



庄开明先生所学专业为汽车设计，毕业后从事汽车电气设计开发工作，后转向汽车诊断维修工作，再后来又从事汽车专业职业教育工作。从汽车设计与制造，到汽车维修与汽修人才的培养，庄开明先生的职业经历覆盖了大半条汽车产业链。

庄开明个人语录：

“凡是大家认为对的，往往是错误的。”

“任何复杂的事物，往往有简单的道理；简单的事物，往往有丰富的内涵。”

“别人的失败，乃我成功之母。”

“学技术重要，学会学习更重要。”

“只有按程序、按规范工作，才是真正的汽车维修诊断专家。”

“改变思维，一切变得简单。”

电控发动机燃油供给系统的原理与故障诊断

◆文/上海 庄开明

燃油供给系统是发动机五个控制系统之一，也是发动机四条假想的“平行线”之一。

一、燃油供给系统的作用

燃油供给系统的作用是存储、过滤燃油，并且为发动机提供充足的满足不同工况需要的压力燃油。燃油供给系统通常采用两种结构模式，一种带有回油管技术，另一种不带回油管技术。即使在不带回油管技术的结构模式中，燃油供给系统也还是存在回油管的，只是将其放在燃油箱里了，这种结构特点是由液压原理决定的。燃油供给系统的故障诊断与其结构模式无关，两种结构模式的诊断参数是相同的。

二、燃油供给系统的组成

燃油供给系统由燃油箱(包括单向空气阀，即燃油箱盖)、集滤器、燃油泵(由电机、液压泵、安全阀、单向阀组成)、燃油滤清器、脉动稳压器、燃油轨、喷嘴、燃油(真空)压力调节器、供油管(提供压力燃油管

路)、回油管以及燃油等组成。虽然不同车型或车系的燃油供给系统在组成上存在差异，但并不影响我们对燃油供给系统组成的普遍性分析。

三、燃油供给系统各元件的功用

1.燃油箱：起加注、存储，冷却燃油的作用。为汽车行驶提供一定里程的燃油量。燃油箱盖就是单向空气阀，具有压力平衡作用。燃油箱盖堵塞会使箱内压力降低，导致发动机启动困难、行驶中易熄火等现象的发生。燃油箱分为冲压件燃油箱和注塑件燃油箱两种，冲压件燃油箱和注塑件燃油箱的变形对所供油产生的影响有所不同。

2.集滤器：过滤、清洁燃油，防止燃油泵磨损。集滤器堵塞会发生节流现象，节流就会产生压差，从而使燃油泵的泵油能力降低。集滤器堵塞三分之一就应视为全堵，其对急加速工况、启动工况影响很大。对于任何系统管路或滤芯，如果工作时的有效尺寸减少三分之一，都应视为全堵，而不能认为是导通工况。

3.燃油泵：提供充足流量的燃油，使燃油系统建立油压(产生压力的原因)。保证发动机不同工况时需要的充分燃油。燃油泵由直流电机、液压泵、安全阀和单向阀组成。

对于燃油泵直流电机，功率=电压×电流。对于燃油泵液压泵，功率=压力×流量。所以，通过测量电流看电流大小及变化状态的方法，以及测量流量看单位时间内流量多少及变化状态的方法可以确定燃油泵的好坏。燃油泵为系统建立油压，提供流量，油压大小取决于系统和负载。

安全阀限定压力值反映的是燃油泵泵油能力的大小，是燃油供给系统的最高压力。燃油供给系统正常工作时，安全阀不打开；系统堵塞时，安全阀打开，提供小循环回路，保护燃油泵。

燃油泵出口安装有一个单向阀，它使燃油供给系统拥有一定的残余压力，防止产生气阻，易于下次启动。如果单向阀密封性变差，那么系统残余压力就会下降。

通常情况下，燃油泵通过流过的燃油进

行冷却。禁止在缺油情况下多次启动车辆,以免损坏燃油泵。燃油量报警后,燃油箱内也存一定量的燃油,但必须尽快加油,以防止燃油泵损坏。当燃油泵产生的噪声超标时,需要将其更换。

4.燃油滤清器:过滤、清洁燃油,保护喷油嘴正常工作。燃油滤清器脏污会发生节流现象,形成压差和气阻,对启动和急加速工况产生影响。燃油滤清器的更换需要遵照维修保养手册的要求,通常情况下,每更换两次空气滤清器,需要更换一次燃油滤清器。

5.回油管:冷却燃油,防止气堵现象发生,为多余燃油提供一个通路。由于燃油供给系统采用等容液压系统并使用液压泵循环,那么燃油供给系统必须有回油管,所以,即使采用了无回油管技术,实际上还是有回油管,只是回油管不是在外面,而是在燃油箱内部罢了。

6.脉动稳压器:喷油嘴工作时,燃油供给系统会产生压力波动,影响喷油量控制。脉动稳压器可以消除脉动压力的影响。

7.燃油(真空)压力调节器:为系统提供恒定油压,使喷油嘴喷油量多少只取决于喷油时间。当发动机工作时,调节油压,使喷油嘴压差恒定。这样,喷油嘴喷油量多少可以不受进气负压变化的影响,只取决于喷油时间。真空压力调节器提供两个压力(油压),一个工作压力(油压),一个调节压力(油压)。工作压力就是发动机标定的燃油压力,是一个静态的恒定压力,它的数值取决于压力调节器弹簧工作时的弹力。工作压力的测试条件是燃油泵工作,发动机不工作,回油管不堵塞。调节压力就是发动机工作时的压力,是一个动态变化的压力,发动机工作时产生真空负压,使调节压力小于恒定压力,且变化状态与节气门变化一一对应。

8.喷油嘴:提供雾化、量化、一致性燃油。喷油嘴脏污、磨损或漏油,需要对其进行清洗、校验或更换。一般车辆存在怠速不平顺、急加速变差、车速降低等现象时就需要清洗和校验喷油嘴了。

四、电子控制系统对喷油电磁阀的控制

空气供给系统是主动系统和感知系统,而燃油供给系统是被动系统和执行系统。电子控制系统实现对喷油电磁阀和燃油泵电机的控制作用。在这里需要说明一下,喷油执行元件既属于电子控制系统,又属于燃油供给系统。对电子控制系统来说是喷油电磁阀,对燃油供给系统来说是喷油器。对于不同系统,喷油执行元件的称谓是不同的。下面先讲讲电子控制系统对喷油电磁阀的控制,喷油电磁阀需要哪些控制呢?

1.需要喷油指令信号。喷油电磁阀收到喷油指令,才能输出喷油电磁阀脉冲信号。那么,哪个输入信号可以做喷油指令信号呢?我们知道,发动机工作才喷油,不工作就不喷油。那什么信号才能表明发动机工作呢?只有曲柄连杆机构旋转才能说明发动机工作。所以,曲轴转速信号就是喷油指令信号。收到曲轴转速信号,必喷油(即输出喷油电磁阀脉冲信号);曲轴转速信号切断,必不喷油(即不输出喷油电磁阀脉冲信号)。曲轴转速信号是一个频域信号,数学领域已经证明,频域信号可以变换为时域信号,也就是时间类信号。曲轴转速信号是以自变量为横坐标轴的时间信号,如果我们把发动机当成生命体,发动机工作就意味着有生命,生命的过程就是以自变量为横坐标轴的时间信号,简单地说,喷油指令信号就是时间信号,即曲轴转速信号。

2.需要确定喷油时刻信号。收到喷油时刻信号,喷油电磁阀才会产生喷油脉冲信号。那么,哪个输入信号可以做喷油时刻信号呢?根据发动机构造和原理可知,活塞的位置决定喷油时刻。而活塞的位置是用活塞上止点和曲轴转角表示的,即曲轴相位角表示的,曲轴相位角就是曲轴位置。那么,必须输入活塞上止点信号和曲轴转角信号,而曲轴转角信号应该是 1° 曲轴转角信号,这样控制精度才能达到设计要求。喷油时刻信号就是 1° 曲轴转角信号和上止点信号,即曲轴位

置信号。由于曲轴位置信号是频域信号,所以根据数学原理,其可以转换为时域信号,即曲轴位置信号就是以时间自变量为横坐标轴,轴上某点的时刻信号。简单地说,曲轴位置信号就是喷油时刻信号。

3.需要确定喷油时序信号。由于发动机采用多缸工作,每个缸必须按时序进行工作,喷油时序可以是同时喷油、分组喷油,也可以按顺序喷油。哪个输入信号可以做喷油时序信号呢?由发动机构造和工作原理可知,配气机构凸轮轴的凸轮位置可以确定各缸的工作时序,所以,凸轮轴位置信号就是喷油时序信号。凸轮轴位置信号是频域信号,可以转换为时域信号。简单地说,凸轮轴位置信号就是喷油时序信号。

由于时间类信号可以复制或删除。当发动机启动时,时刻信号和时序信号就可以复制在时间信号上,即曲轴位置信号和凸轮轴位置信号可以复制在曲轴转速信号上。即使在工作时,曲轴位置信号或凸轮轴位置信号丢失,也并不影响发动机工作(当然发动机运行工作模式会依据设计员策略而有所不同),但发动机熄火后,复制的信号就会被删除,当再次启动发动机时,就会因缺失曲轴位置信号或凸轮轴位置信号,而造成启动困难或按设计员策略进行的后备工作模式运转。

这里需要提醒大家的是,传感器和信号不是一个概念,一个传感器可以输出一个信号或几个信号。传感器输出的信号就是源信号,电控单元需要控制的是源信号或由源信号运算产生的本信号。控制喷油电磁阀的本信号是曲轴转速信号、曲轴转角 1° 信号、活塞上止点信号、第一缸识别信号(一般采用第一个缸,当然,也可以采用任何一个缸做识别信号)。而它们的源信号是曲轴转速信号、曲轴位置信号、凸轮轴位置信号。由于不同车系、车型、车款采用的传感器个数不同,其原理和安装位置也不同,这就造成了传感器的称谓不同。每个传感器产生的源信号有所不同,但最终都必须通过算法产生

控制需要的本信号,即必须产生曲轴转速信号、曲轴转角 1° 信号、活塞上止点信号、第一缸识别信号。

4.需要确定喷油量的信号。由燃油供给系统结构原理可知,只要控制喷油电磁阀脉冲时间就可以控制喷射的燃油量(对于采用压力传感器的燃油供给系统,控制会更精确),燃油供给系统保证喷射的燃油量只取决于喷油电磁阀脉冲(宽度)时间,即喷油时间信号。也就是说,需要确定喷油时间信号。那么,怎么确定喷油时间信号呢?我们知道,发动机燃油与空气混合形成一定空燃比才能进行燃烧,对于特定的工况,空燃比是确定的(基本空燃比、功率空燃比或经济空燃比)。然而,由于制造精度的误差和使用性能下降产生的偏差,必然需要进行信号反馈。那么,空气供给系统的四个信号,即空气流量计(或真空压力传感器)、节气门位置传感器、进气温度传感器、冷却液温度传感器和排气系统的氧传感器就是确定喷油时间的信号。空气流量计确定基本喷油时间信号(即燃油基本量),节气门位置传感器、进气温度传感器、冷却液温度传感器确定修正喷油时间信号(即燃油修正量),氧传感器确定调节喷油时间信号(即燃油调节量)和学习记忆值信号。

五、燃油供给系统对喷油器的控制及要求

1.提供恒定的系统工作油压,即发动机标定的工作油压。恒定的压力值有利于燃油雾化,喷射的燃油量只取决于喷油时间。恒定的系统工作油压大小是由燃油压力调节器里的弹簧在燃油泵工作时,产生的弹力大小决定的。

2.提供可以调节变化的油压(即调节油压)。发动机歧管产生负压(真空度),随节气门开度大小或负荷大小而改变。当发动机工作时,进气歧管产生可变的负压,对系统恒定工作油压进行负反馈调节,使喷油器进出口压差值保持不变,让进气歧管产生的可变负压对喷油量不产生影响,喷油量只取决于

喷油时间。调节油压的目的是通过真空压力反馈调节使喷油器压差恒定,且低于恒定的系统工作油压。

3.提供充足的燃油量。充足的燃油冷却效果好,不易产生气阻,并且喷油器工作时不易产生压力波动。充足的燃油量可以通过采用大流量燃油泵来实现。

4.提供没有节流现象的燃油。当发生节流时,工况突变会产生供油不及时现象。若想提供没有节流现象的燃油,可通过采用良好品质的集滤器和燃油滤清器及减小燃油管路的沿程损失和局部损失来实现。

5.雾化、量化、一致、不滴油。所谓的雾化就是喷油器喷射的燃油应该符合雾化标准。量化就是喷油器的喷射量与喷射时间应一一对应。一致就是同一台发动机数个喷油器喷油差别应该符合标准。不滴油就是喷油器在系统压力作用下密封性保持良好,不产生滴油现象。

六、电子控制系统对燃油泵直流电机的控制

电子控制系统对燃油泵直流电机的控制无外乎有两个方面。其一,燃油泵直流电机工作模式,即直流电机工作的控制模式,哪些输入信号控制直流电机工作及其工作模式。其二,直流电机转速的控制。也就是燃油泵液压泵的排量控制。只要控制直流电机的转速,就控制了燃油泵液压泵的排量。

1.燃油泵直流电机工作模式控制

收到点火开关信号,燃油泵工作 $2\sim 3s$,使燃油供给系统建立油压,利于启动。当然也可以利用其他信号(比如有些车型就利用车门信号)触发燃油泵短时工作。

收到曲轴转速信号,则燃油泵一直工作。如果曲轴转速传感器输入回路有问题(出现故障码),则可能会让点火开关信号触发无效。当然这是设计策略,不同车系、车型、车款会有所不同。

2.燃油泵直流电机转速控制

燃油泵直流电机转速控制是一种通过

燃油泵直流电机继电器输出回路实现单级恒速的控制,它不考虑发动机不同工况(低速小负荷、高速大负荷)需要的燃油量多少,燃油泵都能实现大流量输出。当然,这样会控制简单,不考虑效率。另一种通过燃油泵控制器(控制单元)输出回路实现的是多级(或双级)多速(或双速)控制。它实现针对不同工况(低速小负荷、高速大负荷)输出不同的燃油量。实现输出燃油量与发动机工况的匹配,控制复杂,但效率高。

七、燃油供给系统故障的诊断参数

1.燃油供给系统的诊断参数

燃油供给系统由许多功能件构成。燃油供给系统执行元件——喷油器喷射的燃油量只取决于电子控制系统输出的脉冲宽度(时间),即燃油量只取决于喷油时间。燃油供给系统必须提供恒定的工作油压、提供变化的调节油压、提供充足的燃油量,以满足不产生节流现象的油路系统。既然是燃油供给系统,那提供的燃油必须是满足发动机燃烧要求的燃油,即汽油的油号和品质满足发动机的要求和规定。那么得出结论,燃油供给系统的诊断参数为燃油供给系统的压力参数、流量参数、流速参数、喷油器品质参数以及汽油油号和品质。换句话说,当燃油供给系统的压力参数、流量参数、流速参数、喷油器品质参数以及汽油油号和品质正常,那么,燃油供给系统正常。由于燃油供给系统是被动系统、执行系统,通常采用检测方法就可以确定燃油供给系统是否正常。

2.对喷油电磁阀控制的诊断参数

根据上面讲述的可知,电子控制系统对喷油电磁阀的控制内容包括喷油指令信号、喷油时刻信号、喷油时序信号和喷油时间信号。即曲轴转速信号、曲轴位置信号、凸轮轴位置信号还有空气供给系统四个传感器以及排气系统的氧传感器信号。它们就是对喷油电磁阀控制的诊断参数。

3.对燃油泵直流电机控制的诊断参数

由上面讲述的可知,控制燃油泵直流电机

的信号是点火开关信号(当然,也可以是其他触发信号,这取决于车型)和曲轴转速信号,那么,诊断参数就是点火开关信号和曲轴转速信号。

八、燃油供给系统故障检测

1. 压力参数的检测

燃油供给系统的压力参数包括工作压力、调节压力、最高压力和残余压力。下面分别对四个压力参数进行讲解。

(1) 工作压力(油压)测量

测试条件: 燃油泵工作, 发动机不工作, 回油管不堵塞。

压力特征: 压力值符合发动机标定的工作压力值范围, 且压力值恒定。

证明结论: 如果工作压力值不符合标准, 那么一般是发生了燃油压力调节器、燃油泵、安全阀或管路堵塞和泄漏。

(2) 最高压力(油压)测量

测试条件: 燃油泵工作, 发动机不工作, 回油管堵塞。

压力特征: 满足燃油系统最高压力指标, 且压力值恒定。回油管松开会下降, 回油管堵塞会上升。

证明结论: 如果不符合最高压力标准, 那么一般是燃油泵安全阀弹簧工作时弹力故障、燃油泵供油能力故障或管路泄漏。

(3) 调节压力(油压)测量

测试条件: 燃油泵工作, 发动机工作(实现真空反馈调节), 回油管不堵塞。

压力特征: 压力值变化, 且低于工作压力值, 压力值随节气门开度变化, 且一一对应。

证明结论: 若调节压力出现异常, 那么一般是真空压力调节器、真空管或发动机配气机构的问题。

(4) 残余压力(油压)测量

测试条件: 发动机工作后熄火。

压力特征: 在单位时间内压力下降值符合规定。

证明结论: 单向阀、喷油器、压力调节器以及管路的密封性。一般情况下, 如果堵

塞回油管, 不下降, 证明是压力调节器故障; 下降, 证明是单向阀、喷油器或管路故障。如果启动时发动机排气有噪声, 不易启动, 则说明喷油器漏油。

上面的测量过程是一气呵成的, 通过它们的测量可以综合分析, 会得出更正确的结论。

2. 泵流量参数的检测

燃油泵工作, 发动机工作(可以采用改变节气门开度及变化的方法)或不工作, 测量回油管单位时间内回油量的数值, 并观察变化状态, 就可以证明燃油泵排量的好坏。需要提醒大家, 知道数值大小和变化状态都必须都正常, 才能说明流量正常。由于燃油供给系统采用大流量液压泵, 发动机工作时和不工作时回油管的回油量基本一样。经验告诉我们: 如果系统流量正常, 一般燃油供给系统正常, 当然必须以遵守测量的规范和条件为前提。

我们也可以采用测压力的方法, 判断流量是否正常。当发动机工作时, 拔下或卡死真空压力调节器真空管, 使其不产生反馈调节, 保持系统恒定工作压力(油压), 通过改变节气门开度(渐变或突变方式), 观察燃油压力表的数值变化状态, 如果压力基本不变化, 就可以确定流量正常。需要注意的是, 如果压力产生变化并不能证明流量不正常, 可能是系统产生节流造成的。能证明流量是否正常的方法很多, 这里就不一一讲解了。

值得注意的是, 燃油泵只提供流量, 是建立油压的原因, 系统压力大小与燃油泵无关。压力大小不能说明燃油泵(排量)好坏, 只能证明系统或泵能力。在实际维修中, 通过测量压力值来证明燃油泵好坏的做法是错误的, 把燃油泵拆下来进行通电测量也是不可取的。测燃油泵流量是检验燃油泵好坏的最佳方法之一。

3. 燃油供给系统流速检查

燃油供给系统存在节流, 会产生压差, 而造成供油不及时, 对发动机启动工况或突变工况产生影响。通过对燃油箱底部变形、集滤器脏污、滤清器脏污、压力调节器滤网的堵

塞及管路弯曲或扭曲的检查, 就可以确定是否发生了节流。也可以通过测量压力和流速来证明系统是否发生了节流现象。

4. 喷油器校验

即使燃油供给系统的压力参数、流量参数和流速参数全部正常, 也不能说明燃油供给系统正常, 喷油器的品质参数才是证明燃油供给系统是否正常的关键。

维修统计经验告诉我们, 一般车辆存在怠速不平顺、加速不畅、车速下降现象时, 就应该清洗校验喷油器了。

拆装喷油器应遵守规范和程序, 尽可能使每缸的喷油器安装在原位。使用汽油润滑密封圈, 严禁使用机油润滑, 因为使有机油润滑容易漏油, 发生火灾。

九、电子控制系统对喷油电磁阀控制的诊断

前面讲到电子控制系统对喷油电磁阀控制的诊断参数是曲轴转速信号、曲轴位置信号、凸轮轴位置信号、空气供给系统四个传感器信号还有排气系统的氧传感器信号。分析得知, 它们都是电子控制系统的输入信号, 即传感器。其中曲轴转速信号、曲轴位置信号、凸轮轴位置信号都是依靠触发轮(或磁编码)触发产生的频域信号, 它们产生的信号与触发轮是一一对应的关系。而空气供给系统四个传感器和排气系统氧传感器都是通过感知产生的信号。传感器的诊断方法非常多, 可以通过检查、测量、试验、读故障码等方法确定传感器故障。当喷油电磁阀不产生喷油脉冲信号, 那一定是电气回路(输入回路、输出回路、控制单元)或曲轴转速传感器系统(包括传感器输入回路、传感器、触发轮)发生故障了。当喷油电磁阀产生喷油脉冲信号, 那么, 一定是各传感器系统或主系统发生故障了。当喷油电磁阀产生喷油脉冲时, 我们时刻要看喷油时刻是否正确、喷油时序是否正确、喷油量是否正确、反馈调节是否正确。将以上参数逐一检验证明, 便可找出故障原因或部位。M