

汽车修理工  自修读本

汽车构造

韩爱民 周大森 编著

发动机篇

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



汽车修理工自修读本

汽车构造——发动机篇

韩爱民 周大森 编著



机械工业出版社

本书是广大汽车修理工自修“汽车构造”的读本之一——发动机篇。本书介绍了汽车发动机的基本构造、各主要分系统，典型构造的实例分析。具体内容包括曲柄连杆机构、配气机构、润滑系统、冷却系统、进排气系统、起动系统等，特别是对发动机电子控制系统，作为全书重点进行了详细的讲解。

本书一改多数“汽车构造”图书繁琐、臃肿的面貌，突出重点，详略分明，所有内容都是为修理工专门准备的，无关内容一概删除。本书还突出一个“新”字，目前国内能够见到的新技术、新结构，均根据其普及程度作了相应介绍，力求使广大修理工对新技术、新产品早有准备，赢在“起跑线上”。

图书在版编目（CIP）数据

汽车构造. 发动机篇/韩爱民, 周大森编著. —北京:
机械工业出版社, 2006.1
(汽车修理工自修读本)
ISBN 7-111-18269-3

I. 汽… II. ①韩…②周… III. ①汽车-构造-
基本知识②汽车-发动机-构造-基本知识 IV. U463

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 159155 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑: 刘 焯 版式设计: 张世琴 责任校对: 程俊巧
封面设计: 陈 沛 责任印制: 洪汉军
北京京丰印刷厂印刷
2006 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷
1000mm×1400mm B5·8 印张·310 千字
0 001—4 000 册
定价: 24.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68326294
编辑热线: (010) 88379771
封面无防伪标均为盗版

前 言

随着中国经济的快速发展,我国的汽车保有量有了大幅度的增长。同时人们对汽车排放、节能及安全等性能的要求也在日益提高。在需求的驱动下,汽车技术日新月异,出现了大量新结构、新装置,尤其是电子技术在汽车上得到了广泛的应用,从发动机到底盘、车身直至车载辅助装置,已经普遍采用了电子控制系统。但是,国内现有的汽车构造图书,内容比较陈旧,很难跟上汽车技术快速发展的趋势。而且,市售此类图书多数为教材,理论色彩浓厚,往往脱离实践。为了给急需掌握新型汽车构造的汽车修理工,提供一套技术先进、紧扣实践的《汽车构造》自修读本,我们编写了本书。

本书旨在全面阐述发动机的结构和工作原理,着重讨论出现在发动机上的新结构、新装置。特别突出对汽油机电控系统、柴油机电控喷射装置、新型排放控制设备、新型增压系统等的讲解。对于新型发动机上基本淘汰的旧装置,例如化油器等,不再讲述。本书适合广大汽车修理人员自学汽车发动机新结构、新技术之用,而且可用作中职、中专汽车修理专业的教学参考书。

本书由北京工业大学韩爱民编写第1章、第2章、第3章、第4章、第8章、第9章,由周大森编写第5章、第6章、第7章、第10章、第11章、第12章。

由于作者水平有限,书中不足之处,欢迎广大读者指正。

编著者

2005年12月

目 录

前言

第1章 概述 1

- 1.1 汽车发动机
发展史 1
- 1.2 汽车发动机的分类和
总体构造 10
- 1.3 发动机常用术语 14
- 1.4 四冲程汽油机工作原理、
燃烧及排放 15
- 1.5 四冲程柴油机工作原理、
燃烧及排放 21
- 1.6 发动机的主要性能指标与
工作特性 23
- 1.7 发动机的编号
规则 24

第2章 曲柄连杆机构 26

- 2.1 概述 26
- 2.2 机体组 27
 - 2.2.1 气缸体 27
 - 2.2.2 油底壳 31
 - 2.2.3 气缸盖 31
 - 2.2.4 气缸垫 33
- 2.3 活塞连杆组 34
 - 2.3.1 活塞 34
 - 2.3.2 活塞环 40
 - 2.3.3 活塞销 45
 - 2.3.4 连杆 47
- 2.4 曲轴飞轮组 49
 - 2.4.1 曲轴 50
 - 2.4.2 飞轮 59

- 2.4.3 扭转减振器 60

第3章 配气机构 61

- 3.1 概述 61
- 3.2 配气机构的组成、
布置及传动 62
- 3.3 配气相位 71
- 3.4 配气机构的主要零件
与组件 72
 - 3.4.1 气门组 72
 - 3.4.2 气门传动组 76
- 3.5 可变气门机构 84
 - 3.5.1 可变凸轮轴相位 85
 - 3.5.2 可变配气相位和气门
升程机构 88
 - 3.5.3 多模式可变配气相位
机构 91
 - 3.5.4 电磁控制全可变气门
机构 92
 - 3.5.5 气缸数自动变化配气
机构 93

第4章 润滑系统 96

- 4.1 润滑系统的作用及组成 96
- 4.2 机油的分类与牌号 99
- 4.3 机油泵、机油滤清器与机油
散热器 99
 - 4.3.1 机油泵 99
 - 4.3.2 机油滤清器 102
 - 4.3.3 机油散热器 105

第5章 发动机冷却系统 107

- 5.1 冷却系统的作用及组成 107

5.2 水冷式发动机的主要组件	109	7.3 电控点火系统	154
5.3 节温器	114	7.3.1 系统的组成和功能	154
5.4 防冻液	115	7.3.2 点火控制	158
第6章 发动机进排气系统	116	7.3.3 点火提前角的控制 方式	165
6.1 进气系统	116	7.4 怠速控制	167
6.1.1 空气滤清器	116	7.4.1 怠速控制的种类	167
6.1.2 进气管	118	7.4.2 怠速控制模式	170
6.2 排气系统	121	7.5 排放控制	171
6.2.1 排气管的排气引导	121	7.5.1 三元催化空燃比闭环 控制	171
6.2.2 排气系统的排气净化 装置	122	7.5.2 废气再循环 (EGR) 的控制	174
6.2.3 排气消声器	123	7.6 发动机电控系统的故障 自诊断系统	178
6.2.4 排气系统上的能量回收 装置	127	7.6.1 系统工作原理	178
第7章 发动机的电控 系统	129	7.6.2 故障信息显示	179
7.1 发动机电控系统的控制内容 与基本组成	129	第8章 柴油机燃油供给 系统	184
7.1.1 电控燃油喷射系统对发动机 空燃比的控制	131	8.1 常规柴油机燃油供给系统	184
7.1.2 电控点火时间的实现	132	8.1.1 柴油机燃油供给系统 的组成	184
7.1.3 发动机怠速运转的 电子控制	134	8.1.2 喷油器	186
7.1.4 排气净化与排放的 电子控制	134	8.1.3 喷油泵	188
7.2 电控燃油喷射系统	135	8.1.4 调速器	201
7.2.1 电控燃油喷射系统的作用 和组成	135	8.2 电控柴油机喷射系统	201
7.2.2 电控燃油喷射的进气 系统	138	8.2.1 电控柴油机喷射系统基本 工作原理	201
7.2.3 电控燃油喷射的燃油供给 系统	145	8.2.2 电控柴油机喷射系统的 典型结构	203
7.2.4 电控燃油喷射的控制 系统	149	8.3 柴油机排放控制装置	212
7.2.5 电控燃油喷射系统的 工作过程	153	8.3.1 废气再循环 (EGR) 系统	212
		8.3.2 排气微粒过滤器	214
		第9章 车用发动机的增压	216
		9.1 发动机增压的效益及类型	216

9.2 机械增压	216	10.6 蓄电池的型号	228
9.3 废气涡轮增压	217	第 11 章 充电系统	229
9.4 气波增压	221	11.1 交流发电机	229
第 10 章 蓄电池	222	11.2 电压调节器	236
10.1 蓄电池的结构	222	第 12 章 起动机	242
10.2 蓄电池的容量	224	12.1 直流电动机	242
10.3 蓄电池的充放电化学 反应	225	12.2 传动机构	244
10.4 蓄电池的充电	226	12.3 控制装置	246
10.5 干荷电池和免维护 蓄电池	227	12.4 减速起动机	247

第 1 章 概 述

1.1 汽车发动机发展史

发动机是汽车的动力源，是将某一种能量转变为机械能的机器。汽车的性能在很大程度上决定于发动机的性能。对汽车发动机性能的总要求是低排放、低油耗、低噪声、高比功率、高比转矩、保证可靠性、耐久性以及便于大量生产、成本低。汽车发动机发展史就是提高其性能的历史。

1. 最早的汽车发动机——蒸汽机

最早的汽车上装用的是蒸汽机。1712 年，英国发明家纽科门研制出世界上第一台蒸汽机。这种蒸汽机的特点是在机器外部的锅炉内用煤烧水，将锅炉内的水加热，使之变为高温、高压的水蒸气，然后推动活塞产生动力，蒸汽机属于外燃机。

当时这种蒸汽机存在许多问题，但毕竟节省了一部分体力劳动，因此还是普及到小煤窑和手工作坊中，并有人开始研究利用蒸汽机驱动车辆。

1769 年法国陆军工程师古诺研制出世界上第一辆蒸汽机驱动的三轮车，如图 1-1 所示。这种蒸汽机既冒黑烟又冒白汽，并伴随着隆隆的噪声，只能使车辆以 3.5km/h 的时速行驶。它是汽车发展史上的第一个里程碑。

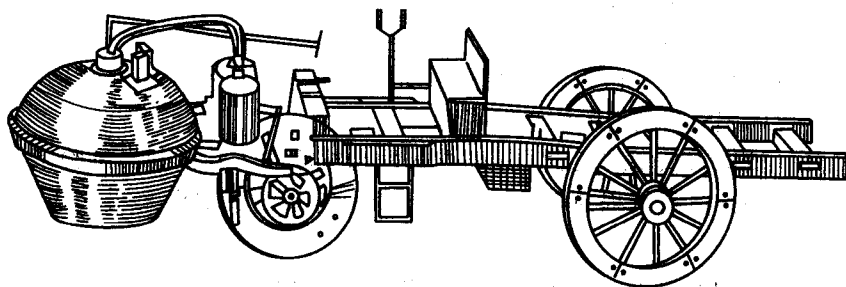


图 1-1 1769 年古诺研制的三轮蒸汽汽车上的蒸汽机

1781 年英国人瓦特进一步改良了蒸汽机，使蒸汽机的热效率提高，可靠性增加。在此后的 100 年中，蒸汽机得到了普及，广泛地应用到公共交通、运输等生产、生活领域。

由于蒸汽机作为汽车发动机非常笨重、热效率低、使车速慢,煤的消耗量大,加水频繁,在起动时为了达到必要的蒸汽压力需要半个小时的时间,操作不便,锅炉爆炸事故时有发生,加之排出的煤灰、黑烟,引起社会上的不满。于是后起之秀——内燃机作为汽车发动机替代了蒸汽机。

2. 现代汽车发动机——内燃机的起源

由于蒸汽机的燃料是在气缸外面燃烧的,因此其热量很容易散失,热效率很低。蒸汽机的缺陷促使人们寻找一种质量轻,功率大,可直接使燃料在气缸内部进行燃烧而作功的机器,也即内燃机来作为汽车发动机。

1860年,法国人雷诺尔研制成了可供实用的常压煤气发动机,并申请了专利。当时的煤气发动机无压缩行程,热效率很低,但它是世界上最早的内燃机。

1862年,法国人罗彻斯发表了至今仍采用的四冲程发动机循环理论,并取得了四冲程发动机的专利。

1876年,德国人奥托运用四冲程循环理论,研制成功了第一台活塞与曲柄相组合,将吸入的煤气与空气的混合气经压缩行程后再点火燃烧的往复式四冲程内燃机,显著的提高了内燃机的热效率。为了纪念奥托对内燃机发展所作的贡献,人们称点火燃烧的四冲程循环理论为奥托循环。

1883年,德国人戴姆勒在奥托机的基础上发明了液体燃料发动机——汽油机。1886年将其研制的排量为0.46L、功率0.82kW、转速650r/min的单缸四冲程水冷汽油机装在一辆由美国制造的马车上,最高车速达到18km/h。这辆车被公认为是世界上第一辆汽油发动机驱动的四轮汽车。

1886年,德国人本茨对装有排量为0.576L、功率为0.52kW、转速为300r/min、单缸、两冲程、电火花点火、水冷汽油机的三轮车进行公开试车,并获得专利,该车车速约15km/h。

如今,1886年已被公认为以内燃机为动力的汽车诞生年,而戴姆勒与本茨则被公认为以内燃机为动力的汽车发明者。

1892年,德国人狄塞尔发表了压燃点火发动机原理,并试制出试验柴油机,其缸径为150mm,活塞行程400mm,所以,今天的柴油发动机又叫狄塞尔发动机。

1898年,英国人阿尔道夫·布什,将柴油机成功地装在汽车上,开创了柴油机汽车的先例。

3. 汽车发动机的不断改进

内燃机被选定为汽车发动机以后,就开始进入了各种系统、附件的匹配完善阶段,一直发展到今天,内燃机仍是汽车的主要动力,而且结构越来越合理,性能越来越先进。

(1) 点火装置

在 1930 年以前的汽车上,磁电机是最可靠、最耐用的部件,低压磁电机以大电流低电压输出,可为一个或多个点火线圈初级绕组提供电动势;而高压磁电机的高压产生的电流直接点燃火花塞。

随后是盛行一时的蓄电池供电的附带有电容器的断电器点火装置,当今称其为传统触点式点火系。

到 20 世纪 70 年代初,出现了无触点点火系,又称为普通电子式点火系,如图 1-2 所示;它用信号发生器替代了断电器触点,点火器根据信号发生器的信号控制大功率晶体管导通和截止,以使点火线圈产生次级电压,引起火花塞跳火。

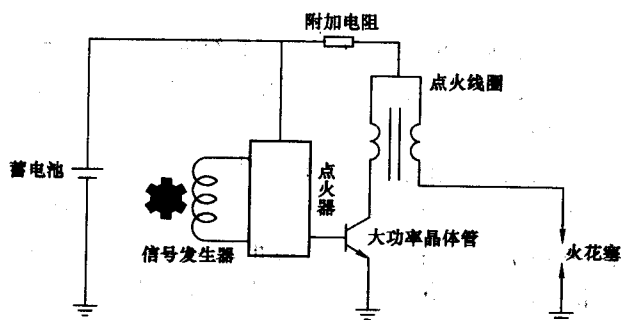


图 1-2 普通电子点火系

近年来发展起来的微机控制式点火系,又称为电控点火系,其组成如图 1-3 所示。电控点火系的主要优点是可以最佳地控制发动机各工况下的点火提前角,使发动机的动力性、经济性、加速性和排放等方面达到最优。

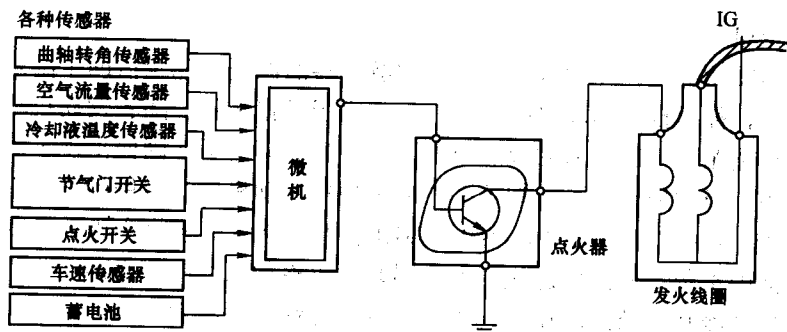


图 1-3 电控点火系的组成简图

(2) 燃料供给装置

现代化油器为了保证发动机各种运转工况下供给适当浓度的混合气,采用了一系列的自动调节混合气浓度的系统,主要包括有主供油系、怠速系、加浓系(省油系)、加速系、起动系等。

随着汽车的高速化,发动机转速和功率的提高,复式化油器又称为双腔或四腔化油器在20世纪50年代以后得到很大的发展,其中双腔或四腔分动化油器,能够根据发动机充气量的不同自动地切换腔数,有利于在保持最大功率的条件下改善燃油经济性。

从20世纪50年代到60年代后期,化油器发展以高度精密化为特点,并且用以改善性能的附加装置开始增多,例如燃油回流装置、节气门缓冲装置、起动联动装置等。

从20世纪60年代末期,欧美和日本等国相继制定汽车排放法规,1973年又发生了严重的能源危机,化油器进入了以经济性和排放为中心的发展阶段,对化油器的要求越来越严格。

20世纪70年代后期国外出现了电子控制化油器,虽然电控化油器能使混合气精确的保持理论混合比,但是由于电子技术发展迅速,促使电控汽油喷射系统出现,它较化油器式供油系有许多优点,20世纪90年代已成为不可阻挡的发展潮流。于是在我国跳过了电控化油器发展阶段,直接进入了电控汽油喷射系统。电控喷射系统很快又扩展为不再局限于汽油喷射控制的发动机集中控制系统。

(3) 润滑系

现代汽车发动机广泛采用压力飞溅润滑系,提高了发动机的寿命。随着钻孔等机加工工艺的改进,机油通过孔道输送到主轴承、连杆轴承以及凸轮轴轴承等各处,进行有效而可靠的润滑。而在压力润滑推广应用之前,发动机是仅靠由轴旋转来进行飞溅润滑的。在现代汽车发动机润滑系中活塞与气缸壁之间仍靠飞溅润滑。

(4) 冷却系

在早期发动机上,冷却液从气缸体到散热器的循环是完全借助于温差对流的方法实现的,称为自然循环水冷系,并一直应用了很多年。随着发动机功率的逐步增大,自然循环水冷却系的散热效率又不能满足需要了,因而出现了水泵强制循环冷却系,极大地改善了冷却效率,成为现代发动机广泛应用的冷却系。

20世纪20年代末期出现了封闭式强制循环水冷系,这种冷却系可以有效地避免冷却液因水蒸气逸出而造成损失,同时由于冷却系内的压力高于大气压,而可以起到提高冷却液沸点的作用,可以减少“开锅”现象发生。

(5) 轴瓦

现代汽车发动机上所采用的薄壁轴瓦通常由钢背、减磨合金层和一薄层软合

金组成，称为“三层合金轴瓦”。这种轴瓦大大改善了轴承的表面性能，使轴承工作更可靠。

(6) 配气机构

在配气机构中，有顶置式气门和侧置式气门（图 1-4）两种布置方式。由于顶置式气门的气缸盖其铸造和加工都比较复杂，老式发动机多采用侧置式气门的设计方案。但随着发动机转速的提高，进气流速加快，由于侧置式气门的进气道拐弯多，进气阻力加大，高速性较差，所以已被淘汰了。

同样，随着发动机转速的提高，凸轮轴的位置也由下置、中置，上移到顶置（图 1-5）。凸轮轴下置，若气门顶置时气门与凸轮轴相距较远，高速时其传动件惯性力大，细长的推杆弹性较大，易产生严重的振动和噪声，甚至使气门失去控制。在现代高速轿车发动机中已被淘汰。凸轮轴中置，省去了推杆，减小了运动质量。凸轮轴顶置，进一步减小了运动质量，提高了传动刚度，更适用于高速机。

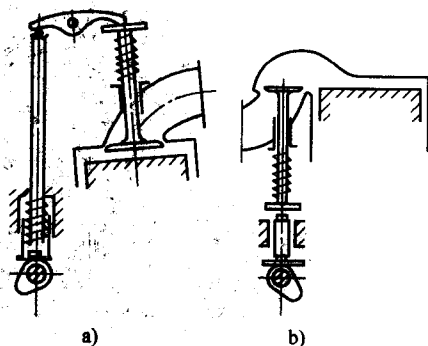


图 1-4 气门布置方案
a) 顶置式气门 b) 侧置式气门

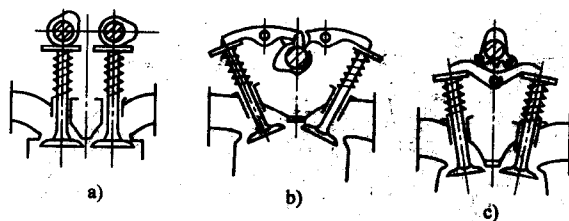


图 1-5 顶置式凸轮轴
a) 双凸轮轴 b) 单凸轮轴下置 c) 单凸轮轴上置

过去汽车发动机每个气缸只有进、排气门各一个。现代发动机已经多气门化，每缸三气门（图 1-6）、四气门（图 1-7）、五气门（图 1-8）及六气门都有。在相同缸径下，每缸多气门比起每缸两气门，具有可以采用较小的气门直径和较小的气门升程，配气机构的运动质量较小；可以将火花塞布置在气缸中心，火焰传播距离短；减少了换气损失，气缸的充气效率高等优点。

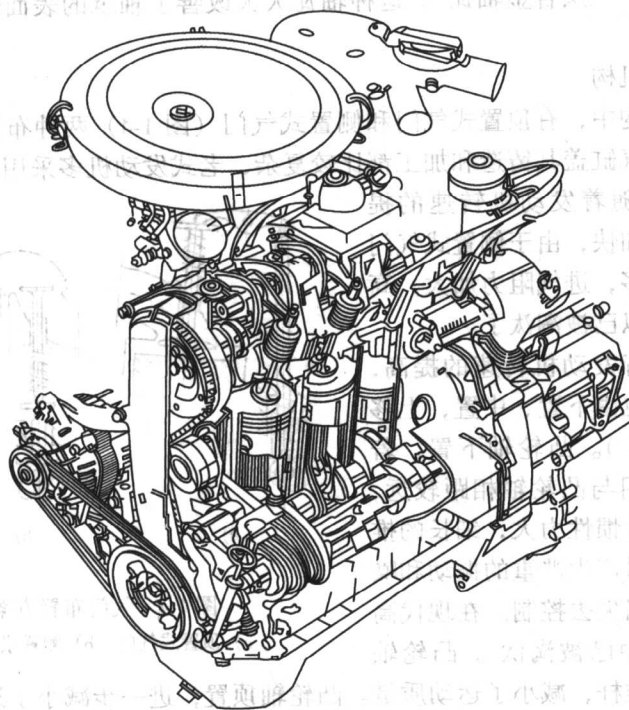


图 1-6 富士公司三气门汽油机

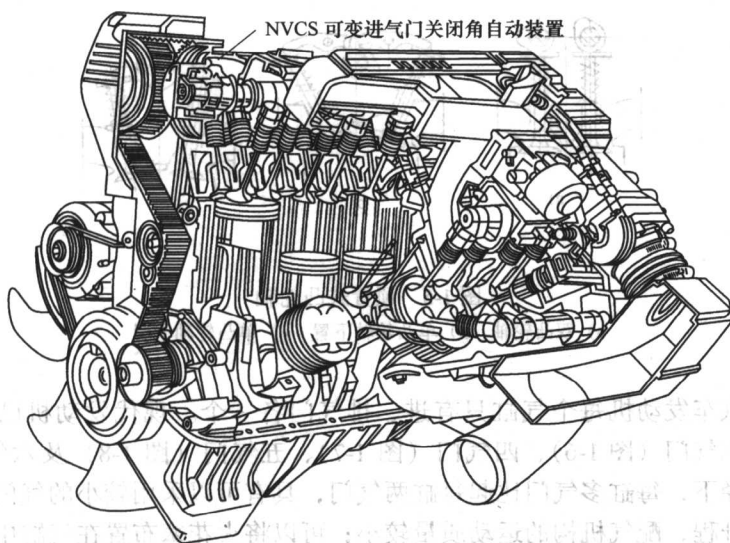


图 1-7 “VG30DE V6 四气门汽油机

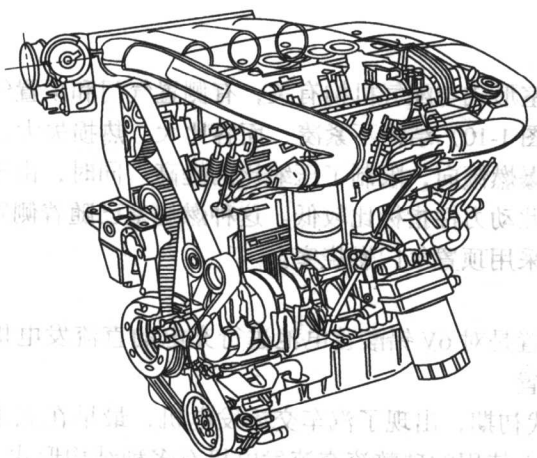


图 1-8 EA113 5V 1.6L 发动机剖视图

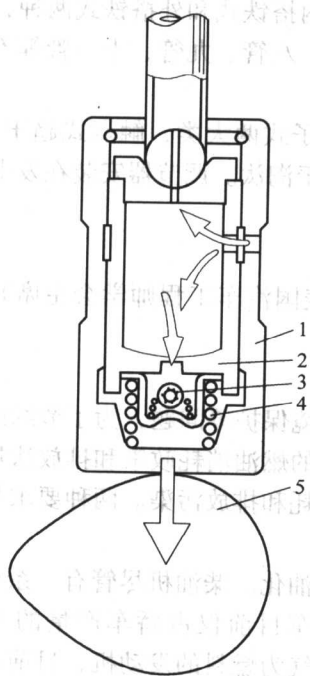


图 1-9 液压挺柱

1—挺柱主体 2—柱塞 3—止回阀
4—弹簧 5—凸轮

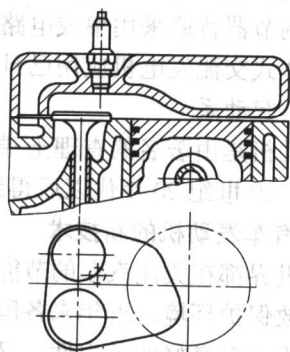


图 1-10 侧置气门 L 形燃烧室

在 20 世纪 30 年代初出现的下置凸轮轴顶置式气门发动机采用液压挺柱 (图 1-9), 消除了配气机构中的间隙, 减小了各传动件的冲击载荷和噪声, 是一项重

要的改进。

(7) 燃烧室

汽油机的燃烧室形式与配气机构有关,有侧置气门和顶置气门燃烧室。由于侧置气门燃烧室(图 1-10)结构不紧凑、面容比大、热损失大,并且加大了火焰传播距离,增加了爆燃倾向,限制了压缩比的提高。同时,由于进气阻力大,充气效率比较低,因此动力性指标比较低。这种燃烧室已随着侧置式气门一起被淘汰。现代汽车广泛采用顶置气门燃烧室。

(8) 电源

早期的充电装置是对 6V 铅酸蓄电池进行充电的直流发电机,其控制装置是电气机械式截断装置。

20 世纪 60 年代初期,出现了汽车交流发电机,最早在克莱斯勒公司的汽车上使用。目前汽车上使用的硅整流交流发电机有多种结构形式,按发电机的励磁方式分为普通励磁式(通过电刷引入励磁电流)、无刷励磁式和永磁式等几种,使用最为普遍是普通励磁方式;按搭铁方式分为内搭铁式和外搭铁式两种,使用居多的内搭铁式;按整流二极管的数量有六管、八管、九管、十一管等不同形式的交流发电机。

目前交流发电机配用的调节器有触点式和电子式两大类,触点式趋于淘汰。电子式调节器普遍采用集成电路,分立元件式趋于淘汰。调节器安装在发电机内部的整体式交流发电机应用已日趋普遍。

(9) 起动系

起动机是由著名的查理士·凯塔林(1918 年美国汽车工程师学会主席)研制成功的。20 世纪 20 年代以后得到全面普及。

4. 汽车发动机的新技术

全世界都在关注汽车的节能、排气净化、环境保护等问题,为了节约能源和降低排放保护环境,近年来各国相继制定了严格的燃油消耗政策和排放法规,既要保证汽车有良好的动力性,又要求降低燃油消耗和排放污染。两种要求是相互制约的,只能寻求两者兼顾的最佳平衡点。

为了降低汽车排放,出现了轿车发动机的柴油化。柴油机尽管有一系列的优点,但也存在某些难以克服的缺陷,柴油机轿车目前仅占轿车产量的 10% ~ 20%,没有比例急剧变化的趋势。也出现了天然气为燃料的发动机,目前尚属研究试用阶段。

汽油机与柴油机相比,在全负荷时效率相差不大。但在部分负荷时,相差很大。主要原因是汽油机在部分负荷时,由于节气门造成的换气损失。因为轿车发动机在实际运行中,大多数都是部分负荷。因此,现代汽油机技术的主要目标都是提高部分负荷的性能。即通过减少部分负荷时的进气节流损失,以达到降低排

放的同时降低油耗。目前采取的两大途径是减少换气损失、将汽油机工况点移向高负荷区。

减少汽油机换气损失的措施是,改善换气控制(可变气门机构)、稀释混合气(排气再循环,稀薄燃烧,缸内喷射汽油机)。

5. 目前发动机性能水平

(1) 发动机的排放

排放标准表明了对发动机排放方面的要求,现代发动机的设计首先要考虑的是如何能达到排放标准的要求。2003年1月1日,北京成为全国第一个对机动车实行欧Ⅱ排放标准的城市,这比国家规定的时间提前了一年零九个月。目前北京市场80%以上的新轿车已达到欧Ⅱ标准,从2005年起北京开始实行欧Ⅲ标准,而最终目标是到2010年机动车排放标准与欧洲同步。

(2) 发动机的动力性能

20世纪90年代中期四冲程汽油机的动力性能见表1-1,小型客车用四冲程柴油机的动力性能见表1-2,括弧中的数值为少数机型的性能。

表 1-1 车用四冲程汽油机的动力性能

排量/L	最高转速 / (r/min)	升功率/(kW/L)		升转矩/(N·m/L)	
		非增压	增压	非增压	增压
1.0~3.0	5200~8000	50~70 (四气门) 40~60 (二气门)	65~80 (90)	85~100	100~140 (154)

表 1-2 小型客车用四冲程柴油机的动力性能

排量/L	最高转速 / (r/min)	升功率/(kW/L) 自然吸气→增压	升转矩/(N·m/L) 自然吸气→增压	燃烧室型式
1.2~2.5	4000~4800	24→42 (52)	60→115	非直喷、直喷

(3) 发动机的燃油经济性

20世纪90年代柴油机的比油耗为210~260g/kW·h,较低的数值是直喷柴油机,比油耗较高的数值为非直喷柴油机的比油耗,有的增压中冷柴油机的比油耗已达184g/kW·h左右。汽油机的比油耗一般比柴油机高15%~35%。

(4) 发动机的使用寿命

设计中对主要部件规定的寿命指标是不低于10年、25万公里。在整个寿命期内发动机的很多系统除定期加油和更换滤芯外不需要维护。在正确维护使用条件下,新型发动机甚至可以达到50万公里不大修。

1.2 汽车发动机的分类和总体构造

1. 汽车发动机的分类

能够在发动机气缸内部完成燃料燃烧，化学能转变成热能，而后又把热能转变为机械能的整个能量转换过程的发动机称为内燃机。

汽车发动机是汽车用汽油机和柴油机的统称，它们都是内燃机。传统的往复活塞式内燃机在汽车上仍然应用最广泛。汽车用往复活塞式内燃机可根据不同的特征分类。

(1) 按使用燃料分类

汽车发动机按使用燃料不同可分为汽油机和柴油机。汽油机与柴油机相比，汽油机转速高、质量小、噪声小、起动容易、制造成本低；柴油机压缩比大、热效率高、燃油经济性和排放性能都比汽油机好。

(2) 按工作行程分类

按完成一个工作所需行程数可分为四冲程发动机和二冲程发动机。曲轴转两圈（ 720° ），活塞在气缸内上下往复运动四个行程，完成一个工作循环的发动机称为四行程发动机；曲轴转一圈（ 360° ），活塞在气缸内上下往复运动两个行程，完成一个工作循环的发动机称为二冲程发动机。汽车发动机广泛采用四冲程发动机。

(3) 按冷却方式分类

按冷却方式不同可分为水冷发动机和风冷发动机。水冷发动机是利用在气缸体和气缸盖水套中进行循环的冷却液作为冷却介质进行冷却的；而风冷发动机是利用流动于气缸体与气缸盖外表面散热片之间的空气作为冷却介质进行冷却的。水冷发动机冷却均匀，工作可靠，冷却效果好，被汽车发动机广泛采用。

(4) 按气缸数目分类

按气缸数目不同分为单缸发动机和多缸发动机。有两个以上气缸的发动机称为多缸发动机，如双缸、三缸、四缸、五缸、六缸、八缸、十二缸等多缸发动机。汽车发动机多采用四缸、六缸、八缸发动机。

(5) 按气缸排列方式分类

按气缸排列方式不同可分为单列式和双列式。单列式发动机的各个气缸排成一列，一般是垂直布置的，称为立式直列多缸机，但是为了降低高度有时也把气缸布置成倾斜的甚至水平的，倾斜布置称为斜置，水平布置称为卧式；双列式发动机把气缸排成两列，两列之间的夹角小于 180° 时称为V型发动机，等于 180° 时称为水平对置式发动机，如图1-11所示。

(6) 按进气是否采用增压分类

按进气系统是否采用增压方式可分为非增压发动机（自然吸气）和增压发动