辑处理功能以外，现代 PLC 大多具有完善的数据运算能力，可用于各种数字控制领域。近年来 PLC 的功能单元大量涌现，使 PLC 渗透到了位置控制、温度控制、CNC 等各种工业控制中。加上 PLC 通信能力的增强及人机界面技术的发展，使用 PLC 组成各种控制系统变得非常容易。

(3）易学易用，深受工程技术人员欢迎

PLC 作为通用工业控制计算机，是面向工矿企业的工控设备。它接口容易，编程语言易于为工程技术人员接受。梯形图语言的图形符号与表达方式和继电器电路图相当接近，只用 PLC 的少量开关量逻辑控制指令就可以方便地实现继电器电路的功能。为不熟悉电子电路、不懂计算机原理和汇编语言的人使用计算机从事工业控制打开了方便之门。

(4)系统的设计、建造工作量小，维护方便，容易改造

PLC 用存储逻辑代替接线逻辑，大大减少了控制设备外部的接线，使控制系统设计及建造的周期大为缩短，同时维护也变得容易起来。更重要的是使同一设备经过改变程序改变生产过程成为可能。这很适合多品种、小批量的生产场合。

(5)体积小，重量轻，能耗低

以超小型 PLC 为例，新近出产的品种底部尺寸小于 100mm，重量小于 150g，功耗仅数瓦。由于体积小很容易装入机械内部，是实现机电一体化的理想控制设备。

（6）PLC 的应用领域

目前，PLC 在国内外已广泛应用于钢铁、石油、化工、电力、建材、机械制造、汽车、轻纺、交通运输、环保及文化娱乐等各个行业。　　开关量的逻辑控制是 PLC 最基本、最广泛的应用领域，它取代传统的继电器电路，实现逻辑控制、顺序控制，既可用于单台设备的控制，也可用于多机群控及自动化流水线。如注塑机、印刷机、订书机械、组合机床、磨床、包装生产线、电镀流水线等。

第二章　PLC 程序模块化的工业应用

工业 PLC 程序的模块化早有体现，在西门子开发 PLC 编程软件时，就已经制作过一些小的功能块。在我们编程过程中应用这些功能块，会使整个程序变得简单且更具有条理性和实用性。随着工业自动化水平的飞速发展，更多先进的控制理论和控制方法应用到工业自动化发展中，西门子编程软件中的小功能块已经无法满足技术成熟的大规模工业 PLC 程序的模块化需求，需要更全面的提升模块化进程,完善具体本行业的程序模块化功能。此功能的实现需要从程序制作初期就对具体的功能进行分类，编制初始的流程图和中断嵌套，这样才可以满足整体的工艺流程和具体的设备动作之间的有效衔接和具体控制关系[1]，本文依据基本的编程理论和一些具体的实践经验讨论工业 PLC 程序的模块化进程和具体实施方法。

1 程序模块化的必要性及实施方法

现在很多大的集团公司和企业都拥有自己独立的技术和丰富的设计经验，他们拥有自己的品牌产品，这些都是工业技术成熟的标志，但是他们生产或设计另一台相似的工业设备后，还需要程序员重新编写相似的 PLC 程序和大量的程序校核，很少有一个固定的程序模式，更缺少把程序模块化和系统化，这样严重影响了设备的调试进程，更不利于设备的运行和维护。

下面针对天津钢管集团有限公司技术中心中间实验研究项目 CTP440Ⅵ穿轧复合机组程序的具体应用，来说明 PLC 程序模块化和系统化的工业应用。

该项目采用了西门子 S7—300 的 PLC 控制系统[2]，在对 S7—300 编程过程[3]，前期的控制流程如图 1。从流程图 1 可以看出，程序相对复杂，而且条件往复循环，若没有中断子程序进行合理化调用，很容易出现错误。所以，考虑把具体的程序模块化编写 PLC 程序，最后在需要调用的模块中调用这些模块化后的子程序，使程序富有逻辑性和可读性，PLC 运行和扫描都会相对流畅，具体方法实施如下：1）首先把整个区域的工艺流程熟悉，并细心的划分好整体的块：前台、主机、后台他们各占一个功能块。2）再把前台的各个设备细分出来，单独做它们的程序功能块，具体做该设备的手动、自动、半自动模式下具体的动作触发和终止，连锁条件和启动条件都应考虑周到，这样单独对设备编写程序会使程序结构清楚，逻辑合理，编写简单。然后在前台的主循环功能块中调用各个设备的程序功能块。3）主机分为运行和调整两个模式：当运行的时候，必要的连锁条件和启动条件是必不可少的，还有一些故障的停车条件也应该认真考虑，把这些主机的控制条件有条理性的罗列出来，然后在一个功能块

中把主机运行的整个过程编写出来。当把主机运行和调整两大功能块都编写好以后，在主机的主循环功能块中调用相应子功能块。4）后台分为后台一段和后台二段：后台一段和后台二段设备之间关联很多，所以选择把两段设备放在一起编写应用程序，即方便前后关联，也为以后审查程序更容易找到关联项。5）在主的循环功能块中，调用前台、主机和后台的主循环功能块，这样整个程序的编写任务完成，进入程序审查阶段。6）程序审查就应先对单体设备的单个动作进行审查，然后前台、主机和后台主循环功能的审查，最后对主循环功能块审查。上述编程给审查带来合理的审查顺序。

按上述步骤完成的程序在以后测试程序和现场试车都能很方便的找出毛病并做具体更改。也是我公司穿孔机技术成熟及经验积累的结晶。并且这种模块化编程方法将大力推广到我们公司的其他主流产品中以提高生产效率，减少劳动强度，有效促进公司产品的产业化进程。

2 模块化的程序嵌套层次

模块化后的 PLC 程序将整个程序简单化了很多，程序编写和修改也方便，并且增强可读性和实用性，然而并不是把所有程序模块化就是最好，程序无限的模块化的理论是不成立的，这里就应该考虑嵌套层次的问题，例如西门子 S7-300 中允许的嵌套层次最大是 8，横河 FA-M3 PLC 允许的中断次数为 4。所以，制作流程图时候就应该考虑到具体嵌套层次的深度，直接不断的中断，不停的跳转，当不小心把程序编写成死循环的时候，整个程序就开始在一块程序中循环扫描，对其他程序的扫描功能就消失，这样编写出来的程序是肯定不能正常运行的，为了杜绝死循环，提高程序的利用率，就应该减少程序的嵌套层次。建议编写程序时考虑好具体的步骤和需要达到的目的，先有明确的思路，再根据前期编程的流程图，划分好嵌套的层次和等级，最后规划程序的整体结构，这样编写出来的程序，即实用，又简洁，层次鲜明，可读性高，穿轧复合机组的程序不仅能满足了客户的需要，还实现了程序的模块化，层次鲜明。该项目 PLC 程序在嵌套层次上，关系明确，层次不深，中断次数很少，整体是一个大的循环、子程序中大多不存在循环，更没有死循环。这样的程序在应用过程中，既满足了 PLC 模块化的应用，又充分利用了 PLC 的嵌套层次的局限性，会影响程序的正常运行，程序中的嵌套会使程序扫描过程中灵活地控制整个实验机组的正常运行，实现了运用该机组进行一次穿孔，二次穿孔，限动轧管等多个功能，体现了多功能复合轧机在无缝钢管实验领域的强大功用[4、5]。

3 结论

工业 PLC 程序的编写，需要成熟的模块化编程思路和合理的嵌套层次，两者相辅相承，缺一不可。多数经典程序的编写都是用必要的功能块加上合理的嵌套来完成的，很多成熟的 PLC 区程序都拥有自己独立的程序块，这样才更容易实现工业技术要求，更方便程序的编写和应用；PLC 程序需要合理化的嵌套，这样程序才可以正常并流畅的运行。所以，建议程序员使用符合 IEC1131-3 国际标准的 FBD 功能块编写程

第三章 PLC 在移动机器人上的应用

采用 PLC 技术的移动机器人的结构图 PLC 源于继电控制装置，其初衷是替代继电器，并增强其相应功能。所以，它的特长就是处理逻辑量。使用它能够方便地对离散生产过程的舜玉进行控制。

下面就分别介绍五大功能在移动机器人上的应用；

1.顺序控制（开关量控制）。他的目的就是根据有关开关量的当前与历史的输入状况，产生所要求的开关量输出，以使系统能按一定顺序工作。学会用 PLC 去实现这个控制就得学会编写实现这个控制的程序。而这个控制程序设计方法基本上有两类：一是逻辑处理方法，用组合或时序逻辑综合，进行输入输出变换；另一是用工程方法设计，按不同要求输出控制命令。
工程设计可使用分散集中或混合的算法实现控制。
集中原则（发布命令原则）：其控制命令是由集中控制器发出。这集中控制器就是 PLC 程序产生的顺序输出命令。因此可以用在采用步进电机控制的运动机器人上。
分散原则（反馈控制原则）：其控制命令是由分散信号提供。如果把控制输出比喻为发命令，分散控制发出命令的内容及时刻，则是由分散动作完成反馈信号决定。
分散控制的优点是有反馈，若收不到反馈信号，后续的命令不会出现，可使所控制的系统能安全可靠的工作。因此可以用在由伺服电机控制的机器人上。
2.过程控制（模拟量控制）：一般讲过程控制要用到模拟量。模拟量一般是指连续变化的量，如电流电压温度压力等物理量。而这个模拟量要能被 PLC 处理，必须离散化数字化。PLC 处理后，还要锁存并转化为模拟输出。为此，要配置 A/D 模块，使模拟量离散化数字化；及 A/D 模块，使数字量锁存并模拟化。
PLC 进行过程控制的目的是根据有关模拟量的输入状况，产生所要求的模拟量输出，以使系统能要求工作。
过程控制类型很多。主要有两类：闭环，开环。
闭环控制：传感器监测调节量，并传送给 A/D 模块。后者使其离散化数字化。PLC 程序再参考要求值，对其进行处理，进而经 D/A 模块执行器作用到被控对象上。对于移动机器人主要是控制关节角度和电机的进行速度。关节角度是模拟量，电机如采用伺服电机就必须采用闭环控制方式。
开环控制：传感器检测扰动量，PLC 程序依扰动量与调节量间的关系产生控制量，进而再通过摸出模块执行器作用到被控对象上。其目的是在干扰量作用于系统的同时，这个控制量也作用于该系统，以克服干扰对系统的不利影响。在移动机器人上一般也可以采用开环控制，此时电机基本采用步进电机。
在生产中，有时要求若干变量间保持一定的比例关系，比如两个电机对机器人本体的转角控制。比值控制有开环闭环及多变量比值等。
过程控制中还有均匀控制。目的是保证左右两轮的速度得以平衡，以达到直线运动的目的。
3,运动控制（脉冲量控制）：主要指：对工作对象的位置速度及加速度所做的控制。可以是单坐标即控制对象作直线运动；也可是多坐标的，控制对象的平面立体以至于角度变换等运动。有时，还可控制多个对象，而这些对象间的运动可能还要有协调。
利用该特点 PLC 运动控制可用闭环，也可用开环。因此可以在机器人进行开环（步进电机） 闭环（伺服电机）的运动控制。
4,信息控制：也称数据处理，是指数据采集 存储 变换 检索 传输及数表处理等。
随着技术的发展，PLC 不仅可用作系统的工作控制，还可以用作系统的信息控制。

在移动机器人上，可以进行对它的信息控制。对机器人的各种内部参数（角度 速度 位移等） 外部参数（定位）进行采集 处理 记录。并在数据显示屏上实时显示。同时，当计算机与其通讯时，还可将其传送给计算机，再由计算机作进一步处理 存储 报表打印及显示。

5,远程控制。是指对系统的远程部分的行为及其效果实施检测与控制。PLC 有多种通讯接口，有很强的联网 通讯能力，并不段有新的联网的模块与结构推出。所以，PLC 远程控制是很方便的。

PLC 与智能传感器 智能执行装置，也可连成设备网。也可通讯，交换数据，相互操作。可联接成远程控制系统，系统范围可大到几十 几百公里或更大。

这种远程控制，既提高了控制能力，又简化了硬件接线及维护。

PLC 可与计算机通讯，加进信息网。利用计算机具有强大的信号处理及信息显示功能，可实现计算机对控制系统的监控与数据采集 SCADA(SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION).同时，还可用计算机进行 PLC 编程 监控及管理。移动机器人正好利用其特点，可以将该技术用在家庭移动机器人 深海探测机器人 太空探测机器人等。

案例 6

PLC 气动机械手设计

为工业机械手研制一个技术性能优良的控制系统，对于提高工业机械手的整体技术性能来说具有十分重要的意义。本论文正是针对这一课题，选择了可编程控制器(PLC)作为工业机械手的控制系统，这对提升工业机械手的整体技术性能起到了良好的作用。

本论文的控制对象是由三个搬运机械手组成的机械手群，每个机械手完成八个基本动作，三个机械手互相配合动作。机械手由气缸驱动，气缸受电磁阀控制。限位开关检测机械手是否到达固定位置。

可编程控制器(PLC)控制每个机械手的动作，实现机械手群的自动运行。本论文可编程控制器(PLC)选用西门子（SIEMENS）公司 S7－200 系列的 CPU224，并扩展了 EM221 数字量输入模块和 EM222 继电器输出模块。机械手的开关量信号直接输入 PLC，PLC 通过中间继电器对电磁阀加以控制。在软件上，设计了主程序和子程序。主程序控制机械手群动作，子程序控制每个机械手动作。

本论文的重点放在 PLC 各硬件部分的设计和介绍、PLC 梯形图的编写上。在整体设计过程中按照“提出问题，分析问题，解决问题”的主导思想，对整个系统的设计工作做出了细致的阐述。

机械手的概念

我国国家标准(GB/T12643－90)对机械手的定义：“具有和人手臂相似的动作功能，可在空间抓放物体，或进行其它操作的机械装置。”

机械手可分为专用机械手和通用机械手两大类。专用机械手：它作为整机的附属部分，动作简单，工作对象单一，具有固定(有时可调)程序，使用大批量的自动生产。如自动生产线上的上料机械手，自动换刀机械手，装配焊接机械手等装置。通用机械手：它是一种具有独立的控制系统、程序可变、动作灵活多样的机械手。它适用于可变换生产品种的中小批量自动化生产。它的工作范围大，定位精度高，通用性强，广泛应用于柔性自动线。

机械手最早应用在汽车制造工业，常用于焊接、喷漆、上下料和搬运。机械手扩大了人的手足和大脑功能，它可替代人从事危险、有害、有毒、低温和高热等恶劣环境中的工作；代替人完成繁重、单调的重复劳动，提高劳动生产率，保证产品质量。目前主要应用于制造业中，特别是电器制造、汽车制造、塑料加工、通用机械制造及金属加工等工业。机械手与数控加工中心，自动搬运小车与自动检测系统可组成柔性制造系统(FMS)和计算机集成制造系统(CIMS)，实现生产自动化。随着生产的发展，功能和性能的不断改善和提高，机械手的应用领域日益扩大。

气动机械手的简介

气动技术

气动技术—这个被誉为工业自动化之“肌肉”的传动与控制技术，在加工制造业领域越来越受到人们的重视，并获得了广泛应用。目前，伴随着微电子技术、通信技术和自动化控制技术的迅猛发展，气动技术也不断创新，以工程实际应用为目标，得到了前所未有的发展。气动技术(Pneumatics)是以压缩空气为介质来传动和控制机械的一门专业技术。“Pneumatics”一词起源于希腊文的“Pneuma”，其原义为“呼吸”，后来才一演变成“气动技术”。

气动技术因具有节能、无污染、高效、低成本、安全可靠、结构简单，以及防火、防爆、抗电磁干扰、抗幅射等优点广泛应用于汽车制造、电子、工业机械、食品等工业产业中。随着新材料、新技术、新工艺的开发和应用，气动技术已经突破传统的设计、制造理念，正在 IC/LCD、微电子、生物制药、医疗机械等高技术领域扮演着重要角色。

随着生产自动化程度的不断提高，气动技术应用面迅速扩大，气动产品品种规格持续增多，性能、质量不断提高，市场销售产值稳步增长。在工业技术发达的欧美、日本等国家，气动元件产值已接近液压元件的产值，而且仍以较快的速度在发展。气动工业的高速增长，进一步刺激了气动技术的发展。气动技术正朝着精确化、高速化、小型化、复合化和集成化的方向发展。

气动机械手

工业机械手使用最多的一种驱动方式是电机驱动。驱动电机一般采用步进电机、直流伺服电机以及交流伺服电机。由于电机速度高，通常须采用减速机构(如谐波传动、RV 摆线针轮传动、齿轮传动、螺旋传动和多杆机构等)。这类机械手的特点是控制精度高，驱动力较大，响应快，信号检测、传递、处理方便，并可以采用多种灵活的控制方案。但是由于这类机械手价格昂贵，限制了在一些场合的广泛应用。因此，人们开始寻求其它一些经济适用的机械手驱动方式。随着气动技术获得了快速发展，其利用成本性能比低廉及同时具有许多优点的气动设备，在满足社会生产实践需要的同时也越来越多的受到重视。气动机械手技术已经成为能够满足许多行业生产实践要求的一种重要实用技术。

气动机械手与其它控制方式的机械手相比，具有价格低廉、结构简单、功率体积比高、无污染及抗干扰性强等特点，表 1.1 给出了各种控制方式的比较。

表 1.1 各种控制方式的比较

项目	气压传动	液压传动	电气传动	机械传动
系统结构	简单	复杂	复杂	较复杂
安装自由度	大	大	中	小

输出力	稍大	大	小	不太大
定位精度	一般	一般	很高	高

续表 1.1

动作速度	大	稍大	大	小
响应速度	慢	快	快	中
清洁度	清洁	可能污染	清洁	较清洁
维护	简单	比气动复杂	需要专门技术	简单
价格	一般	稍高	高	一般
技术要求	较低	较高	最高	较低
控制自由度	大	大	中	小
危险性	几乎没问题	注意火	一般无问题	无特殊问题

气动机械手是在已有的机械手基础上发展起来的。二者之间的区别在于气动机械手发展的起点颇高，它强调模块化的形式，把专用机械手和通用机械手结合起来。现代气动机械手的基本结构由感知部分、控制部分、主机部分和执行部分四个方面组成。采集感知信号及控制信号均由智能阀岛来处理，气动伺服定位系统代替了伺服电机、步进马达或液压伺服系统；气缸、摆动马达完成原来由液压缸或机械所作的执行动作；主机部分采用了标准型材辅以模块化的装配形式，使得气动机械手能拓展成系列化、标准化的产品。人们根据应用情况的要求，选择相应功能和参数的模块，像积木一样随意的组合，这是一种先进的设计思想，代表气动机械手今后的发展方向，也将始终贯穿着气动机械手的发展及实用性。因此，气动机械手可以代替一些功能不理想的工业机械手的地位，在目前的工业自动线上有着及其广泛的应用前景。

气动机械手的发展趋势

尽管世界工业经济发展放缓，使得气动机械手的发展受到一定的影响，然而，作为新兴科学技术的产物，气动机械手的发展势不可挡。目前，气动机械手的发展呈现出了以下趋势：

1、结构模块化
2、控制智能化
3、感觉功能变强
4、系统应用与集成化
5、可靠性越来越高
6、易操作更灵活
7、向微型化方向发展

第二章 方案论证

机械手的设计

气动搬运机械手的结构

机械手的种类很多，但按手臂坐标类型来分主要有直角坐标式、圆柱坐标式、球坐标式、关节坐标式、SCARA 型。

本论文所针对的机械手属于圆柱坐标式，如图 2.1 所示，机械手主要是由基座和手臂两部分组成。基座的主要任务是支撑和完成手臂回转。手臂装在基座上，作上下直线运动，手部可夹紧/放松。

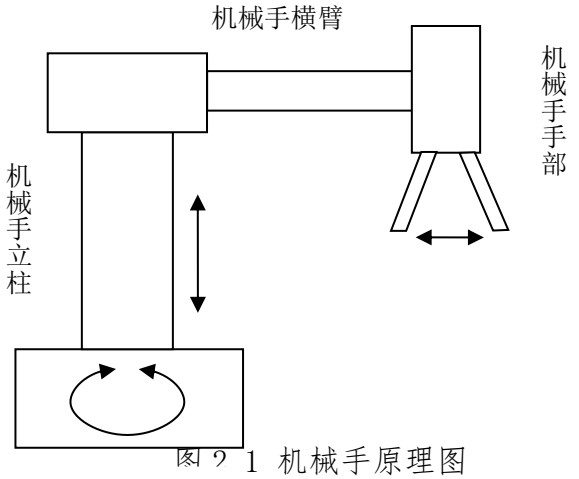


图 2.1 机械手原理图

本机械手的全部动作由气缸驱动。气缸由电磁阀控制。驱动部分有升降气缸、摆动气缸和手部驱动气缸。

气动搬运机械手的工作原理

本机械手采用气压驱动，使用的是压力为 0. 6 MPa，最高可达 1 Mpa。这个机械手具有二个直线运动和一个旋转运动自由度，用于将原工作台上的物品搬到其左侧工作台上。机械手的全部动作由气缸驱动，气缸由电磁阀控制，整个机械手在工作中能实现上升/下降、左旋转/右旋转、夹紧/放松功能，是目前较为简单的、应用比较广泛的一种机械手。机械手的工作流程如图 2.2 所示。

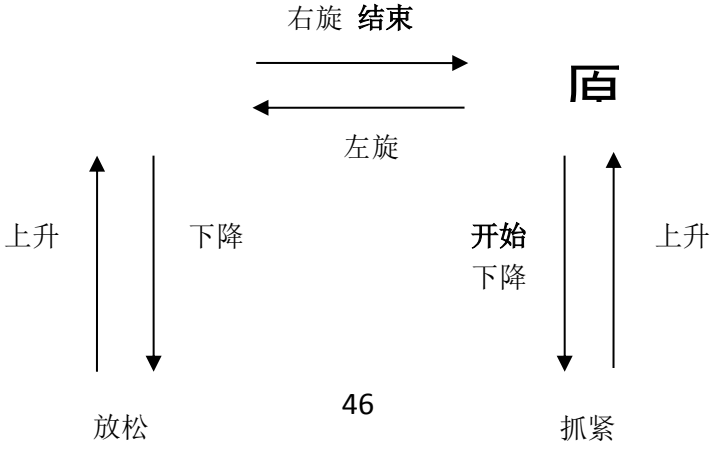


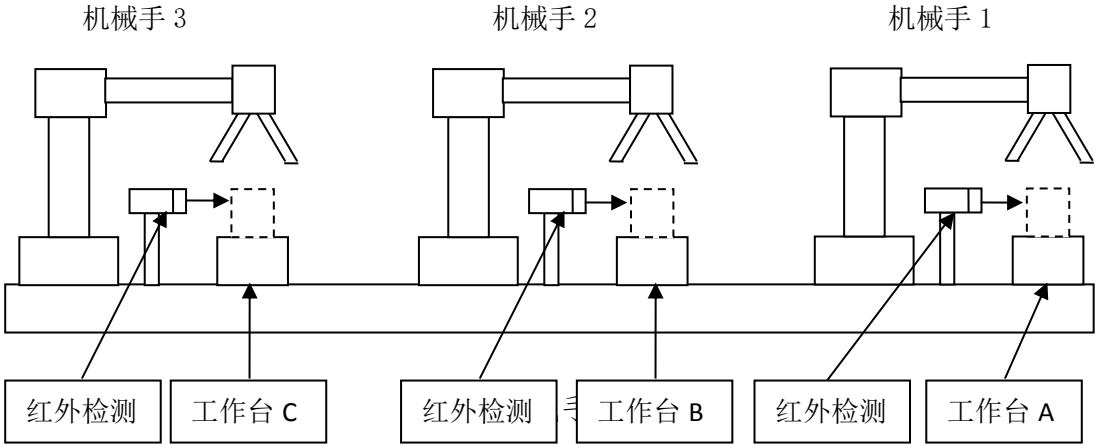
图 2.2 工作流程

其升降运动通过升降气缸、垂直导柱、滑动导柱、垂直导轨及升降位置微动开关相互配合完成，升降工作行程为 0~1500mm。转动是通过摆动气缸、轴向止推轴承、摆动臂及摆动位置微动开关协调完成，转动工作行程为 0~180°。手部是通过气缸、弹簧的作用来夹持物品，夹持力是靠调节弹簧的预压缩量来调整。

气动搬运机械手群

气动搬运机械手群结构

本论文的控制对象是由三个机械手组成的机械手群。其结构如图 2.3 所示。



三个机械手、三个工作台和三个红外检测器固定在一个大型的基座上。每个机械手的手部正下方都有工作台，用于放置物品。在每个机械手的基座和工作台之间都有一个红外检测器，用于检测工作台上是否有物品。机械手把物品从右面的工作台上移到左面的工作台上。

气动搬运机械手群工作原理

当系统工作开始时，工作台 A 上有物品时，机械手 1 首先工作，完成 8 个基本操作后（即一个循环），把物品放在工作台 B 上，机械手 2 便启动工作，同样完成一个循环后，把物品放在工作台 C 上，机械手 3 启动工作，这样 3 个机械手不断的循环工作；当系统工作结束时，机械手 1 首先完成一个循环后停止，然后机械手 2、机械手 3 也顺序依次停止工作。

本论文的主要内容及达到的目标

本论文主要内容是以气动搬运机械手作为控制对象，用 PLC 作为控制器，最终实现对气动搬运机械手群自动运行的控制。

本论文要达到的目标是，当系统工作开始时，机械手 1 首先工作，完成 8 个基本操作后（即一个循环），机械手 2 便启动工作，同样完成一个循环后，机械手 3 启动工作，这样 3 个机械手不断的循环工作；当系统工作结束时，机械手 1 首先完成一个循环后停止，然后机械手 2、机械手 3 也顺序依次停止工作。

每个机械手的完成 8 个基本操作，第 1 步当工作台上有物品时，机械手下降。第 2 步是机械手在最低位抓紧物品。第 3 步是机械手夹紧物品上升。第 4 步是机械手夹紧物品右旋 180 度。第 5 步是机械手夹紧物品下降。第 6 步是在最低位时松开物品。第 7 步机械手上升。第 8 步是机械手左旋 180 度，回到原位。

本系统的控制方案

为了实现对气动搬运机械手群的自动控制，本系统采用 PLC 做控制器。

本系统的输入开关量为数字信号，直接连接 PLC，PLC 通过中间继电器对电磁阀加以控制。系统框图如图 2.4 所示。

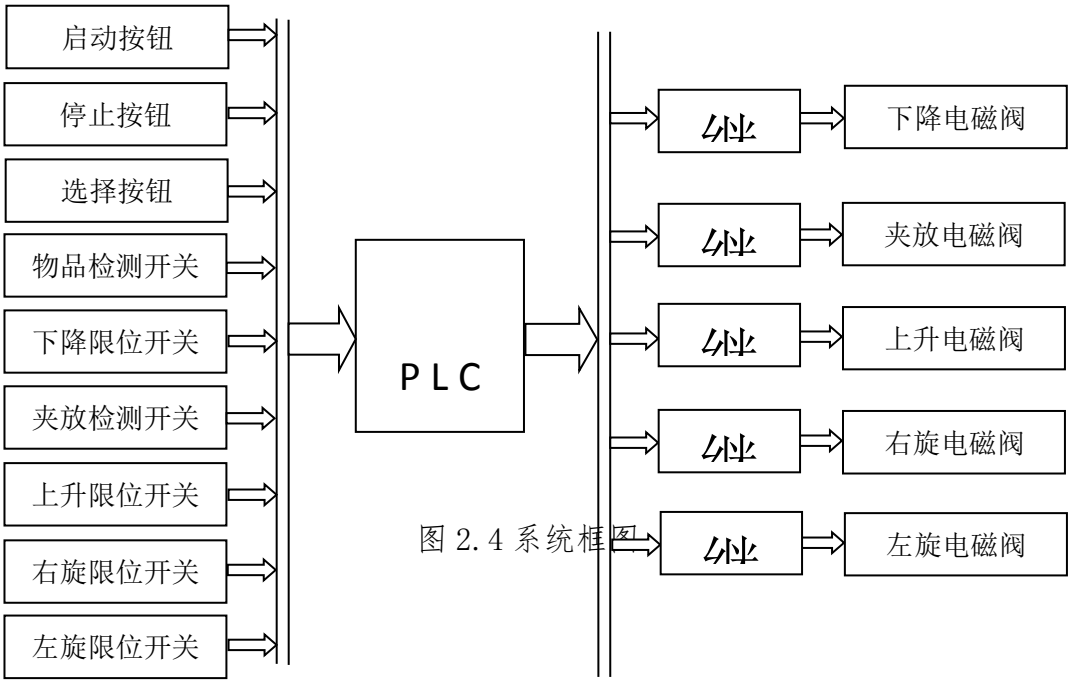


图 2.4 系统框图

系统硬件电路的设计

PLC 的简介

可编程控制器的概念

可编程控制器(Programmable Logical Controller)简称 PLC。国际电工委员会（IEC）在 1985 年的 PLC 标准草案第 3 稿中，对 PLC 作了如下定义：“可编程控制器是一种数字运算操作的电子系统，专为在工业环境下应用而设计。它采用可编程序的存储器，用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令。并通过数字式、模拟式的输入和输出，控制各种类型的机械或生产过程。可编程控制器及其有关设备，都应按易于使工业控制系统形成一个整体，易于扩充其功能的原则设计。”

现代工业生产过程是复杂多样的，它们对控制的要求也各不相同。PLC 一经出现就受到了广大工程技术人员的欢迎。PLC 具有如下特点：

1、编程方法简单易学。

2、功能强，性能价格比高。

3、硬件配套齐全，用户使用方便，适应性强。

4、可靠性高，抗干扰能力强。

5、系统的设计、安装、调试工作量少。

6、维修工作量小，维修方便。

7、体积小，能耗低。

PLC 的应用领域

PLC 的初期由于其价格高于继电器控制装置，使得其应用受到限制。但最近十年来，PLC 的应用面越来越广，其主要原因是：一方面由于处理器芯片及有关元件的价格大大下降，使得 PLC 的成本下降；另一方面 PLC 的功能大大增加，能解决复杂的计算和通信问题。目前 PLC 在国内外已广泛应用于钢铁、采矿、石油、化工、电力、机械制造、汽车、装卸、纺织、环保和娱乐等行业。PLC 的应用范围通常分成以下 5 种类型：

1、顺序控制

这是 PLC 应用最广泛的领域，也是最适合 PLC 使用的领域，它用来取代传统的继电器顺序控制。PLC 应用于单机控制、多机控制、生产自动线控制等。例如：注塑机械、印刷机械、订书机械、包装机械、切纸机械、组合机床、磨床、装配生产线、电镀流水线及电梯控制。

2、运动控制

PLC 制造商目前已提供了拖动步进电机或伺服电机的单轴或多轴位置控制模块，在多数情况下，PLC 把描述目标位置的数据送给模块，其输出移动一轴或数轴到目标位置，每个轴移动时，位置控制模块保持适当的速度和加速度，保持运动平滑。

相对来说，位置控制模块比 CNC 装置体积更小，价格更低，速度更快，操作更方便，

3、过程控制

PLC 还能控制大量的过程参数，例如：温度、流量、压力、液位和速度等。PID 模块提供了使 PLC 具有了闭环控制的功能，即一个具有 PID 控制能力的 PLC 可用于过程控制。当过程控制中某个变量出现偏差时，PID 控制算法会计算出正确的输出，把变量保持在设定值上。

4、数据控制

在机械加工中，PLC 作为主要的控制和管理系统用于 CNC 和 NC 系统中，可以完成大量的数据控制。

5、通信控制

PLC 的通信包括主机与远程 I/O 的通信、多台 PLC 之间的通信、PLC 和其他智能控制设备（如计算机、变频器、数控装置）之间的通信。PLC 与其他智能控制设备一起，可以组成“集中管理、分散控制”的分布式控制系统。

PLC 的系统组成

PLC 种类繁多，但其组成和工作原理基本相同。用 PLC 实施控制，其实质是按一定算法进行输入/输出变换，并将这个变换给以物理实现，应用于工业现场。PLC 专为工业现场应用而设计，采用了典型的计算机结构，它主要是由 CPU、电源、存储器和专门设计的输入/输出接口电路等组成。PLC 的结构框图如图 3.1 所示。

1、中央处理单元（CPU）

中央处理单元（CPU）一般由控制器、运算器和寄存器组成，这些电路都集成在一个芯片内。CPU 通过数据总线、地址总线和控制总线与存储单元、输入/输出接口电路连接。

2、存储器

PLC 的存储器包括系统存储器和用户存储器两部分。

系统存储器包括用来存放由 PLC 生产厂家编写的系统程序，并固化在 ROM 内，用户不能直接更改。它使 PLC 具有基本的功能，能够完成 PLC 设计者规定的各项工作。系统程序质量的好坏，很大程度上决定了 PLC 的性能，其内容主要包括三部分。第一部分为系统管理程序。第二部分为用户指令解释程序。第三部分为标准程序与系统调用。

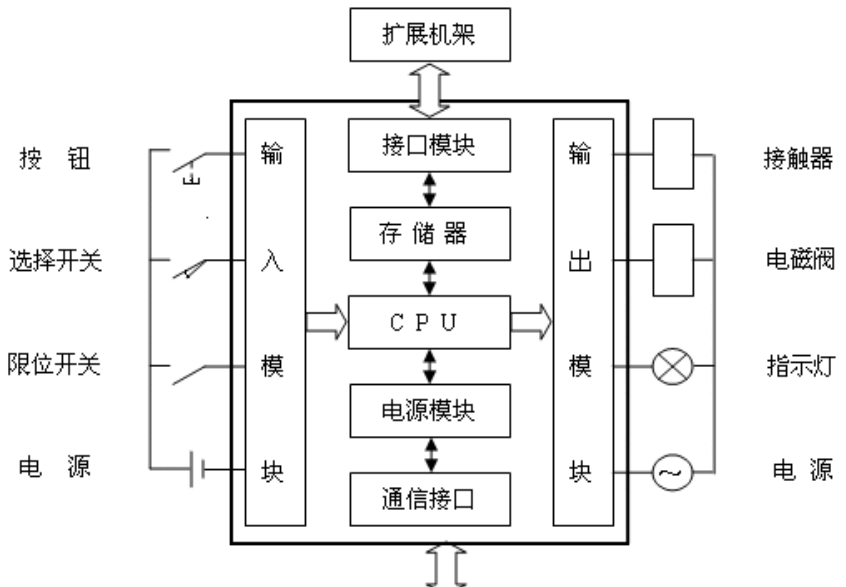


图 3.1 PLC 的结构框图

用户存储器包括用户程序存储器（程序区）和数据存储器（数据区）两部分。用户程序存储器用来存放用户针对具体控制任务用规定的 PLC 编程语言编写的各种用户程序。用户数据存储器可以用来存放（记忆）用户程序中所使用器件 ON/OFF 状态和数值、数据等。用户存储器的大小关系到用户程序容量的大小，是反映 PLC 性能的重要指标之一。

PLC 使用的存储器类型有三种。第一种是随机存取存储器（RAM）；第二种是只读存储器（ROM）；第三种是可电擦除可编程的只读存储器（EEPROM 或 EPROM）。

3、输入/输出模块

输入（Input）模块和输出（Output）模块简称为 I/O 模块。PLC 的输入和输出信号类型可以是开关量、模拟量和数字量。输入/输出模块从广义上分包含两部分：一是与控制设备相连接的接口电路；另一部分是输入和输出的映像寄存器。

输入模块用于处理输入信号，对输入信号进行滤波、隔离、电平转换等，把输入信号的逻辑值安全可靠地传递到 PLC 内部。输出模块用于把用户程序的逻辑运算结果输出到 PLC 外部，输出模块具有隔离 PLC 内部电路和外部执行元件的作用，还具有功率放大的作用。

4、电源模块

PLC 一般使用 220V 的交流电源，内部的开关电源为 PLC 的中央处理器、存储器等电路提供 5V、±12V、24V 等直流电源，使 PLC 能正常工作。

5、接口模块

接口模块用于将扩展单元以及功能模块与基本单元相连，使 PLC 的配置更加灵活以满足不同控制系统的需要。

6、通信接口

为了实现“人－机”或“机－机”之间的对话，PLC 配有多种通信接口。PLC 通过接口可以与监视器、打印机和其他的 PLC 或计算机相连。

7、编程器

编程器的作用是供用户进行程序的编制、编辑、调试和监视。

编程器有简易型和智能型两类。简易型的编程器只能联机编程，且往往需要将梯形图转换为机器语言助记符（语句表）后，才能输入。智能型的编程器又称图形编程器，它可以联机编程，也可以脱机编程，具有 LCD 或 CRT 图形显示功能，可以直接输入梯形图和通过屏幕对话

8、其他部分

有些 PLC 还可配有 EPROM 写入器、存储器等其他外部设备。

PLC 的工作原理

PLC 是一种工业控制计算机，故它的工作原理是建立在计算机工作原理之上，即通过执行反映控制要求的用户程序来实现的，但是 CPU 是以分时操作方式来处理各项任务的，计算机在每一瞬间只能做一件事，所以程序的执行是按程序顺序依次完成相应各电器的动作，所以它属于串行工作方式。PLC 工作的全过程可用图 2.2 所示的运行框图来表示。

概括而言，PLC 是按集中输入、集中输出，周期性循环扫描的方式进行工作的。扫描周期是控制过程中一个比较重要的技术指标。一般来说，扫描周期越大，表明扫描所需[illegible]越长，要求输入信号的宽度就越大，控制周期就越长，控制速度就要降低。

PLC 的过程可分为[illegible]一部分为上电处理，第二部分是扫描过程，第三部分是出错处理。

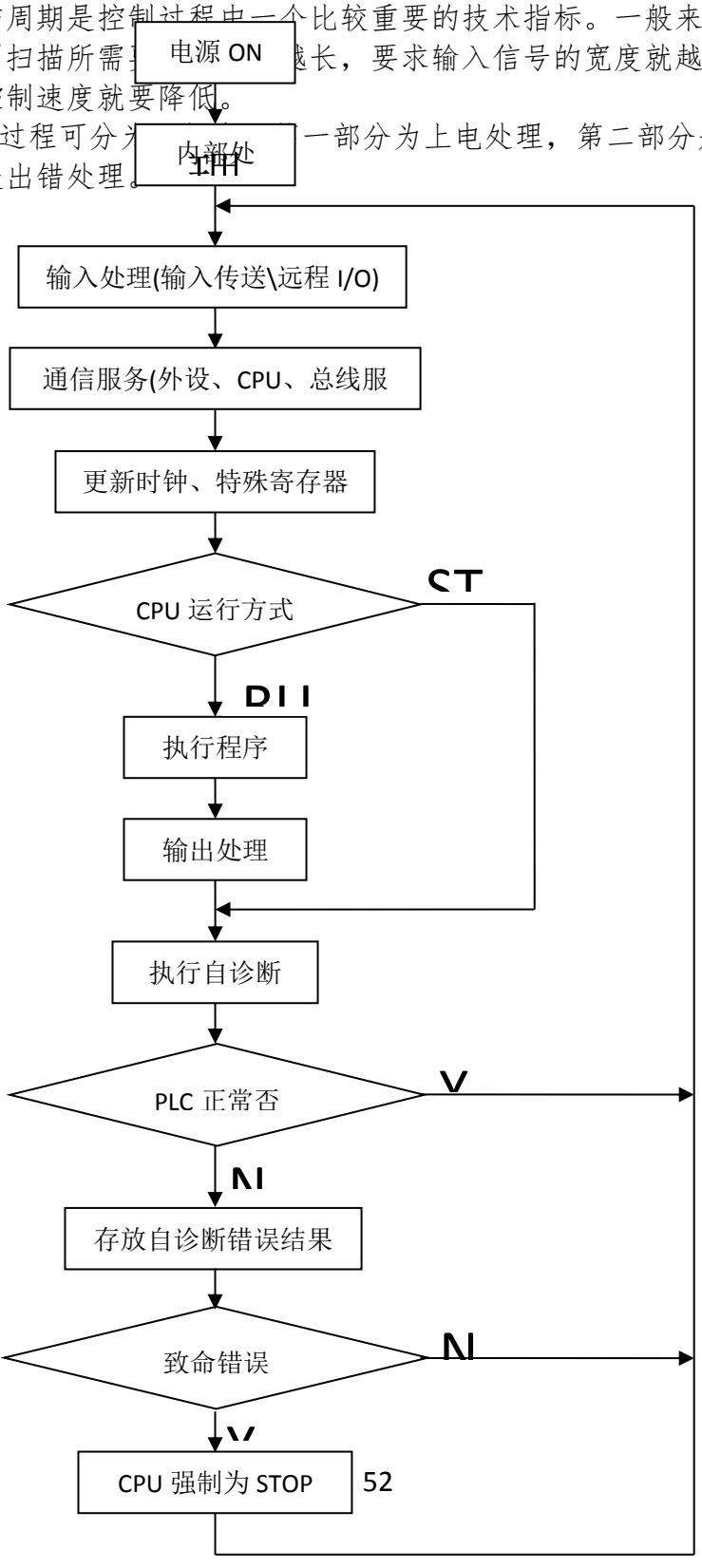


图 3.2 PLC 运行框图

输入/输出信号

本控制系统有 27 个输入开关量，分别为：

系统启动按钮 1 个　　负责整个系统的启动；
系统停止按钮 1 个　　负责整个系统的停止；
选择按钮 1 个　　负责机械手自动控制和检测的切换；
机械手的启动按钮 3 个　　负责检测时每个机械手的启动；
机械手的停止按钮 3 个　　负责检测时每个机械手的停止；
物品检测开关 3 个　　负责检测工作台上是否有物品；
下降限位开关 3 个　　负责检测机械手到达最低位置；
夹放检测开关 3 个　　负责机械手夹放物品的检测；
上升限位开关 3 个　　负责检测机械手到达最高位置；
右旋限位开关 3 个　　负责检测机械手是否右旋转 180°；
左旋限位开关 3 个　　负责检测机械手是否左旋转 180°；

建立输入信号名称与电气符号表 3.1。

表 3.1 输入信号名称与电气符号表

序号	名称	电气符号
1	总启动按钮	SB1
2	总停止按钮	SB2
3	自动/手动选择按钮	SB3
4	机械手 1 启动按钮	SB4
5	机械手 1 停止按钮	SB5
6	机械手 2 启动按钮	SB6
7	机械手 2 停止按钮	SB7
8	机械手 3 启动按钮	SB8
9	机械手 3 停止按钮	SB9
10	工作台 A 物品检测开关	SQ1
11	工作台 B 物品检测开关	SQ2
12	工作台 C 物品检测开关	SQ3

续表 3.1

13	机械手 1 下降限位开关	SQ4
14	机械手 1 夹紧检测开关	SQ5

15	机械手 1 上升限位开关	SQ6
16	机械手 1 左旋限位开关	SQ7
17	机械手 1 右旋限位开关	SQ8
18	机械手 2 下降限位开关	SQ9
19	机械手 2 夹紧检测开关	SQ10
20	机械手 2 上升限位开关	SQ11
21	机械手 2 左旋限位开关	SQ12
22	机械手 2 右旋限位开关	SQ13
23	机械手 3 下降限位开关	SQ14
24	机械手 3 夹紧检测开关	SQ15
25	机械手 3 上升限位开关	SQ16
26	机械手 3 左旋限位开关	SQ17
27	机械手 3 右旋限位开关	SQ18

本控制系统由 15 个输出电磁阀，分别为：

机械手下降电磁阀 3 个　　负责启动机械手的下降；
机械手夹放电磁阀 3 个　　负责启动机械手夹放物品；
机械手上升电磁阀 3 个　　负责启动机械手的上升；
机械手右旋电磁阀 3 个　　负责启动机械手的右旋；
机械手左旋电磁阀 3 个　　负责启动机械手的左旋。

建立输出信号名称与电气符号表 3.2。

表 3.2 输出信号名称与电气符号表

序号	名称	电气符号
1	机械手 1 下降电磁阀	YV1
2	机械手 1 夹放电磁阀	YV 2
3	机械手 1 上升电磁阀	YV 3

续表 3.2

4	机械手 1 左旋电磁阀	YV 4
5	机械手 1 右旋电磁阀	YV 5
6	机械手 2 下降电磁阀	YV 6
7	机械手 2 夹放电磁阀	YV 7

8	机械手 2 上升电磁阀	YV 8
9	机械手 2 左旋电磁阀	YV 9
10	机械手 2 右旋电磁阀	YV 10
11	机械手 3 下降电磁阀	YV 11
12	机械手 3 夹放电磁阀	YV 12
13	机械手 3 上升电磁阀	YV 13
14	机械手 3 左旋电磁阀	YV 14
15	机械手 3 右旋电磁阀	YV 15

PLC 的选型

目前，世界上有200多个厂家生产可编程控制器产品，比较著名的 PLC 生产厂家主要有美国的 AB、通用（GE）、日本的三菱（MITSBISHI）、欧姆龙（OMRON）、德国的西门子（SIMENS）、法国的 TE、韩国的三星（SUMSUNG）、LG 等。

本文选择的是德国的西门子公司生产的 S7－200PLC。S7－200 系列 PLC 是西门子公司生产的一种小型 PLC，其许多功能达到大、中型 PLC 的水平，而价格却和小型 PLC 的一样，因此它一经推出，即受到了广泛的关注。特别是 S7－200CPU22*系列 PLC，由于它具有多种功能模块和人机界面（HMI）可供选择，所以系统的集成非常方便，并且可以很容易地组成 PLC 网络。同时它具有功能齐全的编程和工业控制组态软件，使得在完成控制系统的设计时更加简单，其速度快，具有极强的通信能力，几乎可以完成任何功能的控制任务。

CPU22*系列 PLC 它有如下五种不同结构的配置单元：

1、CPU221，它具有6输入/4输出，I/O 共计10点，无扩展能力；

2、CPU222，它具有8输入/6输出，I/O 共计14点，并可以进行一定的模拟量控制和2个模块的扩展；

3、CPU224，它具有14点输入/10点输出，I/O 点数共计24点，它有七个扩展模块，有内置时钟；

4、CPU226，它具有24输入/16输出，I/O 共计40点，与 CPU224相比，它增加了通信口的数量，通信能力大大增强；

5、CPU226XM，这是西门子公司后推出的一种增强型主机，它在用户程序存储容量和数据存储容量上进行了扩展，其他指标和 CPU226 相同。

当 CPU 的 I/O 点数不够用或需要进行特殊功能的控制时，就要进行 I/O 的扩展。I/O 扩展包括 I/O 点数的扩展和功能模块的扩展。不同的 CPU 有不同的扩展规范，它主要受 CPU 的功能限制。

典型的数字量输入/输出扩展模块有：

输入扩展模块 EM221 有两种：8 点 DC 输入、8 点 AC 输入。

输出扩展模块 EM222 有三种：8 点 DC 晶体管输出、8 点 AC 输出、8 点继电器输出。

输入/输出混合扩展模块 EM223 有六种：分别为 4 点（8 点、16 点）DC 输入/4 点（8 点、16 点）DC 输出、4 点（8 点、16 点）DC 输入/4 点（8 点、16 点）继电器输出。

本次设计中共 27 个输入量，共 15 个输出量，共计 32 点，因此选用了 S7－200 系列 CPU224，CPU224 具有 14 点输入/10 点输出，I/O 点数共计 24 点，它可以有七个扩展模块，有内置时钟，它有更强的模拟量和高速计数的处理能力，是使用最多的 S7－200 产品。

由于本系统的具有 27 点输入/15 点输出，CPU224 不能满足本系统的要求，所以扩展 8 点 DC 输入 EM221 两个，用于数字开关量的输入，扩展 8 点继电器输出 EM222 一个，用于继电器的输出。

由 CPU224、两个 EM221 和一个 EM222 组成了 PLC 控制系统框图如图 3.3 所示。

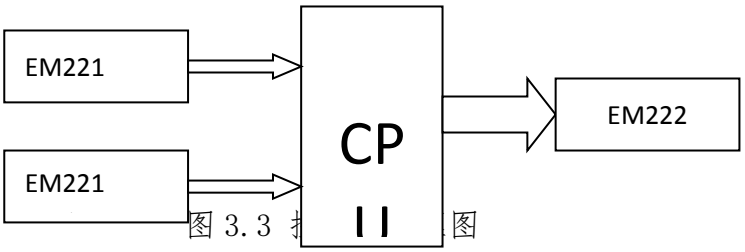


图 3.3 扩 图

I/O 地址分配

根据机械手的输入信号为 27 个，输出信号为 15 个，建立 I/O 地址分配表。

建立输入信号地址分配表如表 3.3 所示：

表 3.3 输入信号地址分配表

序号	名称	地址
1	SB1	I0.0
2	SB2	I0.1
3	SB3	I0.2
4	SB4	I0.3
5	SB5	I0.4
6	SB6	I0.5
7	SB7	I0.3
8	SB8	I1.0
9	SB9	I1.1
10	SQ1	I0.7
11	SQ2	I1.2
12	SQ3	I1.3
13	SQ4	I2.0
14	SQ5	I2.1
15	SQ6	I2.2
16	SQ7	I2.3
17	SQ8	I2.4
18	SQ9	I2.5
19	SQ10	I2.6
20	SQ11	I2.7
21	SQ12	I3.0

序表 3.3

22	SQ13	I3.1
23	SQ14	I3.2
24	SQ15	I3.3
25	SQ16	I3.4
26	SQ17	I3.5
27	SQ18	I3.6

建立输出信号地址分配表如表 3.4 所示：

表 3.4 输出信号地址分配表

序号	名称	地址
1	KA1	Q0.0
2	KA 2	Q0.1
3	KA 3	Q0.2
4	KA 4	Q0.3
5	KA 5	Q0.4
6	KA 6	Q0.5
7	KA 7	Q0.6
8	KA 8	Q0.7
9	KA 9	Q1.0
10	KA 10	Q1.1
11	KA 11	Q2.0
12	KA 12	Q2.1
13	KA 13	Q2.2
14	KA 14	Q2.3
15	KA 15	Q2.4

建立通用辅助继电器地址分配表如表 3.5 所示：

表 3.5 通用辅助继电器地址分配表

序号	名称	地址

1	自动方式	M0.0
2	手动方式	M0.1
3	机械手 1 动作中	M0.2
4	机械手 2 动作中	M0.3
5	机械手 3 动作中	M0.4
6	系统停止	M0.5

PLC 外部接线

本系统的各模块在 I/O 链中的位置排列方式如图 3.2 所示。

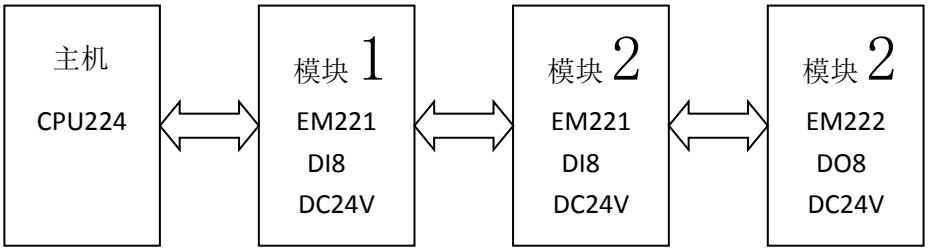


图 3.2 各模块链图

表 3.6 所列为其对应的各模块编址情况。

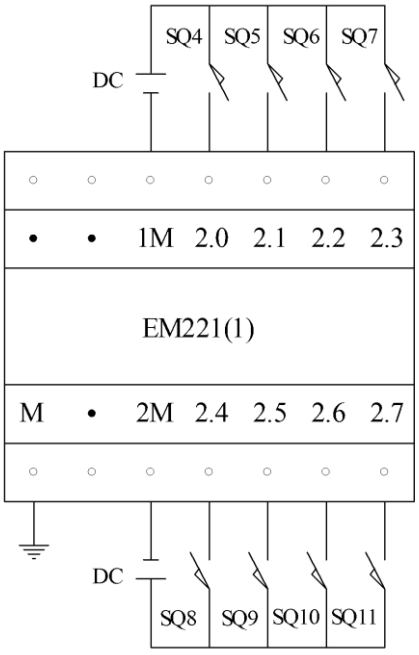
表 3.6 各模块编址

主机 I/O CPU224		模块 1I/O EM221	模块 2I/O EM221	模块 3I/O EM222
I0.0	Q0.0	I2.0	I3.0	Q2.0
I0.1	Q0.1	I2.1	I3.1	Q2.1
I0.2	Q0.2	I2.2	I3.2	Q2.2
I0.3	Q0.3	I2.3	I3.3	Q2.3
I0.4	Q0.4	I2.4	I3.4	Q2.4
I0.5	Q0.5	I2.5	I3.5	Q2.5

序表 3.6

I0.6	Q0.6	I2.6	I3.6	Q2.6
I0.7	Q0.7	I2.7	I3.7	Q2.7
I1.0	Q1.0			
I1.1	Q1.1			
I1.2				
I1.3				
I1.4				
I1.5				

EM221（1）外部接线如图 3.3 所示。



机械手 1 下降限位开关 SQ4，机械手 1 夹紧检测开关 SQ5，机械手 1 上升限位开关 SQ6，机械手 1 左旋限位开关 SQ7，分别连接扩展模块 EM221(1)的 I2.0－I2.3。机械手 1 右旋限位开关 SQ8，机械手 2 下降限位开关 SQ9，机械手 2 夹紧检测开关 SQ10，机械手 2 上升限位开关 SQ11，分别连接扩展模块 EM221(1)的 I2.4－I2.7。

EM221（2）外部接线如图 3.4 所示。

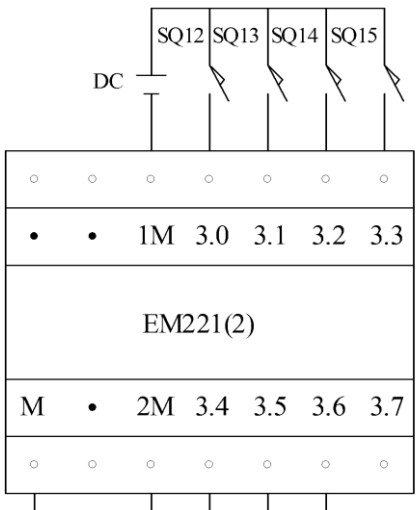
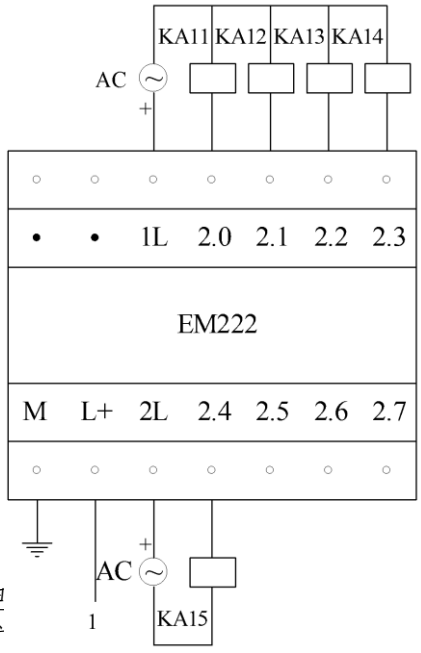


图 3.4 EM221（2）外部接线

机械手 2 左旋限位开关 SQ12，机械手 2 右旋限位开关 SQ13，机械手 3 下降限位开关 SQ14，机械手 3 夹紧检测开关 SQ15，分别连接扩展模 EM221(2)的 I3.0－I3.3。机械手 3 上升限位开关 SQ16，机械手 3 左旋限位开关 SQ17，机械手 2 右旋限位开关 SQ18，分别连接扩展模块 EM221(2)的 I3.4－I3.6。

EM222 外部接线如图 3.5 所示。



机械手 3 下降电磁阀 器 KA12，机械手 3 上升电 继电器 KA14，分别连接扩 的中间继电器 KA15，连接扩展模块 3EM222 的 Q2.4。

夹放电磁阀的中间继电 手 3 左旋电磁阀的中间 ，机械手 3 右旋电磁阀

CPU224 外部接线如图 3.6 所示。

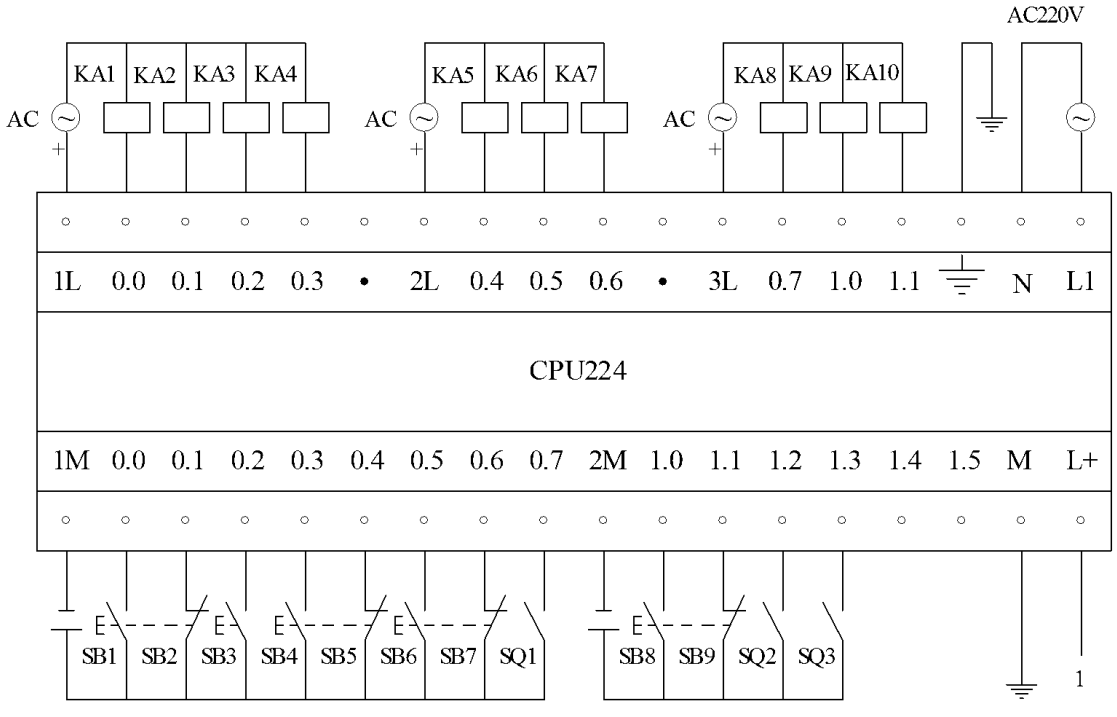


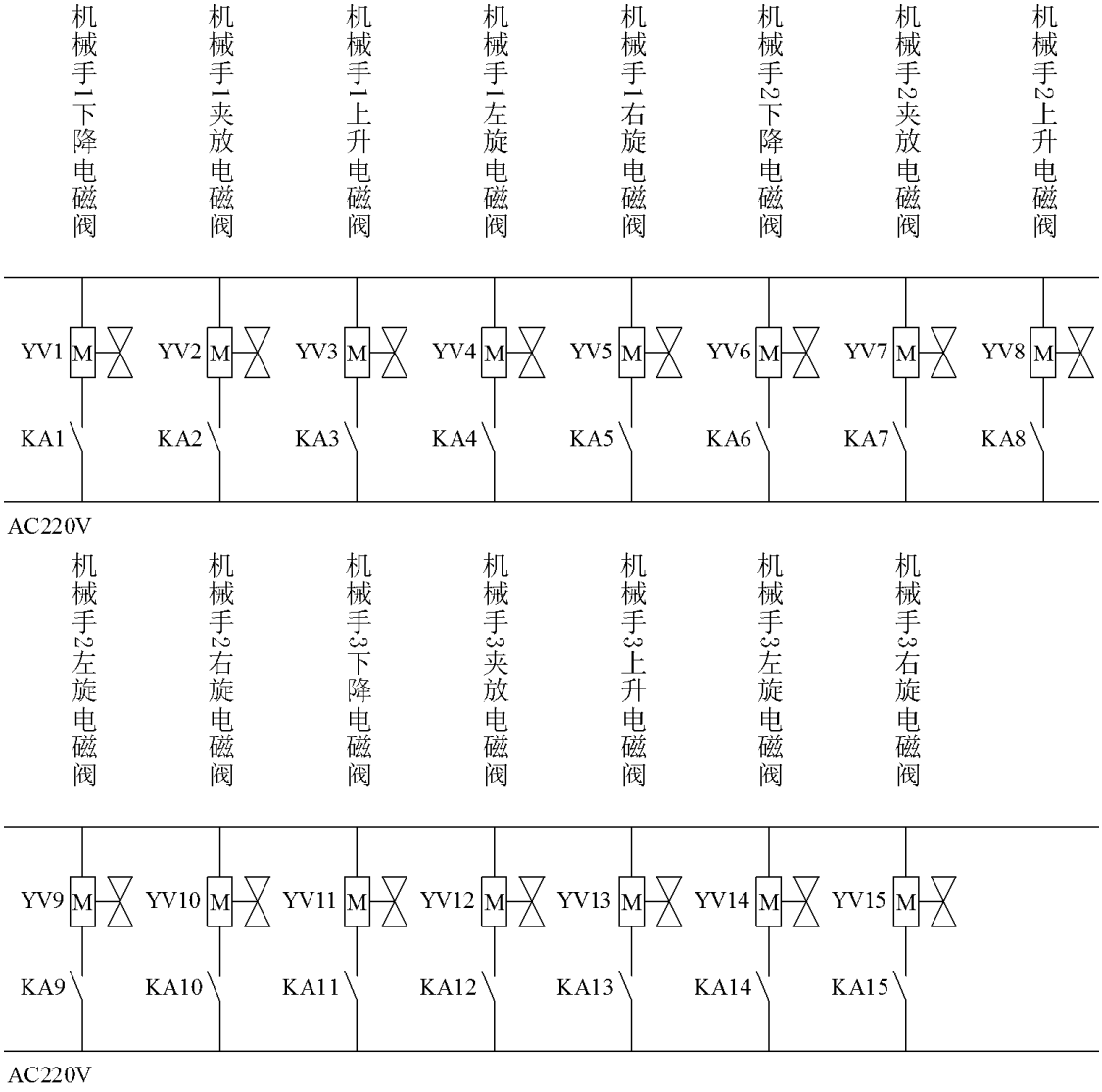
图 3.6 CPU224 外部接线

总启动按钮 SB1，总停止按钮 SB2，自动/手动选择按钮 SB3，机械手 1 启动按钮 SB4，机械手 1 停止按钮 SB5，机械手 2 启动按钮 SB6，机械手 2 停止按钮 SB7，工作台 A 物品检测开关 SQ1，分别连接到 CPU224 的 I0.0－I0.7。机械手 3 启动按钮 SB8，机械手 3 停止按钮 SB9，工作台 B 物品检测开关 SQ2，工作台 C 物品检测开关 SQ3，分别连接到 CPU224 的 I1.0－I1.3。

机械手 1 下降电磁阀的中间继电器 KA 1，机械手 1 夹放电磁阀的中间继电器 KA2，机械手 1 上升电磁阀的中间继电器 KA3，机械手 1 左旋电磁阀的中间继电器 KA4，，分别连接到 CPU224 的 Q0.0－Q0.3。机械手 1 右旋电磁阀的中间继电器 KA5，机械手 2 下降电磁阀的中间继电器 KA6，机械手 2 夹放电磁阀的中间继电器 KA7，分别连接到 CPU224 的 Q0.4－Q0.6。机械手 2 上升电磁阀的中间继电器 KA8，机械手 2 左旋电磁阀的中间继电器 KA9，机械手 2 右旋电磁阀的中间继电器 KA910，分别连接到 CPU224 的 Q0.7－Q1.1。

电气控制原理

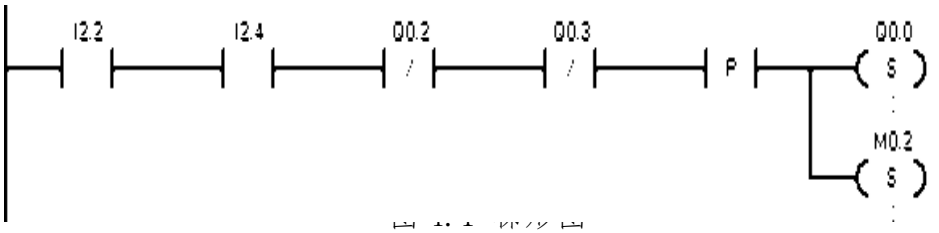
机械手 1 下降电磁阀连接 KA1；机械手 1 夹放电磁阀连接 KA2；机械手 1 上升电磁阀连接 KA3；机械手 1 左旋电磁阀连接 KA4；机械手 1 右旋电磁阀连接 KA5；机械手 2 下降电磁阀连接 KA 6；机械手 2 夹放电磁阀连接 KA7；机械手 2 上升电磁阀连接 KA8；机械手 2 左旋电磁阀连接 KA9；机械手 2 右旋电磁阀连接 KA10；机械手 3 下降电磁阀连接 KA 11；机械手 3 夹放电磁阀连接 KA12；机械手 3 上升电磁阀连接 KA13；机械手 3 左旋电磁阀连接 KA14；机械手 3 右旋电磁阀连接 KA15；电气连接图如图 3.7 所示。



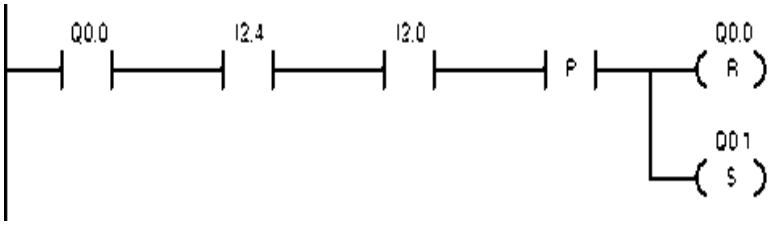
软件设计

机械手 1 控制程序

当 I2.2=1（上升限位开关闭合）；且 I2.4=1（右旋限位开关闭合）；且 Q0.2=0（上升电磁阀断开）：且 Q0.3=0（左旋电磁阀断开），则 Q0.0=1（下降电磁阀闭合）；并且 M0.2=1（辅助继电器）。梯形图如图 4.1 所示。

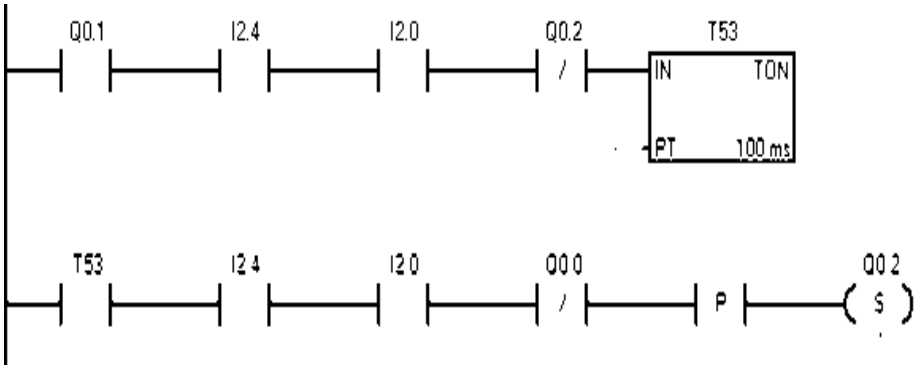


当 Q0.0=1（下降电磁阀闭合）；且 I2.4=1（右旋限位开关闭合）；且 I2.0=1（下降限位开关闭合），则 Q0.0=0（下降电磁阀断开）并且 Q0.1=1（夹放电磁阀闭合）。梯形图如图 4.2 所示。

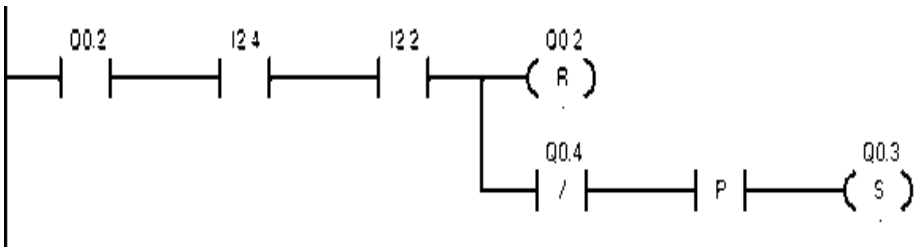


当 Q0.1=1（夹放电磁阀闭合）；且 I2.4=1（右旋限位开关闭合）；且 I2.0=1（下降限位开关闭合）；Q0.2=0（上升电磁阀断开），则定时器 T53 启动定时。

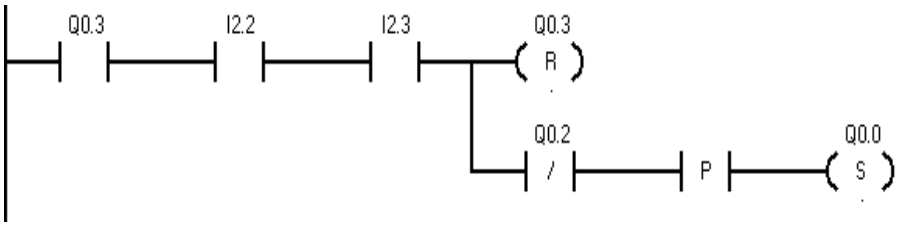
当 53=1（定时时间到）；且 I2.4=1（右旋限位开关闭合）；且 I2.0=1（下降限位开关闭合）；Q0.0=0（下降电磁阀断开），则 Q0.2=1（上升电磁阀闭合）。梯形图如图 4.3 所示。



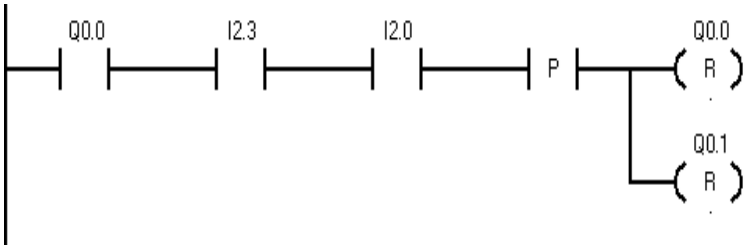
当 Q0.2=1（上升电磁阀闭合）；且 I2.4=1（右旋限位开关闭合）；I2.2=1（上升限位开关闭合），则 Q0.2=0（上升电磁阀断开），并且 Q0.4=0（右旋电磁阀断开），则 Q0.3=1（左旋电磁阀闭合）。梯形图如图 4.4 所示。



当 Q0.3=1（左旋电磁阀闭合）；且 I2.2=1（上升限位开关闭合）；且 I2.3=1（左旋限位开关闭合），则 Q0.3=0（左旋电磁阀断开）并且 Q0.2=0（上升电磁阀断开）则 Q0.0=1（下降电磁阀闭合）。梯形图如图 4.5 所示。



当 Q0.0=1（下降电磁阀闭合）；且 I2.3=1（左旋限位开关闭合）；且 I2.0=1（下降限位开关闭合），则 Q0.0=0（下降电磁阀断开）并且 Q0.1=0（夹放电磁阀断开）。梯形图如图 4.6 所示。



当 Q0.1=0（夹放电磁阀断开）；且 I2.3=1（左旋限位开关闭合）；且 I2.0=1（下降限位开关闭合）；Q0.2=0（上升电磁阀断开），则定时器 T54 启动定时。

当 T54=1（定时时间到）；且 I2.3=1（左旋限位开关闭合）；且 I2.0=1（下降限位开关闭合）；Q0.0=0（下降电磁阀断开），则 Q0.2=1（上升电磁阀闭合）。梯形图如图 4.7 所示。

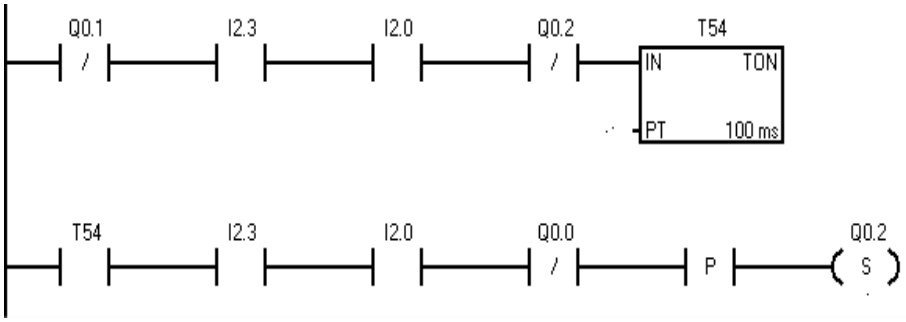
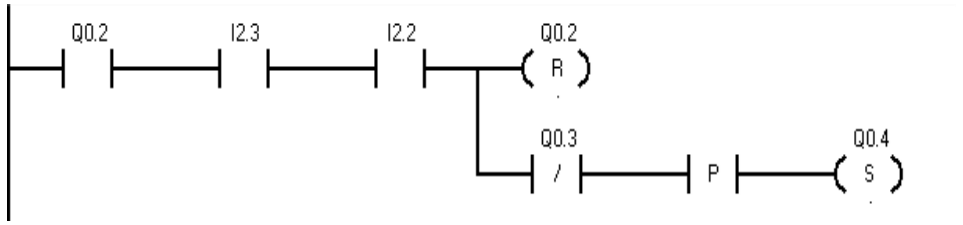
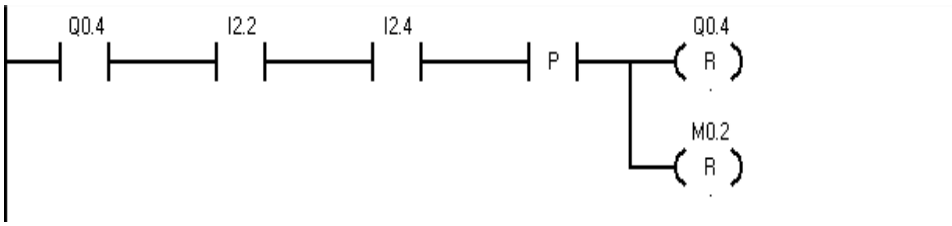


图 4.7 梯形图

当 Q0.2=1（上升电磁阀闭合）；且 I2.3=1（左旋限位开关闭合）；I2.2=1（上升限位开关闭合），则 Q0.2=0（上升电磁阀断开），并且 Q0.3=0（左旋电磁阀断开），则 Q0.4=1（右旋电磁阀闭合）。梯形图如图 4.7 所示。

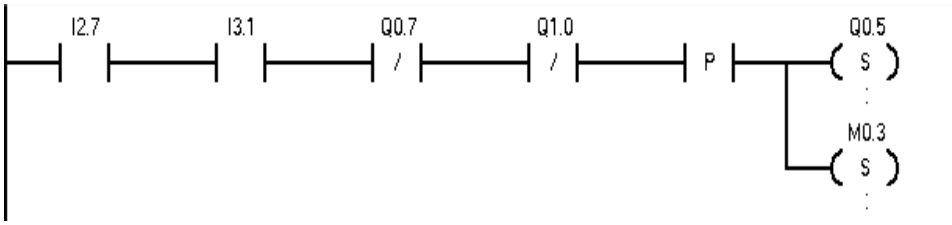


当 Q0.4=1（右旋电磁阀闭合）；且 I2.2=1（上升限位开关闭合）；且 I2.4=1（右旋限位开关闭合），则 Q0.4=0（右旋电磁阀断开）并且 M0.2=0（辅助继电器）。梯形图如图 4.9 所示。



机械手 2 控制程序

当 I2.7=1（上升限位开关闭合）；且 I3.1=1（右旋限位开关闭合）；且 Q0.7=0（上升电磁阀断开）；且 Q1.0=0（左旋电磁阀断开），则 Q0.5=1（下降电磁阀闭合）；并且 M0.3=1（辅助继电器）。梯形图如图 4.10 所示。



当 Q0.5=1（下降电磁阀闭合）；且 I3.1=1（右旋限位开关闭合）；且 I2.5=1（下降限位开关闭合），则 Q0.5=0（下降电磁阀断开）并且 Q0.6=1（夹放电磁阀闭合）。梯形图如图 4.11 所示。

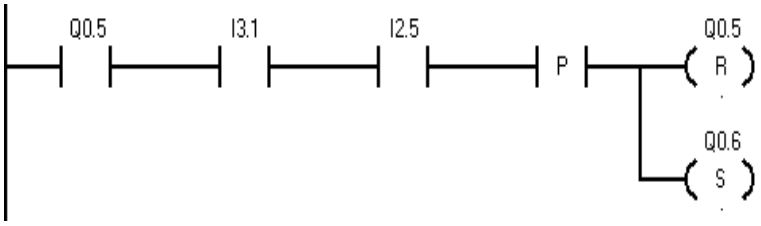
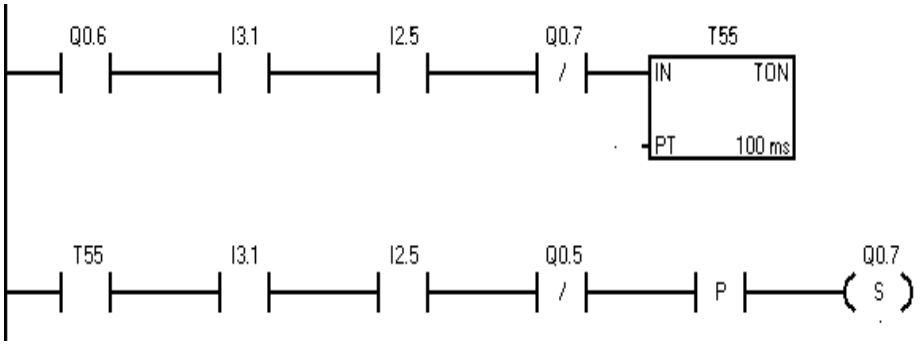


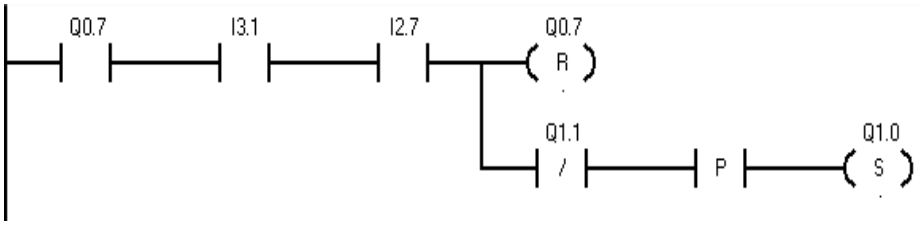
图 4.11 梯形图

当 Q0.6=1（夹放电磁阀闭合）；且 I3.1=1（右旋限位开关闭合）；且 I2.5=1（下降限位开关闭合）；Q0.7=0（上升电磁阀断开），则定时器 T55 启动定时。

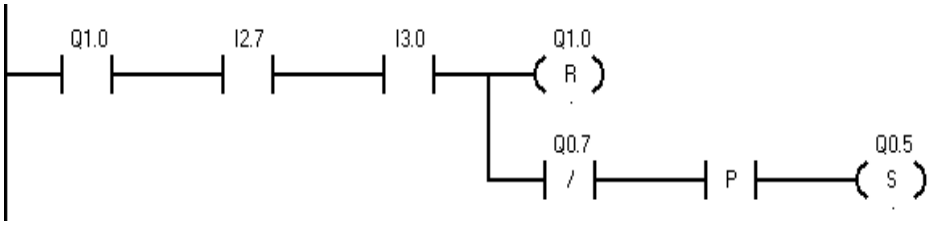
当 55=1（定时时间到）；且 I3.1=1（右旋限位开关闭合）；且 I2.5=1（下降限位开关闭合）；Q0.5=0（下降电磁阀断开），则 Q0.7=1（上升电磁阀闭合）。梯形图如图 4.12 所示。



当 Q0.7=1（上升电磁阀闭合）；且 I3.1=1（右旋限位开关闭合）；I2.7=1（上升限位开关闭合），则 Q0.7=0（上升电磁阀断开），并且 Q1.1=0（右旋电磁阀断开），则 Q1.0=1（左旋电磁阀闭合）。梯形图如图 4.13 所示。



当 Q1.0=1（左旋电磁阀闭合）；且 I2.7=1（上升限位开关闭合）；且 I3.0=1（左旋限位开关闭合），则 Q1.0=0（左旋电磁阀断开）并且 Q0.7=0（上升电磁阀断开）则 Q0.5=1（下降电磁阀闭合）。梯形图如图 4.14 所示。



当 Q0.5=1（下降电磁阀闭合）；且 I3.0=1（左旋限位开关闭合）；且 I2.5=1（下降限位开关闭合），则 Q0.5=0（下降电磁阀断开）并且 Q0.6=0（夹放电磁阀断开）。梯形图如图 4.15 所示。

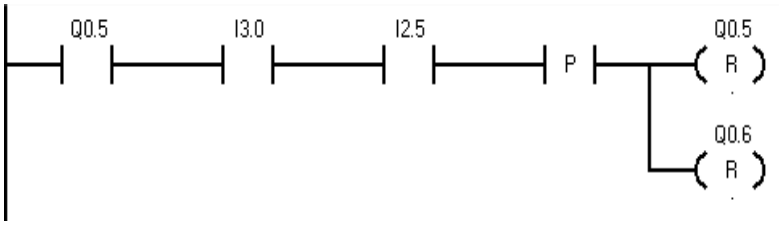
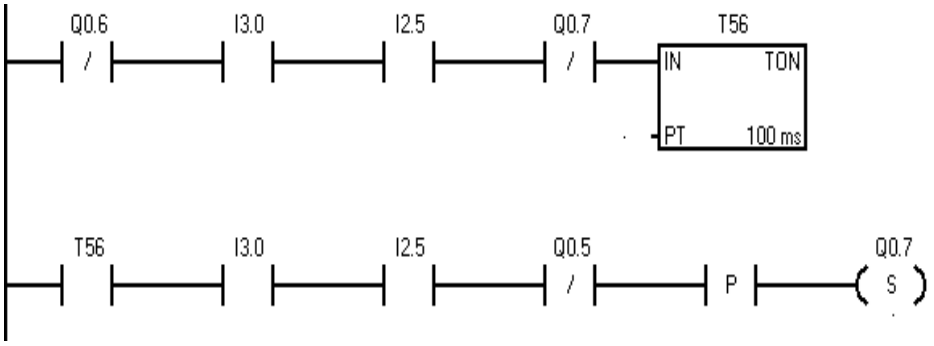


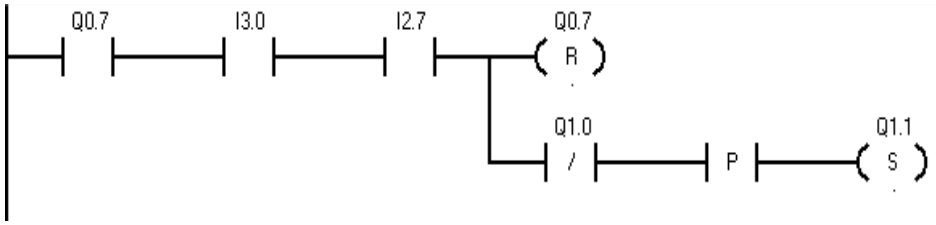
图 4.15 梯形图

当 Q0.6=0（夹放电磁阀断开）；且 I3.0=1（左旋限位开关闭合）；且 I2.5=1（下降限位开关闭合）；Q0.7=0（上升电磁阀断开），则定时器 T56 启动定时。

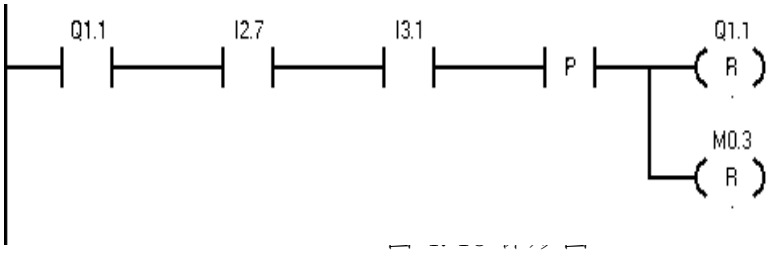
T56=1（定时时间到）；且 I3.0=1（左旋限位开关闭合）；且 I2.5=1（下降限位开关闭合）；Q0.5=0（下降电磁阀断开），则 Q0.7=1（上升电磁阀闭合）。梯形图如图 4.16 所示。



当 Q0.7=1（上升电磁阀闭合）；且 I3.0=1（左旋限位开关闭合）；I2.7=1（上升限位开关闭合），则 Q0.7=0（上升电磁阀断开），并且 Q1.0=0（左旋电磁阀断开），则 Q1.1=1（右旋电磁阀闭合）。梯形图如图 4.17 所示。

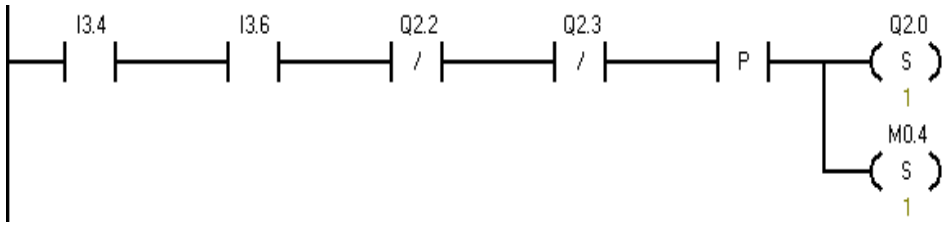


当 Q1.1=1（右旋电磁阀闭合）；且 I2.7=1（上升限位开关闭合）；且 I3.1=1（右旋限位开关闭合），则 Q1.1=0（右旋电磁阀断开）并且 M0.3=0（辅助继电器）。梯形图如图 4.18 所示。

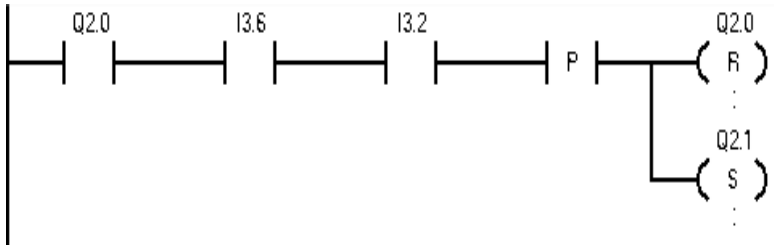


机械手 3 控制程序

当 I3.4=1（上升限位开关闭合）；且 I3.6=1（右旋限位开关闭合）；且 Q2.2=0（上升电磁阀断开）：且 Q2.3=0（左旋电磁阀断开），则 Q2.0=1（下降电磁阀闭合）；并且 M0.4=1（辅助继电器）。梯形图如图 4.19 所示。

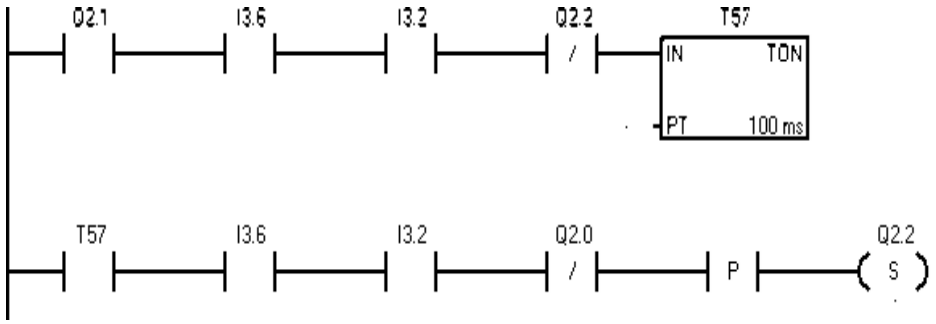


当 Q2.0=1（下降电磁阀闭合）；且 I3.6=1（右旋限位开关闭合）；且 I3.2=1（下降限位开关闭合），则 Q2.0=0（下降电磁阀断开）并且 Q2.1=1（夹放电磁阀闭合）。梯形图如图 4.12 所示。



当 Q2.1=1（夹放电磁阀闭合）；且 I3.6=1（右旋限位开关闭合）；且 I3.2=1（下降限位开关闭合）；Q2.2=0（上升电磁阀断开），则定时器 T57 启动定时。

当 T57=1（定时时间到）；且 I3.6=1（右旋限位开关闭合）；且 I2.2=1（下降限位开关闭合）；Q2.0=0（下降电磁阀断开），则 Q2.2=1（上升电磁阀闭合）。梯形图如图 4.21 所示。



当 Q2.2=1（上升电磁阀闭合）；且 I3.6=1（右旋限位开关闭合）；I3.4=1（上升限位开关闭合），则 Q2.2=0（上升电磁阀断开），并且 Q2.4=0（右旋电磁阀断开），则 Q2.3=1（左旋电磁阀闭合）。梯形图如图 4.22 所示。

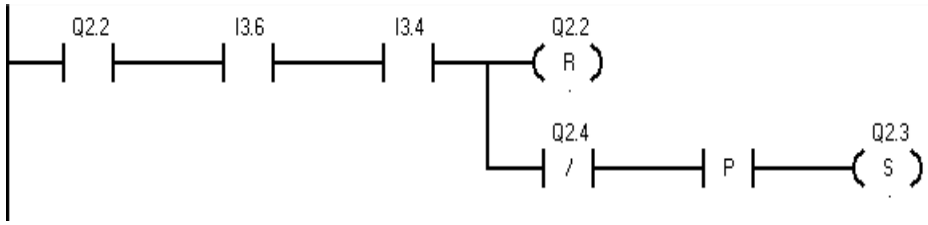
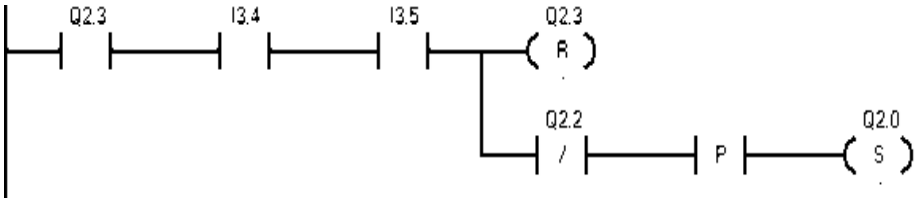
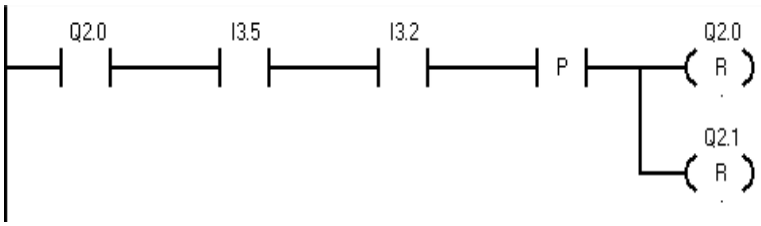


图 4.22 梯形图

当 Q2.3=1（左旋电磁阀闭合）；且 I3.4=1（上升限位开关闭合）；且 I3.5=1（左旋限位开关闭合），则 Q2.3=0（左旋电磁阀断开）并且 Q2.2=0（上升电磁阀断开）则 Q2.0=1（下降电磁阀闭合）。梯形图如图 4.23 所示。

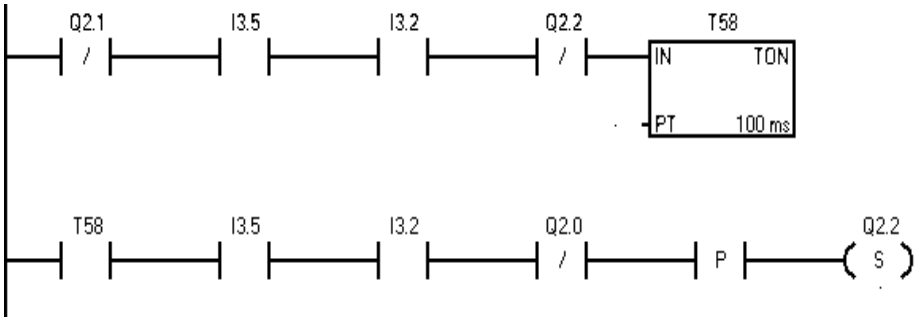


当 Q2.0=1（下降电磁阀闭合）；且 I3.5=1（左旋限位开关闭合）；且 I3.2=1（下降限位开关闭合），则 Q2.0=0（下降电磁阀断开）并且 Q2.1=0（夹放电磁阀断开）。梯形图如图 4.24 所示。



当 Q2.1=0（夹放电磁阀断开）；且 I3.5=1（左旋限位开关闭合）；且 I3.2=1（下降限位开关闭合）；Q2.2=0（上升电磁阀断开），则定时器 T58 启动定时。

当 T58=1（定时时间到）；且 I3.5=1（左旋限位开关闭合）；且 I3.2=1（下降限位开关闭合）；Q2.0=0（下降电磁阀断开），则 Q2.2=1（上升电磁阀闭合）。梯形图如图 4.25 所示。



当 Q2.2=1（上升电磁阀闭合）；且 I3.5=1（左旋限位开关闭合）；I3.4=1（上升限位开关闭合），则 Q2.2=0（上升电磁阀断开），并且 Q2.3=0（左旋电磁阀断开），则 Q2.4=1（右旋电磁阀闭合）。梯形图如图 4.26 所示。

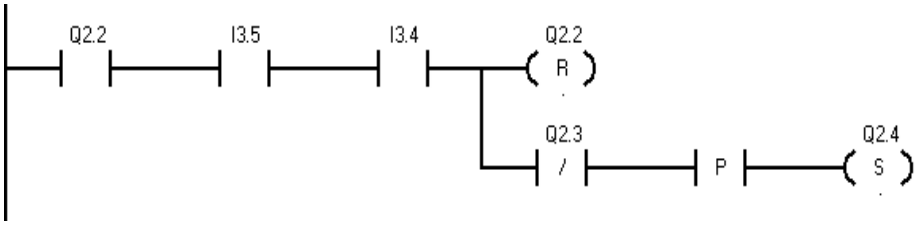
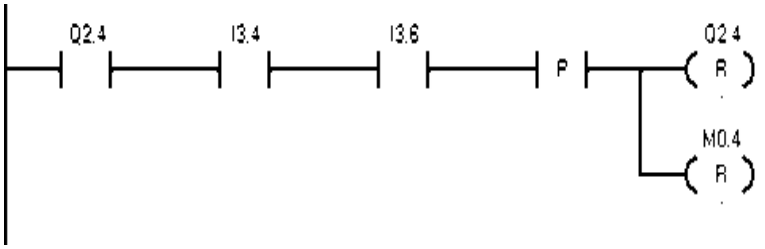


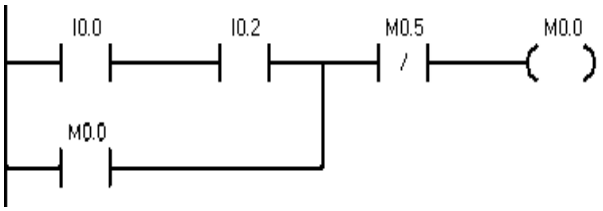
图 4.26 梯形图

当 Q2.4=1（右旋电磁阀闭合）；且 I3.7=1（上升限位开关闭合）；且 I3.6=1（右旋限位开关闭合），则 Q2.4=0（右旋电磁阀断开）并且 M0.4=0（辅助继电器）。梯形图如图 4.27 所示。

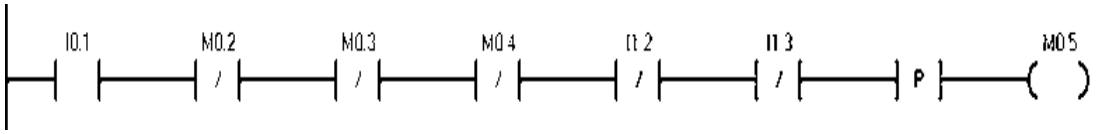


机械手群主程序

当 I0.0=1（总启动按钮闭合）；且 I0.2=1（手动/自动按钮闭合）；且 M0.5=0（系统停止辅助继电器），M0.0=1（机械手群自动方式辅助继电器）。梯形图如图 4.28 所示。



当，I0.1=1（总停止按钮闭合）；且 M0.2=0；且 M0.3=0；且 M0.4=0；且 I1.2=0（工作台 A 物品检测开关闭合）；且 I1.3=0（工作台 B 物品检测开关闭合）。则 M0.5=1（系统停止辅助继电器）。梯形图如图 4.29 所示。



当 M0.0=1（机械手群自动方式辅助继电器）；且 M0.2=0；且 M0.3=0；且 M0.4=0；且 I0.7=1（工作台 A 物品检测开关闭合）；且 I1.2=0（工作台 B 物品检测开关断开）；且 I1.3=0（工作台 C 物品检测开关断开）。启动定时器 T60 定时。

当 T60=1（定时时间到）调用机械手 1 控制程序。梯形图如图 4.30 所示。

当 M0.0=1（机械手群自动方式辅助继电器）；且 M0.2=0；且 M0.3=0；且 M0.4=0；且 I1.2=1（工作台 B 物品检测开关闭合）。启动定时器 T61 定时。

当 T61=1（定时时间到），调用机械手 2 控制程序。梯形图如图 4.31 所示。

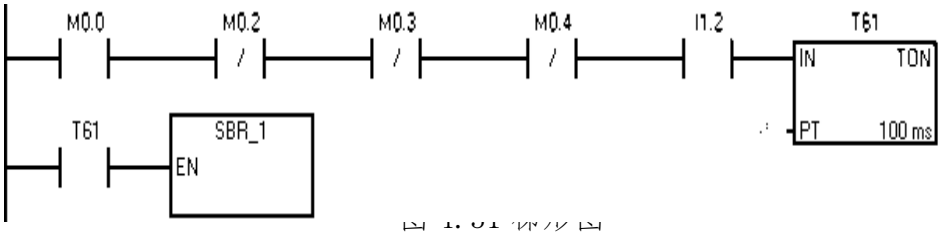
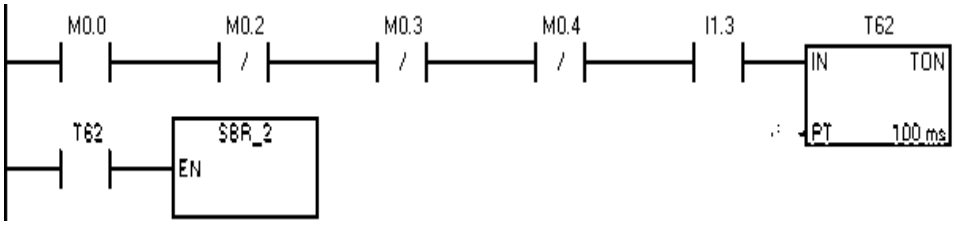


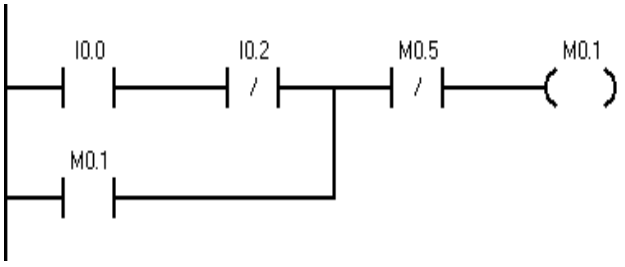
图 4.31 梯形图

当 M0.0=1（机械手群自动方式辅助继电器）；且 M0.2=0；且 M0.3=0；且 M0.4=0；且 I1.3=1（工作台 C 物品检测开关闭合）。启动定时器 T62 定时。

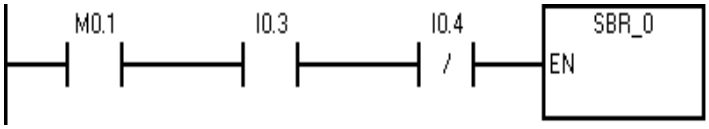
当 T62=1（定时时间到），调用机械手 3 控制程序。梯形图如图 4.32 所示。



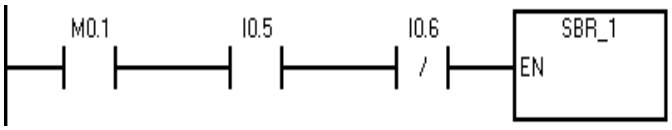
当 I0.0=1（总启动按钮闭合）；且 I0.2=0（手动/自动按钮断开）；且 M0.5=0（系统停止辅助继电器），M0.1=1（机械手群手动方式辅助继电器）。梯形图如图 4.33 所示。



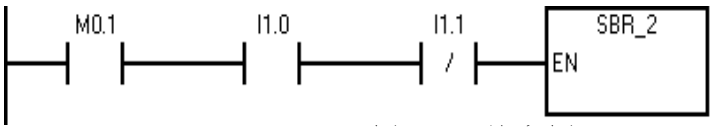
当 M0.1=1（机械手群手动方式辅助继电器）；I0.3=1（机械手 1 启动按钮闭合）；且 I0.4=0（机械手 1 停止断开），则调用机械手 1 控制程序。梯形图如图 4.34 所示。



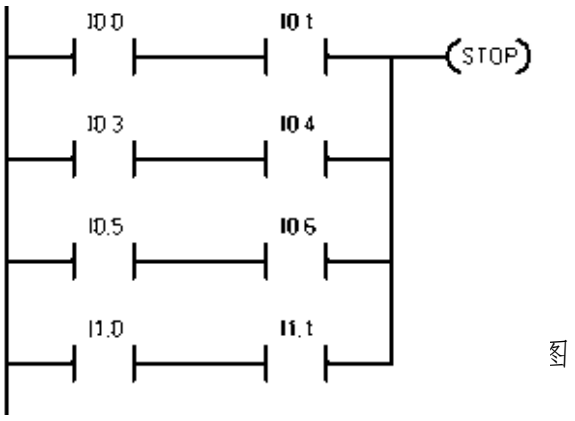
当 M0.1=1（机械手群手动方式辅助继电器）；I0.5=1（机械手 2 启动按钮闭合）；且 I0.6=0（机械手 2 停止断开），则调用机械手 2 控制程序。梯形图如图 4.35 所示。



当 M0.1=1（机械手群手动方式辅助继电器）；I1.0=1（机械手 2 启动按钮闭合）；且 I1.1=0（机械手 2 停止断开），则调用机械手 3 控制程序。梯形图如图 4.36 所示。



机械手总启动按钮合总停止按钮同时按下，PLC 转为停止状态。
机械手 1 启动按钮合停止按钮同时按下，PLC 转为停止状态。
机械手 2 启动按钮合停止按钮同时按下，PLC 转为停止状态。
机械手 3 启动按钮合停止按钮同时按下，PLC 转为停止状态。
梯形图如图 4.37 所示。



图

案例 7

PLC 与 MCGS 控制系统的设计

在进行 PLC 项目化教学时，会受制于 PLC 实训设备。例如：I/O 点数不够用，又不能进行扩展；项目化教学中要用到某些电气设备，而实训设备上没有提供，如没有行程开关，只好用一个人工手动的开关代替，导致无法流畅地进行 PLC 控制；项目实施不直观形象等。类似的问题会影响项目教学的实施和效果。在本模块中，我们介绍用组态软件模拟项目运行的方法，使用这种方法可以很好地解决以上问题。

组态软件是指用于数据采集与过程控制的软件，它们是自动控制系统监控层一级的软件平台和开发环境，通过使用灵活的组态方式，为用户提供快速构建具有工业自动控制系统监控功能的、通用层次的软件工具。目前我国引进的组态软件有：美国的 FIX32、iFIX，德国的 WinCC 等；国产的组态软件有北京亚控公司的组态王 Kingview、北京三维力控公司的 PCAuto、北京昆仑通态公司的 MCGS 等。

在本模块中，我们采用 MCGS 组态软件，该软件提供模拟运行和联机运行两种运行方式，使用模拟运行方式教学，无需购买大量的触摸屏硬件，仅仅通过组态软件在 PC 机上模拟运行，即可满足项目教学组态监控的要求，解决教学内容依赖于实训设备的问题。

项目 1　两人抢答器 MCGS 组态监控系统

一、项目目的

用昆仑通态触摸屏 MCGS 实现对两人抢答器的监控。

二、项目分析

按 PLC 程序设计和触摸屏组态两部分设计此监控系统。抢答器监控系统所有的操作和显示都在触摸屏上实现，所以不需要设计 PLC 外部的接线电路。模拟调试结束后，把触摸屏和 PLC 通过专用数据线连接好即可。设计本任务的关键是触摸屏和 PLC 间的数据连接，地址一定要对应好。

三、项目实施

1. 输入、输出地址分配

两人抢答器的 I/O 分配如表 7.1 所示。

表 7.1　两人抢答器 I/O 地址分配表

触摸屏变量名称	PLC 地址	读/写类型	触摸屏变量名称	PLC 地址	读/写类型
甲选手按钮	M0.0	读写	甲选手小灯	Q0.0	读写
乙选手按钮	M0.1	读写	乙选手小灯	Q0.1	读写
主持人按钮	M0.2	读写			

在模块 3 中，对按钮信号分配 I 继电器，对指示灯分配 Q 继电器。PLC 中 I 寄存器的状态只受外部状态影响，不能通过指令或者触摸屏修改 I 寄存器的状态，因此触摸屏中的选手按钮，不能使用 I 继电器，所以分配 I/O 地址时，用 M 继电器代替 I 继电器，这样就可以通过触摸屏读写 PLC 数据。

2. 梯形图程序

本任务的梯形图程序，请读者思考后解决。

3. 制作触摸屏组态画面

(1) 打开软件，建立变量

① 进入MCGS网站下载中心，下载MCGS嵌入版7.7，安装软件后。打开MCGS触摸屏软件，进入MCGS嵌入版组态环境，如图7.1所示。

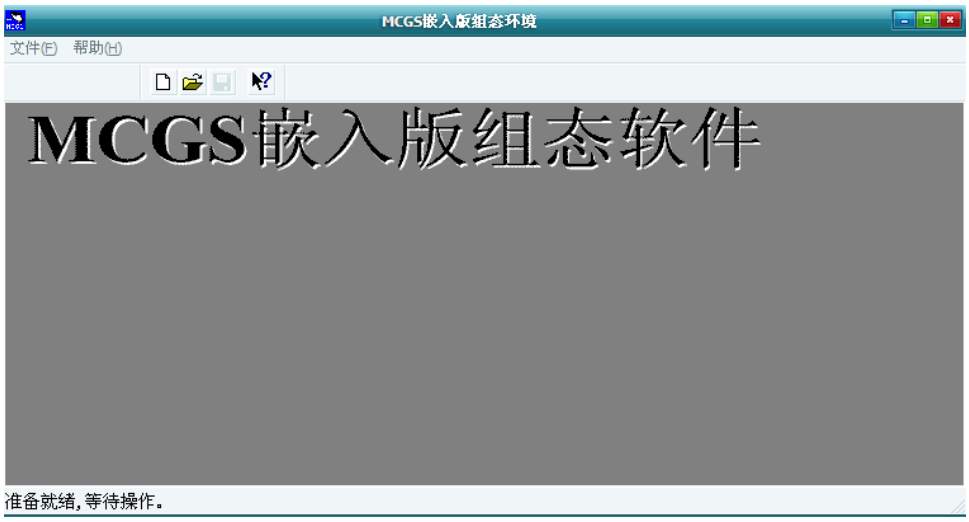


图7.1 MCGS组态环境

执行“文件”→“新建工程”菜单命令，打开“新建工程设置”对话框，如图7.2所示，接受默认的设置，单击“确定”按钮。

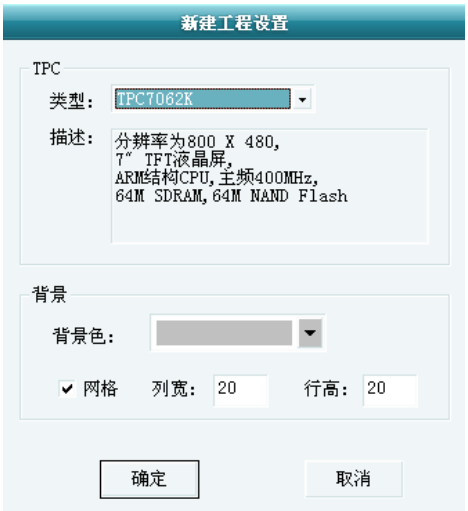


图7.2 “新建工程设置”对话框

进入组态环境的工作台窗口，如图7.3所示。

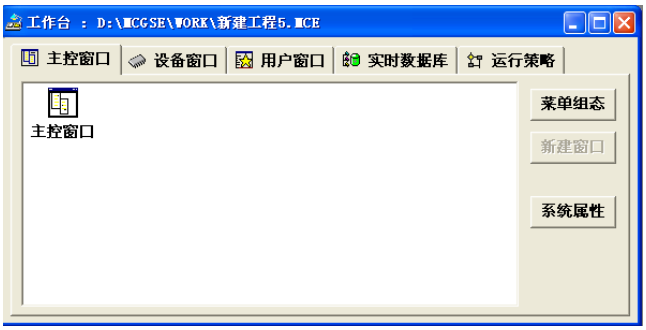


图7.3　触摸屏组态环境工作台

工作台窗口用来进行组态操作和属性设置。窗口中的5个标签分别对应主控窗口、设备窗口、用户窗口、实时数据库和运行策略5个小窗口。单击某个标签，即可激活相应的软件界面，进行组态操作；工作台右侧还设有创建对象和对象组态用的功能按钮。

② 配置设备窗口：进入“设备窗口”选项卡，单击鼠标右键，出现如图7.4所示的快捷菜单，执行“设备工具箱”命令，打开图7.5所示的“设备工具箱”对话框。

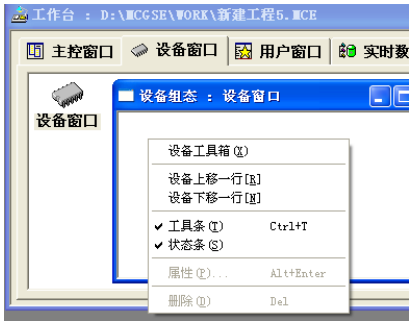


图7.4　快捷菜单

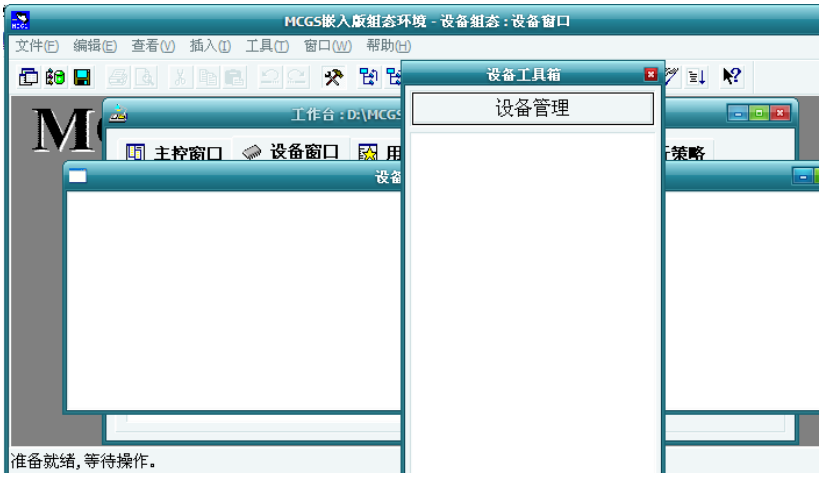


图 7.5　设备工具箱

第一次使用该软件时，需要添加设备。在 PLC 中选择西门子_S7200PPI，同时选择通用串口父设备。

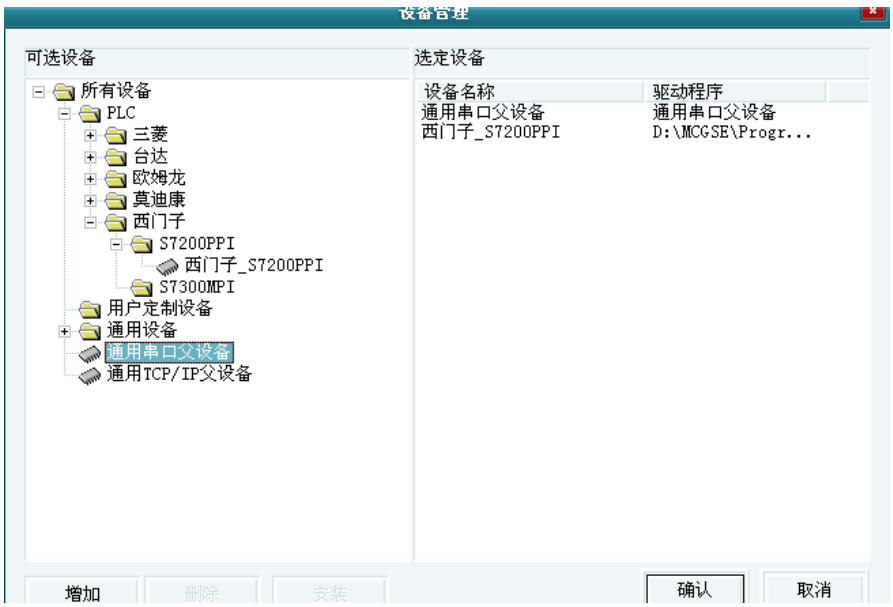
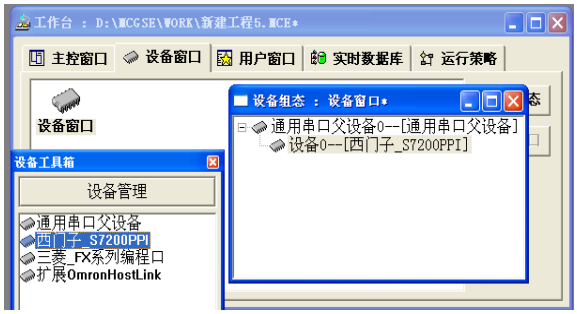


图7.6 “设备管理”窗口

多次使用后，在“设备工具箱”对话框中，可直接选择“通用串口父设备”和“西门子_S7200PPI”，把它们添加到“设备组态”窗口中，如图 7.7 所示。

双击“通用串口父设备”，打开通用串口设备属性窗口，如图 7.8 所示，在该窗口中，将串口端口号改为 COM1，将数据校验方式改为偶校验，通讯波特率和 PLC 的波特率保持一致。



设备属性名	设备属性值
设备名称	通用串口父设备0
设备注释	通用串口父设备
初始工作状态	1 - 启动
最小采集周期(ms)	1000
串口端口号(1~255)	0 - COM1
通讯波特率	6 - 9600
数据位位数	1 - 8位
停止位位数	0 - 1位
数据校验方式	2 - 偶校验

图 7.7 设备组态　　图 7.8 通用串口设备属性

单击“设备 0—[西门子_S7200PPI]”，打开设备编辑窗口，单击右侧的“删除全部通道”，然后根据表 7.1 增加 3 个 M 通道、2 个 Q 通道，如图 7.9 所示。最后保存设置结果。

图7.9 设备编辑窗口

③ 配置实时数据库：返回工作台窗口，单击“实时数据库”标签，进入实时数据库窗口，单击右侧“新增对象”按钮，打开“数据对象属性设置”对话框设置变量的属性，如图 7.10 所示。根据表 7.1 配置所有数据变量。注意，本项目中的变量对象类型均设为开关型。另一种建立变量的方法是，单击图 7.9 中“连接变量”列和“读写 Q000.0”行交叉空白处，打开对话框进行建立，此法更便捷。

图7.10　在实时数据库创建变量

④ 连接组态软件中的实时数据变量和 PLC 通道：进入第②步中的配置设备窗口，单击“设备 0—[西门子_S7200PPI]”，打开设备编辑窗口，如图 7.11 所示，双击需要进行连接通道的连接变量栏，在打开窗口中查找连接对象后，双击该对象完成连接。根据表 7.1 把所有实时数据变量与 PLC 通道连接，如 Q000.0 连接甲选手小灯变量，这一步非常关键，组态画面使用的是实时数据库里的变量(如“甲选手按钮”“乙选手小灯”等)，而 PLC 编程使用的是 PLC 变量(如 M0.0、Q0.1 等)，用触摸屏监控 PLC，必须把组态软件中的数据库里的变量和 PLC 变量连接起来。

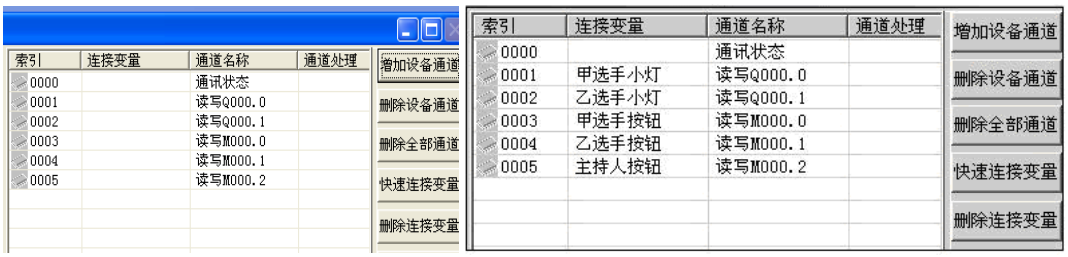


图7.11　组态软件实时数据库里的变量与PLC变量连接图

(2) 在用户窗口中绘制监控画面，并进行设置

① 新建用户窗口：返回工作台窗口，在工作台中激活用户窗口，单击“新建窗口”按钮，建立新画面“窗口0”，如图7.12所示。单击“窗口属性”按钮，进入“用户窗口属性设置”对话框，在“基本属性”页，将“窗口名称”设置为“欧姆龙PLC”，如图7.12所示，单击“确认”按钮，保存设置。

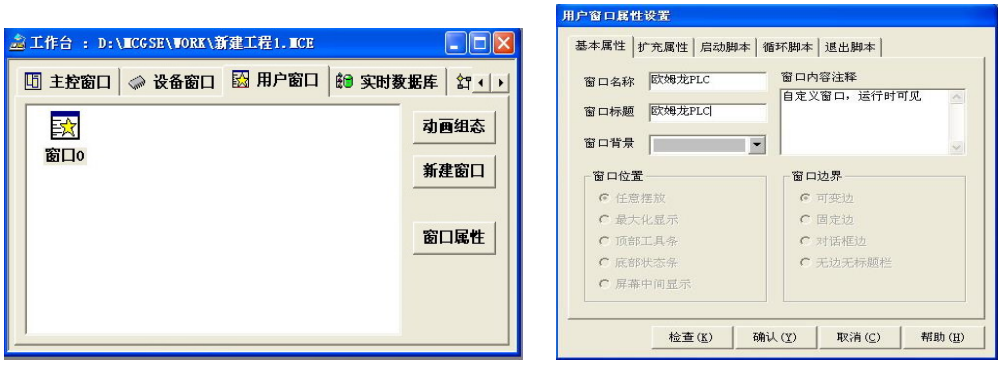


图 7.12　窗口新建

② 设置按钮：在用户窗口，双击主窗口，进入“动画组态欧姆龙PLC”窗口。单击菜单栏，打开“工具箱”。在工具箱中，选用标准按钮，设置按钮的操作属性，按1松0，并对应各自变量，如图7.13所示。

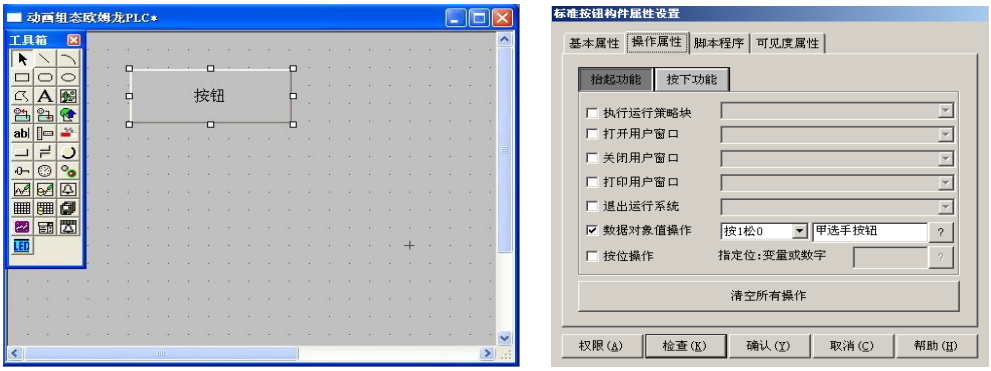


图7.13　设置按钮属性

③ 设置指示灯：从元件库中选择指示灯，设置指示灯时，选择填充不同的颜色。在本项目中，当“甲选手小灯”为 0 时，指示灯填充色为红色；“甲选手小灯”为 1 时，指示灯填充色为绿色，如图 7.14 所示。

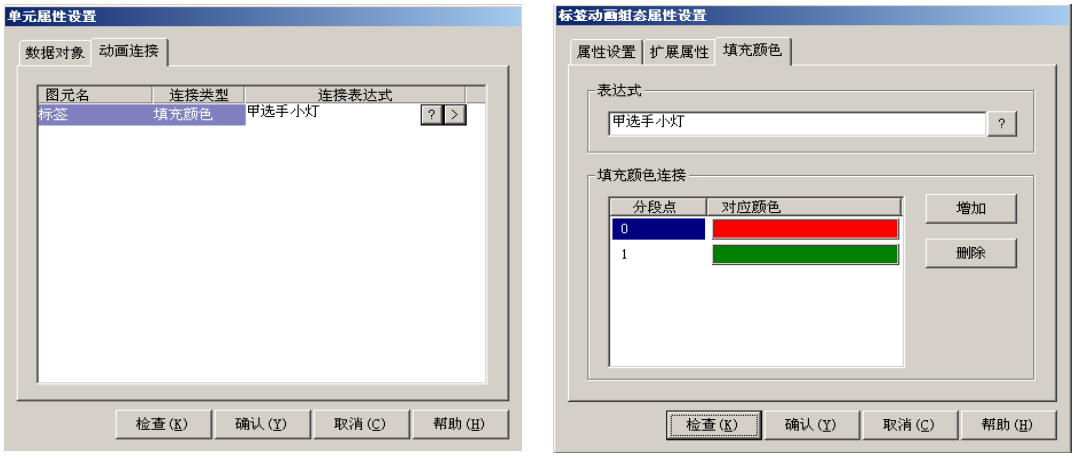


图7.14　设置指示灯属性

④ 将组态画面及相关数据下载到触摸屏：用 USB 线连接计算机和触摸屏硬件，执行组态软件的“工具”→“下载配置”菜单命令，出现对话框，设置“连机运行”为“USB 通讯”，单击“工程下载”。

(3) PLC 与触摸屏连线，用触摸屏监控 PLC，实现 2 人抢答器

用 PPI 通讯电缆，把 485 端口接到 PLC 通讯口，另一端接到触摸屏，触摸屏用 24V 直流供电。参考图 7.15 所示，制作两人抢答器监控画面。

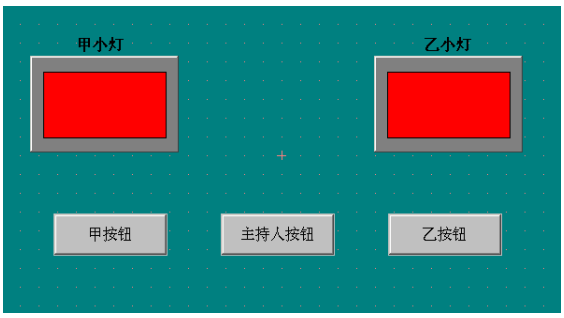


图7.15　触摸屏监控画面

(4)　虚拟项目

实训室里完全可以不用触摸屏硬件，直接用计算机上的组态软件模拟运行，与 PLC 通信，监控 PLC 各个数据。执行组态软件的“工具”→“下载配置”菜单命令，出现对话框，如图 7.16 所示，选中“模拟运行”，单击“工程下载”和“启动运行”按钮。注意组态软件、PLC 编程软件都用到 PC/PPI 电缆，串口共用，下载程序与组态监控时关闭 PLC 编程软件。这样模拟的组态画面，就可以与 PLC 进行数据发送与接收。

图7.16　下载配置图

使用计算机上的组态软件，单击鼠标后，数据要传给 PLC，PLC 执行完程序后，才能将结果返回计算机，因此有较大延时。

使用组态软件，学生自己做控制对象，自己编程序，有很大的趣味性，同时也能进一步掌握 MCGS 软件的应用。

四、项目拓展

① 设计带显示选手号的两人抢答器：在本项目的基础上，在组态中增添显示选手号的数码管(可以由七个矩形小灯搭建而成)，选手抢到抢答权后，对应小灯亮，并且显示该选手号。

② 设计四人抢答器，系统包括抢答选手号数码管显示，另外给主持人设置复位按钮。主持人未按开始按钮就抢答，抢答选手的选手号闪烁显示，犯规指示

灯亮;如果问题难度较大,主持人按开始按钮后,如果在一定时间内没有人抢答,超时指示灯亮，这时主持人可以按复位按钮，恢复按开始按钮前的状态。

项目 2　十字路口交通信号灯控制系统触摸屏监控

一、项目目的

用昆仑通态触摸屏 MCGS 实现对十字路口信号灯的监控。

二、项目分析

按 PLC 程序和触摸屏组态两部分设计此监控系统。信号灯监控系统所有的操作和显示都在触摸屏上实现，所以不需要设计 PLC 外部的接线电路，为了形象直观，在组态软件中组态十字路口的画面。本项目主要练习交通信号灯的监控和倒计时数码管的监控。

三、项目实施

根据项目的功能组成，把本项目分成 2 个任务实施，任务 1 主要完成十字路口交通控制系统的信号灯的监控，任务 2 在完成任务 1 的基础上，增加倒计时数码管显示功能，通过组态软件制作十字路口监控画面，实现过程的监控。

任务 1　十字路口信号灯监控系统

一、任务目的

在十字路口交通信号灯监控系统中，用昆仑通态触摸屏实现对系统的监控。东西南北 4 个方向中，每个方向都有红、黄、绿 3 个信号灯。

二、任务分析

将之前完成的实训台上的 PLC 控制十字路口信号灯,改为用触摸屏与 PLC 实现十字路口信号灯控制，为了提高任务的趣味性，增加可以移动的小车。

三、任务实施

1. 输入、输出地址分配

I/O 分配如表 7.2 所示。

表 7.2　十字路口交通信号灯监控系统 I/O 地址分配表

名称	PLC 地址	读/写类型	名称	PLC 地址	读/写类型
启动开关	M0.0	读写	南北红灯	M0.4	读写
东西红灯	M0.1	读写	南北绿灯	M0.5	读写
东西绿灯	M0.2	读写	南北黄灯	M0.6	读写
东西黄灯	M0.3	读写			

2. 控制系统程序

控制系统的梯形图程序，请读者思考后自行设计。

3. 触摸屏组态画面制作步骤

(1) 设置实时数据库中的变量

如图 7.17 所示，设置实时数据库中的变量。

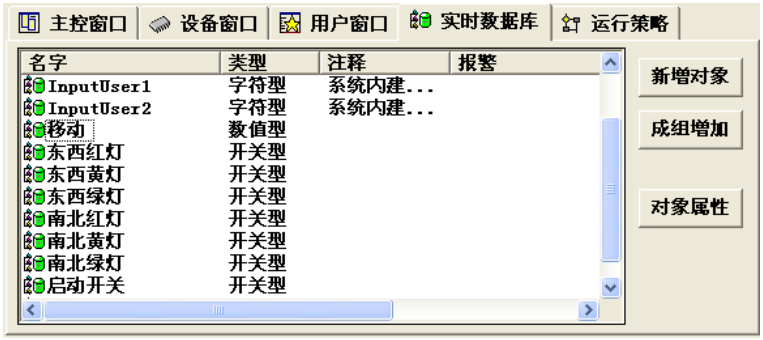


图7.17　实时数据库中的变量

在设备窗口里进入如图 7.18 所示的设备编辑窗口，将新加的组态变量与 PLC 变量相关联。

图 7.18　组态变量与 PLC 变量关联

(2) 用户窗口的制作

在动态组态窗口制作十字路口信号灯控制画面，如图 7.19 所示。

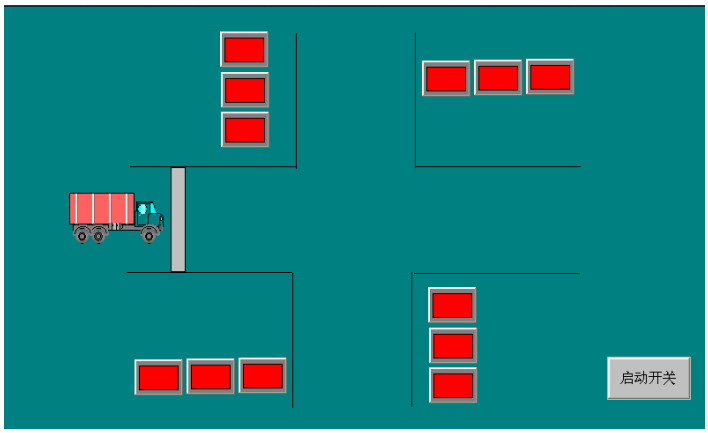


图7.19　用户窗口画面制作

组态画面中，有四组灯，南北两组信号灯设置一样，东西两组信号灯设置一样，动画连接都选用填充颜色，参考图 7.20 所示。

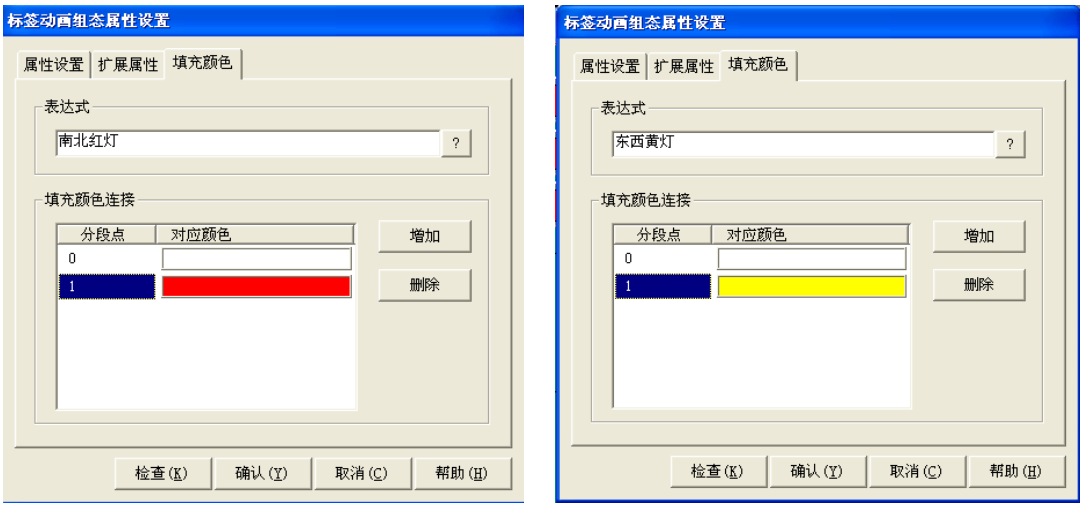


图 7.20　各个灯的属性设置

启动开关的设置采用开关，用“取反”来表示，按一下相当于开关闭合，再按一下相当于开关断开，如图 7.21 所示。

图 7.21　启动开关属性设置

在“查看”菜单中找到“绘图工具箱”，再找到“插入元件”，选定一个小车，双击小车，将其属性设置为水平移动，与数值量“移动”进行关联，“移动”为数值量，如图 7.22 所示。

图7.22　设置小车的属性

(3) 设置运行策略

返回工作台窗口，单击“运行策略”标签，进入“运行策略”选项卡，如图 7.23 所示，双击右下角的“策略属性”按钮，在弹出窗口中将循环时间由60000ms，改为 100ms。

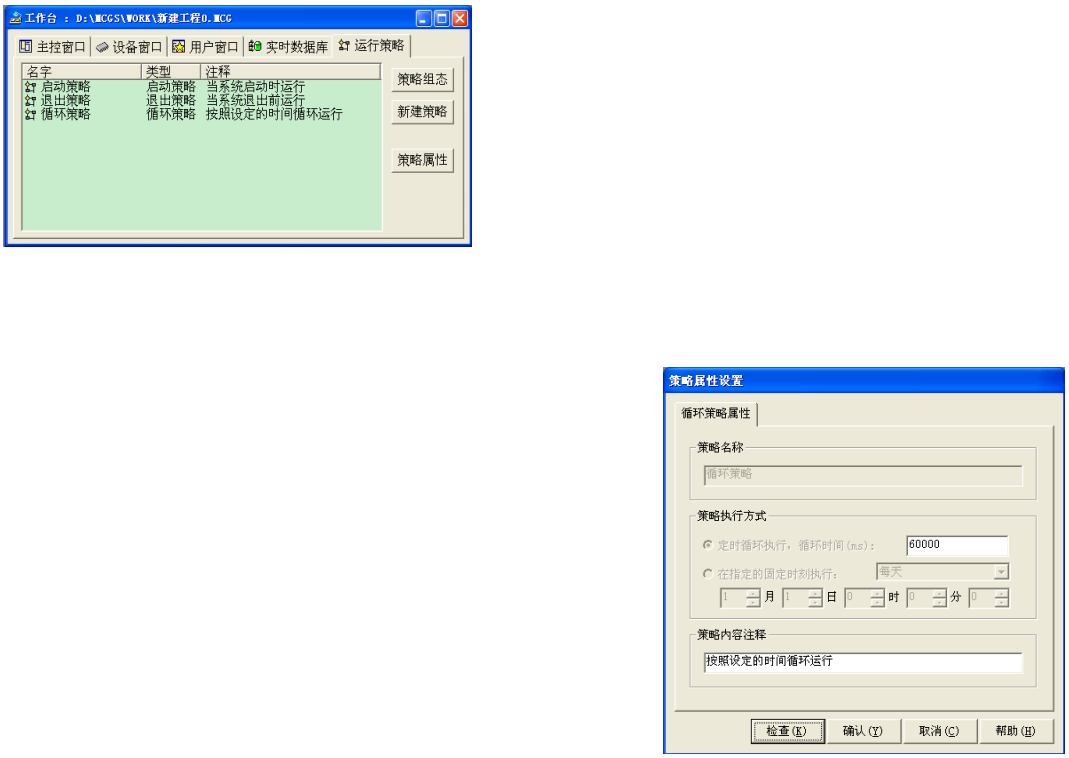


图7.23　修改策略属性时间

双击“循环策略”打开循环策略窗口，如图 7.24 所示，右键单击左上角图标，新增策略行。在窗口空白处单击右键，打开快捷菜单，单击“策略工具箱”。

图7.24　循环策略组态

选中新增策略行的最后一个空白框，双击策略工具箱中的“脚本程序”，打开脚本程序编辑窗口，如图 7.26 所示。在编写脚本程序时，最基本指令可以通过单击右下角的“指令”按钮选择，所用变量可以从右侧“数据对象”中选取，对于复杂的程序，还可能用到系统函数，可以从右侧“系统函数”中选取。

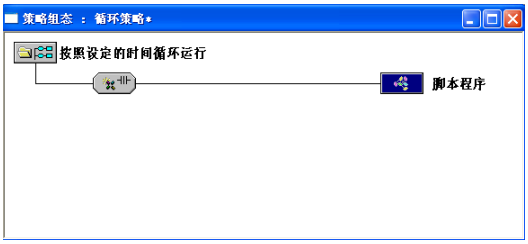


图7.25　增加脚本程序后的策略行

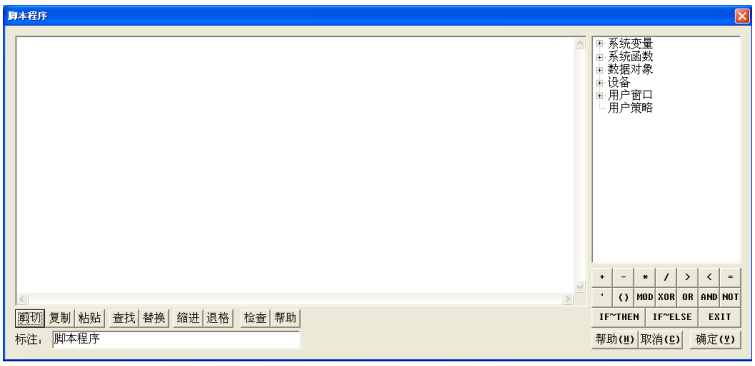


图7.26　脚本程序编辑窗口

在脚本程序编辑窗口内输入程序，如图 7.27 所示，单击窗口左下角的“检查”按钮，通过检查后，单击“确定”按钮，保存编写的脚本程序。

执行组态软件的“工具”→“下载配置”菜单命令，出现“下载配置”对话框，如图 7.28 所示，选中“模拟运行”，单击“工程下载”和“启动运行”按钮。

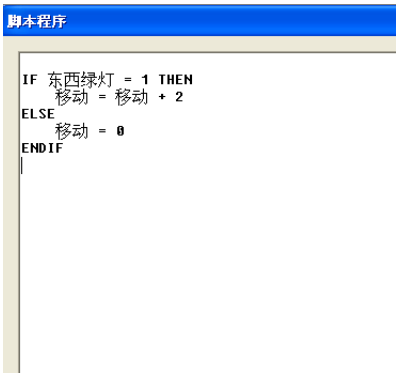


图7.27　编写脚本程序

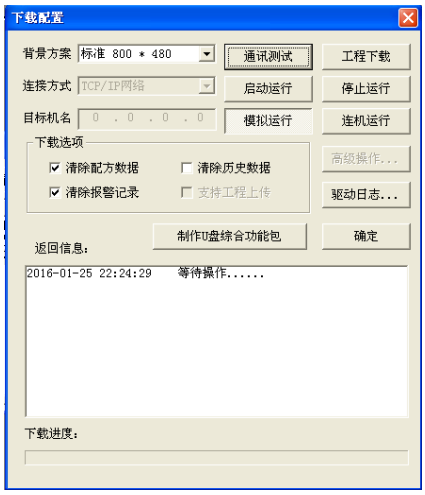


图7.28　模拟运行

不必使用 MCGS 触摸屏，用电脑组态画面就能监控 PLC 中程序的运行，并且在东西绿灯亮的同时，小车就能做水平移动。

任务 2　数码管倒计时十字路口交通灯

一、任务目的

在十字路口交通信号灯监控系统中，用昆仑通态触摸屏实现对系统的监控。东西南北 4 个方向中，每个方向都有红、黄、绿 3 个信号灯，红、黄、绿信号灯

工作的时序，如图 7.29 所示，当红灯亮的时候，用两个数码管分别显示倒计时时间。

二、任务分析

按 PLC 程序设计和触摸屏组态两部分设计此监控系统，所有操作和显示都在触摸屏上实现，所以不需要设计 PLC 外部的接线电路，模拟调试结束后，把触摸屏和 PLC 通过专用数据线连接好即可。东、西方向和南、北方向的控制完全相同，设计时，东、西方向和南、北方向的指示灯和数码管设置完全相同。设计 PLC 程序时，时间可以采用如下步骤显示：首先得到倒计时的时间值，如南北红灯亮时，要得到 30 到 0 范围内每隔 1 秒数据值减 1 的一个数据；其次要把这个数据转换成十位和个位的 2 位 BCD 码，最后把 2 位 BCD 码经译码送数码管显示。设计触摸屏组态时，画面主要包括 1 个启停开关、4 个方向各 3 个指示灯和 2 位数码管，指示灯和数码管的亮灭通过填充颜色来实现，另外在每个方向上制作小车，按照交通规律运动，小车的运动由循环策略来实现。设计本任务的关键是触摸屏和 PLC 间的数据连接，地址一定要对应好。

图 7.29　交通信号灯工作时序图

三、任务实施

1. 输入、输出地址分配

I/O 分配如表 7.3 所示。

表 7.3　十字路口交通信号灯监控系统地址分配表

名称	PLC 地址	读/写类型	名称	PLC 地址	读/写类型
启停开关	M0.0	读写	东西方向个位数码管	MB1	读写
东西红灯	M0.1	读写	东西方向十位数码管	MB2	读写
东西绿灯	M0.2	读写	南北方向个位数码管	MB3	读写
东西黄灯	M0.3	读写	南北方向十位数码管	MB4	读写
南北红灯	M0.4	读写	南北黄灯	M0.6	读写
南北绿灯	M0.5	读写			

2. 控制系统程序

控制系统的梯形图程序，请读者思考后自行设计。

3. 触摸屏组态画面制作步骤

(1) 设置实时数据库中的变量

在实时数据库里新增对象，如表 7.4 所示。

表 7.4　十字路口交通信号灯监控系统触摸屏实时数据库中建立的对象

序号	对象名称	对象类型	序号	数据名称	对象名称	对象类型
1	东西红灯	开关型	10～16	南北个位数码管	a11、b11、c11、d11、e11、f11、g11	开关型
2	东西黄灯	开关型				
3	东西绿灯	开关型	17～23	南北十位数码管	a12、b12、c12、d12、e12、f12、g12	
4	南北红灯	开关型				
5	南北黄灯	开关型	24～30	东西个位数码管	a21、b21、c21、d21、e21、f21、g21	
6	南北绿灯	开关型				
7	启停按钮	开关型	31～37	东西十位数码管	a22、b22、c22、d22、e22、f22、g22	
8	东西车	数值型				
9	南北车	数值型				

(2) 设置用户窗口

① 新建用户窗口：在用户窗口中新建一个窗口，设置窗口名称为“主窗口”。

② 设置启停按钮：设置启停按钮的操作属性，按下时取反，对应变量“启停按钮”。

③ 设置指示灯：先设置南方向的 3 个指示灯，然后把它们复制粘贴在北方向上，再设置东方向的 3 个指示灯，复制粘贴在西方向上。设置每个指示灯的颜色属性，使它们在不亮时显示灰色，亮时分别显示各自的颜色，并且对应各自的开关变量。如南北方向的红灯连接“南北红灯”，填充颜色窗口，当连接变量为“0”时显示灰色，连接变量为“1”时显示红色，如图 7.30 所示。南、北和东、西方向的指示灯完全相同，所以可以先设置好南、东两个方向，对另两个方向，复制粘贴即可。

图 7.30　设置指示灯填充颜色

④ 设置 7 段数码管：用 7 个指示灯或管道等对象元件，制作成 7 段数码管的形状，每段对应各自的开关变量。设置每段的颜色属性，使它们在不亮时显示灰色，亮时分别显示亮颜色。如南北方向的个位数码管 7 段按顺序连接 a11、b11、c11、d11、e11、f11、g11，当连接变量为“0”时显示灰色，连接变量为“1”时显示红色。同信号灯制作相同，也可以通过复制粘贴简化操作。

⑤ 设置运动小车：在东西南北 4 个方向上各放置 1 个小车，在“水平移动”选项卡中，连接“东西车”和“南北车”变量。设置水平移动连接的数值大小，确定小车移动的偏移量。如图 7.31 所示。

(3) 设置设备窗口

① 在设备窗口中添加“通用串口父设备 0-[通用串口父设备]”和“设备 0-[西门子_S7200PPI]”。

图 7.31 设置小车水平运控

②“通用串口父设备 0-[通用串口父设备]”的设置如图 7.32 所示，串口端口号为“0-COM1”，通讯波特率与 PLC 程序的波特率相同，数据校验方式为“2-偶校验”。

③ 在设备 0-[西门子_S7200PPI]窗口，删除原有的设备通道，添加 M 寄存器通道，如图 7.33 所示。

设备属性名	设备属性值
设备名称	通用串口父设备0
设备注释	通用串口父设备
初始工作状态	1 - 启动
最小采集周期(ms)	1000
串口端口号(1~255)	0 - COM1
通讯波特率	6 - 9600
数据位位数	1 - 8位
停止位位数	0 - 1位
数据校验方式	2 - 偶校验

图 7.32 通用串口父设备 0 设置窗口

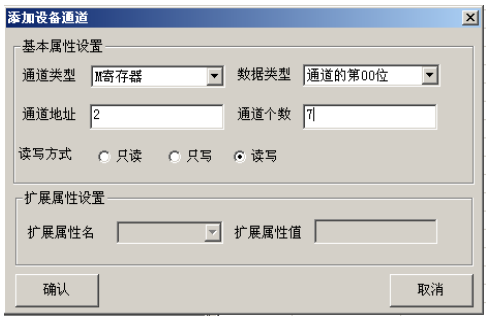


图 7.33 添加设备通道窗口

④ 如图 7.34 所示，在设备编辑窗口设置通道与变量的连接，然后单击“确认”按钮。

图 7.34 在设备编辑窗口中设置通道与变量的连接

(4) 设置运行策略

① 在工作台窗口，进入“运行策略”选项卡，单击“策略属性”按钮，或者在“循环策略”行单击鼠标右键，打开快捷菜单，执行“属性”命令，出现“策略属性设置”对话框，在“循环时间”框中输入 300，如图 7.35 所示，单击“确认”按钮。

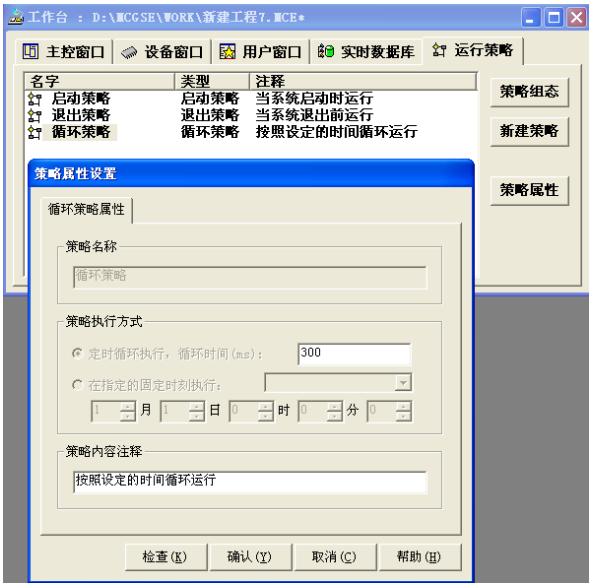


图7.35　循环“策略属性设置”对话框

② 在工作台窗口，双击“循环策略”出现“策略组态”窗口，在窗口任意空白处单击鼠标右键，打开快捷菜单，执行“新增策略行”命令，如图 7.36 所示，单击选中“策略组态”窗口右侧的蓝色方框后，双击策略工具箱的“脚本程序”，蓝色的方框位置右侧会出现脚本程序字样，双击“脚本程序”，出现脚本程序编辑窗口。

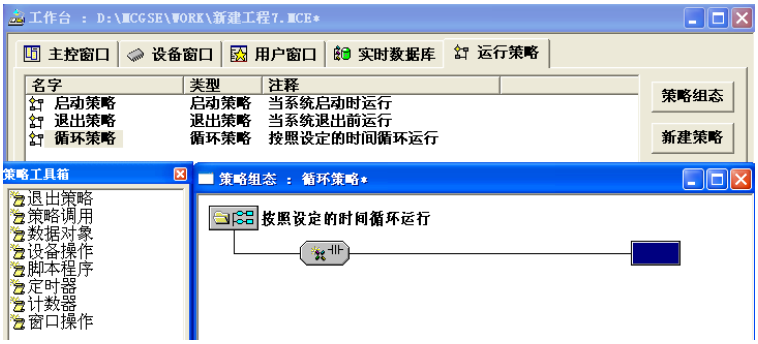


图7.36　循环“策略属性设置”对话框

在脚本程序编辑窗口中输入如下程序：

```
IF（东西绿灯=1） THEN
    东西车=东西车+1
ENDIF
IF（南北绿灯=1） THEN
    南北车=南北车+1
ENDIF
```

(5) 下载工程，模拟运行

过程从略。

4. 操作过程

① 认识 PLC 实验台，找到本次实训所用的实验面板，并正确接线，检查无误后接通实验台电源。

② 打开计算机中的编程软件，编辑控制程序后，下载给 PLC。

③ 使用软件中的运行按钮运行程序，或者把 PLC 的运行开关拨到 RUN 状态运行程序。

④ 打开程序状态监控，观察结果，反复调试，直至满足要求。

⑤ 关闭 PLC 编程软件，打开触摸屏应用软件，按步骤组态。

⑥ 触摸屏组态工程下载，模拟运行，反复调试，直至满足要求；

⑦ 关闭试验台电源，用专用数据线连接触摸屏和 PLC，并给触摸屏接 24V 供电电源，用专用数据线把触摸屏连接到计算机。

⑧ 打开试验台电源开关，把 PLC 的运行开关拨到 RUN 状态，触摸屏组态工程下载，连机运行操作，观察结果。

四、任务拓展

在本项目任务 1 的基础上，给东西方向和南北方向各加一个数码管显示，对于东西红灯和南北红灯，在红灯亮的最后 9 秒中，用数码管显示倒计时时间，计时为零后不再显示，直到红灯下一次亮的时候再显示 9 秒倒计时。

项目 3　自动往返小车控制仿真

一、项目目的

在 PLC 实训台上用限位开关实现小车自动往返比较困难，而很多项目都涉及限位开关、行程开关，借助 MCGS 中的滑动输入器，在组态中定义“左限位”和“右限位”，可以实现虚拟项目“小车自动往返”，从而丰富实训项目，提升学生编程能力，熟悉组态的制作。

二、项目分析

要实现小车自动往返，需要设置启动开关、左限位、右限位，电机正转时小车右行，电机反转时小车左行。小车初始位置在左限位处，启动开关闭合后，右行 Q0.0 为 1，离开左限位，小车保持右行，直到到达右限位开关，停止右行，左行 Q0.1 为 1，离开右限位，小车保持左行，到达左限位，循环往复。

三、项目实施

1. 输入、输出地址分配

I/O 分配如表 7.5 所示。

表 7.5　自动往返小车控制系统 I/O 地址分配表

名称	PLC 地址	读/写类型	名称	PLC 地址	读/写类型
启动开关	M0.0	读写	右行	Q0.0	读写
左限位	M0.1	读写	左行	Q0.1	读写
右限位	M0.2	读写			

2. 控制系统程序

控制系统的梯形图程序，请读者思考后自行设计。

3. 触摸屏组态画面制作步骤

(1) 设置实时数据库中的变量

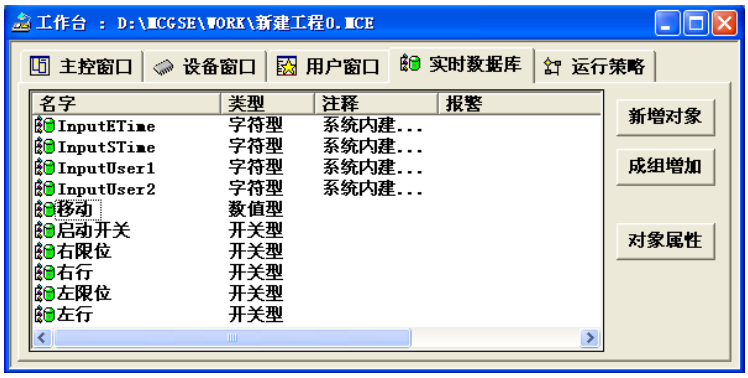


图 7.37　实时数据库中的变量

图 7.38　组态变量与 PLC 变量关联

(2) 用户窗口的制作

按图 7.39 所示，设置用户窗口。

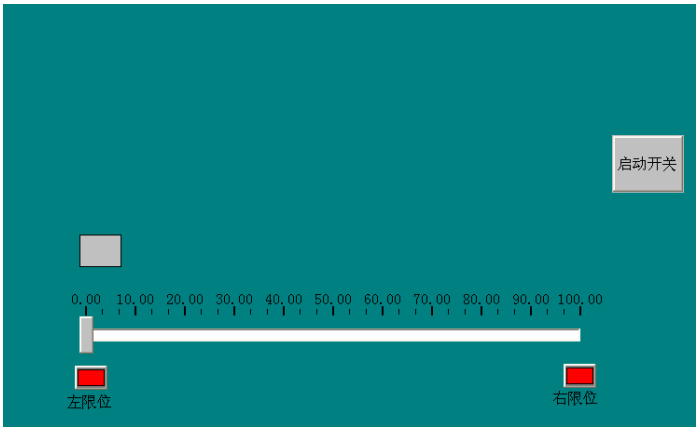


图 7.39　用户窗口画面

红色矩形框表示的滑动输入器只是个参照物，用于设定虚拟的“左限位”“右限位”，按图 7.40 所示设置其属性。

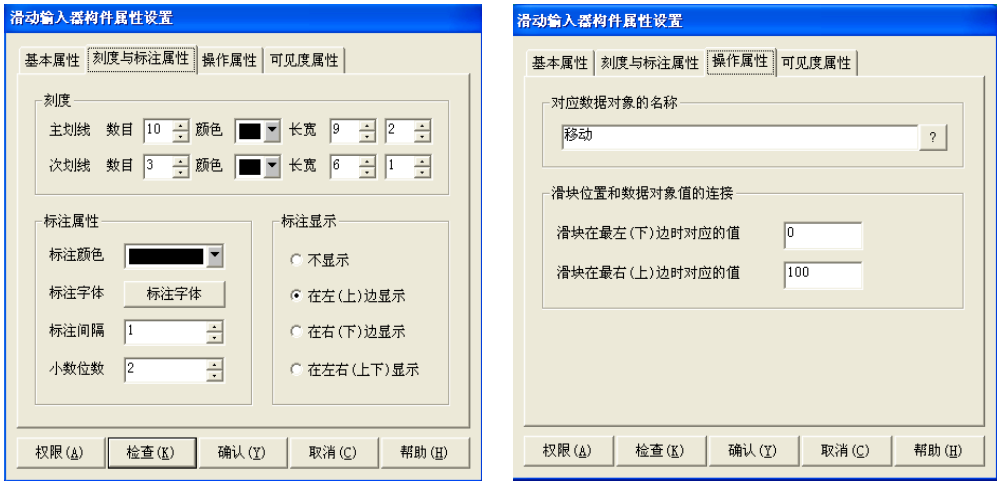


图 7.40　滑动输入器的属性设置

启动开关采用的是开关，左、右限位用一个指示灯显示当前的状态，如图 7.41 所示。

图7.41　限位开关指示灯属性设置

小车用一个矩形框代替，属性设置为水平移动，与数值量“移动”进行关联，属性设置如图 7.42 所示。

图 7.42　小车的属性设置

(3) 运行策略

在工作台窗口双击“循环策略”打开循环策略窗口，右键单击策略工具箱，然后右键单击新增策略行，双击策略工具箱中的“脚本程序”，打开“脚本程序”编辑窗口。

图7.43　编写脚本程序

为了 PLC 与组态进行互动，必须用程序定义组态变量“左限位”“右限位”，还要设置组态变量“左行”“右行”如何动作，如图 7.43 所示。

执行组态软件的“工具”→“下载配置”菜单命令，出现“下载配置”对话框，选中“模拟运行”，单击“工程下载”和“启动运行”按钮。不必使用 MCGS 触摸屏，用电脑组态画面监控 PLC 中程序的运行，小车就能做水平往返移动。

项目实施中，矩形框可能不与滑动输入器一起达到数值 100，存在一定的误差。

四、项目拓展

1. 在本项目基础上，将启动开关变为启动按钮，增加停止按钮。控制过程：启动按钮按下，小车右行，到达右限位后左行，到达左限位后右行，如此循环。在此过程任意时刻，按下停止按钮，小车停止运动，再按下启动按钮，小车先回原点，后往返运行。

2. 在本项目基础上，将启动开关变为启动按钮，增加停止按钮。控制过程：启动按钮按下，小车右行，到达右限位后左行，到达左限位后右行，如此循环。在此过程任意时刻，按下停止按钮，小车停止，再按下启动按钮，小车在原来的基础上继续运动，停止前右行，启动后继续右行；停止前左行，启动后继续左行，继续往返运行。

项目 4　液体混合控制系统仿真

一、项目目的

构建液体混合控制系统，定义多个限位开关，插入多个输入框，实现较为复杂的液体混合控制。

二、项目分析

有 A、B、C 三个液体料仓，一个小车，一个混合料仓坑。控制要求：在触摸屏中的 3 个输入框中分别输入各种物料的车数，单击开始按钮后小车开始运料，先运完所有车次的 A 料，再运 B 料的所有车次，最后运 C 料，把所有液体运至料坑卸料，装 A、B、C 料以定时 5s 为标志，卸料以定时 3s 为标志，运料结束或单击停止按钮后小车回到原点结束。

三、项目实施

1. 输入、输出地址分配

I/O 分配如表 7.6 所示。

表 7.6　液体混合控制系统 I/O 地址分配表

名称	PLC 地址	读/写类型	名称	PLC 地址	读/写类型
开始按钮	M10.0	读写	右行	Q0.0	读写
A 料位	M10.1	读写	左行	Q0.1	读写
B 料位	M10.2	读写	卸料	Q0.2	读写
C 料位	M10.3	读写	装 A 料	Q0.3	读写
卸料位	M10.4	读写	装 B 料	Q0.4	读写
停止按钮	M10.5	读写	装 C 料	Q0.5	读写
A 料输入	VD200	读写	C 料输入	VD208	读写
B 料输入	VD204	读写			

2. 控制系统程序

控制系统的梯形图参考图 7.44～图 7.49。

开始时，可以先不设置输入框输入变量，直接先编写装 3 车 A 料，2 车 B 料，2 车 C 料的程序。

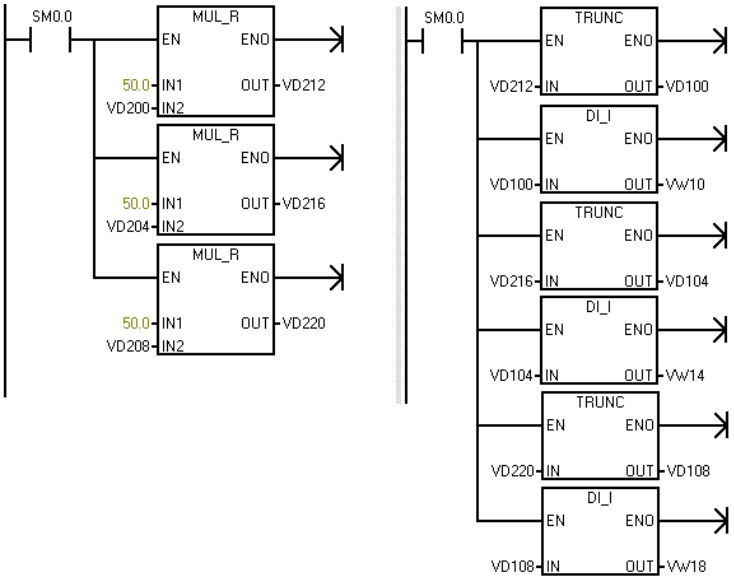


图 7.44　梯形图 a

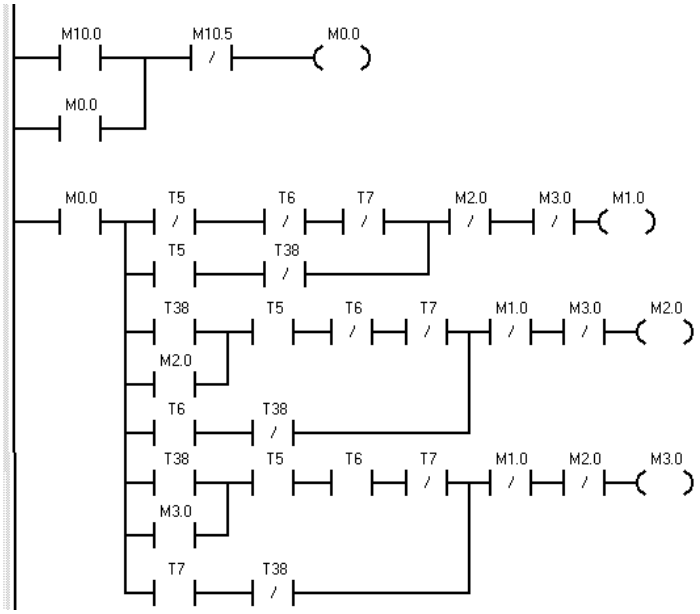


图 7.45　梯形图 b

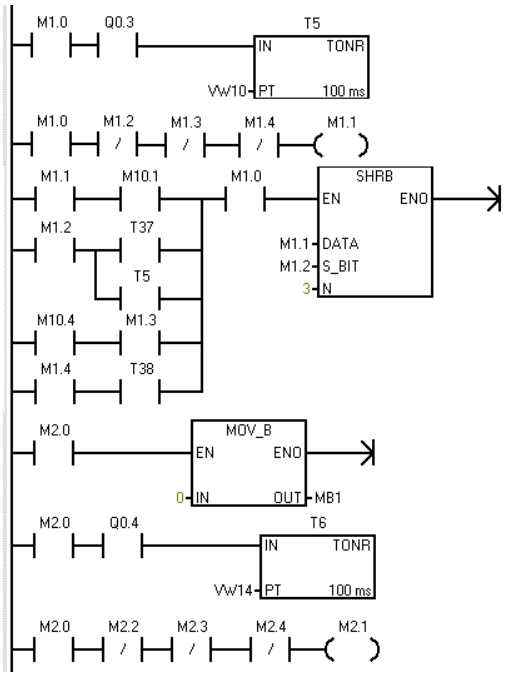


图 7.46　梯形图 c

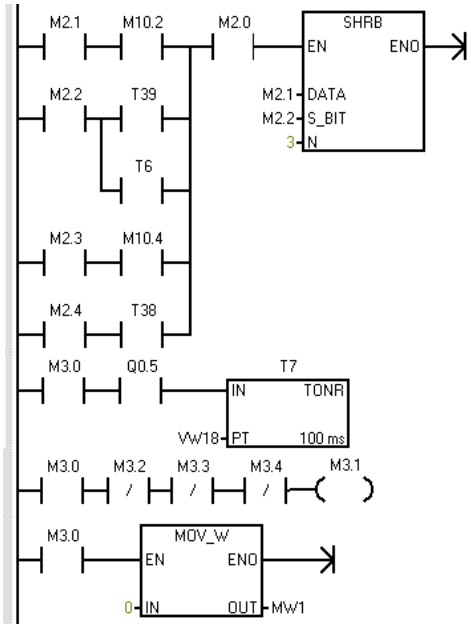


图 7.47　梯形图 d

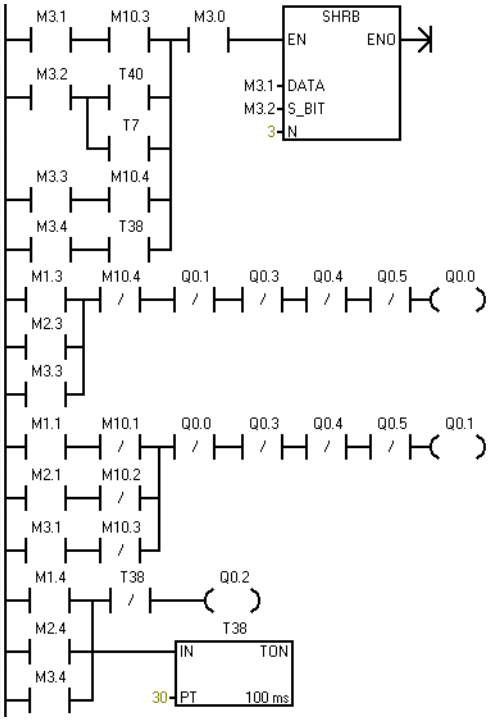


图 7.48　梯形图 e

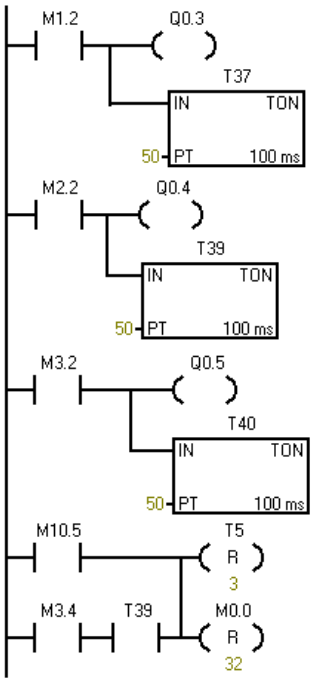


图 7.49　梯形图 f

3. 触摸屏组态画面制作步骤

(1) 设置实时数据库中的变量

索引	连接变量	通道名称	通道处理
0000		通讯状态	
0001	右行	读写Q000.0	
0002	左行	读写Q000.1	
0003	卸料	读写Q000.2	
0004	装A料	读写Q000.3	
0005	装B料	读写Q000.4	
0006	装C料	读写Q000.5	
0007	开始	读写M010.0	
0008	A料位	读写M010.1	
0009	B料位	读写M010.2	
0010	C料位	读写M010.3	
0011	卸料位	读写M010.4	
0012	停止	读写M010.5	
0013	A料输入	读写VDF200	
0014	B料输入	读写VDF204	
0015	C料输入	读写VDF208	

图7.50 组态变量与PLC变量关联

(2) 用户窗口的制作

按图 7.51 所示制作用户窗口。

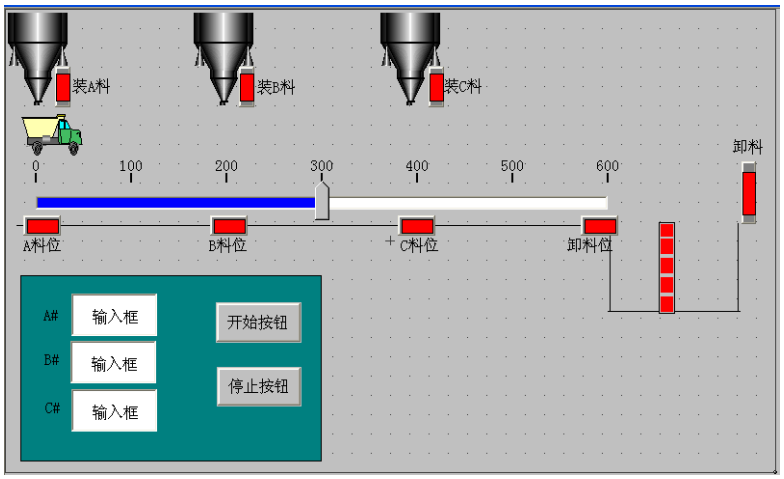


图 7.51 用户窗口画面制作

在设备工具箱中找到“滑动输入器”，滑动输入器只是参照物，方便于设定虚拟的 A 料位、B 料位、C 料位、卸料位，其中 A 料位、B 料位、C 料位、卸料位将在后续循环策略中进行定义如图 7.56。双击滑动输入器，设置其操作属性如图 7.52 所示。

图7.52　滑动输入器的属性设置

设备工具箱中找到“输入框”，双击矩形框。设置操作属性，A 料输入框对应数据对象 A 料输入，单位为车，如果输入是整车，小数位为 0，如果输入时半车，小数位为 1。可见度属性不用设置，其属性设置如图 7.53 所示。

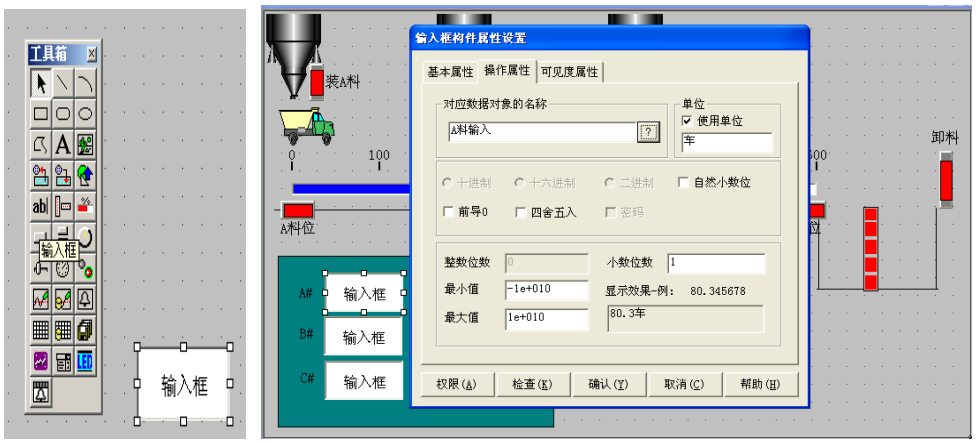


图7.53　输入框属性设置

A 料位指示灯对应 A 料位的值。装 A 料动作关联装 A 料组态变量，属性设置如图 7.54 所示。

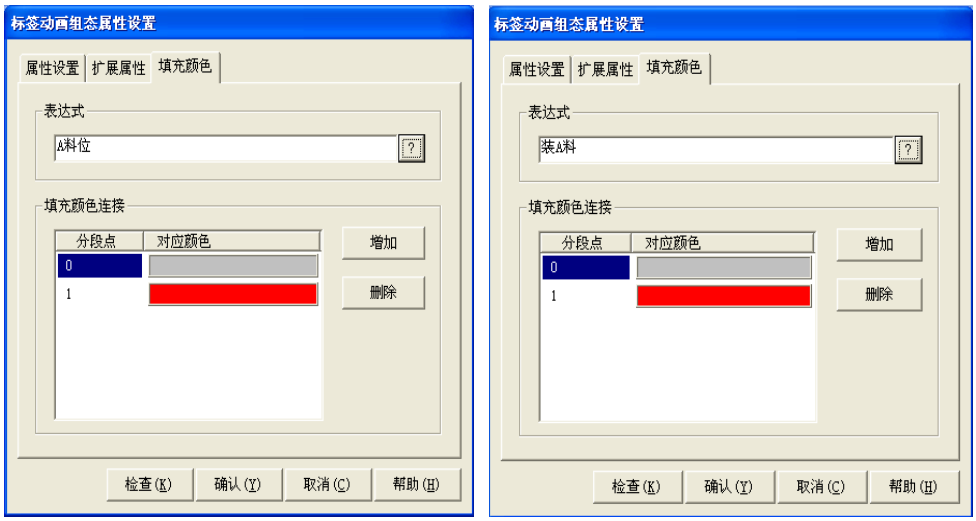


图7.54　A料位和装A料指示灯属性设置

小车的属性设置为水平移动，与数值量“移动”进行关联。

图7.55　小车的属性设置

(3) 运行策略

在工作台窗口打开循环策略窗口，右键单击策略工具箱，然后右键单击新增策略行，双击策略工具箱中的“脚本程序”，打开“脚本程序”编辑窗口。

为了 PLC 与组态进行互动，必须在程序中定义组态变量“A 料位”“B 料位”“C 料位”“卸料位”，还要设置组态变量“左行”“右行”如何动作，如图 7.56 所示。

```
IF 移动  < 5 THEN
  A料位 = 1
ELSE
  A料位 = 0
ENDIF

IF 移动  > 198  AND 移动  < 202 THEN
    B料位 = 1
ELSE
   B料位  = 0
ENDIF

IF 移动 > 398 AND 移动 < 402 THEN
    C料位 = 1
ELSE
    C料位 = 0
ENDIF


IF 移动 > 595 THEN
    卸料位 = 1
ELSE
   卸料位= 0
ENDIF

IF 右行 = 1 THEN
   移动  = 移动 + 5
ELSE

ENDIF


IF 左行 = 1 THEN
    移动 = 移动 - 5
ELSE

ENDIF
```

图 7.56　编写脚本程序

按前面的相关叙述，模拟运行。不必使用 MCGS 触摸屏，用电脑组态画面监控 PLC 中程序运行，小车就能按 A 料、B 料、C 料装料卸料，回到原点。项目实施中小车可能不和滑动输入器同步，存在一定的误差。

四、项目拓展

1. 在完成本项目的基础上，将输入的 A 料车数、B 料车数、C 料车数改为半车的整数倍，比如 2.5 车、3.5 车、4.0 车，继续完成液体混合控制。

2. 将 A 料车数、B 料车数、C 料车数改为由触摸屏输入。

项目 5　机械手控制系统仿真

一、项目目的

在水平移动和垂直移动方向上定义左上、左下、右上、右下四个限位开关，定义上升、下降、左行、右行四个动作，实现机械手控制仿真的单周期操作、单步操作、循环操作，锻炼编程能力。

二、项目分析

初始状态时，机械手位于最左上角位置处，上限位行程开关 SQ2、左限位行程开关 SQ4 为 ON，机械手的手抓处于放松状态，手抓电磁阀 YV1 为 OFF，称此位置为原点位置。按下启动按钮 SB1 后，下降电磁阀 YV0 得电。机械手开始自动运行。机械手先下降，至下限位行程开关 SQ1 变为 ON 时，手抓电磁阀 YV2 变为 ON，抓紧工件，延时后上升。上升到最上方，上限位行程开关 SQ2 为 ON 时，原位灯 YV5 亮，延时后转为右行。到右限位行程开关 SQ3 变为 ON，延时后变为下降。下降到最低处，行程开关 SQ1 变为 ON 时机械手的手抓松开，延时后将工件放置指定位置处。延时后重新上升，上升至上限位 SQ2，延时后左行，回到原位置处。只要机械手在原位置，则原位指示灯亮。

注意：机械手只有在最上方时才能左右移动。左右行走电磁阀和升降电磁阀是双控电磁阀，如同触发器，如升降电磁阀 YV0 为 1，YV2 为 0 时，机械手下降；YV0 为 0，YV2 为 1 时机械手上升；YV0 和 YV2 都为 0 时，保持之前的动作状态；禁止 YV0 和 YV2 都为 1 的状态。

三、项目实施

1. 输入、输出地址分配

I/O 分配如表 7.7 所示。

表 7.7　机械手控制系统 I/O 地址分配表

输　　入		输　　出	
M10.0	开始	Q0.0	下降电磁阀
M10.1	下限位开关	Q0.1	夹紧电磁阀
M10.2	上限位开关	Q0.2	上行电磁阀
M10.3	右限位开关	Q0.3	右行电磁阀
M10.4	左限位开关	Q0.4	左行电磁阀
M10.5	停止	Q0.5	原位指示灯

2. 控制系统程序

控制系统的梯形图程序可以采用顺序控制、计数指令、循环指令等至少三种方法实现，参考程序如图 7.57 和图 7.58 所示。

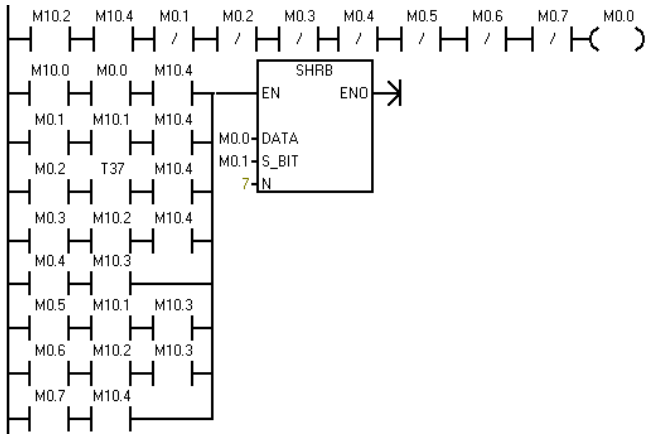


图7.57　梯形图a

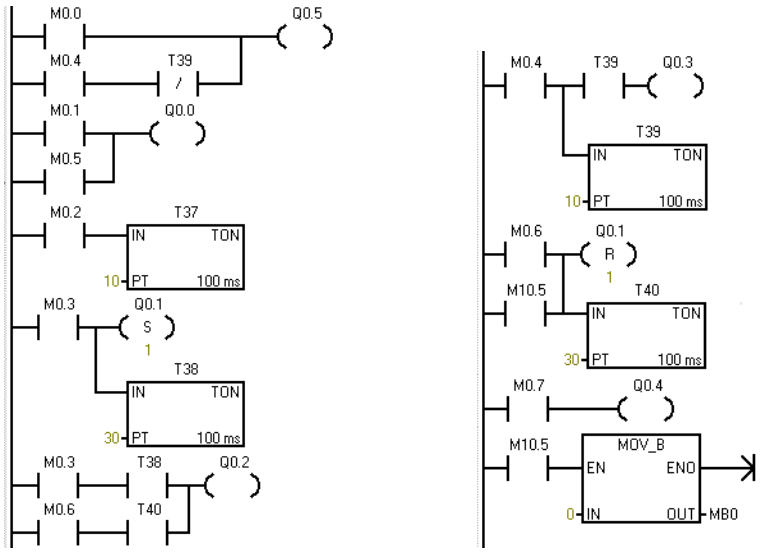


图7.58　梯形图b

3. 触摸屏组态画面制作步骤

(1) 设置实时数据库中的变量

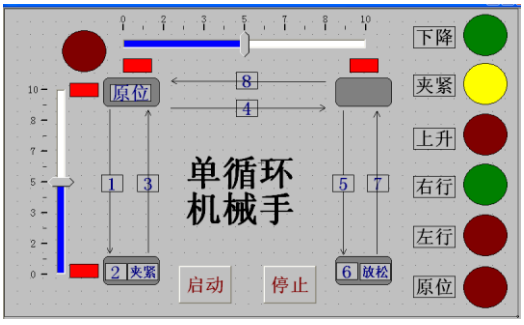
索引	连接变量	通道名称	通道处理
0000		通讯状态	
0001	下降电磁阀	读写Q000.0	
0002	夹紧电磁阀	读写Q000.1	
0003	上升电磁阀	读写Q000.2	
0004	右行电磁阀	读写Q000.3	
0005	左行电磁阀	读写Q000.4	
0006	原位指示灯	读写Q000.5	
0007	启动	读写M010.0	
0008	sq1	读写M010.1	
0009	sq2	读写M010.2	
0010	sq3	读写M010.3	
0011	sq4	读写M010.4	
0012	停止	读写M010.5	

图 7.59　组态变量与 PLC 变量关联

(2) 用户窗口的制作

按图 7.60 所示制作用户窗口。

滑动输入器只是个参照物，水平移动对应左行与右行两个动作，属性设置如图 7.61 所示。



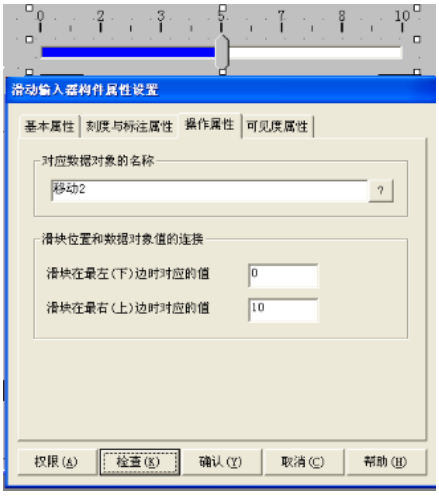


图7.60　用户窗口画面制作　　图7.61　水平移动滑动输入器的属性设置

垂直移动对应上升与下降两个动作，属性设置如图 7.62 所示。

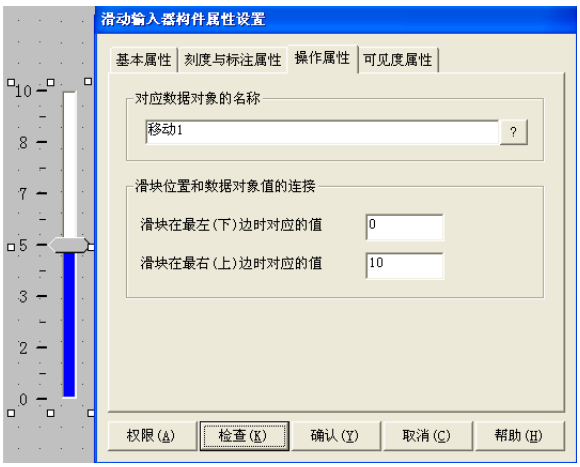


图7.62　垂直移动滑动输入器设置

启动与停止都采用按钮，设置为按 1 松 0，属性设置如图 7.63 所示。

图 7.63　按钮属性设置

本系统涉及多个指示灯，指示灯属性设置如图 7.64 所示。

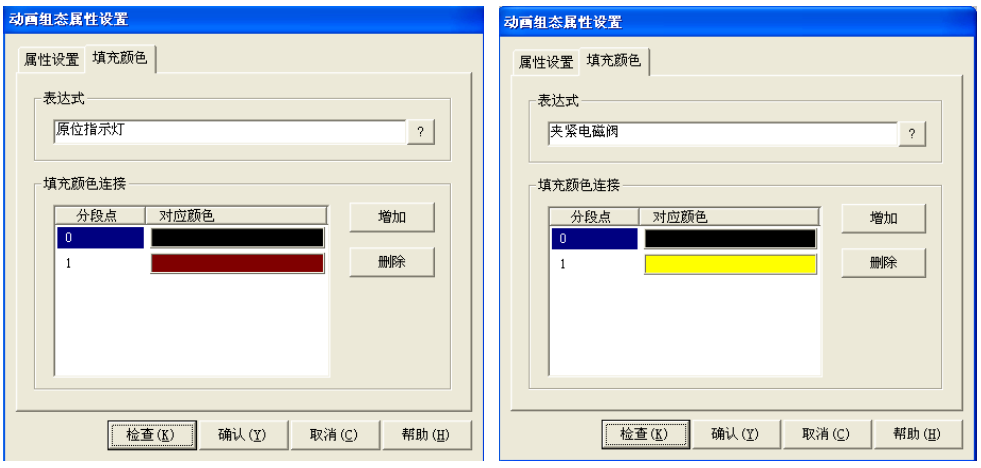


图7.64　指示灯属性设置

(3) 运行策略

打开“脚本程序”编辑窗口，编辑脚本程序，如图 7.65 所示。

```
IF  0 <=移动1 AND 移动1  <= 1 THEN
   sq1 = 1
ELSE
   sq1 = 0
ENDIF
IF 9 <= 移动1 AND 移动1  <= 10 THEN
   sq2 = 1
ELSE
   sq2 = 0
ENDIF
IF  0 <= 移动2 AND 移动2  <= 1 THEN
    sq4 = 1
ELSE
    sq4 = 0
ENDIF
IF 9 <= 移动2 AND 移动2  <= 10 THEN
   sq3 = 1
ELSE
   sq3 = 0
ENDIF
```

```
IF 下降电磁阀 = 1 THEN
   移动1 = 移动1 - 1
ELSE
   移动1 = 移动1
ENDIF
IF 上升电磁阀 = 1 THEN
    移动1 = 移动1 + 1
ELSE
    移动1 = 移动1
ENDIF
IF 右行电磁阀 = 1 THEN
   移动2 = 移动2 + 1
ELSE
    移动2 = 移动2
ENDIF
IF 左行电磁阀 = 1 THEN
    移动2 = 移动2 - 1
ELSE
    移动2 = 移动2
ENDIF
```

图7.65　编写脚本程序

按前面的相关叙述，下载和运行程序。

四、项目拓展

1. 单周期。机械手抓取一个工件，就回到原点停止，等待下一次开始。如何编程？

2. 单步。机械手动作分为八步，按一次按钮，执行一步动作，如何编程？

3. 循环。机械手不停地抓取工件，循环往复，如何编程？

4. 自动切换，自动实现循环抓取，如何编程？

项目 6　三层电梯控制系统仿真

一、项目目的

通过 MCGS 进行直观模拟，仿真三层电梯控制系统。

二、项目分析

电梯外呼：一层向上、二层向上、二层向下、三层向下。

电梯内呼：一层、二层、三层。

① 开关门过程中电梯不可运行。

② 电梯运动到目的楼层时自动开门，10 秒后自动关门。

③ 当有外呼时，电梯要先到达外呼的楼层，自动开门，待乘电梯的人进入后按下要到达的楼层。可按下关门键关门，也可开门后延时 10 秒自动关门，然后电梯运动。

④ 在电梯由一层运动到三层的过程中，只有二层有向上外呼时(即外呼与电梯运动的方向相同)，电梯才在二层停止，若二层有向下外呼，则应先运动到三层后再运动到二层。电梯由三层运动到一层时，用类似的方法进行处理。

三、项目实施

1. 输入、输出地址分配

I/O 分配如表 7.8 所示。

表 7.8　电梯控制系统 I/O 地址分配表

输　入			输　出		
内呼	三层	M10.0	厢位	三层	Q0.0
	二层	M10.1		二层	Q0.1
	一层	M10.2		一层	Q0.2
	开门	M11.2	内呼指示灯	三层	Q0.3
	关门	M11.3		二层	Q0.4
外呼	三层下	M10.3		一层	Q0.5
	二层下	M10.4	外呼指示灯	一层上	Q0.6
	一层上	M10.5		二层上	Q0.7
	二层上	M10.6		二层下	Q1.0
限位开关	一层限位开关	M10.7		三层下	Q1.1
	二层限位开关	M11.0	其他	开门	Q1.2
	三层限位开关	M11.1		关门	Q1.3
				上升	Q1.4
				下降	Q1.5

2. 控制系统程序

控制系统的梯形图参考程序如图 7.66～图 7.68 所示。

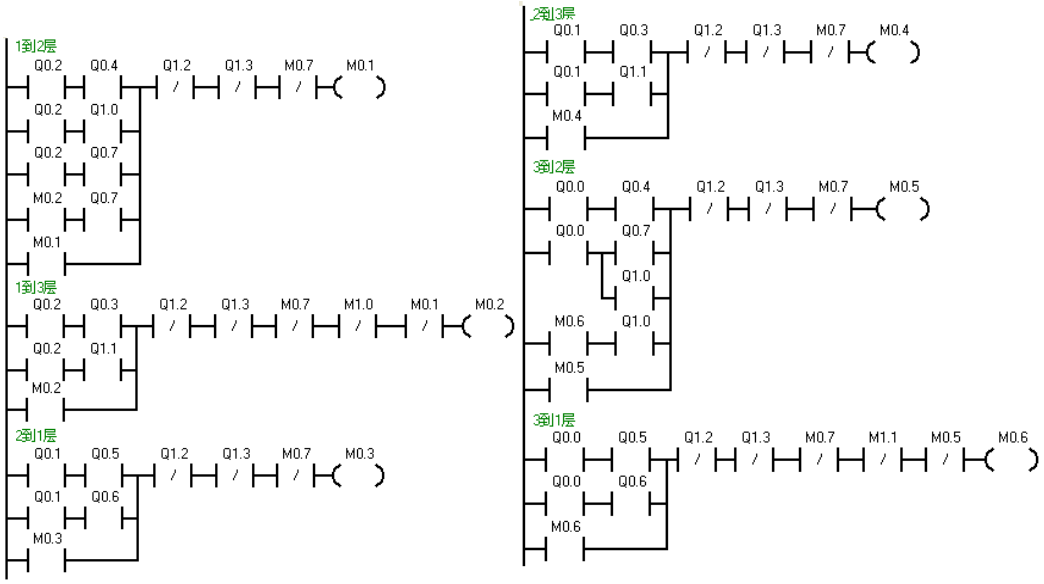


图 7.66　梯形图 a

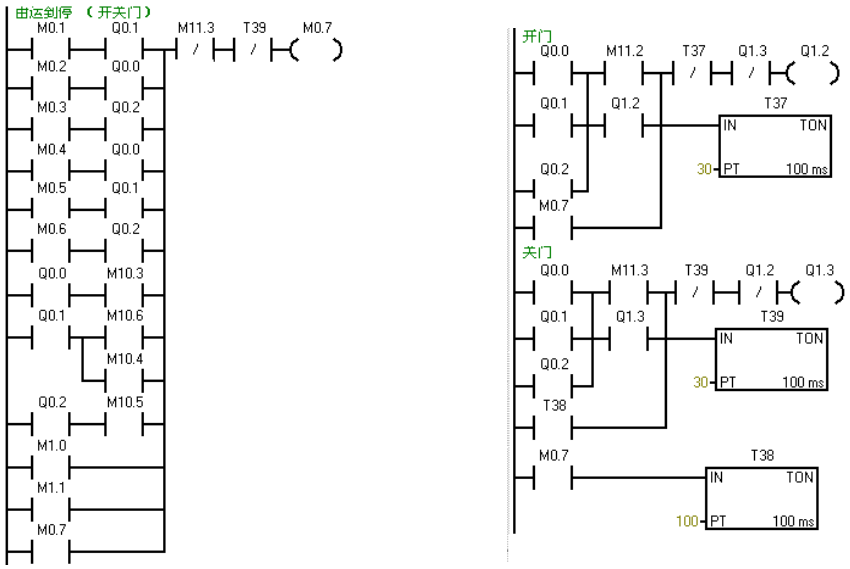


图 7.67　梯形图 b

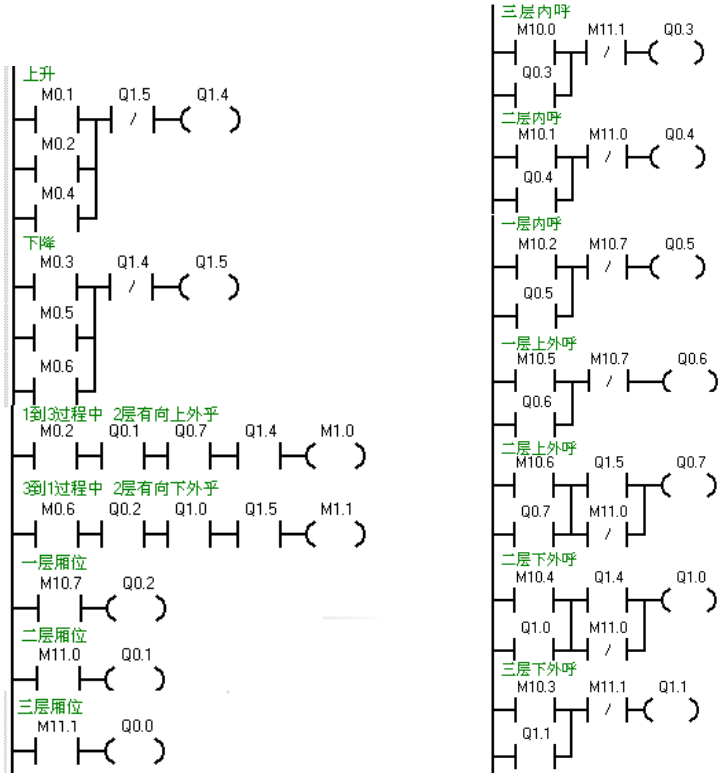


图 7.68　梯形图 c

3. 触摸屏组态画面制作步骤

(1) 设置实时数据库中的变量

索引	连接变量	通道名称	通道处理
0000		通讯状态	
0001	L3	读写Q000.0	
0002	L2	读写Q000.1	
0003	L1	读写Q000.2	
0004	SL3	读写Q000.3	
0005	SL2	读写Q000.4	
0006	SL1	读写Q000.5	
0007	UP1	读写Q000.6	
0008	UP2	读写Q000.7	
0009	DN2	读写Q001.0	
0010	DN3	读写Q001.1	
0011	开门灯	读写Q001.2	
0012	关门灯	读写Q001.3	
0013	上升	读写Q001.4	
0014	下降	读写Q001.5	
0015	s3	读写M010.0	
0016	s2	读写M010.1	
0017	s1	读写M010.2	
0018	D3	读写M010.3	
0019	D2	读写M010.4	
0020	u1	读写M010.5	
0021	u2	读写M010.6	
0022	sq1	读写M010.7	
0023	sq2	读写M011.0	
0024	sq3	读写M011.1	
0025	开门	读写M011.2	
0026	关门	读写M011.3	

图7.69 组态变量与PLC变量关联

(2) 用户窗口的制作

按图 7.70 所示制作用户窗口。

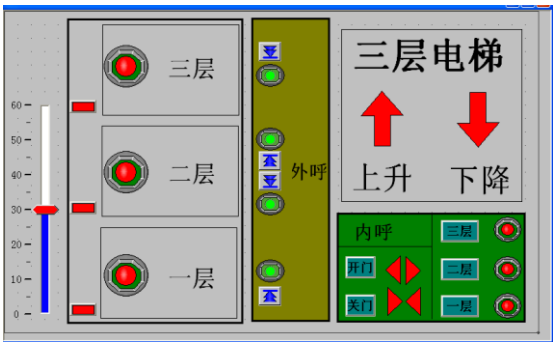


图7.70 用户窗口画面制作

(3) 运行策略

打开“脚本程序”编辑窗口，编辑脚本程序，如图 7.71 所示。

```
IF 上升 = 1 THEN
    移动 = 移动 + 1
ELSE
    移动 = 移动
ENDIF

IF 下降 = 1 THEN
   移动 = 移动 - 1
ELSE
    移动 = 移动
ENDIF

IF 0 <=移动 AND 移动 <= 2 THEN
    sq1 = 1
ELSE
    sq1 = 0
ENDIF

IF 28 <= 移动  AND 移动<=  32 THEN
   sq2 = 1
ELSE
   sq2 = 0
ENDIF
```

```
IF 58 <= 移动  AND 移动<= 60 THEN
    sq3 = 1
ELSE
    sq3 = 0
ENDIF

IF sq1 = 1 THEN
   L1 = 1
ELSE
   L1 = 0
ENDIF

IF sq2 = 1 THEN
   L2 = 1
ELSE
   L2 = 0
ENDIF

IF sq3 = 1 THEN
   L3 = 1
ELSE
   L3 = 0
ENDIF
```

图 7.71　编写脚本程序

按前面的相关叙述，下载运行程序。

四、项目拓展

编写四层电梯系统控制 PLC 程序，MCGS 虚拟监控画面。

案例 8

PLC 在电厂锅炉设备变频器上的应用

摘要

随着电气自动化的不断发展和推广,电厂锅炉设备由原来靠繁琐的继电器转换实现设备间的相互联锁,已不能满足新设备的运行要求,采用 PLC(可编程控制器)控制,使之显得简单、可靠、维修方便等。目前,通过在我公司电厂近 3 年的运行,效果明显,达到了运行安全、可靠、操作简单、节能的目的。

一、引言

我公司电厂是上世纪 80 年代中期筹建,90 年代初期正式投产发电的一个综合利用电厂(为企业内部电厂),它的主燃料为煤矿生产的废弃物---煤矸石。电厂设备配置为 3 炉 3 机,机组装机容量为:3×6000KW,锅炉型号为江西锅炉厂生产的 SHF35—39/450 型沸腾炉。每台锅炉都配备辅机部分,如引风机、送风机、给煤机等。近年来,我公司为了实现高效、节能、环保等各方面日益增长的要求,积极进行设备的更新改造。在 2005 年、2006 年,公司相继对 1#、2#炉进行了设备改造。锅炉改为中科院设计与安装的 ZK38/3.82---M 型循环流化床,锅炉辅机部分全部采用变频器调速控制。锅炉改造后,其辅机部分也做了相应的改变。 引风机由原来 180KW 电机改为 220KW; 给煤机由原来 5.5KW 电磁滑差调速

电机改为 2.2KW 的电滚筒；送风机仍采用 260KW 电机。同时,增加了一台 55KW 的二次送风机；二台 2.2KW 自动下渣器。 锅炉辅机设备采用的变频器均为深圳微能科技有限公司生产的 WIN—9 型系列变频器。

锅炉运行因其生产流程的特殊性,所以对锅炉的部分辅机也做了相应的联锁要求,并实现自动化控制。原来以人工操作为主的常规继电器控制方式,自动化水平低,对生产过程的各种信息缺乏有效的监控手段。在锅炉改造使用变频器后,如不对其进行相应的技术改造,必将严重制约新型锅炉的安全生产、经济效率的有效发挥。

二:工艺与控制要求

电厂锅炉考虑到它运行的安全性，对其部分辅机要求联锁控制，具体联锁控制流程为：（其中二次送风机、自动下渣器不参加联锁）

1、起动时：

⑴、 先启动引风机→⑵再启动送风机→⑶最后启动给煤机

2、停车时：

⑴先停给煤机→⑵再停送风机→⑶最后停引风机

上述流程如出现误操作，都不应造成被操作设备的启动和停车。

3、故障时：

⑴如引风机故障跳闸，则送风机、给煤机都应停车。

⑵如送风机故障跳闸，则给煤机应停车，引风机正常运行。

⑶如给煤机故障跳闸，则引风机、送风机均正常运行。

4、事故紧急停车：

根据设备多年运行的实际情况，我们在引风机、送风机、二次送风机、给煤机的电动机旁都设置了紧急停车按钮，当设备在启动或运行时发现异常，运行人员可就地实现停车，防止造成设备事故。同时，它的控制程序为：

① 如按了引风机急停按钮，则送风机、给煤机都会停车。

② 如按了送风机急停按钮，则给煤机停车，引风机正常运行。

③ 如按了给煤机急停按钮，则引风机、送风机均正常运行。

④ 如按了二次送风机急停按钮，则引风机、送风机、给煤机均正常运行。

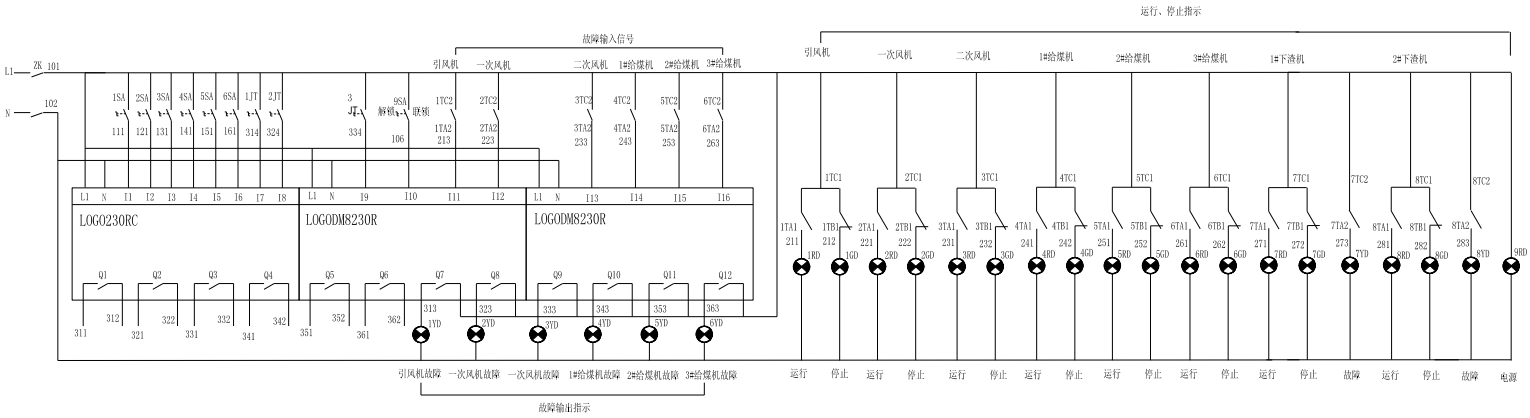
三、自动控制的方案确定

针对上述设备生产流程的要求，如仍采用原来常规的继电器控制方式已不能满足改造后设备的运行要求，为此，我们对控制方案在锅炉改造同时进行，采用可编程控制器（PLC），它是一种先进的工业自动化控制装置，具有功能强大，编程灵活，调试使用方便的特点，特别是它适应各种工业环境的能力和可靠性，使它锅炉改造得到应用，解决了我厂锅炉运行工艺和控制的要求。同时，我们根据锅炉运行和检修的要求，在 PLC 编程时还设置了联锁、解锁功能。当停炉对单一设备进行检修时，我们只要求将 PLC 切换至解锁位置，便能对单一设备进行正常的启动和停止，方便了设备的检修。

四、PLC 控制功能设计：

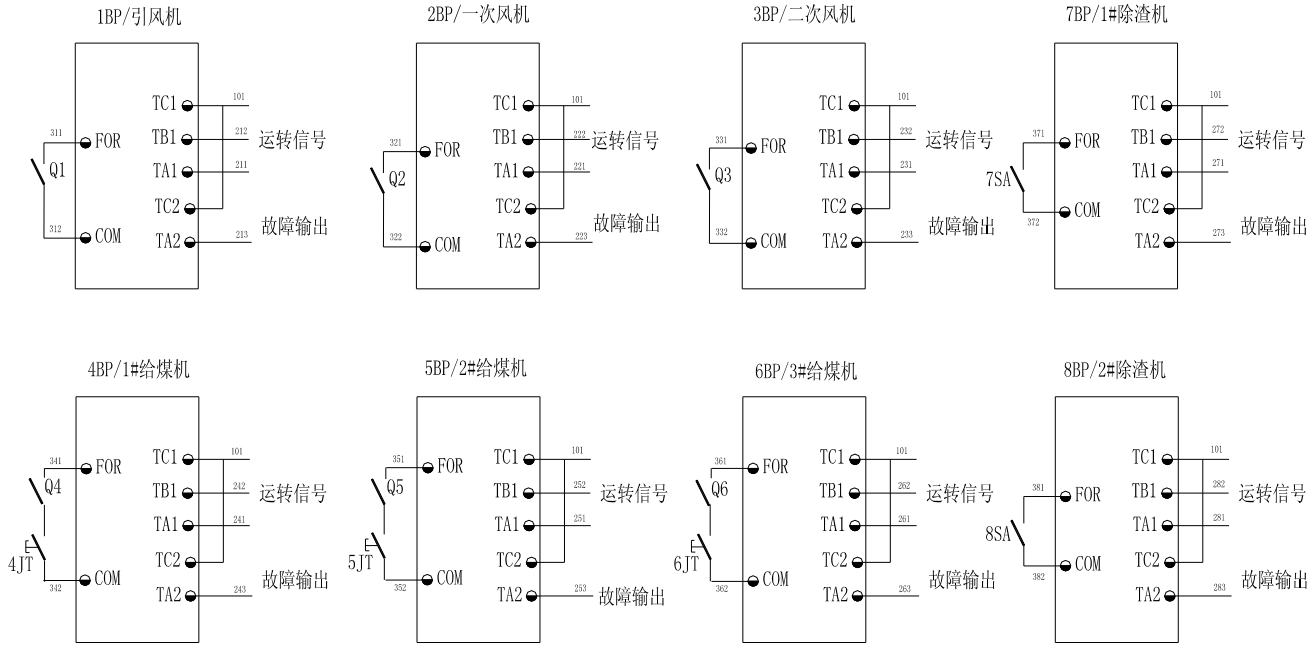
PLC 程序是实现整个联锁功能的核心，设计内容较多，下面主要介绍锅炉辅机设备的起、停、故障、急停功能的联锁逻辑控制。PLC 我们采用西门子生产的 PLC 控制器（LOGO---230RC），根据联锁功能要求，另外配置了控制器扩展单元（LOGO---DM8 230R）两只。

1、PLC 及外围接线



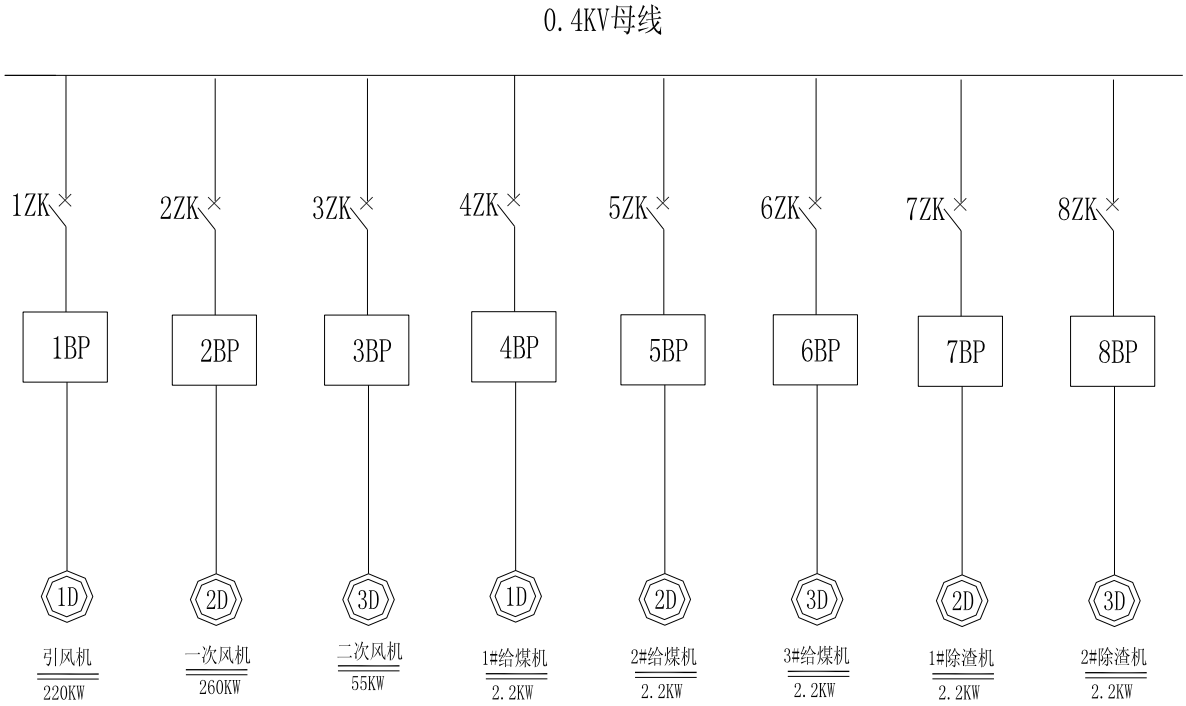
图一

2、各变频器二次接线及控制方法



图二

3、各变频器一次接线图



图三

①L、N ～220V 电源　　I_1～I_{16}→PLC 输入信号接点　　Q_1～Q_{12}→PLC 输出接点

②$1TC_1$～$8TC_1$　$1TA_1$～$8TA_1$　$1TB_1$～$8TB_1$ 为 1～8 个变频器内部继电器㈠输出点

③$1TC_2$～$8TC_2$　$1TA_2$～$8TA_2$　为 1～8 个变频器内部继电器㈡输出点

④1SA～8SA　为变频器启动开关（LS2-2 主令开关）

⑤1JT～6JT　为变频器急停按钮（NP2—BS542、正泰生产）

⑥1RD～9RD、1YD～8YD、1GD～8GD　为红、黄、绿指示灯。（AD16—22DS/4）

⑦ZK、1ZK～8ZK　为自动空气开关（DZ 系列）

举例说明：（解锁状态，以引风机为例）

① 启动：合 1SA，则 Q1 闭合，1BP 开始启动，引风机按变频器设置的加速时间，根据运行所需风量，调整至变频器运行频率。

② 停车：断 1SA，则 Q1 断开，1BP 停止运行，引风机按变频器设置的减速时间，减速停车。

③ 如出现设备故障时，按 1JT，则 1BP 停止运行。

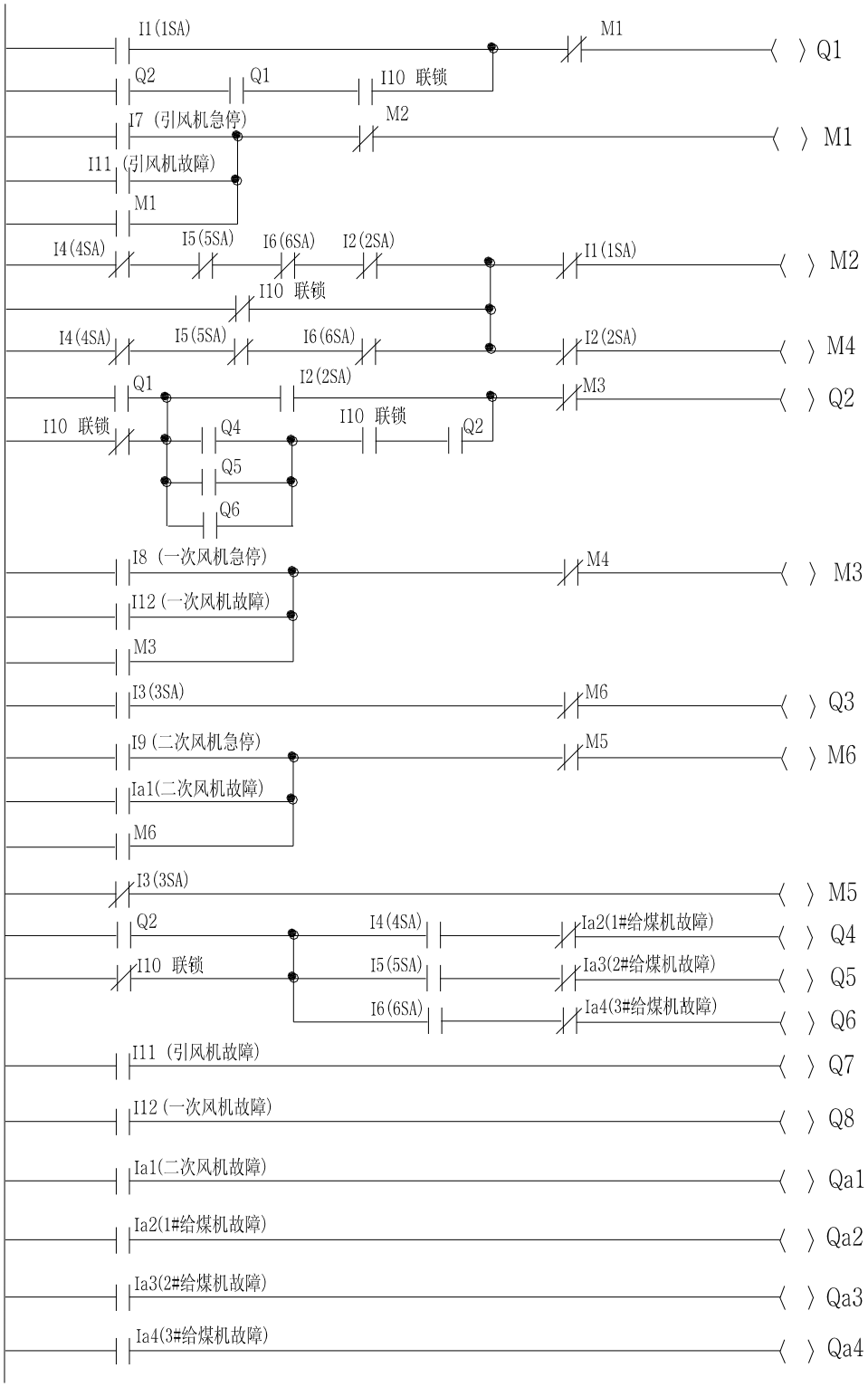
④ 当 1BP 出现故障跳闸时，则 1BP 变频器保护动作，1BP 变频器停车，其内部继电器㈡TC_2、TA_2常开点动作，使 PLC 对应的输出接点导通，从而使故障灯亮，通知运行人员。

4、梯形图（LAD 语言）见图四

5、该语言输入 LOGO 控制器方便、简单，有两种输入方式：

⑴可通过数据线将安装在电脑中的 LAD 语言直接输入 LOGO 控制器。

(2)可通过程序模块，直接插入控制器输入口，送电初始化后，即可使用。



图四

五：改造后的效果

1：通过与变频器的有效结合，解决了原来通过接触器、继电器之间繁琐的启、停联锁。

2：节省了设备、材料费用，简化了控制回路，给维修带来了方便。

3：彻底防止了引风机、送风机、给煤机三者之间的误操作和误动，保障了锅炉的正常安全运行

案例 9

PLC 在电镀生产线控制系统中的应用

摘 要

电镀行车生产线自动化的程度在德国、意大利、美国等国家的发展水平已经较高，而在我国尚处于发展阶段。本课题以行业现状为出发点，结合其他行业自动控制技术的应用情况，提出了基于 PLC 的电镀行车自动生产线的设计，并通过应用机械、可编程序控制器(PLC)等多项专门技术开发的自动生产系统。本文首先分析和制定了该生产线的整体设计思想和方案，确保了该生产线系统具备真正的自动化生产能力且结构简单。在该生产线的控制系统中，采用了高可靠性，高稳定性，编程简单，易于使用，而且广泛应用于现代工业企业生产线过程控制中的控制器 PLC。

重点分析了系统软硬件设计部分，并给出了系统主电路图、PLC 控制 I/O 端口分配表以及整体程序流程图等，实现了电镀生产自动化，提高了生产效率，降低了劳动强度。为适应现代传统的工业控制系统，我们还采用了基于组态王软件的系统作为上位机，配合下位机 PLC 完成了该系统的实时监控系统功能，更好的使该自动生产系统融入到现代工业控制领域中。

我们设计的工作过程是这样的：电镀生产线的一侧，工人将待加工零件装入吊篮，并发出信号，行车的左行和右行，前进与后退以及上升与下降的运动分别由电动机 M1,M2,M3 拖动通过电动机的正反转实现两个方向的运动，按工艺要求在需要停留的槽位停止，这由位置控制指令信号既固定于轨道一侧的限位开关发出来控制吊篮与槽位的对位。通过程序指令，由延时继电器控制在各个槽位的停留时间，停留一定时间后自动提升。如此完成电镀工艺规定的每一道工艺，直至生产线的末端自动返回原位，卸下处理器件，并进行计数，重新装料发出信号进入下一加工循环。

电镀生产线按照其工艺要求和规模一般设计有两台行车、三台行车和四台行车工作，每台行车都根据已编制好的各自的程序运行；对于行车的自动控制，早期是采用继电器逻辑电路和顺序控制器，发展至今其控制方式已采用可编程控制器 PLC 作为核心控制部件，其控制更为安全、可靠、方便、灵活，自动化程度更高。

一件电镀产品的质量除了要有好的成熟的电镀工艺和品质好的镀液添加剂外，如何保证电镀产品严格按照电镀工艺流程运行和保证产品的电镀时间则是决定电镀产品质量和品质的重要因素。在电镀生产线上采用自动化控制不但可以使电镀产品的质量和品质得到严格的保证，有效的减少废品率，而且还可以提高生产效率和减轻工人的劳动强度，有着非常好的经济效益和社会效益，电镀生产线上对行车的自动控制则是电镀生产线自动化控制的关键。

随着集成电路和计算机技术的迅猛发展，存储控制程序逐步替代接线程序控制，成为工业控制系统的主流发展方向。所谓程序控制，就是将控制逻辑程序语言的形式存放在存储器中，通过执行存储器中的程序实现系统的控制要求。这样的系统称为存储程序控制系统。在存储程序控制系统中，控制程序的修改不需要改变控制器内部的接线，而只需通过通过编程器中的某些程序语言内容。

可编程控制器就是一种存储程序控制器。其输入设备和输出设备与继电器控制系统相同，但它们直接连接到可编程控制器的输入端子和输出端子。在可编程控制器构成的控制系统中，实现一个控制任务，同样需要针对具体的控制对象，分析控制系统要求，确定所需用户的输出输入设备，然后运行相应的程序语言便指出相应的程序，利用编程器和其他设备写入可编程控制器的存储器中。每条程序语言确定一个顺序，运行时 CPU 一次读取查出其中的程序语句，对它们的内容解释并加以执行；执行结果用以输出设备，两支被控制对象工作。可编程控制器时通过软件实现控制逻辑的，能够使用不同控制任务的需要，通用性强，使用灵活，可靠性强。一章 绪论

1.1 PLC 的发展和历史趋势

PLC 发展至今已有近 40 年的历史，随着半导体技术、计算机技术和通信技术的发展，工业控制领域已有翻天覆地的变化，PLC 亦再不断的发展，正朝着新的技术发展。

一是 PLC 网络化技术的发展，其中有两个趋势：一方面，PLC 网络系统已经不再是自成体系的封闭系统，而是迅速向开放式系统发展，各大品牌 PLC 除外形成自己各具特色的 PLC 网络系统，完成设备控制任务之外，还可以与上位计算机管理系统联网，实现信息交流，成为整个信息管理系统的一部分；另一方面，现场总线技术得到广泛的采用，PLC 与其他安装在现场的智能化设备，比如智能仪表、传感器、智能型电磁阀、智能型驱动执行机构等，通过一根传输介质（比如双绞线、同轴电缆、光缆）链接起来，并按照同一通信规约互相传输信息，由此构成一个现场工业控制网络，这种网络与单纯的 PLC 远程网络相比，配置更灵活，扩展更方便，造价更低，性能价格比更好，也更具开放意义。

二是 PLC 向高性能小型化方向发展，PLC 的功能正越来越丰富，而体积则越来越小。比如三菱的 FX-IS 系列 PLC，最小的机种，体积仅为 60×90×75mm，相当于一个继电器，但却具有高速计数、斜坡、交替输出及 16 位四则运算等能力，还具有可调电位器时间设定功能。PLC 已不再是早期那种只能进行开关量

逻辑运算的产品了，而是具有越来越强的模拟量处理能力，以及其他过去只有在计算机上才能具有的高级处理能力，如浮点数运算、PID 调节、温度控制、精确定位、步进驱动、报表统计等。从这种意义上说，PLC 系统与 DCS（集散控制系统）的差别越来越小了，用 PLC 同样可以构成一个过程控制系统。
三是 PLC 操作向简易化方向发展。目前 PLC 推广的难度之一就是复杂的编程使得用户望而却步，而且不同厂商 PLC 所有编程的语言也不尽相同，用户往往需要掌握更多种编程语言，难度较大。PID 控制、网络通信、高速计数器、位置控制、数据记录、配方和文本显示器等编程和应用也是 PLC 程序设计中的难点，用普通的方法对它们编程时，需要熟悉有关的特殊存储器的意义，在编程时对它们赋值，运行时通过访问它们来实现对应的功能。这些程序往往还与中断有关，编程的过程既繁琐又容易出错，阻碍了 PLC 的进一步推广应用。PLC 的发展必然朝着操作简化对复杂任务的编程，在这一点上西门子就充当了先行者，西门子 S7-200 的编程软件设计了大量的编程向导，只需要在对话框中输入一些参数，就可以自动生成包括中断程序在内的用户程序，大大方便了用户的使用。
近 10 年来，随着 PLC 价格的不断降低和用户需求的不断扩大，越来越多的中小设备开始采用 PLC 进行控制，PLC 在我国的应用增长十分迅速。随着中国经济的高速发展和基础自动化水平的不断提高，今后一段时期内 PLC 在我国仍将保持高速增长势头。
1.2 PLC 的分类
世界上 PLC 产品可按地域分成三大流派：一个流派是美国产品，一个流派是欧洲产品，一个流派是日本产品。美国和欧洲的 PLC 技术是在相互隔离情况下 独立研究开发的，因此美国和欧洲的 PLC 产品有明显的差异性。而日本的 PLC 技术是由美国引进的，对美国的 PLC 产品有一定的继承性，但日本的主推产品定 位在小型 PLC 上。美国和欧洲以大中型 PLC 而闻名，而日本则以小型 PLC 著称。
美国 PLC 产品
美国是 PLC 生产大国，有 100 多家 PLC 厂商，著名的有 A-B 公司、通用电气（GE）公司、莫迪康（MODICON）公司、德州仪器（TI）公司、西屋公司等。其中 A-B 公司是美国最大的 PLC 制造商，其产品约占美国 PLC 市场的一半。
A-B 公司产品规格齐全、种类丰富，其主推的大、中型 PLC 产品是 PLC-5 系列。该系列为模块式结构，CPU 模块为 PLC-5/10、PLC-5/12、PLC-5/15、PLC-5/25 时，属于中型 PLC，I/O 点配置范围为 256～1024 点；当 CPU 模块为 PLC-5/11、PLC-5/20、 PLC-5/30、PLC-5/40、PLC-5/60、PLC-5/40L、PLC-5/60L 时，属于大型 PLC，I/O 点最多可配置到 3072 点。 该系列中 PLC-5/250 功能最强，最多可配置到 4096 个 I/O 点，具有强大的控制和信息管理功能。大型机 PLC-3 最多可配置到 8096 个 I/O 点。A-B 公司的小型 PLC 产品有 SLC500 系列等。
GE 公司的代表产品是：小型机 GE-1、GE-1/J、GE-1/P 等，除 GE-1/J 外，均采用模块结构。GE－1 用于开关量控制系统，最多可配置到 112 个 I/O 点。GE-1/J 是更小型化的产 品，其 I/O 点最多可配置到 96 点。GE-1/P 是 GE-1 的增强型产品，增加了部分功能指令（数据操作指令）、功能模块（A/D、D/A 等）、远程 I /O 功能等，其 I/O 点最多可配置到 168 点。中型机 GE-Ⅲ，它比 GE-1/P 增加了中断、故障诊断等功能，最多可配置到 400 个 I/O 点。大型机 GE-Ⅴ，

它比 GE-Ⅲ增加了部分数据处理、表格处理、子程序控制等功能，并具有较强的通信功能，最多可配置到 2048 个 I/O 点。GE-Ⅵ/P 最多可配 置到 4000 个 I/O 点。

德州仪器（TI）公司的小型 PLC 新产品有 510、520 和 TI100 等，中型 PLC 新产品有 TI300、5TI 等，大型 PLC 产品有 PM550、530、560、565 等系列。除 TI100 和 TI300 无联网功能外，其它 PLC 都可实现通信，构成分布式控制系统。

莫迪康（MODICON）公司有 M84 系列 PLC。其中 M84 是小型机，具有模拟量控制、与上位机通信功能，最多 I/O 点为 112 点。M484 是中型机， 其运算功能较强，可与上位机通信，也可与多台联网，最多可扩展 I/O 点为 512 点。M584 是大型机，其容量大、数据处理和网络能力强，最多可扩展 I/O 点为 8192。M884 增强型中型机，它具有小型机的结构、大型机的控制功能，主机模块配置 2 个 RS-232C 接口，可方便地进行组网通信。

欧州的 PLC 产品

德国的西门子（SIEMENS）公司、AEG 公司、法国的 TE 公司是欧洲著名的 PLC 制造商。德国的西门子的电子产品以性能精良而久负盛名。在中、大型 PLC 产品领域与美国的 A-B 公司齐名。

西门子 PLC 主要产品是 S5、S7 系列。在 S5 系列中，S5-90U、S-95U 属于微型整体式 PLC；S5-100U 是小型模块式 PLC，最多可配置到 256 个 I/O 点；S5-115U 是中型 PLC，最多可配置到 1024 个 I/O 点；S5-115UH 是中型机，它是由两台 SS－115U 组成的双机冗余系 统； S5-155U 为大型机，最多可配置到 4096 个 I/O 点，模拟量可达 300 多路；SS－155H 是大型机，它是由两台 S5-155U 组成的双机冗余系 统。而 S7 系列是西门子公司在 S5 系列 PLC 基础上近年推出的新产品，其性能价格比高，其中 S7-200 系列属于微型 PLC、S7-300 系列属于于中小 型 PLC、S7-400 系列属于于中高性能的大型 PLC。

本的 PLC 产品

日本的小型 PLC 最具特色，在小型机 领域中颇具盛名，某些用欧美的中型机或大型机才能实现的控制，日本的小型机就可以解决。在开发较复杂的控制系统方面明显优于欧美的小型机，所以格外受用户 欢迎。日本有许多 PLC 制造商，如三菱、欧姆龙、松下、富士、日立、东芝等，在世界小型 PLC 市场上，日本产品约占有 70％的份额。

欧姆龙（OMRON）公司的 PLC 产品，大、中、小、微型规格齐全。微型机以 SP 系列为代表，其体积极小，速度极快。小型机有 P 型、H 型、CPM1A 系列、CPM2A 系列、CPM2C、CQM1 等。P 型机现已被性价比更高的 CPM1A 系列所取代，CPM2A/2C、 CQM1 系列内置 RS-232C 接口和实时时钟，并具有软 PID 功能，CQM1H 是 CQM1 的升级产品。中型机有 C200H、C200HS、C200HX、C200HG、C200HE、CS1 系列。C200H 是前些年畅销的高性能中型 机，配置齐全的 I/O 模块和高功能模块，具有较强的通信和网络功能。C200HS 是 C200H 的升级产品，指令系统更丰富、网络功能更强。C200HX /HG/HE 是 C200HS 的升级产品，有 1148 个 I/O 点，其容量是 C200HS 的 2 倍，速度是 C200HS 的 3．75 倍，有品种齐全的通信模块，是适应信息化的 PLC 产品。CS1 系列具有中型机的规模、大型机的功能，是 一种极具推广价值的新机型。大型机有 C1000H、C2000H、 第一章 绪论

CV（CV500 / CV1000 / CV2000 / CVM1）等。 C1000H、C2000H 可单机或双机热备运行，安装带电插拔模块，C2000H 可在线更换 I/O 模块；CV 系列中除 CVM1 外，均可采用结构化编程， 易读、易调试，并具有更强大的通信功能。

松下公司的 PLC 产品中，FPO 为微型机，FP1 为整体式小型机，FP3 为中型机，FP5/FP10、FP10S（FP10 的改进型）、FP20 为大型 机，其中 FP20 是最新产品。松下公司近几年 PLC 产品的主要特点是：指令系统功能强；有的机型还提供可以用 FP-BASIC 语言编程的 CPU 及多种智能 模块，为复杂系统的开发提供了软件手段；FP 系列各种 PLC 都配置通信机制，由于它们使用的应用层通信协议具有一致性，这给构成多级 PLC 网络和开发 PLC 网络应用程序带来方便

三菱公司的 PLC 是较早进入中国市场的产品。其小型机 F1/F2 系列是 F 系列的升级产品，早期在我国的销量也不小。F1/F2 系列加强了指令系统，增加了 特殊功能单元和通信功能，比 F 系列有了更强的控制能力。继 F1/F2 系列之后，20 世纪 80 年代末三菱公司又推出 FX 系列，在容量、速度、特殊功能、网络 功能等方面都有了全面的加强。FX2 系列是在 90 年代开发的整体式高功能小型机，它配有各种通信适配器和特殊功能单元。FX2N 几年推出的高功能整体式小 型机，它是 FX2 的换代产品，各种功能都有了全面的提升。近年来还不断推出满足不同要求的微型 PLC，如 FX0S、FX1S、FX0N、FX1N 及 α 系列 等产品。

三菱公司的大中型机有 A 系列、QnA 系列、Q 系列，具有丰富的网络功能，I/O 点数可达 8192 点。其中 Q 系列具有超小的体积、丰富的机型、灵活的安装方式、双 CPU 协同处理、多存储器、远程口令等特点，是三菱公司现有 PLC 中最高性能的 PLC。

1.3 PLC 系统组成及各部分的功能

1、CPU 运算和控制中心

它在整个系统中起“心脏”作用。2、存储器

具有记忆功能的半导体电路，分为系统程序存储器和用户存储器。 系统程序存储器用以存放系统程序，包括管理程序，监控程序以及对用户程序做编译处理的解释编译程序。由只读存储器、ROM 组成。厂家使用的，内容不可更改，断电不消失。

用户存储器：分为用户程序存储区和工作数据存储区。由随机存取存储器（RAM）组成。

3、输入/输出接口 (1) 输入接口：

输入接口电路工作过程：当开关合上，二极管发光，然后三极管在光的照射下导通，向内部电路输入信号。当开关断开，二极管不发光，三极管不导通。向内部电路输入信号。也就是通过输入接口电路把外部的开关信号转化成 PLC 内部所能接受的数字信号。

(2) 输出接口

输出接口工作过程：当内部电路输出数字信号 1，有电流流过，继电器线圈有电流，然后常开触点闭合，提供负载导通的电流和电压。当内部电路输出数字信号 0，则没有电流流过，继电器线圈没有电流，然后常开触点断开，断开负载的电流或电压。也就是通过输出接口电路把内部的数字电路化成一种信号使负载动作或不动作。

1.4PLC 的基本工作原理

PLC 采用“顺序扫描，不断循环”的工作方式

1、 每次扫描过程。集中对输入信号进行采样。集中对输出信号进行刷新。
2、 输入刷新过程。当输入端口关闭时，程序在进行执行阶段时，输入端有新状态，新状态不能被读入。只有程序进行下一次扫描时，新状态才被读入。
3、一个扫描周期分为输入采样，程序执行，输出刷新。 4、 元件映象寄存器的内容是随着程序的执行变化而变化的。 5、 扫描周期的长短由三条决定。（1）CPU 执行指令的速度（2）指令本身占有的时间（3）指令条数
6、 由于采用集中采样。集中输出的方式。存在输入/输出滞后的现象，即输入/输出响应延迟。

1.5 电镀生产线的控制系统概述与选题背景意义

1.5.1 基于 PLC 的电镀行车的控制系统的概述

PLC 是一种专门为在工业环境下应用而设计的数字运算操作的电子装置，它具有可靠性高，抗干扰能力强；配套齐全，功能完善，适用性强；易学易用，深受工程技术人员欢迎；系统的设计、建造工作量小，维护方便，容易改造；体积小，重量轻，能耗低等特点。

一件电镀产品的质量除了要有好的成熟的电镀工艺和品质好的镀液添加剂外，如何保证电镀产品严格按照电镀工艺流程运行和保证产品的电镀时间则是决定电镀产品质量和品质的重要因素。在电镀生产线上采用自动化控制不但可以使电镀产品的质量和品质得到严格的保证，有效的减少废品率，而且还可以提高生产效率和减轻 工人的劳动强度，有着非常好的经济效益和社会效益，电镀生产线上对行车的自动控制则是电镀生产线自动化控制的关键。 因此用 PLC 来设计整个控制系统是不错的选择。

1.5.2 课题的选题背景及意义

电镀就是利用电解的方式使金属或合金沉积在工件表面，以形成均匀、致密、结合力良好的金属层的过程。简单的理解，是物理和化学的变化和结合。

随着工业化生产的不断细分，新工艺新材料的不断涌现，在实际产品得到应用的设计效果也日新月异，电镀是我们在设计中经常要涉及到的一种工艺，而电镀效果是我们使用时间较长，工艺也较为成熟的一种效果。对于这种工艺的应用在我们的产品上已经非常多，而通过这种的处理我们通常可以得到一些金属色泽的效果，如高光、亚光等，搭配不同的效果构成产品效果的差异性，通过这样的处理为产品的设计增加一个亮点。电镀工艺的应用我们一般作以下用途：a:防腐蚀 b:防护装饰 c:抗磨损 d:电性能（根据零件工作要求，提供导电或绝缘性能的镀层）e:工艺要求。

一件电镀产品的质量除了要有好的成熟的电镀工艺和品质好的镀液添加剂外，如何保证电镀产品严格按照电镀工艺流程运行和保证产品的电镀时间则是决定电镀产品质量和品质的重要因素。在电镀生产线上采用自动化控制不但可以使电镀产品的质量和品质得到严格的保证，有效的减少废品率，而且还可以提高生产效率和减轻工人的劳动强度，有着非常好的经济效益和社会效益，电镀生产线上对行车的自动控制则是电镀生产线自动化控制的关键。

电镀生产线按照其工艺要求和规模一般设计有两台行车、三台行车和四台行车工作，每台行车都根据已编制好的各自的程序运行；对于行车的自动控制，早期是采用继电器逻辑电路和顺序控制器，发展至今其控制方式已采用可编程控制器 PLC 作为核心控制部件，其控制更为安全、可靠、方便、灵活，自动化程度更高。

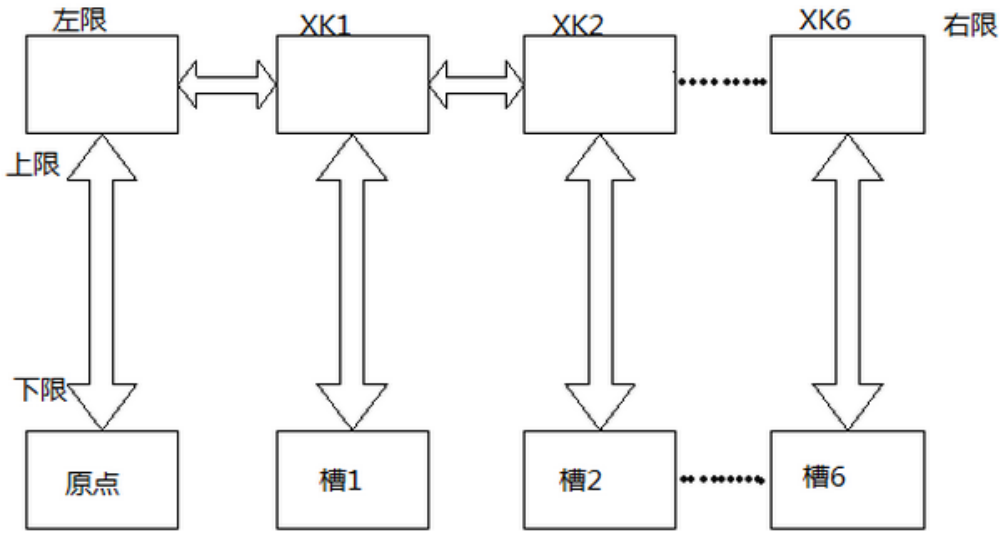
用 PLC 辅以变频器对电镀自动生产线行车进行自动控制，具有结构简单、编程方便、操作灵活、使用安全、工作稳定、性能可靠和抗干扰能力强的特点，是一种很有效的自动控制方式，是电镀生产实现高效、低成本、高质量自动化生产的发展方向。

1.6 控制对象的设计要求详述

电镀的工作流程如图 1.1：启动——吊钩上升——上限行程开关闭合——右行至 1 号槽上方——XK1 行程开关闭合——吊钩下降进入 1 号槽——下限行程开关闭合——电镀延时——吊钩上升„ „ ，由 6 号槽内吊钩上升，然后左行至左限位，吊钩下降至原位，即原位。按照要求，我们要实现以下工作方式：

1、原位：表示设备处于初始状态，吊钩在下限位置，行车在左限位置。 2、连续工作：当吊钩回到原点后，延时一段时间（装卸零件），自动上升右行，按照工作流程要求不停的循环。

3、 单周期工作：设备始于原点，按下启动按钮，设备工作一个周期，然后停于原点，要重复第二个工作周期，必须再按一下启动按钮。



第二章 系统的硬件设计

2.1 系统总体设计

2.1.1 应用系统总体方案设计

⑴PLC 控制系统类型

① 由 PLC 构成的单机控制系统。 ② 由 PLC 构成的集中控制系统。 ③ 由 PLC 构成的分布式控制系统。 ④ 用 PLC 构成远程 I/0 控制系统。 ⑵ 系统的运行方式 ① 手动运行方式。 ② 自动运行方式。

2.1.2 系统硬件设计根据

⑴ 工艺要求 ⑵ 设备状况 ⑶ 控制功能 ⑷ I/0 点数和种类 ⑸ 系统的先进性

2.1.3PLC 的机型选择

⑴ 合理的结构型式

整体式 PLC 的每一个 I / 0 点的平均价格比模块式的便宜，且体积相对较小，一般用于系统工艺过程较为固定的小型控制系统中；而模块式 PLC 的功能扩展灵

活方便,在Ⅰ/0点数、输入点数与输出点数的比例、Ⅰ/0模块的种类等方面选择余地大，且维修方便，一般于较复杂的控制系统。
⑵安装方式的选择PLC系统的安装方式分为集中式、远程Ⅰ/0式以及多台PLC联网的分布式。
集中式不需要设置驱动远程Ⅰ/0硬件，系统反应快、成本低；远程Ⅰ/0式适用于大型系统，系统的装置分布范围很广，远程Ⅰ/0可以分散安装在现场装置附近，连线短，但需要增设驱动器和远程Ⅰ/0电源；多台PLC联网的分布式适用于多台设备分别独立控制，又要相互联系的场合，可以选用小型PLC，但必须要附加通讯模块。
⑶应用功能要求
一般小型(低档)PLC具有逻辑运算、定时、计数等功能，对于只需要开关量控制的设备都可满足。
对于以开关量控制为主，带少量模拟量控制的系统，可选用能带A/D和D/A转换单元，具有加减算术运算、数据传送功能的增强型低档PLC。
对于控制较复杂，要求实现PID运算、闭环控制、通信联网等功能，可视控制规模大小及复杂程度，选用中档或高档PLC。但是中、高档PLC价格较贵，一般用于大规模过程控制和集散控制系统等场合。⑷响应速度要求
PLC是为工业自动化设计的通用控制器，不同档次PLC的响应速度一般都能满足其应用范围内的需要。如果要跨范围使用PLC，或者某些功能或信号有特殊的速度要求时，则应该慎重考虑PLC的响应速度，可选用具有高速Ⅰ/0处理功能的PLC，或选用具有快速响应模块和中断输入模块的PLC等。⑸系统可靠性的要求
对于一般系统PLC的可靠性均能满足。对可靠性要求很高的系统，应考虑是否采用冗余系统或热备用系统。
⑹机型尽量统一
一个企业，应尽量做到PLC的机型统一。主要考虑到以下三方面问题：①机型统一，其模块可互为备用，便于备品备件的采购和管理。②机型统一，其功能和使用方法类似，有利于技术力量的培训和技术水平的提高。
③机型统一，其外部设备通用，资源可共享，易于联网通信，配上位计算机后易于形成一个多级分布式控制系统。
根据自动化电镀生产线的控制要求以及以上根据，我们采用了德国西门子PLC S7-200 CPU226型号，此类型PLC无论独立运行，还是联接网络都能完成各种控制任务。它的使用范围可以覆盖从替代继电器的简单控制到复杂的自动控制。其应用领域包括各种机床、纺织机械、塑料机械、电梯等行业。S7-200 CPU226通讯功能完善，具有极高的性能价格比是很突出的特点，也是我们采用它的主要原因。PLC为此系统的控制核心，此系统的输入信号有两部分，一部分是原点、单周期、连续等面板控制按钮，另一部分是多种行程开关，这些面板按钮信号和传感器信号作为PLC的输入变量，经过PLC的输入接口输入到内部数据寄存器，然后在PLC内部进行逻辑运算或数据处理后，以输出变量的形式送到输出接口，从而驱动电机来控制行车的运行和吊钩的升降

2.2 I/O分配表及其端子接线图
在本次系统设计中，我们定义的I/O分配表如表2-1所示。将18个输入信号和8个输入信号按各自的功能类型分好，并与PLC的I/O点一一对应，编排地址

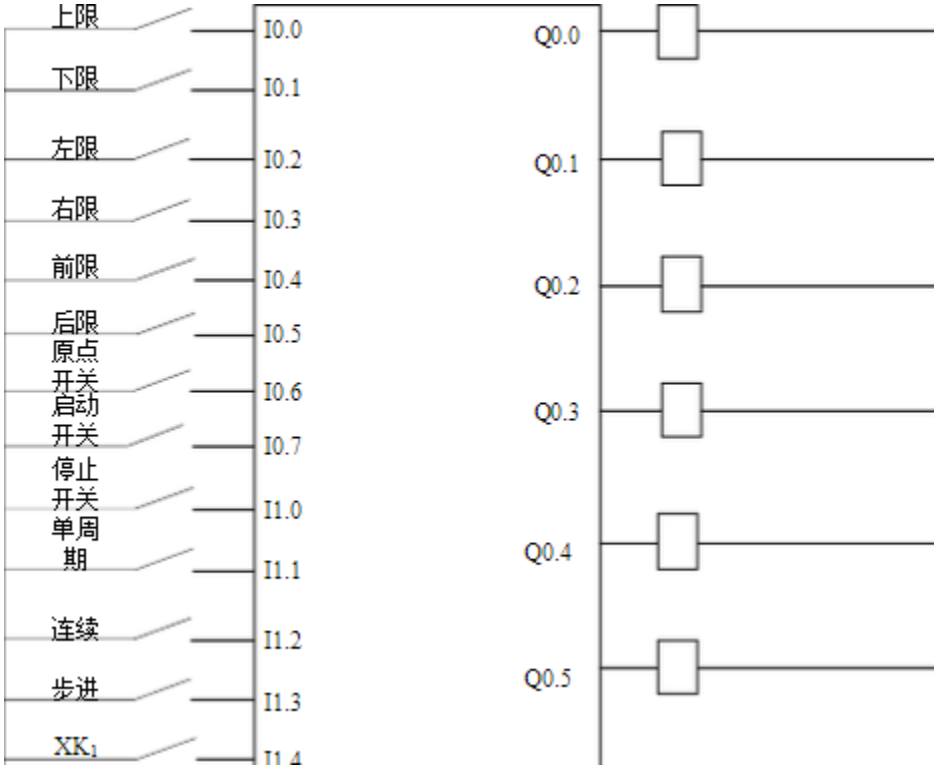
如下表。数字量扩展模块的地址分配是从最靠近 CPU 模块的数字量模块开始，在本机数字量地址的基础上从左到右按字节连续递增，本模块高位实际位数未满 8 位的，未用位不能分配给 I/O 链的后续模块，模拟量扩展模块的地址是从最靠近 CPU 模块的模拟量模块开始，在本机模拟量地址的基础上从左到右按字递增。

我们定义的 I/O 端子接线图如图 2-1 所示。由图表可以看出,PLC 控制系统的输入信号有 18 个，均为开关量。其中单操作按钮开关 3 个，行程开关 6 个，限位开关 6 个，选择工作方式开关 3 个。PLC 控制系统的输出信号有 8 个，其中 2 个用于驱动吊钩电机正反转接触器 KM1、KM2,2 个用于驱动行车电机正反转接触器 KM3、KM4，2 个用于驱动电机正反转接触器 KM5、KM6，1 个用于原位指示,1 个用于运行指示。

表 2.1 I/O 分配表

序号	输　入		序号	输　出	
1	I0.0	上限位	19	Q0.0	上升
2	I0.1	下限位	20	Q0.1	下降
3	I0.2	左限位	21	Q0.2	左行
4	I0.3	右限位	22	Q0.3	右行
5	I0.4	前限位	23	Q0.4	前进
6	I0.5	后限位	24	Q0.5	后退
7	I0.6	原点开关	25	Q0.6	原位
8	I0.7	启动开关	26	Q0.7	运行
9	I1.0	停止开关			

10	I1.1	单周期开关			
11	I1.2	连续工作开关			
12	I1.3	步进开关			
13	I1.4	XK_1行程开关			
14	I1.5	XK_2行程开关			
15	I1.6	XK_3行程开关			
16	I1.7	XK_4行程开关			
17	I2.0	XK_5行程开关			
18	I2.1	XK_6行程开关			



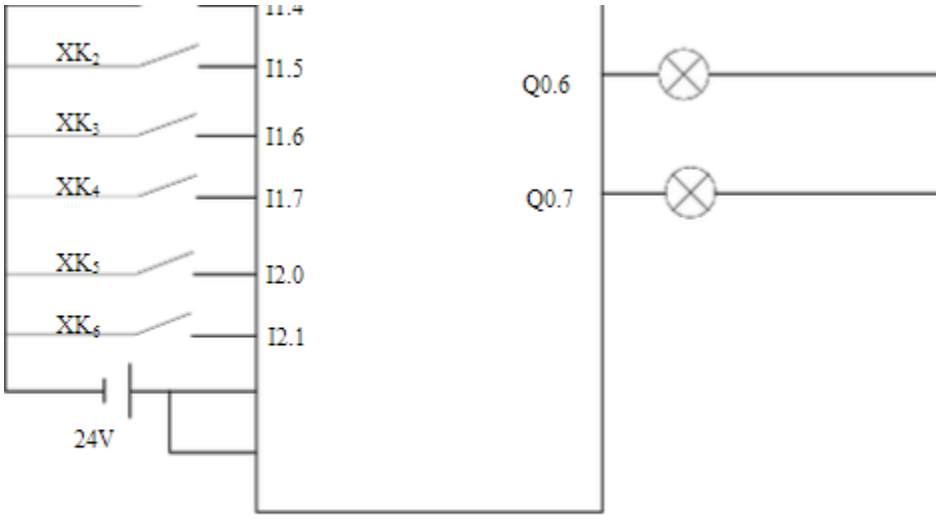


图 2.1 I/O 端子接线图

2.3 主电路的设计

电气原理图一般分为主电路和辅助电路两部分。

电气原理图是根据电气控制系统的工作原理，采用电器元件展开的形式，利用图形符号和项目符号表示电路各电器元件中导电部件和接线端子连接关系的电路图。电气原理图并不按电器元件实际布置来绘制，而是根据它在电路中所起的作用画在不同的部位上。电气原理图具有结构简单、层次分明的特点，适合研究和分析电路工作原理，在设计研发和生产现场等方面得到广泛应用。

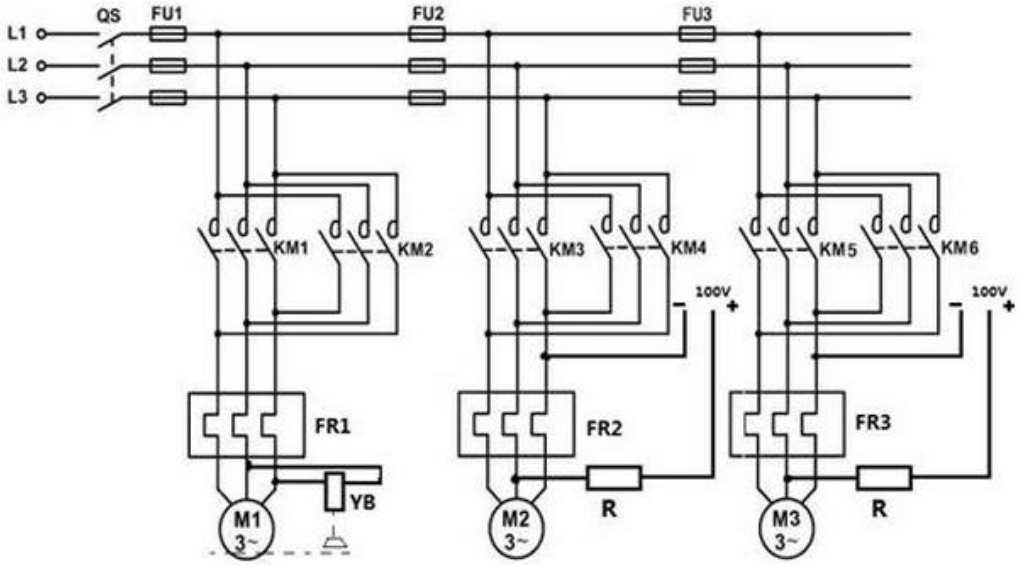
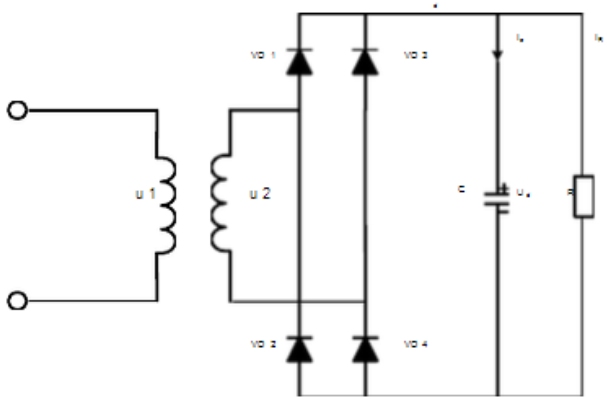


图 2.2 电镀生产线主电路图

2.4 电源的设计



2.3 电容滤波的单相桥式不可控整流电路

2.3 电容滤波的单相桥式不可控整流电路

假设该电路已工作于稳态，在 U2 正半周过零点至 wt=0 期间，因 U2<Ud，故二极管均不导通，电容 C 向 R 放电，提供负载所需电流。至 wt=0 之后，U2 将要超过 Ud，使得 VD1 和 VD4 开通，Ud=U2，交流电源向电容充电，同时向负载 R 供电。

当空载时，R 趋于无穷大，放电时间常数为无穷大，输出电压最大，Ud=1.414U2。通常在设计时根据负载的情况选择电容 C 值，使 RC≥1.5-2.5T,T 为交流电源的周期，此时输出的电压为 Ud=1.2U2.

在本设计中，根据电镀生产线的工艺要求，只需用三台电机分别控制行车的左行、右行和行车的前进、后退以及吊钩的上升、下降。主电路如图 2-2。

图 2-2 中，接触器 KM1，KM2 控制电动机 M1 的正、反转，实现行车的左行、右行，接触器 KM3，KM4 控制电动机 M2 的正、反转，实现行车的前进和后退，接触器 KM5、KM6 控制电动机 M3 的正反转实现吊钩的上升和下降。

2.5 电镀生产线的工作流程图

我们根据设计要求绘制了整个系统的工作流程图，以便可以更清楚的认识该生产线的生产全过程，整个系统的工作流程图，如图 2-3 所示。
行车动作无非就是上下左右前后受控移动，按照指定的顺序(即动作表)完成一系列的动作。要求有几套动作表可以选择，动作可以静态修改，也可以在运行时由上位机动态修改。在这里，我们把行车的一个动作定义为：“到几号工位上升，再到几号工位下降”，或者是“延时几秒”，每个动作表由若干个动作字组成，放在 PLC 的数据寄存器里，动作表由 PLC 程序初始化，也可以在运行时通过串行通讯由上位机读取和修改，PLC 程序在运行时只是不断地解释和执行动作表。

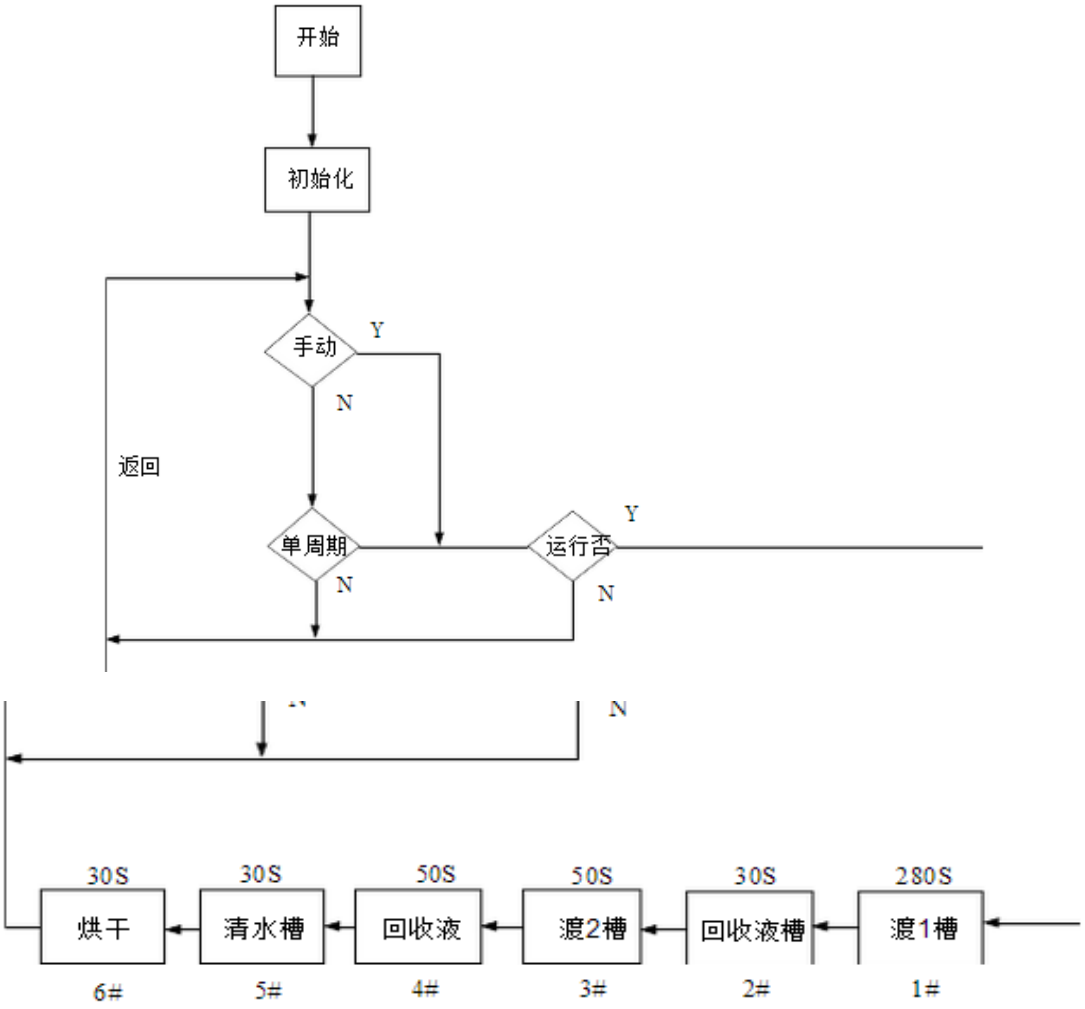


图 2.4 电镀生产线工作流程图

第三章 系统的软件设计
3.1 软件的组成及应用
3.1.1 PLC 内部资源

内部根据软元件的功能不同，分成了许多区域，如输入/输出继电器区、定时器区、计数器区、特殊继电器区等。下面分别介绍下。
1、定时器：电气自动控制的大部分领域都需要用定时器进行时间控制，灵活地使用定时器可以编制出复杂动作的控制程序。它是 PLC 中重要的编程元件，是累计时间增量的内部器件。
定时器的工作过程与继电-接触器控制系统的时间继电器基本相同，但它没有瞬动触点。使用时要提前输入时间预设值。当定时器的输入条件满足时开始计时，当前值从 0 开始按一定的时间单位增加；当定时器的当前值达到预设值时，定时器触点动作。利用定时器的触点就可以得到控制所需的延时时间。
2、计数器：计数器可用来累计输入脉冲的个数，经常用于对产品进行计数或者进行特定功能的编程。使用时要提前输入它的特定植。当输入触发条件满足时，计数器开始累计它的输入端脉冲电位上升延的次数，当计数器计数达到预定的设定值时，其常开触点闭合，常闭触点断开。
3、输入继电器：输入继电器一般都有一个 PLC 的输入端子与之对应，它用于接受外部的开关信号。当外部的开关信号为闭合时，输入继电器的线圈得电，在程序中常开触点闭合，常闭触点断开。
4、输出继电器：输出继电器一般都有一个 PLC 上的输出端子与之对应。当通过程序使得输出继电器线圈得电时，PLC 上的输出端开关闭合，它可以作为控制外部负载的开关信号。同时在程序中其常开触点闭合，常闭触点断开。5、内部位存储器：内部位存储器的作用和继电-接触器控制系统中的中间继电器相同，它在 PLC 中没有输入/输出端与之对应，因此它的触点不能驱动外部负载，这是与输出继电器的主要区别。它主要起逻辑控制作用。
以上几个是我们在本次系统设计的过程中可能需要用到的 PLC 软元件，另外 PLC 还有很多其它的软元件。
3.1.2 PLC 编程语言
PLC 是通过运行编写的用户程序实现控制任务的。PLC 中的程序由系统程序和用户程序两部分组成，系统程序由 PLC 生产厂家提供，它支持用户程序的运行；用户程序是用户为完成特定的控制任务而编写的应用程序。S7-200 系列 PLC 的编程语言非常丰富，有梯形图、语句表、功能块图和顺序功能图等，用户可以选择一种编程语言，如果需要，也可混合使用几种语言编程。这些编程语言都是面向用户的，它使控制程序的开发、输入、调试和修改工作大大简化。我们在本次设计中选择梯形图编程。以下我们详细介绍下梯形图的概念。
梯形图左边有一条垂直的线称作左母线，右边一条虚线称为右母线。母线之间是触点的逻辑连接和线圈的输出。
PLC 梯形图具有以下一些特点：
1、PLC 的梯形图是“从上到下”按行绘制的，两侧的竖线类似电气控制图的电源线，通常称做母线（Bus Bar），大部分梯形图只保留左母线；梯形图的每一行是“从左到右”绘制，左侧总是输入接点，最右侧为输出元素，触点代表逻辑“输入”条件，如开关、按纽、内部条件等；线圈通常代表逻辑“输出”结果，如指示灯、接触器、中间继电器、电磁阀等。对 S7-200 系列的 PLC 来说，还有一种输出“盒”（功能框），它代表附加的指令，如定时器、计数器或数学运算等功能指令。
2、电气控制电路左右母线为电源线，中间各支路都加有电压，当支路接通时，有电流流过支路上的触点与线圈。梯形图中的假想电流在图中只能作单方向的

流动，即只能从左向右流动。层次改变（接通的顺序）也只能先上后下，与程序编写时的步序号是一致的。
3、梯形图中的输入接点如 I1.0、I0.1 等，输出线圈 Q0.0、Q0.1 等不是物理接点和线圈，而是输入、输出存储器中输入、输出点的状态，并不是接线时现场开关的实际状态；输出线圈只对应输出映像区的相应位，该位的状态必须通过 I/O 模块上对应的输出单元才能驱动现场执行机构。
4、梯形图中使用的各种 PLC 内部器件，如辅助继电器、定时器、计数器等，也不是真的电器元件，但具有相应的功能，因此通常按电气控制系统中相应器件的名称称呼它们。梯形图中每个继电器和触点均为 PLC 存储器中的一位，相应位为“1”，表示继电器线圈通电、常开接点闭合或常闭接点断开；相应位为“0”，表示继电器线圈断电、常开接点断开或常闭接点闭合。
5、梯形图中的继电器触点既可常开，又可常闭，其常开、常闭触点的数目理论上是无穷多个（受存储容量限制），也不会磨损，因此，梯形图设计中，可不考虑触点数量，这给设计者带来很大方便。对于外部输入信号，只要接入一个信号到 PLC 即可。
6、电气控制电路中各支路是同时加上电压并行工作的，而 PLC 是采用循环扫描方式工作，梯形图中各元件是按扫描顺序依次执行的，是一种串行处理方式。由于扫描时间很短（一般不过几十毫秒），所以控制效果同电气控制电路是基本相同的。但在设计梯形图时，对这种并行处理与串行处理的差别有时候应予注意，特别是那些在程序执行阶段还要随时对输入、输出状态存储器进行刷新操作的 PLC，不要因为对串行处理这一特点考虑不够而引起偶然的误操作。
3.1.3 组态软件
计算机技术和网络技术的飞速发展，为工业自动化开辟了广阔的发展空间，我们可以方便快捷地组建优质高效的监控系统，并且通过采用远程监控及诊断、双机热备等先进技术，使系统更加安全可靠。
组态软件是指一些数据采集与过程控制的专用软件，它们是在自动控制系统监控层一级的软件平台和开发环境，使用灵活的组态方式，为用户提供快速构建工业自动控制系统监控功能的、通用层次的软件工具。组态软件应该能支持各种工控设备和常见的通信协议，并且通常应提供分布式数据管理和网络功能。对应于原有的 HMI（人机接口软件，Human Machine Interface）的概念，组态软件应该是一个使用户能快速建立自己的 HMI 的软件工具，或开发环境。在组态软件出现之前，工控领域的用户通过手工或委托第三方编写 HMI 应用，开发时间长，效率低，可靠性差；或者购买专用的工控系统，通常是封闭的系统，选择余地小，往往不能满足需求，很难与外界进行数据交互，升级和增加功能都受到严重的限制。组态软件的出现，把用户从这些困境中解脱出来，可以利用组态软件的功能，构建一套最适合自己的应用系统。随着它的快速发展，实时数据库、实时控制、SCADA、通讯及联网、开放数据接口、对 I/O 设备的广泛支持已经成为它的主要内容，随着技术的发展，监控组态软件将会不断被赋予新的内容。
组态软件：对应全称为
Human and Machine Interface/Man and Machine Interface /Supervisory Control and Data Acquisition，中文翻译为：人机界面/监视控制和数据采集软件，一般英文简称有三种分别为 HMI/MMI/SCADA。目前组态软件的发展迅猛，已经

扩展到企业信息管理系统，管理和控制一体化，远程诊断和维护以及在互联网上的一系列的数据整合。
组态软件的功能和特点可归纳如下：概念简单，易于理解和使用；功能齐全，便于方案设计；实时性与并行处理；建立实时数据库，便于用户分步组态，保证体统安全可靠运行；利用丰富的“动画组态”功能，快速构造各种复杂生动的动态画面；引入“运行策略”的概念
它具有以下几个方面的特点：
1、可视化操作界面，真彩显示图形、支持渐进色、丰富的图库、动画连接。　2、无与伦比的动力和灵活性，拥有全面的脚本与图形动画功能可以对画面中的一部分进行保存，以便以后进行分析或打印。
3、变量导入导出功能，变量可以导出到 Excel 表格中，方便的对变量名称等属性进行修改，然后再导入新工程中，实现了变量的二次利用，节省了开发时间。

案例 10

PLC 在数控机床控制系统中的应用

前言

可编程序控制器（PLC）主要以计算机的微处理器为基础，综合计算机的应用技术、通讯技术以及自动控制技术而发展起来的一种通用控制器。虽然 PLC 由较为复杂的微处理器组成，但是在实际应用过程中，完全不必了解微处理器的内部结构。最初，PLC 还仅是作为继电器接触器控制系统的替代品，而自从进入数控机床控制系统领域后，凸显了其独有的优越性，以其自身强大的抗干扰能力、自诊断功能等，提高了数控机床控制系统的可靠性，基本解决了普通继电器及接触器中常见的故障问题，经过调试后可长期安全可靠地运行。

本文将对 PLC 的特点、基本工作过程、机床数控特点原理、在数控机床控制中的应用等问题进行分析与阐述。

第 1 章　可编程序控制器（PLC）的特点

1.1 体积小重量轻

超小型的 PLC 底部尺寸＜100㎜，重量＜150g，其功耗仅为数瓦。由于其体积小，很容易装入机械中，便于机电一体化的实现。

1.2 实用性普遍

PLC 可适用于各种规模的电气控制场合，除了基本的逻辑处理功能之外，当前大多 PLC 具有数据运算能力，并可应用于数字控制领域中。近年来，PLC 的功能日益完善，PLC 的应用已经普遍到温度控制、位置控制及 CNC 等多个控制领域。

1.3 抗干扰能力强

由于 PLC 采用了现代化的大规模集成电路技术，在内部电路、生产工艺等方面均采取先进的抗干扰处理技术，具有较高的可靠性。另外，PLC 还自备硬件故障自动检测功能，一旦出现故障即可发出警报。在软件应用中，应用者还可编入外围器件的自诊断故障程序，让系统中出了 PLC 之外的电路与设备也能获得自我保护功能。

1.4 应用简单、普遍

PLC 作为直接面向企业的工控设备，具有接口容易、编程语言易于被工程技术人员接受并理解等特点，尤其图形符号及梯形图语言、表达方式等与继电器电路图基本类似，只需通过 PLC 的少量开关量逻辑控制指令就能熟练实现在

电气控制中的应用。

1.5 维护与改造方便

PLC 通过存储逻辑替代了接线逻辑，减少了控制设备外在的接线，极大减少了控制系统设计和建造的时间，为后期维护提供了方便，同时程序较易改变，可极快应用于生产过程的改变。

第二章 可编程序控制（PLC）的基本工作过程

PLC 及相关外围设备的设计原则应满足“与工业控制系统为一个整体、方便功能扩展”，所有的电气控制系统的实现都是根据工艺要求，最终提高生产效率及产品质量。因此，在设计 PLC 控制系统时，应满足被控对象的基本要求，并对实际工作现场进行研究、收集资料，并实现设计人员与操作人员的密切配合，共同拟定可操作方案，对可能潜在的问题进行共同分析、共同解决。并在满足各方控制要求的前提下，考虑控制系统的简单性与经济性，方便后期的使用及维修，并确保电气控制的安全性、稳定性。PLC 在电气控制中的基本工作过程为：

（1）现场信息的输入：在系统软件的控制下，按照顺序对输入点进行扫描，并读取输入点的状态。

（2）程序的执行：对用户程序中的指令按顺序扫描，并根据输入的状态及指令进行逻辑性运算。

（3）控制信号的输出：根据以上逻辑运算的结果，输出状态寄存器向各个输出点同时发出相应的信号，以实现所需的逻辑控制功能。

以上过程完成后，再重新开始，并反复执行，每执行一次即完成一个扫描周期。 在实际应用时，很多机械设备的工作流程可分为一系列不断重复的顺序动作，而 PLC 的工作程序恰与其相似，因此 PLC 程序能很好地与机器动作相对应，且程序的编制简单、直观，易于修改，减少了开发软件的费用，并缩短软件开发周期。

第三章 数控机床

3.1 数控机床组成结构及工作过程

本例数控机床由输入、输出装置、数控装置、可编程控制器、伺服系统、检测反馈装置和机床主机等组成，如图 1 所示。

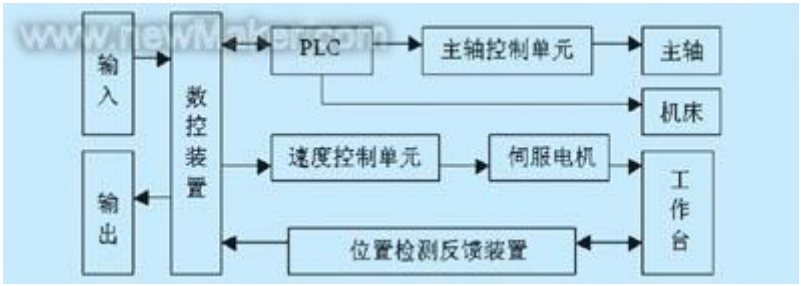


图 1 数控机床组成机构图

输入装置可将不同加工信息传递于计算机。在数控机床产生的初期，输入装置为穿孔纸带，现已趋于淘汰;目前，使用键盘、磁盘等，大大方便了信息输入工作。输出指输出内部工作参数(含机床正常、理想工作状态下的原始参数，故障诊断参数等)，一般在机床刚工作状态需输出这些参数作记录保存，待工作一段时间后，再将输出与原始资料作比较、对照，可帮助判断机床工作是否维持正常。数控装置是数控机床的核心与主导，完成所有加工数据的处理、计算工作，最终实现数控机床各功能的指挥工作。它包含微计算机的电路，各种接口电路、CRT 显示器等硬件及相应的软件。可编程控制器对主轴单元实现控制，将程序中的转速指令进行处理而控制主轴转速;管理刀库，进行自动刀具交换、选刀方式、刀具累计使用次数、刀具剩余寿命及刀具刃磨次数等管理;控制主轴正反转和停止、准停、切削液开关、卡盘夹紧松开、机械手取送刀等动作;还对机床外部开关(行程开关、压力开关、温控开关等)进行控制;对输出信号(刀库、机械手、回转工作台等)进行控制。检测反馈装置由检测元件和相应的电路组成，主要是检测速度和位移，并将信息反馈于数控装置，实现闭环控制以保证数控机床加工精度。数控机床的工作过程如图 2 所示。

图 2 数控机床的工作过程框图

数控加工的准备过程较复杂，内容多，含对零件的结构认识、工艺分析、工艺方案的制订、加工程序编制、选用工装及使用方法等。机床的调整主要包括刀具命名、调入刀库、工件安装、对刀、测量刀位、机床各部位状态等多项工作内容。程序调试主要是对程序本身的逻辑问题及其设计合理性进行检查和调整。试切加工则是对零件加工设计方案进行动态下的考察，而整个过程均需在前一步实现后的结果评价后再作后一步工作。试切成功后方可对零件进行正式加工，并对加工后的零件进行结果检测。前三步工作均为待机时间，为提高工

作效率，希望待机时间越短越好，越有利于机床合理使用。该项指标直接影响对机床利用率的评价(即机床实动率)。

3.2 机床数控系统需要解决的几个问题

机床是由机械和电气两部分组成，在设计总体方案时应从机电两方面来考虑机床各种功能的实施方案，数控机床的机械要求和数控系统的功能都很复杂，所以更应机电沟通，扬长避短。机床控制系统选件、装配、程序编制及操作都应该比较合理，精度和稳定性都必须满足使用要求。同时为便于调试和检修，各项操作均设手动功能，如手动各轴快慢移动、主轴高低速旋转、切削液及润滑开关等。PLC 按照逻辑条件进行顺序动作或按照时序动作，另外还有与顺序、时序无关的按照逻辑关系进行联锁保护动作的控制，PLC 发展成了取代继电器线路和进行顺序控制的主要产品,在机床的电气控制中应用也比较普遍。

在实际控制中如何既能提高定位速度，同时又能保证定位精度是一项需要认真考虑并切实加以解决的问题。精度是机床必须保证的一项性能指标。位置伺服控制系统的位置精度在很大程度上决定了数控机床的加工精度。因此位置精度是一个极为重要的指标。为了保证有足够的位置精度，一方面是正确选择系统中开环放大倍数的大小，另一方面是对位置检测元件提出精度的要求。因为在闭环控制系统中，对于检测元件本身的误差和被检测量的偏差是很难区分出来的，反馈检测元件的精度对系统的精度常常起着决定性的作用。高精度的控制系统必须有高精度的检测元件作为保证。当现场条件发生变化时，系统的某些控制参数必须能作相应的修改，为满足生产的连续性，要求对控制系统可变参数的修改应在线进行。尽管使用编程器可以方便快速地改变原设定参数，但编程器一般不能交现场操作人员使用;所以，应考虑开发其他简便有效的方法实现 PLC 的可变控制参数的在线修改。另外为了防止电压过高损坏 PLC，电源输入端加上压敏电阻。为了防止过热，PLC 不许安装在变压器等发热元件的正上方，变频器与 PLC、伺服驱动器等保持一定距离。在元件间留有适当的空隙，以便散热，并且在配电箱上安装风扇降温。此外，为保证控制系统的安全与稳定运行，还应解决控制系统的安全保护问题，如系统的行程保护、故障元件的自动检测等。

第四章 在数控机床控制中的应用

4.1 永宏 FBs 系列 PLC 的 NC 机床定位伺服控制系统分析

数控机床是一种高精度、高效率的自动化设备，提高数控机床的可靠性就显得尤为重要。可靠度是评价可靠性的主要定量指标之一，其定义为:产品在规定条件下和规定时间内，完成规定功能的概率。对数控机床来说，这里的功能主要指数控机床的使用功能，例如数控机床的各种机能，伺服性能等。数控机床的功能部件对机床的功能扩展和性能的提升起着极为重要的作用，因此，它不同于一般配套件和附件的选用，不仅须与数控机床的整体结构谐和协调，融入整机系统具有最佳的匹配性能，而且还能很好地彰显出该数控机床的个性化特征。用于高速化的数控系统不能仅是提高数据处理能力，而是应具备热误差补偿单元以及能实现速度前瞻控制、位置环前馈控制和加减速平稳控制等先进控制技术的功能。所以必须选择稳定可靠的控制单元才能保证数控机床正常高效运行。

鉴于以上各项要求，笔者采用台湾永宏电机股份有限公司的 FBs-44MN PLC 作为该机床控制主单元，该型机具有较高的性价比，体积小，使用起来非常方便，接线简捷。其编程软件 WinProladder 有梯形图大师之称，易学易用且功能强大，编辑、监视、除错等操作非常顺手，按键、鼠标并用及在线即时指令功能查询与操作指引，使编辑、输入效率倍增。同时配以人机界面进行程序参数修改、设定以及运行状态显示监控，可编程设置人机界面的内容。该控制系统具

有可靠性高，价格便宜，结构紧凑等特点，非常适合机床的控制要求，具体控制思路如图 3 所示。

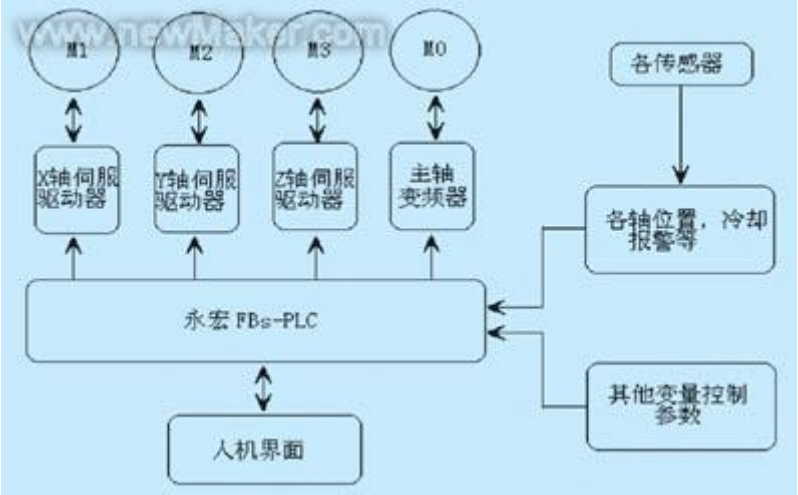


图 3 采用永宏 PLC FBs-44MN 的 NC 机床定位电气控制系统图

可编程逻辑控制器是该机床各项功能的逻辑控制中心，集成于数控系统中，主要是指控制软件的集成化，而 PLC 硬件则在规模较大的系统中往往采取分布式结构。由图 3 可以看出，系统控制中心采用永宏 PLC FBs-44MN 控制，并配以人机界面进行程序参数修改、设定，以及运行状态显示监控，可编程设置人机界面的内容。三轴均为全数字交流伺服系统，各轴伺服电机通过连轴器带动滚珠丝杠，以移动配有直线导轨的工作台和主轴铣头，其定位准确，速度快。主轴铣头由变频器控制，根据刀具及工件和进给量，来设置主轴合理的转速，并在程序中设定它的启动停止。各轴均设二端极限传感器和原点传感器，冷却和润滑也都有异常检测，在报警灯和人机界面处显示报警信息由光栅、感应同步器等位置检测装置测得的实际位置反馈信号，随时与给定值进行比较，将两者的差值放大和变换，驱动执行机构，以给定的速度向着消除偏差的方向运动，直到给定位置与反馈的实际位置的差值等于零为止。闭环进给系统在结构上比开环进给系统复杂，成本也高，对环境室温要求严。设计和调试都比开环系统

难。但是可以获得比开环进给系统更高的精度，更快的速度，驱动功率更大的特性指标。早期使用一般电机作为定位控制，由于速度不快、或者精度要求不高，所以足够应对所需场合;当机械运转为了获取效率而将速度加快时，当产品质量、精度要求越来越高时，电机停止位置的控制就不是一般电机所能达到的了。解决这一问题的最佳方法是采用 NC 定位控制配合步进或伺服电机作定位控制。但在过去，由于它的价格很高，而限制了它使用的普遍性，近年来由于技术的发展及成本的降低，其价位已被用户所接受，使用数量也越来越多。为配合这一趋势，永宏 PLC FBs 系列将目前市面上专用的 NC 定位控制器功能整合在 PLC 内部 SoC 芯片内，除了免掉 PLC 与专用 NC 定位控制器之间复杂的数据交换与连结程序外，更大幅降低整体成本，为用户提供一种价廉物美、简单方便的 PLC 整合 NC 定位控制的方案。永宏 PLC FBs-44MN 内部的 SoC 芯片含有多轴高速脉冲输出以及高速硬件计数器，并且提供简易使用和设计的定位程序编辑，对于这方面的应用，更是如虎添翼、如鱼得水、得心应手了。PLC 结合伺服驱动器所构成的 NC 闭环回路控制系统中，PLC 负责发送高速脉冲命令给伺服驱动器，除了装在伺服电机的位移检测信号直接反馈到伺服驱动器外，外加位移检测器装在传动机构之后，真正反映实际位移量，并将此信号反馈到 PLC 内部的高速硬件计数器，这样就可作更精确的控制，并且可避免上述半闭环回路的缺点。永宏 PLC FBs 系列的定位功能将市面上专用 NC 定位控制器整合在 PLC 内，使 PLC 与 NC 控制器能共享相同的数据区，而不需要作两个系统之间的数据交换与同步控制等复杂的工作，但仍可用一般常用的 NC 定位控制指令(例如 DRV、SPD…等)。PLC 控制 4 轴的定位工作，并可作多轴同动控制，除了提供点对点的定位速度控制，还提供了各轴间直线插补功能。当系统应用超过 4 轴时还可利

用永宏 PLC 的 CPU LINK 功能达到更多的定位运动控制。数控机床对位置系统要求的伺服性能包括:定位速度和轮廓切削进给速度;定位精度和轮廓切削精度;精加工的表面粗糙度;在外界干扰下的稳定性。这些要求主要取决于伺服系统的静态、动态特性。对闭环系统来说，总希望系统有较高的动态精度，即当系统有一个较小的位置误差时，机床移动部件会迅速反应。在数控机床的加工中，伺服系统为了同时满足高速快移和单步点动，要求进给驱动具有足够宽的调速范围。

单步点动作为一种辅助工作方式常常在工作台的调整中使用。伺服系统最高速度的选择要考虑到机床的机械允许界限和实际加工要求，高速度固然能提高生产率，但对驱动要求也就更高。此外，从系统控制角度看也有一个检测与反馈的问题，尤其是在计算机控制系统中，必须考虑软件处理的时间是否足够。全闭环伺服系统是将位置检测元件置于被测坐标轴的终端移动部件上，以检测机械传动链中螺距误差、间隙及各种干扰所造成的传动误差，并进行反馈补偿控制，从而提高机床的位置控制精度。在全闭环伺服控制系统中，对位置检测元件和反馈元件的选择很关键。感应同步器具有精度高、重复性好、抗干扰能力强，耐油耐污及维护简单等优点，特别适合于高精度全闭环数控机床的工作场合。数控机床要求具备稳定性、快速性和准确性，而大型数控机床的机械传动装置转动惯量较大，固有频率低，要使其大大高于系统截止频率很困难，全闭环包括了该进给系统轴几乎所有不稳定的非线性因素，调整不当很容易使机床产生抖动现象。

因此数控机床全闭环伺服系统在保证快速性的基础上主要是解决机床进给运动的稳定性而获得比半闭环伺服系统高的位置精度。伺服电机的编码器将位移检测信号反馈到伺服驱动器，驱动器将输入信号的脉冲频率和脉冲数与回馈信号的频率和脉冲数，经内部的偏差计数器与频率转电压电路处理后，得到脉冲偏差值与转速误差值，这样使控制伺服电机实现高速、精密的速度与位置闭环回路处理系统。伺服电机的转速与输入信号的脉冲频率成正比，而电机的移动量则由脉冲数决定。图 4 是 PLC 控制下的伺服电机工作示意图。

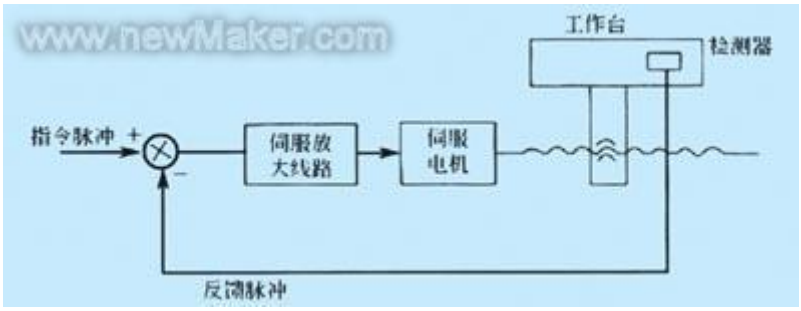


图 4 数控机床伺服电机工作示意图

4.2 相关程序设计与操作

PLC 通过编程器输入程序，达到控制目的。由于 PLC 工作过程是循环，所以程序执行速度很快。另外软件故障检测设计在采用硬件设计的基础上采用软件检测外部行程开关状态，当行程开关失灵后，通过程序控制停止机床的运行，有效地减少了机床因元件失灵造成的事故。

图 5 是使用编程软件 WinProladder 编辑定位程序参数设定指令图，图 6 是具体操作加工程序图。

图 5 定位程序参数设定指令图

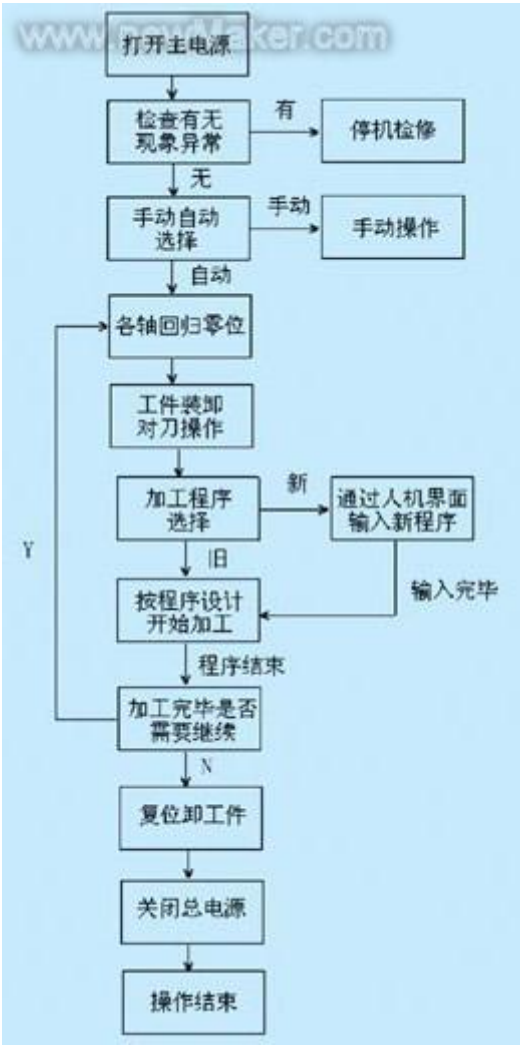


图 6 加工程序图

写在最后，我国是一个机床生产和应用大国，但数控技术的应用水平还不高，严重制约着我国制造业水平的提高。国际上的相关开发计划对我国的数控技术的发展提出了严峻的挑战，同时也带来了机遇。只有选择合适的PLC才能使定位达到预期的效果。永宏FBs系列PLC的NC定位功能在机床数控系统设计中占有重要的地位，该机床经过长期运行表明，整个系统设计合理，控制精度高，运行可靠，提高了生产的自动化水平，减小了操作人员的劳动强度。

案例 11

西门子 PLC 及其通讯技术在炼钢电弧炉及精炼炉上应用

1、概述

电弧炉以及精炼炉在运行过程中其产生的高次谐波及强电磁场所形成的强大干扰，是严重威胁控制和通讯系统安全运行的主要原因。５０吨炼钢电弧炉的电炉变压器额定容量为３１５００ＫＶＡ，二次额定电流可达到４２ＫＡ以上，其冲击和短路电流有时可达到和超过１００ＫＡ。强电磁场和电弧的弧光放电引起的宽带噪声干扰及高次谐波分量与闪变（电压波动），成为计算机及通讯网络，电子设备稳定和安全运行的主要问题。在方案设计和系统设计及ＰＬＣ选型以及制造工艺设计时，都必须充分考虑和关注到系统所处的恶劣运行现场工业环境的抗扰问题。

在为太钢集团公司第一炼钢厂设计的５０吨炼钢电弧炉及６０吨钢包精炼炉控制系统中?穴５０吨电弧炉和６０吨钢包精炼炉的系统总结构图略，可向作者索取?雪，两台电炉的控制系统全部采用西门子公司的Ｓ７－３００系列ＰＬＣ及其通讯技术。经过现场调试和运行结果证明该系统运行状态良好，性能可靠稳定。

2、系统的总体设计

2．1 硬件结构的设计

整个系统采用 4 台西门子 Ｓ７－３１５－２ＤＰ ＰＬＣ主站分别完成对电弧炉炉体控制、电弧炉电极调节，钢包精炼炉炉体控制和钢包精炼炉电极调节。在四台ＰＬＣ主站之间采用西门子公司的ＣＰ－３４２通讯模块构成ＰＲＯＦＩ

ＢＵＳ－Ｓ７通讯网完成各主站间的数据通讯。电弧炉炉体和钢包精炼炉炉体控制ＰＬＣ主站共下设6个ＥＴ２００远程从站，通过西门子公司工业现场总线ＰＲＯＦＩＢＵＳ－ＤＰ完成主——从通讯。系统设计使用一台工程师站，两台操作员站。三台工业计算机中分别采用西门子公司ＣＰ５４１２网卡通过ＰＲＯＦＩＢＵＳ－Ｓ７ 数据通讯网络完成计算机与各ＰＬＣ主站之间的数据通讯。操作员站的画面组态软件选用西门子公司的ＷＩＮＣＣ完成用户二次软件的开发。炼钢电弧炉炉体控制ＰＬＣ主站主要完成对３５ＫＶ高压系统的合分闸操作及高压系统事故分闸的控制，对３１５００ＫＶＡ电炉变压器及变压器油水冷却系统运行状态的监控和保护，并完成电炉水冷炉盖、水冷炉壁等水冷系统２３个测温点水温变化情况的模拟量实时数据采集以及冷却水系统压力、流量等的实时数据采集监视和越限及事故报警。同时通过ＰＲＯＦＩＢＵＳ－Ｓ７网向操作员站进行实时数据的传输，由人机界面完成监控数据的记录、显示和故障报警。

炼钢电弧炉的各ＥＴ２００远程从站分别设置在炉前操作室、炉后操作室、液压泵站和液压阀站以及炉门碳氧喷枪的操作站内。分别构成炉前的炉盖和炉体动作操作和控制炉前倾炉操作，三相立柱锁定和炉前电极升降操作及炉门钢水测温Ｉ／Ｏ。炉后倾炉及ＥＢＴ出钢操作、出钢钢包车操作和修理平台的旋转操作Ｉ／Ｏ。液压泵站主、辅液压泵的切换和运行控制，对高压液罐和气罐的液位和压力控制、空气压缩机的控制、主液箱和回液箱的液位自动控制及液压介质自动温度控制的Ｉ／Ｏ ，液压阀台的Ｉ／Ｏ 及炉门碳氧喷枪三维动作的操作及控制Ｉ／Ｏ。

钢包精炼炉炉体控制ＰＬＣ主站的作用同炼钢电弧炉相似，ＥＴ２００远程从站仅设置在钢包精炼炉的液压站内。

用于控制炉内电弧功率的炼钢电弧炉和钢包精炼炉电极调节系统设计各采用一台西门子 S7－315－2DP PLC主站。主要承担输入炉内的三相电弧功率的实时自动控制，根据不同冶炼工艺和冶炼期自动修正功率配电曲线和控制参数，以满足冶炼工艺要求。设计采用独立设置的两套PLC主站作为电炉和精炼炉电极调节系统可以减轻电炉和精炼炉炉体控制PLC主站CPU的负担，缩短程序扫描周期，有利于提高实时系统相应的响应速度和调节精度。

2．2 控制软件的设计

四台PLC主站的用户程序是在基于西门子公司的SIMATIC STEP7 Basis V5．0 软件平台上完成硬件组态、地址和站址的分配以及电弧炉和钢包精炼炉用户程序的设计开发的，在主程序（OB1）中将各种控制功能和各PLC站点间的通讯数据分别编写在不同的子程序（功能块FB、DB、FC）中，其中35KV高压合分闸、事故高压分闸，模拟量信号的输入均充分考虑了现场工业运行环境的强干扰问题，在软件设计中采用了抗干扰措施。

人机界面的画面组态采用西门子公司的SIMATIC WINCC作为二次用户程序开发的软件平台，在工程师站安装WINCC－RC用于开发，操作员站安装WINCC－RT用于运行，WINCC运行于Windows NT V4．0 操作系统平台之上，以增加系统运行安全和稳定性，并给用户将来建立工厂管理网带来方便。

现场操作人员通过分别设置在电炉和精炼炉操作员站的人机界面监视整个系统各个主要参数的运行情况；这些参数包括：

输入炉内的三相电弧电流，三相电弧电压，三相电弧功率，电能耗的实时显示和历史趋势显示。冷却水系统温度监测点的水温监测以及流量及压力的监测和超温

越限报警。３５ＫＶ高压系统过流、欠压监测。电炉变压器的各种故障报警信号监测和报警，变压器低压侧过电流和高压跳闸信号的监测。炉体状态显示及液压系统的工作状态监测。同时，在不同冶炼阶段炉内三相电弧工作电流的给定值、冶炼时间、３５ＫＶ高压通电时间，钢水温度的显示以及各种报警参数的历史记录和打印报表的生成。

２．３ 通讯网络的组态

网络组态采用西门子公司的ＳＩＭＡＴＩＣ ＮＥＴ，ＮＣＭ Ｓ７ ＰＲＯＦＩＢＵＳ组态软件完成ＰＲＯＦＩＢＵＳ Ｓ７通讯网的网络组态。

在工程师站、操作员站分别设计安装ＣＰ５４１２网卡，在四台ＰＬＣ主站安装ＣＰ３４２－５通讯模块，通过西门子公司的ＰＲＯＦＩＢＵＳ Ｓ７通讯电缆完成工程师站、操作员站和分别分布在电弧炉及钢包精炼炉主控制室的四台ＰＬＣ主站之间的通讯网络硬件组态。

３、抗干扰措施的设计和实施

在电弧炉炼钢的工业环境中，切实有效的硬件和软件抗干扰措施的实施成为系统设计和工厂设计及设备制造和安装过程中必须谨慎考虑的非常主要的环节。

根据现场运行实践证明，电炉变压器在高压合闸瞬间所产生的浪涌，大电流运行时变压器所产生的强磁场，炉内电弧以及大电流线路在电弧短路时所产生的强电磁场，电网的谐波分量等诸因素综合起来的干扰源可视为一个从低频到甚高频的宽带噪声源，其所产生的各种干扰都将严重威胁系统运行及通讯网络的安全和稳定。 故而在设计中针对各种干扰的存在考虑了以下的抗干扰措施：

３．１ 隔离电源

ＰＬＣ主站和远程从站的工作电源均通过带屏蔽的隔离变压器完成对ＰＬＣ电

源供电，使ＰＬＣ与大功率电气设备的电位隔离开来，以避免供电线路带来的噪扰。

３．２ 电源滤波器

隔离变压器的二次侧采用电源滤波器以滤除和衰减以共模和串模形态出现的工频干扰。共模形态出现的干扰将沿地线被滤除，串模干扰则被旁路。

３．３ 有源隔离端子

现场引入的模拟量输入信号和输出信号采用有源隔离端子将由地环路引起的噪声隔离，切断通过现场引入的模拟量信号地环路中的噪声通道。

３．４ 模拟量输入通道的滤波

三相电弧电流、电弧电压等主要电气参数的模拟量采样信号输入通道在进入ＰＬＣ模拟量通道前在经过有源隔离后再由有源滤波器抑制模拟量通道中的串模干扰，在保证有用信号不被衰减的情况下最大限度地将高频噪声衰减，提高通道的信噪比。有源滤波能确保通道信号的增益。

３．５ 模拟量通道的屏蔽

模拟量通道的输入信号传输导线设计采用耐高温的有屏蔽的双绞线电缆以降低辐射干扰和电磁耦合性干扰。

３．６ 数字量输入通道的隔离

ＰＬＣ的数字量输入通道采用光电隔离模块，从强电场现场环境（如高压开关室的真空断路器柜）引入的数字量信号在其触点和模块间加设中间继电器对通道进行双重隔离，防在真空断路器合闸操作同时强干扰串入而引起真空断路器误分闸动作。

３．７ 数字量输出通道的隔离

ＰＬＣ的数字量输出通道主要驱动交流和直流感性负载，大电流负载采用中间继电器过渡，所有通道均设计采用浪涌吸收和ＲＣ组件做为保护。

３．８ 电磁屏蔽

工程师站和操作员站采用钢壳机箱的工控机，系统中的电子设备亦采用屏蔽外壳，再置入控制柜台内形成与柜台外壳间绝缘的双重电磁屏蔽。ＰＬＣ采用悬浮安置方式将金属安装底版与柜壳绝缘隔离。所有电子设备均采用独立引出的专用地线接地，柜台的外壳则接保护地。

３．９ 电子设备的浮地供电

电子设备的直流供电电源采用浮地供电，输入和输出通道直流供电电源各自独立。计算机采用在线式ＵＰＳ电源供电，电子设备采用线性电源供电，其它直流负载采用开关电源供电。

３．１０ 通讯电缆的敷设

两个物理层的通讯电缆采用西门子公司的 ＰＲＯＦＩＢＵＳ通讯电缆（ｂｕｓ ｃａｂｌｅ ｓｏｌｉｄ）?熏在敷设时单独金属穿管。电缆的屏蔽层通过电缆插头的金属外壳经ＰＬＣ的通讯模块ＣＰ和ＤＰ的接口接入独立引出的专用地线接地。同时在电缆走向上注意避免与动力电缆平行，并尽可能远离电炉炉体和大电流线路。

３．１１ 地线

电弧炉炉体外壳采用相对独立的接地线引出接地。

电气设备的保护接地进入工厂接地网。

计算机、ＰＬＣ和通讯网络及电子设备的接地则进入独立的专用地线。浮地处理的电子设备的地线各自独立。

３．１２ 电气设备制造工艺的保证

电气设备柜内的布局，柜内各种电缆和导线（动力、信号、通讯以及接地）的走向，屏蔽和接地的合理布置也是须在设计和设备制造过程中加以认真考虑的。

３．１３ 软件设计中的抗干扰处理

合理设置ＰＬＣ的硬件看门狗时间及采样中断时间。在程序设计中对数字量输入信号采用脉宽甄别、锁存、指令复执技术。在对缓变的模拟量信号进行运算处理之前采用滑动均值滤波等数字滤波技术措施。在ＰＩＤ调节过程中对干扰比较敏感的一是当偏差ｅ较小时，易受影响，二是微分项易引起较大变动。前者用一阶及一阶滞后滤波处理，后者则用不完全微分型ＰＩＤ算法。

设置合理的通讯波特率?熏包括ＰＲＯＦＩＢＵＳ－Ｓ７和ＰＲＯＦＩＢＵＳ－ＤＰ通讯物理层。

４、结语

在系统的热负荷调试和以后的运行情况表明，在设计中只要充分注意和采用正确合理的抗干扰措施，在恶劣的工业环境中西门子 Ｓ７－３００系列ＰＬＣ（四台主站设计选型均为Ｓ７－３１５－２ＤＰ）及其ＰＲＯＦＩＢＵＳ的Ｓ７和ＤＰ通讯网络的可靠稳定及经济安全运行是可以得到保证的。

西门子公司的ＳＩＭＡＴＩＣ ＳＴＥＰ７ Ｂａｓｉｓ Ｖ５．０ 编程平台安装在工程师站。基于Ｗｉｎｄｏｗｓ ＮＴ操作平台的支持下在系统运行过程中对各ＰＬＣ主站程序的诊断、在线监控、修改和下载都比较方便和快捷。而符号名寻址方式使用户参照硬件原理图阅读理解程序变得简明容易，ＮＣＭ、Ｃｏｎｆｉｇｕｒａｔｉｏｎ等组态工具以及ＰＩＤ、Ｆｕｚｚｙ Ｃｏｎｔｒｏｌ＋＋等软件开发工具包给设计编程人员减少了二次开发的工作量。

ＰＲＯＦＩＢＵＳ Ｓ７通讯网和ＤＰ现场总线结构的集散控制方式使得现场布线的大量简化成为可能，工程造价的降低以及运行维护的经济性，系统设计的灵活性将受到用户的认可和欢迎。

案例 12

SIEMENS PLC 系统中热插拔功能的应用与说明

在许多应用场合，我们需要 PLC 控制系统能够实现热插拔功能，所谓热插拔就是在系统通电运行状态下，进行硬件的更换和调整。

SIEMENS PLC 控制系统关于热插拔功能的定义：

1. 带电插拔模块时，确保不造成模块的硬件损坏；
2. 带电插拔模块时，CPU 不停机，并产生报警；
3. 带电插拔模块时，该模块 I/O 通道的数值保持不变，而其他模块的运行不受影响；
4. 带电插拔模块时，CPU 中触发中断组织块或通过 DP 诊断程序块，得到模块拔出或插入的事件信息，在用户程序或中断组织块 OB**中进行相应控制逻辑和 I/O 通道的处理；

SIEMENS 的 PLC 控制系统中：

- ✓ S7-200 系列 PLC 不支持热插拔功能；
- ✓ S7-300 CPU 直接带 I/O 模块的方式不支持热插拔；
- ✓ S7-300 作为 PROFIBUS DP 主站下挂 DP 从站 ET200M、ET200S、ET200iS，支持热插拔功能；　（需要使用有源总线底板，如下说明）

  注： 采用 S7-300 作为主站的软冗余系统无法实现热插拔全部功能，不具备以上所列第 3，4 条目中的功能。当您将 ET200M 从站上的模块拔出时，CPU 不停机，主 CPU、备用 CPU 上的 SF 灯亮，BUSF 灯闪烁，ET200M 从站上的 2 块 IM153-2 模块的 SF 灯亮，BF 灯闪烁，该 ET200M 从站上所有模块的 I/O 值被清 0，S7-300 主站失去对该 ET200M 从站的控制能力。当您再次将模块插入到 ET200M 站上时，系统从主 CPU 切换到备用 CPU，SF、BUSF、BF 灯熄灭，软冗余系统重新回到正常运行状态。
  若要在软冗余系统中实现热插拔的 4 项功能，您必须使用 S7-400 作为软冗余系统的主站。

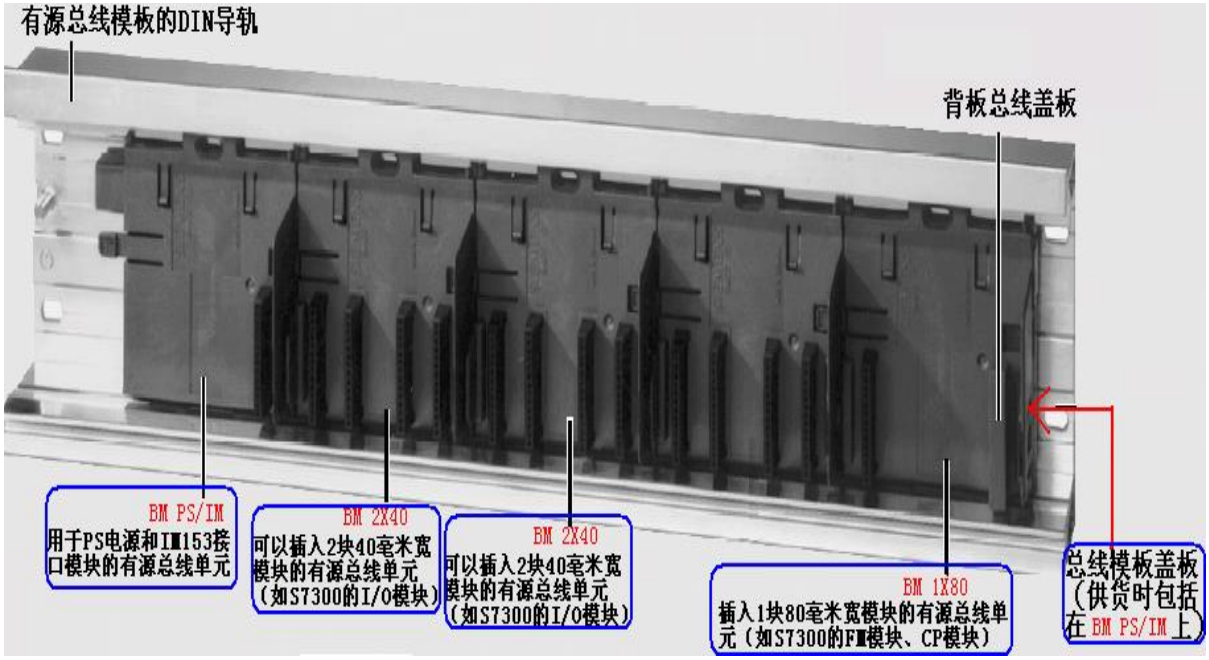
- ✓ S7-400 作为 PROFIBUS DP 主站下挂 DP 从站 ET200M、ET200S、ET200iS，支持热插拔功能；　（需要使用有源总线底板，如下说明）
- ✓ S7-400 CPU 直接带 I/O 模块的方式支持热插拔。
  S7-400 系统由于很好的电磁兼容性和抗冲击、耐震动性能，因而能最大限度的满足各种工业标准，模板能够带电插、拔，当 S7-400 机架上插入

或取出模板时，都会在 CPU 中产生一个中断信息，供客户在用户程序中对模板更换的动作进行相应的处理。

ET200M 的有源总线底板配置与说明：

ET200M 是在工业现场经常使用的 PROFIBUS DP 分布式从站，一个 ET200M 从站一般由**导轨**（S7-300 系列通用导轨）、**IM153** 接口模块、若干块 S7-300 系列的**模块**（PS 电源模块、I/O 模块、CP 通讯模块、FM 功能模块）组成：

这样的 ET200M 从站是不支持热插拔功能的。为了实现 ET200M 从站的热插拔功能，我们需要对 ET200M 的硬件配置进行一些调整，通用导轨更换成带有有源总线模板的导轨，下图向您展示了 1 个有源总线导轨和 5 个有源总线模板组装后的情形：



如下是关于有源总线模板的订货信息和实物照片：

名称	订货号	注释	图片链接
有源总线导轨	6ES7 195-1GA00-0XA0	长度为 19 寸 最多安装 5 个有源总线模板	实物图片
	6ES7 195-1GF30-0XA0	长度为 530 毫米 最多安装 5 个有源总线模板	

有源总线模板	6ES7 195-7HA00-0XA0	BM PS/IM 用于放置电源和 IM153 接口模块，包括一个总线模板盖板	实物图片
	6ES7 195-7HB00-0XA0	BM 2X40 用于 2 个宽 40 毫米的模块	实物图片
	6ES7 195-7HC00-0XA0	BM 1X80 用于 1 个宽 80 毫米的模块	实物图片
	6ES7 195-7HD00-0XA0	BM IM153/IM 153 用于放置 2 个基本型 IM153-2 接口模块 (在软冗余或 400H 硬冗余系统中使用)	
	6ES7 195-7HD10-0XA0	BM IM153/IM 153 用于放置 2 个高性能 IM153-2 接口模块 (在软冗余或 400H 硬冗余系统中使用)	实物图片
附件	6ES7 195-1JA00-0XA0	端子盖 一包有 4 个背板总线盖板和 1 个总线模板盖板	
	6ES7 195-1KA00-0XA0	防薄挡板 用于防爆环境的总线模板盖板	
ET200M 从站上的接口模块	6ES7 153-1AA03-0XA0	IM153-1 普通接口模块	
	6ES7 153-2AA02-0XA0	IM153-2 支持冗余功能的接口模块，基本型	实物图片
	6ES7 153-2BA00-0XA0	IM153-2 支持冗余功能的接口模块，高性能型(支持 PROFIBUS 的等时功能)	
热插拔冗余套件	6ES7 153-2RA00-0XA0	2 个 6ES7 153-2AA02-0XA0 1 个 6ES7 195-7HD00-0XA0	
	6ES7 153-2RA01-0XA0	2 个 6ES7 153-2BA00-0XA0 1 个 6ES7 195-7HD10-0XA0	

6ES7 195-1GA00-0XA0

6ES7 195-7HA00-0XA0

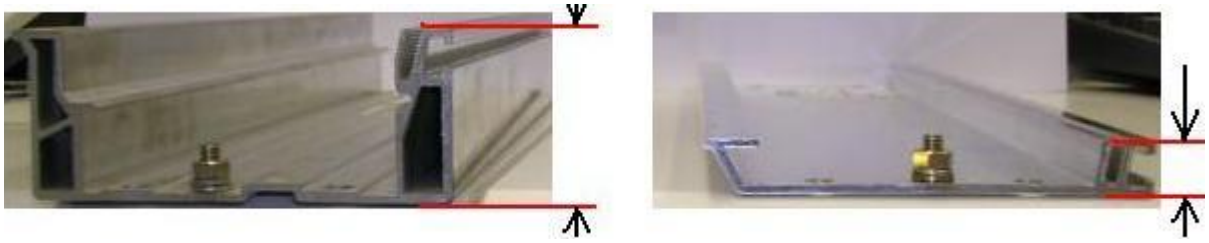
6ES7 195-7HB00-0XA0

6ES7 195-7HC00-0XA0

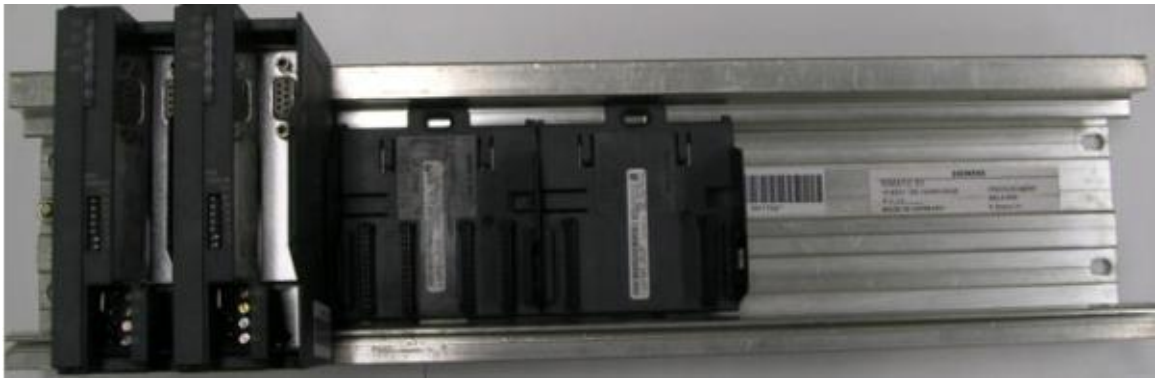
6ES7 195-7HD10-0XA0

6ES7 153-2AA02-0XA0

下图向您比对了有源总线导轨与 S7-300 通用导轨的区别：



下图向您展示有源总线导轨、有源总线模板和 2 个 IM153-2 接口模块组装后的情形：



关于 ET200M 站"Module change during operation"（运行中更换模块）功能实现的说明：

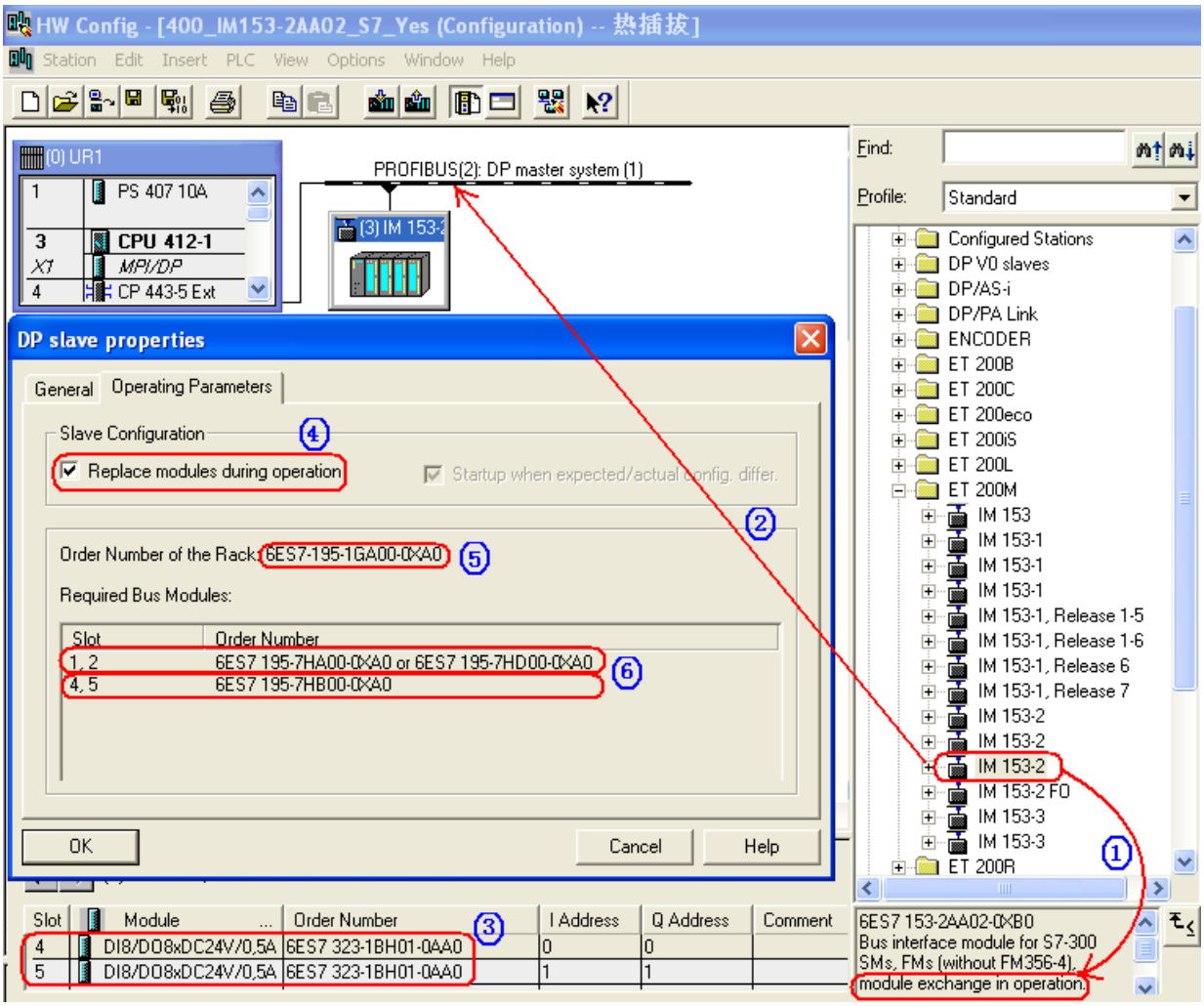
"Module change during operation" (or "Insert/Remove module") 功能使得您能够在系统下运行过程中，在 ET200M 站上带电拔出或插入模板，即热插拔功能。

硬件要求：

使用普通的 S7-300 导轨和 U 型总线连接器是不能实现热插拔功能的，您必须购买有源总线底板，才能实现该功能。另外，您在配置时，必须使用 MLFB 6ES7 153-1AA**02**-0XB0 版本以上的接口模块，因为它支持 DP 协议的 DPV1 版本，而 MLFB IM153-1AA**00**-0XB0 模块是不支持该功能的。目前您能够购买到的 IM153 接口模块都支持热插拔，只有 2-3 年以前的 IM153 接口模块不支持热插拔。

软件要求：您必须在 STEP7 5.1 版本以上进行配置；

如果您采用 S7-400 CPU 或 S7-400 CP 作为 DP 主站，那么您可以直接在 IM153 的属性窗口的"Operating Parameters"标签页里配置热插拔功能。 如下图所示：



STEP1：在 STEP7 的硬件组态窗口的 PROFIBUS DP 目录中选择相应 IM153 模块，可以看出该模块支持“module exchange in opration”（热插拔）；

STEP2：将 IM153 模块拖到 PROFIBUS 总线上；

STEP3：选择 I/O 模块，插入到 ET200M 站的各个槽位中；

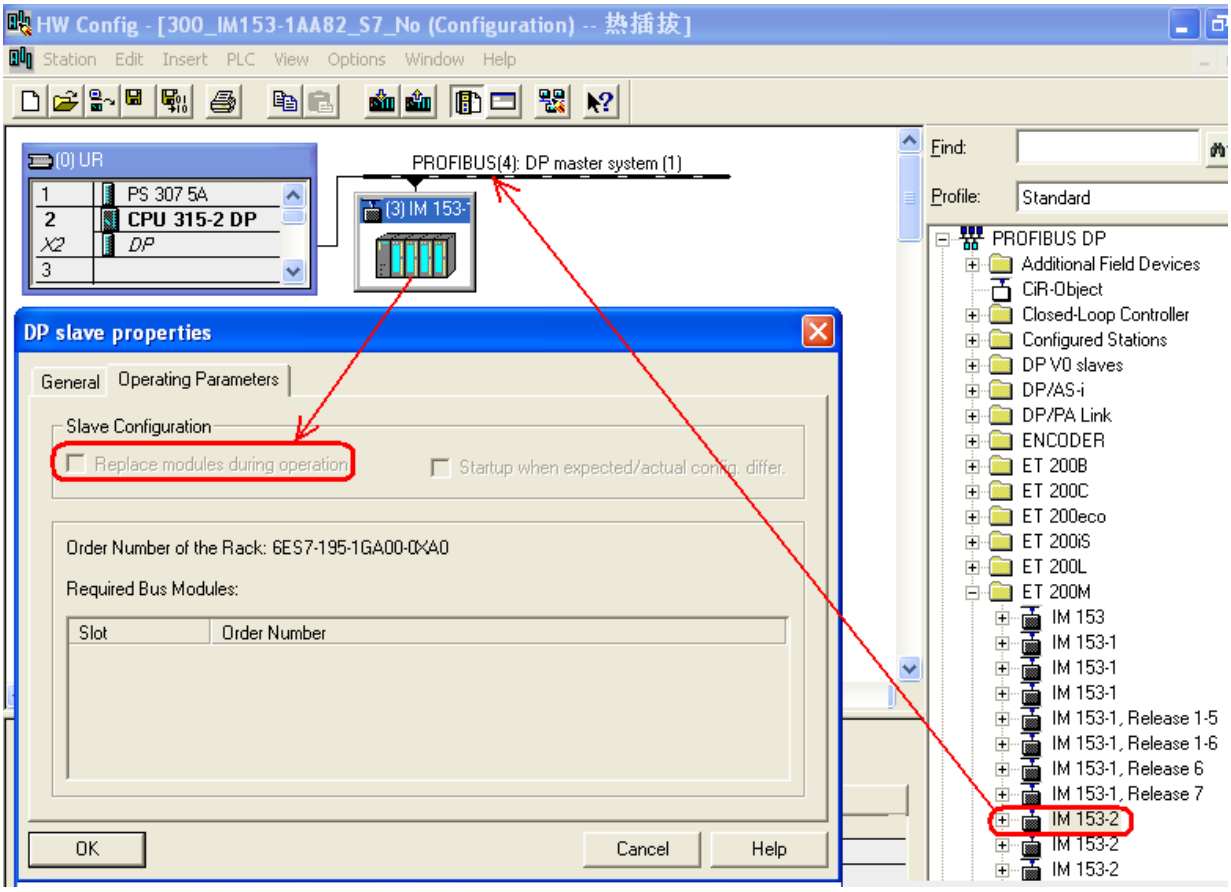
STEP4：双击 ET200M 站，打开属性窗口，选中“Replace modules during operation“(热插拔)选项；

STEP5：属性窗口中提供了 ET200M 站热插拔功能所需的有源总线导轨的订货号；

STEP6：属性窗口中提供了该型号 IM153，插入的 I/O 模块对应使用的有源总线底板的订货号；

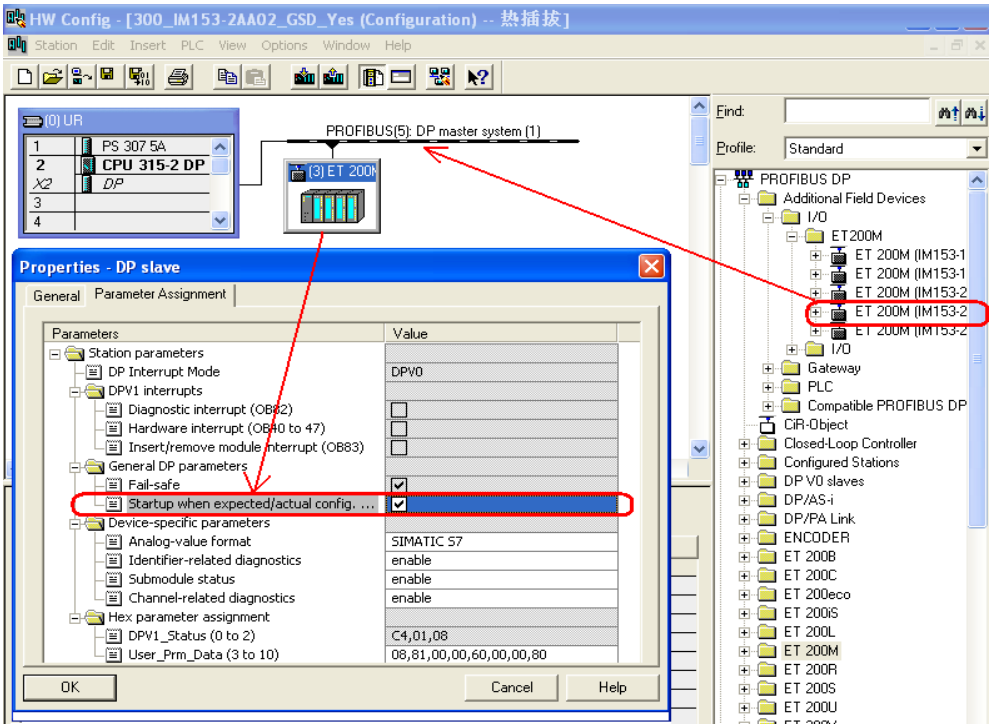
除了以上的硬件组态之外，还要向 S7-400 中下载 OB82、OB83、OB84、OB85、OB86、OB87、OB121、OB122 等组织块。当 ET200M 从站上进行模块的热插拔时，中断组织块 OB83 ，OB85，OB122 被调用。

如果您采用 S7-300 CPU 或 CP 342-5 作为 DP 主站，那么您只能够通过安装 GSD 文件的方式将 IM153 模块组态成 DP 从站，并双击 IM153，打开它的属性窗口，进行设置。否则您在 STEP7 的硬件组态窗口中直接将 PROFIBUS DP 目录 ET200M 文件夹下 IM153 模块挂在 PROFIBUS 总线上，如下图：

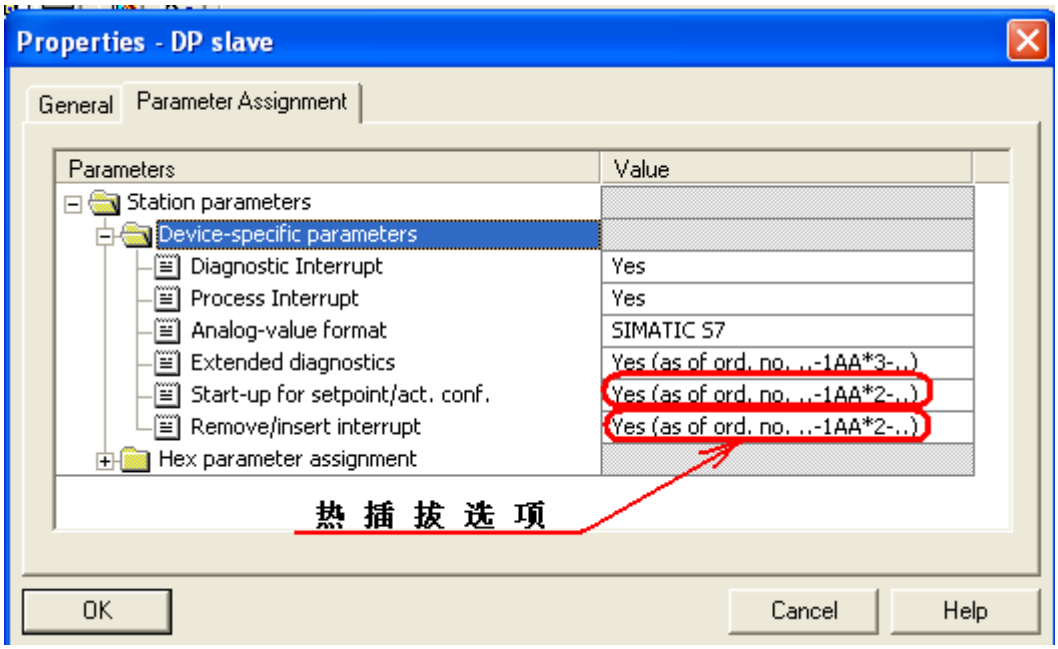


从上图可以看出，当你从右侧的 PROFIBUS DP 树型目录中将 IM153-2 模块拖到 PROFIBUS 总线上后，双击点开 IM153 的属性，“Repalce modules during operation”(热插拔功能)选项为灰色，所以在这种方式下，无法实现热插拔的全部功能，只能实现第 1、2 两条，不能实现第 3、4 条功能。

要实现热插拔的全部功能，首先在 113498.处下载 IM153 的 GSD 或 GSE 文件，在 STEP7 软件中导入该文件（参见 2383630.中的内容），再在 IM153 模块的属性窗口中选择热插拔选项，如下图所示：



添加 IM153-2 模块到 PROFIBUS 总线上，设置热插拔选项



设置 IM153-1 模块的热插拔功能选项

除了以上的硬件配置之外，还要向 S7-300 的 CPU 中下载 OB82、OB86、OB121、OB122 等组织块,才能保证当您在 ET200M 站上进行模块热插拔时，S7-300 的 CPU 保持运行，而 ET200M 站上其他模块的工作不受影响。同时，当您进行 ET200M 站上模块的拔出或插入，系统都会调用 OB82、OB86，您可以获取 OB86 和 OB82 中的参数返回值，得知什么**时间**是哪一个**主站**下的哪一个**从站**上的模块被插拔，您可以根据系统控制逻辑的需要，在组织块 OB82，OB86 中编写

用户程序，调整 I、O 的数值，确保进行模块热插拔时，生产机构处于安全运行状态。

您可以在 S7-300 的用户程序中循环调用 SFC13（DP 总线诊断功能块），不断获取 DP 网络的诊断信息，当 ET200M 从站上进行模块的热插拔时，可以从 SFC13 的返回数据（在 DB 块中）获取插拔模块的信息，在用户程序中对返回的诊断信息进行判断、评估后，进行相应的逻辑控制和 I/O 处理，使生产机构处于安全运行状态；

如果您在 ET200M 站中使用了参数化的模块（如 FM354，CP340 等非输入输出的模块），在 DP 主站通电初始化过程中会对这些模板进行参数化和配置。当您带电拔掉可参数化的模块，再插入后，模块原有的参数就会丢失。除非重新启动 DP 主站，在主站进行初始化过程中，对这些模块在进行一次参数化和配置，否则这类模块在被拔掉，再插入后，只能够以它的默认参数运行。

案例 13

纯净水灌装机 PLC 系统控制的设计

摘要：近年来，社会的发展和进步对各行各业提出了越来越高的要求。机械化加工企业为了提高生产效率和市场竞争力，采用了机械化流水线作业的生产方式，对不同的产品分别组成了自动流水线。产品不断地更新换代，也同时要求相应的控制系统随之改，提高产品生产的效率。在这种情况下，硬连接方式的继电接触式控制系统就不能满足经常更新的要求了。这是因为，一是成本高，二是周期长。在早期还出现过矩阵式顺序控制器和晶体管逻辑控制系统，由于这些装置体积大，功能少，本身存在很多不足，虽然在能够提高控制系统的通用性和灵活性，但均未得到广泛应该。

PLC 可编程序控制器具有结构简单、编程方便、可靠性高等优点，已广泛用于工业过程和位置的自动控制中。据统计，可编程控制器是工业自动化装置

中应用最多的一种设备。专家认为，可编程控制器将成为今后工业控制的主要手段和重要的基础设备之一。由于 PLC 具有对使用环境适应性强的特性，同时其内部定时器资源十分丰富，纯净水灌装机发展很快，早已由人工手动灌装发展实现机械自动化灌装，且自动化水平日益提高。随着科学技术和生产的发展，现在越来越多的将 PLC 应用于灌装机系统中。

前言

民以食为天，食以水为先。随着生活质量的提高和环保、健康意识的增强，人们对饮水问题日益重视。其中，纯净水以其突出的优点受到市民的欢迎。于是，纯净水灌装机行业迅速兴起，各种纯净水灌装机相继问世。调研表明，大多数纯净水灌装机采用了继电器控制。它具有效率高、功能强、加工质量高等特点，是当今世界的前沿课题，但还存在一些问题，例如：罐装精密度以及稳定性难以保证、更换灌装规格困难等。

本设计采用的是 PLC 控制的纯净水灌装机系统。用 PLC 的控制系统来取代原来由单片机、继电器等构成的控制系统，采用模块化结构、具有良好的可移植性和可维护性，对提高企业生产和管理自动水平有很大的帮助。同时又提高了生产线的效率、使用寿命和质量，减少了企业产品质量的流动，因此具有广阔的市场前景。设计中选取的 PLC 是西门子生产的 S7-200。S7-200 系列是一类可编程逻辑控制器（Micro PLC）。这一系列产品可以满足多种多样的自动化控制需要， S7-200 Micro PLC 的 CPU22*系列 PLC 的 CPU，具有紧凑的设计、良好的扩展性、低廉的价格以及强大的指令，使得 S7-200 可以近乎完美地满足小规模的控制要求。此外，丰富的 CPU 类型和电压等级使其在解决用户的工业自动化问题时，具有很强的适应性。

第一章 概述

1.1 本文主要研究内容

本文主要研究的是基于PLC控制的纯净水灌装机系统的主体结构功能。各个组成部分及其结构和功能，其中包括冲洗机、灌装机、理盖器、上盖器及旋盖器。灌装机的动作过程。同时本文还将对S7-200 PLC及其编程软件的使用进行详细的叙述，并就本文的纯净水灌装机进行编程并仿真，实现其自动控制。

1.2 课题研究意义

要把灌装机产品国产化，要走相当一段的路程，国内现状是“互仿”--互相仿造，在国内仿造，也叫做“内仿”。水平大概一致，今天你有的，明天别人就仿去了。一个灌装机行业也就那么几家有自己的机械设计能力来开发新产品。其他的制造商就跟进过来。所以在互联网上我们查找灌装机会看到很多产品，但大多雷同。相比较而言，一些国外厂家，他们的产品不论是在外观还是的设计原理上都有比较大的区别。这就是很多国内一些想创新的厂家努力去学习国外产品的原因，操作方法是到国外参加展会，拍些设备图片或直接购买一个设备样品，拿来仿造就可以了。这就是“外仿”，仿造国外的。不管是“内仿”还是“外仿”都是在仿造。自己没有太多的创新和设计。产品就会一直在跟进，跟着别人前进。要想超越和创新就必须有自己的机械设计能力，机械设计和研发是灌装机最终能国产化的根本前提。

我国液体灌装机要满足包装行业快速发展的需求，并积极参与国际竞争，就必须打破“小而散”的行业态势，在“高精尖”的方向上不断前进。业内人士认为，未来液体灌装机将配合产业自动化趋势，在技术发展上朝着机械功能多元化，结构设计标准化、模组化，控制智能化，结构高精度化等几个方向发展液体。因此灌装机的发展为食品、药品的现代化加工和大批量生产提供了必要的保证。

本设计就是针对以上而设计的一种以PLC可编程控制系统为主导的灌装机系统。灌装生产线有两条传送带，空瓶传送带和灌装传送带。生产线分为三个工位，这三个工位完成桶的清洗和吹干、灌装、和旋盖。生产线启动后，空瓶传送带送过来的空瓶依次完成上述功能。

第二章 纯净水灌装机结构功能分析及其主要工艺流程

开发灌装机时分为两部分机械系统和电气控制系统，电气系统包括硬件和软件部分，这方面我将于下面的章节中具体讨论。本章中笔者将主要叙述纯净水灌装机机械系统中的各结构功能及其整体工作流程。

2.1 纯净水灌装机结构功能分析

⑴整体立体布局如图 2-1 所示。

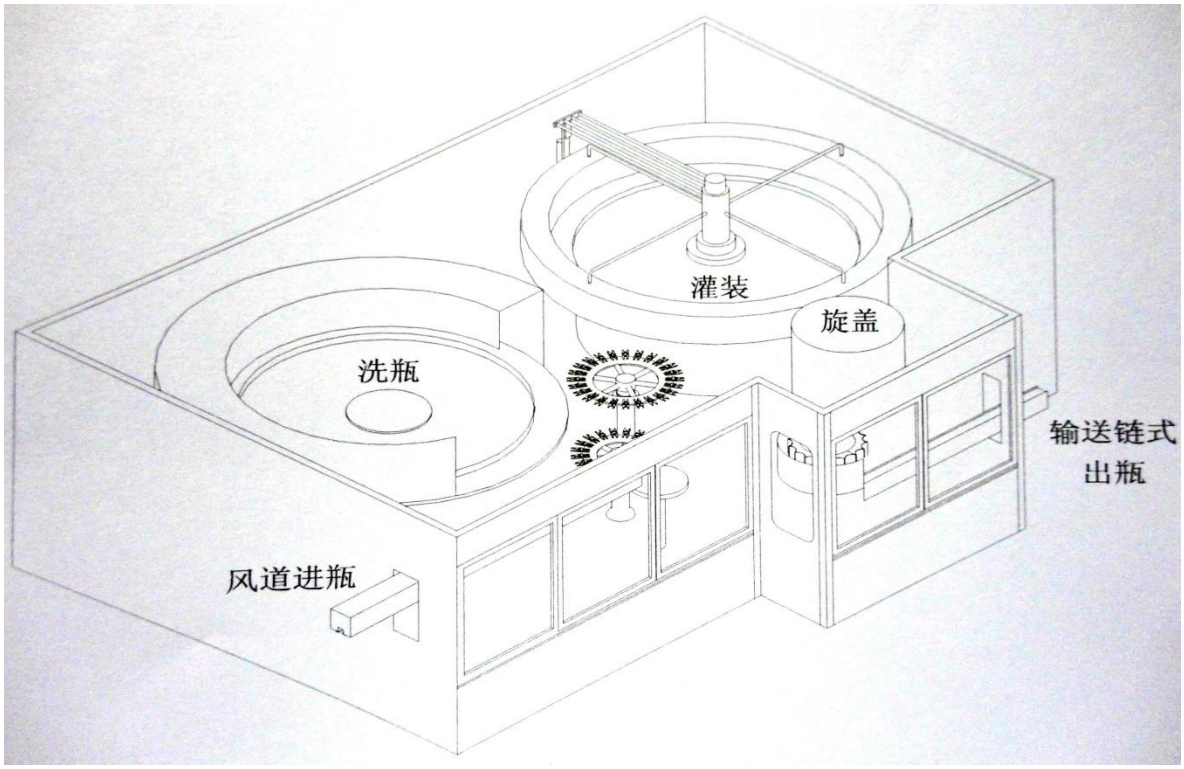


图 2-1 纯净水灌装机整体立体布局

⑵各个部分的结构组成：

纯净水灌装机整体平面布局如图 2—2 所示，其动作过程为：进瓶风道将待灌装瓶送至星轮传动Ⅰ，并由星轮传动Ⅰ把瓶传至冲洗机夹瓶机构，夹瓶机构夹持瓶颈依冲洗机导轨运转进行翻转对瓶内外进行冲洗，冲洗干净并沥干的灌装瓶依形板通过星轮传动Ⅱ，再由星轮传动Ⅱ把瓶传至灌装机，由卡瓶板卡住瓶颈依灌装运行导轨上升并顶开灌装阀进行灌装，灌装完后再下降，脱离灌装阀，并依形板通过星轮传动Ⅲ传至星轮传动Ⅳ。在星轮Ⅳ将待灌装瓶传至旋盖器上的过程，上盖器将瓶盖盖在瓶上，最后由旋盖卡瓶板卡住待灌装瓶瓶颈进

行旋盖，最后依形板通过输送链将灌装旋好盖的饮料瓶传出，这样就完成冲洗、灌装、旋盖全过程。

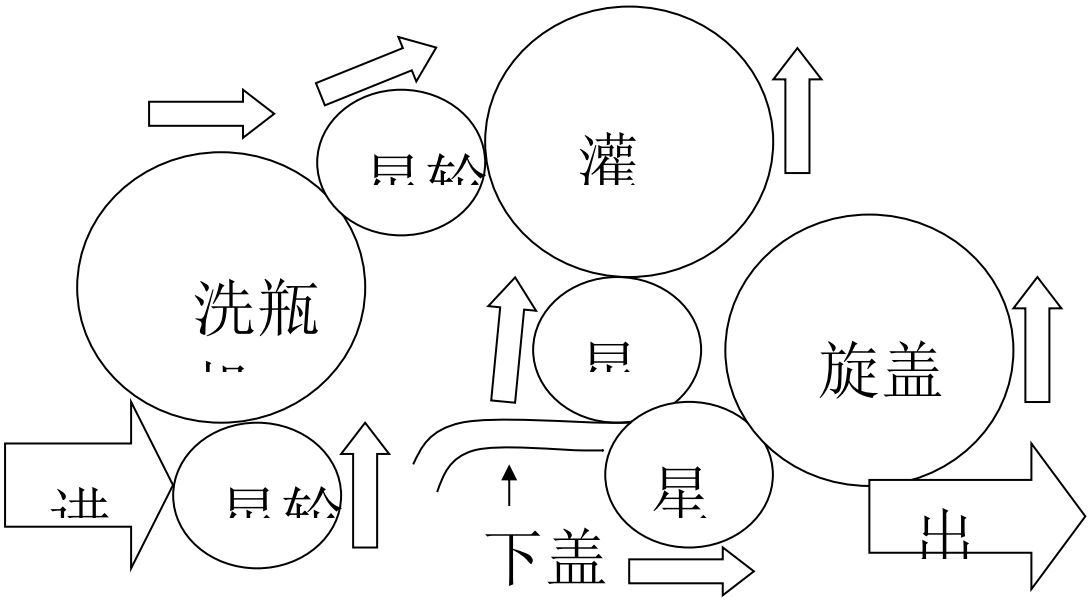


图 2-2 纯净水灌装机整体平面布局

2.2 纯净水灌装机的主要工艺流程

依照上图中的纯净水灌装机立体及平面布局以及其动作过程绘制其主要工艺流程如图 2—3 所示。

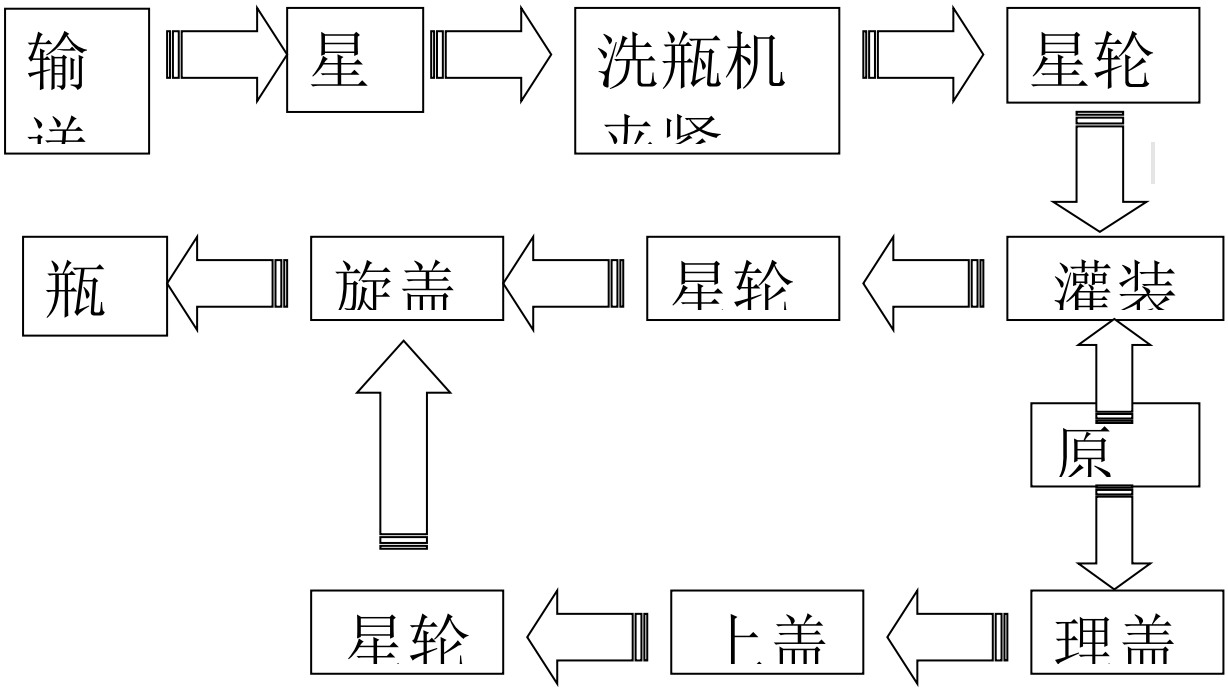


图 2-3 纯净水灌装机主要工艺流程图

第三章 设备主要组成部分

该设备主机主要由底板架、玻璃围框、洗瓶机、灌装机、旋盖机、主电机传动、星轮传动、星轮形板、理盖器、下盖槽、上盖器及电气控制系统等部件组成。其中底板架由矩形管及钢板组焊而成，上表面及四周覆盖不锈钢面板，强度高，刚性好，重量轻，是整台设备的基础件，其底部装有地脚螺栓，可调节水平及高低；玻璃围框将主机四周封闭起来，上部采用透明玻璃门对设备进行监控，玻璃门上设有保护装置，在机器运转时打开它会自动停机，外形美观大方，使用安全可靠。

3.1 冲洗装置

冲瓶装置采用翻转式连续跟踪喷冲的方式，其进瓶、翻转，出瓶过程全自动化。根据需要，可选择水冲洗、消毒、无菌水冲洗或选择冲温水、热水、喷压缩空气，使其同时具有冲洗和杀菌功能，将瓶中残留水减至极少。

在对瓶子进行外部清洗时，待洗的瓶子放在两个转动着的导辊上，导辊带动瓶子旋转。当推头 M 把瓶推向前进时，转动着的刷子就把瓶子外面洗净。当前一个瓶子将洗涮完毕时，后一个待洗的瓶子已进入导辊待推。

清洗的专用设备由不锈钢水泵、高压喷头、电器箱等组成。该机采用高压反冲喷洗，瓶壁的杂物能及时脱离掉入水箱中。

在对瓶子内部进行清洗时所用的洗瓶机主要由洗瓶夹、上转盘、导轨、分水盘、防护罩、喷水装置、接水盘等组成。动作过程为：洗瓶夹随上转盘旋转，与进瓶星轮交接时靠弹性变形张开瓶口夹，夹持灌装瓶颈，依导轨作一百八十度翻转，瓶口朝下进行清水冲洗然后滴干，再翻转 180°，瓶口朝上由出瓶星轮带出；防护罩可防止冲洗水溅出；分水盘将清洗水由静止件送至旋转件。

洗瓶机的特点有：

⑴传动全程为夹瓶口，方便不同瓶型的切换。

⑵可根据要求进行多道清洗。

⑶无瓶不冲洗。

⑷如果水压降低，安全系统会使机器停止运转。

⑸如果机器停止运转，洗瓶机进瓶处会有一个电磁阀阻止瓶子继续进入。

⑹冲瓶机夹头带有快速插头，由食品级橡胶制成，一个带开口的收集器，装在转台的中心，该收集器主要收集冲洗液，其表面为玻璃钢或者不锈钢涂层，防止清洗液喷射到外面。

洗瓶机的工作原理为：瓶子装入特制的瓶盘中，特制瓶盘由瓶盘和盖板组成并由瓶盘的带孔子分隔定位。由人工送入第一工位，循环水喷淋注水满江后，下沉至超声波槽进行超声波粗洗；随后瓶盘上升推入第二工位，瓶口朝下喷淋水冲洗外瓶，把针头插入瓶中一次清洗（注射用水）、二次清洗（注射用水）、三次气冲、甩干。洗瓶机的清洗工序图如图 3—1 所示。

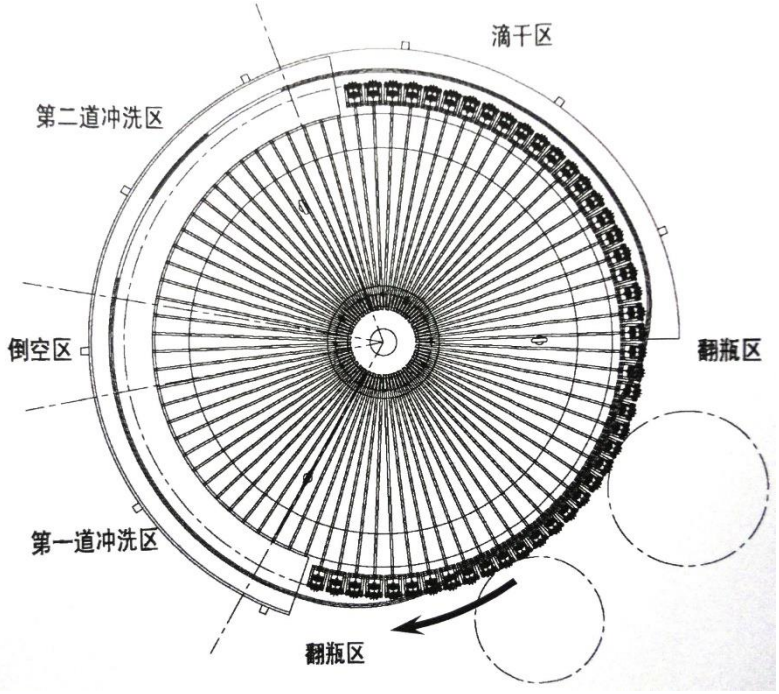


图 3—1 洗瓶机清洗工序图

洗瓶机的优势有：

⑴结构简单、性能稳定、操作容易、维修费用低。

⑵多规格、多用途。

⑶可联动使用，也可单机使用。

⑷采用气动系统，无污染。

⑸采用 PLC 控制操作洗瓶工艺，超声波清洗时间可自由设定。

⑹具有残水去除装置。

⑺和平盘式清洗方式实现了洗瓶低破损率。

⑻装满安瓿瓶的瓶盘可直接进下灭菌烘箱，不需要翻盘。

⑼清洗质量符合 GMP 规范要求。

⑽可为用户节省水资源。

3.2 灌装机构

纯净水灌装机构主要由：灌装桶、灌装阀、导轨、提升装置、卡瓶升降装置等组成，其结构图如图 3—2 所示。它的动作过程为：待灌装瓶清洗完毕之后由星轮传动Ⅱ的卡瓶板送入灌装机，灌装卡瓶板托住瓶颈，随灌装桶等一起旋转，并依导轨随升降导杆上升打开灌装阀灌装，灌装完后，下降脱离灌装阀，灌装阀自行关闭。瓶随星轮传动Ⅲ的卡瓶板送出灌装机。

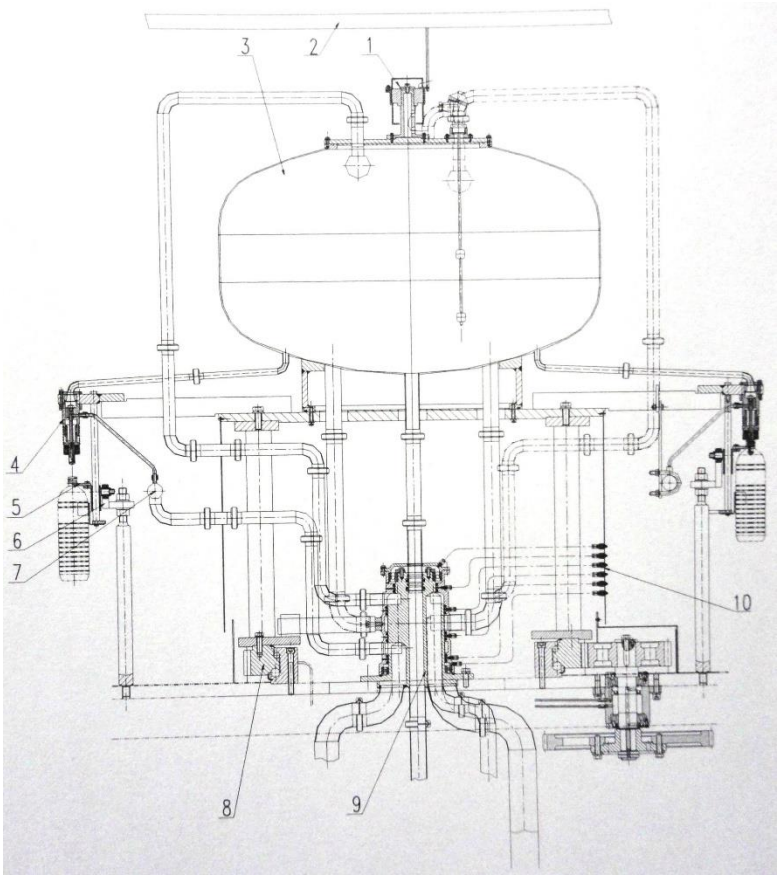


图 3—2 纯净水灌装机结构图

1.电元分配器组件　2.防转架　3.灌装桶　4.灌装阀　5.托瓶装置　6.提升导轨　7.环形管　8.齿轮轴承　9.中央分配器　10 集合加油组件

灌装阀结构：等压快速灌装阀，包括排气阀体、排气阀、灌装头、提升机构，等压快速灌装阀安装在液体缸体上，其特征在于液体缸体上安装阀座，在

阀座下面安装灌装头，灌装阀缸体安装在阀座上，在灌装阀缸体内部的下部安装开关阀，在上部安装阀塞，提升机构固定在液体缸体上，阀塞与提升机构通过连接件连接，排气阀体安装在灌装阀缸体、阀座和灌装头中心部位，排气阀体中间部位制成排气通道，下端制成排气管，在与灌装头配合处制成与灌装头配合的锥体面，在排气阀体中部制出凸台，排气阀安装在排气阀体的排气通道内，在灌装头上部与阀座内部安装弹簧支承排气阀体，阀座顶端制成液体流通孔，灌装阀缸体底部制出液体流通孔，在上部侧壁制出液体流通孔，提升机构上的拨叉与排气阀配合安装。其结构如图 3—3 所示。

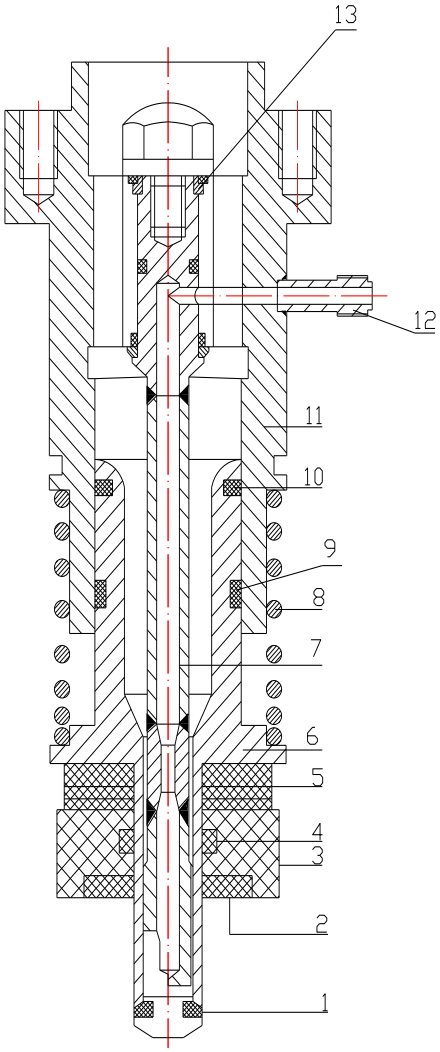


图 3—3 灌装阀结构图

1.密封环　2.密封垫　3.定位套　4.O型密封圈19x3.55　5.垫块一、二、三　6.滑动体　7.阀芯　8.弹簧　9.导向环　10.孔用方形圈　11.阀腔　12.接头　13.O型密封圈14x1.8

3.3 封盖机构

封盖机构由上盖器和旋盖机及理盖器三大部件组成。瓶子灌装完毕之后由星轮Ⅲ带出并传送至星轮Ⅳ。与此同时，瓶盖由理盖器整理至同一方向后经下盖槽传至上盖器，上盖器轻轻固定瓶盖并倾斜。当星轮Ⅳ带动待封盖瓶转动至上盖器下时，待封盖瓶的瓶口触碰到上盖器上瓶盖的内壁，并将瓶盖带下，完整的套盖在瓶盖上。套好盖的瓶由星轮Ⅳ传至旋盖器，旋盖卡瓶板托住瓶颈。此时，旋盖头在齿轮带动下绕自身轴线旋转将盖拧紧在瓶口上，并保持恒定的旋盖力矩。盖好盖的瓶由旋盖器传至传动带上带出灌装机。理盖器和下盖槽、上盖器、旋盖机等相连接，通过几种运动的有机组合，即可完成送瓶、送盖、上盖、旋盖的过程。

旋盖头的结构：用于旋封容器盖的旋盖头，由传动轴及旋盖器等组成，在传动轴和旋盖器之间有一个由弹簧复位的单作用气缸，气缸的缸筒和活塞杆分别与传动轴和旋盖器固定联接，活塞杆与气缸或气缸盖通过滑动键或滑动销联接，因而传动轴的旋转运动可以传递给旋盖器，同时在传动轴轴向不动的情况下，气缸可以驱动旋盖器升降。在旋盖时，不需要容器或整个旋盖头升降，因此旋盖机结构明显简化，成本大为降低。其结构如图3—4所示。

此处用到的气动控制是由压力控制阀、流量控制阀、方向控制阀和逻辑元件、传感元件和气动铺件连接起来即可组成“气动控制系统”，该系统对“气动系统”的“压力、流量”的调节过程既是气动控制，该系统式气动系统的一部分。在气动系统中，气动发生装置一般为空气压缩机，它将原动机供给的机械能转换为气体的压力能；气动执行元件则将压力能转化为机械能，完成规定动作；在这两部分之间，根据机械或设备工作循环运动的需求、按一定顺序将各种控制元件(压力控制阀、流量控制阀、方向控制阀和逻辑元件)、传感元件和气动铺件连接起来。

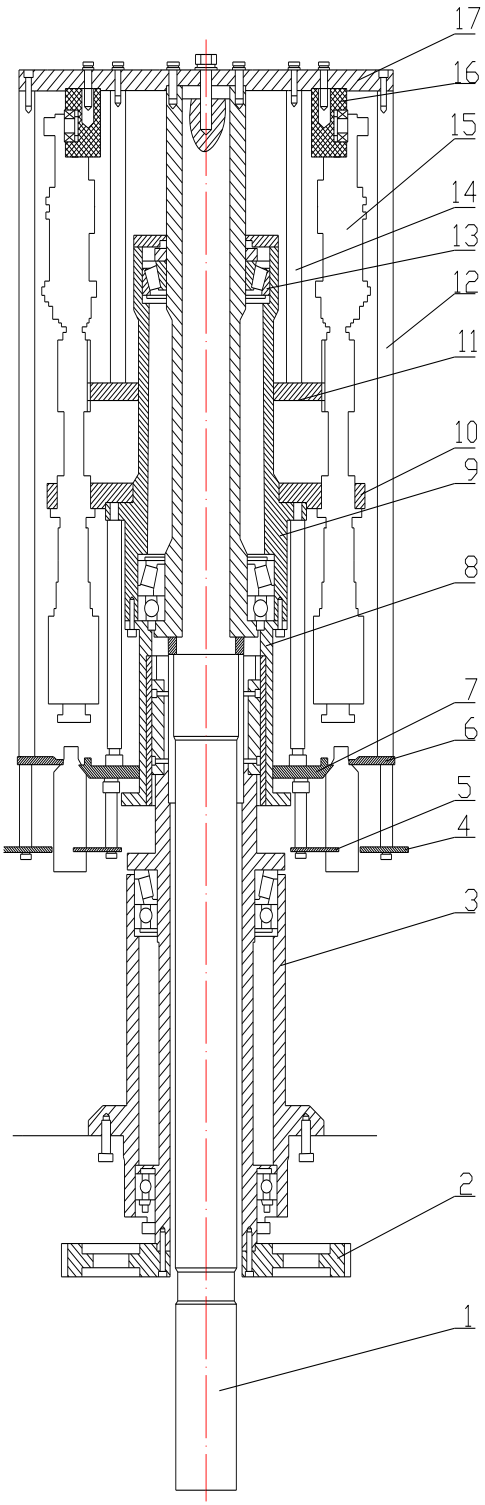


图 3—5 旋盖头结构示意图

1. 轴　2. 传动齿轮　3. 旋盖底座　4. 旋盖形板　5. 旋盖星轮　6. 护瓶板

7. 卡瓶板　8. 连接套　9. 旋盖上座　10. 旋盖下安装板　11. 固定齿轮　12. 环连

接板　13.单列圆锥滚子轴承　14.齿轮吊杆　15.旋盖臂　16.旋盖凸轮　17.顶板

3.4 星轮传动机构

星轮传动结构：主要功能是使装备机械上的加速器、减速器、调速器、变速器的体积变小、功能增强，并减少进口。其结构如图 3—6 所示。

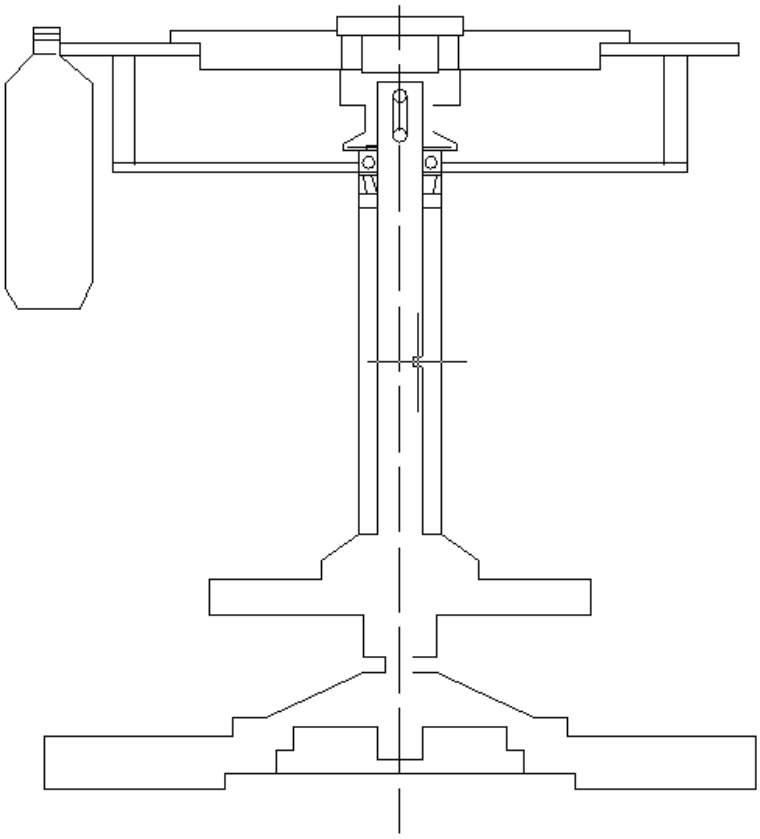


图 3—6 星轮传动结构示意图

3.5 纯净水灌装机的技术特点分析

主要特点：

⑴本机结构紧凑，控制系统完善，操作方便，自动化程度高；

⑵变换瓶形只需更换旋盖部分星轮，弧形导板即可实现；

⑶与物料接触之零件均采用优质不锈钢制造，无工艺死角，易清洗；

⑷采用高速灌装阀，液位准确无液损，确保灌装工艺要求；

⑸封盖头采用磁力恒扭矩装置，确保封盖质量，并且不会损坏瓶盖；

⑹采用高效的理盖系统，具有完善的自控与保护装置；

⑺设有完善的过载保护装置，能有效的保护设备及操作者的安全。

进瓶机构主要特点：

⑴风送道与进瓶拨轮直连的进瓶方式。

⑵进瓶拨轮采用创新设计的具分瓶功能的瓶口夹持机构，取消了进瓶螺杆及输送链，更换瓶形无须更换及调整任何零件。

冲瓶机主要特点：

⑴大型平面带齿轴承，运转平稳、可靠。

⑵采用翻转式瓶夹，瓶夹卡住瓶颈部位，避免了传统瓶夹上的橡胶夹块对瓶口螺纹部位造成的可能污染。瓶夹采用不锈钢，卫生、耐用。

⑶采用高效喷雾喷嘴，冲瓶水呈设定角度喷出，可冲洗到瓶子内壁任何部位，冲洗彻底并节约冲瓶用水。

⑷采用冲瓶喷嘴升降机构，喷嘴插入瓶中进行冲洗，使冲洗效果达到最佳，同时最大程度的减少冲瓶用水量，更适应大瓶的生产需求。

灌装机主要特点：

⑴旋转盘全部采用不锈钢制造，卫生、耐用。

⑵大型平面带齿轴承，运转平稳、可靠。

⑶灌装方式为重力灌装。

⑷高精度、高速液位灌装阀。

⑸采用环型液缸，并配备CIP(SIP)循环通道，液缸液位由浮球控制。

⑹采用提升气缸瓶升降机构，并采用卡瓶口瓶夹夹住瓶口，变换瓶形无须更换及调整任何零件。

⑺灌装机动力由机架内传动系统通过齿轮传递。

旋盖机主要特点：

⑴磁性恒扭矩旋盖头，旋盖效果稳定可靠。

⑵落盖导轨上设有防止反盖通过及反盖取出机构，同时装有一组光电开关，当落盖导轨上无盖时会自动停止机器运转，可以有效的避免无盖瓶的出现。

⑶设有旋盖机进瓶检测开关，与落盖导轨和拨盖盘连接处的锁盖气缸连锁控制瓶盖的排出，保证无瓶时停止喂盖，减少盖子的损耗。

(4) 高效离心式理盖方式，盖磨损小。

(5) 理盖器设有缺盖检测机构，用于控制瓶盖提升机启停。

第四章 PLC 相关知识

4.1 PLC 的历史和发展

世界上公认的第一台 PLC 是 1969 年美国数字设备公司(DEC)研制的。20 世纪 70 年代初出现了微处理器，人们很快将其引入可编程控制器，使 PLC 增加了运算、数据传送及处理等功能，成为真正具有计算机特征的工业控制装置。20 世纪 70 年代中期，可编程控制器进入了实用化发展阶段，计算机技术已全面引入可编程控制器中，使其功能发生了飞跃。更高的运算速度、超小型的体积、更可靠的工业抗干扰设计、模拟量运算、PID 功能及极高的性价比奠定了它在现代工业中的地位。20 世纪 80 年代初，可编程控制器在先进工业国家中已获得了广泛的应用。20 世纪末期，可编程控制器的特点是更加适应于现代工业控制的需要。从控制规模上来说，这个时期发展了大型机及超小型机;从控制能力上来说，诞生了各种各样的特殊功能单元，用于压力、温度、转速、位移等各式各样的控制场合;从产品的配套能力来说，生产了各种人机界面单元，通讯单元，使应用可编程控制器的工业控制设备的配套更加容易。

近年来不断开发出许多功能模块，如高速计数模块、温度控制模块、远程 I/O 模块、通信和人机接口模块等。这些带 CPU 和存储器的智能 I/O 模块，既扩展了 PLC 功能，又使用灵活方便，扩大了 PLC 应用范围。加强 PLC 联网通信的能力，是 PLC 技术进步的潮流。PLC 的联网通信有两类：一类是 PLC 之间联网通信，各 PLC 生产厂家都有自己的专有联网手段；另一类是 PLC 与计算机之间的联网通信，一般 PLC 都有专用通信模块与计算机通信。为了加强联网通信能力，PLC 生产厂家之间也在协商制订通用的通信标准，以构成更大的网络系统，PLC 已成为集散控制系统（DCS）不可缺少的重要组成部分。

在 PLC 系统结构不断发展的同时，PLC 的编程语言也越来越丰富，功能也不断提高。除了大多数 PLC 使用的梯形图语言外，为了适应各种控制要求，

出现了面向顺序控制的步进编程语言、面向过程控制的流程图语言、与计算机兼容的高级语言（BASIC、C 语言等）等。多种编程语言的并存、互补与发展是 PLC 进步的一种趋势。

4.2 PLC 的特点与应用

PLC 是一种专门为了在工业环境下应用而设计的数字运算操作装置。它采用一可以编制程序的存储器，用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序运算、计时、计数和算术运算等操作的指令，并能通过数字式或模拟式的输入和输出，控制各类型的机械或生产过程。PLC 及有关的外围设备都应按照易于与工业控制系统形成一个整体、易于扩展其功能的原则而设计。

PLC 是综合继电器接触器控制的优点及计算机灵活、方便的优点而设计制造和发展的，这就使 PLC 具有许多其他控制器所无法相比的特点。

目前，PLC 在国内已广泛应用于钢铁、石油、化工、电力、建材、机械制造、汽车、轻纺、交通、环保及文化娱乐等各个行业，使用情况大致可归纳为如下几类:

⑴开关量的逻辑控制。这是 PLC 最基本最广泛的应用领域，它取代传统的继电器电路，实现逻辑控制、顺序控制，既可用于单台设备的控制，又可用于多机群控及自动化流水线.

⑵数据处理。PLC 可以用于对直线运动或圆周运动的位置速度和加速度的控制。

⑶运动控制。PLC 可以用于圆周运动或直线运动的控制。从控制机构配置来说，早期直接用开关量 I/O 模块连接位置传感器和执行机构，现在一般使用专用的运动模块。如可驱动步进电机或伺服电机的单轴或多轴位置控制模块。

⑷过程控制。过程控制是指对温度、压力、流量等模拟量的闭环控制。作为工业控制计算，PLC 能编制各种各样的控制算法程序，完成闭环控制，PID 调节是一般闭环控制系统中用得较多的调节方法。

⑸控制网络（通信）。

PLC 被广泛使用，起主要原因是:

⑴价格越来越低。由于微处理器芯片及有关元件的价格大大下降，使得 PLC 的本下降;

⑵功能越来越强。随着计算机、芯片、软件、控制等技术的飞速发展也使得 PLC 的功能大大增强。它不仅能更好地完成原来得心应手的顺序逻辑控制任务，也能处理大量的模拟量，解决复杂的计算和通信联网问。

⑶与时俱进的发展。在当前最热的现场总线控制系统中，主站和几乎都有 PLC 的身影，PLC 的通信技术又往前发展了一大步。现在开放式、标准化的 PLC 也已走到前台，为适应现在和未来自动化技术的发展要 求做好了准备。

4.3 PLC 的工作原理

PLC 的控制功能就是通过运行用户程序来实现的。它是一种存储程序的控制器，用户根据某一对象的具体控制要求，编制好控制程序后，用编程器将程序键入到 PLC 的用户程序存储器中寄存。

PLC 扫描工作方式主要分三个阶段：输入采样、程序执行、输出刷新。

⑴输入采样　PLC 在开始执行程序之前，首先扫描输入端子，按顺序将所有输入信号，读入到寄存输入状态的输入映像寄存器中，这个过程称为输入采样。PLC 在运行程序时，所需的输入信号不是现时取输入端子上的信息，而是取输入映像寄存器中的信息。在本工作周期内这个采样结果的内容不会改变，只有到下一个扫描周期输入采样阶段才被刷新。

⑵程序执行　PLC 完成了采样工作后，按顺序从 0000 号地址开始的程序进行扫描执行，并分别从输入映像寄存器、输出映像寄存器以及辅助继电器中获得所需的数据进行运算处理。再将程序执行的结果写入寄存执行结果的输出映像寄存器中保存。但这个结果在全部程序未被执行完毕之前不会送到输出端子上。

⑶输出刷新　在执行到 END 的命令时，即执行完用户所有的程序后，PLC 将输出映像寄存器中的内容送到输出锁存器中进行输出，驱动用户设备。

第五章 控制系统的硬件设计

本次设计我选取的PLC是西门子生产的S7-200。下面对S7-200做出简要的说明：S7-200系列是一类可编程逻辑控制器（Micro PLC）。这一系列产品可以满足多种多样的自动化控制需要，图5—1展示一台S7-200 Micro PLC的CPU22*系列PLC的CPU外型图，具有紧凑的设计、良好的扩展性、低廉的价格以及强大的指令，使得S7-200可以近乎完美地满足小规模的控制要求。此外，丰富的CPU类型和电压等级使其在解决用户的工业自动化问题时，具有很强的适应性。

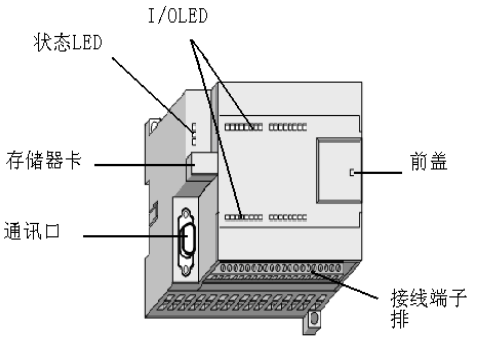


图5—1 S7-200 CPU外型图

S7-200 CPU模块包括一个中央处理器单元（CPU）、电源以及数字量I/O点，这些都被集成在一个紧凑、独立的设备中。

⑴CPU负责执行程序和存储数据，以便对工业自动控制任务或过程进行控制。

⑵输入和输出是系统的控制点：输入部分从现场设备（例如传感器或开关）中采集信号，输出部分则控制泵、电机、以及工业过程中的其他设备。

⑶电源向CPU及其所连接的任何模块提供电力。

⑷通讯端口允许将S7-200CPU同编程器或一些设备连接起来。

⑸状态信号灯显示了CPU的工作模式（运行或停止），本机的I/O的当前状态，以及检查出来的系统错误。

⑹通过扩展模块可以增加CPU的I/O点数（CPU221不可以扩展）。

⑺通过扩展模块可以提供其通讯功能。

⑻一些CPU具有内置实时时钟，其他CPU 需要实时时钟卡。

⑼EEPROM卡可以存储CPU程序，也可以将一个CPU中的程序传送到另一个CPU中。

⑽通过可选的插入式电池盒可延长RAM中的数据存储时间。

⑾图 5—2 展示了一个基本的 S7-200 Micro PLC。它包括一个 S7-200 CPU 模块，一台个人计算机（PC），STEP 7-Micro/WIN32(3.1 版)编程软件，以及一条通讯电缆。

⑿为了使用个人计算机（PC），你必须以下一种设备：

⒀一条 PC/PPI 电缆

⒁一个通讯处理器（CP）和多点接口（MPI）电缆

⒂一块 MPI 卡，随 MPI 卡提供一根通讯电缆

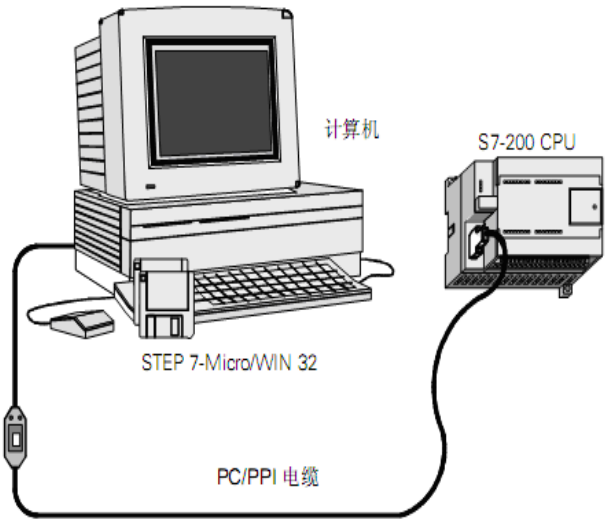


图 5—2 S7-200 Micro PLC 系统的组成

PLC 模块的选择：采用 CPU226 的主机

CPU226 有 24 个输入点和 16 个输出点，所以它可以满足条件。

下面简单介绍一下 CPU226 的主机。 CPU226:本机集成 24 输入/16 输出，I/O 共计 40 点，与 CPU224 相比，程序储存容量增大了一倍，数据储存容量增加到 10KB，它有两个通信口，通信能力大大增强，它可用于点数较多、要求较高的小型或中型控制系统。

第六章 控制系统的软件设计

本文中笔者选用与S7-200 PLC相匹配的编程软件，本章中笔者将主要讨论该编程软件的使用方法及其在纯净水灌装机编程中的使用。

6.1 S7-200 PLC编程软件(STEP 7 MicroWIN SP3)使用方法

STEP7—MICRO/WIN 编程软件，是强大的工控编程组态软件，在Windows平台运行的SIMATIC S7-200软件简单、易学 。能够解决复杂的自动化任务， 可以快速进入，节省编程时间， 具有扩展功能。 基于标准的Windows软件(类似于Winword, Outlook等标准应用软件，STEP 7-Micro/WIN编程软件为用户开发、编辑和监控自己的应用程序提供了良好的编程环境。

其基本功能：

⑴STEP 7-Micro/WIN是在Windows平台上运行的SIMATIC S7-200 PLC编程软件，简单、易学，能够解决复杂的自动化任务。

⑵适用于所有SIMATIC S7-200 PLC机型软件编程。

⑶支持IL、LAD、FBD三种编程语言，可以在三者之间随时切换。

⑷具有密码保护功能。

STEP 7-Micro/WIN提供软件工具帮助您调试和测试您的程序。这些特征包括：监视S7-200正在执行的用户程序状态，为S7-200指定运行程序的扫描次数，强制变量值等。

6.2 梯形图及元件选择

根据该灌装机的设计要求，其I/O地址分配表如下表6—1所示：

编程元件	I/O端子	电气器件	作用
输入元件	I0.0	SB1	启动按钮
	I0.1	SB2	停止按钮
	I0.2	SB3	急停按钮
	I0.3	SQ1	限位开关1
	I0.4	SQ2	限位开关2
	I0.5	SQ3	限位开关3

	I0.6	RSP	超声波传感器
	I0.7	NB	对射式光电开关
输出元件	Q0.0	KM1	电磁继电器 1
	Q0.1	KM2	电磁继电器 2
	Q0.2	KM3	电磁继电器 3
	Q0.3	YV1	电磁阀 1
	Q0.4	YV2	电磁阀 2
	Q0.5	YV3	电磁阀 3

表 6—1 输入/输出继电器地址分配表

限位开关又称行程开关，可以安装在相对静止的物体（如固定架、门框等，简称静物）上或者运动的物体（如行车、门等，简称动物）上。当动物接近静物时，开关的连杆驱动开关的接点引起闭合的接点分断或者断开的接点闭合。

限位开关 1 安装在门把手上，用于检测灌装机的玻璃门是否打开，如果打开的话即输出为 1，设备将立即停止运行。

限位开关 2 安装在冲洗瓶卡瓶口，用于检测灌装机的冲洗机瓶夹是否有瓶，如果有瓶的话即输出为 1，冲洗喷头继续运行。

限位开关 3 安装在灌装卡瓶口，用于检测灌装机的灌装机构瓶夹是否有瓶，如果有瓶的话即输出为 1，灌装夹瓶板将上升。

超声波传感器是利用超声波检测技术，将感受的被测量转换成可用输出信号的传感器。

超声波传感器选用开关量的，安装在灌装卡瓶板内侧的下方，用于检测灌装机构的瓶夹中瓶的液面是否达到指定的要求，如果瓶的重量达到要求即输出为 1，灌装夹瓶板将下降。

对射式光电开关由发射器和接收器组成，其工作原理是：通过发射器发出的光线直接进入接收器，当被检测物体经过发射器和接收器之前阻断光线时，光电开关就产生开关信号。

对射式光电开关，安装在旋盖卡瓶板两侧用于检测灌装机的旋盖设备瓶夹是否有瓶，如果有瓶的话即输出为 1，旋盖头将继续运行。

以上所有的传感器及开关均有防水塑料薄膜覆盖，在防水的同时不影响其功能。

电磁继电器是一种电子控制器件，它具有控制系统（又称输入回路）和被控制系统（又称输出回路），通常应用于自动控制电路中。在电路中起着自动调节、安全保护、转换电路等作用。本文用交流电磁继电器。

电磁继电器 1 用于带动电机 1 和电机 2 所带动的进瓶和出瓶传动带，带动星轮Ⅰ的电机 3 及带动洗瓶机转动的电机 4。

电磁继电器 2 用于带动电机 5 所带动的星轮Ⅱ，带动灌装机旋转的的电机 6 及带动星轮Ⅲ的电机 7。

电磁继电器 3 用于带动电机 8 所带动的星轮Ⅳ，带动旋盖机旋转的的电机 9 及带动旋盖头旋转的电机 10。

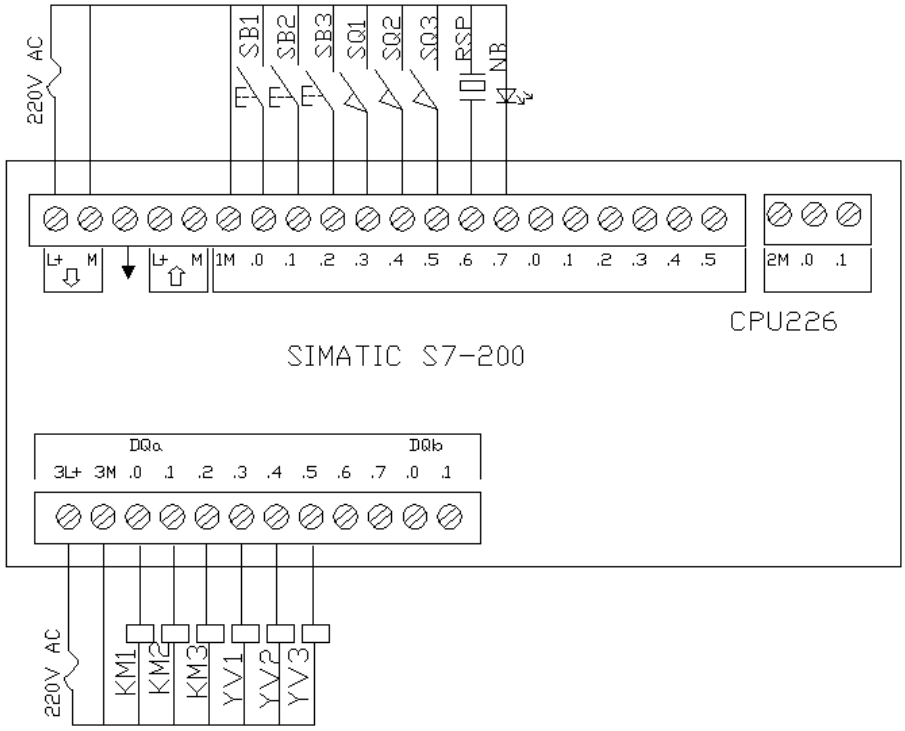
气动电磁阀里有密闭的腔，在的不同位置开有通孔，气动电磁阀的每个孔都通向不同的油管，腔中间是阀，两面是两块电磁铁，哪面的磁铁线圈通电阀体就会被吸引到哪边。

电磁阀 1 用于洗瓶机喷头的气动系统中。

电磁阀 2 用于灌装器提升及下降机构的气动系统中。

电磁阀 3 用于旋盖器提升及下降机构的气动系统中。

根据系统的设计要求，其 PLC 的外部接线图如图 6—1 所示。电源由 PLC 内部电源提供。SB1、SB2、SB3 按钮及 SQ1、SQ2、SQ2、RSP、NB 所接的 I0.0、I0.1、I0.2、I0.3、I0.4、I0.5、I0.6、I0..7 共用一个 M 端子，并由外部交流电源供给 220V 电源。KM1—KM3 是电磁继电器，通电时其常开触点闭合，常闭触点断开。KM1—KM3、YV1—YV3，Q0.0—Q0.,5 共用一个 3M 端子，而输出共用一个电源，所以将 3M-4M 端子连在一起，实现电源的共用。



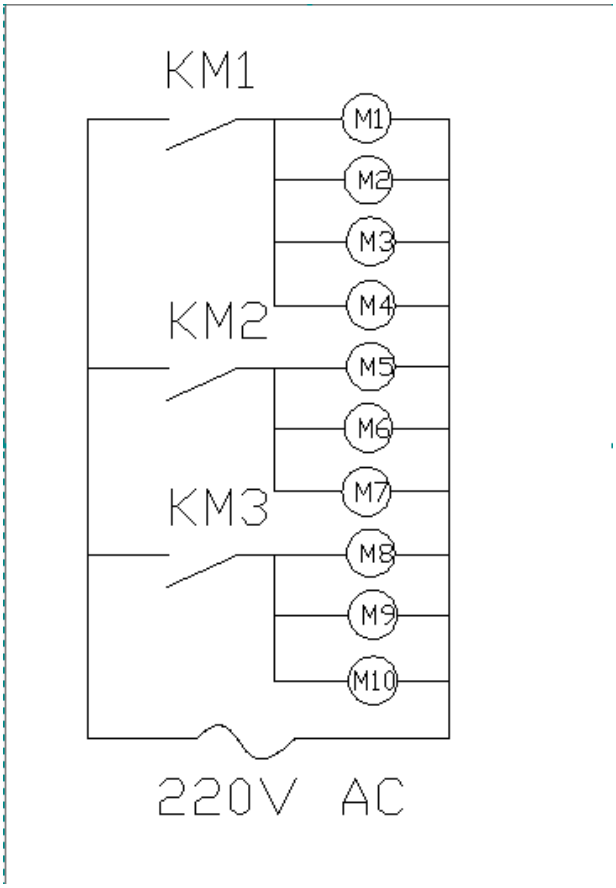


图 6—1 PLC 接线图

根据上述设计要求，其梯形图如图 6—2 所示。

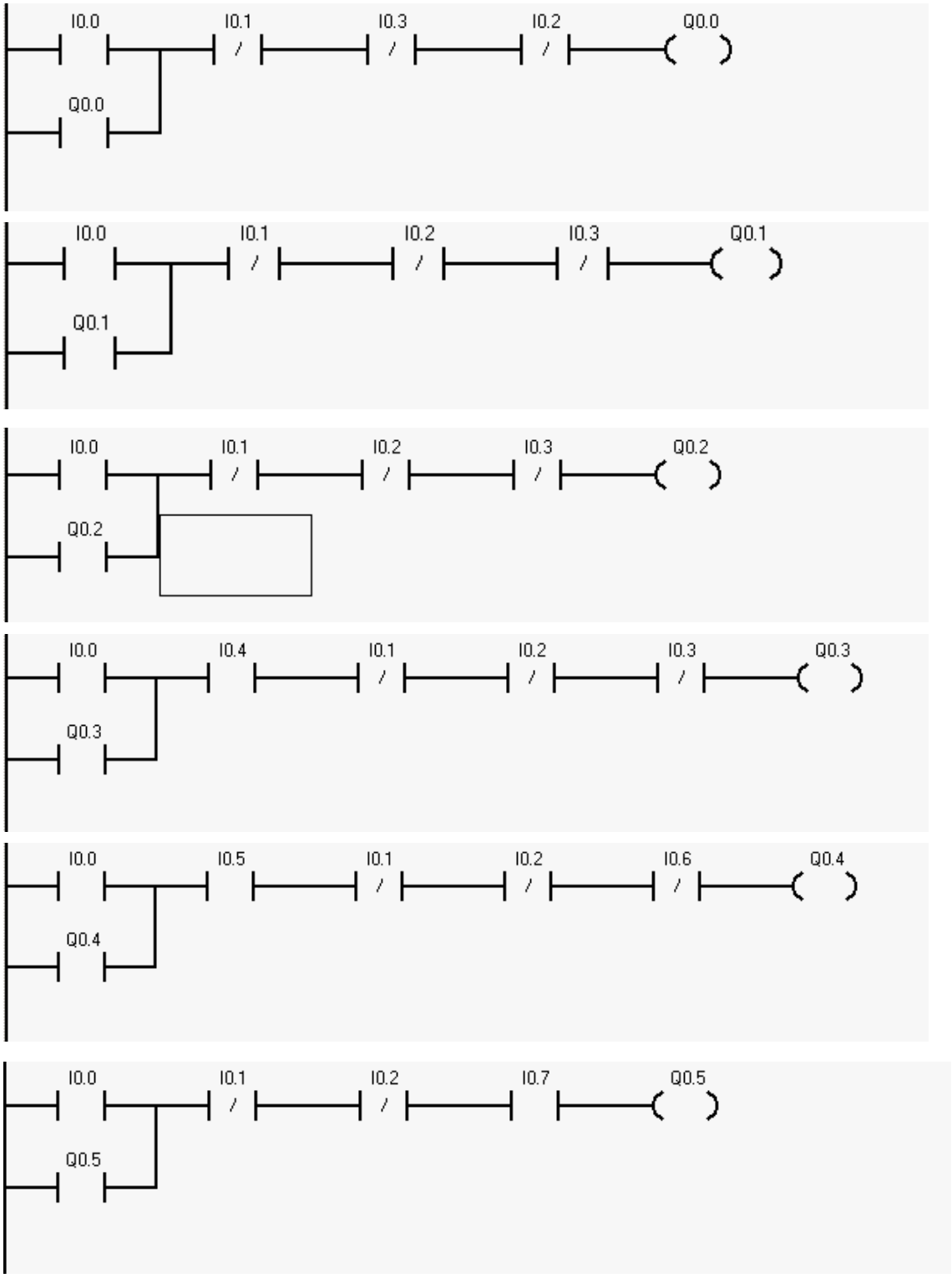


图 6—2 梯形图

6.3 程序调试与分析

在梯形图仿真方面，笔者采用的是 S7-200 仿真软件仿真，其具体操作步骤如下：

（1）先将 STEP 7 MicroWIN V4.0 软件中的梯形图导出，如图 6—3 所示。

选择存储路径为桌面，保存文件名为“纯净水灌装机”

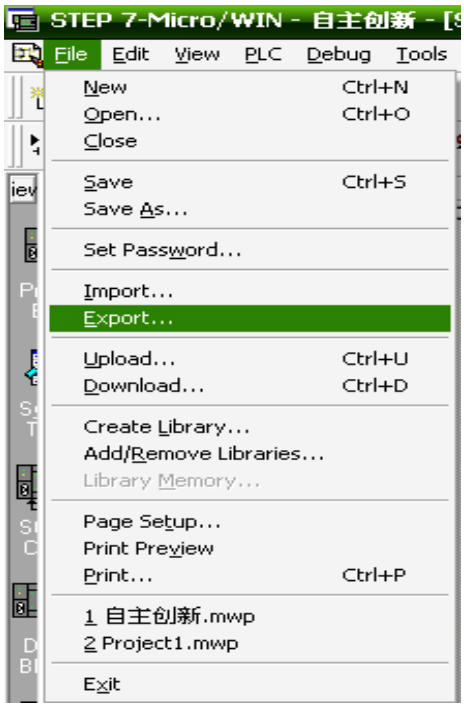


图 6—3 导出文件

（2）打开仿真软件，填写密码为：6596。然后双击 PLC 然后选择 CPU226，然后确定。然后装载程序，如图 6—4 所示。

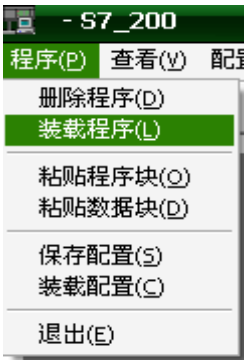


图 6—4 装载程序

（3）点击运行按钮开始调试，如图 6—5 所示。

图 6—5 运行按钮

（4）调试程序

调试结果如图 6—6 所示。

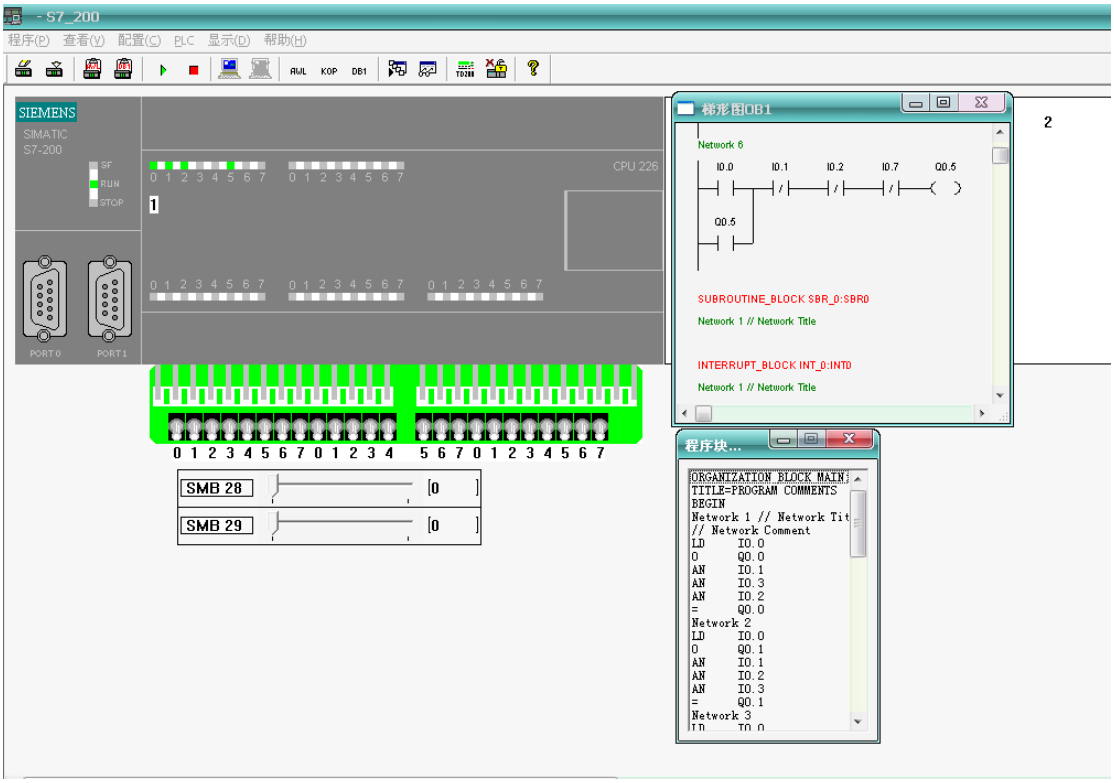


图 6—6 调试结果

从调试结果分析来看，系统基本是按设计要求进行工作，误差在本次设计容许的范围之内。

案例 14

定量给料机控制系统设计

摘要

随着工业生产的迅速发展，固体定量给料系统作为一项实用型的技术被广泛应用于冶金、化工、水泥、建材和食品等工业领域。在这样的环境下定量给料机的需求量日益增大。本系统采用电磁阀和流量计给料机作为定量给料设备，给料机采用控制流量来达到定量给料的目的。定量给料系统的PLC控制系统是机电一体化发展的必然结果。

本论文针对定量给料机的特点，并 PLC 控制技术，对定量给料系统进行的研究，其主要内容如下：

1、了解定量给料机控制系统的工作原理；

2、掌握 PLC 的硬件构成，工作原理，完成对 PLC 的选型；

3、设计定量给料机的控制系统；

4、用 STEP7 完成对控制系统的编程。

1 绪　论

1.1 课题背景

随着工业生产的迅速发展，导致了定量给料机的需求量日益增大。定量给料系统的单片

机控制系统是机电一体化发展的必然结果。现今以应用工业计算机、PLC 的自动配料技术已广泛应用于耐火、玻璃、水泥、医疗、建材、饲料、炼钢、筑路及包装生产等各种行业中。日用品中用的洗发液，洗衣粉/剂，灭虫剂等等均为配方产品。[1][2]以前在这类控制中大多是以继电器，接触器等电器设备来完成每一步的顺序控制，自动化程度低，而且许多地方都需要人来手动完成，不仅工作效率低控制精度也难以提高。特别是随着现代化生产的不断进步，更是对应用于过程生产中的各种自动化控制系统提出了更高的要求。配料工序是企业生产工艺过程中的一道非常重要的工序，配料工序对整个生产过程有非常大的影响，因此实现高精度自动配料对工业企业生产有极为重要的意义。另外对于一些现有的中小企业，特别是一些中小型的冶金企业由于建设之初的自动化水平低或者设备已经老化陈旧，造成对资源的浪费，环境的污染，同时也加大了工人的劳动强度。因此对一些落后的中小企业的自动化改造也是急需解决的问题。

当现代社会工业控制现场比较有代表性的定量给料系统的生产厂家有德国布莱本达公司和美国开创公司。这两家公司在中国有着成功的案例，由于垄断性和出于技术性的保密，要购买他们的产品投入需要很高，且不方便后期的维护。此定量给料系统是以提高系统的使用广泛性、低维护成本、投入低、可操作性相对较强的这些原则来进行设计和实现，到最后实现一个低成本，易于维护的定量给料系统。

1.2 定量给料机国内外发展情况

定量给料多种多样。从供给物料的连续性上看，可以分为间歇式和连续式两种给料系统；从供给物料的方式上看有体积式给料系统和质量（重量）式给料系统；从给料器的工作原理上分可以分为失重式给料和增重式给料；从供给物料的特性上看可以分为粉料、粒料（固态）、液体、混合体的给料[3]。

以下的篇幅对几种常用的给料系统做简单的介绍。

1.2.1 给料系统的分类

1. 间歇式给料系统

间歇式给料系统是一种不连续的给料系统。

在正常的情况下，机械不能生产连续化的产品。比较适合小批量的产品，也适合在小的场合使，比如说小型的企业、或者实验室。这种系统自动化程度不高，对机械的要求不高，操作比较复杂，必须有很大的工作量，要大量人力，由于这样操作易于受人为因素影响，所以不容易控制批次的质量，成品之间存在较大的差异性。这样的系统比较难以实现大批次的生产。生产初期投资较少，但是后续会出现很多问题。

2. 连续式给料系统

连续式给料系统运作方式是用连续式给料器给下面的机械设备供给物料的。它所必需采用的设备是连续式给料器，如固态物料流量计，自动给料器等。这种给料机常见的的工艺是使用几台连续式给料器，按照一定的已经设定好的量，让各种物料下游设备。

这种机械方面较复杂，有较高的自动化，精度比较高，操作比较方面，对人力的需求量比较小，质量稳定，适用于大批量生产和各方面的要求都较高的地方，大的规模生产具有配方的食品，对精度要求比较高的实验设备等。这样的加料方法不太受人为影响，生产出来的质量比较稳定。

3. 体积式给料系统

体积式给料系统的运作原理是对下面的机械按照单位时间内的流量而给料的的系统。

料体在特定转速/流速等下给料系统通过测试这些来计算出产量，然后算出体积式给料器的给料量与转速/流速的函数曲线。参照这条曲线函数，可以得出所需的给料量所对应的给料器的转速/流速等，让料体定量给到下面的设备产品机械。

这样的系统设备相对不复杂，有比较简单的操作，需要较少的设备，投资量不大，适合连续运行。但是此系统要求物料的堆积密度相对稳定，对机器的调试很不方便，精度比较低，约 5-10%，不能满足高要求产品生产的要求。

4. 质量式给料系统

它是按单位时间内失去/增加的质量（重量）来给料的。与体积式给料相比，可以忽略物料的密度变化带来的精度影响。实际上，失重式给料系统和增重式给料系统均属于质量式给料系统的范畴。

5. 失重式给料系统

失重式给料系统是按单位时间内失去重量的多少来给料的系统。

失重式给料系统是通过质量传感器测量单位时间（毫秒级）内失重式给料器中物料减少的重量来计算出加料器每小时的产量，通过 PID 控制器的调节，使喂料器按设定值的产量对下游设备给料。

此类系统的特点是可以实现精密计量，精度可控制在 0.5%以内，可实现复杂的配方管理，控制系统先进，所需人工很少，但建设初期成本较高。适用于高品质产品的工业化大生产[4]。

1.2.2 计算机控制系统

现代社会科学发展飞速，计算机控制在现代社会中得到了广泛的运用[5]。计算机控制系统是使用计算机控制来实现自动化的，这是一种计算机硬件，软件技术与自动控制技术相结合的一种应用技术，它属于离散控制系统。当前，用于工业控制的计算机可分为几类，可编程控制器、基于PC总线的工业控制计算机、基于测控单片机、用于模拟量闭环控制的可编程调节器、集散控制系统(DCS)和现场总线控制系统(FCS)等。可编程控制器(PLC)是应用面最广、有足够大强的功能、有较强融合性的工业装置，它已经化身现代的工农业的自动化重要的一员。

可编程序控制器（PLC）都有一个编程口。就拿日本进口的三菱 PLC 为例（包括 FX 系列和 A 系列），它的程序编译口为 RS-422 格式，根据 PLC 有不一样的型号又分为 8 针座型编程口和 25 针座型。对 25 针口来说，可直接将 SC—08 编程电缆将 PLC 的编程口和电脑的 RS—232 口一起捆绑起来；对于后者，则还需要用一根用于转换的电缆将 PLC 的 8 针座型编程口和 25 针型电缆相连。无论何种情况，一旦将 PLC 用户程序由电脑编程环境传到 PLC 用户程序使用区，我们根本没有再去利用其它的程序编译口。这，换句话说，是浪费了 PLC。那么，可利用此程序编译口完成电脑和 PLC 的通讯人物，利用微型计算机对 PLC 进行管理，并且监控 PLC 的工作状态[6]。

1.2.3 自动给料系统特点

自动给料系统是指自动连续给料系统。以下简称为自动给料系统。物料为粉状、颗粒状固态物料。

自动给料系统具有几个符合现代化大生产要求的特点：

1）重量传感部分原理先进，精度很高。一般采用数字传感器，精度可以达到百万分之一。

2）物料输送部分线性度高，驱动部分可以达到很高的分辨率。

3）设备自动化程度高。此类系统用于自动化生产，一般具有 PLC 控制、连锁系统等控制系统以满足自动化生产的要求。

4）系统加料精度高。由于采用了先进的加料器和先进的控制系统，整个系统可以达到很高的精度。一般都能达 0.5-1%的精度。在实验室等特殊的领域，应用实验级的加料器，可以达到 0.1-0.5%的精度。稳定度可以达到 2 个 SEGMA。

5）操作简单。一般此类系统具有先进的监控系统和控制器，在调试阶段较复杂，但当调试结束后，所有的参数设置合适后，操作人员所做的仅仅是调用参数，设定产量等简单的操作。

6）可维护性强。由于采用先进控制系统，很容易实现系统故障诊断，可以缩短排除故障的时间。

7）功能强大。利用先进的监控系统，可以实现复杂的配方管理，订单管理，历史管理，系统控制优化，自动开停车管理，连锁管理，远程诊断、检测与控制。

8）投资结构合理。一次性投资较高，由于自动化水平的提高，可以节省运营的人工成本，避免人为因素造成产品质量不稳定，避免重复投资。

9）系统较复杂。一个完整的自动给料系统牵扯的领域很广，有机电一体化设备，自动化控制设备，监控设备等等[7]。

1.3 课题意义

定量给料系统应用十分广泛，为了提高其精度、自动化程度对其有着重要的现实意义，控制单元包括失重式控制器、变频控制器、重量传感器、速度传感器等组成。

控制系统采用 PLC 来进行控制，并且通过自行设计控制系统，使用软件仿真在所设记系统中实际机械部分的运作方式，从而来判断系统的可行性。本系统开发成本低、实时性好、操作简便、通用性强，实际工程中可在恶劣的工业环境下稳定、可靠的工作，具有一定的应用推广价值。

1.4 课题主要内容

本课题以PLC控制技术为基础，开发一种以转予给料机、流量控制器器为硬件基础的定量给料系统。该系统实现了流体物料的定量给料控制，具有显示累计流量、运行参数、设定流量等功能。系统操作方便、显示直观，可广泛应用于固体物料的定量给料控制过程中。

本论文内容包括以下几个方面：

1. 对所设计的给料机机械部分进行阐述，说明其原理；
2. 分析实现其功能时应有的动作；
3. 对PLC选型，给出系统的硬件接线图；
4. 绘制电器原理图、接线图；
5. 设计PLC的梯形图程序，给出控制流程图。

2 定量给料机的总体方案

2.1 给料部分总体方案、基本原理

本定量给料机主要运用于自动定量给料机的机械主体（机械臂），主要运用于固体小颗粒的加料过程，可运用于自动化生产、食品的批量生产、冶金工业等等产业之中。

2.1.1 总体方案

定量给料系统一般是利用给料机配合物料计量装置构成的，在生活中有很多种类的给料机，包括带式的、振动型的、气力式的输送装置等等，。例如，以 SU—6PLC 为主控机，这是一个全自动配料控制系统，这个系统拥有各式各样的智能型外设，可以同时测量、控制、管理。重量信号直接通过称重传感器发送出来，然后机械部分再进行配料，然后进行混合，这样就实现了人机交互。在这样的条件下，其实还可以改进定量给料的精度，可以改进所使用的重量传感器、电流信号放大器、A/D 转换器；返回指令冗余和开中断指令冗余等[8]。

流量计是定量给料系统的重要环节，其原理是利用物料的动量，流量控制器主要工作原理是，微波探头以 5mw 的功率发射一种 24.125GHz 的高频微波信号，当有物体通过时，会有微波信号形成一种反射，主机会根据反射微波信号的变化量，经过计算得出被实测物体的实际流量。

整个实验平台有以下几个部分构成：固体流量计、给料机、PLC 及控制箱。系统工作原理是这样的：作为控制对象的机械手臂给料机进行给料。给料量的大小由电磁阀控制，而电磁阀的开关由流量控制器控制，，当物料速度一定时，流出物体的密度基本保持不变。经过运算，PLC 产生合适的控制信号，开关电磁阀。从而完成物料的定量给料。主轴运转遇到限位开关，进行正反转，从而完成循环，整个系统如图 2.1 所示。

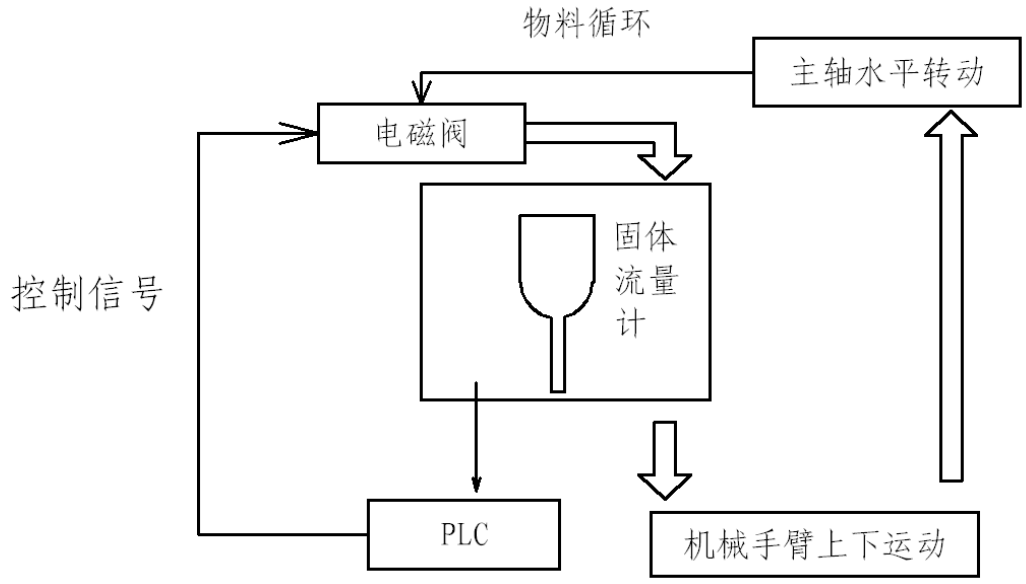


图 2.1 物料循环和流量控制

2.1.2 机械部分简介

机械部分主要有几个部分构成：

1. 主轴部分：主要负责送料机能围绕主轴进行转动。
2. 机械臂部分：主要负责送料器能够上下进行运动。
3. 送料器：负责控制料体的量，然后完成送料。

机械部分简图（如图 2.2）所示。

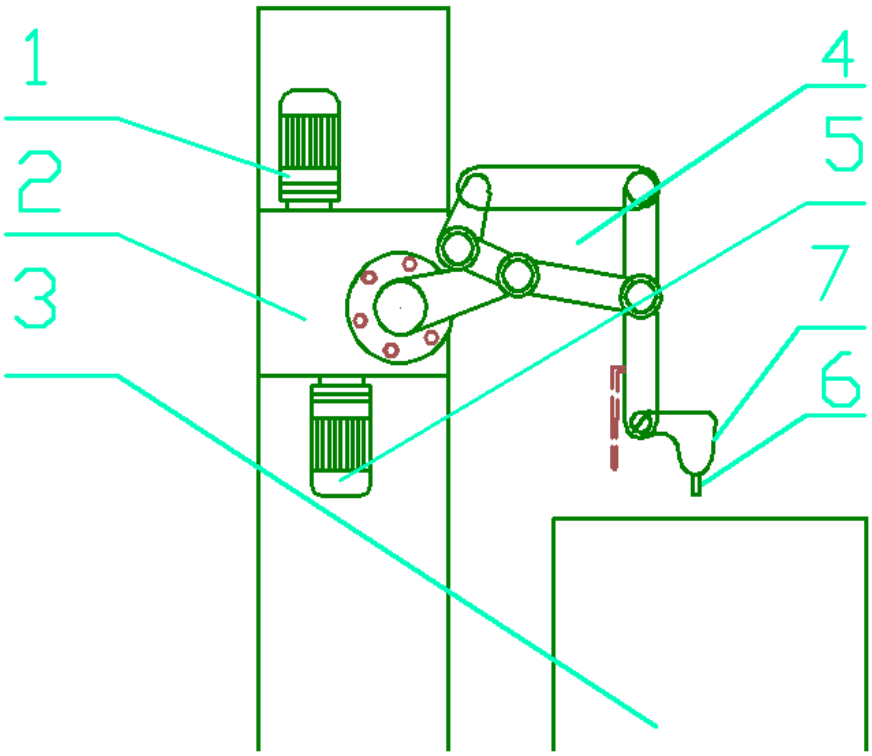


图 2.2 机械部分示意图

1. 主轴传动电机，
2. 旋转主轴，
3. 料筒，
4. 机械臂，
5. 手臂传动电机，
6. 电磁阀、流量计，
7. 料斗。

相比于以往人工送料自动定量给料机有许多特点：

1. 本机器可以单动亦可以与其他配套机器连线成全自动生产；
2. 汤量调整方便，精准，简单；
3. 送料精准，动作快，注料效率高；
4. 产品投入低，产值高；
5. 程序采用西门子 PLC 控制，动作稳定。

2.1.3 定量给料机定量给料的步骤

此定量给料机是通过两个电机控制手臂绕着主轴旋转，手臂上下走动，再通过流量控制器来控制流量，计算出所有的流量，从而来实现定量给料的过程。

1. 取料：送料器就在此时的位置，手臂向下运动，让料进入料筒，进行取料，然后达到下限位开关，手臂抬起来。

2. 送料：手臂达到上限位开关，主轴电机开始工作，开始转动，然后让手臂绕着主轴旋转。

3. 定量给料：当主轴旋转到指定的位置，然后电磁阀打开，流量控制器开始工作，当流出的料到达一定值时，电磁阀关闭，定量给料完成。

4. 反复运动：当完成一次定量给料任务之后，主轴电机再次反转动作，回到起始的位置，然后开始再次的给料过程。

2.2 完成给料的运动分析

由于需要给料的部分在整个给料过程中是固定不动的，为了完成定量给料任务，定量给料机的各部分均需完成各自的相对独立的功能。由于各个部分运动相对独立，所以需要对各个部分进行控制，以使各机构在时间和空间上能够协调工作，保证定量给料过程的顺利进行。

主轴传动电机的作用是对让机械手臂绕着主轴进行转动，以使得机械手臂和料斗能够先到取料点下去取料，再把料斗里面的料运送到指定的地点。绕中心轴旋转运动通过电动机来实现。

机械手臂传动电机的作用是负责料斗在取料以及送料过程中上下的运动。它的运动主要包括在取料时让料斗向下运动，在给料时先抬起料斗，然后主轴电机动作把手臂和料斗运送到给料位置，在定量给料时向下的运动。手臂的上下运动通过手臂传动电机的正转、反转来实现。

2.3 定量给料机的总体设计

1. 机械部分设计

机械系统主要由主轴、可转动手臂、定量给料系统等构成。主轴主要负责的是让手臂绕着主轴进行转动，进行送料和取料。可转动手臂主要负责的是在主轴限位开关时，先转动下去取料，达到手臂限位下开关时，抬起料斗。

2. 驱动系统设计

驱动系统的作用是根据控制系统发出的指令，将存放在料池里面的料舀出，并且按照一定的线路给到需要料的地方，然后达到指定位置，开始放料，最后放料完成的系统。本设计中，主轴的旋转，机械手臂的上下运动是由电气驱动的驱动方式。定量给料系统的定量给料过程是由电磁阀控制的方式，开始给料的时候，打开电磁阀，开始给料，然后通过PLC控制电磁阀的开关，到给料的量一定时电磁阀关闭。

3. 控制系统设计

控制系统主要通过可编程控制器PLC来控制实现。PLC是一种工业控制用的专用计算机。它可以按照逻辑条件和一定的时序、顺序产生控制动作，并能够

对来自现场的大量开关量、脉冲、计时、计数以及模拟量的越限报警等数字信号进行监视和处理。

综上所说，不难看出，PLC控制器有着诸多的优点；因此，PLC是一种较理想的控制工具。

2.4 本章小结

本章首先从定量给料的功能出发，叙述了定量给料机设计的总体方案。进行了机械部分的简介，驱动部分是由主轴电机和手臂传动电机所提供的，控制部分采用的则是PLC。

3 PLC 控制系统的介绍和选择

3.1 PLC 的概述

20 世纪 60 年代，为了满足现代化工业生产的需求，美国数字设备公司（DEC）研制成功世界上第一台可编程逻辑控制器（PLC）。1971 年，日本研发了 DSC-8 控制器，1973 年西欧各国也研制成功各种可编程序控制器。我国在 1974 年开始研发可编程序控制器。

PLC 即就是 Programmable Logic Controller，是一种新型的工业和计算机技术相结合的控制装置。在 1987 年国际电工委员会颁布的 PLC 标准草案中对 PLC 做了如下定义：

PLC 是一种专门的存储器，用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序运算、计时、计数和算术运算等操作的指令，并能通过数字式或模拟式的输入和输出，控制各种类型的机械或生产过程。PLC 及其有关的外围设备都应该按易于与工业控制系统形成一个整体，易于扩展其功能的原则而设计[9]。

PLC 控制系统之所以成为当今应用很广泛的工业控制系统，因为它具有很多适合于工业控制的特点。

1. 可靠性高

PLC 采取了很多可以提高可靠性的措施的设计：

1）在硬件上还有在工艺过程中，采取了许多可以提高可靠性的硬件，其高性能芯片是高度集成的，并且对芯片采取了抗老化测试，利用先进的流水工艺制造生产，这些都可以使得 PLC 的可靠性大大的提高了。

2）在设计方面上，采取掉电保护、故障诊断和信息保护和恢复等其他措施，大大提高了 PLC 的工作稳定性、安全性。

3）在软件方面，也采用了一系列方法和措施。使用简单和方便的指令集，使用软件对外界进行滤波，斩波。对系统自身进行软件自我诊断、自我恢复等其他措施。

2. 操作简单、可操作性强

PLC 采取了很多可以提高可靠性的措施的设计：

1） 易于组态。与继电器系统的设计实现相比较，PLC 使用特定的组态工具对 PLC 系统的硬件和软件进行优化，进行更好的设定。这其中最简单和最直白的梯形图语言和语句表语言，这种语言清晰简练，方便自己的理解。

2）方便维护。继电器部分维护起来相对较为困难，这一个重要的原因促使 PLC 迅速产生。PLC 可以自己进行诊断，具有遇到故障自己解决功能，有一些时间可以记录起来，当系统生故障时，通过自己系统的功能，迅速找到故障所在

地，马上准确的找到故障，并且自己解决故障。

3. 灵活性强

PLC 是一种智能化的、方便、快捷的控制元件，在组态方式，修改程序等方面具有很大的可行性：

有相对灵活、多变的组态系统。组态灵活不仅表现在程序的开发阶段，还表现在程序的修改护上。如果生产工艺的要求比较高然后专用的组态语言不能满足它时，还可以用高级语言（如 C 语言）开发特殊的应用。可以通过通讯与其他系统连接成一个整体，这些都极大的提高了系统的灵活性。

3.2 西门子 PLC 简介

3.2.1 西门子 PLC 简单介绍

PLC 机型的选择应是在满足控制要求的前提下，保证可靠、维护使用方便以及最佳的性能价格比。具体应考虑以下几方面：

1. 性能与任务相适应 对于小型单台、仅需要数字量控制的设备，一般的小型 PLC（如西门子公司的 S7-200 系列、OMRON 公司的 CPM1/CPM2 系列、三菱的 FX 系列等）都可以满足要求。

2. 有比较合适的结构、安装起来很方便、机型上应统一 按照物理结构，PLC 分为整体式和模块式。整体式每一 I/O 点的价格相对比较的便宜，所以人们相对来说比较喜欢使用整体式 PLC 在较小型的工业控制系统里面。但是 PLC 的在功能和扩展方面都有较大的方便性和灵活性，I/O 点数的多少、输入点数与输出点数的比例、I/O 模块的种类和块数、特殊 I/O 模块的使用等方面的选择余地很大相对于前者来说，不仅 I/O 模块维修时需要换模块、而且发生故障时找发生故障的地方也很快。因此，对于较很杂、使用要求很高的工业场所我们选用模块式 PLC。

3. 是否满足响应时间的要求 由于现代 PLC 有足够高的速度处理大量的 I/O 数据和解算梯形图逻辑，因此对于大多数应用场合来说，PLC 的响应时间并不是主要的问题。然而，对于某些个别的场合，则要求考虑 PLC 的响应时间。为了减少 PLC 的 I/O 响应延迟时间，可以选用扫描速度高的 PLC，使用高速 I/O 处理这一类功能指令，或选用快速响应模块和中断输入模块。

4. 对联网通信功能的要求 近年来，随着工厂自动化的迅速发展，企业内小到一块温度控制仪表的 RS-485 串行通信、大到一套制造系统的以太网管理层的通信，应该说一般的电气控制产品都有了通信功能。PLC 作为工厂自动化的主要控制器件，大多数产品都具有通信联网能力。选择时应根据需要选择通信方式。

5. 其他特殊要求 考虑被控对象对于模拟量的闭环控制、高速计数、运动控制和人机界面（HMI）等方面的特殊要求，可以选用有相应特殊 I/O 模块的 PLC。对可靠性要求极高的系统，应考虑是否采用冗余控制系统或热备份系统。

在本定量给料机控制系统设计中采用西门子 S7-200 的 PLC。

3.2.2 西门子 PLC 的组成

PLC 是一种工业控制用的专用计算机，在设计理念上，是计算机控制技术与继电-接触器控制电路相结合的产物，因而它与工业控制对象有非常强的接口能力。[10]。PLC 的基本组成部件如图 3.1 所示。

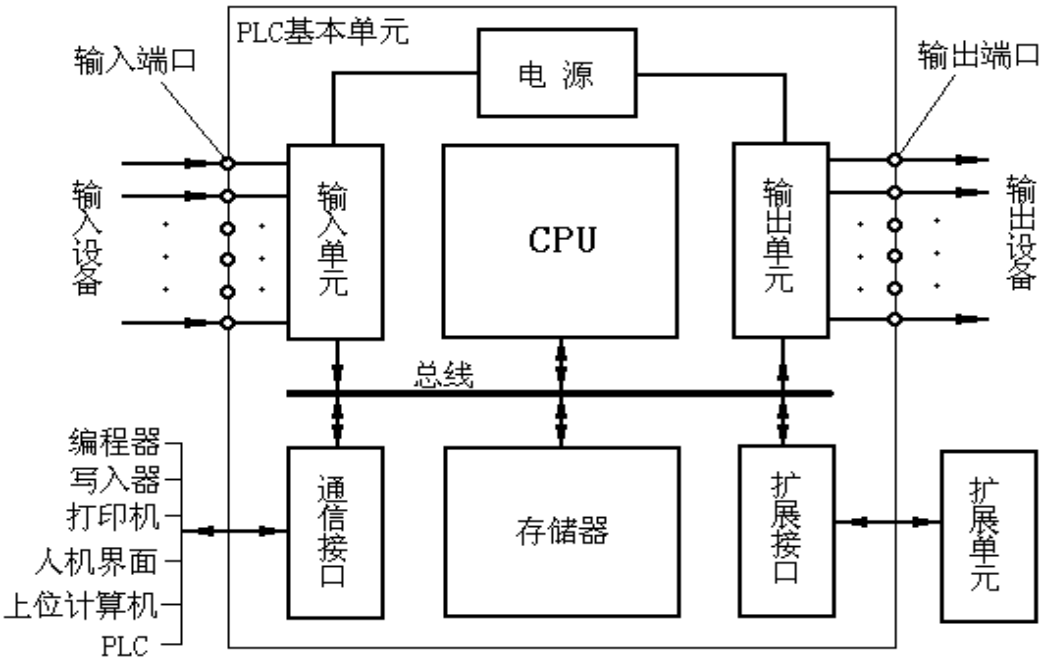


图 3.1 PLC 的基本部件

1. 中央处理单元 CPU

西门子系列 PLC 主要由三个系列，其中 S7-200 适合控制系统相对较小的场合使用，网络功能较弱。而 S7-300 和 S7-400 的网络结构基本一致，功能均很强大，而 S7-200 系列的 PLC 性价比较高，已能基本满足本定量控制器的需求，所以本系统选用 S7-200 系列的 PLC。

西门子公司的 S7-200 的 PLC 基本可以满足丰富多样的一体化控制的需求。由于具有非常优良的设计、几乎完美的扩展性、低廉的价格还有很多指令集系统，这些都让 S7-200 可以几乎满足的几乎所有的小规模的控制要求。此外，丰富的 CPU 类型和电压等级使其在解决用户的工业自动化问题时，有很强的适应性和可选择性[11]。

西门子 S7-200系系列PLC发展至今，经历了两代：

第一代产品的CPU模块为CPU21X，主机都可进行扩展，它其有四种结构不同配置的CPU单元，即CPU212、CPU214、CPU215和CPU216。

第二代产品的CPU模块为CPU22X，是在21世纪初投放市场的。其速度块，具有极强的通讯能力。其结构配置如表3-1所示。

表3-1 S7-200系列CPU特性

特性	CPU221	CPU222	CPU224	CPU226	CPU226XM
程序存储区	2048字	2048字	4096字	4096字	8192字
数据存储区	1024字	1024字	2560字	2560字	5120字
本机I/O	6入/4出	8入/6出	14入/10出	24入/16出	24入/16出

续表3-1

特性	CPU221	CPU222	CPU224	CPU226	CPU226XM
扩展模块数量	0	2	7	7	7
通讯口	1RS-485	1RS-485	1RS-485	2RS-485	2RS-485

S7-200 CPU22X 系列的 PLC 是 S7-200 CPU21X 系统的进化产品，由于它具有多种功能模块和人机界面可以提供方便选择，因此很容易组成 PLC 网络。

PLC 实质上就是一台专业的工业控制计算机，通常一个主机模块都要安装一个或者多个 CPU，那其中必定要有一个主 CPU，其余的为辅助 CPU，它们协同工作，大大的提高了整体系统的速度和功能，缩短了程序的执行时间。

S7-200 是一个系列，其中包括多种型号的 CPU，以适应不同需求的控制场合。

近几年在西门子公司生产了 S7-200 CPU22X 的很多代 PLC 设备有：CPU221、CPU222、CPU224、CPU226、还有 CPU226XM 模块。S7-200 CPU22X 系列产品有很强大的指令集、运行速度相对令人满意、通信能力相对令人满意。比如说，CPU226 模块的 I/O 模块的总数为 40 点，这里面有 24 个输入点，输出点 16 点；在用户程序存储量这方面来说，容量也达到了 8KB；具有 PID 控制器功能；有 2 个 RS-485 通信口；具有 PPI、MPI；运行速度相对令人满意、通信能力相对令人满意，适用于要求较高的中小型工业控制现场。

S7-200 PLC 任一型号的主机，都可以单独构成基本配置，作为一个独立的控制系统，S7-200 CPU22X 系列产品的基本配置如下图所示。S7-200 PLC 各型号主机的 I/O 配置都是固定的，他们具有固定的 I/O 地址[12] 。S7-200 CPU22X 系列产品的 I/O 配置及地址分配如下表 3-2 所示。

表 3-2 S7 系列 I/O 配置

项目	CPU221	CPU222	CPU224	CPU226
本机数字量输入地址分配	6 输入 I0.0-I0.5	8 输入 I0.0-I0.8	14 输入 I0.0-I0.7 I1.0-I1.5	24 输入 I0.0-I0.7 I1.0-I1.7 I2.0-I2.7
本机数字量输出地址分配	4 输出 Q0.0-Q0.3	6 输出 Q0.0-Q0.5	10 输出 Q0.0-Q0.7 Q1.0-Q1.1	16 输出 Q0.0-Q0.7 Q1.0-Q1.7
本机模拟量输入/输出	无	无	无	无
扩展模块数量	无	2 个模块	7 个模块	7 个模块

在整个控制过程中，需要用到控制电机启停，紧急停止等7个开关量输入，5个控制电机启停的接触器。目前PLC从被控对象的I/O点数考虑，采用SIEMENS公司的S7-200系列PLC。考虑到以后的扩展要求，主机选用CPU224型号PLC，该型号具有14输入/10输出，满足系统的开关量输入输出点个数。

2. 存储器

PLC 的存储器分为系绒程序和用户程序两种存储器。

1）系统程序存储器：系统程序存储器用于放置 PLC 原来内置的出厂时的系统程序，系统程序在 PLC 被制造出来的时候已经放置在 PROM 和 EPROM 里面。这一部分的存储是相对被保护起来的不能被外界所看见，用户不能修改其中内人，相当于只读。PLC 的大部分操作都是在系统程序的作用下来完成的。

2）用户程序存储器：用户程序存储器可以分成程序和数据存储区。程序存储区用来放置用户编写的 PLC 语言，数据存储区放置的是 PLC 语言在运行过程里面所涉及到的或者是运行期间所产生的一些数据，包括出入/输出的过程印象、时间计时器、时间定时器的预设值和当前值等。

3. 电源单元

电源单元将外界提供的电源转换成 PLC 的工作电源之后，提供给 PLC。有些电源单元也可以作为负载电源，通过 PLC 的 I/O 接口向负载提供直流 24V 电源。PLC 的电源一般采用开关电源，出入电源范围宽，有很强的的能力不受外界干扰。电源部分有很完美的隔离，使得电源的输入和输出里面不会产生互相的干扰，可以正常工作，以保证外面的干扰不能影响到 PLC 的运行。

4. 输入/输出单元

在 PLC 控制系统中，为了实现对生产过程的控制，要将对象的各种测量参数，按要求的方式送入 PLC。PLC 经过运算、处理后，再将结果输出一个数字值，此时也要把这个值转换成比较合适的对生产过程进行控制的量。所以。在

PLC 和工业现场中间，必定要建立信息互通。这样的设备就是输入/输出模块。对 PLC 来讲，信号形式可分为四类，数字量的输入和输出信号、模拟量的输入和输出信号。

一般使用的量程是-10V～+10V、0～+10V、4～20mA 等，可以参考工业现场的需求。。

5. 接口单元

接口单元包括扩展接口、通信接口、编程接口和存储器接口等。PLC 的 I/O 单元也属于接口单元的范畴，它完成 PLC 与工业现场之间电信号的来往联系。除此之外，PLC 与其他的外界设备和信号的联系都需要相应的接口单元。有以下集中接口：I/O 扩展接口、通信接口、编程器接口、存储器接口、其他外部设备接口。

目前，选择一个相对来说比较合适的PLC的流程如下所示：

第一步要对要实现的内容进行仔细的考虑分析，寻找出全部的I/O点，包括开关量的I/O点数和模拟量的，并且弄清楚以上I/O点的特性。它们的特性主要包括它们的信号是属于交流的还是直流的，其使用的电压是多大的，其输出是用的什么硬件，在了解了这些之后我们可以选择用多少点还有PLC的I/O是什么性质。

然后来定下I/O的地址分配表，输入输出信号在PLC接线端子上的地址分配是进行PLC控制系统设计的基础。对于软件的设计，在I/O地址分配表完成之后才能进行一系列的编程设计；对于PLC的接线图来说，要确定了I/O地址以后，才能完整地画出电气接线图。

最后根据控制要求绘制程序的流程图，绘制用户程序，装入PLC的用户程序存储器，并进行初步调试。

3.3 PLC 的工作原理

一般情况下，PLC 重复执行工作循环来完成任务。一个工作循环包括以下三个步骤：输入采样，程序执行和输出刷新三个阶段[13]。如图 3.2 所示。

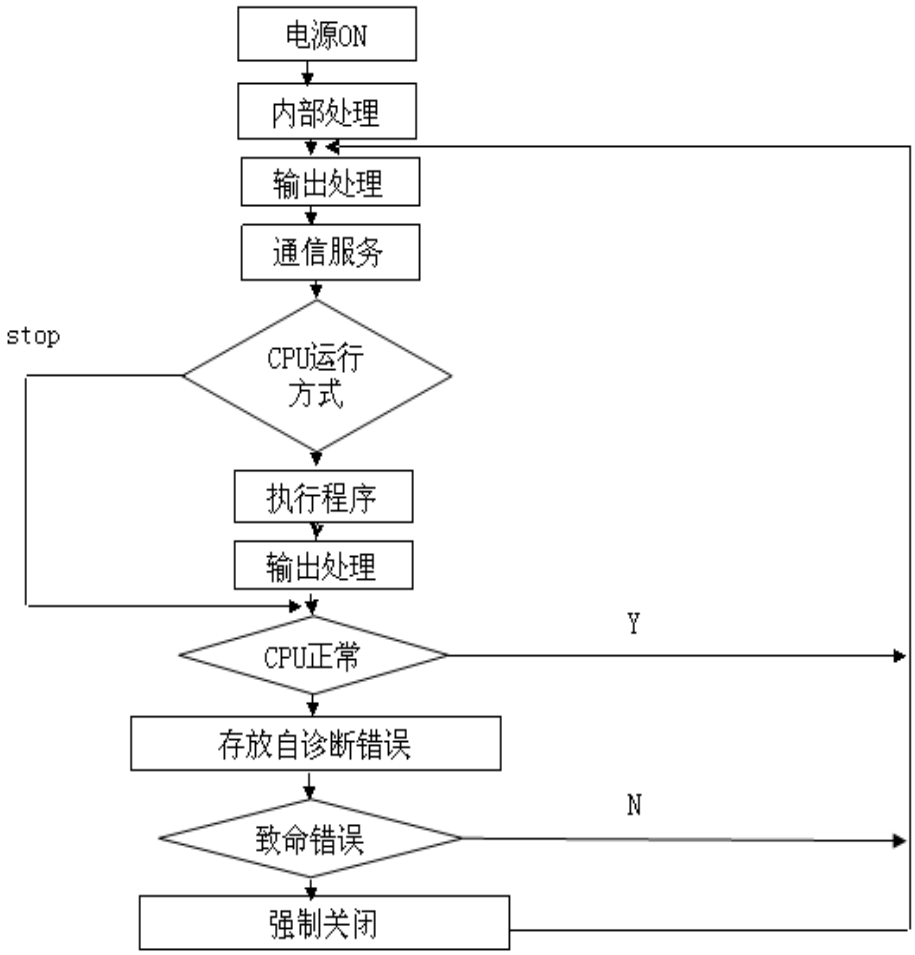


图 3.2 PLC 工作流程图

1. 输入采样阶段

在这个阶段里面，PLC 按照原有的方式一步一步载入所输入的状态与一些数据，在同时把它们放在 I/O 映象寄存器中的所对应的地方。在完成输入之后，就进行用户程序执行和输出刷新这两个阶段。在用户程序执行和输出刷新这两个阶段中，就算输入的状态与一些数据产生了细微的改变，I/O 映象寄存器中所对应的地方的状态和数据也不随之改变。所以说，假若在输入端给了一个脉冲信号，那么这个该脉冲信号时间长度比需要长于一次扫面所用的时间，这样才能保证在一切情之下，这次输入是有效的。

2. 用户程序执行阶段

在这个阶段里面，PLC 处理起输入的数据或者值起来总是按从上往下的顺序地扫描梯形图。在每一次扫描过程里面，又是从左向右扫描个个逻辑电路，并且遵循先左后右、先上后下逻辑顺序整个梯形图进行计算、载入，在通过计算的答案，更新该逻辑在 RAM 存储区中所在位置的相应状态，或者更新该线圈在 I/O 映象寄存器里面所相应的位置的状态信息。

3. 输出刷新阶段

当前两个阶段结束以后，PLC 用户就进入这个输出状态。在这段时间里面，CPU 根据 I/O 映象寄存器里面所相应的用户状态和数据更新梯形图里面所有逻辑电路的状态，然后给外部的开关和其他的硬件设备一个动作。这就是 PLC 输出的意义。

3.4 本章小结

本章主要对 PLC 的发展历史，各个部分，工作原理等进行了简单的介绍，进行了 PLC 的 CPU 选型，对下面章节的控制系统设计做了铺垫。

4 控制系统的设计

4.1 控制系统元件的选择

本定量给料机硬件有以下几个部分构成：电动机，流量器，电磁阀等等，定量给料机主要通过这些硬件实现机械运动。

一、电动机的选择

通过对定量给料机主轴转动、手臂运动等采用电力驱动的方式。

电动机的选择包括电动机的功率、种类、电压、转速和结构形式选择等。

1. 电动机功率的选择

电动机的功率反映了它的负载能力，对电动机的选择首先是对电动机功率的选择。如果选择的电动机功率过小，则不能是机械设备在正常工作状态下运行，无法完成相应的生产任务，即使电动机能够勉强拖动机械设备运转，由于电动机在过载条件下运行，会造成电动机损坏或其他机械故障。如果选择的电动机功率过大，则设备投资费用增加，电动机运行效率下降[14]。

电动机的功率选择选择应根据以下原则进行：

(1)允许温升　　保证电动机在运行时的实际最高温度 θ_{max}不高于电动机绝缘材料所允许的的最高温度 θ_a，即

$$\theta_{MAX} \le \theta_{\partial} \tag{4.1}$$

(2)过载能力　　电动机热惯性大,在短期内承受高于额定功率的负载时所达到的温度不会高于电动机绝缘材料所允许的最高温度,有一定的过载能力.但是电动机的最大转矩T_{max}(对于异步电动机)或最大电流I_{max}(对于直流电动机)必须大于运行过程中可能出现的最大负载转矩T_{Lmax}和最大负载电流$I_{Lmax,}$即

$$T_{LMAX} \le T_{MAX} = \lambda m T_N \quad （对于异步电动机 ） \tag{4.2}$$

$$I_{LMAX} \le I_{MAX} = \lambda i I_M \quad （对于直流电动机） \tag{4.3}$$

式中：λm、λi为电动机过载能力系数。

(3)启动能力　　为了保证电动机能够可靠启动,必须使

$$T_L \le T_{ST} = \lambda st T_N \tag{4.4}$$

式中：λ_{st}为电动机启动能力系数；T_{st}为电动机的起动转矩。

根据负载图按发热理论进行计算来选择电动机的方法，理论依据可靠，但计算过程复杂。而且只是在一些假设的条件下得到的；此外，对于大多数的生产机械来说，找出具有代表性的典型负载图有困难，因此得到的结果差异往往较大。因而，在电动机的功率选择中常用：统计法和类比法。

统计法是比较实用的电动机功率选择方法，它是对国内外同类型设备所选用的电动机的额定功率进行统计和分析，并结合我国的实际生产情况，从中找

出电动机功率和设备主要参数之间的的关系，并用数学公式加以表达，以此作为设计新设备时选择电动机功率的主要依据。

类比法是对经过长期运行考验的同类生产机械的电动机容量调查研究，并对其主要参数和工作条件进行对比，从而确定新设计生产机械所需的电动机的容量。

3. 电动机类型的选择

满足生产机械对拖动系统启动、调速、制动、正反转、负载等要求，是电动机类型选择的基本原则。在此基础上，对电动机的选择要发挥机械与电气技术的各自优势，力求整个机电传动系统结构简单方便、易于操作管理。

（1）对于不需要进行调速的、对启动性能没有很高要求的机械，应当优先选择一般的异步电动机（如YL、JS、Y系列等）。如果需要很大的启动转矩，那么就可以选择高启动转矩式的异步电动机。

（2）对于要求频繁使用的，且负载压力较大，还有一定调速要求的生产机械，应考虑选用线绕式异步电动机（如YR、YZR系列等）。

（3）对于需要几种速度，而不要求无极调速的生产机械，可选用YD等系列多速异步电动机。

（4）对于需要恒转速运行的生产机械，且需要补偿电网功率因素的场合，应优先考虑选用TD等系列的同步电动机。

（5）对于需要大范围无极调速，且要求经常启动、制动、正反转的生产机械，则可以选用带调速装置的直流电动机或鼠笼式异步电动机、同步电动机。

3. 电动机额定电压的选择

电动机额定电压与供电电压一致是电动机额定电压选择的基本原则，交流电动机额定电压应与供电电网电压一致。直流电动机的额定电压也要与电源电压相一致。

4. 额定转速在电动机上的选用

对于额定功率相同的电动机，电动机尺寸小、质量低、成本小的情况下，可以选择使用高速电动机较相对较为合适。但由于生产机械工作机构所需转速一定，所以，转速快，传动机构转速比越大，传动机构也越冗杂。为此，在确定额定转速时应全面综合各方面，然后分析做出选择。

5. 电动机的结构形式选择

根据电动机安装位置的不同，其结构形式可分为卧式（轴是水平的）和立式（轴是竖直的）等种类。根据电动机与工作机构的连接方便和结构紧凑为原则来选择电动机的结构形式。根据电动机工作所适应的环境条件不同，电动机结构还可以分为开启式、防护式、封闭式和防爆式四种。

依据以上的原则，本设计系统共需要2台电动机。其中主轴电动机1台，手臂旋转电动机1台，一般情况下无法精确计算，因此我们采用类比法，通过参考其他汽车清洗机的情况。本系统确定选用额定电压为380V。主轴电机功率为

0.55KW，手臂电机功率为0.55KW，，本设计所选定电动机的额定转速均为1500r/min。

二、电磁阀

电磁阀的工作原理是，电磁阀里有密闭的腔，在不同位置开有通孔，每个孔都通向不同电磁阀的油管，腔中间是阀，对面有两块电磁铁，只要有一面的叙安全得电就会有磁性，然后阀体就会被吸引到那一边，阀体一移动就能控制排油孔的开关，进而来实现油的控制，如果进油孔打开，那么液压油就会流出，就会使得油缸的活塞运动，活塞移动带起活塞杆运动，活塞杆是机械部分跟着运动。这样用控制电磁铁的方法同时控制了阀门的开关。如图4.1所示。

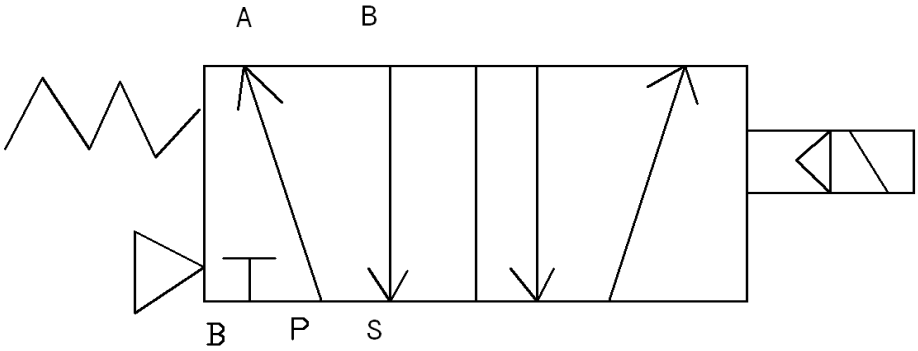


图4.1 电磁阀

本定量给料机在定量给料这个环节中，需要电磁阀控制送料器给料的开始和停止，因此选用 SLO3DFO2N1AV1型直动式电磁阀，其原理是，通电时，电磁线圈产生电磁力把关闭件从阀座上提起，阀门打开；断电时，电磁力消失，弹簧把关闭件压在阀座上，阀门关闭。 特点：在真空、负压、零压时能正常工作，但通径一般不超过25mm。

在定量给料过程中电磁阀主要负责的是控制料斗是否给料。在给料过程中，电磁阀打开，开始给料，当给料结束，电磁阀关闭，定量给料过程结束。

三、流量计

图4.2 固体流量计 MF3000

流量控制器主要工作原理是，微波探头以5mw 的功率发射一种24.125GHz 的高频微波信号，当有物体通过时，会有微波信号形成一种反射，主机会根据反射微波信号的变化量，经过计算得出被实测物体的实际流量。

介公司主要推出的微波固体流量计 MF3000具有世界上最先进的微波技术，适用于从 kg/h 到 t/h 宽范围的金属封闭管道内固体流量测量，该系统用于气力输送或者自由落体的粉末、粉尘、小球状、粒状等固体的流量的在线监测。如图4.2所示。

微波固体流量计 MF3000的测量原理基于多普勒效应，其中传感器在管道内微波频率范围内产生均匀的磁场，这些微波被流过管道的颗粒反射，对频率和幅度变化的计算确保固体流量的精确测定。

通过焊接，可将传感器平齐的拧紧在管道内，传感器连接到 DIN 轨道安装的变送器上，4...20mA，RS232和 RS485的输出信号，易于我们对流量的参考和校准。

流量计在定量给料机上有着非常大的作用。在定量给料的过程中，需要流量给料机对料的检测，同时反馈出一个信号给控制系统，放置在 PLC 的累加器里，当这个累加值达到给定值时，PLC 就会控制电磁阀的通断[15]，流量计技术数据如下表4-1所示。

表4-1 MF3000技术数据

接触介质的零部件	不锈钢1.4307和 pa6.6
工艺连接	焊接法兰
外壳材料	不锈钢1.4307或 st52
防护等级	IP65
结构	DIN-轨道，22.5mm
辅助电源	24V AC/DC
功率损耗	最大2w
接口	RS232和 RS485

微波固体流量计 MF3000通过 RS485接口与 PLC 连接。如图4.3所示。

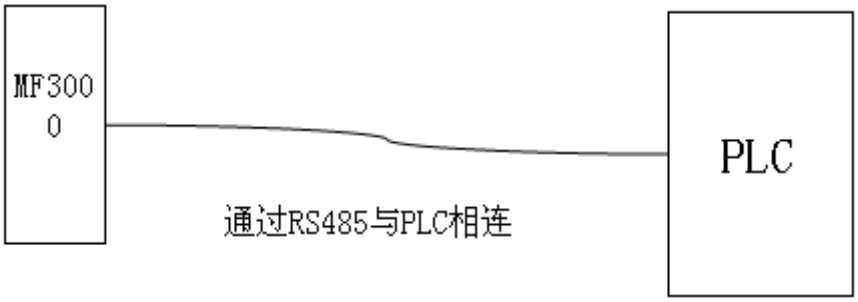


图4.3 固体流量计与 PLC 的连接

4.2 绘制电气原理图

定量给料机的主电路共有两台电动机：M1 为主轴电动机，带动手臂绕着主轴作旋转运动；M2 为手臂控制电机，用来控制手臂的上下运动以方便取料。定量给料机主轴的正反转是由电机的正反转实现的，主轴电动机 M1 在交流接触器

KM1 和 KM2 的通断状态下来实现正反转。主轴电动机 M1 的制动方法是反接制动，手臂控制电动机 M2 在交流接触器 KM1 和 KM2 的通断状态下来实现正反转。

主电路的工作原理是先使得断路器 QF 和空气开关都闭合，通入电源。主轴电动机 M1 由交流接触器 KM1、KM2 控制，到达限位开关，KM1 得电，主轴电动机 M1 正转，KM2 得电，主轴电动机 M1 反转；手臂控制电动机 M2 由接触器 KM3、KM4 控制，到达限位开关，接触器 KM3 得电，主轴电动机 M2 正转，接触器 KM4 得电，主轴电动机 M2 反转；。热继电器 FR1、FR2 作过载保护，熔断器 FU 起着短路保护作用。主电路图如下图 4.5 所示。

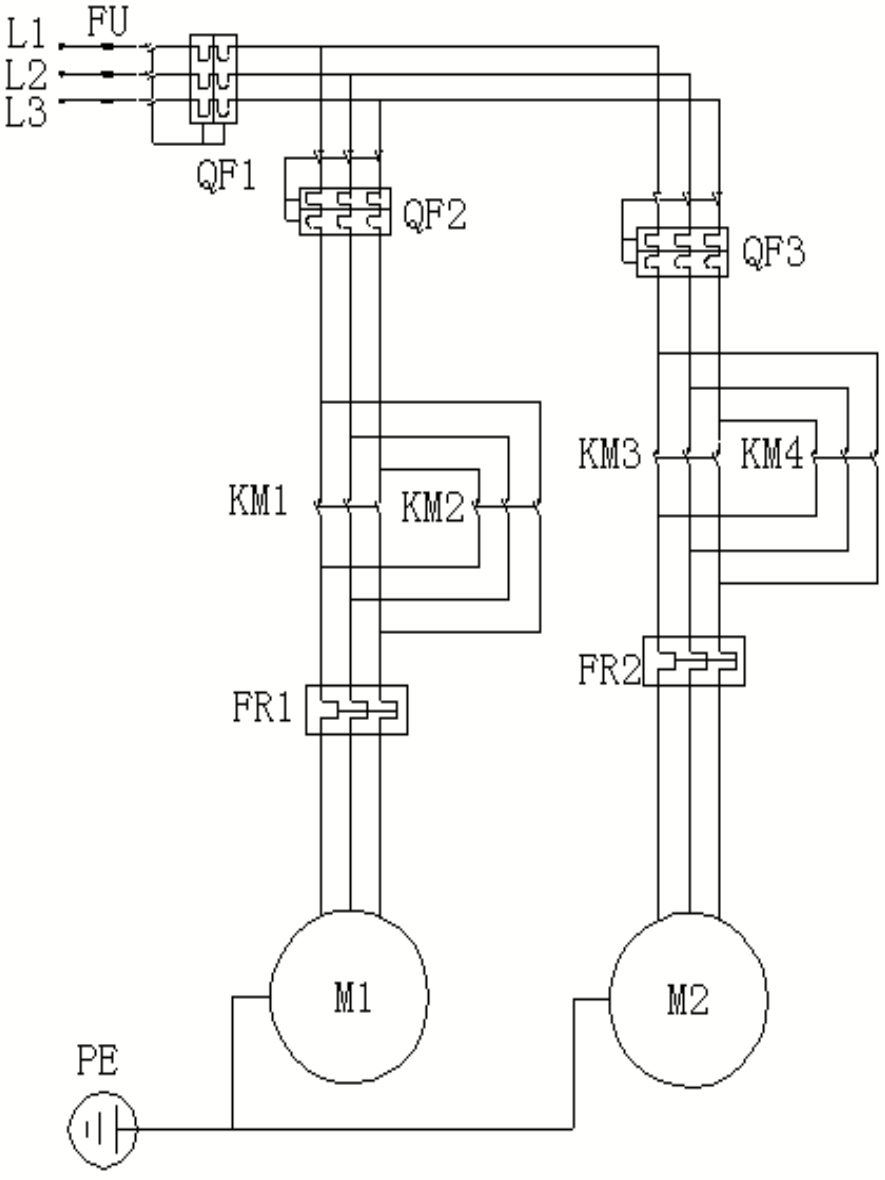


图4.4 主电路图

4.3 控制程序的设计

4.3.1 I/O 分配表

控制电路的输入信号端有 7 个，输出信号端有 5 个，具体 I/O 分配表如下表 4-2 所示。

表 4-2　I/O 分配表

输入信号		输出信号	
启动按钮 SB	I0.0	主轴电机正转接触器 KM1	Q0.0
主轴电机停止按钮	I0.1	主轴电机反转接触器 KM2	Q0.1
前限位开关 SQ1	I0.2	手臂控制电机正转接触器 KM3	Q0.2
后限位开关 SQ2	I0.3	手臂控制电机反转接触器 KM4	Q0.3
手臂控制电机停止按钮	I0.4	电磁阀接通接触器 KM5	Q0.4
上限位开关 SQ3	I0.5		
下限位开关 SQ4	I0.6		

4.3.2 接线图

通过 I/O 分配表，画出 I/O 接线图，如图 4.5 所示，SQ1、SQ2、SQ3、SQ4 分别为四个限位开关，SB1、SB2、SB5 分别为常闭的停止按钮，KM1、KM2 线圈互锁 KM3、KM4 线圈互锁。

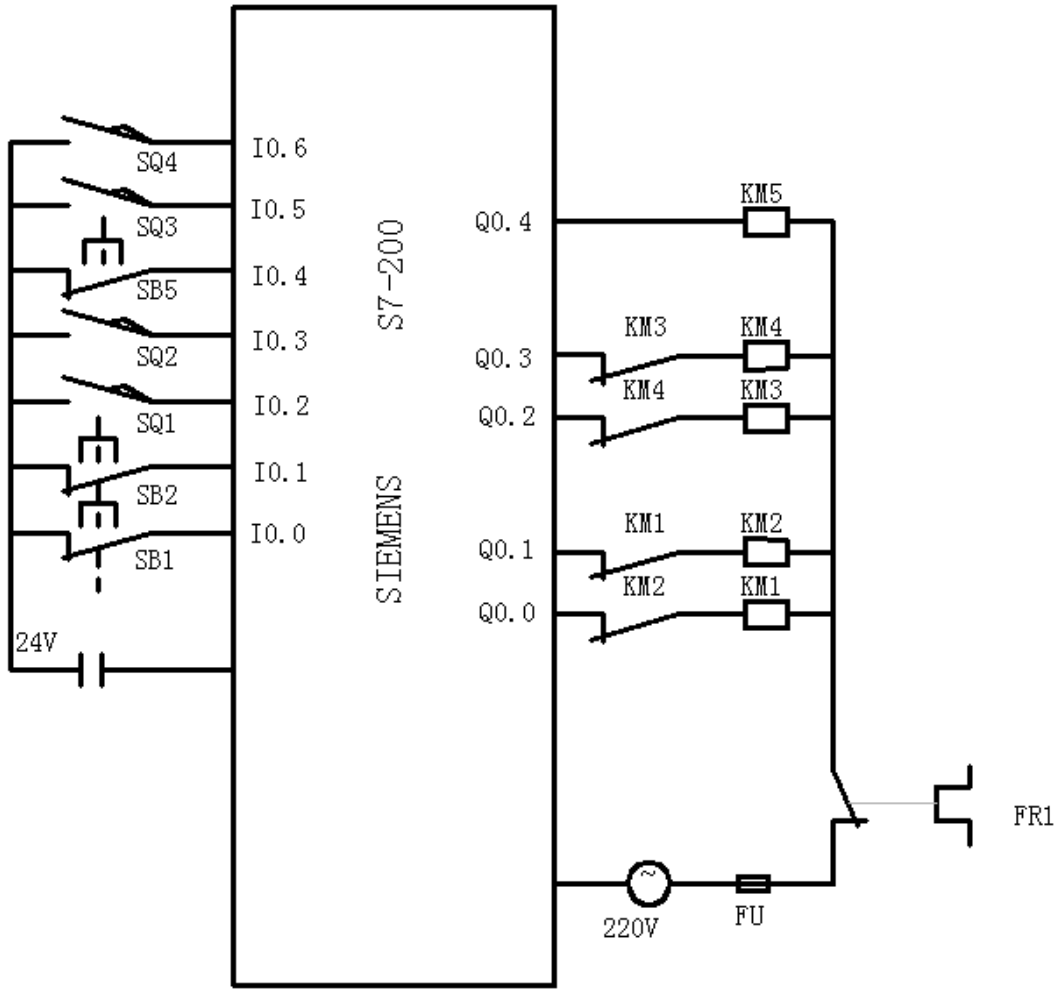


图 4.5 接线图

4.4 本章小结

本章主要叙述了控制系统所要使用的控制元件，绘制了主电路的电气原理图，简单解释了电机工作时的情况，画出了I/O分配表和接线图。

5 控制系统的编写

5.1 STEP7 的介绍

STEP 7 软件是西门子公司开发的，可以用 S7 系列 PLC 的语言进行编译，是一种可以运用在现在的电脑中，在 WINDOWS 环境下可以进行工作的一款软件。把它和计算机的串行口连接起来可以进行信息的交流和整合。通过 STEP 7 编程软件，不仅大大的方便了我们进行梯形图或者语言的编写和检查，编译之后我们还能直观的看到我吗所编写的程序是否有问题，哪里有问题，可以直接进行修改，非常的方便，还可以修改程序里面的变量值，大大的方便了调试工作。

当用 STEP 7 创建一个自动化解方案时，有一系列的基本任务。下图 5.1 所示为大多数项目需要执行的任务，并把这些任务分配到基本程序中。它会对我们整个工程的设计起一个基本的指导作用。

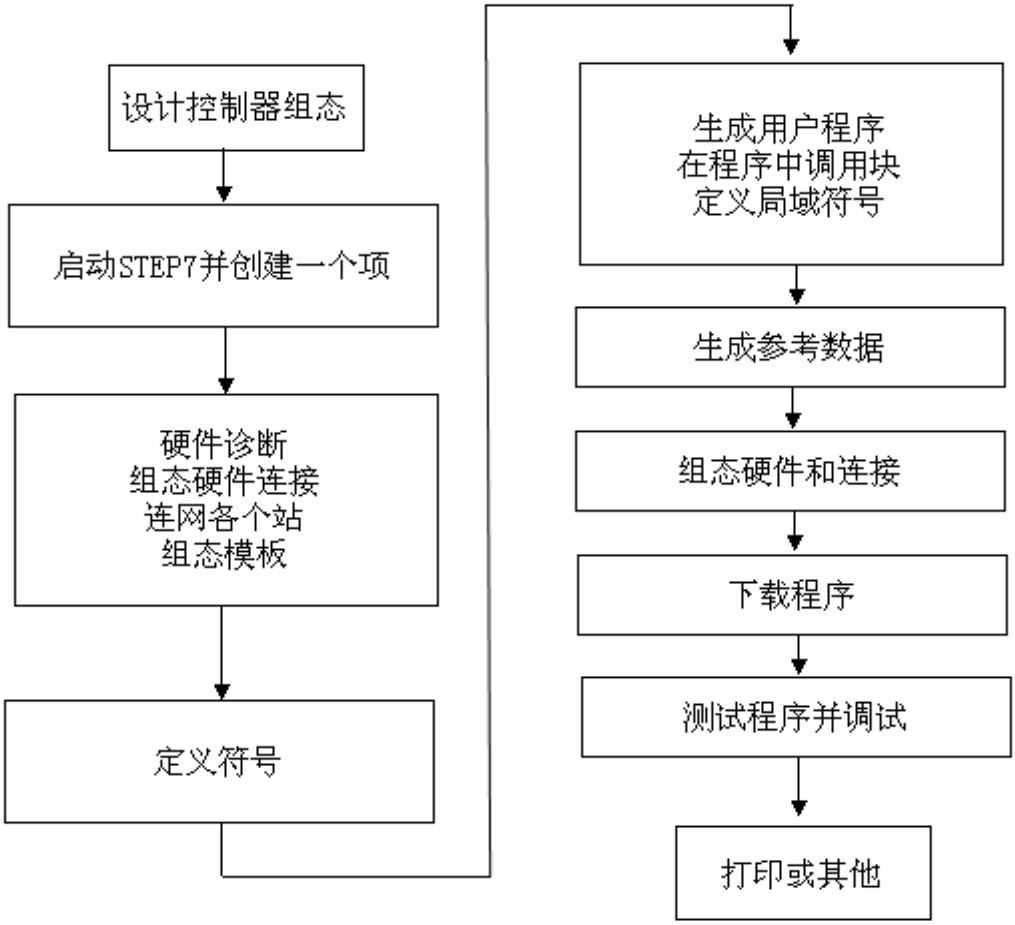


图 5.1 创建一个项目的基本步骤

5.2 系统程序流程图

根据 I/O 分配表和接线图，绘制控制系统的流程图，如下图 5.2 所示。

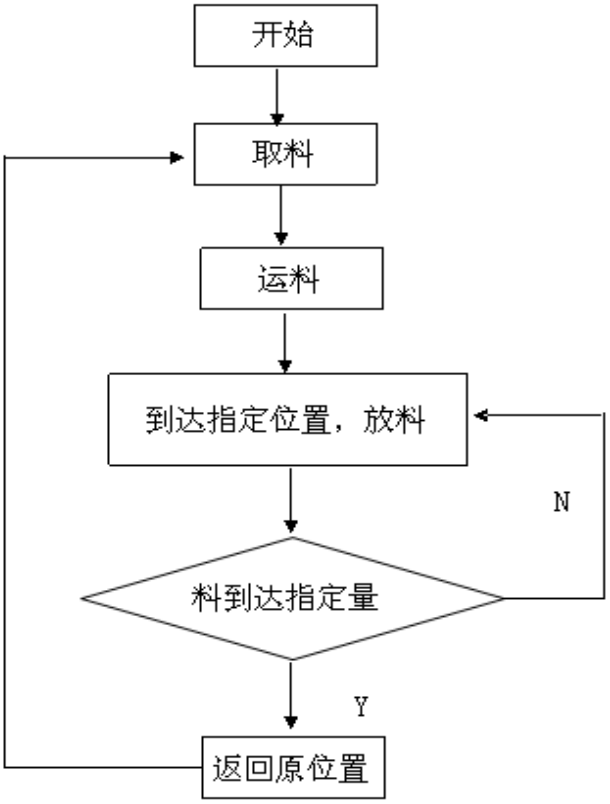


图 5.2 系统控制流程图

5.3 梯形图的绘制

1. 手臂传动电机正反转控制

电机的正反两个方向的切换是通过两个接触器KM3，KM4的切换来实现的。I0.0和I0.4是主电路停止按钮和手臂传动电机停止按钮，处于常闭状态，只要他们一得电，继电器开关就会打开，断开电路，起到停止电路作用。达到限位开关时I0.5、I0.6时，M0.0和M0.1都得电，并且都进行自锁，M0.0和M0.1进行互锁，完成取料时手臂上下的运动，起到作用。如图5.3所示。

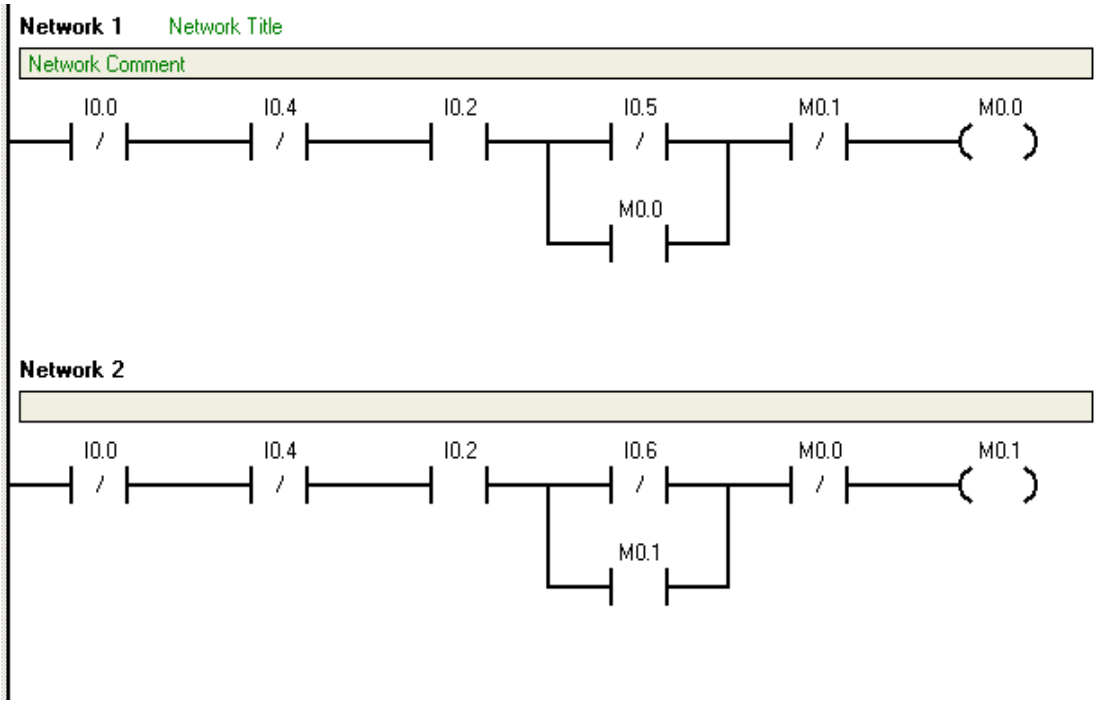


图 5.3 手臂传动电机正反转控制

```
LDN    I0.0
AN     I0.4
A       I0.2
AN     I0.5
O       M0.0
AN     M0.1
=       M0.0
LDN    I0.0
AN     I0.4
A       I0.2
AN     I0.6
O       M0.1
AN     M0.0
=       M0.1
```

2. 手臂传动电动机正反转时电路保护

由于 PLC 内部处理过程中，同一元件的常开、常闭触点的切换没有时间的延迟，因此必须采用防止电源短路的方法，就必须加入定时器分别作为正、反转切换的延迟时间，从而防止了切换时发生的电路短路故障。I0.0 和 I0.4 分别为停止按钮和手臂传动电机停止按钮，处于常闭状态，一闭合他们，电路就断电，达到停止的要求，T37 和 T38 是延时定时器，设置延时时间是 1S，起到

保护电路的作用。如图 5.4 所示。

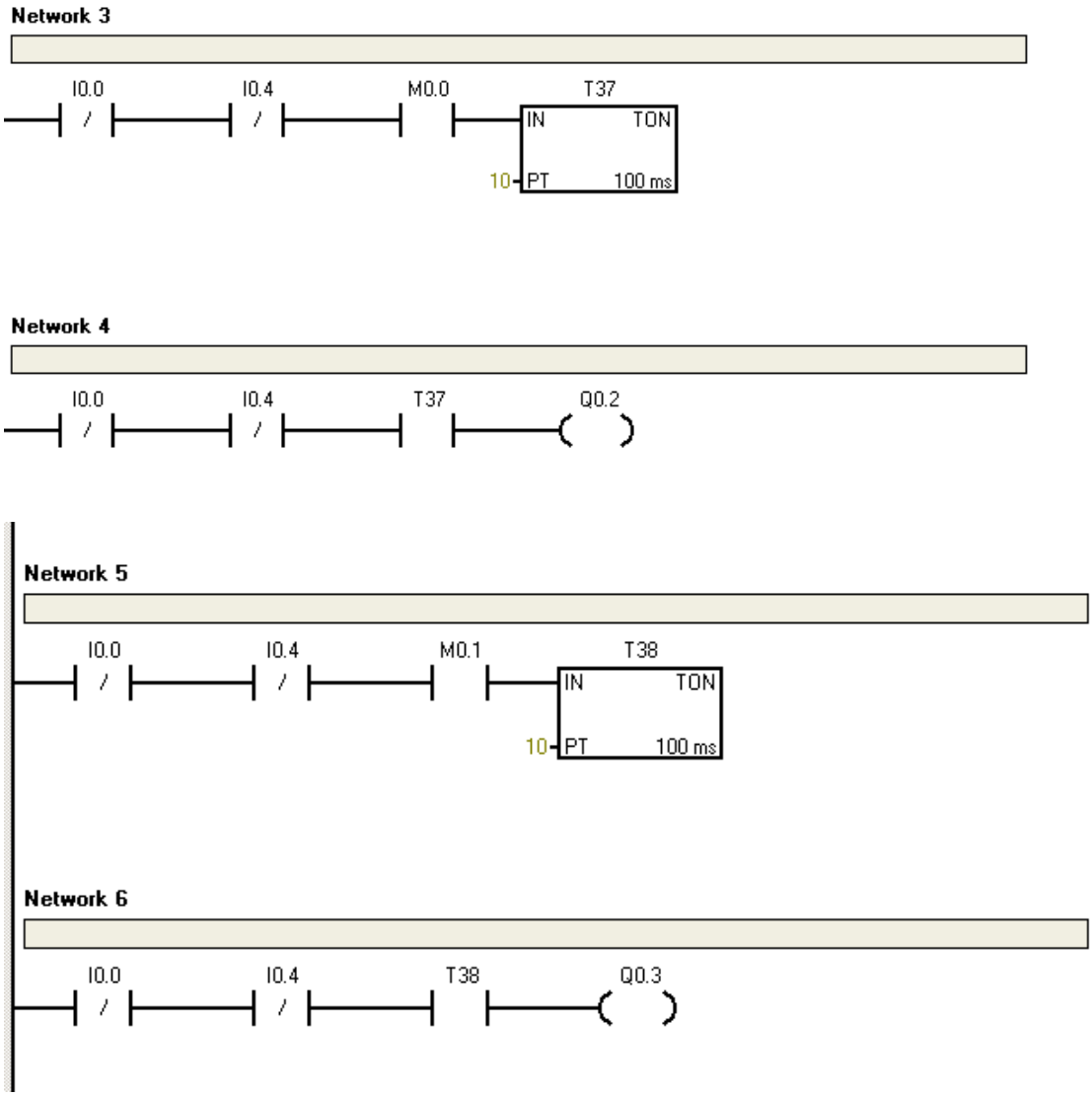


图 5.4 手臂传动电机正反转电路延迟保护

```
LDN     I0.0
AN      I0.4
A       M0.0
//       T37
LDN     I0.0
AN      I0.4
A       T37
=       Q0.2
LDN     I0.0
AN      I0.4
A       M0.1
```

```
//      T38
LDN     I0.0
AN      I0.4
A       T38
=       Q0.3
```

3. 主轴电动机正转控制、电路保护

主轴电机的正转接触器 KM1 的接通和闭合来实现的，电路的保护是由 T39 来实现的。停止按钮和主轴停止按钮 I0.0 和 I0.1 都处于常闭状态，当主轴运动到限位开关 I0.5 处，M0.2 得电，并且进行自保，延时定时器延时 1S，1S 后 Q0.0 得电，主轴电机正转，如图 5.5 所示。

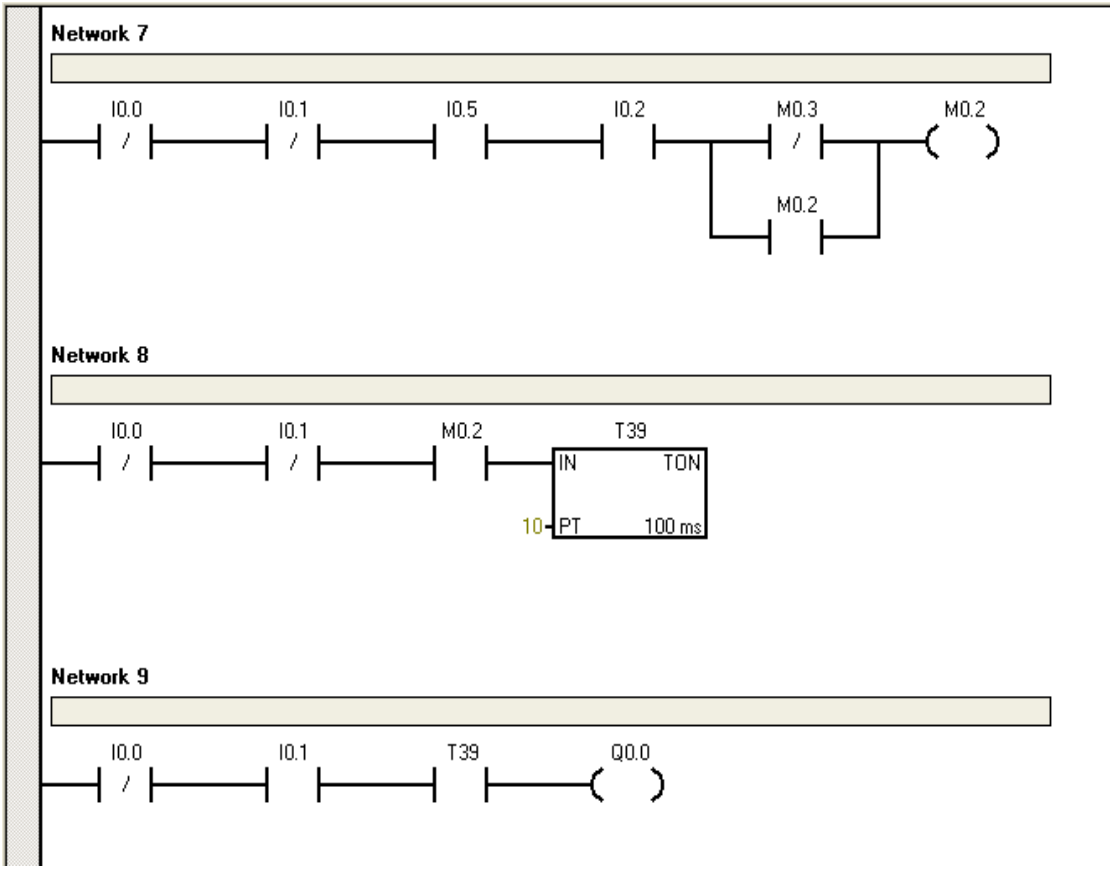


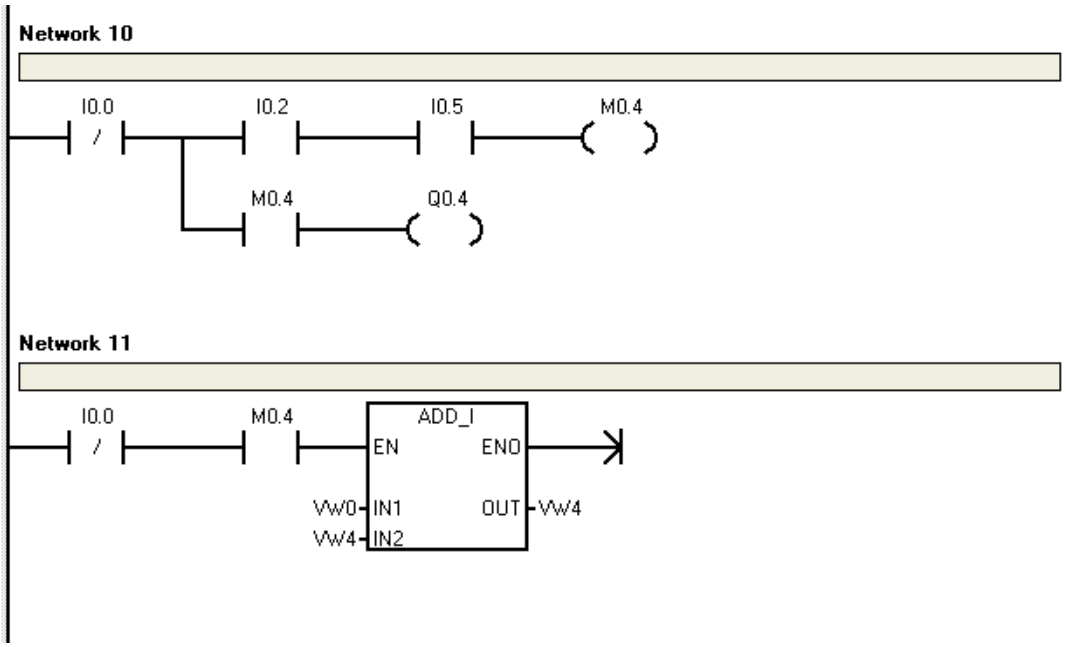
图 5.5 主轴电机正转及电路保护

```
LDN     I0.0
AN      I0.1
A       I0.5
A       I0.2
AN      M0.3
O       M0.2
=       M0.2
LDN     I0.0
```

```
AN      I0.1
A       M0.2
//      T39
LDN     I0.0
A       I0.1
A       T39
=       Q0.0
```

4. 定量给料控制

定量给料的控制主要由电磁阀和流量计一起实现，流量计和 PLC 连接，流量计通过 RS485 与 PLC 连接发出过来的值作为操作数 in1,地址单元为 VW0。设置比较器初始操作数 in2 地址单元为 VW4，初始值为 0。设置 IW6 为内存 D100 里面的一个数值。主轴停止开关常闭，当主轴和手臂转动到限位开关 I0.2 和 I0.5 处时，两开关闭合，继电器 M0.4 得电，电磁阀得电，开始放料。累加器 ADD1 开始工作，初始值 VW0 为 0，累加的结果为 VW4。累加的结果与 D100 中的 VW6 比较，若大于 VW6 里面的值，继电器 M0.7 得电，Q0.4 失电电磁阀关闭，停止给料，完成定量给料。如图 5.6 所示。



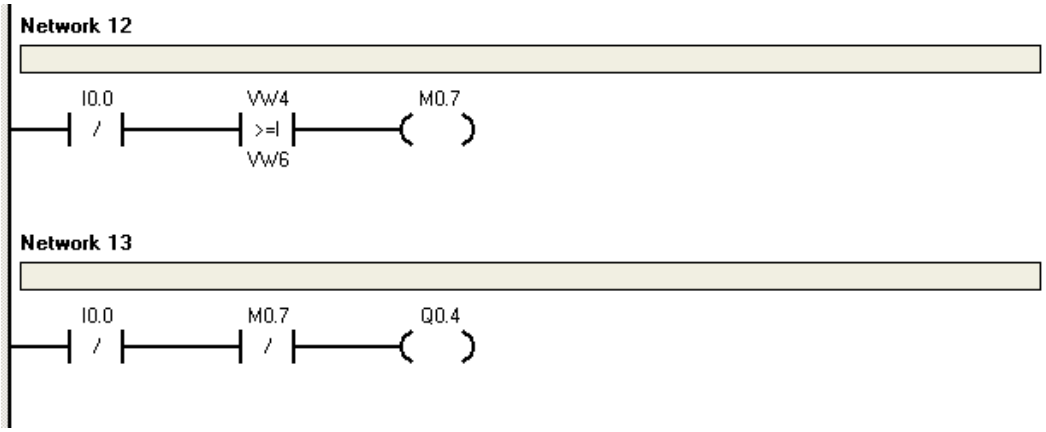


图 5.6 定量给料控制

```
LDN       I0.0
LPS
A          I0.2
A          I0.5
=          M0.4
ALD
A          M0.4
=          Q0.4
LDN       I0.0
A          M0.4
+I          VW0, VW4
LDN        I0.0
AW>=     VW4, VW6
=           M0.7
LDN        I0.0
AN         M0.7
=           Q0.4
```

5. 主轴电机反转控制、电路保护

主轴电机的正转接触器 KM2 的接通和闭合来实现的，电路的保护是由 T40 来实现的。停止按钮和主轴电机停止按钮 I0.0 和 I0.1 处于常闭状态，一闭合他们就断开，达到停止按钮的作用。主轴达到限位开关 I0.5 处，继电器 M0.5 得电并且进行自保，延时定时器 T40 得电，1S 后，Q0.1 得电，主轴电机反正。如图 5.7 所示。

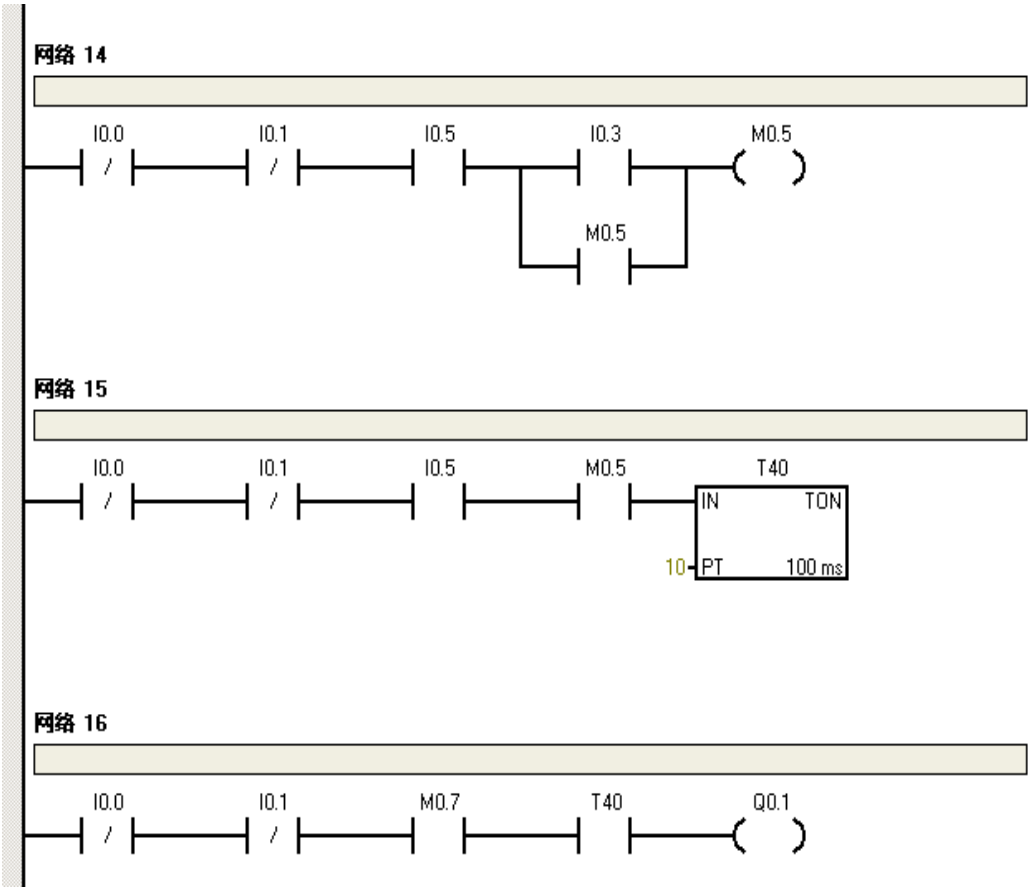


图 5.7 主轴电机反转控制及保护

```
LDN     I0.0
AN      I0.1
A       I0.5
A       I0.3
O       M0.4
A       M0.5
=       M0.4
LDN     I0.0
AN      I0.1
A       I0.5
A       M0.4
//      T40
LDN     I0.0
AN      I0.1
A       M0.6
A       T40         =       Q0.1
```

案例 15

汇控 PLC 在反渗透水处理设备上的应用

1. 简介

反渗透是渗透的一种反向迁移运动，是一种在压力驱动下借助于半透膜的选择截留作用将溶液中的溶质与溶剂分开的分离方法，其孔径大约在 5～10A。它已广泛用于各种液体的提纯与浓缩，其中最普遍的应用实例便是在水处理工艺中，用反渗透技术可将原水中的无机离子、细菌、病毒、有机物及胶体等杂质去除，以获得高质量的纯净水。

图 1-1 反渗透膜

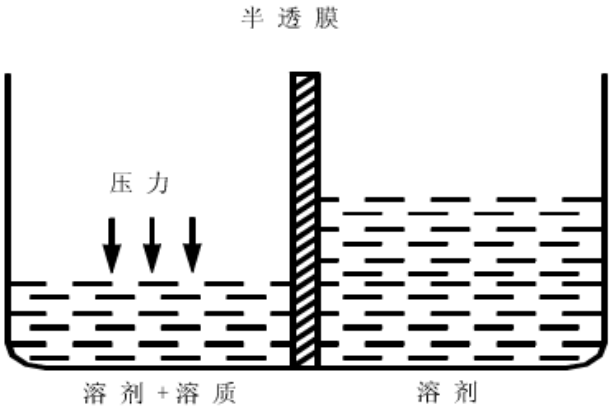


图 1-2 反渗透的原理示意图

单级反渗透水处理设备的控制较简单，主要是对液位、压力等开关量信号的采集，以及对阀门、水泵等执行机构的控制。客户要求，PLC 本身需要求较高的稳定了，保证设备运行的持久稳定性；PLC 价格要具有一定的市场竞争力。考虑到设备控制工艺要求 PLC 点数较少，且都为数字量控制信号，所以选用了广州汇控的 ID100 系列主机，人机界面选用昆仑通态的 TPC7062 系列人机。

2. 控制过程介绍

当原水箱有水且纯水箱无水时，启动原水泵，同时开启快冲阀。定时关闭快冲阀，再延时开启高压泵，设备启动完毕。当纯水箱水满且原水箱有水时，停止高压泵，同时打开快冲阀，延时停止快冲阀和原水泵。当原水箱无水时，立即停止高压泵和原水泵。当高压泵启动一段时间之后，低压检测仍有信号，则为低压故障，立即停止所有设备。当有高压报警、原水泵故障、高压泵故障等故障时，立即停止所有设备。

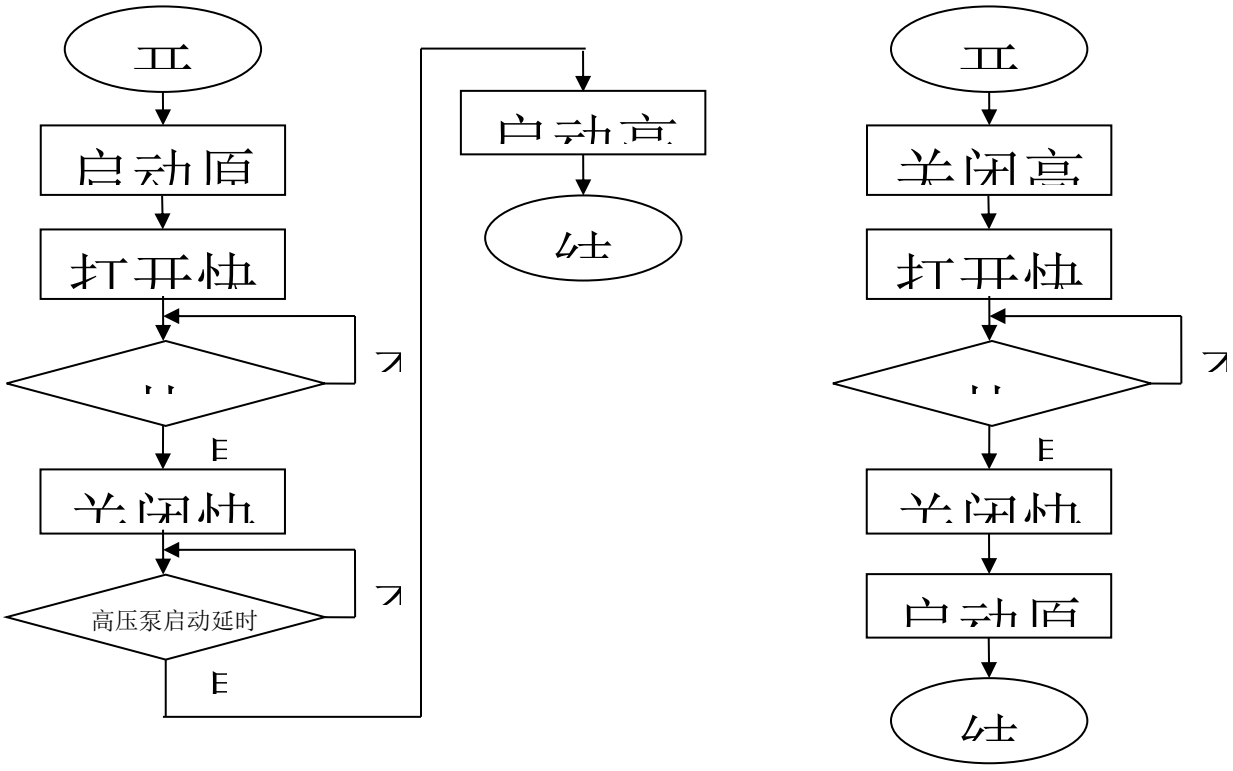


图 2-1 设备正常启动工艺流程

图 2-2 设备正常停止工艺流程

3. PLC 程序设计

从设备的工艺流程上，我们可以看出该设备的控制属典型的步进流程控制。广州汇控 PLC 提供的步进梯形图指令专门针对机械动作流程的顺序控制，步进梯形图是以一个步进点为最小单元。一个步进点相当于机械部件中的一个步序，每个步序都有动作输出，整台机械或是整个顺序控制的流程，便是一个一个步进点逻辑串联或并联组成，其一步接一步循序执行的环境，使人对机械的运作一目了然，在设计、操作、维护上都相当便捷容易。

如下图 3-1 所示为流程控制的步进指令，S0 为初始步。当处于此步状态时，若 X1 为低电平，X4 为低电平，M5 为低电平，X0 为高电平，则流程控制当前步跳到 S20，此时 T0 开始计时，Y0 有输出。当 T0 定时到，当前步跳到 S21，S20 步的动作停止工作。以上即为流程控制的编程思路，通过步进指令可降低编程的难度，提高程序的可读性。

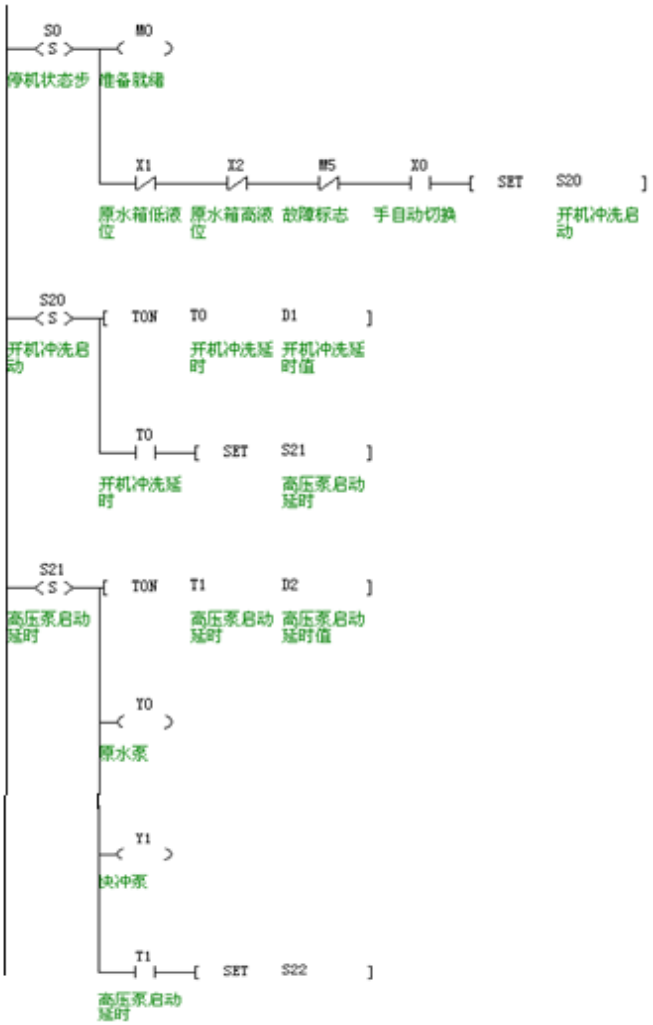


图 3-1 步进控制程序段

方案中还选用昆仑通态触摸屏，用来实现设备工作状况的监视，工程参数的设定等功能。如下图所示为自动控制监视画面。上面为整个控制流程示意图，其中包括原水箱进水，原水箱水位检测，原水泵控制，高压泵控制，高压检测，低压检测，快冲阀控制，纯水箱水位检测等内容。下面的按键控制设备的启动、停止、急停、报警复位，以及画面跳转。

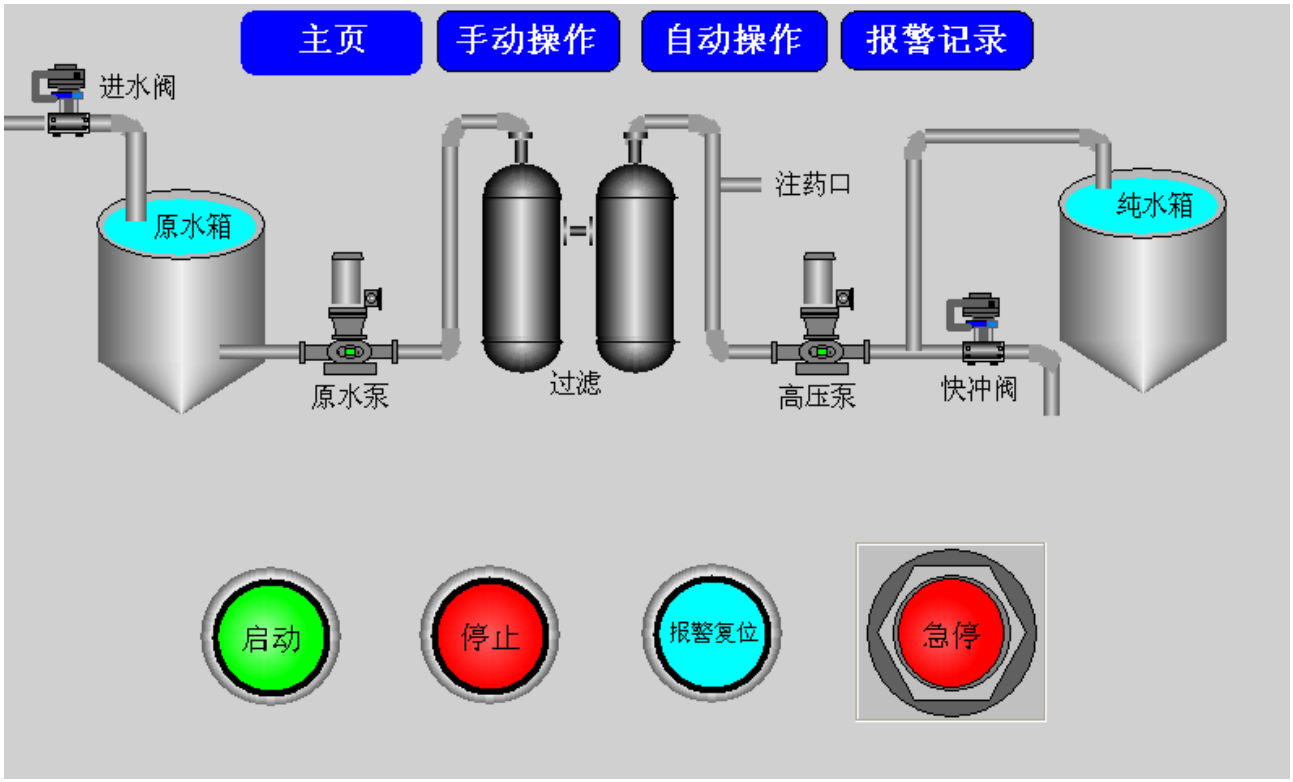


图 2-4 自动控制监视画面

4. 设备调试

4.1 设备工艺流程的改进

在设备的调试过程中我们发现，启动设备时，当处于关闭快冲阀、启动高压泵的阶段，液体管道内会有一个较大的压力冲击。这种水压的急剧变化会对半渗透膜有较大的冲击，影响工艺效果，甚至损坏半透膜。为了避免以上问题，我们重新改进了流程，如图 2-1 所示，关闭快冲阀之后，有一段高压泵启动延时。此延时需要使用者根据实际情况，通过人机界面设定。改进了流程之后，在关闭快冲阀，启动高压泵之间可以有一个时间缓冲，使管道内的水压呈阶梯过渡。通过以上方法，减小了管道内水压对半透膜的冲击，延长了半透膜的使用寿命。

4.2 控制程序的优化

根据客户对工艺要求的介绍，停机的原程序设计为先停高压泵，同时开启快冲阀，经过一段时间的快冲延时之后，停止原水泵，完成停机过程。客户描

述的停机条件为原水箱无水或纯水箱水满，在实际调试过程中发现，当原水箱无水的条件下，没有必要经过停机快冲的流程。因此，程序修改为当原水箱无水时直接停机，不需要经过延时快冲的过程。

案例 16

基于 PLC 的中央空调控制系统设计

摘要

中央空调现已广泛的应用在各大商场、办公大厦等场所中，传统控制系统中在控制较适宜的温度的同时，却消耗了大量的能量。如今，人们越来越重视中央空调的舒适性和节能性，本文重点研究了中央空调冷冻泵机组控制系统，为舒适的生活工作环境及有效节能提供了技术条件。

本文首先介绍了中央空调的结构和工作原理，总结了传统中央空调的缺点，即冷冻泵、冷却泵不能自我调节负载，长期处于满负荷运行，造成了极大的能源浪费，随着变频技术日趋成熟，利用变频器、PLC、数模转换模块、温度传感器等器件的有机结合，构成温差闭环自动控制系统，自动调节水泵的输出流量达到节能目的。该系统采用西门子的 S7—200PLC 作为主控制单元，利用传统 PID 控制算法，通过西门子 MM440 变频器控制水泵运转速度，保证系统根据实际负荷的情况调整流量，实现恒温控制，同时又可以节约大量能源。

通过对中央空调的理论分析，验证了以出回水温差为根据对其进行变流量控制的可靠性。对变频控制系统进行了设计，为实现温度信号远距离传送，设计了基于 USS 协议的 RS-485 总线通讯的网络。通过西门子 TD200 文本显示器实现人机界面的设计，最后使用 MCGS 工控组态软件进行了系统的组态设计研究。

第 1 章 绪论

1.1 课题背景

随着国民经济的发展和人民生活水平的日益提高，为了保证温度恒定，中央空调系统已广泛应用于工业与民用建筑领域，例如酒店、宾馆、办公大厦、商场、工厂厂房等场所。随着时间的推移，人们对中央空调控制系统运行效果的评价也改变了。舒适节能才是最符合人们对中央空调系统提出新的要求，希望在能耗更低的情况下保持室内合适的温度、湿度。

统计数字显示，传统的中央空调控制系统耗电量极大，且存在巨大的能源浪费。中央空调系统普遍存在着 30％以上的无效能耗，有些中央空调系统的无效能耗甚至可以高达 50％以上。采用新技术降低系统能耗成为当务之急。因为能源是发展国民经济的重要因素，我国近年来能源短缺的现实，节能减排才是重中之重。建设节能型社会，促进经济可持续发展，是实现全面建设小康社会宏伟目标，构建和谐社会的重要基础保障[1]。

在传统的设计中，中央空调的制冷机组、冷冻水循环系统、冷却水循环系统、冷却塔风机系统、风机盘管系统等都是按照建筑物最大负荷制定的，且留有充足余量。不管在什么时间，负荷的多少，各电机都长期处在工频状态下全速运行，虽然可满足最大的用户负荷，但不具备随用户负荷动态调节的功能，而在大多数时间里，用户负荷是较低的，这样就造成很大的能源浪费。有个例子可以很好的说明这些，中央空调系统中的冷冻水泵和冷却水泵，一年四季长期在固定的最大流量下工作，但由于季节、昼夜和用户负荷的变化，在绝大部分时间内，空调的实际热负载与决定水泵流量和压力的最大设计负载相比，一年中负载率在 50％以下的小时数约占全部运行时间的 60%以上。一般冷冻水设计温差为 5～7℃，冷却水的设计温差为 4～5℃，在系统流量固定的情况下，全年绝大部分运行时间温差仅为 1～3℃，即在低温差、大流量情况下工作，从而增加了管路系统的能量损失，严重浪费了水泵运行的输送能量。也就是说，中央空调系统存在着至少 30％以上的节能空间。这至少 30%的节能空间来源于很多方面：

第一，负荷估算值偏大，系统消耗能量大大增加，现在的新型制冷主机可以根据负载的变化自动加载、卸载，而水泵的流量却不能随制冷主机而调节，必然存在很大的能量浪费；除此之外，每年的气象条件是随季节呈周期性的变化的，系统并不能做出相应的调节，许多环节上都留有节能空间。

第二，空调主机选型容量加大，在冷负荷估算值加大后，空调主机制冷量也相应的加大。

第三，水系统中通过节流阀或调节阀来调节流量、压力，冷冻水系统和冷却水系统中消耗了水泵较大的输送能量。在传统的运行方式下，只要启动水泵，就会在工频满负荷状态下运行。

第四，起停频繁对设备长期安全运行带来不利影响。起动电流通常为额定值的 5 倍左右，电机在如此大的电流冲击下，进行频繁的起停，对电机、接触器触点产生电弧冲击，也会给电网带来一定冲击，起动时带来的机械冲击和停止时的承重现象也会对机械传动、轴承、阀门等造成疲劳损伤。

为此，如果能通过冷冻水供回水温度、压差，冷却水泵的流量等工艺参数进行调整并对空调设备进行优化起停，使空调系统高效、节能运行，将产生非常明显的经济效果。另外，根据交流电机的特性，要实现连续平滑的速度调节，最佳的方法就是采用变频器调速，采用变频器进行风机、水泵的节能改造，不仅避免了由于采用挡板或阀门造成的电能浪费，而且还会极大提高调节和控制的精度，从而方便地实现恒温空调系统[2]。空调节能的目的是有效利用能源，以最小的能耗创造出一个适合人居住、工作的室内环境。空调水系统实现节能运行可以有效地减少空调系统能耗和建筑总能耗，提高能源利用率，对减少温室气体排放，减轻环境污染，实现人类社会的可持续发展。

1.2 中央空调控制的研究现状及发展

1.2.1 中央空调控制系统的发展

1、在单室内机的房间空调器方面

变频技术、微电脑和电子膨胀阀在空调器上的应用为空调器的智能控制创造了最基本的条件。我国自 90 年代初开始研究空调器的智能控制，现已研制出多种形式的变频空调器或智能空调器，对推进我国空调业的进步作出了贡献。西安交大朱瑞琪于 1991 年开始研究制冷空调设备的变频能量调节技术。李家朋针对我国房间空调器普遍采用单相压缩机的现状，探索开发出两相变频器，并应用电子膨胀阀进行变流量控制，利用 16 位微机并引进模糊概念提高空调器的控制功能，为变频空调器国产化作出了大胆的探索。李家朋在空调器舒适性和节能运行的控制中，提出了用表征房间热负荷大小的“热容 C”和表征房间漏热程度的“热阻 R”进行模糊辩识的方法。研究表明，用此方法研制的模糊控制空调器会按季节、气温、漏热情况等条件，自动地选择合适的工作模式，保证了空调环境的舒适度和制冷系统的节能要求。

2、在多室内机的房间空调器(一机多挂系统)方面

由于多室内机空调器的节能和舒适性控制，涉及到必须对系统中的工质循环量和进入各室内机的工质流量加以严格精确地控制问题，它不仅与系统的控制有关，同时也与系统的设计有着密切的关系。在这方面，目前国内主要是在研制一拖二和一拖三空调器，根据其结构形式和运转特点可分为如下四种方式。

(1)一台定速压缩机对应一台室内机的多制冷系统。这种机型在控制上难度最小，但结构复杂、体积大、成本高，不能体现一机多挂系统的价格优势和节能优势。

(2)单台定速压缩机多台室内机间歇供冷(热)系统。由于制冷工质按时间交替分配给各室内机，所以根本不能满足室内环境的舒适性要求。

(3)单台定速压缩机多台室内机同时供冷(热)系统。这种系统采用定速压缩机，降低了空调器成本，并能减少压缩机的启停次数，较好地实现房间的舒适性控制。但并不能从本质上解决压缩机的起停损失和对电网的冲击，不能提高空调器的能效比和季节性能比。

(4)单台变频压缩机多台室内机同时供冷(热)系统。通过采用电子膨胀阀调节进入各室内机的工质流量，使之满足各室内的冷(热)负荷要求，改变压缩机的运转频率调节制冷系统所需要的工质循环量，并采用软硬件相结合的方式调节室

内外风扇转速、四通阀、室内机的风向调节板等可控部件，实现室内环境的高舒适性和系统的节能控制。

随着智能建筑在中国的飞速发展，楼宇自动控制技术和装置也得到快速的发展。对于楼宇自动控制而言，在确保建筑内舒适和安全的办公环境的同时，还要实现高效节能目的。因此诞生了综合现代计算机技术、现代控制技术、现代通信技术和现代图形显示技术的集散型控制系统。集散型中央空调监控系统在我国的智能建筑中得到广泛应用，其自动监视、测量、控制和管理功能是相当优越的，自动化程度高，节约了大量的劳动力和运行费用[3]。20 世纪 90 年代末至 21 世纪初，我国在中央空调系统的控制领域，同时推出两项节能技术和产品：中央空调变频调速控制节能系统和中央空调变流量控制节能系统。将这两项技术相结合，在集散型中央空调监控系统的基础上，增加 PLC 和变频技术，并且与智能控制方法相结合，将原有的定流量系统改为变流量控制系统，从而使中央空调的各泵组和冷却塔风机的运行跟随负荷的变化而同步变化，就能够在保证负荷需求的前提下，实现中央空调系统的最大节能。

国内还有一些科研机构和企业的科研团体，也都开展了智能空调器的研制工作，其核心内容都集中在对单相压缩机变屏调速控制器和智能型室温控制器的研究，其研究成果还未见公开发表。智能型空调器是一个综合技术的聚合体，开发难度较大，现在的样机或产品在控制模式上、控制系统的稳定性和鲁棒性方面相比国际先进技术还存在很大的差距，有待于进一步的研究和提高。

1.2.2 中央空调变流量控制的发展

空调水系统最重要的目的是为空调系统的各末端装置提供能量的交换，如何在满足这个要求的前提下尽可能的节能，是首先需要解决的问题。冷水系统的设计已经历了大约六、七十年的发展，并仍在不断地完善。在这个发展和完善的过程中总是不断的遇到新问题，如：冷水温差过小、水系统阻力损失过大、管网水力不平衡等问题，这些问题的不断解决最终推动了变流量技术的发展。

变流量空调技术的发展，与控制技术和水泵变频技术的发展是紧密相联的，可以说变流量技术是随着变频技术的出现才逐渐发展起来的[4]。这种技术在美国得到了广泛的研究和应用。在变频技术和数字控制技术出现之前，通常不考虑负荷的变化，冷冻水泵以固定的流量输运冷冻水到环路中。这种做法的后果不仅造成了能耗的浪费，还导致冷冻水系统的供、回水低温差运行。

从九十年代术期开始，随着计算机及电子技术的高速发展，变流量技术也得到深入的发展。水泵、变频驱动器、控制器等设备性能的提高大大满足了水系统控制的要求。随着变流量技术的成熟，在国外应用变流量技术开始成为暖通行业的标准。在目前应用的系统中往往偏重于设备的运行管理控制方法，具体控制方法上，基本上采用多个回路的 PID 控制[5]。各种类型的 PID 控制器因其参数物理意义明确、易于调整，并且具有一定的鲁棒性，因而得到了广泛的应用。PID 控制器之所以能够在过程控制领域获得广泛地应用，是因为在实际的应用中 PID 控制器的设计可只借助于系统输出等反馈信息进行控制，从而减少了控制系统对对象模型的依赖性。

目前，中央空调控制方法有双位 ON／OFF 控制、PID 控制、最优控制、模糊控制等方法。以 PID 算法为核心的各种 DDC 控制系统是目前中央空调工程和设备较普遍的使用方法，这种控制方法在工况较稳定的情况下，可以得到较好的控制效果。

1.3 本研究课题的主要工作

本文在分析和综合了 PID 控制的特点、发展趋势以及中央空调控制任务的基础上，对中央空调冷冻水机组采用传统 PID 控制，对基于 USS 通信协议的 RS-485 总线设计的控制系统进行了研究，并进行了组态设计，最终设计了中央空调变频节能控制系统。

研究工作的具体内容如下：

1、对空调系统变频控制进行了理论分析。

2、对变频控制系统进行设计，以实现工频/变频切换功能。

3、设计了基于 RS-485 网络的控制系统。可将采集的出回水温度等数据信号通过网络送到主控系统，实现远距离传送。

4、文中对冷冻水机组的控制系统进行了硬件和软件的设计，采用西门子 TD200 文本显示屏作为人机界面，西门子 S7-200 PLC 作为主控制器，用一台变频器结合工频供电的方式，灵活的驱动冷冻水机组的三台水泵。

第 2 章 中央空调变流量控制的原理

2.1 中央空调系统的结构和原理

2.1.1 概述

空调即空气调节器，挂式空调是一种用于给空间区域提供处理空气温度变化的机组。它的功能是对该房间或区域内空气的温度、湿度、洁净度和空气流速等参数进行调节，以满足人体舒适或工艺过程的要求。
中央空调系统是一种大型的对建筑物进行集中空气调节并进行管理的设备，一般由空气处理设备、送(回)风机、送(回)风通道、空气分配装置及冷、热源等组成。根据需要，它们能组成不同形式的系统。在工程实际中，应从建筑物的用途和性质，热湿负荷特点、空调机房面积和位置、初投资和运行维修费用等许多方面去考虑，选择合理的空调系统。

2.1.2 制冷原理

气态制冷工质(如氟利昂)经压缩机压缩成高温高压气体后进入冷凝器，与水(空气)进行等压热交换，变成低温高压液态。液态工质经干燥过滤器去除水份、杂质，进入膨胀阀节流减压，成为低温低压液态工质，在蒸发器内气化。液体气化过程要吸收气化潜热，而且液体压力不同，其饱和温度(沸点)也不同，压力越低，饱和温度越低。例如，1kg 的水，在绝对压力为 0.00087MPa，饱和温度为 5℃，气化时需要吸收 2488.7KJ 热量；1kg 的氨，在 1 个标准大气压力(0.10133MPa)下，气化时需要吸收 1369.59KJ 热量，温度可抵达-33.33℃。因此，只要创造一定的低压条件，就可以利用液体的气化获取所要求的低温。依此原理，气化过程吸取冷冻水的热量，使冷冻水温度降低(一般降为 7℃)。制冷工质在蒸发器内吸取热量，温度升高变成过热蒸气，进入压缩机重复循环过程。

2.1.3 中央空调系统的构成

中央空调系统包括空调主机，风机盘管系统、水系统及相应的控制系统。空调主机由压缩机、蒸发器和冷凝器组成，风机盘管系统为房间内的末端，水系统出冷冻水循环系统、冷却水循环系统组成[7]。典型的中央空调系统的结构如图 2-1 所示,冷冻水和冷却水循环系统是能量的主要传递者。因此，对冷冻水和冷却水循环系统的控制是中央空调控制系统的重要组成部分。

2.2 中央空调变流量控制的原理及特点

2.2.1 变流量空调系统概述

早前，国内的中央空调系统，基本上都采用传统的定流量控制方式。也就是说，只要启动空调主机，冷冻水泵、冷却水泵和冷却塔风机都在 50Hz 工频状态下运行。定流量控制方式的特征是系统的循环水量保持恒定，当负荷发生变化

时，通过改变供水或回水温度来满足要求。定流量供水方式最主要的优点是系统简单，不需要复杂的自控设备。但这种控制方式存在以下问题：

(1)中央空调系统是一个多参量、非线性、时变性的复杂系统，由于末端负荷的频繁波动，必然造成系统的运行参量偏离空调主机的最佳工作状态，导致主机热转换效率大大降低，系统长期在低效率状态下运行，也会增加系统的能源消耗。

(2)无论末端负荷大小如何变化，空调系统均在设计的额定状态下运行，系统能耗始终处于设计的最大值。而由于受多种因素不断变化的影响，如：季节交替、气候昼夜变化、使用频率、人流量增减等。空调负荷的这种不恒定性，决定了系统对空调冷量的需求也是一个随机变化的量。若不进行系统优化，定会造成能源浪费。

(3)在工频状态下启停大功率水泵和风机，冲击电流大，不利于电网的安全运行，且水泵、风机等机电设备长期在工额额定状念下高速运行，机械磨损严重，导致使用寿命缩短和设备故障大幅度增加。

综上来看，定流量控制凸显出来的问题很多。变流量系统则是根据实际负荷的大小改变冷冻水流量，水泵也可以根据系统实际所需流量自动调节其转速或运行台数，从而达到节约水泵能耗的目的[7]。如图 2-2 所示：

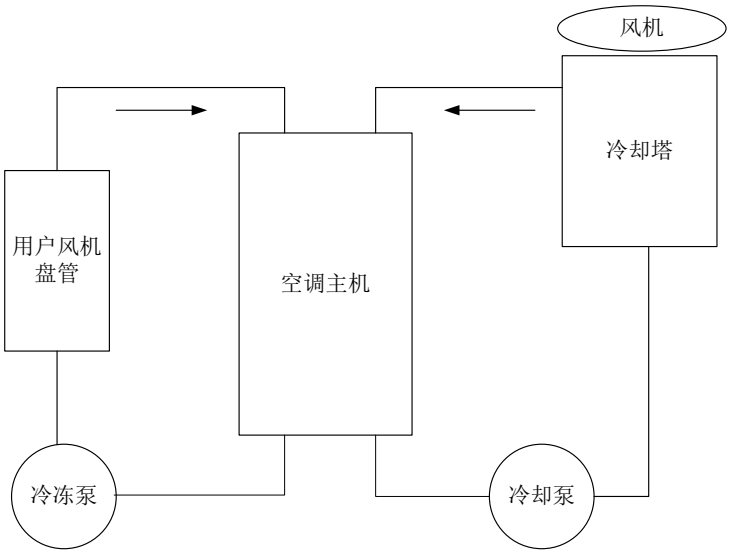


图 2-1 中央空调系统结构

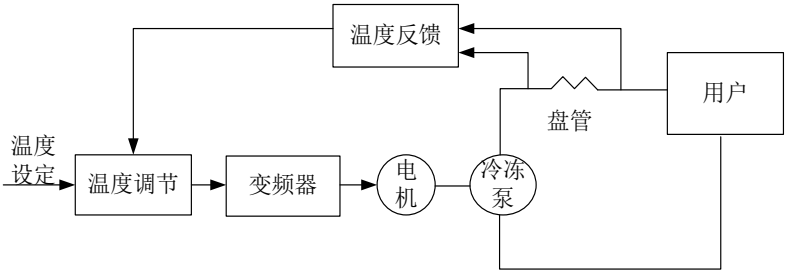


图 2-2 冷冻水变流量控制系统

2.2.2 中央空调变流量控制的实现方式

中央空调循环水变流量控制系统，是将整个中央空调系统从节能、高效、环保、健康、安全、管理等方面进行全面综合考虑，把科学的节能理念和方法与成熟的控制理论技术、网络通讯技术、检测技术、变频技术及其产品进行融合，形成了一个完整的节能与管理体系。

1、变频调速的原理

变频调速技术的基本原理是根据电机转速与工作电源输入频率成正比的关系：

$$n_0 = 60f / p \tag{2-1}$$

式中：

n_0——为同步转速，单位为 r/min；

f——为电源频率，单位为 Hz；

p——为磁极对数。

异步电动机的转速总是小于其同步转速，异步电机的实际转速可由下式给出：

$$n = n_0(1-s) = 60f / p(1-s) \tag{2-2}$$

式中：

n——电动机实际转速；

s——异步电动机的转差率。

由式(2.2)可知，改变参数 f，s 中的任意一个就可以改变电动机的转速，即对异步电动机进行调速控制。因此，可以通过改变该电源的频率来实现对异步电动机的调速控制。从某种意义上说，变频器就是一个可以任意改变频率的交流电源。

在电动机调速时，一个重要的因素是希望保持每极磁通量为额定值不变。磁通太弱，没有充分利用电机的磁心，是一种浪费；若要增大磁通，又会使磁通饱和，从而导致过大的励磁电流，严重时会因为绕组过热而损坏电机。对于直流电机来说，励磁系统是独立的，所以只要对电枢反应的补偿合适，保持磁通量不变是很容易做到的。在交流异步电机中，磁通是定子和转子合成产生的[8]。

三相异步电机定子每相电动势的有效值是：

$$E_g = 4.44 f_1 N_1 K_{n1} \phi_m \tag{2-3}$$

式中：

E_g——气隙磁通在定子每相中感应电动势有效值，单位为 V；

f_1——定子频率，单位为 Hz；

N_1——定子每相绕组串联匝数；

K_{n1}——基波绕组系数；

ϕ_m——每极气隙磁通量。

由式(2.3)知只要控制好 E_g 和 f_1，便可以控制磁通不变。

需要考虑基频以下和基频以上两种情况：

1)基频下调速

即采用恒定的电动势。由上式可知，要保持磁通量不变，但频率 f_1 从额定值 f_m 向下调节，必须同时降低 E_g，然而绕组中的感应电动势是很难控制的，但电动势较高，可以忽略电子绕组的漏磁阻抗压降，而认定定子相电压 U_1=E，则得 $1/f$ =常数。

低频时，U_1 和 E_g 都较小，定子阻抗压降所占的份量都比较显着，不能在忽略。这时，可以人为的把电压 U_1 抬高一些，以便近似的补偿定子压降。带定子压降补偿的恒压频比控制特性为 b 线，无补偿的为 a 线。如图 2-3 所示。

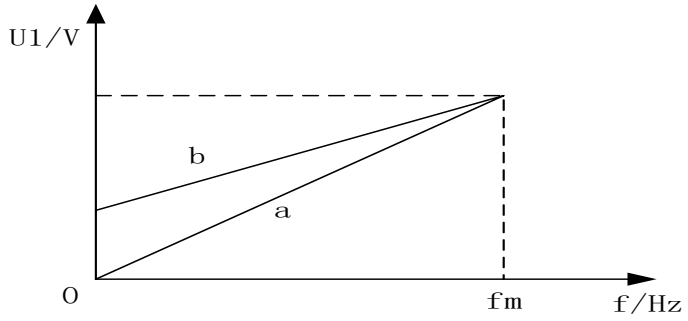


图 2-3 恒压频比控制特性

2)基频以上调速

在基频以上调速时，频率可以从 f_m 往上增高，但电压 U_1 磁通与频率成反比的降低，相当于直流电机弱磁升速的情况。

把基频以下和基频以上两种情况合起来，可得到异步电动机的变频调速控制特性，如图 2-4 所示。如果电动机在不同的转速下都具有额定电流，则电动机都能长期运行，这时转矩基本上随磁通变化。在基频以下，属于“恒转矩调速”的调速，而在基频以上，基本上属于“恒功率调速”。

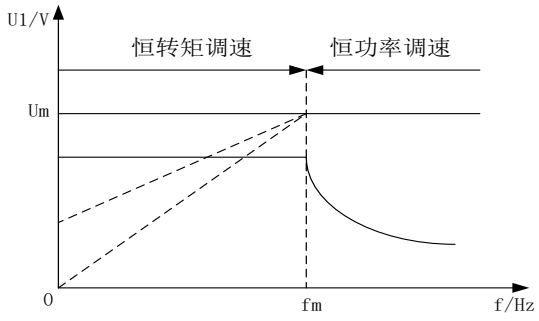


图 2-4 异步电动机变频调速控制特性

在中央空调水系统中，最主要的运行设备是水泵。水泵调速运行节电的理论之一是水泵学比例律。幽水泵学比例律可知，对于同一台水泵，当以不同转速运行时，水泵的流量 Q，扬程 H，轴功率 P 与转速 n 有如下关系[9][12][13]：

$$\frac{Q_1}{Q_2}=\frac{n_1}{n_2}$$

$$\frac{H_1}{H_2}=(\frac{n_1}{n_2})^2 \qquad (2\text{-}4)$$

$$\frac{P_1}{P_2}=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

由公式(2-4)知，流量与转速成正比，扬程与转速的平方成正比，轴功率与转速的立方成正比。由此可见，当降低转速时，功率的减少量远比流量的减少量大得多。因此，控制水泵的转速可以有效地控制水泵的消耗功率，这就是中央空调系统高效节能的基础。

通过频率变化来改变电机转速与传统变速方法相比有以下优点：

1.启动为软启动，减小了启动电流对电网的冲击；2.调速范围广可实现；3.无级平滑调速；4.能做到与直流调速不相上下的程度。

2、变频技术的应用

交流变频调速技术是将电力电子、自动控制、微电子、电机学等技术集成的一项高新科技。它以其优异的调速性能、显著的节能效果以及在国民经济各领域广泛的适用性，被国内外公认为是世界上应用最广、效率最高、最理想的电气传动方案，是电气传动的发展方向。它为提高产品质量和产量、节约能源、降低消耗，提高企业经济效益提供了重要的新手段。

2.2.3 中央空调系统变流量系统的特点

变流量节能控制系统是目前最先进的节能控制技术，它与普遍使用的定流量中央空调控制模式相比，具有以下技术特点：

(1)实现中央空调综合性能最优，必须针对空调系统的各个环节(包括主机、冷冻水泵、冷却水泵、冷却塔风机等)统一考虑，全面控制，使全系统协调运行，才能实现最佳综合节能。变流量控制系统对中央空调的运行进行优化控制，实现最佳节能效果。

(2)实现空调系统负荷的跟随性变流量控制系统突破了传统中央空调冷媒系统的运行方式，通过对中央空调运行系统的动态监测和闭环控制，将空调主机的定流量运行改为变流量运行，实现空调主机冷媒流量跟随末端负荷需求而同步变化，在空调系统的任何负荷条件下，既能确保中央空调系统的舒适性，又实现最大的节能。

(3)空调主机始终保持高的热转换效率众所周知，随着中央空调系统负荷的变化，必将导致整个空调系统运行参数偏离空调主机的最佳设计参数，导致主机热转换效率降低，这一直是传统中央空调运行方式无法解决的一大难题。变流量控制系统的一个基本思想就是按照中央空调主机所要求的最佳运行参数去控

制中央空调系统的运行，根据系统的运行工况及制冷剂工质参数的变化，通过PID控制调节，确保空调主机始终处于优化的最佳工作点上，使主机始终保持较高的热转换效率，有效地解决了传统中央空调系统在低负荷状态下热转换效率下降的难题，提高了系统的能源利用率[10]。
随着变频器技术的成熟及其价格的大幅下降，越来越多的设计师开始认识到在空调水系统中应用变频器改变水泵转速所带来的巨大效益。
这里说到了软启动方式，下面来介绍下。

2.3 电机的软启动原理及应用

2.3.1 软启动设备介绍

电压由零慢慢提升到额定电压，使电机启动的全过程都不存在冲击转矩，而是平滑的启动运行。这就是软启动。电机的软启动可以通过软启动器或者变频器来实现。
软起动器是一种集软停车、轻载节能和多种保护功能于一体的新颖电机控制装置，国外称为Soft Starter。它的主要构成是串接于电源与被控电机之间的三相反并联闸管及其电子控制电路。
运用不同的方法，控制三相反并联闸管的导通角，使被控电机的输入电压按不同的要求而变化，就可实现不同的功能。
变频器(Variable-frequency Drive，VFD)是应用变频技术与微电子技术，通过改变电机工作电源频率方式来控制交流电动机的电力控制设备。变频器主要由整流(交流变直流)、滤波、逆变(直流变交流)、制动单元、驱动单元、检测单元微处理单元等组成。通过改变电源的频率来达到改变电源电压的目的，根据电机的实际需要来提供其所需要的电源电压，进而达到节能、调速的目的，另外，变频器还有很多的保护功能，如过流、过压、过载保护等等。随着工业自动化程度的不断提高，变频器也得到了非常广泛的应用。

2.3.2 软启动器的应用场合

原则上，笼型异步电动机凡不需要调速的各种应用场合都可适用。目前的应用范围是交流380V(也可660V)，电机功率从几千瓦到800kW。软起动器特别适用于各种泵类负载或风机类负载，需要软起动与软停车的场合。
同样对于变负载工况、电动机长期处于轻载运行，只有短时或瞬间处于重载场合，应用软起动器(不带旁路接触器)则具有轻载节能的效果。

2.3.3 软启动器与变频器之间的区别对比

软起动器和变频器是两种完全不同用途的产品。变频器是用于需要调速的地方，其输出不但改变电压而且同时改变频率；软起动器实际上是个调压器，用于电机起动时，输出只改变电压并没有改变频率。变频器具备所有软起动器功能，但它的价格比软起动器贵得多，结构也复杂得多。软启动器是通过星三角转换来降低启动电流；而变频器是通过改变频率来调节电机的转速的，能降低能耗。变频器也有软启动功能，是通过改变电源频率实现。软启动器只能通过晶闸管调压实现电机软启动、软停车，但不具备调速功能。

变频器是利用电力半导体器件的通断作用将工频电源变换为另一频率的电机控制调速装置。通过变频控制电机运行，是真正的高效调速方式，效率很高。变频器能够实现真正的软启动、软停止和高效调速。两者可以配合使用，大中型供水设备中，常由变频器带动一台泵变速运行，由一台软启动器完成其余各泵开、停操作，变频泵可定时轮换使各泵运行时间均衡，运行中变频与工频可实现平稳切换。

2.4 PID 控制的设计

在生产过程自动控制的发展历程中，PID 控制是历史最久、生命力最强的基本控制方式。在本世纪 40 年代以前，除在最简单的情况下可采用开关控制外，它是唯一的控制方式。PID 控制具有很多优点[11]。1.适应性强，可以广泛的应用于各种行业；2.算法简单，使用方便，容易通过简单的硬件和软件方式实现。由于其有这些优点，PID 控制直到现在仍然是应用最广泛的基本控制方式之一。

温度是一个普通而又重要的物理量，在许多领域里，人们需对温度进行测量和控制，长期以来，国内外科技工作者对温度控制器进行了广泛深入的研究，产生了大批温度控制器，如：性能成熟、应用广泛的 PID 调节器、智能控制 PID 调节器、自适应控制等。

2.4.1 PID 控制原理

PID 在温度控制中已使用数十年，是一种成熟的技术，它具有结构简单，易于理解和实现，且一些高级控制都是以 PID 为基础改进的。在工业过程控制中，40%以上的控制系统回路具有 PID 结构。在目前的温度控制领域，应用十分广泛。

PID 调节器又称为比例积分微分调节器，它具有比例、积分、微分三种调节，可见，温度 PID 调节器有三个可设定参数，即比例放大系数、积分时间常数、微分时间常数。对一个控制系统而言，合理地设置这三个参数，可取得较好的控制效果。

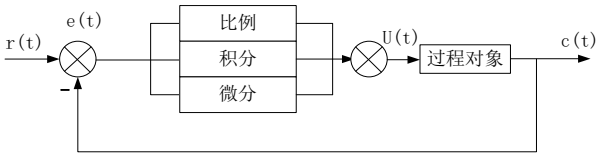


图 2-5 PID 控制系统原理图

PID 控制器各个部分的作用及其在控制中的调节规律如下：

1、比例增益 P

比例增益 P 就是用来设置差值信号的放大系数的。任何一种变频器的参数 P 都给出一个可设置的数值范围，一般在初次调试时，P 可按中间偏大值预置. 或者暂时默认出厂值，待设备运转时再按实际情况细调。比例增益部分用于保证控制量的输出含有与系统偏差成线性关系的分量，能够快速反应系统输出偏差的变化情况。由经典控制理论可知，比例环节不能彻底消除系统偏差，系统偏差随比例系数的增大而减少，但比例系数过大将导致系统不稳定。

2、积分时间 I

如上所述．比例增益 P 越大，调节灵敏度越高，但由于传动系统和控制电路都有惯性，调节结果达到最佳值时不能立即停止，导致超调，然后反过来调整，再次超调，形成振荡。为此引入积分环节 I，其效果是，使经过比例增益 P 放大后的差值信号在积分时间内逐渐增大（或减小），从而减缓其变化速度，防止振荡。但积分时间 I 太长，又会当反馈信号急剧变化时，被控物理量难以迅速恢复。因此，I 的取值与拖动系统的时间常数有关：拖动系统的时间常数较小时，积分时间应短些；拖动系统的时间常数较大时，积分时间应长些。

3、微分时间 D

微分时间 D 是根据差值信号变化的速率，提前给出一个相应的调节动作，从而缩短了调节时间，克服因积分时间过长而使恢复滞后的缺陷。D 的取值也与拖动系统的时间常数有关：拖动系统的时间常数较小时，微分时间应短些；反之，拖动系统的时间常数较大时，微分时间应长些。由于微分环节在系统传递函数中引入了一个零点，如果使用不当会使系统不稳定。

2.4.2 PID 控制器的参数整定

PID 控制器的参数整定是控制系统设计的核心内容。它是根据被控过程的特性确定 PID 控制器的比例系数、积分时间和微分时间的大小。PID 控制器参数整定的方法很多，概括起来有两大类：一是理论计算整定法。它主要是依据系统的数学模型，经过理论计算确定控制器参数。这种方法所得到的计算数据未必可以直接用，还必须通过工程实际进行调整和修改。二是工程整定方法，它主要依赖工程经验，直接在控制系统的试验中进行，且方法简单、易于掌握，在工程实际中被广泛采用。PID 控制器参数的工程整定方法，主要有临界比例法、反应曲线法和衰减法。两种方法各有其特点，其共同点都是通过试验，然后按照工程经验公式对控制器参数进行整定。但无论采用哪一种方法所得到的控制器参数，都需要在实际运行中进行最后调整与完善。现在一般采用的是临界比例法。利用该方法进行 PID 控制器参数的整定步骤如下：

(1)首先预选择一个足够短的采样周期让系统工作；

(2)仅加入比例控制环节，直到系统对输入的阶跃响应出现临界振荡，记下这时的比例放大系数和临界振荡周期；

(3)在一定的控制度下通过公式计算得到 PID 控制器的参数。

2.4.3 PID 的反馈逻辑

所谓反馈逻辑，是指被控物理量经传感器检测到的反馈信号对变频器输出频率的控制极性。例如中央空调系统中，用回水温度控制调节变频器的输出频率和水泵电机的转速。冬天制热时，如果回水温度偏低，反馈信号减小，说明房间温度低，要求提高变频器输出频率和电机转速，加大热水的流量；而夏天制冷时，如果回水温度偏低，反馈信号减小，说明房间温度过低，可以降低变频器的输出频率和电机转速，减少冷水的流量。由上可见，同样是温度偏低，反馈信号减小，但要求变频器的频率变化方向却是相反的。这就是引入反馈逻辑的原由。

2.4.4 P、I、D 参数调整原则

各参数的预置是相辅相成的，运行现场应根据实际情况进行如下细调：被控物理量在目标值附近振荡，首先加大积分时间 I，如仍有振荡，可适当减小比例增益 P。被控物理量在发生变化后难以恢复，首先加大比例增益 P，如果恢复仍较缓慢，可适当减小积分时间 I，还可加大微分时间 D。

2.4.5 对空调系统的 PID 变频控制

在近几年对中央空调系统的变频控制中多采用 PI 或 PID 来实现出回水定温差或定压差的水泵频率控制。对冷冻水控制通过检测制冷主机蒸发器的进水口处的回水温度和出水口处的出水温度，将其温差与设定值比对，通过 PLC 的 PID 控制功能或 PID 控制器，调节冷冻泵变频器的频率值，最终使温差值保持在设定值[14]。

对冷冻水控制通过检测制冷主机冷凝器的进水口处的回水温度和出水口处的出水温度，通过 PLC 的 PID 控制功能，调节冷却泵变频器的频率值，最终使温度值保持在设定值附近。其比例积分系数凭经验设定。

2.4.6 实现设定值的自动调节

由前面的分析可知，系统的冷负荷随着昼夜和季节的不同、大气环境的变化有很大的差异，室温等因素也会产生较大的影响。即使空调系统的水泵、风机等以同样转速等情况运行，其实际出回水温差也变化很大。因此随环境因素实时的修改设置参数，可更加节能，通过建立温度查询表并通过人机界面输入到 PLC存储器中可实现自动控制。温度设置如下表：

表2-1 温度值查询表

室温	19℃以下	19℃~23℃	23℃~26℃	26℃以上
设定值	8	7	6	5

2.4.7 PID 控制器设计及实现

西门子公司从 S7-200 系列 PLC 中的 CPU215，CPU216 开始增加了用于闭环控制的 PID 指令。西门予公司的 S7-200 系列的 PLC 都有配套的 STEP7-Micro/WIN32 编程软件，该软件可以在 PC 机上运行，为用户开发、编辑和监控自己的应用程序提供了良好的编程环境。

STEP7-Micro/WIN32 提供了 PID 指令向导，指导使用者定义一个闭环控制过程的 PID 算法，该算法程序由编程软件自动插入到主程序中。PID 的组态设计包括以下内容：

(1)确定所要控制的 PID 指令编号(回路编号)；(2)选择参数控制表存放的位置以及闭环控制的参数；(3)确定 PID 回路的输入和输出控制参数；(4)确定 PID 回路的报警选项以及报警参数；(5)指定用于计算的数据存储区域；(6)指定初始化子过程和中断的名称；(7)确认设计的 PID 算法名称。

PID 设置向导过程如图 2-9：

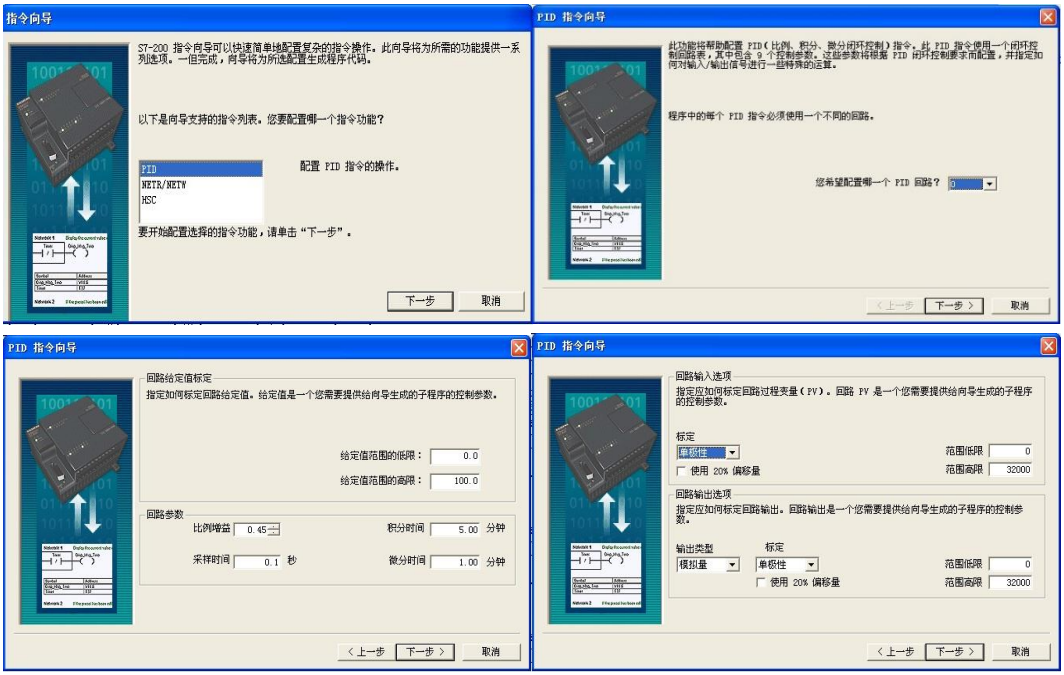


图 2-6(a) PID 向导设置过程

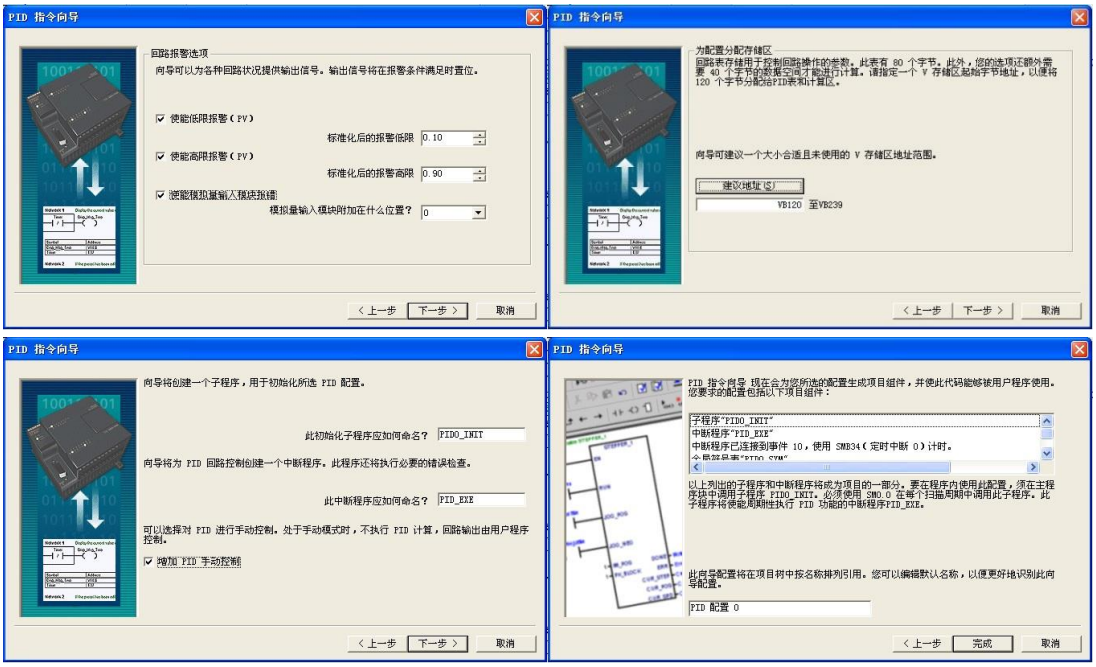


图 2-6(b) PID 向导设置过程

2.5 本章小结

本章介绍了中央空调的结构和原理，对变流量控制进行了研究阐述了变频调速原理，分别对比了软启动器和变频器的优缺点，最后对传统 PID 控制进行了细致的研究和探讨可行性及 PID 控制环节的实现。

第 3 章 中央空调控制系统的硬件设计

中央空调控制系统硬件有变频器、PLC、温度变送器、人机界面。实现功能如下：

1、变频器：为了调速，并降低启动电流。

2、PLC：PLC 作为控制单元，是整个系统的控制核心，PLC 控制器通过温度传感器测量进出水温度，编入控制器内存，最后来控制变频器的频率，以控制电机的转速，调节水量，根据室内的温度高低，控制热交换的速度，达到节能目的。

3、温度变送器：将温度变量转化为可传送的标准化输出信号。主要用于工业过程温度参数的测量和控制。

4、人机界面：系统和用户之间进行交互和信息交换的媒介，它实现信息的内部形式与人类可以接受形式之间的转换。凡参与人机信息交流的领域都存在着人机界面。

3.1 变频器的原理

主电路是给异步电动机提供调压调频电源的电力变换部分，变频器的主电路大体上可分为两类：电压型是将电压源的直流变换为交流的变频器，直流回路的滤波是电容。电流型是将电流源的直流变换为交流的变频器，其直流回路滤波是电感。 它由三部分构成，将工频电源变换为直流功率的“整流器”，吸收在变流器和逆变器产生的电压脉动的“平波回路”，以及将直流功率变换为交流功率的“逆变器”。

整流器：最近大量使用的是二极管的变流器，它把工频电源变换为直流电源。也可用两组晶体管变流器构成可逆变流器，由于其功率方向可逆，可以进行再生运转。

平波回路：在整流器整流后的直流电压中，含有电源 6 倍频率的脉动电压，此外逆变器产生的脉动电流也使直流电压变动。为了抑制电压波动，采用电感和电容吸收脉动电压(电流)。装置容量小时，如果电源和主电路构成器件有余量，可以省去电感采用简单的平波回路。

逆变器：同整流器相反，逆变器是将直流功率变换为所要求频率的交流功率，以所确定的时间使 6 个开关器件导通、关断就可以得到 3 相交流输出。

3.2 西门子 MM440 变频器性能介绍

MICROMASTER 440 全新一代用于控制三相交流电动机速度和转矩的多功能标准变频器。本变频器由微处理器控制，并采用具有现代先进技术水平的绝缘栅双极型晶体管(IGBT)作为功率输出器件。因此，它们具有很高的运行可靠性和功能的多样性。采用脉冲频率可选的专用脉宽调制技术，可使电动机低噪声运行。全面而完善的保护功能为变频器和电动机提供了良好的保护创新的 BiCo(内部功能互联)功能有无可比拟的灵活性[15]。

其具有缺省的工厂设置参数，它是给数量众多的可变速控制系统供电的理想变频传动装置。由于 MICROMASTER 440 具有全面而完善的控制功能，在设置相关参数以后，它也可用于更高级的电动机控制系统。既可用于单独传动系统，也可集成到自动化系统中。

变频器适用于各种变速驱动装置。由于它具有高度的灵活性因而可以在广泛的领域得到应用。它尤其适合用于吊车和起重系统、立体仓储系统、食品、饮料和烟草工业以及包装工业的定位系统。

3.2.1 主要特征

易于安装；易于调试；牢固的 EMC 设计；可由 IT 电源供电；对控制信号的响应是快速和可重复的；参数设置的范围很广，确保它可对广泛的应用对象进行配置；电缆连接简便；具有多个继电器输出；具有多个模拟量输出(0~20mA)；6 个带隔离的数字输入，并可切换可 NPN/PNP 接线；2 个模拟输入：1)ADC1：0~10V，0~20mA 和-10 至+10V 2)ADC2：0~10V，0~20mA；2 个模拟输入可以作为第 7 和第 8 个数字输入；BICO 技术；模块化设计，配置非常灵活；开关频率高(传动变频器可到 16kHz)，因而电动机运行的噪音低；内部 RS485 接口(端口)；详细的变频器状态信息和完整的信息功能。

3.2.2 控制性能的特点

最新的 IGBT 技术；数字微处理器控制；高质量的矢量控制系统；磁通电流控制(FCC)改善动态响应，并且优化电动机的控制；线性 V/F 特性；平方 V/F 特性；多点 v/f 特性(可编程 V/F 特性)；力矩控制；捕捉再起动；滑差补偿；在电源中断或故障跳闸以后，自动再起动；可以由用户定义的自由功能块，实现逻辑运算和算术运算的操作；动态缓冲；用于定位控制的减速斜坡函数曲线；高品质的 PID 控制器(具有参数自整定功能)，可用于一般的过程控制；可编程的加速/减速斜坡函数，0 秒至 650 秒；斜坡起始段和结束段的平滑功能；快速电流限制(FCL)功能，避免运行中不应有的跳闸；快速、可重复的数字输入响应时间；使用两个高分辨率的 10 位二进制模拟输入，实现速度精调；复合制动，实现快速制动控制；4 个跳转频率。

3.2.3 保护功能

过压/欠压保护；变频器过温保护；使用 PTC 通过数字输入实现电动机过热保护；接地故障保护；短路保护；闭锁电动机保护；防止电动机失速；参数联锁。

3.2.4 变频器运行的环境条件

1.变频器要求的环境温度都是 0～40 度，这个温度比较适合变频器正常运行。2.空气的相对湿度≤95%，无凝露。3.不允许变频器掉到地上或遭受突然的撞击。不允许把变频器安装在有可能经常受到振动的地方。4.不允许把变频器安装在接近电磁辐射源的地方。5.不要把变频器安装在存在大气污染的环境中，例如，安装在存在灰尘、腐蚀性气体等的环境中。6.变频器的安装位置切记要远离有可能出现淋水的地方。例如，不要把变频器安装在水管的下面，因为水管的表面有可能结露。禁止把变频器安装在湿度过大和有可能出现凝露的地方。7.在变频器附近不要安装有对冷却空气流通造成负面影响的其它设备。确认变频器的冷却风口处于正确的位置，不妨碍空气的流通。

3.2.5 使用变频器设计系统时需注意的问题

1. 变频器柜内除本机专用的空气开关外，不宜安置其它操作性开关电器，以免开关噪声入侵变频器，造成误动作；
2. 变频器电源输入侧可采用容量适宜的空气开关作为短路保护，但切记不可频繁操作。由于变频器内部具有大电容，其放电过程较为缓慢，频繁操作将造成过电压而损坏内部元件；
3. 注意防止发生共振现象。由于定子电流中含有高次谐波成分，电机转矩中含有脉动分量，有可能造成电机的振动与机械振动产生共振，使设备出现故障。应预先找到负载固有的共振频率后，利用变频器频率跳跃功能设置，躲开共振频率点。

为了控制电源，一般在变频器电源进线上串接一个超过变频器额定电流两倍以上的交流接触器。但应注意，除紧急情况外，接触器的通断只能在变频器停止运行的情况下才能进行。

3.3 PLC 选型

3.3.1 PLC 简介

可编程逻辑控制器(Programmable Logic Controller，PLC)，它采用一类可编程的存储器，用于其内部存储程序，执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数与算术操作等面向用户的指令，并通过数字或模拟式输入/输出控制各种类型的机械或生产过程。

3.3.2 PLC 控制功能的选择

该选择包括运算功能、控制功能、通信功能、编程功能、诊断功能和处理速度等特性的选择。

1、运算功能

简单可编程逻辑控制器的运算功能包括逻辑运算、计时和计数功能；普通可编程逻辑控制器的运算功能还包括数据移位、比较等运算功能；较复杂运算功能有代数运算、数据传送等；大型可编程逻辑控制器中还有模拟量的 PID 运算和其他高级运算功能。随着开放系统的出现，目前在可编程逻辑控制器中都已具有通信功能，有些产品具有与下位机的通信，有些产品具有与同位机或上位机的通信，有些产品还具有与工厂或企业网进行数据通信的功能。

2、控制功能

控制功能包括 PID 控制运算、前馈补偿控制运算、比值控制运算等，应根据控制要求确定。可编程逻辑控制器主要用于顺序逻辑控制，因此，大多数场合常采用单回路或多回路控制器解决模拟量的控制，有时也采用专用的智能输入输出单元完成所需的控制功能，提高可编程逻辑控制器的处理速度和节省存储器容量。例如采用 PID 控制单元、高速计数器、带速度补偿的模拟单元、ASC 码转换单元等。

3、通信功能

大中型可编程逻辑控制器系统应支持多种现场总线和标准通信协议(如TCP/IP)，需要时应能与工厂管理网(TCP/IP)相连接。通信协议应符合ISO/IEEE 通信标准，应是开放的通信网络。可编程逻辑控制器系统的通信接口应包括串行和并行通信接口、RIO 通信口、常用 DCS 接口等；大中型可编程逻辑控制器通信总线(含接口设备和电缆)应 1:1 冗余配置，通信总线应符合国际标准，通信距离应满足装置实际要求。为减轻 CPU 通信任务，根据网络组成的实际需要，应选择具有不同通信功能的(如点对点、现场总线)通信处理器。

4、编程功能

离线编程方式：可编程逻辑控制器和编程器公用一个 CPU，编程器在编程模式时，CPU 只为编程器提供服务，不对现场设备进行控制。完成编程后，编程器切换到运行模式，CPU 对现场设备进行控制，不能进行编程。离线编程方式可降低系统成本，但使用和调试不方便。

在线编程方式：CPU 和编程器有各自的 CPU，主机 CPU 负责现场控制，并在一个扫描周期内与编程器进行数据交换，编程器把在线编制的程序或数据发送到主机，下一扫描周期，主机就根据新收到的程序运行。这种方式成本较高，但系统调试和操作方便，在大中型可编程逻辑控制器中常采用。

五种标准化编程语言：顺序功能图(SFC)、梯形图(LD)、功能模块图(FBD)三种图形化语言和语句表(IL)、结构文本(ST)两种文本语言。选用的编程语言应遵守其标准(IEC6113123)，同时，还应支持多种语言编程形式，如 C，Basic 等，以满足特殊控制场合的控制要求。

5、诊断功能

可编程逻辑控制器的诊断功能包括硬件和软件的诊断。硬件诊断通过硬件的逻辑判断确定硬件的故障位置，软件诊断分内诊断和外诊断。通过软件对 PLC 内部的性能和功能进行诊断是内诊断，通过软件对可编程逻辑控制器的 CPU 与外部输入输出等部件信息交换功能进行诊断是外诊断。可编程逻辑控制器的诊断功能的强弱，直接影响对操作和维护人员技术能力的要求，并影响平均维修时间。

6、处理速度

可编程逻辑控制器采用扫描方式工作。从实时性要求来看，处理速度应越快越好，如果信号持续时间小于扫描时间，则可编程逻辑控制器将扫描不到该信号，造成信号数据的丢失。处理速度与用户程序的长度、CPU 处理速度、软件质量等有关。目前，可编程逻辑控制器接点的响应快、速度高，因此能适应控制要求高、相应要求快的应用需要。扫描周期应满足：小型可编程逻辑控制器的扫描时间不大于 0.5ms/K；大中型可编程逻辑控制器的扫描时间不大于 0.2ms/K。

综上所述，再结合实际情况，为便于今后系统的改造或者升级，需要留出一定的 I/O 点以做扩展使用。我们选用西门子 S7-200PLC 作为主控制器，其中主机型号：CPU226。

3.3.3 西门子 S7-200PLC 介绍

S7-200 是一种小型的可编程序控制器，适用于各行各业，各种场合中的检测、监测及控制的自动化。S7-200 系列的强大功能使其无论在独立运行中，或相连成网络皆能实现复杂控制功能。因此 S7-200 系列具有极高的性能/价格比。

S7-200 系列出色表现在以下几个方面：1)极高的可靠性；2)极丰富的指令集；3)易于掌握；4)便捷的操作；5)丰富的内置集成功能；6)实时特性；7)强劲的通讯能力；8)丰富的扩展模块。

S7-200 系列在集散自动化系统中充分发挥其强大功能。使用范围可覆盖从替代继电器的简单控制到更复杂的自动化控制。应用领域极为广泛，覆盖所有与自动检测，自动化控制有关的工业及民用领域，包括各种机床、机械、电力设施、民用设施、环境保护设备等等。如：冲压机床，磨床，印刷机械，橡胶化工机械，中央空调，电梯控制。

CPU226 的主要技术指标:

1.集成 24 输入/16 输出共 40 个数字量 I/O 点。2.可连接 7 个扩展模块，最大扩展至 248 路数字量 I/O 点或 35 路模拟量 I/O 点。3. 13K 字节程序和数据存储空间。4. 6 个独立的 30kHz 高速计数器，2 路独立的 20kHz 高速脉冲输出，具有 PID 控制器。5. 2 个 RS485 通讯/编程口，具有 PPI 通讯协议、MPI 通讯协议和自由方式通讯能力。6.I/O 端子排可很容易地整体拆卸。7.用于较高要求的控制系统，具有更多的输入/输出点，更强的模块扩展能力，更快的运行速度和功能更强的内部集成特殊功能。8.可完全适应于一些复杂的中小型控制系统。

S7-200 的工作模式:

S7-200 系列 PLC 有 3 中工作模式，即 RUN，STOP 和 TERM 模式。

RUN 模式：CPU 在 RUN 模式下执行完整的扫描过程，通过执行反映控制要求的用户程序来实现控制功能。此时，在 CPU 模式的 LED 显示面板上“RUN”显示当前的工作模式。在此模式时，不能向 PLC 装入程序、

STOP 模式：PLC 处于停止方式，CPU 不执行用户程序，可装载编程软件的计算机通信，可以创建和编辑用户程序，设置 PLC 的硬件功能，向 PLC 装入用户程序和硬件设置信息。

TERM 模式：是一种暂态，可以用程序将 TERM 转换为 RUN 或 STOP 状态，在现场调试程序时很有用处。TERM 状态还和机器的特殊标志位 SM0.7 有关，可用于自由口通信时的控制。

3.3.4 模拟量 I/O 模块的种类

在工业控制中，某些输入量(例如压力、温度、流量、速度等)是模拟量，某些执行机构(例如电动调节阀、变频器等)要求 PLC 输出模拟信号，而 PLC 的 CPU 只能处理数字量。模拟量首先被传感器和变送器转换为标准量程的电流或电压，PLC 用 A/D 转换器把这些模拟量转换为数字量，带正负号的电流、电压在 A/D 转换后用二进制补码表示。D/A 转换器把数字输出量转换为模拟电压或电流，再去控制执行机构。模拟量 I/O 模块的主要任务就是实现 A/D 转换和 D/A 转换。

A/D 转换器和 D/A 转换其的二进制位数反映了它们的分辨率，位数越多，分辨率越高。转换时间也是模拟 I/O 模块的一个重要指标。

S7-200PLC 主要有 3 种模拟量扩展模块：

1.模拟量输入模块(EM231，4 路)

2.模拟量输出模块(EM232，2 路)

3.模拟量输入输出模块(EM235，4 路输入，1 路输出)

S7-200PLC 模拟量扩展模块中的 A/D、D/A 转换器位数均为 12 位。

3.3.5 EM231 技术指标

1.具有 4 个模拟量输入通道。2.电压输入范围：单极性 0~10V、0~5V；双极性±5V，±2.5V。3.电流输入范围：0~20mA。4.每个通道占用存储器 AI 区域 2 个字节。该模块模拟量的输入值为只读数据。5.输入信号经模数转换后的数字量数据值是 12 位二进制数。最高有效位是符号位：0 表示正值数据，1 表示负值数据。6.模拟量输入数据字格式有单极性数据格式和双极性数据格式。前者的全量程范围设置为 0~32000.后者为-32000~+32000。

3.3.6 EM232 技术指标

1.提供 2 路模拟量输出。2.输出信号的范围：电压输出为±10V，电流输出为 0~20mA。3.每个输出通道占用存储器 AQ 区域 2 个字节，用户程序无法读取模拟量输出值。4.PLC 运算处理后的数字量信号(BIN 数)为 12 位，最高有效位是符号位：0 表示正值，1 表示负值。5.电流输出数据格式为 0~+32000。6.电压输出的数据格式为-32000~+32000。

3.3.7 EM231 RTD 接线及注意事项

热电阻模块 EM231 RTD 接线如图 3-1 所示，使用屏蔽线连接可达到最好的抗噪性。如果用户使用屏蔽线，应将屏蔽层接到信号连接器的 1~4 针接地点上。该接地点与电源连接器的 3~7 针共地。如果有的热电阻输入通道没有使用，用户应将一个电阻器与没有的通道输入相连，已防止由于浮地输入信号产生的误差，影响有效通道产生错误显示。用户须将电源练到电源连接器的 1 和 2 针上。用户必须讲电源连接器的针 3 连到附近的机壳地。

3.4 PT100 温度传感器

温度是自然界中和人类打交道最多的物理参数之一，无论是在生产实验场所，还是在居住休闲场所，温度的采集或控制都十分频繁和重要，而且，网络化远程采集温度并报警是现代科技发展的一个必然趋势。 由于温度不管是从物理量本身还是在实际人们的生活中都有着密切的关系，所以温度传感器就会相应产生。

其设计原理：PT100 是铂热电阻，它的阻值跟温度的变化成正比。PT100 的阻值与温度变化关系为：当 PT100 温度为 0℃时它的阻值为 100 欧姆，在 100℃时它的阻值约为 138.5 欧姆。它的工业原理：当 PT100 在 0 摄氏度的时候他的阻值为 100 欧姆，它的阻值会随着温度上升而成匀速增长的。应用在医疗、电机、工业、温度计算、阻值计算等高精温度设备，应用范围非常之广泛。

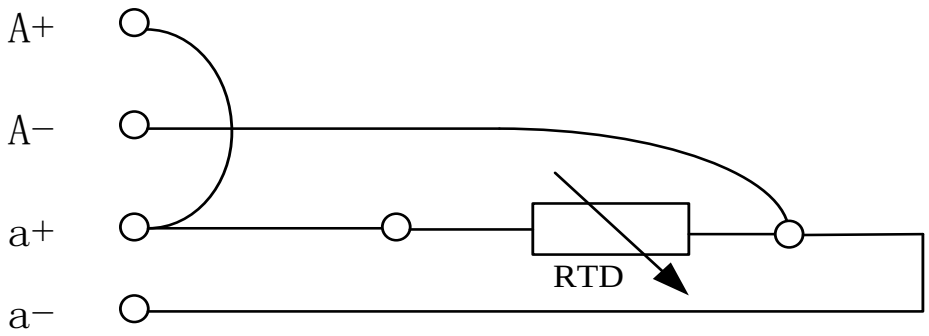


图 3-1 RTD 与传感器的接线(3 线)

3.5 PT100 温度变送器

铂电阻温度变送器直接安装于 PT100 铂电阻接线盒内(与不同结构形式的铂电阻构成热电阻一体化温度变送器)将热电阻 PT100 的电阻信号转化为二线制 4~20mA 输出。

PT100 温度变送器用于 PT100 铂电阻信号需要远距离传送、现场有较强干扰源存在或信号需要接入 DCS 系统时使用。产品特点：

1.线性化输出两线制 4-20mA 标准电流信号，模块化结构。

2.变送器有电源极性反接保护电路，当输出接线接反时对线路起保护作用(此时回路电流为零)；传感器的不正确接线无论是高限或低限都将导致变送器输出饱和；产品具有 RFI/EMI 保护，有利于提高了测量的稳定性。

3.SWP-TR 全部采用进口电子元件，性能可靠，低温度漂移。

4.SWP-TR 温度变送器量程用户不能自由修改，由生产商出厂时确认生产。

5.热电阻变送器的接线通过壳体顶部的螺丝端子完成。为符合 CE 认证，信号输入接线长度不能超过 3 米，输出接线必须是屏蔽电缆，屏蔽线只能在一端接地。

6.变送器的中心孔用于热电阻信号接线，热电阻信号线通过螺丝直接拧在变送器的输入端子上。设计的螺丝端子接受内部或外部接线方式。

3.6 人机界面设计

人机界面(又称用户界面或使用者界面)是系统和用户之间进行交互和信息交换的媒介，它实现信息的内部形式与人类可以接受形式之间的转换。在工艺过程日趋复杂、对机器和设备功能的要求不断增加的环境中，获得最大的透明性对操作员来说至关重要。人机界面(HMI)提供了这种透明性[16]。

S7-200TD 设备是一种低成本的人机界面(HMI)，使操作员或用户能够与应用程序进行交互。可以使用 TD 设备组态一组层级式用户菜单，从而提供更多应用程序交互结构。您也可以组态 TD 设备，使其显示由 S7-200 CPU 中的特定位使能的报警或信息。

S7-200TD 设备是一个 2 行或 4 行的文本显示设备，可以连接到 S7-200CPU。TD 设备可用于查看、监视和改变属于您的应用程序的过程变量。我们选用 TD200 文本显示屏来完成中央空调控制系统的人机界面设计。其提供了四个具有预定义的置位功能的按键，如果使用 SHIFT 键，则最多可提供八个置位功能。

TD200 设备的组态需要完成以下操作：1)STEP 7-Micro/WIN 的文本显示向导，创作操作员界面和报警和组态 TD 设备的参数块；2)TD 参数中，选择 TD 设备的类型、启用 CPU 功能、选择更新速率、选择语言和字符集和组态按键；3)屏幕设置中，创建用户菜单，定义屏幕；4)报警设置中，选择显示选项，定义报警信息；5)语言集设置中，选择提示和菜单的语言，选择字符集；6)翻译报警和屏幕，把翻译后的信息反馈回报警和屏幕；7)参数块地址设置中，定义参数块的地址，即 V 存储区。

3.7 系统硬件设计

假设该系统应用在100平米的公寓，根据公寓的冷负荷为114~138瓦/平方米来算，大体的空调系统的设备如下：

1)冷冻机主机2台；

2)冷冻水水泵6台，3用3备用，冷冻水水泵功率22千瓦；

3)制冷主机的控制根据自身设定的冷冻水出口温度。此主机的冷冻水出口温度设为7℃，在其冷冻水入水温度高于7℃情况下，制冷主机会正常工作；如入水温度达到或接近7℃时，制冷主机会自动停机。

表3-1 中央空调控制系统的环境参数

季节	舒适度等级	温度(℃)	相对湿度(%)	风速(m/s)
冬季	Ⅰ	22~24	30~60	≤0.2
	Ⅱ	18~21	60	≤0.2
夏季	Ⅰ	24~26	40~70	≤0.25
	Ⅱ	27~28	40~70	≤0.25

系统主回路示意图、系统电路图、主要设备的端口连接图如下：

图 3-2：系统 PLC 选用西门子 S7-200，CPU 型号为 226。该 PLC 上集成了通讯接口可供 RS-485 线缆通讯，并设置了 TD200 文本显示器，用来显示系统工作状态和报警信息等。变频器 MM440 可通过串口与 PLC 通讯。通过变频器的控制来决定冷冻泵的工作频率和工作台数。

图 3-3：该控制系统分手动和自动模式，手动模式下通过开关的闭合控制电机的运转，自动模式下通过 PLC 及变频器控制，启动时 1#冷冻泵变频启动，当温度条件不满足需要增加工频泵数量时，工频触点吸合 1#冷冻泵转为工频运行，2#冷冻泵待机等待启动脉冲信号，当温度条件满足不需要多台冷冻泵工频运行时，工频触点断开减少工频工作台数，变频触点吸合转为变频运行。以此类推。

图 3-4：EM231、EM232 由 PLC L+端口输出的 24V 电源供电，变频器的 3、4 接口是用于接受模拟量输入信号，29、30 接口用于通过 RS-485 与 PLC 通讯。

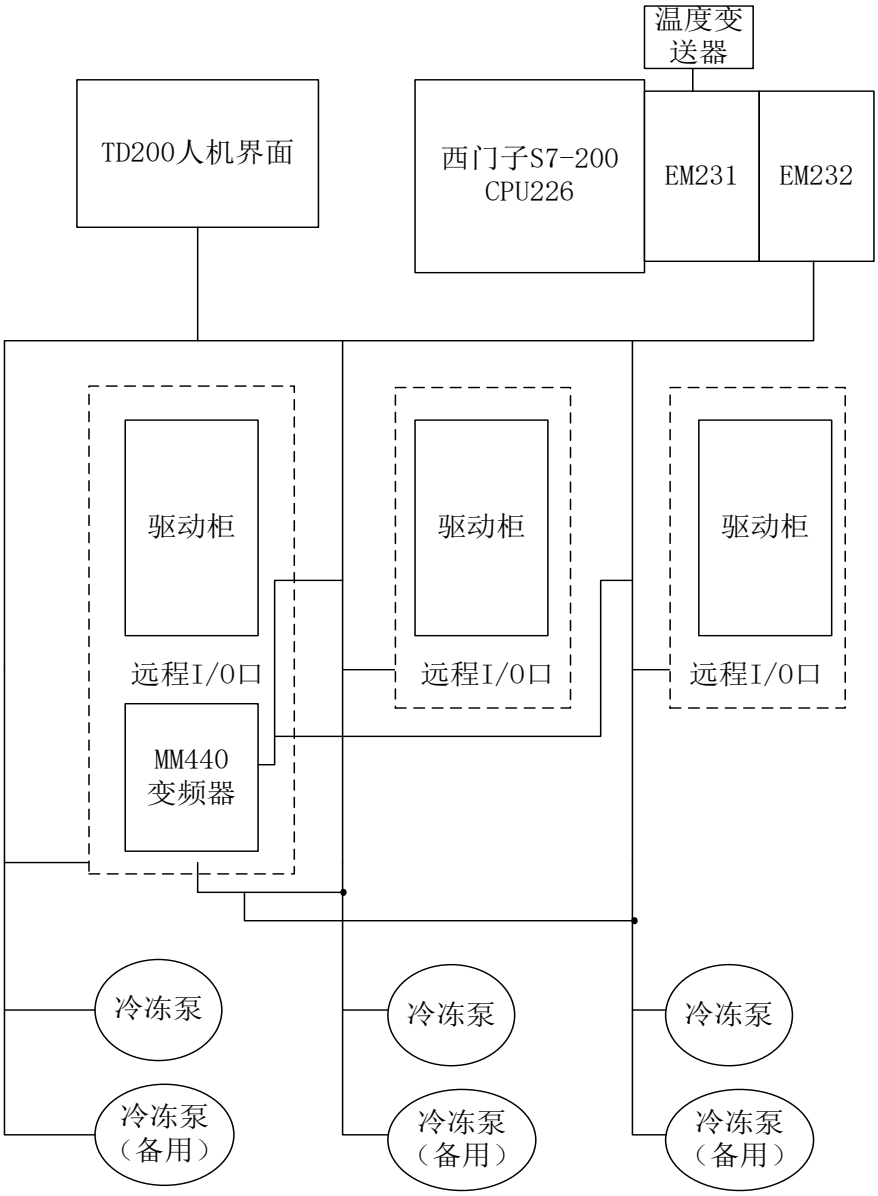


图 3-2 中央空调冷冻水循环控制系统主回路连接示意图

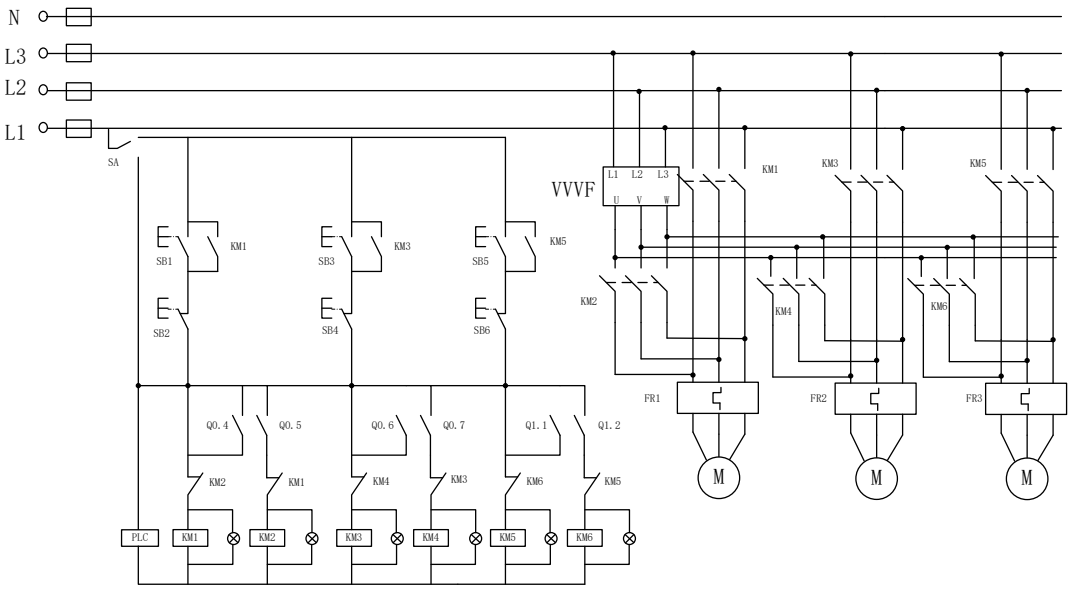


图 3-3 中央空调控制系统电路图

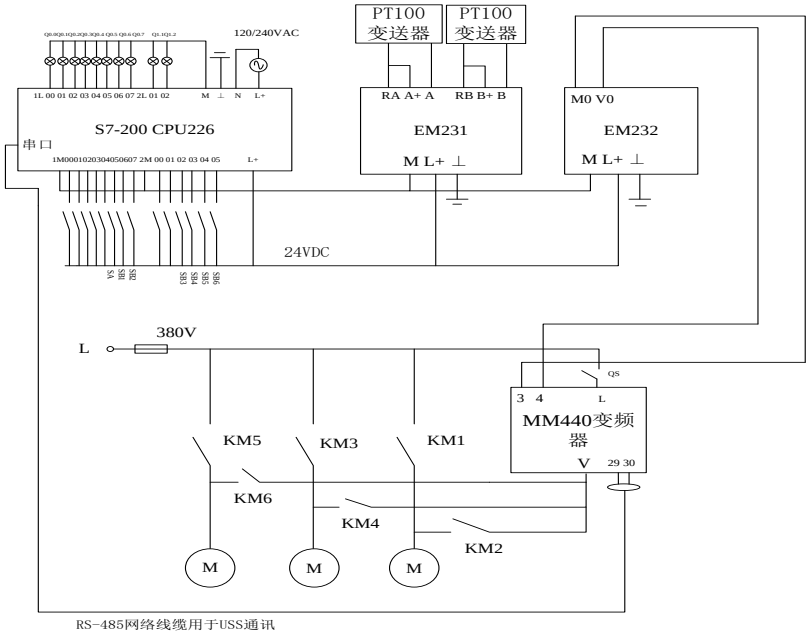


图 3-4 中央空调控制系统主要设备的端口连接图

3.8 本章小结

本章介绍了中央空调控制系统的硬件设计，对变频器、PLC、温度传感器进行了选型，并设计了人机界面。最后对整体系统进行了硬件连接的设计。

第 4 章 控制系统软件设计

4.1 设备间通讯

4.1.1 RS-485 介绍

智能仪表是随着 80 年代初单片机技术的成熟而发展起来的，现在世界仪表市场基本被智能仪表所垄断。究其原因就是企业信息化的需要，企业在仪表选型时其中的一个必要条件就是要具有联网通信接口。最初是数据模拟信号输出简单过程量，后来仪表接口是 RS-232 接口，这种接口可以实现点对点的通信方式，但这种方式不能实现联网功能。随后出现的 RS485 解决了这个问题。
RS-485 电缆：在低速、短距离、无干扰的场合可以采用普通的双绞线，反之，在高速、长线传输时，则必须采用阻抗匹配(一般为 120Ω)的 RS-485 专用电缆，而在干扰恶劣的环境下还应采用铠装型双绞屏蔽电缆。在使用 RS-485 接口时，对于特定的传输线路，从 RS-485 接口到负载其数据信号传输所允许的最大电缆长度与信号传输的波特率成反比，这个长度数据主要是受信号失真及噪声等影响所影响。理论上，通信速率在 100Kbps 及以下时，RS-485 的最长传输距离可达 1200 米，但在实际应用中传输的距离也因芯片及电缆的传输特性而所差异。在传输过程中可以采用增加中继的方法对信号进行放大，最多可以加八个中继，也就是说理论上 RS-485 的最大传输距离可以达到 9.6 公里。如果真需要长距离传输，可以采用光纤为传播介质，收发两端各加一个光电转换器，多模光纤的传输距离是 5~10 公里，而采用单模光纤可达 50 公里的传播距离。

4.1.2 USS 协议

S7-200 与西门子 MicroMaster 系列变频器(如 MM440、MM420、MM430 以及 MM3 系列、新的变频器 SINAMICS G110)之间使用 USS 通信协议进行通信。通过 STEP7-Micro/WIN32 V3.2 以上版本指令库中的 USS 库指令，可简单方便地实现通信，控制实际驱动器和读取 / 写入驱动器参数[17]。
USS 通信总是由主站发起，USS 主站不断循环轮询各个从站，从站根据收到的指令，决定是否、以及如何响应。从站永远不会主动发送数据。从站在以下条件满足时应答：
(1)接收到的主站报文没有错误。
(2)本从站在接收到主站报文中被寻址 。
上述条件不满足，或者主站发出的是广播报文，从站不会做任何响应。对于主站来说，从站必须在接收到主站报文之后的一定时间内发回响应。否则主站将视为出错。
USS 协议的特点为：
(1)支持多点通信(因而可以应用在 RS-485 等网络上)。
(2)采用单主站的“主-从”访问机制。
(3)一个网络上最多可以有 32 个节点(最多 31 个从站)。
(4)简单可靠的报文格式，使数据传输灵活高效。
(5)容易实现，成本较低。

通过上面的介绍，就可以使用 USS 协议进行 RS-485 串行通讯。为完成 USS 通讯，还需要对 MM440 进行参数设置。
P0003=3，答应变频器的所有参数；
P0971=1，数据保存入 MM 440 的 EEPROM 中；
P0700=5，变频器的控制方式选择为通讯方式；
P2010[2]=6,变频器的 USS 波特率选择为 9600；
P2011[0]=11,变频器的通讯地址为 0~31。
USS 通信是由 S7-200 和驱动装置配合，因此相关参数一定要配合设置。如通信速率设置不一样，当然无法通信。

4.2 PLC 的初始设定

要实现 PLC 对变频器的通讯控制，必须对 PLC 进行编程;通过程序实现 PLC 对变频器的各种运行控制和数据的采集。

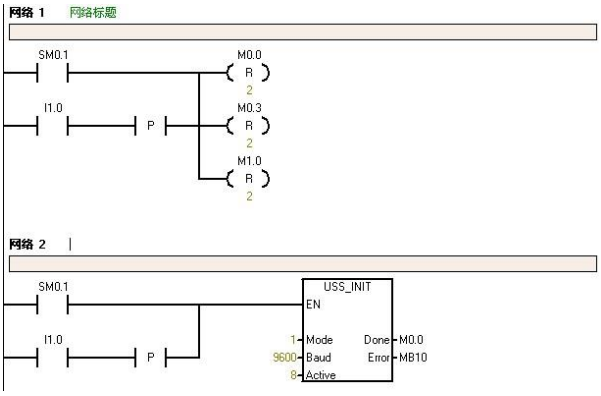


图 4-1 初始程序段 a

网络 1：运行开始或 I1.0 由关到开是清楚标志位，以及参数读写控制位。网络 2：运行开始或 I1.0 由关到开时初始化 PORT0 为 USS 通讯。

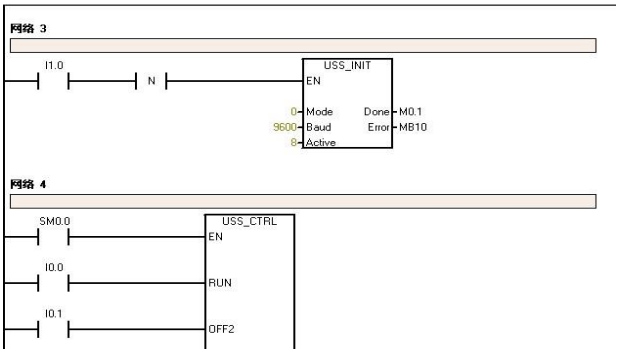


图 4-2 初始程序段 b

网络 3：当 I1.0 由关到开时 PORT0 恢复为 PPI 通讯。网络 4：控制功能块，通过 PLC 的输入输出可以控制并诊断驱动器的工作。

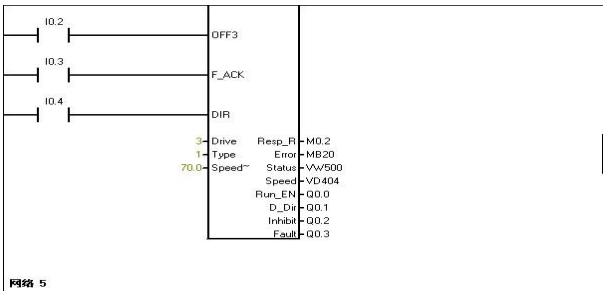


图 4-3 初始程序段 c

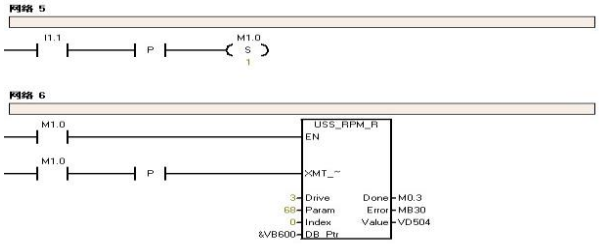


图 4-4 初始程序段 d

网络 5：当 I1.1 有关到开时启动读参数指令。网络 6：读取驱动器中的参数 R0068(输出电流)

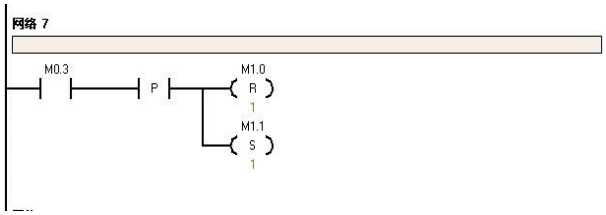


图 4-5 初始程序段 e

网络 7：读写操作轮替功能，由于在同一时间 USS 网络上读参数或写参数只能有一种操作，因此有必要设置读写操作的轮替功能，当读参数完成时 M0.3 被置 1 一个扫描周期，从而 M1.0 复位为 0，读参数操作被屏蔽，同时 M1.1 被置位，开始写参数操作。

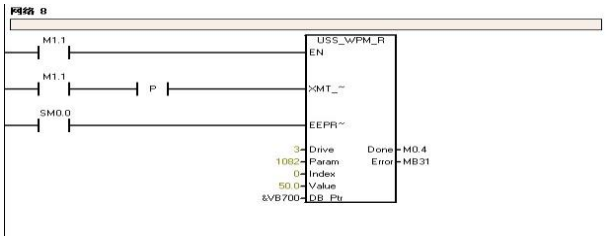


图 4-6 初始程序段 f

网络 8：向驱动器中写参数：P1082=50.0。

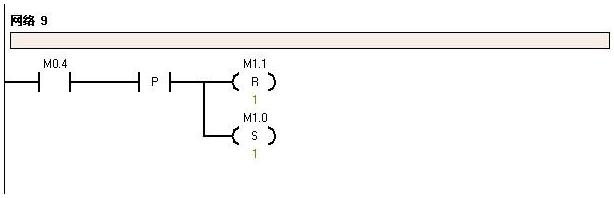


图 4-7 初始程序段 g

网络 9：读写操作轮替，功能同网络 7。

4.3 PLC 主程序流程图

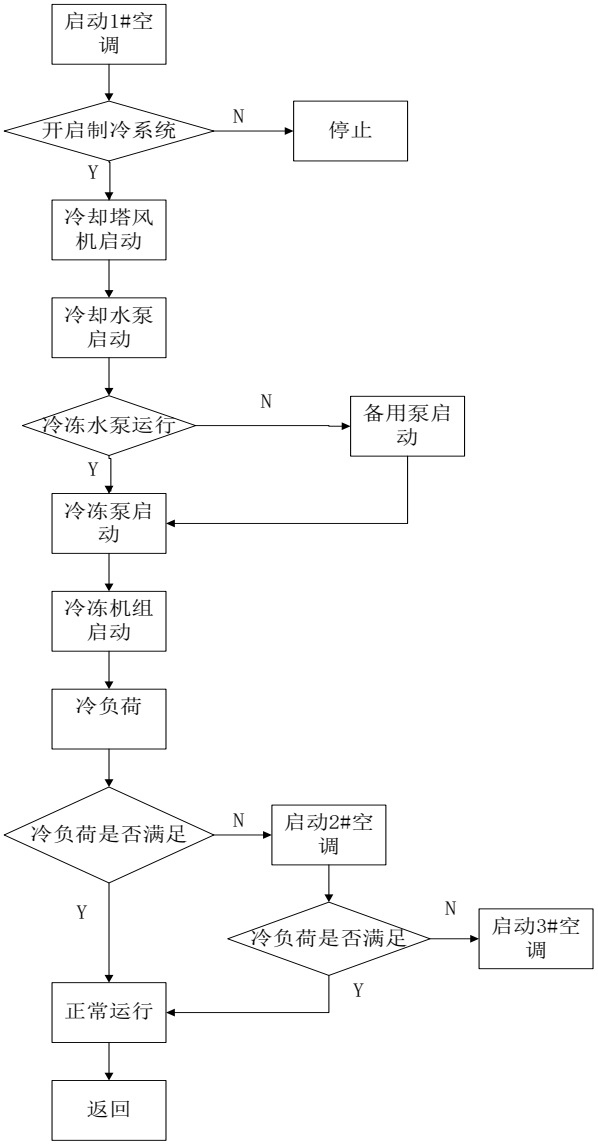


图 4-8 程序设计流程图

4.4 PLC 编程软件

PLC 控制程序采用西门子公司提供的 STEP7-micro/win32 V4.0 编程。

我们使用梯形图来完成系统软件的开发。因为梯形图(LAD)语言最接近于继电器接触器控制系统中的电气控制原理图，是应用最多的一种编程语言，与计算机语言相比，梯形图可以看作是 PLC 的高级语言，几乎不用去考虑系统内部的结构原理和硬件逻辑，因此，它很容易被一般的电气工程设计和运行维护人员所接受。

STEP7 软件的一个特点是调试功能很强大，不仅能在线读取数据，而且能在线修改过程数据，对于调试大型复杂控制程序非常有效。STEP7 软件还附带一些控制程序模块，如 PID 调节模块，这些模块可以从主控制程序中直接调用，实现不同的功能。

通过 STEP 7 编程软件，不仅可以非常方便的使用梯形图和语句表等形式进行离线编程，经过编译后通过转接电缆直接下载入 PLC 的内存中执行，而且在调试运行时，还可以在线监视程序中各个输入输出或状态点的通断状况，给调试工作也带来极大的方便。

4.5 程序设计

4.5.1 中央空调控制系统的 I/O 分配表

表 4-1 I/O 分配表

名称	地址编号	说明
输入信号		
	I0.0	驱动装置的启动/停止控制
	I0.1	停车信号 2,封锁主回路输出，自由停车
	I0.2	停车信号 3，快速停车
	I0.3	故障确认
	I0.4	电机运转方向控制
	I1.0	USS 通讯和 PPI 通讯转换
	I1.1	读/写操作开始按钮
SA	I0.5	手动/自动切换按钮
SB1	I0.6	手动模式 1#冷冻泵启动按钮
SB2	I0.7	手动模式 1#冷冻泵停止按钮
SB3	I1.2	手动模式 2#冷冻泵启动按钮
SB4	I1.3	手动模式 2#冷冻泵停止按钮
SB5	I1.4	手动模式 3#冷冻泵启动按钮
SB6	I1.5	手动模式 3#冷冻泵停止按钮
	AIW0	用户房间内温度传感器

续表 4-1 I/O 分配表

输出信号		
	Q0.0	运行模式反馈

	Q0.1	指示运转方向
	Q0.2	驱动装置禁止状态指示
	Q0.3	故障指示位
KM2	Q0.4	1#冷冻泵变频运行接触器及指示灯
KM1	Q0.5	1#冷冻泵工频运行接触器及指示灯
KM4	Q0.6	2#冷冻泵变频运行接触器及指示灯
KM3	Q0.7	2#冷冻泵工频运行接触器及指示灯
KM6	Q1.1	3#冷冻泵变频运行接触器及指示灯
KM5	Q1.2	3#冷冻泵工频运行接触器及指示灯
	AQW0	输出模拟信号到变频器

4.5.2 程序中使用的存储器及功能

表 4-2 存储器及功能

地址	功能
VD108	传感器反馈的电压值
VD104	房间内压力下限对应的电压值
VD106	房间内压力上限对应的电压值
VD300	变频工作泵的泵号
VD301	工频运行泵的总台数
T33	产生关断变频脉冲信号的时间控制
T34	产生启动工频脉冲信号的时间控制
T37	增加工频泵的时间控制
T38	减少工频泵的时间控制
T39	产生下一台泵变频启动信号的时间控制
M0.0/M0.1	初始化完成标志位
M0.3/M0.4	读写功能块完成标志位，用于功能块轮替
M1.0/M1.1	读写功能块控制位
M2.0	工频启动脉冲
M2.1	变频启动脉冲
M2.4	关断当前泵脉冲
M2.5	当前泵工频启动脉冲
M2.6	下一台泵变频运行脉冲
M3.0	泵工频/变频转换控制逻辑

续表 4-2 存储器及功能

M3.1	泵工频/变频转换控制逻辑
M3.2	泵工频/变频转换控制逻辑

软件编程详见附录 C

4.6 中央空调控制系统的 MCGS 组态

4.6.1 MCGS 组态软件简介

MCGS(Monitor and Control Generated System，监视与控制通用系统)是北京昆仑通态自动化软件科技有限公司研发的一套基于 Windows 平台的，用于快速构造和生成上位机监控系统的组态软件系统，主要完成现场数据的采集与监测、前端数据的处理与控制，可运行于 Microsoft Windows 95/98/Me/NT/2000/XP 等操作系统。具有功能完善、操作简便、可视性好、可维护性强的突出特点。通过与其他相关的硬件设备结合，可以快速、方便的开发各种用于现场采集、数据处理和控制的设备。用户只需要通过简单的模块化组态就可构造自己的应用系统，如可以灵活组态各种智能仪表、数据采集模块，无纸记录仪、无人值守的现场采集站、人机界面等专用设备[18]。

4.6.2 MCGS 6.2 通用版介绍

MCGS 6.2 通用版全中文可视化组态软件，简洁、大方，使用方便灵活。完善的中文在线帮助系统和多媒体教程，真正的 32 位程序，支持多任务、多线程，运行于 Win95/98/NT/2000 平台，提供近百种绘图工具和基本图符，快速构造图形界面。

MCGS 6.2 通用版提供渐进色、旋转动画、透明位图、流动块等多种动画方式，可以达到良好的动画效果。功能强大的网络数据同步、网络数据库同步构建，保证多个系统完美结合。完善的网络体系结构，可以支持最新流行的各种通讯方式，包括电话通讯网，宽带通讯网，ISDN 通讯网，GPRS 通讯网和无线通讯网。

并支持设备众多如采集版、PLC、智能模块、称重仪表和变频器

4.6.3 工程设计

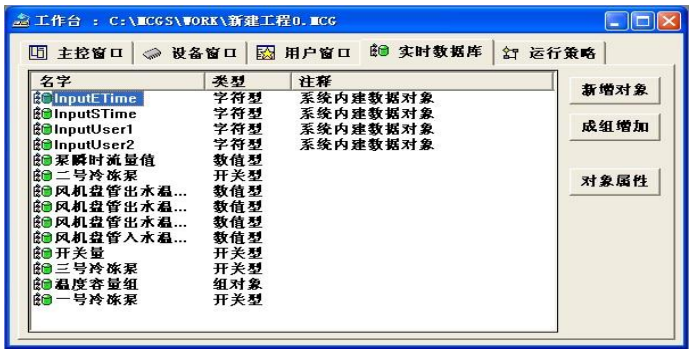


图 4-9 定义变量

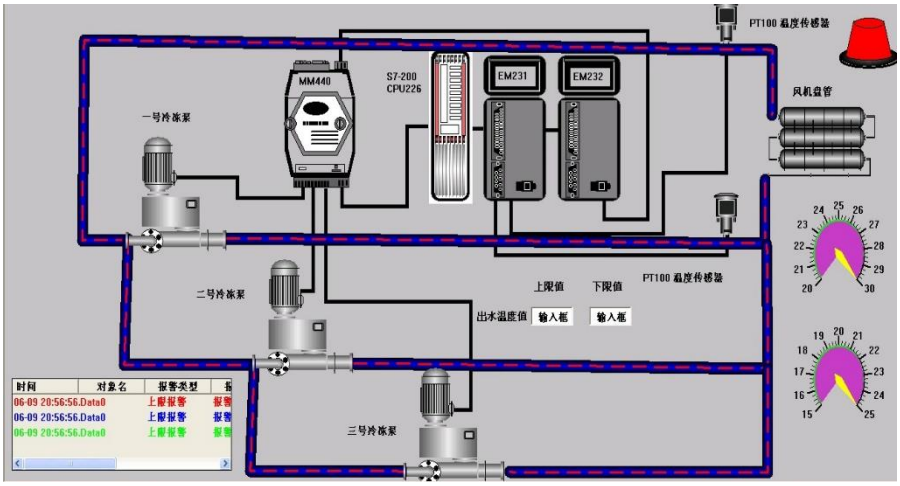


图 4-10 组态画面

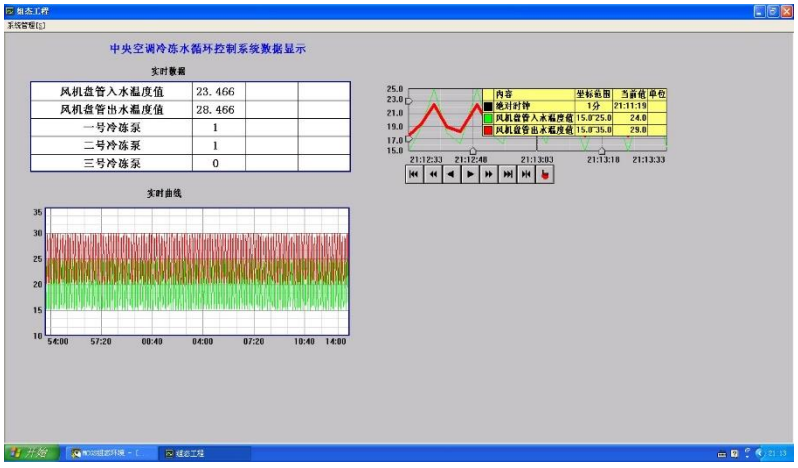


图 4-11(a) 数据报表

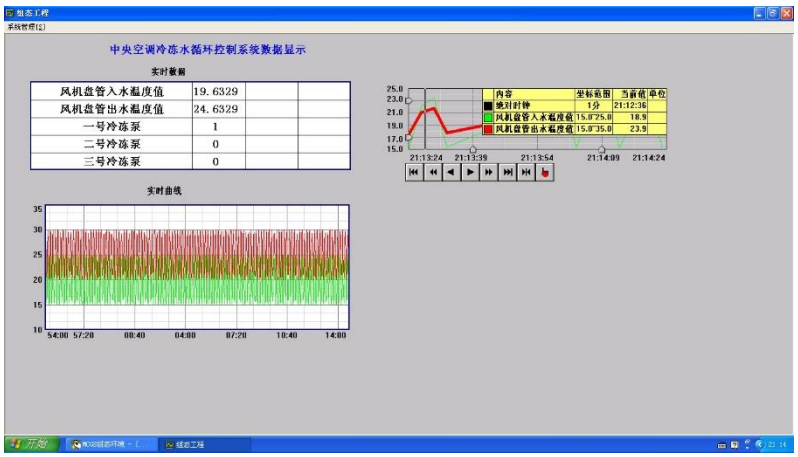


图 4-11(b) 数据报表

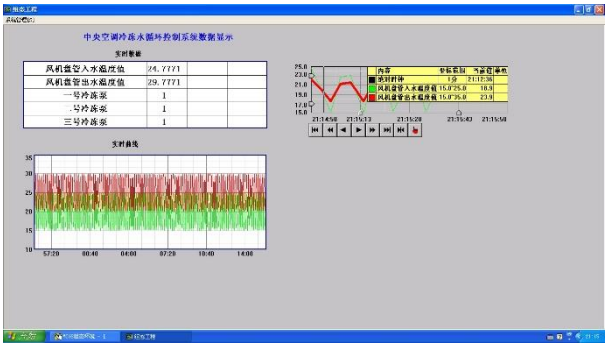


图 4-11(c) 数据报表

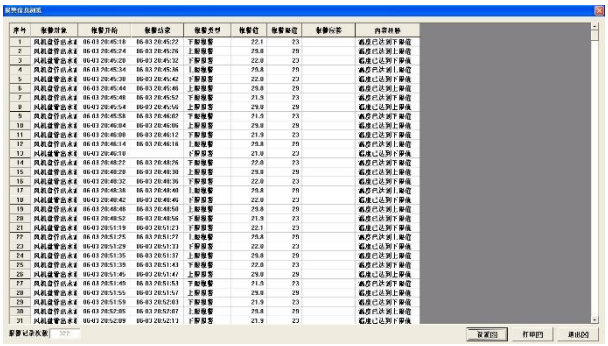


图 4-12 报警信息浏览

4.6.4 系统脚本程序编写

```
if 风机盘管出水温度值<23 then
一号冷冻泵=0
二号冷冻泵=0
三号冷冻泵=0
else
一号冷冻泵=1
二号冷冻泵=0
三号冷冻泵=0
endif
if 一号冷冻泵=1 and 风机盘管出水温度值<26 then
一号冷冻泵=1
二号冷冻泵=0
三号冷冻泵=0
endif
if 一号冷冻泵=1 and 风机盘管出水温度值>26 then
一号冷冻泵=1
二号冷冻泵=1
三号冷冻泵=0
endif
if 一号冷冻泵=1 and 二号冷冻泵=1 and 风机盘管出水温度值>29 then
```

一号冷冻泵=1
二号冷冻泵=1
三号冷冻泵=1
endif
if 一号冷冻泵=1 and 二号冷冻泵=1 and 风机盘管出水温度值<29 then
一号冷冻泵=1
二号冷冻泵=1
三号冷冻泵=0
endif
if 一号冷冻泵=1 and 二号冷冻泵=1 and 三号冷冻泵=1 and 风机盘管出水温度值>23 and 风机盘管出水温度值<29 then
一号冷冻泵=1
二号冷冻泵=1
三号冷冻泵=0
if 风机盘管出水温度值<26 then
一号冷冻泵=1
二号冷冻泵=0
三号冷冻泵=0
else
一号冷冻泵=1
二号冷冻泵=1
三号冷冻泵=0
endif
endif
!SetAlmValue(风机盘管出水温度值,风机盘管出水温度上限,3)
!SetAlmValue(风机盘管出水温度值,风机盘管出水温度下限,2)

4.6.5 组态运行界面

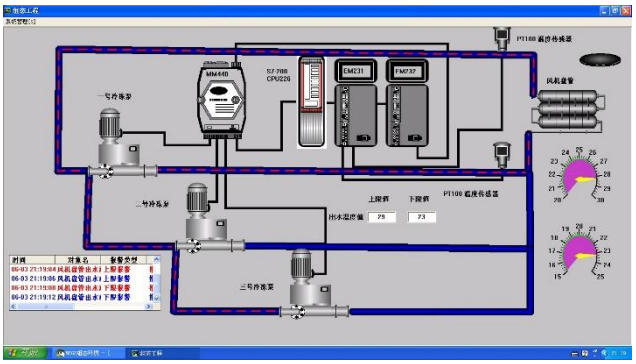


图 4-13 1#冷冻泵运行状态

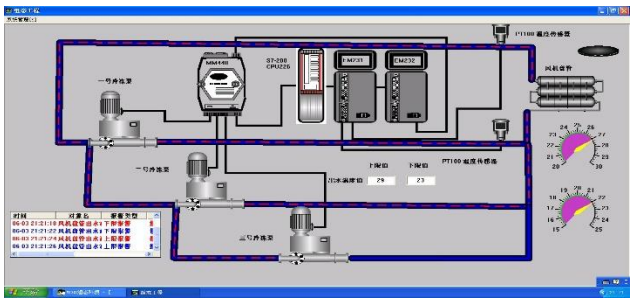


图 4-14 1#2#冷冻泵运行状态

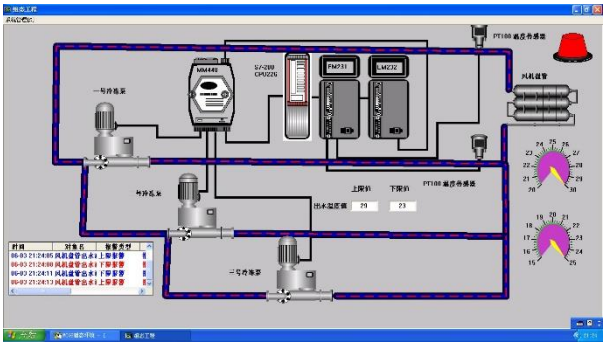


图 4-15 1#2#3#冷冻泵运行状态

案例 17

基于 PLC 的工业污水处理控制系统的设计

【摘 要】

目前，我国大多数污水处理控制系统自动化水平不高、安全性低、管理不当，效率普遍低于世界标准。污水处理系统中的曝气过程控制、数据通讯和监控管理是急需解决的主要问题。中国污水处理自控系统相对落后，污水处理成本居高不下，污水厂排放的处理过的污水的水质不稳定，所以如何建立有效的自控系统，优化运行效果，减少运行费用，具有重要意义。

本文介绍了工厂污水处理的基本工艺和流程，并通过研究设计一套基于PLC控制的污水处理系统。文章首先介绍了基于PLC污水处理控制系统的工艺及相关流程，控制系统硬件结构及设计、工作原理以及设计PLC控制系统的基本原则和步骤，来说明PLC在污水处理过程中的应用。先根据污水处理要求设计了设备的电器控制与自动控制线路，主要包括设备的启停、状态信号故障信号、和信号采集等，最后按照工艺要求设计PLC控制系统，其中包括PLC的选型、系统资源配置以及按照污水处理工艺编制PLC程序。

1 工业污水处理控制系统总体介绍

1.1 工业污水处理基本概念

城市污水、生活污水、生产污水或经过工业企业局部处理后的生产污水，往往都排入排水系统。这些污水除含有碳水化合物、蛋白质、氨基酸、动植物脂肪、尿素、氨、肥皂和合成洗涤剂等物质外，还含有细菌、病毒等使人致病的微生物。经处理后的污水，最后出路有三种：①排放水体；②灌溉田地；③重复使用。

污水污染物可根据化学性质和物理形态进行不同的分类。按化学性质，污水中的污染物质可分为无机性物质和有机性物质，其化学元素以炭、氮、磷为主。按物理形态，污水中的污染物质可分为固体悬浮物即呈颗粒状的污染物质、胶体污染物质和溶解性污染物质。

好氧有机污染物的性质稳定，在微生物的作用下，借助微生物的新陈代谢功能而降解为无机物，如二氧化碳、水、硝酸根离子等稳定的无机物。有机物的种类很多，其共性是在微生物的作用下被降解时，都要消耗水中的溶解氧，所以在工程实际中，采用以下的几个综合污染指标来表述：生物化学需氧量或生化需氧量（Bio-chemical Oxygen Demand，BOD）mg/L、化学需氧量(Chemical Oxygen Demand，COD) mg/L、总有机碳(Total Organic Carbon) mg/L、总需氧量(Total Oxygen Demand) mg/L。

虽然BOD_{20}。能较精确地描述污水的生化需氧量，但其测定的时间太长，需20天。考虑到好氧分解速率一般在开始的几天最快，在20℃温度下，污水五日生化需氧量(BOD_5)，约占BOD_{20}的70%～80%，因此把BOD_5作为衡量污染水的有机物浓度指标。化学需氧量(COD)的特点是能够精确的表示污水中有机物的含量，并且测定时间短，但它不能像BOD那样表示出微生物氧化的有机物量。

1.2 常用的工业污水处理工艺

不同的工业污水处理对象，不同的工业污水处理环境，将需要有不同的工业污水处理工艺来处理。因此，在选择工业污水处理工艺的时候必需要认真考虑当地污水的情况，以及实际的工业污水处理的环境。

工业污水处理的方法主要有物理、化学、物理化学，以及生物等几种。这些方法根据实际情况，可以单一使用，也可以针对不同的污水混合使用。目前，工业污水处理的方法一般以生物处理法为主，辅以物理处理法和化学处理法。常用的工业污水处理工艺有以下几种。

（1）传统活性污泥法。传统活性污泥处理法是一种最古老的工业污水处理工艺，其工业污水处理的关键组成部分为沼气池与沉淀池，主要处理部分关系框图如图 2-1 所示。

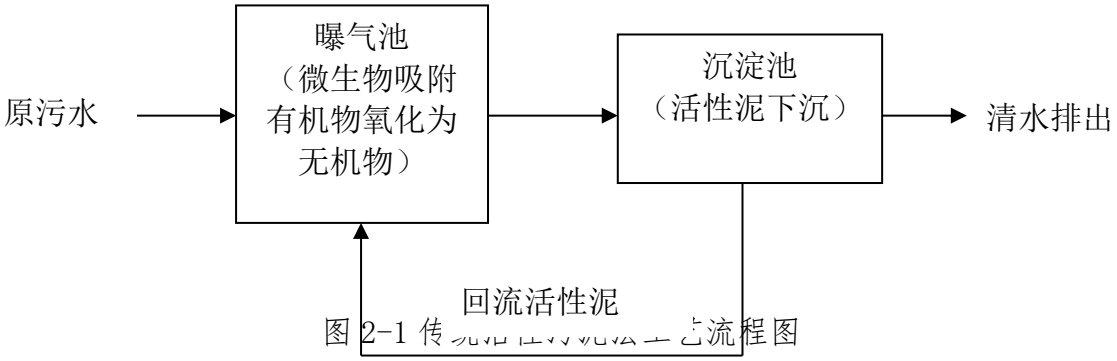


图 2-1 传统活性污泥法工艺流程图

污水中的有机物在曝气池停留的过程中，曝气池中的微生物吸附污水中的大部分有机物，并且在曝气池中被氧化成无机物，然后在沉淀池中经过沉淀后的部分活性泥需要回流到曝气池中。该工艺的优点有：有机物去除率高，污泥负荷高，池的容积小，耗电省，运行成本低。该工艺的缺点有：普通曝气池占地多，建设投资大，满足国家标准相关指标范围小、易产生污泥膨胀现象，磷和氮的去除率低。

（2）A/O 法。A/O 法是在传统活性污泥法的基础上发展起来的一种工业污水处理工艺，其中 A 代表 Anoxic（缺氧的），O 代表 Oxic（好氧的）。A/O 法是一种缺氧----好氧生物工业污水处理工艺。该工艺通过增加好氧池与缺氧池所形成的硝化----反硝化反应系统，很好的处理了污水中的氮含量，具有明显的脱氮效果。但是此硝化----反硝化反应系统需要得到很好的控制，这样就对该工艺提出了更高的管理要求，这也成为了该工艺的一大缺点。其工艺流程图如下：

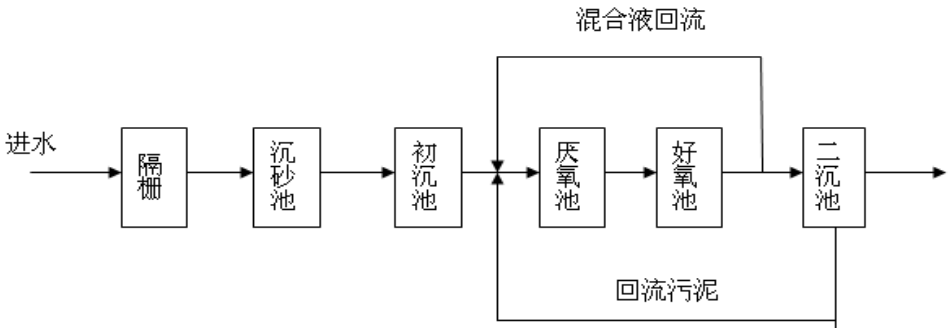


图 2-2 A/O 法工艺流程图

（3）A2/O 法。A2/O 法也是在传统活性污泥法的基础上发展起来的一种工业污水处理工艺，其中 A2，即 A-A，前一个 A 代表 Anaerobic（厌氧的），后一个 A 代表 Anoxic（缺氧的）；O 代表（好氧的）。A2/O 是一种厌氧—缺氧—好氧工业污水处理工艺。A2O 法的除磷脱氮效果非常好，非常适合用于对除磷脱氮有要求的工业污水处理。因此，在对除磷脱氮有特别要求的城市工业污水处理厂，一般首选 A2/O 工艺。其工艺流程图如图 2.3 所示。

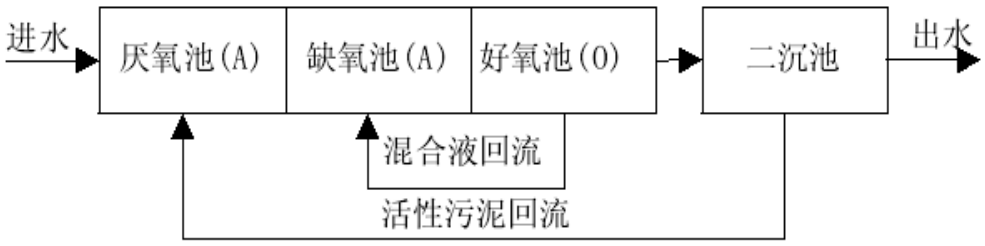


图 2-3　A2/O 法工艺流程图

（4）A/B 法。A/B 法是吸附生物降解法的简称，该工艺没有初沉淀，将曝气池分为高低负荷两段，并分别有独立的沉淀和污泥回流系统。高负荷段停留时间约为 20~40min，以生物絮凝吸附作用为主，同时发生不完全氧化反应，去除 BOD 达 50%以上。B 段与常规活性污泥法相识，负荷较低。AB 法中 A 段效率很高，并有较强的缓冲能力。B 段起到出水把关作用，处理稳定性较好。对于高浓度的工业污水处理，AB 法具有很好的适用性，并有较高的节能效益。尤其在采用污泥消化和沼气利用工艺时，优势最为明显。但是，AB 法污泥产量较大，A 段污泥有机物含量极高，因此必须添加污泥后续稳定化处理，这样就将增加一定的投资和费用。另外，由于 A 段去除了较多的 BOD，造成了碳源不足，难以实现脱氮工艺的要求。对于污水浓度低 的场合，B 段也比较困难，也难以发挥优势。

总体而言，AB 法工艺较适合于污水浓度高，具有污泥消化等后续处理设施的大中规模的城市工业污水处理厂，且有明显的节能效果，而对于有脱氮要求的城市工业污水处理厂，一般不宜采用。

（5）SBR 法。SBR 法是歇式活性污泥法的简称，是一种按照一定的时间顺序间歇式操作的污水生物处理技术，也是一种按间歇曝气方式来运行的活性污泥工业污水处理技术，又称序批式活性污泥法。其反应机理及去除污染物的机理与传统的活性污泥法基本相同，只是运行操作方式不尽相同。SBR 法与传统的水处理工艺的最大区别在于它是以时间顺序来分割流程各单元，以时间分割操作代替空间分割操作，非稳态生化反应代替生化反应，静置理想沉淀代替动态沉淀等。整个过程对于单个操作单元而言是间歇进行的，但是通过多个单元组合调度后又是连续的，在运行上实现了有序和间歇操作相结合。

1.3 本设计系统工业污水处理工艺及描述：

本工业污水处理工艺流程图如下图 2-4 所示：

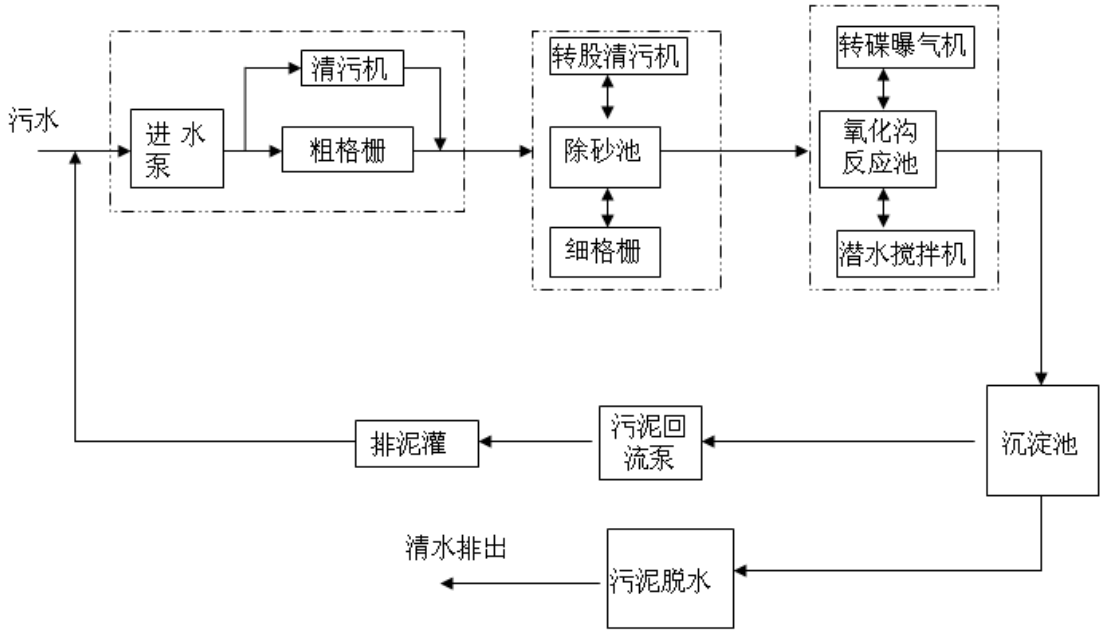


图 2-4 工艺流程图

污水由进水系统通过粗格栅和清污机进行初步排除大块杂质物体，到达除砂池中。在除砂池系统中细格栅和转鼓清污机进一步净化污水中的细小颗粒物体，将污水中的细小沙粒滤除后进入氧化沟反应池。在该氧化沟系统中进行生化处理，分解污水中的有害物质，此环节用到一些化学药剂来加强处理效果，如复合碱、氯气、油絮凝剂等。对污水进行除油、消毒、调整 PH 值。同时在该系统中设置有溶解氧仪超声波检测器，通过它对污水中的含氧量进行检测，根据其反馈到 PLC 的值来控制曝气机变频器的运行，改变污水中溶解氧的含量。潜水搅拌机的作用是推进水流，使氧化沟的污水和活性污泥处于剧烈搅拌充分混合接触，使生化反应更加充分，以最大程度地分解污水中的有害成分。经处理的污水进入沉淀池中，在刮泥机的作用下进行物理沉淀，为了加强沉淀效

果，同时加入混凝剂和絮凝剂利用高分子助凝剂的强烈吸附架桥作用更加容易沉降。污水经沉淀池处理最后到达脱水环节，离心式脱水机作用下进行脱水处理后排出清水。

1.3 工业污水处理系统控制形式

早期的控制系统多采用继电器——接触器控制系统，但随着电子技术的飞速发展，控制要求的不断提高，该类控制方法已不能满足现代工业污水处理系统的控制要求，因此已逐渐被淘汰，取而代之的是 DCS、现场总线控制、PLC 等控制方。

（1）DCS 系统。DCS 是集散控制系统的简称，又称为分布式计算机控制系统，是由计算机技术、信号处理技术、测量控制技术、通信网络技术等相互渗透形成的。由计算机和现场终端组成，通过网络将现场控制站、检测站和操作站、控制站等连接起来，完成分散控制和集中操作、管理的功能，主要是用于各类生产过程，可提高生产自动化水平和管理水平，其主要特点如下：采用分级分布式控制，减少了系统的信息传输量，使系统应用程序比较简单。实现了真正的分散控制，使系统的危险性分散，可靠性提高。扩展能力较强。软硬件资源丰富，可适应各种要求。实时性好，响应快。

（2）现场总线控制系统。现场总线控制系统是由 DCS 和 PLC 发展而来的，是基于现场总线的自动控制系统。该系统按照公开、规范的通信协议在智能设备之间，以及智能设备与计算机之间进行数据传输和交换，从而实现控制与管理一体化的自动控制系统，其优点：可以用计算机丰富的软件、硬件资源。响应快，实时性好。通信协议公开，不同产品可互连。

（3）PLC 系统。PLC 是可编程逻辑控制器的简称，用它作为处理系统的控制器，实现控制系统的功能要求，也可利用计算机作为其上位机，通过网络连接 PLC，对生产过程进行实时监控，其特点如下：编程方便，开发周期短，维护容易。通用性强，使用方便。控制功能强。模块化结构，扩展能力强。

1.4 工业污水处理系统的功能要求

工业污水处理系统的主要功能是完成对城市污水的净化的作用，将城市中排除的污水通过该系统处理后，输出符合国家标准的水质。长期以来，工业污水处理技术虽然经过了迅速发展，但仍滞后于城市发展的需要，工业污水处理率低、设备运转率低等极大地影响了城市发展。为实现工业污水处理技术的简

易、高效、低能耗的功能， 并且实现自动化的控制过程，采用 PLC 作为核心控制器是个较好的方案。

PLC 作为工业污水处理系统的控制系统使得设计过程变得更加简单，可实现的功能变得更多。与各类人机界面的通信可完成 PLC 控制系统的监视，同时使用户可通过操作界面功能控制 PLC 系统。由于 PLC 的 CPU 强大的网络通信能力，使得工业污水处理系统的数据传输与通信变得可能，并且也可实现其远程监控。

利用 PLC 作为控制器的工业污水处理系统主要涉及两个方面：一是信号输入；二是控制输出信号。

1.4.1 信号输入

工业污水处理系统信号输入检测方面主要涉及四类信号的监测，主要包括：按钮的输入检测、液位差的输入检测、液位高低的输入检测，以及曝气池中含氧量的输入检测。

（1）按钮输入检测。大多数为人工方式控制的输入检测，主要有自动按钮、手动按钮、格栅机启动按钮、清污机启动按钮、潜水泵启动按钮、潜水搅拌机启动按钮、污泥回流泵按钮、曝气机工频、变频按钮，以及变频加速减速按钮等。

（2）液位差输入检测。检测粗细格栅两侧液位差，用来控制清污机的启动与停止。

（3）液位高低输入检测。检测进水泵房和污泥回流泵房中液位的高低，用来控制潜水泵或污泥回流泵的启动和停止，以及投入运行的潜水泵的数量。

（4）含氧量输入检测。以上三种都为数字量输入，该输入为模拟量输入。曝气过程是工业污水处理系统中最重要的环节，为了保证微生物所需要的氧气，必须检测污水中的含氧量，并通过曝气机增加或减少其含氧量。通过将溶解氧仪设置在适当位置上，将检测值反馈到 PLC 中，通过运算输出控制曝气机的转速信号。当溶解氧值偏低时，降低了微生物分解的效果，延长了处理时间，严重时甚至导致处理失效，因此需要增加曝气机转速以增加供氧量；当溶解氧值偏高时，导致微生物过氧化，降低了其活性，也不利于处理，因此减小曝气机转速以减少供氧量，最终使污水中的溶解氧保持在一定的范围内。

1.4.2 控制输出信号

信号输出部分主要包括两个方面：一个是数字量输出，即各类设备的接触器；另外一个是模拟量输出，用来控制曝气机变频器。

（1）数字量输出。控制各类设备的启动和停止，包括：格栅机启停、清污机启停、潜水泵启停、潜水搅拌器启停、污泥回流泵等设备。

（2）模拟量输出通过 PLC 中 PID 运算后的数据，通过其功能模块输出控制信号，该控制信号输入到变频器的控制端子上，改变变频器的输出频率，从而控制曝气机的转速，最后达到控制污水中含氧量的要求。

2 硬件系统配置

氧化沟是工业污水处理系统中的重要环节，其结构的不同形成了不同的氧化方法例如，奥贝尔、卡鲁赛尔和一体化氧化沟法，对于不同的结构，其配套的设备也有较大的不同，所以其结构比较复杂，不同的结构对应不同的控制系统，因此需要根据不同的结构特点设计相应的控制系统。

2.1 主要组成部分

工业污水处理系统的结构比较复杂，设备较多，在氧化沟中其控制过程及原理大致相同，都是通过控制曝气机的转速来调节污水中的含氧量，其基本组成如图 3-1 所示。

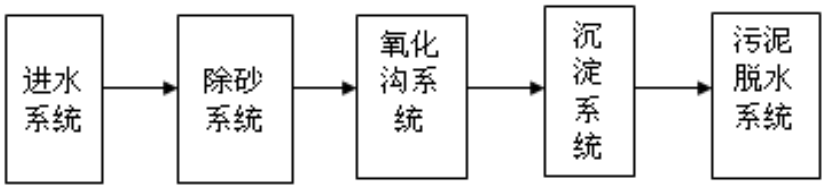


图 4-1 工业污水处理系统基本组成示意图

(1) 进水系统。进水系统主要有进水管道和进水泵房组成，进水管道主要由粗格栅机和清污机组成，进水泵房主要有两台潜水泵组成。进水管道的主要功能是将污水中的大块物体排除，其中的粗格栅是根据程序设定的时间进行间歇工作，而清污机的运行和停止是根据粗格栅两侧的液位差来决定的，当液位差超过某个值时，启动清污机；当液位差小于某个值时停止清污机的运行。进水泵房中的潜水泵运行及停止是通过安装在泵房内的液位传感器来决定的，当液位较低时只启动一台潜水泵，当液位较高时启动两台潜水泵，若液位持续升高时，则输出报警以示意有故障发生。

(2) 除砂系统。除砂系统主要由细格栅系统和沉砂池组成，细格栅系统是由细格栅机和转鼓清污机组成，沉砂池的主要设备是分离机。细格栅系统的主要功能是进一步净化污水中的颗粒物体，将污水中细小的沙粒滤除，其中的细格栅机是根据程序设定时间进行间歇工作，而转鼓清污机的运行和停止则根据细格栅两侧的液位差来决定，当液位差超过某个值时，启动清污机；当液位差小于某个值时停止清污机的运行，这和粗格栅系统的运行方式一致。沉砂池中分离机的运行和后续处理中的转碟曝气机的运行同步，即启动转碟曝气机的时候同时启动分离机，对沉砂池中的沙粒进行排除。

(3) 氧化沟系统。氧化沟系统由氧化沟和污泥回流系统构成，氧化沟是工业污水处理系统中最重要的环节，因此控制量较多，控制过程叫复杂，包括转

碟曝气机和潜水搅拌机，污水回流系统主要有污泥回流泵构成。氧化沟的功能是对污水进行生化处理，分解污水中的有害物质，使其达到一定的水质标准，其中是转碟曝气机是关键设备，在氧化沟中设置有溶解氧仪对污水中的含氧量进行检测，根据其反馈到PLC的值来控制曝气机变频器的运行，改变污水中溶解氧的含量。潜水搅拌机的作用是推进水流，同时使氧化沟的污水和活性污泥处于剧烈的搅拌状态，使他们充分混合接触。使活性污泥的生化反应更加充分，这样才能最大程度地分解污水中的有害成分。污水回流系统的污泥回流泵将剩余的污泥及使用过的污泥进行处理，该设备的运行与停止主要根据泵房内液位传感器的状态，当液位低于某个值时停止回流泵的运行；当液位持续高于某个高位时，回流泵停止运行同时输出报警信号；液位处于正常状态时，回流泵正常运行。

(4) 沉淀系统。沉淀系统主要设备为刮泥机，其功能是对进行氧化沟处理后的污水进行物理沉淀，将污泥和清水分离，刮泥机在整个系统启动后就开始持续运行。在该系统中用到一定化学药剂主要包括混凝剂、絮凝剂、复合碱等，主要用来调节改善混凝条件及絮凝体结构，利用高分子助凝剂的强烈吸附架桥作用，使细小松散的絮凝体变的粗大而紧密，容易发生沉降。

(5) 污泥脱水环节。污泥脱水系统主要包括离心式脱水机，其主要功能是对氧化池中处理过污水的活性污泥进行脱水处理，由于对污水进行处理后，活性污泥中有新的微生物及其他杂质，因此需要先对活性污泥添加一定量的药物，便于污泥脱水。离心式脱水机主要有聚合物泵、污泥机和切割机构成，以上设备按照顺序控制的方式启动，依次启动聚合物泵、污泥机和切割机，完成对污泥的脱水处理。

2.2 电气控制系统

电气控制系统主要包括操作面板、显示面板、电气控制柜等单元。由于在该系统中需要检测较多的数字输入量，并且还要检测模拟量的输入，根据设定的程序进行数据处理后，输出控制信号，因此系统的控制逻辑与时序就需要严格照检测信号的输入进行控制。

(1) 操作面板。操作面板主要包括手动、自动、各类设备的启动按钮等。

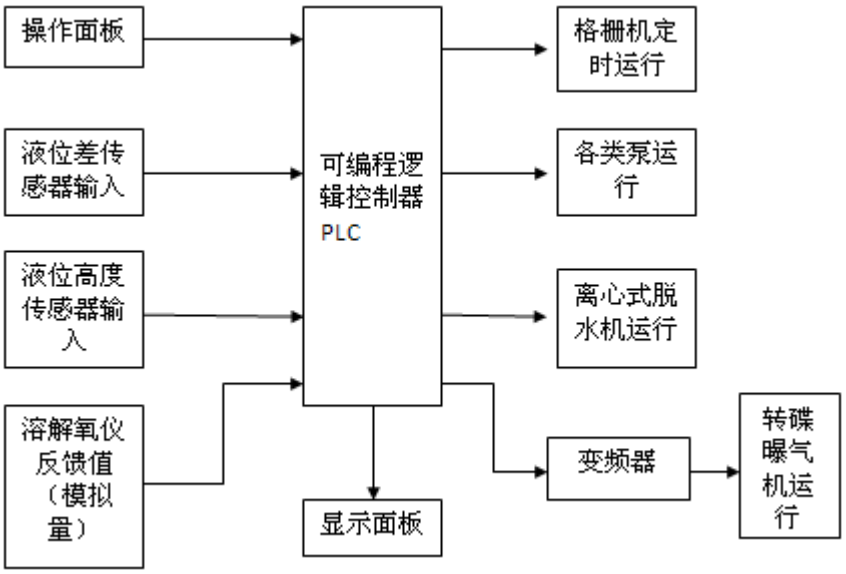
(2) 显示面板。显示面板由于要显示较多的数据，因此一般采用触摸屏或者人机界面。

(3) 电气控制柜。电气控制柜是电气控制的核心设备，主要包括变频器、各类传感器的输入信号、PLC及其扩展模块等。

2.3 工业污水处理系统的工作原理

2.3.1 控制系统总体框图

工业污水处理系统的电气控制系统总框图如图 4-2 所示，PLC 为核心控制器，通过检测操作面板按钮的输入、各类传感器的输入，以及相关模拟量的输入，完成相关设备的运行、停止和调速控制。



3-2 电气控制系统框图

2.3.2 工作过程

在手动状态下，各类设备的控制是根据操作面板上的按钮输入来控制，无逻辑控制，即可不根据传感器的状态进行控制。在自动方式下进行闭环控制，系统根据检测到外部传感器的状态对设备进行启停控制，其工作过程如下。

（1）接通电源，启动自动控制方式，启动潜水搅拌器和刮泥机。

（2）运行粗、细格栅机，进行间歇运行，即运行一段时间然后停止一段时间，循环进行。

（3）根据反馈回来的液位差状态控制清污机的运行与停止。

（4）进水泵房中的潜水泵根据液面高低进行运行、停止及运行数量的控制。

（5）转碟曝气机根据溶解氧仪反馈的模拟量经 PLC 运算后进行控制，同时控制分离机的运行与停止。

（6）污泥回流泵的运行与停止根据液面的高低进行控制。

(7）在污泥脱水系统中，离心式脱水机的启动采用顺序控制方式，依次启动其设备。

2.3.3 工业污水处理系统主电路设计

图 3-3 为工业污水处理系统的主电路图的部分图。三台电机分别为潜水泵电机（M1）、清污机电机（M2）、转碟曝气机电机（M3）。接触器 KM3、KM2、KM6 分别控制 M1、M2、M3 的工频运行；接触器 KM5、KM9 分别控制 M1、M3 的变频运行；FR1、FR2、FR3 分别为三台电机过载保护用的热继电器；QF1、主电路的空气开关；FU1 为主电路的熔断器。选用的 MM430 变频器是用来控制电机 M1、M3 变频运行的。

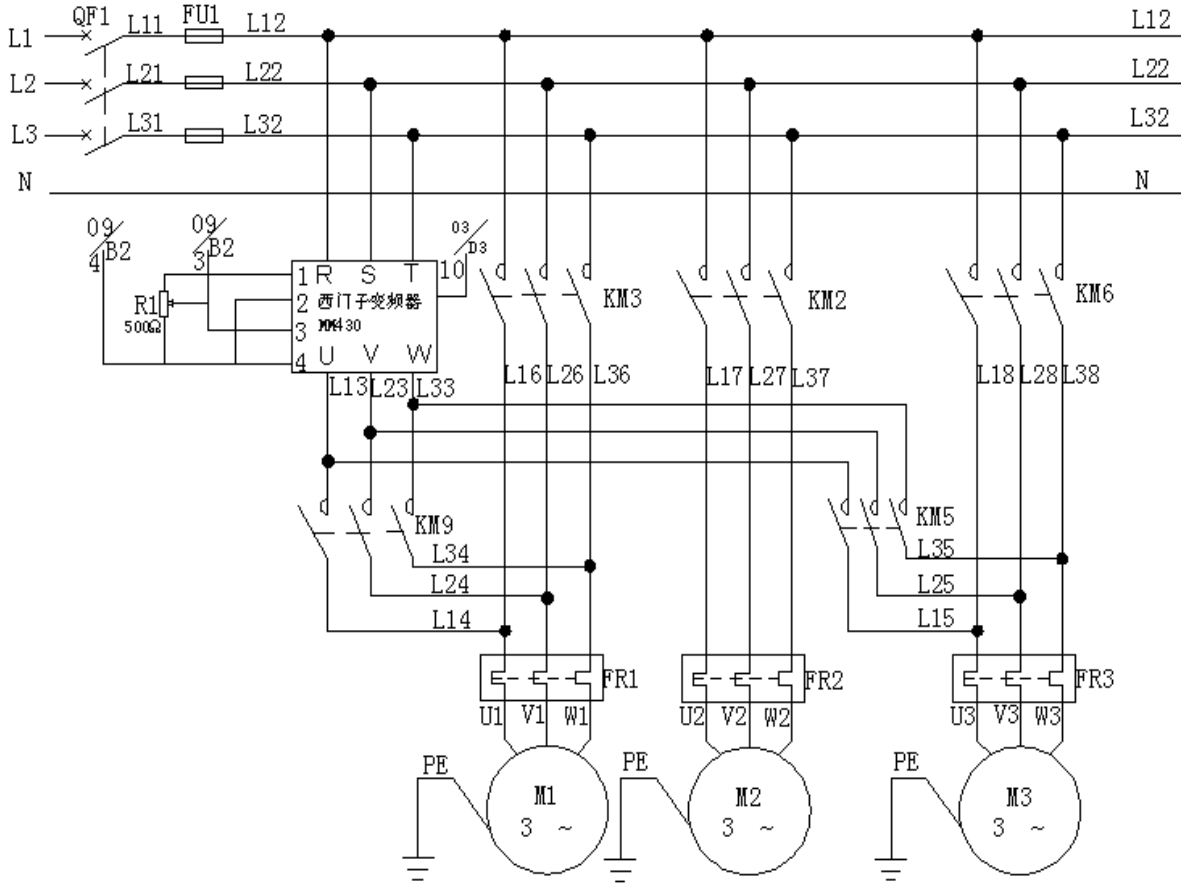


图 3-3 工业污水处理系统部分主电路图

2.4 PLC 选型

根据工业污水处理系统的电气控制系统的功能要求，以及其复杂程度，从经济性、可靠性等方面来考虑，选择西门子 S7—200 系列 PLC 作为工业污水处理系统的电气控制系统的控制主机。由于工业污水处理电气控制系统涉及较多的输入输出端口，其控制过程相对复杂，因此采用 CPU226 作为该控制系统的主机。

CPU226 在工业污水处理系统中使用的数字量输入点和输出点都比较多，因此除了 PLC 主机自带的 I/O 外，还需要扩展一定数量的 I/O 扩展模块。在此采用 EM223 输入/输出混合扩展模块。8 点 DC 输入 8 点输出型。正好可以满足控制系统的 I/O 需求。

在该系统中，还需要采集模拟量并利用模拟量控制的功能要求，因此需要在扩展一个模拟量输入输出扩展模块。西门子公司专门为 S7—200 系列 PLC 配置了模拟量输入输出模块 EM235，该模块具有较高的分辨率和较强的输出驱动能力，可满足控制系统的功能要求。

2.5 PLC 的 I/O 资源配置

根据系统的功能要求，对 PLC 的 I/O 进行配置，具体分配如下表。

2.5.1 数字量输入部分

表 3-4　数字输入量地址分配

输入地址	输入设备	输入地址	输入设备
I0.0	急停	I1.4	手动刮泥机启动
I0.1	手动方式	I1.5	手动污泥回流泵启动
I0.2	自动方式	I1.6	手动分离式脱水机启动
I0.3	自动启动确认	I1.7	手动污泥泵启动
I0.4	手动粗格栅机启动	I2.0	手动转碟曝气机加速
I0.5	手动清污机启动	I2.1	手动转碟曝气机减少
I0.6	手动潜水泵启动	I2.2	粗格栅液位差计
I0.7	手动细格栅机启动	I2.3	细格栅液位差计
I1.0	手动分离机启动	I2.4	进水泵房液面高位传感器

I1.1	手动转碟曝气机工频启动	I2.5	进水泵房液面低位传感器
I1.2	手动转碟曝气机变频启动	I2.6	污泥回流泵液面高位传感器
I1.3	手动潜水搅拌机启动	I2.7	污泥回流泵液面低位传感器

2.5.2 数字量输出部分

表 3-5 数字输出量地址分配

输出地址	输出设备	输出地址	输出设备
Q0.0	粗格栅机接触器	Q0.7	潜水搅拌机接触器
Q0.1	清污机接触器	Q1.0	刮泥机接触器
Q0.2	潜水泵接触器	Q1.1	污泥回流泵接触器
Q0.3	细格栅机接触器	Q1.2	离心式脱水机接触器
Q0.4	分离机接触器	Q1.3	潜水泵报警
Q0.5	转碟曝气机工频接触器	Q1.4	污泥回流泵报警
Q0.6	转碟曝气机变频接触器		

2.5.3 模拟量输入部分

由于需要采集一个溶氧仪所反馈的数据，因此扩展了一个模拟量输入输出模块，具体 I/O 分配，如下表 3-6 所示。

表 3-6 模拟量输入地址分配

输入地址	输入设备
AIW0	溶解氧仪

2.5.4 模拟量输出部分

在此控制系统中需要将采集回来的模拟量进行数据处理，然后，通过模拟输出口对变频器进行控制，进行控制其他设备的运行，如下表 3-7 所示。

表 3-7 模拟量输出地址分配

输出地址	输出设备
AQW0	经 PID 运算输出

根据控制系统的功能要求，设计出工业污水处理控制系统的硬件连线图如图 3-8 所示，此控制面板上的手动控制部分主要在调试系统时使用，调试完成后基本处于闲置状态。

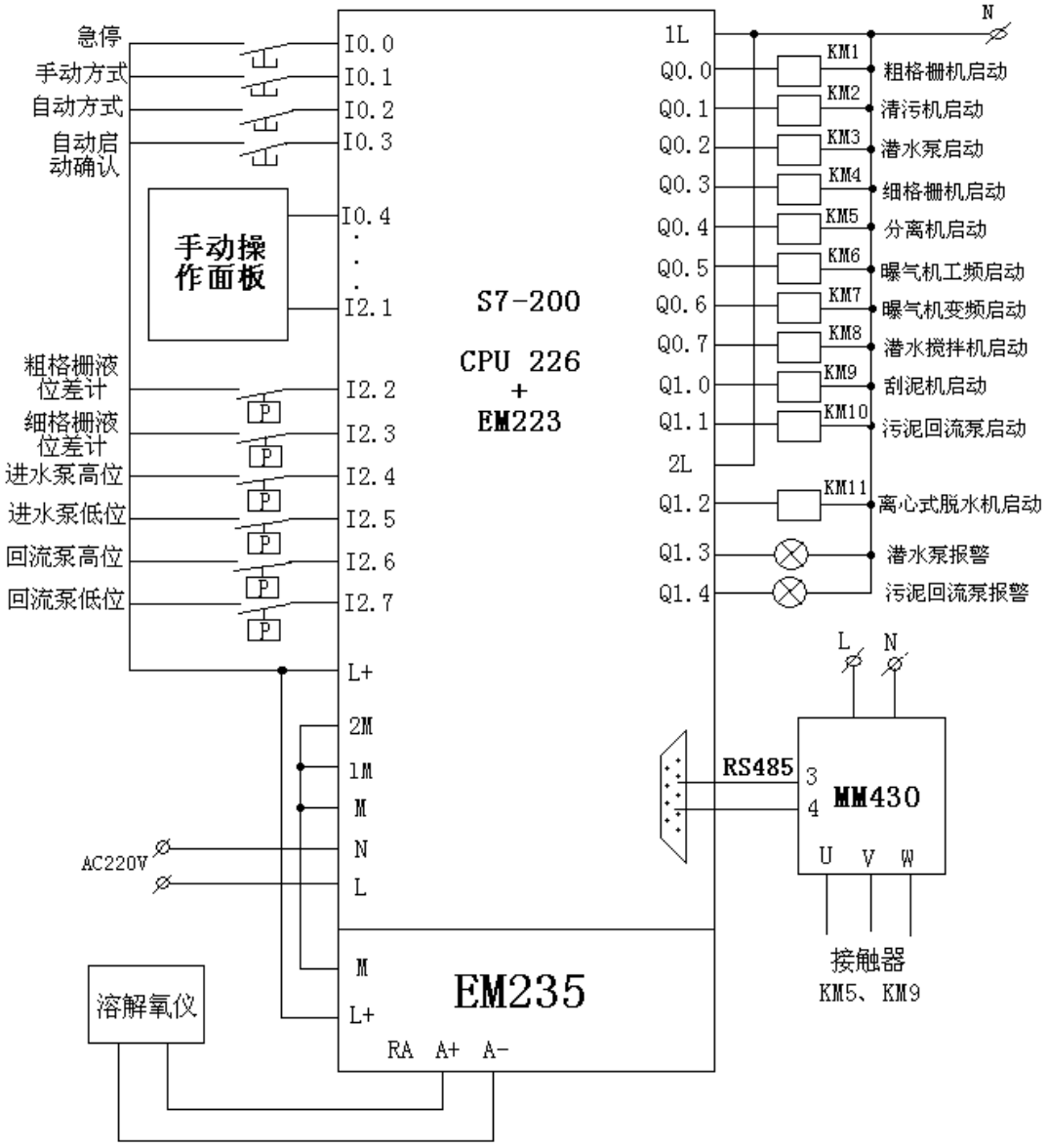


图 3-8 工业污水处理系统 PLC 硬件接线图

2.6 其他资源配置

要完成系统的控制功能除了需要 PLC 主机及其扩展模块之外，还需要各种传感器、接触器和变频器等仪器设备。

2.6.1 接触器选型

在控制系统中，所有设备是根据控制面板上的按钮情况或者根据传感器的反馈值进行动作的，因此需要 PLC 根据当前的工作情况，以及按钮的情况来控

制所有设备的启停，在此用到了大量接触器：如格栅机接触器、清污机接触器、潜水泵接触器、分离机接触器、转碟曝气机接触器、潜水搅拌机接触器、刮泥机接触器等。为此该系统选用施耐德 LC1-D0901M5C 交流接触，其额定电压 220V,额定电流 9A。其特点有：高标准：符合 IEC60947-4-1 和 GB14048.4 标准。长寿命：机械寿命高达 2000 万次；电寿命高达 200 万次。强适应性："TH"防护处理，可以在湿热的环境中使用。宽电压：线圈控制电压在 70%-120%Uc 之间波动，不影响产品正常工作。强通用性：具有 50Hz-60Hz 通用线圈，可以全世界通用。模块化：产品本体上可以附加辅助触头，通电/断电延时触头，机械闭锁等模块。也可以很方便地组合成可逆接触器、星-三角起动器。

2.6.2 变频器简介

变频器的功能是将频率固定的(通常为 50Hz)的交流电变换成频率连续可调的三相交流电源。变频器的输入端接至频率固定的三相交流电，输出端输出的是频率在一定范围内连续可调的三相交流电。

变频器主要分为间接变频和直接变频两大类，而间接变频又根据中间直流环节的主要储能元件的不同可分为电压型和电流型。电压型变频器主回路由相控整流器，中间直流环节和逆变器三个部分组成。

相控整流器将交流电压整流为可控的直流电压，经滤波由电容 C_d 输出直流电压 V_d，逆变器将直流 U_d 变换成频率可调的交流电源供给电机进行变频调速。由于中间直流环节是 C_d 低阻抗输出相当于是恒压源，故称电压型。

电流型交-直-交变频器与电压型变频器的差别仅在于中间直流环节中的储能元件用的是电感而不是电容。由于中间直流环节是高阻抗输出相当于电流源，故称电流型。

2.6.3 变频与变压(VVVF)原理

当在实际利用变频器调节电机转速的过程中，当频率 f 下降时，定子绕组的反电动势 E 有所下降，定子电流增大，但是转子侧的负载并未增加，故转子段电流不变，根据电流平衡方程可知，励磁电流比增大，因而磁通 Φ_m 增大。Φ_m 增加将导致铁芯的饱和，进而引起励磁电流波形的畸变，这是不希望的结果，因此希望 Φ_m 可以保持基本不变。要实现这个目标，只要在变频过程中使变频器输出电压 Ul/f=const，则磁通 Φ_m 可保持基本不变。因此变频的同时也要变压，常用 VVVF 表示。

VVVF 实施的基本方法包括：脉幅调制(PAM)和脉宽调制(PWM)。

（1）脉幅调制(PAM)

实现方法就是调节频率的同时，也改变直流电压的振幅值。PAM 需要同时调节两个部分：整流部分和逆变部分，两者之间还必须满足一定的关系，故控制电路比较复杂，因此比较少用。

（2）脉宽调制(PWM)

实现方法就是在每半个周期内，把输出电压的波形分割成若干个脉冲波，每个脉冲的宽度为 t1，每个脉冲间的间隔宽度为 t2，则脉冲的占空比 Y =t1/(t2+t1)。这时电压的平均值和占空比成正比，所以在调节频率时，不改变直流电压的幅值，而是改变输出电压脉冲的占空比，同样可以实现变频也变压的效果。PWM 只需控制逆变电路便可实现，与 PAM 相比电路简化了许多，因此在变频调速中比较常用。

2.6.4 变频调速的基本原理

（1）异步电动机的等效变换

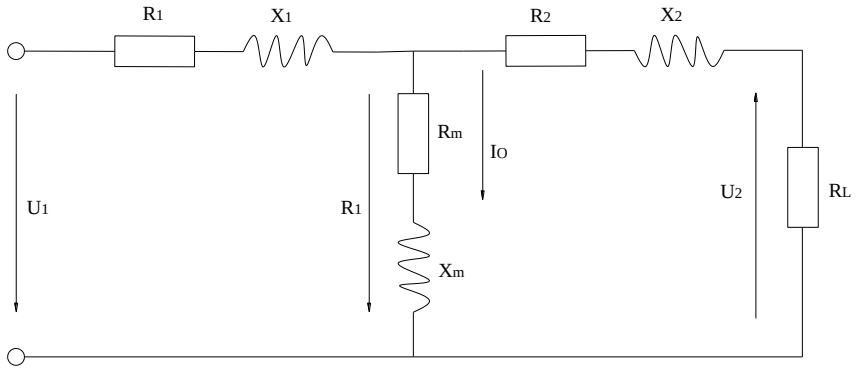


图 3-9 异步电动机的等效变换

异步电动机的电磁转矩公式：

$$T_m = \frac{3psr_2U_1^2}{2\pi f_1[(sr_1+r_2)^2+s^2(x_1+x_2)^2]} \qquad (4.1)$$

其中：P 为旋转磁场的磁极对数，S 为转差率。

（2）变频调速的原理

异步电动机的电磁转矩是由定子主磁通和转子电流相互作用产生。异步电动机的定子主磁通是以一定的转速旋转，旋转磁场实际是三个交变磁场合成的结果。旋转磁场的转速 n_0=60f/p，其中 f 是电流频率，P 是旋转磁场的磁极对数。产生转子电流的必要条件是转子绕组切割定子磁场的磁力线。因此转子的转速 n_1必须低于定子磁场的转速 n_0（即所谓的“异步”）。两者之间的差异可由转差率表示，转差率 s=(n_0- n_1)/n_0根据 n_0=60f/p 可知，当频率 f 连续可调

时，电动机的同步转速 n_0 也连续可调，而异步电机的转子转速 n_1，总是比同步转速略低一点，所以当 n_1 连续可调时，n_1 也是连续可调。

设变频后的频率为 f_x，电压为 U_x，电动机的额定相电压和频率为 U_N 和 f_N，则有：

$$f_x = k_f \ f_N \tag{4.2}$$

$$U_x = k_u U_N \tag{4.3}$$

其中 k_f 为频率可调比，k_u 为电压可调比。将上述两个公式代入异步电动机的电磁转矩公式可得变频后的转矩公式：

$$T_m = \frac{3psr_2k_u^2U_1^2}{2\pi k_f f_N[(s_x r_1 + r_2)^2 + s_x{}^2 k_f (x_1 + x_2)^2]} \tag{4.4}$$

其中：s_x 为频率为 f_x 时的转差率。

在变频器正常工作情况下，即 $k_f = k_m < 1$ 时的机械特性如图 3-10 所示。

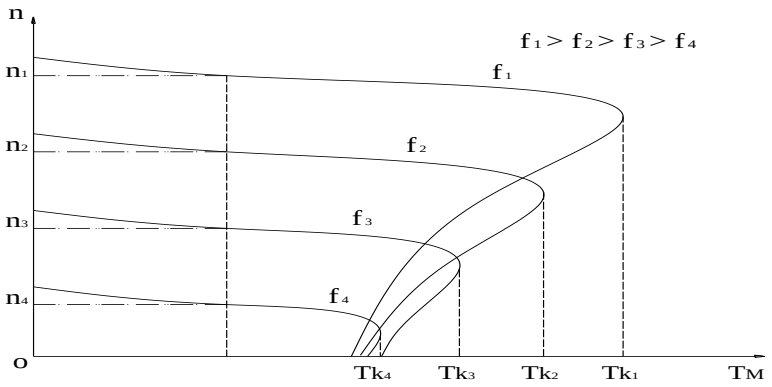


图 3-10$k_f = k_m < 1$ 时的机械特性

由图 4-2 可知随着 f 的下降，临界转矩 T_{kx} 逐渐减少，电动机的带负载能力也随之下降。这无疑给变频调速带来了瑕点。而针对这种想象一般要采取电压补偿法。新系列的变频器一般都提供了设置自动转矩补偿功能。变频器可以根据电流的大小自动地决定补偿的程度。

2.6.5 变频器选型

该系统选用的变频器是西门子 MM430 变频器，具有多个继电器输出，具有多个模拟量输出（0~20 mA），2 个模拟输入：AIN1：0~10 V， 0~20 mA 和 -10 至+10 V； AIN2：0~10 V， 0~20 mA，6 个带隔离的数字输入，并可切换为 NPN/PNP 接线。它是一种风机水泵负载专用变频器，能适用于各种变速驱动系统，尤其是适用于工业部门的水泵和风机。该型变频器，具有能源利用率高的特点，优化了部分结构与功能，便于工作人员进行操作，实现功能强。它们具

有很高的运行可靠性和功能的多样性。其脉冲宽度调制的开关频率是可选的，因而降低了电动机运行的噪声。全面而完善的保护功能为变频器和电动机提供了良好的保护。

2.6.6 变频器参数设置

该工业污水处理系统中的 MM430 变频器是一种风机水泵负载专用变频器，能适用于各种变速驱动系统，尤其适合用于工业部门的水泵和风机。该变频器，具有能源利用率高的特点，优化了部分结构与功能，便于工作人员进行操作，实现其控制功能。在此控制系统中，需要对变频器进行通信控制，因此需先对变频器的参数进行设置，主要对一下几个参数进行调整，如表 3-11 所示。

表 3-11 变频器参数设置表

参数号	参数值	说明
P0005	21	显示实际频率
P0700	2	由端子排输入
P1000	2	模拟输入
P1300	2	可用于可变转矩负载
P2010	6	9600baud
P2011	1	USS 地址
P0300	根据具体电动机设置	电动机类型
P0304	根据具体电动机设置	电动机额定电压
P0305	根据具体电动机设置	电动机额定电流
P0310	根据具体电动机设置	电动机额定频率
P0311	根据具体电动机设置	电动机额定转速

2.6.7 电动机的选型

在该工业污水处理系统中需要用到许多电机，Y2 系列三相异步电机是专为欧洲市场设计的三相异步电动机、电机出线盒置于电机机壳顶部、整机结构紧凑、外形美观大方，安装尺寸符合 IEC 标准，具有高效、节能、起动转矩大，使用维护方便等特点。主要性能有：绝缘等级：F；防护等级：IP54 或 IP55；电压：380V 或 415V；频率：50Hz 或 60Hz；冷却方式：IC411。

Y2 系列电动机有两种设计，一种是适用于一般机械配套和出口需要，在轻载时有较高效率，在实际运行中有较佳节能效果，且具有较高堵转转矩，此设计称为 Y2-Y 系列。中心高 63～355mm，功率从 0.12~315kW。电动机符合 JB/T8680.1-1998 Y2 系列(1P54)三相异步电动机（机座号 63～355）技术条

件。 型号含义：如 Y2-200L1-2Y：“Y2”表示异步电动机第二次改型设计，“200”表示中心高，“L”表示机座长短号，“1”表示铁心长度序号，“2”表示极数，“Y”表示第一种设计（可省略）。 第 2 种设计是满载时有较高效率，更适用于长期运行和负载率较高的使用场合，如水泵、风机配套，此设计称为 Y2-E 系列，中心高 80～280mm，功率从 0.55～90kW。电动机符合 JB/T8680.2-1998 Y2 系列(1P54)三相异步电动机（机座号 80～280）技术条件。 型号含义：如 Y2-200L2-6E：“Y2”表示异步电动机第二次改型设计，“200”表示中心高，“L”表示机座长短号，“2”表示铁心长度序号，“6”表示极数，“E”表示第二种设计。

根据上述分析，选择 Y2-200L2-6E 即可满足要求。

2.6.8 液位差计

对格栅机的清污机进行控制，需要监测格栅机两侧的液面差，在该系统中利用液位差计，该系统选用的超声波液位差计型号：XL60-YI4000。粗格栅、细格栅各安装了一台超声波液位差计，通过格栅机前后的液位差来反映格栅机阻塞程度，并传输到 PLC 控制器，进行分析计算。当液位差超过预设值后，系统控制清污机运行，清除大颗粒的污染物质，保障污水流动畅通；在液位差未超过设定值时，清污机处于停止状态，这样就可以大大减少设备损耗。

超声波液位差计精度较高，且有多种量程可供选择，其输出信号有一下三种：可编程继电器输出、高精度 4～20mA 模拟信号输出、RS-485 通信口输出，可根据需要的信号选择输出，作为 PLC 的输入信号。该系统选用的超声波液位差计型号：XL60-YI4000。工作温度： -20~60℃ ，工作电压：AC220V 或 DC24V，工作压力：常压，差值精度：±3mm 或 0.3%FS（取其较大者），重复精度：1‰，分辨率：1mm ，方 向 角：4° / 6° （全角），工作频率：13KHz~40KHz（因型号规格而不同），信号输出：RS-485、Modbus、标准的 4-20mA 电流信号和多路开关量输出。采用先进的嵌入式微处理技术，使其测控仪器达到了高度的数字化和智能化。它集超声波传感器、温度补偿电路、运算主机为一体的非接触式液位差测量仪器。超声波液位差计具有精度高，寿命长，稳定可靠，安装维护方便等特点。

2.6.9 溶解氧仪

溶解氧（DO）是指溶解在水中的氧气，它在河流、湖泊、海洋中都大量的存在，是检测水质和环境污染程度的主要指标。用传统的化学方法（如碘量滴定法）测定溶解液中的溶解氧是很费时的，且成本很高，不能连续测量，而用

滴汞电极（DME）的极谱分析最为简单。但是 DME 的一些特殊性又影响了它在现场工作中的应用。金与铂电极能克服 DME 遇到的某些困难，但在一些生物介质中就失效。为了消除上述困难，膜覆盖氧电极诞生了，它最初是由 Clark 在 1956 年提出的，故而得名 Clark 氧电极。这种电极利用膜可渗透氧但不能渗透水和有机及无机溶质的原理，保护电极不与这类还原物质紧密接触，从而使传感器的灵敏度不受影响。当前用来测量水中溶解氧浓度最常用的仪器就是电化学传感器（例如 Clark 传感器）。它是根据电池原理而设计的，本身就是个电池，不需要外加电压，可通过测量电解电流来测量溶解氧浓度。测量时将其放入待测溶液，水质溶解氧透过透氧膜，溶解于膜与电极之间的电解液薄层中，当两输出端接上负载电路时，氧在阴极表面上发生还原反应。对结构和透氧膜确定的传感器而言，在一定温度下，氧传感器的电流只与试样中的氧分压成正比。因此，测定电流即可知氧浓度。选用 PH/溶解氧测量仪型号:SA29-MP525。测量范围：pH：（-1.999~19.999）pH mV：±1999.9 mV，溶解氧：（0~40.00）mg/L(ppm)；（0~200.0）% 温度：（-10~110）℃精确度：pH：±0.002 pH mV：±0.03% FS 溶解氧：±0.10 mg/L 温度：±0.4 ℃，自动温度补偿：pH：（0~100）℃ 溶解氧：（0~45）℃，其他参数：数据储存：900 组，通讯接口：RS232，电源：DC9V/300mA。其特点是高精度的 pH+溶解氧双参数仪表。配用 2503 型 pH 电极，可用于离子强度较低、浑浊液体和胶体溶液的测量。可设定高纯水和加氨纯水二种特殊的 pH 测量模式，适合电力、石化等行业使用。新型的溶氧电极有盐度测试功能，自动实现盐度补偿和温度补偿；仪器内置气压传感器，自动实现气压补偿。极谱型溶氧电极，极化时间短，响应快，测量准确。

3 软件系统设计

采用西门子公司为 S7—200 系列 PLC 开发的 STEP7—Micro/WIN32 作为编程软件，上面介绍了工业污水处理控制系统的结构、工作原理和电气控制部分的结构，硬件结构的总体设计基本完成后，就要开始软件部分的设计，根据控制系统的控制要求和硬件部分的设计情况及 PLC 控制系统 I/O 的分配情况，进行软件编程设计。在软件的设计中，首先按照需要实现的功能要求做出流程框图，其次按照不同功能编写不同功能模块，这样写出的程序条例清晰，既方便编写，也便于调试。

3.1 总体流程设计

根据系统的控制要求，控制过程可以分为手动控制功能和自动运行功能。在手动控制模式下，每个设备可以单独运行，以测试设备的性能，如图 4-1 所示。

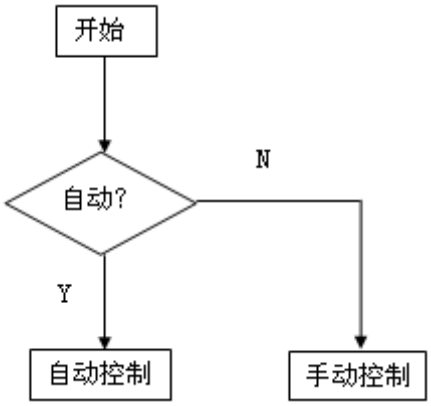


图 4-1 模式选择流程图

3.1.1 手动模式

在手动模式下，可单独调试每个设备的运行，如图 5-2 所示。在此模式下，可以通过按钮对格栅机、清污机、转碟曝气机、刮泥机，以及各类泵进行控制，对于转碟曝气机的控制，可以通过按钮增大或减小变频器的频率来改变其速度，以检测调试性能。

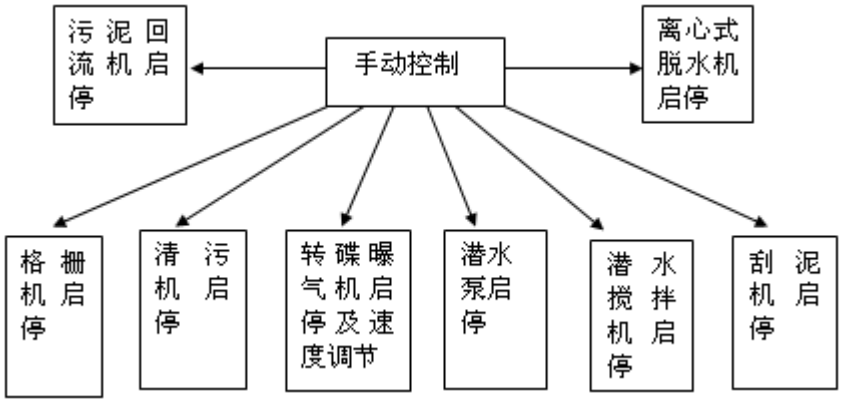


图 4-2 手动操作模式流程图

3.1.2 自动模式

处于自动方式时，系统上电后，按下自动启动确认后系统运行，系统开始工作，其工作过程包括以下几个方面。

（1）系统上电后，按下自动启动确认按钮，启动潜水搅拌器和刮泥机。

（2）启动粗格栅系统。

（3）启动潜水泵。

（4）启动细格栅系统。

（5）启动曝气沉砂系统。

（6）启动污泥回流系统。

（7）启动污泥脱水系统。

以上工作过程并不是顺序控制方式，而是按照 PLC 检测到传感器状态进行启动如图 4-3 所示。

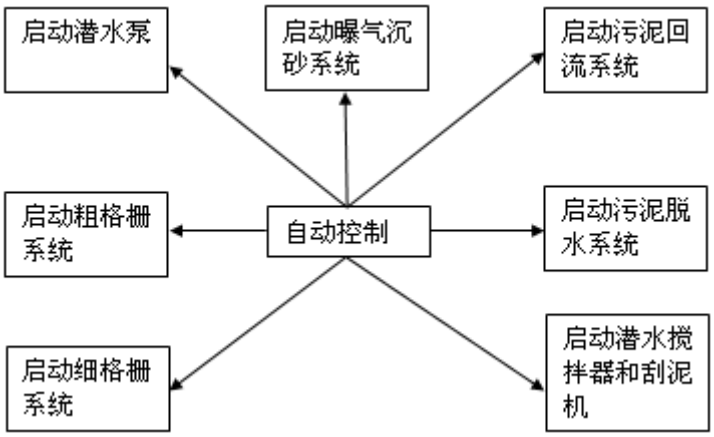


图 4-3　自动操作模式流程图

在自动控制模式流程图中，调用了各个控制系统的程序，主要包括粗格栅系统程序、潜水泵程序、细格栅系统程序、曝气沉砂系统程序、污泥回流泵系统程序。以及污泥脱水系统程序，以下将分别介绍各个子程序的工作过程。

粗格栅系统程序主要控制粗格栅机和清污机的运行，其工作过程包括以下几个方面。

（1）自动过程开始启动粗格栅机，定时 20min。

（2）定时到，停止运行粗格栅机 2h。

（3）2h 定时到，运行粗格栅机 20min，循环进行。

（4）同时检查液面差，若超过设定值则启动清污机。

（5）液面差值低于设定值，停止清污机运行。

粗格栅系统工作流程图如图 4-4 所示。

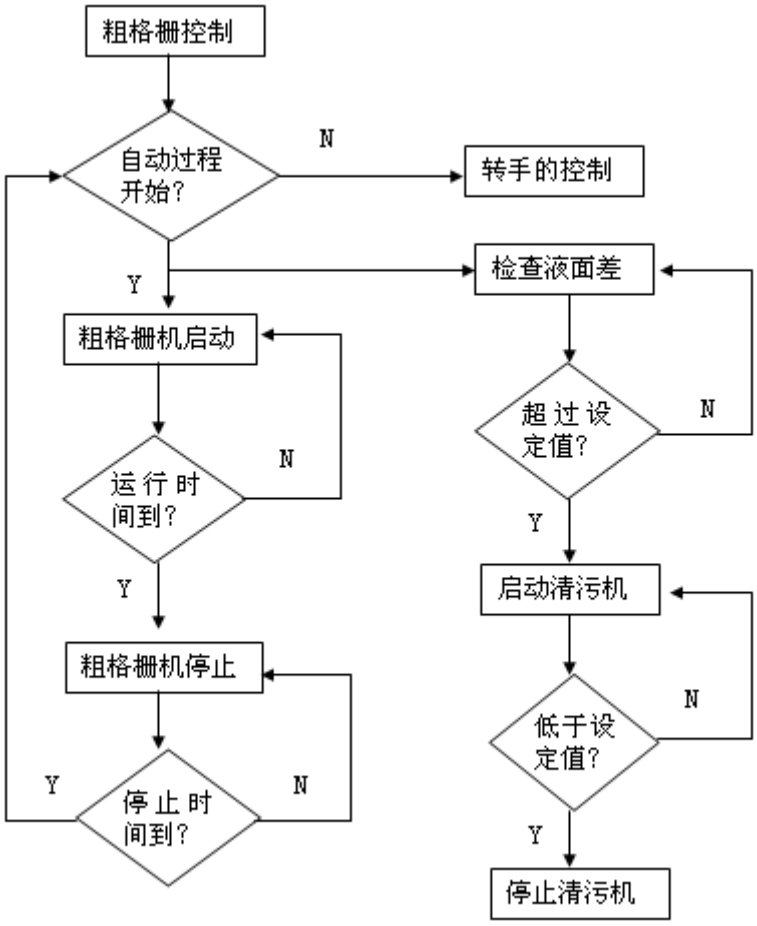


图 4-4 粗格栅系统工作流程图

潜水泵程序主要控制潜水泵的运行和停止，其工作过程包括以下几个方面：

（1）自动过程开始启动潜水泵。

（2）检测液面高度，低于最低位传感器时，开始定时防止误判。

（3）定时到后，若仍低于最低位传感器，则停止潜水泵运行，否则潜水泵继续运行。

（4）检测液面处于中位和高位传感器之间时，开始定时防止误判。

（5）定时到后，若液面仍持续处于高位传感器，则输出报警信号。

潜水泵工作流程图如图 4-5 所示。

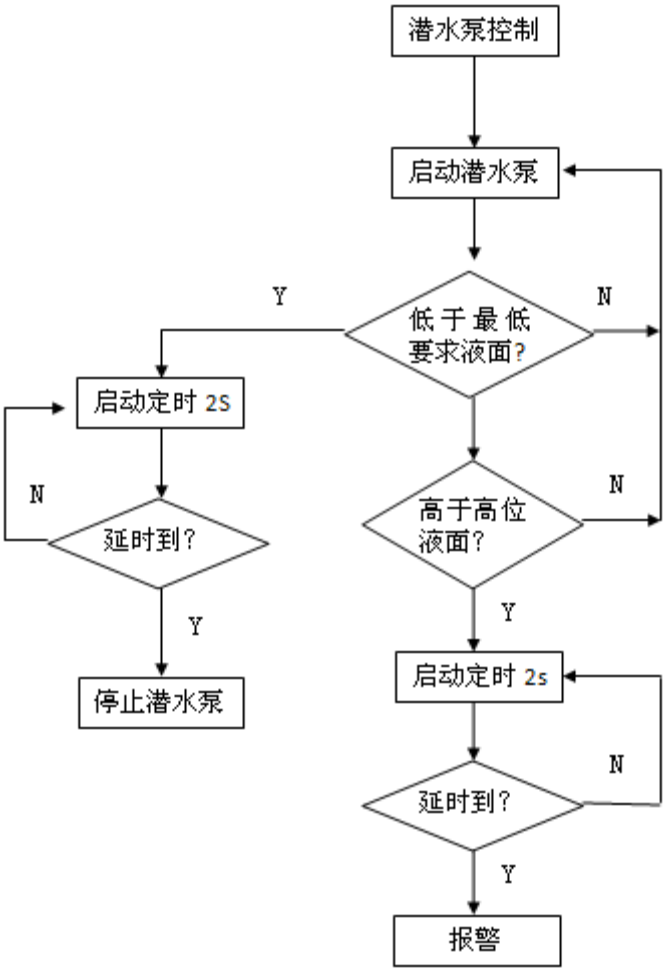


图 4-5 潜水泵工作流程图

细格栅系统程序与粗格栅系统程序相似，主要控制细格栅机和转鼓清污机的运行，其工作过程包括以下几个方面：

（1）自动过程开始，启动细格栅机，定时 20min。

（2）定时到，停止运行细格栅机 2h。

（3）2h 定时到，运行细格栅机 20min，循环进行。

（4）同时检测液面差，若超过设定值则启动转鼓清污机。

（5）液面差低于设定值，停止转鼓清污机运行。

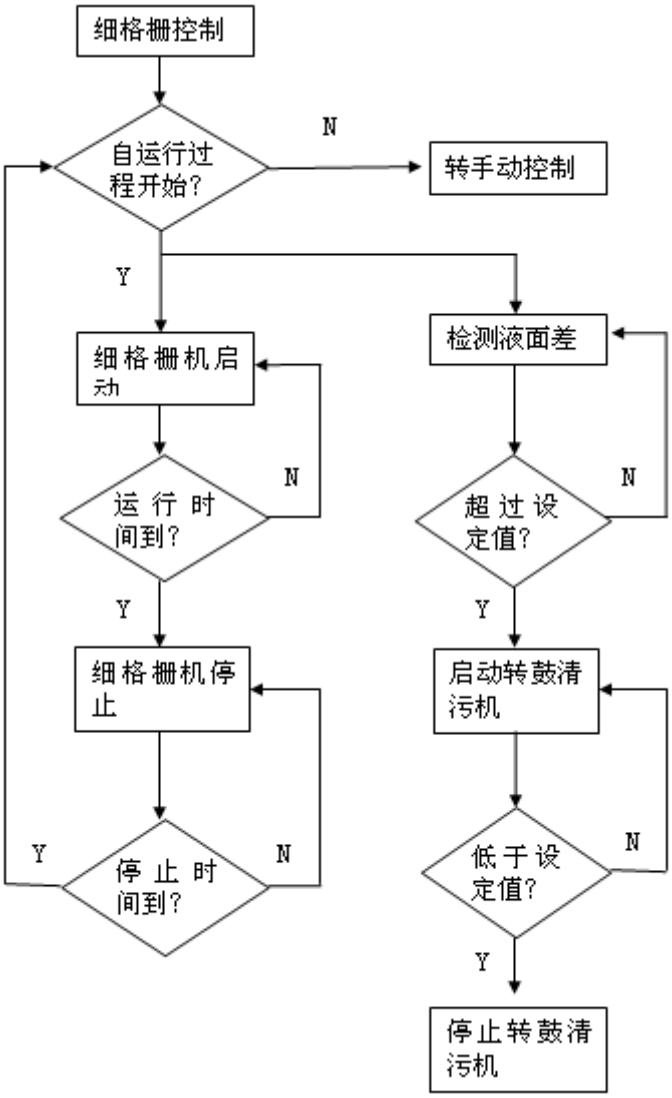
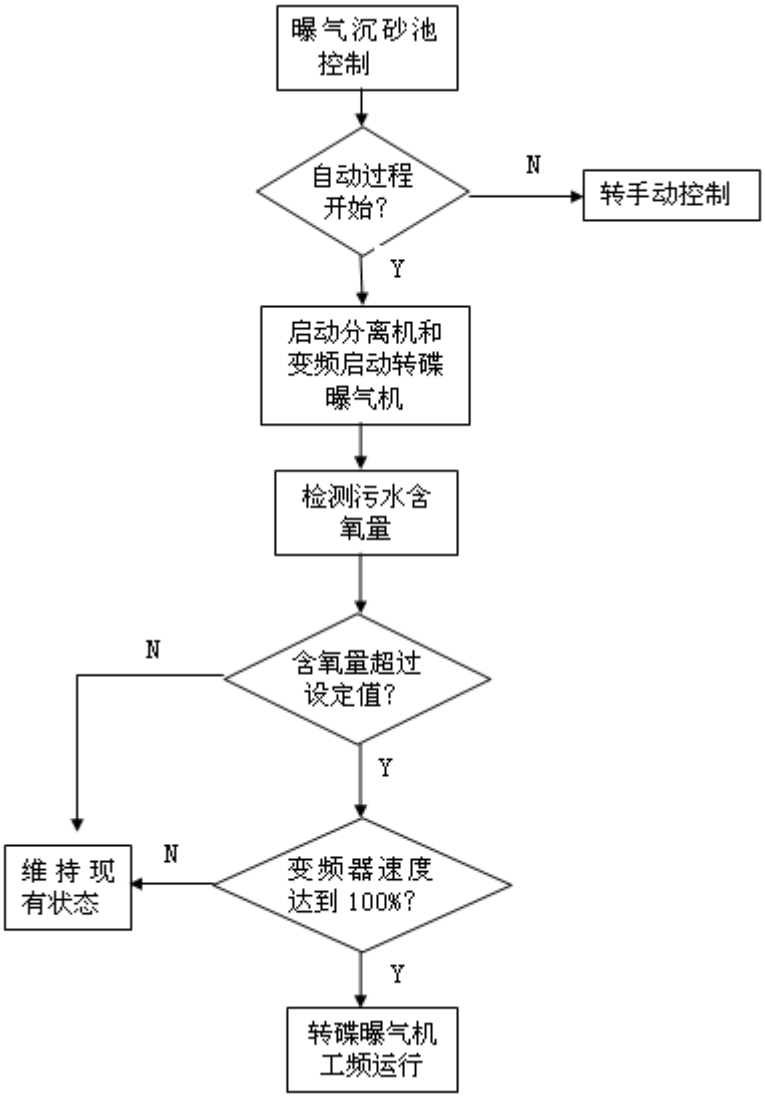


图 4-6 细格栅系统工作流程图

曝气沉砂系统工作流程图如图 4-7 所示。



4-7 曝气沉砂系统工作流程图

污泥回流系统程序主要控制污泥回流泵的运行和停止，其工作过程包括以下几个方面。

（1）自动过程开始首先检测液面高低，若低于最低位传感器，启动定时。

（2）定时到，若液面仍低于最低位传感器则停止回流泵运行。

（3）若液面处于最高位和最低位之间，启动污泥回流泵。

（4）若液面高于最高位传感器时，启动定时。

（5）定时到，若液面仍处于最高位传感器时，输出报警信号。

污泥回流系统工作流程图如图 4-8 所示。

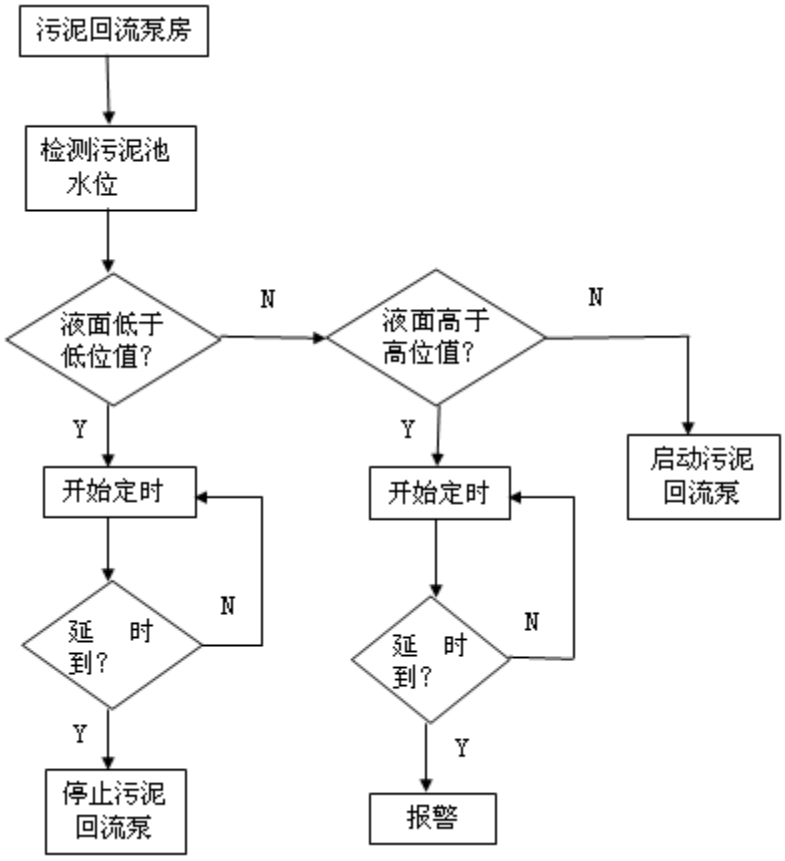


图 4-8 污泥回流系统工作流程图

污泥脱水系统程序主要控制离心式脱水机，启动定时。

（1）自动过程开始首先启动离心式脱水机，启动定时。

（2）定时到，启动聚合物泵，启动定时。

（3）定时到，启动污泥泵和切割机。

污泥脱水系统工作流程图如图 4-9 所示。

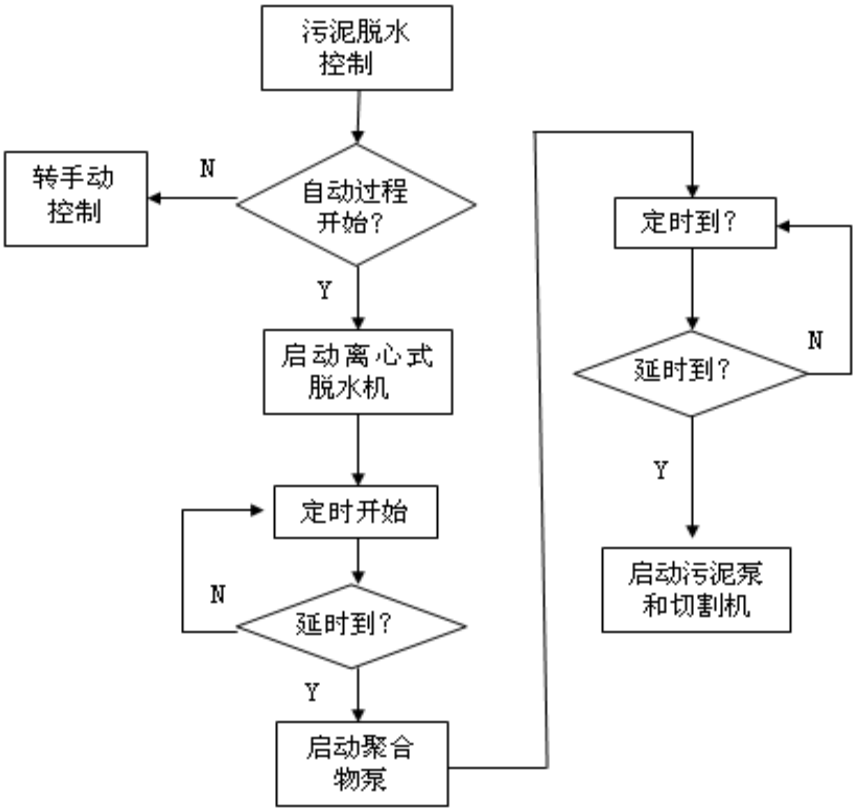


图 4-9 污泥脱水系统工作流程图

在设计程序过程中，会用到许多中间继电器、寄存器、定时器等软元件，为了便于编程及修改，在程序编写前应先列出可能用到的软元件，如表 4-10 所示。

表 4-10 软元件设置

元件	意义	内容	备注
M0.0	系统停止标志		On 有效
M0.1	手动方式标志		On 有效
M0.2	自动方式标志		On 有效
M0.3	自动方式启动标志		On 有效
M1.1	清污机运行标志		On 有效
M2.3	聚合物泵运行标志		On 有效
M2.4	污泥泵运行标志		On 有效
M2.5	切割机运行标志		On 有效
M2.6	粗格栅机停止标志		On 有效
M2.7	粗格栅机定时脉冲计数		On 有效
M3.0	进水泵房液面低于最低位		On 有效

M3.2	细格栅机停止标志		On 有效
M3.3	细格栅机定时脉冲计数		On 有效
M3.4	转碟曝气机变频转工频运行标志		On 有效
M3.7	转碟曝气机变频运行标志		On 有效
M4.0	回流泵房液面低于最低位标志		On 有效
M4.1	回流泵房液面高于最高位标志		On 有效
C1	粗格栅机 2h 定时中间计数器	10	
C2	细格栅机 2h 定时中间计数器	10	
T33	时钟脉冲	5	50ms
T37	粗格栅机运行时间	12000	20min
T38	粗格栅机停止时间定时	7200	12min
T39	进水泵房液面低于最低位定时	20	2s
T40	进水泵房液面高于最高位定时	20	2s
T41	细格栅机运行时间	12000	20min
T42	细格栅机停止时间定时	7200	12min
T43	污泥回流泵房液面低于最低位定时	20	2s
T44	污泥回流泵高于低位且低于高位定时	20	2s
T45	污泥回流泵房液面高于最高位定时	20	2s
T46	离心式脱水机与聚合物泵启动间隔	50	5s
T47	聚合物泵与污泥泵和切割机启动间隔	50	5s
VD10	变频器速度寄存器		
VD20	含氧量反馈值寄存器		
VD30	变频器速度寄存器		
VD100	含氧量标准值寄存器		
VD102	变频器速度标准值寄存器	100.0	
VD104	USS-INIT 指令执行结果		
VD106	USS-RPM-R 错误状态字节		

3.2 曝气过程控制的任务

工业污水处理后的水质是否达到排放标准，其中生化需氧量（BOD）和化学需氧量（COD）是重要的水质指标。BOD 是指在有氧条件下，降解有机物所需的氧量。COD 是指在酸性条件下，用强氧化剂将有机物氧化成 CO_2、H_2O 所消耗的氧量。BOD 的测定需费时 5 天，且测定结果易受多种因素影响，误差较大。

COD 的检测比较精确，但方法繁琐，耗时约 2 小时。虽然有 COD 浓度在线检测仪可以在线检测，但仍存在滞后（30 分钟左右），测量结果严重滞后于实际运行时间，不能及时反映实际情况。另外，COD 检测仪的价格也较昂贵，增加了控制系统的成本。所以有必要找出简单、可行的控制参数。

在好氧反应过程中，参与工业污水处理的是以好氧菌为主体的微生物，决定其处理效果的关键因素是反应池中溶解氧的含量。为了使微生物的活动最佳化，应该使供氧量与消耗的氧量相等，或稍大一些。如果供氧量少，处理的水质和污泥的活化就要降低如果供氧量过多，污泥的沉降性差，处理水质也差，另外也不经济。由此可见，混合液中溶解氧浓度(DO)是好氧反应中一个重要的控制参数。如果控制曝气设备的最佳溶解氧浓度，就能使处理水质优化，也能节约动力费用，并且由于 DO 的在线检测简单、可靠，因此把 DO 作为工业污水处理过程的控制参数。

3.3 氯气投加环节

氯气投加消毒效果的好坏与原水 PH 值、水温、浊度和接触时间有直接的关系。人工进行加氯量控制，不仅对操作工人不安全，而且投加量也难以准确控制。投加量少了，达不到杀菌消毒效果；投加量多了虽杀菌效果得到了保证，但水将呈氯臭味难以饮用，此外管道腐蚀将加剧，生产成本也上升。近年来，人工加氯逐渐被自动方式取代。

氯气投加系统具有大惯性、大滞后的特点，其过渡过程和纯滞后时间均较长，并且系统的干扰因素较多，对这样一个系统，使用一般的 PID 调节很难满足控制要求。为了精确控制投加的氯量，运用模糊自整定 PID 参数控制器对氯气投加系统进行自动控制。氯气投加自动控制系统如图 4-11 所示。

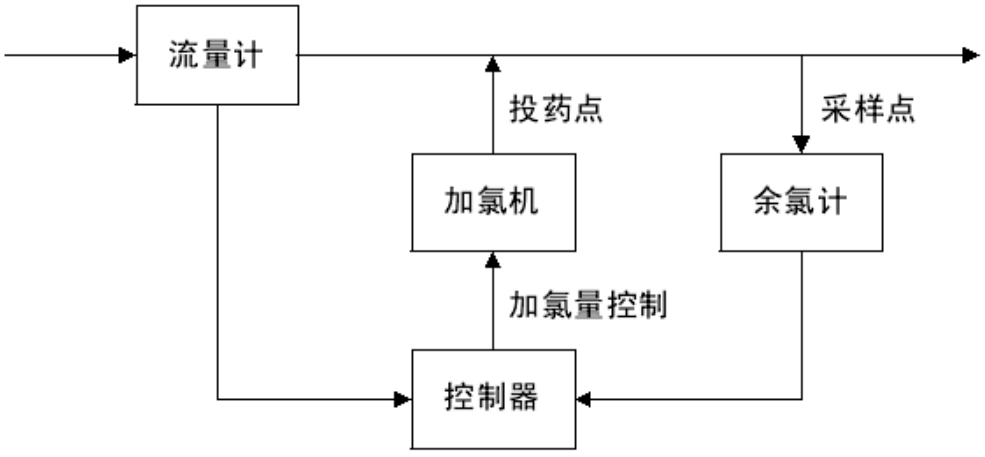


图 4-11 氯气投加自控原理图

3.4 絮凝剂投加环

在污泥脱水过程中为增加沉淀效果，使污水中悬浮颗粒能够形成具有良好沉淀性能的絮凝体，达到泥水充分分离的处理效果，需进行絮凝剂投加。其控制过程主要是通过污泥浓度、污水流量、絮凝剂浓度等因素控制来完成的。其PID调节的模糊控制过程与上述两个非线性控制环节类似，具有大时滞、非线性的特点。由于混凝过程的复杂性和多变性，混凝投药的自动控制一直受到控制行业和污水行业专家的普遍关注。

3.5 PID控制

对于工业控制过程，常规的 PID 控制器具有原理简单、使用方便、稳定可靠、无静差等优点，因此在控制理论和技术飞跃发展的今天，在工业控制领域仍具有强大的生命力。常规的PID控制器的描述如式（4.1）所示：

$$U\ n=k_pE_n+k_i\sum_{i=0}^{n}E_i+K_dEC_n \qquad (4.1)$$

其中各参数代表的意义是：

Un：控制器的输出

En：控制器偏差输入

ECn：系统误差变化率

kp：比例增益

ki：积分增益

kd：微分增益

比例增益kp使控制器的输入输出成一一对应比例关系。一旦输入输出有偏差，比例作用会立即产生控制作用，比例控制是用来调节系统的静态增益的，它是基于偏差进行调节的，是有差调节。为了尽量减小偏差，同时也为了加快系统的响应速度，缩短系统的调节时间，需要增大kp值。但是因为kp值又受到系统稳定性的限制，所以kp值不能任意的增大。积分作用ki是为了消除静差而引入的。然而，ki值的引入使得系统的响应的快速性下降，稳定性变差。尤其在系统出现大偏差阶段时，积分往往使得系统的响应出现过大的超调，从而使调节时间变长。微分作用kt的作用使之能够根据偏差变化的趋势作出反应，它加快了对偏差变化的反应速度，能够有效地减小超调，缩小最大动态偏差。但是，同时又会使系统容易受到高频干扰的影响。在实际的系统设计中只有合理地整定上述三个参数，才能获得比较满意的控制性能。在污水的自动控

制中，混凝剂投加、氯气投加和曝气环节由于过程的复杂性、多变性、非线性和大滞后的特点，采用的PID控制算法难以实现准确和高效的控制。为此在常规的PID控制基础上，采用模糊推理的方法，对PID的控制参数进行在线自整定，从而完善PID控制器的性能，使其适应控制系统的参数变化和工作条。

3.6 PLC和变频器通讯

（1）USS通讯协议简介

USS协议（Universal Serial Interface Protocol 通用串行接口协议）是SIEMENS 公司所有传动产品的通用通讯协议，它是一种基于串行总线进行数据通讯的协议。USS协议是主-从结构的协议，规定了在USS 总线上可以有一个主站和最多30 个从站；总线上的每个从站都有一个站地址（在从站参数中设定），主站依靠它识别每个从站；每个从站也只对主站发来的报文做出响应并回送报文，从站之间不能直接进行数据通讯。另外，还有一种广播通讯方式，主站可以同时给所有从站发送报文，从站在接收到报文并做出相应的响应后可不回送报文。在使用USS协议之前，需要先安装西门子的指令库。USS协议指令在STEP7—MICRO/WIN32指令树的库文件夹中，STEP7—MICRO/WIN32指令库提供14个子程序、3个中断程序和8条指令来支持USS协议。调用一条指令时，将会自动地增加一个或几个子程序。

（2）USS通讯协议库

编程之前一定要将USS协议库添加进去，编程软件默认安装没有USS协议库的。

USS_INIT指令：当EN输入接通时，每一循环都执行该指令。通过Mode输入值可选择不同的通讯协议：输入值为1，指定Port 0为USS协议并使能该协议；输入值为0，指定Port 0为PPI并且禁止USS协 ㇀。

Baud设置波特率为1200、2400、4800、
9600、19200、38400、57600或115200。

Active指示哪个驱动激活，有些驱动
只支持地址0到30。

4 调试和运行结果

工业污水处理厂自动控制系统设计、安装完成后，进行系统的调试和试运行，确定符合实际进水水量和水质的各项控制参数，发现并解决设备、仪表、程序、工艺等方面出现的问题，检验系统是否实现工艺设计目标，即出水各项指标达到设计要求。

4.1 硬件系统的调试

按照系统设计要求将各硬件接线接好。调试过程首先检查总供电及各设备供电是否正常，然后检查设备的电气控制是否正常，能否正常开机，各种闸阀能否正常开启和关闭，检查仪表及控制系统是否正常。在对系统进行必要的检查后，开始具体调试。

硬件功能调试主要是测试硬件的功能是否正常，这部分的调试内容包括：

（1）供电线路的设置和检验，主要用万用表检测电路的连通是否实现，以及保证接线的正确性，防止 220V 与 24V 线路的错位接线发生；

（2）电机直接加三相电源调试，检测电机工作状态；

（3）变频器单独调试，检测能否正常进行参数设置；

（4）变频器加电机进行调试，检测能否正常进行变频调速，在外部控制模式下，控制端子是否能正常控制电机启动，调节电机转速等；

（5）PLC 单独检测，检查 PLC 单元能否正常工作，指示灯是否正常，该部分工作实际上在计算机模拟调试前就已经完成；

（6）PLC 加变频器联机调试，检查 PLC、变频器是否能实现对此系统控制；

经过测试，结果表明上述功能一切正常，可以进行总体调试。

4.2 软件系统的调试

在 STEP7-Micro/WIN32 软件中，通过编程，将编好的程序下载到 PLC 中进行运行调试，检查程序是否有错误，是否能够实现相应的功能控制。调试时，可根据功能模块分类分别调试，最后进行总体调试。 在该控制程序中，需要根据外界输入的状态来控制清污机、潜水泵，以及污泥回流泵的启停，因此需要按照液位传感器和液位差计反馈来的信息进行判断处理，然后再进行输出控制。

4.3 运行结果

通过系统调试，能够实现 PLC 在系统控制中的手动、自动模式的控制。启动电源后按下手动或自动模式选择按钮，当在手动模式时，可通过各控制按钮实现对工业污水处理系统中各电机的控制运行同时相应的指示灯亮。

当在自动模式时，在自动方式下进行闭环控制，系统根据检测到外部传感器的状态对设备进行启停控制。自动控制系统过程包括：粗格栅系统、潜水泵系统、细格栅系统、曝气沉砂系统、污泥回流系统、污泥脱水系统。启动自动运行按钮后，自动过程开始，启动潜水搅拌器和刮泥机。运行粗、细格栅机，进行间歇运行，即运行一段时间然后停止一段时间，循环进行。在间歇运行过程时，粗格栅机运行 20min 定时到后停止运行 2h，2h 定时到后又开始运行 20min。细格栅机粗格栅机相似。根据反馈回来的液位差状态控制清污机的运行与停止。而进水泵房中的潜水泵根据液面高低进行运行、停止及运行数量的控制：①潜水泵系统启动首先开始启动潜水泵。②检测液面高度，低于最低位传感器时，开始定时防止误判。③定时到后，若仍低于最低位传感器，则停止潜水泵运行，否则潜水泵继续运行。④检测液面处于中位和高位传感器之间时，开始定时防止误判。⑤定时到后，若液面仍持续处于高位传感器，则输出报警信号。

而转碟曝气机根据溶解氧仪反馈的模拟量经 PLC 运算后通过变频器控制其进行工频运行还是变频运行，进行加速还是减速运行，同时控制分离机的运行与停止。

污泥回流泵的运行与停止根据液面的高低进行控制：①污泥回流系统启动首先检测液面高低，若低于最低位传感器，启动定时。②定时到，若液面仍低于最低位传感器则停止回流泵运行。③若液面处于最高位和最低位之间，启动污泥回流泵。④若液面高于最高位传感器时，启动定时。⑤定时到，若液面仍处于最高位传感器时，输出报警信号。

在污泥脱水系统中，离心式脱水机的启动采用顺序控制方式，依次启动其设备。控制系统能根据外界溶解氧仪检测反馈的模拟量信号输入的状态来控制清污机、潜水泵，以及污泥回流泵的启停，因此需要按照液位传感器和液位差计反馈来的信息进行判断处理，然后再进行输出控制。各模块程序在仿真软件上进行调试时也能实现相应功能的控制。基本上达到了系统设计的目标要求。

工业污水处理控制系统是一个比较复杂的综合系统，它包括与之相关的生产工艺流程、相关生产设备，现场计量自控检测仪表的选用、控制流程的模型建立、对 PLC 系统软硬件应用研究等。本文详细阐述了工业污水处理工艺流程、控制系统总体方案以及具体的软硬件实现。

通过四个月的课题设计和调试，基本上完成了对 PLC 工业污水处理系统的设计，达到了预期的设计目标。在这个过程中，使我学到了很多知识，积累了许多宝贵的经验，锻炼了自己的独立思考能力和实践动手能力。进一步加深了解了 PLC 在实践当中的应用。熟悉了 PLC 硬件的工作原理，完成了整个系统的模拟调试，通过对系统的不断修改和调试，基本上达到了预期的设计要求。

在设计过程中主要从硬件和软件两个方面的问题进行，工业污水处理系统中，主要的硬件问题包括机械结构、硬件选型和 PLC 的外围电路设计和接线处。在 PLC 的外围硬件连线方面，主要是增加一些保护设备。由于输出都是何接触器等元件连接，接触器的突然断开和闭合会形成突波对 PLC 的输出端子造成损坏，因此需要加装一些保护装置，例如，续流二极管等，增加触点的寿命。软件方面主要问题在于程序编写完毕后，需要首先在电脑上对程序进行软件仿真，主要检查是否存在各种错误，可利用西门子公司配套的仿真软件。然后通过模拟硬件的方式检查程序，主要检查程序是否存在逻辑上的错误。调试时，可根据功能模块分类分别调试，最后进行总体调试。在该控制程序中，需要根据外界输入的状态来控制清污机、潜水泵，以及污泥回流泵的启停，因此需要按照液位传感器和液位差计反馈来的信息进行判断处理，然后再进行输出控制。

案列 18

基于 PLC 四层电梯控制系统设计

引　　言

四层电梯设计采用西门子 S7-200 控制，利用软件实现对电梯运行自动控制，大大提高了电梯的可靠性、安全性、快捷性，另外节省了大量外部接线，简化了控制系统结构。另外可以方便的增加或改变控制功能，并便于检修。

本设计系从第一章介绍 PLC、变频器、传感器开始，先概要的介绍了 PLC 概念和工作方式，变频器和传感器概念、工作原理以及分类。

第二章通过比较设计方案，确定设计方案。

第三章合理设置变频器参数，提高运行过程中电梯带来的舒适感，设置电梯井道、轿厢内、电梯层门口的各个部件，设置保障电梯运行时安全保护环节，达到电梯运行安全第一。

第四章确定输入输出端口，设计 PLC 外部接线图，编写梯形图，对梯形图网络解释说明。

第一章　　绪论

一、可编程控制器简介

1.1 可编程控制器的定义

PLC 英文全称 Programmable Logic Controller，中文全称为可编程逻辑控制器， 定义：一种数字运算操作的电子系统，专为在工业环境中而设计的。它采用一类可编程的控制器，用于其内部存储程序执行逻辑运算，顺序控制，定时，技术与运算操作等面向用户的指令，并通过数字或模拟式输入/输出控制各种类型的机械或生产过程。

1.2 S7-200 Micro PLC 的概述

S7-200 系列是一类可编程逻辑控制器(Micro PLC)。这一系列产品可以满足多种多样自动化控制需要，（如图 1.2）展示一台 S7-200Micro PLC。由于具有紧凑的设计、良好的扩展性、低廉的价格以及强大的指令，使得 S7-200 可以近乎完美地满足小规模的控制要求。此外，丰富的 CPU 类型和电压等级使其在解决用户的工业自动化问题时，具有很强的适应性。

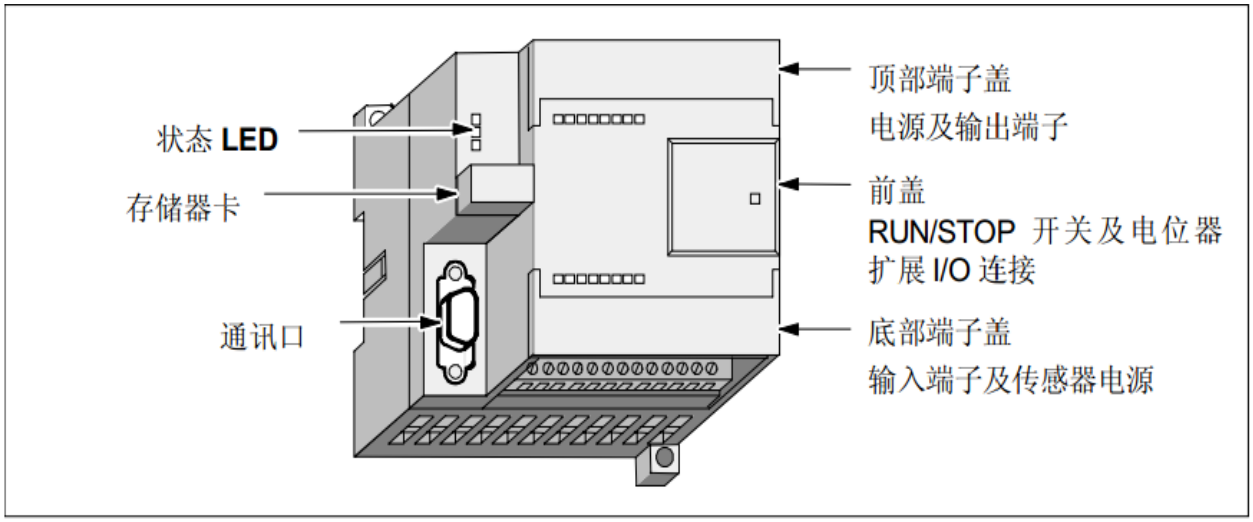


图 1.2 西门子 PLC S7-200 外部结构

1.3 可编程控制器的工作原理

（一）PLC 的工作方式

PLC 虽然以微处理器为核心，具有微型计算机的许多特点，但它的工作方式却与微型计算机有很大的不同，微型计算机一般采用等待命令或中断的工作方式，如常见的键盘扫描方式或 I/O 扫描方式，当有按键按下或 I/O 动作，则转入相应的子程序或中断服务程序，无按键按下，则继续扫描等待。PLC 采用循环扫描的工作方式，即顺序扫描，不断循环这种工作方式是在系统软件控制下进行对。当 PLC 运行时，CPU 根据用具按控制要求编写好并存于用户存储器中的程序，按序号作周期性的程序循环扫描，程序从第一条指令开始，逐条顺序执行用户的程序直到程序结束。然后重新返回第一条指令，在开始下一次扫描；如此周而复始。实际上 PLC 扫描工作除了执行用户程序外，还要完成其他工作，整个工作过程分为自诊断。通讯服务、输入处理、输出处理、程序执行五个阶段。

（1） 自诊断

每次扫描用户程序之前，都先执行故障自诊断程序。自诊断内容包括 I/O 部分、存储器、CPU 等，并通过 CPU 设置定时器来监视每次扫描是否超过规定的时间，如果发现异常，则停机并显示出错，若自诊断正常，则继续向下扫描。

(2) 通讯服务

PLC 检查是否有与编程器、计算机等的通讯要求，若有则惊醒相应处理。

（3） 输入处理

PLC 在输入刷新阶段，首先以扫描方式按顺序从输入缩存器中写入所有输入端子的状态或数据，并将其存入内存中为其专门开辟的暂存区—输入状态映像区

中，这一过程称为输入采样，或是如刷新，随后关闭输入端口，进入程序执行阶段，即使输入端有变化，输入映像区的内容也不会改变，变化的输入信号的状态只能在下一个扫描周期的输入刷新阶段被读入。

（4） 输出处理

同输入状态映像区一样，PLC 内存中也有一块专门的区域称为输出状态映像区，当程序的所有指令执行完毕，输出状态映像区中所有输出继电器的状态就在 CPU 的控制下被一次集中送至输出锁存器中，并通过一定的输出方式输出，推动外部的相应执行器件工作，这就是 PLC 输出刷新阶段。

(5) 程序执行

PLC 在程序执行阶段，按用户程序顺序扫描执行每条指令。从输入状态映像区独处输入信号的状态，经过相应的运算处理等，将结果写入输出状态映像区。通常将自诊断和通讯服务合称为监视服务。输入刷新和输出刷新称为 I/O 刷新。可以看出，PLC 在一个扫描周期内，对输入状态的扫描只是在输入采样阶段进行，对输出赋的值也只有在输出刷新阶段才能被送出，而在程序执行阶段输入、输出会被封锁。这种方式称做集中采样、集中输出。

（二）扫描周期

扫描周期即完成一次扫描（I/O 刷新、程序执行和监视服务）所需要的时间，有 PLC 的工作过程可知，一个完整的扫描周期 T 应为：T=（输入一点时间*输入点数）+（运算速度*程序步数）+（输出一点时间*输出点数）+监视服务时间

扫描周期的长短主要取决于三个要素：一时 CPU 执行指令的速度；二是每条指令占用的时间；三是执行指令条数的多少，即用户程序的长度。扫描周期越长，系统的响应速度越慢。现在厂家生产的基型 PLC 的一个扫描周期大约为 10ms，这对于一般的控制系统来说完全是允许的，不但不会造成影响，反而可以增强系统的抗干扰能力，这是因为输入采样仅在输入刷新阶段进行。PLC 在一个工作周期的大部分时间里实际上是与外设隔离的，而工业现场的干扰常常是脉冲式的，短期的，由于系统响应慢，往往要几个扫描周期才相应一次，多次扫描因瞬时干扰而引起的误动作将会大大减少，从而提高了系统的抗干扰能力。但是对控制时间要求较严格、相应速度要求较快的系统，就需要精心编制程序，必要时还需要采取一些特殊功能，以减少因扫描周期造成的影响带来的不良影响。

1.4 编程控制器与其它工业比较

基于 PLC 控制的电梯自动控制管理系统，PLC 就物理结构来说有丰富的输入输出端，而从 PLC 的逻辑结构来看，内部有许多软元件，如输入输出继电器、辅助继电器、状态器、计数器、计时器和数据寄存器及器件所对应的常开常闭接点，

方便对电梯上下、召唤信号自动定位、召唤信号自动排序、楼层显示、欠压保护、短路保护、过载保护等；

大所数 PLC 的编程方式都用梯形图编程、指令表编程和顺序功能图（SFC）编程，特别是梯形图编程方式，方便编写，直观易懂，容易修改。除了运用基本指令可以完成大量工作，功能指令的扩展更为系统开发、调试和维护带来许多便利，本文以梯形图编程方式设计四层电梯自动控制系统，无论从设计到功能分析都是极为方便的。

可编程控制器的原理是在确立了工作任务，装入了专用程序后成为一种专用机，它采用循环扫描工作方式，系统工作管理及应用程序执行都是按循环扫描方式完成的。一次循环可分五个阶段，分别为内部处理阶段、通信服务阶段、输入处理阶段、程序执行阶段、输出处理阶段。

二、变频器简介

2.1 变频器的定义：

变频器（如图 2.1）是利用电力半导体期间的通断作用将工频电源变换为另一频率的电能控制装置，能实现对交流异步电动机的启动、变频调速、提高运转精度、改变功率因数、过流/过压/过载保护等功能。

图 2.1 西门子 MM440 变频器示意图

2.2 变频器的工作原理：

主电路是给异步电动机提供调压调频电源的电力变换部分，变频器的主电路大体上可分为两类：电压型是将电压源的直流变换为交流的变频器，直流回路的滤波是电容。电流型是将电流源的直流变换为交流的变频器，其直流回路滤波是

电感。它由三部分构成，将工频电源变化为直流功率的“整流器”，吸收在变流其和逆变器产生的电压脉动的“平波回路”，以及将直流功率变换为交流功率的“逆变器”。

2.3 变频器面板按钮功能（如图 2.3）：

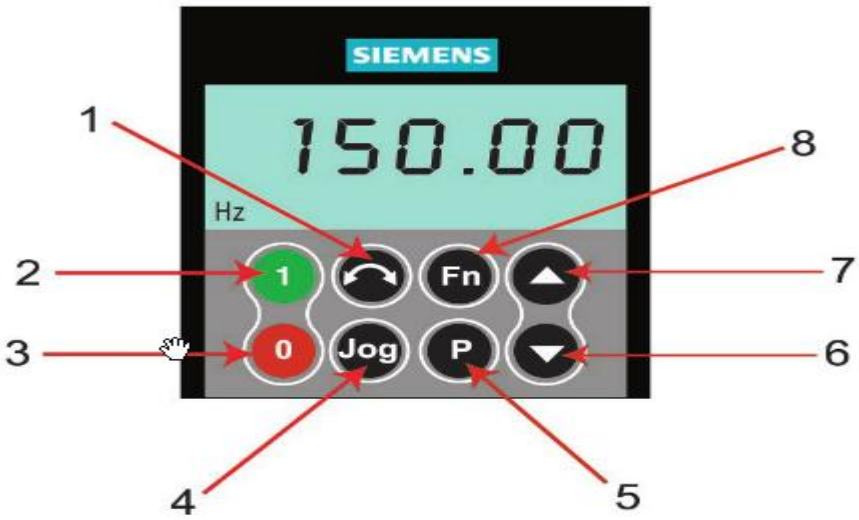


图 2.3 变频器控制面板示意图

1:改变电动机的转动方向；

2:启动变频器；

3:停止变频器；

4:电动机点动；

5:访问参数；

6:减小数值：减小面板上显示的参数数值；

7:增加数值：增加面板上显示的参数数值；

8:功能:变频器运行过程中,在显示任何一个参数时按下此键并保持 2 秒钟,将显示直流回路电压、输出电流、输出频率、输出电压、由 P0005 选定的数值。

三、传感器简介

3.1 传感器的定义：

传感器（如图 3.1）是能感受规定的被测量并按照一定规律将其转换成可用输出信号的器件或装置。

图 3.1 压力传感器

3.2 传感器的分类：

（1）按被测量原理分类：可分为位移、力、力矩、转速、振动、加速度、温度、压力、流量、流速等传感器。

（2）按测量原理分类：可分为电阻、电容、电感、光栅、热电偶、超声波、激光、红外、光导纤维等传感器。

（3）按传感器转换能量供给形式分类：可分为能量变换型（发电型）和能量控制型（参量型）两种。

第二章　　四层电梯控制系统设计方案论证

2.1 设计方案比较

电梯控制方式主要分为三种，分别是继电器控制方式、微机控制方式和可编程控制器（PLC）控制方式，由于继电器控制存在功能弱、故障多、可靠性差和工作寿命短的缺陷现在已逐渐被淘汰，微机控制可靠性差故也不多采用，而 PLC 控制采用一种巡回扫描的方式分时处理各项任务，而且依靠程序运行，这就保证只有正确的程序才能运行，否则电梯不会工作。又由于 PLC 中的内部辅助继电器及保持继电器等是它本身系统内存工作单元，即无线圈又无触点，使用次数不受限制，因此，它比继电器控制有明显的优越性，比微机控制有明显的可靠性，自动化水平更高。

综上所述 PLC 控制是三种控制方式中最具有可靠性、优越性和实用性的控制方式，它更适合用在电梯的技术改造和控制系统的更新换代，是电梯控制系统中理想的控制新技术，所以本次课程设计采用可编程控制器(PLC)作为控制方式。

2.2 可编程控制器（PLC）的选择

目前市场是可编程控制器种类繁多，有西门子的、三菱的、欧姆龙的等。同一品牌的可编程控制器也有很多类型，仅西门子就 S7-200/S7-300/S7-400 这三个系列。

结合自身学习特点，在学习期间接触西门子 s7-200 的时间比较长，熟悉 s7-200 的各种功能指令，可以熟练利用 s7-200 各种功能指令编程。结合 PLC s7-200 本身具有的：模块结构、可靠性好、多功能性、易编程性等特点，本次课题设计需要输入端口 26 个，输出端口 11 个。故设计中选用西门子 PLC S7-200 CPU224。

2.3 变频器的选择

电梯的调速要求除了一般工业控制的静态、动态性能外，他的舒适度指标往往是选择的一项重要内容。本设计中拖动调速系统的关键在于保证电梯按理想的给定速度曲线运行以改善电梯运行的舒适度。

由于西门子 MM440 变频器具有：(1)调试简单；（2）模块化的结构，配置灵活性最大；（3）6 个可编程，带隔离的数字输入；（4）2 个可表定的模拟输入（0V 至 10V，0mA 至 20mA），它们也可作为第 7 和第 8 个数字输入；（5）2 个可编程的模拟输出（0mA 至 20mA）；（6）3 个完全可编程的继电器输出（30V 直流/5A，阻性负载；250V 交流/2A，感性负载）；（7）当使用较高的开关频率时，电机可以低噪音运行（在开关频率较高情况下，要降格使用）（8）完善的变频器和电动机保护功能。所以本次课题设计采用西门子 MM440 变频器。

第三章　　硬件设计

3.0 系统框图

（1）控制系统框图（如图 3.0＜1＞）

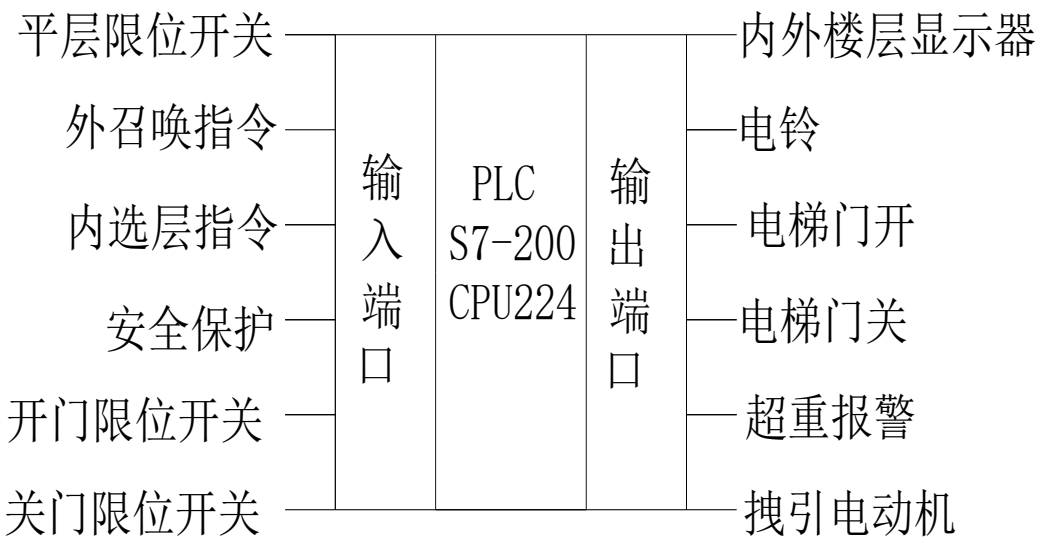


图 3.0<1> 控制系统框图

（2）系统结构图（如图 3.0<2>）

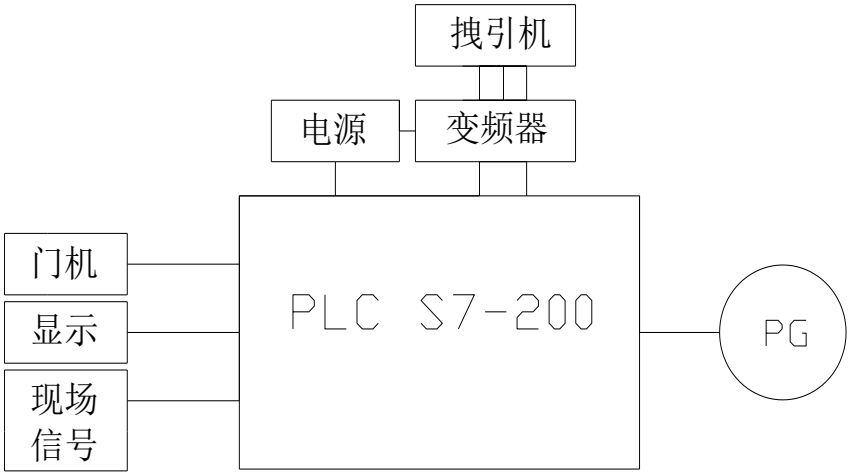


图 3.0<2> 系统结构图

3.1 变频器参数设置

参数设置原则(如表 3. 1)：

（1） 为减小启动冲击及增加调速的舒适感，其斜坡上升时间和斜坡下降时间应当长一些(如图 3.1.1 时间 t（s）/f（Hz）曲线)；

（2） 为了提高运行效率，快车频率应选为工频，而爬行频率要尽可能低些，以减小停车冲击；

（3） 零速一般设置为 0ft，带速抱闸将影响舒适感；

变频器参数	设定值	功能说明
P0304	380	电动机的额定电压（380 V）
P0305	10	电动机的额定电流（10A）
P0307	16	电动机的额定功率（16KW）
P0310	50	电动机的额定频率（50 Hz）
P0311	1500	电动机的额定转速（1430 r/min)
P0701	12	正转（启动）
P0702	12	反转
P1080	0	电动机的最小频率（0 Hz）
P1082	50	电动机的最大频率（50 Hz）
P1120	10	斜坡上升时间（10 s）
P1121	10	斜坡下降时间（10 s）

表 3.1 变频器参数设置

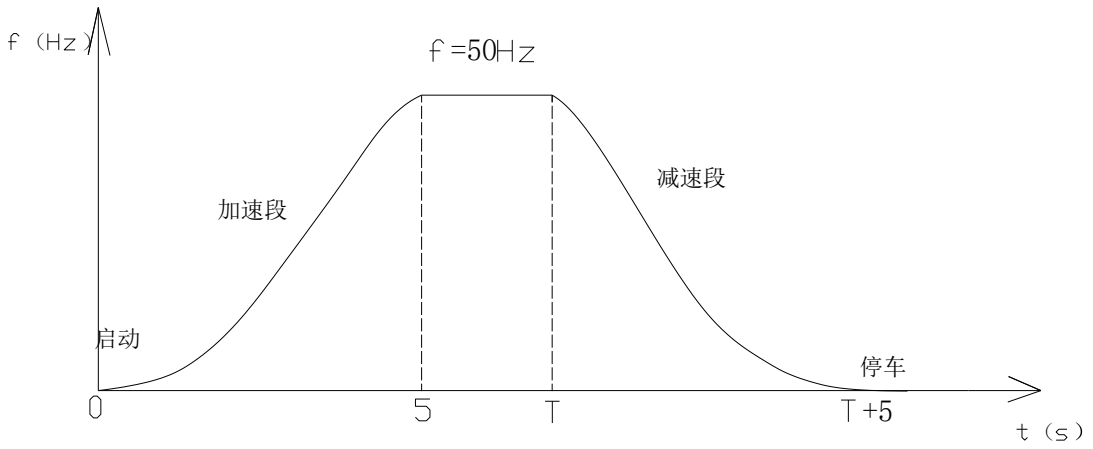


图 3.1.1 时间 t（s）/f（Hz）曲线

3.2 减速及平层控制

电梯的工作特点是频繁启制动,为了提高工作效率、改善舒适感，要求电梯能平滑减速至速度为零时，准确平层，即“无速停车包闸”，不要出现爬行现象或低速抱闸,即直接停止,要做到这一点是要准确发出减速信号,在接近层楼面时按距离精确的自动矫正速度给定曲线。本设计采用旋转编码器检测轿厢位置，只要电梯运行，计数器就可以精确地确定走过的距离，达到与减速点相应的预制数时即可发出减速命令。

3.3 电梯机房里的主要部件（如图 3.5）

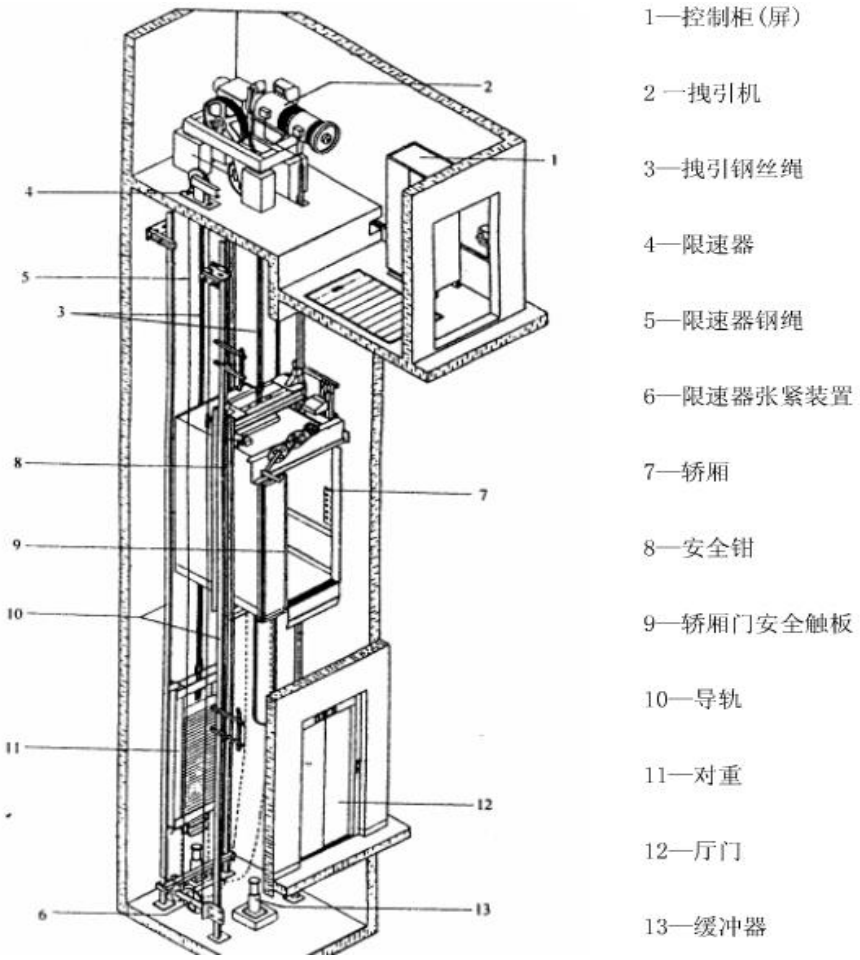


图 3.5 电梯构架图

1.拽引机

(1) 驱动电动机：交流梯专用的双速电动机

制动器：在电梯上通常采用双瓦块常闭式电磁制动器。电梯停止或电源断电情况下制动抱闸，以保证电梯不致移动。

(2) 减速箱：涡轮蜗杆减速箱。

(3) 拽引轮：拽引机上的绳轮称为拽引轮。两端借助拽引钢丝绳分别悬挂轿厢和对重，并依靠拽引钢丝绳与拽引轮绳槽间的静摩擦力来实现电梯轿厢的升降

(4) 导向轮或复绕轮（导向轮又称抗绳轮）：因为电梯轿厢尺寸一般都比较大，所以轿厢悬挂中心和对重悬挂中心间的距离往往大于设计上所允许的拽引轮直径。因此对一般电梯而言，通常要设置导向轮，以保证两股向下的拽引钢丝绳之间的距离等于或接近轿厢悬挂中心和对重悬挂中心间的距离。对于复绕的无齿轮电梯而言，改变复绕轮的位置同样可以达到上述目的。

2.限速器：当轿厢运行速度达到限定值时，能发出电信号并产生机械动作的安全装置

3.控制柜：各种电子元器件和电气元器件安装在一个防护用的柜形结构内，按预定程序控制轿厢运行的电控设备。

4.电源开关、照明开关

5．选层器、极限开关。机械楼层指示器、发电机组等部件

3.4 电梯井道里的主要部件（如图 3.5）

1.轿厢：轿厢是电梯的主要部件，是容纳乘客或货物的装置。

2.导轨：供轿厢和对重在升降运行中起导向作用的组件。

3.对重装置：设置在井道中，由拽引钢丝绳经拽引轮与轿厢连接，在运行过程中起平衡作用的装置。

4．缓冲器：当轿厢超过下线位置时，用来吸收轿厢或对重装置所产生动能的制停安全装置。缓冲器一般设置在井道低坑上。

5.限位开关：该装置是可以装载轿厢上，也可以装在电梯井道上端站和下端站附近，当轿厢运行超过端站时，用于切断控制电源的安全装置。

6.接线盒：固定在井道壁上，包括井道中间接线盒及各层站接线盒。

7.控制电缆：电缆两端分别与井道中间接线盒和轿内操作箱连接。

8.补偿链或补偿绳：用于补偿电梯在升、降过程中由于拽引钢丝绳在拽引轮两边的重量变化。

9.平层感应器或井道传感器：在平层区内，使轿厢地坎与厅门地坎自动准确对准的装置。

3.5 轿厢上的主要部件

1．操作箱：装载轿厢内靠近轿厢门附近。用指令开关、按钮或手柄等操作轿厢运行的电气装置。

2. 轿内指层灯：设置于轿厢内，客梯一般装在轿门上方，货梯一般装在轿厢侧壁，用以显示电梯运行位置和运行方向的装置。

3. 自动门机：装于轿厢顶的前部，以小型的交流、直流、变频电动机为动力的自动门开关轿门和厅门的装置。

4. 安全触板（光电装置）：设置在层门轿门之间，在层门、轿门关闭过程中，当有乘客或障碍物触及时，门立刻停止并返回开启的安全装置。

5. 轿门：设置在轿厢入口的门。

6. 称重装置：能检测轿厢内的负载变化状态，并发出信号的装置，适用于乘客或货物电梯等。

7. 安全钳：由于限速器作用而引起动作，迫使轿厢或对重装置制停在导轨上，同时切断控制回路的安全装置。

8. 导靴：设置在轿厢架和对重装置上，使轿厢和对重装置沿着导轨运行的装置。

9. 其他部件：轿顶安全窗、光电保护、超载装置、邻梯指示等部件，要视电梯规格、型号、种类及客户要求而设置。

3.6 电梯层门口的主要部件

1 层门：设置在层站入口的封闭门。

2. 层门门锁：设置在层门内侧，门关闭后，将门锁紧，同时接通控制回路，轿厢可运行的机电联锁安全装置。

3. 楼层指示灯；设置在层站层门上方或一侧，用以显示轿厢运行层站位置和方向的装置。

4. 层门方向指示灯：设置在层站层门上方或一侧，用以显示轿厢欲运行方向并装有到站音响机构的装置。

5. 呼梯盒：设置在层站门侧，当乘客按下需要的召唤按钮时，在轿厢内即可显示或登记，令电梯运行停靠在召唤层站的装置。

6. 电梯门侧壁上装有压力传感器，当电梯在关门时施加一定压力，梯门从新打开。

3.7 电梯的安全保护环节

(一)断绳与超速保护；

(二)轿门与层门锁保护；

(三)安全电路保护；

(四)梯门入口安全保护；

(五)上、下端站的强迫减速保护；

(六)上、下方向限位保护及终端保护；

（七）缺相、错相保护；

（八）电梯电气控制系统中的短路保护；

（九）拽引电动机（交流原动机、主变压器）的过载保护；

（十）电动机运转时间限制保护；

（十一）紧急停止保护；

（十二）轿厢上行超速保护；

3.8 电梯控制系统操作过程

(1)按动召唤按钮,电梯牵引机启动到达召唤层停止、响铃、电梯门和轿厢门同时打开。

(2)人进入轿厢，超重保护没有报警。

(3)电梯门开的同时计时器开始计时 5 秒钟,5 秒钟到电梯门和轿厢门自动关闭。

(4)按动选层键,电梯牵引机启动到达选择层停止、响铃、电梯门和轿厢门同时打开。

(5)电梯门打开的同时计时器开始计时 5 秒钟，5 秒钟到电梯门和轿厢门自动关闭。

(6)当电梯行驶过程中收到正向召唤信号,则到达召唤楼层时停止,接收到反向召唤信号,电梯继续执行当前信号,在顺向信号执行完毕后执行反向信号,执行过程中自动相应最近的信号。

(7)电梯门和轿厢门设有压力传感器,当受到一定推力时,门自动返回计时 5 秒后重新关闭。

3.9 电梯控制系统实现的功能

1.电梯内外当前楼层显示;

2.各层厅外召唤按钮;

3.轿厢内楼层选择指令键 ;

4.一台交流电动机拽引轿厢上升和下降;

5. 待客召唤自动开门，当电梯在某层时，按下召唤信号自动开门;

6. 感到压力及时自动重新开关门;

7.到站有自动响铃提示并自动开门经 5 秒自动关门;

8.指令记忆，当轿厢接收多个指令后，电梯能按顺序自动停靠车门，并自动选择最佳运行方向;

9.自动定向功能，当轿厢接收多个指令时，按照先入为主原则，自动确定运行方向;

10.呼梯记忆和顺向截梯功能，当电梯运行时，遇到顺向召唤信号能停靠应答;

11.自动换向功能，当电梯运行到顶层或最底层时，能自动换向运行;

12.自动关门待客功能，当电梯全部完成轿厢内指令，又无厅外召唤信号时，电梯能自动关门停在原位待客。

第四章　　软件设计

4.1：I/O(输入/输出)端口分配

根据控制要求 I/O 端口分布（如图 4.1）

输入端口				输出端口	
一层呼叫	I0.0	上下方向限位及终端保护	I1.5	电梯上行	Q0.0
二层呼叫	I0.1	拽引机过载保护	I2.0	电梯下行	Q0.1
三层呼叫	I0.2	电动机运转时间限制保护	I2.1	电梯开门	Q0.2
四层呼叫	I0.3	紧急停止保护好	I2.2	电梯关门	Q0.3
去一层	I0.4	轿厢上行超速保护	I2.3	电铃	Q0.4
去二层	I0.5	开门限位开关	I2.4	一层显示	Q0.5
去三层	I0.6	关门限位开关	I2.5	二层显示	Q0.6
去四层	I0.7	一层限位开关	I2.6	三层显示	Q0.7
断绳超速保护	I1.0	二层限位开关	I2.7	四层显示	Q1.0
轿门与层门锁保护	I1.1	三层限位开关	I3.0	故障报警	Q1.1
安全电路保护	I1.2	四层限位开关	I3.1	超超载报警	Q1.2
梯门入口安全保护	I1.3	缺相、错相保护	I3.2		
上下端站强迫保护	I1.4	电梯电气控制系统短路保护	I3.3		

图 4.1 输入输出端口分配

4.2：外部接线图（如图 4.2）

根据 I/O 端口设计外部接线图

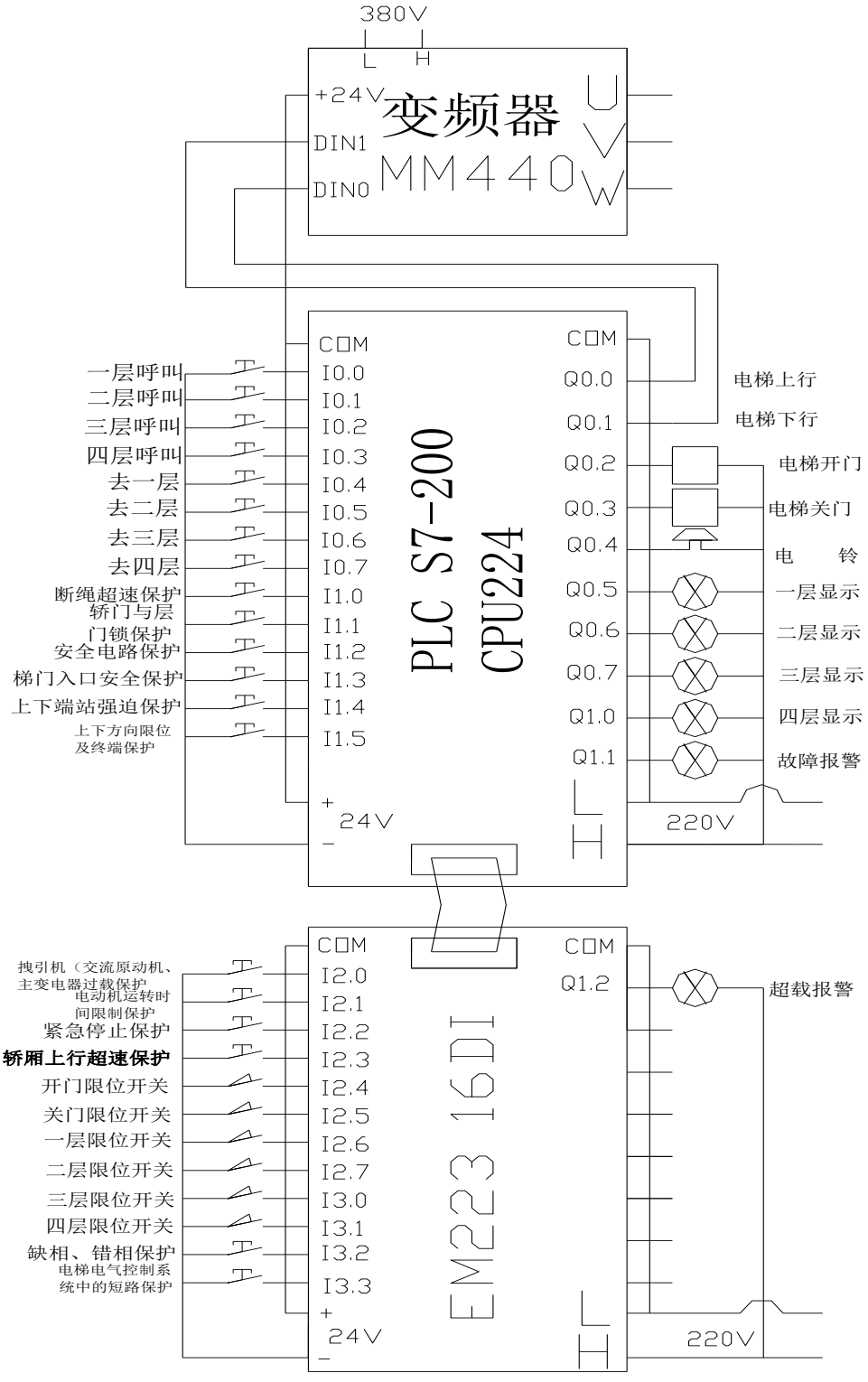
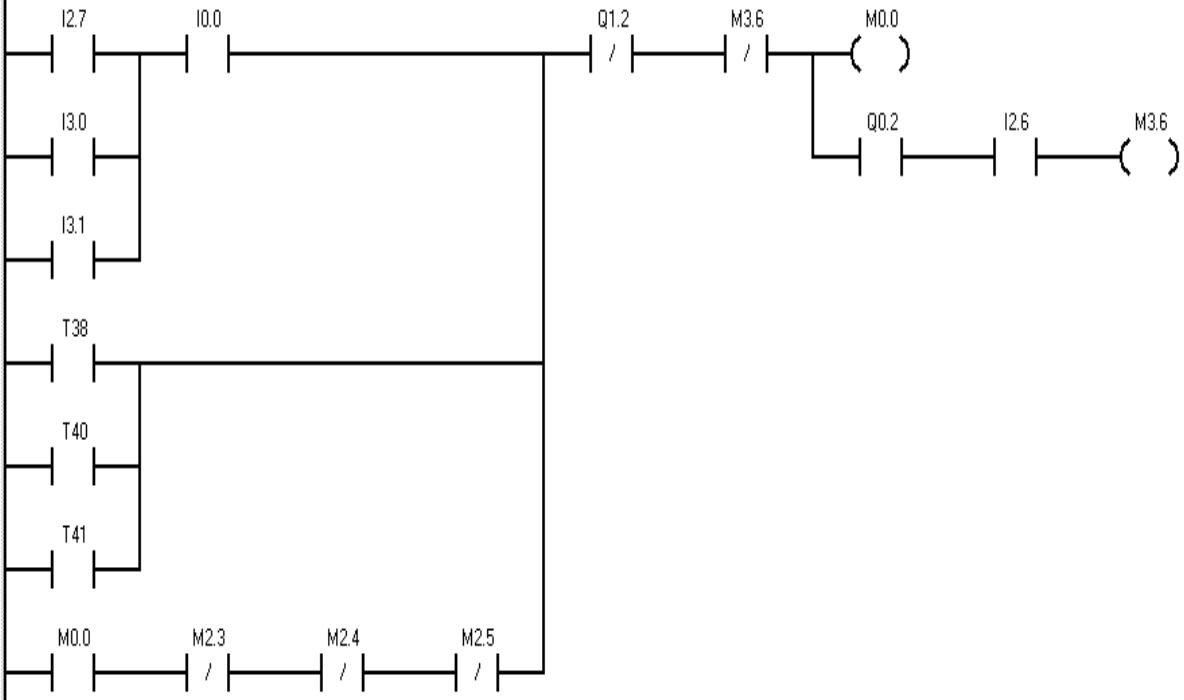


图 4.2 外部接线图

4.3：梯形图

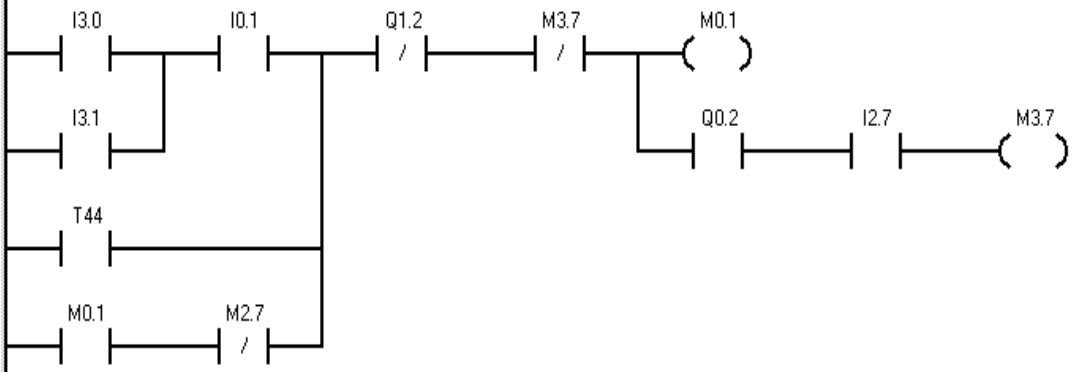
网络 1 网络标题

一层呼叫。。。轿厢在上方。。。M0.0电梯下行



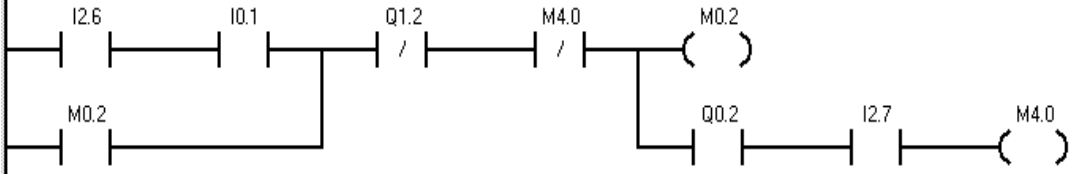
网络 2

二层呼叫。。。轿厢在上方。。。M0.1电梯下行



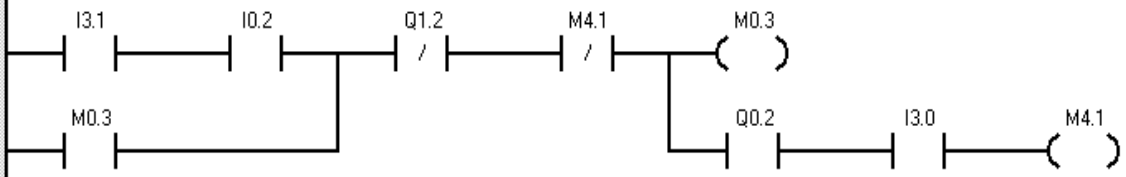
网络 3

二层呼叫。。。轿厢在下方。。。M0.2电梯上行



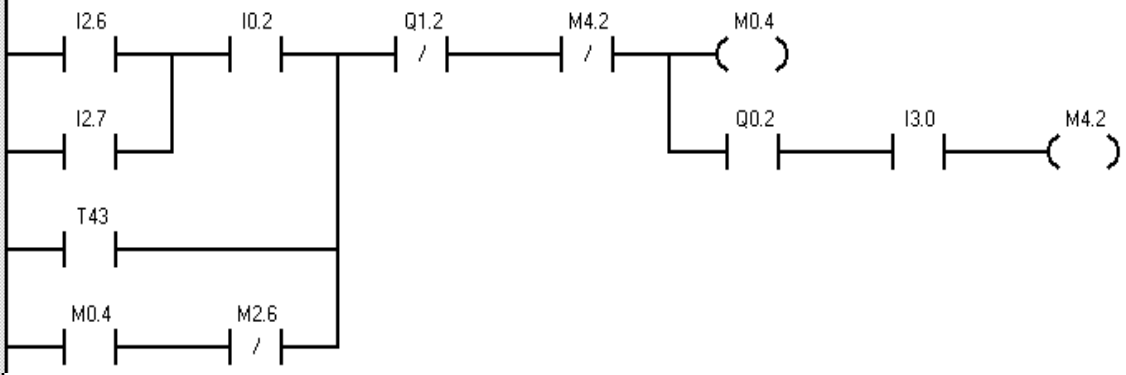
网络 4

三层呼叫。。。轿厢在上方。。。M0.3电梯下行



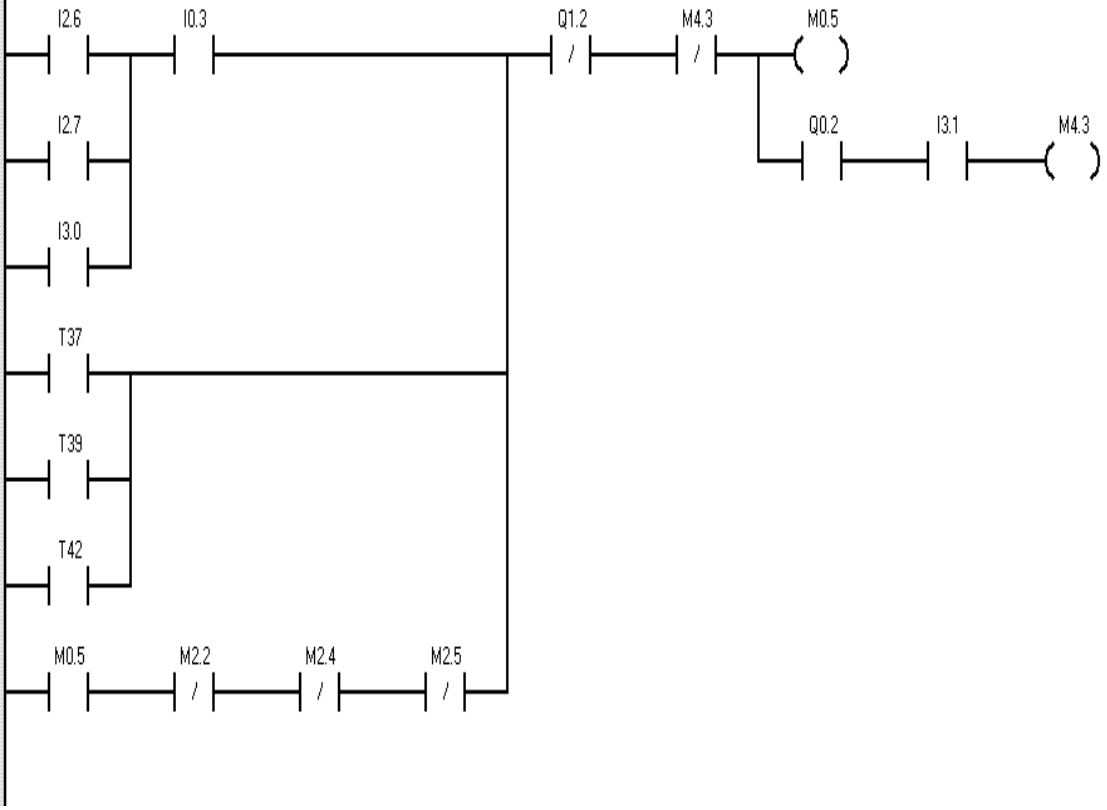
网络 5

三层呼叫。。。轿厢在下方。。。M0.4电梯上行



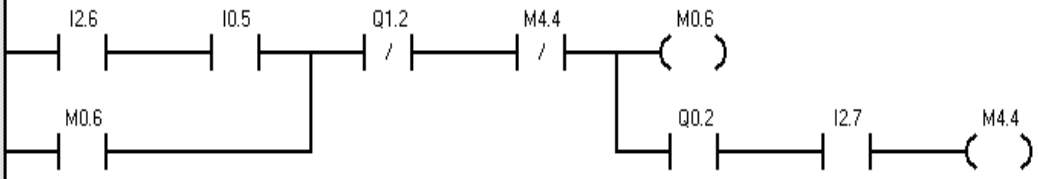
网络 6

四层呼叫。。。轿厢在下方。。。M0.5电梯上行



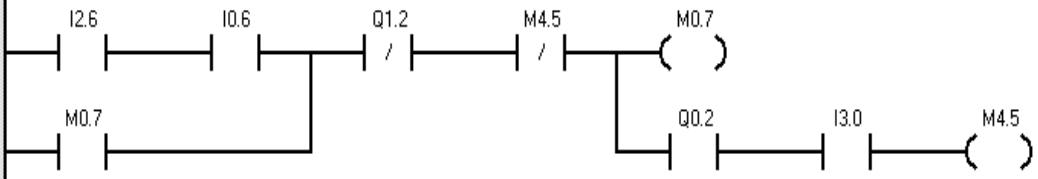
网络 7

一层上二层。。。M0.6电梯上行



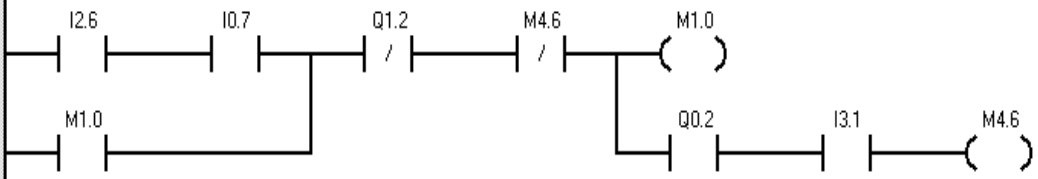
网络 8

一层上三层。。。M0.7电梯上行



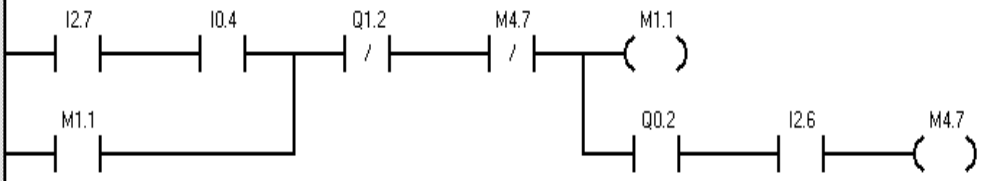
网络 9

一层上四层。。。M1.0电梯上行



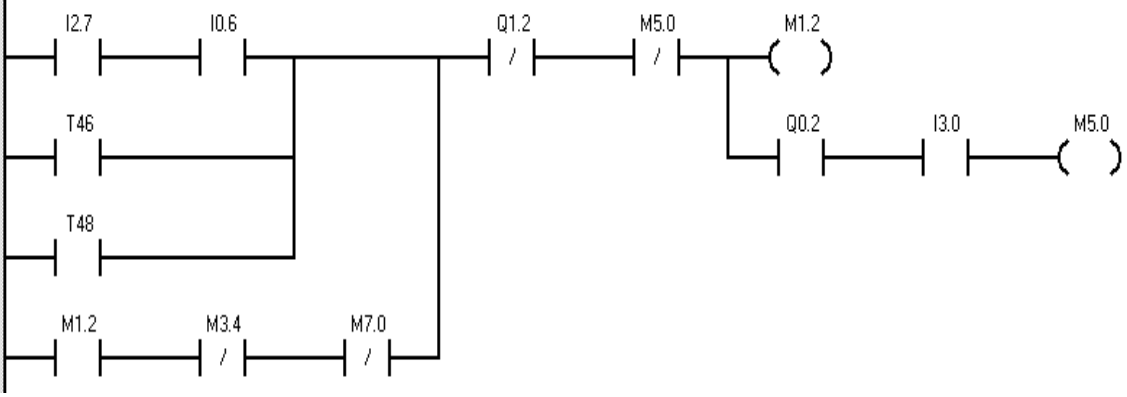
网络 10

二层下一层。。。M1.1电梯下行



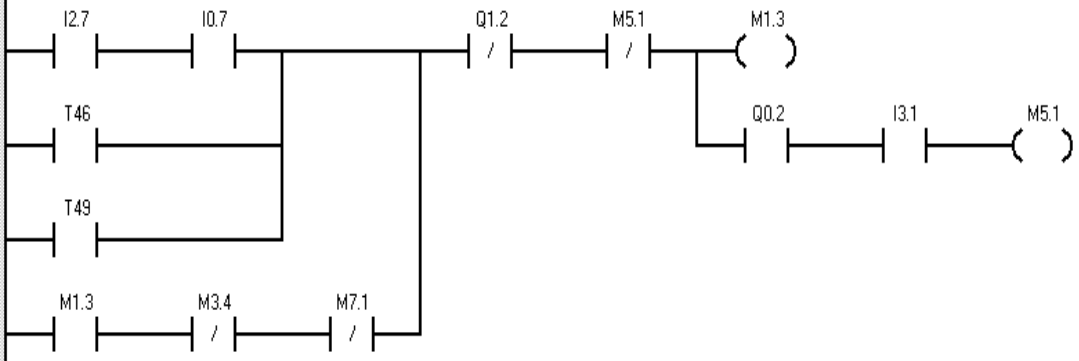
网络 11

二层上三层。。。M1.2电梯上行



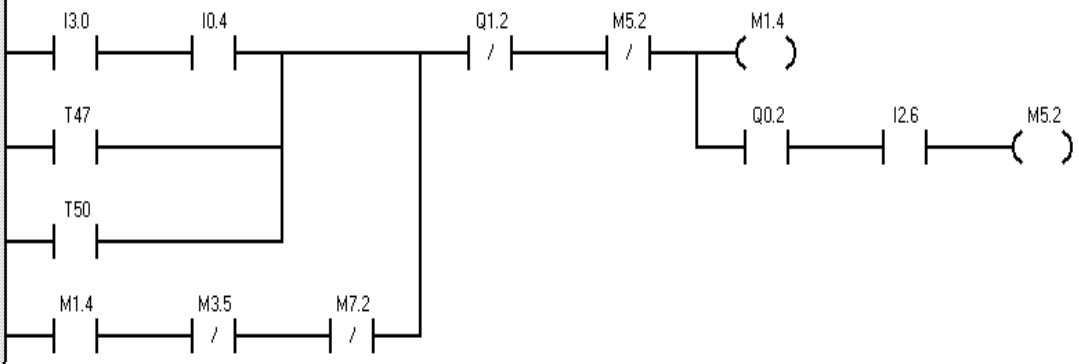
网络 12

二层上四层。。。M1.3电梯上行



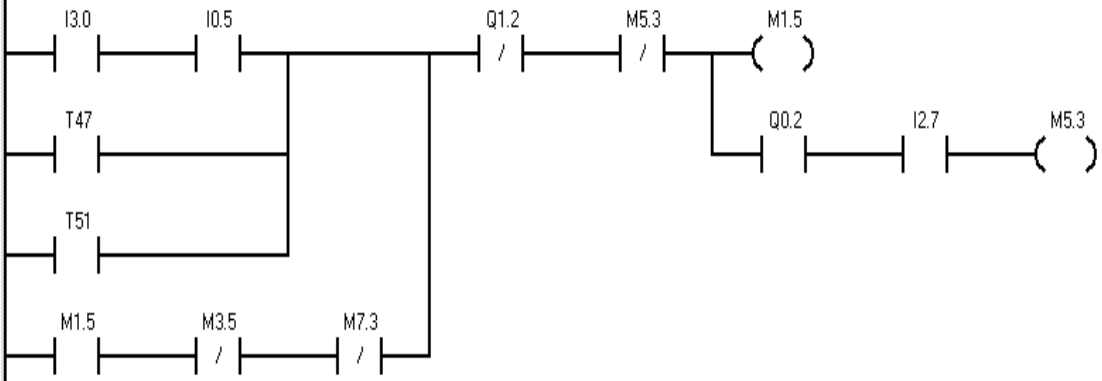
网络 13

三层下一层。。。M1.4电梯下行



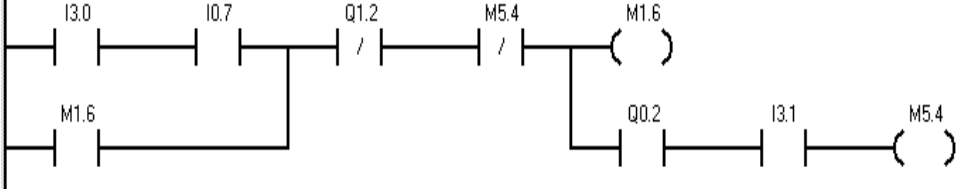
网络 14

三层下二层。。。M1.5电梯下行



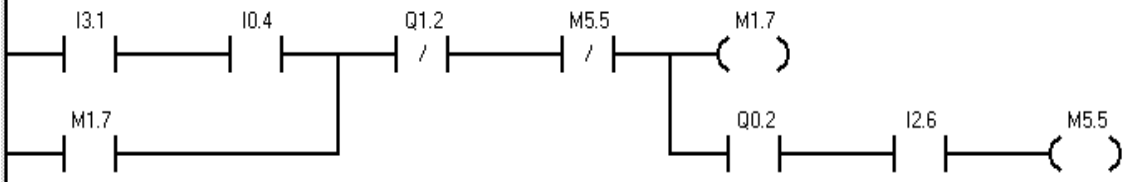
网络 15

三层上四层。。。M1.6电梯上行



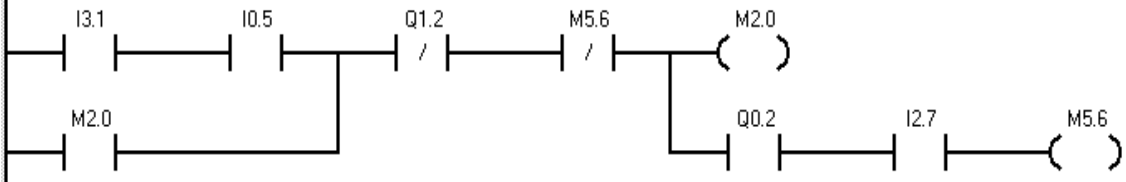
网络 16

四层下一层。。。M1.7电梯下行



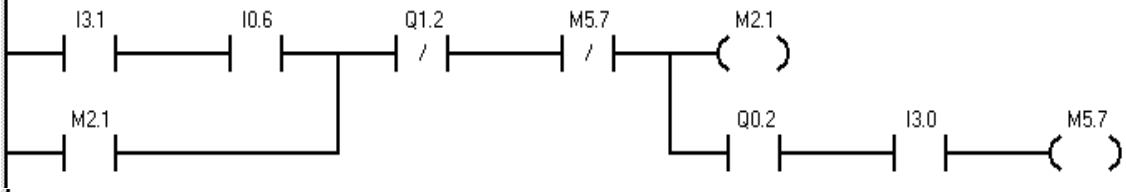
网络 17

四层下二层。。。M2.0电梯下行



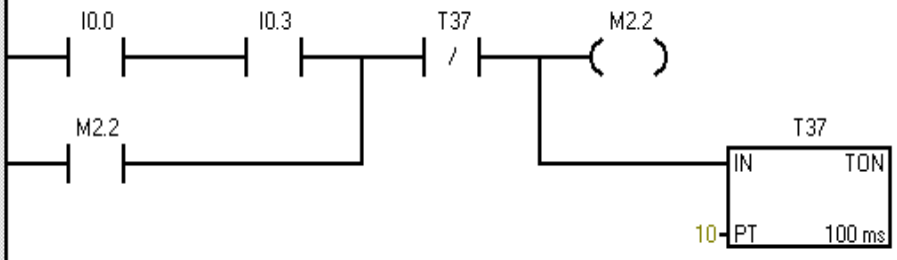
网络 18

四层下三层。。。M2.1电梯下行



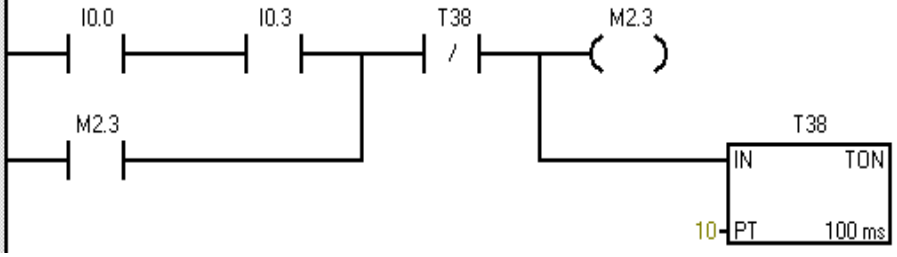
网络 19

轿厢在二层。。。一层四层同时呼梯，轿厢先去一层



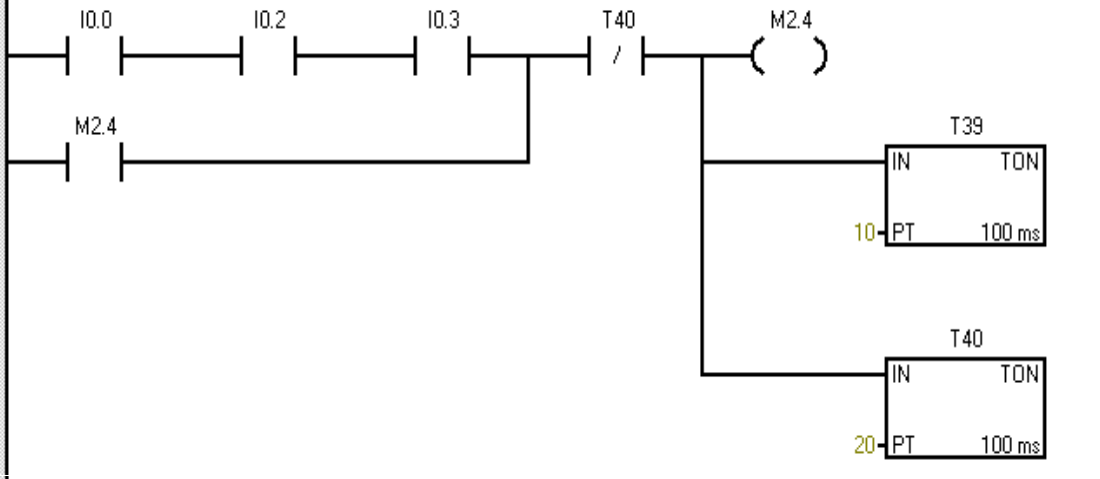
网络 20

轿厢在三层。。。一层四层同时呼梯，轿厢先去四层



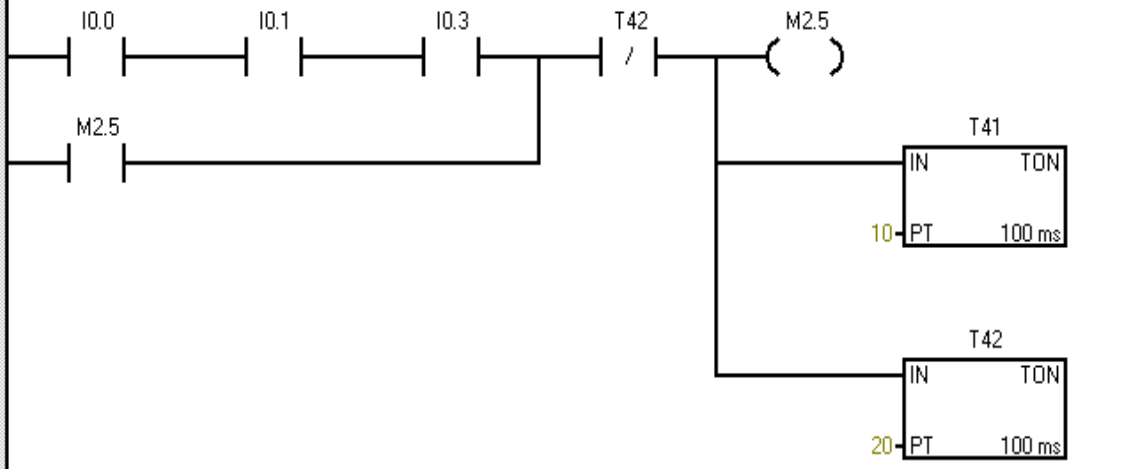
网络 21

轿厢在二层。。。一层三层四层同时呼梯，轿厢先去三层和四层



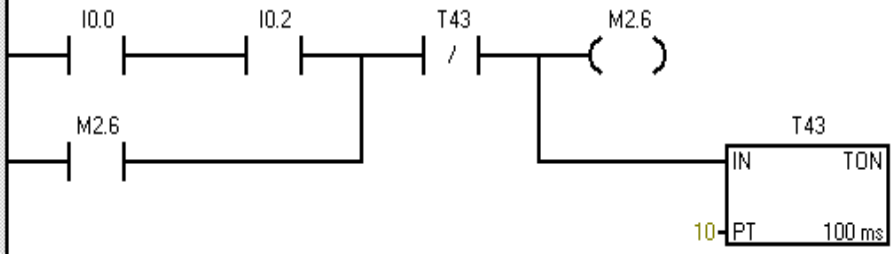
网络 22

轿厢在三层。。。一层二层四层同时呼梯，轿厢先去二层和一层



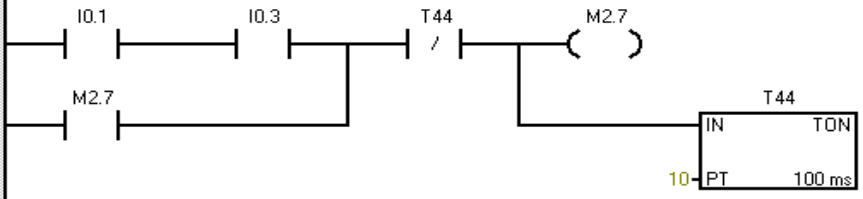
网络 23

轿厢在二层。。。一层三层同时呼梯，轿厢先去一层



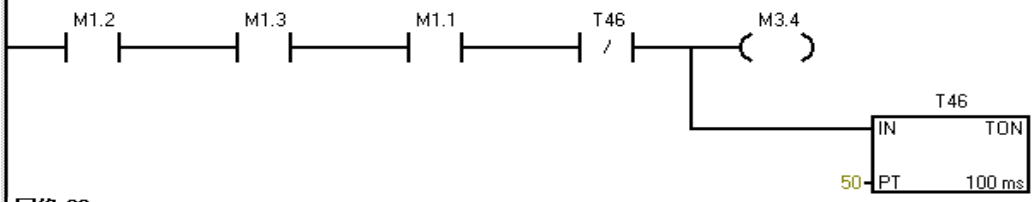
网络 24

轿厢在三层。。。二层四层同时呼梯，轿厢先去四层



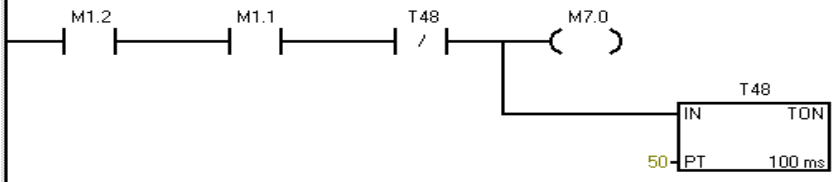
网络 25

轿厢在二层，同时去一层三层（四层）。。。轿厢先去一层，再去三层(四层）



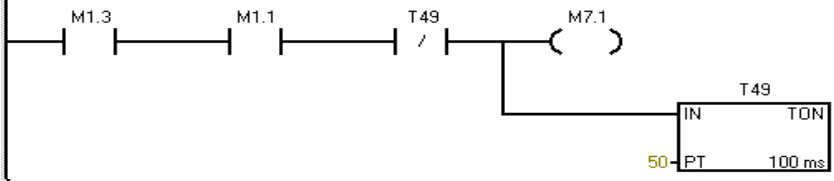
网络 26

轿厢在二层，同时去一层三层。。。轿厢先去一层再去三层



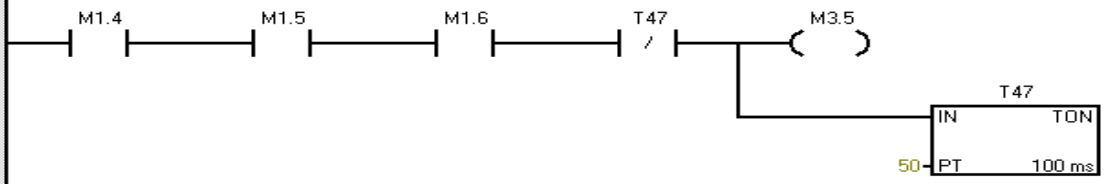
网络 27

轿厢在二层，同时去一层四层。。。轿厢先去一层再去四层



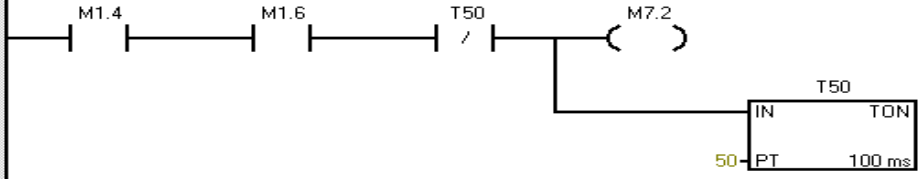
网络 28

轿厢在三层，同时去一层(二层)四层。。。轿厢先去四层，再去一层（二层）



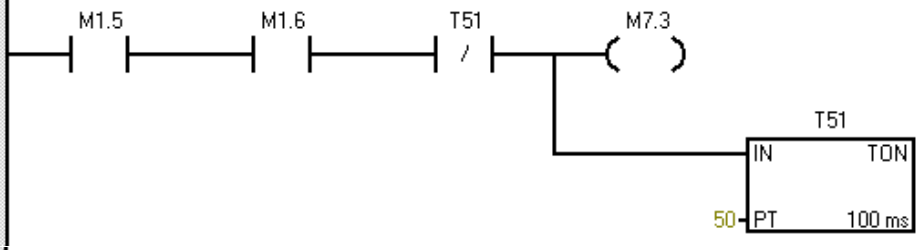
网络 29

轿厢在三层，同时去四层和二层，轿厢先去四层再去一层



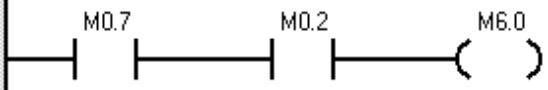
网络 30

轿厢在三层，同时去四层和一层，轿厢先去四层再去二层



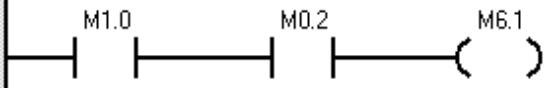
网络 31

轿厢在一层：去三层，二层有呼梯，电梯运行到二层开门



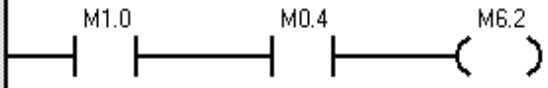
网络 32

轿厢在一层：去四层，二层有呼梯，电梯运行到二层开门



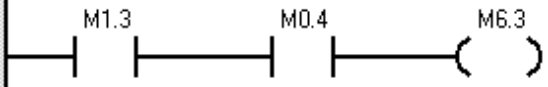
网络 33

轿厢在一层：去四层，三层有呼叫，电梯运行到三层开门



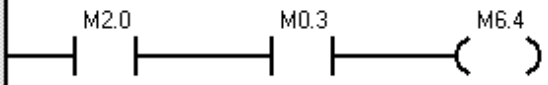
网络 34

轿厢在二层：去四层，三层有呼叫，电梯运行到三层开门



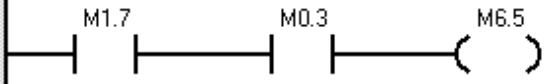
网络 35

轿厢在四层：去二层，三层有呼叫，电梯运行到三层开门



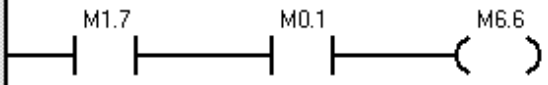
网络 36

轿厢在四层：去一层，三层有呼叫，电梯运行到三层开门



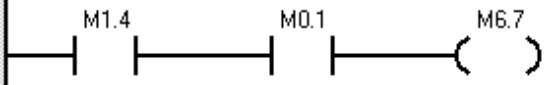
网络 37

轿厢在四层：去一层，二层有呼叫，电梯运行到二层开门



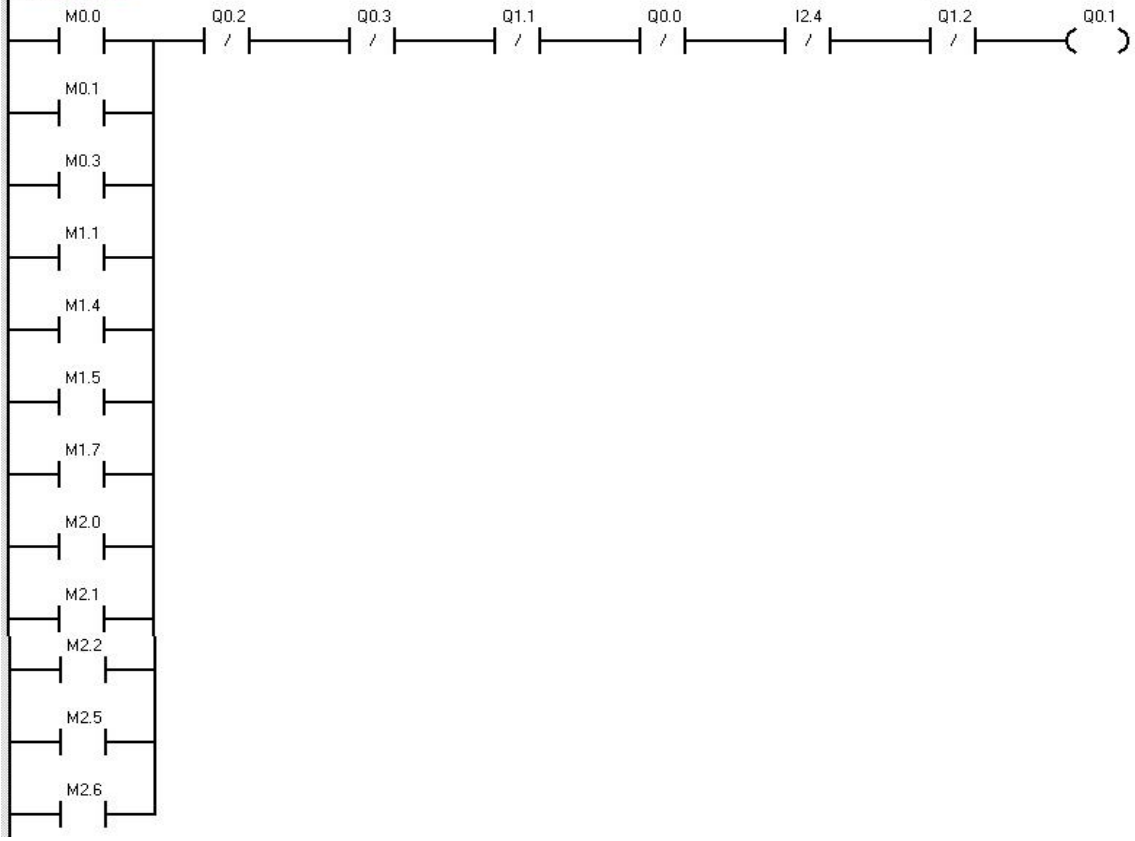
网络 38

轿厢在三层：去一层，二层有呼叫，电梯运行到二层开门



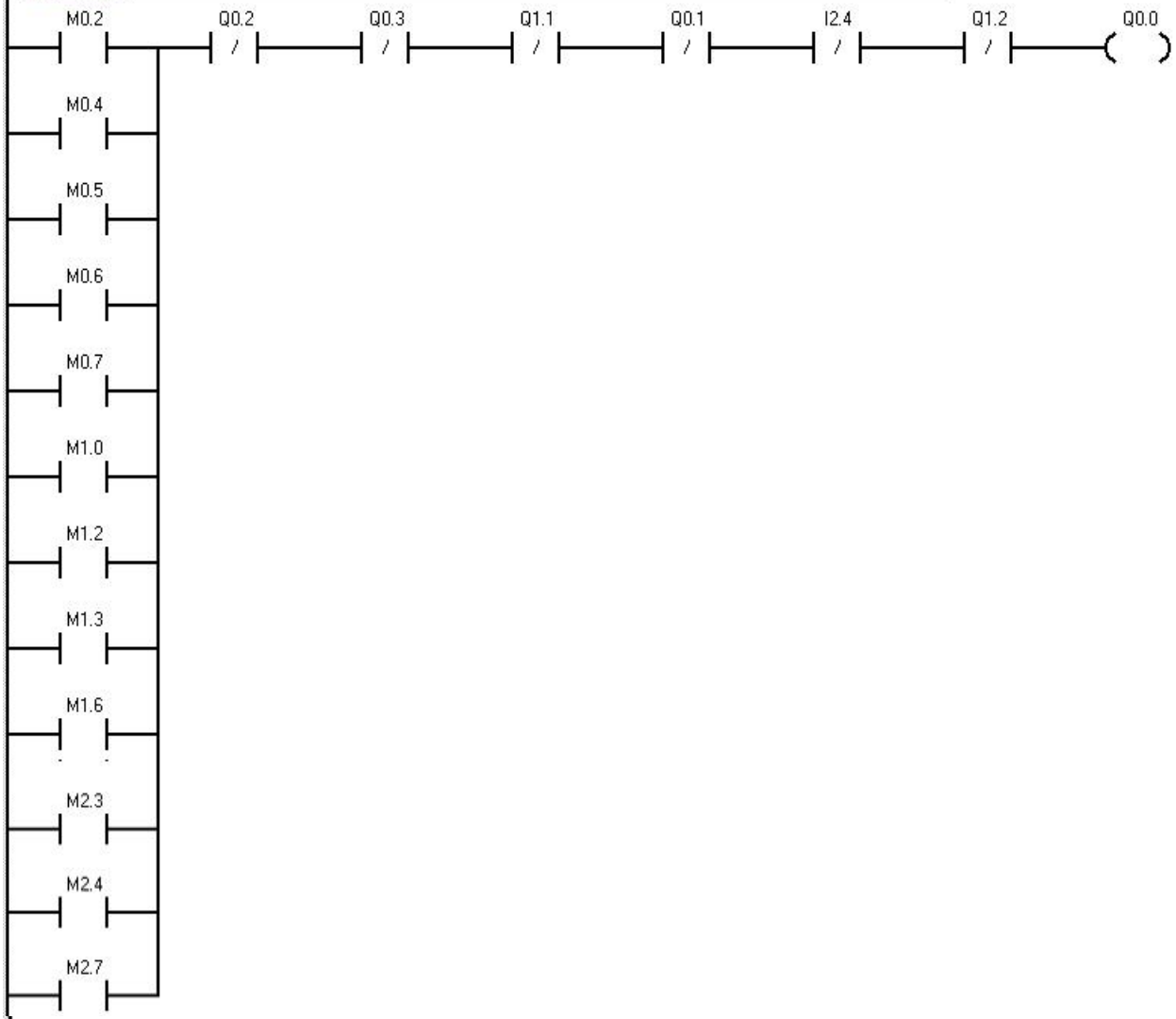
网络 39

电梯下行输出



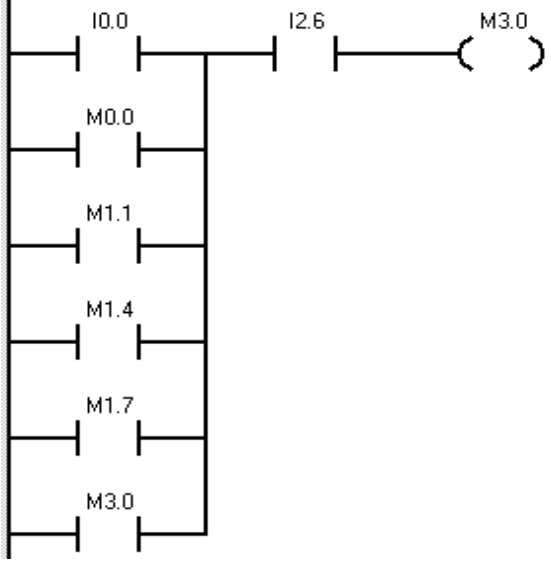
网络 40

电梯上行输出



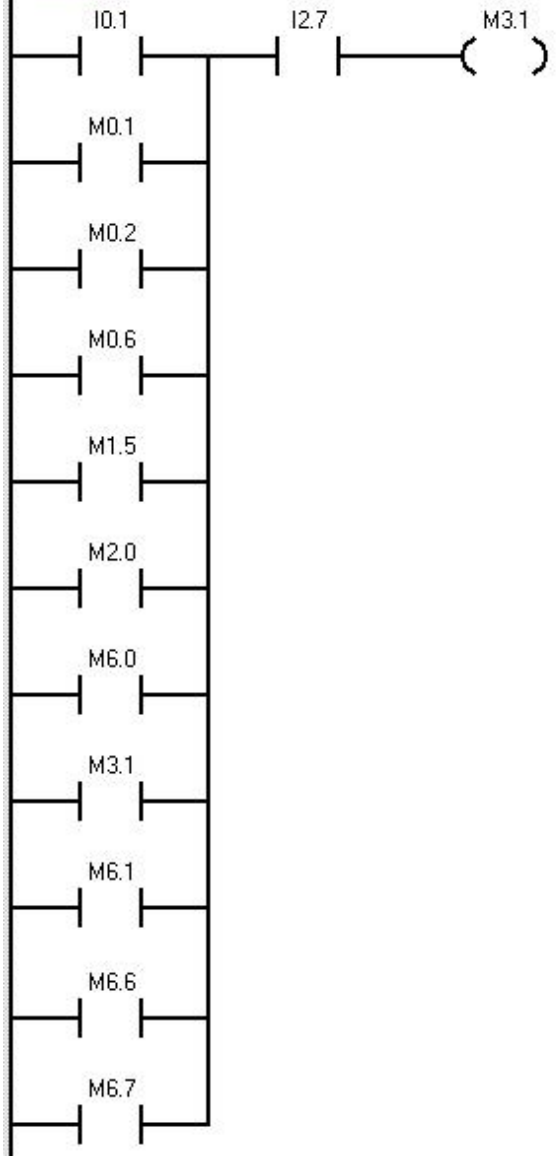
网络 41

一层开门。。。



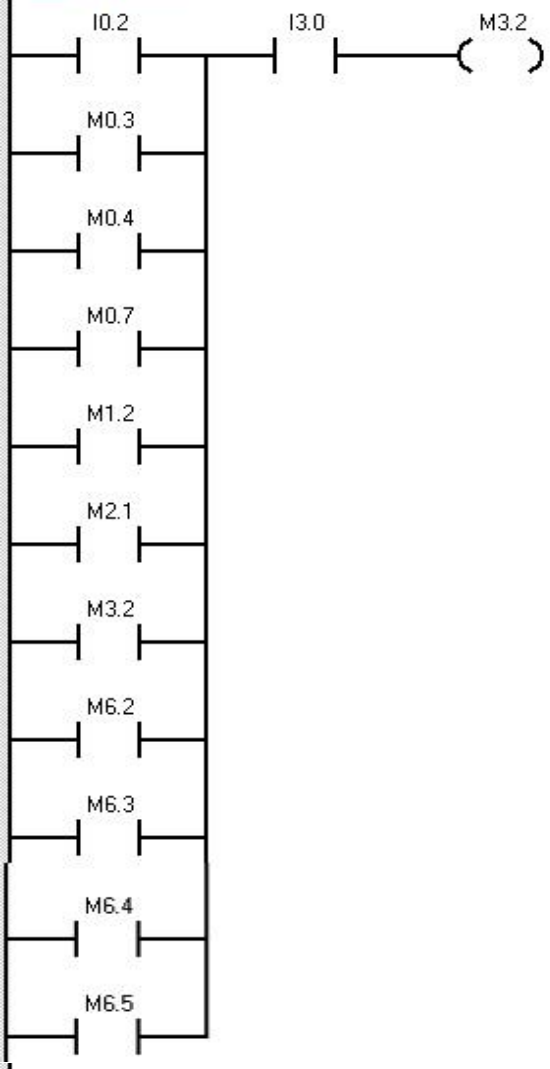
网络 42

二层开门。。。



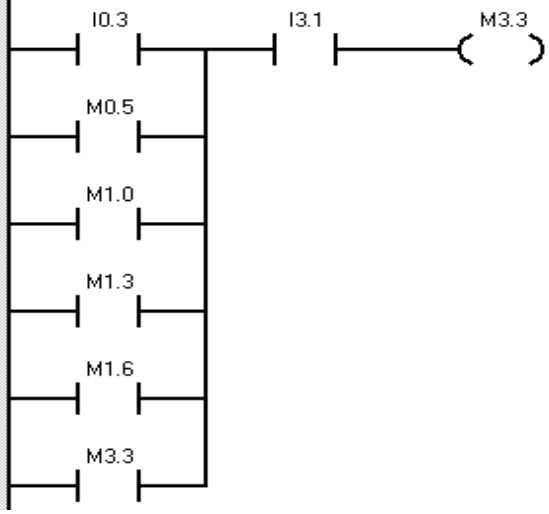
网络 43

三层开门。。。



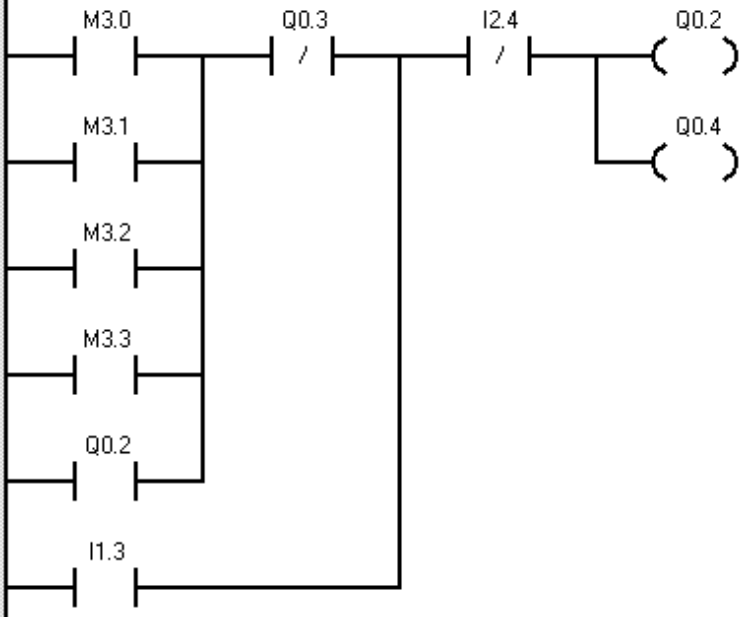
网络 44

四层开门。。。



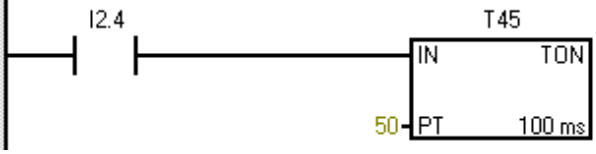
网络 45

开门输出。。。I1.3压力传感器



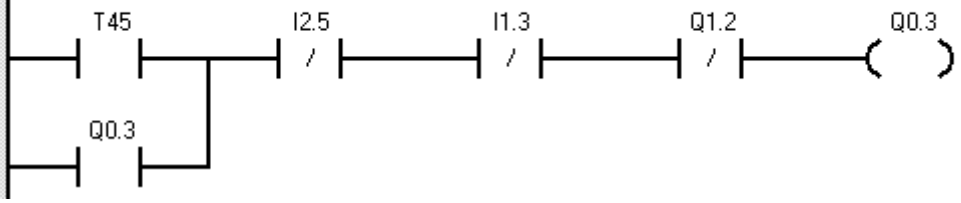
网络 46

开门保持5秒



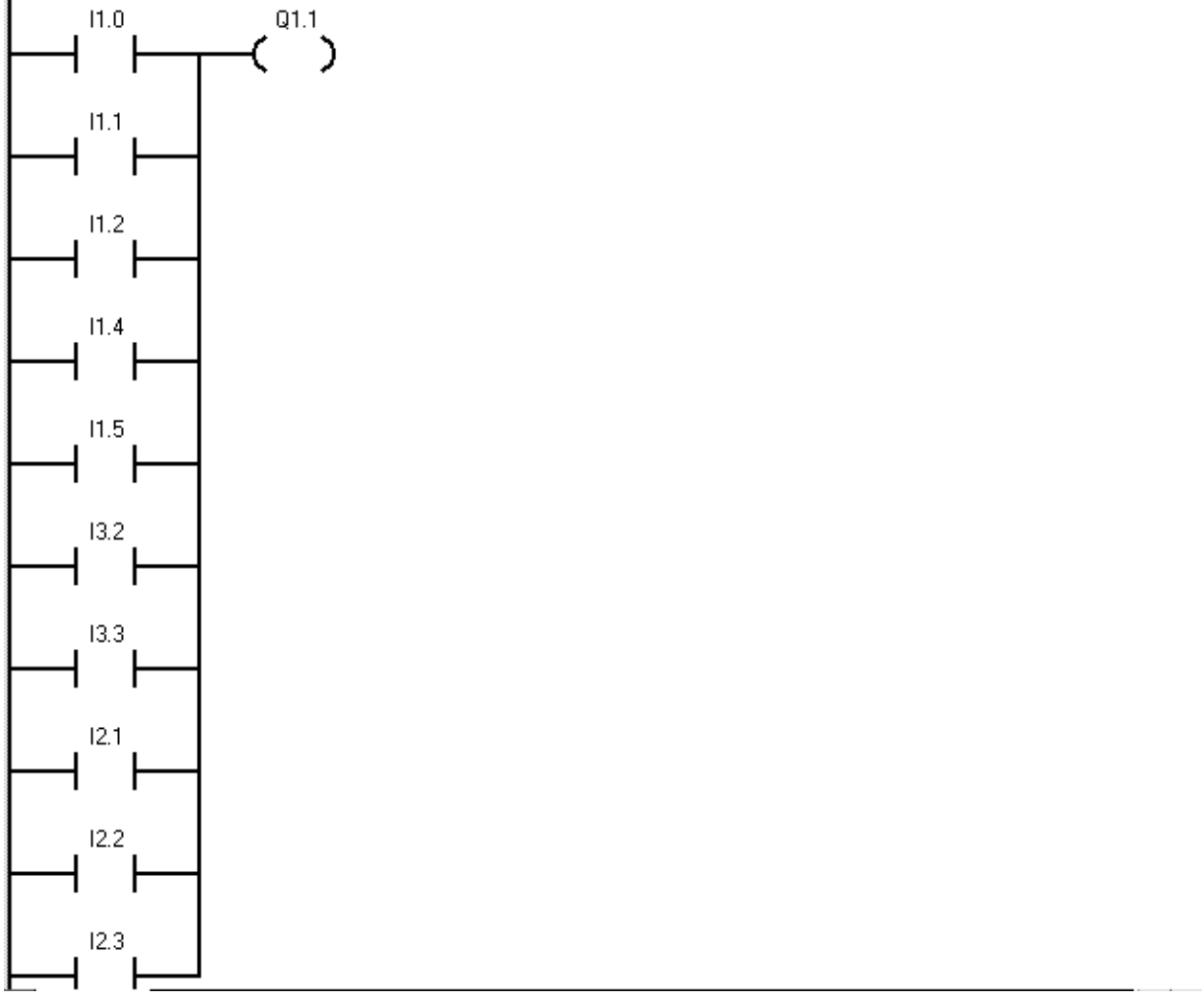
网络 47

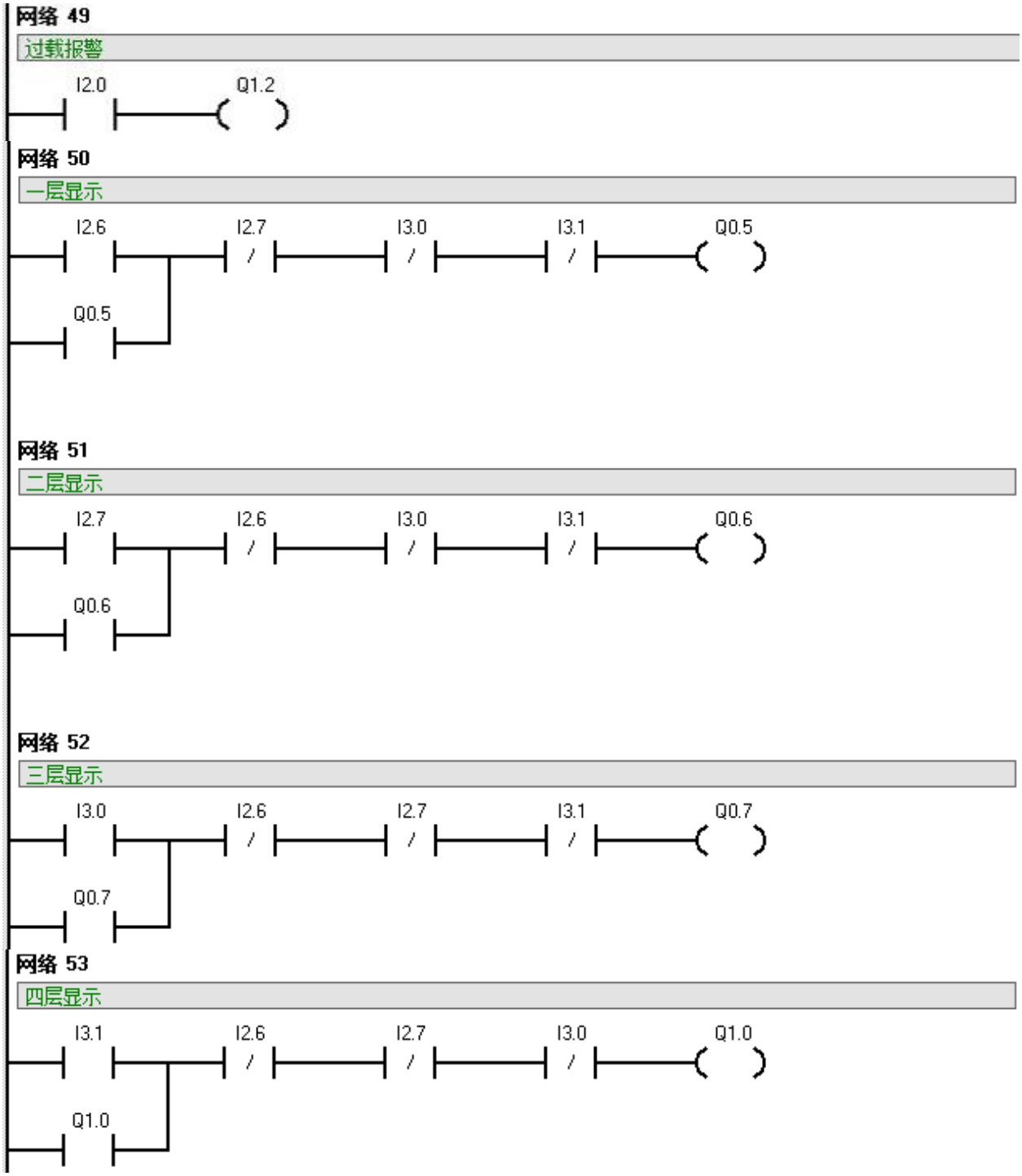
关门输出，有过载时不关门



网络 48

电梯安全保护





4.4 梯形图控制分析

1. 网络 1 至网络 6：当按下召唤按钮 I0.0、I0.1、I0.2、I0.3 时，对应辅助继电器，M0.0、M0.1 和 M0.2、M0.3 和 M0.4、M0.5 得电，如果轿厢在呼叫层上方 M0.0、M0.1、M0.3 接通电梯下行输出 Q0.1，反之 M0.2、M0.4、M0.5 接通电梯上行输出,当电梯开门时,才能将当前呼梯信号清除,只有当前信号有效,轿厢到达时,才能自动开。当有多个呼梯信号同时发生，根据轿厢位置，利用时间继电器，管理轿厢上行或者下行，例如轿厢在二层，一层、三层和四层同时有呼梯，轿厢先去三层四层，最后去一层。

2. 网络 7 至网络网络 18：当按下选层按钮，如果是向上辅助继电器 M0.6、M0.7、M1.0、M1.2、M1.3、M1.6 接通电梯上行输出，电梯上行；反之 M1.1、M1.4、M1.5、M1.7、M2.0、M2.1 接通电梯下行输出，电梯下行。
3. 网络 19 至网络 24:利用时间继电器，将多个同时呼梯信号排序，如果轿厢在三层，这时一层、二层和四层同时有呼梯，通过网络 22 辅助继电器 M2.5 先断开网络 1 的 M0.0 和网络 6 的 M0.5，然后分别利用时间继电器 T41 定时 1 秒、T42 定时 2 秒接通 M0.0 和 M0.5。使轿厢先去二层再去一层最后去四层。
4. 网络 25 至网络 30：当有多个选层信号时，分别利用定时继电器将信号延时输入,起到对选层信号智能逐一执行的作用。例如网络 25 如果轿厢在二层当去一层、三层/四层时按下时，利用辅助继电器 M3.4 先断开网络 M1.3 和网络 M1.4 输入，利用定时器 T46 延时 5 秒钟接通 M1.2 和 M1.3，使轿厢先去一层。
5. 网络 31 至网络 38：当轿厢运行时正好有顺向呼梯信号，电梯运行到呼梯层停止并开门接客，然后继续运行。
6. 网络 39 至网络 40 为电梯上行和下行输出。上行和下行互锁，都设有开门、关门、故障、开门限位保护。
7. 网络 41 至网络 45 为电梯开门输出，碰到开门限位开关 I2.4 时电梯停止开门。网络 45 设有电梯门侧压力传感器输入 I1.3，当侧门感受到一定压力时重新将门打开。Q0.4 是电铃，与开门输出并联，当门开时电铃同时响。
8. 网络 46 至网络 47 是电梯关门过程，当门碰到极限开关 I2.4 时停止开门，并接通定时器 T45 定时 5 秒钟，T45 接通关门输出 Q0.3，电梯门自动关闭，当碰到关门限位开关 I2.5 时断开关门输出 Q0.3，电梯停止关门。
9. 网络 48 为电梯的安全保护输入，当任何一个元器件发生故障时，Q1.1 会立即被接通得电，并通过 Q1.1 的常闭触点断开电梯所有的输入输出，使电梯立即停止运行。
10. 网络 49 是电梯超载保护输入，当电梯超载时发出警告信号，并断开关门输出。当超载解除时继续执行关门输出。
11. 网络 50 至网络 53 是电梯运行显示指示信号输出，用于显示轿厢当前所在楼层。

案例 19

西门子 PLC 在机械手的发展及应用

内容摘要：在现代工业中，生产过程的机械化，自动化已成为突出的主题。化工等连续性生产过程的自动化已基本得到解决。专用机床是大批量生产自动化的有效的办法；控制机床、数控机床、加工中心等自动化机械是有效地解决多品种小批量生产自动化的重要办法。但除切削加工本身外，还有大量的装卸、搬运、装配等作业，有待于进一步实现机械化,工业机械手就是为实现这些工序的自动化而生产的。机械手是能够模仿人体上肢的部分功能，可以对其进行自动控制使其按照预定要求输送制品或操持工具进行生产操作的自动化生产设备。自上世纪六十年代，PLC 设计的机械手被实现为一种产品后，对它的开发应用也在不断发展，它可以在减轻繁重的体力劳动、改善劳动条件和安全生产；提高生产效率、稳定产品质量、降低废品率、降低生产成本、增强企业的竞争力等方面起到及其重要的作用。

在现代工业中，生产过程的机械化，自动化已成为突出的主题。化工等连续性生产过程的自动化已基本得到解决。但在机械工业中，加工、装配等生产是不连续的。专用机床是大批量生产自动化的有效的办法；控制机床、数控机床、加工中心等自动化机械是有效地解决多品种小批量生产自动化的重要办法。但除切削加工本身外，还有大量的装卸、搬运、装配等作业，有待于进一步实现机械化。据资料介绍，美国生产的全部工业零件中，有 75%是小批量生产，金属加工生产批量中有四分之三有 50 件以下，零件真正在机床上加工的时间仅占零件生产时间的 5%。从这里看出，装卸、搬运等工序机械化的迫切性，工业机械手就是为实现这些工序的自动化而生产的。

自上世纪六十年代，机械手被实现为一种产品后，对它的开发应用也在不断发展，最典型的发展是生产者将此产品大量应用于卫生行业（全自动生化分析仪），从而实现了卫生检验中急需短时间、大量样品数据的要求，但在卫生领域的机械手因采用样品品单一酶试剂显色法，且采用滤光片结构设计，造成试剂价格昂贵，限制了产品市场的发展。 随着技术的进步，机械手的设计已经实破了单一试剂、加热及滤光片的束缚。比如美国 OI 公司的产品，可针对单一项目，次序加 4 种试剂，加热温度也提高到 50 ℃ ，检测器则采用二极管陈列技术，这些进步为新领域的应用提供了强大支持。有专家估计未来 10 年，全自动流动分析仪的市场份额中，将有 50 %被全自动化学分析机械手取代。 通过了解上述两类产品的技术特点我们不难看出，机械手具有微升级试剂消耗，不受模板束

缚，分析中不同检测项目可穿插完成，可完成研发性波长扫描优化检测条件，用户可自行设计新的检测项目，体积小，甚至可做现场快速分析等特点。 由此也不难看出，以前流动分析中不适合的用户群，如样品检测单一种类少而样品量多的情况，为机械手的应用提供了可能性。对卫生行业的快速分析中，也因新型机械手的设计特点而使取代昂贵的试剂，降低分析成本成为可能。机械手不能完全取代流动分析产品一个重要的理由是：一些特殊样品处理技术不能在线实现，如萃取、高温蒸馏，需要离线进行，相信随着技术的进步，这些方面的技术也会提高。正如一句广告语所讲的“没有最好，只有更好” 。且现代化的注塑机常常配置有机械手，以提高生产效率。注塑机械手是能够模仿人体上肢的部分功能，可以对其进行自动控制使其按照预定要求输送制品或操持工具进行生产操作的自动化生产设备。注塑机械手是为注塑生产自动化专门配备的机械，它可以在减轻繁重的体力劳动、改善劳动条件和安全生产；提高注塑成型机的生产效率、稳定产品质量、降低废品率、降低生产成本、增强企业的竞争力等方面起到及其重要的作用。

随着工业机械化和自动化的发展以及气动技术自身的一些优点，气动机械手已经广泛应用在生产自动化的各个行业。近 20 年来，气动技术的应用领域迅速拓宽，尤其是在各种自动化生产线上得到广泛应用。电气可编程控制技术与气动技术相结合，使整个系统自动化程度更高，控制方式更灵活，性能更加可靠；气动机械手、柔性自动生产线的迅速发展，对气动技术提出了更多更高的要求；微电子技术的引入，促进了电气比例伺服技术的发展，现代控制理论的发展，使气动技术从开关控制进入闭环比例伺服控制，控制精度不断提高；由于气动脉宽调制技术具有结构简单、抗污染能力强和成本低廉等特点，国内外都在大力开发研究。 从各国的行业统计资料来看，近 30 多年来，气动行业发展很快。20 世纪 70 年代，液压与气动元件的产值比约为 9:1，而 30 多年后的今天，在工业技术发达的欧美、日本等国家，该比例已达到 6:4，甚至接近 5:5。我国的气动行业起步较晚，但发展较快。从 20 世纪 80 年代中期开始，气动元件产值的年递增率达 20%以上，高于中国机械工业产值平均年递增率。随着微电子技术、PLC 技术、计算机技术、传感技术和现代控制技术的发展与应用，气动技术已成为实现现代传动与控制的关键技术之一。 由于气压传动系统使用安全、可靠，可以在高温、震动、易燃、易爆、多尘埃、强磁、辐射等恶劣环境下工作”’。而气动机械手作为机械手的一种，它具有结构简单、重量轻、动作迅速、平稳、可靠、

节能和不污染环境、容易实现无级调速、易实现过载保护、易实现复杂的动作等优点。所以，气动机械手被广泛应用于汽车制造业、半导体及家电行业、化肥和化工，食品和药品的包装、精密仪器和军事工业等。现代汽车制造工厂的生产线，尤其是主要工艺的焊接生产线，大多采用了气动机械手。车身在每个工序的移动；车身外壳被真空吸盘吸起和放下，在指定工位的夹紧和定位；点焊机焊头的快速接近、减速软着陆后的变压控制点焊，都采用了各种特殊功能的气动机械手。高频率的点焊、力控的准确性及完成整个工序过程的高度自动化，堪称是最有代表性的气动机械手应用之一。在彩电、冰箱等家用电器产品的装配生产线上，在半导体芯片、印刷电路等各种电子产品的装配流水线上，不仅可以看到各种大小不一、形状不同的气缸、气爪，还可以看到许多灵巧的真空吸盘将一般气爪很难抓起的显像管、纸箱等物品轻轻地吸住，运送到指定目标位置。对加速度限制十分严格的芯片搬运系统，采用了平稳加速的 SIN 气缸。

气动机械手用于对食品行业的粉状、粒状、块状物料的自动计量包装；用于烟草工业的自动卷烟和自动包装等许多工序。如酒、油漆灌装气动机械手；自动加盖、安装和拧紧气动机械手，牛奶盒装箱气动机械手等。

此外，气动系统、气动机械手被广泛应用于制药与医疗器械上。如：气动自动调节病床，Robodoc 机器人，da Vinci 外科手术机器人等。

二、PLC 及其应用

（一）PLC 的概念

可编程序控制器，英文称 Programmable Controller，简称 PC。但由于 PC 容易和个人计算机（Personal Computer）混淆，故人们仍习惯地用 PLC 作为可编程序控制器的缩写。它是一个以微处理器为核心的数字运算操作的电子系统装置，专为在工业现场应用而设计，它采用可编程序的存储器，用以在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时/计数和算术运算等操作指令，并通过数字式或模拟式的输入、输出接口，控制各种类型的机械或生产过程。PLC 是微机技术与传统的继电接触控制技术相结合的产物，它克服了继电接触控制系统中的机械触点的接线复杂、可靠性低、功耗高、通用性和灵活性差的缺点，充分利用了微处理器的优点，又照顾到现场电气操作维修人员的技能与习惯，特别是 PLC 的程序编制，不需要专门的计算机编程语言知识，而是采用了一套以继电器梯形图为基础的简单指令形式，使用户程序编制形象、直观、方便易学；调试与查错也都很

方便。用户在购到所需的 PLC 后，只需按说明书的提示，做少量的接线和简易的用户程序编制工作，就可灵活方便地将 PLC 应用于生产实践。

（二）PLC 的组成

PLC 的构成： PLC 的类型繁多，功能和指令系统也不尽相同，但结构与工作原理则大同小异，通常由主机、输入/输出接口、电源扩展器接口和外部设备接口等几个主要部分组成。PLC 的硬件系统结构如图 1 所示：

图 1 PLC 的硬件系统结构

PLC 的各组成元素的构成及功能：

1、CPU 的构成及功能------CPU 是 PLC 的核心，起神经中枢的作用，主要由运算器、控制器、寄存器及实现它们之间联系的数据、控制及状态总线构成，CPU 单元还包括外围芯片、总线接口及有关电路。每套 PLC 至少有一个 CPU，它按 PLC 的系统程序赋予的功能接收并存贮用户程序和数据，用扫描的方式采集由现场输入装置送来的状态或数据，并存入规定的寄存器中，同时，诊断电源和 PLC 内部电路的工作状态和编程过程中的语法错误等。进入运行后，从用户程序存储器中逐条读取指令，经分析后再按指令规定的任务产生相应的控制信号，去指挥有关的控制电路。

2、I/O 模块------ PLC 与电气回路的接口，是通过输入输出部分（I/O）完成的。I/O 模块集成了 PLC 的 I/O 电路，其输入暂存器反映输入信号状态，输出点反映输出锁存器状态。输入模块将电信号变换成数字信号进入 PLC 系统，输出

模块相反。I/O 种类有开关量输入（DI），开关量输出（DO），模拟量输入（AI），模拟量输出（AO）等。

3、内存---------内存主要用于存储程序及数据，是 PLC 不可缺少的组成单元。不同机型的 PLC 期内存大小也不尽相同，除主机单元的已有的内存区外，大部分机型还可根据用户具体需要加以扩展。

4、电源模块-------PLC 电源用于为 PLC 各模块的集成电路提供工作电源。同时，有的还为输入电路提供 24V 的工作电源。电源输入类型有：交流电源（220VAC 或 110VAC），直流电源（常用的为 24VAC）。

5、底板或机架-------大多数模块式 PLC 使用底板或机架，其作用是：电气上，实现各模块间的联系，使 CPU 能访问底板上的所有模块，机械上，实现各模块间的连接，使各模块构成一个整体。

6、PLC 系统的其它设备------i) 编程设备：编程器是 PLC 开发应用、监测运行、检查维护不可缺少的器件，用于编写程序、对系统作一些设定、监控 PLC 及 PLC 所控制的系统的工作状况，但它不直接参与现场控制运行。某些 PLC 也配有手持型编程器，目前一般由计算机（运行编程软件）充当编程器。ii) 人机界面：最简单的人机界面是指示灯和按钮，目前液晶屏（或触摸屏）式的一体式操作员终端应用越来越广泛，由计算机（运行组态软件）充当人机界面也非常普及。iii)输入输出设备：用于永久性地存储用户数据，如 EPROM、EEPROM 写入器、条码阅读器，输入模拟量的电位器，打印机等。

7、PLC 的通信联网--------依靠先进的工业网络技术可以迅速有效地收集、传送生产和管理数据。因此，网络在自动化系统集成工程中的重要性越来越显著，甚至有人提出"网络就是控制器"的观点说法。 PLC 具有通信联网的功能，它使 PLC 与 PLC 之间、PLC 与上位计算机以及其他智能设备之间能够交换信息，形成一个统一的整体，实现分散集中控制。多数 PLC 具有 RS-232 接口，还有一些内置有支持各自通信协议的接口。 PLC 的通信，还未实现互操作性，IEC 规定了多种现场总线标准，PLC 各厂家均有采用。对于一个自动化工程(特别是中大规模控制系统)来讲，选择网络非常重要的。首先,网络必须是开放的，以方便不同设备的集成及未来系统规模的扩展；其次，针对不同网络层次的传输性能要求，选择网络的形式，这必须在较深入地了解该网络标准的协议和机制的前提下进行；再次，综合考虑系统成本、设备兼容性、现场环境适用性等具体问题，确定不同层次所使用的网络标准。

（三）PLC 工作原理及其特点

PLC 的工作原理：PLC 是采用“顺序扫描，不断循环”的方式进行工作的。即在 PLC 运行时，CPU 根据用户按控制要求编制好并存于用户存储器中的程序，按指令步序号（或地址号）作周期性循环扫描，如无跳转指令，则从第一条指令开始逐条顺序执行用户程序，直至程序结束。然后重新返回第一条指令，开始下一轮新的扫描。在每次扫描过程中，还要完成对输入信号的采样和对输出状态的刷新等工作。

PLC 的一个扫描周期必经输入采样、程序执行和输出刷新三个阶段。

PLC 的特点：

1. 抗干扰能力强、可靠性高。
2. 控制系统结构简单，通用性强。
3. 编程方便，易于使用。
4. 功能强大，成本低。
5. 设计、施工、调试的周期短。
6. 维护方便。

（四）PLC 的应用

初期的 PLC 主要在以开关量居多的电气顺序控制系统中使用，但在 20 世纪 90 年代后，PLC 也被广泛地在流程工业自动化系统中使用，一直到现在的现场总线控制系统，PLC 更是其中的主角，起应用面越来越广.目前，世界上有 200 多厂家生产 300 多品种 PLC 产品，应用在汽车、粮食加工、化学/制药、金属/矿山、纸浆/造纸等行业。PLC 的主要应用范围通常可分成以下几种：

1．中小型电气控制系统。

2．制造业自动化。

3．运动控制。

4．流程工业自动化。

三、PLC 控制方案分析

（一）对 PLC 的选取

由于市场的需求和西门子 PLC 的广泛应用所以我选取的是 S7-200.我们对其进行简要说明：

S7-200 系列是一类可编程逻辑控制器（Micro PLC）。这一系列产品可以满足多种多样的自动化控制需要，下图展示一台 S7-200 Micro PLC 的 CPU22*系列 PLC 的 CPU 外型图如图 2，具有紧凑的设计、良好的扩展性、低廉的价格以及强大的指令，使得 S7-200 可以近乎完美地满足小规模的控制要求。此外，丰富的 CPU 类型和电压等级使其在解决用户的工业自动化问题时，具有很强的适应性。

S7-200 CPU 模块包括一个中央处理器单元（CPU）、电源以及数字量 I/O 点，这些都被集成在一个紧凑、独立的设备中。

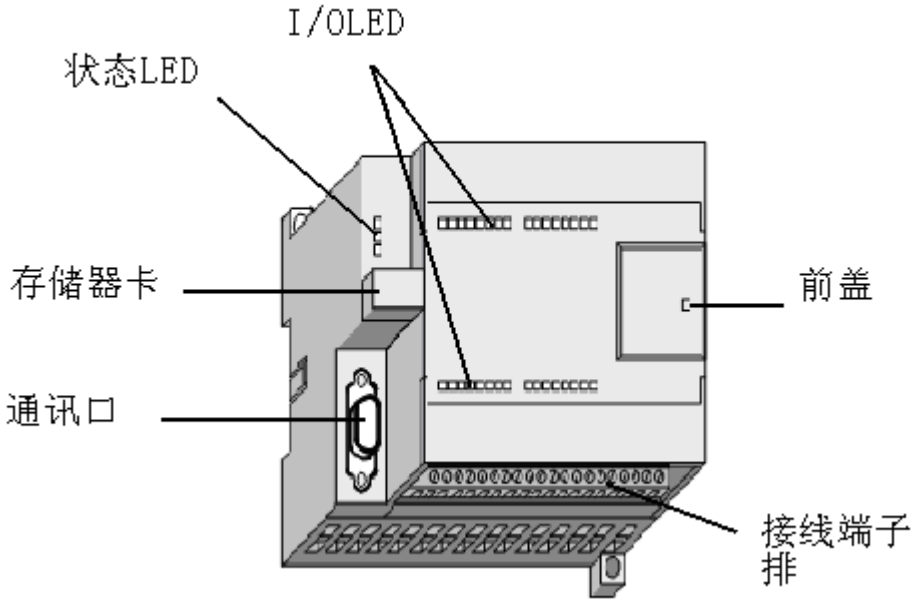


图 2 S7-200 CPU 外型图

- CPU 负责执行程序和存储数据，以便对工业自动控制任务或过程进行控制。
- 输入和输出是系统的控制点：输入部分从现场设备（例如传感器或开关）中采集信号，输出部分则控制泵、电机、以及工业过程中的其他设备。
- 电源向 CPU 及其所连接的任何模块提供电力。
- 通讯端口允许将 S7-200CPU 同编程器或一些设备连接起来。
- 状态信号灯显示了 CPU 的工作模式（运行或停止），本机的 I/O 的当前状态，以及检查出来的系统错误。
- 通过扩展模块可以增加 CPU 的 I/O 点数（CPU221 不可以扩展）。

- 通过扩展模块可以提供其通讯功能。
- 一些 CPU 具有内置实时时钟，其他 CPU 需要实时时钟卡。
- EEPROM 卡可以存储 CPU 程序，也可以将一个 CPU 中的程序传送到另一个 CPU 中。
- 通过可选的插入式电池盒可延长 RAM 中的数据存储时间。

图 3 展示了一个基本的 S7-200 Micro PLC.它包括一个 S7-200 CPU 模块,一台个人计算机(PC),STEP 7-Micro/win32(3.1 版)编程软件,以及一条通讯电缆.为了使用个人计算机(PC),你必须以下一种设备:一条 PC/PPI 电缆；一个通讯处理器(PC)和多点接口(MPI)电缆；一块 MPI 卡，随 MPI 卡提供一根通讯电缆。

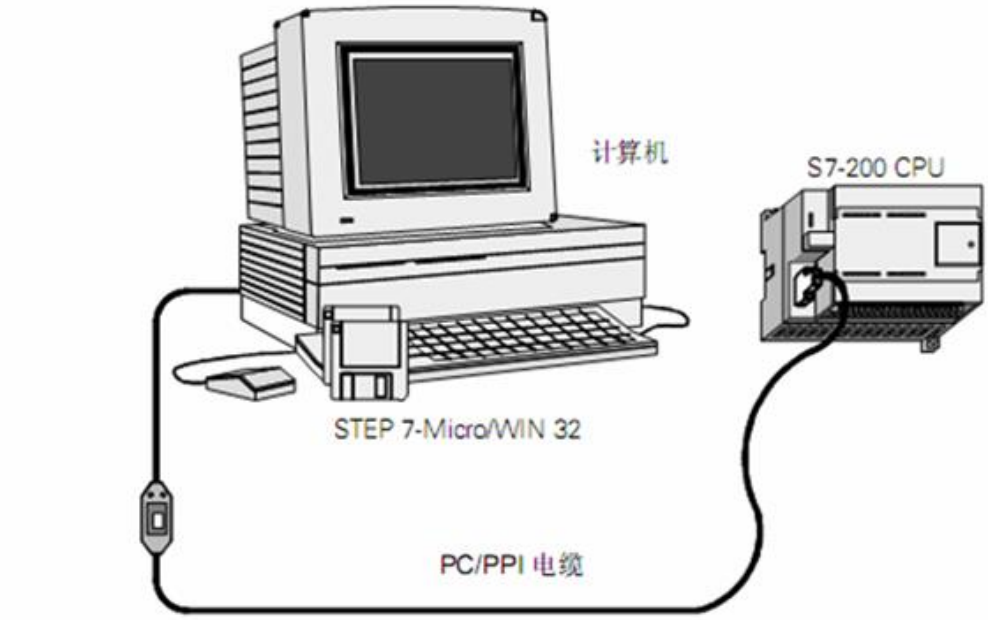


图 3 S7-200 Micro PLC 系统的组成

PLC 模块的选择：采用 CPU224 的主机和输出扩展模块 EM222 简要介绍对扩展模块的选取：

S7-200PLC 的 I/O 扩展模块有：

1. 输入扩展模块 EM221：共有 3 种产品，即 8 点和 16 点 DC、8 点 AC。
2. 输出扩展模块 EM222：共有 5 种产品，即 8 点 DC 和 4 点 DC、8 点 AC、8 点继电器和 4 点继电器。
3. 输入/输出混合模块 EM223：共有 6 种产品。其中 DC 输入/DC 输出的有 3 种，DC 输入/继电器输出的有三种，它们对应的输入/输出点数分别为 4 点、8 点和 16 点。
4. 模拟量输入扩展模块 EM231。

5. 模拟量输出扩展模块 EM232。

6. 模拟量输入/输出扩展模块 EM235。

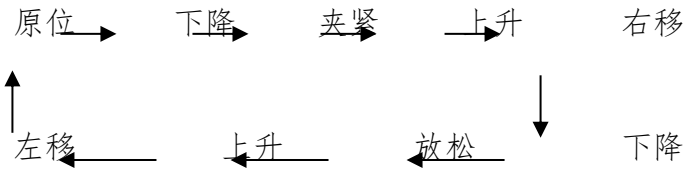
（二）系统的整体设计分析

整个系统由操控面板来完成整个机械手的的操作，工件通过光电开光进行检测。机械手的各个动作由汽缸驱动，而汽缸由相应的电磁阀控制。机械手的全部动作由 PLC 控制完成。

四、设计内容

（一）机械结构和控制要求

图中为一个将工件由一处传送到另一处的机械手，上升/下降和左移/右移的执行用双线圈二位电磁阀推动气缸完成。当某个电磁阀线圈通电，就一直保持现有的机械动作，例如一旦下降的电磁阀线圈通电，机械手下降，即使线圈再断电，仍保持现有的下降动作状态，直到相反方向的线圈通电为止。另外，夹紧/放松由单线圈二位电磁阀推动气缸完成，线圈通电执行夹紧动作，线圈断电时执行放松动作。设备装有上、下限位和左、右限位开关，它的工作过程如图所示，有八个动作且运行方式分为单步，单周期，连续三种模式。即为：



（二）系统硬件设计

1.输入/输出点地址分配

输入点：			输出点：		
启动按钮	SB1	I0.0	原始位开关	HL	Q0.5
停止按钮	SB2	I0.5	抓球电磁铁	YV2	Q0.1
下限为开关	SQ1	I0.1	下行接触器	YV1	Q0.0
上限位开关	SQ2	I0.2	上行接触器	YV3	Q0.2
右限位开关	SQ3	I0.3	右行接触器	YV4	Q0.3
左限位开关	SQ4	I0.4	左行接触器	YV5	Q0.4

2. PLC 外围接线图如图 4：

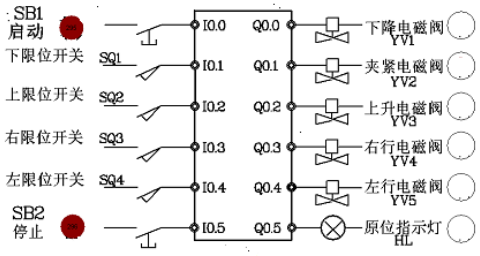
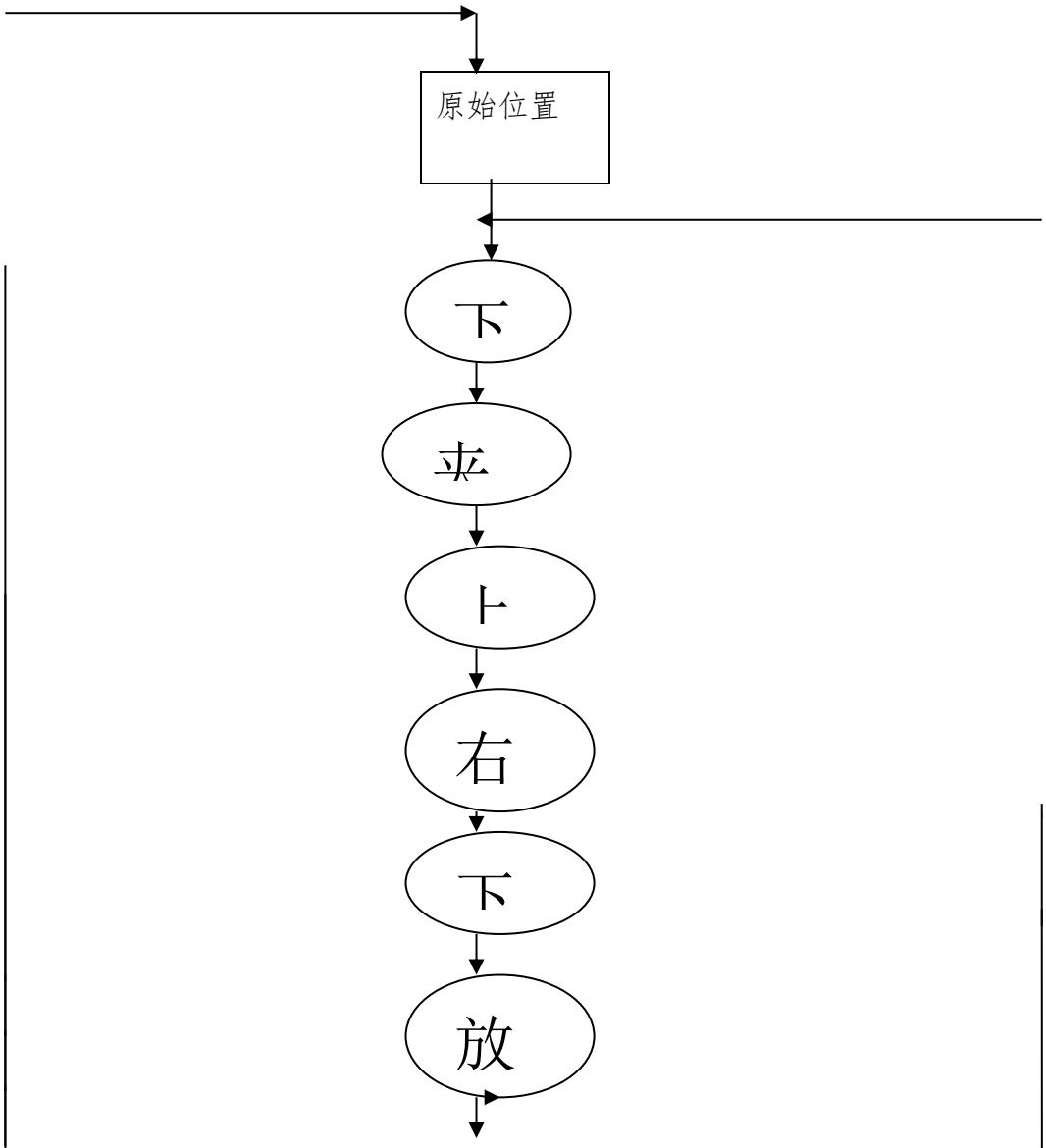


图 4 PLC 外围接线图

YV1、YV2、YV3、YV4、YV5、HL 分别接主机的输出点 Q0.0、Q0.1、Q0.2、Q0.3、Q0.4、Q0.5；SB1、SB2 分别接主机的输入点 I0.0、I0.5；SQ1、SQ2、SQ3、SQ4 分别接主机的输入点 I0.1、I0.2、I0.3、I0.4。

（三）系统软件设计

1. 工作流程图如图 5：



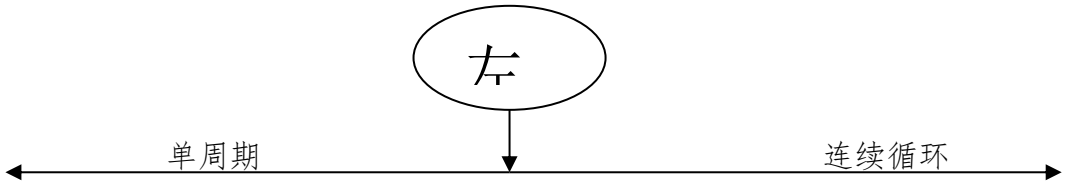
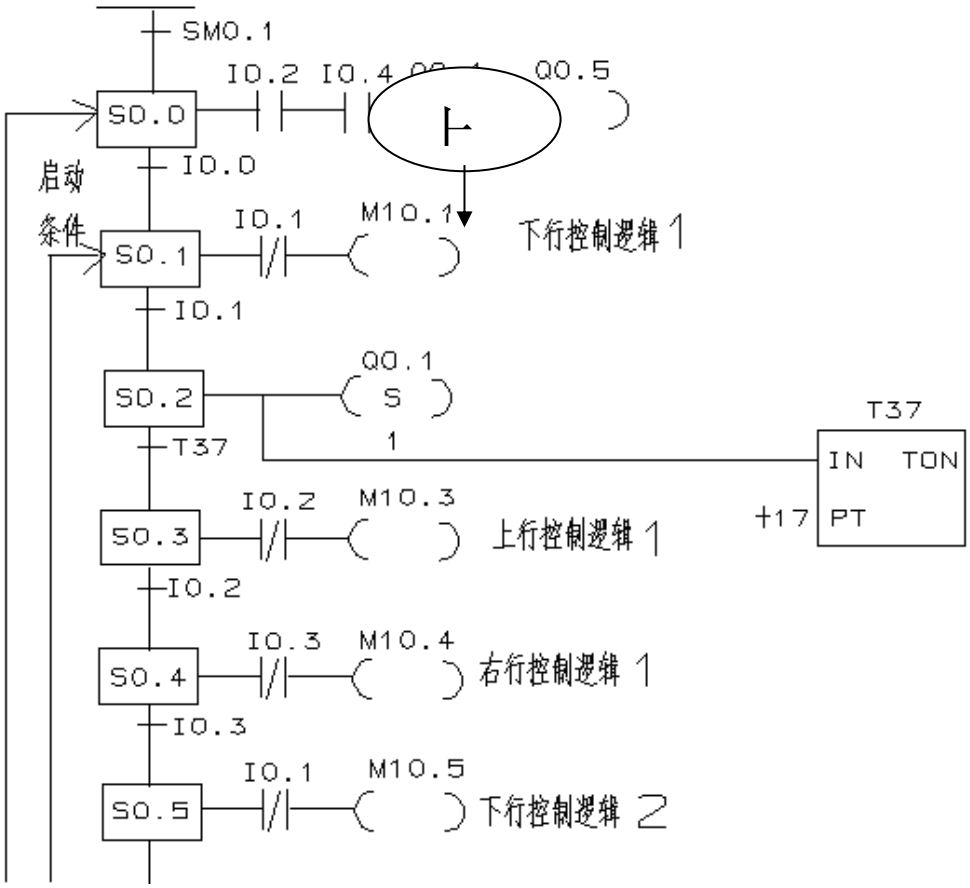


图 5 工作流程

2. 功能图如图 6：



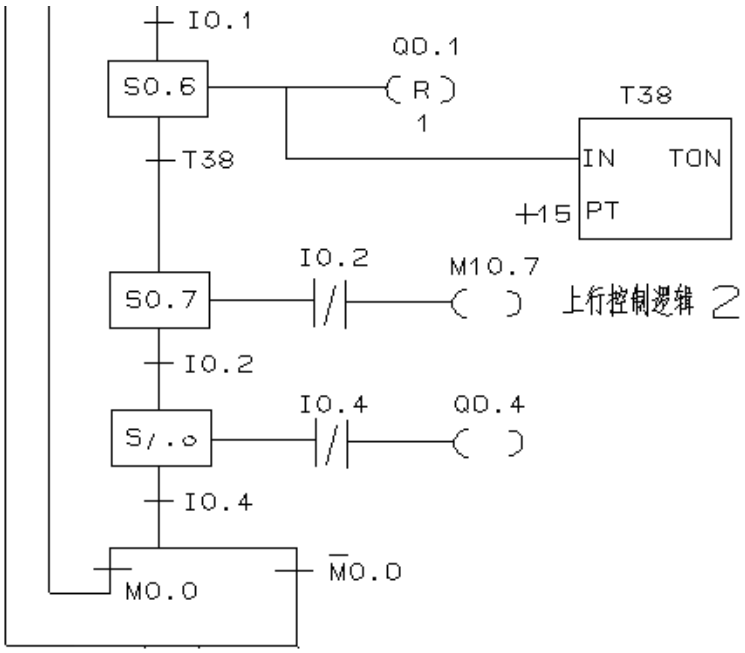


图 6 功能图

3. 梯形图（见附录）

五、系统调试

(一).使用设备

在调试中使用的是中国.启动新科教电子仪器公司所生产的 XK-TPLC C 型可编程 PLC 控制仪。主机用的 CPU226，还用了 EM223 和 EM235 两个扩展模块。

(二).调试过程

首先用电脑在 STEP-7-Micro/WIN 编程软件中将编辑的梯形图写入软件中，然后点击运行并对其指出的错误进行修改，修改完最终运行无误后将其下载到可编程控制仪器中；其次按照设计的要求接好线，确定无误后按下启动按钮。启动后发现上行、下行、左行、右行灯均同时亮且一直亮着，这样就不符合设计中八个动作依次有序进行操作的要求，务必对其进行修正。在这种情况下我采取了以下方案：

方案一：在没有确定设备是否曾在问题的情况下，首先我们对设备进行了检测，发现不曾在任何问题，在这种情况下我选择了再一次用先前的步骤来完成整个过程以确定初次的接线过程是否有误，结果发现运行的结果和先前一样出现灯均亮。这样方案一就以失败告终。

方案二：通过对程序的再三检查后，发现并未出现语法上的错误。会不会是运行的速度太快而出现一个周期接一个周期的快速运行呢？在带着这个问题的情况下把程序的每个动作网络多家了一个 stop 指令加以验证，然后将程序写入

STEP-7-Micro/WIN 编程软件中运行，运行结果显示没有错误；再下载到可编程控制仪后接好线按下启动按钮，发现指示灯会按照设计动作的要求依次亮起而且程序也能按照设计的要求完成指定的单周期和多周期操作。这样利用方案二就完成了整个实验的调试。

六、设计总结

通过这次机械手设计让我知道了现代企业在完成自动化控制中离不开 PLC 的控制，它可以使企业在生产的同时减少劳动力和生产成本。目前我国很多地区的企业整个生产设备还比较落后且大部分工序都是通过人工来完成的，而机械手成本比较低且操作简单很适合中小企业的发展要求。但随着科技不断进步我相信多功能复杂的机械手将会在不久的将来出现，所以在今后的学习和生活中我们还要不段的学习和创新，只有这样才能设计出更符合现代社会所需求的产品。以下是我对其在未来发展方向及展望：

1、重复精度化 ：精度是指机器人、机械手到达指定点的精确程度，它与驱动器的分辨率以及反馈装置有关。重复精度是指如果动作重复多次，机械手到达同样位置的精确程度。重复精度比精度更重要，如果一个机器人定位不够精确，通常会显示一个固定的误差，这个误差是可以预测的，因此可以通过编程予以校正。重复精度限定的是一个随机误差的范围，它通过一定次数地重复运行机器人来测定。随着微电子技术和现代控制技术的发展，以及气动伺服技术走出实验室和气动伺服定位系统的成套化。气动机械手的重复精度将越来越高，它的应用领域也将更广阔，如核工业和军事工业等。

2、 模块化：有的公司把带有系列导向驱动装置的气动机械手称为简单的传输技术，而把模块化拼装的气动机械手称为现代传输技术。模块化拼装的气动机械手比组合导向驱动装置更具灵活的安装体系。它集成电接口和带电缆及气管的导向系统装置，使机械手运动自如。由于模块化气动机械手的驱动部件采用了特殊设计的滚珠轴承，使它具有高刚性、高强度及精确的导向精度。优良的定位精度也是新一代气动机械手的一个重要特点。模块化气动机械手使同一机械手可能由于应用不同的模块而具有不同的功能，扩大了机械手的应用范围，是气动机械手的一个重要的发展方向。

3、无给油化：为了适应食品、医药、生物工程、电子、纺织、精密仪器等行业的无污染要求，不加润滑脂的不供油润滑元件已经问世。随着材料技术的进步，新型材料（如烧结金属石墨材料）的出现，构造特殊、用自润滑材料制造的

无润滑元件，不仅节省润滑油、不污染环境，而且系统简单、摩擦性能稳定、成本低、寿命长。

4、机电气一体化：由“可编程序控制器-传感器-气动元件”组成的典型的控制系统仍然是自动化技术的重要方面；发展与电子技术相结合的自适应控制气动元件，使气动技术从“开关控制”进入到高精度的“反馈控制”；省配线的复合集成系统，不仅减少配线、配管和元件，而且拆装简单，大大提高了系统的可靠性。而今，电磁阀的线圈功率越来越小，而 PLC 的输出功率在增大，由 PLC 直接控制线圈变得越来越可能。气动机械手、气动控制越来越离不开 PLC，而阀岛技术的发展，又使 PLC 在气动机械手、气动控制中变得更加得心应手。

我国对气动技术和气动机械手的研究与应用都比较晚，但随着投入力度和研发力度的加大，我国自主研制的许多气动机械手已经在汽车等行业为国家的发展进步发挥着重要作用。随着微电子技术的迅速发展和机械加工工艺水平的提高及现代控制理论的应用，为研究高性能的气动机械手奠定了坚实的物质技术基础。由于气动机械手有结构简单、易实现无级调速、易实现过载保护、易实现复杂的动作等诸多独特的优点，可以预见，气动机械手将越来越广泛地进人工业、军事、航空、医疗、生活等领。

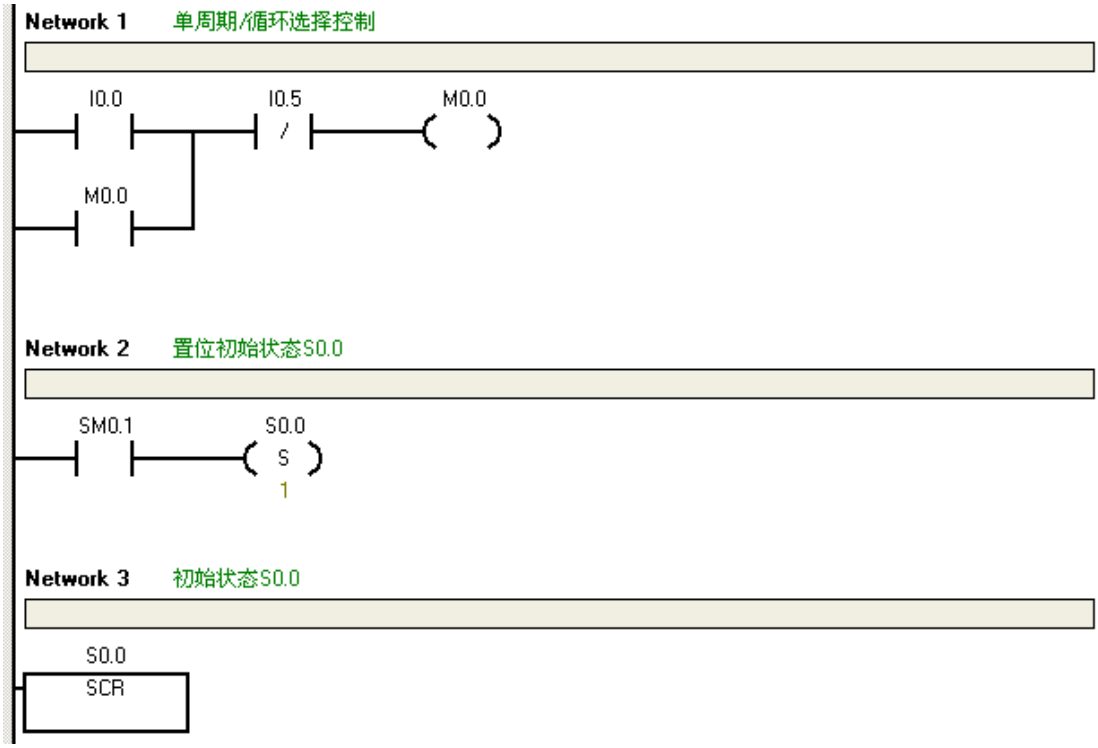
七、致谢词

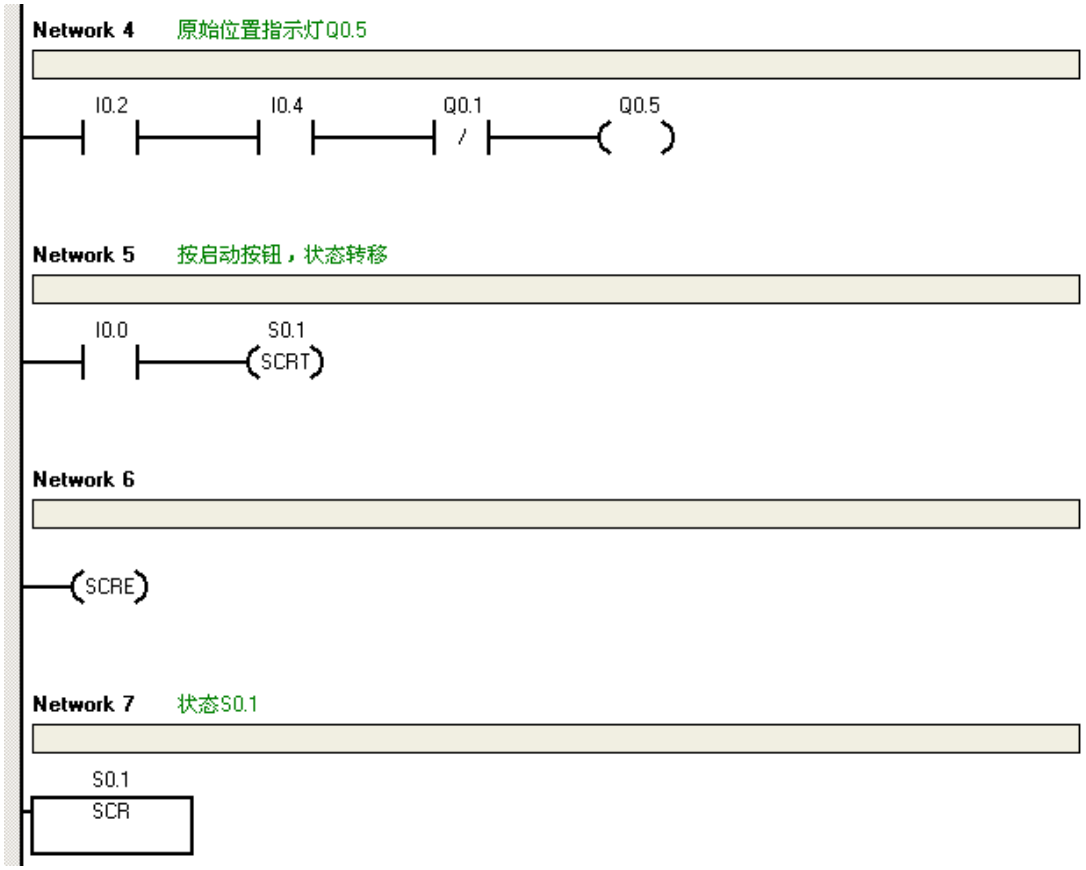
走出毕业论文的千头万绪，接下来便是自然而然的蓦然回首。于是，几多往事历历在目，一丝伤感轻轻划过，无限感动激荡心头。诚然，更多的感激注定只能驻扎在心底，但还是禁不住尝试有些呆板的文字表述。

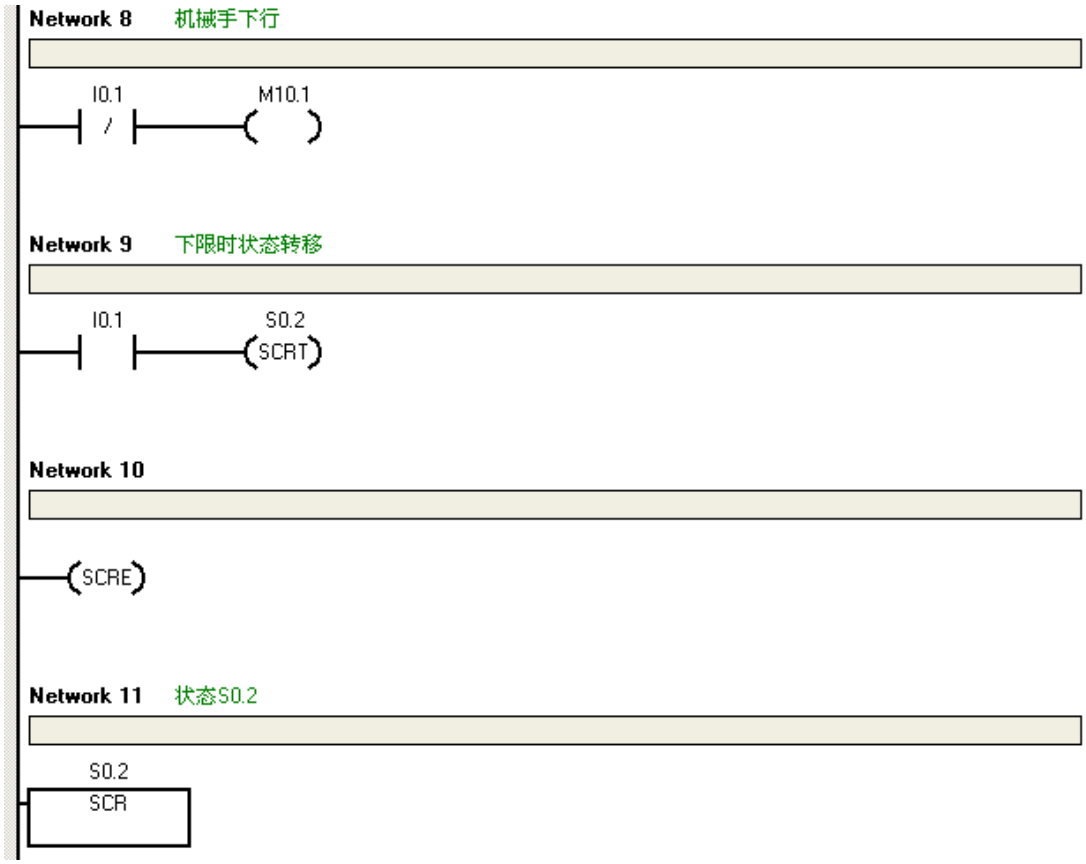
首先，我要郑重地感谢我的导师——XXX。自我因个人兴趣而选择本论文主题开始，老师便给予充分的理解和支持，就论文的立意选材、谋篇布局做了必不可少的指导。即便是放暑假，老师仍然多次通过电话督促、指导论文的写作，其严谨和负责，让一度偷懒懈怠的我倍为感动，也深感惭愧。其次我还要感谢我的家人。“吾本寒家”，感谢我的父母含辛茹苦、无怨无悔地把我抚养、栽培到现在；感谢我的弟弟，早早就毅然分担起家庭生活的重担，多年来对我无私的支持、关爱与呵护。家人永远是我的依托，也是鞭策我不断前进的力量。

有人说，时间如流水，一刻不停地冲刷着记忆，但是，有些记忆随着时间的冲刷不会消逝，反而会变得越来越清晰、越来越值得回味，因为它们已深深铭刻在内心深处。四年的求学即将划上句号，收拾行囊、开始新征途的日子悄然逼近，回头看看走过的路，无限感慨，挥挥手，却依然不想说再见！

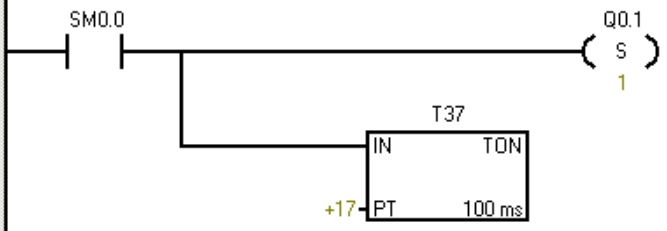
附录(梯形图)


Network 1 单周期/循环选择控制
I0.0
I0.5
/
M0.0
M0.0
Network 2 置位初始状态S0.0
SM0.1
S0.0
S
1
Network 3 初始状态S0.0
S0.0
SCR

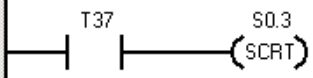

Network 4 原始位置指示灯Q0.5
I0.2
I0.4
Q0.1
Q0.5
Network 5 按启动按钮，状态转移
I0.0
S0.1
SCRT
Network 6
SCRE
Network 7 状态S0.1
S0.1
SCR


Network 8 机械手下行
I0.1
M10.1
Network 9 下限时状态转移
I0.1
S0.2
SCRT
Network 10
SCRE
Network 11 状态S0.2
S0.2
SCR

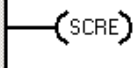
Network 12 机械手抓球



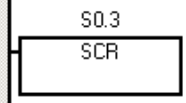
Network 13 抓球时间到状态转移



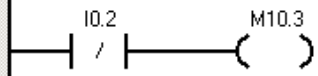
Network 14



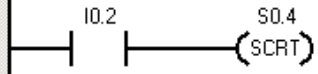
Network 15 状态S0.3



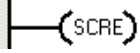
Network 16 机械手上行

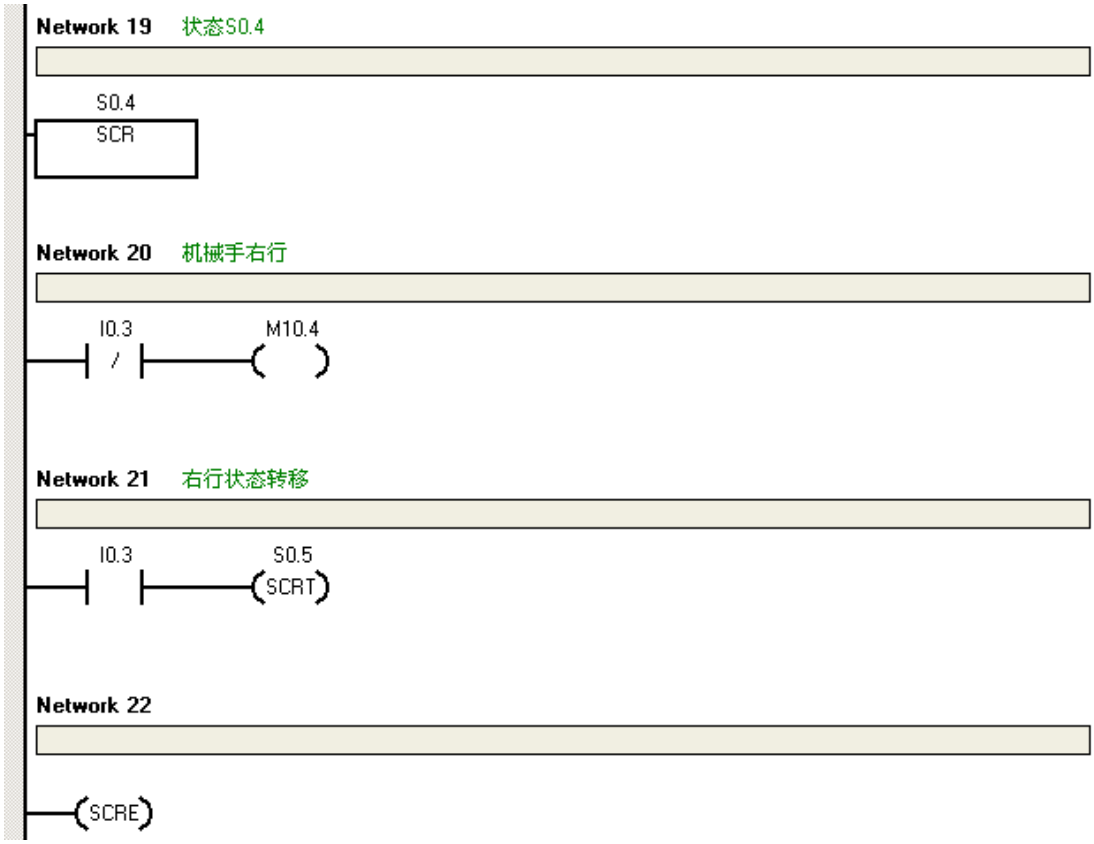


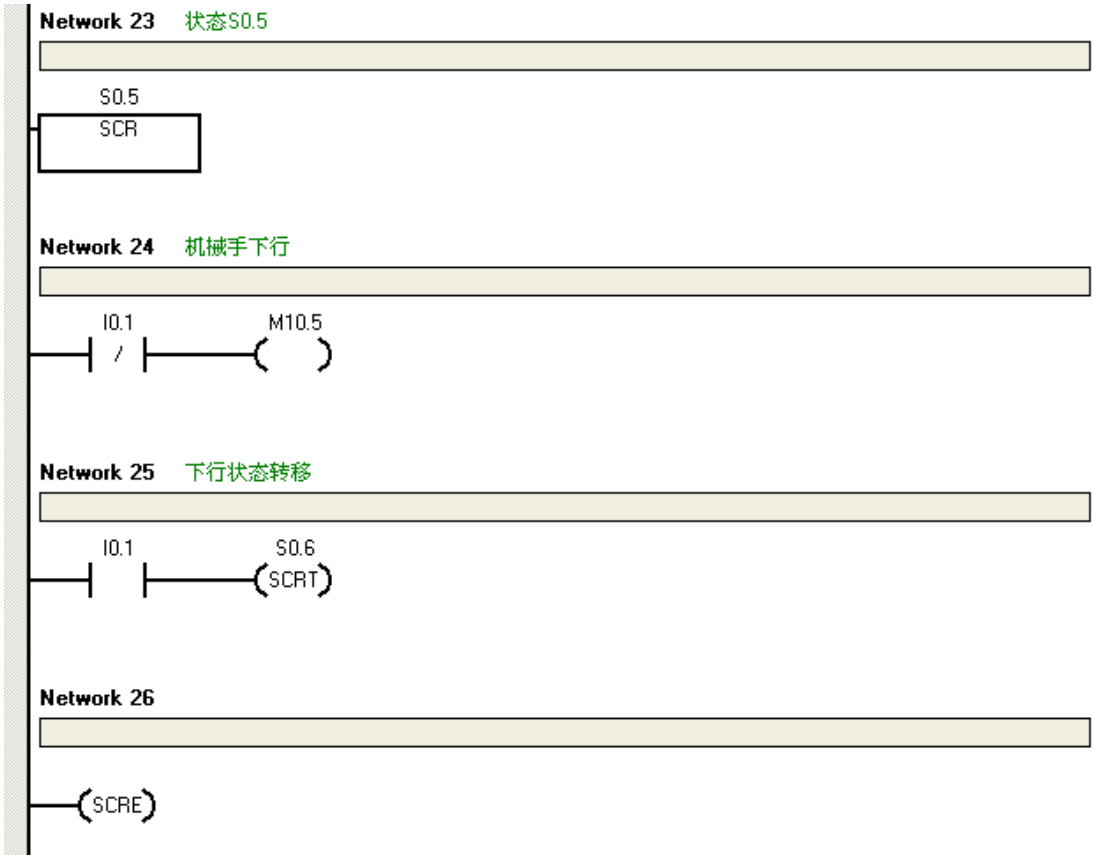
Network 17 上行状态转移



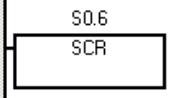
Network 18



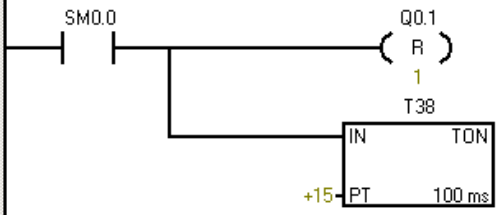

Network 19 状态S0.4
S0.4
SCR
Network 20 机械手右行
I0.3
/
M10.4
Network 21 右行状态转移
I0.3
S0.5
SCRT
Network 22
SCRE


Network 23 状态S0.5
S0.5
SCR
Network 24 机械手下行
I0.1
/
M10.5
Network 25 下行状态转移
I0.1
S0.6
SCRT
Network 26
SCRE

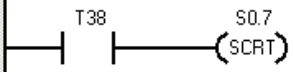
Network 27 状态S0.6



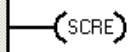
Network 28 机械手放球



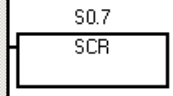
Network 29 放球时间到状态转移



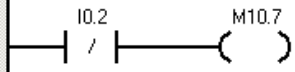
Network 30



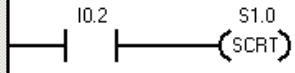
Network 31 状态S0.7



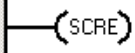
Network 32 机械手上行



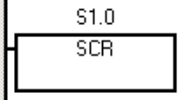
Network 33 上行状态转移



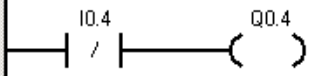
Network 34



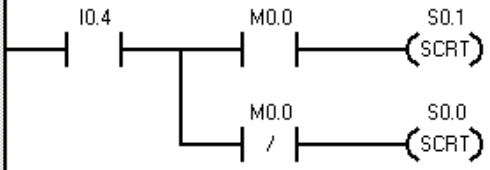
Network 35 状态S1.0



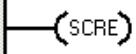
Network 36 机械手左行



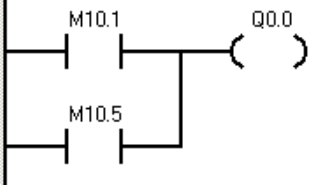
Network 37 左限位时，单周期转移到S0.0循环则转移到S0.1

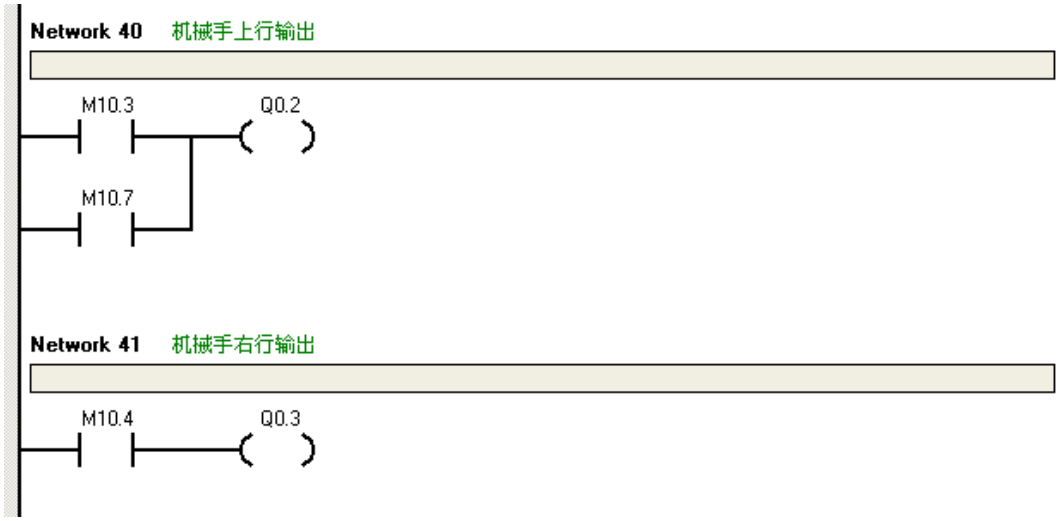


Network 38



Network 39 机械手下行输出





（1）在机械手上、下、左、右行走的控制中，使用了一个软件联锁触电，替代了 SM0.0。

（2）M0.0 是一个选择逻辑，其功能如上图中网络 1 所示，它相当于一个开光，控制着系统是进行单周期操作还是循环操作。

案列 20

西门子控制系统在热电厂中的应用

摘 要 ：

在科学技术不断发展的今天，我国各大企业都面临这巨大的改革和竞争压力，在市场化的竞争中要想继续前进就要不断采用新技术，提高自动化水平，尤其对于设计国家安全和经济命脉的热电厂企业，更要不断提升自己技术和能力。现金多数热电厂已经采用 PLC 控制系统来进行生产，以提高机组稳定性和安全性，提升热点行业的智能化、自动化水平。本文对 PLC 控制系统的硬件设备和软件系统作了分析，并探讨了其在热电厂生产运行环节的应用。

前言

1.随着生活水平的提高，居民用电量及工业生产用电量等日益增多，，热电厂应该根据需求更新设备提高技术来满足社会需求，而 PLC 控制系统是适合于当今热电厂发展需求的新技术，其抗干扰性强、操作简单，功能强大。PLC 控制系统已被多家热电厂应用于生产之中。

2.PLC 控制系统硬件软件分析

PLC 控制系统的硬件部分由上下机位控制点、I/O 模块、电源模块、输入端结构模块及监控站组成。其硬件数量多，结构较为复杂。上下机位控制点 600 多个，数量较多；I/O 模块是有主框架所配置，由于它的应用数目较小，所以可以适当的增加一些框架，使 PLC 控制系统更加稳定；PLC 的电源模块和输入端结构模块唯一，所以电源模块提供了整个控制系统的用电需求；为了上下机位可以进行通讯 [1]， PLC 设置了监控站，以便系统灵敏迅速的对事件进行反应处理。PLC 控制系统还包括软件部分，其主要应用了 Tiosft 软件。PLC 自动控制系统自身配置了逻辑指令集合，保证了其对故障能进行及时处理，使系统能维持正常的运行。并且该系统配置了控制功能模块和函数功能模块，这两个模块同时运作时，不但操作程序可以简化而且能达到控制功能模块的作用，是操作更加快捷，当遇到一些复杂的控制时，这两个模块还能进行 SF 程序的编写，简化控制系统，方便热电厂应用。

3.PLC 控制系统在热电中的应用

PLC 控制系统在热电厂各个生产环节应用广泛，效果优异，为企业带来良好的效益。应用 PLC 控制系统后热电厂的产电量明显增长，缓解了用电压力。

（1）PLC 控制系统在化学水处理中的应用。热电厂生产步骤较多，其中热电厂在工作中需要对化学水进行处理。传统的处理方法无法达到理想的效果。而在使用 PLC 控制系统的优势有很多，不但能较好的处理化学水，同时可延长设备的使用寿命及在一定程度上提高生产率，为公司带来隐形效益。可见 PLC 控制系统在生产过程中不可或缺的地位及意义。

在对化学水的一般处理过程中需要两组设备，各设阳床、过滤器及混床等设备。化学水处理程序被不复杂。其基本程序是首先将预处理的水进行过滤再进行分渗透为进一步处理做准备，然后对离子进行处理，离子包含阴阳离子，此时需要将阴阳离子进行交换，最后，将处理好已经混合的离子作为补给提供给水，这些水可以在电厂锅炉中得到有效的利用。

PLC 控制系统在处理化学水时的作用主要体现在对过滤器和阴阳床的控制和对公用设备的控制上和对外部信号波的处理上。启动 PLC 后系统开始运行，运行方式有很多种。热电厂在实际生产中，两台 PLC 系统经常同时控制一台公用设备 ，这样程序间就容易造成冲突现象 ，最终可能造成设备严重受损，直接影响电厂的正常生产运作。为了能保证电厂工作的稳定运行，需要对 PLC 系统进行重置处理，当需要关闭设备时，必须在所有的 PLC 系统都为关闭的状态下关闭设备，这样能较好的维护设备，确保安全 [2]。PLC 的作用还体现在对外部信号波的处理上。在生产过程中，若将盐水箱水位作为外部停备的标准 ，此时 ，PLC 控制系统就会立即自动进入停备状态 ， 此时，输出设备也将自动关闭。但是盐水箱里的水呈不断波动状态，这将严重影响 PLC 系统对信息的判断，在水位在标准线上下波动时，PLC 系统也会随之进行不断的开关，随着次数增多将会给设备带来损害，影响热电厂的正常生产运行，造成严重后果。为了避免这种事件，应

该对 PLC 系统进行完善，可以在其内部设置一个常闭接点，当 PLC 接收到不稳定信号的时候，内部长闭接点就会启动立即断开，达到屏蔽不稳定信号干扰的作用，将会很好的维护设备，确保生产安全。

（2）PLC 控制系统在石灰石—石膏湿法全烟气脱硫系统中的应用。热电厂在生产过程中将 PLC 控制系统运用到了石灰石—石膏湿法全烟气脱硫系统中，这一系统弥补了曾经采用 DCS 系统时的一系列缺陷。

PLC 控制系统价格相对偏低，可以降低成产成本，间接的促进了热电厂的生产。PLC 在功能方面的优势也远远超过 DSC 系统，PLC 系统有监视功能 ，可对热电厂 FGD 装置中的众多生产环节进行监视控制 ，例如可对废水处理系统进行监视控制 ，对浆液制备进行监视控制，同时可以对辅助的工业水系统进行监视控制等等 ，并且 PLC 还能对 FGD 系统的电气设备进行监视和控制 ，在 PLC 的监视功能下，不但能保证设备的各个系统的每个环节的正常安全的运行，同时减少了成本。热电厂工作中需要很多辅助设备，而 PLC 恰好可以广泛运用到各个系统中，根据 PLC 系统的特性，在脱硫过程中所需要的备件可以与别的辅助控制系统的备件通用，这样可以在数量和种类上同时减少备件的数量，避免不必要的浪费。PLC 系统的优势不仅仅体现在价格方面，还以现在其操作维护方面。DCS 控制系统复杂，需要大量人力及较高的技术手段操作 ,PLC 系统的构建比较简单，在短时间内就能完成，节约时间，提高工作效率，符合当代工作要求[3]。并且 DSC 的维护难度远远大于 PLC 的维护难度，因为 DSC 编程与维护复杂，这就需要热电厂具备超高技能的技术人员，而 PLC 的编程与维护简单，促进生产，更有益于热电厂的发展。

热电厂石灰石—石膏湿法全烟气脱硫系统中，PLC 在维护、成本、构建等各方面都远远优于 DSC 系统，PLC 控制系统更加适应现在发展的需求，更加有助于热电厂的发展，因此 ，热电厂要在成产的各个环节广泛应用 PLC 系统，以便更好更快的发展。

（3）PLC 控制系统在气力除灰中的应用。除灰系统的运行影响到整个热电厂的每个环节的进行，如果除灰系统出现故障，热电厂整个系统将会瘫痪，为了保证安全生产，现如今大部分热电厂为了保证除灰系统的稳定运行，在生产系统中采用了 PLC 双机热备配置，主备形式主要由两套一模一样的配置组成 ，即 ：电源、PLC 主机、通信以及热备处理模块。其中不同的配置负责不同的工作，而当 PLC 系统出现故障时，在短时间内可以使用备用机替代主机进行工作，保证了系统的正常运行。PLC 双机热备方式在下位机组中也得到了运用，其对程点位进行实时的检测，将检测到的信息提供给上位机 ，上位机根据信息下达命令 ,PLC 进行控制 ，整个流程实现了自动化控制 ，大大较少了人力的操作，提高了工作效率及处理速度。这一系统的结构较为复杂，同时在设计时需要注意工艺和工艺间的保护。PLC 结构的设计可以在模块化机构上进行，所以其可读性和灵活性较好，方便修改，调试时也很便捷。热电厂除灰系统采用 PLC 控制系统能有效地对分散

在各个不同区域的系统做自动化的控制，并且该系统所需成本低 ，抗干扰性强，操作方便，顺应现在企业生产的发展要求。

案例 21

西门子 S7 200 在轨道交通直流牵引监控系统中的应用

摘要：

本文简要的介绍了轨道交通变电所综合自动化系统及其直流牵引系统的整体结构，并根据实际需求，给出 S7-200 PLC 在北京轨道交通五号线直流牵引监控系统 的具体解决方案。

近年来随着城市轨道交通自动化系统的快速发展， 很多大型设备的监视和控制都选用 微型 PLC 进行改造。对某些控制点少而控制逻辑又较复杂的小型设备来说，微型可 编过程控制器紧凑的设计、良好的扩展性、低廉的价格、强大的指令以及较高的可靠 性和简便的维护近乎完美的满足了小规模的控制要求。如 750V 直流开关柜的测控单 元开关整流器的监视单元和 400V 开关柜的测控单元等均采用了 PLC 可编程程控制 器，给安装、运行、维护带来诸多的便利。以下给出的就是 S7-200 PLC 在北京轨道 交通五号线直流牵引监控系统中的一个典型应用实例。 1、需求分析 城市轨道交通供电系统是自成体系的配电系统， 包含有传统的交流供电系统和直流牵 引供电系统两部分。为了实现整体系统的安全可靠运行，必须实现电力系统的调度、 运营和管理的自动化。 变电站综合自动化系统是轨道交通供电自动化的基本组成， 是实现电力监控系统功能的基本单元。轨道交通变电站内各层之间的信息可充分共享，并通过通信接口与外系 统交换信息。设计一个快速、稳定、可靠的控制网络是轨道交通变电站自动化系统的 基本要求之一，是实现轨道交通供电系统运行管理功能的前提。 整个上来讲，轨道交通变电站综合自动化系统划分为站级管理层，网络通信层，间隔层： （1） 站级管理层为设置在控制信号盘内的冗余热备的通信控制器、通用测控装置和一 体化监视计算机。

（2） 间隔层包括分散安装于供电一次设备中的各种微机保护测控单元、信息采集设备、智能测控单元以及采用硬接点接入的现场设备。设备包括 400V 及 10kV 交流保护测控单元、750V 直流保护测控单元、变压器温控器、轨电位限制装置、制动能量吸收装置、杂散电流监控单元、UPS 直流屏、电度表、上网隔离开关、跟随所负荷开关等；

（3） 网络通信层即为所内通信网络和接口设备，间隔单元通过所内通信网络层与站级管 理层进行数据交换。

整个系统面向变电所通盘考虑，通过间隔单元与一次开关设备、CT/PT 等设备接口，实现对变电所设备的控制、监视、测量、继电保护及数据管理、远程通信等综合自动化管理，以保证供电系统的安全可靠运行。

一般来讲，轨道交通供电系统分为高压电源系统，直流牵引供电系统，动力、照明、信号电源三个系统。在轨道交通五号线供电系统中，作为轨道交通变电所自动化系统间隔层非常重要的组成部分，直流牵引供电系统直接给列车提供动力，其好坏直接影响整个地铁供电系统质量的高低。如果牵引供电系统出现问题，小则影响某个变电站、几个供电区间的输送电，大则引起整个牵引供电系统崩溃，给地铁列车的安全、运营造成影响。

轨道交通牵引供电系统是直接为地铁列车提供动力的系统，可以保证地铁列车高速、安全、可靠、经济节电地运行。目前北京轨道交通五号线牵引供电的运行采用双机组双边供电方式，即每个牵引变电站 2 台牵引机组带 2 台总闸，并列向直流母线供电运行，直流母线下设 4 台分闸，即馈线开关（加上备用共 5 台）,分别向上行、下行车辆进行主备供电，两个相邻的牵引变电站同时向站内同一馈电区间供电，如图 1 所示：

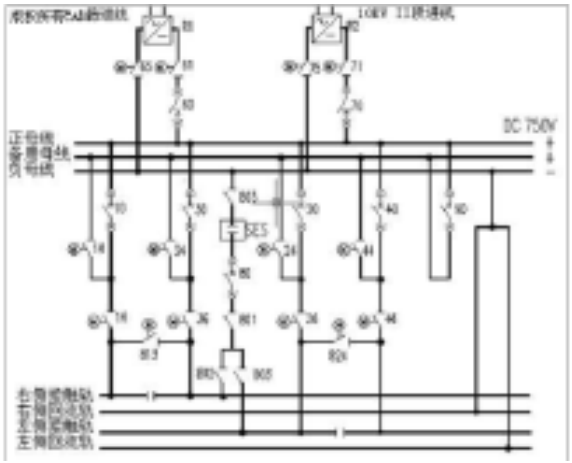


图 1 轨道交通变电站直流牵引供电系统典型主接线图

2 S7-200 PLC 具体实现功能

图 1 中，R1、R2 为整流器装置，60、70 为直流进线隔离开关，10、20、30、40 和 50 为馈线断路器，61 和 71 为进线断路器，65 和 75 为负极断路器，14、24、34 和 44 为旁路隔离开关，而 16、26、36 和 46 为上网隔离开关，813 和 824 为越区隔离开关，除了旁路隔离开关和上网隔离开关之外，所有的保护和测控工作一般均由直流保护装置（如 DPU 96）进行监视和控制，而对于旁路隔离开关和上网隔离开关的监视和控制工作将是由 S7-200 PLC 来完成，对于每一个馈线开关来讲，均配置一个型号为“6ES7 277-0AA2-0XA0”的 S7-200 PLC，该 PLC 主要有 8 个字节的输出和 8 个字节的输入，其完成的监控功能如下表 1 所示：

点描述 点类型 上位机 DP 地址

— — — 字节 位

旁路隔离开关分 DI 采集 2 0

旁路隔离开关合 DI 采集 2 1

旁路隔离开关 故障 DI 采集 2 2

上网电隔操作就地方式 DI 采集 3 0

上网电隔操作遥控方式 DI 采集 3 1

上网隔离开关分 DI 采集 3 2

上网隔离开关合 DI 采集 3 3

上网隔离开关 故障 DI 采集 3 4
三轨有压 DI 采集 3 5
上网隔离开关 MCB 跳闸 DI 采集 4 0
三轨有压检测设备故障 DI 采集 4 1
旁路隔离开关分闸命令 DO 控制 1 0
旁路隔离开关合闸命令 DO 控制 1 1
上网隔离开关分闸命令 DO 控制 1 2
上网隔离开关合闸命令 DO 控制 1 3

3 S7-200 PLC 与上位机通信过程

以北京轨道交通五号线为例，变电所自动化系统采用的是南瑞的 RT21-SAS 系统，而 750V 直流开关柜测控单元 S7-200 PLC 与上位机 RT21-SAS 系统的通信接口采用就是 PROFIBUS-DP 规约与南瑞的 C101 通信控制器 PROFIBUS 主站进行连接， C101 通信控制器除了 S7-200 PLC 进行主从连接外，还提供另一路 PROFIBUS-DP 接口与 750V 直流开关柜直流保护测控单元 DPU96，每个站设置 2 套协议及光电转换模块，实现 PROFIBUS—DP 信息的接入。此外，10KV 的整流器监控单元与 RT21-SAS 系统的通信接口方案也是经过 PROFIBUS-DP 规约与 C101 通信控制器实现互联。具体连接方案如图 2 所示。

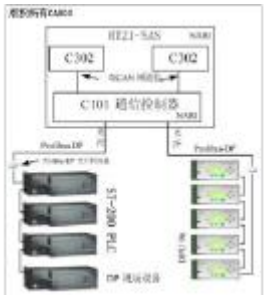


图 2 S7-200 PLC 与轨道交通变电所自动化系统上位机连接图

S7-200 PLC 作为 DP 从站，与 C101 通信控制器实现互联通信。C101 通信控制器为南瑞自主研发的遵循 EN50170 标准的 PROFIBUS-DP 主站，它主要完成 PROFIBUS 协议转换成与总控通信的 CAN2.0B 协议。S7-200 PLC 作为 C101 的从站，主要用于 750V 直流馈线柜的旁路隔离开关和上网隔离开关的监控、数据采集等功能。

从通信流程上来讲，S7-200 PLC 主要是通过 EM 277 将 S7-200 PLC CPU 作为 DP 从站连接到 PROFIBUS-DP 现场总线网络中，此外，S7-200 PLC 的 EM 277 还用来作为西门子 STEP7 V5.3 对 S7-200 PLC 进行组态，主要是通过 S7-200 PLC 的 MPI 通讯口与装有西门子 STEP7 V5.3 的计算机来对 STEP S7 软件进行组态。为了使 S7-200 PLC 的 EM 277 PROFIBUS-DP 模块可以与主站通讯，S7-200 PLC 与主站必须工作在相同的波特率下。当 EM 277 PROFIBUS-DP 模块用作 MPI 通讯时，其 MPI 主站必须使用 DP 模块的站址向 S7-200 发送组态信息，发送到 EM 277 DP 模块的 MPI 组态信息，将会被传送到 S7-200 PLC 上，从而达到对 S7-200 PLC 组态的目标。以下为 S7-200 PLC 作为 DP 从站与 C101 主站的组态参数配置如表 2 所示：

参数 数值 备注
主站站址 2 处于通信效率考虑，一般要求主站站址小于子站站址
子站地址 11、12, 13, 14 子站地址连续可以取得更高的通信效率
波特率 187,5 kbit/s 通信速率须适中，过高将会带来通信误码率过高
HSA 31 最高站地址，所有子站地址均要小于该地址
Tslot_Init 600 主站扫描 S7-200 PLC 全部子站的最大扫描时间
Max.Tsdr 80 主站扫描一个 S7-200 PLC 子站的最大等待时间

Min.Tsdr 11 主站扫描一个 S7-200 PLC 子站的最小等待时间

Retry-Limit 1 主站与一个 S7-200 PLC 子站通信出错的尝试次数

数据出入 8 命令控制方向，单位为字节，参见表 1 中的 DP 地址列定义

数据输出 8 数据采集方向，单位为字节，参见表 1 中的 DP 地址列定义

整体上，所有的现场 PROFIBUS-DP 通信设备均使用 PROFIBUS-DP 规约接入南瑞自主研发的 C101 通信控制器，C101 通信控制器主要目的就是利用 PROFIBUS-DP 通信规约采集底层现场设备的数据，并通过双 CAN 现场总线规约送往南瑞的 PSCADA 总控系统 C302，另外，C101 还将接受 C302 的各种控制、查询命令，对底层 PROFIBUS-DP 现场设备进行实时监控，从而满足了北京地铁五号线的 750V 直流测控的实时数据采集、监控、继电保护等各种功能。

实现上，C101 通信控制器与底层设备的数据传输速率为 187.5K，C101 做 DP 的通信主站，周期性的扫描底层设备，根据北京地铁轨道交通公司的要求，C101 通信控制器提供两组 PROFIBUS 通信接口。其中一组光纤接口连接西门子的直流测控保护装置 DPU 96，另一组光纤接口连接西门子的系列 S7-200 完成对 750V 直流进线柜、负极柜、馈线柜一次设备的实时监控功能。之所以采用两组光纤接口是由于 750V 直流开关室与变电所监控中心的距离比较远（一般 500～1km），使用电接口将会导致信号衰减以致于误码率将会大大提高。

PROFIBUS 的应用，首先必须进行严格的组态，使主站与从站的数据严格一致，考虑到使用者大多熟悉 SIEMENS 公司提供的通用组态软件 COM PROFIBUS，应用软件使用的数据文件格式和用 COM PROFIBUS 生成的数据文件格式完全相同，并且支持到最新的 5.0 版本。通过“超级终端”，还可以随时观察组态数据文件的参数内容，以确认组态的正确性。

4 结束语

使用西门子 S7-200 可编程控制器替代继电控制，不但省略了许多繁琐的中间控制环节，还大大提高了可靠性和精确性，达到了理想的效果。S7-200PLC 应用于轨道交通直流牵引领域，不仅在很大程度上减少了二次接线、设备，减少了变电站运行维护量；取消了轨道交通牵引供电系统保护屏，大大降低了系统的造价；而且提高二次回路的智能控制能力、自动化水平和供电质量，降低故障率，使牵引供电系统能更加可靠地运行。

S7-200 PLC 作为 PROFIBUS-DP 从站，用一根双绞线连接主站，若要扩展 DP 从站， 只需将总线延伸，加入其它 S7-200 PLC 从站，不再增加布线的工作量和费用，系统扩展非常快捷。目前该应用方案可以在北京轨道交通五号线直流牵引监控现场稳定运行。由于 S7-200 PLC 具有数据传输速度快、系统实现简单、可靠性高等优点，其必将在轨道交通系统中得到广泛的应用。

S7-200 PLC 也有不足之处，它不具备时间记忆功能，即无对时功能，但由于 S7-200 PLC 的主要定位在直流牵引开关和断路器的监控，不涉及保护动作（保护工作主要由西门子 DPU96 来完成），因此，完全可以通过 C101 的时间戳来加以弥补。

案例 22

西门子 S7-200 PLC 轨道交通直流牵引监控系统应用

1 引言

近年来随着城市轨道交通自动化系统的快速发展，很多大型设备的监视和控制都选用微型 plc 进行改造。对某些控制点少而控制逻辑又较复杂的小型设备来说，微型可编过程控制器紧凑的设计、良好的扩展性、低廉的价格、强大的指令以及较高的可靠性和简便的维护近乎完美的满足了小规模的控制要求。如 750v 直流开关柜的测控单元开关整流器的监视单元和 400v 开关柜的测控单元等均采用了 plc 可编程程控制器，给安装、运行、维护带来诸多的便利。以下给出的就是 s7-200plc 在北京轨道交通五号线直流牵引监控系统中的一个典型应用实例。

2 需求分析

2.1 控制网络

城市轨道交通供电系统是自成体系的配电系统，包含有传统的交流供电系统和直流牵引供电系统两部分。为了实现整体系统的安全可靠运行，必须实现电力系统的调度、运营和管理的自动化。变电站综合自动化系统是轨道交通供电自动化的基本组成，是实现电力监控系统功能的基本单元。轨道交通变电站内各层之间的信息可充分共享，并通过通信接口与外系统交换信息。设计一个快速、稳定、可靠的控制网络是轨道交通变电站自动化控制系统的基本要求之一，是实现轨道交通供电系统运行管理功能的前提。

2.2 网络结构

整个上来讲，轨道交通变电站综合自动化系统划分为站级管理层，网络通信层，间隔层：

（1）站级管理层为设置在控制信号盘内的冗余热备的通信控制器、通用测控装置和一体化监视计算机。

（2）间隔层包括分散安装于供电一次设备中的各种微机保护测控单元、信息采集设备、智能测控单元以及采用硬接点接入的现场设备。设备包括 400v 及 10kv 交流保护测控单元、750v 直流保护测控单元、变压器温控器、轨电位限制装置、制动能量吸收装置、杂散电流监控单元、ups 直流屏、电度表、上网隔离开关、跟随所负荷开关等。

（3）网络通信层即为所内通信网络和接口设备，间隔单元通过所内通信网络层与站级管理层进行数据交换。

整个系统面向变电所通盘考虑，通过间隔单元与一次开关设备、ct/pt 等设备接口，实现对变电所设备的控制、监视、测量、继电保护及数据管理、远程通信等综合自动化管理，以保证供电系统的安全可靠运行。

一般来讲，轨道交通供电系统分为高压电源系统，直流牵引供电系统，动力、照明、信号电源三个系统。在轨道交通五号线供电系统中，作为轨道交通变

电所自动化系统间隔层非常重要的组成部分，直流牵引供电系统直接给列车提供动力，其好坏直接影响整个地铁供电系统质量的高低。如果牵引供电系统出现问题，小则影响某个变电站、几个供电区间的输送电，大则引起整个牵引供电系统崩溃，给地铁列车的安全、运营造成影响。

轨道交通牵引供电系统是直接为地铁列车提供动力的系统，可以保证地铁列车高速、安全、可靠、经济节电地运行。目前北京轨道交通五号线牵引供电的运行采用双机组双边供电方式，即每个牵引变电站 2 台牵引机组带 2 台总闸，并列向直流母线供电运行，直流母线下设 4 台分闸，即馈线开关（加上备用共 5 台），分别向上行、下行车辆进行主备供电，两个相邻的牵引变电站同时向站内同一馈电区间供电，如图 1 所示。

深圳稻草人自动化培训
www.dcrauto.com

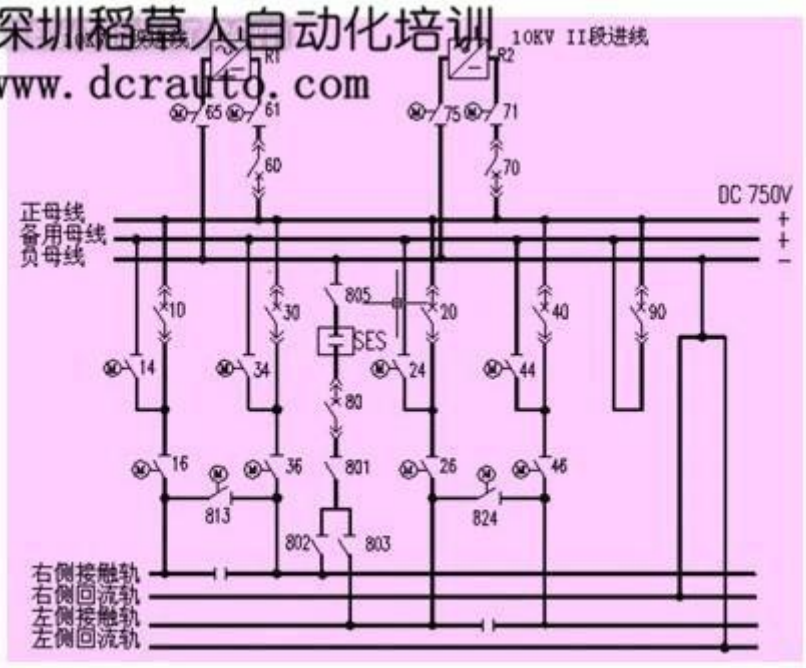


图1　轨道交通变电站直流牵引供电系统典型主接线图

3 s7-200 plc 具体实现功能

图 1 中，r1、r2 为整流器装置，60、70 为直流进线隔离开关，10、20、30、40 和 50 为馈线断路器，61 和 71 为进线断路器，65 和 75 为负极断路器，14、24、34 和 44 为旁路隔离开关，而 16、26、36 和 46 为上网隔离开关，813 和 824 为越区隔离开关，除了旁路隔离开关和上网隔离开关之外，所有的保护和测控工作一般均由直流保护装置（如 dpu96）进行监视和控制，而对于旁路隔离开关和上网隔离开关的监视和控制工作将是由 s7-200plc 来完成，对于每一个馈线开关来讲，均配置一个型号为“6es7 277-0aa2-0xa0”的 s7-200plc，该 plc 主要有 8 个字节的输出和 8 个字节的输入，其完成的监控功能如表 1 所示。

深圳稻草人自动化培训
www.dcrauto.com

上位机	DP地址	
–	字节	位
采集	2	0
采集	2	1
采集	2	2
采集	3	0
采集	3	1
采集	3	2
采集	3	3
采集	3	4
采集	3	5
采集	4	0
采集	4	1
控制	1	0
控制	1	1
控制	1	2
控制	1	3

4 s7-200plc 与上位机通信过程

以北京轨道交通五号线为例，变电所自动化系统采用的是南瑞的 rt21-sas 系统，而 750v 直流开关柜测控单元 s7-200plc 与上位机 rt21-sas 系统的通信接口采用就是 profibus-dp 规约与南瑞的 c101 通信控制器 profibus 主站进行连接，c101 通信控制器除了 s7-200plc 进行主从连接外，还提供另一路 profibus-dp 接口与 750v 直流开关柜直流保护测控单元 dpu96，每个站设置 2 套协议及光电转换模块，实现 profibus-dp 信息的接入。此外，10kv 的整流器监控单元与 rt21-sas 系统的通信接口方案也是经过 profibus-dp 规约与 c101 通信控制器实现互联。具体连接方案如图 2 所示。

深圳稻草人自动化培训
www.dcrauto.com

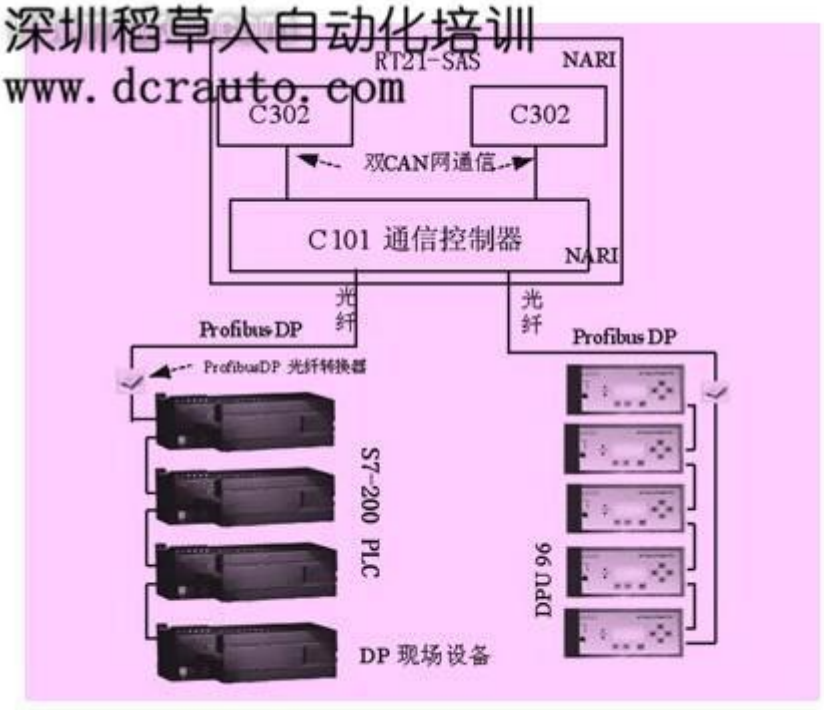


图2 s7-200 plc与轨道交通变电所自动化系统上位机连接图

s7-200plc 作为 dp 从站，与 c101 通信控制器实现互联通信。c101 通信控制器为南瑞自主研发的遵循 en50170 标准的 profibus-dp 主站，它主要完成 profibus 协议转换成与总控通信的 can2.0b 协议。s7-200plc 作为 c101 的从站，主要用于 750v 直流馈线柜的旁路隔离开关和上网隔离开关的监控、数据采集等功能。从通信流程上来讲，s7-200plc 主要是通过 em 277 将 s7-200 plc cpu 作为 dp 从站连接到 profibus-dp 现场总线网络中，此外，s7-200plc 的 em 277 还用来作为西门子 step7 v5.3 对 s7-200 plc 进行组态，主要是通过 s7-200plc 的 mpi 通讯口与装有西门子 step7 v5.3 的计算机来对 step s7 软件进行组态。为了使 s7-200 plc 的 em 277profibus-dp 模块可以与主站通讯，s7-200 plc 与主站必须工作在相同的波特率下。当 em 277profibus-dp 模块用作 mpi 通讯时，其 mpi 主站必须使用 dp 模块的站址向 s7-200 发送组态信息，发送到 em 277dp 模块的 mpi 组态信息，将会被传送到 s7-200 plc 上，从而达到对 s7-200 plc 组态的目标。以下为 s7-200plc 作为 dp 从站与 c101 主站的组态参数配置如表 2 所示。

深圳稻草人自动化培训
www.dcrao.com

表 2 参数配置

参数	数值	备注
主站站址	2	处于通信效率考虑，一般要求主站站址小于子站站址
子站地址	11,12,13,14	子站地址连续可以取得更高的通信效率
波特率	187,5 kbit/s	通信速率须适中，过高将会带来通信误码率过高
HSA	31	最高站地址，所有子站地址均要小于该地址
Tslot_Init	600	主站扫描 S7-200 PLC 全部子站的最大扫描时间
Max.Tsdr	80	主站扫描一个 S7-200 PLC 子站的最大等待时间
Min.Tsdr	11	主站扫描一个 S7-200 PLC 子站的最小等待时间
Retry-Limit	1	主站与一个 S7-200 PLC 子站通信出错的尝试次数
数据出入	8	命令控制方向，单位为字节，参见表 1 中的 DP 地址列定义
数据输出	8	数据采集方向，单位为字节，参见表 1 中的 DP 地址列定义

整体上，所有的现场 profibus-dp 通信设备均使用 profibus-dp 规约接入南瑞自主研发的 c101 通信控制器，c101 通信控制器主要目的就是利用 profibus-dp 通信规约采集底层现场设备的数据，并通过双 can 现场总线规约送往南瑞的 pscada 总控系统 c302，另外，c101 还将接受 c302 的各种控制、查询命令，对底层 profibus-dp 现场设备进行实时监控，从而满足了北京地铁五号线的 750v 直流测控的实时数据采集、监控、继电保护等各种功能。

实现上，c101 通信控制器与底层设备的数据传输速率为 187.5k，c101 做 dp 的通信主站，周期性的扫描底层设备，根据北京地铁轨道交通公司的要求，c101 通信控制器提供两组 profibus 通信接口。其中一组光纤接口连接西门子的直流测控保护装置 dpu96，另一组光纤接口连接西门子的系列 s7-200 完成对 750v 直流进线柜、负极柜、馈线柜一次设备的实时监控功能。之所以采用两组光纤接口是由于 750v 直流开关室与变电所监控中心的距离比较远（一般 500～1km），使用电接口将会导致信号衰减以致于误码率将会大大提高。

profibus 的应用，首先必须进行严格的组态，使主站与从站的数据严格一致，考虑到使用者大多熟悉 siemens 公司提供的通用组态软件 com profibus，

应用软件使用的数据文件格式和用 com profibus 生成的数据文件格式完全相同，并且支持到最新的 5.0 版本。通过“超级终端”，还可以随时观察组态数据文件的参数内容，以确认组态的正确性。

5 结束语

使用西门子 s7-200 可编程控制器替代继电控制，不但省略了许多繁琐的中间控制环节，还大大提高了可靠性和精确性，达到了理想的效果。s7-200plc 应用于轨道交通直流牵引领域，不仅在很大程度上减少了二次接线、设备，减少了变电站运行维护量；取消了轨道交通牵引供电系统保护屏，大大降低了系统的造价；而且提高二次回路的智能控制能力、自动化水平和供电质量，降低故障率，使牵引供电系统能更加可靠地运行。s7-200plc 作为 profibus-dp 从站，用一根双绞线连接主站，若要扩展 dp 从站， 只需将总线延伸，加入其它 s7-200plc 从站，不再增加布线的工作量和费用，系统扩展非常快捷。目前该应用方案可以在北京轨道交通五号线直流牵引监控现场稳定运行。由于 s7-200plc 具有数据传输速度快、系统实现简单、可靠性高等优点，其必将在轨道交通系统中得到广泛的应用。

本项目 s7-200 plc 应用的不足之处在于它不具备时间记忆功能，即无对时功能。但由于 s7-200plc 的主要定位在直流牵引开关和断路器的监控，不涉及保护动作（保护工作主要由西门子 dpu96 来完成），因此，完全可以通过 c101 的时间戳来加以弥补。

案例 23

西门子 S7-200 PLC 均匀化电源中应用

1．前言

铝型材经过挤压成型之后，一般都需要经过表面工艺处理之后，才能作为成品使用。经过阳极氧化电解着色表面处理工艺的铝型材，其表面将得到一层具有良好的耐磨性、耐晒性、耐热性、耐蚀性和色泽稳定持久的氧化膜，被广泛应用在建筑和室内外装饰行业上。

在铝型材阳极氧化电解着色表面处理工艺中，有一道电解着色处理工序，是在铝型材表面阳极氧化工序之后，电泳或封孔工序之前，对需要着色的铝型材进行的一道工序，其原理是在槽体溶液中通过电化学作用使铝型材表面附着某些金属离子，从而显示出某一类的颜色来。不同的槽体溶液配置及工艺方法，铝型材电解着出的色彩效果也不一样，对所要求的着色电源提供的电流或电压的大小、波形及工作时间长短也不同。

其中有一种由日本发明的着色方法称为均匀化着色方法，可在较短的时间里得到效果好、颜色均匀的着色氧化膜。这种着色方法由于生产效率高，成品率高，已在日本广泛应用，目前在国内也正在逐步推广开来。

2．着色电源系统要求

配合均匀化着色方法的着色电源（简称均匀化着色电源）需按规定要求输出电流波形。均匀化着色电源的工作过程是：首先输出正向直流电流（称为 P 处理）一段时间，然后输出频率为 1～30Hz 范围内特定值，正负方波占宽比为 0.005～0.30 内特定值的脉冲电流（称为 C 处理）一段时间，接着再进行一次 C 处理（称为 C2 处理）一段时间，如图 1 所示。在工厂生产中，C 处理常用的频率为 5Hz，正负方波占宽比为 1:9，C2 处理根据工艺的要求来选择可有可无。

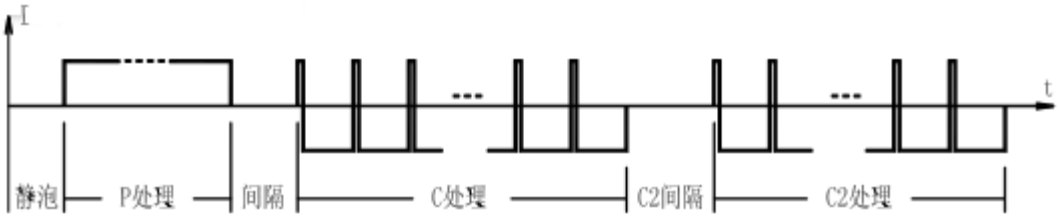


图 1 均匀着色电源输出波形

均匀化着色电源的主要功能要求如下：

（1）输入电压及范围：三相、频率 50Hz、380V±20%；

（2）额定输出电压：±30V～±80V；

（3）额定输出电流：1000A～4000A；

（4）最小输出电流：额定输出电流的 10%；

（5）输出电流精度：±3%以下；

（6）输出电流纹波：7%以下（在额定电流的 30%～100%内）；

（7）入槽静泡时间：可在 10～3000s 内设定；

（8）P 处理时间：可在 0～3000s 内设定；

（9）P 处理与 C 处理间隔时间：可在 10～3000s 内设定；

（10）C 处理时间：可在 0～3000s 内设定；
（11）C 处理时脉冲周期：200ms（可根据要求在 20ms～300ms 范围内修改）；
（12）C 处理时正脉冲宽度：20ms（可根据要求在 10ms～100ms 范围内修改）；
（13）能满足二次 C 处理的要求；
（14）能满足补色（即再进行 C 处理）的要求；
（15）有必要的保护措施。

3．着色电源系统组成及工作原理简介

为实现上述的输出波形及满足工艺要求，设计的均匀化着色电源原理如图 2 所示。均匀化着色电源主要由主回路和控制部分组成。

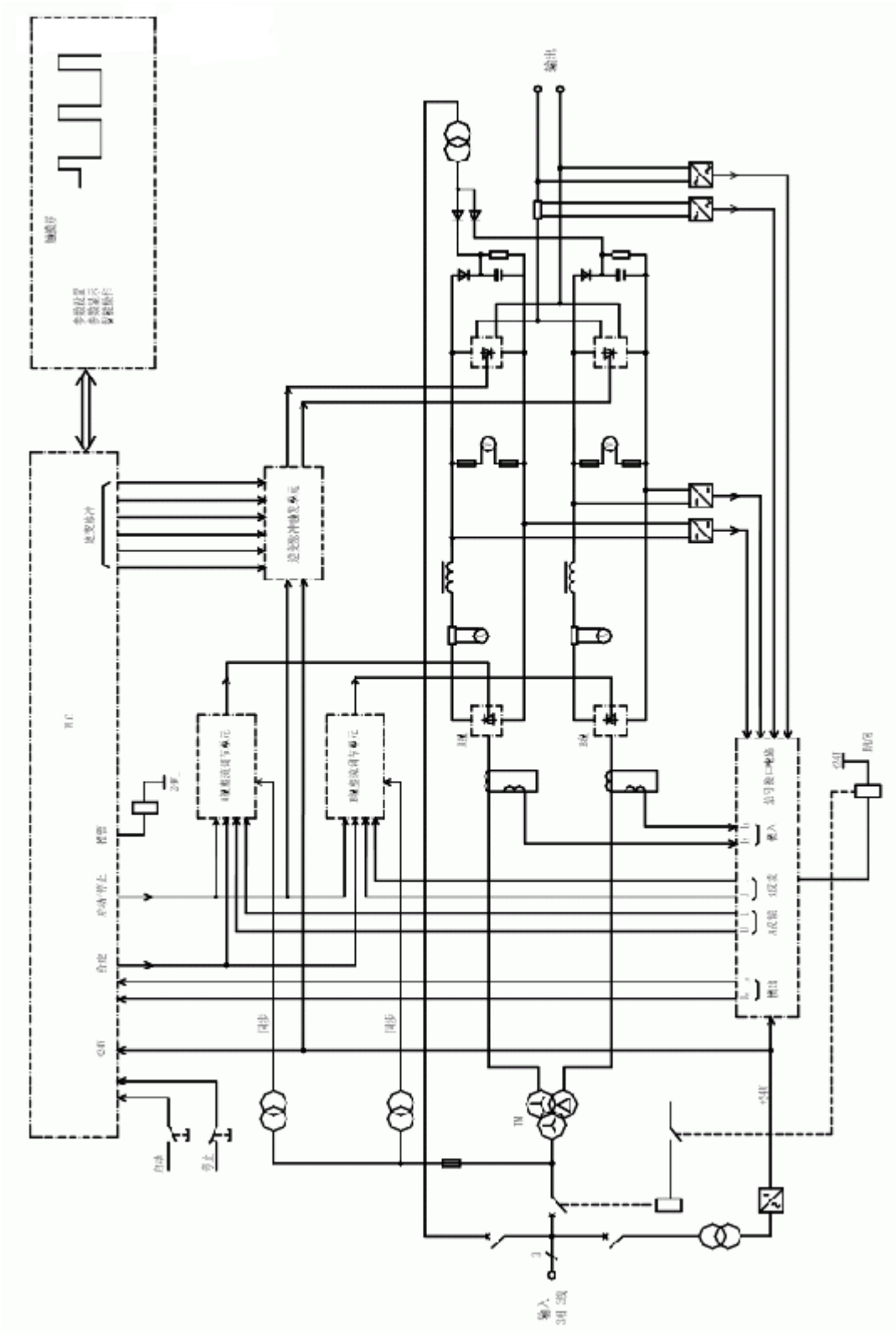


图 2 均匀化着色电源原理图

3．1 主回路

主回路包括进线断路器，整流变压器 TM，三相全控整流桥 A 组、B 组，电抗器，逆变部分等。整流变压器 TM 付边采用双绕组的形式，一组 Y 接法，连到一整流桥 A 组，另一组 Δ 接法，连到另一整流桥 B 组。整流桥各自整流后经电抗器滤波，再逆变，然后并联输出。

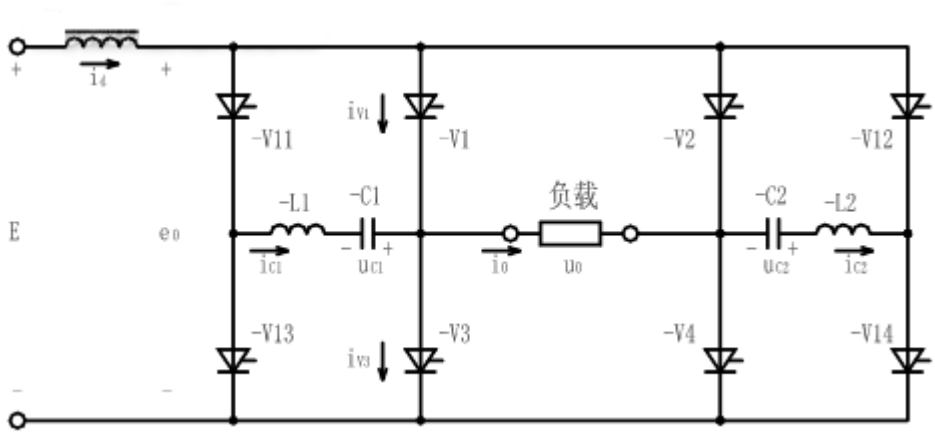


图 3 逆变电路

图 3 是其中一组逆变部分的主电路图，如图所示，当主臂晶闸管 V1、V4 导通时，电流经电抗器 L、主臂晶闸管 V1，流向负载，然后从主臂晶闸管 V4 流回，此时负载承受的是正向电压、电流，当要使负载承受反向电压、电流时，首先应关掉主臂晶闸管 V1、V4 的控制脉冲，然后控制辅助晶闸管 V11、V14 导通，使电容 C1、C2 放电再反向充电，强迫关断主臂晶闸管 V1、V4，接着关掉辅助晶闸管 V11、V14 的控制脉冲，再控制主臂晶闸管 V2、V3 导通，这时电流经电抗器 L、主臂晶闸管 V2，流向负载，然后从主臂晶闸管 V3 流回，此时负载承受的就是反向电压、电流。要使负载从承受反向电压、电流转换到承受正向电压、电流，其原理一样，先关掉主臂晶闸管 V2、V3 的控制脉冲，然后控制辅助晶闸管 V12、V13 导通，使电容 C1、C2 放电再反向充电，强迫关断主臂晶闸管 V2、V3，接着关掉辅助晶闸管 V12、V13 控制脉冲，再控制主臂晶闸管 V1、V4 导通，就完成了负载从承受反向电压、电流到承受正向电压、电流的转换。主臂晶闸管和辅助晶闸管的导通是通过 PLC 发出的逆变脉冲来控制的，由于负载承受正向电压、电流向反向电压、电流转换，或由反向转换到正向，都是在极短的时间内完成（一般只有几百个微秒），因此 PLC 的选型和编程设计将直接关系到整个逆变部分的正常工作和输出波形的准确性。

3．2 控制部分

控制部分包括 A 组、B 组整流调节单元，逆变脉冲触发单元，信号接口电路，可编程逻辑控制器 PLC 和触摸屏等。 A 组、B 组整流调节单元主要功能是按照 PLC 发出的给定信号来调节三相全控整流桥输出的电流，其内部包括 PI 调节电路、移相触发电路、功放电路等。 逆变脉冲触发单元主要是接收 PLC 的逆变脉冲，对逆变脉冲再进行调制、功放后控制逆变部分的主臂晶闸管和辅助晶闸管准确可靠的导通，从而实现 P 处理和 C 处理的波形输出。 信号接口电路主要功能是对各种信号进行整理变换，以满足各个单元对信号的需求。

可编程逻辑控制器 PLC 选用西门子的 S7-200 CPU226 DC/DC/DC 和一模拟量扩展模块 EM235 组成。PLC 作为本电源系统的核心控制器件，主要完成下列功能：

（1）开、停机控制；

（2）运行流程控制；

（3）逆变部分晶闸管的导通控制；

（4）整流给定控制；

（5）电源装置状态量的采集；

（6）模拟量采集；

（7）设置、显示参数的计算；

（8）与触摸屏通讯。

PLC 输入输出定义如表 1 所示。

深圳稻草人自动化培训
www.dcrauto.com

输入地址	定义	输出地址	定义
I0.0	启动（外部按钮）	Q0.0	0脉冲
I0.1	停止（外部按钮）	Q0.1	1脉冲
I0.2	总开关合	Q0.2	2脉冲
I0.3	着色材料入槽	Q0.3	3脉冲
I0.4	紧急停止	Q0.4	4脉冲
I0.5	备用	Q0.5	5脉冲
I0.6	备用	Q0.6	整流
I0.7	备用	Q0.7	装置故障
I1.0	A组快熔熔断	Q1.0	合总开关
I1.1	B组快熔熔断	Q1.1	分总开关
I1.2	同步故障	Q1.2	装置运行信号
I1.3	电源失压	Q1.3	预充电
I1.4	A组整流过压	Q1.4	着色完成
I1.5	B组整流过压	Q1.5	备用
I1.6	A组过流	Q1.6	备用
I1.7	B组过流	Q1.7	备用
I2.0	逆变过流		
I2.1	冷却水水压偏低		
I2.2	冷却水水温过高		
I2.3	充电接点返回		
I2.4	备用		
I2.5	备用		
I2.6	备用		
I2.7	备用		
AIW0	A组电压（模拟量）	AQW0	给定输出（模拟量）
AIW2	B组电压（模拟量）		
AIW4	逆变输出电压（模拟量）		
AIW6	逆变输出电流（模拟量）		

触摸屏采用 Hakko 的 MONITOUCH V708C 型彩色触摸屏，与 PLC 之间进行点对点（PPI）通讯。触摸屏主要实现如下功能：

（1）表计功能指示；
（2）装置的启动、停止操作；
（3）增、减操作；
（4）进线断路器的分、合操作；
（5）电流调节设置；
（6）着色档选择；
（7）生产工艺过程选择；
（8）P 处理时间、间隔时间、C 处理时间设置；
（9）装置状态显示；
（10）装置故障闪烁报警。

4．软件编程

软件主要由触摸屏程序和 PLC 程序组成。

触摸屏共编辑了 25 个画面，包括 1 个主显示操作画面、16 个着色档参数设置画面、1 个补色参数设置画面、2 个着色数据查询画面、1 个 PLC 内部数据查询画面、1 个时钟调整画面和 2 个欢迎画面、1 个帮助画面。当电源装置出现故障时，触摸屏还会自动弹出故障小画面，并以红色闪烁报警，引起运行人员的注

意。触摸屏的画面不仅完成了上述的功能，而且良好的中文界面非常方便用户操作使用。

着色电源的操作执行、控制、设置参数的计算等都是通过 PLC 的程序来实现完成的，PLC 的程序设计是着色电源控制性能的关键。

为了便于查找、修改和调试程序，以及缩短 CPU 的扫描周期，均匀化着色电源设计的 PLC 程序除主程序外，还有 10 个子程序和 4 个中断程序，PLC 的程序方框图见图 4、图 5、图 6 所示。如图中所示，主程序主要完成采样、操作、故障处理、判断开停机等内容；子程序 0 主要完成运行时的工作流程控制；子程序 1 主要完成在静泡时间内的控制操作；子程序 2 主要完成 P 处理时间内的控制操作；子程序 3 主要完成在间隔时间内的控制操作；子程序 4 主要完成 C 处理时间内的控制操作；子程序 5 主要完成着色完成后的处理工作；子程序 6 是在 P 处理和 C 处理起动前对逆变脉冲的控制；子程序 7 是停机时对逆变脉冲的控制；子程序 8 主要完成停机时着色参数的输入和计算等内容；子程序 9 主要完成补色参数的输入和计算等内容。中断程序主要是完成 C 处理时对逆变脉冲的控制，其中逆变脉冲的立即开通和立即关断时间间隔是采用语句延时来实现的。

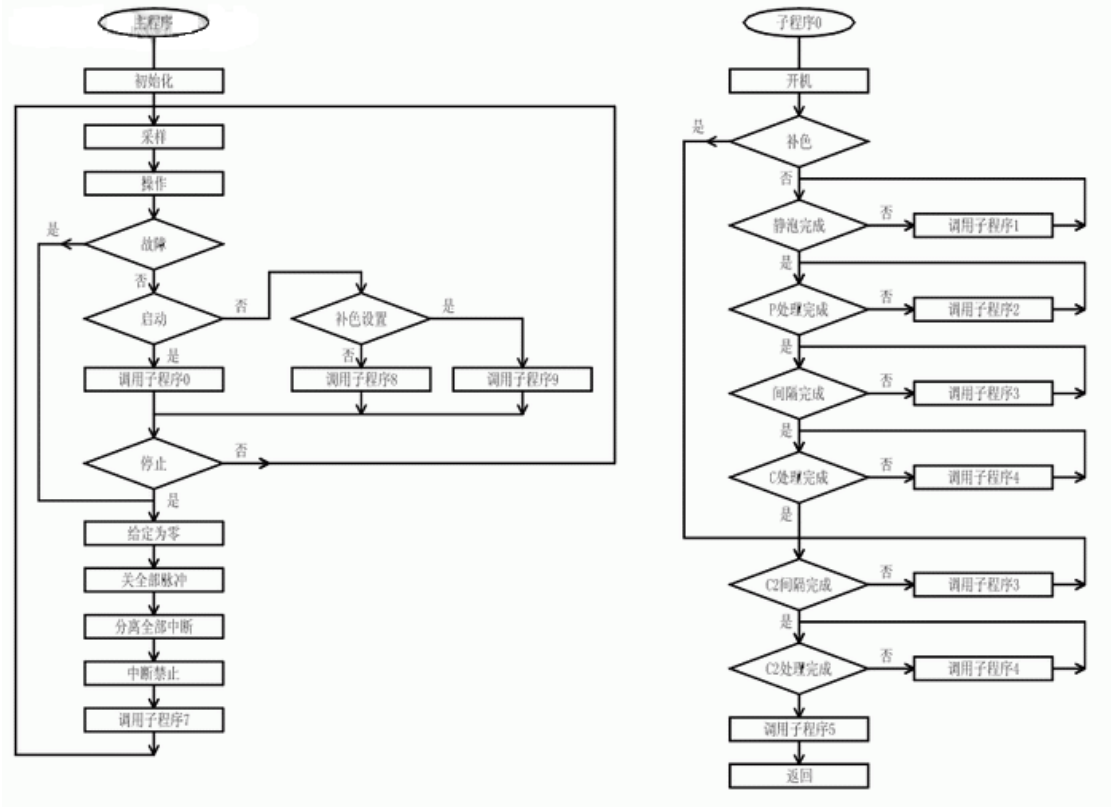


图 4 PLC 程序框图

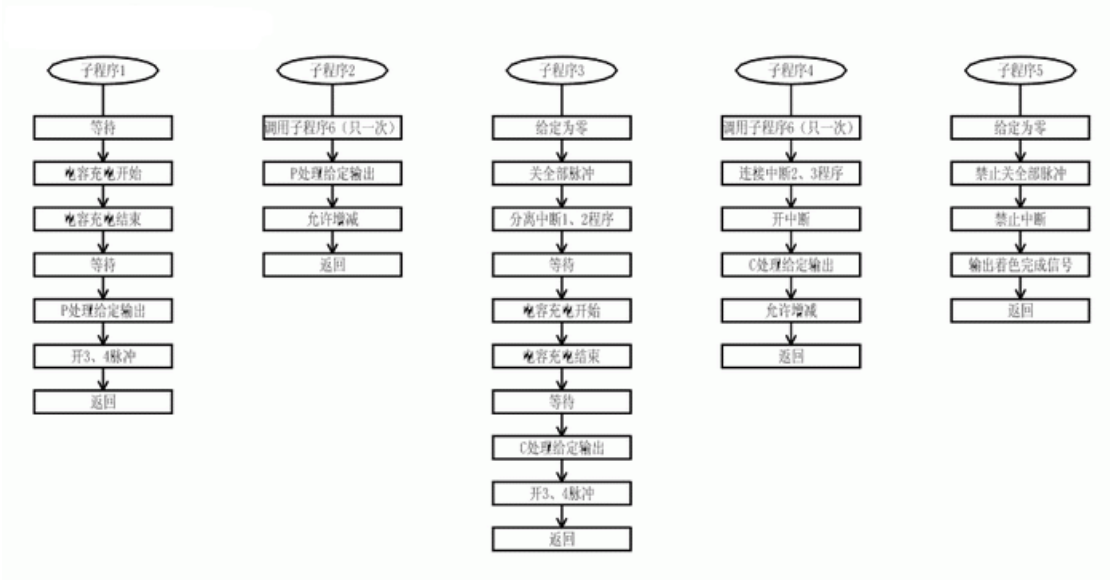


图 5 PLC 程序框图

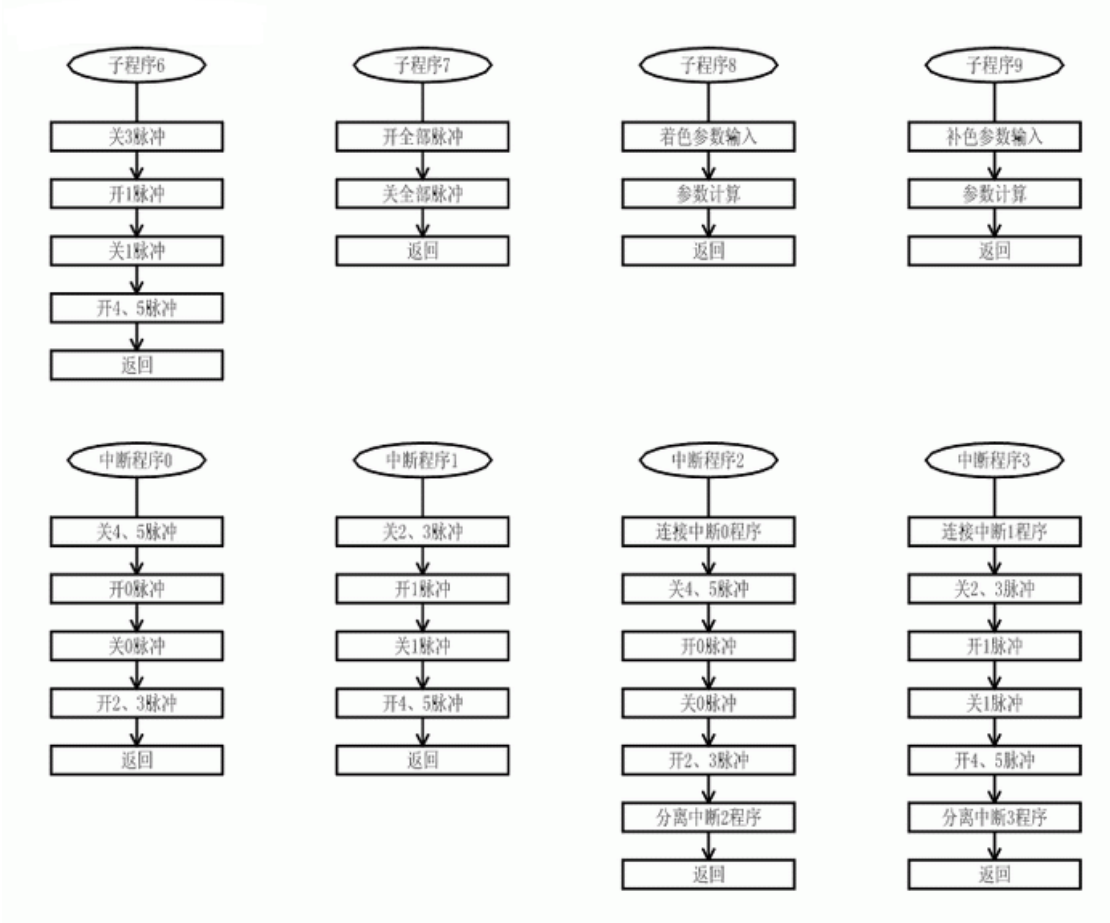


图 6 PLC 程序框图

5．实测波形

图 7 是一台输出能力为±55V，3000A 的均匀化着色电源在试验室的电阻性负载下输出的电流、电压的波形全过程。图中 P 处理时间是 3s，输出电流是 750 A，电压 30V；间隔时间是 10s；C 处理时间是 5s，输出电流是 1000 A，电压±40V，正向脉冲宽度为 20ms，周期为 200 ms，与设置值完全符合。

图 7 电阻负载下输出波形全过程

图 8 是图 7 中 C 处理放大后的波形。图 9 是图 8 中波形放大后的一部分。图 10 是 C 处理过程中 PLC 发出的逆变脉冲与输出的控制关系。

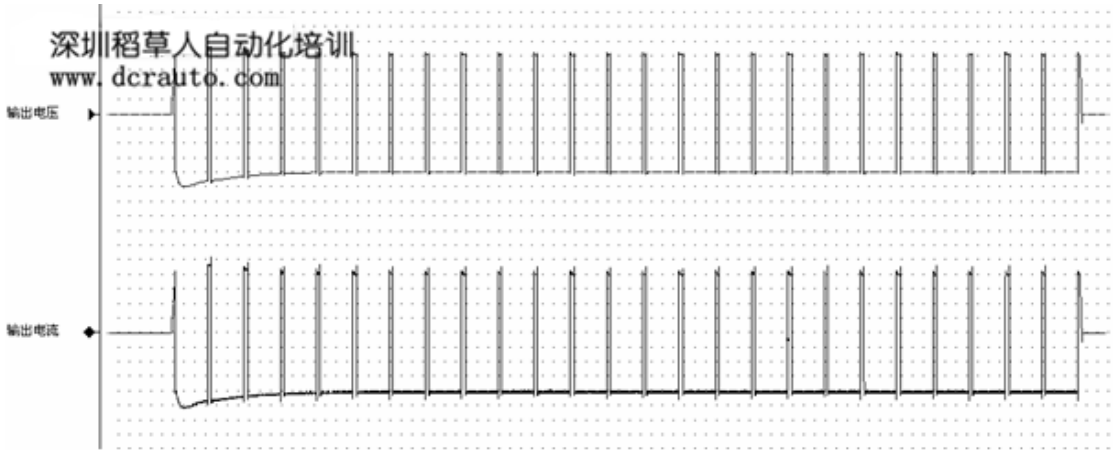


图 8 电阻负载下 C 处理波形全过程

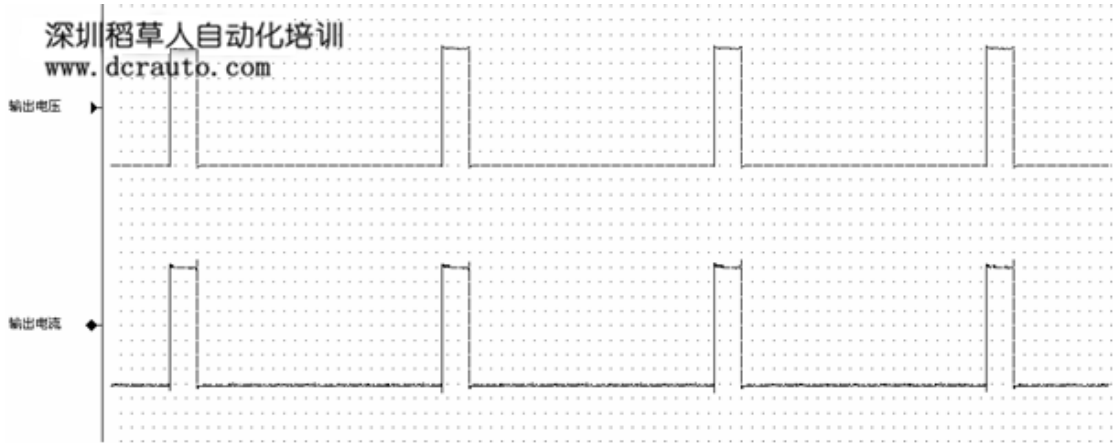


图 9 电阻负载下 C 处理波形

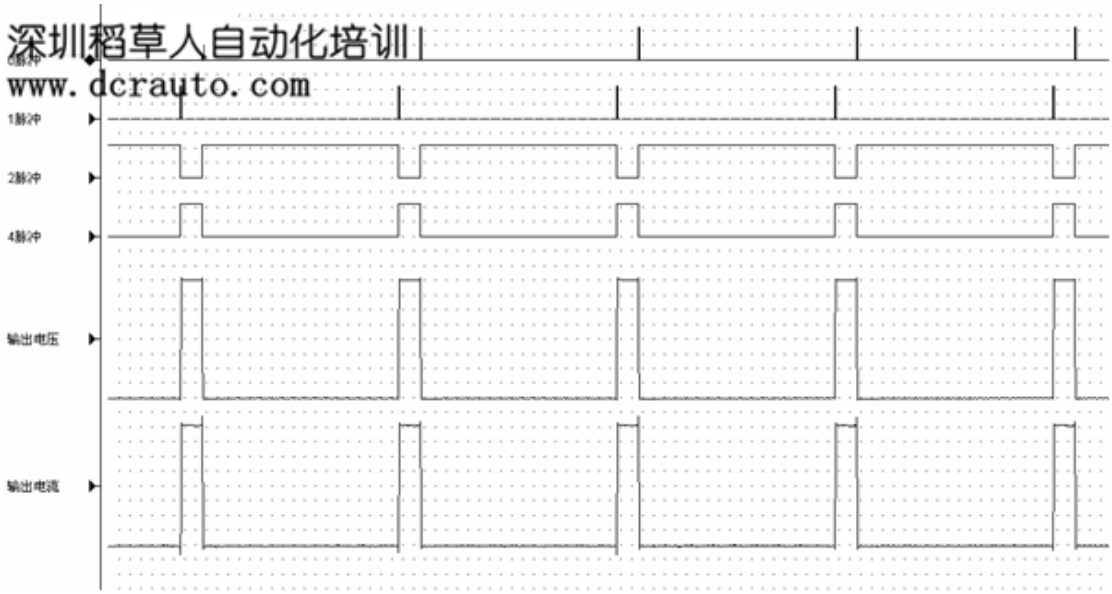


图 10 C 处理过程中 PLC 发出的逆变脉冲与输出的控制关系

图 11 是同台均匀化着色电源在现场输出 3000A，±30V，正向脉冲宽度为 20ms，周期为 200 ms 的 C 处理电压电流波形。图 12 是在现场输出 2000A，±20V，正向脉冲宽度为 20ms，周期为 200 ms 的 C 处理电压电流波形。

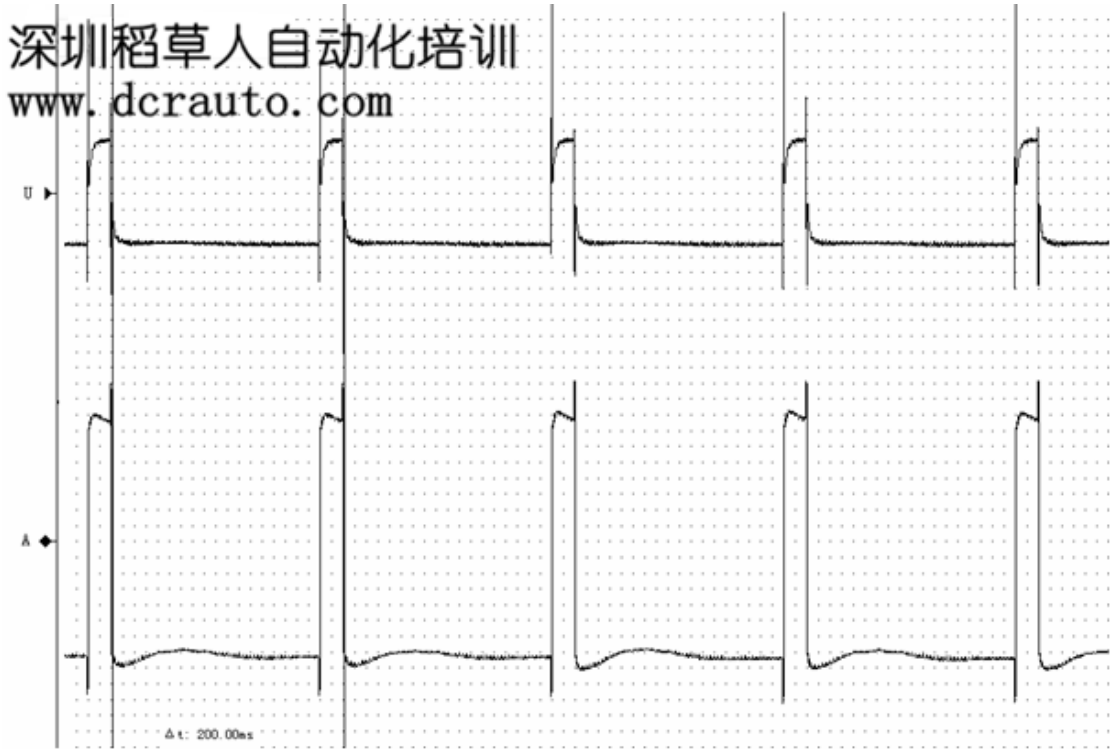


图 11 现场输出 3000A 时的 C 处理波形

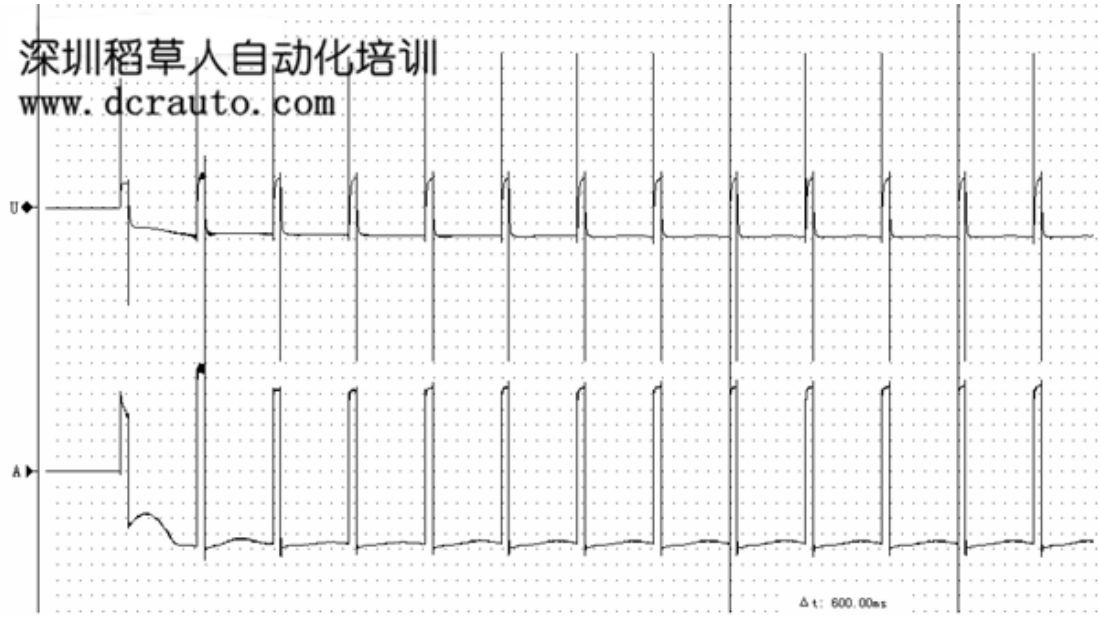


图 12 现场输出 2000A 时的 C 处理波形

案例 24

西门子 S7-300 PLC 箍筋生产设备

建筑是人类生活的基础设施和基本条件之一，随着生活水平的提高和人类社会的发展，人们对建筑的需求越来越迫切，建筑工程的规模和数量在不断增长。在我国的建筑行业中，钢筋混凝土结构结构的建筑还占有相当大的比重。在钢筋混凝土结构的建筑中，钢筋是整个建筑的骨架，它由主钢筋和箍筋等构成。箍筋的形状和尺寸跟主钢筋的设计有关系，并且它的用量要比主箍筋的用量多许多倍。但在现实的箍筋生产中，箍筋的生产有两部分组成：一种是校直装置，另一种是弯箍成型的装置。当前的简易弯箍设备远远不能满足大批量、多品种的加工模式，工人的劳动强度大，生产效率低，人工成本很高。

二 S7-300 简介及硬件/网络组态

SIMATIC S7-300 是德国西门子(Siemens)公司生产的模块化中小型 PLC 系

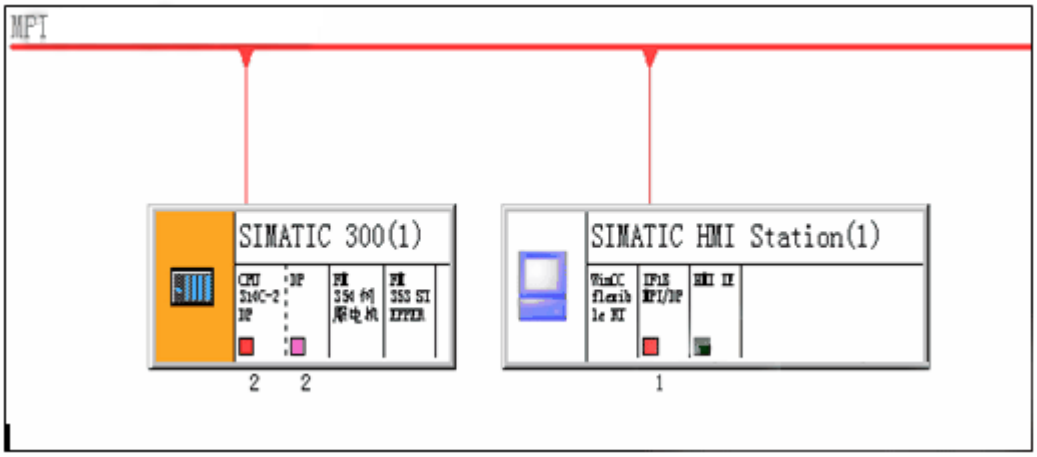
统，能满足中等性能要求的应用。S7-300 系统通过各种单独的模块之间的组合可进行构成不同要求的系统；S7-300 的指令系统具备高速（0.6~0.1μs）的运算速度；S7-300 支持用浮点数和反三角函数运算，能够有效地进行更为复杂的算术运算；S7-300 通过统一的 Step 7 软件方便、简单的给所有模块进行组态和参数赋值；S7-300 具备多级口令保护可以使用户高度、有效地保护其技术机密，防止未经允许的复制和修改；S7-300 具备强大的通信功能，它多种不同的通信接口，并通过多种通信处理器来连接 AS-I 总线接口和工业以太网总线系统，多点接口（MPI）集成在 CPU 中，用于同时连接编程器、PC 机、人家界面系统及其他 SIMATIC S7/M7/C7 等自动化控制系统。

弯箍的过程中涉及到了大量的计算，我们需要一种能支持强大运算功能的 PLC，西门子的 S7-300 正好符合我们的要求。西门子的 Step 7 ProfessionalV5.4 SP3 编程软件支持 LAD，STL 和 FBD 三种编程语言，并且支持三种编程语言的混编，大大的提高了编程的效率。

所以针对箍筋生产的现实情况，考虑到使用环境为高粉尘、高电磁干扰，已超出了工控机的承受范围，我们选择了一种用先进的、成熟的 S7-300 PLC 主要核心、以触摸屏为人机界面（HMI）、以安川交流伺服驱动系统为执行机构的方案进行自动化箍筋生产设备的设计。

以 S7-300 为核心的控制系统包含 CPU314C-2DP（CPU）、FM354（驱动牵引部分的控制器）、FM353（弯曲部分的控制器）、SM321（输入模块，反馈各种执行机构的动作完成位置是否正确和控制信号）、SM322（输出模块，控制各种电磁阀的动作）构成，如下图所示：

S7-300 与触摸屏的连接网络我们选择 MPI，CPU314C-2DP 的 MPI 地址设为 2，SM354 的 MPI 地址设为 3，SM353 的 MPI 地址设为 4，HMI 的地址设为 1，网络组态如下图所示：



三 工作原理

根据箍筋生产的实际情况，我们采用将校直装置和弯箍成型装置放置在一起的方案。校直部分主要由横、竖两排矫直辊组成，通过辊子的挤压来去掉钢筋的弯曲应力，如下图所示。为了方便用户的调整，上半部分的矫直辊的位置可以调节，以适应不同直径的钢筋。

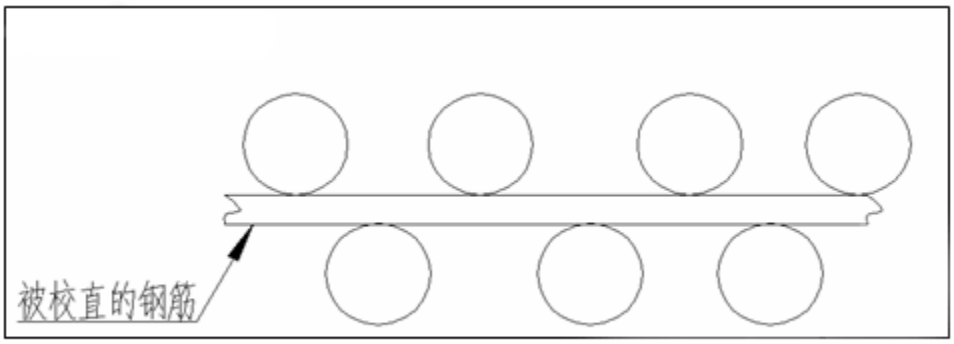
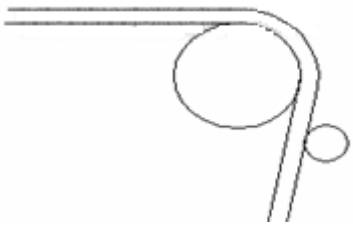


图 3.1

校直装置由一个 11KW 的交流伺服电机来牵引，牵引的同时完成送料。

弯曲部分采用绕弯的方式，以一个轴为中心，另一个轴臂围绕此轴旋转，如下图所示。整个弯曲部分可以一弯曲时的钢筋为中心伸出/退回，也可以进行顺时针/逆时针的旋转。弯曲的速度和角度有定位模块 FM353 来控制，实现了高速、精确定位



旋转部件的也由以一个 7.5KW 交流伺服电机来牵引。

当箍筋加工完成后，由普通的三相异步电动机通过曲柄连杆机构带动剪刀把钢筋剪断，然后进行下一个循环。

四 软件的实现

S7-300 PLC 系统编程软件选用 STEP 7 Professional V5.4 SP4 编程软件包（为了能 FM354、FM353 对进行设置，我们要安装四门子提供的 Simatic S7 FM353/FM354 Parameterization Version 4.03.04），采用模块式的面相对象的思想进行编程，完成硬件组态、参数设置、PLC 程序编制、测试、调试和文档处理。

由于 STEP 7 Professional V5.4 SP4 支持在同一个块内同时使用 LAD，STL 和 FBD 三种编程语言。对于系统中的逻辑控制选用梯形图编程，构成 FC 块，实现各机组执行机构的电气控制和工序逻辑功能；对于数据处理的部分则采用语句表编程，构成 FB 块。浮点数运算和反三角函数的运用极大地简化了检测盘上的外部旋转编码器的脉冲信号的输入与钢筋送进长度之间之间的换算关系，实现较为复杂的算术运算和逻辑、定位控制等功能，具体的程序结构见下图。

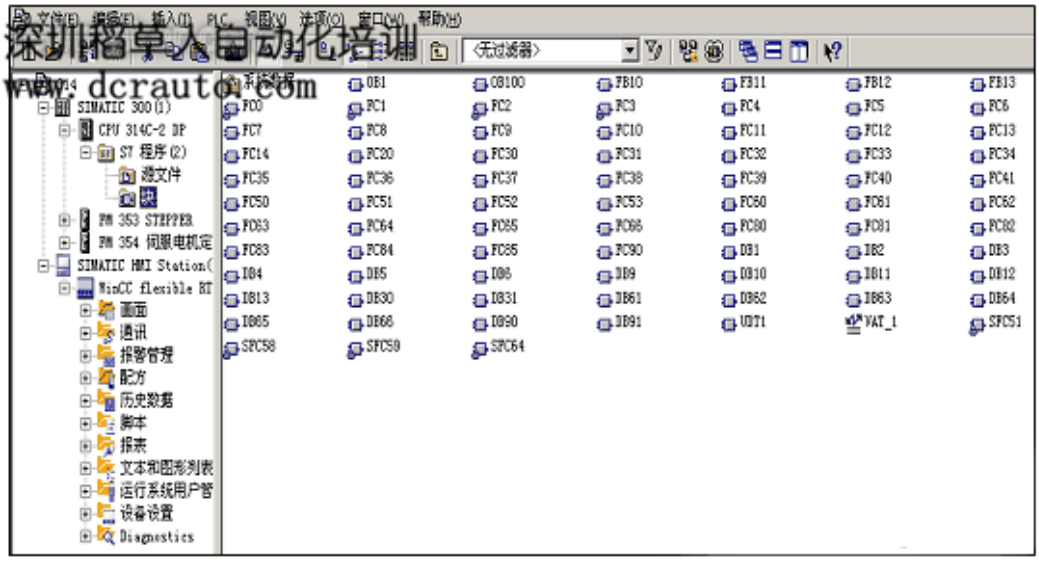


图 4.1

其中 OB 100 是热启动组织块，系统启动就调用 OB 100，主要作用是初始化各种数据并且把内部存储的各种状态复位;OB1 是主程序块，它调用各种 FC 和 FB 更新来自 MPI 总线上的数据块中的的数据，控制伺服驱动器完成定位，控制各个阀的动作，来完成箍筋制作的动作。

五、结论

经过调试，PLC 和交流伺服系统在该设备中工作正常稳定，一台本设备的生产效率大约是采用传统方式的 20 倍。它简化了箍筋加工的流程，极大的提高了生产效率，改善了工人的工作环境，提高了产品的质量，适应当前箍筋柔性化生产的方向。

案例 25

亿维 PLC 暖通空调系统的应用

一、行业概况

暖通空调系统的自动控制，对于保证空调系统本身的合理运行、减少人力、实现安全操作起到了非常关键的作用；它也对暖通空调系统和技术的发展起到了极大的推动作用。暖通空调的自动控制在前些年主要依靠 DDC 控制，但技术人员在越来越多的项目中渐渐的发现 DDC 对一些控制精度要求高的项目是无法达到预期的目标。在工业控制中被大量使用的PLC渐渐的在暖通行业了取代DDC的控制。在一些大的复杂的项目中经过对比发现 PLC 无论在实用性还是经济性相对 DDC 都有绝对的优势。UniMAT PLC 凭借其 CPU 的强大控制性和独特的模块优化配置渐渐成为行业的首选趋势。

二、项目介绍

本项目是为某军用工厂雷达生产车间所做的控制系统，该系统分为水系统、空调系统和酸碱排气系统 3 个子系统。由于该项目生产车间的重要性，在设计中无尘室规划为万级要求千级施工设计方案。无尘室的控制精度要求为温度±0.5 度，湿度为±5%。压力保持房间为+12Pa。项目的控制点数如下：

某军用工厂雷达生产车间控制点数表

设备名称 Equipment	数量 Qty	数字量输入 DI						数字量输出 DO					模拟量输入 AI												模拟量输出 AO			
楼宇自动化系统		运行状态	故障报警	手自动状态	中效过滤网压差开关	高效过滤网压差开关	风机压差检测	设备启停控制	风门开关控制	电热加湿分段控制	蝶阀控制	阀门开关控制	水管型水温度	水管型压力	真空压力	水管型压差	变频反馈	风管静压传感器	室内静压传感器	送风温度	送风露点温度	室内温度	室内湿度	外气进风温度	外气进风湿度	回风温度	水阀开度调节	电加热SCR	压差旁通阀控制	变频控制
冰水总供/回水管	1	1	1													1										1			
冷却水总供/回水管	1	1	1										1													1			
冷却水塔CT-01~02	2	2	2					2																					
洁净室新风系统	1																		3										
中温水供/回水	1												1			1										2			
热水系统	1												1													1			
		19						6					14													11			
新风空调箱系统MAU-01	1	1	1		1	1	1	1	1									1		2	1					4			1
干盘管控制DCC-01~03	14																					6	5			6			
FFU(组)	10	10	10					10																					
		25						12					15													11			

三、项目配置

本控制系统分为 2 个控制区域，水系统和排气为一个控制区域，无尘室的 MAU 和 DC 及 FFU 控制系统为一个控制区域。由于一些一线品牌单温度带变送器传感器比较贵，考虑经济性，我们采用单温度为电阻型传感器，其他的传感器为电压型。

水系统和排气系统的控制方案中温度为 4 个，其他的传感器为 10 个。AO 输出为 11 个，则有 11 个 PID 控制回路，在配置中 200 系列的 PLC 最大扩展功能为 7 个模块。考虑最佳经济性的方案配置如下：

UN216-2AD23-0XB0
UN231-0HF22-0XA0
UN235-0KD22-0XA0
UN231-7PC22-0XA0
UN232-0HD22-0XA0
UN232-0HD22-0XA0
UN232-0HB22-0XA0

此方案我们和西门子品牌同类型同方案的 PLC 比较后会发现 UniMAT PLC 无论 CPU 的功能还是模块的优化配置其优势都非常明显。

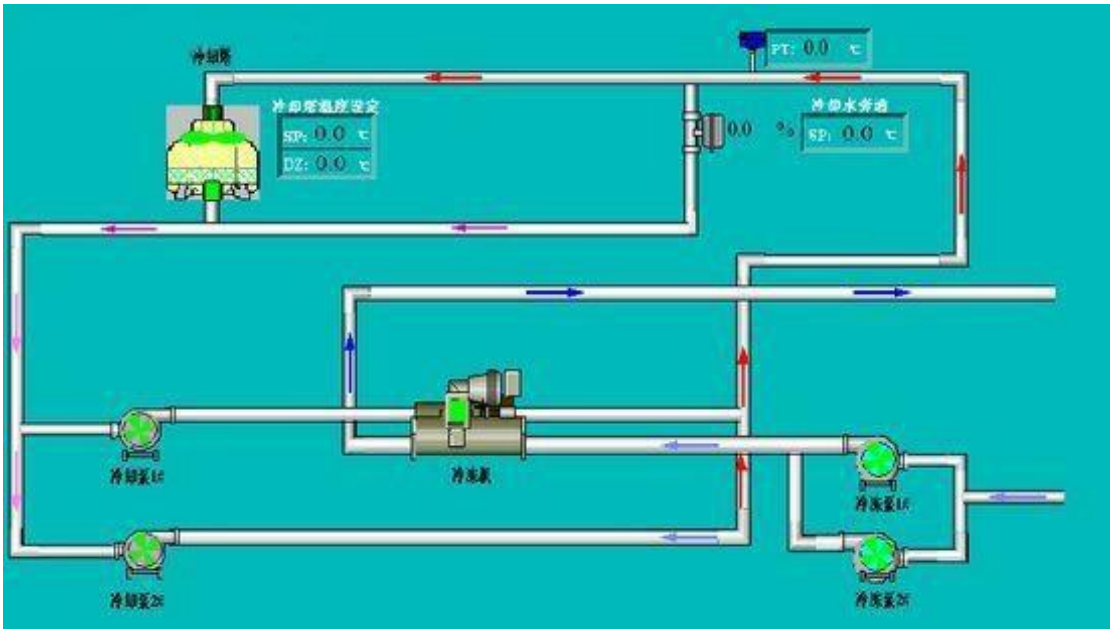
在该控制要求中无尘室的设计为 MAU 全新风系统和室内 DC（干盘管）系统，经过核算，最佳配置如下：

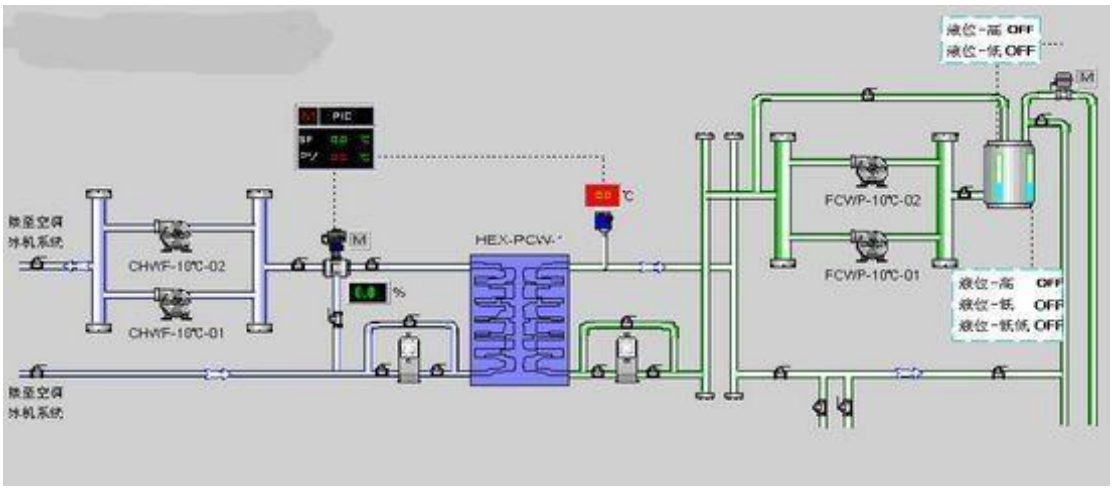
UN216-2AD23-0XB0

UN231-0HF22-0XA0
UN231-7PC22-0XA0
UN232-0HD22-0XA0
UN232-0HD22-0XA0
UN232-0HD22-0XA0
UN221-1BF22-0XA0

四、水控制要求

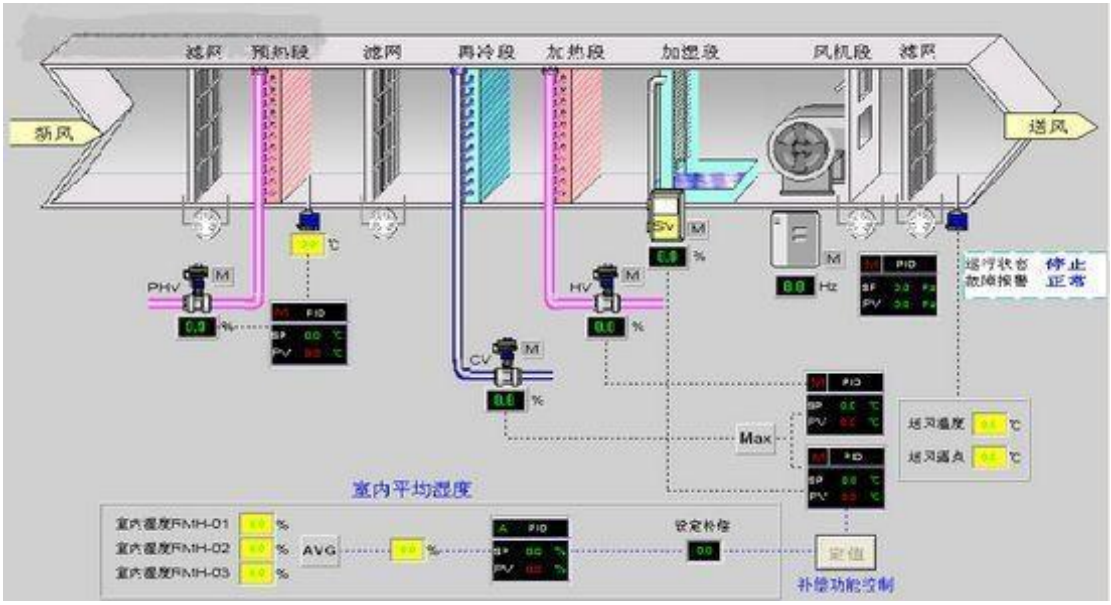
1、冷却水系统中根据冷却水的温度控制冷却塔启动的台数和冷却旁通阀的开度。以保证冷冻机的正常运行。
2、冷冻水系统中根据压差值控制压差旁通阀的开度。
3、酸碱排气根据风管压差控制酸碱排气的频率
4、中温水系统的控制和 PCW 换热根据供水温度控制换热阀的开启。此系统中水温的控制要求极高，当水温控制偏差较大的时候会在水管表面产生结露，有可能导致从室内机台的故障。从而影响产品的合格率。
5、根据热水出水温度控制蒸汽阀的开度，以保证热水温度的稳定。





五、风系统控制要求

1、根据室内的压力控制新风阀的开度、
2、MAU 根据预热控制预热阀的开度，以防止冬季冷盘管的冻裂。
3、根据送风露点控制 MAU 的冷水热水和加湿。
4、根据室内的温度控制对应 DC 阀的开度。
5、FFU 共分为 10 组，每组 6 台，当其中某组出现故障的时候可以很轻易的找到故障设备。FFU 启动的时候按 1-10 号顺序延时启动，关闭则反之，禁止 10 组同时启动，以免因启动电流过大而引起设备的保护。



六、完工分析

1、过程控制：经过现场的调试后工程师发现编程使用方法与西门子完全一致，现场人员无需再学习新的编程方法，从而节约了现场调试的时间，而且最终的控制效果尤其是 PID 非常稳定，达到当初设计的预案。

2、性价比:2 套控制系统如采用西门子的国产 PLC 则无法达到点数的要求，若采用西门子进口模块则对应的传感器需要采用变送器，在成本上有很大的增加。经采用亿维 PLC 后最佳的优化方案总成本至少比西门子的方案便宜 50%以上。

案例 26

西门子 PLC 在高压水除鳞系统中的应用

一、 系统.概述

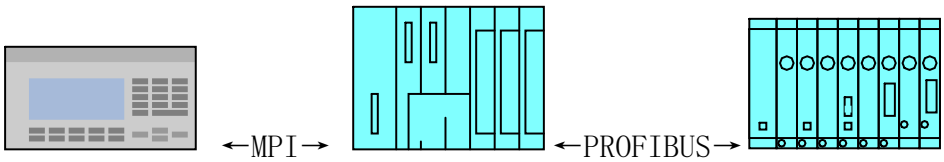
高压水除鳞系统是现代热轧钢生产工艺中，保证产品质量必不可少的环节。我厂生产的高压水除鳞设备主要由：泵站、循环阀组、高位水箱、过滤器装置、除鳞装置、辅助控制系统、热金属检测仪及电气控制系统等组成。

电气控制系统，它采用是西门子 S7-300 PLC、西门子变频器、人机界面（简称 MHI）装置—触摸屏等组成，采用可编程控制器 PLC 作为核心部件，其控制更为安全、可靠、方便、灵活，自动化程度更高。

二、 系统结构与硬件配置

本系统是一个基于 PROFIBUS 现场总线的分布式控制系统。西门子 ET200 作为分站操作台通过 PROFIBUS 接口于主站通讯，人机界面（简称 MHI）装置—触摸屏是通过 MPI 接口与 PLC 进行通讯。

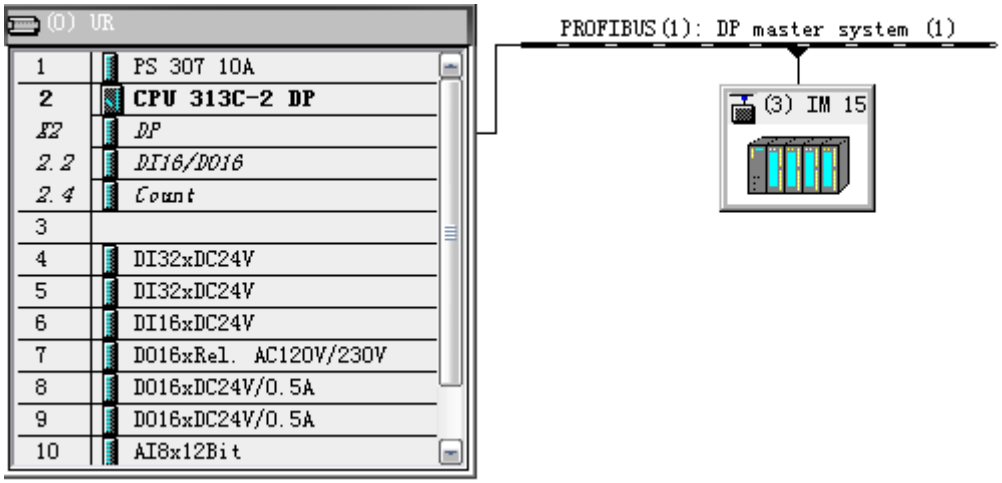
系统配置图如下：



触摸屏显示操作　　CPU 主站控制　　ET200 分站操作台

本系统硬件采用 CPU 312C-2DP 、分布式 IO 采用 ET200M 、数字输入模块、数字输出模块及模拟输入模块等。人机界面（简称 MHI）装置—触摸屏采用 PWS 3261 TFT 10.4 英寸 触摸屏。

硬件配置图如下：



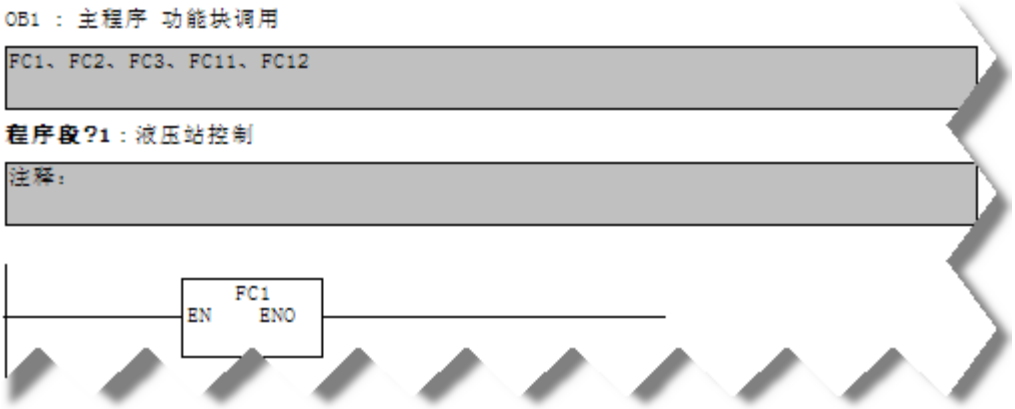
主站硬件配置

插...	模块 ...	订货号 ...	I ...	Q 地址	注释
2	IM 153-1	6ES7 153-1AA03-0XB0	1021		
3					
4	DI16xDC24V	6ES7 321-1BH02-0AA0	10...11		
5	DI16xDC24V	6ES7 321-1BH02-0AA0	12...13		
6	DI16xDC24V	6ES7 321-1BH02-0AA0	14...15		
7	DI8/DO8xDC24V/0,	6ES7 323-1BH01-0AA0	16	8	
8	DO16xDC24V/0.5A	6ES7 322-1BH01-0AA0		9...10	
9	DO16xDC24V/0.5A	6ES7 322-1BH01-0AA0		11...12	

分站硬件配置

三、 主程序结构

系统主程序由 OB1， 如图所示



组织块 OB1 调用功能块 FC1(液压站控制) 、FC2(润滑站控制) 、FC3(高位水箱控制) 、FC11(粗除鳞控制) 、FC12(精除鳞控制)来自动完成控制、比较、运算、报警等功能。

数据块 DB1 DB2 DB11 是用来分类存储设备或生产中的变量值。数据块也是用来实现各逻辑块之间的数据交换，数据传递和共享数据的重要途径。

四.系统的控制过程及特点

高压水除鳞系统是由除鳞控制回路、高位水箱控制回路、液压控制回路、润滑控制回路等组成。有手动，自动两种控制方式，灵活的操作方式：可以现场操作台操作，也可以控制室触摸屏操作。有报警及故障自动停车功能。通过触摸屏可以简单、方便的参数设定。

系统有受电柜、变频柜及控制柜组成。三相四线制，380V 供电。首先合上受电柜电源总开关，依次合上变频柜、控制柜及控制电源开关，为 PLC 送电

除鳞控制回路主要由 PLC，变频器、切换继电器、电动机等部分组成。控制核心单元 PLC 根据手动设定频率信号，通过变频器的多功能端子实现多段速控制。使高压除鳞泵输出相应的工作压力。频率范围一般在 25HZ-50HZ 之间，分四档，工作压力为 14MPa-20MPa，以满足工艺要求。在设备运行前首先选择泵，（泵为两台工作一台备用）选择完毕，PLC 发出一个允许启动变频器的信号，必须满足条件变频器才可以启动。（水箱的工作水位，液压站油压，润滑站油压，变频器速度一档，除鳞全开，变频器无故障）当变频器允许启动信号灯亮，才可以启动变频器。否则无法启动变频器。变频器启动后，高压除鳞泵运行。系统处于工作状态，高位水箱里的水通过高压除鳞泵经循环阀返回水箱，做低压循环，当热金属检测仪检测到钢匹信号，PLC 发出信号关闭循环阀，高压水从除鳞装置喷出，清除钢匹表面的氧化层。钢匹通过时 PLC 有个延时信号，当钢匹完全通过

时 PLC 发出信号关闭循环阀，除鳞结束，待下一块钢匹。延时时间可以通过触摸屏设定，开闭时间 0.5S-2S 任意可调。除鳞有手动，自动两种方式。由触摸屏显示工作压力值。

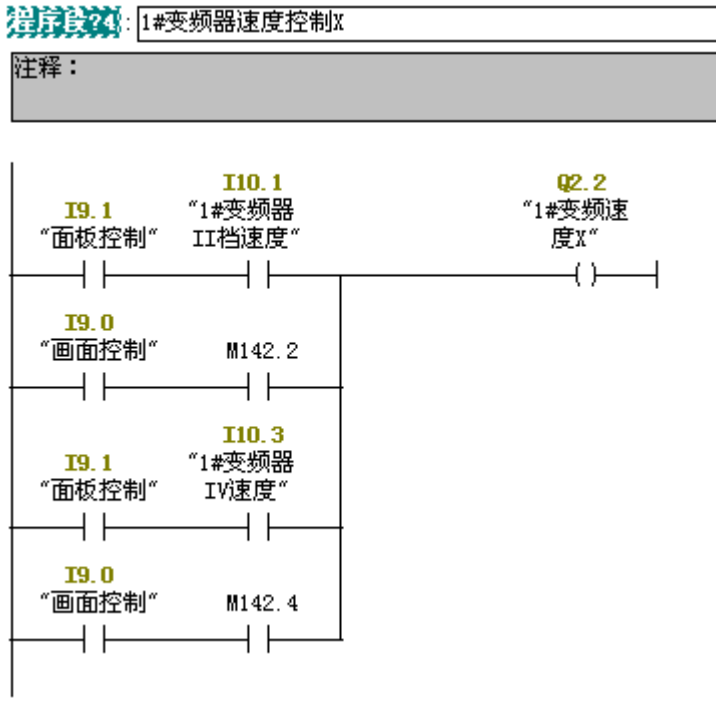
高位水箱控制回路由 PLC、磁翻板式液位计，电动给水阀组成。自动控制水箱水位。液位计设有五个水位即：1#为上事故水位（声光报警）、2#为上工作水位（关闭给水阀停止供水）3#为下工作水位（打开给水阀开始供水）、4#为下极限水位（声光报警变频器无法启动）5#为下事故水位（变频器跳闸、循环阀自动打开），有手动、自动两种方式。

液压站是为液压循环阀提供动力的，回路由 PLC、电机启动电路、温度控制电路、压力控制电路、油位显示电路等组成。系统有手动、自动两种工作方式。通过 PLC 控制电机启停。通过 PLC 设定回路的压力值与模拟模块的压力测量值比较作为变频器的启动条件，温度控制电路是通过铂电阻检测的温度值与给定温度值比较，自动控制液压油的温度。（润滑站原理同上）

系统应用西门子 PLC 控制有以下特点：

1. 采用西门子 PLC 分布式 IO 主从系统的远程模块 ET200M，用于现场操作台控制，之用一根网线代替过去大量接线，大大降低成本，减少故障发生率，提高系统运行的稳定性。参看主站硬件配置。

2. 通过 PLC 编程实现变频器的多段速控制。它通过主令开关的四个档位来控制变频器的两个多功能端子，改变其状态，来实现速度设定。使电路更简单、稳定。如图所示：



五. PLC 的 I/O 分配

I0.0	除鳞风机过载	I2.4	润滑站油位	Q0.0	1#泵风机工作
I0.1	液压泵过载	I2.5	水箱 1#水位	Q0.1	2#泵风机工作
I0.2	润滑泵过载	I2.6	水箱 2#水位	Q0.2	液压泵工作
I0.3	画面控制（选择）	I2.7	水箱 3#水位	Q0.3	润滑泵工作
I0.4	面板控制（选择）	I3.0	水箱 4#水位	Q0.4	液压站加热器工作
I0.5	消警	I3.1	水箱 5#水位	Q0.5	润滑站加热器工

					作
I0.6	故障复位	I3.2	1#泵入口开到位	Q0.6	给水阀 开阀
I0.7	急停	I3.3	2#泵入口开到位	Q0.7	给水阀 关阀
I1.0	变频器 1#泵运行	I3.4	循环阀开到位	Q1.0	循环阀工作
I1.1	变频器 2#泵运行变	I3.5	循环阀关到位	Q1.1	变频器启动
I1.2	变频器故障	I3.6	水箱干水阀开到位	Q1.2	变频器 X 速度
I1.3	系统故障	I3.7	水箱干水阀关到位	Q1.3	变频器 Y 速度
I1.4	1#泵风机运行	I4.0	热捡仪信号	Q1.4	变频器复位
I1.5	2#泵风机运行	I4.1	变频器运行反馈	Q1.5	选择 1#泵
I1.6	液压泵运行	I4.2	选择 1#泵	Q1.6	选择 2#泵
I1.7	润滑泵运行	I4.3	选择 2#泵	Q1.7	
I2.0	液压站加热器加热	I4.4		PIW280	液压站油温
I2.1	润滑站加热器加热	I4.5		PIW284	液压站油压
I2.2	液压站过滤器堵塞	I4.6		PIW292	润滑站油压
I2.3	液压站油位	I4.7		PIQ294	除鳞泵口水压

案例 27

西门子 PLC 在海化纯碱厂软化水工程中的应用

一、工程简介

本工程为山东海化股份有限公司 600kt/a 纯碱工程软化水项目。总装机容量 190KW,主要大功率设备是水泵。其中 2 台软水供水泵。单台功率为 75KW，1 台变频增压泵，功率为 15KW， 2 台再生泵功率为 7.5KW，实际常用功率 85KW，备用功率 75KW，不常用功率 25KW。

本工程一期建设为 180T/H 软化水，最终建成 360T/H 软化水。

本工程使用原水来自水库的地表水，通过管道输送到本工程。管网水压最低为 0.3Mpa，水质受季节影响比较大。

由于原水压力不稳定,自来水的供水压力受其它用水点用水量的影响,在用水高峰期供水压力下降,应在进水管道上设置一套增压系统以保证系统节能运行,同时满足系统的恒压变量供水要求。

控制水平：系统实现全自动控制。要求通过可编程器加上位计算机实现。

系统范围：180T/H 软化水整个系统设备，管道，整个控制系统。

二、软化水系统总要求

1.系统净产水量：Q≥180m³ /h

2.总出水硬度：≤0.03mg/L

3.供水方式：连续供水；

4.控制方式：全自动控制。

三、工艺流程

1、制水工艺流程

四、PLC 控制系统概述

1、自控系统方案

本软化水处理工程采用开放式的射线式结构，系统由研华工控机及西门子 PLC 组成，两者都安装在软水站近旁的控制室内。水处理系统中的水箱液位，水泵压力 ，阀门位置，水泵运行、故障信号，都通过控制电缆一一对应至 PLC 的输入端。其中气动阀门，水泵运行、故障信号为数字量，其它连续变量为 4-20mA 模拟量。全系统共设有 256 个数字点、24 个模拟点、128 个数字输出点。工控机和 PLC 采用 MPI 电缆连接。PLC 中的数据和开关状态通过 MPI 电缆，用通讯方式连至 PC 工控机。

PLC 选用西门子 S7300，使用工控机对它进行编程和运行监控；控制功能用 STEP7 编程实现，STEP7 提供 3 种编程语言格式，包括梯形图、语句表、功能表；本系统采用的是梯形图编程语言。如何使程序结构最好而又使程序代码最简，对提高 PLC 系统的性能非常重要。该系统采用单线程编程，循环中断块 OB35 完成对各子程序标志位的置位，其循环时间设为 100ms，主程序 OB1 通过判断子程序的标志位来分别调用各子程序。PLC 的输出点全部控制中间继电器，中间继电器的常开触点控制现场柜中的电磁阀和水泵接触器，通过现场柜上的三位转换开关，直接控制水泵和阀门。

2、PC 工控机

PC 工控机为台湾研华产品,配置为 P4/1.7G/30G/256M,三星 21"彩显(CRT),PC 机上装有（Windows2000、CAD2002、WORD、EXCEL 等基本软件，还装有 SETP7V5.2PLC 编程软件和 WinccV5.1 组态软件。工控机系统由 1000VA UPS 供电，它的 232 串口通过 MPI 适配器连接 S7300PLC 的编程口。PC 机可作为工程师站对 PLC 进行编程，编程完毕后，可作为操作员站监控系统的运行。打印机使用是 EPSON 公司的 LQ-1600-KIII 型打印机。

3、网络功能

现在使用的是工控机和 PLC 之间的小型工业以态网络，使用交换机连接 PC 机和 PLC,既可编制程序,还可通讯监控。因为工控机使用的是组态软件带有 OPL 接口软件。软水处理系统完成调试投入正常运行后，工控机挂接的以太网，可与任一台装有组态软件，并带有 OPL 功能的计算机相连接。

五、WINCC5.1 主要功能及特性

与国内外同类产品相比，WINCC5.1 组态软件具有以下特点：

1、全中文、可视化、面向窗口组态开发界面，符合中国人的使用习惯和要求，真正的
32 位程序，支持多任务、多线程、可运行于 Microsoft
Windows95/98/Me/NT/2000 等多种操
作系统;

2、庞大的标准图形库、完备的绘图工具集以及丰富的多媒体支持,使您能够快速地开发出集图像、声音、动画等于一体的漂亮、生动的工程画面;

3、全新的 ActiveX 动画构件，包括存盘数据处理、条件曲线、计划曲线、相对曲线、多行文本、通用棒图等、使您能够更方便、更灵活地处理、显示生产数据。

4、支持目前绝大多数硬件设备，同时可以方便地定制各种设备驱动;此外独特的组态环境调试与灵活的设备操作命令相结合,使硬件设备与软件系统间的配合天衣无缝。

5、简单易学的类 Basic 脚本语方与丰富的 MCGS 策略构件，使您能够轻而易举的开发出复杂的流程控制系统。

6、强大的数据处理功能，能够对工业现场产生的数据以各种方式进行统计处理，使您能够在第一时间获得有关现场情况的第一手数据。

7、方便的报警设置、丰富的报警类型、报警存贮与应答、实时打印报警报表以灵活的报警处理函数，使您能够方便、及时、准确地捕捉到任何报警信息。

8、完善的安全机制、允许用户自由设定菜单、按钮及退出系统的操作权限。此外， MCGS5.1 还提供了工程密码、锁定软件狗、工程运行期限等功能，以保护组态开发者的成果。

9、强大的网络功能，支持 TCP/IP、Modem、485/422/232，以及各种无线网络和无线电台等多种网络体系结构。

10、良好的可扩充性，可通过 OPC、DDE、ODBC、ActiveX 等机制，方便地扩展 MCGS5.1
组态软件的功能、并与其他组态软件、MIS 系统或自行开发的软件进行连接。

11、提供了 WWW 浏览功能，能够方便地实现生产现场控制与企业管理的集成。在整个企业范围内，只使用 IE 浏览器就可以在任意一台计算机上方便地浏览与生产现场一致的动画画面，实时和历史的生产信息，包括历史趋势、生产报表等等，并提供完善的用户权限控制。

案例 28

西门子 PLC 在全自动混料系统中的应用及升级

1 项目简介

90 年代后期,由于塑钢门窗的开发和推广应用,为了扩大生产规模,提高劳动生产率,保证产品质量,国内企业陆续从国外引进全自动混料系统,国外在在该项目上发展已相当成熟,国风、海螺和实德是引进较早的国内企业。安徽国风塑料建材有限公司 1998 年 7 月从德国 REIMELT 公司引进一套 3 万吨 PVC 全自动混料系统,1999 年和 2000 年经过二次扩展,形成了 6 万吨的 PVC 全自动混料系统,含 PVC 型材、空腔板和发泡板三种不同工艺生产。系统工艺控制除原料人工倒入其余全部自动完成,主要分以下几大部分:(1)倒料部分,倒入控制系统配方中所需要的各种原辅材料;(2)称量部分,分主料称量、辅料称量、微料称量和油料称量;(3)混料部分,控制系统自动把称好的各种原料按先后顺序下到混料机中并启动混料机完成混合过程;(4)输送和储存部分,系统把混料机混好的干混料自动输送到设定的大料仓中临时储存,系统根据车间挤出需求自动输送到相应的机台。

国风现有系统在1998年引进时,在国内同类系统中是工艺要求最复杂,控制点最多,输送距离最远的单控制系统。系统的布局是四楼安装倒料系统,三楼安装称量和中控系统,二楼安装7台混料机组,一楼安装输送和储存系统。当时根据上述要求,考虑PLC是系统核心部件,经过双方工程师的调研和讨论,最终选西门子S5-155UPLC(CPU是948U)作为中控室主控制系统,配置了大量的输入和输出模块,驱动器和变频器用电流信号作调速控制,连续料位测量也用电流信号进行反馈控制,。系统中共使用7台混料机组,都有独立电控柜,其中3台台湾混料机经数字I/O接口保持与中控室连接,另外4台意大利PLASMEC混料机都有独自的PLCS5-95U,通过中控室通讯卡CP5431与CPU948U通讯。由于中控室离挤出车间较远,现场布置了5组分控柜(代号为CCP01-CCP04),分别控制相应的物料储存和输送,都有独自的控制元件,3个为S5-ET200U,2个为S7-ET200M(2000年扩展)。中控室INSTAR工艺控制系统和2个可视化系统都是通过相应的CP528与CPU948U连接,中控室与现场分控柜主要是经PROFIBUS连接,每台秤都配独立RWA-A/D转换器,所有的RWA-A/D经西门子INTERBUS-S模块与CPU948U连接。本系统最终选定西门子硬件配置主要如下,1个S5-155U,1个TD17-DP12,4个S5-95U,3个S5-ET200U,2个S7-ET200M。

(1)中控室(MCC01/02)PLC(S5-155U)硬件配置如下：CPU948U、数字量输入模块、数字量输出模块、CP528模块、CP5431模块、INTERBUS-S、IM308C、IM304、IM300、IM312、IM314、模拟量输出模块和模拟量输入模块。

(2)混料机(MX01/02/06/07)PLC(S5-95U)硬件配置如下：S5-95U、数字量输入模块和和数字量输出模块。

(3)现场分控柜(CCP01/02/03)PLC(S5-ET200U)配置如下：TD17-DP12、S5-ET200U、DI/DO模块和DO模块。

(4)现场分控柜(CCP04/05)PLCS7-ET200M)配置如下：S7-ET200M、SM321、SM322、SM331。

2 控制系统的构成。

公司的项目是1998年4月从德国REIMELT公司全套引进,该公司是制造全自动混料系统的国际知名专业厂家。在当时的情况下,我们选择的中控室人机界面是1套REIMELT INSTAR工艺控制系统和2套REIMELT可视化系统,3套系统都是通过CP528与PLCS5-155U连接和通讯,系统同时配置打印功能和远程诊断功能。中控室PLC配置了1个CC中央机架和3个EU扩展机架,用于安装各种模板,机架间通过相应的接口模快进行通讯。4台意大利PLASMEC混料机的PLCS5-95U经PROFIBUS总线与中控室CP5431连接,通过通讯卡CP5431与CPU948U通讯。车间现场TD17和5个独立的分控制单元,3个S5-ET200U和2个S7-ET200M,依次经PROFIBUS总线与中控室IM308连接,通过接口模块IM308与CPU948U通讯。另外系统中控室电柜还为现场15个电子秤配置了独立A/D转换器,接口是INTERBUS-S接口,相互间经串行INTERBUS-S总线通过1个INTERBUS-S通讯卡,保证与CPU948U通讯。

3 控制系统完成的功能

整个控制系统的控制点多,控制面广,控制距离远,是根据当时的客观条件为了满足所有设备能稳定运行和满足所有工艺要求而设计的,系统控制功能较多,主要如下介绍。

(1)系统的顺序控制功能。整个生产过程流程从倒料、称量、混料、储存到输送,除各种原料倒入是人工完成,其余过程都是按PLC程序和配方的设定自动按序完成,各个环节间既相互独立又相互制约。

(2)操作和可视性强。通过REIMELTINSTAR工艺控制系统可随时根据工艺要求设定各种配方及日常各种所需报表;选择启动和停止相应的混料机组、储存方

式和供料方式;能够设定称量的误差范围,显示实际称量进度,实际误差值,等等。2 套 REIMELT 可视化系统能够完成对各个生产过程及控制点的动态显示监控,并提供称量和各种电气报警信息,显示界面切换方便。

(3)称量的准确和稳定性。称量分手动和自动两种,手动为各个环节人工通过 IN-STAR 工艺控制系统一步一步完成。自动称量即只要打开某条生产总线,系统立刻启动相应的电子秤根据设定的配方依次对相应的原料进行计量,并实时显示电子秤累加值、单个原料计量值及误差情况。计量精度是通过 PLC 控制变频器,由变频器控制计量螺杆的转速,再由 A/D 转换器反馈实时测量值形成闭环完成。

(4)调试过程是个不断发现和解决问题,完善系统的有效手段。98 年在安装前,德国工程师根据我们的具体要求,预先编写工艺流程、进行系统组态和编程,双方通过实验室模拟系统仿真运行,不断的发现问题,逐步完善。安装后通过在线监控,通过强制变量的调节,可以直观地看到程序的实际运行情况及可视系统上的工艺流程的动态变化,可随时修改程序,调试完毕后再下载到 CPU 和固化模块上。程序的诊断功能非常有用,发生一些意外情况,硬件上

西门子 PLC 在全自动混料系统中的应用及升级

摘 要:本文主要介绍以西门子 S5-155UPLC 为控制主站,以 4 个 S5-95U,1 个 TD 17,3 个 S5-ET200,2 个 S7-ET200M 为现场控制从站,经 PROFIBUS 总线连接组网,与人机界面相联,组成一个功能强大的全自动混料控制系统,该系统已成功运行 10 年。另外介绍因公司的发展需要,再上一套混料系统,选用西门子 S7-400PLC 为新的控制核心,把原有 S5 控制系统升级,纳入 S7-400 控制系统中,新控制系统的功能更强大,更先进。

关键词:S5-155UPLC S7-400PLC S7-ET200M 全自动混料系统中图分类号:TP3 文献标识码:A 文章编号:1674-098X(2011)10(c)-0057-02

科技创新导报的飞行控制律。初始的控制律增益一般是使用根轨迹、特征结构配置和优化控制等方法设计的。然后对设计进行评估,并利用时域和频域方法对设计进行调整,以保证满意的操纵品质和设计的鲁棒特性。

设计飞行控制律所需要的信息一般来自大气数据系统。大气数据系统的设计要能提供完整的信息,如可以提供三余度的迎角和侧滑角信息以及四余度的空速信息等。

飞控系统控制律的设计要使飞机具有良好的操纵品质,使得飞行员的工作负荷较小,对飞行员诱导振荡具有较高的抵抗能力。为了获得满意的设计,需要确定合适的设计标准。首先,进行合理的反馈设计,以获得良好的抗干扰能力;其次,提供希望的操纵特性。飞行员诱发振荡是指飞行员的操纵指令无意识地与飞机的响应正好反相。在正式飞行以前就应该对飞机的操纵品质进行验证,主要通过充分的理论分析、离线模拟、飞行员在回路中的地面模拟或飞行模拟来实现。

飞控系统的设计要保证必要的可靠性和完整性,系统要具有多路结构、相关的余度安排,以及综合的机内自检测能力。大型民用客机其飞行控制律一般是通过数字计算机实现的,这种方法可以提供最大的灵活性,可以实现很复杂的功能。对于数字化的控制律,为了使其能够反映系统的特性,避免在地面和飞行试验中出现没有预料到的结果,在系统设计和模拟中所使用的模型必须考虑数字处理的影响。为了去掉信号中的高频干扰成分,需要使用滤波器限制输入信号的带宽。

5 电传操纵系统的余度设计

应用余度技术是提高系统任务可靠性、安全可靠性和容错能力的有效手段。飞控系统余度技术的研究主要在于飞控系统各个环节的余度设计上,如主飞控计算机的余度管理及冲突表决机制、液压和电源系统的余度设计、飞控传感器的余

度设计、软硬件的非相似余度,在作动器故障和舵面故障情况下利用飞机的空气动力余度进行重构等。在飞控系统设计过程中,应综合考虑飞控计算机、总线、作动器电子单元、作动器、液压源、电源、空气动力、飞控系统组合余度设计等飞控系统余度配置的关键环节,明确飞控系统余度设计各个环节的相互影响关系,从而达到飞机的高安全性和高可靠性的设计目标。

6 结语

电传操纵系统是民用飞机发展的重要里程碑,它可减轻飞行员的工作负担,提高乘坐的舒适度,优化飞机的设计。通过对电传操纵系统的优缺点、电传操纵系统设计的关键问题以及控制律设计、余度设计的简要分析,可以看出电传操纵系统设计过程中需要注意的一系列问题,对这些问题的合理解决是完成电传操纵系统设计的必要条件。我国的大型客机已经进入设计研发阶段,应注重电传操纵系统技术的研究,提升知识水平,开发出具有自主知识产权的产品

案例 29

西门子 PLC 在水处理控制系统中的应用

本文论述了西门子 PLC 在水处理'水处理领域的应用。对系统的硬件、软件结构及工作原理进行了说明　并且重点介绍了西门子 PLC 的子程序调用结构和对模拟量信号处理的软件编程及在与人机界面通讯时的编程注意事项。运用表明该系统能够满足电厂锅炉补给水处理的自动控制要求，并且具有先进、可靠、控制性能好等优点。

主控单元采用 PLC 是西门子公司的中小型 PLC 产品，方便实现扩展性优良的生产现场它能进一步增强 PlC 的基本功能，可靠、方便的数据处理提高生产现场工作效率 STEP 7 是西门子开发的应用于 S7-200 系列的编程软件运行在 WindowsXP 操作系统中，在自动化工程各方面具有友好的用户功能。它致力生产现场情报化充实适应 Windows 的软件，它的单元品种齐全，对各种各样的机械设备实现最佳控制。

1 工艺简介.

本例根据原水水质条件、锅炉汽水系统对补给水的水质要求　锅炉补给水处理系统流程为：原水→原水箱→原水泵→热交换器→多介质过滤器→活性炭过滤器→反渗透预脱盐系统→中间水箱→中间水泵→混和离子交换床→除盐水箱→除盐水泵→主厂房。另外包括过滤器反洗系统、混合离子交换床再生系统、加药系统等。原水箱用于贮存进入本系统的原水，其目的是为了调节进水流量的变化，防止进水波动影响到系统运行，保证系统的进水量及进水水质的稳定。

原水泵是为预处理系统提供充足的原水流量和压力。 热交换器的作用是使进水维持在一定的温度范围之内，以利于保证反渗透系统出力的稳定。

多介质过滤器的作用是滤除原水带来的细小颗粒、悬浮物、胶体，有机物等杂质，以及经加药后形成的矾花，从而保证其出水 SDI(污染指数)≤4。

活性炭过滤器的作用是去除水中低分子有机物“游离氯”也能减少水中异味，色度和嗅味。

反渗透预脱盐系统利用反渗透膜的特性来除去水中绝大部分可溶性盐分、胶体、有机物及微生物。

中间水箱使反渗透产水侧承受较低的压力，避免反渗透膜受到背压而导致不可恢复的损坏，同时缓冲由于后级离子交换系统阀门切换时造成的压力波动，并可通过中间水箱的液位控制反渗透的启、停运行。

中间水泵的作用是为后续水处理系统提供稳定的压力和水量。

混和离子交换床的作用是将反渗透产水中留存的离子进一步去除。

除盐水箱用于贮存本系统的产水　其目的是为了保证锅炉供水水量的稳定。

除盐水泵的作用是为锅炉系统提供稳定的压力和水量。

2 控制系统'控制系统配置及说明

2.1 总体控制要求及功能

电厂锅炉补给水处理自控系统的要求是对水处理过程进行自动控制和自动调节，使处理后的水质指标达到要求的范围。在公司水处理控制室上位机发出指令时，将当前时刻运行过程中的主要工作参数(水质参数、流量、液位等)、运行状态及一定时间段内的主要工艺过程曲线等信息由现场上传到水处理控制室上位机。

功能如下

控制操作：在水处理控制室能对被控设备进行在线实时控制。

显示功能：用图形实时地显示各现场被控设备的运行工况　以及现场的状态参数。

数据管理：依据不同运行参数的变化快慢和重要程度　建立生产历史数据库，存储生产原始数据，供统计分析使用。利用实时数据库和历史数据库中的数据进行比较和分析，得出一些有用的经验参数，有利于优化控制，并把一些必要的参数和结果显示到实时画面和报表中去。

报警功能　当某一模拟量(如流量、电导、水位等)测量值超过给定范围或某一开关量(如电机启停、阀门开关)发生变位时，可根据不同的需要发出不同等级的报警。另外还可对 PLC 进行诊断报警。

打印功能：可以实现报表和趋势打印以及各种事件和报警实时打印。

2.2PLC 程序结构及实现

2.2.1 本工程根据工艺特点，在 PLC 编程中采用子程序调用的形式，这样不仅程序可读性强，而且缩短 PLC 程序扫描周期。以反渗透除盐系统控制程序为例，根据工艺要求反渗透除盐系统控制程序包括反渗透装置阀门上位机软手操控制、反渗透除盐系统备用控制、反渗透除盐系统运行控制、和反渗透除盐系统冲洗控制。这四种工作状态在同一时刻是唯一的，我们可将其做成子程序的方式，被反渗透程序调用。反渗透程序又和报警程序、泵控制程序、模
拟量处理程序、地址转换程序、液位联锁程序等作为子程序被控制主程序调用。这样做大大
缩短了 PLC 的扫描时间，而且控制思路清晰，程序可读性强。操作人员只需在上位机上发出简单的指令如:软手操请求、运行请求、冲洗请求等控制程序,即可按照工艺要求步骤对现场设备进行控制。

对于西门子 PLCS7-200 控制器的编程软件 STEP 7 来说通过简单的指令既可以实现子程序调用。例如: 在控制主程序中写入下面的指令用来调用子程序,这样就完成了主程序对子程序的调用。

本工程使用的模拟量输入模块是 S7 200 的 EM231,本例中每个模拟量输入模块所包含的 4 个通道均配置成使用状态,模拟量电信号类型配置成 4~20mA。

对于西门子 S7 200PLC 的模拟量输入模块 EM231 来说,当来自仪表的 4~20mA 信号不在 4~20mA 范围内(低于零点或超出量程)时,EM231 将现场模拟量值转换成小于 6400 或大于 32000 的数值,相应在上位机上会显示该模拟量的断线或超量程。不会造成显示错误,引起操作人员误解.对于西门子 PLC 与上位机交换的地址,建议将其放在控制主程序中转成 VD 保持数据区格式。

3 结语

此控制系统运行系统稳定、可靠。极大地提高了劳动生产率,该系统有效地解决了生产中的很多问题,如减少了生产过程中的突发故障、缩短了生产准备时间和抢修时间、减少了工人的劳动强度、为电厂锅炉补给水处理创造了可观的经济效益和社会效益，达到了节能、降耗的目的。

案例 30

西门子 PLC 在中药生产中的应用

【摘要】本文对西门子系列可编程序控制器应用于中药生产的设计思想作了介绍，并阐述了一种新型全自动恒温恒压中药滴丸机的设计与研究。全自动滴丸机采用西门子 PLC 全程控制，现场应用情况表明，该 PLC 控制系统工作可靠，操作方便。

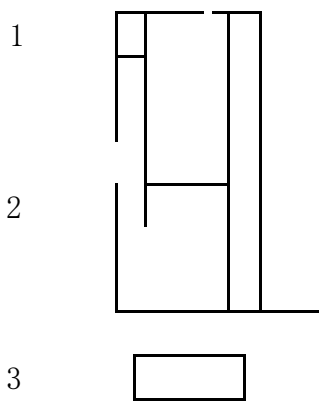
引言：中医药作为我国优秀民族文化中的瑰宝，其历史悠久，源远流长，在我国已经有上千年的历史。过去的中药多为大丸剂或汤药而为我们所熟知，但是历史发展到今天，中药的这种包装形式已经严重阻碍了中药的发展和推广，其剂量大不易携带而且药性纯度不高。为了使得现代中药携带和使用更加方便，药量更加微小，一种新型中药微型滴丸随之应运而生。它是将中药加工提纯以后，与固体基质加热熔融成溶液、混悬液或乳浊液，再滴入不相混溶的冷凝剂中，由于界面张力作用使液滴收缩并冷凝成固态而制成的制剂。这种剂型成分明确，质量稳定，便于服用，易于控制崩解时间和缓释时间，更利于应用现代设备进行大批量包装生产。其中实心滴丸剂型以其工艺设备简单，生产方便，周期短，成本低，易于控制质量，而且有利于清洁卫生等而受到越来越多制药厂的青睐。

目前我国生产实心滴丸的设备多采用敞口的方式，其药液和周围的大气相通，完全靠药液自身的重力完成滴制，这样生产出来的滴丸很难保证药丸的圆整度，其次滴丸直径和滴丸重量的一致性也很差。另外，这些生产实心滴丸的设备多半还是采用老式的电磁机械方式进行控制，很难保证中药生产的连续性和稳定性，

生产效率非常低。对这些老式中药生产设备进行升级换代，引入现代先进的控制技术，促进我国中药的更好、更快发展已经成为当代科技人员的重要使命。下面介绍一种本人曾参与研制的新型全自动滴丸机，它采用西门子 PLC 进行控制操作。在实心滴丸的生产过程中，药液将始终处于一个完全封闭的环境系统内。西门子 PLC 结合相应的压力、温度和液位传感器及 PLC 扩展模块实现对药丸滴制过程中的温度、压力、液位等的全程闭环控制，从而实现了药丸的恒温恒压滴制。同时，西门子 PLC 和 TP270 触摸屏相连，利用触摸屏强大的人机交互能力可以对药液的高度、药丸的滴制温度和压力等进行实时在线显示和设定。

目前采用西门子 PLC 进行控制生产的该设备已广泛被各大药厂所应用，生产的出的中药滴丸产品在圆整性和一致性方面表现非常优秀，同时生产的效率的得到了极大的提升，创造了良好的经济和社会效益。

一、 滴丸机结构工作原理



1. 油温传感器
7
2. 药温传感器
8
3. 压力传感器
4. 冷凝柱上方温度传感器
9
5. 冷凝柱中部温度传感器
10
11

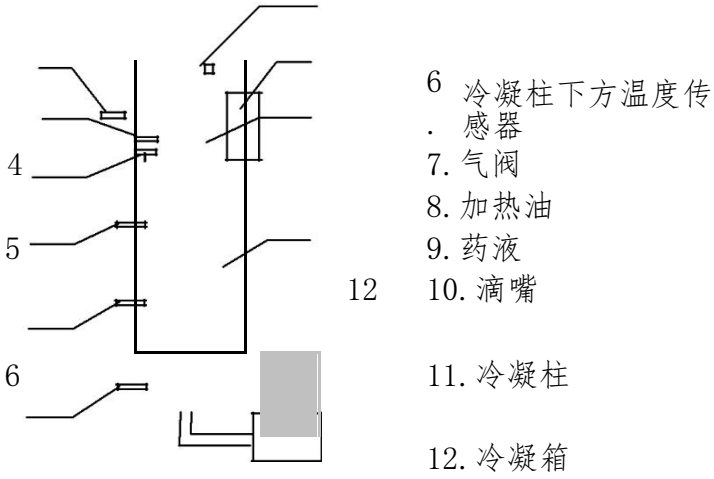


图 1 滴丸机系统结构原理图

由图 1 可之，该全自动滴丸机的上部为一密闭的药缸。开始滴制药丸前首先将预先配置好的药液放入药缸内，然后给外部油缸内的电加热管通电以加热油缸中的加热油，加热油则利用热传导原理使药缸内的药液缓慢达到设定的滴制温度。通过应用西门子可编程控制器内置的 PID 运算功能，控制外部油缸内加热油的温度可以使得药缸内的温度达到恒定。该全自动滴丸机的药缸的顶部还有个气阀，它用于调节药缸内的空气压力。当压力小于某个设定值时，系统会自动通过气阀往药缸内充气，使得内部压力升高；反之，则使得药缸内的压力减小。由此可见，通过气阀的控制调节作用，我们同样可以使得药液的压力保持恒定。当药液的温度和压力都达到设定值以后，系统会自动打开滴嘴阀门，药液便开始进行正式滴制。从滴嘴掉落的药滴将会陆续掉入下面冷凝柱内的冷凝液中，由于药液和冷凝液的密度差很大，药滴会在表面张力的作用下迅速收缩成一个个圆滴。同时，冷凝液中的药滴也会在重力的作用下而缓慢下降。由于冷凝柱中冷凝液的温度是成梯度下降的，所以药滴在缓慢下降的过程中，随着下面温度的降低会逐渐冷凝成固体颗粒。冷凝柱中冷凝液温度的梯度变化是滴丸圆整度的根本保证。

二、 滴丸机控制系统设计

全自动滴丸机的控制系统如图 2 所示。它由测量感知单元、系统决策单元和外部执行单

（6）3 个部分组成，其中系统决策单元是整个控制系统的核心部分。

1. 系统决策单元

西门子 S7-200 系列是一种可编程序逻辑控制器。它能够控制各种设备以满足自动化控制需求。其紧凑的结构、灵活的配置、强大的指令集和丰富的网络通信功能使 S7-200 成为各种控制应用的理想解决方案，因此在实际生产控制过程中我们选用 S7-200 系列 PLC 作为主控制器。同时采用有交互操作功能的图形化人机界面——触摸屏与之相连，它们共同组成了一个具有实时操作效能的现场自动监控系统。触摸屏的主要作用是：设置药丸滴制参数；实时显示系统运行状态和传感器采样数值；控制系统的启动／停止等操作。为了便于操作和调试，全

自动滴丸机设有手动和自动两种操作方式。由于 S7-200 系列 PLC 主机不具备直接连接温度传感器和其它模拟量传感器的功能，所以在实际控制系统中 PLC 主机配置了一个温度扩展模块和一个模拟量输入扩展模块，分别用于接入 5 个温度传感器和 2 个模拟量传感器（压力传感器和液位传感器）。

系统决策单元的主要任务有：1.接收测量感知单元中各种传感器的测量信号，并根据用户设置的参数进行分析处理。2.利用西门子 PLC 内部强大的数据处理能力特别是 PID 运算功能实现药液滴制时的恒温恒压控制，从而保证药丸滴制的稳定和可靠。

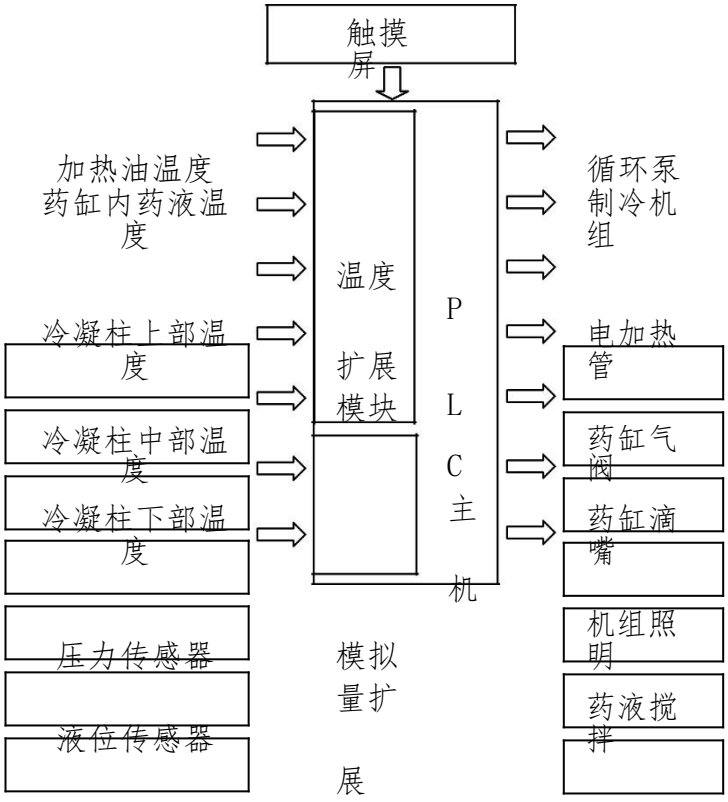


图 2 滴丸机控制系统原理图

2. 测量感知单元

测量感知单元包括 5 个温度传感器、1 个压力传感器和 1 个液位传感器。温度传感器用于实时采集检测油温、药温和冷凝柱中的温度，系统决策单元将根据这些数值而决定是否驱动加热、制冷等操作，从而实现药液的恒温控制。压力传感器用于实时采集药缸中的压力变化，同样，系统决策单元将根据这些数值决定气阀的关闭与开启，从而实现药液的恒压控制。液位传感器则用于实时监测药缸中药液的高度，从而保证药丸生产的可靠、连续进行。

3．外部执行单元

该全自动滴丸机的外部执行单元包括循环泵、制冷压缩机、加热器、气阀、滴嘴阀门、照明和搅拌等部件。其中循环泵用于及时排出滴制完成的药丸，而制冷压缩机则用于保证冷凝柱中温度梯度的形成。这些外部的执行单元都接受西门子 PLC 主控制单元的指令而执行对应的操作，从而保证整台机器稳定可靠的工作。

三、 PLC 软件编程

全自动滴丸机的控制程序利用西门子公司的 STEP7-MicroWIN 软件进行编制。其主要功能包括：

1.由于每种药丸的成分不同，所以它们滴制时要求的温度、压力等参数也千差万别。程序具有保存 10 组用户参数的功能，以方便各药厂生产不同药丸的需要。

2.程序具有实时显示并记录温度、压力等参数历史变化曲线的功能。

3.程序根据用户设置的参数，采集并处理测量感知单元中各传感器的数据，随后自动完成外部执行单元相应的控制操作。

4.为了操作的方便，程序应能实现自动与手动两种操作。

四、 结论

采用西门子 PLC 进行控制的该全自动滴丸机经实践检验，各项指标都达到了设计要求。

不但工作可靠，操作方便，同时符合 GMP 生产认证标准。目前该设备已为企业创造了几百万的经济效益。该全自动滴丸机是天津市重点工程项目——《网络化自动控制系统及其关键单元技术的研究》中的一个重要组成部分。该项目目前获得了天津市科学技术进步二等奖。

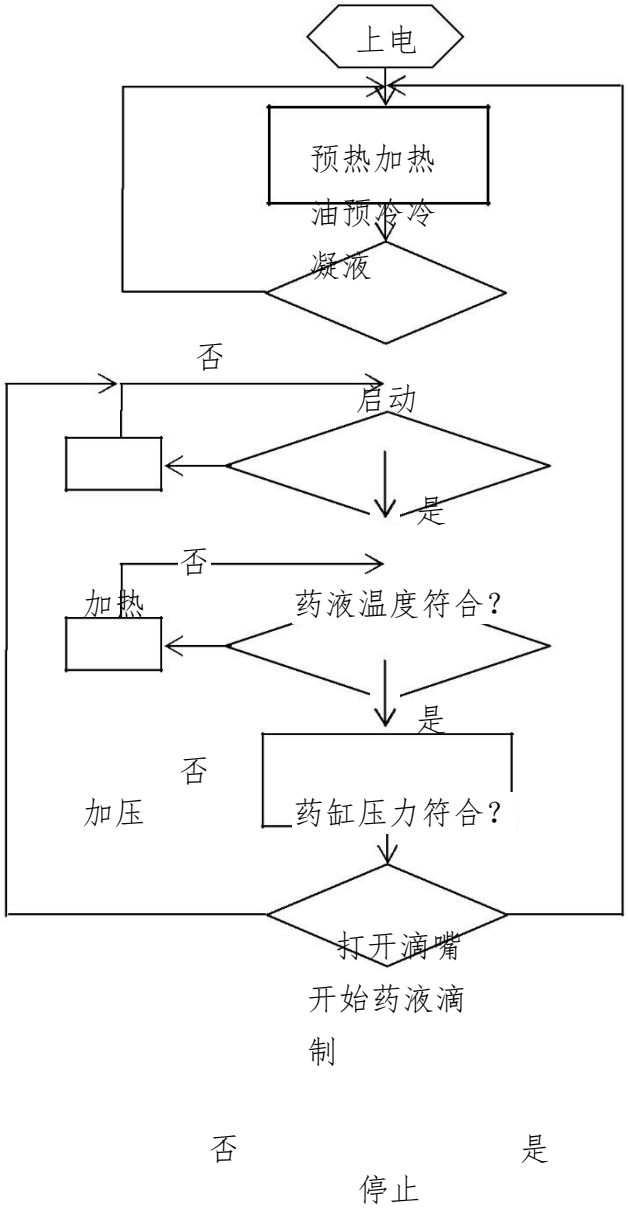


图 3 滴丸机控制程序流程图

本文创新点：在我国传统的中药生产中我们引入了 PLC 这种先进的控制系统，这种系统的应用不仅使得中药生产效率得到了大幅提高，还使得中药生产在稳定性和连续性方面得到了可靠保证。事实证明：1.采用西门子 PLC 控制的该全自动滴丸机可以实现中药生产的恒温恒压控制。2.利用该全自动滴丸机生产的中药产品——滴丸圆整度好、滴丸的直径和重量差异小，远远低于国家药典规定。

案例 31

西门子 S7-200PLC 在 315T 液压机上的应用

摘 要

针对 EQ153 车门包边液压机设备老化、控制陈旧、故障率高、维修困难等问题，提出了采用目前最新型的适用于中小系统的可编程控制技术对控制系统进行改造的方案，取代原老式陈旧的继电器控制方式。并着重论述了西门子 S7-200 PLC 的选型、硬件组态过程及软件设计方法，突出了应用 S7-200 新型可编程控制器解决各种生产实际问提的思路和方法。通过对 S7-200PLC 的成功运用，改造取得了良好的使用效果和经济效益，具有普遍的推广价值。

关键词：液压机 ，PLC 改造，精度控制，应用

系统概述

1、控制对象描述

左右两台车门包边液压机是车身厂进行 EQ153 平头车车门包边压合的重要生产设备，其稳定可靠的运行直接关系到车门的压合精度和质量。该液压机采用液压传动，公称压力可达 315 吨，主要由主机、移动工作台、动力机构、机架平台和电气控制箱等组成。液压系统的动作借助电气系统对直流电磁阀的控制完成各个动作循环，采用操作台集中控制，可实现调整、手动和自动三种操作方式。

2、问题的提出

该液压机控制系统采用传统的继电器控制方式。众所周知，继电器控制方式存在很多缺点和弊病，结构庞大，接线复杂，故障率高，工作既不稳定也不可靠。并且由于年久失修，该设备老化严重，控制失灵，车门压合精度难以保证，存在诸多严重问题和弊端，主要表现在以下方面：

采用老式的继电器控制方式，十分陈旧，故障非常频繁；

由于中间继电器数量多达 40 个，由于存在吸合和磨损，极易损坏，增加了故障查询和维修难度，经常导致长时间停工台时，影响 EQ153 平头车门的正常生产；

线路杂乱，布线不规范不合理，线号标识不清，维修十分困难；

电气元件老化易损，缺乏保护装置，滑快下滑十分严重，存在极大的故障隐患和安全隐患。

为从根本上解决以上问提，提高液压机的稳定可靠性、可维修性和压合精度，提出了采用技术先进的新型控制装置的方案，于 2009 年 8 月对两台液压机控制系统进行重新设计和改造。

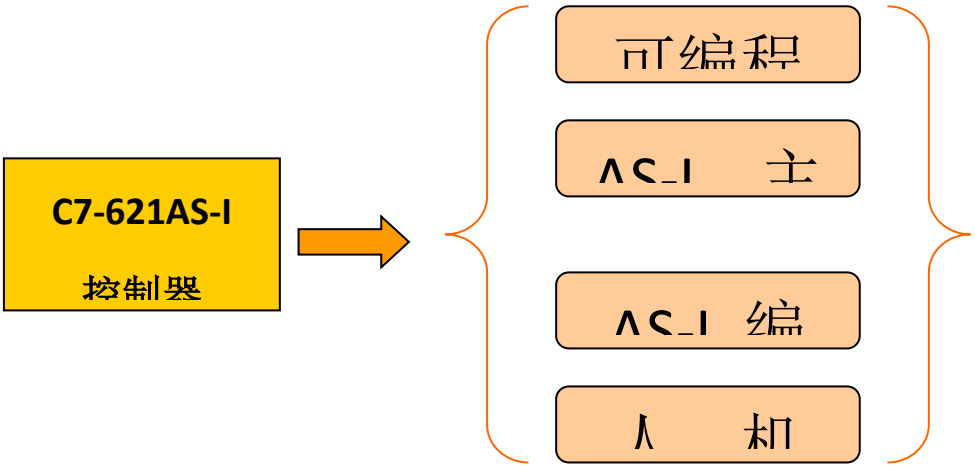
二、控制方案的选择和确立

完成对原系统继电器控制方式的改造，首先必须引入一种先进的控制器件，取代传统的继电器控制方式。而选择何种类型和规格的控制器是这次改造的关键环节，中心控制器是整个控制系统的核心和灵魂，直接实现液压机的逻辑控制和功能控制。

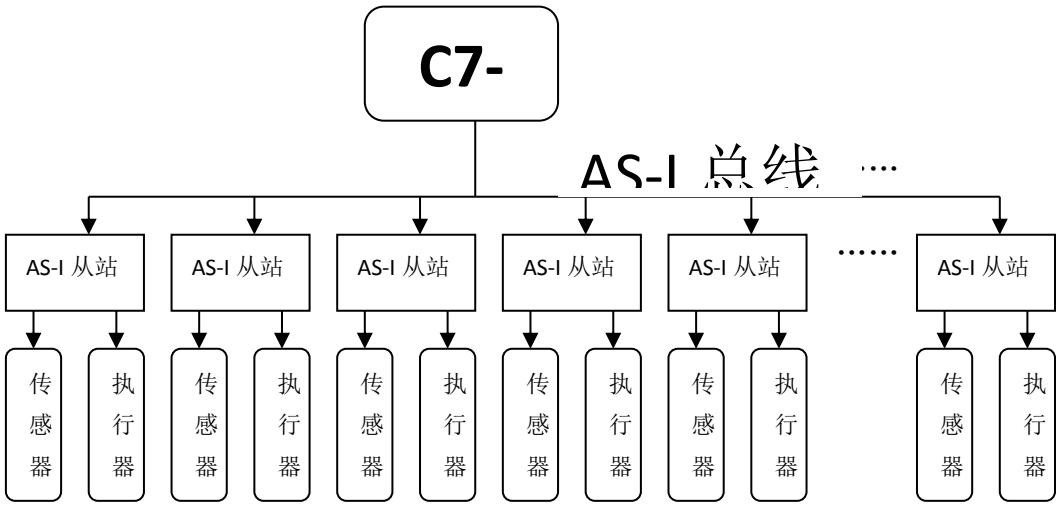
在确定总体控制方案时，初步确定了以下两种可行性方案：

方案一：以 C7-621AS-I 多功能、智能化控制装置为核心，基于 AS-I 现场总线技术的集中控制方式

AS-I 是传感器_执行器接口的缩写，是一种开放的国际标准化的通讯协议，是一种基于现场传感器-执行器接口的最新控制技术，采用主-从原理进行工作，以分布式智能 I/O 模块采集现场输入输出信号，通过一根普通的无屏蔽的双芯电缆进行数据传输，在 AS-I 中心控制器进行各种控制处理和运算。而 C7-621AS-I 控制器则是一个集 AS-I 主站模块、AS-I 编址单元、操作面板、逻辑控制器四大功能于一体的控制平台，可以实现 AS-I 总线处理、总线模块编址、可编程逻辑控制、故障诊断等多种功能。这种方案就是以 C7-621AS-I 为控制核心的分散式控制方式，将各智能 I/O 模块分散到现场不同位置和角落，以一根双芯电缆连接到 C7-621 上。这种总线技术可以采用总线型、树型、线型、环型等任一种拓扑结构，连接多达 62 个从站模块。



AS-I 总线控制系统配置图：



优点：两台液压机采用这种集中控制，结构简单，控制清晰明了，只需一台C7-621AS-I 控制器和数个 AS-I 从站模块就可构成一个 AS-I 总线控制网路，可省掉 PLC、编址单元和人机界面，可以充分发挥 AS-I 现场总线分布式 I/O 的优势，节省大量的电线电缆及接线工作量，安装极其简单，维护和故障诊断也十分方便。技术更为先进，设计起来有一定难度，对设计者来说更具挑战性。

缺点：造价较高，使改造成本增加。而且集中控制存在一定弊端，一旦核心控制装置损坏，两台压机均不能使用。

方案二：采用西门子 S7-200PLC 为主控制器的控制方式

这种方案就是以可编程控制技术为核心，构建两台压机各自独立、互不干扰的控制系统，并实现 PLC 与计算机的联机通讯。

缺点：较之方案一，需要大量接线，安装工作量较大。

优点：造价低廉、经济实用、结构紧凑，改造费用只有方案一的一半左右。

基于以上设计思想，以解决该液压机存在的问题，提高系统自动化程度和先进性为宗旨，本着经济、简单、实用、规范化和易于操作维修的原则，对控制系统重新进行了全面而彻底的设计和改造。经过详细分析和论证，通过对以上两种控制论方案进行比较和选择，从性价比、可靠性等多方面综合考虑，最终否定了方案一，选定了方案二：即采用最新计算机逻辑控制技术，以西门子新型中小可编程控制器 S7-200 CPU224 为核心，重建全新的自控系统，实现液压机各个动作的手动、自动和调整控制。

该系统还充分运用了 S7-200 开放的组网通讯能力，通过 PC/PPI 电缆将计算机和 S7-200 CPU 相连，实现联机通讯，进行数据传送，利用计算机对 S7-200 进行编程、修改和调试等操作，还可实时监视程序运行状态。另外，配备了一台文本显示器 TD200，可实现系统文本信息的查询、故障自动显示、过程变量的修改以及输入输出点状态强制等各种功能。

三、系统硬件组态

控制方案初步确立后，根据系统控制要求，遵循以上设计思路，进行系统各硬件的选型和组态。设计时除考虑硬件技术先进水平外，还要着重考虑性价比、可靠性和维护维修性。

1、PLC 选型及配置

通过对多种 PLC 机型进行比较和分析，在保证满足控制要求的条件下，从性价比、稳定可靠性、技术先进性和维修操作性等各方面综合比较。考虑到这两台液压机 I/O 点数不是很多，另外，更主要的是从控制系统本身的控制要求和功能上考虑，选定西门子新型微小型可编程控制器 S7－200 作为核心控制装置。S7－200 性价比极高，虽然机型小巧，个头并不起眼，但其功能仍然十分强大，性能和配置可达到大中型机的规模和水平，可以满足各种不同控制场合和不同控制功能的需要，而价位仅相当于微型机的价格。而且外观小巧美观，结构紧凑，操作便捷，配置灵活，可靠性高，具有如下优点:

（1） 指令系统丰富而完善，具备基本逻辑运算和各种特殊功能指令

(2) 运算能力强大而快速，每条指令运算只有 0.37us

(3) 存储容量更大，程序大小可达 13K 字节

(4) 通讯和组网能力方便而强大，同时支持 PPI、MPI、通讯协议

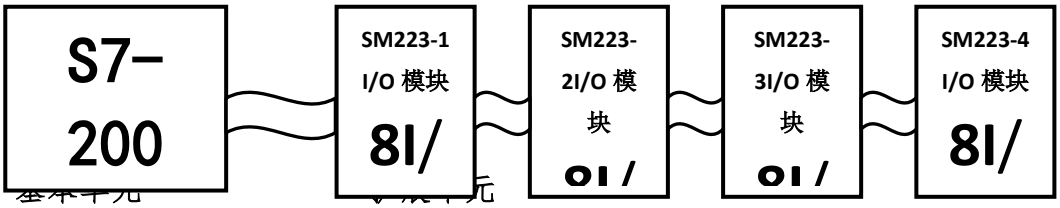
(5) 编程环境简单而便捷

(6) 友好的调试和故障诊断功能

（7）严格的口令保护和丰富的扩展模块

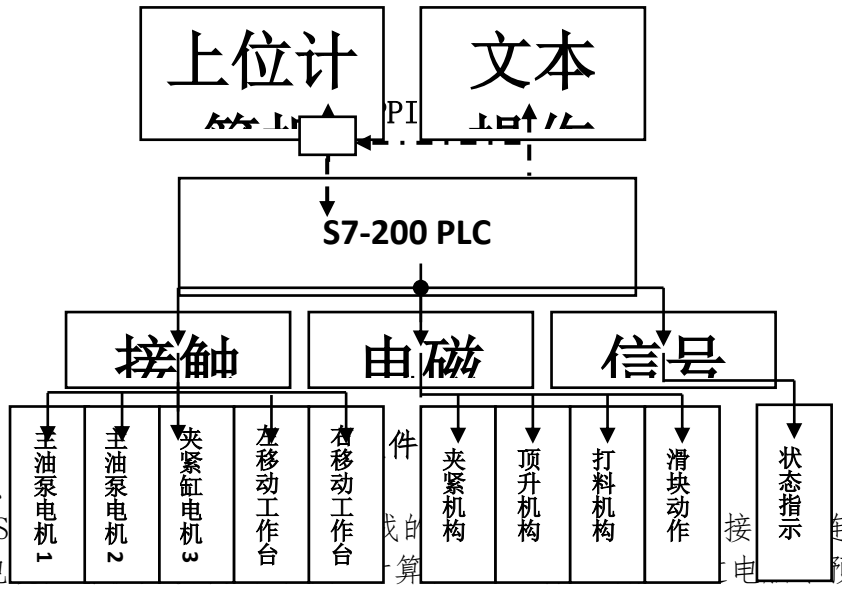
尤其是方便的组网功能，出众的通讯能力以及便捷的编程环境更是其它机型的 PLC 所无法比拟的，组态十分方便灵活，十分适合应用于中小型的系统控制领域。

S7-200PLC 模块配置见下图：



2、系统构成

经过以上硬件选型和配置，结合系统各输入输出元件和液压机执行机构，将各部件有机而协调地组合起来，即可构成系统硬件结构。该方案投入成本极低，十分经济耐用，操作维护方便，可靠性高，整个系统结构简洁紧凑，高效实用。



3、

S 接 连接 PC/PPI 通讯电 算 电 预装的 STEP7MICRO/WIN32 编程软件包，可方便地对 S7—200 进行编程、修改、调试、在线监控和故障诊断，实现数据传送和交换，操作简单明了。另外，TD200 文本操作器可实时监测系统参数、显示设备运行状况和生产信息、进行输入输出强制，是生产维修人员进行设备操作或控制的有效工具，便于维修人员迅速查找和排除故障，提高了维修效率。

S7—200 工作时，通过各输入模块接受来自各按钮、开关等元件传送来的输入信号，根据存储器中已编制好的控制程序，进行逻辑运算和控制，并将运算结果传送到输出模块，通过电源来驱动接触器、电磁阀等执行元件动作，达到所要求的逻辑控制和顺序控制功能。本改造中，对两个主油泵电机、一个夹

紧缸电机和两个移动工作台电机，通过输出口直接驱动各自的接触器，取消了中间继电器的过渡和转换，简化了线路，减少了故障发生的可能环节。对夹紧机构、顶升机构、打料机构和滑块，亦可直接驱动各自的电磁阀动作。而滑块和工作台之间、滑块和锁紧缸之间、滑块和打料机构之间、工作台和锁紧缸之间的动作顺序、联锁逻辑关系则通过执行程序实现。

四、网络通讯设置简介

1、通讯连接

S7-200CPU 模块上集成有 PPI 接口。通过此接口，连接 PC/PPI 电缆至计算机的 RS232C 串口上，即可建立与计算机的通讯连接。

2、PPI 通讯设置

用 PC/PPI 电缆将计算机与 S7-200CPU 连接起来之后，如何建立与 CPU 的在线联接呢？需要进行如下通讯参数设置：

(1) 将 CPU 的站地址设为 2，计算机本地站地址设为 0，二者不能有冲突，否则无法联机；

(2) 将计算机的通讯端口设为串口 COM1；

(3) 将计算机的 COM1 端口波特率设为 9.6KBPS,与 PC/PPI 电缆上设置的波特率要相同。

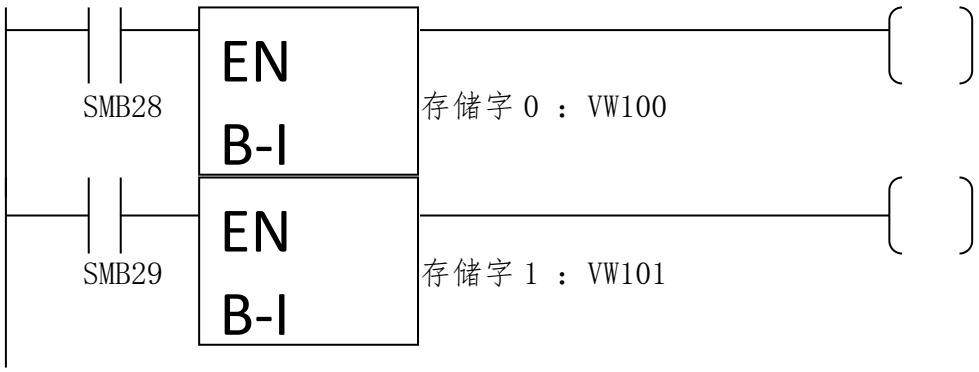
以上设置完成后，即可建立计算机与 S7-200CPU 之间的在线连接了。

五、模拟电位器的运用

1、模拟电位器的运用

S7-200PLC 虽然机身小，但其功能仍很强大，具备很多特殊而实用的功能，可以满足各种不同控制需要。S7-200CPU224 机身上带有 2 个十分小巧的模拟电位器，这 2 个电位器虽小，但如果运用得当，其功能很强，作用很大，使用起来也十分方便。

模拟电位器 0 和电位器 1 分别对应两个特殊的存储器字节 SMB28 和 SMB29，而模拟电位器 0 和电位器 1 的位置在 PLC 内部可转换为 0—255 之间的数字量，而这些数字量可分别存入 SMB28 和 SMB29，这些只读值在程序中可作很多功能，如更新定时器或计数器的当前值，作为定时器或计数器的设定值，输入或修改预设值，或设置限值。



在以上程序中，B_I 指令将 IN 输入的 BCD 码数据转换成 INT 整数输出，即将结果送入 OUT 内。本项目程序中，B_I 指令将模拟电位器 0 和电位器 1 分别所对应的特殊的存储器字节 SMB28 和 SMB29 中的 BCD 码数据（即 0—255 之间的数字量）转换成整数，并将结果分别存入在存储字 0 ：VW100 和存储字 1：VW101 中，可供程序中其它功能使用。

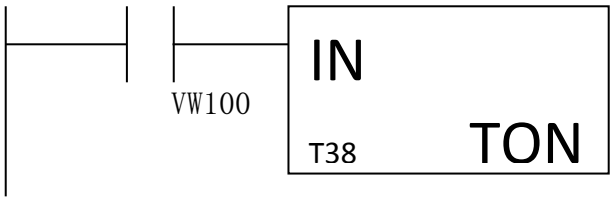
在程序设计中，充分将 CPU 本机上的两个模拟电位器与程序中的定时器相结合，巧妙运用到油泵电机星一角延时启动控制和车门压合保压延时控制中。

2.电位器控制设计之一(即星一角启动延时设计)

液压机主油泵电机功率为 30KW，必须采用星一三角降压起动，才能减小瞬间起动电流，保证电机启动的平稳和可靠。而星一三角转换需要一定的延时，这个延时的长短可以在程序中设为固定值，不能调整。如果将这一延时值设为可调的，将方便操作者进行星一三角转换延时的调整。如觉得延时过长，可以调短，觉得延时过短，可以调长。

利用模拟电位器 0，可以进行星一三角转换延时的调整。

星一三角延时定时器 T38



在星一三角延时转换控制中，先将电位器 0 所对应的特殊存储器字节 SMB28 中的 BCD 码数据转换成整数存入存储字 0：VW100 中，再在星一三角延时定时器 T38 中，从存储字 0：VW100 中读出已存入的整数数据，作为 T38 的设定值，这样 T38 中的延时时间就是电位器 0 中预先所设定的数值。通过计算，可以算出 T38 定时器的延时范围，计算如下：

模拟电位器数值范围：0一255，

T38 的精度级别为：100ms，

则 T38 延时范围为：0一25500ms，即 0一25.5s。这一延时范围完全可以满足

Y一Δ延时转换的要求。

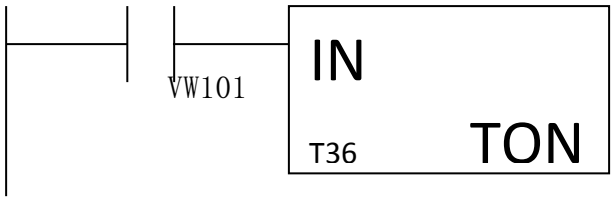
3、电位器控制设计之二（即车门压合保压延时控制）

与传统的机械压力机控制不同，压力机是通过调整上下滑块之间的封闭高度来保证车门压合的厚度和精度的。而在 315T 液压控制系统中，车门压合的厚度无法通过封闭高度来调整，而是通过保压延时来调整的，即上滑块下压到底后，需要继续保压延时几秒钟，这几秒钟的长短即决定了车门压合的厚度和精度。一般而言，保压延时越短，车门压合越不充分，包边越厚。相反，保压延时越长，车门压合越充分，包边越薄。车门压合精度就是要将车门压合的厚度控制在一定的微小范围之内，压合不能过厚，也不能过薄，厚度应保证在 2.8-3.2mm 之间，超出这一范围，则压合质量就下降。而通过调整保压延时的长短，即可调整车门压合的厚度，即可保证车门压合的精度和质量。

同理，在车门压合保压延时控制中，先将电位器 1 所对应的特殊存储器字节 SMB29 中的 BCD 码数据转换成整数存入存储字 1：VW101 中，再在车门压合保压延时定时器 T36 中，从存储字 1：VW101 中读出已存入的整数数据，作为 T36 的设定值，这样 T36 中的延时时间就是电位器 1 中预先所设定的数值。同样，可以算出 T36 定时器的延时范围，T36 的精度级别为：10ms，则 T36 延时范围

为：0—2550ms，即 0—2.55s。这一延时范围完全适合车门压合保压延时的需要。

车门压合保压延时定时器 T36



车门压合精度控制流程如下：

模拟电位器 1 → 特殊存储器 SMB29 → B-I 转换指令

T36 → 存储字 1：VW101 → 车门保压延时定时器

读出其

车门保压延时控制 → 车门压合厚度控制

车门压合精度和质量保障

通过以上设计，对车门压合厚度的调节十分方便，操作简单易行，效果明显。通过对 S7-200CPU 参数的调节，可以达到控制产品精度、保障产品质量的目的，这是开发应用 S7-200PLC 最成功的地方，也是本次改造设计中最大的创新点。

六、系统软件设计

1、控制线路设计

系统控制线路的设计本着简洁、实用、合理、安全的原则，在实现控制要求的条件下，着对新系统控制线路进行了新的设计和改进，取消了一些多余的线路，简化了繁琐的线路，新设了完善的保护线路，着重加强了对各台电机的保护，分别设置了空气开关、熔断器和保护器进行过载保护、短路保护等；PLC 输出口还设有小保险端子进行短路保护，以防将 PLC 口烧坏。

2、控制程序的设计

(1) 设计方法

PLC 控制程序的设计，采用经验设计法和逻辑设计法相结合，以经验设计为主，逻辑法为辅，控制原则则采用行程控制和时间控制。根据液压机各机构的动作要求和工作循环，可将生产机械的运动分立为各自独立的简单运动，分别设计这些独立运动的基本控制程序，然后再根据各运动之间应有的制约关系来设置联锁措施和联锁程序，确保各机构之间协调可靠地运动。

液压机的动作可分立为电机启停、滑快动作、工作台动作、打料机构动作、夹紧缸动作等几大部分。编程时，根据每一动作所应具备的各种条件，分别编制各部分分立的程序，再将各部程序有机结合起来。各动作之间的转换、

联锁条件大多为行程开关控制，而关系到车门压合质量的滑块保压动作则采用严格而精确的时间控制，并且此时间设置为可调，以随时根据工艺要求调整压合时间参数。

（2）设计流程

根据液压机动作顺序和工作循环，首先制定出如下设计流程，以指导控制程序的编制。程序设计首先应最大限度地满足生产机械的工艺要求，并着重考虑各机构的联锁控制、系统保护和故障检测。根据液压机的动作循环，按照既定设计方法，遵循以上程序设计流程，然后结合系统硬件构成和控制线路的要求，利用个人计算机 PC，通过 STEP7Micro/Win32 V3.1 编程软件，以梯形图（LAD）为编程语言，可以十分方便地编制控制程序，并且可以很方便地进行实时在线监控。

系统特点和改造效果

(1) 系统特点

与液压机改造前的继电器控制系统相比，改造后的 S7-200 可编程控制器系统具有以下特点和优点：

1、 维护维修非常方便简单：

（1）部分故障或异常情况可自动检测并显示，或通过 I/O 模块上的发光二极管判断，便于故障查找，提高维修效率；

（2）程序中定时器参数的调节无需通过编程设备，只需调节 CPU 模块上的两个模拟电位器即可，可相当方便地进行压合工艺参数的调整；

（3）PLC 的 CPU 中内置有 EEPROM 存储器，控制程序的存储无需通过电池来维护，即可永久保存，掉电也不会丢失。还可利用存储卡作为中介进行程序的备份、修改和调整，极大方便了对程序的修改、维护和保存；

（4）时间响应快，控制精度高，时间精度可达 0.001S;液压机压合精度可达 0.01mm;

（5）扩展性好，PLC 输入输出点具备足够的裕量,便于以后系统升级扩展；

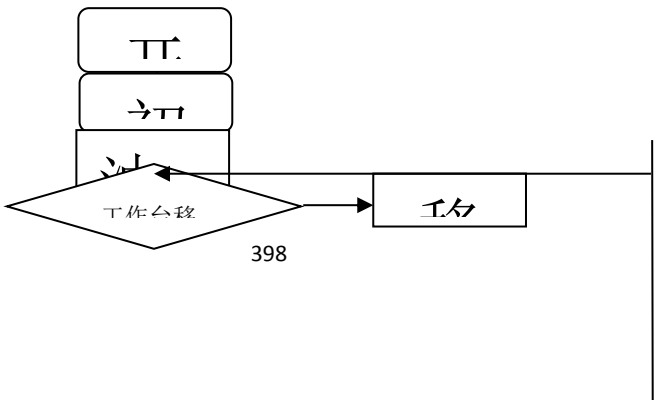
（6）操作方便。操作面板上设置了各种转换按钮、状态显示和信号指示，便于生产工操控；

（7）编程灵活。控制如需改动，只需从软件上改动程序，无需改动任何外部线路；

（8）程序具有口令保护功能，不会被随意改动或误删，数据安全性得到有效保护；

（ 9）具备完善的保护措施，可有效保护控制线路和电器元件的安全，延长其使用寿命，并且增加了光电保护装置，将保护信号传入 PLC，防止滑块下滑或压合时压伤人手的危险，极大保护了人身安全；

(10) 具备强大的联网通讯功能，PLC 可十分方便地和计算机进行通讯，并可组成网络，进行数据传送和交换，实现编程、调试和监控等操作。



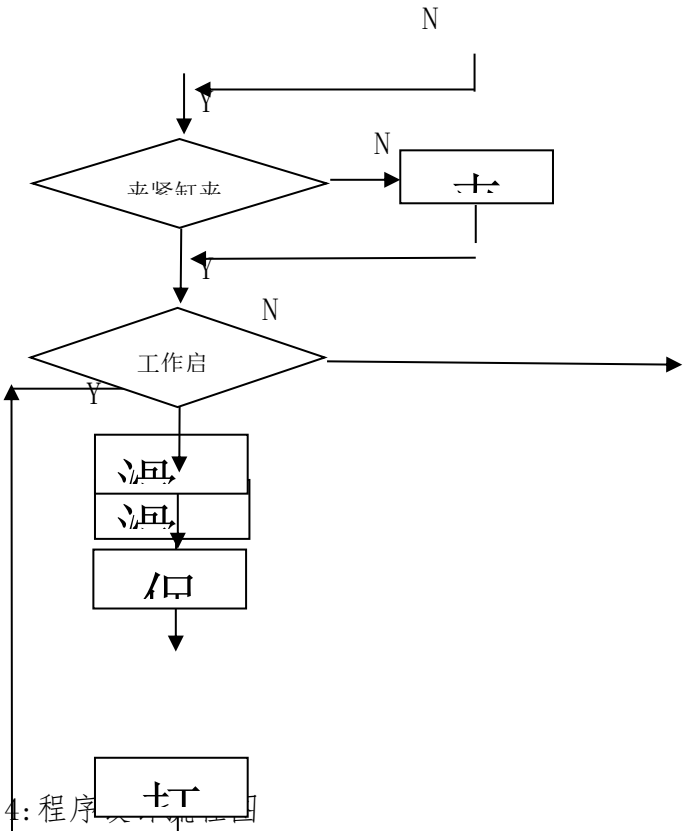


图 4:程序

(2) 改造效果

液压机经改造后，面，各方面性能得到了明显改善和提高，有效地解决了原系统所存在的各种问题，主要表现在以下几个方面：

(1) 通过电控系统的改造，保证了油路和液压系统运行稳定可靠，车门压合精度得以大幅度提高；

(2) 漏油和下滑现象基本消除，并在程序中加设了“滑块防止下滑” 回路，具备“滑块下滑自动回程”功能，可有效防止滑块下滑。光电保护装置的设置，保护了人身安全，提高机械可靠性和安全性；

(3) 控制系统线路布局简洁紧凑、规范合理、整齐美观，原系统陈旧、杂乱、繁琐的局面得到彻底改观；

(4) 可靠性提高，故障率大大降低。同时极大降低了设备停工怠时和维修成本，年均可节约维修费和所创造的经济效益十分可观。

八、结束语

通过以上的分析，改造后的控制系统和原系统相比，具有明显的优势。液压机改造后应用多年，运行一直稳定可靠，故障率极低，达到了预期的目的和效果。该项目所创造的经济效益是十分显著的，直接表现在停工台时的大幅度降低和维修费的急剧下降，所节省的成本和创造的无形效益，长期积累下来是十分可观的。所以，该项目在生产中具有十分重要的应用推广价值。

案例 32

西门子Ｓ７－２００ＰＬＣ在除尘设备改造中的应用

工厂的制药车间对除尘有着非常严格的要求。人流、流进入这些场合前首先需要接受除尘机械设备进行除尘处理，很大一部分除尘设备仍使用继电器硬接线电气控制系统。继电器硬接线控制虽然成本低，但继电器在动作时带有冲击，响声大，不稳定，使得这种控制系统寿命一般较短，维护投入大。为了保证除尘操作的严格进行，避免人为因素对除尘要求的影响，要求电气控制系统具有更高的可靠性以及使用时的平稳可靠性，一般继电器硬接线控制系统难以达到这样的要求。为此，我们设计了一套以ＰＬＣ为控制器的除尘自动控制系统，对原电路进行改进，降低了设备故障率，提高了设备使用率，运行效果非常好。1 无尘车间控制系统

１．１控制系统的原理

无污染、无尘车间进门时要求对人或物进行彻底除尘，在该过程中，人或物进入无污染、无尘车间前，首先需在无尘车间严格进行指定时间的除尘才能进入车间，否则门打不开，进入不了车间。

图一

无尘车间控制系统原理示意图

该车间控制系统的原理示意图如图一所开门传感器和关门示。图中的第一道门处设有两个传感器，传感器，无尘车间内有两台风机，用来对人或物除尘。第二道在除尘设备改造中的应用门上装有开门传感器和电磁锁，该锁在电磁铁控制下自动锁上或打开。另外，进入室内时需要除尘，出来时不需要除尘。

１．２无尘车间工艺要求

（１）无尘车间有两道门，两道门之间有两台风机，用来对人或物除尘。第二道门上有电磁锁，该锁在系统控制下自动锁上或打开。

（２）当人进入车间时必须先打开第一道门进入无尘车间，除尘后方可进入室内。当第一道门打开时，开门传感器动作，第一道门关上时关门传感器动作，第二道门打开时相应的开门传感器动作。

（３）第一道门关上后，风机开始吹风，电磁锁把第二道门锁上并延时２０ｓ后风机自动停止，电磁锁自动打开，这时方可打开第二道门进入室内。

（４）人若从室内出来时，第二道门的开门传感器先动作，关门传感器与进入的动作相第一道门的开门传感器才动作。同，但由于此时不需除尘，所以风机、电磁铁均不动作。2PLC 控制程序设计

２．１ＰＬＣ的选型及Ｉ／Ｏ分配

根据可编程序控制器实际连接的元器件，三个传感器作为输入，３个执行元件（２台风机和１个电磁锁）作为输出，由此选择经济实用的Ｓ７－２００ＣＰＵ２２２型ＰＬＣ，其传感器电源ＤＣ２４Ｖ可输出６００ｍＡ电流，输出继电器触点容量为２Ａ，电压为ＡＣ５－２５０Ｖ。ＣＰＵ２２２有８路输入和６路输出，共计１４路，完全能够满足该控制系统对ＰＬＣ外端口路数的要求。

其中，第一道门的打开传感器设为Ｉ０．０，第二道门的关门传感器设为Ｉ０．１，第二道门的打开传感器设为Ｉ０．２，两台风机分别设为Ｑ０．０对和Ｑ０．１，第二道门的电磁锁设为Ｑ０．２，无尘车间控制系统的输入输出Ｉ／Ｏ分配表见表一。

表一

Ｉ／Ｏ分配表

２．２梯形图程序

依据无尘车间的工艺要求编制出相应的控制程序，在程ＳＭ０．５Ｈ和置位、复位等指令，设计一个序中，用到了ＳＭ０．１、时间继电器Ｔ３７，以保证２０ｓ的延时进行彻底除尘，无尘车间控制系统梯形图程序设计如图二所示。

在上述程序设计过程中，由于Ｓ７－２００主机单元的ＣＰＵ共有两个系列：ＣＰＵ２１Ｘ及ＣＰＵ２２Ｘ，考虑生产未来发展的需要，设计时选用了性能高、价格合适的ＣＰＵ２２２型ＰＬＣ，该主机

单元可进行系统扩展。扩展时系统中可加装数字和模拟量扩展单元、通讯单元、网络设备及人机界面等模板，充分利用ＰＬＣ控制系统的优势，使所设计控制系统的功能更加强大，而系统的设计过程和操作却越来越简便。本系统选用了西门子Ｓ７－２００系列可编程序控制器的ＳＴＥＰ７－Ｍｉｃｒｏ／ＷＩＮ３２１８６件，可在个人计算机上进行可视化编程及程序调试。

图二

无尘车间控制系统梯形图

２．３调试及运行效果

首先对单台设备通电和调节，进行模拟试验。观察每台设备的工作状态，动作符合要求、运转正常后，按启动按钮，使整个除尘控制系统按设计好的程序进行工作，调试顺利、完成预定要求。3 结束语

编程方便、噪改进后的ＰＬＣ可编程控制系统，结构简单、声小、维护量小、系统稳定，大大改善了除尘设备自动控制系统的可靠性和工作效率，提高了设备的自动化水平。使用过程中，除尘设备运行效果良好，达到了无尘车间对电气控制系统的要求。

案例 33

西门子 S7-200 系列 PLC 在配料生产线上的应用

摘要：本文对西门子 S7-200 系列可编程序控制器应用于配料生产线电气控制系统的设计思想作了介绍，对系统的硬件组成和软件设计作了较为详细的阐述，现场应用情况表明，该 PLC 控制系统工作可靠，操作方便。

关键词：西门子 S7-200PLC；配料生产线；起保停电路。

1．前言：随着微处理器、计算机和数字通信技术的飞速发展，计算机控制已经扩展到了几乎所有的工业领域。例如可编程序控制器、基于 PC 总线的工业控制计算机、集散控制系统（DCS）和现场总线控制系统（FCS）等。现代社会要求制造业对市场需求作出迅速反应，生产出小批量、多品种，多规格、低成本和高质量的产品，为了满足这一要求，生产设备和自动生产线的控制系统必须具有极高的可靠性和灵活性，可编程序控制器（Programmable Logic Controller,PLC）正是顺应这一要求出现的，它是以微处理器为基础的通用工业控制装置，是工业自动化三大支柱之一。国际电工委员会（IEC）对 PLC 作了如下定义：“可编程序控制器是一种数字运算操作的电子系统，专为在工业环境下应用而设计。它采用可编程序的存贮器，用来在其内部存贮执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令，并通过数字式、模拟式的输入和输出，控制各种类型的机械和生产过程。可编程序控制器及其有关设备，都应按易于使工业控制系统形成一个整体，易于扩充其功能的原则设

计。”从这一定义可以看出，PLC 是一种用程序来改变控制功能的工业控制计算机，由于它具有功能强，可靠性高，环境适应能力和抗干扰能力强，以及接线简单，编程灵活、方便等特点而得到了广泛应用。本文以西门子 S7-200 系列 PLC 实现对配料生产线自动控制的程序设计过程进行了详细的阐述。

２．配料生产线的电气控制要求

该配料生产线广泛应用于建筑、化工等生产领域，主要由料仓、仓壁振动器、喂料振动器、称料仓、排料振动器、传送带、中间仓、混合仓、搅拌机组成；各振动器、传送带、搅拌机均由电机拖动；中间仓门和混合仓卸料门则由电磁阀控制；当某台电机过载时电铃报警并禁止所有输出，故障排除后才能继续工作。其工作过程如下：⑴按下启动按钮后两个仓壁振动器和两个喂料振动器同时启动，料仓一和料仓二同时开始下料，将配料喂入称料仓。⑵当称料传感器 SQ1 和 SQ2 接通时，对应的仓壁振动器和喂料振动器停止工作，停止喂料。⑶启动 1 号送料传送带。⑷延时 10 秒后启动两个排料振动器进行排料，将称料仓中的配料通过 1 号传送带送入中间仓。⑸延时 300 秒后启动搅拌机，１号送料传送带停止工作。⑹延时 3 秒后，打开中间仓门，将中间仓中的配料放入混合仓通过搅拌机混合均匀。⑺延时 300 秒后，开启混合仓卸料门，启动 2 号传送带将混合均匀的配料送走。⑻延时 300 秒后全部停止工作，一个周期结束后回到初始状态或继续下一个周期。该配料生产线要求有自动、单周期和手动三种工作方式；在自动工作方式下，按下启动按钮后能连续不断地循环工作，直到按下停止按钮，当前工作周期结束后才停止工作；在单周期工作方式下，按下启动按钮后工作一个周期自动停止工作；在手动工作方式下，可手动调整 1 号传送带、2 号传送带和搅拌机。根据该配料生产线的电气控制要求，该系统有 9 台电机、２个电磁阀和 1 个过载报警电铃需要控制；在手动工作方式下，手动调整 1 号传送带、2 号传送带和搅拌机，需要 3 个点动按钮；在自动工作方式下的启动和停止按钮；称料传感器 SQ1 和 SQ2 有两对 4 个输入点，工作方式转换开关有 3 个输入点，９台电机的热继电器串联共用一个输入点，因此该配料生产线的电气控制系统采用 PLC 控制需要有 13 个输入点，12 个输出点，在设计过程中我们选用西门子 S7-200 系列 PLC，基本单元选用 CPU224 模块 DC14 输入/继电器 10 输出，扩展单元选用 EM223DC8 输入/继电器 8 输出能满足控制要求。具体的 I/O 地址分配见表 1。

４．系统软件设计

在系统软件设计过程中，首先根据系统控制要求和工艺流程设计出系统顺序功能图，然后根据顺序功能图设计出梯形图。4.1．顺序功能图的设计顺序功能图设计最基本的思想就是将系统的一个工作周期划分为若干个顺序相连的步(Step),并用编程元件来代表各步；步是根据输出量的状态变化来划分的,在任何一步之内,各输出量的 ON/OFF 状态不变,但相邻两步输出量总的状态是不同的,这样使得代表各步的编程元件的状态与各输出量的状态之间有着直接的

逻辑关系。在顺序功能图的各步之间只有一步是活动步，步与步之间的转换是通过转换条件来实现的，只有在前级步为活动步，并且满足转换条件的情况下才能由前级步转到后续步，前级步变为不活动步而后续步变为活动步。在配料生产线顺序功能图的设计中，我们根据控制要求将一个工作周期划分为 10 个步，并用位存贮存器 M 来代表各步，其中 M0.0 为初始步,M0.1~M1.1 代表各工作步,完整的顺序功能图如图(1)所示。

4.2．梯形图的设计

在根据顺序功能图设计梯形图时可以有多种设计方法，即使用起保停电路的设计方法，以转换为中心的设计方法，使用顺序控制继电器的设计方法和使用移位寄存器指令的设计方法。我们在程序设计过程中彩用了起保停电路的设计方法。

起保停电路仅使用与触点和线圈有关的基本指令，可以用于任意型号的PLC，这是一种通用的编程方法；在程序中用初始化脉冲SM0.1将初始步对应的编程元件M0.0置位，为转换的实现作好准备，按下启动按钮后，按顺序功能图设计的顺序实现自动转换，前级步编程元件的常开触点作为由前级步转到后续步的先决条件与转换条件串联，只有当前级步为活动步且转换条件满足时，才能由前级步转到后续步；而后续步编程元件的常闭触点则串联在前级步编程元件的线圈回路中，当前级步转到后续步后，后续步变为活动步而前级步则变为不活动步，利用后续步编程元件的常开触点实现自保功能，这样一步一步转换实现控制要求。为了实现各工作方式的转换，在自动工作方式下能连续不断的循环运行；而在单周期工作方式下，按下启动按钮后只工作一个周期就停止工作。在程序中使用了位寄存器M2.0，在自动方式时，按下启动按钮后M2.0得电并能自保，而在单周期方式时，按下启动按钮后M2.0得电但不能自保，在手动方式时按下启动按钮后M2.0不能得电。在由初始步M0.0转换到第一步M0.1时，不是将启动按钮I0.4串在M0.1的线圈回路中，而是将M2.0的常开触点串在M0.1的线圈回路中，这样就可以实现自动和单周期工作方式的转换控制。在手动方式下通过I1.5使代表各步的编程元件处于复位状态，按下点动按钮I0.1、I0.2、I0.3时对应的输出Q0.7、Q1.0、Q1.1得电，实现对搅拌机、1号传送带和2号传送带的点动控制。工作方式控制程序如图（2）所示，起保停主控程序及输出控制程序如图(3-1)，图(3-2)所示。

案例34

西门子S7-200系列PLC在枕式包装机的应用

前言：

- 近年来，我国食品包装技术得到了快速发展。在引进国外包装机械的基础上，国内机械制造厂商通过消化吸收，发展创新，使我国的包装机械制造水平有了很大的提高。

- 按包装机的机械结构来划分，食品包装机械可以分为立式包装机与枕式包装机。顾名思义，立式包装机是从上到下的包装过程，包装的食品类型一般为颗粒，粉末，液体，例如日常生活中的食盐、牛奶等；枕式包装机是平面包装的，包装的食品类型一般为块状的，例如方便面，冰糕，蛋糕等。请参见下图：

立式包装机 枕式包装机

本文主要基于枕式包装机进行说明。

系统原理图（经济型枕式包装机）

机械结构（枕式包装机）

主要由拨叉、膜辊、色标传感器、切刀以及横封和纵封构成：

1. 拨叉安装在传输带上主要起传输、分离包装物的作用
2. 膜辊起送膜的作用
3. 色标传感器检测薄膜上的色标信号
4. 切刀把包装后的包装物切割成包装袋，由于切刀上有加热装置，切刀兼有横封的作用
5. 另外该机械还包括纵封部分，把侧面的薄膜粘合起来

系统要求：

- 膜辊直径：66.88mm
- 切刀直径：120.00mm
- 切刀电机传动比：9：1
- 膜电机传动比：9：1
- 切刀旋转轴外接编码器 360 线
- 包装规格：袋长（50-500）mm
- 包装速度：150 袋/分钟
- 切割精度：小于等于 2.00mm
- 切刀电机功率：700W
- 进膜电机功率：700W

设计依据：

- 利用 PLC 高速脉冲输出通道发送的脉冲信号，实现对伺服驱动器的位置及速度控制
- 利用 PLC 的高速计数通道实现外接编码器的位置反馈
- 以切刀轴作为主轴，进膜轴作为从动轴进行控制
- 利用色标传感器进行位置检测，PLC 经过位置判断，做简单的位置闭环控制

- 推导设计

计算方法：

- 计算最大脉冲输出能否满足要求

Rev =4096 units/rev

C =D x π

=66.88 x 3.14159265

=210mm

Vmax =Lmax x PVmax

=500 x 70

=35000 mm/min

Pmax =Vmax / C x Z x Rev / 60

=35000 / 210 x 9 x 4096 /60

=102400

Precision ＝C / Z / Rev

=0,0057 mm/unit

推导结论： 精度 2mm 〉Precision x 10 满足条件

PLC 最大输出频率为 100KHZ，近似满足条件

软件设计依据（一）补偿方法：

- 由于计算过程比较麻烦，这里不作详细说明。总之不同包装速度决定了不同的脉冲输出频率，把每次色标检测到的实际位置与理论位置进行对比，按实际

位置与理论位置之差进行补偿，补偿按着位置差的千分之二进行。

- 实际的位置值是根据外接的编码器来实现的，在每次检测到色标的时候，记录实际值。每包装一包切刀旋转一周，编码器记录为 0—360 度，一个周期后自动清零。

软件设计依据（二）象限判断：

- 由于此包装机属于经济型配置，伺服没有位置闭环控制，没有寻参功能。有鉴于此，软件中添加了示教功能：即在进行彩膜包装时，如果更换新的包装规格，要进行示教，把第一个色标检测的位置值记录下来，作为后面包装过程中色标检测的判断依据（理论位置）。

- 在包装过程中每次色标检测的位置与理论位置的差值进行判断，如果差值大于 180 度，送膜电机进行追踪补偿，否则，送膜电机减速，进行延迟补偿。

- 由于示教时色标位置值（理论位置）是随机的，可以在 0—360 度的任意象限。因为要进行差值计算，涉及了正向追踪还是延迟补偿的问题，所以要根据具体情况采用不同的计算公式

- 这里采用第一象限为例做简单介绍：

如果 0<T
如果 0<ACT
则 Delta_A=Act-T
如果 180<ACT
变量名称 表示符号 单位
示教位置 T 度
实际位置 Act 度
差值 Delta_A 度

本包装机为枕式包装机经济型配置方案，不但可以进行定长包装，还可以进行色标包装，切割精度足够满足目前大多数食品加工厂家的要求，得到了广泛的使用。在激烈的市场竞争中，节约成本是很多制造商的选择。

另外，在高端的包装机方面，目前大多采用伺服控制器闭环控制。例如西门子 SIMOTION 系统：通过运动控制器，不但可以直接利用系统的电子齿轮，电子凸轮等工艺模块进行控制，而且还具有叠加轴，虚轴等功能，系统的动态性能更高，定位精度更准确。

案例 35

用 S7-300 与 S7-200 通过 EM277 DP 通讯实例

1、S7-300 硬件组态：

2、S7-300 对 EM277 分配电址：

3、S7-300 编程：将 QB0 传送到 QB10（QB10 是写到 S7-200 通讯区地址 VB100 数据）

4、S7-300 编程：I10.1 是从 S7-200 VB102 传送至 IB10 的数据。S7-300 Q0.1 是 S7-200 Q0.1 信号传输过来控制的，通过 EM277 DP 传送的结果。

5、S7-200 编程：将 QB0 传送到 VB102（VB102 是写到 S7-300 通讯区地址 IB10 数据）

VB100 传送到 VM10 是将接收的 S7-300 QB10 数据传送到 VM10 供程序调用。

6、S7-200 编程：S7-200 Q0.7 是 S7-300 Q0.0 信号传输过来控制的，通过 EM277 DP 传送的结果。

案例 36

十字路口交通灯 PLC 控制系统设计

摘 要

针对近年来城市交通的拥挤现象，特别是驾驶员违章严重、交通事故频发、车辆尾气污染等问题，介绍集计算机、信息、电子及通讯等众多高新技术手段于一体的智能交通指挥中心控制系统。该系统的安装及使用，大大缓解了城市道路堵塞现象、提高了道路的通行能力。减少了驾驶员违章的次数，抑制了交通事故的发生、同时能够减轻车辆尾气排放，从而对降低环境污染起到了不可低估的作用[1]。

分析现代城市交通控制与管理问题的现状，结合城乡交通的实际情况阐述了交通灯控制系统的工作原理，给出了一种简单实用的城市交通灯控制系统的硬件电路设计方案。

1.1 引言

十字路口的红绿灯指挥着行人和车辆的安全运行,实现红绿灯的自动指挥能使交通管理工作得到改善,也是城市交通管理工作自动化的重要标志之一。可编程序控制器(PLC) 是一种新型的通用的自动控制装置,它将传统的继电器控制技术、计算机技术和通讯技术融为一体,是专能加强、编程简单、使用方便以及体积小、重量轻、功耗低等一系列优点。因此,本文介绍了三菱公司的 PLC 产品来实现交通灯的自动控制。

1.2 毕业设计研究背景

可变成序控制器（PLC）是以计算机技术为核心的通用自动控制装置，在日常生活中得到了广泛的应用。

PLC 是一种数字式运算操作的电子系统，专为工业环境下应用而设计。它采用可编程序的存储器，用来在其内部存贮执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术等操作指令，并通过数字式、模拟式的输入输出，控制各种类型的机械或生产过程。

PLC 具有可靠性高，抗干扰能力强等优点，PLC 的平均无故障运行时间（又称平均故障间隔时间 MTBF）已经高达几十万小时。其次，PLC 具有通用性强，使用方便的特点。由于 PLC 产品的系列化和模块化，PLC 配备有品种齐全的各种硬件装置供用户选用，可以组成能满足各种控制要求的控制系统，用户不必自己再设计和制作硬件装置。用户在硬件方面的设计工作只是确定 PLC 的硬件配置和 I/O 的外部接线。一个控制对象的硬件配置确定以后，可以通过修改用户程序，方便快速地适应工艺条件的变化。

PLC 还具有功能强，适应面广的特点，现代 PLC 不仅具有逻辑运算、计时、计数、顺控等功能，数值运算和数据处理等功能。因此，它既可对开关量进行控制，也可以对模拟量进行控制，既可控制一台生产机械、一条生产线，也可控制一个生产过程。PLC 还具有通信联网的功能，可与上位计算机构成分布式控制系统。用户只需根据控制的规模和要求，适当选择 PLC 的型号和硬件配置，就可以组成所需的控制系统。

随着交通的不断发展和汽车化进程的加快，交通拥挤加剧，交通事故频发，交通环境恶化，已经成为引人注目的城市问题之一。交通问题不仅的发展中国家，就在发达国家也是一个令人困扰的严重问题。众所周知，缓解交通拥挤的最直接和最有效办法是提高路网的通信能力。但无论哪个国家的大城市，不可能无限制地修建道路，不论是资金因素还是土地因素，都限制了道路的无节制增长。因此，不可能通过无限制地修建道路难满足日益增长的交通需求。与此同时，通过限制车辆增加削减交通需求也因受到客观因素的制约而无法取得满意的结果。事实上，由于交通系统是一个相当复杂的大系统，无论单独从车辆方面考虑还是从道路方面考虑，都很难从根本上解决问题。

早在19世纪，人们就开始研究交通信号，用信号指挥车通行，控制车辆进出交叉口的次序。据文献记述，早在1868年，英国伦敦的威斯特明斯特(Westminster)街就安装了红、绿色两色的交通信号灯。到1917年，美国的盐湖城开始使用由人工控制的红、黄、绿3色的信号灯。1925年，这种由人工控制的3色信号灯也首次出现在英国伦敦的皮克的时路口。次年，英国人研制出了自己的自动控制信号机。

道路通交通系统是一个地区、一个城市的主要组成部份，这个系统的运行状况如何，直接反映了一个地区、一个城市的现代化管理水平。在这一系统中，道路不仅仅是易变化的部分，而其它组成部分则存在着较大的可变性和随机性。只有对这一系统的组成及其运行机理进行科学客观的分析研究，对能制定出科学有效的管理和控制对策，从而保障系统的有效运行。

1.3 现在城市路口交通灯控制技术现状

随着城市机动车量的不断增加，许多大城市出现了交通超负荷运行的情况，因此，自80年代后期，这些城市纷纷修建城市高速道路，在高速道路建设完成的初期，它们也曾有效地改善了交通状况。然而，随着交通量的快速增长和缺乏对高澎路的系统研究和控制，高速道路没有充分发挥出预期的作用。而城市高速道路在构造上的特点，也决定了城市高速道路的交通状况必然受高速道路与普通道路藕合处交通状况的制约。所以，如何采用合适的控制方法，最大限度利用好耗费巨资修建的城市高速道路，缓解主干道车流量繁忙的交通拥堵状况，越来越成为交通运输管理和城市规划部门待解决的主要问题。

1.4 毕业设计主要研究内容

（1）信号灯受一个启动开关控制，当启动开关接通时，信号灯系统开始工作，且先南北红灯亮，东西绿灯亮。当启动开关断开时，所有信号灯都熄灭。

（2）南北红灯亮维持25秒，在南北红灯亮的同时东西绿灯也亮，并维持20秒。到20秒时，东西绿灯闪亮，闪亮3秒后熄灭。在东西绿灯熄灭时，东西黄灯亮，并维持2秒。到2秒时，东西黄灯熄灭，东西红灯亮，同时，南北红灯熄灭，绿灯亮。东西红灯亮维持30秒。南北绿灯

亮维持 20 秒，然后闪亮 3 秒后熄灭。同时南北黄灯亮，维持 2 秒后熄灭，这时南北红灯亮，东西绿灯，循环下去。如图：

图： 1.1 交通灯示意图

第二章 PLC 功能简介

2.1 PLC 的定义

PLC = Programmable Logic Controller，可编程逻辑控制器，PLC 是一种专门为在工业环境下应用而设计的数字运算操作的电子装置。它采用可以编制程序的存储器，用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序运算、计时、计数和算术运算等操作的指令，并能通过数字式或模拟式的输入和输出，控制各种类型的机械或生产过程。PLC 及其有关的外围设备都应该按易于与工业控制系统形成一个整体，易于扩展其功能的原则而设计。

2.2 PLC 的基本机构

PLC 实质是一种专用于工业控制的计算机其硬件结构基本上与微型计算机从结构上分，PLC 分为固定式和组合式（模块式）两种。固定式 PLC 包括 CPU 板、I/O 板、显示面板、内存块、电源等，这些元素组合成一个不可拆卸的整体。模块式 PLC 包括 CPU 模块、I/O 模块、内存、电源模块、底板或机架，这些模块可以按照一定规则组合配置。

图：2.2 PLC 的机构图

2.3 PLC 的应用

1.PLC 的工作方式

（1）输入采样阶段，在此阶段，顺序读入所有输入缎子通断状态，并将读入的信息存入内存，接着进入程序执行阶段，在程序执行时，即使输入信号发

生变化，内存中输入信息也不变化，只有在下一个扫描周期的输入采样阶段才能读入信息。

（2） 程序执行阶段：plc 对用户程序扫描。

（3）输出刷新阶段：当所有指令执行完毕通过隔离电路，驱动功率放大器，电路是输出端子向外界输出控制信号驱动外部负载。

2.4 PLC 的发展趋势

目前，PLC 在国内外已广泛应用于钢铁、石油、化工、电力、建材、机械制造、汽车、轻纺、交通运输、环保及文化娱乐等各个行业，使用情况大致可以归纳为如下几类。

（1）开关量的逻辑控制

这是 PLC 最基本最广泛的应用领域，它取代传统的继电器电路，实现逻辑控制顺序控制，既可用于单台设备的控制，也可用于多机群控及自动化流水线。如注塑机、印刷机、订书机械、组合机床、磨床、包装生产线、电镀流水线等。

（2）模拟量控制

在工业生产过程中，有许多连续变化的量，如温度、压力、流量、液位和速度等都是模拟量。为了使可编程控制器处理处理模拟量和数字量之间的 A/D 转换及 D/A 转换。PLC 厂家都生产配套的 A/D 和 D/A 转换模块，使可编程控制器用于模拟量控制。

（3）运动控制

PLC 可以用于圆周运动或直线运动的控制。从控制机构配置来说，早期直接用于开关量 I/O 模块连接位置传感器和执行机构，现在一般使用专用的运动控制模块。如可驱动步进电机或伺服电机的单轴或多轴位置控制模块。世界上各主要 PLC 厂家的产品几乎都有运动控制功能，广泛用于各种机械、机床、机器人、电梯等场合。

（4）过程控制

过程控制是指对温度、压力、流量等模拟量的闭环控制。作为工业控制计算机，PLC 能编制各种各样的控制算法程序，完成闭环控制。PID 调节是一般闭环控制系统中用得较多的调节方法。大中型 PLC 都有 PID 模块，目前许多小型 PLC 也具有此功能模块。PID 处理一般是运行专用的 PID 子程序。过程控制在冶金、化工、热处理、锅炉控制等场合有非常广泛的应用。

（5）数据处理

现代 PLC 具有数学运算（含矩阵运算、函数运算、逻辑运算）、数据穿送、数据转换、排序、查表、位操作等功能，可以完成数据的采集、分析及处理。这些数据可以与存储在存储器中的参考值比较，完成一定的控制操作，也可以利用通信功能传送到别的智能装置，或将它们打印制表。数据处理一般用于大型控制系统，如无人控制的柔性制造系统；也可用于过程控制系统，如冶金、食品工业中的一些大型控制系统。

（6）通信及联网

PLC 通信含 PLC 间的通信及 PLC 与其他智能设备间的通信。随着计算机控制的发展，工厂自动化网络发展的很快，各 PLC 厂商都十分重视 PLC 的通信功能，纷纷推出各自的网络系统。新近生产的 PLC 都具有通信借口，通信非常方便。

2．5 PLC 的基本工作原理

PLC 是一种存储程序的控制器。用户根据某一对象的具体控制要求，编好程序后，编程器将程序键入 PLC 的用户存储器中存储。PLC 的控制功能就是运用用户程序来实现的。

PLC 运行程序的方式与微型机算计相比有较大的不同，微型计算机运行程序时，一旦执行到 END 指令，程序运行结束。而 PLC 从 0000 存储地址所存放的第一条拥护指令开始，在无中断或跳转的情况下，按存储地址好递增的方向顺序执行拥护程序，直到 END 指令结束。然后再从头开始，并周而复始的重复，直至到停机或运行（RUN）切换到停止（STOP）工作状态。我们把 PLC 这种执行程序的方式成为扫描工作方式。每扫描完一次程序就构成一个扫描周期。另

外，PLC 对输出，输出信号的处理与微型机算机不同 。微型机算机对输出、输出信号实时处理。而 PLC 对输出、输出信号是集中批处理。PLC 扫描工作方式分为三个阶段：输出采样、程序执行、输出刷新

第三章 S7-200 编程软件 STEP 7 - Micro/WIN SP6

3.1 如何控制程序作业

S7-200 在程序的控制逻辑中不断循环，读取和写入数据。当您将程序下载至 PLC 并将 PLC 放置在 RUN（运行）模式时，PLC 的中央处理器（CPU）按下列顺序执行程序：

- S7-200 读取输入状态。
- 存储在 S7-200 中的程序使用这些输入评估（或执行）控制逻辑。
- 当程序经过评估，S7-200 将程序逻辑结果存储在称作进程图像输出寄存器的输出内存区中。
- 在程序结束时，S7-200 将数据从进程图像输出寄存器写入至域输出。
- 重复任务循环。

S7-200 反复执行一系列任务。该循环执行任务被称作扫描循环。如下所示，S7-

200 在扫描循环过程中执行大多数或全部下列任务：

1、 读取输入：S7-200 将实际输入状态复制至进程图像输入寄存器。

2、 在程序中执行控制逻辑：S7-200 执行程序的指令，并将数值存储在不同的内存区。

3、 处理所有通讯请求：S7-200 执行点至点或网络通讯要求的所有任务。

4、 执行 CPU 自测试诊断程序：S7-200 保证固件、程序内存和所有扩充模块均正常作业。

5、 向输出写入：存储在进程图像输出寄存器中的数值被写入实际输出。

扫描循环的执行取决于 S7-200 是位于 STOP（停止）模式还是 RUN（运行）模式。在 RUN（运行）模式中，程序被执行；在 STOP（停止）模式中，程序不被执行。

在程序执行过程中，最好使用进程图像寄存器，而不要直接存取输入或输出。使用图像寄存器共同扫描开始的所有输入取样会使扫描循环的程序执行阶段的输入数值同步化，并冻结这些数值。

3.2 STEP7 程序的使用

1、 创建一个项目结构，项目就象一个文件夹，所有数据都以分层的结构存在于其中，任何时候你都可以使用。在创建一个项目之后，所有其他任务都在这个项目下执行。

2、 组态一个站，组态一个站就是指定你要使用的可编程控制器，例如S7300、S7400等。

3、 组态硬件，组态硬件就是在组态表中指定你的控制方案所要使用的模板以及在用户程序中以什么样的地址来访问这些模板，地址一般不用修改由程序自动生成。模板的特性也可以用参数进行赋值。

4、 组态网络和通讯连接，通讯的基础是预先组态网络，也就是要创建一个满足你的控制方案的子网，设置网络特性、设置网络连接特性以及任何联网的站所需要的连接。网络地址也是程序自动生成如果没有更改经验一定不要修改。

5、 定义符号，可以在符号表中定义局部或共享符号，在你的用户程序中用这些更具描述性的符号名替代绝对地址。符号的命名一般用字母编写不超过8个字节，最好不要使用很长的汉字进行描述，否则对程序的执行有很大的影响。

6、 创建程序，用梯形图编程语言创建一个与模板相连结或与模板无关的程序并存储。创建程序是我们控制工程的重要工作之一，一般可以采用线形编程（基于一个块内，OB1）、分布编程（编写功能块FB,OB1组织调用）、结构化编程（编写通用块）。我们最常采用的是结构化编程和分布编程配合使用，很少采用线形编程。

7、 下载程序到可编程控制器，完成所有的组态、参数赋值和编程任务之后，可以下载整个用户程序到可编程控制器。在下载程序时可编程控制器必须在允许下载的工作模式下（STOP或RUN-P）,RUN-P模式表示，这个程序将一次下载一个块，如果重写一个旧的CPU程序就可能出现冲突，所以一般在下载前将CPU切换到STOP模式。

3.3 Step 7 Micro/Win V4.0 文件的新建

1、在 Step 7 Micro/Win V4.0中新建一个项目。（软件界面如图2.1）

2、输入程序，编译正确后在文件菜单中导出为 AWL 文件。

3、打开仿真软件，点“配置”-“CPU 型号”(或在已有的CPU图案上双击)。

4、在弹出的对话框中选择CPU型号，要与你项目中的型号相同。

5、点击“程序”-“载入程序”(或工具条中的第2个按钮)。

6、会有个对话框，只选择“逻辑块（L）”并选择Step 7 Micro/Win V4.0的版本，点击“确定”。

7、将先前导出的 AWL 文件打开。

若第6步选择全部，则此时会提示无法打开文件，这里出现错误的原因是无法打数据块和CPU配置文件，不要管它，直接确定。

8、点击“查看（E）”—“内存监视（M）”(或工具条中的第12个按钮)输入想要监视的地址。

9、点“PLC”-“运行”(或工具栏上的绿色三角按钮)，程序已经开始模拟运行

3.4 PLC 程序的下载

如果您已经成功地在运行STEP 7-Micro/WIN的个人计算机和PLC之间建立通讯，可以将程序下载至该PLC。请遵循下列步骤。

1、下载至PLC之前，必须核实PLC位于“停止”模式。检查PLC上的模式指示灯。如果PLC未设为“停止”模式，单击工具条中的“停止” 按钮，或选择 PLC > 停止。

2、单击工具条中的“下载” 按钮，或选择文件 > 下载。出现“下载”对话框.

3、根据默认值，在初次发出下载命令时，“程序代码块”、“数据块”和“CPU配置”（系统块）复选框被选择。如果不需要下载某一特定的块，清除该复选框。

4、单击“确定”，开始下载程序。

5、如果下载成功，一个确认框会显示以下讯息：下载成功。

6、如果STEP 7-Micro/WIN中用于的PLC类型的数值与实际使用的PLC不匹配，会显示以下警告讯息：

“为项目所选的PLC类型与远程PLC类型不匹配。继续下载吗？”

7、欲纠正PLC类型选项，选择“否”，终止下载程序。

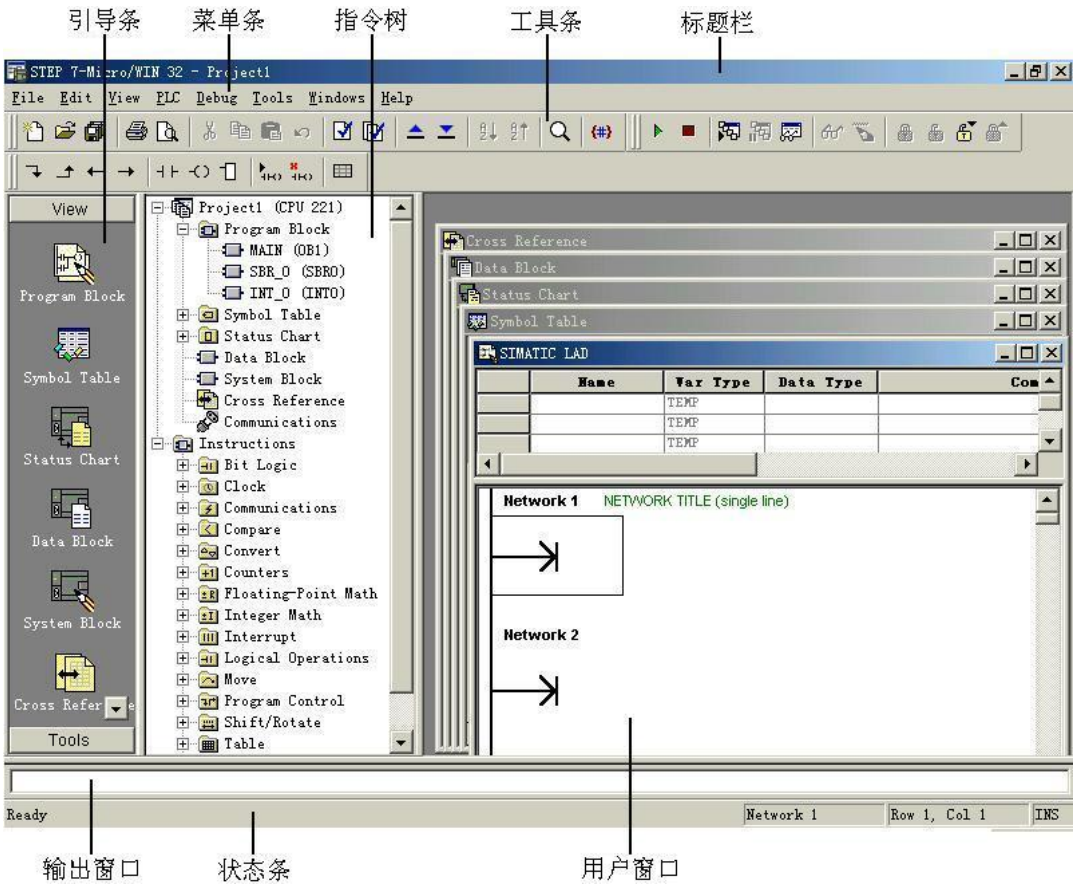
8、从菜单条选择PLC > 类型，调出“PLC类型”对话框。

9、可以从下拉列表方框选择纠正类型，或单击“读取PLC”按钮，由STEP 7-Micro/WIN自动读取正确的数值。

10、单击“确定”，确认PLC类型，并清除对话框。

11、单击工具条中的“下载” 按钮，重新开始下载程序，或从菜单条选择文件 > 下载。

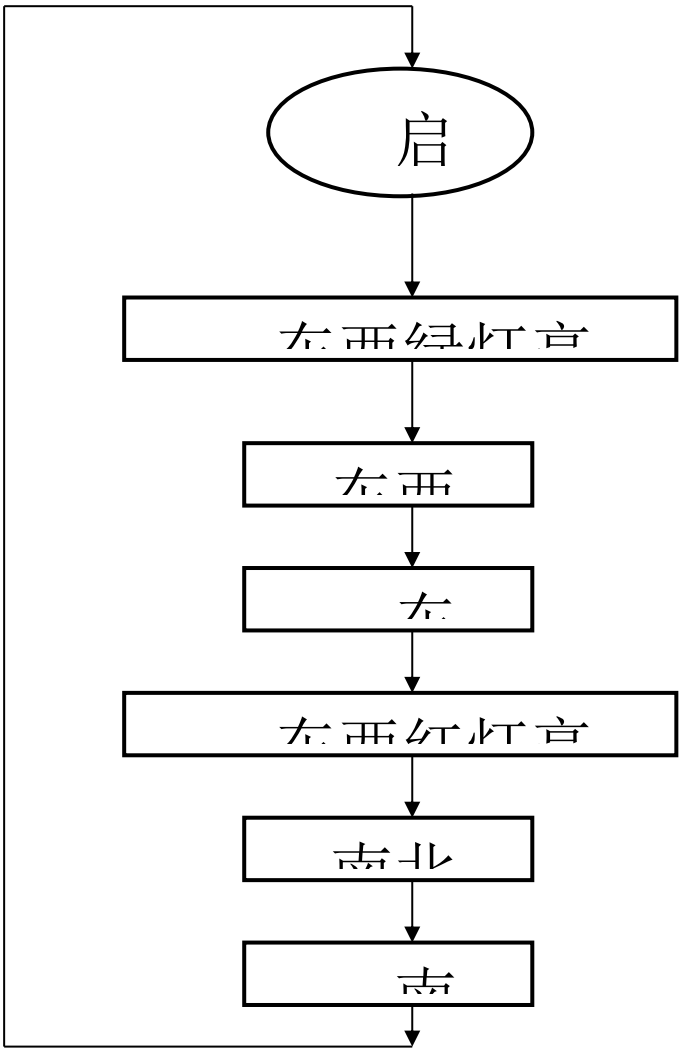
12、一旦下载成功，在PLC中运行程序之前，必须将PLC从STOP（停止）模式转换回RUN（运行）模式。单击工具条中的“运行” 按钮，或选择PLC > 运行，转换回RUN（运行）模式。



图：3.1 PLC Step 7 Micro/Win 软件界面

第四章 程序的设计

4.1 交通灯时序图



图：4.1 正常时序流程图

图：4.2 十字路口交通灯正常时序控制时序图

4.2 I/O 分配表与外部接线图

1．画出交通灯 I/O 分配表。

I/O 分配表

输入	输出	
I0.0(SB1)	启动按钮	Q0.0 东西方向绿灯
I0.1(SB2)	停止按钮	Q0.1 东西方向黄灯
		Q0.2 东西方向红灯
		Q0.3 南北方向红灯
		Q0.5 南北方向绿灯
		Q0.7 南北方向

黄
灯

PLC 的 I/O 接线图

4.3 PLC 主机的选择

S7-200系列PLC可提供4种不同的基本单元和6种型号的扩展单元。

S7-200系列PLC中可提供4种不同的基本型号的8种CPU供选择使用，（其输入输出点数的分配见表3.3 S7-200系列PLC中CPU22X的基本单元）：

表 3.4　S7-200 系列 PLC 中 CPU22X 的基本单元

型号	输入点	输出点	可带扩展模块数
S7-200 CPU 221	6	4	无
S7-200 CPU 222	8	6	2 个扩展模

块
78
路
数
字
量
I/O
点
或
10
路
模
拟
量
I/O
点

S 1 1 7
7- 4 0 个
200 扩
CPU 展
224 模
块
168
路
数
字
量
I/O
点
或
35
路
模
拟

量
I/O
点

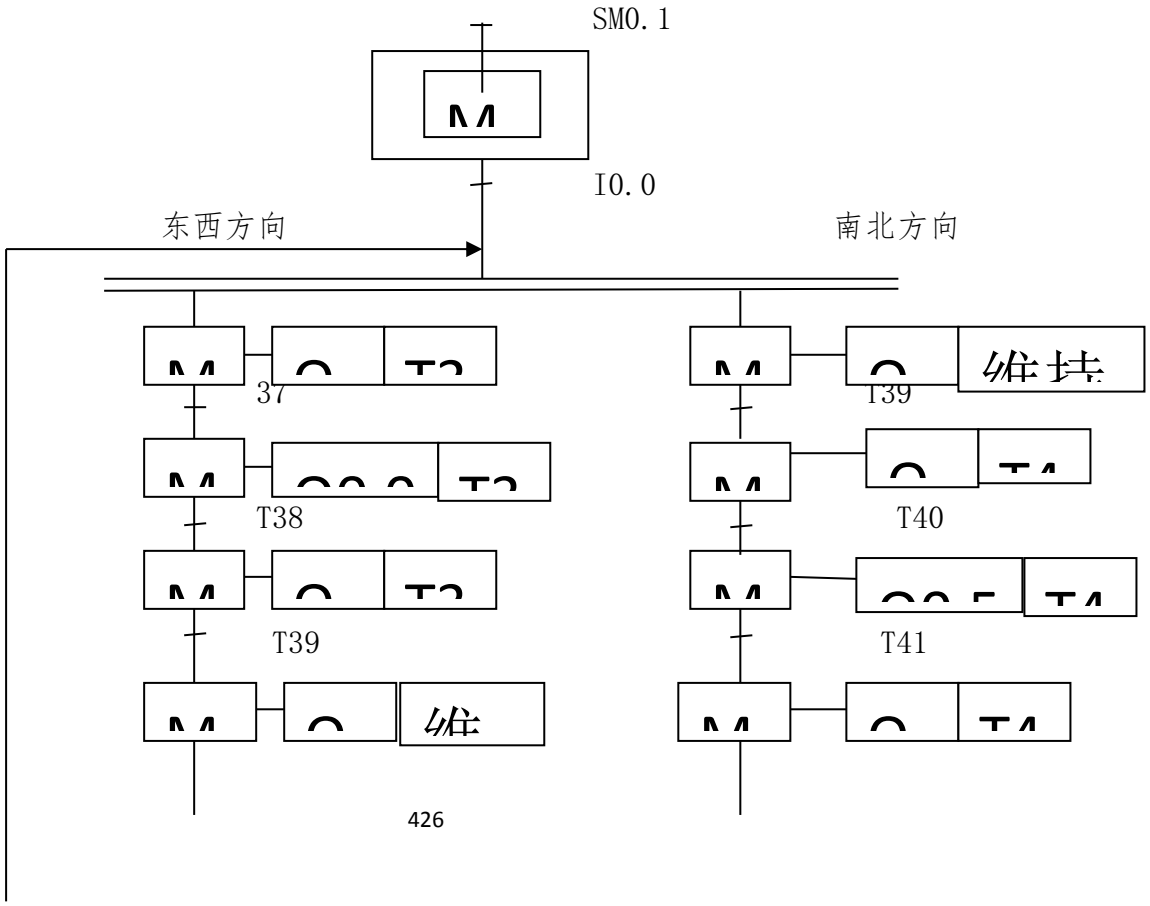
S 2 1 2
7- 4 6 个
200 扩
CPU 展
226 模
块
248
路
数
字
量
I/O
点
或
35
路
模
拟
量
I/O
点

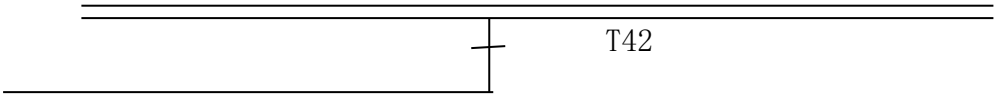
S 2 1 2
7- 4 6 个
200 扩
CPU 展
226 模
XM 块
248
路
数

字
量
I/O
点
或
35
路
模
拟
量
I/O
点

这次设计中，我使用了两个开关，且输出只有六个，对于这个设计而言，输入和输出较为简单，并且不需要扩展模块，对比了表 3.3 中各 CPU 的输入和输出可知，选用 CPU224 的 PLC 的主机比较适合本人的设计。

4.4 顺序功能图





图：3.3 顺序功能图

4.5 程序梯形图

4.6 程序的调试顺序

（1） 对于比较复杂的控制系统，需要绘制系统流程图，用以清楚的表明动作的顺序和条件。由于本控制系统简单就可以省略这一步。

（2） 设计梯形图。这是程序设计的关键一步，也是比较困难的一步。要设计好梯形图，首先要十分熟悉控制要求，同时还要有一定的电气设计的实践经验。

（3） 将程序输入到PLC的用户存储器，并查找程序是否正确。

（4） 对程序进行调试和修改，直到满足要求为止。