

机床控制系统的安装与调试

任务名称

： CK160数控车床主轴电路
的分析、安装、调试

机床控制系统的安装与调试

➤ 知识储备

1. 数控机床对驱动装置的要求

1) 数控机床的驱动装置由电动机和电动机驱动单元两部分组成。

2) 数控机床的驱动装置可分为进给驱动装置和主轴驱动装置。

3) 绝大多数交流进给驱动系统采用的是交流同步电动机。

4) 在数控机床的主轴驱动中，主要采用笼型异步电动机。



机床控制系统的安装与调试

➤ 知识储备

1. 数控机床对驱动装置的要求

(1) 对主轴驱动的要求

1) 主轴输出大功率

为了满足生产率的要求，通常主传动电机应有2.5~250kW的功率范围，因此，对功率驱动电路提出了更高的要求。

2) 调速范围要足够大

一般要求如能在(1:100)~(1:1000)范围内进行恒转矩调速，1:10范围内进行恒功率调速，并能实现四象限驱动功能。



机床控制系统的安装与调试

3) 控制功能

- ❖ 主轴与进给驱动的同步控制（加工螺纹）
- ❖ 准停控制（便于加工中心自动换刀）
- ❖ 角度分度控制
 - a. 固定的等分角位置控制
 - b. 连续的任意角度控制（加工端面螺旋槽 “C”轴控制）



机床控制系统的安装与调试

主轴电机应具备以下性能：

- 电机功率要大，且在大的调速范围内速度要稳定，恒功率调速范围宽；
- 在断续负载下电机转速波动要小；
- 加速、减速时间短；
- 温升高，噪声小，振动小，可靠性高，寿命长，易维护，体积小，重量轻；
- 电机过载能力强。

机床控制系统的安装与调试

(2) 对进给驱动的要求

1) 精度高

进给驱动系统的精度是指输出量能复现输入的精确程度。

数控加工对定位精度和轮廓加工精度要求都比较高，定位精度一般 $0.01\sim 0.001\text{mm}$ ，甚至 $0.1\mu\text{m}$ 。

轮廓加工精度与速度控制和联动坐标的协调一致控制有关。

在速度控制中，要求高的调速精度，比较强的抗负载扰动能力。



机床控制系统的安装与调试

(2) 对进给驱动的要求

2) 稳定性好

稳定是指系统在给定输入或外界干扰作用下，能在短暂的调节过程后，达到新的或者恢复到原来的平衡状态。

对进给驱动系统要求有较强的抗干扰能力，保证进给速度均匀、平稳。

稳定性直接影响数控加工的精度和表面粗糙度。



机床控制系统的安装与调试

(2) 对进给驱动的要求

3) 快速响应

进给驱动系统动态品质的重要指标，它反映了系统的跟踪精度。

为保证轮廓切削形状精度和低的加工表面粗糙度，要求进给驱动系统跟踪指令信号的响应要快。这一方面要求过渡过程时间要短，一般在**200ms**以内；另一方面要求超调要小。

4) 调速范围宽

5) 低速大转矩



机床控制系统的安装与调试

对伺服电机的要求

高精度、快响应、宽调速和大转矩

- 1) 电动机从最低进给速度到最高进给速度范围内能平滑运转，转矩波动要小，尤其在最低转速时，仍有平稳的速度而无爬行现象。
- 2) 电动机应具有较长时间的过载能力，以满足低速大转矩的要求。
- 3) 为了满足快速响应的要求，即随着控制信号的变化，电动机应能在较短时间内达到规定的速度。
- 4) 电动机应能承受频繁的起动、制动和反转。

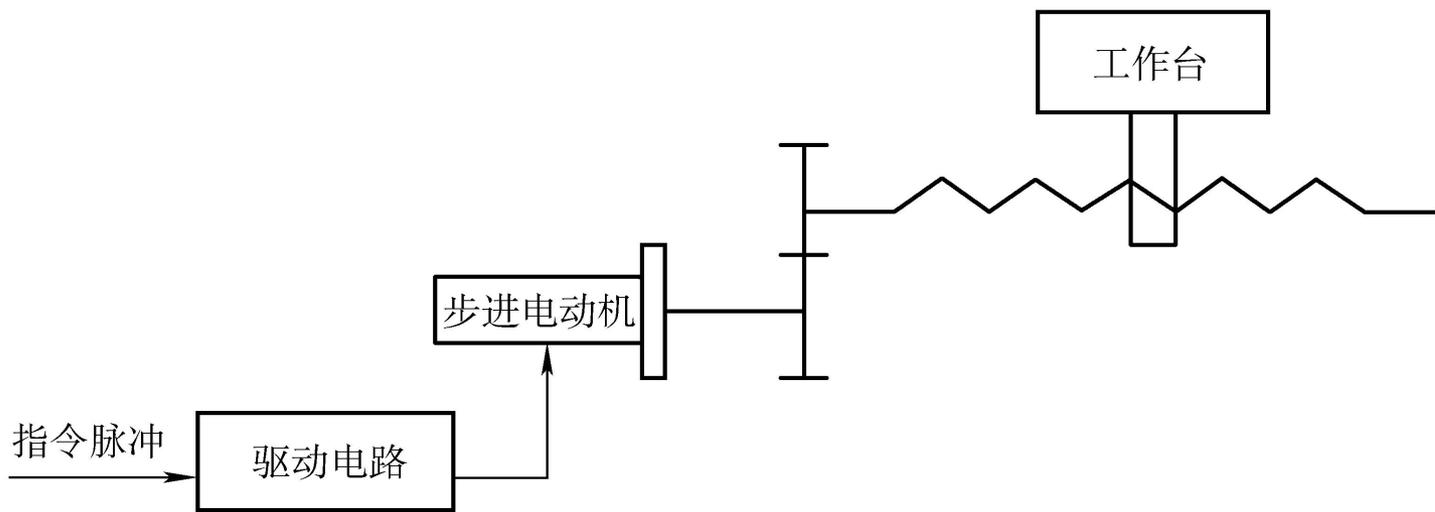


机床控制系统的安装与调试

2. 伺服驱动系统的分类

(1) 按有无检测元件和反馈环节分类

1) 开环伺服驱动系统

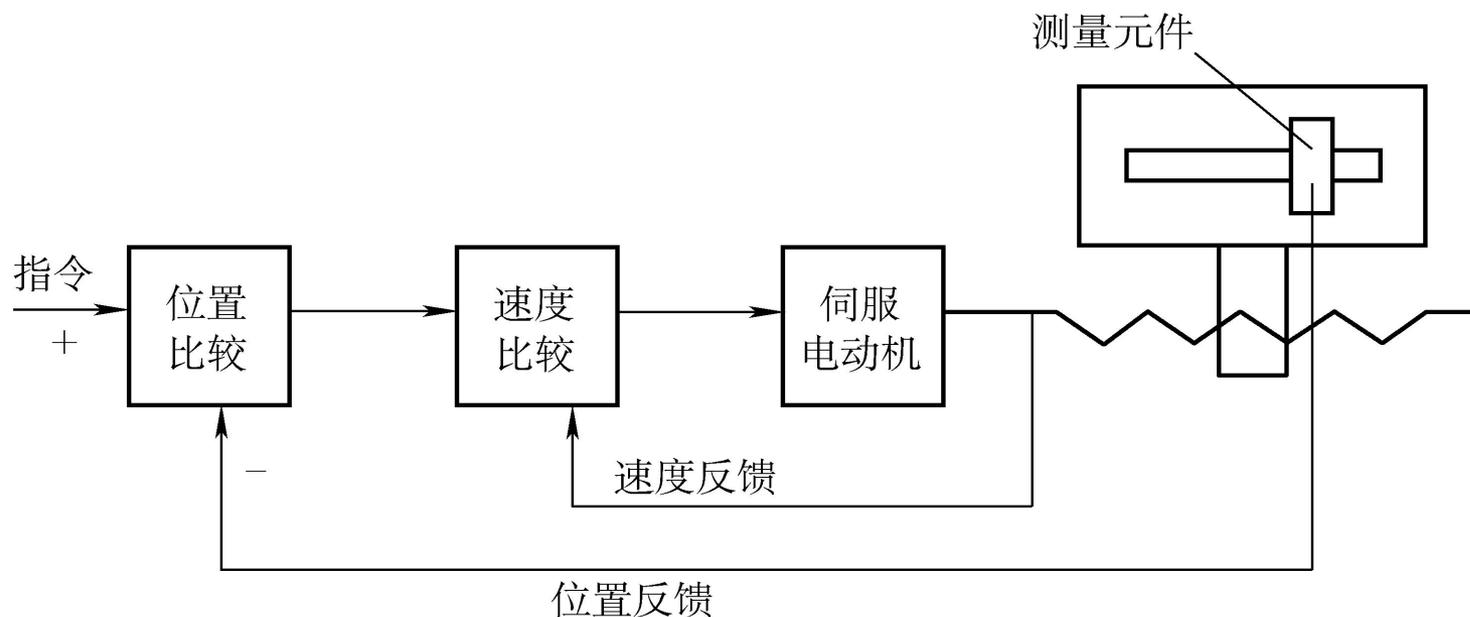


结构简单，易于控制，但精度差，低速不平稳，高速扭矩小。一般用于轻载负载变化不大或经济型数控机床上。



机床控制系统的安装与调试

2) 闭环伺服驱动系统



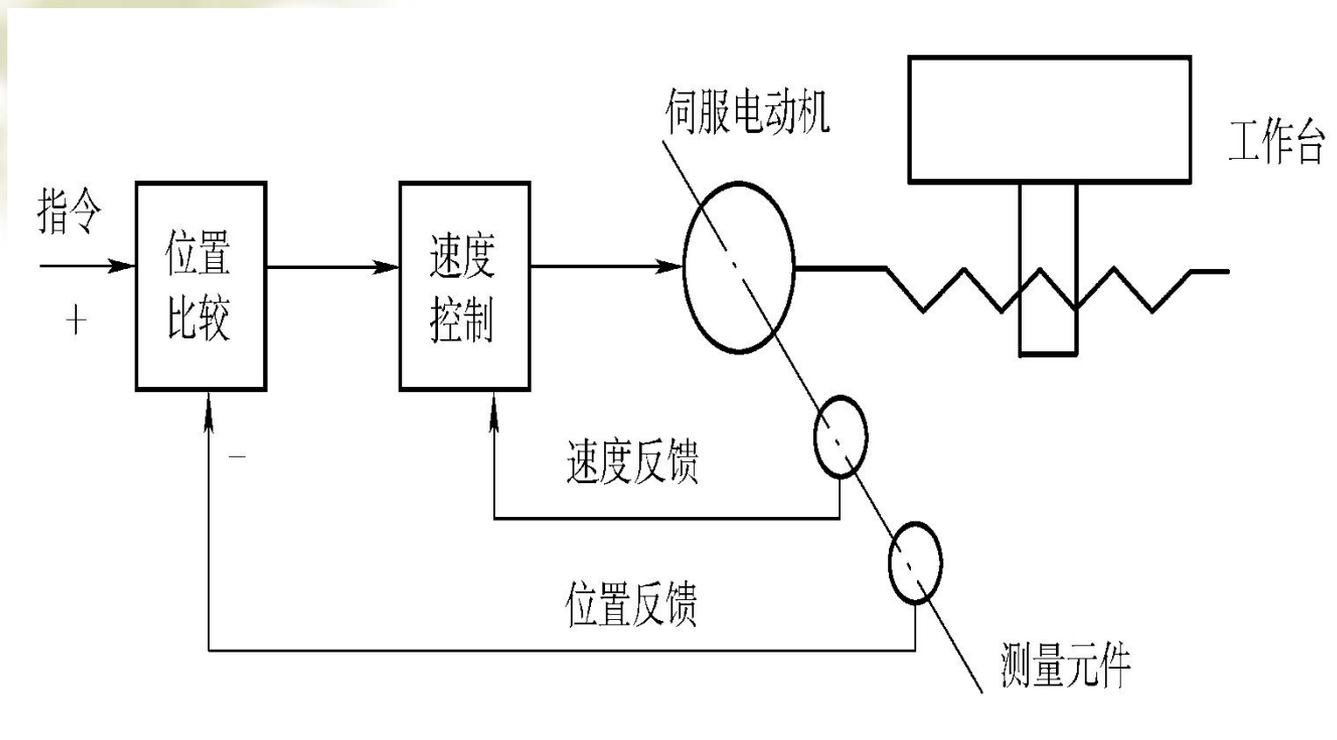
由于闭环伺服驱动系统是反馈控制，反馈测量装置精度很高，所以系统传动链的误差、环内各元件的误差以及运动中造成的误差都可以得到补偿，从而大大提高了跟随精度和定位精度。

系统精度取决于测量装置的制造精度和安装精度。



机床控制系统的安装与调试

3) 半闭环伺服驱动系统



有一部分传动链在位置环以外，在环外的传动误差没有得到系统的补偿，因而伺服系统的精度低于闭环系统。

机床控制系统的安装与调试

半闭环和闭环系统不同点是闭环系统环内包括较多的机械传动部件，传动误差均可被补偿，理论上精度可以达到很高。

但由于受机械变形、温度变化、振动以及其它因素的影响，系统稳定性难以调整。

此外，机床运行一段时间，由于机械传动部件的磨损、变形及其它因素的改变，容易使系统稳定性改变，精度发生变化，所以目前使用半闭环系统较多。

只在具备传动部件精密度高、性能稳定、使用过程中温差变化不大的高精度数控机床上使用全闭环伺服系统。

机床控制系统的安装与调试

(2) 按执行元件的类别分类

1) 步进驱动系统

主要有反应式和混合式两类，混合式步进电动机的输出力矩大，运行频率及升降速度快，因而性能更好。

2) 直流伺服驱动系统

小惯量伺服电动机有高的额定转速和低的惯量，要经过中间机械传动（如齿轮副）才能与丝杆相连接。

永磁直流伺服电动机能直接与丝杆相连而不需中间传动装置。且可在低速下运转。



机床控制系统的安装与调试

3) 交流伺服驱动系统

分为交流异步电动机（一般用于主轴驱动）和永磁同步电动机（一般用于进给驱动）。

动态响应好，输出功率大，迅速发展，广泛使用。

(3) 按控制对象和使用目的分类

1) 进给驱动系统（包括速度控制环和位置控制环，具有定位和轮廓跟踪功能）

2) 主轴驱动系统



机床控制系统的安装与调试

(4) 按反馈比较控制方式分类

1) 脉冲（数字）比较伺服驱动系统

原理：将数控装置发出的脉冲指令信号与检测装置测得的以脉冲表示的反馈信号直接进行比较，以产生位置误差。

特点：结构简单，容易实现，整机工作稳定，适用于一般数控伺服驱动系统。



机床控制系统的安装与调试

2) 相位比较伺服驱动系统

原理：位置检测装置采取相位工作方式，指令信号与反馈信号都变成某个载波的相位，然后通过两者相位的比较，获得实际位置与指令位置的偏差，实现闭环控制。

特点：适用于感应式检测元件（如旋转变压器）的工作台，可得到满意的精度。此外由于载波频率高，响应快，抗干扰性强，很适合连续控制的伺服驱动系统。



机床控制系统的安装与调试

3) 幅值比较伺服驱动系统

原理：以位置检测信号的幅值大小来反映机械位移的数值，并以此信号作为位置反馈信号，一般还要将此幅值信号转换成数字信号才与指令数字信号进行比较，从而获得位置偏差信号构成闭环控制系统。

特点：相位比较和幅值比较系统从结构上和安装维护上都比脉冲（数字）比较系统复杂和要求高，所以脉冲（数字）比较伺服驱动系统应用比较广泛。



机床控制系统的安装与调试

4) 全数字伺服驱动系统

由位置、速度和电流构成的三环反馈全部数字化，软件处理数字PID，使用灵活，柔性好。数字伺服驱动系统采用了许多新的控制技术和改进伺服性能的措施，使控制精度和品质大大提高。

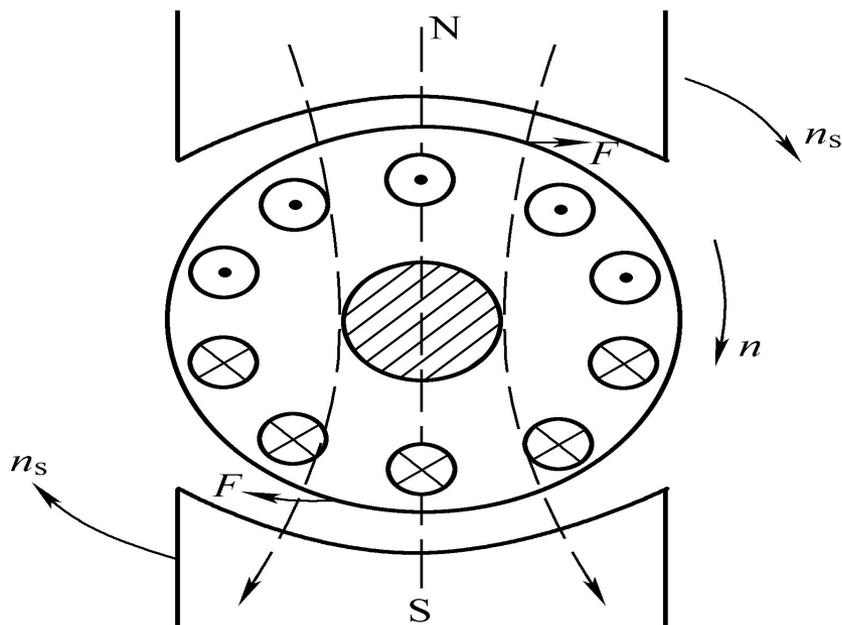


机床控制系统的安装与调试

3. 主轴驱动系统

(1) 交流主轴电动机

笼型异步电动机由有三相绕组的定子和有笼条的转子构成。在转子铁心上开有许多槽，每个槽内装有一根导体，所有导体两端短接在端环上。



机床控制系统的安装与调试

三相笼型异步电动机的原理

定子绕组通入三相交流电后，在电动机气隙中产生一个旋转磁场，其磁力线也顺时针切割转子笼条，转子中产生感应电动势。由于笼型转子的导体均通过短路环连接起来，因此在感应电动势的作用下，转子导体中有电流流过，电流方向与感应电动势方向相同。再根据通电导体在磁场中的受力原理，转子导体要与磁场相互作用产生电磁力，电磁力作用于转子，产生电磁转矩。转子便在电磁转矩的作用下转动起来。

机床控制系统的安装与调试

因为电动机轴上总带有机械负载，即使空载时也存在摩擦、风阻等。为了克服负载阻力，转子绕组中必须有一定大小的电流，以产生足够的电磁转矩。而电流是由旋转磁场切割转子产生的，转子转速必须低于磁场转速。而转子转速比旋转磁场低多少主要由机械负载决定，负载大则需要较大的导体电流，转子导体相对旋转磁场就必须有较大的相对速度。

(2) 异步电动机调频调速

感应电动机的转子转速为：

$$n = 60f_1(1-s) / p$$

f_1 —— 定子供电频率

p —— 电动机定子绕组极对数；

s —— 转差率。

由上式可见，要改变电动机的转速：①改变磁极对数 p ，则电动机的转速可作有级变速；②改变转差率 s ；③改变频率 f_1 。在数控机床中，交流电动机的调速通常采用变频调速的方式。

感应电动机每相的感应电动势为：

$$E_1 = 4.44 f_1 W_1 \Phi_m \approx U_1$$

f_1 —— 电源频率，单位为Hz；

W_1 —— 每相绕组有效匝数；

Φ_m —— 每极磁通；

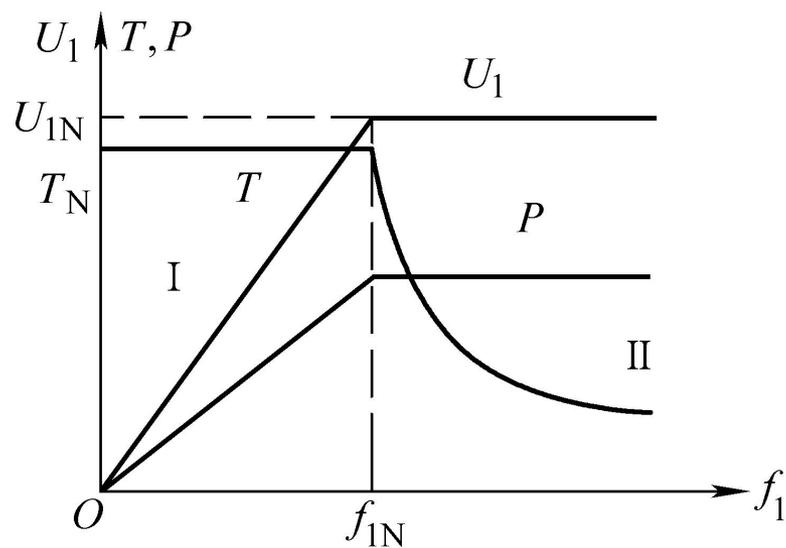
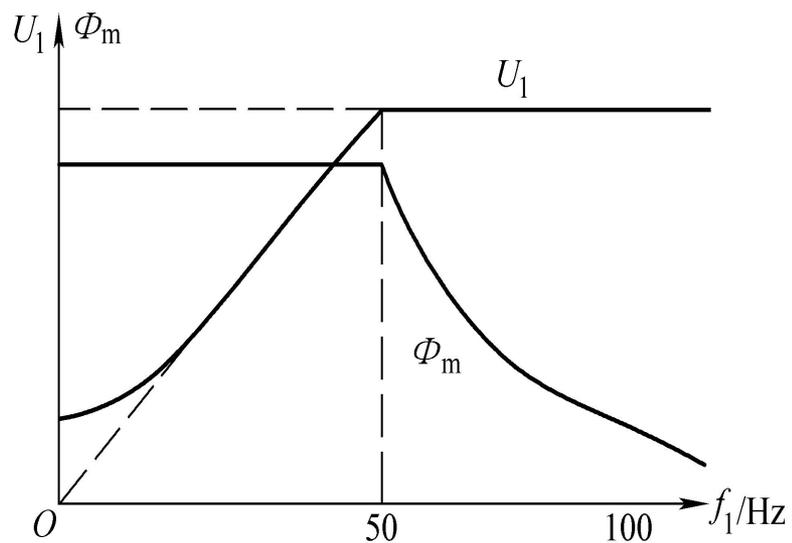
U_1 —— 定子电压，单位为V。

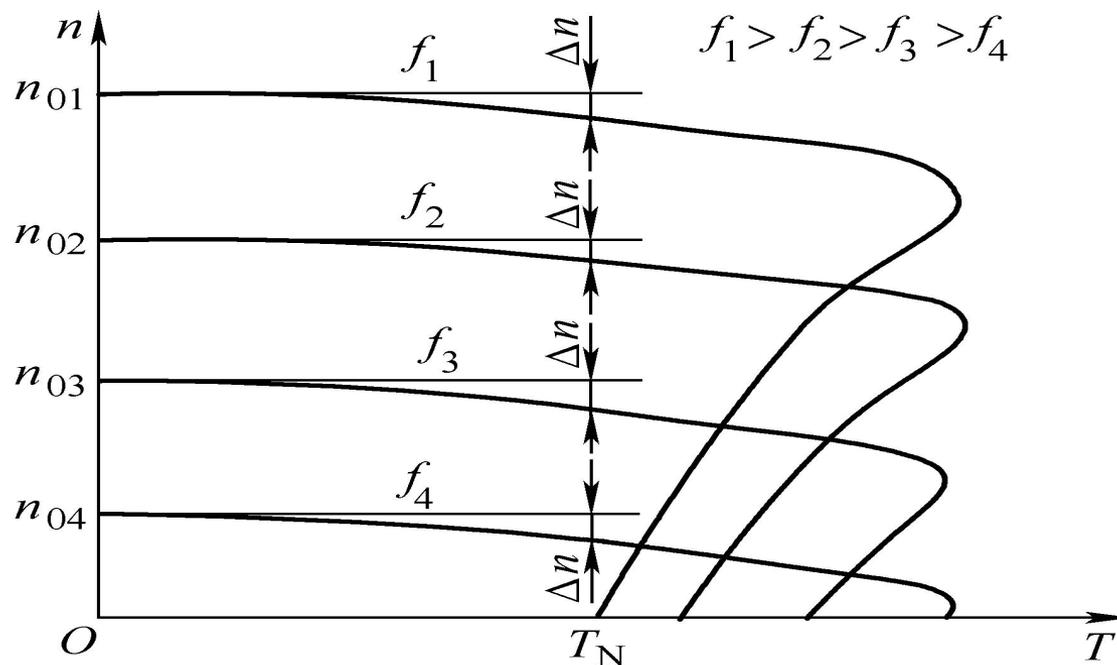
则

$$\Phi_m = K U_1 / f_1$$

变频调速时，如果要减小速度，在降低频率的同时，要降低电压 U_1 ，以保持 Φ_m 不变。（因为 Φ_m 值通常是在工频额定电压的运行条件下确定的，为了充分利用电动机铁心，把磁通量选在接近磁饱和的数值上，否则会使励磁电流迅速上升而铁心过热。）这种 U_1 和 f_1 的配合变化称为恒磁通变频调速中的协调控制（恒转矩调速控制）。

变频调速时，如果要提高速度，当 f_1 频率超过异步电动机铭牌的额定频率，由于电源电压的限制， U_1 已达到变频器输出电压的最大值再不能随 f_1 而升高，异步电动机的每极磁通 Φ_m 与 f_1 成反比例下降，其转矩 T 也随着 f_1 反比例下降。但因转速 n 提高，异步电动机的输出功率 P 则在此区域内保持不变（ $P = T n$ ），称为恒功率调速。





异步电动机的机械特性：在同一负载转矩下，有着相同的转速降落 Δn ，其转速降落百分比 $(\Delta n/n_0)$ 随着频率下降将越来越大，调速性能下降。

机床控制系统的安装与调试

(3) 异步电动机的矢量控制

按照不同情况下的绕组产生同样的旋转磁场这一等效原则出发，通过坐标变换，将三相交流输出电流变为等效的、彼此独立的励磁电流和电枢电流，通过对等效电枢绕组电流和励磁绕组电流的反馈控制，达到控制转矩和励磁磁通的目的，最后，通过相反的变换，将等效的直流量再还原为三相交流量，控制实际的三相异步电动机。



机床控制系统的安装与调试

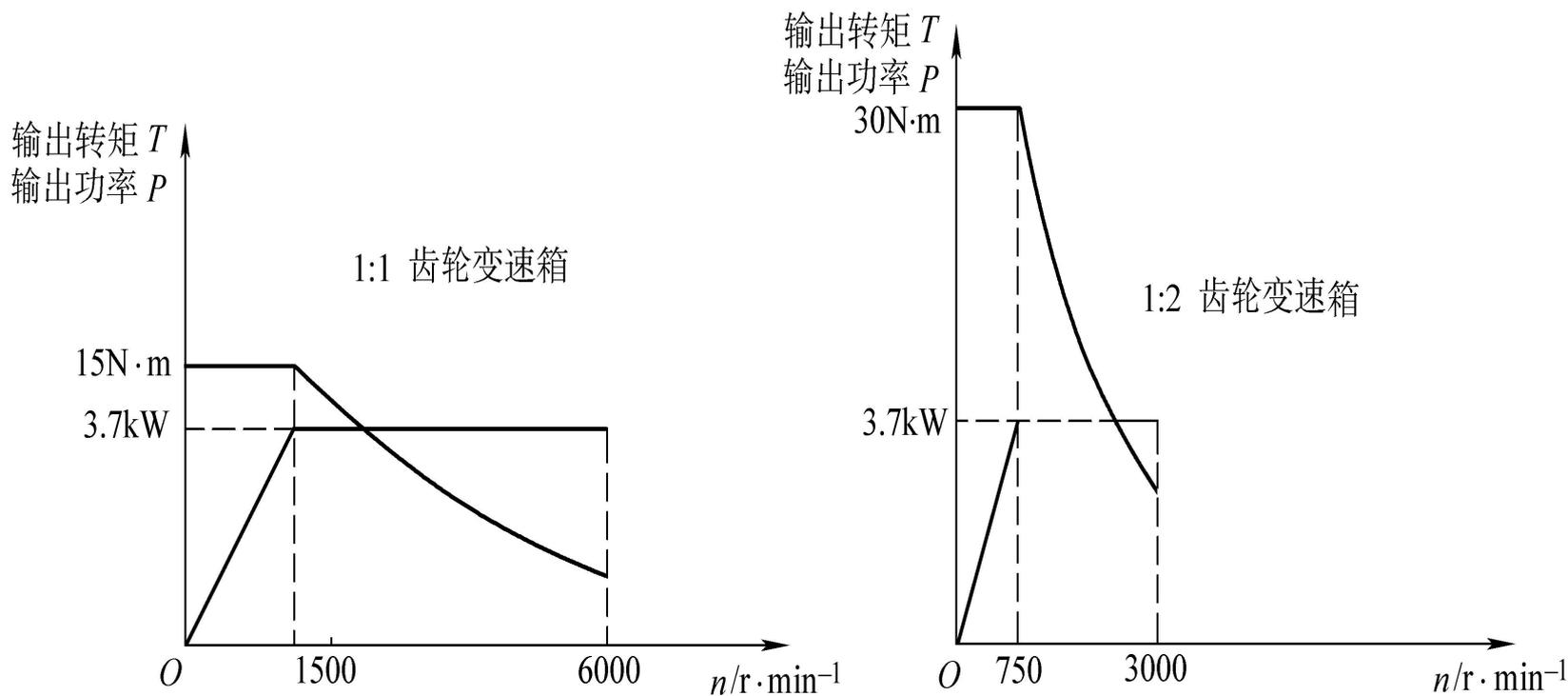
(4) 主轴分段无级调速及控制

数控装置可通过三种方式控制主轴驱动。一种是通过主轴模拟电压输出接口，输出**0~±10V**模拟电压至主轴驱动装置，电压的正负控制电动机转向，电压的大小控制电动机的转速。另一种是输出单极性**0~10 V**模拟电压至主轴驱动装置，通过正转与反转开关量信号指定正反转。第三种是选择数控装置输出**12位二进制代码或2位BCD码（4位BCD码）**开关量信号至主轴驱动，控制主轴的转速。



机床控制系统的安装与调试

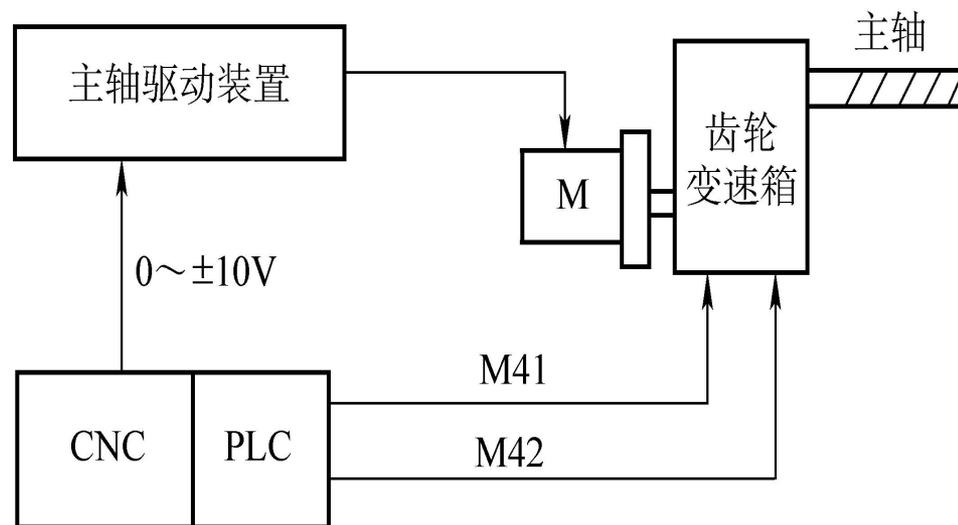
数控机床常采用1~4档齿轮变速与无级调速相结合的方式，即分段无级变速方式。



机床控制系统的安装与调试

数控系统可使用**M41~M44**代码进行齿轮的自动变档。首先需要在数控系统参数区设置**M41~M44** 4档对应的最高主轴转速，这样数控系统根据当前**S**指令值判断档位，并自动输出相应的**M41~M44**指令至**PLC**，控制更换相应的齿轮档，然后数控装置输出相应的模拟电压。

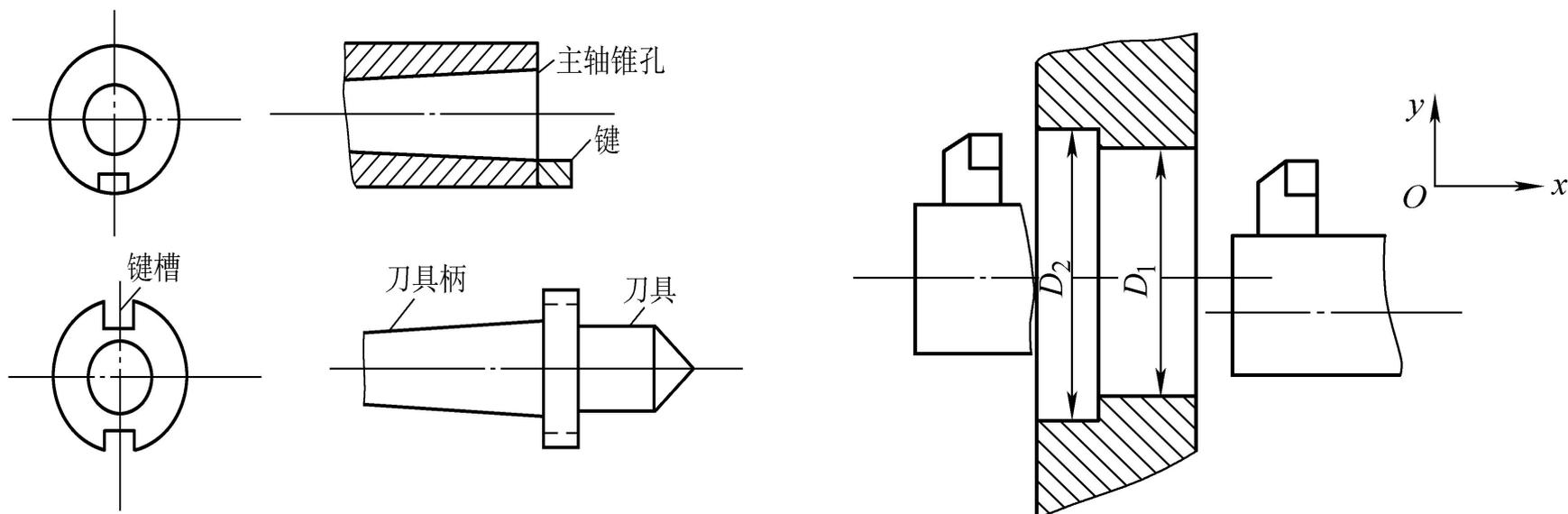
对变速时出现的顶齿现象，现代数控系统均采用由数控系统控制主轴电动机低速转动或振动的方法，实现齿轮的顺利啮合。变档时主轴电动机低速转动或振动的速度可在数控系统参数区中设定。



机床控制系统的安装与调试

(5) 主轴准停控制

主轴准停功能又称为主轴定位功能，即当主轴停止时能控制其停于固定位置。



机床控制系统的安装与调试

主轴准停可分为机械准停和电气准停。传统的做法是采用机械档块等来定位。在现代数控机床上，一般都采用电气方式使主轴定位，只要数控系统发出**M19**指令，主轴就能准确定位。电气方式的主轴定向控制，是利用装在主轴上的位置编码器和磁性传感器作为位置反馈部件，由它们输出的信号，使主轴准确停在规定的位置上。



机床控制系统的安装与调试

(6) 主轴进给功能

主轴进给功能即主轴的**C**轴功能。对于车削中心，主轴除了完成传统的回转功能外，主轴的进给功能可以实现主轴的定向、分度和圆周进给，并在数控装置的控制下实现**C**轴与其他进给轴的插补。对于车、铣复合机床，则必须要求车主轴在铣状态下完成铣床**C**轴所有的进给插补功能。

- 1) 机械式
- 2) 双电动机切换
- 3) 有**C**轴功能的主轴电动机



机床控制系统的安装与调试

4. 检测元件

数控机床的位置控制系统所能达到的精度是以其检测元件的精度为极限

一般要求检测元件的分辨率在 $0.001 \sim 0.01\text{mm}$ （1丝）之内

（1）位置检测装置的要求

- 1) 受温度、湿度的影响小，工作可靠，能长期保持精度，抗干扰能力强。
- 2) 在机床执行部件移动范围内能满足精度和速度的要求。
- 3) 使用维护方便，适应机床工作环境。
- 4) 成本低。



机床控制系统的安装与调试

(2) 位置检测装置的分类

1) 数字式测量和模拟式测量

■数字式测量：将被测的量以数字的形式来表示。测量信号一般为电脉冲，可以直接把它送到数控装置进行比较、处理。

■模拟式测量：将被测的量用连续变量来表示，如电压变化、相位变化等，数控机床所用模拟式测量主要用于小量程的测量。



机床控制系统的安装与调试

2) 增量式测量和绝对式测量

■增量式测量：特点是只测位移量，如测量单位为 0.01mm ，则每移动 0.01mm 就发出一个脉冲信号。任何一个点都可作为测量的起点。

■绝对式测量：对于被测量的任意一点位置均由固定的零点标起，每一个被测点都有一个相应的测量值，常以数据形式表示。



机床控制系统的安装与调试

3) 直接测量和间接测量

■直接测量：将检测装置直接安装在执行部件上，如光栅用来直接测量工作台的直线位移。

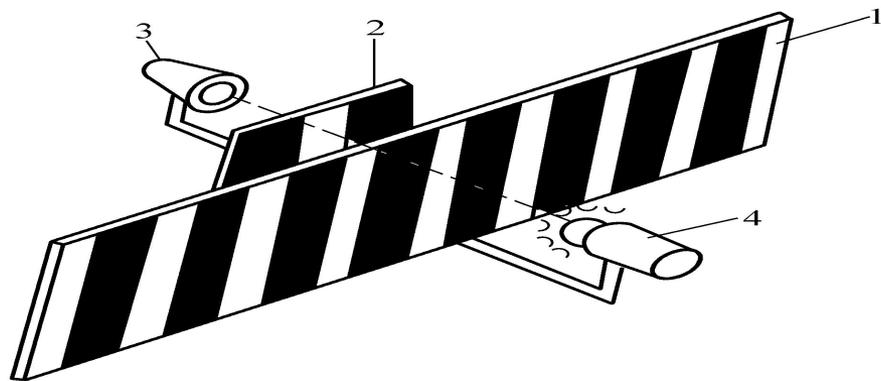
■间接测量：将检测装置安装在滚珠丝杠或驱动电动机轴上，通过检测转动件的角位移来间接测量执行部件的直线位移。典型的测量元件有旋转变压器等。

机床控制系统的安装与调试

(3) 光栅

光栅利用光的透射、衍射原理，通过光敏元件测量莫尔条纹移动的数量来检测机床工作台的位移量。

1) 直线透射光栅的组成

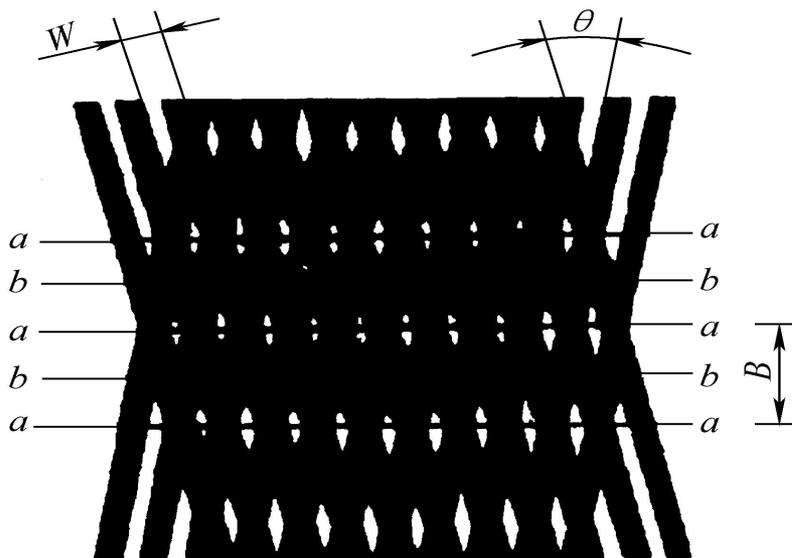


- 1—光栅尺(标尺光栅) 2—指示光栅
3—光电接收元件 4—光源

机床控制系统的安装与调试

2) 莫尔条纹的原理

光栅读数时利用莫尔条纹的形成原理进行的。将指示光栅和标尺光栅叠合在一起，中间保持 $0.05\sim 0.1\text{mm}$ 的间隙，并使指示光栅和标尺光栅的线纹相互交叉保持一个很小的夹角 θ 。



机床控制系统的安装与调试

两条暗带或两条亮带之间的距离叫莫尔条纹的间距 B ，设光栅的栅距为 W ，两光栅线纹的夹角为 θ ，则它们的近似关系为

$$B = \frac{W}{\theta}$$

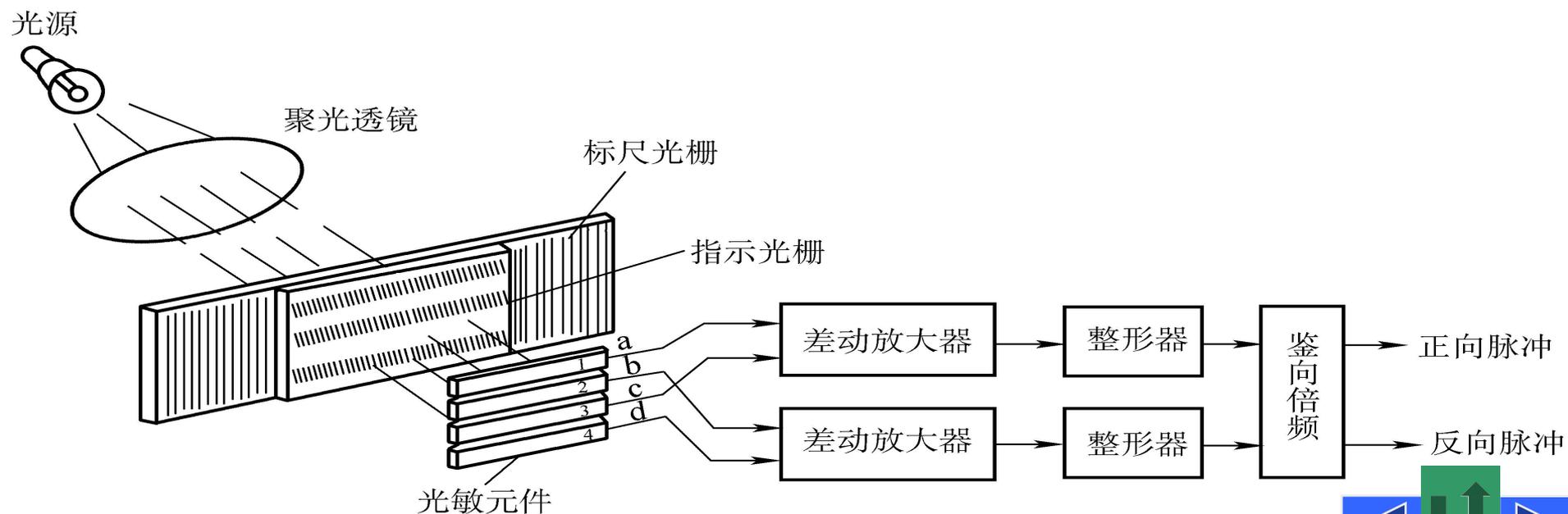
如果两块光栅相对移动一个栅距，则光栅某一固定点的光强按明一暗一明规律变化一个周期，即莫尔条纹移动一个莫尔条纹的间距。因此，光电元件只要读出移动的莫尔条纹数目，就可以知道光栅移动了多少栅距，也就知道了运动部件的准确位移量。



机床控制系统的安装与调试

3) 透射光栅的工作原理

标尺光栅与工作台装在一起，光源、透镜、指示光栅、光敏元件和信号处理电路做成一个单独的部件（光栅读数头）固定在机床上，其作用是将莫尔条纹的光信号转换成所需的电脉冲信号。

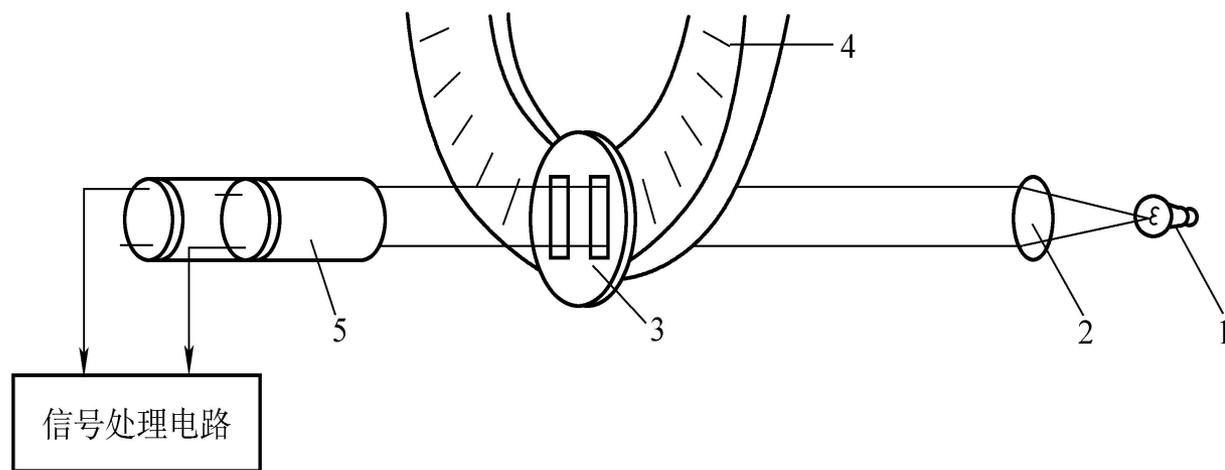


机床控制系统的安装与调试

4. 光电编码器

光电编码器一种旋转式测量装置，通常安装在被测轴上，随被测轴一起转动，可将被测轴的角位移转换成电脉冲信号。

1) 增量式光电编码器



1—光源 2—聚光镜 3—光栏板 4—光电码盘 5—光电元件



机床控制系统的安装与调试

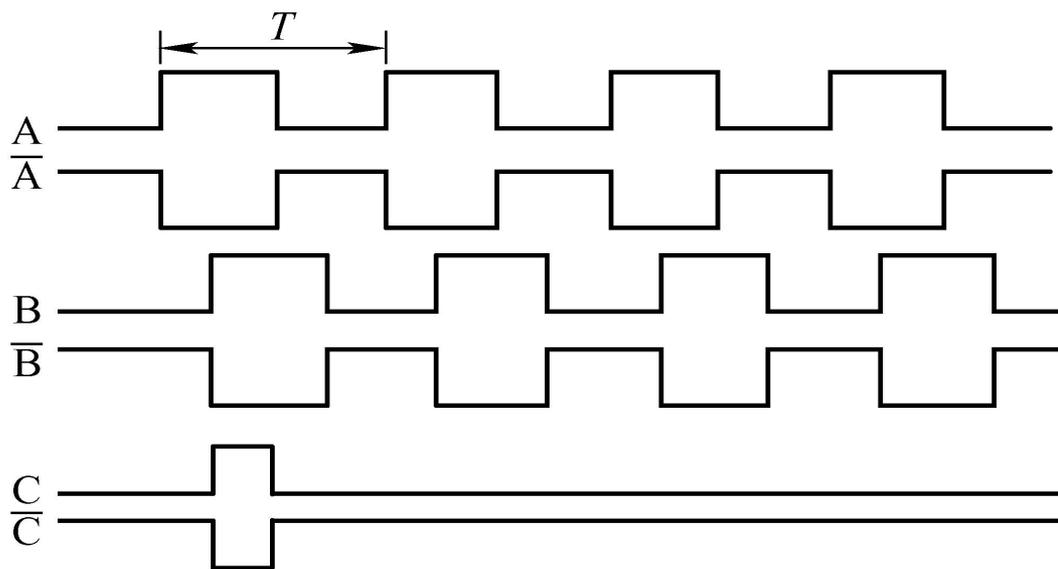
测量精度取决于它所能分辨的最小角度，而这与码盘圆周的条纹数有关，即分辨角

$$\alpha = 360^\circ / \text{条纹数}$$

实际应用的增量式光电编码器的光栏板上有A组和B组条纹，每组条纹的间隙与光电码盘相同，而A组与B组的条纹彼此错开1/4节距，两组条纹相对应的光电元件所产生的信号彼此相差90°相位，用于辨向。当光电码盘正转时，A信号超前B信号90°，当光电码盘反转时，B信号超前A信号90°。



机床控制系统的安装与调试

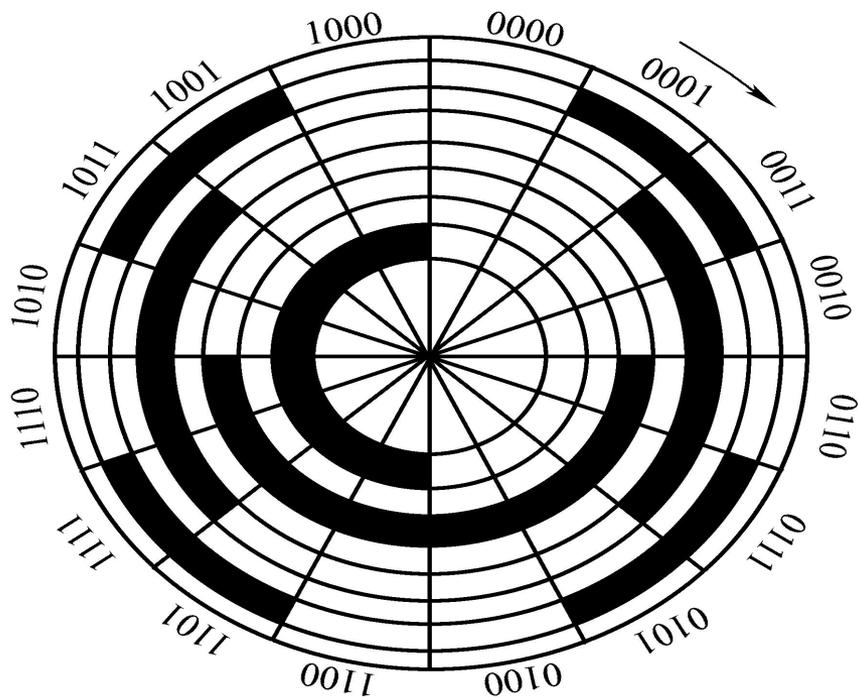


在光电码盘的里圈里还有一条透光条纹C，用以每转产生一个脉冲，该脉冲信号又称一转信号或零标志脉冲。零标志脉冲用于精确确定机床的参考点，而在主轴电动机上，则可用于主轴准停以及螺纹加工。

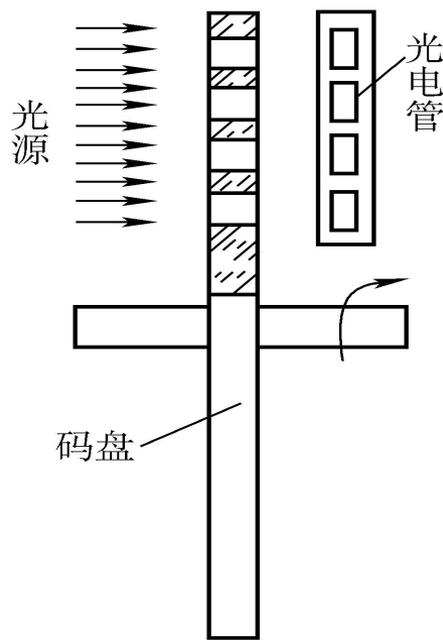
机床控制系统的安装与调试

2) 绝对式光电编码器

与增量式光电编码器不同，绝对式光电编码器是通过读取编码盘上的图案确定轴的位置。



a)



b)

机床控制系统的安装与调试

分析控制过程

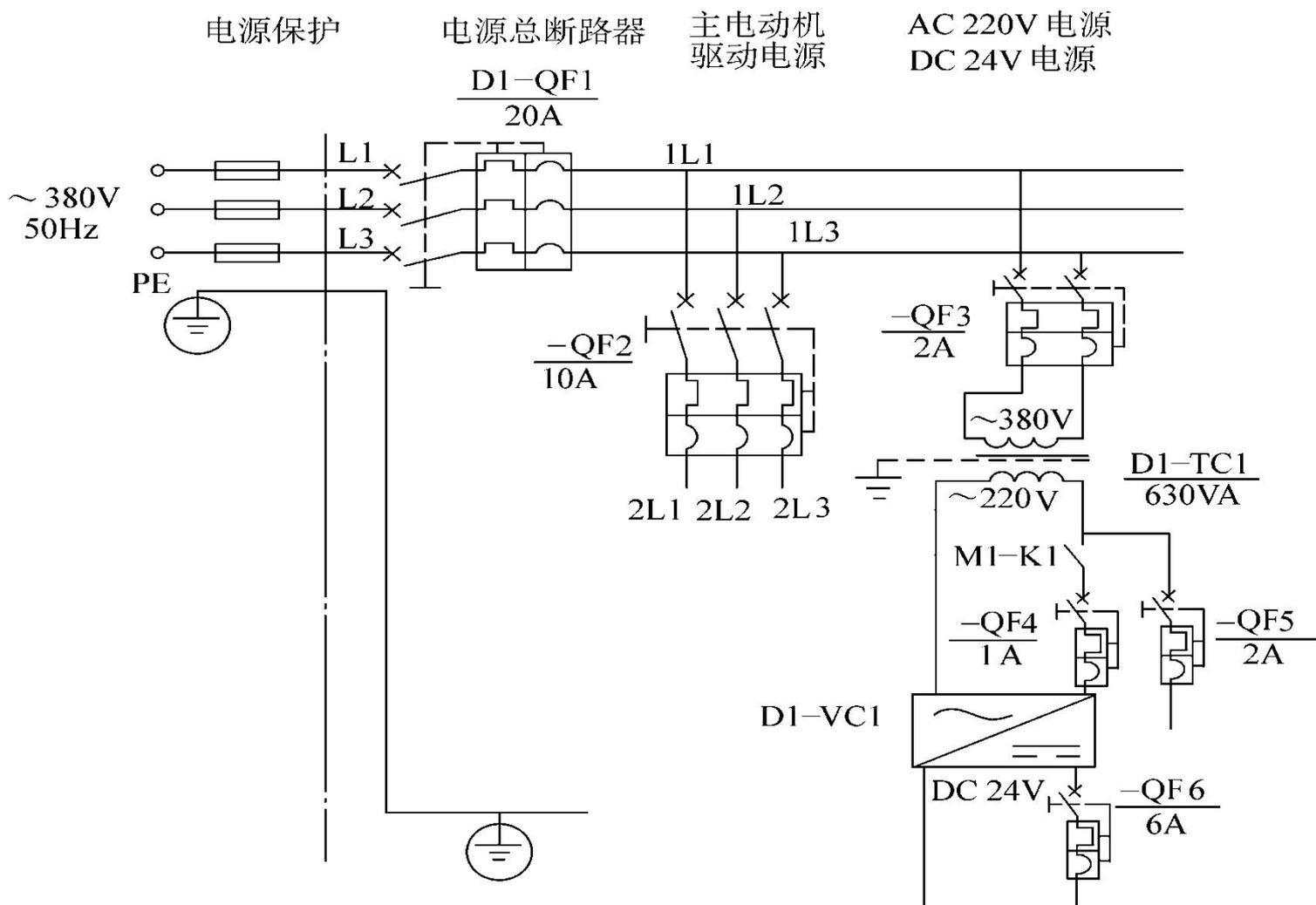
控制端 核心	电源	数控系统	驱动 负载	正反 转信 号	报警信 号
变频器	AC380V / 50Hz	0 ~ 10V模 拟量的转 速信号	电机	继电 器M3- K2	B、C端
	接触器 H1-K1		位置 编码 器	继电 器M3- K1	



机床控制系统的安装与调试

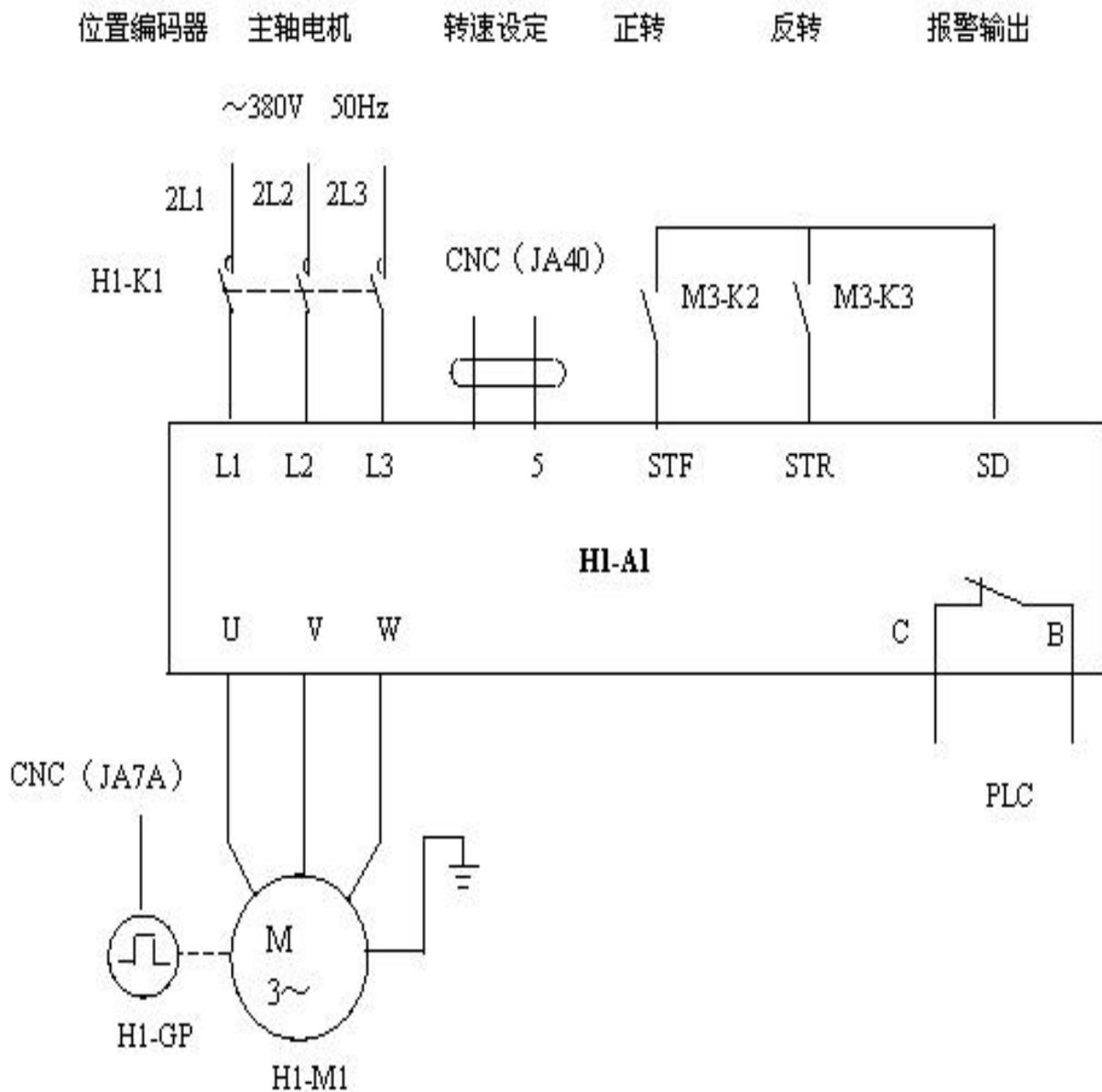
分析电气原理图

1. 电源电路



机床控制系统的安装与调试

2. 主轴电路



机床控制系统的安装与调试

3. 强电控制电路

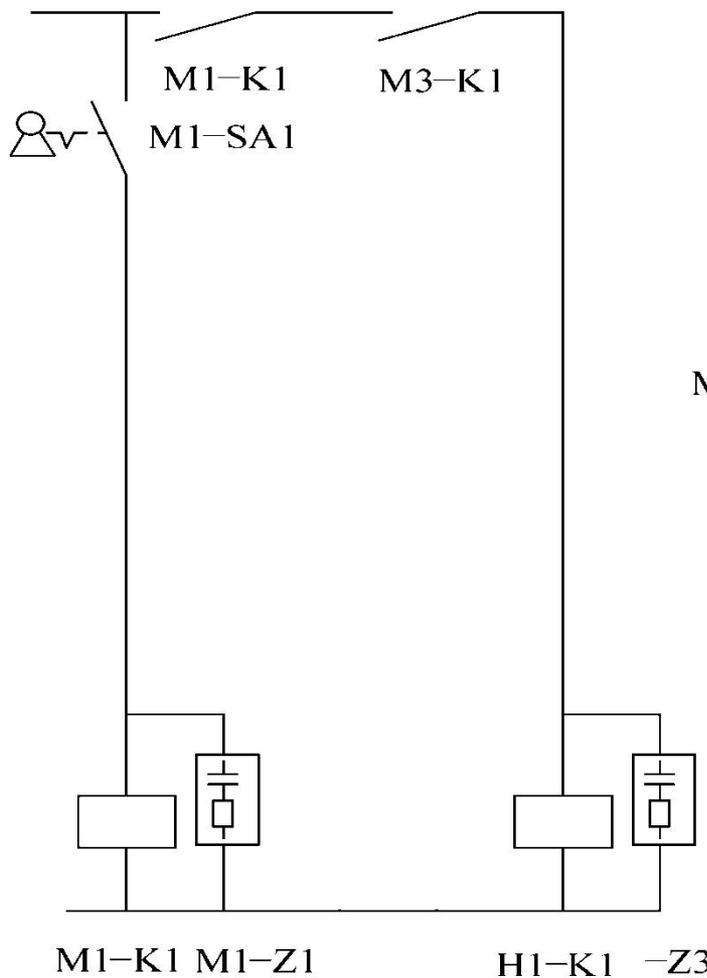
AC 220V 上电

主轴电源接通

CNC 启动/停止

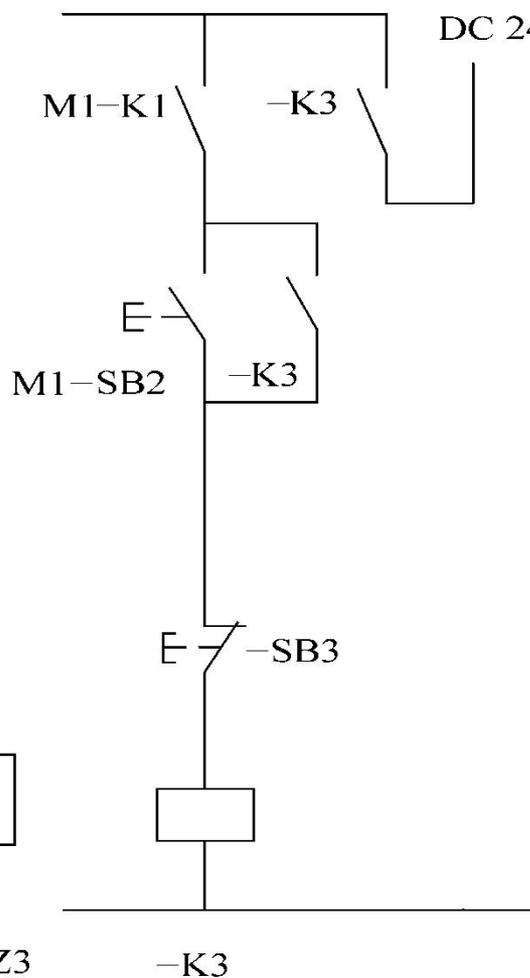
CNC 电源
I/O 电源

AC 220V



DC 24V

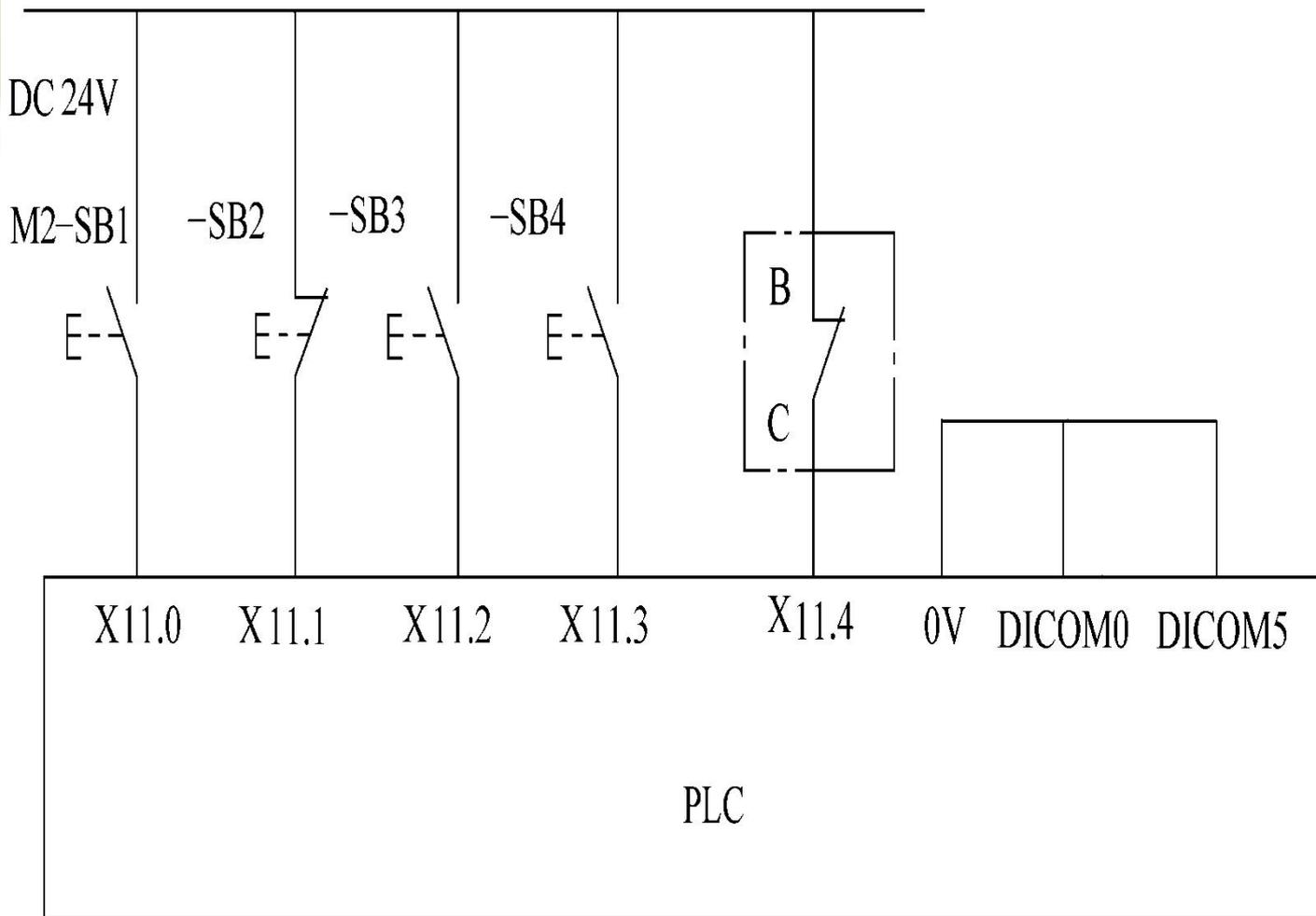
DC 24V



机床控制系统的安装与调试

电动机接通 电动机断开 循环启动 循环暂停 主轴报警

4. PLC 输入电路



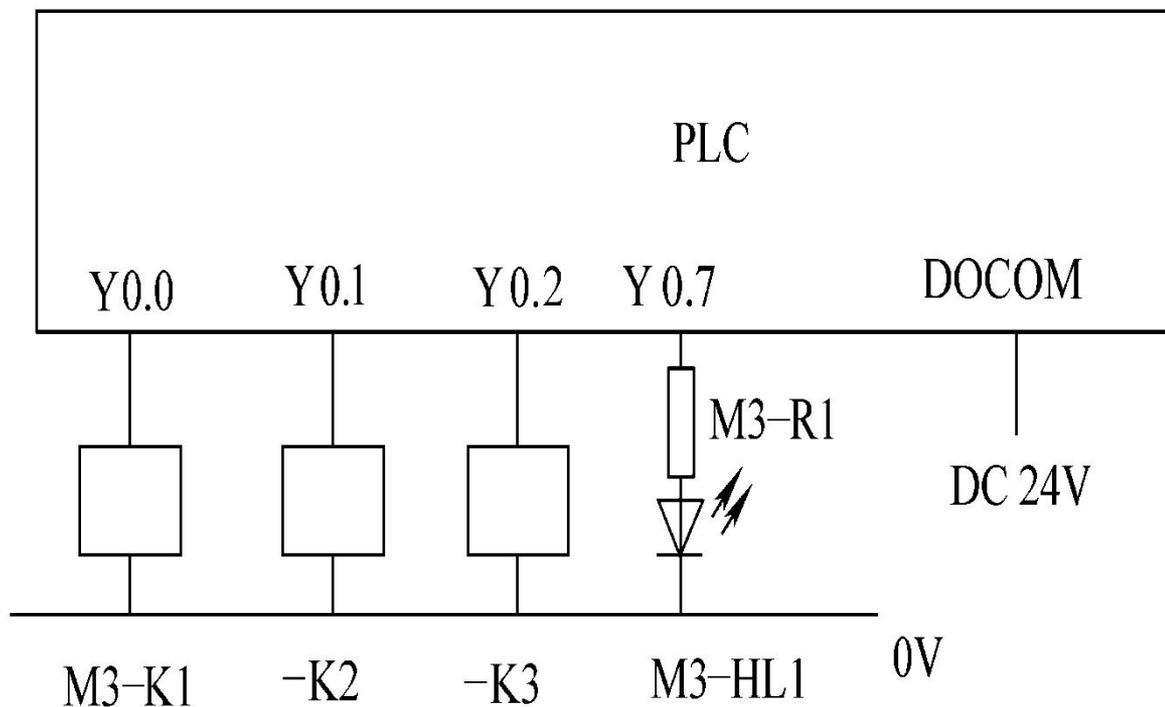
机床控制系统的安装与调试

5.

PLC

输出
电路

接通主轴电动机 主 轴 故障灯
 正转 反转



机床控制系统的安装与调试

安装、调试

- ❖ 认知主轴驱动系统，了解其组成与功能。
- ❖ 检查元器件的质量是否完好，按照图进行接线。
- ❖ 对照线路图检查是否掉线、错线，接线是否牢固。
学生自行检查和互检后，经指导老师检查后方可通电操作。

机床控制系统的安装与调试

- ❖ 设置变频器的参数，调试系统。

把Pr.79的值设置成2，执行外部操作；把Pr.30的值设置成1，扩大参数显示范围；由于数控系统输出电压一般为0~+/-10V，必须把Pr.73的值设置成1。

- ❖ 依次合上断路器M1-QF1、-QF2、-QF3、-QF4、-QF5、-QF6，然后接通钥匙开关M1-SA1，按下NC启动按钮。

- ❖ 在系统显示器上，输入M03或M04、M05指令，使主轴电机运行/停止。

- ❖ 进行断电操作，断电顺序与通电顺序相反。

