

高等学校教材

# 内燃机构造与原理

(第二版)

中南大学 李飞鹏 主编  
西南交通大学 沈权 主审

中国铁道出版社

2003年·北京

(京)新登字 063 号

## 内 容 简 介

本书以工程机械和汽车用高速内燃机为主,较详细地介绍了现代内燃机的结构与基本工作原理。全书共分十三章,内容包括:内燃机工作过程的基本原理、性能指标、内燃机各机构和系统的结构与工作原理、内燃机特性、增压技术及内燃机试验等,特别是针对现代内燃机上日益广泛采用的电控燃油喷射、电子点火系统、内燃机排放及其控制等内容作了较详细的介绍。

本书为高等学校机械设计制造及其自动化专业(如起重运输与工程机械方向)本科生教材,也可作为其他非动力类专业(如筑路机械、矿山机械、港口工程机械、军用机械等)的教学用书,亦可供有关工程技术人员及使用维修人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

内燃机构造与原理 /李飞鹏编著. —2版. —北京:中国铁道出版社,2002.10  
ISBN 7-113-04971-0

I. 内... II. 李... III. ①内燃机—构造②内燃机—理论 IV. TK40

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 074168 号

书 名:内燃机构造与原理(第二版)

作 者:李飞鹏

出版发行:中国铁道出版社(100054 北京市宣武区右安门西街8号)

责任编辑:程东海

封面设计:马 利

印 刷:中国铁道出版社印刷厂

开 本:787×1092 1/16 印张 21.25 字数 532 千

版 本:2003 年 2 月第 2 版 2003 年 2 月第 3 次印刷

印 数:7 001~10 000 册

书 号:ISBN 7-113-04971-0/TH-99

定 价:29.50 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

编辑部电话 51873135 发行部电话 63545969

## 第二版前言

本书是在 1992 年出版的《内燃机构造与原理》(长沙铁道学院李飞鹏主编)教材的基础上修订的。在此期间,内燃机工业有了很大的发展,一些新技术的采用使内燃机性能有了较大的提高。为了保持本书的特色,既要反映内燃机领域新的成果和技术发展方向,又要适应专业拓宽的需要,根据原铁路高等工科院校机械类专业教学指导委员会的意见,对原教材进行必要的修订。

在本书编写过程中,我们对原教材的内容进行了精选,删除了部分较陈旧的内容,充实了一些新的内容,力图反映内燃机的技术发展趋势。在突出工程机械和汽车用高速内燃机时,仍将构造与原理有机地融合起来,贯彻“少而精”的原则。

本书主要作为高等学校机械设计制造及其自动化专业(如起重运输与工程机械方向)本科生教材,也可作为其他非动力类专业(如筑路机械、矿山机械、港口工程机械、军用机械等)的教学用书。

本书由中南大学铁道学院(原长沙铁道学院)李飞鹏教授主编,西南交通大学沈权教授主审。参加本书编写工作的有:中南大学铁道学院李飞鹏教授(第一章第一、四节,第二、八、九、十二章及第三章第一至三节,第六章第一至十节);石家庄铁道学院蒋林章副教授(第一章第二、三节,第五章第一至七节及第十章第一节);湖南交通职业技术学院王定祥副教授(第三章第四至六节,第四章);中南大学铁道学院钟建国高级工程师(第五章第八节,第六章第十一节,第七章);石家庄铁道学院郑明军讲师(第十章第二、三节);西南交通大学沈权教授(第十一、十三章)。

在本书编写过程中,我们参考或引用了国内有关工厂、科研单位的技术资料和部分学者的文献资料、教材,在此对这些著作的作者表示衷心的感谢。

由于我们水平所限,书中难免有不妥或错误之处,恳请读者批评指正。

编者

2002 年 7 月

# 第一版前言

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 内燃机的总体构造与基本工作原理.....	1
第一节 概述.....	1
第二节 内燃机的总体构造.....	5
第三节 内燃机的基本工作原理 .....	10
第四节 内燃机的产品名称与型号 .....	15
第二章 内燃机的性能指标 .....	17
第一节 指示指标 .....	17
第二节 有效指标 .....	19
第三节 标志内燃机整机性能的其他技术指标 .....	23
第四节 提高内燃机动力性能和经济性能的途径 .....	25
第三章 曲柄连杆机构 .....	28
第一节 固定件 .....	28
第二节 活塞连杆组 .....	34
第三节 曲轴飞轮组 .....	45
第四节 曲柄连杆机构的运动与受力分析 .....	51
第五节 内燃机的平衡 .....	55
第六节 曲轴扭转振动的概念与扭振减振器 .....	67
第四章 配气机构 .....	69
第一节 配气机构的组成与型式 .....	69
第二节 配气机构的主要零件 .....	70
第三节 配气定时与气门间隙 .....	76
第五章 汽油机的供给系 .....	79
第一节 汽油机供给系的组成及燃料 .....	79
第二节 化油器的基本工作原理 .....	82
第三节 可燃混合气浓度与汽油机性能的关系 .....	85
第四节 化油器的供油装置 .....	88
第五节 化油器的构造及实例 .....	93
第六节 汽油供给装置.....	105
第七节 空气滤清器及进、排气装置 .....	107

第八节 电控汽油喷射系统.....	109
第六章 柴油机的供给系.....	128
第一节 柴油机供给系的组成及燃料.....	128
第二节 喷油器.....	131
第三节 喷油泵.....	134
第四节 调速器.....	140
第五节 喷油提前角调节装置.....	154
第六节 柴油机供给系的进、排气装置及辅助装置 .....	155
第七节 分配式喷油泵.....	160
第八节 泵-喷嘴 .....	166
第九节 蓄压式燃油供给系.....	167
第十节 PT 燃油系统 .....	168
第十一节 电控柴油喷射系统.....	179
第七章 电气设备.....	185
第一节 电源系统.....	185
第二节 蓄电池点火系.....	192
第三节 电子点火系.....	200
第八章 内燃机的燃烧过程.....	208
第一节 汽油机的燃烧过程与燃烧室.....	208
第二节 柴油机可燃混合气的形成.....	215
第三节 燃油的喷射雾化.....	216
第四节 柴油机的燃烧过程.....	217
第五节 柴油机的燃烧室.....	221
第九章 内燃机的特性.....	226
第一节 内燃机的工况与特性.....	226
第二节 负荷特性.....	227
第三节 速度特性.....	229
第四节 调速特性.....	233
第五节 万有特性.....	234
第六节 内燃机功率的标定及大气修正.....	235
第十章 内燃机的辅助系统.....	238
第一节 润滑系.....	238
第二节 冷却系.....	248
第三节 起动装置.....	257

第十一章 内燃机的增压.....	264
第一节 内燃机增压的基本概念.....	264
第二节 废气涡轮增压器.....	266
第三节 废气涡轮增压柴油机.....	275
第四节 废气涡轮增压器与柴油机的匹配及调整.....	281
第十二章 内燃机的环境污染及其控制.....	288
第一节 内燃机的排放污染物及其危害.....	288
第二节 内燃机排放污染物的生成机理.....	291
第三节 汽油机的排放控制.....	294
第四节 柴油机的排放控制.....	302
第五节 低排放燃料.....	311
第六节 内燃机排放标准.....	313
第七节 内燃机的噪声及其控制.....	316
第八节 电磁波公害.....	318
第十三章 内燃机的试验.....	320
第一节 内燃机试验的分类及测量参数.....	320
第二节 内燃机功率、转速、燃料消耗率的测量.....	321
第三节 内燃机排放污染物试验规范.....	326
第四节 内燃机噪声的测量.....	329
第五节 内燃机试验系统自动化.....	330
参考文献.....	332

# 第一章 内燃机的总体构造与基本工作原理

## 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、内燃机的分类

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形、卧式、对置式等,如图 1—1 所示。

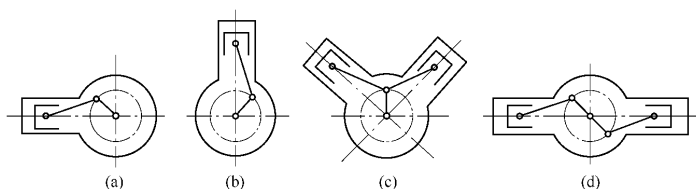


图 1—1 气缸布置形式

(a)卧式 (b)直列式 (c)V形 (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

与其他热机相比,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. 功率范围广。单机功率可从零点几千瓦到上万千瓦,故适用范围大。
3. 结构紧凑、质量轻、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。高速内燃机一般使用汽油或轻柴油作燃料,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

近几十年来,基于提高内燃机的动力性、经济性和降低排放及噪声的要求,许多国家和内燃机厂商、科研机构投入了大量的人力、物力进行新技术的研究与开发,特别是电子技术的应用与发展,使内燃机获得了新的发展。

#### (一)内燃机性能指标的发展

1. 强化程度不断提高。提高内燃机的强化程度,使之在有限的气缸工作容积条件下提高内燃机的功率始终是其发展的目标。提高强化程度系指提高平均有效压力和活塞平均速度。采用增压技术来提高平均有效压力是提高内燃机功率的主要手段。

2. 降低燃油消耗率、提高经济性。由于内燃机的燃油消耗占其运行成本的绝大部分,因此,降低燃油消耗率历来是内燃机技术进步的主要目标。用提高热效率和降低内燃机的摩擦损失等措施来降低燃油消耗率。

3. 提高内燃机的可靠性和耐久性。由于内燃机的任何故障停车或事故都会使用户遭受经济损失,并损坏企业声誉,因而内燃机企业对其产品可靠性极为重视,某种程度上它已成为产品市场竞争的首要因素。国外许多高速柴油机企业可保证其产品在使用后的1 000~2 500 h内无任何故障,个别企业甚至可保证无故障期为5 000 h。我国内燃机产品与国外相比还存在着差距,有待于改进以适应国际市场竞争的需要。

内燃机产品的耐久性影响其利用率。表征耐久性的指标是大修期。内燃机的大修已不再是以气缸内壁或曲轴是否达到磨损极限为依据,现在认为内燃机需全面解体即为大修。常以压缩压力下降到一定值(2.2~2.7 MPa)或各缸压力差增大到一定值(0.3 MPa)即认为应当大修。可以肯定,内燃机的耐久性水平将不断提高。

\* 比质量是内燃机整机质量与其标定功率的比值。

4. 降低废气中有害排放和噪声。随着工业的发展,环境污染日益严重,在众多的污染源中内燃机有害排放占了很大部分。为此,世界各国都相继制定了严格的排放法规以限制内燃机废气有害排放。内燃机的有害排放物包括  $\text{CO}$ 、 $\text{HC}$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_2$  和微粒等,其中以  $\text{NO}_x$  和微粒最难消除,因而成为内燃机排放研究的重点和主攻方向。

噪声有害于健康,也是一种环境污染。车辆和工程机械是污染环境的主要噪声源之一。汽车及工程机械的噪声主要来自发动机,应予以减轻和消除。

## (二)内燃机技术的发展动向

1. 电子技术的应用。以微型计算机为中心的电子技术,在内燃机产品设计研究、测试、制造方面均已普遍应用,计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助测试(CAT)、计算机辅助工艺设计(CAPP)技术发展迅速。为满足内燃机日益苛刻的排放法规和经济性及动力性要求,电控汽油机已得到迅速发展。汽油机采用电控燃油喷射避免了化油器喉口处的流动损失,保证了燃油量的精确控制,使输出功率提高。电控点火定时和爆燃控制可使汽油机在不产生爆燃的条件下最大限度地提高发动机的扭矩和功率,保证发动机在各种转速和负荷下实现最佳控制,现代汽油机已广泛采用这一技术。

柴油机采用电控技术可优化控制喷油规律及喷油量,控制预混合燃烧和扩散燃烧部分的燃油量,提高柴油机的功率,降低柴油机的噪声。在主喷射前进行预喷射可有效降低  $\text{NO}_x$  和噪声。

废气再循环(EGR)是汽油机和柴油机降低  $\text{NO}_x$  排放的有效措施,但过量的 EGR 会导致燃烧恶化。电控 EGR 可保证在各种工况下实现最佳的 EGR 率。

由于电子技术的应用与发展,使内燃机从传统的机械产品进入到机电一体化技术密集型产品。

2. 采用增压技术。增压技术尤其是增压中冷技术,一直被视作提高发动机动力性能、经济性能和降低排放的有效措施。过去增压技术较多地用在中、大缸径的柴油机上,近年来在小缸径直喷柴油机上也采用了增压。汽油机增压主要受到爆燃的限制,随着汽油机抗爆燃技术的提高,汽油机增压技术将得到较大发展。过去汽油机增压主要作为高原恢复功率的手段,目前已出现了一批高性能的涡轮增压汽油机。

3. 汽油机稀燃-速燃技术。稀燃可提高汽油机经济性和降低排放,提高压缩比,但汽油机燃用稀混合气会降低火焰传播速度和燃烧速率,因此,组织快速燃烧是组织好稀燃的关键因素。稀燃-速燃可通过采用紧凑型燃烧室,组织燃烧室内较强的涡流、挤流、滚流和湍流来实现。另外,使用高能点火系统可保证可燃混合气正常点燃,确保稀燃系统稳定燃烧,降低燃烧循环变动。

4. 汽油机缸内喷射分层燃烧技术。汽油机缸内喷射分层燃烧系统中,由于燃油是在压缩终了时喷入缸内,终燃混合气又是稀混合气,从而可以采用高压压缩比(11.5~12),加之功率调节采用变质调节,从而可得到接近于柴油机的热效率。其发动机的功率和扭矩都有所提高,燃油消耗率下降。

5. 柴油机采用直喷式燃烧系统。直喷式燃烧系统比间喷式燃烧系统的热效率可提高 10%~15%,是提高柴油机经济性的有效措施。随着燃烧系统和喷油系统技术的不断完善,小缸径柴油机直喷化已成为柴油机发展的一个显著特点。

6. 提高柴油机燃油喷射压力。高压喷射也是现代柴油机发展的一个趋势,其喷油压力目前已达 120~150 MPa。

7. 排气后处理技术。汽油机三效催化转化器仍是降低排放的主要方法,富氧条件下三效催化转化器的研究与开发会使汽油机稀燃、层燃系统有望取得更大的发展,也可使柴油机实现

CO、HC 及  $\text{NO}_x$  的同时净化。氧化催化器和水洗涤净化器在柴油机上已取得了一定的应用，再生性微粒净化装置的寿命和再生能力将获得进一步的提高，并将主要用于消除柴油机的微粒排放。

8. 采用代用燃料。20 世纪 80 年代以来，随着石油资源的逐渐枯竭，世界各国都加紧研究和开发内燃机的各种代用燃料。其中醇类、植物油和氢是较有希望的代用燃料。气体燃料曾是内燃机的主要燃料。由于气体燃料的能量密度小(单位体积热值低)且储运不便，致使液体燃料逐步取代了气体燃料。近年来，随着石油资源的逐渐枯竭，特别是随着对内燃机排放要求的日益严格，气体燃料在内燃机上的使用又进入了一个新的发展时期。

目前，在内燃机上使用的气体燃料有天然气、液化石油气、沼气、焦炉煤气、高炉煤气等，其中以压缩天然气(CNG)和液化石油气(LPG)为主。CNG 及 LPG 发动机的最大优点是燃料费用及污染物排放低，对降低汽车所造成的环境污染十分有利，比较适宜于在城市公交车辆、出租车和对环境保护要求严格的地区(如旅游风景区)推广使用。

我国在“十五”期间将推广使用车用乙醇汽油。这种乙醇汽油是在汽油中掺入 10% 的乙醇制成，它对发动机的动力性能影响不大，能使 CO 排放下降 30%，HC 排放也有所降低。

## 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。各种工程机械的负荷变化情况各异。而不同的地区、气候条件差异极大，故其使用环境可能十分恶劣，经常会遇到风沙、泥泞、日晒、雨淋等，其主要特点和要求如下：

1. 工程机械功率范围十分宽广，其功率标定与作业负荷变化、最大负荷延续时间及负荷率的大小有关。其功率标定大致可分为以下 3 种类型：

(1)以推土机、铲运机和压路机为代表的工程机械，具有较高的负荷率，它们通常在大型工地连续作业，因而常以 12 h 或介于 12 h 和 1 h 之间的功率标定。

(2)装载机或以它为代表的轮式土方机械，包括轮式推土机、平地机等以及挖掘机，负荷率为中等水平，通常以 1 h 功率标定。

(3)以汽车起重机、叉车为代表的负荷率较低的起重运输机械，其工作条件接近于汽车，可用 15 min 功率标定。

此 3 种标定功率大致以 0.85~0.90 的系数递减。

2. 为了克服作业阻力和防止驾驶员因来不及换挡而造成的发动机熄火，一般要求有 1.15~1.45 的扭矩储备系数和 1.7~2.0 的转速适应性系数。

3. 推土机、挖掘机、铲运机等工程机械在作业时受到很大冲击。为了减少由于底盘变形而对柴油机可靠性造成的影响，柴油机一般采用三点支承，并有减振措施。柴油机机体等固定件应有足够的刚度。因此其比质量一般较大。

4. 为了保证柴油机能在急剧的变速变负荷工况下工作，应采用全程式调速器，其瞬时调速率 < 12%，稳定调速率 < 8%。调速器除装置油量校正器外，有的还附加低速增扭弹簧。

5. 为了保证工程机械在斜坡上可靠地工作，要求柴油机能在纵倾 35°、横倾 30°下工作，故应采用双级机油泵和较深、容量较大的油底壳。曲轴应双向密封，以防倾斜作业时机油与离合器(或变矩器)中的工作油液互渗。

6. 工程机械由于工作环境恶劣，故应采用高效率、大容量、低阻力的空气滤清器(一般选用旋流复合式)和高效的燃油及机油滤清器，并应带有离心式机油滤清器。

7. 水冷式柴油机的冷却系统除了柴油机本身的冷却外,还要担负工程机械中液力变矩器和液压系统工作油液的热量传递与散失。在最大扭矩工况时的冷却系统也必需满足冷却的需要,故应加大冷却系统的冷却能力,采用大流量水泵、大直径宽叶片低速风扇,增大散热器散热面积或提高散热器的散热能力。

8. 有些工程机械常有辅助动力输出轴,可输出 50%~70% 的功率以带动作业机械。有的工程机械甚至要求前端能输出 50%~100% 的功率。

9. 为满足有的工程机械液压系统多个液压泵的驱动,在柴油机的飞轮处,设有分动箱,使这些泵直接由柴油机驱动,而不受主离合器的影响。

10. 由于一些工程机械将柴油机下部密封于大梁内不易接近,故经常需要保养的部件应布置于柴油机上部。

11. 隧道、矿井等地下作业用的柴油机,对废气排放有极严格的要求,应采用低污染柴油机,并带有机外净化装置。在有瓦斯及煤尘爆炸危险的隧道和矿井中,柴油机除有严格的废气排放要求外,还应采取防爆措施,以免发生爆炸事故。

12. 柴油机要有良好的使用适应能力,应具有高原环境和沙漠环境的适应能力。在热带、寒冷、沙漠和高原地区使用时,柴油机应能在  $\pm 40^{\circ}\text{C}$  环境温度下正常工作,要求低温下容易启动,高温下保证足够的冷却水和机油的散热能力;在海拔 2 000 m 以上的高原地区工作时,非增压柴油机应能有足够的匹配功率储备,匹配功率余量较小的应加装增压器,以恢复柴油机的功率,改善其性能参数,增压柴油机的增压器工作能力要有裕量,不致于产生压气机喘振或由排温过高造成涡轮损坏。在水下作业时,柴油机需采用防水密封结构,并考虑遥控措施。

13. 柴油机应有高的可靠性和耐久性。

## 第二节 内燃机的总体构造

### 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,曲轴则绕其轴心线作旋转运动。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。

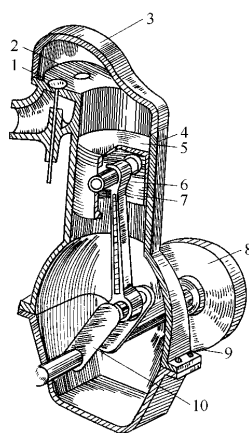


图 1—2 内燃机的基本机构

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。

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

$$S = 2r$$

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:

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

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

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

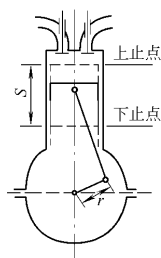


图 1—3 内燃机简图

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  $V_a$  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

$$V_a = V_h + V_c$$

气缸总容积与燃烧室容积之比称为压缩比, 即

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

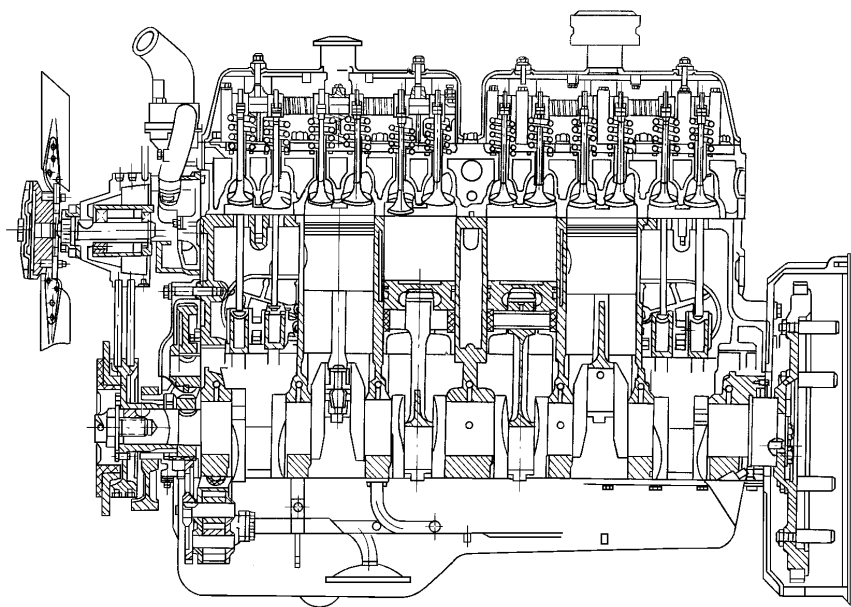


图 1—4 CA6102 型汽油机纵剖视图

压缩比  $\epsilon$  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。

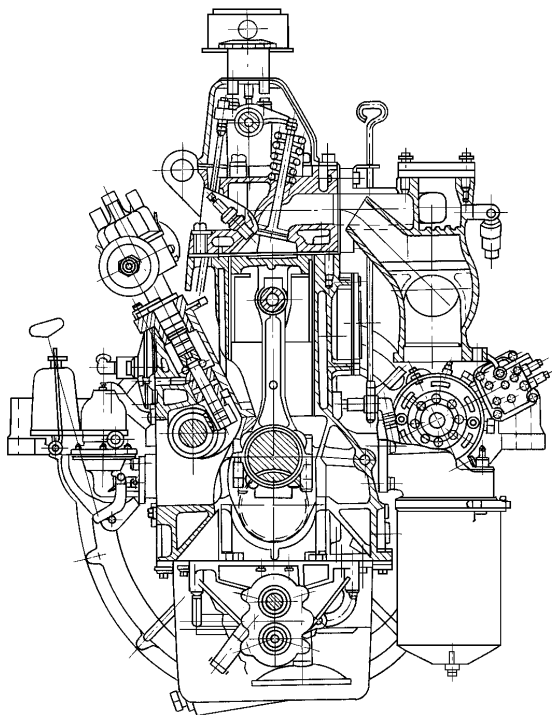


图 1—5 CA6102 型汽油机横剖视图

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、冷却系和起动机。

### 1. 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。

### 2. 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。

### 3. 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。

化油器式汽油机工作时,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。

### 4. 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(点火线圈和断电器),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。

### 5. 润滑系

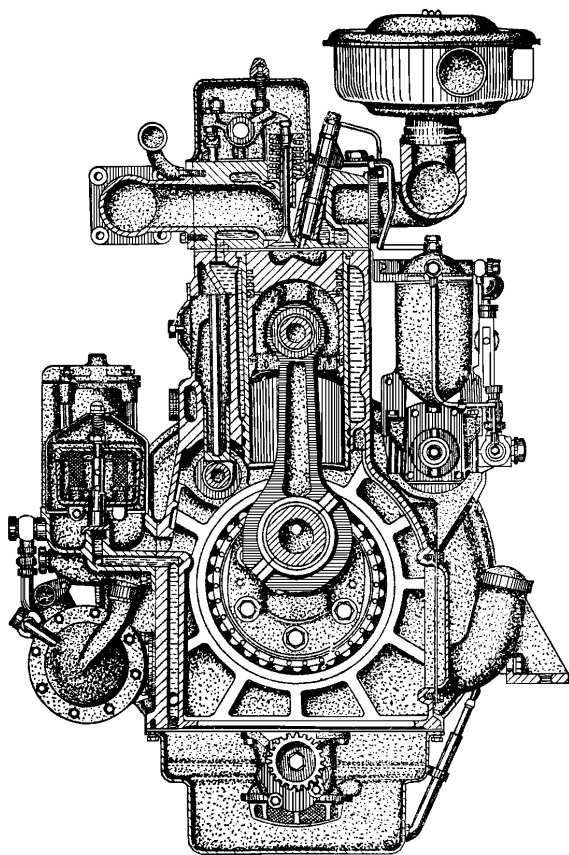


图 1—6 4135 型柴油机横剖视图

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。

## 6. 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 $80\sim 90^{\circ}\text{C}$ )。

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。

也有的内燃机采用风冷系(空气冷却)。

## 7. 起动装置

起动装置的功用是借助外力(人力或其他动力)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 和图 1—7 为 4135 型柴油机的剖视图。

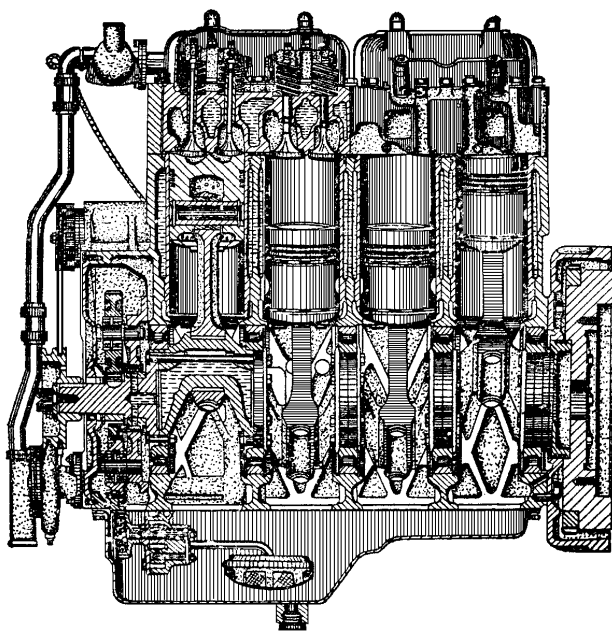


图 1—7 4135 型柴油机纵剖视图

### 第三节 内燃机的基本工作原理

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4个过程。四冲程内燃机的工作循环是在曲轴旋转两周,即4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为四冲程化油器式汽油机的简图。

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时的气缸容积  $V$  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是四冲程化油器式汽油机的示功图。

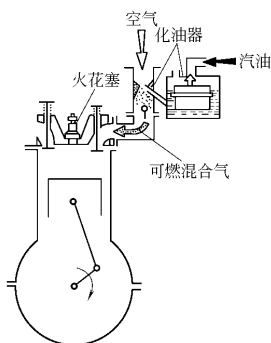


图 1—8 四冲程化油器式汽油机简图

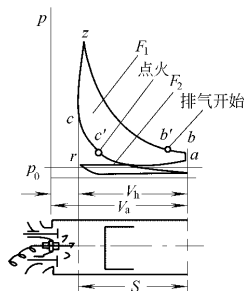


图 1—9 四冲程化油器式汽油机的示功图

#### 1. 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式汽油机的化油器,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  $\eta_v$  来表示。充量系数是每工作循环实际进入气缸的新气质量与理论上可充入气缸的新气质量之比。汽油机的充量系数约为  $0.70 \sim 0.85$ 。

\* 可燃混合气与气缸内残余废气的混合物称为工作混合气。