

《汽车发动机电控系统检修》电子教材

项目描述

一辆车由于空气供给系统工作不良导致发动机性能故障，需对空气供给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 2.1 空气流量传感器的故障诊断与检修

学习目标

1. 能准确讲述空气流量计的作用，并在发动机上指明部件所在位置。
2. 能准确讲述空气流量计的类型。
3. 结合原理图能准确叙述各类空气流量计工作原理。
4. 能准确规范地完成热式空气流量计的诊断与检修。

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，加速无力，踩下油门时转速保持在 3000 转/分钟，无法上升，对故障车进行检测，发现空气流量传感器故障，经维修处理后，车辆运行正常。

知识储备

一、空气流量传感器（MAF）

空气流量传感器又称空气流量计，一般安装在空气滤清器和节气门体之间的进气道上，如图 3-1 所示。我们从字面上就可以看出，此传感器就是检测空气流量的一个装置，它的作用是测量进入发动机的空气流量，然后将此信号输送给电子控制单元 ECU，ECU 根据此信号决定将要喷射的油量，给发动机提供最佳比例的空燃比。为了达到此目的，空气流量计必须准确地测量每一瞬间吸入发动机的空气量，以此作为 ECU 控制喷油量的主要依据。如果空气流量计出现了问题，ECU 收不到准确地进气量信号，此时，喷油量就不能准确控制，将会造成空燃比过浓或过稀，使发动机不能正常工作。



图 3-1 空气流量计实物图

二、空气流量计类型

根据检测进气量的方式的不同，空气流量传感器分为 D 型（即压力型）和 L 型（即空气流量型）两种类型。“D”型来源于德文“Druck(压力)”的第一个字母，是利用压力传感器检测进气歧管的绝对压力，测量方法属于间接测量法，装备“D”型传感器的系统称为“D”型燃油喷射系统，控制系统利用该绝对压力和发动机转速来计算吸入气缸内的空气量，“L”型来源于德文“Luftmengen(空气流量)”的第一个字母，是利用流量传感器直接测量吸入进气管的空气流量。此种检测方式，因为采用了直接测量的方法，所以进气量的测量精确度较高。

汽车采用的“L”型传感器分为体积流量型（如翼片式、涡流式）传感器和质量流量型（如热丝式和热膜式）传感器。

体积型流量计包括翼片式空气流量计和卡门漩涡式空气流量计。

质量型流量计包括热线式空气流量计和热膜式空气流量计。

三、热线式空气流量计

20 世纪 80 年代初开发研制，广泛应用于丰田卡罗拉等车型，具有响应速度快、测量精度高、进气阻力小、无磨损、可以直接测量进气空气质量流量而无需进行大气压力修正和温度修正等优点；缺点是制造成本高，容易受到空气中灰尘玷污，影响精度，发动机回火时容易造成断线等。属于第三代传感器。

热线式空气流量计是现代轿车广泛应用的一种空气流量计，实物图如图 3-2 所示。它上面分别有“热线”（铂热丝）和“冷线”（温度传感器），如图 3-3 所示。根据铂热丝在流量计中安装位置不同，又分为主流测量方式和旁通测量方式两种结构形式。



图 3-2 热线式空气流量计实物图

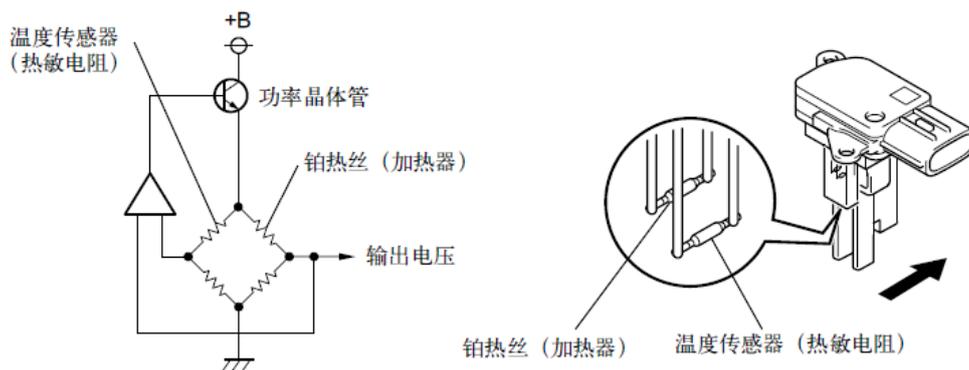


图 3-3 热线式空气流量计工作原理图

“热线”是一根暴露在进气流中的铂热丝，控制电路将热线加热至某一温度，进气流则对热线有冷却的作用，使热线的温度降低。为了保持热线原来的温度，控制电路需加大加热电流。即进气量越大，热线需要的加热电流就越大。控制电路将加热电流的变化转变为电压的变化，作为进气量信号输出。

进气温度的变化会使热线温度发生改变，从而影响进气量的测量精度。为消除这种影响，在热线附近安置一根温度补偿电阻（称为“冷线”），冷却温度接近进气温度（图 3-1-3 中其还作为温度传感器使用）。工作时，控制电路使热线温度始终高于冷线温度一个固定值，如 100°C ，这样冷线温度起到参考标准作用，使进气温度的变化不会影响到传感器的测量精度。

为了克服热线易受污染的缺陷，有些电控系统在控制单元（ECU）中设有自洁电路，在发动机熄火后，自动将热线加热至 1000°C ，持续 1S，将尘埃烧掉；也有一些电控系统将热线的保持温度提高至 200°C ，防止污染物沾污热线，如图 3-4 所示。

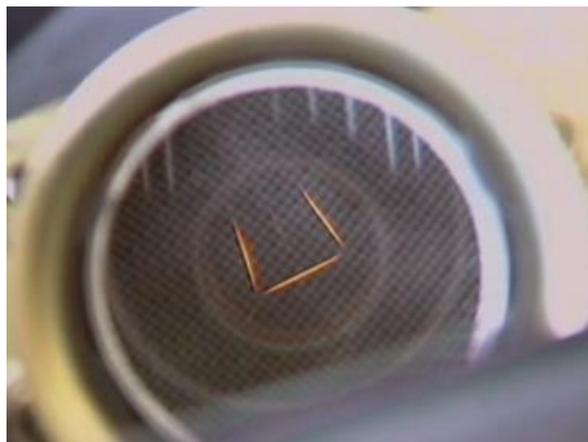


图 3-4 自洁功能示意图

四、热膜式空气流量计

热膜式空气流量计是热线式空气流量计的改进产品，如图 3-5 所示。热膜式空气流量计的结构和工作原理与热线式空气流量计基本相同，属于第四代产品，在现代电控发动机中使用广泛。唯一区别在于热膜式空气流量计的发热体由热线改为热膜，如图 3-6 所示。热膜为固定在薄的树脂膜上的金属铂，或者用厚膜工艺将热线、冷线、精密电阻镀在一块陶瓷片上，有效地降低了制造成本。

热膜式空气流量计的发热体不直接承受空气流动所产生的作用力，从而提高了发热体的轻度和工作可靠性，且结构简单，使用寿命长，不易受尘埃污染。这种流量计的主要缺点是空气流速分布不均匀，易影响测量精度。



图 3-5 热膜式空气流量计

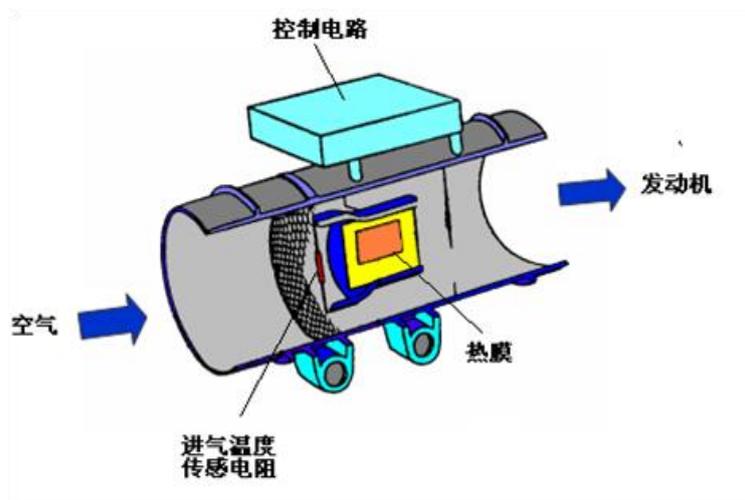


图 3-6 热膜式空气流量计结构图

五、翼片式空气流量计

翼片式空气流量计属于体积流量型，20 世纪 70 年代较为流行，应用在 L 型电控燃油喷射系统中，属于第一代空气流量计，目前已经很少应用。

翼片式空气流量计具有结构简单，性能可靠，价格便宜等优点，缺点是体积大，不便于安装，进气阻力大，急加速时反应迟钝，必须进行大气压力修正和温度补偿等。如图 3-7 所示。主要由翼片部分、电位计部分、C0 调整螺钉组成。



图 3-7 翼片空气流量计实物图

翼片式空气流量计构造如图 3-8 所示，两个铸成一体的测量翼片和缓冲翼片是主要部件，被安装在空气流量计壳体上的翼片转轴上。螺旋复位弹簧安装在电位计部分内。空气旁通风道也设置在空气流量计上。

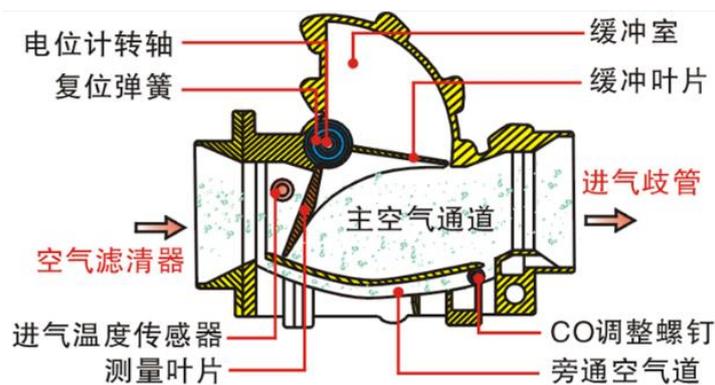


图 3-8 翼片式空气流量计结构图

测量翼片随空气流量的变化在主空气通道内偏转，同时缓冲翼片在缓冲室内偏转。缓冲室内的空气阻力对缓冲翼片起阻尼作用，当发动机吸入的空气量急剧变化和气流脉冲时，能够减小测量翼片的脉冲，以保证输出信号平稳。当复位弹簧的弹力与吸入的空气气流对测量翼片的推理平衡时，翼片即处于某一稳定位置。

空气流量计主空气道下方，设置有空气旁通通道，在旁通通道的一侧设有可改变旁通空气量 CO 调整螺钉，以便在小空气流量时，对空气流量计的输出特性进行调节。

电位计部分布置在空气流量计壳体上方，由平衡配重、滑臂、螺旋复位弹簧、调整齿圈和印刷电路板组成，如图 3-9 所示。

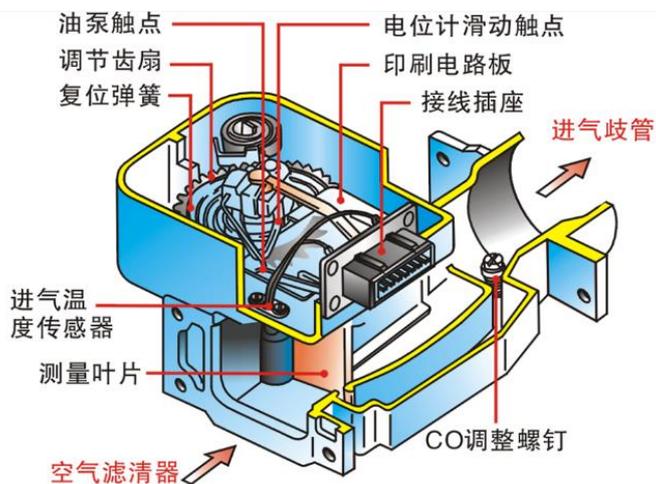


图 3-9 电位计结构图

螺旋复位弹簧的一端固定在翼片转轴上，另一端固定在调整齿圈上，调整齿圈由一卡簧锁止。调整齿圈上有刻度标记，改变调整齿圈的固定位置，可以调整弹簧的预紧力，以便在使用中调整空气流量计的输出特性。翼片转轴上端固装着平衡配重和滑臂，随测量翼片一起转动，滑臂与印刷电路上的镀膜电阻接触，并在其上滑动。印刷电路板采用陶瓷基镀膜工艺制成。

六、卡门漩涡式空气流量计

众所周知，当外架空中的电线被风吹时，就会发出“嗡嗡”的响声，风速越高声音频率越高，这就是气流流过电线后形成旋涡所致。液体、气体等流体均会发生这种现象。在流体中放置一个柱状物体（称为旋涡发生器）后，在其下游流体中就会形成两列平行状旋涡，并且左右交替出现，因此，根据旋涡出现的频率，就可测量出流体的流量。因为这种现象首先被卡门发现，所以称为卡门涡旋。

卡门漩涡式空气流量计属于体积流量型，主要由设置在空气通道中央的锥状卡门旋涡发生器和相应的旋涡检测装置等组成，如图 3-10 所示。当空气流过卡门旋涡发生器时，在其后部将会不断产生卡门旋涡。在单位时间内产生的卡门旋涡的个数（即发生频率）与气流的速度有关，只要测出卡门旋涡的发生频率，即可知道空气流量的大小。

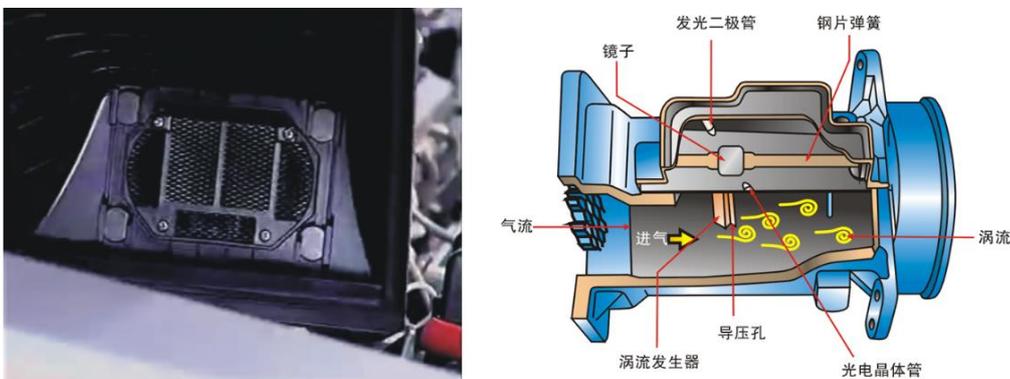


图 3-10 卡门漩涡式空气流量计

卡门漩涡式空气流量计具有相应速度快、进气阻力小、无磨损、结构紧凑、输出信号为脉冲信号容易检测和处理等优点；缺点制造成本高，需要进气大气压力修正和温度修正，因为目前只有少数中高档轿车采用。

按照卡门漩涡频率的检测方式对其进行分类，主要有反光镜检测式和超声波检测式。

1. 反光镜检测式

反光镜检测方式的旋涡检测装置由反光镜、发光二极管和光敏晶体管、板弹簧等组成，如图 3-11 所示。

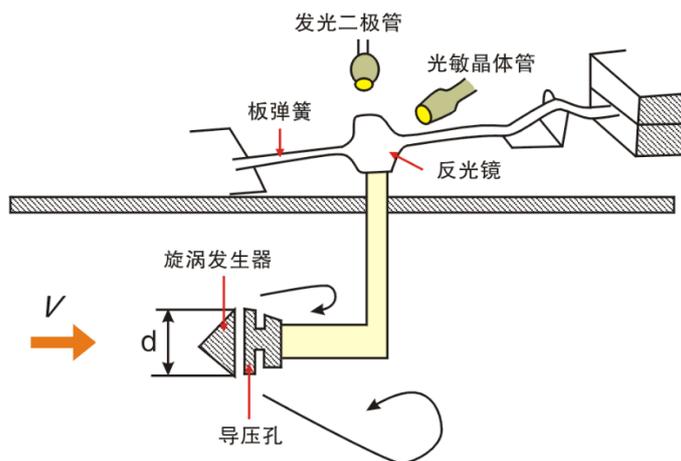


图 3-11 反射镜检测方式

当空气流过卡门旋涡发生器时，受交替产生的卡门旋涡的影响，发生器两侧压力也交替发生变化。用导压孔把旋涡发生器两侧的压力引到薄金属制成的反光镜背面，受发生器两侧交替变化压力的作用、反光镜将产生与旋涡发生频率相同的偏转振动，如图 3-12 所示在反射镜产生偏转振动的同时，发光二极管投射到反射镜上的反射光束的方向也以相同的频率变化。当发射光束发射到光敏晶体管上时，光敏晶体管输出高电平，反之则为低电平。对应连续产生的卡门旋涡，光敏晶体管输出与之对应的脉冲数，通过对光敏晶体管发出的电脉冲计数，即可算出旋涡的发生频率，进而算出空气的流速和体积流量。

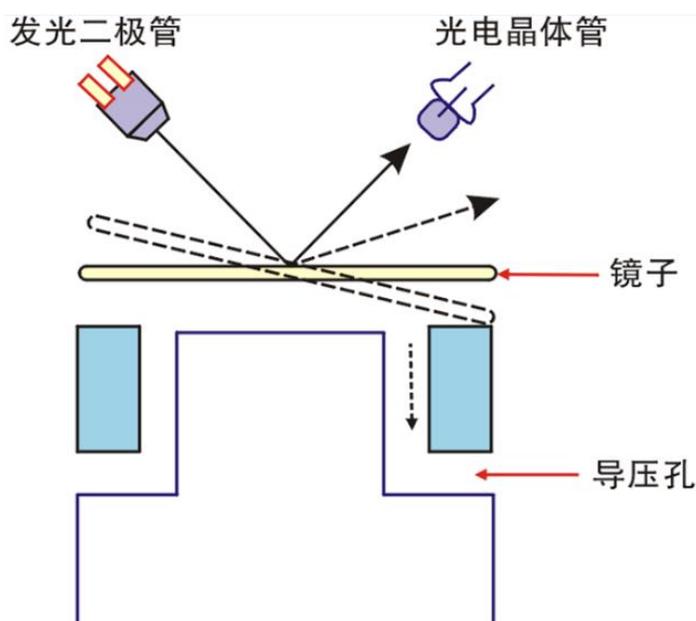


图 3-12 反光镜检测方式原理

2. 超声波检测式

超声波检测方式的检测装置由超声波信号发生器，超声波接收器等组成。它是利用卡门旋涡的存在，会使通道横截面空气密度发生变化这一现象来测量旋涡的发生频率。超声波信号发生器安装在空气流动的垂直方向，在它的对面安装超声波接收器，如图 3-13 所示。

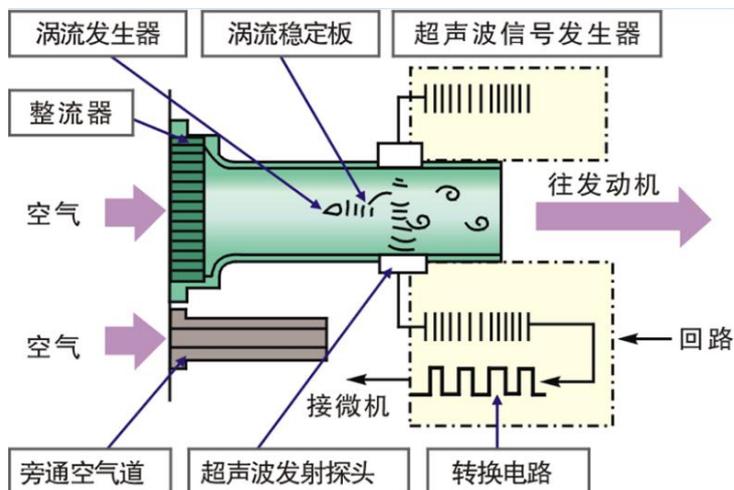


图 3-13 超声波检测方式

发动机运行时，超声波信号发生器不断地向接收器发出一定频率的超声波。当超声波通过发动机进气气流到达接收器时，因受卡门旋涡引起的空气密度变化的影响，超声波频率的相位将发生变化，接收器测出这一相位变化，利用放大器把它们整形为矩形波，根据矩形波的脉冲频率，即可计算出卡门旋涡的发生频率。

任务实施

解析 1 鲁兹轿车空气流量计

雪佛兰 2013 款科鲁兹发动机采用的热膜式空气流量计的检测为例，加以说明，图 3-14 为其实物图。



图 3-14 热膜式空气流量计实物图

解析 2 科鲁兹轿车空气流量计电路图解读

图 3-15 为热膜式空气流量计系统电路图

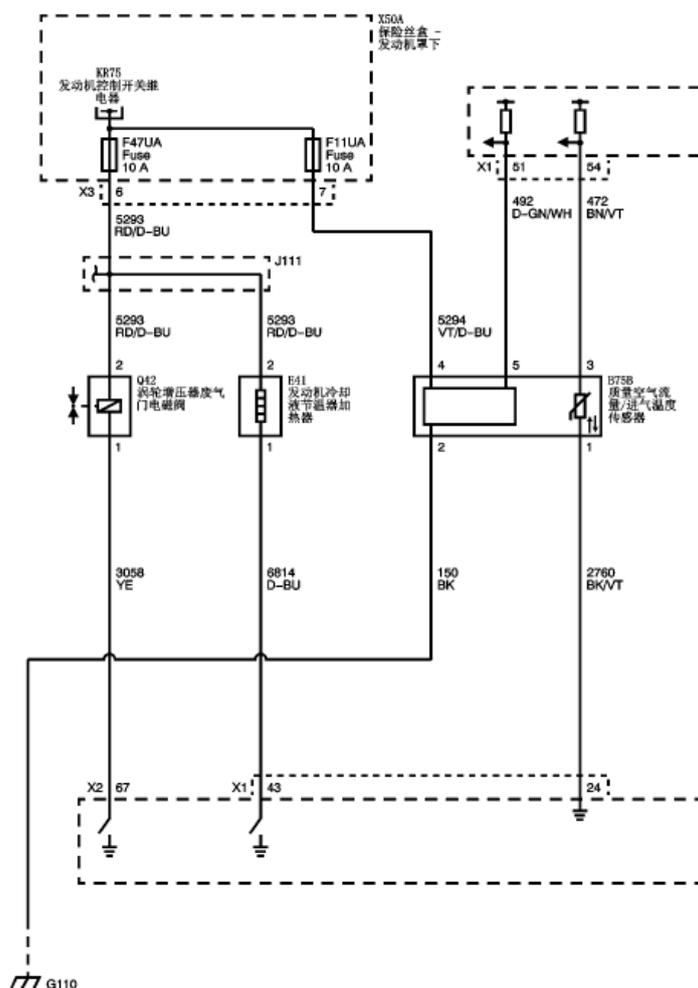


图 3-15 热膜式空气流量计系统电路图

质量空气流量(MAF)传感器和进气温度(IAT)传感器是集成在一起的。质量空气流量传感器是一个空气流量计,测量进入发动机的空气量。发动机控制模块(ECM)利用质量空气流量传感器信号提供所有发动机转速和负载需要的正确燃油输送量。进入发动机的空气量小,表示减速或怠速状态。进入发动机的空气量大,表示加速或高负荷状态。

发动机控制模块向质量空气流量传感器信号电路上的质量空气流量传感器提供 5V 电压。传感器根据流过传感器孔的进气流量,利用电压产生频率。

2 号线:搭铁电路 4 号线:点火电压电路 5 号线:信号电路

科鲁兹轿车空气流量计维修过程

- 1) 读取静态故障码、冻结帧和数据流。
- 2) 检查空气流量计的安装状态。
- 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，断开 B75B 空气流量计连接器，测试搭铁电路端子 2 和搭铁之间电阻是否小于 $10\ \Omega$ 。如果等于或高于 $10\ \Omega$ ，测试搭铁电路端对端的电阻是否小于 $2\ \Omega$ ，如果为 $2\ \Omega$ 或更大，如图 3-16 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）。如果小于 $2\ \Omega$ ，则修理搭铁连接中的开路/电阻过大故障（搭铁连接不良）。



图 3-16 线路断路检查

6) 如果小于 $10\ \Omega$ ，如图 3-17 所示（图中数值为 $1.4\ \Omega$ ），将点火开关置于“ON（打开）”位置。确认点火电压电路端子 4 和搭铁之间的测试灯点亮。



图 3-17 线路断路检查

如果测试灯未点亮，则电路保险丝状态良好，如图 3-18 所示（图中数值为 $0.3\ \Omega$ ），将点火开关置于“OFF（关闭）”位置。测试点火电压电路端到端的电阻是否小于 $2\ \Omega$ 。如果为 $2\ \Omega$ 或更大，则修理电路中的开路/电阻过大故障（断路）。如果小于 $2\ \Omega$ ，如图 3-19 所示（图中数值为 $0.7\ \Omega$ ），则确认保险丝未熔断且保险丝处有电压（保险丝安装问题）。

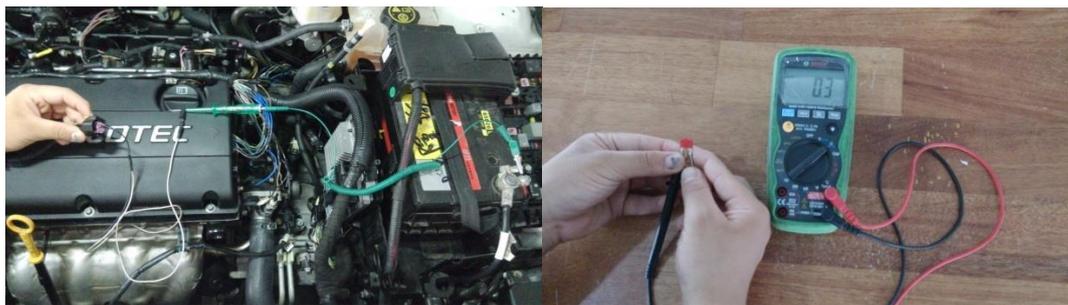


图 3-18 点火电压电路及保险丝状态检查



图 3-19 线路断路检查

如果测试灯未点亮，则电路保险丝状态损坏。将点火开关置于“OFF（关闭）”位置。测试点火电压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，则测试所有连接至点火电压电路的部件并在必要时予以更换。

7) 如果测试灯点亮，如图 3-20 所示。测试信号电路端子 2 和搭铁之间的电压是否为 4.8 - 5.5V。

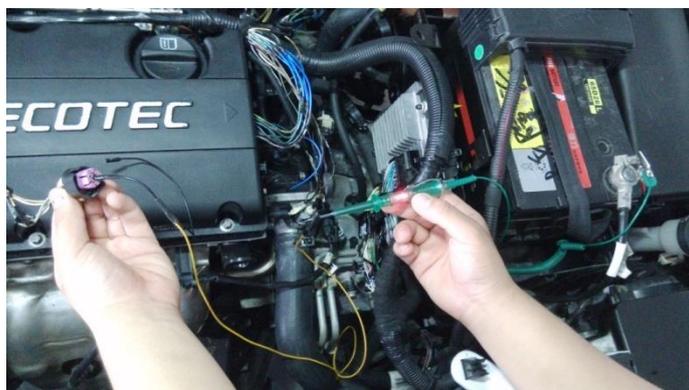


图 3-20 点火电压电路检查

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 X1 线束连接器。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，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，如图 3-21 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）。如果小于 2 欧，则更换 K20 发动机控制模块。



图 3-21 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 X1，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 - 5.5V 之间，如图 3-22 所示（图中数值为 5.04V），更换空气流量计部件。



图 3-22 信号电路检查

9) 修复后再次检查故障码和数据流。

任务评价

表 3-1 任务评价表

任务名称	空气流量计的故障诊断与检修	姓名		日期	
序号	评价内容	要求	分值	自评	互评

1	讲述空气流量计的作用，并在发动机上指明部件所在位置	表达清楚准确	20		
2	讲述空气流量计的类型	表达清楚准确	20		
3	结合原理图叙述各类空气流量计工作原理	原理图解析要清楚，思路要清晰	20		
4	操作完成空气流量计的故障诊断	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，利用课上时间进行热线式空气流量计的检测，并完成工单。图 3-23 为热线式空气流量计系统电路图。

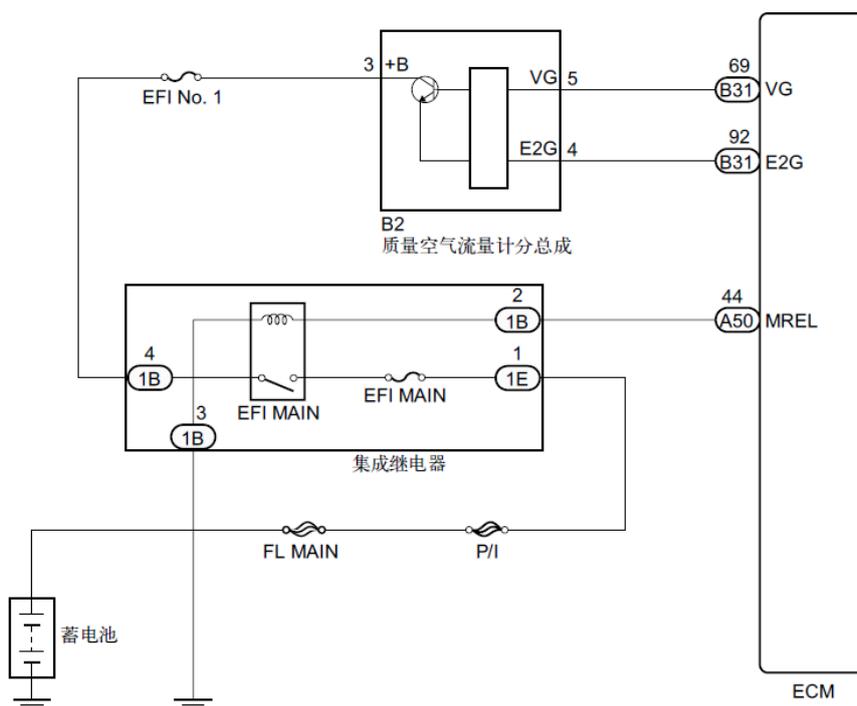


图 3-23 热线式空气流量计系统电路图

- 1) 读取静态故障码、冻结帧和数据流。
- 2) 检查空气流量计的安装状态。
- 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) 检查空气流量计的电源电压。关闭点火开关，断开空气流量计连接器，将点火开关置于 ON 位置，根据下表 3-2 测量电压，连接器前视图如图 3-24 所示，测量结果异常，维修或更换线束或连接器。

表 3-2 标准电压

检测仪连接	开关状态	检测电压
B2-3(+B)-车身塔铁	点火开关置于 ON 位置	

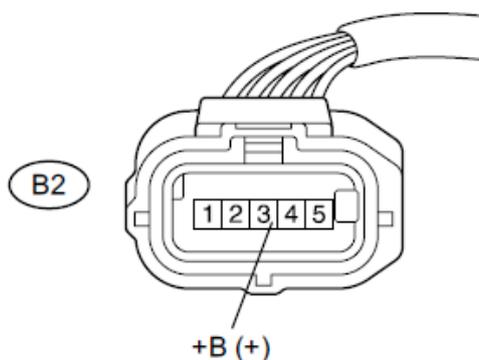


图 3-24 空气流量计连接器前视图

6) 检查空气流量计的 VG 电压。拆下空气流量计，用干净布覆盖空气流量计安装孔。根据下表 3-3 测量电压。空气流量计部件图如图 3-25 所示。测量结果异常，更换空气流量计。安装空气流量计。

表 3-3 VG 电压

检测仪连接	条件	检测电压
B2-5 (VG) - B2-4 (E2G)	向端子+B 和 E2G 之间施加蓄电池电压	

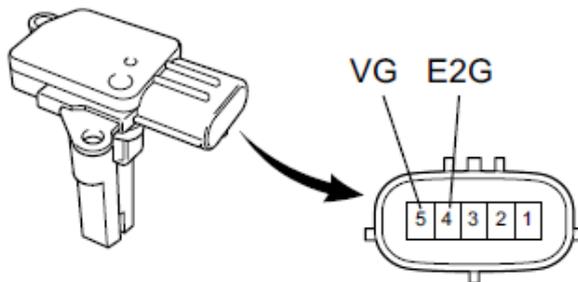


图 3-25 空气流量计部件图

7) 检查线束和连接器（空气流量计—ECM）。断开蓄电池负极接线柱，断开 ECM 连接器，

根据下表 3-4、表 3-5 测量电阻。线束连接器前视图（至空气流量计）如图 3-26 所示，线束连接器前视图（至 ECM）如图 3-27 所示。测量结果异常，维修或更换线束或连接器。重新连接空气流量计连接器，重新连接 ECM 连接器。

表 3-4 标准电阻（断路检查）

检测仪连接	条件	检测电阻
B2-5 (VG) - B31-69 (VG)	始终	
B2-4 (E2G) - B31-92 (E2G)	始终	

表 3-5 标准电阻（短路检查）

检测仪连接	条件	检测电阻
B2-5 (VG) 或 B31-69 (VG) - 车身塔铁	始终	
B2-4 (E2G) 或 B31-92 (E2G) - 车身塔铁	始终	

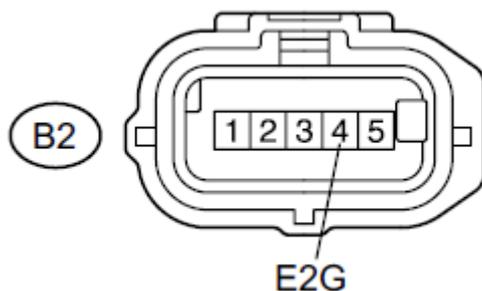


图 3-26 线束连接器前视图（至空气流量计）

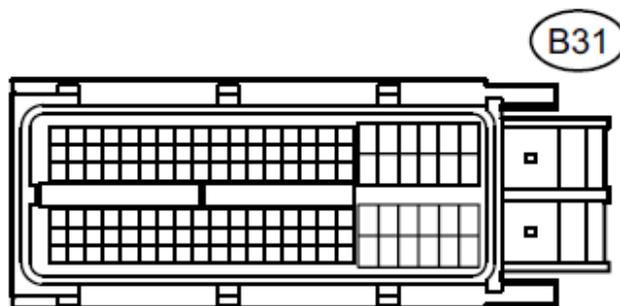


图 3-27 线束连接器前视图（至 ECM）

- 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. 空气流量传感器又称空气流量计,一般安装在_____和_____之间的进气道上。

2. 体积型流量计包括_____式空气流量计和_____式空气流量计,质量型流量计包括_____式空气流量计和_____式空气流量计。

3. 热线式空气流量计是现代轿车广泛应用的一种空气流量计,根据铂热丝在流量计中安装位置不同,又分为_____方式和_____方式两种结构形式。

4. 热膜式空气流量计是热线式空气流量计的改进产品,唯一区别在于热膜式空气流量计的发热体由_____改为_____。

5. 按照卡门旋涡频率的检测方式对卡门漩涡式空气流量计进行分类,主要有_____式和_____式。

二、简答题

1. 空气流量传感器的作用?

2. 简述热线式空气流量计的工作原理?