



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

内燃机构造与原理

(第三版)

刘善平 主编

周涛 王瑜 副主编

孙建新 主审



免费下载

配课件

www.ctpress.com.cn



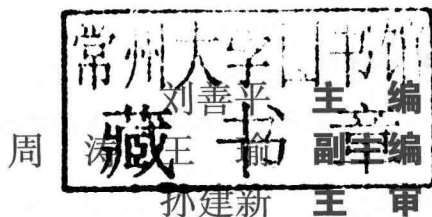
人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

Neiranji Gouzao yu Yuanli 内燃机构造与原理

(第三版)



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书是“十二五”职业教育国家规划教材,内容包括:内燃机的工作原理与总体构造、机体组与曲柄连杆机构、换气过程和配气机构、汽油机的燃烧过程和燃油系统、柴油机的燃烧过程和燃油系统、汽油机点火系统、冷却系统、润滑系统、起动系统、增压系统、内燃机特性、内燃机的污染与控制。

本书为高职高专院校港口物流设备与自动控制专业教学用书,也可供相关专业教学使用,或作为职业技能培训教材,也可供有关工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

内燃机构造与原理 / 刘善平主编. —3 版. —北京:
人民交通出版社股份有限公司, 2014. 12

“十二五”职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-114-11740-4

I. ①内… II. ①刘… III. ①内燃机—构造—高等职业
教育—教材 ②内燃机—理论—高等职业教育—教材
IV. ①TK40

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 223923 号

“十二五”职业教育国家规划教材

书 名: 内燃机构造与原理(第三版)

著 者: 刘善平

责任编辑: 周 凯

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京盈盛恒通印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 20.5

字 数: 475 千

版 次: 2004年5月 第1版

2009年7月 第2版

2014年12月 第3版

印 次: 2014年12月 第3版 第1次印刷 总第10次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-11740-4

定 价: 55.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

第三版前言

《内燃机构造与原理》(第二版)于2009年7月出版,是交通运输职业教育教学指导委员会推荐教材、高等职业教育港口物流设备与自动控制专业规划教材。

2014年,本教材第三版入选教育部“十二五”职业教育国家规划教材。本版教材的编写,结合当前高等职业教育发展和港口运输行业发展的实际情况,对第二版做了全面修订,形成了本教材第三版。

本版教材主要具备以下特点:

1. 教材注重以就业为导向,以职业能力培养为核心,面向港口企业,满足实用性、技能型高等职业人才培养的需要。在所选内容的深度和广度上,既考虑目前学生的实际水平与接受能力,又满足了学生将来就业的需要,并为学生顺利获得港口内燃装卸机械修理工、港口内燃装卸机械司机等专业技能等级证书做好有效衔接。

2. 教材编写立足国内港口机械使用内燃机的实际情况,结合典型流动式起重机的动力驱动装置,系统介绍内燃机的基本结构和工作原理。同时,教材根据行业技术发展情况及时调整教材内容,有选择地选编内燃机发展的新知识、新技术、新设备,采用国家及行业最新技术标准和规范,使教材充分体现先进性与时效性。同时也拓宽学习视野,为学生进一步深造打下基础。

3. 本教材编写条理清楚,层次分明;语言流畅,浅显易懂;图表准确,配合恰当。

4. 教材编排体例合理,充分体现了职业教育特色。每章前列出了知识目标和技能目标等学习目标要求,每章后附有练习与思考,便于教师组织教学和学生自主学习。

5. 运用信息技术,加强课程资源建设。本版教材注重运用现代信息技术创新教材呈现形式,积极开发补充了教学课件、视频等教学资源,使教材更加生活化、情景化、动态化、形象化,有助于教学实施。

《内燃机构造与原理》(第三版)内容包括:内燃机的工作原理与总体构造、机体组与曲柄连杆机构、换气过程和配气机构、汽油机的燃烧过程和燃油系统、柴油机的燃烧过程和燃油系统、汽油机点火系统、冷却系统、润滑系统、起动系统、增压系统、内燃机特性、内燃机的污染与控制。

本书由江苏海事职业技术学院刘善平主编,江苏海事职业技术学院周涛、王瑜担任副主编,江苏海事职业技术学院孙建新主审,南京港口集团解立军高级工程师也参与了本书的审阅,提出了许多宝贵建议,在此表示感谢!

具体编写分工如下:江苏海事职业技术学院刘善平编写第一、二、三、四、五、七章,周涛编写第六、九章,李媛编写第八、十章,王瑜编写第十一、十二章。

本教材是高职高专院校港口物流设备与自动控制专业教学用书,也可供相关专业教学使用或作为职业技能培训教材,也可供有关工程技术人员学习参考。

本教材在编写过程中,得到交通运输系统各校领导和教师的大力支持,在此表示感谢!书中不妥和疏漏之处,敬请读者指正。

编者

2014年8月

第二版前言

交通职业教育教学指导委员会交通工程机械专业指导委员会自1992年成立以来,对本专业指导委员会两个专业(港口机械、筑路机械)的教材编写工作一直十分重视,把教材建设工作作为专业指导委员会工作的重中之重,在“八五”、“九五”和“十五”期间,先后组织人员编写了20多本专业急需教材,供港口机械和筑路机械两个专业使用,解决了各学校专业教材短缺的困难。

随着港口和公路事业的不断发展,港口机械和公路施工机械的更新换代速度加快,各种新工艺、新技术、新设备不断出现,对本专业的人才培养提出了更高的要求。另外,根据目前职业教育的发展形势,多数重点中专学校已改制为高等职业技术学院,中专学校一般同时招收中专和高职学生,本专业教材使用对象的主体已经发生了变化。为适应这一形势,交通工程机械专业指导委员会于2006年8月在烟台召开了四届二次会议,制定了“十一五”教材编写出版规划,并确定了教材的编写原则:

1. 拓宽教材的使用范围。本套教材主要面向高职,兼顾中专,也可用于相关专业的职业资格培训和各类在职培训,亦可供有关技术人员参考。

2. 坚持教材内容以培养学生职业能力和岗位需求为主的编写理念。教材内容难易适度,理论知识以“够用”为度,注重理论联系实际,着重培养学生的实际操作能力。

3. 在教材内容的取舍和主次的选择方面,照顾广度,控制深度,力求针对专业,服务行业,对与本专业密切相关的内容予以足够的重视。

4. 教材编写立足于国内港口机械和筑路机械使用的实际情况,结合典型机型,系统介绍工程机械设备的基本结构和工作原理,同时,有选择地介绍一些国外的新技术、新设备,以便拓宽学生的视野,为学生进一步深造打下基础。

《内燃机构造与原理》(第一版)于2004年5月出版,解决了当时专业教材短缺的困难,受到教材使用者的欢迎,至今连续印刷5次,发行量达11000册。本次再版,融入了近几年的教学改革成果,同时根据行业发展情况对部分内容做了调整,使教学目标更明确,更具针对性和实用性。

《内燃机构造与原理》(第二版)是高职高专院校港口物流设备与自动控制专业规划教材之一,内容包括:内燃机基本工作原理,机体组与曲柄连杆机构,换气过程和配气机构,汽油机的燃烧过程和燃油系统,柴油机的燃烧过程和燃油系统,汽油机点火系统,冷却系统,润滑系统,起动系统,发动机增压,发动机特性,发动机的污染与控制。

参加本书编写工作的有:江苏海事职业技术学院孙建新(编写第一、十一、十二章)、周涛

(编写第六、九章)、王瑜(编写第二、五、十章)、李媛(编写第三、四、七、八章)。全书由孙建新担任主编,南通航运职业技术学院马乔林担任主审。

本教材在编写过程中,得到交通系统各校领导和教师的大力支持,在此表示感谢!

编写高职教材,我们尚缺少经验,书中不妥和疏漏之处,敬请读者指正。

交通职业教育教学指导委员会

交通工程机械专业指导委员会

2009年5月

目 录

第一章 内燃机的工作原理与总体构造	1
第一节 概述	1
第二节 内燃机的工作原理	5
第三节 内燃机的总体构造	12
第四节 内燃机的性能指标	15
第五节 内燃机的产品名称和型号表示	18
练习与思考	21
第二章 机体组与曲柄连杆机构	25
第一节 概述	25
第二节 机体组	27
第三节 曲柄连杆机构	35
练习与思考	60
第三章 换气过程和配气机构	67
第一节 换气过程	67
第二节 配气机构的功用和类型	69
第三节 气门组	73
第四节 气门传动组	79
练习与思考	88
第四章 汽油机的燃烧过程和燃油系统	93
第一节 概述	93
第二节 可燃混合气浓度与汽油机性能的关系	97
第三节 汽油机的燃烧	100
第四节 电子控制汽油喷射系统概述	104
第五节 空气供给系统	111
第六节 燃油供给系统	121
第七节 废气排气系统	128
第八节 电子控制系统	131
练习与思考	135
第五章 柴油机的燃烧过程和燃油系统	140
第一节 概述	140
第二节 柴油机可燃混合气的形成	144
第三节 柴油机的燃烧	150
第四节 喷油器	152
第五节 柱塞式喷油泵	156

第六节	调速器	170
第七节	分配式喷油泵	177
第八节	辅助装置	185
第九节	电子控制柴油喷射系统	187
	练习与思考	196
第六章	汽油机点火系统	202
第一节	概述	202
第二节	蓄电池点火系统的组成与工作原理	204
第三节	蓄电池点火系统的主要部件	207
第四节	电子点火系统	213
第五节	车用电源	217
	练习与思考	223
第七章	冷却系统	229
第一节	概述	229
第二节	水冷系统的组成和循环水路	231
第三节	冷却系统的主要机件	233
第四节	冷却系统的调节	238
第五节	风冷系统	243
	练习与思考	244
第八章	润滑系统	247
第一节	概述	247
第二节	润滑方式和润滑剂	248
第三节	润滑系统的组成和润滑油路	252
第四节	润滑系统的主要机件	254
	练习与思考	261
第九章	起动系统	263
第一节	概述	263
第二节	电力起动装置	264
第三节	起动辅助装置	271
	练习与思考	274
第十章	增压系统	277
第一节	概述	277
第二节	机械增压	280
第三节	废气涡轮增压	282
	练习与思考	288
第十一章	内燃机特性	291
第一节	概述	291
第二节	内燃机速度特性	292

第三节	内燃机负荷特性	297
第四节	万有特性	299
第五节	内燃机的功率标定及大气修正	301
	练习与思考	302
第十二章	内燃机的污染与控制	304
第一节	概述	304
第二节	排气净化装置	306
第三节	强制曲轴箱通风系统	310
第四节	汽油蒸发控制系统	313
	练习与思考	314
	参考文献	316



知识目标

1. 能正确进行往复式内燃机的分类;
2. 能正确描述四冲程内燃机基本工作原理;
3. 能正确描述二冲程内燃机基本工作原理;
4. 能正确叙述内燃机的总体构造;
5. 能简单叙述内燃机各项性能指标的定义和意义;
6. 能正确识别内燃机的产品型号。



技能目标

1. 能根据内燃机铭牌上的型号及有关性能指标的含义,准确地解释内燃机的性能和结构特征;
2. 初步了解港口机械所用内燃机的特点和要求。

第一节 概 述

一、内燃机的分类

内燃机是热机的一种类型,它是将燃料经过燃烧释放的热能转变为机械能的机器。

热机可分为外燃机和内燃机两种类型。在外燃机中,燃料的燃烧发生在汽缸的外部,而燃气(工质)膨胀做功是在汽缸内部进行的,如蒸汽机、汽轮机等,因此,存在着工质传递过程的热损失。在内燃机中,燃料的燃烧和工质的膨胀做功均在汽缸内部进行,因而能量损失较小,具有较高的热效率。

内燃机按运动形式分,有往复式和回转式(如转子发动机)两类。其中,往复式内燃机,其性能更为完善,因此,使用广泛,是本课程学习的主要内容。

1. 往复式内燃机的分类

往复式内燃机可按不同方法进行分类。

1) 按所用燃料分

内燃机按所用燃料可以分为液体燃料发动机和气体燃料发动机。



液体燃料发动机的燃料主要有汽油、柴油、甲醇、乙醇、二甲醇、生物柴油等,如使用汽油为燃料的内燃机称为汽油机;使用柴油为燃料的内燃机称为柴油机。汽油机、柴油机是本书讲述的重点。

气体燃料发动机所用气体燃料主要有天然气、压缩天然气(CNG)、液化天然气(LNG)、液化石油气(LPG)、沼气、煤气等,如使用压缩天然气的内燃机称为压缩天然气发动机;使用液化石油气的内燃机称为液化石油气发动机。

近年来,双燃料发动机也逐渐推向市场,如柴油/天然气双燃料发动机,柴油/沼气双燃料发动机等。

2)按行程数分

往复活塞式内燃机也可按其在一个工作循环期间活塞往复运动的行程数进行分类。活塞式内燃机每完成一个工作循环,便对外做功一次,不断地完成工作循环,才能使热能连续地转变为机械能。在一个工作循环中,活塞往复运动四个行程的内燃机称为四冲程往复活塞式内燃机(简称四冲程内燃机),而活塞往复两个行程便完成一个工作循环的则称为二冲程往复活塞式内燃机(简称二冲程内燃机)。车用发动机广泛使用四冲程内燃机。

3)按汽缸数目分

内燃机按汽缸数目不同分,有单缸发动机、多缸发动机。仅有一个汽缸的发动机称为单缸发动机;有两个以上汽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、十二缸等都是多缸发动机。现代车用发动机多采用四缸、六缸、八缸发动机。

4)按汽缸的排列方式分

内燃机按照汽缸排列方式不同可以分为单列式和双列式,如图 1-1 所示。

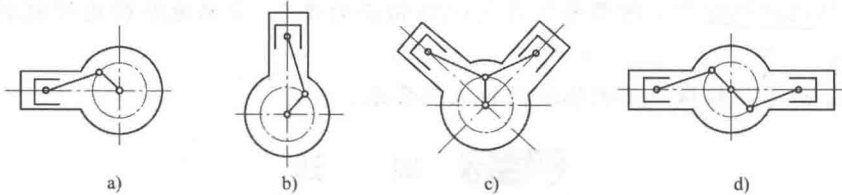


图 1-1 汽缸的排列方式

a)卧式;b)直列式;c)V型;d)对置式

单列式发动机的各个汽缸排成一列,一般是垂直布置的,这种发动机称为直列式发动机。为了降低高度,有时单列式发动机也把汽缸布置成倾斜的甚至水平的,如布置成水平的发动机称为卧式发动机。

双列式发动机把汽缸排成两列,两列之间的夹角 $< 180^\circ$ (一般为 90°),称为 V 型发动机;若两列之间的夹角 $= 180^\circ$,称为对置式发动机。

5)按进气状态分

按进气状态不同,活塞式内燃机还可分为非增压和增压两类。若进气是在接近大气状态下进行的,则为非增压内燃机或称自然吸气式内燃机;若利用增压器将进气压力增高、进气密度增大,则为增压内燃机。增压可以提高内燃机功率。

6)按缸内着火方式分

按缸内着火方式,内燃机分为压燃式发动机(如柴油机)和点燃式发动机(如汽油

机)两类。压燃式发动机是压缩汽缸内的空气或可燃混合气,产生高温,引起燃料自燃的内燃机;点燃式发动机是压缩汽缸内的可燃混合气,用点火器(如火花塞)点燃燃料的内燃机。

7)按冷却方式分

按冷却方式的不同,活塞式内燃机分为水冷式和风冷式两种。以水或冷却液为冷却介质的称作水冷式内燃机,而以空气为冷却介质的则称作风冷式内燃机。

8)按转速分

内燃机按转速可分为低速机($n < 300\text{r/min}$)、中速机($n = 300 \sim 1000\text{r/min}$)和高速机($n > 1000\text{r/min}$)。

9)按用途分

有汽车用、工程机械用、船用、发电机用和拖拉机用等多种。

此外,内燃机还可按其他方式进行分类。

2. 往复活塞式内燃机的特点

通常,往复活塞式内燃机具有下列突出优点:

- (1)经济性好,有效热效率在热机中最高,一般为30%~55%。
- (2)尺寸小、比质量(kg/kW)小、结构紧凑,便于安装布置。
- (3)功率范围广。单机功率为 $0.6 \times 10^4 \sim 6.8 \times 10^4\text{kW}$,可以适应各种动力设备的需要。
- (4)机动性好。起动方便、迅速,加速性能好,正常起动只需要几秒,并能很快地达到全负荷工况。

同时,内燃机也存在一些缺点:

- (1)运转时噪声大。
- (2)废气中的有害成分对大气污染较严重。

二、内燃机的应用领域

内燃机热效率高、功率范围大、适应性好,广泛应用于交通运输业、工农业和军事装备等领域。

在交通运输行业,公路运输中的各类车辆,如轿车、商用车和摩托车等,汽油机、柴油机是主要动力来源,电动车、混合动力车虽发展较快,但在商业上的规模应用还有待时日。铁路运输领域,一些铁路机动车辆使用柴油机驱动。在水路运输领域,内河船舶、远洋船舶的动力装置几乎都采用柴油机。在港口运输企业,汽车起重机、轮胎式起重机、叉车、集装箱跨运车、轮胎式集装箱龙门起重机、集装箱牵引车等流动式起重机械多采用柴油机作为驱动动力来源。航空运输领域,燃气轮机和喷气式发动机是民航飞机的唯一动力装置。

工农业领域,工程机械(如挖掘机、压路机、铲车等)、矿山机械和建筑机械等大多用内燃机作为动力。农林机械方面,拖拉机和农田作业机械、排灌机械、农副产品加工机、中小渔船和林牧机械都大量使用内燃机作为动力源。

在军事装备方面:陆地上,坦克、装甲车、重武器牵引车也以柴油机为动力源;水面舰艇上,广泛应用柴油机作为舰艇的动力装置。例如:导弹快艇、鱼雷快艇、巡逻艇、扫雷艇、登陆艇及大部分常规潜艇和军用辅助船等以柴油机为主要动力源。



三、内燃机的基本术语

表示内燃机工作过程的基本术语,如图 1-2 所示,主要有:

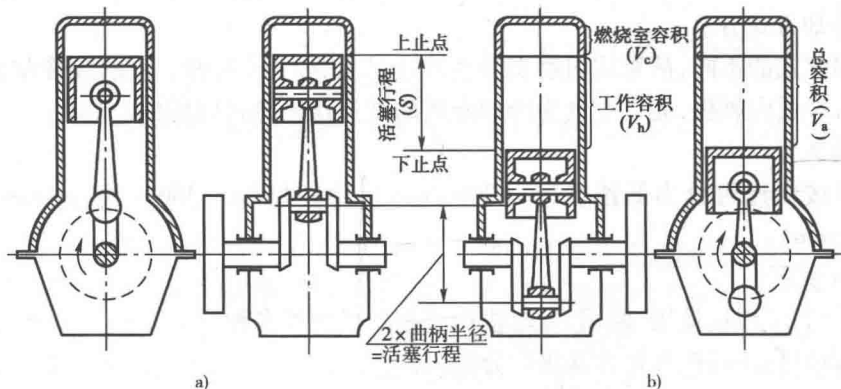


图 1-2 内燃机的基本术语

a) 活塞在上止点位置; b) 活塞在下止点位置

1. 上止点

活塞顶离曲轴的回转中心最远处,即活塞上行的最高位置为上止点。

2. 下止点

活塞顶离曲轴的回转中心最近处,即活塞下行的最低位置为下止点。

3. 活塞行程

活塞行程指活塞上、下止点之间的距离 S , 单位: mm。

4. 曲柄半径

曲轴旋转中心线与曲柄销中心线的距离,用 R 表示,单位: mm。活塞行程与曲柄半径之间的关系为: $S = 2R$ 。

5. 燃烧室容积

活塞在上止点时,其顶面与缸盖底面之间的空间称为燃烧室,其容积称为燃烧室容积,记作 V_c 。

6. 汽缸工作容积

活塞从上止点运动到下止点,其顶面所扫过的汽缸容积称为汽缸工作容积,记作 V_h , 即

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4} S \times 10^{-6} \quad (\text{L}) \quad (1-1)$$

式中: D ——汽缸直径, mm;

S ——活塞行程, mm。

内燃机所有汽缸工作容积之和,称为内燃机的排量,记作 V_H , 即

$$V_H = V_h i = \frac{\pi D^2}{4} S \cdot i \times 10^{-6} \quad (\text{L}) \quad (1-2)$$

式中: i ——汽缸数。

7. 汽缸总容积

活塞在下止点时,其顶部与缸盖底面之间的空间容积称为汽缸总容积,记作 V_a 。它等于

燃烧室容积与汽缸工作容积之和,即

$$V_a = V_h + V_c \quad (1-3)$$

8. 压缩比

汽缸总容积 V_a 与燃烧室容积 V_c 之比称为压缩比,用 ε 表示,即

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_c + V_h}{V_c} = 1 + \frac{V_h}{V_c} \quad (1-4)$$

压缩比表示压缩行程中汽缸内的气体被压缩的程度。压缩比越大,压缩终了时汽缸内的气体压力和温度就越高。压缩比是内燃机的一个重要的结构参数,其大小随内燃机类型而不同。一般,汽油机 $\varepsilon = 6 \sim 11$; 柴油机 $\varepsilon = 13 \sim 22$ 。

第二节 内燃机的工作原理

内燃机的运转过程,是汽缸内连续不断地完成一个个工作循环的过程。工作循环是指活塞在汽缸内,依次完成进气、压缩、做功和排气做一次功的全过程。活塞经过四个行程(曲轴转两转)完成一个工作循环的内燃机叫四冲程内燃机。活塞经过两个行程(曲轴转一转)完成一个工作循环的内燃机叫二冲程内燃机。

一、四冲程内燃机工作原理

1. 四冲程汽油机工作原理

图 1-3 为单缸四冲程汽油机工作原理示意图。

1) 进气行程

进气行程是使汽缸内吸入充足的可燃混合气。在进气行程中,活塞 6 由曲轴 8 驱动从止点向下止点运动,进气门 4 开启,排气门 1 关闭。随着汽缸容积的增大,产生一定的真空度,使可燃混合气经进气门被吸进汽缸,如图 1-3a) 所示。

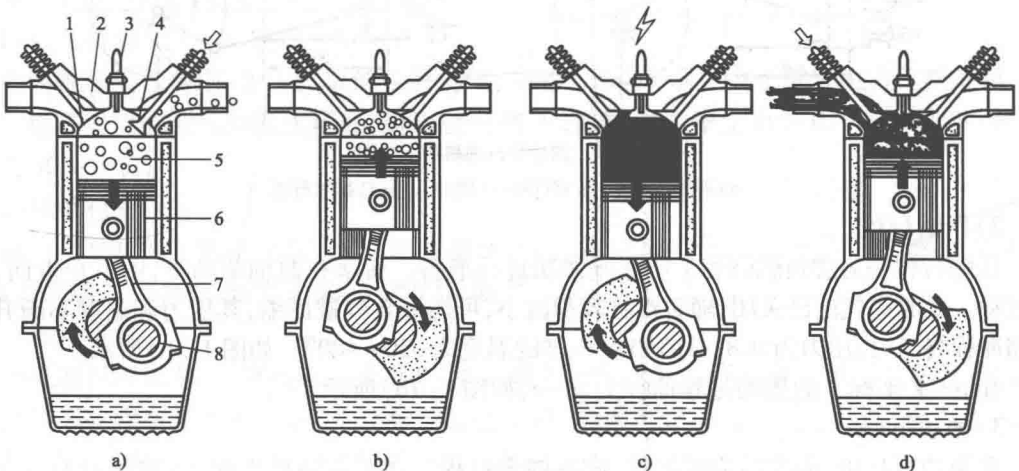


图 1-3 四冲程汽油机工作原理示意图

a) 进气行程; b) 压缩行程; c) 做功行程; d) 排气行程

1-排气门; 2-汽缸盖; 3-火花塞; 4-进气门; 5-汽缸; 6-活塞; 7-连杆; 8-曲轴



由于进气系统阻力的影响,进气终了时,汽缸内气体压力低于大气压力,为 $0.08 \sim 0.09\text{MPa}$ 。同时,由于受到高温机件以及缸内残余废气散热的影响,进缸的新鲜气体的温度高于环境温度,为 $50 \sim 110^\circ\text{C}$ 。

实际上,为了尽量多进气,进气门在活塞到达上止点前提前开启,以保证在上止点时进气门有最大的通流截面;活塞越过下止点后延迟关闭,以充分利用进口气流的流动惯性多进气。

进气过程中,汽缸内气体压力 p 随汽缸容积 V 增大而变化的情况,可以在 $p-V$ 坐标上用曲线 $r-a$ 表示,如图 1-4a) 所示。

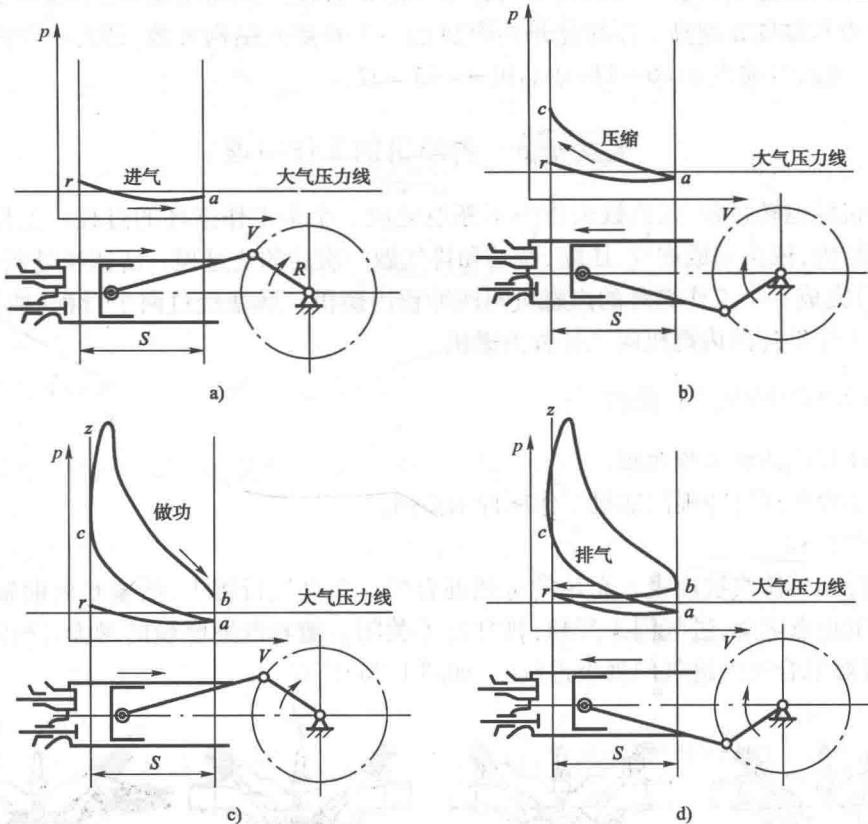


图 1-4 四冲程汽油机的示功图

a) 进气行程; b) 压缩行程; c) 做功行程; d) 排气行程

2) 压缩行程

压缩行程是为燃料燃烧和工质膨胀做功进行准备。活塞在曲轴驱动下,由下止点向上止点运动。此时进气门已关闭,随着汽缸容积减小,可燃混合气被压缩,其压力和温度不断升高。压缩冲程终了时,压力为 $0.8 \sim 1.5\text{MPa}$,气体的温度为 $330 \sim 480^\circ\text{C}$,如图 1-3b) 所示。

在 $p-V$ 坐标上的压缩过程曲线为 $a-c$,如图 1-4b) 所示。

3) 做功行程

在做功行程中,要先后完成燃烧、膨胀两个过程。在压缩冲程末期,活塞接近上止点时,火花塞产生电火花点燃可燃混合气,火焰迅速传遍整个燃烧室,同时释放出大量热量,使燃气的压力和温度迅速升高并急剧膨胀。在气体压力作用下,活塞快速向下止点移动,并通过连杆驱动曲轴转动对外做功,如图 1-3c) 所示。

在做功行程中,燃烧气体的最高压力为 $3 \sim 6.5 \text{ MPa}$,最高温度为 $2000 \sim 2500^\circ\text{C}$ 。随着活塞的下行,汽缸容积增大,气体的压力和温度下降。膨胀末期,气体的压力为 $0.35 \sim 0.5 \text{ MPa}$,温度为 $900 \sim 1200^\circ\text{C}$ 。

在 $p-V$ 坐标上的燃烧和膨胀过程曲线为 $c-z-b$,如图1-4c)所示。

4) 排气行程

排气行程是将废气排出缸外,为下一个工作循环做准备。在做功行程末期,排气门1开启,活塞在曲轴驱动下,由下止点向上止点运动。废气在汽缸内外的压力差和活塞的驱赶作用下,经排气门排出汽缸,如图1-3d)所示。

排气终了时,由于受排气阻力的影响,缸内废气的压力为 $0.105 \sim 0.120 \text{ MPa}$,温度为 $600 \sim 800^\circ\text{C}$ 。

可见,四冲程汽油机经过进气、压缩、做功、排气四个行程完成一个工作循环。这期间,活塞在上、下止点往复运动了四个行程,相应地曲轴旋转了两圈。内燃机完成一个工作循环后,又开始了下一个新的循环过程,周而复始地工作。

实际上,为了尽量彻底地排出汽缸内的废气,排气门在活塞到达下止点前提前开启,以利用压力差排出废气;活塞越过上止点后延迟关闭,以利用排气气流的流动惯性排出废气。

在 $p-V$ 坐标上的排气过程曲线为 $b-r$,如图1-4d)所示。

一个工作循环结束后,在 $p-V$ 坐标上,各个过程曲线组成一个闭合图形如图1-4d)所示。它既用来研究内燃机汽缸内一个工作循环进行的情况;又可用图中压缩过程曲线和燃烧与膨胀过程曲线所包围的面积来计算汽缸中一个工作循环所做功(称为指示功 W_i)的大小,所以该图形被称为 $p-V$ 示功图。

2. 四冲程柴油机工作原理

四冲程柴油机工作过程与四冲程汽油机基本相同,每一个工作循环也都是通过四个行程完成的。但由于柴油与汽油的性质不同,使二者在可燃混合气的形成和着火方式上存在着差异。下面主要以与汽油机工作循环的不同之处介绍柴油机的工作原理。

1) 进气行程

柴油机进气行程中,进入汽缸的只是空气,如图1-5a)所示。由于进气阻力比汽油机小,且上一循环残留的废气温度比较低,所以进气终了时,缸内气体压力为 $0.085 \sim 0.095 \text{ MPa}$,温度为 $40 \sim 70^\circ\text{C}$ 。

2) 压缩行程

由于柴油机的压缩比较大,压缩行程终了时,汽缸内空气的压力和温度都比汽油机高,压力可达 $3 \sim 5 \text{ MPa}$,温度达 $500 \sim 750^\circ\text{C}$,如图1-5b)所示。

3) 做功行程

在压缩行程末期,活塞接近上止点时,喷油泵3将柴油泵入喷油器1,并通过喷油器将高压燃油以雾化状态喷入燃烧室,并与空气迅速混合,形成可燃混合气后自行燃烧,产生的高温高压工质急剧膨胀,气体压力推动活塞下行做功。

在做功行程中,缸内燃烧气体的最高压力可达 $6 \sim 9 \text{ MPa}$,最高温度可达 $1500 \sim 1900^\circ\text{C}$ 。由于柴油机的压缩比大,膨胀过程充分,膨胀终了时,汽缸内的压力和温度都低于汽油机,压力为 $0.2 \sim 0.5 \text{ MPa}$,温度为 $700 \sim 900^\circ\text{C}$,如图1-5c)所示。