

《汽车发动机电控系统检修》电子教材

项目描述

一辆车由于电控点火系统工作不良导致发动机性能故障,需对电控点火系统各元件及控制电路进行检查,确定故障部位,并维修或更换。

任务 4.4 点火波形检测

学习目标

1. 能准确讲述点火系统的作用,并在发动机上指明点火系统主要部件所在位置。
2. 能准确讲述微机控制点火系统的类型。
3. 结合原理图能准确叙述各类微机控制点火系统的工作原理。
4. 能准确规范地完成点火线圈的诊断与检修。

任务描述

一辆 2013 款 1.6 自动挡科鲁兹轿车,发动机指示灯点亮并闪烁,发动机抖动强烈,对故障车进行检测,发现点火线圈故障,经维修处理后,车辆运行正常。

知识储备

一、点火系统的作用

点火系统是发动机管理系统的重要组成部分,如图 5-43 所示。其作用是将汽车电源提供的低压电转变为高压电,并按照发动机各缸的点火顺序和点火时刻的要求,适时准确地将高压电送至各缸的火花塞,使火花塞跳火,点燃气缸内的可燃混合气。

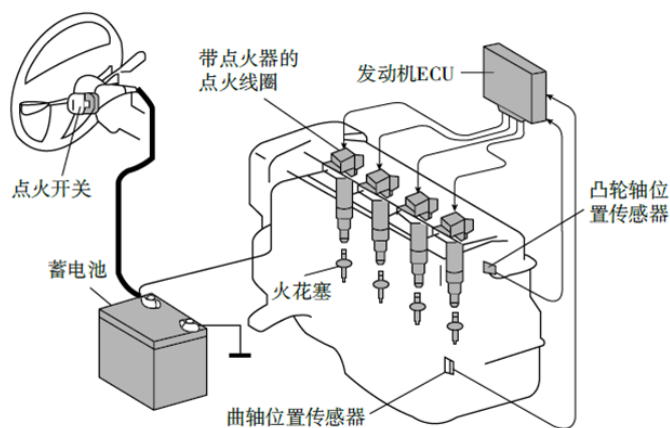


图 5-43 点火系统

二、发动机对点火系统的要求

- 1) 应能产生足以击穿火花塞间隙的电压。点火系统利用高压电击穿火花塞电极间隙而

产生电火花,为了确保发动机在工作时火花塞的电极间隙处能产生可靠电火花,要求点火系统必需能提供 10—30KV 的电压,但电压也不能过高,以免绝缘不良而产生漏电。

2) 电火花应具有足够的能量。要使可燃混合气可靠点燃,电火花必须具有一定的能量。可燃混合气压缩终了的温度已接近其自燃温度,所需的电火花能量很小(1—5mJ)。在发动机正常工作时,需要 10—50mJ 的电火花能量。但在发动机低温起动时,因可燃混合气雾化不良,需较高的电火花能量。为了保证发动机可靠点火,一般要求电火花的能量在 100mJ 以上。

3) 点火时刻应能适应发动机工况。点火系统应按发动机的工作顺序进行点火,如四缸发动机的点火顺序为 1—3—4—2,六缸发动机的点火顺序为 1—5—3—6—2—4,且必须在最佳时刻点火,使发动机发生的功率最大、油耗最低、排放污染最小。

4) 工作要可靠。点火系统除在正常的工作条件下工作可靠外,在一些特殊的条件下,如高温、低温、潮湿、高原等环境下可靠地工作。

三、点火系统的发展历程

1. 传统点火系统

在传统点火系统中,蓄电池或发电机供给 12V 低压电,经点火线圈和断电器转变为高压电,再经配电器分送到各缸火花塞,使火花塞电极间产生电火花。

发动机工作时,断电器轴连同凸轮一起在发动机凸轮轴的驱动下旋转。断电器凸轮转动时,断电器触点交替地闭合和打开,因此传统点火系统的工作原理可分为三个阶段:触点闭合,初级电流增长;触点断开,次级绕组产生高压;火花塞电极间火花放电。传统点火系统的工作原理如图 5-44 所示。

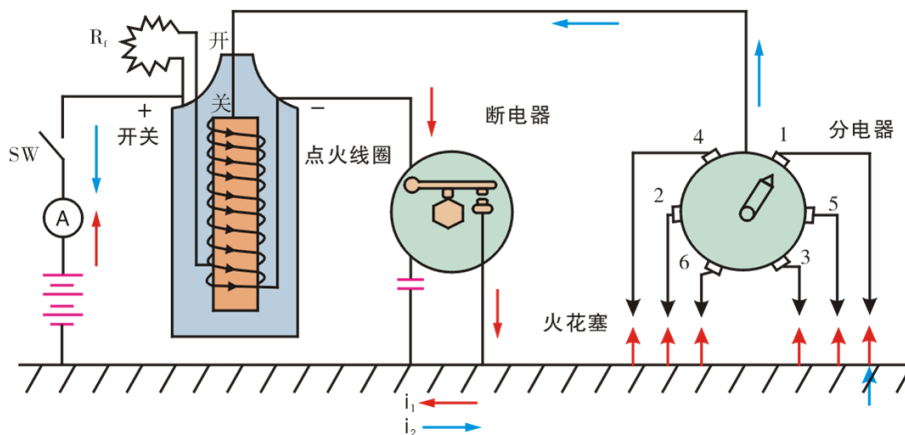


图 5-44 传统点火系统工作原理图

由于传统点火系统的分电器触点会发生氧化、烧蚀,需要定期保养,且触点的机械惯性

大，响应速度慢，因而性能不佳，已经被新型点火系统取代。

2. 电子点火系统

电子点火系统的电路和基本原理和传统点火系统大致相同，所不同的是电子点火系统将传统点火系统的触点改成了可以起到相同开关作用的三极管。利用触发信号使三极管接通或切断，产生初级电流的变化，从而产生点火的高压，如图 5-45 所示。三极管开关特性的特点，使得点火系统具有点火能量高、高低速点火性能稳定、次级电压上升快、对火花塞积碳不敏感、故障少、寿命长、对无线电干扰少等优点。

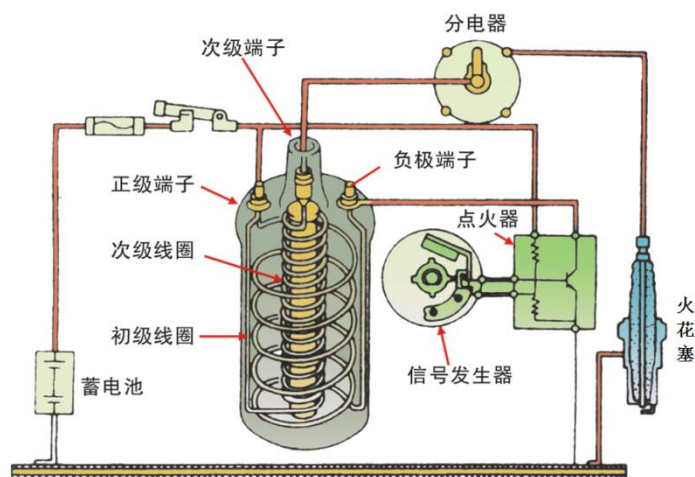


图 5-45 电子点火系统

由于信号发生器所发出的的信号不能直接控制三极管的导通与截止，因此在实际的点火电路中往往还有信号放大电路、信号整形电路及直流放大器。通常将信号的放大电路、整形电路、直流放大器及大功率三极管等单独做成一个整体，称为点火模块（或点火器）。

点火系统工作时，信号发生器产生出点火电压信号，将信号送入点火模块，点火模块将点火信号放大、整形、直流放大，控制大功率三极管的导通与截止。接通与切断初级电路，完成点火功能。

3. 微机控制点火系统

在微机控制控制点火系统中，微机控制点火提前装置取代了传统的点火提前机构（真空及离心提前机构），并开始利用发动机电子控制单元控制点火提前角，如图 5-46 所示。

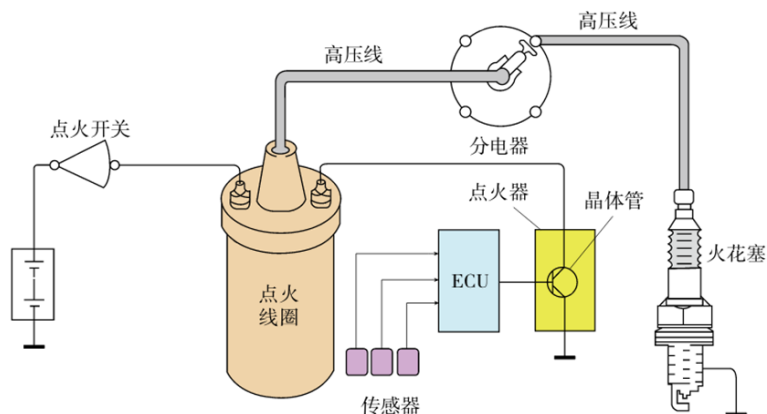


图 5-46 微机控制点火系统

随着微机技术的发展,汽车上开始应用微机控制点火。该系统在电子点火系统的基础上,采用微机来控制点火提前角和闭合角,使发动机处于最佳点火状态,从而大大改善了排放污染和油耗等指标。部分微机控制点火系统仍采用分电器,但在系统中,分电器只起到高压电的分配作用,取消了离心提前和真空提前机械机构。

点火正时的控制思路:微机根据曲轴位置传感器提供的曲轴位置信号,判断出发动机各缸的活塞上止点位置,并由这些脉冲信号计算出发动机转速值,再通过燃油喷射系统的节气门位置传感器或空气流量传感器确定出负载大小。根据发动机转速和负荷大小,微机从存储单元中查出此工况的点火提前角和初级导通时间,根据这些数据对点火进行控制。从而实现点火系统的精确控制。

四、微机控制点火系统的组成

微机控制点火系统是如今广泛采用的一种点火系统,主要由与点火有关的各种传感器、电子控制单元(ECU)、点火器、点火线圈、高压线、火花塞等。如图 5-47 所示。

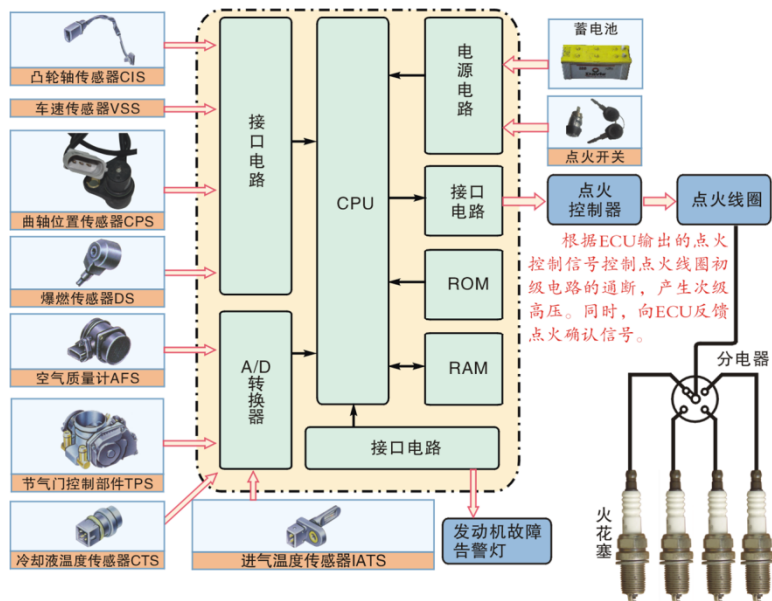


图 5-47 微机控制油分电器式点火系统的组成

与点火有关的各种传感器：用来检测与点火有关的发动机工况信息，并将信息输入电子控制单元，作为运算和控制点火时刻的依据。

电子控制单元（ECU）：本身就是一台微机，它是微机控制点火系统的核心，在点火系统工作时，接受签署各种传感器传来的信号，按照特定的程序进行判断，运算后，给点火器输出最佳点火提前角和点火初级电路导通时间的控制信号。

点火器：是微机控制点火系统的执行器之一，主要作用是根据电子控制单元的指令，通过内部的大功率晶体管的导通和截止，控制一次电流的通断，完成点火工作。

点火线圈：主要由初级线圈和次级线圈组成，将低压电转变为能击穿火花塞电极间隙的高压电。点火线圈和点火器往往配套设计、配套使用的，如果将不配套的点火线圈和点火器一起使用，有可能造成点火线圈和点火器的损坏。在无分电器微机控制点火系统中，点火线圈和点火器做成了一个整体，整体统称“点火线圈”。点火线圈的内部结构和工作原理如图 5-48 所示，在点火线圈的铁芯上绕有初级绕组和次级绕组，次级绕组的匝数大约是初级绕组匝数的 100 倍（如初级线圈为 300 匝时，次级绕组为 30000 匝），初级绕组与蓄电池和点火器连接，次级绕组与火花塞连接。当点火器控制切断初级绕组的电流时，初级绕组产生的自感电动势为 500V 左右，次级绕组则产生 30000V 左右的互感电动势。

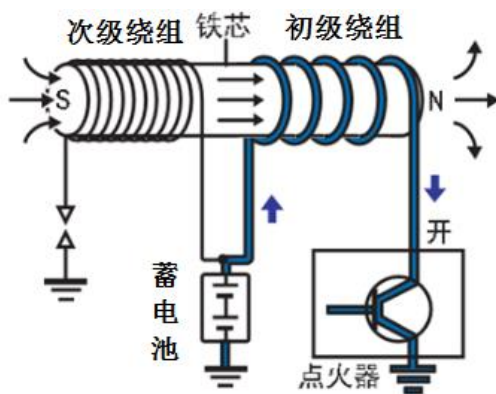


图 5-48 点火线圈的内部结构和工作原理

高压线：将点火线圈次级产生的高压电传送给火花塞。

火花塞：将点火线圈产生的高压电引入发动机的燃烧室内，通过本身的间隙产生电火花放电，点燃可燃混合气。火花塞的工作条件十分恶劣，它受到高温、高压及燃烧产物腐蚀的作用，因此，火花塞必须具有足够的强度、良好的绝缘性和耐腐蚀性，能够承受温度的剧烈变化，要有合适的热特性。

五、微机控制点火系统的分类

微机控制点火系统按是否保留分电器（实质上是指配电器）可分为有分电器微机控制点火系统和无分电器微机控制点火系统。

1. 有分电器微机控制点火系统

仍保留分电器的微机控制点火系统称为非直接点火系，该系统中，点火线圈产生的高压电是经过分电器中的配电器进行分配的，即由分火头和分电器盖组成的配电器依据点火顺序适时地将高压电分配至各气缸，使各缸火花塞依次点火。凌志 LS400、桑塔纳 2000 的 AFE 发动机等采用了这种点火方式，如图 5-49 所示。

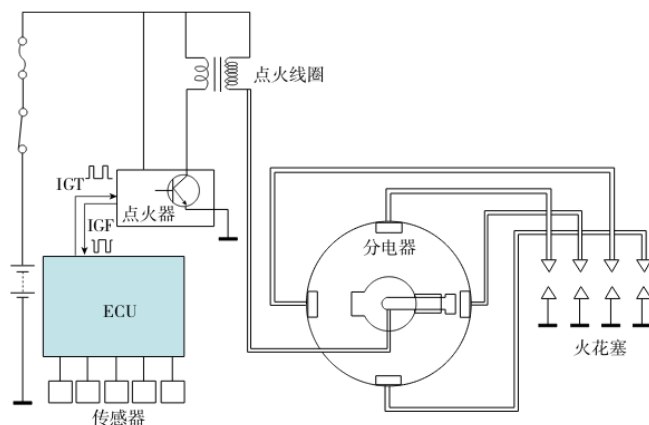


图 5-49 有分电器微机控制点火系统

有分电器微机控制点火系统只有一个点火线圈，ECU 根据各传感器信号确定某缸点火时，向点火器发出指令信号（IGT 信号），点火器则根据 ECU 的指令控制点火线圈内初级电路通电或断电。当点火线圈中的初级电路断电时，次级线圈产生的高压电经分电器输送到点火缸的火花塞，以实现点火。

有分电器微机控制点火系统工作原理图如图 5-50 所示。点火开关接通 IG2 时，点火器、点火线圈和 ECU 通电，ECU 根据各种传感器输入的信号，确定出发动机最佳点火时刻，向点火器发出触发点火信号“IGT”，切断初级电路，使次级绕组感应出高压电经分电器送至各缸火花塞。发动机每点一次火，点火器向 ECU 反馈一个点火确认信号“IGF”，作为自诊断系统监控信号。若 ECU 连续四次没有收到“IGF”信号，即判定点火系统出现故障。

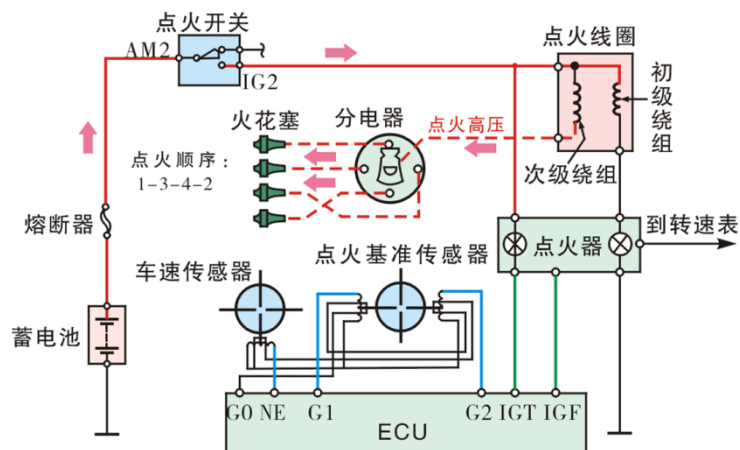


图 5-50 有分电器微机控制点火系统工作原理图

有分电器微机控制点火系统工作时，分火头与分电器盖之间有一定间隙，在高压电跳过这一间隙时必然要产生火花，它不但浪费电能，也是干扰电脑工作的干扰源之一。随着无分电器微机控制点火系统的出现，有分电器微机控制点火系统已趋于淘汰。

2. 无分电器微机控制点火系统

无分电器微机控制点火系统去掉了传统的分电器（主要指配电器），称为直接点火系统，如图 5-51 所示。工作时，点火线圈产生的高压电直接送至各火花塞，由微机根据各传感器输入的信息，依照发动机的点火顺序，适时地控制各缸火花塞点火。

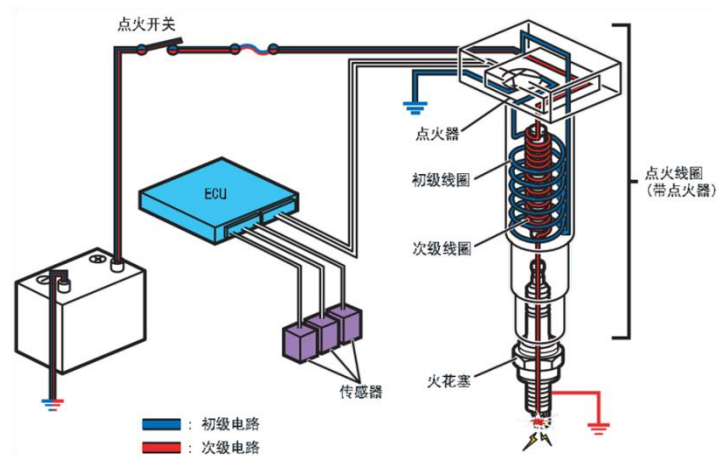


图 5-51 无分电器微机控制点火系统

无分电器微机控制点火系统按点火方式可分为独立点火方式和同时点火方式两种方式，

(1) 独立点火方式 独立点火方式有两种类型：一种是点火线圈共用一个点火器；另一种是每个点火线圈都有一个单独的点火器，并且点火器和点火线圈集成一体，称为“集成点火线圈”（一般统称点火线圈），如图 5-52 所示。

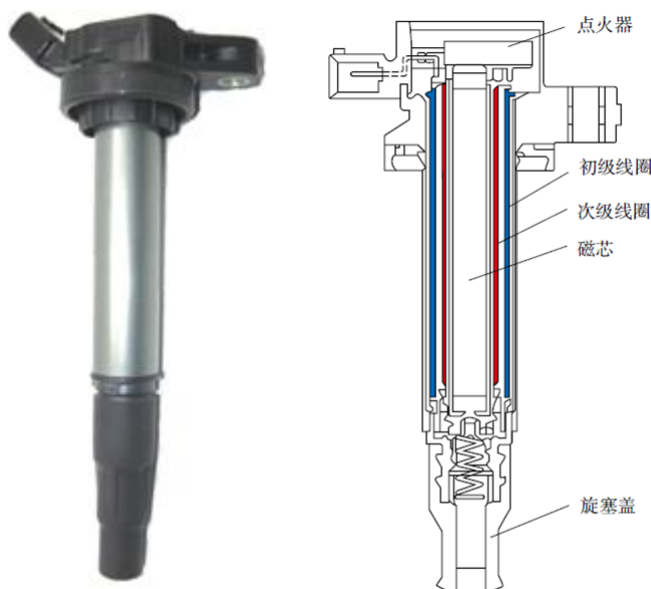


图 5-52 集成点火线圈

独立点火方式是每缸一个点火线圈，点火线圈的数量与汽缸数相同，点火线圈安装在火花塞的上方，取消了高压线，由点火线圈直接向火花塞供电。发动机工作时，ECU 按各缸工作顺序向点火器发出点火信号，点火器内相应的晶体管截止，使对应气缸点火线圈初级绕组断开，在次级绕组上感应出高压，火花塞产生电火花，点燃可燃混合气。这也是目前点火系统发展的最高阶段，直接点火可使高压电能的传递损失和对无线电的干扰降到最低水平，如图 5-53 所示。

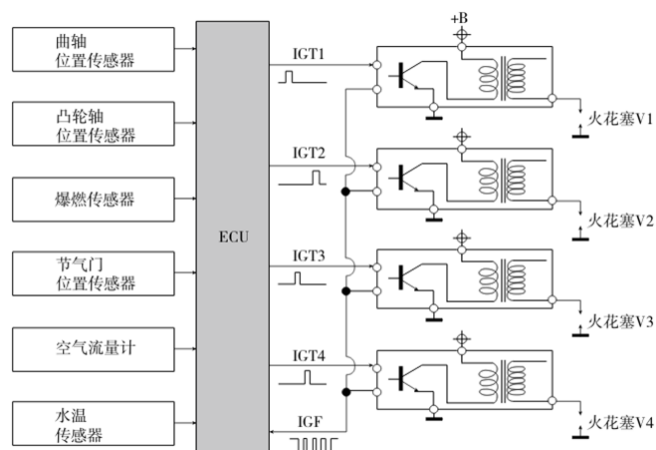


图 5-53 独立点火方式

独立点火方式的优点是：由于各缸都有各自独立的点火线圈，即使发动机转速很高，点火线圈也有较长的通电时间，可提供足够高的点火能量；由于去除了高压分电器中的电火花，要求的点火电压会降低一些，单位时间内通过点火线圈初级电路的电流要小得多，点火线圈不易发热，且点火线圈的体积又可以非常小，点火线圈可直接装在火花塞上面；由于该种点

火系统已不需要分高压线了，避免了对 ECU 信号的电磁干扰，消除了干扰源；发动机 ECU 可一缸接一缸地改变点火正时，对爆燃传感器发出的信号能及时作出响应。

(2) 同时点火方式 对同时点火方式，按配电方式又分为点火线圈分配式和二极管分配式两种方式。

1) 点火线圈分配式。

点火线圈分配式是一种直接用点火线圈分配高压电的同时点火方式。几个相互屏蔽的、结构独立的点火线圈组合成一体，称为点火线圈组件。

点火线圈分配式的电路原理如图 5-54 所示，点火线圈组件由两个（四缸发动机）或三个（六缸发动机）独立的点火线圈，每个点火线圈供给成对的两个火花塞工作（四缸发动机的 1、4 缸和 2、3 缸分别共用一个点火线圈；六缸发动机 1、6 缸、2、5 缸和 3、4 缸分别共用一个点火线圈）。点火器中配有与点火线圈数量相等的功率三极管，分别控制一个点火线圈工作。点火器根据电子控制单元输出的点火控制信号，按点火顺序触发功率三极管导通、截止，从而控制每个点火线圈轮流产生高压电，再通过高压线直接输送到成对的两缸火花塞电极间隙上跳火，点燃可燃混合气。

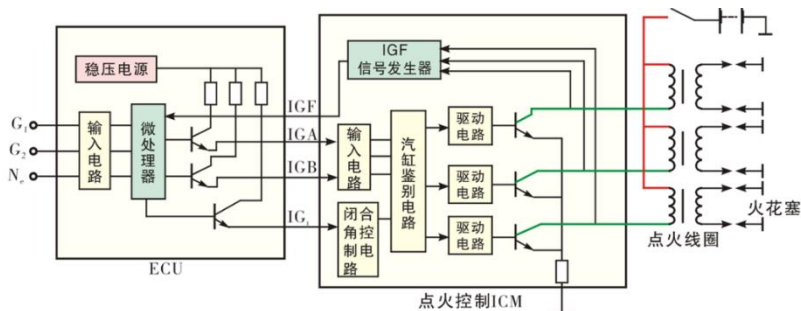


图 5-54 点火线圈分配式的电路原理图

2) 二极管分配式。

二极管分配式是利用二极管的单向导通特性，对点火线圈产生的高压电进行分配的同时点火方式。点火线圈又两个初级绕组和一个次级绕组构成，次级绕组的两端通过四只高压二极管与火花塞构成回路。四只二极管有内装式（安装在点火线圈内部）和外装式两种。对于点火顺序为 1—3—4—2 的发动机，1、4 缸为一组，2、3 缸为另一组。点火器中的两只功率三极管分别控制一个初级绕组，两只功率三极管由电子控制单元按点火顺序交替控制其导通与截止。

二极管分配式的电路原理如图 5-55 所示，当电子控制单元将 1、4 缸的点火触发信号输入点火器时，功率三极管 VT1 截止，初级绕组 A 中的电流切断，次级绕组中就会产生高压电

动势，方向如图 5-3-13 中实线箭头方向所示。在该电动势的作用下，二极管 D1、D4 正向导通，1、4 缸火花塞电极上的电压迅速升高直至跳火，高压放电电流经图中实线箭头所指方向构成回路；D2、D3 反向截止，不能构成放电回路，因此，2、3 缸火花塞电极上无高压火花放电电流而不能跳火。当电子控制单元将 2、3 缸点火触发信号输入点火器时，三极管 VT2 截止，初级绕组 B 中电流切断，次级绕组产生高压电动势，方向如图中虚线箭头方向所示。此时，二极管 D1、D4 反向截止，D2、D3 正向导通，因此，2、3 缸火花塞电极上的电压迅速升高直至跳火，高压放电电流经图中虚线箭头所指方向构成回路。

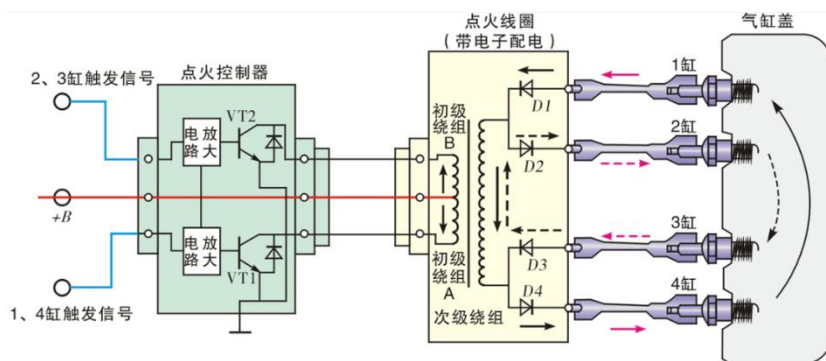


图 5-55 二极管分配式的电路原理图

无分电器微机控制点火系统显得更优越些，除具有一般微机控制点火系统的优点外，还具有以下优点：

①由于无机械分电器，不存在分火头和旁电极间跳火问题，同时减少了高压导线，因而能量损失明显减小，其机械磨损和发生故障的机会也同时减少。特别是单独点火方式已不设高压导线，各缸的点火线圈和火花塞一般均由金属包覆，其电磁干扰大大减小。

②由于废除了分电器，因此节省了安装空间，特别是独立点火方式，又恰当地将点火线圈装在双凸轮轴中间，充分李永乐有限空间，这对小轿车发动机室的合理布置有着特别重要的意义。

③独立点火方式采用了与汽缸数相同的特制点火线圈，由于该点火线圈充电速率快，线圈充电时间短，因而能在高达 9000r/min 的宽广转速范围内提供足够的点火能量和高电压。

任务实施

解析 1 科鲁兹轿车点火线圈

以雪佛兰 2013 款科鲁兹发动机采用的点火线圈的检测为例，加以说明，图 5-56 为其实物图。



图 5-56 点火线圈实物图

解析 2 科鲁兹轿车喷油器电路图解读

图 5-57 为点火线圈系统电路图。

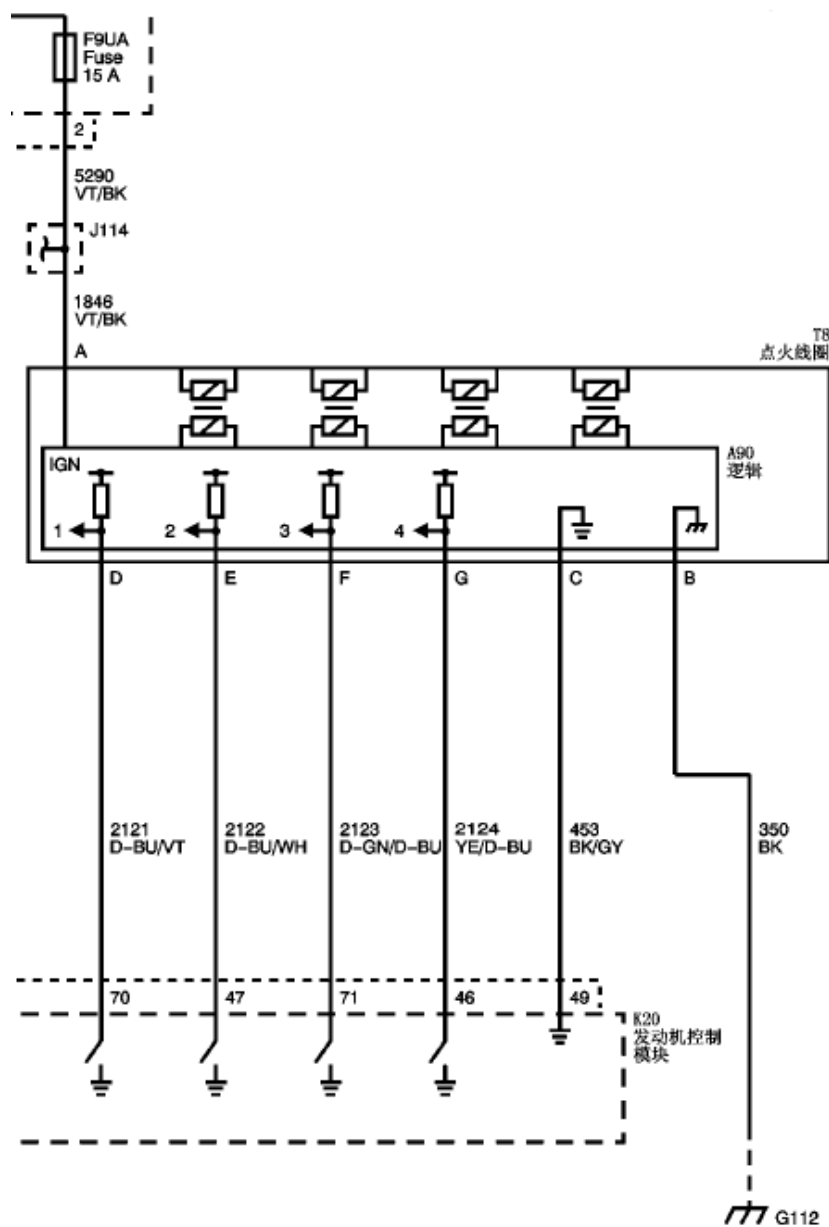


图 5-57 点火线圈系统电路图

发动机点火系统采用一个点火线圈模块。发动机控制模块(ECM)通过单独的点火线圈控制电路,控制每个气缸的点火事件。当发动机控制模块指令点火控制电路通电时,电流将流经点火线圈的初级绕组,形成一个磁场。当点火事件被请求时,发动机控制模块将指令点火控制电路断开,阻止电流流经初级绕组。由初级绕组形成的磁场穿过次级线圈绕组时减弱,产生一个穿过火花塞电极的高压。发动机控制模块使用来自曲轴位置(CKP)传感器、凸轮轴位置(CMP)传感器的信息,来控制点火事件的顺序及正时。发动机控制模块监测每个点火控制电路上的异常电平。点火线圈模块具有以下电路:一个点火电压电路、一个搭铁、每个气缸点火线圈所对应的一个点火线圈控制电路、一个低电平参考电压电路。

A 号线: 点火电压电路

B 号线: 搭铁电路

C 号线：低电平参考电压电路 D 号线：点火控制电路

科鲁兹轿车点火线圈维修过程

- 1) 读取静态故障码、冻结帧和数据流。
- 2) 检查点火线圈的安装状态。
- 3) 确认故障症状。起动发动机前，确认车辆周围环境是否安全。起动发动机时，观察起动状况，确认故障症状并记录症状现象。
- 4) 动态下再次读取故障码、冻结帧和数据流。
- 5) 将点火开关置于“OFF（关闭）”位置并关闭所有车辆系统，断开 T8 点火线圈模块处的线束连接器。可能需要 2 分钟才能让所有车辆系统断电。测试搭铁电路端子 B 和搭铁之间的电阻是否小于 5 欧。

如果等于或高于 5 欧，如图 5-58 所示（图中数值为无穷大），将点火开关置于“OFF（关闭）”位置。测试搭铁电路端对端的电阻是否小于 2 欧。如果为 2 欧或更大，则修理电路中的开路/电阻过大故障（断路故障）。如果小于 2 欧，如图 5-59 所示（图中数值为 0.5 Ω），则修理搭铁连接中的开路/电阻过大故障（接触不良故障）。



图 5-58 搭铁电路检查

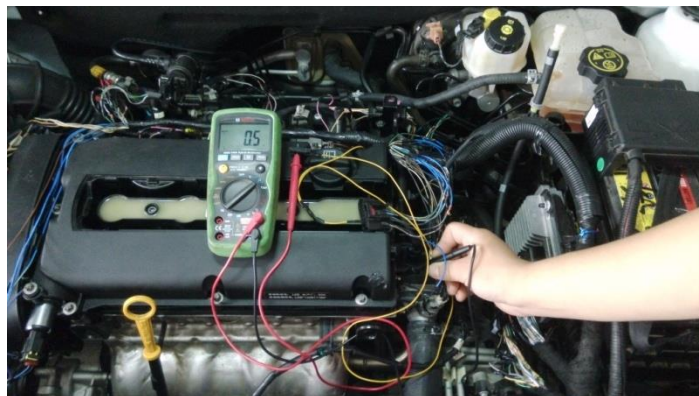


图 5-59 线路断路检查

6) 如果小于 5 欧, 测试低电平参考电压电路端子 C 和搭铁之间的电阻是否小于 5 欧。

如果等于或高于 5 欧, 将点火开关置于“OFF (关闭)”位置, 断开蓄电池负极接线柱, 断开 K20 发动机控制模块的线束连接器 X2, 测试低电平参考电压端对端的电阻是否小于 2 欧。如果为 2 欧或更大, 如图 5-60 所示 (图中数值为无穷大), 则修理电路中的开路/电阻过大故障 (断路故障)。如果小于 2 欧, 则更换 K20 发动机控制模块。



图 5-60 线路断路检查

7) 如果小于 5 欧, 将点火开关置于“ON (打开)”位置, 确认点火电路端子 A 和搭铁之间的测试灯点亮。

如果测试灯未点亮, 则电路保险丝状态良好, 如图 5-61 所示 (图中数值为 0.4Ω), 将点火开关置于“OFF (关闭)”位置, 拆下测试灯。测试点火电路端对端的电阻是否小于 2 欧。如果为 2 欧或更大, 则修理电路中的开路/电阻过大故障 (断路故障)。如果小于 2 欧, 如图 5-62 所示 (图中数值为 0.8Ω), 则确认保险丝未熔断且保险丝处有电压。



图 5-61 点火电压电路及保险丝检查

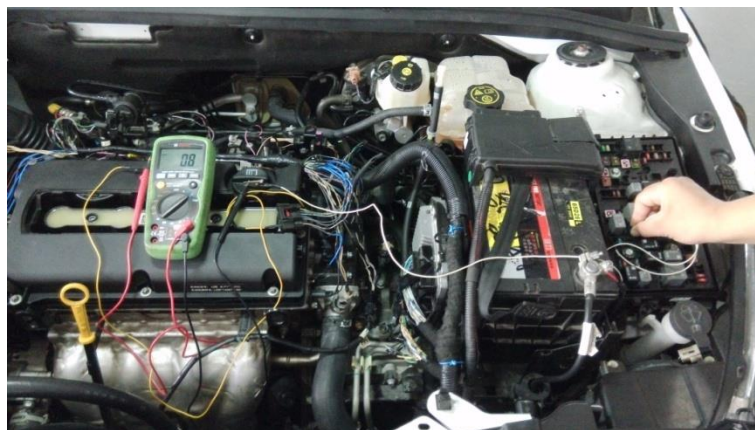


图 5-62 线路断路检查

如果测试灯未点亮，则电路保险丝熔断，如图 5-63 所示（图中数值为无穷大），将点火开关置于“OFF（关闭）”位置，拆下测试灯。测试点火电路和搭铁之间的电阻是否为无穷大。如果电阻不为无穷大，则修理电路上的对搭铁短路故障。如果电阻为无穷大，如图 5-64 所示（图中数值为无穷大），则更换 T8 点火线圈模块。



图 5-63 保险丝检查



图 5-64 线路短路检查

8) 如果测试灯点亮，断开相应的 Q17 喷油器处的线束连接器。将数字式万用表连接在下列相应的点火控制电路和搭铁之间：点火线圈 1 端子 D、点火线圈 2 端子 E、点火线圈 3

端子 F、点火线圈 4 端子 G，测试在发动机起动期间读数是否大于 1.5 赫兹。

如果小于 1.5 赫兹，将点火开关置于“OFF（关闭）”位置，断开蓄电池负极接线柱，断开 K20 发动机控制模块的线束连接器 X2。测试控制电路和搭铁之间的电阻是否为无穷大。如果电阻不为无穷大，则修理电路上的对搭铁短路故障。如果电阻为无穷大，如图 5-65 所示（图中数值为无穷大），测试控制电路端对端的电阻是否小于 2 欧。如果为 2 欧或更大，则修理电路中的开路/电阻过大故障（断路故障）。如果小于 2 欧，如图 5-66 所示（图中数值为 0.6Ω ），将点火开关置于“ON（打开）”位置。测试控制电路和搭铁之间的电压是否低于 1V。如果是 1V 或更高，则修理电路上的对电压短路故障。如果低于 1V，则更换 K20 发动机控制模块。



图 5-65 线路短路检查

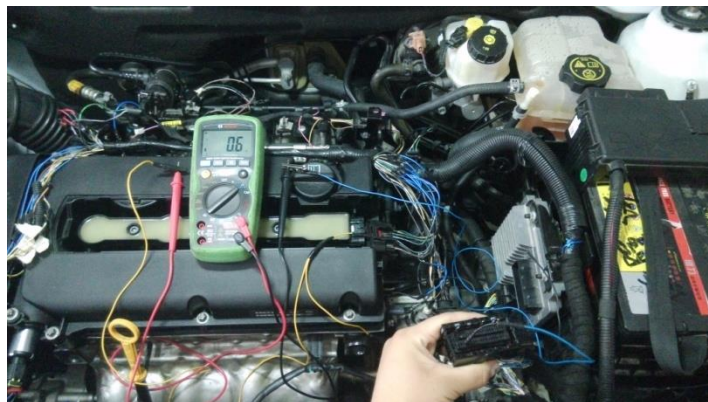


图 5-66 线路断路检查

9) 如果大于 1.5 赫兹，如图 5-67 所示（图中数值为 $0.059\text{K}\Omega$ ），更换 T8 点火线圈模块。

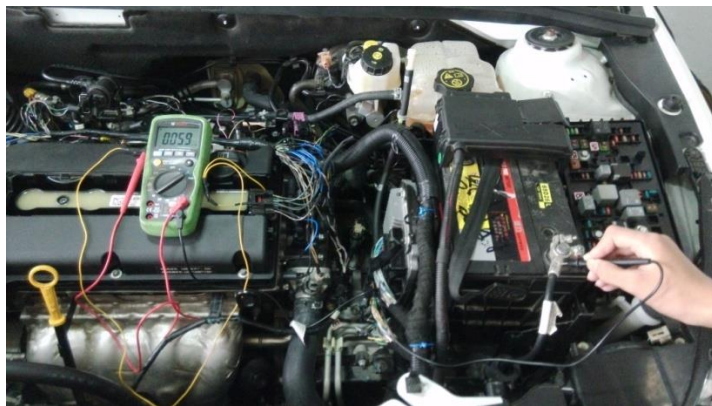


图 5-67 点火控制电路检查

10) 修复后再次检查故障码和数据流。

任务评价

表 5-6 任务评价表

任务名称	点火线圈的故障诊断与检修	姓名		日期	
序号	评价内容	要求	分值	自评	互评
1	讲述点火系统的作用，并在发动机上指明点火系统主要部件所在位置	表达清楚准确	20		
2	讲述微机控制点火系统的类型	表达清楚准确	20		
3	结合原理图叙述各类微机控制点火系统的工作原理	原理图解析要清楚，思路要清晰	20		
4	操作完成点火线圈的诊断与检修	思路清晰，操作规范	20		
5	操作过程 5S	工具摆放，场地整理按 5S 要求	20		
6	总分				
教师评语					

课后测评

一、填空题

- 点火系统的发展历程为_____、_____、_____。
- 电子点火系统的电路和基本原理和传统点火系统大致相同，所不同的是电子点火系统将传统点火系统的_____改成了可以起到相同开关作用的_____。

3. 微机控制点火系统是如今广泛采用的一种点火系统，主要由与点火有关的各种传感器、_____、_____、_____、_____、火花塞等。

4. _____将点火线圈次级产生的高压电传送给火花塞。

5. 微机控制点火系统按是否保留分电器可分为_____和_____。

6. 无分电器微机控制点火系统按点火方式可分为_____和_____两种方式。

7. 同时点火方式，按配电方式又分为_____和_____两种方式。

二、简答题

1. 点火系统的作用？

2. 点火线圈的组成及作用？

3. 独立点火方式的工作原理？

任务四 电子点火提前角的故障诊断与检修

学习目标

1. 能准确讲述影响点火提前角的因素。
2. 能准确讲述控制点火提前角的基本方法。
3. 能准确讲述通电时间的控制方法。
4. 能准确规范地完成爆燃传感器的诊断与检修。

任务描述

一辆 2010 款 1.6 自动挡卡罗拉轿车，发动机指示灯点亮，对故障车进行检测，发现爆震传感器故障，经维修处理后，车辆运行正常。

知识储备

要保证正确的点火正时，必须对点火提前角（点火正时）进行控制；为了获得强烈的火花，必须对通电时间（闭合角）进行控制；此外，为了避免发生爆燃，还要进行防爆燃控制。所以，点火系统必须进行下列三方面的控制：点火提前角（点火正时）控制、通电时间（闭合角）控制、爆燃控制。

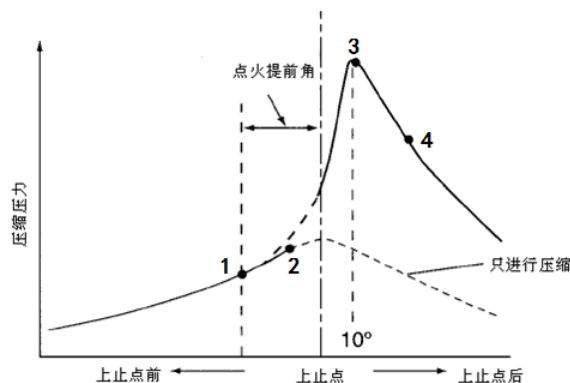
一、点火提前角控制

汽油机点火系统电子控制的核心问题是点火提前角电子控制（ESA）。点火提前角对发动机动力性、经济性和排放有十分重要的影响，是继燃油喷射量控制之后的第二个必不可少的控制参数，应根据发动机负荷和转速加以优化。

1. 点火提前角对发动机性能的影响

点火提前角是从火花塞发出电火花，到该缸活塞运行至压缩上止点时曲轴转过的角度。

如图 5-68 所示。



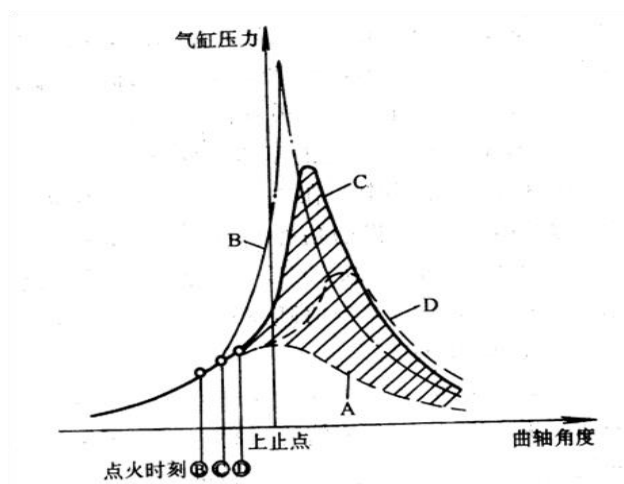
1—点火 2—开始燃烧（火焰开始传播） 3—最大燃烧压力 4—燃烧结束

图 5-68 点火提前角

对应于发动机每一工况都存在一个“最佳”点火提前角，对于现代汽车而言，最佳的点火提前角不仅保证发动机的动力性和燃油经济性都达到最佳值，还必须保证排放污染最小。

点火提前角过大（点火过早），则大部分混合气在压缩过程中燃烧，活塞所消耗的压缩功增加，且缸内最高压力升高，末端混合气自燃所需的时间缩短，爆燃倾向增大。

点火提前角过小（点火过迟），则燃烧延长至膨胀过程，燃烧最高压力和温度下降，传热损失增多，排气温度升高，功率、热效率降低，但爆燃倾向减小，NO_x 排放量降低。试验证明，最佳的点火提前角，应使发动机气缸内的最高压力出现在上止点后 10°—15°。适当的点火提前角，可使发动机每循环所做的机械功最多（曲线 3 下阴影部分），如图 5-69 所示。



A—不点火 B—点火过早 C—点火适当 D—点火过迟

图 5-69 点火提前角对发动机性能的影响

2. 影响点火提前角的因素

不同发动机有不同的最佳点火提前角，而且同一发动机在不同工况和不同使用条件下的最佳点火提前角也不相同。影响最佳点火提前角的因素主要有：发动机转速、发动机负荷、燃油辛烷值、其他因素。

(1) 发动机转速 点火提前角应随发动机转速升高而增大。因为随发动机转速的提高，以秒计的燃烧过程所需时间缩短，但燃烧过程所占的曲轴转角增大，为保证发动机气缸内的最高压力出现在上止点后 10°—15° 的最佳位置，就必须适当提前点火（即增大点火提前角），如图 5-70 所示。与采用机械式离心提前器的传统点火系统相比，采用 ESA 点火系统，可以使发动机的实际点火提前角接近于理想的点火提前角。

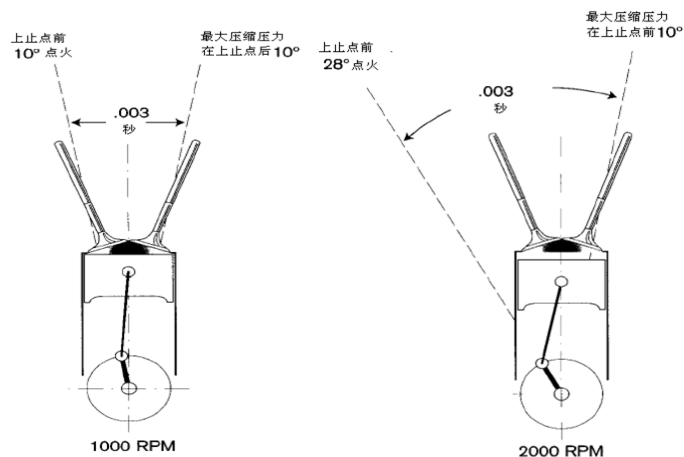


图 5-70 转速变化时点火提前角的变化趋势

(2) 发动机负荷 点火提前角随着发动机负荷的增大而减小，汽油发动机的负荷调节是通过节气门进行的量调节，随着负荷的减小，进气管真空度增大，进气量减少，气缸内的温度和压力均降低，燃烧速度变慢，燃烧过程所占的曲轴转角增大，应适当增大点火提前角。与采用真空提前器的传统点火系统相比，采用 ESA 点火系统时，可以使发动机的实际点火提前角接近于理想的点火提前角。

(3) 燃油辛烷值 汽油的辛烷值越高，抗爆性越好，点火提前角可适当增大；辛烷值越低，点火提前角则应相应减小，否则容易产生爆燃。有的发动机在发动机控制模块（ECU）中存储了两张点火正时图，在实际使用中，可根据使用的燃料不同进行选择，在出厂时一般开关设定在无铅优质汽油的位置。

(4) 其他因素 除以上因素外，最佳点火提前角还与发动机燃烧室结构、燃烧室内温度、空燃比、大气压力、冷却液温度等因素有关。空燃比增大，缸内燃烧温度下降、大气压力下降及冷却液温度降低时，点火提前角应增大。在传统点火系统中，当上述因素变化时，系统无法对点火提前角进行调整，而微机控制点火系统能综合地考虑发动机工况的变化和运行条件，选择最佳的点火提前角，不仅能保证发动机的动力性和燃油经济性都达到最佳值，还能使排放污染最小。

3. 控制点火提前角的基本方法

点火提前角控制可分为起动时点火提前角控制和起动后点火提前角控制。

(1) 起动时点火提前角控制 发动机起动时，按 ECU 内存储的初始点火提前角（设定值）对点火提前角进行控制。起动时点火提前角的设定值随发动机而异，对一定的发动机而言，起动时的点火提前角是固定的，一般为 10° 。在发动机起动过程中，发动机转速变化大，且由于转速较低（一般低于 $500\text{r}/\text{min}$ ）。进气管绝对压力传感器信号或空气流量计信号

不稳定，ECU 无法正确计算点火提前角，一般将点火时刻固定在设定的初始点火提前角。此时的控制信号为发动机转速信号（Ne）和起动开关信号（STA）

（2）起动后点火提前角控制 发动机起动后，电控点火系统对点火正时实行最佳点火提前角控制。最佳点火提前角的基本控制过程是：首先，ECU 根据发动机转速和负荷（空气流量、进气压力或节气门信号）确定基本点火提前角。然后，根据有关传感器的信号，确定修正点火提前角。这两项点火提前角的代数和，再加上作为计算基准的初始点火提前角，得到实际的最佳点火提前角，如图 5-71 所示，实际最佳点火提前角可用下式表达。

实际最佳点火提前角=初始点火提前角+基本点火提前角+修正点火提前角

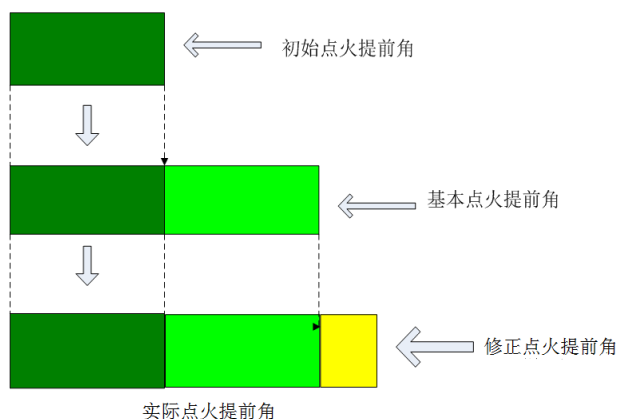


图 5-71 点火提前角的计算

1) 初始点火提前角。当发动机转速小于或等于某一转速（如 500r/min）时，发动机 ECU 认为发动机正在起动。这时，由于转速低，进入发动机的空气量或进气歧管压力不稳定，点火提前角应采取定值控制法。该角度为一固定值。是发动机出厂时便有的点火提前量，任何工况都保持恒定，其值大约为 10° 。

2) 基本点火提前角。发动机设计的最佳基本点火提前角的数据存储在发动机控制模块的存储器中，发动机运行时，发动机控制模块（ECU）根据各种传感器的输入信号，在存储器中查找到这一工况条件下运转时相应的基本点火提前角。基本点火提前角根据发动机运行工况可分为：怠速工况基本点火提前角和非怠速工况基本点火提前角。

怠速工况基本点火提前角控制 发动机处于怠速工况时，ECU 根据节气门位置传感器信号确认发动机处于怠速运行工况，然后根据发动机转速信号、空调开关信号。从预先设定的怠速工况基本点火提前角数据表中选出相应的点火提前角，如图 5-72 所示。

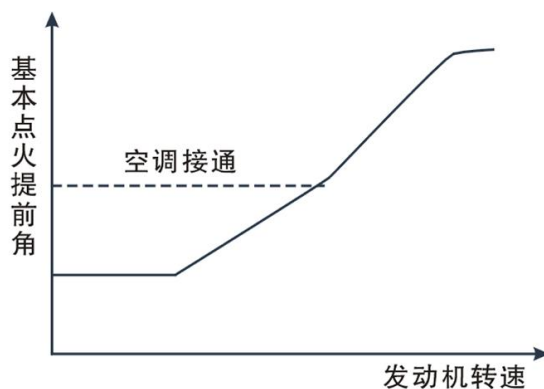


图 5-72 怠速工况的基本点火提前角控制

非怠速工况点火提前角控制 发动机处于非怠速工况运行时，ECU 根据发动机转速信号、负荷（空气流量、进气压力或节气门开度）信号，从预先设定的非怠速工况基本点火提前角数据表（也称点火提前角脉谱图 MAP）选出相应的基本点火提前角，如图 5-73 所示。

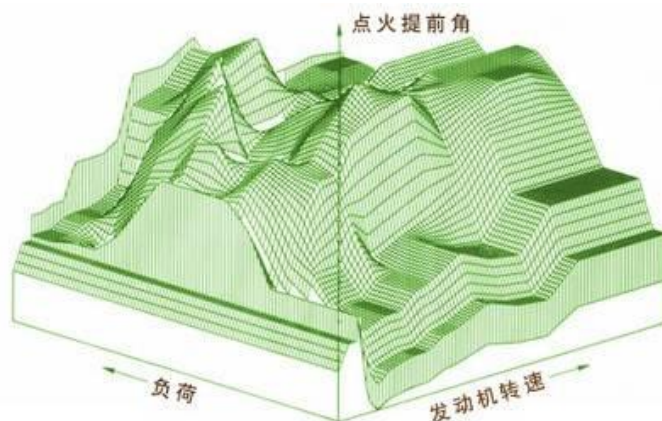


图 5-73 非怠速工况的基本点火提前角控制

基本点火提前角是发动机转速和负荷的函数，呈现十分复杂的变化关系，虽然要遵循“转速越高，点火越早”的趋势，但在有时高负荷区反而要回落，通常通过试验的方法来建立此模型，基本点火提前角以 MAP 的形式存于电控单元 ECU 的存储器中。发动机工作时，电控单元根据转速和进气压力等信息，从预先存储在 ECU 存储器中的数据表中查出相应工况的基本点火提前角。

3) 修正点火提前角。修正点火提前角是指发动机工作条件变化时对点火提前角进行修正的量。除了转速和负荷这两个主要因素外，其他对点火提前角有影响的因素均归入到修正点火提前角中。在发动机运转中，ECU 根据有关传感器的输入信号，分别求出对应的修正值，它们的代数和就是总的修正点火提前角。在大多数电控点火系统中，总的修正点火提前角包括暖机工况修正、发动机过热修正、空燃比反馈修正、发动机怠速稳定性修正、最大和最小提前角控制、其他修正等。

暖机工况修正 暖机修正是指发动机冷车起动后，当节气门位置传感器怠速触点闭合时，随发动机冷却液温度变化，对点火提前角进行的修正。

发动机冷车起动后，冷却液温度较低时，混合气燃烧速度较慢，应增大点火提前角。在暖机过程中，随冷却液温度的升高，点火提前角修正值逐渐减小，暖机修正曲线如图 5-74 所示。暖机修正值大小与冷却液温度的对应关系随发动机不同而改变，但变化规律基本相同，暖机工况修正的主要控制信号有：冷却液温度信号、节气门位置信号、空气流量信号等。

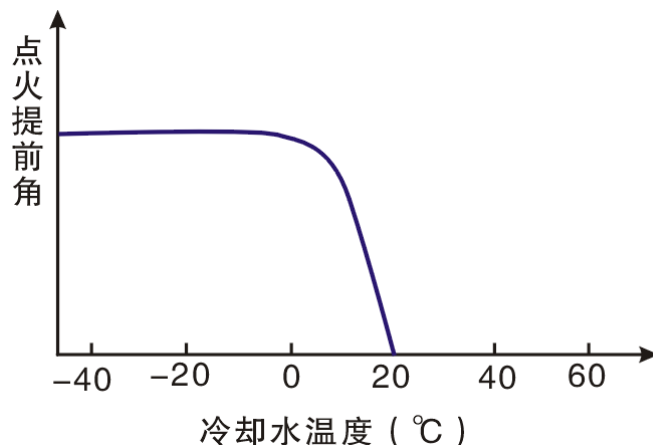


图 5-74 暖机修正曲线

发动机过热修正 当发动机处于怠速工况时（怠速触点闭合），若冷却液温度过高，为了避免发动机长时间过热，应将点火提前角增大。当发动机处于非怠速工况时（怠速触点断开），若冷却液温度过高，为了避免产生爆燃，应将点火提前角减小。发动机过热修正曲线如图 5-75 所示，发动机过热修正的主要控制信号有：节气门位置信号、冷却液温度信号等。

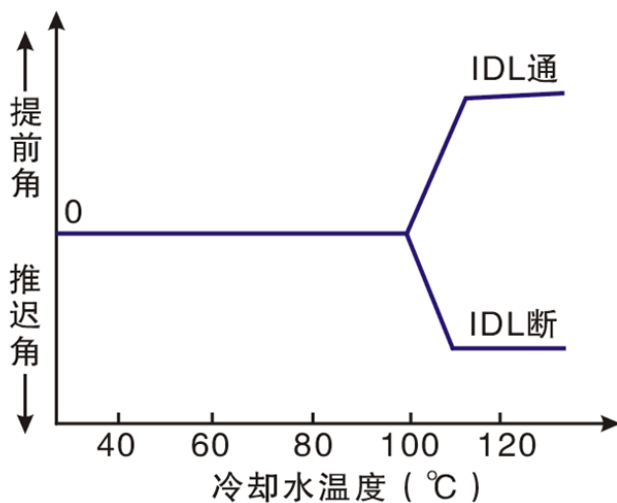


图 5-75 发动机过热修正曲线

空燃比反馈修正 装有氧传感器的电控燃油喷射系统进行闭环控制时，ECU 根据氧传感

器的反馈信号进行空燃比修正。由于混合气空燃比变化对混合气的燃烧速度有影响，因此发动机转速将随着修正燃油的增加或减少在一定范围内波动。为了提高转速的稳定性，电控燃油喷射系统进行空燃比反馈控制时，点火提前角需要根据喷油量的变化进行修正。当喷油量减少时，混合气会变稀，发动机转速相应降低，为了提高怠速的稳定性，点火提前角应适当地增加；反之，点火提前角应适当地减小，如图 5-76 所示。空燃比反馈修正的主要控制信号有：节气门位置信号、冷却液温度信号、氧传感器的空燃比反馈信号等。

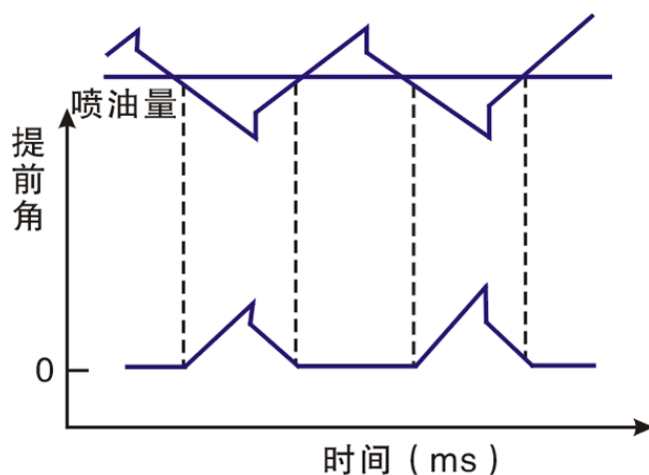


图 5-76 空燃比反馈修正

发动机怠速稳定性修正 发动机在怠速工况运行时，由于负荷变化使发动机转速发生变化，为使发动机在规定的怠速转速下稳定运转，需要对点火提前角进行修正。

发动机处于怠速工况时，ECU 不断地计算发动机的平均转速，当发动机的转速低于规定的怠速转速时，ECU 根据实际转速与目标转速差值的大小相应地增大点火提前角；当发动机转速高于目标转速时，则减小点火提前角，如图 5-77 所示。发动机怠速稳定性修正的主要控制信号有：发动机转速信号、空调开关信号、节气门位置信号等。

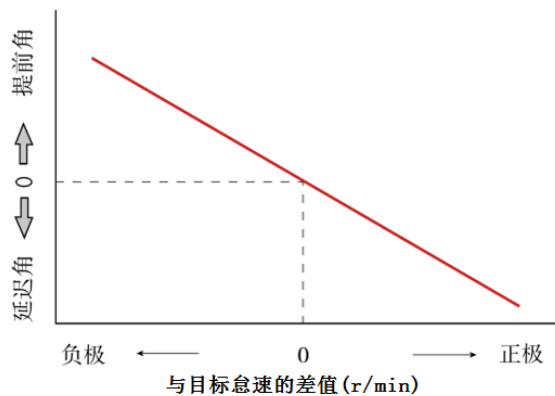


图 5-77 怠速稳定性修正

最大和最小提前角控制 在发动机运转期间，如果发动机的实际点火提前角（初始点火

提前角+基本点火提前角+修正点火提前角)超出一定范围时,发动机将不能正常运转。在初始点火提前角已经设定后,实际点火提前角就只由基本点火提前角与修正点火提前角确定,该值应保证在某一范围内,其范围一般为:

最大提前角: 35° — 45° 曲轴转角

最小提前角: -10° — 0° 曲轴转角

其他修正 为了使点火正时能精确地进行调整,发动机的点火提前角还有以下修正:过渡期修正、巡航控制修正、牵引控制修正、谐波进气控制系统修正。

二、通电时间(闭合角)控制

1. 通电时间的概念

通电时间指点火线圈初级线圈与点火功率输出级形成通路这一段时间内转过的曲轴转角,也被称为闭合角。

对于电感储能式电控点火系统,为了使火花塞能够提供尽可能大的点火能量,必须保证点火线圈的初级电路有足够的通电时间,即应使闭合角足够大,以致它对应的的时间超过点火线圈充磁所需的时间,也就是让初级电流再点火之前达到限定的最大值。在发动机转速下降和蓄电池电压较高时,在相同的通电时间里初级电流所达到的值将会减小,因此,还必须根据蓄电池电压对通电时间进行修正。

2. 通电时间的控制方法

由于闭合角是以曲轴转角来度量的,对于不同的转速,单位曲轴转角所代表的绝对时间各不相同。另外,当蓄电池电压发生变化时,初级线圈达到饱和电流所需的绝对时间也将发生变化。为了达到闭合角控制的主要目标,通过试验把不同的蓄电池电压和不同转速下使初级线圈流过电流达到饱和所需要的闭合角编制成闭合角数据表(也称闭合角脉谱图)储存在ECU中,如图5-78所示。发动机工作时,ECU根据输入蓄电池电压信号和发动机转速信号,从闭合角数据表中选出相应的闭合角,对初级线圈通电时间进行控制。

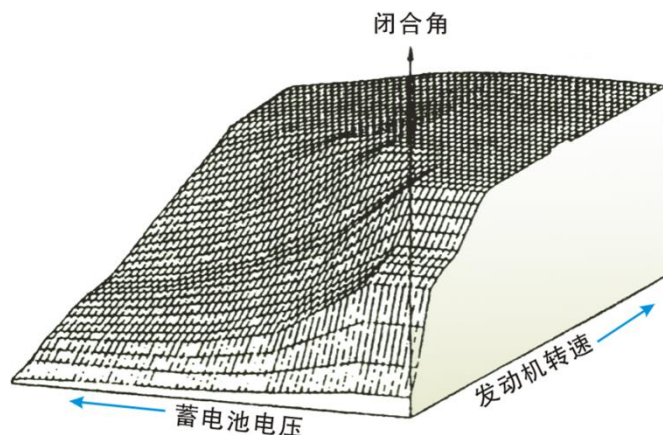


图 5-78 闭合角与发动机转速和蓄电池电压的关系

现代电控点火系统中，用灵敏可靠的传感器（凸轮轴/曲轴位置传感器）和晶体管开关，取代了传统点火系统中断电器和分电器中的凸轮。在对于无分电器点火系统，点火线圈初级电路的通电时间由 ECU 控制，通电时间（闭合角）控制模型储存在 ECU 中，如图 5-4-11 所示。发动机工作时，ECU 根据发动机转速信号（NE 信号）和蓄电池电压信号确定最佳的通电时间（闭合角），并向点火器输出指令信号（IGT 信号），以控制点火器中晶体管的导通时间。随发动机转速提高和蓄电池电压下降，通电时间（闭合角）增大。

3. 点火线圈的恒流控制

在电控点火系统中，为了减小转速对次级电压的影响，提高点火能量，采用了初级线圈电阻很小的高能点火线圈，其初级电流最高可达 30A 以上。为了防止初级电流过大烧坏点火线圈，在部分电控点火系统的点火控制电路中增加了恒流控制电路，保证在任何转速下初级电流均为规定值（7A），既改善了点火性能，又能防止初级电流过大而烧坏点火线圈。恒流控制的基本方法是：在点火器功率晶体管的输出回路中增设一个电流检测电阻，用电流在该电阻上形成的电压降反馈控制晶体管的基极电流，只要这种反馈为负反馈，就可使晶体管的集电极电流稳定，从而实现恒流控制。

三、爆燃控制

爆燃是发动机不正常燃烧引起的故障现象，如果发动机发生持续的严重爆燃，火花塞电极或活塞就可能因过热而发生熔损，导致发动机损坏，因此在发动机运转过程中不允许发生持续的爆燃。另一方面，为了最大限度地发挥发动机的潜能，应使实际最佳点火提前角尽可能接近理想最佳点火提前角，而理想最佳点火提前角实际是发动机可能发生爆燃的临界点。为了使发动机既具有最佳的点火提前角，又不发生爆燃，除了必须采用微机控制点火系统外，还必须对实际最佳点火提前角实行反馈控制，根据发动机是否爆燃，对实际最佳点火提前角

进行实时反馈修正。为此，需要对发动机是否发生爆燃进行检测，ECU 根据检测结果做出相应的控制响应。

1. 爆燃产生的原因

(1) 点火提前角过大 点火提前角过大时发动机发生爆燃最主要的原因。为了使活塞在压缩上止点结束后，一进入做功冲程就能立即获得动力，通常都会在活塞达到上止点前提前点火（因为从点火到完全燃烧需要一段时间）。而过早点火，会使活塞还在压缩行程时，大部分燃油混合气已经燃烧，此时未燃烧的燃油混合气会承受极大的压力自然，造成爆燃。

(2) 发动机过度积碳 汽车永久了以后，发动机气缸内就可能产生积碳，尤其是常常在堵车严重的城市里行驶的汽车，由于汽油不能够充分燃烧，其中的碳原子和氧分子不能全部转化为 CO_2 和 CO ，而是产生了碳分子粘在气缸壁上形成了积碳。碳是易燃的物质，在气缸高温高压的环境中，更是容易燃烧，所以积碳的生成增加了爆燃的可能性。当发动机处于压缩行程的时候，刚刚参与过燃烧的积碳会提前点燃混合气，从而导致爆燃。

(3) 燃油辛烷值过低 辛烷值时燃油抗爆燃的指标，辛烷值越高，抗爆燃性越强。压缩比高的发动机，燃烧室的压力较高，若是使用抗爆燃性低的燃油，则容易发生爆燃。

(4) 空燃比不正确

过于稀的燃料空气混合比，会使得燃烧温度提升，造成发动机温度提升，当然容易爆燃。

(5) 发动机温度过高 发动机在太热的环境使得进气温度过高，或是发动机冷却液循环不良，都会造成发动机高温而爆燃。

2. 爆燃的控制方法

爆燃控制也叫爆燃控制，是通过改变点火提前角来实现的。当通过爆燃传感器（KS）监测到有爆燃发生时，爆燃传感器向 ECU 输入爆燃信号时，电控点火系统采用闭环控制模式，ECU 逐步减小点火提前角，直至爆燃完全消失。当爆燃完全消失后并在若干个循环里不再出现，ECU 会逐渐将点火提前角增大。在最理想的情况下爆燃不出现，ECU 会将点火提前角恢复到爆燃前的水平，直到爆燃再次发生，然后又重复上述过程，如图 5-79 所示。因此，对爆燃的控制实际上是对点火提前角延迟和提前的控制。

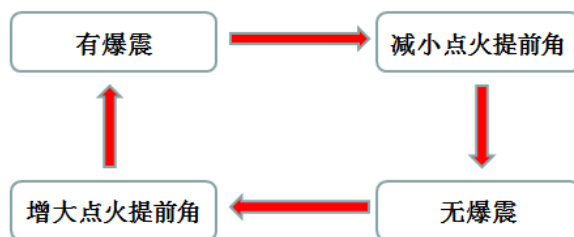


图 5-79 爆燃时点火提前角反馈控制

发动机负荷很小时，发生爆燃的可能性为零，所以电控点火系统在此负荷范围内采用开环控制模式。而当发动机的负荷超过一定值时，电控点火系统自动转入闭环控制模式。发动机工作时，ECU 根据节气门位置传感器信号判断发动机负荷大小，从而决定点火系统采用闭环控制或开环控制

(1) 爆燃的检测方法 发动机爆燃的检测方法有：气缸压力检测法、燃烧噪声检测法、发动机机体振动检测法等。其中，发动机机体震动检测法是一种非接触式检测方法，检测机体壁面振动的传感器（爆燃传感器）安装在机体上，通过检测机体壁面振动简介获得发动机是否发生爆燃的信息。机体振动检测法具有较高的检测精度，传感器安装方便灵活，耐久性也较好，是目前广泛采用的爆燃检测方法。

(2) 爆燃传感器 爆燃传感器通常安装在发动机缸体侧面且靠近燃烧室的爆燃传感器装配凸台上，以四缸机为例安装在 2 缸和 3 缸之间。其作用是将发动机机体的振动转换成电压信号输送到 ECU，ECU 根据输入电压信号进行爆燃判断，以控制点火提前角，抑制爆燃的产生，如图 5-80 所示。

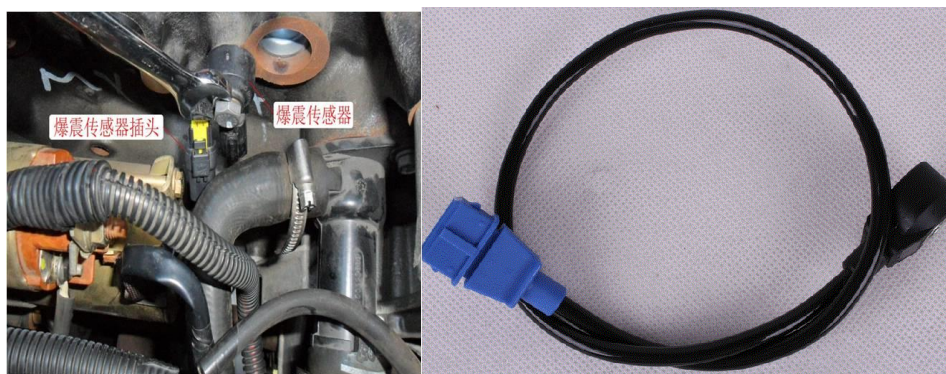


图 5-80 爆燃传感器

爆燃传感器按结构不同分磁致伸缩式和压电式，按检测方法不同可分为共振检测方法和非共振检测方法。目前应用比较广泛的是共振型压电式爆燃传感器和非共振型压电式爆燃传感器。

1) 共振型压电式爆燃传感器。共振型爆燃传感器的共同特点是测振元件的自振频率与被检发动机爆燃时的振动频率相同，当发动机爆燃时，传感器测振元件将发生共振，产生较高的电压输出信号。

共振型压电式爆燃传感器是利用压电元件在外力作用下产生变形时将产生于变形大小相对应的电信号这一原理制成的。

在共振型压电式爆燃传感器中，使压电元件产生变形的外力来自测振元件的变交振荡，

该传感器的基本结构如图 5-81 所示。传感器的检测组件主要由压电元件、振荡片（振子）、基座等构成。压电元件紧密贴合在振荡片上，振荡片则固定在传感器的基座上。发动机工作时，振荡片随机体壁面振动激励而产生振荡，振荡片的振荡使与它紧密贴合的压电元件变形，并输出交变的电压信号，输出电压的高低与振荡片的振幅，也即压电元件的变形成正比。

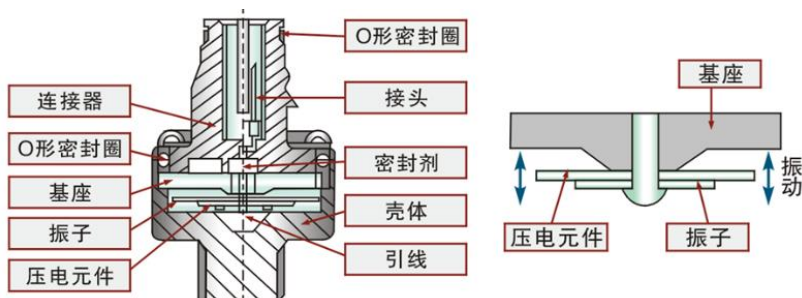


图 5-81 共振型压电式爆燃传感器

当发动机发生爆燃时，由于振荡片的自振频率与爆燃时机体壁面的振动频率相同，振荡片在机体壁面振动激励下发生共振。在共振时，振荡片的振幅达到最大，使与它紧密贴合的压电元件产生最大的输出电压，如图 5-82 所示。共振型爆燃传感器在共振区（即爆燃时）的输出电压比非共振区的输出电压高得多，因此不需要借助滤波器，ECU 根据传感器的输出电压就能对发动机是否发生爆燃作出准确判断。

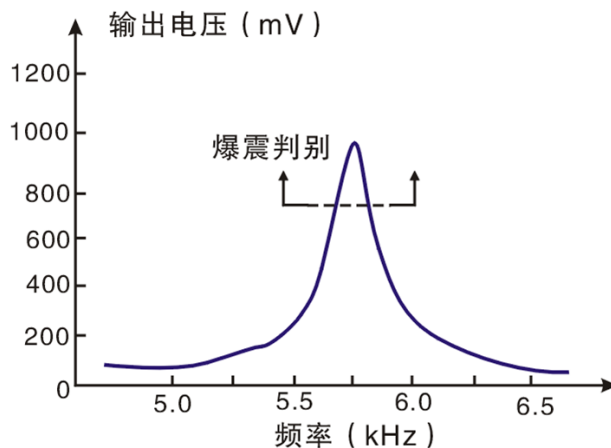


图 5-82 共振型压电式爆燃传感器的输出特性

2) 非共振型压电式爆燃传感器。非共振型压电式爆燃传感器是利用压电元件受外力作用时，压电元件将产生与所受外力大小相对应的电信号这一原理制成的。在非共振型压电式爆燃传感器中，压电元件所受的外力来自测振元件交变振动中产生的惯性力，该传感器的基本结构如图 5-83 所示。传感器的检测组件主要由压电元件和配重块等构成。

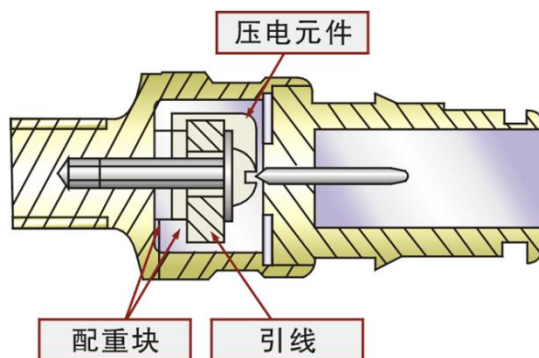


图 5-83 非共振型压电式爆燃传感器

发动机工作时，机体壁面的振动传递到传感器上，传感器内的配重块在机体振动的激励下产生振动。由于配重块振动时加速度的变化规律与机体壁面振动的规律相对应，也即配重块作用在压电元件上的惯性力的变化规律与机体壁面振动的规律相对应，因此，压电元件输出电信号的变化规律与机体壁面振动的规律相对应。由于非共振型压电式爆燃传感器仅是把机体壁面的机械振动转化为相应的输出电压的变化，因此，即使在爆燃区域或该区域附近，传感器也不会产生很大的输出信号，但在工作频带宽度范围内传感器具有较平的输出特性。为了能够根据该传感器输出的电压信号对发动机是否发生爆燃作出判断，必须对传感器的输入进行滤波处理，以提高对爆燃信号识别的准确性。

非共振型压电式爆燃传感器工作频带宽度可以从零到数千赫兹，因此可检测具有较宽振动频率的发动机振动。当用于发动机爆燃检测时，只需要根据具体发动机爆燃时的振动频率调整滤波器的过滤频率，即能满足不同类型发动机的使用要求。通用性强、制造时不需调整、结构简单是非共振型压电式爆燃传感器最突出的特点。

任务实施

解析 1 卡罗拉轿车爆燃传感器电路图解读

以一汽丰田 2010 款卡罗拉发动机采用的爆燃传感器的检测为例，加以说明，图 5-84 为爆燃传感器系统电路图。

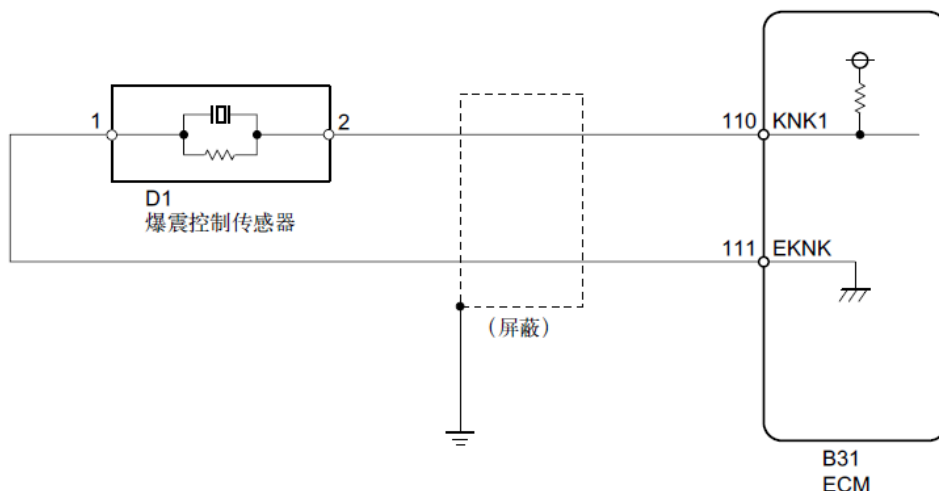


图 5-84 爆燃传感器系统电路图

使用平面型爆燃控制传感器。平面型爆燃控制传感器（非谐振型）的结构可以检测较宽频带内的振动，频率范围约为 6kHz 至 15kHz。爆燃控制传感器安装在发动机缸体上，用于检测发动机爆燃。爆燃控制传感器内装有压电元件，在变形时产生电压。发动机缸体因爆燃而振动时，就会产生电压。发动机爆燃的发生都可以通过延迟点火正时加以抑止。

1 号线：低电平参考电路 2 号线：5V 信号电路

卡罗拉轿车爆燃传感器维修过程

- 1) 读取静态故障码、冻结帧和数据流。
- 2) 检查爆燃传感器的安装状态。
- 3) 确认故障症状。起动发动机前，确认车辆周围环境是否安全。起动发动机时，观察起动状况，确认故障症状并记录症状现象。
- 4) 动态下再次读取故障码、冻结帧和数据流。
- 5) 检查 ECM（KNK1 电压），关闭点火开关，断开爆燃传感器连接器，将点火开关置于 ON 位置，根据下表 5-7 测量电压，线束连接器前视图（至爆燃传感器）如图 5-85 所示，测量结果异常，转至步骤六。

表 5-7 标准电压

检测仪连接	开关状态	规定状态
D1-2—D1-1	点火开关置于 ON 位置	4.5V 至 5.5V

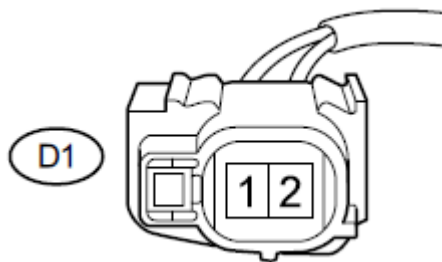


图 5-85 线束连接器前视图（至爆燃传感器）

6) 检查线束和连接器（ECM - 爆燃控制传感器），断开蓄电池负极接线柱，断开 ECM 连接器，根据下表 5-8、表 5-9 测量电阻。线束连接器前视图（至 ECM）如图 5-86 所示。测量结果异常，维修或更换线束或连接器。

表 5-8 标准电阻（断路检查）

检测仪连接	条件	规定状态
D1-2—B31-110 (KNK1)	始终	小于 1 Ω
D1-1—B31-111 (EKNK)	始终	小于 1 Ω

表 5-9 标准电阻（短路检查）

检测仪连接	条件	规定状态
D1-2 或 B31-110 (KNK1) — 车身塔铁	始终	10K Ω 或更大

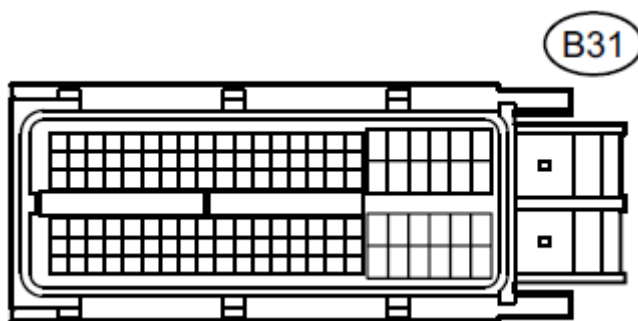


图 5-86 线束连接器前视图（至 ECM）

7) 部件测试：拆下爆燃传感器，根据表 5-10 测量电阻，没有线束连接的零部件（爆燃传感器）如图 5-87 所示，测量结果异常，更换爆燃传感器。

表 5-10 标准电阻

检测仪连接	开关状态	规定状态
1-2	20℃	120 至 280K Ω

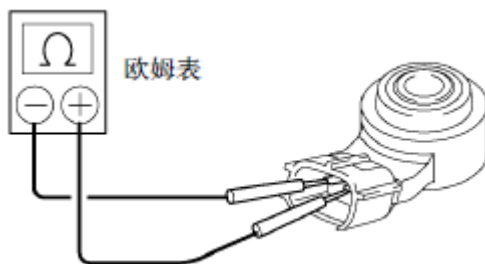


图 5-87 没有线束连接的零部件（爆燃传感器）

- 8) 以上测量都正常，更换 ECM。
- 9) 修复后再次检查故障码和数据流。

任务评价

表 5-11 任务评价表

任务名称	点火波形的故障诊断与检修	姓名		日期	
序号	评价内容	要求	分值	自评	互评
1	讲述影响点火提前角的因素	表达清楚准确	20		
2	讲述控制点火提前角的基本方法	表达清楚准确	20		
3	讲述通电时间的控制方法	表达清楚准确	20		
4	操作完成爆燃传感器的诊断与检修	思路清晰，操作规范	20		
5	操作过程 5S	工具摆放，场地整理按 5S 要求	20		
6	总分				
教师评语					

课后测评

一、填空题

1. 点火系统必须进行的三方面控制为_____、_____、_____。
2. 汽油机点火系统电子控制的核心问题是_____。
3. 影响最佳点火提前角的因素主要有：_____、_____、_____、其他因素。

4. 点火提前角控制可分为_____和_____。
5. 实际最佳点火提前角=_____+基本点火提前角+_____
6. 基本点火提前角根据发动机运行工况可分为：_____和_____。
7. 发动机爆燃的检测方法有：_____检测法、_____检测法、_____检测法等。
8. 爆燃传感器按结构不同分_____和_____，按检测方法不同可分为_____检测方法和_____检测方法。目前应用比较广泛的是_____爆燃传感器和_____爆燃传感器。

二、简答题

1. 点火提前角过大、过小的危害？

2. 通电时间的概念？

3. 爆燃的控制方法？

