

第一章

▶ 发动机新技术

▶ 第一节 进气控制新技术

为了提高充气效率,利用先进的进气控制新技术,针对不同运行工况选择不同的进气方式,以达到提高发动机功率和扭矩输出、提高发动机经济性的目的。

一、可变进气系统

可变进气系统(variable intake system, VIS)能够代替传统固定参数的进气系统,使进气过程得到优化,可以在发动机整个工作过程中的转速和负荷下,提供合适的进气通道,从而改善发动机的进气性能,提高充量系数,较好地解决高转速与低转速、大负荷与小负荷时的动力性、经济性与废气排放的矛盾。

进气过程具有间歇性和周期性,致使进气管内产生一定幅度的压力波。此压力波以当地声速在进气系统内传播和往复反射。如果以一定长度和直径的进气管与一定容积的谐振室组成谐振系统,并使其固有频率与气门的进气周期相协调,那么在特定的转速下,就会在进气门关闭之前,在进气管内产生大幅度的压力波,使进气管的压力增高,从而增加进气量。这就是进气波动效应。

谐波增压装置是根据空气动力学原理,利用进气过程中气流惯性产生的压力波和尽量缩小发动机在高低转速下的进气速度的差别,来提高充气效率,从而达到改善发动机经济性和动力性的目的。可变进气系统可分为可变进气管长度系统、可变进气管截面系统和可变气流进气系统。

1. 可变进气管长度系统

可变进气管长度系统是充分利用进气波动效应和尽量缩小发动机在高低转速下的进气速度的差别,从而达到提高发动机充气效率的目的。

为了提高低速扭矩以提高加速性,应加大进气管长度;反之,为了提高高速扭矩以提高额定功率,应减少进气管长度(见图 1-1)。可变进气管长度系统一方面可以使发动机在高转速时进气管的长度变短,流通截面变大,这样就减小了发动机的进气阻力,使发动机的充量系数增大,进而改善发动机的高速性能;另一方面,可以通过改变进气系统参数,利用进气的动态效应,使发动机在某段低转速范围内的充量系数增加,从而使扭矩增大,以达到低速大



扭矩的目的。这样使发动机的性能指标在高速、低速时兼顾,而且发动机本身结构改变也不大。

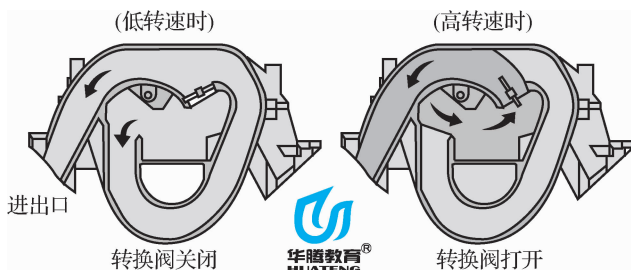


图 1-1 可变进气管长度系统结构原理

奥迪 V6 汽油机采用了可变进气管长度系统,如图 1-1 所示,实际上是在进气总管和进气歧管之间设计一个转换阀;当发动机低速运转时,发动机电子控制装置指令转换阀控制机构关闭转换阀,这时空气经空气滤清器和节气门沿着弯曲而又细长的进气歧管流进气缸。利用气流惯性,直径较小、长度较长的进气歧管内气流速度增大,进而进气量也增加,使进气量增多,提高充气效率;当发动机高速运转时,转换阀开启,空气经空气滤清器和节气门直接进入粗短的进气歧管。由于进气阻力与进气歧管的尺寸相关,尺寸上较粗较短的管道阻力较小,这样能提高进气质量,也使进气量增多,从而提高高速时的充气效率。

与固定长度进气歧管相比,使用带转换阀进气歧管的发动机在中低转速下扭矩有很大的提升,高速下的功率也有显著改善。可变长度进气歧管不仅可以提高发动机的动力性,还由于提高了发动机在中低转速下的进气速度而增强了气缸内的气流强度,从而改善了燃烧过程,使发动机中低速燃油经济性有所提高,减少排放。

根据发动机的不同转速,还可以通过转换阀改变发动机进气谐振腔以达到改变谐振转速的目的,从而提高充气效率和发动机性能。除了采用两段可调技术的进气管,还可采用多段可调进气管。设置多个转换阀,通过开闭不同的转换阀来获得不同的进气管长度,并通过调节转换阀来改变与之配合的不同容积。通过调节中央转子的角度,连续可调的进气管能够实现回旋进气管长度的改变。这种设计符合发动机在不同工况下对进气的要求,使动力输入更平稳、扭矩更平均、燃油经济性更好,当然其结构也会更加复杂。

2. 可变进气管截面系统

发动机本身在不同转速条件下对涡流运动和流通系数的要求各有侧重,低速要求高涡流比,高速要求大流通系数。可变进气管截面技术能够保证发动机在高速工况下具有较高的流通性能,在低速工况下缸内气体具有较强的涡流运动,从而改善发动机的排放性能和燃油经济性。在进气管或者进气道中安装阀门片,根据运行工况的不同通过电子控制阀门对进气道或进气管的流通面积进行改变,如图 1-2 所示。

可变进气管截面系统是在各个进气管均设计一个阀门,通过一根轴联动,阀门的打开改变的是进气歧管的截面积。当发动机低转速运转时,需要的进气歧管截面积小,这时阀门适当关闭一些,相当于缩小了进气通道的截面积,提高气缸的进气负压,以此提高进气气流的流速,利用形成的涡流能够使空气与燃料混合更加均匀。而在高转速时阀门在 ECU 控制下开启,两个进气门同时工作,使用较大的进气歧管截面积提高进气流量。



图 1-2 可变进气管截面系统结构示意图

经过众多试验研究验证,在高速情况下可变进气管截面技术可以保证较高的流通系数,在低速时可以获得高强度的气流运动,提高发动机的燃烧性能。同时,运用恰当的进气充量运动,可以实现发动机的稀薄燃烧、缸内混合气的理想分层,并改善其排放性和经济性(见图 1-3)。

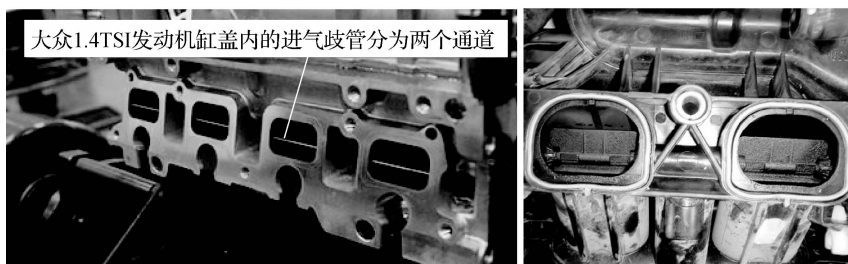


图 1-3 实车可变进气管截面技术

3. 可变气流进气系统

可变气流进气系统包括可变进气涡流和可变进气滚流两种方式。通过在气缸盖进气道入口处加装控制阀来实现。

如图 1-4 所示,在不同转速下,可变气流进气系统通过控制阀使进气以不同的方式进入气缸,形成强度不同的进气涡流或滚流,让燃油喷雾与空气充分混合。控制阀由进气歧管负压或电机驱动打开和关闭。发动机在小负荷或以低于某一转速运转时,ECU 发送指令开启真空电磁阀,控制阀内形成真空,气流形态变为只从一个气道流入或只从气道上部流入,产生强涡流或滚流,提高了燃烧效率,节约了燃油。当负荷逐渐增大或转速提高时,根据温度、转速、进气量等传感器传回的信号,ECU 发送指令关闭真空电磁阀,控制阀不再形成真空度,控制阀靠复位弹簧打开,进气通道变大,进气效率提高,进而发动机的动力性也得到改善。

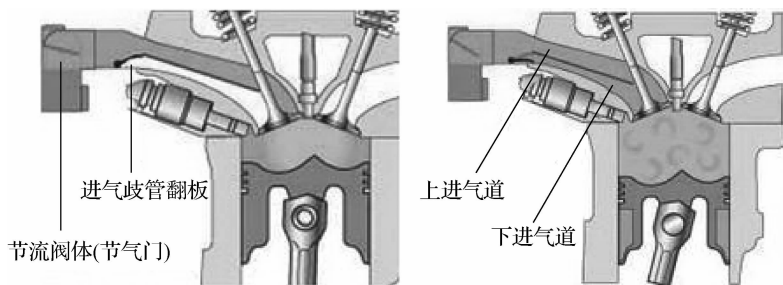


图 1-4 可变气流进气技术



二、可变气门技术

发动机的配气相位(见图 1-5)是用曲轴转角表示的进、排气门的开闭时刻和开启持续时间,配气相位对发动机的动力性、经济性和排气污染都有重要影响。为了改善发动机的换气过程,使发动机进气充分、排气彻底,从而提高发动机动力性能,实际上发动机的气门适当地提前开启和滞后关闭,以延长进气、排气时间。特别是发动机转速变化时,由于气流的速度和进排气门早开迟闭的绝对时间都发生了变化,因此,其最佳的配气相位也应随之改变。要达到更高的充气效率,就需要延长发动机的进气和排气时间。

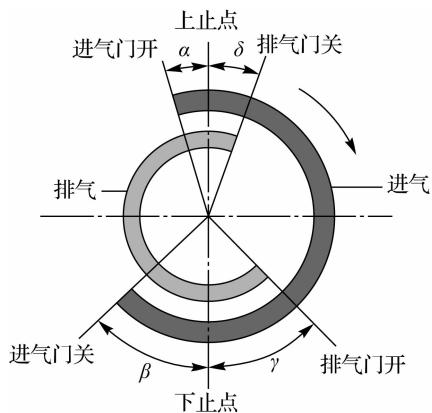


图 1-5 配气相位

最佳的配气相位应使发动机在很短的换气时间内充入最多的新鲜空气(可燃混合气),并使排气阻力最小、废气残留量最少。但是传统发动机气门的开闭时间(气门相位)和开度(气门升程)是固定的,无法适应不同转速下的进气需求。

可变气门技术能根据发动机转速的不同,通过对凸轮轴转角的控制,改变气门开启的角度、升程和时间,从而更合理地控制相应发动机转速所需的空气量:在高转速时,进气门推迟关闭,排气门推迟打开,提升进气量的同时让燃料燃烧更加充分;在低转速时,进气门提早关闭,排气门提早打开,节省燃料同时排气更充分。这样就可以提高发动机的扭矩和功率,改善发动机的动力性、经济性及排气污染。

1. 可变气门正时

传统的内燃机采用的是固定不可变的配气相位,进、排气门开闭的时间都是固定的,因此其只适合内燃机某些常用的转速,却很难顾及发动机在不同转速和工况时的需要。内燃机在实际工作过程中,气缸内的燃烧过程和气体的流动、转速有着很大的关系:一方面,当内燃机处于低转速状态时,气体流速和惯性都较小,重叠角较大时,一部分新鲜空气会随废气一起从排气门排出,影响充气效率,从而使内燃机燃烧不充分;另一方面,当内燃机处于高转速状态时,气体流速和惯性都较大,此时需要较大的气门重叠角使发动机进气量增加,改善发动机进气效率。因此,采用相位不变的气门配气机构不能对发动机复杂的工作过程进行有效的调节与控制,很难使内燃机处于最优的工作状态。

可变气门正时(variable valve timing, VVT)系统通过配备的控制及执行系统,对发动机

凸轮的相位进行调节,从而使气门开启、关闭的时间随发动机转速的变化而变化,中高转速时要求进排气有较大的重叠角,而低转速时则不能有较大的重叠角,通过控制进气门开启角度的提前和延迟来调节进排气量和时刻、改变气门重叠角的大小(见图 1-6),从而增大进气充量和效率,更好地组织进气涡流,调节气缸爆发压力与残余废气量,从而获得发动机功率、扭矩、排放、燃油经济性、舒适性等综合性能的改善。

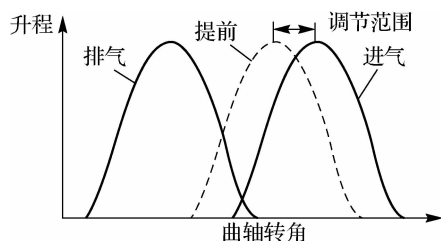


图 1-6 可变气门正时原理

可变气门正时系统由电磁阀、可变凸轮轴相位调节器、发动机 ECU、传感器和机油油道等组成,如图 1-7 所示。

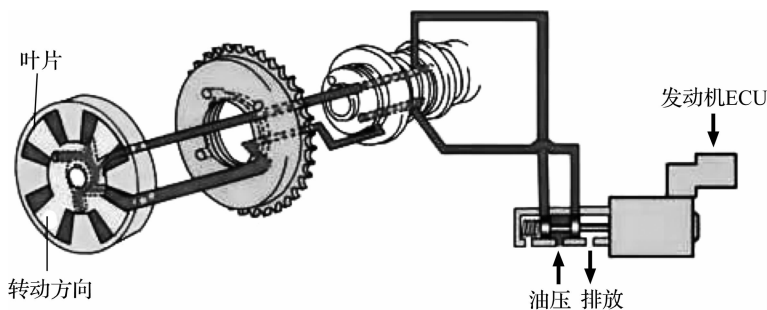


图 1-7 可变气门正时系统的结构

发动机 ECU 根据节气门开度传感器、发动机水温传感器、转速传感器、空气流量计等传来的信号,解算出发动机各工况下所需的气门正时角;同时,发动机 ECU 根据曲轴位置传感器和凸轮轴位置传感器传来的反馈信号计算得出的凸轮轴的实际位置,向电磁阀发出动作信号,改变控制阀中阀芯的位置,从而改变油路中的机油流向和流量大小,把提前、滞后、保持不变等信号以油压方式反馈至 VVT 相位器的空腔内,来实现相位器内部定子和外部转子之间的相对转动,调节凸轮轴的正时角度,从而调整进气(排气)量和气门开闭时间。

通过在凸轮轴的传动端加装一套液力机构,从而实现凸轮轴在一定范围内的角度调节,也就相当于对气门的开启和关闭时刻进行了调整。

凸轮安装在凸轮轴上。凸轮轴的末端是一个正时齿轮,靠正时皮带(正时链条)带动。在凸轮轴与正时齿轮之间装有液压控制装置,当电控系统发出控制信号时,步进电机带动谐波齿轮传动机构,引起凸轮轴相对于正时皮带轮转动,产生角位移。利用整个凸轮轴相对于正时皮带轮旋转一个角度,实现发动机配气相位的变化,如图 1-8 所示。



图 1-8 可变气门相位部件

2. 可变气门升程

传统的汽油发动机的气门升程是固定不可变的,也就是凸轮轴的凸轮型线只有一种,这就造成了该升程不可能使发动机在高速区和低速区都得到良好的响应。可变气门升程(variable valve lift, VVL)技术的采用,可以在发动机不同转速下匹配合适的气门升程,使得低转速下扭矩充沛,而高转速时功率强劲。低转速时系统使用较小的气门升程,这样有利于增加缸内混合气气流紊流度,进而提高燃烧速度,增加发动机的低速扭矩,而高转速时使用较大的气门升程则可以显著提高进气量,进而提升高转速时的功率输出,从而改善发动机的高速功率和低速扭矩。

AR

按控制效果,可以将可变气门升程分为阶段式气门升程调节(DVVL)和连续式气门升程调节(CVVL),两种方式各有优劣。

1) 阶段式气门升程调节

奥迪的可变气门升程系统(Audi valvelift system, AVS)为每个进气门设计了两组不同角度的凸轮,同时在凸轮轴上安装有螺旋沟槽套筒。螺旋沟槽套筒由电磁驱动器控制,用以切换两组不同的凸轮,从而改变进气门的升程,如图 1-9 和图 1-10 所示。

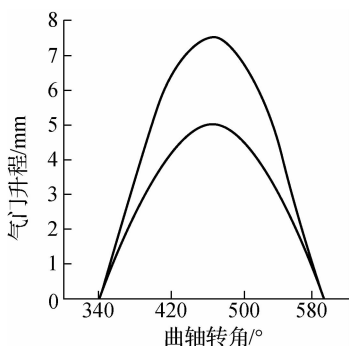


图 1-9 阶段式气门升程原理

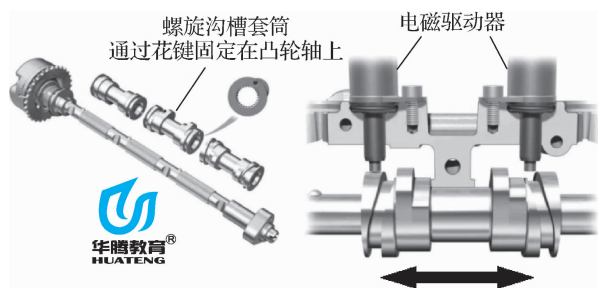


图 1-10 奥迪可变气门升程系统(AVS)的结构

如图 1-11 所示,发动机在高负荷的情况下,电磁驱动器将螺旋沟槽套筒向右推动,使角度较大的凸轮向右移动得以推动气门,切换至高角度凸轮轴。在此情况下,气门升程可达 11 mm,以提供燃烧室最佳的进气流量和进气流速,实现更加强劲的动力输出。

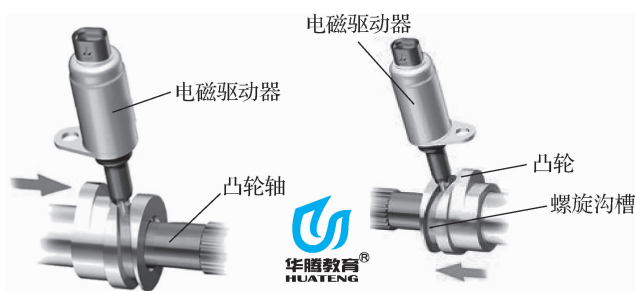


图 1-11 AVS 可变气门升程实现过程

发动机在低负荷的情况下,为了追求发动机的节油性能,此时电磁驱动器将凸轮推至左侧,以较小的凸轮推动气门。此时气门升程可在 2~5.7 mm 进行调节,由于采用不对称的进气升程设计,空气以螺旋方式进入燃烧室;再搭配特殊外廓的燃烧室和活塞头设计,可让气缸内的油气混合状态进一步优化。

创新的奥迪可变气门升程系统(AVS)有效提高了扭矩,减少了油耗,发动机可以在 700~4 000 r/min 转速工作。AVS 最大的优点在于可降低 7% 的油耗,特别是以中转速域进行定速巡航时,其节油效果最为明显。

2) 连续式气门升程调节

相比两段式的气门升程调节技术,气门升程无级可调技术(连续式气门升程调节技术)更为先进,如图 1-12 所示。其最大优势是可以利用气门升程来控制进气量,这样节气门的作用就被弱化,大大降低了泵气损失,同时发动机进气迟滞的现象也会减轻,直接提升了发动机的响应速度。由于进气不存在迟滞,因此发动机的点火正时和配气正时的配合也更为精确,最终发动机的效率得到提升。

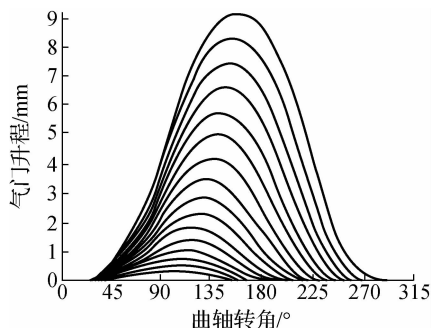


图 1-12 连续式气门升程调节原理

(1) 宝马的 Valvetronic 系统。宝马的 Valvetronic 系统的核心是中间杠杆技术,在传统的配气相位机构上增加了偏心轴和中间推杆等部件。在负荷较低的发动机工况下,Valvetronic 系统控制气门开度较小,吸入的空气量较少,燃油使用量较少;当发动机负荷增加时,Valvetronic 系统控制气门开度较大,吸入的空气量较大,燃油吸入量多,做功较多,输出动力更强。

这种弹性气门控制系统还可以显著增加发动机低转速时的扭矩,不但可以提升驾驶员



的驾驶舒适性,同时提供其他益处,如可使油耗和排放降低 5%~20%,减少了 NO_x、CO₂ 和 HC 等气体的排放,使废气再循环更加容易。

Valvetronic 系统的组成如图 1-13 所示。

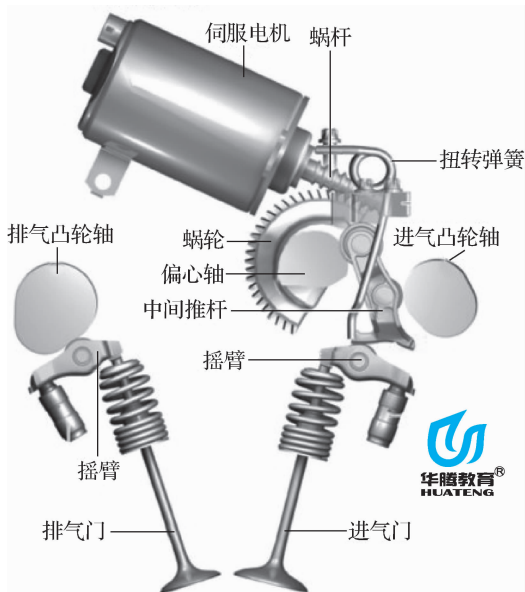


图 1-13 Valvetronic 系统的组成

如图 1-14 所示,当凸轮轴运转时,凸轮会驱动中间推杆和摇臂来完成气门的开启和关闭。当偏心轴驱动电机工作时,蜗轮蜗杆机构会首先驱动偏心轴发生旋转,然后中间推杆和摇臂会产生联动,偏心轴旋转的角度不同,最终凸轮轴通过中间推杆和摇臂顶动气门产生的升程也会不同。在电机的驱动下,进气门的升程可以实现 0.18~9.9 mm 的无级变化。

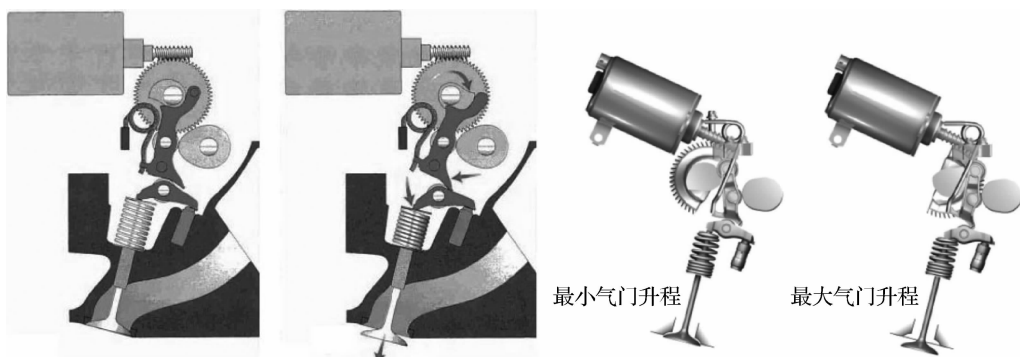


图 1-14 Valvetronic 连续式气门升程原理

Valvetronic 系统在气门升程控制上独辟蹊径,取消了传统发动机进气道中的节气门,取而代之的是一套通过步进电机控制的电子气门,用气门的升程直接实现控制混合器吸入量的目的,减少了泵气损失,从而大大节省了耗油量,特别是发动机低速工况时。没有

了节气门的阻流,进气更加通畅,加速了燃油和空气的混合雾化,提高了燃烧速度,又降低了油耗,可谓完美的设计。配合宝马的 VANOS 连续可变气门正时技术,可以实现气门正时和升程的连续可变控制。发动机从低转速到高转速的气门线性调节能力异常强悍。其缺点是结构较大,增加的机构增加了摩擦损失和惯性,使得此机构不适用于超高转速发动机。

(2) 日产的 VVEL 系统。VVEL 系统使用一套螺母和螺栓的组合实现了气门升程的连续可调。如图 1-15 所示,在系统工作时,直流电机通过 ECU 信号控制螺母和螺栓的相对位置,螺母带动摇臂,然后驱动偏心凸轮,最终改变气门升程的大小。此机构看起来结构比较复杂,摩擦副也相对较多,但是由于所有构件采用刚性连接,没有弹簧类的回位机构,VVEL 系统更适合于高转速发动机而无须考虑惯性的问题。

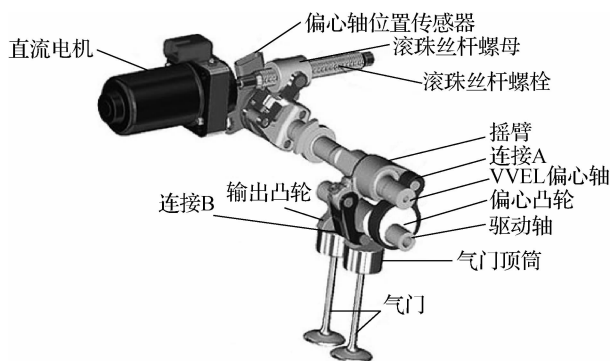


图 1-15 日产 VVEL 系统的结构

VVEL 偏心轴在不同工况下的转角是不同的,偏心凸轮位置不同导致摇臂的支点出现变化,从而控制了气门的开度。至于控制逻辑方面,VVEL 系统也是通过在不同的发动机负荷控制不同的气门开度从而减少进气损失,最终达到优化燃油经济性的目的。据日产的资料,在低负载工况下 VVEL 系统能够减少 10% 的燃料损耗。但在峰值功率上,VVEL 系统并没有太大的贡献,这是因为其进气效率被 VVEL 系统机构新增的摩擦抵消掉了。但日产 VQ37 发动机的最高转速可以达到 7 500 r/min,不像 Valvetronic 系统发动机那样受到高转速的限制。

日产的这套连续可变气门升程系统在一定范围内可实现无级连续调节,针对不同的发动机转速都有相应的气门升程,因此这种形式更加灵活自主。其优点是增强高转速的动力输出,低负荷工况节省燃料;缺点是机构稍显复杂且成本较高。

(3) 丰田的 Valvematic 系统。丰田 Valvematic 系统主要由凸轮轴、中间轴、摇臂、滚轮、摇臂推动机构组成,如图 1-16 所示。其最重要的部分是中间轴通过斜齿带动的两个摇臂推动机构和一个摇臂。摇臂推动机构和摇臂的斜齿方向是相反的,所以当中间轴旋转时,摇臂推动机构和摇臂会以相反的方向旋转,从而它们的夹角会出现变化;而凸轮轴通过部件刚性连接的可变中间轴作用在气门摇臂上推动气门运动。具体情况是:凸轮轴作用在滚轮摇臂上,摇臂推动机构推动摇臂。当需要调节气门开度时,只需要使摇臂推动机构和滚轮之间的夹角发生变化即可。夹角增大,气门升程增大;夹角减小,气门升程减小。

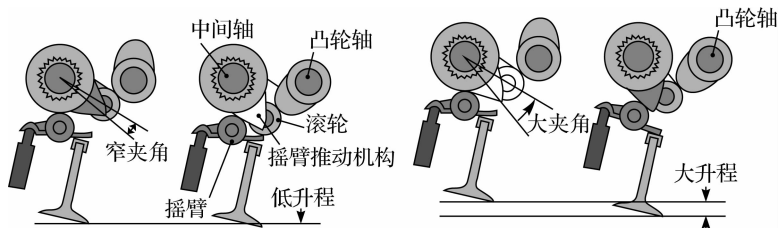


图 1-16 丰田的 Valvematic 系统的结构

由于 Valvematic 系统结构紧凑,构件较少,因此其相对来说能够更好地符合高转速发动机的要求。在第一台 2.0 L 搭配 Valvematic 系统的发动机上,气门的升程可以实现 0.97~11 mm 的无级变化,在减少节气门的同时降低了油耗水平。以同一台 2.0 L 发动机为例,Valvematic 系统能够输出 175 kW 动力,而 VVT-i(智能可变气门正时)系统则只能输出 143 kW 动力。其优点是结构简单、小巧,增加动力同时减少油耗,适应高转速工况;缺点是暂未广泛推向市场。

3. 可变气门相位和升程

本田公司推出了自行研制的可变气门正时和气门升程电子控制系统(variable valve timing and valve lift electronic control system, VTEC),这是世界上第一个能同时控制气门开闭时间和升程的气门控制系统。

如图 1-17 所示,本田 VTEC 发动机采用了不同角度的三个凸轮,分别带动三个摇臂,而这三个摇臂在控制器的控制下,既可以独立地顶开气门,也可以连为一体顶开气门,使得发动机无论是高速还是低速,都能得到最佳的配气相位。当发动机在中低转速时,三根摇臂处于分离状态,普通凸轮推动主摇臂和副摇臂来控制两个进气门的开闭,气门升量较小。此时虽然中间凸轮(高角度凸轮)也推动中间摇臂,但由于摇臂之间是分离的,所以两边的摇臂不受其控制,也不会影响气门的开闭状态。发动机达到某个设定的转速时,ECU 会指令电磁阀启动液压系统,推动摇臂内的小活塞,使三根摇臂锁成一体,一起由高角度凸轮驱动,这时气门的升程和开启时间都相应增大了,使得单位时间内的进气量更大,发动机动力更强。这种在一定转速后突然的动力爆发极大地提升了驾驶乐趣。当发动机转速降到某一值时,摇臂内的液压也随之降低,活塞在回位弹簧作用下退回原位,三根摇臂分开。

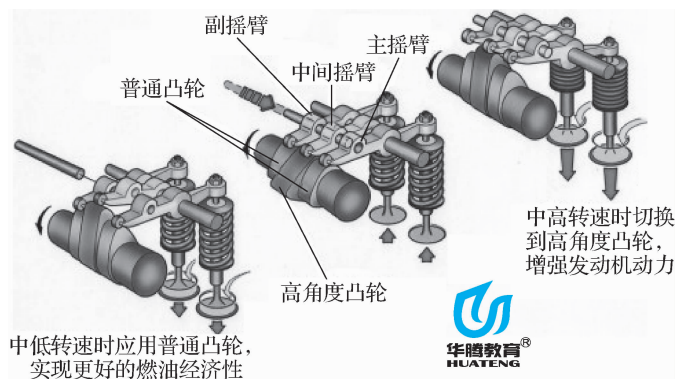


图 1-17 可变气门相位和升程技术

4. 无凸轮轴气门驱动机构

传统的气门控制都是要有凸轮轴驱动的,这样的间接传动,不管其中的配气机构技术怎样革新,都会有气门开闭角和相位的延迟,如丰田 VVTL、日产 VVEL、三菱 MIVEC、宝马 VANOS&Valvetronic、奥迪 AVS 等气门正时和升程技术。无凸轮轴气门驱动(camshaftless valve actuation)机构取消了发动机传统气门机构中的凸轮轴及其从动件,而以电磁、电液、电气或其他方式来打开和关闭气门,实现精确的进排气控制。

(1)菲亚特全电子气门技术 MultiAir。无论是阶段式气门升程调节技术(如 VTEC)还是连续式气门升程调节技术(如宝马 Valvetronic)都无法实现进气行程气门多次开启的动作,在低速工况下只有利用平衡轴或多喷油等额外措施才能提供较好的平顺性和响应性。而全电子气门技术 MultiAir 在实现气门升程的无级调节的同时,还可实现多次气门开启状态的功能,能够在低速工况时改善发动机的平顺性和响应性,如图 1-18 所示。

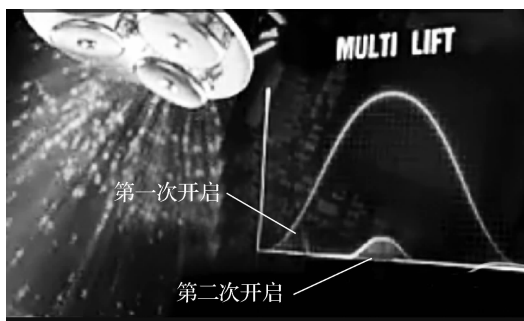


图 1-18 菲亚特全电子气门技术 MultiAir

MultiAir 最大的特点是开创性地使用了电控液压控制系统来驱动气门的正时和升程,虽然发动机为每缸 4 气门的结构,但是取消了进气门一侧的凸轮轴,排气门侧的凸轮轴通过液压机构来驱动进气门。

MultiAir 气门控制机构包括一根用于产生高压油的凸轮轴、高压油泵、控制电磁阀和用于推动进气门的活塞。高压油泵在发动机运转时一直工作,在液压油中产生高压脉冲推动气门开闭。电磁阀的开闭和开度受到电信号控制,从而实现推动气门的活塞时机与行程的控制。现在的 MultiAir 技术采用的是 1 个电磁阀控制 2 个节气门。进气门上方设计有活塞和液压腔,液压腔一端与电磁阀相连,电磁阀则通过 ECU 信号,根据工况的不同适时调节流向液压腔内的油量。由凸轮轴驱动的活塞通过推动液压腔内的油液,控制气门的开启。系统只需要控制液压腔内的油量即可以完成对气门升程的无级可调,如图 1-19 所示。

MultiAir 包括以下四种工作模式: Full Lift(进气门全开)、Late Intake Valve Opening (LIVO,进气门延迟开启,有利于提高进气气流流速及混合气混合)、Early Intake Valve Closing(EIVC,进气门提前关闭,有利于减少泵气损失)、Multi Lift(进气门多次开启)。

菲亚特 MultiAir 技术与宝马 Valvetronic 技术的做法类似,发动机在正常运转时,节气门没有存在的意义。使用 MultiAir 技术的发动机取消了节气门,从而减少了泵气损失,可以精简缸盖结构并减轻发动机自重。由于没有了进气迟滞的影响,配气和喷油精确性也会



得到相应提升,从而提升了燃油经济性。菲亚特的 1.4 MultiAir Turbo 发动机是第一款采用 MultiAir 技术的涡轮增压发动机,获得过欧洲著名的“年度发动机大奖”。在 MultiAir 与涡轮增压技术的加持下,这款发动机比起不采用此技术的发动机,在提升 10% 的功率输出和 15% 的扭矩输出的同时,还降低了 10% 的二氧化碳排放和节省了 25% 的燃油成本。



图 1-19 MultiAir 气门控制机构

(2) 观致 QamFree。观致在 2016 年北京车展上发布了与柯尼塞格合作的 QamFree 发动机,其核心理念是以气动-液压-电动组合的气门执行器 (pneumatic hydraulic electric actuator, PHEA),完全替代已经存在 100 多年的凸轮轴来控制气门的开启与关闭,取消了传统发动机中配气机构中的凸轮轴、凸轮轴皮带轮及正时皮带等。

PHEA 系统的结构如图 1-20 所示。整套系统包括气压管路和油压管路,当需要调节气门正时和升程时,气体从气压管路中涌入执行器,按照传感器的信号来控制气门的开闭。空气的黏度低,且黏度受温度的影响小,运动惯性小,这些都有利于提高执行器对气门驱动响应速度。但空气更具有可压缩性,气压不能非常稳定地输出,会削弱采用它作为介质带来的好处,这时就需要油压来辅助,油压控制系统会通过相关管路来确保驱动气门开闭所需要的压力。

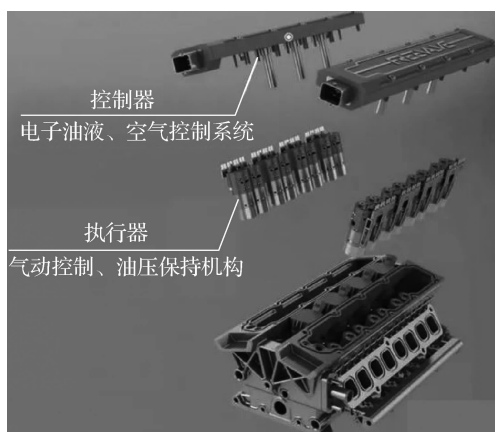


图 1-20 PHEA 系统的结构

与传统曲轴驱动气门的发动机相比,QamFree 发动机带来了显著的优势,简单总结为以下四点。

①燃油经济性更好,能有效降低燃油消耗。由于气门的正时、升程都是无级可变,所以也可以像宝马的 Valvetronic 系统一样取消节气门,没有了引擎的泵吸损失(pumping loss),而且进气和燃烧可以控制得更精确,同时发动机的怠速转速可以变得更低。同样排量(1.6 L)的发动机大约可以提高 15%的燃油经济性。

②发动机性能更强。不同工况下发动机的燃烧效率、进排气效率都得到大幅度提升。进气侧不再需要节气门体,PHEA 可以直接实现节气门的功能,由此获得最佳的发动机响应效果。涡轮增压器不再需要泄气阀,涡轮迟滞更低。

③排放污染更低。燃烧更充分,排放污染自然会降低;同时因为不需要高压直喷系统就能实现高压压缩比,从而减少通常直喷系统带来的颗粒。

④发动机更为轻量化。因为 QamFree 系统比它代替的凸轮轴气门控制机构更小、更轻,发动机整体尺寸可以缩小,更为轻量化。QamFree 发动机整体高度和长度分别可以减少 50 mm和 70 mm,质量可以减轻超过 25 kg。

三、线控节气门

传统汽车的节气门采用钢丝绳和杠杆与驾驶室內的油门踏板相连,驾驶员通过脚踩油门踏板的行程来控制节气门开度,亦即改变节气门进气通道的截面积,调节发动机的充气量,达到改变发动机输出功率的目的。这种方式的控制效果直接受控于驾驶员对油门踏板的操作,而发动机的运行不能很好地结合当前汽车的运行状况,从而不总是处于最佳运行状态,特别在混合动力源中,功率分配不能实现。

航空电子工业的线控技术是一个很好的选择。电子节气门控制(electronic throttle control,ETC)通过增加相应的传感器和 ECU,实现节气门开度的精准控制。踏板开度成为驾驶员的控制意图,作为 ETC 逻辑的一个参数,节气门的实际开度由 ETC 结合当时的汽车行驶状况运行相应的控制逻辑来决定,它可实现发动机扭矩控制和精确空燃比控制,有助于提高汽车行驶的动力性、平稳性和经济性,并能有效降低排放污染。

线控节气门系统主要由电子油门踏板、节气门控制器、电子节气门体等组成,如图 1-21 所示。

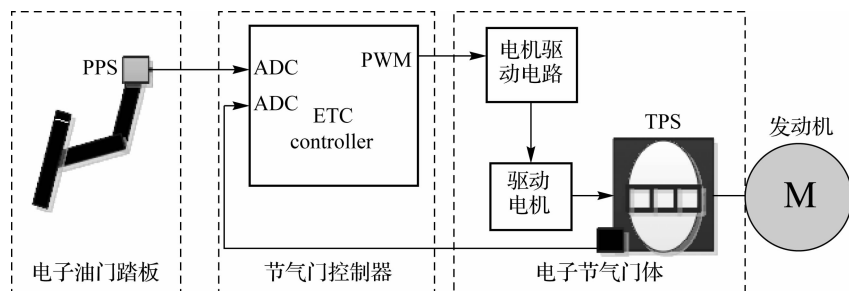


图 1-21 线控节气门系统的组成

线控节气门系统的工作原理如下:通过用线束(导线)来代替拉索或者拉杆,在节气门安装一只微型电机(节气门执行器),用电机来驱动节气门开度变化。油门踏板位置传感器将驾驶员需要加速或减速的信息传递给节气门控制器,控制器根据得到的信息计算出相应的最佳节气门位置,发出控制信号给节气门执行器,由节气门执行器将节气门开到计算出的最佳位置,然后控制器通过 CAN 总线与其他 ECU(如自动变速器 ECU 等)进行通信,获取其



他工况信息。各种传感器也会传递给节气门控制器一些信息(如发动机转速、挡位、节气门位置、空调能耗等),控制器根据这些信息对节气门的最佳位置进行不断修正,使节气门的开度达到驾驶员所需要的理想位置。

1. 油门踏板位置传感器

电子节气门是在油门踏板上设置位置传感器,取代了油门踏板与节气门之间的机械连接。它可以检测油门踏板被驾驶员踩下的位置,将此信号转变为电信号传输给控制单元,所以它也被称为线控操纵。

油门踏板位置传感器实质上就是一个电位计或可变电阻,控制单元向线圈的一端供给 5 V 基准电压,当驾驶员踩下油门踏板时,与线圈接触的滑臂沿圆弧转动,从而改变了基准电压输入端与滑臂触点之间的电阻值,滑臂触点的分电压就反映了油门踏板的位置。它的结构原理如图 1-22 所示。

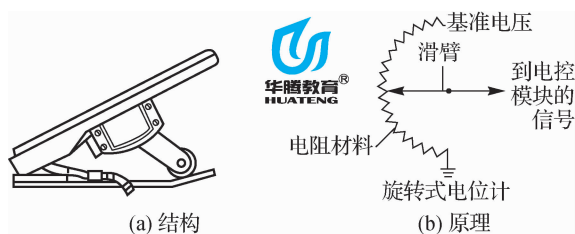


图 1-22 油门踏板位置传感器的结构原理

2. 节气门位置传感器

节气门位置传感器又称节气门开度传感器或节气门开关,其主要功用是检测出发动机是处于怠速工况还是负荷工况,是加速工况还是减速工况,发动机 ECU 根据节气门位置传感器的输出信号可以确定发动机的负荷。它安装在节气门体上,根据传感器的输出特性分为通断输出和线性输出两种类型。线性输出节气门位置传感器的结构和特性如图 1-23 所示,它实际上就是节气门轴驱动滑臂的电位计。滑臂上有连通的双触点与基板上制出的双轨厚膜电阻接触,由滑动触点将两个厚膜电阻短接,在一个厚膜电阻的一端由控制单元供给 5 V 基准电压。当滑臂随节气门轴转动时,双轨厚膜电阻之间的电阻值发生改变,由另一个厚膜电阻的一端输出的电压就与节气门开度呈线性关系。

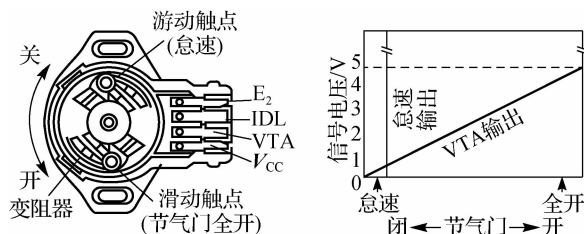


图 1-23 线性输出节气门位置传感器的结构和特性

3. 怠速直流电机

怠速直流电机如图 1-24 所示。当发动机怠速运行,或因发动机冷却液温度低、空调运

转、动力转向的加入等原因使发动机负荷增大时,为使发动机怠速稳定,怠速直流电机经一套齿轮机构推动节气门,加大其开度来增加发动机的进气量,提高发动机的转速;相反,在发动机怠速下卸载时,在怠速直流电机的作用下,节气门的开度减小,以避免发动机超速,从而保证发动机在怠速工作。

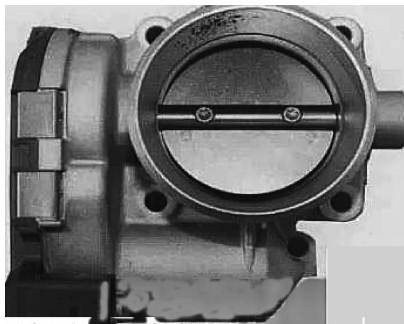


图 1-24 怠速直流电机

线控节气门系统与传统的节气门相比有许多优越之处,主要表现在以下几个方面。

(1)减少了机械故障,操纵更方便。电子节气门控制系统没有拉线,节气门踏板与节气门之间是电控而不是机械控制,因此没有机械磨损,减少了机械故障。

(2)实现发动机全范围的最佳扭矩输出,并能精确控制节气门开度。

(3)节省燃料,改善了发动机的排放性能。线控节气门系统在各种情况下对空燃比进行精确控制,使燃烧更加充分,同时减少了废气的产生;在怠速状态下,节气门保持在一个极小开启角度来稳定燃烧,提高了燃油经济性,排放也得到进一步控制。

(4)具有更高的车辆行驶可靠性。

线控节气门系统的缺点包括以下两个方面。

(1)汽车在起步时会产生油门迟滞现象。

(2)非线性影响。系统存在各种非线性影响,除了弹簧非线性、黏滑摩擦及齿隙非线性等影响外,受到进气气流产生的非线性阻尼力及进气气流的不稳定扰流的影响,导致常规PID控制不能精确地设定反馈的增益,影响控制的精确性。

第二节 进气增压技术

与自然吸气式发动机相比,工程师通过在进气歧管的前端安装一个增压器来增加进气量。进气增压型发动机在其结构和尺寸不变的情况下可增加进气压力,增大20%~50%的发动机功率和扭矩。例如,排量是1.8 L的涡轮增压型发动机,其功率接近甚至超过2.4 L的自然吸气式发动机,同时油耗明显降低,污染物排放也显著减少。在当前国家节能减排的大背景,以及新能源还不能完全替代传统能源的情况下,内燃机采用进气增压技术无疑是提高传统能源利用效率、节约能源的最佳选择。

进气增压型发动机的工作原理是:把发动机进气系统中的空气压缩后再引入气缸,压缩后的空气密度更大,单位体积所含的氧分子更多,按照理论空燃比混合,需要喷入更多的燃油,这



样就能在排量不变的情况下得到密度和质量更大的可燃混合物,经过燃烧后就能获得更多的热能,从而提供更大的动力。另外,由于进入的空气量充足,燃烧也更为彻底。

增压器根据不同的驱动方式,可以分为废气涡轮增压器、机械增压器、复合增压器和气波增压器。

一、废气涡轮增压器

废气涡轮增压器简称涡轮增压器,其发明者是瑞士工程师比希,他于1905年申报了此项专利。当时涡轮增压器主要应用于飞机发动机和坦克发动机,直到1961年美国通用汽车公司才将涡轮增压器试探性地装在其生产的某种车型上。但让涡轮增压技术焕发青春的是瑞典萨博公司,它于1977年推出的SAAB 99车型将涡轮增压技术传播得更广泛。只是那时的涡轮增压器仅限于装配在小型汽车的汽油发动机上。到20世纪80年代中期,欧美的卡车制造商才将涡轮增压技术广泛应用在各自的柴油发动机上。相比之下,汽油机涡轮增压的普及程度远不及柴油机。其主要原因是汽油机增压后爆燃倾向增大、热负荷加重、动态响应延迟加大,因此在汽油机上应用涡轮增压技术难度较大。迫于资源日益匮乏,燃油消耗和排放法规不断严格,涡轮增压汽油发动机的优势逐渐得到关注和发展,再加上发动机电控技术和结构的不断改进,涡轮增压技术在汽油发动机上逐渐流行。

涡轮增压发动机是依靠涡轮来加大发动机进气量的一种发动机。涡轮增压器实际上就是一个空气压缩机,它利用发动机排出的废气作为动力来推动涡轮室内的涡轮(位于排气道内),涡轮又带动同轴的叶轮(位于进气道内),叶轮就压缩由空气滤清器管道送来的新鲜空气,再送入气缸,从而通过压缩空气来增加发动机的进气量。当发动机转速加快时,废气排出速度与涡轮转速也同步加快,空气压缩程度得以加大,发动机的进气量就相应地得到增加,这样可以增加发动机的输出功率,如图1-25所示,左侧为高温废气,右侧为新鲜空气。

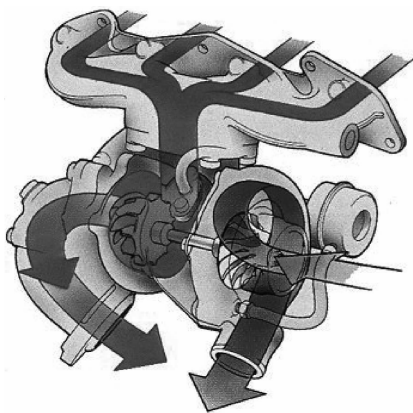


图 1-25 废气涡轮增压器

涡轮增压器主要由压缩机和涡轮机组成,涡轮机的进气口和发动机排气歧管的出口连接在一起,涡轮机的排气口与排气管相连,利用发动机的缸内喷出的气体能量驱动涡轮机的涡轮转动,与其在同一转动轴上的压缩机叶轮也随着转动。压缩机的进气口与空气滤清器入口相接,由于涡轮机与压缩机同轴串联,转速一致,空气滤清器内的空气就会被压缩机压

缩,以高于外界空气的压力进入气缸内,如图 1-26 所示。

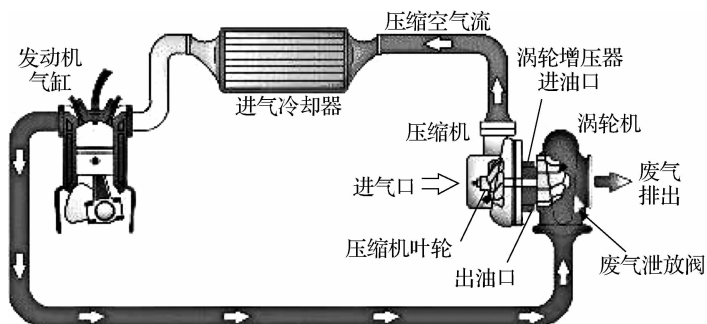


图 1-26 涡轮增压器的工作原理

与传统的自然吸气式发动机相比,涡轮增压发动机具有以下优点:具有更大的体积效率,改进的发动机功率和扭矩,油耗降低,排气减少,再利用废气能量,不受海拔影响,瞬间超增压以满足发动机的直接需求。其缺点是:在经过增压之后,发动机在工作时的压力和温度都大大升高,因此发动机的寿命会比同样排量没有经过增压的发动机短,而且机械性能、润滑性能都会受到影响,这也在一定程度上限制了涡轮增压技术在发动机上的应用。涡轮并不是从一开始就可以实现增压效果,而是随着其转速的增加而产生,所以涡轮介入的早晚直接影响驾驶感受。

涡轮增压器可以按照气体在涡轮机中的流动方向分为径流式涡轮增压器和轴流式涡轮增压器。轴流式涡轮增压器体积大,多用于大型柴油机;汽车发动机由于受空间和质量的限制,多采用径流式涡轮增压器。

径流式涡轮增压器的结构如图 1-27 所示。

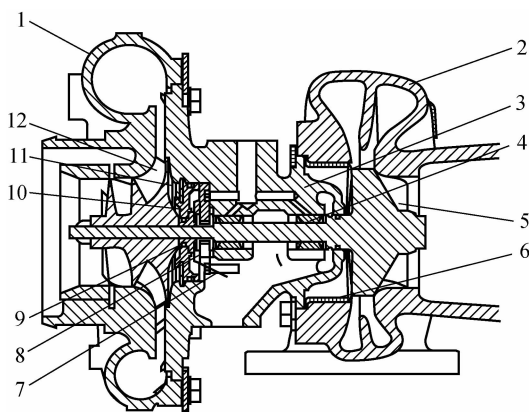


图 1-27 径流式涡轮增压器的结构

- 1—压缩机外壳; 2—涡轮机外壳; 3—中间体; 4—浮动轴承; 5—涡轮机涡轮; 6—隔热板; 7—挡油板;
8—止推轴承; 9—密封组件; 10—密封环; 11—压缩机后体; 12—压缩机后轮

发动机工作时,排出的具有一定压力的高温废气沿着排气歧管进入涡轮机内喇叭口形的喷嘴环上,提高喷射速度后按一定的方向喷射到涡轮上,使涡轮高速旋转。废气的压力、温度和速度越高,涡轮转速就越高,可达 200 000 r/min 以上。废气通过涡轮直径的中心部位流出,再经过排气管和消声器排出机外。在涡轮旋转的同时,压缩机叶轮也以相同的速度



旋转,将经过空气滤清器过滤的新鲜空气吸入压缩机室内,高速旋转的叶轮将吸入的空气甩向叶轮边缘,增加空气的速度和压力后,使其进入进口小、出口大的扩压室,使空气流速降低而压力增大,再继续通过截面由小变大的环形压缩机外壳,使压力继续升高,最后高压气流(180~200 kPa)通过进气歧管进入气缸。这样就大大提高了发动机的充气系数,进而增大气缸内的喷油量,使发动机输出更大的功率和扭矩。

1. 单涡轮双涡管增压

如图 1-28 所示,单涡轮双涡管增压器就是将一个涡轮增压器的气流在经过涡管时分为两股气流,每股气流负责 3 个缸。与双涡轮相比,单涡轮的设计也减弱了排气脉冲相互干扰的情况,增加了气体流动效率,涡轮能够更加迅速地做出反应,达到效果。

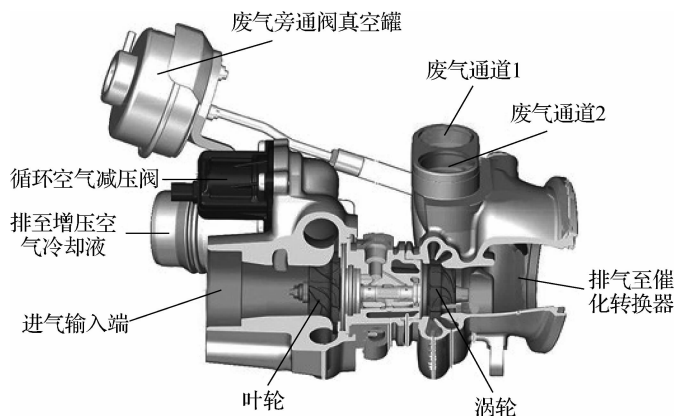


图 1-28 单涡轮双涡管增压器

2. 双涡轮增压

双涡轮增压一般称为 twinturbo 或 biturbo。双涡轮增压器在进气系统中串联一大一小两只涡轮或并联两只同样的涡轮,发动机在 2 个涡轮增压器的共同作用下,进气效率大幅提升,增压效果更加显著,动力性得到很大提升。

在发动机转速较低时,只有一个低速涡轮工作,这时较少的排气即可驱动这只涡轮高速旋转,以产生足够的进气压力;当发动机转速提升以后,大涡轮介入工作,此时推动气体进入高增压值的状态,提供充足的进气量。这样双涡轮增压技术在提高发动机动力性的同时,可以改善涡轮增压的迟滞现象。

与单涡轮增压器相比,双涡轮增压器质量较小,因此切入工作的时机提前,增压反应变快,在一定程度上降低了涡轮迟滞的影响。由于增装了一个涡轮增压器,也相应地增加了安装难度,结构变得复杂,制造成本增加,而且不能完全消除涡轮迟滞的影响。

并联式双涡轮增压系统的进气系统中平行安装有两个规格完全相同的涡轮增压器,每个涡轮增压器负责发动机半数气缸工作。发动机在运行时,半数气缸的排气共同驱动一个涡轮增压器,两个涡轮增压器同时工作,在一定程度上缓解了涡轮迟滞现象,有利于汽车低速行驶时快速充分发挥发动机功率。

由于双涡轮增压发动机在汽车动力性能提升和发动机动态响应速度方面所表现出来的突出优势,目前,包括宝马在内的多家汽车厂商都已经在各自车型上采用了双涡轮增压形

式。双涡轮增压安装方式主要应用在多缸(直列 6 缸和 V 型)发动机的车型上,代表车型有宝马 X6 xDrive35i、宝马 335、保时捷 911turbo、迈巴赫 57S/62S 等高端车。

3. 可变截面涡轮增压

涡轮迟滞与增压涡轮的尺寸有关。对于传统的涡轮增压发动机来说,解决涡轮迟滞现象的一个方法是使用小尺寸的轻质涡轮。小涡轮会拥有较小的转动惯量,因此在发动机较低转速下就能达到最佳的工作转速,从而有效改善涡轮迟滞的现象。不过,使用小涡轮也有它的缺点:当发动机在高转速时,小涡轮由于排气截面较小,会使排气阻力增加(产生排气回压),因此发动机的最大功率和最大扭矩会受到一定的影响。而对于产生回压较小的大涡轮来说,虽然高转速下可以拥有出色的增压效果,发动机也会拥有更强的动力表现,但是低速下涡轮更难以被驱动,因此涡轮迟滞也会更明显。

为解决上述矛盾,让涡轮增压发动机在高低转速下都能保证良好的增压效果,可变截面涡轮增压技术便应运而生。

可变截面涡轮增压系统的核心部分是可变涡流截面的导流叶片。从图 1-29 中可以看到,涡轮的外侧增加了一环可由电子系统控制角度的导流叶片,导流叶片的相对位置是固定的,但是叶片角度可以调整。

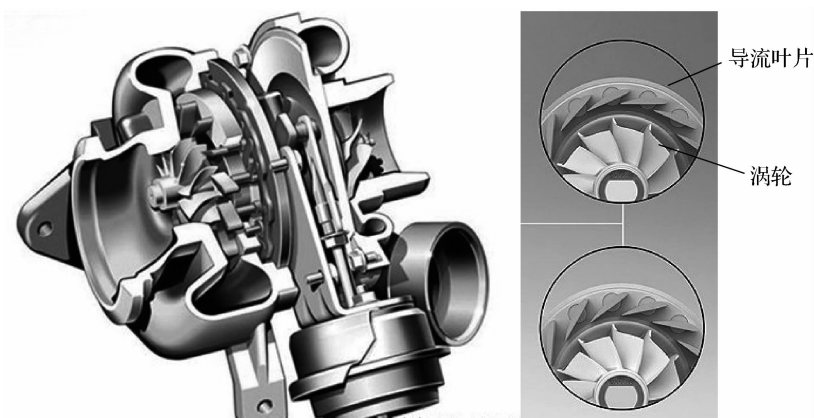


图 1-29 可变截面涡轮增压系统

如图 1-30 所示,在系统工作时,废气会顺着导流叶片送至涡轮叶片上,通过调整叶片角度,控制流过涡轮叶片的气体的流量和流速,从而控制涡轮的转速。当发动机低转速、排气压力较低时,导流叶片打开的角度较小。根据流体力学原理,此时导入涡轮处的空气流速就会加快,增大涡轮处的压强,从而可以更容易推动涡轮转动,有效减轻涡轮迟滞现象,也改善了发动机低转速时的响应时间和加速能力。随着转速的提升和排气压力的增加,叶片也逐渐增大打开角度,在全负荷状态下,叶片则保持全开状态,减小了排气背压,从而达到一般大涡轮的增压效果。此外,由于改变叶片角度能够对涡轮的转速进行有效控制,这也就实现了对涡轮的过载保护。

当叶片角度较小时,排气入口的横截面积会相应减小,从而拥有小涡轮响应快的特点;而当叶片角度增大时,在高转速下能获得更强的动力输出。总之,通过改变叶片的角度,可变截面涡轮增压系统可随时改变排气涡轮的横截面积,从而兼顾大、小涡轮的优势特性。

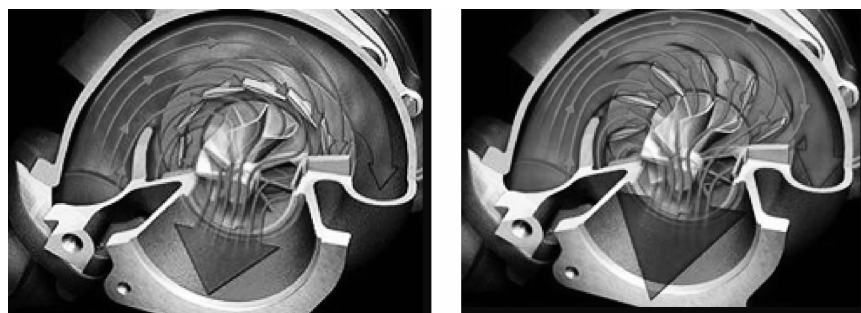


图 1-30 改变导流叶片角度

可变截面涡轮增压器能够在发动机较低的转速下介入工作,不仅较好地解决了涡轮迟滞的影响,而且大大提高了增压效率。由于降低了涡轮迟滞,带可变截面涡轮增压器的车型在整个加速段没有动力陡增的情况,舒适性和安全性都有提高。由于涡轮增压器切入工作的时机提前,减少了发动机低转速状态下涡轮增压器不工作而导致的不充分燃烧带来的燃料浪费,从而大幅降低油耗,特别是在城市道路状况下行驶时的油耗。尽管可变截面涡轮增压系统在一定程度上降低了涡轮的迟滞影响,但仍不能彻底消除。此外,系统设计制造难度较大,生产成本较高。

一般而言,加装废气涡轮增压器的发动机的功率和扭矩可提高,这样小排量的发动机达到了大排量发动机的动力性,而且发动机变得更轻,油耗更低,燃烧更彻底,排放的废气污染物相对较少。另外,它不额外地消耗发动机功率,使用经济性较好。

废气涡轮增压器最大的缺点是涡轮迟滞。因为涡轮增压发动机的增压器需要靠排气能量驱动,所以当发动机转速较低时,排气能量往往较小,此时有可能无法驱动增压器,而且增压涡轮越大,涡轮就越难以被驱动,造成的结果就是,当涡轮增压器不工作(低转速,1 500~2 500 r/min)时,涡轮增压发动机的动力甚至会小于一台同排量的自然吸气发动机。此外,由于涡轮增压器叶轮的惯性作用,叶轮对油门的骤时变化反应滞后,通常会使得加速后动力提升跟不上,而且在增压器介入工作时动力输出有突兀感。其次,废气涡轮增压器的工作温度较高(600℃左右),对润滑条件和使用要求较高,较高的工作温度会提高进气温度,降低充气密度,所以多数涡轮增压发动机采用了加装冷却器的方法来降低工作温度,此技术称为涡轮增压中冷技术。尽管涡轮增压技术还存在很多缺点,但其高工作效率使得各大汽车厂家都热衷于此项技术,几乎所有汽车生产厂家都有涡轮增压车型。

二、机械增压器

如图 1-31 所示,机械增压器的动力来源是发动机工作时产生的动力,驱动力来自发动机曲轴,其通过皮带由曲轴驱动增压器内的转子转动,以产生增压空气送入发动机进气歧管内,实现对进气的压缩。其整体结构简单,工作温度为 70~100℃,不同于涡轮增压器靠排放废气驱动,必须接触高温废气,因此机械增压系统对于冷却系统、润滑油脂的要求与自然吸气发动机相同,机件保养程序基本一致。

根据驱动方式的不同,机械增压系统可分为齿轮驱动和齿形带驱动两种。根据构造的不同,机械增压系统出现过许多种,包括鲁兹式(Roots)、叶片式(Vane)、温克尔(Wankle)等,现在较为常见的是前两种,如图 1-32 所示。

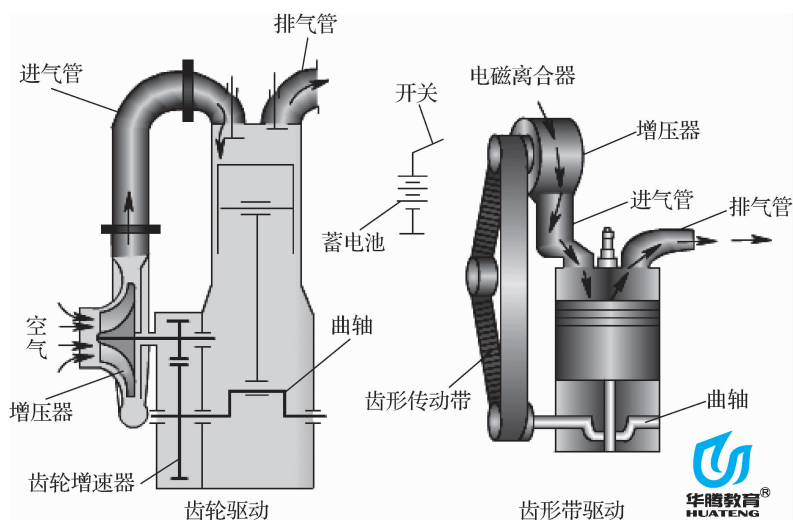


图 1-31 机械增压器示意图



图 1-32 叶片式和鲁兹式机械增压系统

1. 鲁兹式机械增压器

鲁兹式机械增压器(Roots Supercharger)约占机械增压器总量的95%，它属于容积式机械增压器，主要应用于低增压领域。

鲁兹式机械增压器按转子不同有双叶、三叶转子两种形式(见图1-33)，目前双叶转子较普遍，主要由皮带轮、主动齿轮、从动齿轮和压缩机转子等机件组成。其构造是在椭圆形的壳体中装两个茧形转子，转子之间保有极小的间隙而不直接接触。两转子借由螺旋齿轮联动，其中一个转子的转轴与驱动皮带轮连接，转子转轴的皮带轮上装有电磁离合器，在不需增压时即放开离合器以停止增压。离合器的开合则由计算机控制以达到省油的目的。

鲁兹式机械增压器的工作原理为：机械增压器带轮由发动机曲轴带轮驱动，带动一对同步齿轮转动，使转子相对转动。转子在传动齿轮的带动下做方向相反的等速旋转运动，使在进气口充入容腔的空气随着转子转动，在排气口位置排出，以不断地将空气抽送到发动机的进气歧管中实现向发动机气缸内的供气，如图1-34所示。

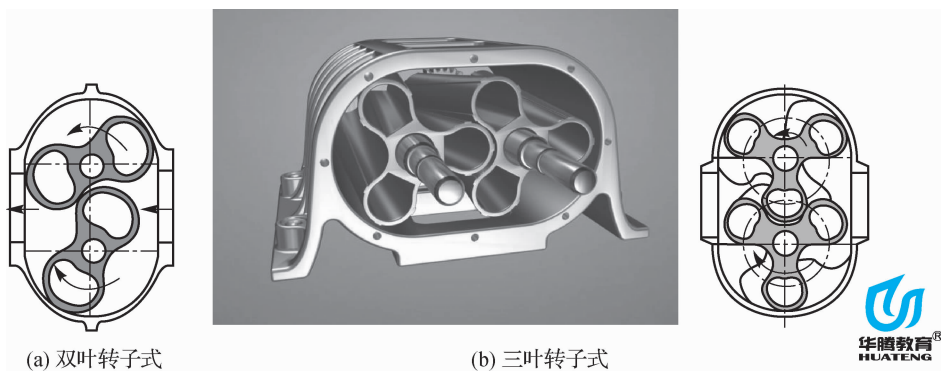


图 1-33 双叶、三叶转子两种形式



图 1-34 机械增压系统的工作原理

2. 叶片式机械增压器

叶片式机械增压器主要是利用三个可根据不同离心力而改变转速的行星齿轮组带动进气叶片。通过齿轮组与叶片轴心的相互摩擦,提高轴心转速并进一步提高进气叶片的速度,以获得持续不断的增压反应。也就是说,发动机转速越高,进气叶片的转速也就越高。

1) 双螺旋式机械增压器

通过两根类似于一组涡轮传动的啮合凸缘转子吸入空气,但不同的是,双螺旋式机械增压器还会压缩转子壳体内部的空气(见图 1-35)。其原因在于这些转子具有锥度,这意味着随着空气从增压器进气口流向排气口,气道会变小。随着气道的收缩,空气便被压入更小的空间,使得空气的压缩可以连续进行,提高增压器的效率,使得增压器不需要十分庞大。螺杆泵泄漏量少,增压压力高,但是精密啮合的螺杆增加了制造成本。

双螺旋式机械增压器采用的是一种回转式容积泵的原理,它是转子泵和叶片泵的折中产物,在效率、噪声和压力波动的综合表现上具有更大的优势。两个圆盘形的置换器具有相同的螺线,两个蜗盘做相互交错的移动滚动,空气从最外侧被吸入,随后逐步被送往中心,过程中空气体积不断被压缩,最终高压气体由中心排出。最常见的双螺旋式机械增压器是大众的 G-lader,主要装备于大众高尔夫和帕萨特等车型,如图 1-36 所示。

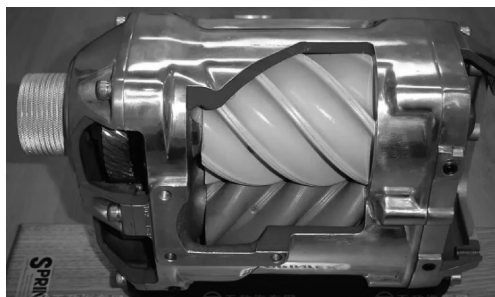


图 1-35 双螺旋式机械增压器

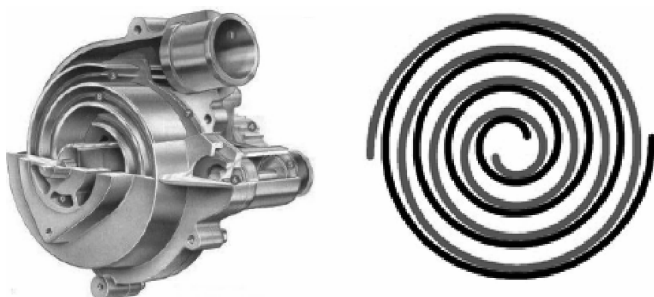


图 1-36 G-lader

2) 离心式机械增压器

离心式机械增压器如图 1-37 所示,它也称涡流式机械增压器,其工作原理是利用叶轮发动机的输出动力,通过皮带带动增压器叶轮旋转,将空气高速吸入狭小的压缩机壳体内。离心式机械增压器吸气效率较高,也是目前最普遍采用的增压方式。由于增压值较高,市面上在安装离心式机械增压器的同时也需要安装中冷器,以降低进气温度。



图 1-37 离心式机械增压器

(1) 离心式机械增压器的优点。

①在低转速时便可获得增压。只要发动机工作,离心式机械增压器就可进入工作状态,获得增压效果,解决了涡轮增压器只有达到一定转速才能增压和发生涡轮迟滞的问题。

②动力输出自然平缓。离心式机械增压的动力输出与曲轴转速呈线性关系,即随着发动机转速的提高,其动力输出也随之增强,其操作感觉与自然吸气发动机极为相似。

③工作温度变化不大。离心式机械增压器的工作温度为 $70\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$,与自然吸气式发动机相比,使用保养没有多大区别。



(2)离心式机械增压器的缺点。离心式机械增压器最主要的缺点是增压效率较低。机械增压器由曲轴驱动,始终在消耗发动机的功率,尽管随着发动机转速的升高而增压压力提高,但是增压器本身的运动阻力又随发动机的转速升高而增大,从而导致发动机高速时的负荷增大。为此,机械增压必须在增压值与发动机负荷间取得平衡,以避免高增压带来的负面效应。所以,机械增压在高转速时效率没有涡轮增压高。通常机械增压的进气压力为 30~120 kPa,很难突破 150 kPa,如果增压压力过高,会大大提高压缩机自身所消耗的功率,降低了发动机的机械效率而提高了燃油消耗率。而涡轮增压早已突破 220 kPa 的超高压。

与涡轮增压器相比,机械增压器目前在汽车上应用较少,主要是个别高档轿车,如奔驰 C200K、路虎揽胜 4.2 的机械增压版等。

三、复合增压器

复合增压器是将废气涡轮增压器与机械增压器串联起来工作,如图 1-38 所示。机械增压器可以从怠速开始就为发动机提供增压效果,消除涡轮迟滞的影响,而废气涡轮增压器在发动机高转速时拥有强大的功率输出。因此,复合增压发动机是一种效率极高的发动机形式,是动力性与燃油经济性的完美统一。复合增压装置在大功率柴油机上采用较多,汽油机上采用复合增压系统的车型还比较少。这种发动机输出功率大、燃油消耗率低、噪声小,但是结构复杂,技术含量高,维修保养不容易,因此很难普及。

以大众高尔夫 GT 1.4TSI(见图 1-39)为例,其工作原理是:当发动机在部分负荷低速运转时,机械增压器投入工作;当发动机转速超过 1 500 r/min 时,涡轮增压器介入工作;当发动机转速超过 3 500 r/min 时,机械增压器退出工作。



图 1-38 复合增压器

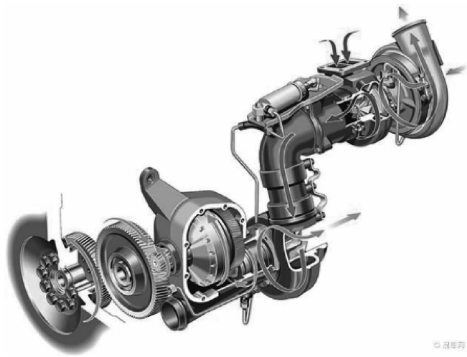


图 1-39 大众涡轮增压器

复合增压发动机很好地发挥了机械增压和涡轮增压的优点,在发动机工作全程内实现扭矩和功率的提升,改善了起步加速,也具有充足的后劲,相对来说动力损耗减到最小,增压效果最好。如高尔夫 GT1.4TSI 发动机的功率与 2.3 L 自然吸气式发动机功率相当,但燃油消耗降低 20%。但是,这种双增压系统结构复杂,成本过高,机械增压器每 5 万千米就需要更换,而且对燃油品质的要求也高。因此,大众公司出于成本的考虑,在我国生产的 TSI 发动机取消了机械增压而仅有涡轮增压。

四、气波增压器

气波增压器是使两种气体工质直接接触并通过压力波传递能量的压力转换器。它用于

发动机增压时,利用发动机做功后的废气能量,借助一系列由发动机带动的转子和定子的调节箱,使进入气缸的气体增压。但此种增压形式噪声很大,增压部件体积很大,通常只用于大型柴油机,民用汽车中不常见。

气波增压器的工作原理如图 1-40 所示。当转子按箭头方向转动时,转子上由叶片组成的轴向气道与高压燃气入口接通,遂产生压缩波。压缩波以声速沿气道传播,并将燃气能量传递给充满气道内的空气,使其压力和密度升高并向前流动。高压空气出口设在高压燃气入口的斜对面,并沿转动方向向前错开一个角度。当气道与高压空气出口接通时,高压空气进入发动机进气管。在燃气到达气道长度的 $2/3$ 左右时,气道恰好转过高压燃气入口,燃气停止流入气道。当气道与低压燃气出口接通时,燃气继续膨胀并经排气总管排入大气,气道内的压力继续下降。当气道与低压空气入口接通时,由于气道内处于负压状态,新鲜空气被吸进气道。气道转过低压空气入口和低压燃气出口后,遂充满新鲜充量。转子继续转动又开始下一个循环。

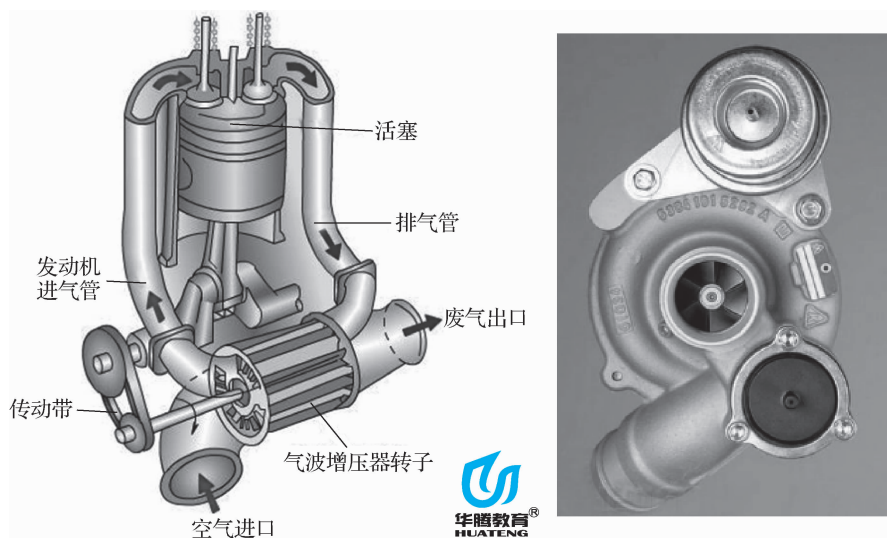


图 1-40 气波增压器的工作原理

气波增压器提供的增压压力在整个柴油机转速范围内变化不大,能量转换过程也不受转子惯性的影响,因此气波增压器具有良好的速度和负荷特性,较适合柴油机增压的要求,增压比可达 $2.5:1$ 。

气波增压器具有结构简单、制造方便、不需要昂贵的耐热合金材料等优点,而且它的工作适应性能好,适用于中小型柴油机上,特别是车用柴油机及工程机械用内燃机的增压,使汽车具有较好的爬坡能力和加速性能,以及很大的最高速度。但气波增压器运转噪声大,结构不如涡轮增压器紧凑,故实际使用范围不大。

五、增压中冷技术

随着发动机向高增压度的不断发展,其热负荷问题变得更加突出。空气经过增压器被压缩后温度升高,发动机转速越高,增压压力越大,温度上升就越大,增压后的气体已经很烫了。高温气体对发动机的影响主要有两点:一是空气体积变大,相当于发动机吸进的空气变



少了；二是高温空气对于发动机气体燃烧不利，可能会造成气缸盖断裂、燃烧室镶块烧裂、活塞环烧结卡死、活塞烧裂等现象，涡轮转子也常因热负荷过大而损坏，同时增压空气的温度每上升 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，发动机功率就会下降 $3\%\sim 5\%$ ，排放性能也会进一步变差。要解决这一问题，就要通过降低空气温度来提升空气密度，从而提高发动机充气效率，于是发动机增压中冷技术出现了。

增压中冷是一项比较好的解决措施。据计算，压缩空气降低 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，最高燃烧温度和排气温度可降低 $2\sim 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，可以有效缓解热负荷。因此，尤其是对于中增压度以上的增压系统，增压中冷几乎是必不可少的。增压中冷还可以提高发动机充气效率，在不增加热负荷的情况下能够提高功率 $15\%\sim 20\%$ ，并能降低排放中 NO_x 的含量，改善环境。

增压中冷技术就是当涡轮增压器将新鲜空气压缩经中段冷却器冷却，然后经进气歧管、进气门流至气缸燃烧室。有效的增压中冷技术可使增压温度下降到 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下，有助于减少废气的排放和提高燃油经济性。发动机中冷器如图 1-41 所示。

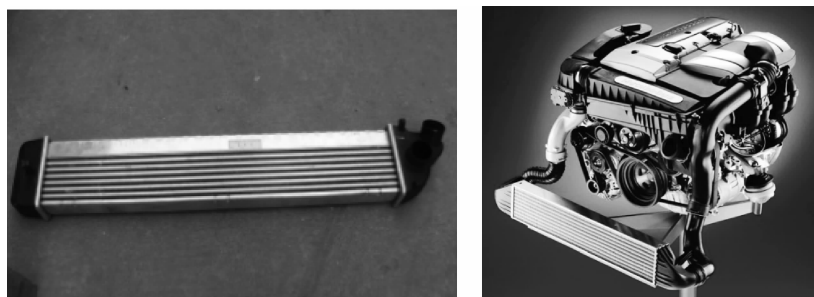


图 1-41 发动机中冷器

一般发动机的中冷器采用水冷或风冷的方式来降低进气温度。由于发动机冷却水的温度普遍在 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上，水冷的方式并不能达到最佳冷却效果，因此，汽车柴油机大都采用空气冷却式中冷器。空气冷却式中冷器利用管道将压缩空气通到一个散热器中，利用风扇提供的冷却空气强行冷却。空气冷却式中冷器可以安装在发动机水箱的前面、旁边或者另外安装在一个独立的位置上，增压器高压热空气流经中冷器的冷却管，把热量传给冷却管和附着在管子上的散热片。它的波形铝制散热片和管道与发动机水箱结构相似，热传导效率高，可将增压空气的温度冷却到 $50\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。空气和水的流动路线如图 1-42 所示。

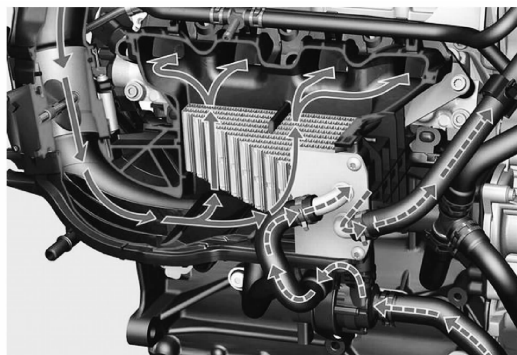


图 1-42 空气和水的流动路线

增压中冷技术不是一项简单的技术,过热无效果,过冷则在进气管中形成冷凝水。因此,要将中冷器和涡轮增压器进行精确匹配,使得压缩空气达到要求的冷却温度。

第三节 燃油供给及燃烧新技术

一、燃油供给新技术

汽车电喷系统(auto electronic fuel injection system)分为汽油机电喷系统和柴油机电喷系统。汽油电喷技术有较高的普及率,主要汽车企业均掌握了该项技术;而柴油电喷技术被美国德尔福、德国博世和日本电装等几家企业所垄断。

1. 汽油机燃油供给新技术

传统的化油器存在诸如易发生气阻、结冰、节气门响应不灵敏等缺点,在多缸发动机中供油不匀,引起工作不稳,不利于大功率设计。为了弥补这些缺陷,早在 20 世纪 30 年代,汽油喷射系统就已在航空发动机的研发中被作为研究对象,经过 10 多年的深入研发,在 1945 年,喷射系统开始应用于军用战斗机上。它充分消除了浮子式化油器不能完全适用军用战斗机作战工况的缺陷。

随着汽车工业的飞速发展,汽车的尾气排放带来的空气污染问题日益严重,西方各国都制定了严格的汽车排放法规。能源危机的冲击及电子技术、计算机技术等飞速发展,促进了电子控制汽油喷射发动机的诞生。1953 年,美国本迪克斯(Bendix)公司首先开发了电子喷射器(electrojector),1957 年正式问世,开创了电控汽油喷射的新时代。

1) 多点喷射

多点电喷(歧管喷射)就是在每个气缸的进气管上都安装电磁喷油器(见图 1-43),发动机 ECU 控制直接将燃油喷入进气歧管,再与流经进气歧管的空气流混合。当进气门打开时,混合气体被吸入气缸,即汽油是由多个地方(至少每个气缸都有一个喷射点)喷入气缸的,这就是多点电喷,这是目前大多数汽车采用的喷射方式。



图 1-43 多点电喷

多点电喷系统与化油器式进气系统相比,从根本上解决了相邻气缸进气重叠引起的配气不均匀、功率下降、油耗增加等问题,而且多点电喷发动机可以采用顺序喷射,因此空燃比的控制比单点喷射更精确,可以根据正时进行喷油,对喷油量、喷油时刻进行精确控制,所以



多点电喷发动机的排放性能更好,也更经济省油。



图 1-44 DIS 双喷射系统

歧管喷射是目前的主流喷射方式,技术稳定,不过喷油嘴离燃烧室还有一段距离,加上喷射压力较低,有细微的燃油会附着在歧管壁形成油膜,需要通过高温传递才能重新汽化,并且混合气体受进气气流和气门的影响较大,效率逐渐达到了瓶颈。此外,歧管喷射在冷机启动时无法保证所需的油气混合气,只能通过过量喷油来满足当前工况,造成燃油的浪费。不过还是有车厂愿意去研究一些方法,如日产的 DIS 双喷射系统(见图 1-44),这个双喷射系统在一个进气歧管布置两个喷油嘴,减小喷射细孔孔径的同时增加细孔的数量,日产表示这能让燃油经济性提高 4%。

2) 缸内直喷

在对能源和环保要求日趋严格的今天,即使是多点燃油喷射这样的技术也不能满足人们的要求,于是更为精确的燃油喷射技术诞生,即缸内直喷技术。

缸内直喷就是将燃油喷嘴安装于气缸内,直接将燃油喷入气缸内与进气混合(见图 1-45)。喷射压力进一步提高,让喷射出的燃油颗粒直径更小,使燃油雾化更加细致,真正实现了精准地按比例控制喷油并与进气混合。同时,喷嘴位置、喷雾形状、进气气流控制,以及活塞顶形状等特别的设计,使油气能够在整个气缸内充分、均匀混合,从而降低了发动机的热损失,使燃油充分燃烧,能量转化效率更高;燃油蒸发吸收热量,能降低燃烧室温度,这样有助于提高压缩比。增大了输出功率并降低了燃油消耗,对于燃油经济性和动力性都有帮助。但缸内直喷分层燃烧带来的排放问题及油品适应性导致的积炭问题存在不足,且零部件的价格比传统供油系统昂贵许多。

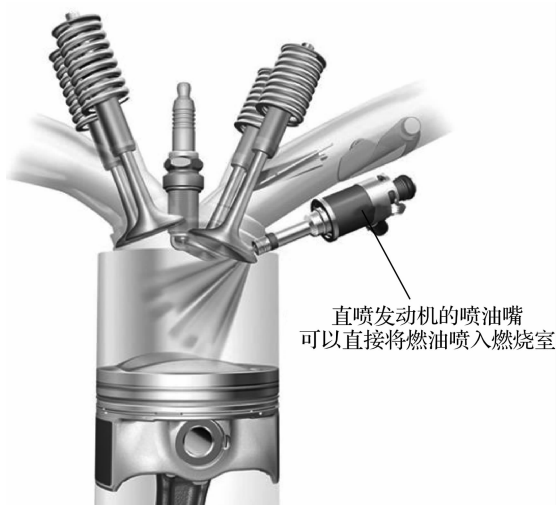


图 1-45 缸内直喷

3) 复合喷射

复合喷射系统有两套喷油系统,将发动机每次循环所需的燃油分为两部分进行喷射。