

上海“九五”重点图书

现代汽车设计制造丛书

# 现代汽车

## 发动机电子控制

钱人一 编著



上海交通大学出版社

上海“九五”重点图书  
现代汽车设计制造丛书

# 现代汽车发动机电子控制

钱人一 编著

上海交通大学出版社

## 内 容 提 要

本书论述现代汽车发动机电子控制系统(又称发动机管理系统)的原理、组成、故障诊断和相关的排放法规。从中国当前的实际情况出发,本书主要介绍四冲程汽油机的电子控制。本书从汽油喷射说起,首先介绍汽油机最基本的燃油系统和点火系统电子控制,在此基础上介绍汽油机其他电子控制项目、稀薄燃烧和汽油直接喷射电子控制、电子控制单元、各种电子控制系统、故障诊断、液化石油气发动机电子控制、电磁兼容性和抗干扰以及汽车排放法规。书中内容反映了20世纪末的技术水平。

本书避免使用深奥的数学公式,编写过程中参考了直到1997年的72种文献资料,有插图294幅,每章附有思考题,既可用作高等院校发动机、汽车等专业的教科书,又可用作相关专业在职工程技术人员知识更新的参考书。对于具有一定文化程度的汽车生产和维修技工来说,本书也不失为自学成才的好帮手。

### 图书在版编目(CIP)数据

汽车发动机电子控制/钱人一编著. - 上海:上海交通大学出版社,1999

ISBN 7-313-02266-2

I. 汽… II. 钱… III. 汽车-发动机-电子控制 IV. U464

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 30928 号

## 现代汽车发动机电子控制

钱人一 编著

上海交通大学出版社出版发行  
上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030

电话 64281208 传真 64683798

全国新华书店经销

常熟市印刷二厂·印刷

开本:787×1092(mm) 1/16 印张:18.25 字数:446千字

版次:1999年12月 第1版

印次:1999年12月 第1次

ISBN 7-313-02266-2/U·082

定价:30.00元

---

本书任何部分文字及图片,如未获得本社书面同意,  
不得用任何方式抄袭、节录或翻印。

(本书如有缺页、破损或装订错误,请寄回本社更换。)

# 鸣 谢

本书的编写和出版承蒙  
上海发展汽车工业教育基金会  
联合汽车电子有限公司  
资助。特此致谢！

编著者 钱人一  
出版者 上海交通大学出版社

## 作者简介



钱人一, 同济大学汽车工程系动力教研室教授, 科技德语中心兼职教授, 上海市内燃机学会理事; 1956 年上海市上海中学毕业, 同年入学清华大学攻读工程物理专业, 1958 年改学铸造工艺及设备专业, 1962 年 1 月毕业后就职于农业机械部洛阳设计院(今机械部第四设计院), 1964 年 8 月被调至江西拖拉机制造厂, 从事铸造工艺及设备设计工作; 1979 年 10 月作为文化大革命之后第一批访问学者由教育部派往瑞士进修, 师从陈延年博士, 从事流动引起的振动方面的研究。回国后于 1984 年调入同济大学动力教研室任教。曾参与完成交通部重点科技攻关项目, 获上海市科技进步二等奖, 在国内外发表学术论文 30 多篇。专著有《汽车发动机噪声控制》, 合编有《机电一体化技术在支柱产业中的应用》和《现代汽车技术》, 合译有《工程热力学》等书。

# 前 言

根据原机械工业部汽车工业司机汽产[1997]167号文件,最迟从2002年1月1日起,中国将执行欧洲I(Euro I)汽车排放法规。这意味着现有的汽车化油器发动机都要被电子控制汽油喷射发动机加上三效催化转化器所取代。全中国各大汽车厂无不正在紧锣密鼓地准备将自己生产的发动机改成电子控制汽油喷射发动机。这在中国汽车工业发展史上不能不说是一件划时代的大事。但是在发动机电子控制这一技术领域内迄今还没有一本适合于高等院校学生的教科书,而发动机和汽车行业的在职工程技术人员也急需一本易于自学的书以求知识更新。本书编者本着教学为生产实践服务的精神,早在1991年就开始搜集资料,并于1994年秋季开始利用业余时间为同济大学汽车工程系学生开设汽车发动机电子控制的系列讲座,曾先后为上海大众汽车有限公司的发动机厂、总装厂和试验科以及联合汽车电子有限公司等企业的工程技术人员就发动机电子控制这一专题开设讲座。多年来,本书编者有意在这些讲稿的基础上编写成书,正当此时,上海交通大学出版社决定投资出版一套现代汽车设计制造丛书,并向本书编者约稿。此后,上海发展汽车工业教育基金会和联合汽车电子有限公司又先后为本书的编写和出版提供了资助。本书编者在此对上海交通大学出版社的远见卓识深表钦佩,对上海发展汽车工业教育基金会和联合汽车电子有限公司的慷慨解囊深表谢意。

本书共分11章。第1章分析了化油器的缺点,进而引入汽油喷射,并从总体上讨论了汽油喷射的分类、优缺点及其与电子控制的关系。第2章和第3章分别介绍了汽油机电子控制中两个最重要、最基本的电子控制项目,即燃油定量电子控制和点火正时电子控制。在此基础上,第4章列举了汽油机的其他各种电子控制项目。当今世界各国不仅注重降低排放,而且大力降低油耗以减缓温室气体的增加,因此稀薄燃烧汽油机越来越受到广泛的关注,而其中的佼佼者便是1995年才获得专利的汽油直接喷射(GDI)技术。借此,可实现空燃比高达40:1的超稀薄燃烧,节油20%。这一技术将在21世纪初引起一场汽车发动机的技术革命,而这一切都离不开电子控制。这部分内容放在第5章。第6章对电子控制单元作一简单介绍。第7章介绍中国各大汽车公司及世界各国、各大公司,包括BOSCH、GM、FORD、CHRYSLER和MAGNETI MARELLI等公司的典型汽油机电子控制系统的特点和组成。汽油机电子控制系统的故障诊断是使系统正常运行和实现排放控制的根本保证。美国、欧洲等发达国家已全面采用了OBD II(II型车载故



障诊断)或同类技术。第8章介绍这部分内容。液化石油气作为清洁的代用燃料正在中国蓬勃发展。但是,为了满足中国即将执行的欧洲I排放法规,液化石油气发动机也必须实现 $\lambda$ 闭环电子控制并采用三效催化转化器。这部分内容放在第9章,将为推动中国液化石油气发动机的健康发展略尽绵薄之力。第10章论述汽油机电子控制系统的电磁兼容性和抗干扰。这是一个在传统的化油器发动机中不太引人注目的课题,但在电子控制汽油喷射发动机中对此有十分严格的要求。最后一章介绍汽车排放控制法规,重点是欧洲的ECE-R83规则,因为中国将等效采用这一规则。现已普遍受到人们关注的是测定冷起动后排气排放物的工况法试验。其实,该规则还规定了曲轴箱排放物测试、蒸发排放物测试(SHED)和排放控制装置的耐久性测试。汽油机电子控制系统是否达到了预期的目标,必须通过这些测试才能确定。

本书承蒙联合汽车电子有限公司(UAES),上海大众汽车有限公司(SVW)和上海通用汽车有限公司(SGM)等提供资料,特此致谢。

在本书的编写过程中,联合汽车电子有限公司的尤逸尘、陈贤章、Daniilidis、顾林祥、石琼、张国清、Gerhardt、陈江红、韩本忠、王鹏、徐明、杜坤、黄坚、郑重、余政、单津晖,上海大众汽车有限公司的陆季波、韩磊、戴之彦、郑仲、任国强、熊伟铭、余德、张晓霜、周平根、吴铭良,上海通用汽车有限公司的项党、徐广卿,上海汽车技术中心的史重九,留学德国的工学博士顾卫旭和江子扬,上海大众汽车同济特约维修站的万晓嘉,上海乾通汽车附件有限公司的严学铭和德国BOSCH公司的Kuklinski、Alvermann等曾以各种方式提供过帮助;上海南洋电机厂工程师陈玲心及同济大学汽车工程系硕士研究生齐伟、朱强劲、蒋伟峰、徐海、花力平和顾雪群及温翠芹等曾为本书制作部分插图和打印,在此一并致谢。

谨以本书敬献给我最敬爱的、曾给予我慈母般的关怀并为我指明了人生目标的已退休上海市数学特级教师、上海市上海中学原副校长唐秀颖老师和养育我的母亲张秀毓女士。

**编著者 钱人一**

1999年9月4日于同济大学

# 目 录

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第 1 章 汽油机电子控制概论           | 1   |
| 1.1 化油器的功能和缺点             | 1   |
| 1.2 汽油喷射的兴起               | 4   |
| 1.3 汽油喷射的分类               | 7   |
| 1.4 汽油喷射的优缺点              | 10  |
| 1.5 汽油喷射与电子控制             | 13  |
| 思考题                       | 17  |
| 第 2 章 汽油机燃油系统电子控制         | 18  |
| 2.1 电子控制汽油机的燃油供给系统        | 19  |
| 2.2 喷油方式和喷油正时             | 32  |
| 2.3 燃油定量控制的基本公式及实现方式      | 35  |
| 2.4 负荷信息传感方法              | 36  |
| 2.5 转速和曲轴位置信息传感方法         | 52  |
| 2.6 基本喷油时间的计算             | 56  |
| 2.7 环境参数修正、蓄电池电压修正和超速断油控制 | 58  |
| 2.8 $\lambda$ 闭环控制        | 59  |
| 2.9 怠速转速控制                | 74  |
| 2.10 起动工况燃油定量控制           | 79  |
| 2.11 起动后和暖机工况燃油定量控制       | 82  |
| 2.12 倒拖工况燃油定量控制           | 82  |
| 2.13 过渡工况燃油补偿             | 83  |
| 2.14 部分负荷和全负荷工况燃油定量控制     | 86  |
| 2.15 油箱蒸发排放电子控制           | 86  |
| 思考题                       | 88  |
| 第 3 章 汽油机点火系统电子控制         | 93  |
| 3.1 点火提前角及其优化             | 93  |
| 3.2 各种点火系统及其点火提前角控制方法     | 97  |
| 3.3 爆震及其控制                | 104 |
| 3.4 点火提前角的计算              | 110 |
| 3.5 闭合角电子控制               | 113 |
| 思考题                       | 116 |
| 第 4 章 汽油机其他电子控制项目         | 118 |
| 4.1 二次空气电子控制              | 118 |
| 4.2 催化转化器燃油起动加热电子控制       | 123 |



|              |                              |            |
|--------------|------------------------------|------------|
| 4.3          | 排气再循环电子控制 .....              | 124        |
| 4.4          | 可变气门电子控制 .....               | 132        |
| 4.5          | 增压压力电子控制 .....               | 142        |
| 4.6          | 可变进气管长度电子控制 .....            | 144        |
| 4.7          | 分缸断油电子控制 .....               | 146        |
| 4.8          | 与变速箱换档相关的发动机电子控制 .....       | 147        |
| 4.9          | 进气量电子控制 .....                | 148        |
| 4.10         | 停车 - 起动运行电子控制 .....          | 150        |
| 4.11         | 空调压缩机电子控制 .....              | 150        |
| 4.12         | 冷却风扇电子控制 .....               | 151        |
| 4.13         | 掺烧甲醇电子控制 .....               | 151        |
| 4.14         | 燃烧过程电子控制 .....               | 152        |
|              | 思考题 .....                    | 153        |
| <b>第 5 章</b> | <b>稀薄燃烧和汽油直接喷射电子控制 .....</b> | <b>155</b> |
| 5.1          | 稀薄燃烧电子控制 .....               | 155        |
| 5.2          | 汽油直接喷射电子控制 .....             | 165        |
|              | 思考题 .....                    | 176        |
| <b>第 6 章</b> | <b>汽油机电子控制单元 .....</b>       | <b>178</b> |
| 6.1          | 电子控制单元概述 .....               | 178        |
| 6.2          | 电子控制单元硬件的组成 .....            | 179        |
| 6.3          | 连接其他系统的接口 .....              | 185        |
| 6.4          | 电子控制单元软件概述 .....             | 186        |
|              | 思考题 .....                    | 187        |
| <b>第 7 章</b> | <b>汽油机电子控制系统 .....</b>       | <b>188</b> |
| 7.1          | 汽油机电子控制系统概述 .....            | 188        |
| 7.2          | 不设点火正时电子控制的汽油机电子控制系统 .....   | 188        |
| 7.3          | BOSCH 公司的 Motronic 系列 .....  | 195        |
| 7.4          | 通用汽车公司的汽油机电子控制系统 .....       | 201        |
| 7.5          | 世界各大公司的汽油机电子控制系统简介 .....     | 206        |
|              | 思考题 .....                    | 211        |
| <b>第 8 章</b> | <b>汽油机电子控制系统车载故障诊断 .....</b> | <b>213</b> |
| 8.1          | 车载故障诊断概述 .....               | 213        |
| 8.2          | 故障监测 .....                   | 213        |
| 8.3          | 故障信息记录的设置 .....              | 215        |
| 8.4          | 故障应急措施(“跛行回家”) .....         | 224        |
| 8.5          | 故障诊断仪的应用 .....               | 224        |
| 8.6          | 故障的最终确定 .....                | 228        |
|              | 思考题 .....                    | 230        |
| <b>第 9 章</b> | <b>液化石油气发动机电子控制 .....</b>    | <b>231</b> |

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| 9.1 液化石油气概述 .....                      | 231 |
| 9.2 机械控制的 LPG 汽化系统——第 1 代 LPG 系统 ..... | 234 |
| 9.3 电子控制的 LPG 汽化系统——第 2 代 LPG 系统 ..... | 235 |
| 9.4 电子控制的 LPG 喷射系统——第 3 代 LPG 系统 ..... | 240 |
| 9.5 LPG 在柴油机上的应用 .....                 | 242 |
| 思考题 .....                              | 243 |
| <b>第 10 章 电磁兼容性和抗干扰</b> .....          | 244 |
| 10.1 电磁兼容性概述 .....                     | 244 |
| 10.2 汽车内部各系统之间的电磁兼容性 .....             | 244 |
| 10.3 汽车和环境之间的电磁兼容性 .....               | 247 |
| 10.4 汽车电磁干扰度和电磁敏感度的测量 .....            | 248 |
| 思考题 .....                              | 252 |
| <b>第 11 章 汽车排放的测量方法和限值标准</b> .....     | 253 |
| 11.1 概述 .....                          | 253 |
| 11.2 排气排放测试系统和测试方法 .....               | 253 |
| 11.3 排气排放工况法测试循环 .....                 | 258 |
| 11.4 排气排放怠速法测试 .....                   | 262 |
| 11.5 曲轴箱排放测试方法 .....                   | 262 |
| 11.6 外源点火发动机汽车蒸发排放测试方法 (SHED) .....    | 263 |
| 11.7 排放控制装置耐久性的测试 .....                | 264 |
| 11.8 汽车排放法规及限值 .....                   | 265 |
| 思考题 .....                              | 276 |
| <b>参考文献</b> .....                      | 278 |

# 第 1 章 汽油机电子控制概论

汽油机电子控制就是以电子方式对汽油机实施控制,是汽油机控制方式的一种。在讨论汽油机电子控制之前,有必要先讨论一下究竟什么是汽油机控制。

假设汽车先是以一定速度行驶在平坦道路上,如果驾驶员希望让汽车加速,或者驶上坡道而不要减速,他就要踩下油门踏板。从表面上看,驾驶员控制着发动机。但是实际上不是这么回事。发动机本身有一个控制系统。驾驶员踩下油门踏板,只是向发动机传达了一个要求加大扭矩的信息,他充其量只是在操纵发动机,却谈不上是在控制。油门踏板通过拉索使节气门开度增大,每循环吸入的空气量增大,汽油机控制系统相应地使每循环输入的燃油量也增加,结果使混合气浓度保持在一个与当时汽油机工况相适应的水平。这才是汽油机燃油定量控制。这一切都是由汽油机控制系统自动完成的,与驾驶员无关。我们要讨论的汽油机控制就是这个意义上的控制。除了燃油定量以外,汽油机还有许多控制项目,如点火正时等。

汽油机燃油定量控制与混合气生成系统不可分割。传统的汽油机利用化油器生成混合气。所以本章从化油器开始说起。

## 1.1 化油器的功能和缺点

图1-1示出了化油器的基本原理。化油器的喉管截面狭小,所以喉管处流速提高,压力下降,形成真空度(负压),将浮子室中的燃油通过主量孔吸入喉管,使之在气流中雾化、汽化、扩散并与空气混合。

实际的化油器要复杂得多。在提供燃油的同时,化油器还对燃油进行定量,以适应发动机

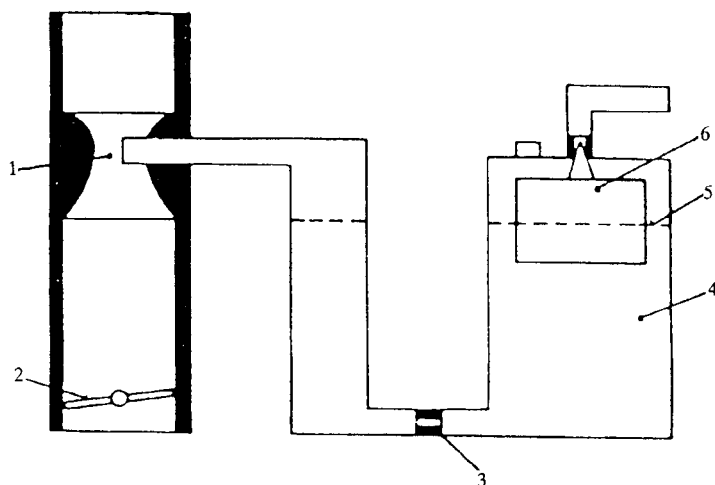


图1-1 化油器原理图

1-喉管; 2-节气门; 3-主量孔; 4-浮子室; 5-油面; 6-浮子

在冷起动、暖机、怠速、部分负荷、加速、倒拖及全负荷等各种不同工况下对空气/燃油混合比的各种特殊要求。概括起来,化油器的功能可以分成两个方面。一方面,对燃油进行加工,即令其雾化、汽化、扩散并与空气混合;另一方面,化油器还控制燃油定量,即控制空气/燃油混合比(简称空燃比)。当空燃比为 14.7 时,混合气完全燃烧后空气与燃油均无过剩,故将 14.7 定为汽油的理论当量空燃比,并定义  $\lambda$  为过量空气系数,

$$\lambda = \frac{\text{实际吸入的空气质量}}{14.7 \times \text{输入的燃油质量}} = \frac{\text{空燃比}}{14.7}。$$

它表征混合气完全燃烧后空气过剩的程度。 $\lambda > 1$ ,则空气过剩,称为稀混合气; $\lambda < 1$ ,则空气不足,称为浓混合气。化油器能随工况变化调整  $\lambda$ ,以满足对混合气的要求。

但是,化油器的这种兼管加工与控制两项功能的特点及其结构本身,决定了它有以下一系列不足之处。

### 1. 燃油雾化程度受空气密度的影响

化油器可看作一个按速度型雾化器原理工作的雾化装置,它主要依靠燃油和它周围气流之间的相对速度将燃油粉碎、雾化。对于汽油这种粘度很小的液体,可以利用下式计算气流中形成的油滴的最大半径:

$$r_{\max} \approx \frac{10a}{\rho_A w_o^2}, \quad (1-1)$$

式中:  $a$  为汽油/空气界面的表面张力系数(N/m); $w_o$  为汽油滴对于空气流的相对速度(m/s); $\rho_A$  为空气密度(kg/m<sup>3</sup>)。

在其他条件不变的情况下,空气密度的降低将使气流中形成的油滴尺寸增大,即雾化情况恶化。所以车用汽油机在高原行驶时或航空汽油机在高空飞行时,由于空气稀薄,雾化受到影响。

### 2. 空燃比受空气密度的影响

在发动机部分负荷下,化油器生成的混合气空燃比与空气密度的平方根成反比。所以,在航空发动机上,随着飞行高度的增加,混合气会变浓。汽车在高原或在盛夏高温季节行驶时也会出现同样的问题。

### 3. 多缸机混合气分配不均匀

通常所说的各缸混合气分配不均匀,应有三种含义:

- (1) 各缸混合气总量不一致;
- (2) 各缸混合气浓度不一致;
- (3) 各缸混合气中燃料组分不一致。

各缸混合气总量的不一致不是化油器造成的,不予讨论。各缸混合气浓度不一致和燃料组分不一致的问题却与化油器有关。在混合气从化油器流往气缸的过程中伴随着下列过程:

(1) 燃油滴被空气流加速,使两者之间的相对速度  $w_o$  迅速减小,油滴的最大半径值迅速增大,油滴呈合并趋势,见式(1-1);

(2) 由于流道的弯曲和气缸的交替吸气,流道中各点速度的大小和方向都不一样,而且随着时间的推移而急剧变化。已经汽化的燃油和较细的油雾,比之雾化较差的油滴更快地加速

和减速。于是,进气歧管中各处混合气趋于不均匀;

(3) 已经汽化的燃油会凝结在进气歧管壁上;

(4) 较大的油滴会逐渐滞留在进气歧管壁上,特别是当管壁粗糙、有毛刺,或从流体力学角度来看设计不当时,情况更为严重。例如气流急转弯时混合气中的油滴就可能因离心惯性力而被甩出,落在管壁上,与凝结的燃油一起形成燃油膜,积聚成小股燃油流,在气流的带动下流往气缸。这些油流只流入其中的一个或几个气缸,引起各缸混合气浓度不一致;

(5) 在流往气缸的过程中,油流中的易挥发组分可能比难挥发组分更多地汽化。所以流入气缸的燃油流中难挥发组分浓度较高,造成各缸混合气燃油组分不一致。

由于各缸混合气不均匀,化油器只能使多缸机中的一个或少数几个缸达到最佳空燃比,因而使整机的动力性、经济性和排放等恶化。

#### 4. 负荷变动造成附加的燃油耗和排放恶化

如前所述,化油器发动机的进气歧管壁上有燃油膜积聚。进气歧管的压力高,则燃油不易蒸发,油膜增厚。反之亦然。发动机负荷增大、节气门开度增大时,正是这种情况。此时由于进气歧管的压力升高,混合气中一部分燃油进入油膜,使混合气变稀。这一方面影响了发动机对变工况快速响应的能力,另一方面使油膜增厚。增厚的油膜在发动机负荷减小、节气门开度减小时,因为进气歧管的压力降低而迅速蒸发,给进入气缸的混合气增添了额外的燃油,使原本应当减少的燃油量反而增多,混合气过浓,燃烧不完全,既增大了油耗,又恶化了排放。

#### 5. 体积效率较低

化油器发动机由于两种原因使得体积效率降低。首先是因为喉管使流动损失增加,降低了吸气流量。其次是因为化油器发动机中为了避免在进气歧管管壁上生成油膜而往往将进气歧管与排气歧管置于同侧,令排气歧管加热进气歧管。但这样一来降低了吸入气缸的充量的密度,进而降低体积效率。

#### 6. 化油器结冰<sup>[1]</sup>

化油器在工作过程中有两个原因会造成降温。一是燃油蒸发时吸收汽化潜热;二是喉管中流速升高,压力和温度下降。主要原因是前者。

燃油汽化速率主要取决于当地的压力和气流速度。凡是压力低、气流速度高的地方,只要有足够的燃油,便会因汽化而形成大的温降。怠速时,喉管中流速不大,而且没有燃油在此处汽化,所以喉管处温降不大;但节气门和怠速油道出口处压力低、流速较大,且有燃油流出供汽化,所以温降很大,可比化油器之前降温  $13^{\circ}\text{C}$ 。随着节气门逐步开大,怠速油道出口处的压力增大,气流速度和燃油流量都减小,因而温降也减小;相反,此时喉管中的气流速度和燃油流量都增大,所以温降也增大,可比化油器之前降温  $14\sim 18^{\circ}\text{C}$ 。尤其是,冬天冷起动后怠速暖机时,因冷却水温度尚低,节温器还未开启,化油器得不到来自散热器的热空气加热,温度可降到冰点以下,空气中的水气和冰珠(雾天)便会在节气门和怠速油道出口处凝结成冰,缩小通道,图1-2所示节气门上白茫茫的一片就是冰。化油器结冰使得混合气过浓,油耗增加,排放恶化,加速困难,运行不稳,功率下降,怠速熄火,特别是加载到中速半负荷后回到怠速时更易熄火。



图1-2 发动机起动后 2min 节气门结冰情况(气温 5℃,相对湿度 65%)<sup>[2]</sup>

## 7. 浮子式化油器的工作受发动机姿势的影响

浮子式化油器喉管中的燃油喷嘴出口应比浮子室中的油面高出一定高度方能正常工作。当发动机姿势偏离正常的工作位置时,化油器的工作会受到影响,甚至漏油、起火。如果说在某些偏差不太大的场合,如汽车上、下坡时这种影响尚能接受的话,那么在航空发动机中当飞机作不同的飞行动作时这种影响就不能不考们了。浮子式化油器的构造决定了它不能适应飞机在竖直平面内翻筋斗或作翻滚、大坡度爬升等飞行动作的要求。

## 8. 发动机倒拖影响排放和油耗

当倒拖,即点火关闭、离合器接合、变速箱挂上前进档,汽车因惯性而带动发动机继续运转,借此对汽车实施制动作用时,如不采取专门措施,则化油器依旧将燃油送入气缸。这些燃油不经燃烧便从发动机排出,既增加油耗,又污染环境。

化油器的这些不足之处是在实践中逐渐被人们所认识的。最早对化油器感到不满,试图革除之并大规模试验汽油喷射的是美国空军。当时航空发动机都是化油器式汽油机,在作特技飞行时表现出有缺陷,并因化油器结冰或起火而引起飞行事故。于是,人们开始用喷油器喷射汽油代替化油器来生成混合气,这就是汽油喷射。

# 1.2 汽油喷射的兴起

汽油喷射在 100 年前就已有人尝试。最早的记载是 1896 年瑞士人 Saurer 的试验,但无任何结果。1898 到 1901 年间,德国 Deutz(道依茨)煤气机厂将汽油喷射用于成批生产的固定式发动机。此后,汽油喷射的发展可分成以下三个阶段。

## 1. 二战以前

由于航空发动机化油器结冰和起火事故频频发生,1906 年开始试验将汽油喷射用于二

冲程和四冲程航空发动机。

德国 BOSCH(博世)公司在 1912 年进行了汽油喷射初步试验。

美国空军 1925 年 6 月 10 日正式立项开发机械式汽油喷射装置。1933 年 9 月,第一架装汽油喷射装置的飞机交付使用。

德国航空实验室大约从 1930 年起同 BOSCH 公司合作,在一台 BMW(宝马)公司航空发动机上试验汽油喷射。接着,一些德国公司如 Daimler-Benz(戴姆勒-奔驰)、Junkers(容克)、BMW、Siemens(西门子)等纷纷与 BOSCH 公司等汽油喷射装置的供应商合作开发汽油喷射装置。1937 年,Daimler-Benz 公司的 DB601A 型发动机作为德国第一台汽油喷射航空发动机投入批量生产。

德国早期汽油喷射的开发并不限于空军。当时 Daimler-Benz 公司还为 Luft-Hansa(汉莎航空)公司开发了 DB601L 型民用航空发动机。

汽油喷射在航空发动机上的成就当然会激励人们在汽车发动机上进行类似的试验。这类试验在二次大战以前就已取得良好效果,但总的来说,其规模与成就不能与航空发动机相比。这一时期汽油喷射以航空为主,采用机械控制;美国采用进气口喷射,德国则直接往气缸内喷射。

## 2. 二战以后,转入车用

二战以后,活塞式航空发动机迅速被喷气式航空发动机取代,因此汽油喷射由航空转入车用。初期以二冲程为主,既用于轿车,也用于载重车。后发现二冲程汽油喷射困难重重,于是转而以四冲程为主。

Daimler-Benz 公司 1952 年在 300 型轿车 3.0L 四冲程发动机上安装汽油喷射装置,获得良好结果。接着开发了汽油喷射的 300SL 型跑车,1954 年 1 月在纽约展出,当年夏天成批生产。此后,该公司在 220SE 型 2.2L 四冲程轿车发动机上装备了进气口汽油喷射装置。1960 年,汽油喷射发动机在该车型中已占 21%。

BOSCH 公司在这段时间与 Daimler-Benz 公司紧密配合,开发了汽油喷射用的电动输油泵、燃油滤清器、定量泵组、混合气调节器、油量分配器、喷油器等许多部件用于进气口喷射的四冲程汽油机。

1955 和 1956 年,美国人对汽油喷射汽车发动机的兴趣空前高涨。美国 GM(通用汽车)公司 1957 年生产的 Chevrolet(雪佛兰)牌轿车已将汽油喷射作为选购件向客户推出。GM 的 Pontiac(庞蒂克)将汽油喷射当作某一车型的标准配置。GM 的 Rochester(罗彻斯特)分部向上述两个分部提供汽油喷射装置。

当时在美国生产汽油喷射装置的还有美国 BOSCH ARMA 公司、Bendix(本迪克斯)飞机公司等。

这一时期的汽油喷射装置都是机械控制的,二冲程逐渐让位于四冲程,缸内喷射逐渐让位于进气口喷射。

当时汽油喷射在车用汽油机上的推广存在三个问题:

- (1) 价格高,因为当时汽油喷射还未被广大的消费者所接受,生产批量小,成本高;
- (2) 性能不够完善,可靠性较差,加速性和起动性也差;
- (3) 维修困难,维修人员的培训没有跟上。

目前,我国汽油喷射刚刚开始发展,上述问题同样要注意。



### 3. 电子控制阶段

1957年是汽油喷射发展史上具有重要意义的一年。因为这一年的1月15日Bendix公司在底特律的汽车工程学会年会上正式推出了电子控制汽油喷射系统。该系统次年就被美国Chrysler(克莱斯勒)公司所采用。这一技术后来被德国BOSCH公司买断,并加以改进,开发成D-Jetronic电子控制汽油喷射系统。该系统采用转速-密度法进行燃油定量控制,自1959年起装车试运行,1966年开始在成批生产的汽车上试运行,1967年夏天开始成批生产,第一次装在德国大众汽车公司1600型四缸发动机上,用于1966年9月才投产的1600型轿车上,并从1968车型年起出口美国。D-Jetronic现已完全淘汰,不再生产。

BOSCH公司1973年开发出L-Jetronic电子控制汽油喷射系统,采用阻流板式空气流量计代替D-Jetronic的进气歧管压力传感器提供负荷信息。该系统1974年首次用于Opel(欧宝)公司成批生产的轿车。先后共有四代L-Jetronic。1976年开始生产氧传感器之后,开发出了配备三效催化转化器的LU-Jetronic,以满足排放法规的要求。后来开发出热线(热膜)空气流量计,从1981年开始用来代替阻流板式空气流量计,构成LH-Jetronic。上述系统不能以电子手段控制点火提前角,其电子控制范围仅覆盖燃油喷射,故称为电子控制燃油喷射系统(Electronic Fuel Injection,缩写成EFI)。

L-和LH-Jetronic正在淘汰过程中,1995年仅分别生产了1万和16万套。

1979年,BOSCH公司将点火提前角电子控制与燃油定量电子控制融为一体,开发出Motronic,并引入爆震控制、排气再循环等,以满足更趋严格的性能和排放要求,其电子控制范围覆盖整个发动机,故称为发动机管理系统(Engine Management System,缩写为EMS),也译成发动机电子控制系统。

为了降低成本、简化系统并缩减将化油器发动机改造成汽油喷射发动机的工作量,BOSCH公司在1982年开发出几个气缸合用一个喷油器的单点喷射电子控制汽油喷射系统Mono-Jetronic。1990年,在这个系统中引入点火提前角的电子控制,称为Mono-Motronic。1991年,又在Mono-Motronic中引入了爆震控制和排气再循环。Motronic和Mono-Motronic是当今世界上轿车汽油机中最流行的发动机管理系统之一,1995年产量分别达210万和200万套(包括少量的Mono-Jetronic)。

K-Jetronic是BOSCH公司1973年与L-Jetronic同时开发成的机械-液力控制的连续喷射系统。1982年,在这个系统中引入电子控制,除原有的燃油定量控制功能以外,还能进行加速控制、倒拖断油控制、限速控制、氧传感器闭环控制等,成为KE-Jetronic。1987年,在此基础上进一步引入点火提前角控制,成为KE-Motronic。K-Jetronic和KE-Jetronic/Motronic也在淘汰过程中,1995年仅各生产了1万套,用作维修备件。

汽油喷射技术还在不断地发展。有些技术在过去的发展过程中已经被放弃,但近年在新的基础上得到了新的发展。缸内喷射在40年前遭到淘汰,但是1995年上海国际汽车展览会上,日本三菱(Mitsubishi)公司推出了一台采用刚获得专利的缸内汽油喷射技术的发动机。两年后,同是在上海国际汽车展览会上,三菱公司展出了采用上述技术成批生产的发动机,并定名为GDI(Gasoline Direct Injection汽油直接喷射)。这种直喷式汽油发动机的特点是,燃油直接喷入缸内,可实现稀薄燃烧,油耗及排放均大幅度降低,很可能给汽油喷射技术带来一场大变革。

二冲程发动机的汽油喷射也曾在几十年前因遭遇一些困难而受到冷落。但现在澳大利亚的 Orbital(澳必托)公司提出的 OCP(澳必托燃烧过程)通过采用夹气缸内直接喷射技术,为二冲程汽油喷射开辟了新的途径。

我国在电子控制汽油喷射方面落后于国外约 40 年。早在 60 年代初,国内老专家就已建议开展汽油喷射研究,可惜当时未受到重视。1995 年底终于在上海建立了我国中联公司与德国 BOSCH 公司合资的联合汽车电子有限公司(UAES),下设上海、无锡和西安三个厂,目前主要生产电子控制汽油喷射元件。我国汽车工业也正在逐步用电子控制汽油喷射装置取代化油器。以上海大众汽车有限公司为例,自 1994 年推出电子控制汽油喷射的桑塔纳 2000 型轿车以来,到 1998 年底累计已生产约 16 万辆装备电子控制汽油喷射发动机的桑塔纳轿车。由于排放法规日趋严格,到 21 世纪初,我国新生产的轿车、轻型车和微型车将必须装备电子控制汽油喷射发动机和三效催化转化器。

## 1.3 汽油喷射的分类

### 1. 按喷油器数量分

1) 多点喷射 多点喷射系统中,每个气缸有一个专用的喷油器用于为该气缸提供汽油(见图1-3)。属于多点喷射(Multi Point Injection,缩写为 MPI)的有 BOSCH 公司的 L-Jetronic、Motronic 等系统。

2) 单点喷射 单点喷射系统中,几个气缸共用一个喷油器生成混合气(见图1-4)。单点喷射(Single Point Injection,缩写为 SPI)因喷油器在节气门体上喷油而得名节气门体喷射

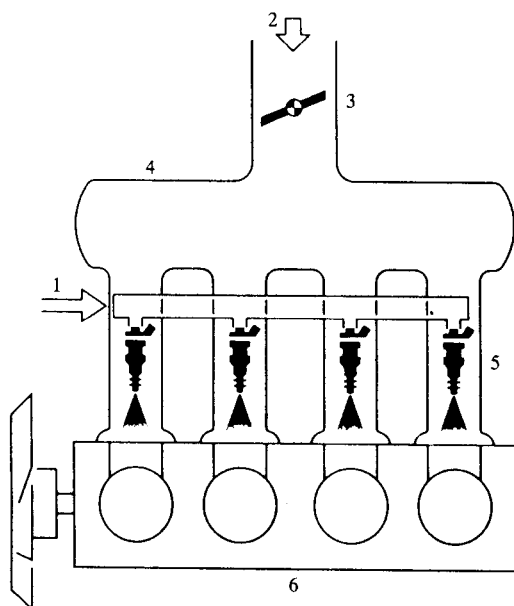


图1-3 多点汽油喷射<sup>[3]</sup>

1—汽油; 2—空气; 3—节气门; 4—进气歧管; 5—喷油器; 6—发动机