

《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 4.1 曲轴位置传感器的故障诊断与检修

学习目标

1. 能准确讲述曲轴位置传感器的作用，并在发动机上指明部件所在位置。
2. 能准确讲述曲轴位置传感器的类型。
3. 结合原理图能准确叙述各类曲轴位置传感器的工作原理。
4. 能准确规范地完成磁控电阻式曲轴位置传感器的诊断与检修。

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，仪表盘转速表数值为零，对故障车进行检测，发现曲轴位置传感器故障，经维修处理后，车辆运行正常。

知识储备

一、曲轴位置传感器的作用

曲轴位置传感器（CKP）是电控发动机中最重要的传感器，如图 5-1 所示，也是点火系统和燃油喷射系统共用的传感器，一般安装在曲轴前端的带轮之后、飞轮侧上和分电器内。



图 5-1 曲轴位置传感器

曲轴位置传感器的功用是检测发动机曲轴运转角度，将和曲轴角度一一对应的活塞运行位置信号及时送至发动机 ECU，用以控制点火正时和喷油正时。同时，曲轴位置传感器也是测量发动机转速（NE）的信号源，其信号也被称为 NE 信号。

二、曲轴位置传感器的类型

根据检测并输入到发动机微机控制装置的信号类型,曲轴位置传感器包括活塞上止点检出型和曲轴转角检出型两种。而根据信号形成的原理分类,曲轴位置传感器又可分为磁感应式、光电式、霍尔式和磁阻式四大类,其中磁感应式曲轴位置传感器产生的是模拟信号,如图 5-2 所示,霍尔式曲轴位置传感器、光电式曲轴位置传感器、磁阻式曲轴位置传感器产生的是数字方波信号,霍尔式曲轴位置传感器的信号如图 5-3 所示。

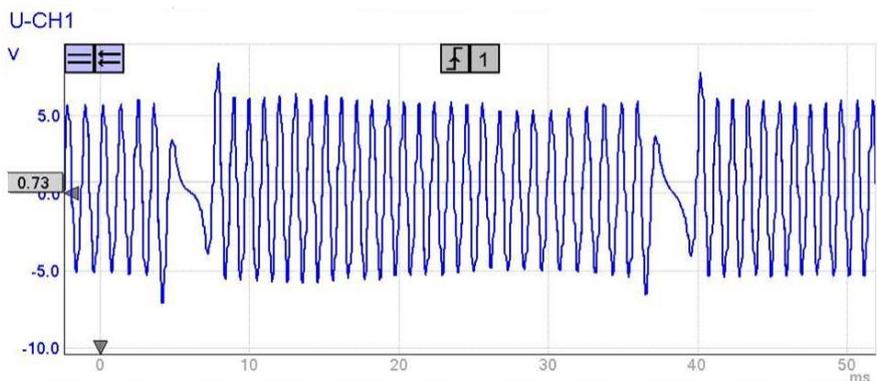


图 5-2 磁感应式曲轴位置传感器信号波形

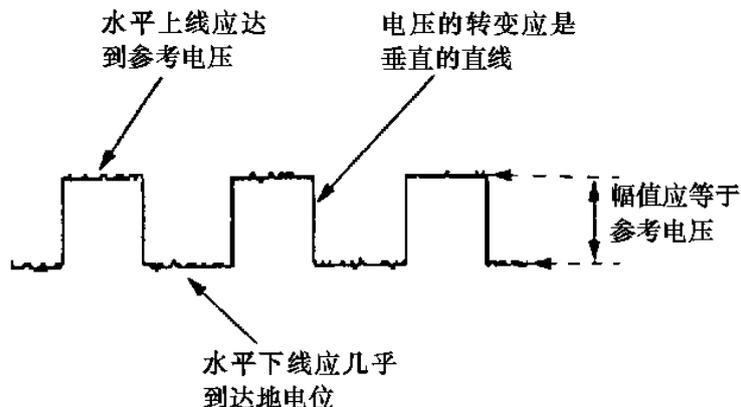


图 5-3 霍尔式曲轴位置传感器信号波形

三、磁感应式曲轴位置传感器

电磁式曲轴位置传感器的核心元件是一个电磁线圈,该线圈缠绕在一个永久性磁铁上,它被螺栓固定在传感器安装支架上。绕组的两端与电器引线相连,如图 5-4 所示。在电磁线圈的对面,安装着一个用作信号发生器的磁阻轮,该磁阻轮随发动机曲轴的转动而转动。对应特定的曲轴转角,磁阻轮上都有相应的一个凸齿与之相对应,磁阻轮转动时这些凸齿以很小的间隙扫过传感器线圈。由于传感器线圈是用螺栓固定在传感器安装支架上的,因而磁阻轮凸齿与传感器之间的间隙通常是可调的。

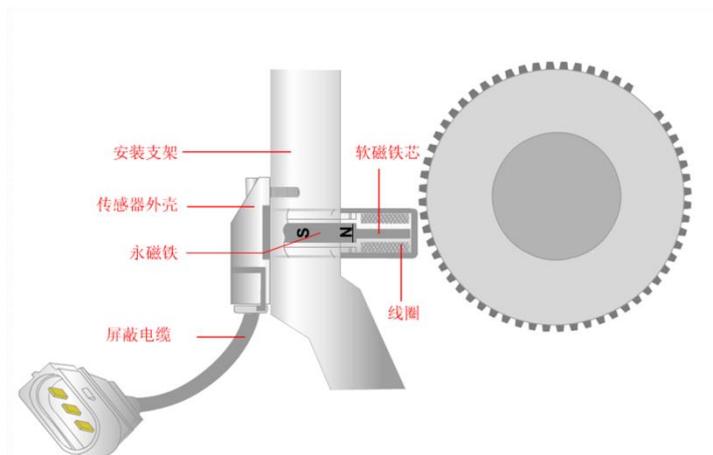


图 5-4 磁感应式曲轴位置传感器

当磁阻轮凸齿与传感线圈不对中时，凸齿与感应线圈之间的空气间隙比较大，因而磁场比较弱，如图 5-5a 所示。当磁阻轮的凸齿接近与传感器线圈对中时，空气间隙比较小，因而围绕传感器的磁场强度增大，如图 5-5b 所示。这种交替变化的磁场使传感器线圈内感应出交流电压信号。

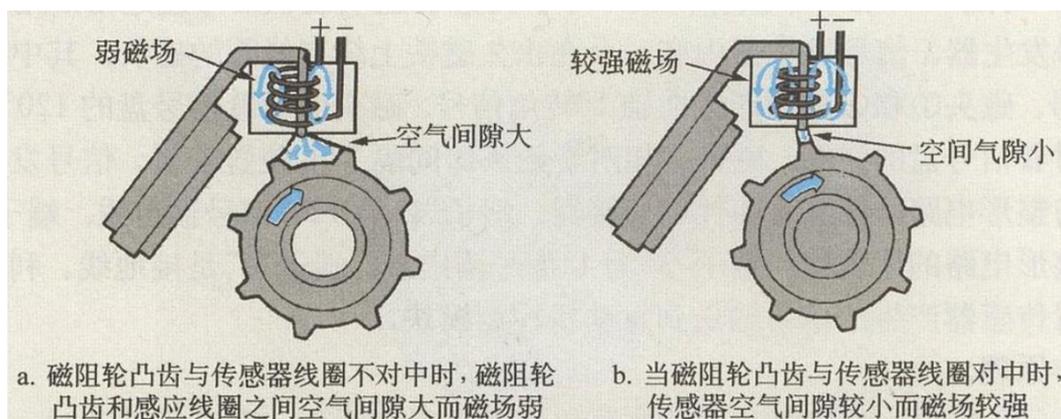


图 5-5 磁感应式曲轴位置传感器工作原理

在磁阻轮凸齿正好对准感应线圈中心线的瞬间，磁场不再变化，感应电压降为零。磁阻轮凸齿离开传感器线圈中心线时，磁场减弱到某一程度或消失。这种磁场的变化在传感器线圈内感应出负电压。所以，每当磁阻轮的一个凸齿转过传感器时，曲轴位置传感器线圈就产生一个电压信号。电脑根据这些信号来计算和确定曲轴的位置和转速。

磁感应式曲轴位置传感器会产生磁脉冲信号，该信号是由信号转子的旋转运动使磁通量发生变化 ($d\Phi/dt$) 而在感应线圈中产生的。磁感应式传感器的优点是价格低、尺寸小、自发交流信号无需外电源、具有良好的温度稳定性；缺点是信号转子在零转速时无信号输出，信号变化的幅度取决于信号转子的转速，需要另外的信号处理电路。磁感应式传感器内空气间隙要求小于 2mm。

四、霍尔式曲轴位置传感器

霍尔式曲轴位置传感器利用霍尔效应原理产生相对应的电压脉冲信号,如图 5-6 所示。



图 5-6 霍尔式曲轴位置传感器

霍尔效应是指当电流 I 以垂直于磁场方向通过置于磁场中的半导体基片(称霍尔元件)时,在垂直于电流和磁场的霍尔元件横向侧面上,将产生一个与电流和磁场强度成正比的霍尔电压 U_H ,即 $U_H = KIB$ (K 为常数, I 为电流, B 为磁场强度),如图 5-7 所示。

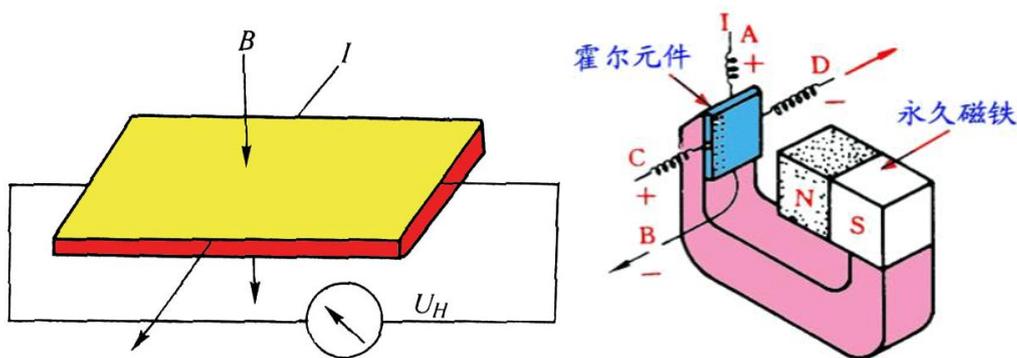


图 5-7 霍尔效应原理

当叶片旋转进入霍尔元件和磁铁之间时,由于磁场被隔离,霍尔元件上没有磁场通过,所以不产生霍尔电压 U_H ;当叶片转到其缺口对着霍尔元件时,永久磁铁所产生的磁场在导板的引导下,垂直通过通电的霍尔元件,于是产生霍尔电压 U_H ,再经信号处理后以整齐的矩形脉冲信号输出,如图 5-8 所示。

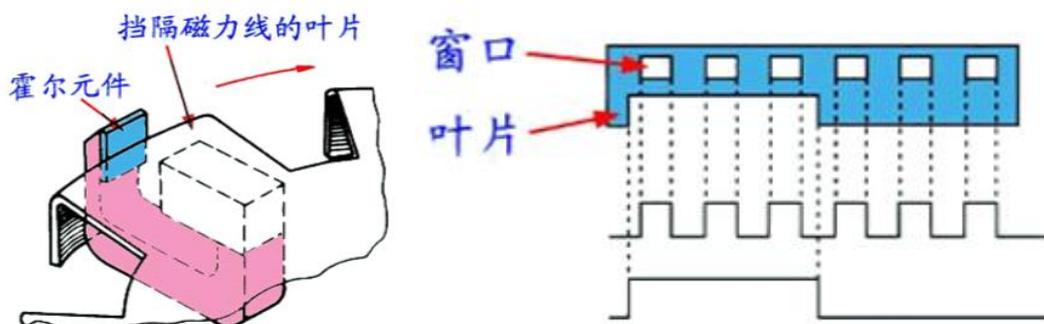


图 5-8 霍尔式曲轴位置传感器工作原理

五、光电式曲轴位置传感器

光电式曲轴位置传感器是应用光电原理来检测曲轴转角的一种传感器，如图 5-9 所示。

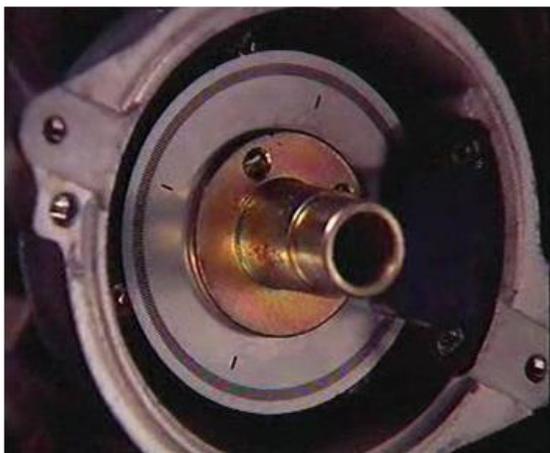


图 5-9 光电式曲轴位置传感器

光电式曲轴位置传感器主要由遮光转盘、发光二极管、光敏二极管和放大电路等组成，遮光转盘上制有一定数量的透光孔，利用发光二极管作为信号源，随遮光转盘的转动，交替地阻断从发光二极管射向光敏二极管的光线，使光敏二极管导通或截止，由此产生脉冲信号。

日产公司光电式曲轴位置传感器设置在分电器内，它由信号发生器和带光孔的信号盘组成，信号盘安装在分电器轴上，外围有 360 条缝隙（光栅），相邻缝隙产生 1° 曲轴转角信号；外围稍靠内间隔 60° 曲轴转角分布着六个光孔（六缸），产生 120° 曲轴转角信号，其中一个较宽的光孔式产生一缸上止点对应的 120° 曲轴转角信号的，如图 5-10 所示。

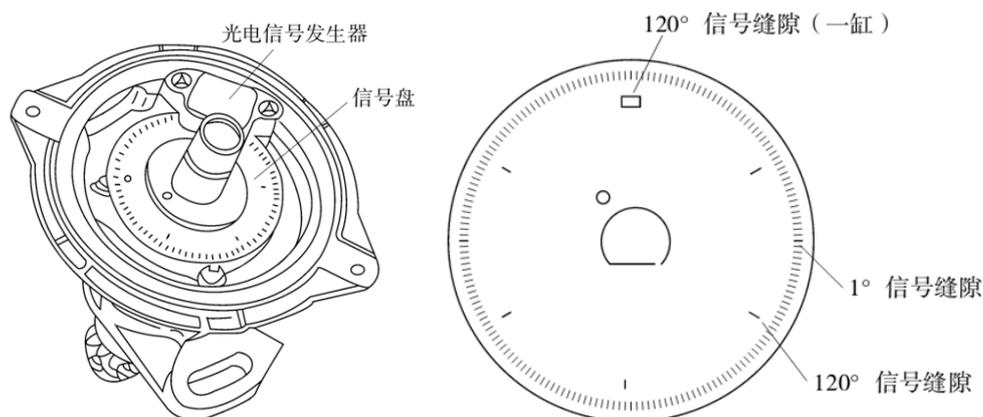


图 5-10 光电式曲轴位置传感器

脉冲信号发生器固装在分电器壳体上，主要由两只发光二极管、两只光敏二极管和电子电路组成，如图 5-11 所示。两只发光二极管分别正对着两只光敏二极管，发光二极管以光敏二极管为照射目标。信号盘位于发光二极管和光敏二极管之间，当信号盘随发动机曲轴运转时，因信号盘上有光孔，则产生透光和遮光的交替变化，使得信号发生器输出表征曲轴位

置和转角的脉冲信号。

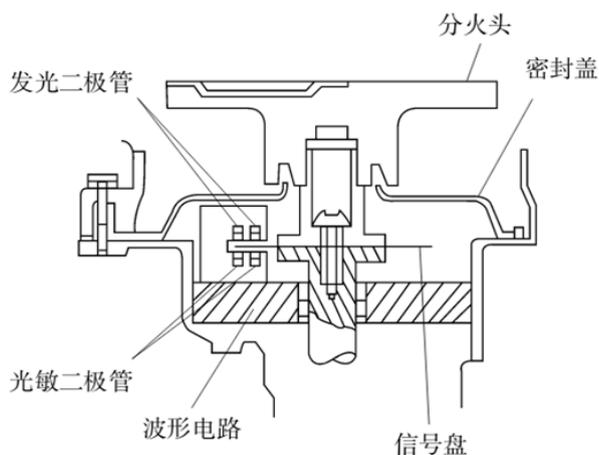


图 5-11 脉冲信号发生器

如图 5-12 所示为信号发生器产生脉冲信号的原理。当发光二极管的光束照射到光敏二极管上时，光敏二极管感光而导通并产生电压；当发光二极管的光束被遮挡时，光敏二极管截止，产生电压为零。将光敏二极管产生的脉冲电压送至电子电路放大整形后，即向电脑输送的 1° 信号和 120° 信号。

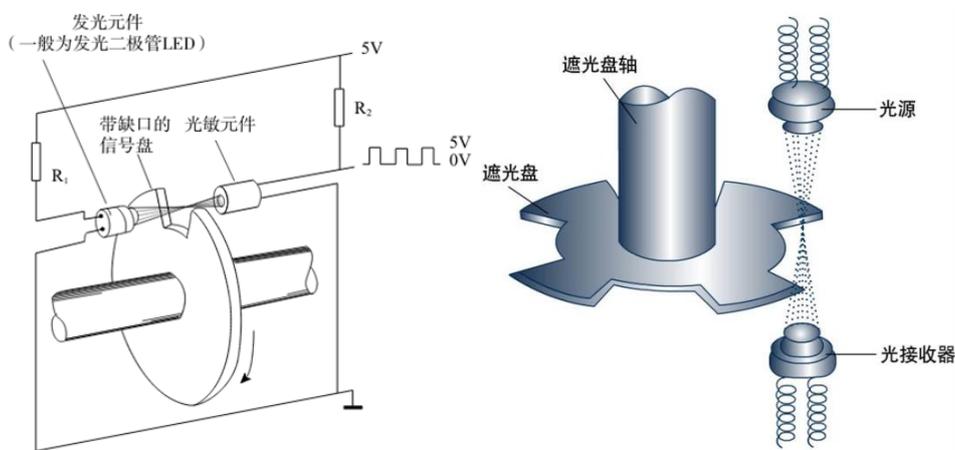


图 5-12 信号发生器产生脉冲信号的原理

六、磁控电阻式（MRE 型）曲轴位置传感器

磁阻效应原理：即材料电阻随外加磁场的大小而成比例变化，电阻式窄形条，沉积在薄层的高载子传输半导体（锑化铟 InSb 或砷化铟 InAs）上，且垂直于电流流入方向，如图 5-13 所示。半导体磁敏感材料受到与电流方向相垂直方向的磁场作用时，由于洛伦兹力的作用，电子流动的方向发生改变，路径加长，半导体阻值增大，即磁控电阻（MR）值，随施加在其上的磁力线的方向而改变。

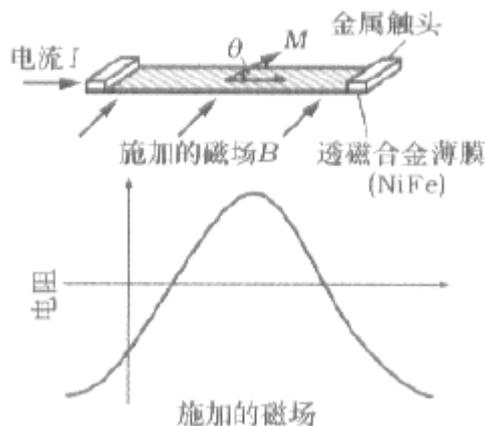


图 5-13 磁阻效应原理图

磁控电阻式传感器采用微电子信号集成处理技术，传感元件和信号处理装置集成在一块芯片上。该传感器的优点是：可传感零转速、传感器空气间隙最大可达 3mm、具有良好的温度稳定性（最高工作温度可达 200℃）。这使得磁控电阻式传感器可应用于零转速旋转运动的检测。它们的另一个重要应用就是用于巡航系统中检测车速。该传感器的缺点是：尺寸中等、价格中等、需要外接电源 12V。

为了检测转速，一种方式是将嵌齿轮装在曲轴上，由其驱动旋转，将永久磁铁和磁控电阻安装在嵌齿轮附近，如图 5-14 所示。另一种方式是将永久磁铁做成磁环装在转轴上，将磁控电阻偏置在磁环附近，如图 5-15 所示，两种结构都满足磁阻效应，都能产生转速信号。

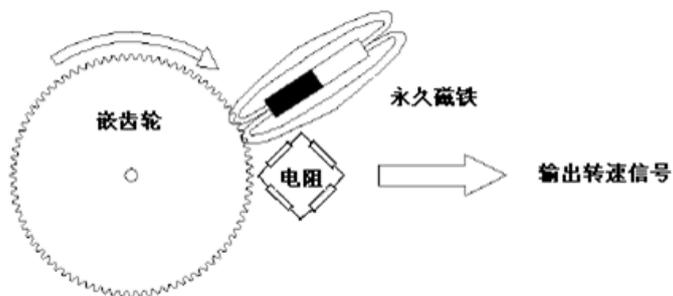


图 5-14 磁控电阻传感方式一

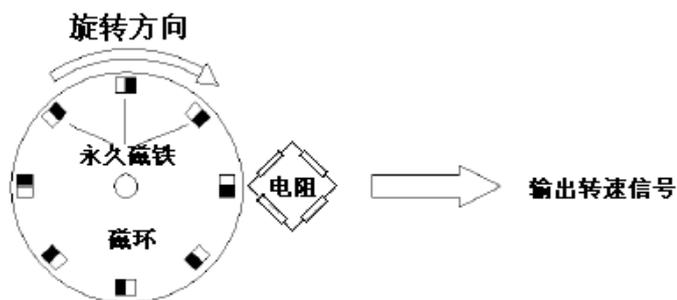


图 5-15 磁控电阻传感方式二

磁阻效应与霍尔效应的比较。硅片中的霍尔效应与透磁合金薄膜中的磁阻效应的比较如图 5-16 所示。两种技术都可用于集成电路的制造，也可以用于制造全集成的单片传感器。两种效应都会在非时变磁场中发生并可用来构造零转速传感器，但是 MR 的敏感性约是硅片中霍尔效应的 100 倍，而且通过选择薄膜厚度和线宽还可对其敏感度进行调节。在用环形磁铁计算转速的应用中用 MR 效应代替霍尔效应的传感器有另一个优点：由于 MR 传感器的全向极性（使用 N 极或 S 极工作）而使分辨率翻倍。尽管霍尔效应所具有的优点是它对机枪的磁场具有高线性响应而无饱和效应，霍尔效应薄膜只对传感器的法向磁场作出响应而不对切向磁场作出响应。

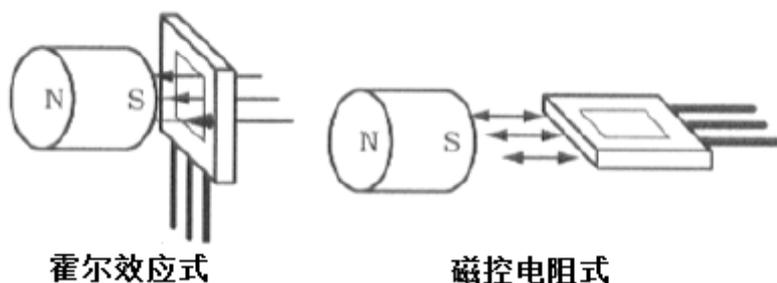


图 5-16 磁阻效应与霍尔效应的比较

磁控电阻式传感器采用上拉电路，即传感差动放大信号驱动电源与信号线的导通，输出数字信号的幅值为电源电压值。霍尔效应式传感器采用下拉电路，即传感差动放大信号驱动 ECU 内的限流电阻是否搭铁，所以输出数字信号的幅值不会超过 ECU 内部供电电压，即输出数字信号的幅值一定会小于电源电压。

任务实施

解析 1 科鲁兹轿车曲轴位置传感器

以雪佛兰 2013 款科鲁兹发动机采用的曲轴位置传感器的检测为例，加以说明，图 5-17 为其实物图。



图 5-17 曲轴位置传感器实物图

解析 2 科鲁兹轿车曲轴位置传感器电路图解读

图 5-18 为曲轴位置传感器系统电路图。

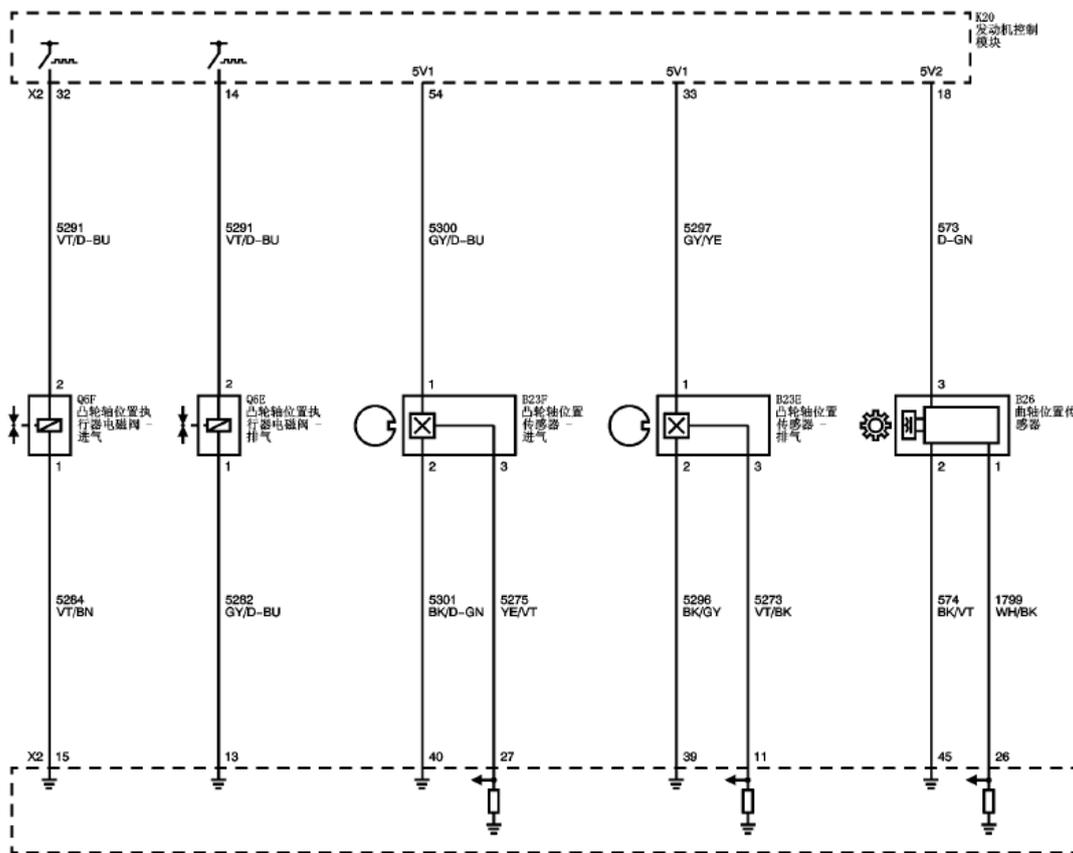


图 5-18 曲轴位置传感器系统电路图

曲轴位置传感器电路由 1 个发动机控制模块 (ECM) 提供的 5V 参考电压电路、1 个低电平参考电压电路以及 1 个输出信号电路组成。曲轴位置传感器是一种内部磁性偏差数字输出集成电路传感装置。该传感器检测曲轴上 58 齿磁阻轮的齿槽磁通量变化。磁阻轮上的每个

齿按 60 齿间隔分布，缺失的 2 个齿用作参考间隙。曲轴位置传感器产生一个变频的开/关直流电压，曲轴每转动一圈输出 58 个脉冲。曲轴位置传感器输出信号的频率取决于曲轴的转速。当曲轴磁阻轮上的每个齿转过曲轴位置传感器时，曲轴位置传感器向发动机控制模块发送一个数字信号，该信号描绘了该轮的图像。发动机控制模块使用每个曲轴位置信号脉冲以确定曲轴转速，并对磁阻轮参考间隙进行解码，以识别曲轴位置。然后，此信息被用来确定发动机的最佳点火和喷油时刻。发动机控制模块还利用曲轴位置传感器输出信息来确定凸轮轴相对于曲轴的位置，以控制凸轮轴相位和检测气缸缺火。

1 号线：信号电路 2 号线：低电平参考电压电路（搭铁电路）

3 号线：5V 参考电压电路

科鲁兹轿车曲轴位置传感器维修过程

- 1) 读取静态故障码、冻结帧和数据流。
- 2) 检查曲轴位置传感器的安装状态。
- 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) 将点火开关置于“OFF（关闭）”位置并关闭所有车辆系统，断开 B26 曲轴位置传感器的线束连接器。可能需要 2 分钟才能让所有车辆系统断电。测试低电平参考电压电路端子 2 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 5-19 所示（图中数值为无穷大），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 5-20 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）。如果等于或小于 2 欧，则更换 K20 发动机控制模块。



图5-19 低电平参考电压电路检查



图5-20 线路断路检查

6) 如果小于 5 欧, 将点火开关置于“ON (打开)”位置。测试 5V 参考电压电路端子 3 和搭铁之间的电压是否为 4.8 - 5.2V。

如果小于 4.8V, 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 5V 参考电压电路端子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 5-21 所示 (图中数值为无穷大), 测试 5V 参考电压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 5-22 所示 (图中数值为 1.6 Ω), 则更换 K20 发动机控制模块。

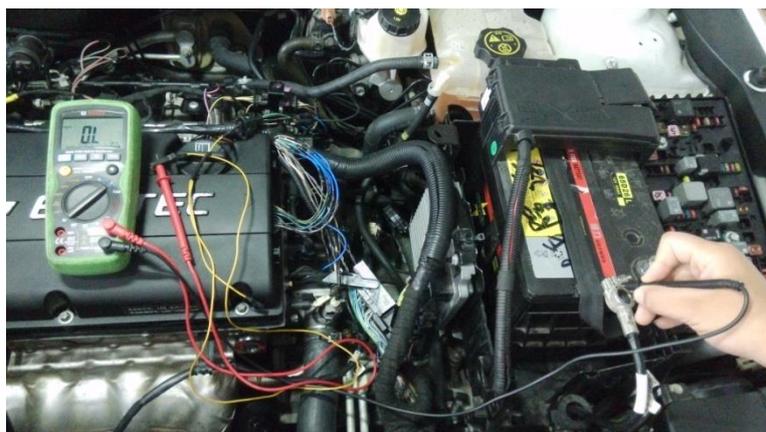


图5-21 线路短路检查

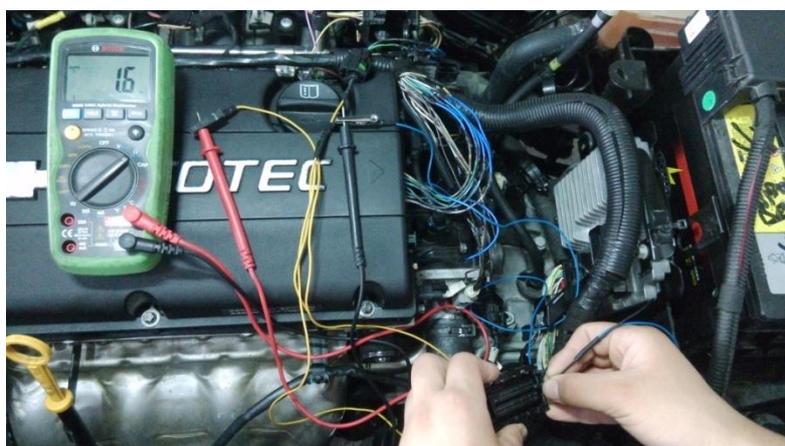


图5-22 线路断路检查

如果大于 5.2V，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，再将点火开关置于“ON（打开）”位置。测试 5V 参考电压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。

7) 如果在 4.8 - 5.2V 之间，如图 5-23 所示（图中数值为 5.04V），测试信号电路端子 1 和搭铁之间的电压是否为 4.8—5.2V。



图5-23 5V参考电压电路检查

如果小于 4.8V，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。测试信号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，如图 5-24 所示（图中数值为 1.1 Ω ），则修理电路上的对搭铁短路故障。如果电阻为无穷大。测试信号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 5-25 所示（图中数值为 0.7 Ω ）则更换 K20 发动机控制模块。



图5-24 线路短路检查



图5-25 线路断路检查

如果大于 5.2V，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，再将点火开关置于“ON（打开）”位置。测试信号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。

8) 如果在 4.8 - 5.2V 之间，将点火开关置于“OFF（关闭）”位置，连接一条带 3 安培保险丝的跨接线到信号电路端子 1。将点火开关置于“ON（打开）”位置，将带保险丝的跨接线重复碰触搭铁，如图 5-26 所示，确保故障诊断仪的“Crankshaft Position Sensor

ActiveCounter（曲轴位置传感器激活计数器）”参数增加，如图 5-27 所示（左图为 0 计数，右为碰触搭铁一次后，为 7 计数）。如果计数器的读数不增加，更换 K20 发动机控制模块。



图5-26 K20发动机控制模块检查



图5-27 K20发动机控制模块检查

9) 以上测量都正常，测试或更换 B26 曲轴位置传感器。

10) 修复后再次检查故障码和数据流。

任务评价

表 5-1 任务评价表

任务名称	曲轴位置传感器的故障诊断与检修	姓名	日期		
序号	评价内容	要求	分值	自评	互评
1	讲述曲轴位置传感器的作用，并在发动机上指明部件所在位置	表达清楚准确	20		
2	讲述曲轴位置传感器的类型	表达清楚准确	20		
3	结合原理图叙述各类曲轴位置传感器的工作原理	原理图解析要清楚，思路要清晰	20		
4	操作完成磁控电阻式曲轴位置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					

任务拓展

以一汽丰田 2010 款卡罗拉发动机为例，利用课上时间进行曲轴位置传感器的检测，并完成工单。图 5-28 为曲轴位置传感器系统电路图。

曲轴位置传感器系统由 1 号曲轴位置信号盘和耦合线圈组成。1 号曲轴位置信号盘有 34 个齿，并安装在曲轴上。耦合线圈由缠绕的铜线、铁芯和磁铁组成。1 号曲轴位置信号盘旋转时，随着每个齿经过耦合线圈，便产生一个脉冲信号。发动机每转一圈，耦合线圈产生 34 个信号。ECM 根据这些信号计算出曲轴位置和发动机转速。利用这些计算结果控制喷油持续时间和点火正时。

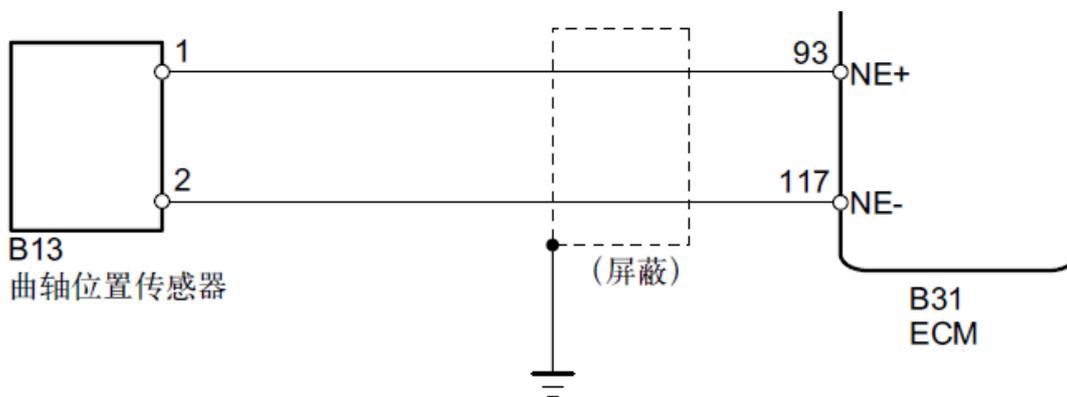


图 5-28 曲轴位置传感器系统电路图

- 1) 读取静态故障码、冻结帧和数据流。
- 2) 检查曲轴位置传感器的安装状态，如图 5-29 所示，异常，重新牢固安装曲轴位置传感器。

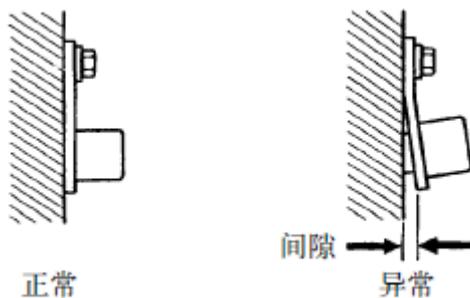


图 5-29

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) 检查曲轴位置传感器(电阻), 将点火开关置于“OFF”位置, 断开曲轴位置传感器连接器, 根据表 5-2 测量曲轴位置传感器部件, 如图 5-30 所示(图中数值为 $2100\ \Omega$), 如果测量结果异常, 更换曲轴位置传感器。

表 5-2 标准电阻

检测仪连接	条件	标准电阻值	测量电阻值
1—2	$20\ ^\circ\text{C}$	$1850\ \Omega$ 至 $2450\ \Omega$	



图 5-30 曲轴位置传感器检查

6) 检查线束和连接器(曲轴位置传感器—ECM)。断开蓄电池负极接线柱, 断开 ECM 连接器, 根据下表 5-3、表 5-4 测量电阻, 线束连接器前视图(至曲轴位置传感器)如图 5-31 所示, 线束连接器前视图(至 ECM)如图 5-32 所示。测量结果异常, 维修或更换线束或连接器。

表 5-3 标准电阻(断路检查)

检测仪连接	条件	标准电阻值	测量电阻值
B13-1—B31-93 (NE+)	始终	小于 $1\ \Omega$	
B13-2—B31-117 (NE-)	始终	小于 $1\ \Omega$	

表 5-4 标准电阻(短路检查)

检测仪连接	条件	标准电阻值	测量电阻值
B13-1 或 B31-93 (NE+)—车身塔铁	始终	$10\text{K}\ \Omega$ 或更大	
B13-2 或 B31-117 (NE-)—车身塔铁	始终	$10\text{K}\ \Omega$ 或更大	



图 5-31 线束连接器前视图（至曲轴位置传感器）

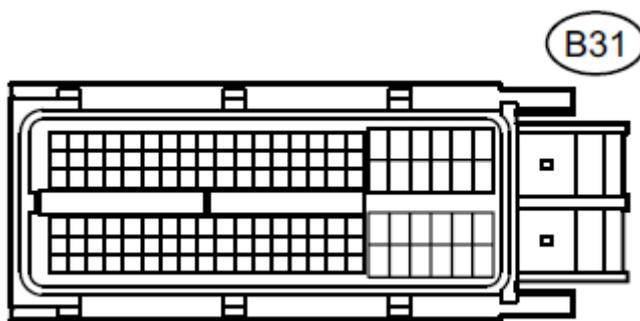


图 5-32 线束连接器前视图（至 ECM）

7) 检查 1 号曲轴位置信号盘（信号盘齿）。正常：1 号曲轴位置信号盘无破裂或变形，出现异常，更换 1 号曲轴位置信号盘。

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。

课后测评

一、填空题

1. 曲轴位置传感器是电控发动机中最重要的传感器，一般安装在_____、_____和_____。
2. 根据信号形成的原理分类，曲轴位置传感器又可分为_____式、_____式、_____式和_____式四大类，其中_____式曲轴位置传感器产生的是模拟信号，_____式曲轴位置传感器、_____式曲轴位置传感器、_____式曲轴位置传感器产生的是数字方波信号。
3. 霍尔式曲轴位置传感器利用_____产生相对应的电压脉冲信号。
4. 光电式曲轴位置传感器是应用_____来检测曲轴转角的一种传感器，主要由遮光转盘、_____、_____和_____等组成。
5. 磁控电阻式传感器采用_____技术，_____和信号处理装置集成在一块芯片上。

二、简答题

1. 曲轴位置传感器的作用？

2. 磁感应式曲轴位置传感器的工作原理？