

# 现代轿车柴油机电控高压喷油系统(二)

文/江苏 范明强



范明强

(本刊专家委员会委员)

教授级高级工程师, 曾任中国第一汽车集团公司无锡研究所发动机研究室主任、湖南奔腾动力科技有限公司轿车柴油机项目部总工程师、无锡柴油机厂高级技术顾问和多所高校客座教授。

(接上期)

## 3.电磁阀控制式喷油器

### (1)静止状态

燃油从共轨经过高压油管进入喷油器, 通过进油节流流量孔注满控制室。在喷油器静止状态时, 所有的力处于平衡状态, 电磁阀借助于弹簧力关闭阀控制室的出油节流流量孔。因控制柱塞的面积大于喷嘴针阀的凸肩承压面积, 而它们都承受着相同的压力, 因此通过控制柱塞作用在喷嘴针阀上的液压力较大, 产生一个关闭力, 将喷嘴针阀压紧在其阀座上, 喷嘴保持在关闭状态。

### (2)喷油开始

为了开始喷油, 由电控单元向喷油器发出一个电脉冲信号激励电磁线圈(图3-11 a), 使电磁阀的衔铁克服弹簧力从其阀座上提起, 将控制室的出油节流流量孔打开, 燃油就能从控制室排入回油管路, 使得控制室中产生压力降。由于进油节流流量孔的节流作用阻碍了控制室内的压力立即恢复, 使得控制柱塞施加在喷嘴针阀上的液压力小于喷嘴针阀凸肩承压面积上所受的液压力, 因此喷嘴针阀从其阀座上抬起, 喷油过程开始(图3-10b)。其中, 喷嘴弹簧对于喷油器的功能并非必要的, 而主要是当共轨压力建立得尚低时, 用于避免因汽缸压缩压力而使汽缸中的气体反窜入喷嘴。

图3-12示出了这种电磁阀式喷油器的一个特点。在喷嘴针阀全开(最大升程)的情况下, 电磁阀的出油节流流量孔被控制柱塞的顶部关闭, 因此喷油期间从控制室中流出的燃油流量变小, 从而使得控制室中的也就是作用在控制柱塞上的压力增大, 使控制柱塞向下运

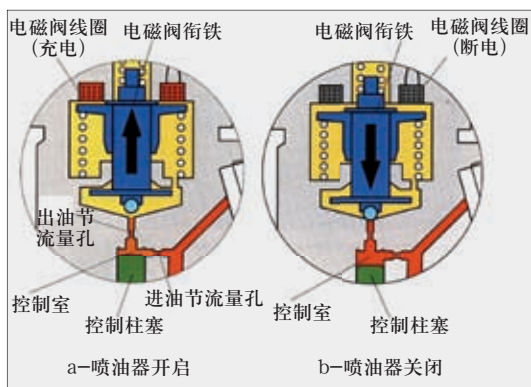


图3-11 喷油器电磁阀工作原理

动, 出油节流孔又被打开一点, 控制室中的压力又降低, 控制柱塞又上升关小出油节流流量孔, 因此在喷油期间, 这样的调节过程是在不断地反复进行着的, 从而可减少从控制室中流出的高压燃油量, 节省系统的功率消耗。

从喷嘴针阀和控制柱塞的导向面渗漏的燃油量随着控制室的燃油一起排出, 通过回油管返回电动燃油泵的储油箱。

### (3)喷油结束

当柴油机电控单元向喷油器发出的电脉冲信号结束, 电磁阀线圈断电(图3-11b), 电磁阀衔铁落座, 将出油节流流量孔关闭, 控制室内又恢复到共轨压力, 使得控制柱塞一侧的液压力又变得较大, 因此控制柱塞克服弹簧力将喷嘴针阀关闭, 于是喷油过程就结束(图3-10a)。

### (4)多次喷射

最新一代电磁阀式喷油器由于采用了高频电磁阀, 目前每循环的喷射油量也能够分成5~7份之多, 甚至预喷射也能分成几次, 从而获得更轻声柔和的燃烧。同样, 为了更有效地减少有害物质和颗粒捕集器的再生, 后喷射在技术上也可以做到分成几次实施(图3-13)。

### (5)喷油量调节

发动机每循环的喷油量是预喷射、主喷射和后喷射油量的总和, 而每次喷射的燃油量则取决于喷油压力和喷嘴针阀打开的时间。

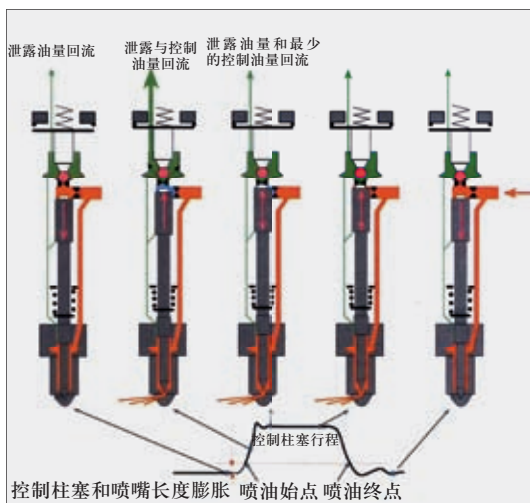


图3-12 喷嘴针阀全升程时从控制室流出的高压燃油量减少

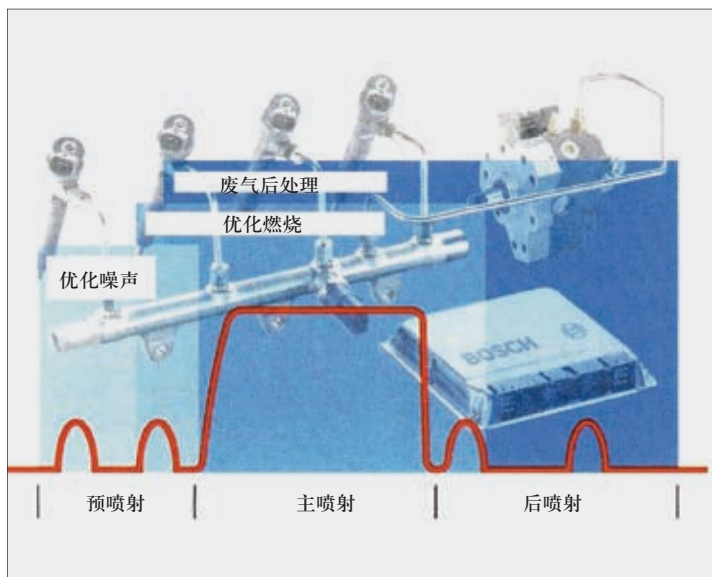


图3-13 多次喷射

首先, 喷油器为了能够在高喷油压力下稳定地获得大约 $1.5\text{mm}^3$ 升程这样非常小的预喷射油量, 电磁阀衔铁销必须一直打开到碰到衔铁座圈限位为止, 而应避免处于中间位置, 也就是说电磁阀必须具有大约 $200\ \mu\text{m}$ 这样非常短的打开时间(从控制脉冲信号始点直到升程限位为止)。为此, 电磁阀的电磁线圈必须要有一个较高的电压, 通常采用 $70\sim 80\text{V}$ 电压工作, 它是由电容器放电来达到的。通过电容器向喷油器电磁线圈输出能量, 在几微秒内就能达到控制电流的峰值, 产生较大的电磁吸力, 确保电磁阀衔铁销能尽量迅速地被提升到最大升程, 使得电磁阀被快速地打开, 然后电压就降低到大约汽车电路的水平, 并由汽车蓄电池继续维持电流, 喷油器就保持稳定的开启状态, 电流的水平处于保持阶段, 直到控制信号终了时才降落, 这样的控制电流波形被称之为“峰值-保持”波形。图3-14示出了喷油器进行预喷射和主喷射的脉冲曲线图。在预喷射时, 电磁阀一直通电直到全部开启升程为止, 然后又立即关闭。在电

阀关闭时, 在衔铁腔内出现压力波, 它会引起衔铁销再次开启, 这是特别不利的现象, 因此要通过将衔铁腔的容积尽可能放大到可接受的最大程度来减少压力波所引起的这种不利影响, 并在结构设计上衔铁销与电磁线圈铁芯不是直接滑配合而是脱离的, 中间装用弹簧来阻止电磁阀衔铁销再次被开启。

与进气道汽油喷射系统不同, 在共轨喷油系统中喷油量的调节是优先通过改变喷油压力, 而不是仅仅通过改变喷油时间(喷嘴针阀开启时间)的长短来实现的, 这可以为优化燃烧过程带来更大的自由度。

值得一提的是, 最初喷嘴针阀座面采用通常的结构设计, 但是经过一段运转时间以后预喷射油量增大, 其原因是喷嘴针阀座

面配合的合适程度。经改进, 采用了图3-15所示的喷嘴针阀座面的特殊结构设计, 就避免了上述现象。另外, 喷嘴针阀导向表面采用非定形碳涂层, 不仅提高了导向表面的硬度, 而且还改善了针阀的摩擦状况。同时, 还在针阀座附近采用了第二个针阀导向面, 进一步改善了针阀的导向作用, 这对其座面的配合也起到了有利的作用, 以便即使在最小针阀升程时, 各个喷孔都能获得相同的喷射油束。图3-16示出了基本型喷嘴与双导向针阀喷嘴所形成的喷射油束及其燃烧状况的比较, 从中可以清楚地看到, 双导向针阀喷嘴的喷射油束得到了明显的改善, 各个喷孔喷射出的油束及其燃烧都相当均匀。喷油量越小, 喷嘴针阀的导向作用就越显得重要。

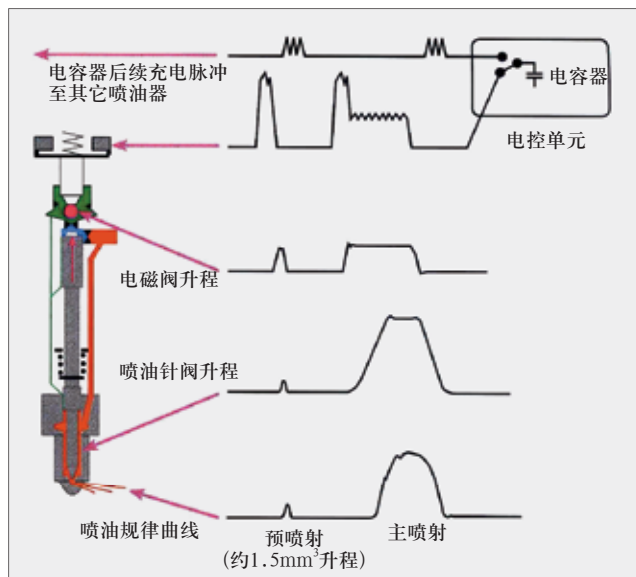


图3-14 电磁阀式喷油器的控制脉冲曲线图

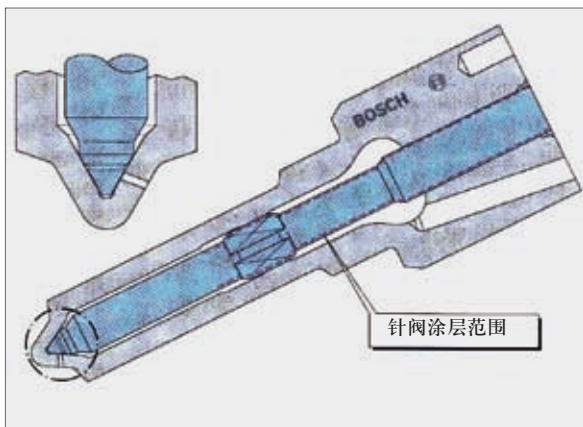


图3-15 均匀最佳针阀座面和针阀涂层的喷嘴

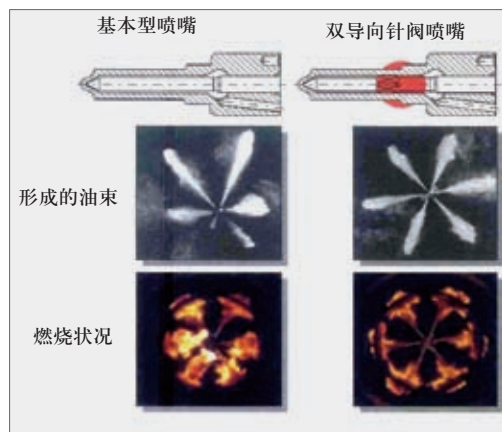


图3-16 不同结构设计喷嘴喷射油束及其燃烧状况的比较

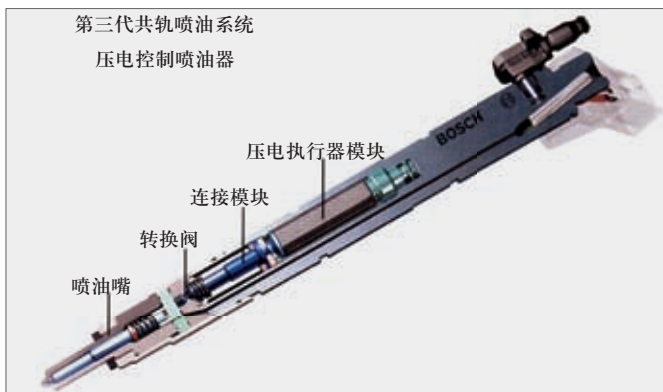


图3-17 压电直接控制式喷油器

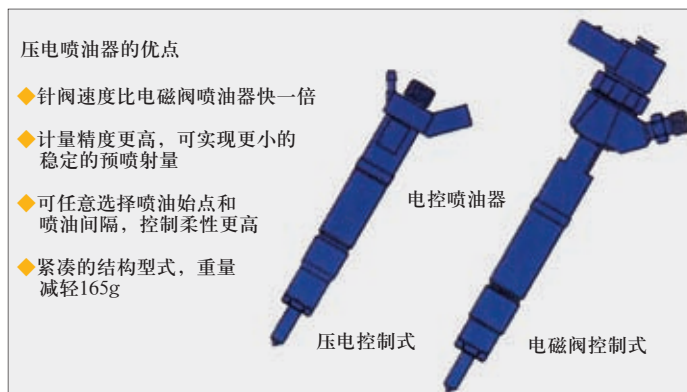


图3-18 压电式和电磁阀式共轨喷油器的比较

### 3.1 压电控制式喷油器

#### (1) 压电控制的优势

西门子(Siemens)公司是压电技术的先驱者,但是它仅仅用一个压电执行器来替代电磁阀进行控制,而博世(Bosch)的压电喷油器则是采用压电执行器直接控制喷油嘴针阀的方案,这种直接控制技术更为先进,其理由是:因为用压电执行器简单地替代电磁阀进行控制,仍然要通过液压作用间接地操纵喷油嘴针阀动作,这样并不能使喷油器开闭得更快,然而提高喷油器针阀开闭的响应速度却正是用压电执行器替代电磁阀所追求的目标,这样才能使喷油过程变得比现有的电磁阀控制方式具有更大的柔性。因此,博世(Bosch)第三代共轨喷油系统中采用压电直接控制式喷油器(图3-17),用压电执行元件直接控制喷油嘴针阀动作。

采用这种直接控制喷油嘴针阀的方案充分发挥了压电技术的优势:①省掉了球阀和控制柱塞;②喷油嘴针阀能直接响应压电执行器的动作;③喷油嘴针阀的开闭速度更快,可以使两次喷油之间的间隔时间更短,提高控制柔性;④喷油量的控制精度更高。

图3-18示出了压电式和电磁阀式共轨喷油器的比较。压电共轨喷油器由于取消了中间液压传动的控制活塞,机械构件很少,运动质量从16g减少到4g,使得这种直接控制式喷油器的开闭时间小于0.1ms,比电磁阀式喷油器快了一倍。虽然后者目前每循环也己能实现5~7次喷射,但是前者能够任意选择喷油始点和喷射间歇,而且喷油量的计量精度更高,预喷射油量更小,因而使燃烧过程变得非常柔和,并为燃烧过程的进一步

优化提供了更多的自由度,能获得更好的节能减排效果。此外,因配合密封部位大大减少,使得喷油器的回油量减少了一半左右,高压燃油泵的泵油量和所需消耗的功率也相应减少,系统的总效率得以改善。

由于压电喷油器具有优异性能,与电磁阀控制式喷油器相比,其预喷射油量在需要时能够减小到小于 $1\text{mm}^3$ ,还可应用两次预喷射,在中等负荷时噪声水平降低的数量级可达 $3\text{dB(A)}$ 。同时,在保持低噪声水平的情况下,微粒和 $\text{NO}_x$ 排放量还能降低大约13~18%,因而在1600bar喷油压力下,就能使干重为1800kg的轿车无须废气后处理就达到欧4排放标准,充分显示出其优异的实际工作能力。

#### (2) 基本工作原理

如图3-19所示,博世(Bosch)压电直接控制式喷油器可分成低压、高压和控制室3部分,主要组件是压电执行器、液压接杆、伺服阀和喷嘴。喷嘴针阀是由伺服阀来控制的,喷油量则由其控制的持续期来决定。

压电执行器的工作原理主要是依靠多层压电晶体在电压作用下能伸长而产生位移的逆压电效应(详见第五章),它在非工作状态(无控制信号)时处于原始位置,伺服阀关闭,高压范围和低压范围相互隔断。此时,液压接杆起到补偿可能存在间隙(例如由于热膨胀所引起)的作用,喷嘴借助于紧挨着控制室的共轨压力和弹簧保持关闭状态。

当对压电执行器施加控制信号(即施加电压)时,它就会伸长而产生位移,将伺服阀打开,从而使控制室中的压力降低,共轨压力将

针阀抬起,喷嘴开启。直到控制信号终了,压电执行器恢复到原始长度,伺服阀关闭,控制室中的压力随之增大,喷嘴针阀也随之关闭。

#### (3) 伺服阀

这种压电直接控制式喷油器取消了将液压力传递到喷嘴针阀上的控制活塞,而是采用伺服阀来进行液压转换,因此运动质量从16g减少到4g,使得喷嘴针阀的开闭时间小于0.1ms,比电磁阀式喷油器快了一倍,同时摩擦也大大减小,喷油器的稳定性和喷油量计量误差比电磁阀控制式喷油器明显改善。伺服阀与喷嘴针阀的紧密连接使得针阀对压电执行器的动作能迅速直接作出反应,控制信号始点与喷油始点之间的延迟时间总共大约 $150\mu\text{s}$ ,因而就能获得很高的针阀速度和重复性较好的最小喷油量,还能实现很短的喷射间隔。此外,从原理上讲,这种喷油器没有从高压范围向低压油路泄漏的部位,这样就提高了整个系统的液压效率。(未完待续)

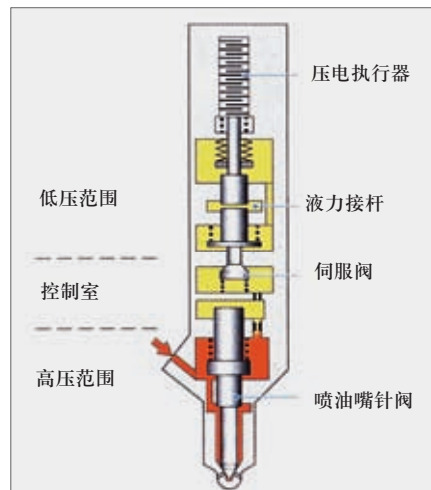


图3-19 压电喷油器基本工作原理示意图