

高等学校教材

内燃机构造与原理

长沙铁道学院 李飞鹏 主编

NEIRANJI

GOUZAO YU YUANLI

中国铁道出版社

高等学校教材

内燃机构造与原理

长沙铁道学院 李飞鹏 主编
西南交通大学 沈 权 主审

中国铁道出版社

1998年·北京

(京)新登字063号

内 容 简 介

本书为高等学校起重运输与工程机械专业教材。内容主要以工程机械和汽车用的高速内燃机为对象,较系统地阐述内燃机工作过程的原理,内燃机各机构和系统的结构与工作原理、特性、增压技术、动力学等方面的知识,并相应地介绍控制排气污染、降低噪声的方法及内燃机的发展趋势。

高等学校教材

内 燃 机 构 造 与 原 理

长沙铁道学院 李飞鹏 主编

*

中国铁道出版社出版、发行

(北京市宣武区右安门西街8号)

责任编辑 李云国 封面设计 翟 达

北京市兴顺印刷厂印

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 19.25 字数: 476千

1992年4月 第1版 1998年3月第2次印刷

印数: 5001—7000册

ISBN7-113-00752-X/TU·175 定价: 22.30元

前 言

本教材是在1981年出版的《内燃机构造与原理》(长沙铁道学院主编)试用教材的基础上修订的。原试用教材分上、下两册出版,选材符合当时的教学需要,在教学工作中起到了积极作用。但随着科学技术的发展和教学改革的深入,原试用教材的内容和教材的体系已不能适应新的需要,根据铁道部高等学校起重运输与工程机械专业教学指导委员会的意见,对原试用教材进行必要的修订。

由于教学时数的减少,因此,对原试用教材的内容进行了精选,调整了内容的结构,删除了一些比较陈旧的内容,使修订后的教材更适应新的教学需要。修订后,将上、下两册合并为一册出版。与原试用教材相比较,本书在突出工程机械和汽车用高速内燃机时,将构造与原理有机地融合起来,合并了章节,由原书二十一章合并成十二章;根据国家有关规定,教材中采用了国家法定计量单位,名词术语与国家标准(GB1883-80)一致。

本教材适用于起重运输与工程机械专业,讲授70学时左右,也可作为建筑机械、矿山机械、筑路机械、港口工程机械等专业的教学用书。

本书由长沙铁道学院李飞鹏主编,西南交通大学沈权主审。参加本书修订工作的有:长沙铁道学院李飞鹏(第一章第一节、第二、六、九章及第三章第一至三节、第八章第一至五节),长沙铁道学院谢逢申(第一章四、五节、第四章及第三章第四至第六节、第八章第六、七节),石家庄铁道学院蒋林章(第一章第二、三节、第五、十章),长沙铁道学院孙绵光(第七章),西南交通大学沈权(第十一章),西南交通大学陈玉华(第十二章)。

本书在修订过程中,曾得到原石家庄铁道学院赵位西同志的热情帮助,认真审阅书稿,并参加了审稿会,对本书的修订做了很多工作。华北水利水电学院周林森、上海铁道学院傅国强、工程兵工程学院胡东朝等兄弟院校的代表参加了审稿会,并提出了很多宝贵的意见。长沙铁道学院张荣华等同志对本书的修订工作给予了热情帮助,在此一并致以谢意。

编 者

1990年11月

目 录

| | |
|-----------------------------|-----|
| 第一章 内燃机构造与工作原理 | 1 |
| 第一节 概 述 | 1 |
| 第二节 内燃机总体构造 | 5 |
| 第三节 内燃机的工作原理 | 10 |
| 第四节 内燃机的热力循环 | 15 |
| 第五节 内燃机的燃料 | 31 |
| 第二章 内燃机的性能指标 | 38 |
| 第一节 指示指标 | 38 |
| 第二节 有效指标 | 41 |
| 第三节 标志内燃机整机性能的其他参数 | 45 |
| 第四节 提高内燃机动力性能和经济性能的途径 | 46 |
| 第三章 曲柄连杆机构 | 48 |
| 第一节 固定件 | 48 |
| 第二节 活塞连杆组 | 54 |
| 第三节 曲轴飞轮组 | 66 |
| 第四节 曲柄连杆机构的运动与受力分析 | 73 |
| 第五节 发动机的平衡 | 78 |
| 第六节 曲轴扭转振动的概念与扭振减振器 | 89 |
| 第四章 配气机构 | 91 |
| 第一节 气门式配气机构的组成及布置形式 | 91 |
| 第二节 配气机构的零件 | 93 |
| 第三节 气门间隙的调整 | 99 |
| 第五章 汽油机的供给系 | 100 |
| 第一节 汽油机供给系的组成 | 100 |
| 第二节 化油器的基本工作原理 | 100 |
| 第三节 可燃混合气浓度与汽油机性能的关系 | 104 |
| 第四节 化油器的供油装置 | 106 |
| 第五节 化油器的构造 | 112 |
| 第六节 汽油供给装置 | 117 |

| | |
|------------------------|------------|
| 第七节 空气滤清器及进、排气装置 | 119 |
| 第六章 柴油机的供给系 | 121 |
| 第一节 喷油器 | 122 |
| 第二节 喷油泵 | 126 |
| 第三节 调速器 | 135 |
| 第四节 喷油提前角调节装置 | 152 |
| 第五节 柴油机供给系的进、排气装置及辅助装置 | 153 |
| 第六节 PT燃油系统 | 157 |
| 第七章 电气设备 | 170 |
| 第一节 电源系统 | 170 |
| 第二节 点火系统 | 178 |
| 第八章 内燃机的燃烧过程 | 192 |
| 第一节 汽油机的燃烧过程与燃烧室 | 192 |
| 第二节 柴油机可燃混合气的形成 | 199 |
| 第三节 燃油的喷射雾化 | 200 |
| 第四节 柴油机的燃烧过程 | 202 |
| 第五节 柴油机的燃烧室 | 206 |
| 第六节 内燃机的废气净化 | 211 |
| 第七节 内燃机噪声控制 | 215 |
| 第九章 内燃机的特性 | 218 |
| 第一节 内燃机的工况与特性 | 218 |
| 第二节 负荷特性 | 219 |
| 第三节 速度特性 | 221 |
| 第四节 调速特性 | 225 |
| 第五节 万有特性 | 226 |
| 第六节 内燃机功率的标定及大气修正 | 227 |
| 第十章 内燃机的辅助系统 | 230 |
| 第一节 润滑系 | 230 |
| 第二节 冷却系 | 238 |
| 第三节 起动装置 | 247 |
| 第十一章 内燃机的增压 | 254 |
| 第一节 内燃机增压的基本概念 | 254 |
| 第二节 废气涡轮增压器 | 256 |
| 第三节 废气涡轮增压柴油机 | 267 |

| | | |
|--------|--------------------------|-----|
| 第四节 | 废气涡轮增压器与柴油机的匹配及调整····· | 273 |
| 第十二章 | 内燃机的试验····· | 280 |
| 第一节 | 内燃机试验的目的和分类····· | 280 |
| 第二节 | 内燃机试验中主要参数的测量····· | 281 |
| 第三节 | 内燃机性能试验方法····· | 285 |
| 第四节 | 噪声测量····· | 290 |
| 附 录 | ····· | 292 |
| 一、 | 内燃机产品名称及型号····· | 292 |
| 二、 | 工程机械和汽车用内燃机主要技术性能参数····· | 294 |

第一章 内燃机构造与工作原理

第一节 概 述

内燃机是发动机的一种。发动机是把某种形式的能转变为机械功的机器。将燃料中的化学能经过燃烧过程转变为热能，并通过一定的机构使之再转化为机械功的发动机称为热力发动机（简称热机）。如燃料的燃烧是在产生动力的空间（通常就是气缸）中进行的，这种热机就称为内燃机。内燃机根据活塞的运动方式可分为往复式活塞式和旋转活塞式两种。汽车和工程机械多以往复式活塞式内燃机为动力，本书所说的内燃机（或发动机）即指此种内燃机而言。

一、内燃机分类

内燃机的分类方法很多，但常用的有按燃料、用途、着火方式、气缸布置形式进行分类。

1. 按燃料分 有汽油机、柴油机、煤气机、气体燃料及多种燃料发动机等。
2. 按着火方式分 有压缩着火（压燃式）和强制点火（点燃式）两类。
3. 按冷却方式分 有水冷式和风冷式两种。汽车和工程机械用内燃机多数是水冷式的。
4. 按工作循环所需行程数及进气状态分 按照完成一个工作循环（工作循环指把热能转变为机械功的一系列连续过程）所需的行程数来分，有四冲程内燃机和二冲程内燃机，汽车和工程机械用内燃机多为四冲程内燃机；按照进气状态分类，内燃机又有非增压式和增压式之分。
5. 按气缸布置形式分 有直列式、V型、卧式、对置式等，如图1—1所示。

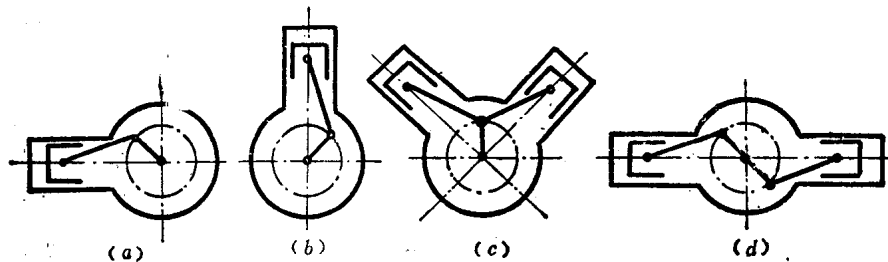


图1—1 气缸布置形式

(a) 卧式；(b) 直列式；(c) V型；(d) 对置式。

6. 按用途分 可分为汽车用、工程机械用、农用、拖拉机用、发电用、机车用、船舶用、摩托车用、坦克用等内燃机。

7. 其他 除以上方式分类外，还可按转速来分，有高速、中速和低速等几种；按气缸数来分有单缸、双缸、多缸内燃机。

二、内燃机的优缺点

与其它热机相比，内燃机的优点是：

1. 热效率高。热效率高，即燃油消耗率低，经济性好，尤其是柴油机，它是热效率最高的热机，最高有效热效率已达46%。
2. 功率范围宽广。现代汽油机单机最小功率0.59kW，而柴油机单机最大功率已达40600kW，故适用范围大。
3. 结构紧凑、比质量*较小、便于移动。
4. 起动迅速、操作简便，并能在起动后很快达到全负荷运行。

缺点是：

1. 对燃料要求较高 高速内燃机一般均使用汽油或轻柴油，并且对燃料的清洁度要求严格。在气缸内部难以使用固体燃料或劣质燃料。
2. 排气污染和噪声引起公害 由于内燃机已广泛地应用在国民经济的各个领域，其产量和保有量极大，对环境的污染也越来越严重。
3. 结构较复杂，零部件加工精度要求较高。

三、内燃机的应用范围

内燃机（往复式活塞式）的应用范围非常广泛。地面上各种运输车辆（汽车、拖拉机、内燃机车等），矿山、石油、建筑及工程等机械，农业机械、林业机械和发电站等方面大量使用内燃机为动力。水上运输可作内河及海上船舶的主机和辅机。在航空方面，一些小型民用飞机还采用内燃机作动力。

内燃机还广泛使用在军事装备上，如坦克、装甲车、步兵战车、重武器牵引车以及各种水面舰艇及潜水艇等方面都大量使用内燃机。

四、内燃机的发展趋势

（一）汽油机发展趋势

汽油机从诞生至本世纪50年代末期，一方面朝着提高压缩比的方向发展，另一方面大幅度地提高了发动机的转速。汽油机总是沿着降低燃油消耗率、提高升功率、减轻比质量的方向发展。其中以提高压缩比为核心。60年代以来，公害问题（排气污染和噪声）日益严重，原来的方向不能沿直线发展下去了。加之在全世界范围内出现的石油危机，故对当代汽油机来说，其发展方向一方面是节油，另一方面是降低排气污染。这就构成了节能与排污的主要矛盾。解决这一矛盾的主要途径是：

1. 采用稀薄混合气工作，即混合气分层燃烧。用稀薄混合气燃烧，可同时达到节油和降低排污的要求。目前有代表性的是日本本田技研公司研制的复合涡流控制燃烧（CVCC）系统。

2. 采用电子控制，如电子反馈化油器、电子控制汽油喷射、点火提前自动控制系统等。采用这些装置的主要目的首先是为了解决排气污染问题，其次是提高内燃机的经济性。

3. 采用废气涡轮增压，汽油机增压易引起爆燃，因而实际应用的不多。70年代以后由于节能与公害的矛盾突出而又重新受到了重视。汽油机增压可使排污降低，升功率提高，燃

*比质量是内燃机整机质量与其标定功率的比值。

油消耗率下降。

4. 采用代用燃料, 如甲醇、乙醇等。

(二) 柴油机发展趋势

近年来, 柴油机朝着“两高”(高功率、高寿命)、“两低”(低油耗、低公害)方向发展。其具体趋向是:

1. 提高单机功率。用增大气缸直径和行程的方法来提高功率是不言而喻的, 目前还通过采用增压、改进燃烧系统等措施来提高功率。

2. 降低燃油消耗率。采用直接喷射式燃烧室, 减少发动机的摩擦损失等措施来降低油耗率。

3. 采用增压或增压中冷技术。增压不但具有显著地提高平均有效压力、降低排气污染和成本、补偿高原功率下降等优点, 而且可以有效地改善燃油经济性。增压机型在柴油机中所占的比例将愈来愈大, 今后这个趋势将是有增无减。

4. 采用直接喷射式燃烧室。过去只在缸径 $>95\text{mm}$ 、转速 $<3000\text{r/min}$ 的柴油机上才宜于采用直喷式燃烧室, 而目前在缸径为 $70\sim 80\text{mm}$ 的小型高速柴油机上也开始采用直喷式了。直喷式燃烧室的主要优点是燃油经济性好, 比分开式燃烧室低 $15\sim 20\%$ 。随着能源的紧缺, 直喷式柴油机的比例将逐年增加。

5. 降低排气污染、噪声和振动。由于废气排放和噪声污染环境, 严重损害着人类的健康, 因而世界各国都相继制定了限制法规。目前主要是限制柴油机的 CO 、 HC 、 NO_x 、 SO_2 、颗粒物和碳烟等几种有害排放物。可采取机内和机外净化措施使废气得以净化。

70年代初, 距柴油机 3m 处噪声限值为 $100\text{dB}(A)$, 今后将 $<95\text{dB}(A)$ 。

6. 仍以水冷四冲程机占优势。

7. 采用电子控制。目前电子控制系统可对柴油机的喷油系统、调速系统、进排气系统、冷却系统、供油系统、废气再循环系统(包括增压系统)等进行控制, 并可进行柴油机的故障自我诊断和保护。应用最多、而且最重要的是电子控制喷油系统。采用电子控制系统的主要优点是可使控制系统控制的各种发动机参数始终保持在最佳状态, 从而使发动机的各种性能大大改善, 降低排放指标, 而且还可对发动机进行自动监视和诊断。

8. 提高喷油压力。高压喷射是近年来直喷式柴油机发展的主要趋势。德国波许(Bosch)公司新型喷油泵喷油压力已提高到 85MPa ; 美国康明斯(Cummins)公司PT燃油系统的喷油压力已达 $120\sim 140\text{MPa}$ 。

9. 延长使用寿命, 提高工作可靠性。工程机械用柴油机的寿命已达 12000h , 一般为 $5000\sim 8000\text{h}$ 。

10. 采用代用燃料。

11. 采用新材料, 如陶瓷、纤维增强复合材料、烧结材料和工程塑料等。

12. 采用CAD、CAM、CAT(即计算机辅助设计、计算机辅助制造、计算机辅助测试)技术使产品更标准化。

五、工程机械用柴油机的特点和要求

工程机械的种类繁多, 大多数都采用柴油机作为动力。一般的推土机和装载机有着专用的柴油机系列, 其他则多由汽车用柴油机变型使用。因此, 工程机械用柴油机与载重汽车用柴油机有着密切的联系, 两者的性能、使用特点及其要求, 往往也是大致相同的。

(一) 使用特点和要求

1. 工程机械用柴油机经常在急剧的变速变负荷状态下工作，其负荷严酷。全负荷作业约占全部工作时间的80%左右。此外，还经常遇到突加负荷的情况，其作用时间长达10s~60s
2. 工程机械的工作环境十分恶劣，常在露天作业，路面质量差，工作和行走机构扬起的尘土大（空气含尘量可达2g/m³）；柴油机受到底盘因颠簸而传来的冲击力大，振动大。
3. 工程机械往往需要在倾斜的地面上工作，发动机应能保证在前后、左右倾斜30°~35°的场地上可靠运转。对此，结构上要有适当的考虑，如保证机油泵能吸到机油、机油压力不降低、不漏油等。
4. 工程机械在-40~+50℃（甚至±60℃）的气温下工作的机会较多，所以对燃油、润滑油、冷却系统和起动方法须作特殊的考虑。
5. 隧道、地下和水下的作业环境更为恶劣。在隧道开挖或进行地下工程施工时，废气污染严重，应配备废气净化装置。在水里工作时，发动机要采用防水密封结构，并考虑遥控措施。

(二) 性能特点

1. 工程机械用柴油机的功率随配套机械而异。一般推土机约为6.3kW/t（最大牵引力）、履带式装载机约为55kW/m³（斗容）、轮式装载机约为51.1kW/m³（斗容）、挖掘机约为74~99kW/m³（斗容）。
2. 国产工程机械用柴油机一般以12h功率为标定功率（有少数的按1h功率标定），其功率数值一般是指发动机的总功率。如需确定其飞轮端输出的实际功率（即有效功率或净功率）时，一般可乘上一个0.9~0.95的系数。国外的工程机械用柴油机，一般除标明总功率外，还标有净功率。
3. 采用机械式直接传动时，工程机械的牵引特性要求柴油机有足够的扭矩储备。一般扭矩储备系数不得低于1.15~1.20、转速储备系数不低于1.6。柴油机低速扭矩也应大些。增压时，增压器与柴油机的匹配应选在最大扭矩点附近。
4. 必须保证在带有湿式离合器、变扭器或液压泵等情况下在-20℃起动，特殊情况要求-40℃起动。

工程机械用柴油机的主要性能参数，如表1-1所列。

工程机械用柴油机的主要性能参数

表 1-1

| 功率 (kW) | 转速 (r/min) | 缸径 (mm) | 冷却方式 | 气缸排列及数目 | 活塞平均速度 (m/s) | 平均有效压力 (MPa) | 扭矩储备系数 | 转速储备系数 | 比质量 (kg/kW) | 行程缸径比 (S/D) |
|------------|---------------|------------|-------|------------------------|-----------------|-----------------|--------------|--------|----------------|----------------|
| 15~588 | 1000~2600 | 85~200 | 水冷为主① | 直列2、4、6缸，V型8、10、12、16缸 | 7~11 | 0.74~0.82 | 不低于1.15~1.20 | ≈1.6 | 4~8 | 0.9~1.25 |

① 工程机械用柴油机也有采用风冷的。

(三) 结构特点

1. 有足够的结构强度和刚度，以承受很大的冲击力和振动。
2. 曲轴自由端及后端必须严格密封，以防倾斜作业时机油与离合器（或变扭器）中的工作液互渗。轴向止推要特别加强。有些工程机械要求曲轴自由端输出100%的功率，或在飞轮前安置动力输出装置，输出50~70%的功率。由于工程机械承受冲击力大，为防止传至发动

机，一般采用三点支承或弹性支承。

3. 采用性能良好的全速式调速器，调速器除采用油量校正装置外，有的还附加低速增扭弹簧。

4. 要加强各系统的防尘和防振措施。

5. 润滑系统容量比汽车用柴油机大，油底壳要深，当发动机在前后或左右倾斜 $30\sim 35^\circ$ 的场地上工作时，吸油盘不露出油面，且宜装置辅助机油泵将流集在发动机后部（或前部）的机油送至前部（或中部）油池，以保证供油正常。

6. 冷却系统的容量和散热能力比汽车用柴油机大。机体和气缸盖的水路设计要注意到倾斜作业的要求，应使水路畅通以免局部过热和产生“穴蚀”。V型柴油机要附加膨胀水箱。对气缸盖热负荷较重的“热三角区”应加强冷却。对后置式发动机，要采用排风式风扇。

7. 采用高效率的空气滤清器（二级或三级），并需有自动除尘装置。同时还应配备效率较高的柴油滤清器和机油滤清器。

由于工程建设规模不断扩大，而建设周期要求缩短，目前工程机械正在向大型化发展。工程机械用柴油机也正在向大型化、高速化和增压化以及提高工作可靠性、延长使用寿命和降低油耗率方向发展。同时还要注意降低排污及噪声，以减轻对环境的污染。

第二节 内燃机总体构造

一、基本名词术语

图1—2示出内燃机的基本机构，它包括气缸、气缸盖、活塞、活塞销、连杆、曲轴、飞轮、曲轴箱和进、排气门等。

活塞可在气缸内上下往复运动。活塞销穿过活塞和连杆的上端，使活塞和连杆成为铰链似的连接。连杆下端套在曲轴弯曲部分的曲柄销（连杆轴颈）上，也是铰链似的连接。

曲轴两端由曲轴箱上的轴承来支承，曲轴可在轴承中转动。

活塞在气缸中往复运动时，曲轴则绕其轴线作旋转运动。很明显，曲轴每转一周，活塞向上向下各行一次（两个行程）。

活塞离曲轴中心最大距离的位置称为上止点（图1—3）；活塞离曲轴中心最小距离的位置称为下止点。在上、下止点时，活塞的运动方向改变，同时它的速度等于零。

上止点与下止点间的距离称为活塞行程 S 。由图1—3可见，活塞行程 S 等于曲柄半径 r 的两倍，即

$$S = 2r$$

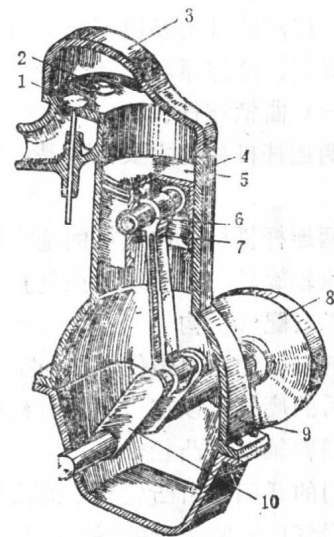


图1—2 内燃机的基本机构

1——进气门；2——排气门；3——气缸盖；
4——气缸；5——活塞；6——活塞销；7——连
杆；8——飞轮；9——曲轴箱；10——曲轴。

在一个气缸中，活塞从上止点到下止点所扫过的容积称为气缸工作容积 V_h 。如气缸直径 D 和活塞行程 S 都以mm为单位，则以L为单位的气缸工作容积可用下式计算：

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4 \times 10^6} S(L)$$

如内燃机有 i 个气缸， i 个气缸的工作容积的总和称为内燃机的总排量，用 V_H 表示，则

$$V_H = V_h \cdot i = \frac{\pi D^2}{4 \times 10^6} S \cdot i(L)$$

当活塞在下止点时，活塞上方的气缸容积称为气缸总容积并以 V_s 表示。当活塞在上止点时，活塞上方的气缸容积称为燃烧室容积并以 V_c 表示。

因此，气缸总容积

$$V_s = V_h + V_c$$

气缸总容积与燃烧室容积之比称为压缩比：

$$\epsilon = \frac{V_s}{V_c}$$

压缩比 ϵ 表示气缸中的气体被压缩后体积缩小的倍数，它对内燃机的性能有重要影响。

二、总体构造

现以四冲程汽油机为例，说明内燃机的总体构造。图1—4、图1—5为CA6102型汽油机纵、横剖视图。

四冲程汽油机主要由下列机构和系统组成：曲柄连杆机构、配气机构、供给系、点火系、润滑系、冷却系和起动装置。

(一) 曲柄连杆机构

曲柄连杆机构的主要机件是：气缸体、气缸盖、活塞、连杆、带有飞轮的曲轴和曲轴箱。

曲柄连杆机构是内燃机的基本机构。在燃油燃烧时，活塞承受气体膨胀的压力，并通过连杆使曲轴旋转，将活塞的往复直线运动变为曲轴的旋转运动而输出动力。

(二) 配气机构

配气机构的功用是使燃油与空气所组成的可燃混合气可以在一定的时刻被吸进气缸，并使燃烧后的废气可以在一定的时刻被排出。配气机构包括进气门、排气门、挺柱、推杆、摇臂、摇臂轴以及凸轮轴等。

气门的开闭是由凸轮轴上的凸轮控制的，凸轮轴通常由曲轴通过齿轮来驱动。

根据气门安装位置的不同，配气机构的布置形式主要有侧置式（顺装气门）和顶置式（倒装气门）两种。

(三) 供给系

供给系的功用是供给气缸空气和燃油（可燃混合气），并排出燃烧后的废气。

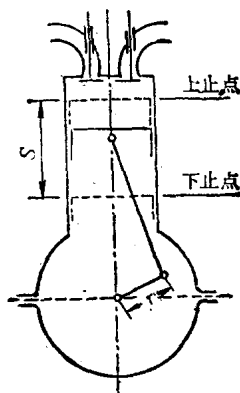


图1—3 内燃机简图

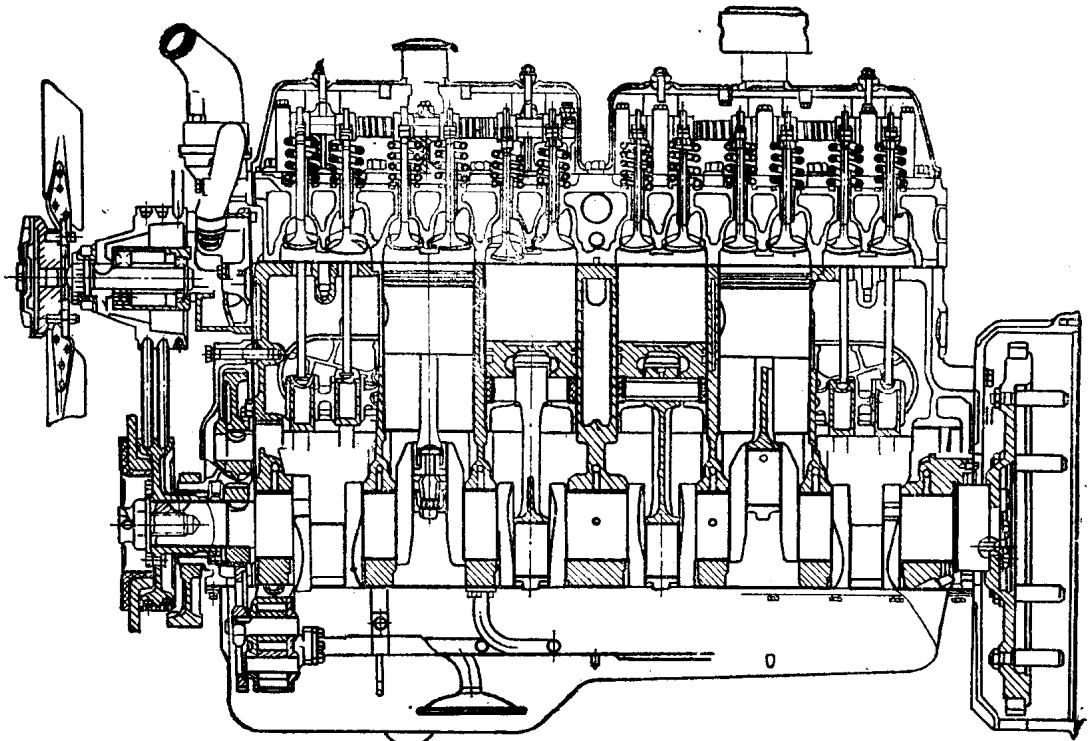


图 1-4 CA6102型汽油机纵剖视图

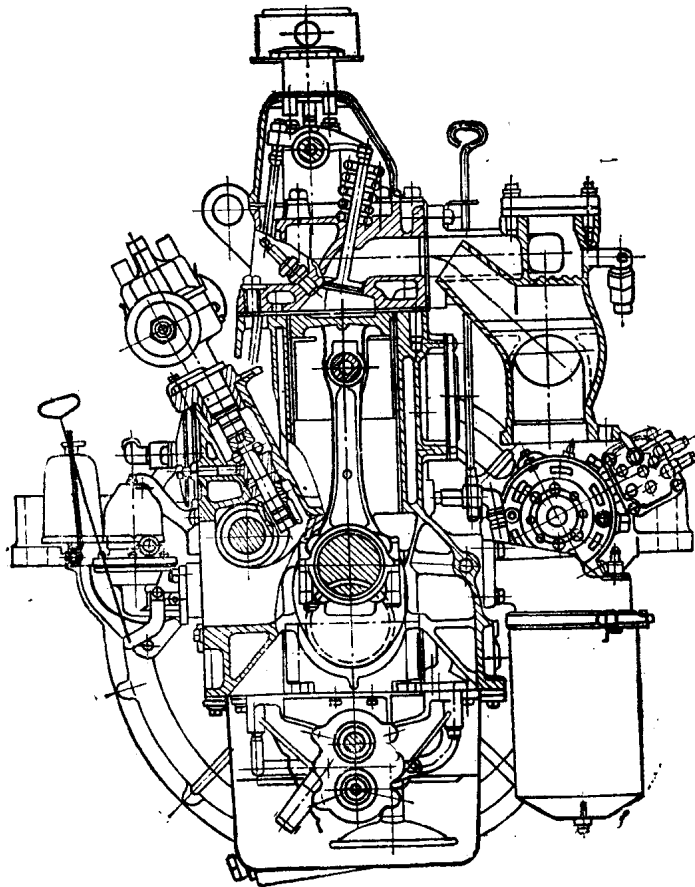


图 1-5 CA6102型汽油机横剖视图

汽油机工作时，汽油泵将汽油箱中的汽油吸出，经汽油滤清器滤清后压送到化油器，同时空气经空气滤清器滤清后也进入化油器。在化油器中汽油被喷散，并在很大的程度上被蒸发，汽油与空气混合后形成可燃混合气经进气管被吸入气缸。燃烧形成的废气经排气管和排气消声器排入大气。

(四) 点火系

混合气在气缸内被压缩后要用电火花来点火。供给低压电流的电源（蓄电池和发电机），将低压电流变为高压电流的设备（点火线圈和断路器），以及将高压电流分配给火花塞（装在气缸盖上）的设备（分电器）组成汽油机的点火系。

(五) 润滑系

润滑系的功用是向内燃机的摩擦零件供给润滑油，以减少零件磨损和零件间的摩擦阻力。润滑系包括油底壳、机油泵、机油滤清器、机油管路和通道以及机油标尺等。

由于机油在润滑系中的环流和飞溅，内燃机的运动件就得到了润滑。

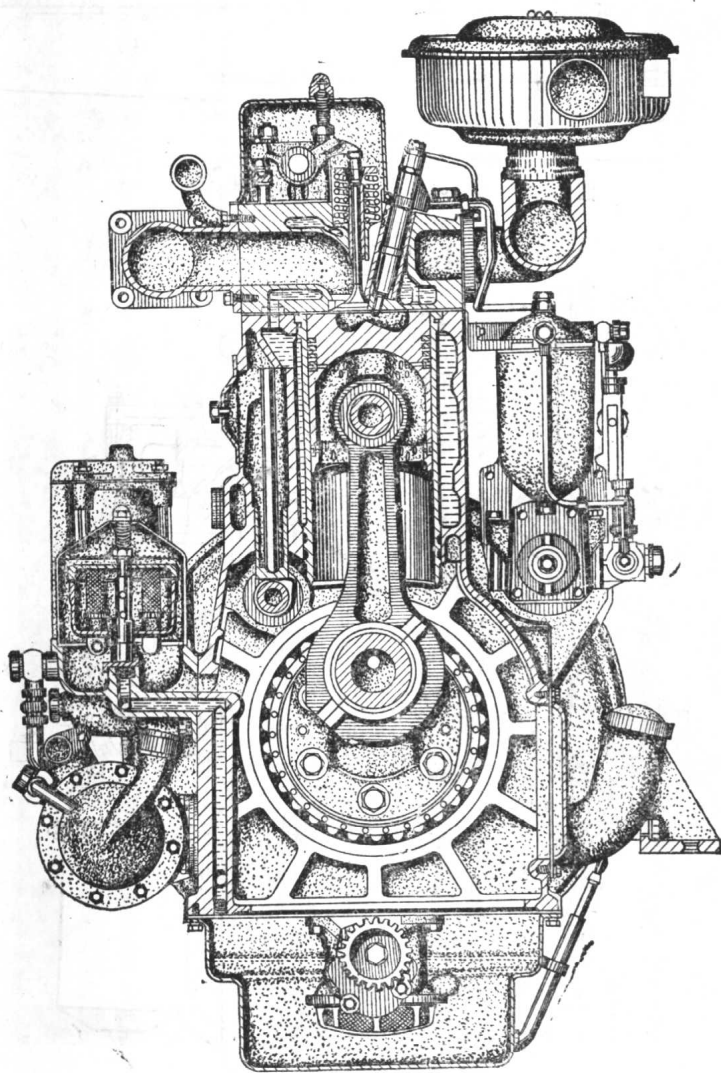


图 1—6 4135型柴油机横剖视图

(六) 冷却系

冷却系的功用是将内燃机受热零件的热量传出，以保持内燃机正常的工作温度（水温约80~90℃）。

多数内燃机采用水冷系，它包括气缸周围和气缸盖中的水套、散热器（水箱）、水泵和风扇。由于水泵的作用，冷却水就在水套和散热器间循环流动，将内燃机需要散出的热量通过散热器散入大气中。

也有少数内燃机采用风冷系（空气冷却）。

(七) 起动装置

起动装置的功用是借助外力（人力或其它动力）将静止的内燃机转为自行运转。不同的起动方法，有不同的起动装置。它主要包括起动机、传动机构和操纵机构等。为便于起动，有的内燃机上还设有起动辅助装置。

四冲程柴油机的构造除点火系和供给系外，与汽油机的大体相同。

柴油机是用气缸内空气被压缩后的高温来发火的（压缩着火），所以没有点火系。柴油机的燃油供给部分也和汽油机的不同。在柴油机中是用输油泵将柴油箱中的柴油吸出，经柴油滤清器滤清后送到喷油泵，喷油泵再将柴油以很高的压力压出经高压油管由喷油器喷入气缸。

图 1—6 和 1—7 为 4135 型柴油机的剖视图。

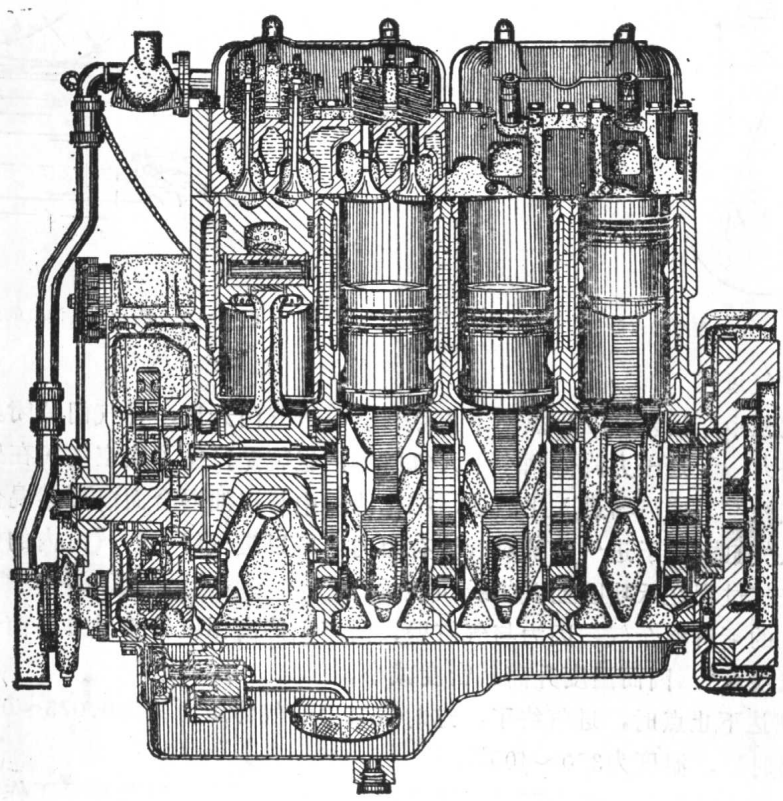


图 1—7 4135 型柴油机纵剖视图

第三节 内燃机的工作原理

内燃机气缸中进行的每一次将热能转变为机械功的一系列连续过程称为内燃机的一次工作循环（作一次功）。

每一次工作循环都包括进气、压缩、燃烧-膨胀和排气等四个过程。四冲程内燃机的工作循环是在曲轴旋转两周，即四个行程中完成的；而二冲程内燃机的工作循环则是在曲轴旋转一周，即两个行程中完成的。

一、四冲程汽油机的工作原理

图 1—8 为四冲程汽油机的简图。

研究内燃机的工作循环时，可以利用一种表示气缸内气体压力 p 和相当于活塞不同位置的气缸容积 V 之间的变化关系图。此图能表示一个工作循环中气体在气缸内所作的功，所以称为示功图。图 1—9 是四冲程汽油机的示功图。

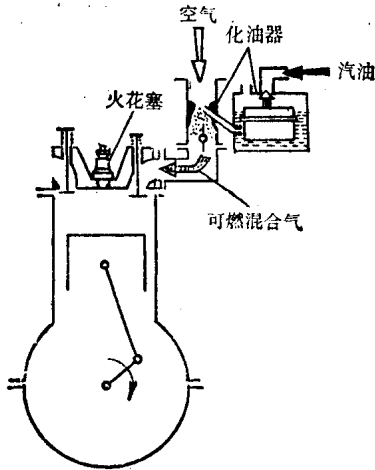


图 1—8 四冲程汽油机

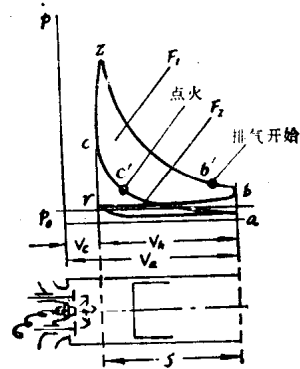


图 1—9 四冲程汽油机的示功图

(一) 进气过程

在进气过程中，活塞从上止点向下止点移动，进气门开启，排气门关闭。这时活塞上方的气缸容积增大，于是压力降低到小于大气压力，也就是产生了真空度。在外界大气压力的作用下，空气经空气滤清器进入化油器，在化油器中与汽油混合而成可燃混合气，经进气管和进气门进入气缸。由于进气系统对气流有阻力，所以进气终了时气缸内的气体压力低于大气压力 p_0 。进气过程在示功图上以曲线 ra 表示。

流入气缸的新鲜混合气，因为与气缸壁、活塞顶等高温机件接触并与前一循环留下来的高温残余废气混合*，因而温度升高，密度减小。

当活塞到达下止点时，进气终了，这时气缸中的气体压力约为 $0.075 \sim 0.09 \text{ MPa}$ （当节气门完全开启时），温度为 $370 \sim 400 \text{ K}$ 。

可燃混合气充满气缸的程度可用充量系数 η_v 来表示。充量系数是每工作循环实际进入气

* 可燃混合气与气缸内残余废气的混合物称为工作混合气。