

港口内燃机

龚齐清 主编

大连海运学院出版社

港口内燃机

龚齐清 主编
崔心存 主审

大连海运学院出版社

(辽)新登字 11 号

内 容 提 要

本书根据交通工业系统“管、用、养、修”人才的需要,重点介绍起重运输、工程和汽车所用内燃机的构造,系统阐述内燃机的性能和故障分析。全书共分十三章,主要内容有内燃机工作原理、内燃机构造、内燃机特性、内燃机排放与噪声控制、柴油机废气涡轮增压、内燃机故障分析等。

本书为交通部高等院校港口起重运输机械、工程机械及相近专业的试用教材,亦可供从事内燃机使用维修管理工作的工程技术人员参考。

港 口 内 燃 机

龚齐清 主编

崔心存 主审

大连海运学院出版社出版(大连凌水桥)

大连海运学院出版社发行

大连海运学院出版社印刷厂印装

责任编辑:陈景杰 封面设计:王 艳

开本:787×1092 1/16 印张:18.75 字数:456 千

1992 年 10 月第 1 版 1992 年 10 月第 1 次印刷

印数:0001—1900 定价:4.85 元

ISBN7-5632-0382-6/U·64

前 言

《港口内燃机》是按照 1990 年 5 月在武汉召开的全国交通系统院校港口机械专业教材协作组会议的编写计划编写的。

本书编写原则是根据交通工业系统管用养修人才需要的特点,加强基础,拓宽学生专业知识,密切理论与实践的联系,兼顾本、专科的培养目标,汽油机和柴油机并重,并以内燃机构造为重点,对内燃机性能、调试及故障分析作了较系统的阐述。本书按 70 学时编写。

本书采用“中华人民共和国法定计量单位”。内燃机名词术语与 GB1883-89 一致。

本书由武汉水运工程学院龚齐清(第五、九、十三章)、冯春晃(第八、十二、十三章);上海海运学院程永康(第一、六、七、十章);南京航务工程专科学校陈培陵(第四、十一、十三章)、钱冀平(第二、三章)参加编写。由龚齐清主编。

全书由华中理工大学内燃机教研室崔心存教授审稿,提出了大量宝贵的意见。全书的插图由肖国平、秦安坚绘制。对此深表感谢。

限于编者的水平,书中的不足和错误之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

1991 年 9 月

本书引用的内燃机主要符号及代表意义

d ——气缸直径	θ_{fj} ——喷油提前角(喷油定时)
S ——活塞行程	$\Delta\theta_{fj}$ ——喷油持续角
i ——气缸数	θ_m ——排气提前角
τ ——冲程数	θ_d ——排气迟后角
A ——活塞面积	$\Delta\theta_e$ ——排气持续角
λ ——曲柄连杆比	θ ——曲轴转角
V_i ——气缸工作容积(活塞排量)	Φ_r ——残余废气系数
V_{ca} ——气缸余隙容积(燃烧室总容积,压缩室容积)	n_1 ——压缩多变指数
V_t ——气缸最大容积	n_2 ——膨胀多变指数
V_e ——气缸有效容积	Φ_n ——转速储备系数
V_H ——内燃机排量	Φ_P ——功率储备系数
ϵ ——压缩比(几何压缩比)	$\Phi_{\tau q}$ ——扭矩储备系数
ϵ_e ——有效压缩比	Φ_{aq} ——适应性系数
Φ_c ——充量系数(充气效率,容积效率)	P ——功率
α ——空燃比(燃烧空燃比)	P_i ——指示功率
Φ_m ——过量空气系数(燃烧过量空气系数,空燃当量比)	P_e ——有效功率
$t_d(T_d)$ ——进气温度	P_{max} ——最大功率
p_d ——进气压力	P_m ——机械损失功率
p_c ——压缩压力	$T_{\tau q}$ ——扭矩
p_{ca} ——压缩始点压力	$T_{\tau qmax}$ ——最大扭矩
$t_{ca}(T_{ca})$ ——压缩始点温度	b_i ——指示油耗率
p_{ce} ——压缩终点压力	b ——燃油消耗率
$t_{ce}(T_{ce})$ ——压缩终点温度	b_{min} ——最低燃油消耗率
p_{max} ——最高燃烧压力	B ——燃油消耗量
$t_{max}(T_{max})$ ——最高燃烧温度	η_u ——指示热效率
p_r ——排气压力	η_e ——有效热效率
$t_r(T_r)$ ——排气温度	η_m ——机械效率
p_b ——增压压力	η_{ts} ——增压器效率
$t_b(T_b)$ ——增压器出口温度	n ——曲轴转速
p_a ——环境压力	n_s ——起动转速
$t_a(T_a)$ ——环境温度	$n_{\tau q}$ ——最大扭矩转速
p_{mi} ——平均指示压力	n_{ts} ——增压器转速
p_{me} ——平均有效压力	$f \cdot \Delta t$ ——时面值
p_{mm} ——平均机械损失压力	h_v ——气门升程
θ_{ia} ——进气提前角	Ω ——涡流比
θ_{id} ——进气迟后角	$\tau_i(\theta_i)$ ——滞燃期
$\Delta\theta_i$ ——进气持续角	λ_p ——压力升高率
θ_{ig} ——点火提前角(点火定时)	H_u ——燃料低热值
θ_{if} ——供油提前角(供油定时)	V_m ——活塞平均速度
	π_b ——增压比

目 录

第一章 内燃机基本工作原理.....	(1)
第一节 概述.....	(1)
第二节 四冲程内燃机工作原理.....	(3)
第三节 二冲程内燃机工作原理	(10)
第四节 内燃机主要性能指标	(12)
第五节 内燃机的循环	(17)
第六节 内燃机总体构造	(22)
第七节 内燃机的分类术语和型号编制	(26)
复习思考题	(28)
第二章 曲柄连杆机构	(29)
第一节 概述	(29)
第二节 固定件组	(31)
第三节 活塞连杆组	(37)
第四节 曲轴飞轮组	(53)
复习思考题	(62)
第三章 内燃机换气过程和配气机构	(63)
第一节 概述	(63)
第二节 四种程内燃机的换气过程	(63)
第三节 内燃机的充气效率	(69)
第四节 配气机构的组成及其布置	(76)
第五节 配气机构的主要零部件	(80)
第六节 配气机构的检查与调整	(90)
复习思考题	(92)
第四章 汽油机供给系	(94)
第一节 汽油机供给系的组成及汽油	(94)
第二节 汽油机中的燃烧和燃烧室	(96)
第三节 可燃混合气的成分及其对汽油机工作的影响.....	(103)
第四节 简单化油器及可燃混合气的形成.....	(106)
第五节 化油器的工作原理.....	(107)
第六节 化油器的构造.....	(115)
第七节 汽油机供给系的辅助装置.....	(122)
第八节 汽油喷射技术.....	(128)
复习思考题.....	(131)
第五章 柴油机燃料供给系.....	(133)

第一节	柴油机燃料供给系的组成和柴油	(133)
第二节	柴油机可燃混合气的形成与燃烧	(135)
第三节	喷油器	(144)
第四节	喷油泵	(146)
第五节	调速器	(154)
第六节	柴油机燃料供给系的辅助装置	(164)
第七节	转子分配式喷油泵	(166)
第八节	PT 燃料供给系	(168)
第九节	柴油机燃料供给系的调试	(175)
	复习思考题	(179)
第六章	内燃机冷却系	(180)
第一节	冷却系的功用与冷却方式	(180)
第二节	水冷系	(181)
第三节	风冷系	(186)
	复习思考题	(187)
第七章	内燃机润滑系	(188)
第一节	润滑系的功用与润滑方式	(188)
第二节	润滑油	(189)
第三节	润滑油路	(190)
第四节	润滑系的主要部件	(193)
第五节	曲轴箱通风	(197)
	复习思考题	(197)
第八章	汽油机点火系	(198)
第一节	蓄电池点火系工作原理	(198)
第二节	蓄电池点火系元件	(201)
第三节	晶体管点火系	(211)
第四节	电源	(213)
第五节	磁电机点火系	(219)
	复习思考题	(221)
第九章	内燃机起动系	(222)
第一节	内燃机的起动条件和起动方式	(222)
第二节	电动机起动	(223)
第三节	柴油机起动辅助装置	(227)
	复习思考题	(229)
第十章	柴油机废气涡轮增压	(230)
第一节	概述	(230)
第二节	废气涡轮增压器	(231)
第三节	废气涡轮增压器与柴油机的配合	(237)
	复习思考题	(246)

第十一章 内燃机的排放与噪声控制.....	(247)
第一节 概述.....	(247)
第二节 汽油机的排放控制.....	(252)
第三节 柴油机的排放控制.....	(257)
第四节 内燃机的噪声控制.....	(258)
复习思考题.....	(259)
第十二章 内燃机的特性.....	(261)
第一节 概述.....	(261)
第二节 内燃机的调整特性.....	(262)
第三节 柴油机的特性.....	(266)
第四节 汽油机的特性.....	(271)
第五节 内燃机的功率标定.....	(273)
第六节 内燃机试验.....	(274)
复习思考题.....	(279)
第十三章 内燃机故障分析.....	(281)
第一节 柴油机故障分析.....	(281)
第二节 汽油机油、电路故障分析	(284)
复习思考题.....	(289)
主要参考文献.....	(290)

第一章 内燃机基本工作原理

第一节 概 述

一、内燃机的特点

内燃机是一种燃料在发动机气缸内燃烧的热力发动机,其特点是液体或气体燃料和空气混合后直接输入发动机气缸内燃烧,将燃料的化学能经过燃烧过程转换为热能,然后通过一定的机构再将热能转换成机械能输出,作为其它工作机械的动力。因此,内燃机是一种用以进行能量转换的机器。

内燃机具有体积小、质量轻、机动性能好、热效率高、转速和功率范围广、配套方便、使用经济性好、起动容易、操作简单及运行安全等特点,而被广泛应用于许多部门和领域,是交通运输、工程机械、农业机械等的主要动力装置。

内燃机包括活塞式内燃机、燃气轮机和喷气式发动机等,其中尤以活塞在发动机气缸内作往复直线运动的往复活塞式内燃机应用范围最广,因此通常又将往复活塞式内燃机简称为内燃机。本书仅介绍往复活塞式内燃机的构造、原理以及使用维护等。

二、内燃机在港口起重运输机械中的应用

港口是水陆交通运输的枢纽,是各种货物的集散地,在整个国民经济中占有很重要的地位。港口集散的货物种类繁多,运量悬殊,运输工具型式差异很大,因此必须采用各种不同形式的机械对货物进行装卸、搬运。港口起重运输机械就是用来对船舶和车辆(铁路车辆、汽车)的货物进行装卸,对货场内、仓库内、船舱内、车辆内的货物进行堆码、拆垛和转运等作业的机械。港口上,这类机械有轮胎式起重机、装卸搬运车辆中的叉车、搬运车、牵引车、跨运车、单斗车等。随着国际集装箱运输的迅速兴起,出现了专门用于集装箱装卸搬运的集装箱叉车、集装箱跨运车及集装箱牵引车等。利用这些机械对煤炭、木材、矿石、建筑材料、集装箱等各类货物进行装卸、搬运,极大地减轻了装卸工人的劳动强度,提高了装卸效率和搬运速度,缩短了船舶和车辆在港停留时间,降低了装卸和运输成本,因而港口广泛使用各种类型的起重运输机械。同时,港口上还大量使用拖轮、浮式起重船、交通艇、渡轮等运输工具。以上所述的港口起重运输机械、水上运输工具都应用内燃机作为动力装置。

三、内燃机的一般构造

内燃机根据使用的燃料不同,可分为汽油机、柴油机和煤气机。

单缸汽油机的基本结构如图 1-1 所示。

从外形看,单缸汽油机有气缸盖 2、气缸 4、曲轴箱 14 等固定机件构成汽油机主体。许多运动机构和辅助装置都安装在它们的内部和周围。

气缸内装有活塞 5,活塞通过活塞销 8、连杆 10 与曲轴 12 相联接。活塞在气缸内作往复直线运动,通过连杆推动曲轴作旋转运动。曲轴的一端装有飞轮 11,用来帮助活塞越过运动的止点。曲轴的轴颈装在曲轴箱的轴承内。为了吸入新鲜气体和排出废气,在气缸盖上设有进气管 20、进气门 21 和排气管 19、排气门 22,组成进、排气系统。进气管上装有化油器 23,构成化油器式供油系,汽油在化油器中与进入进气管的空气混合组成可燃混合气。当进气门

打开,活塞下行时,化油器中的可燃混合气被吸入气缸。近年来,汽油机也采用汽油喷射式供油系,即将汽油直接喷入气缸和汽油喷入进气管。由于不用化油器,使可燃混合气形成的条件得到改善,克服了化油器式供油系混合气的配比不合理所造成的排放物 HC、CO 和碳烟的含量高、经济性差的弱点。当活塞上行时,对气缸内的可燃混合气进行压缩,待活塞处于压缩上止点附近时,装在气缸盖上的火花塞 1 点燃可燃混合气,使可燃混合气燃烧作功。燃烧后的废气经排气门、排气管排出。进气门和排气门的定时开启和关闭,由曲轴正时齿轮 16 和凸轮轴正时齿轮 17 及凸轮轴 18 上的凸轮控制。

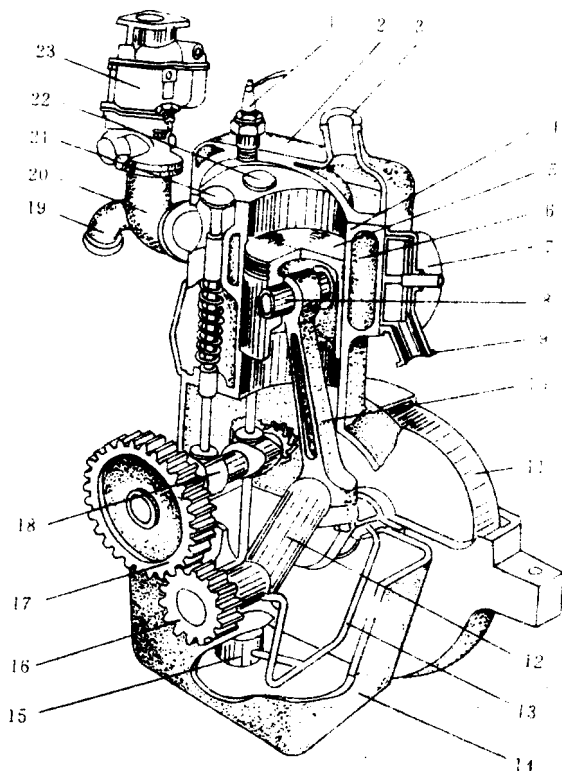


图 1-1 单缸汽油机构造简图

1-火花塞;2-气缸盖;3-出水口;4-气缸;5-活塞;6-水套;7-水泵;8-活塞销;9-进水口;10-连杆;11-飞轮;12-曲轴;13-机油管;14-曲轴箱;15-机油泵;16-曲轴正时齿轮;17-凸轮轴正时齿轮;18-凸轮轴;19-排气管;20-进气管;21-进气门;22-排气门;23-化油器

柴油机的基本结构与汽油机的基本结构大致相同,不同的是柴油机没有点火装置,燃料供给系统及供油方式也不同。如图 1-2 所示,单缸柴油机气缸盖上装有高压油管 3 和喷油器 2。柴油通过喷油泵 1 由低压油转变为高压油,然后由高压油管经喷油器定时、定量和定压地向燃料室内喷入雾状的柴油,使其

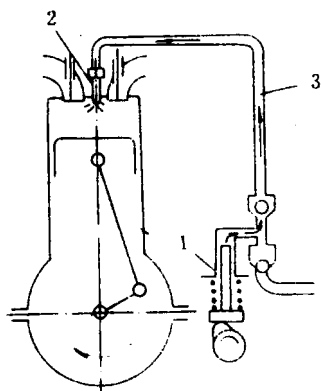


图 1-2 单缸柴油机基本结构示意图

1-喷油泵;2-喷油器;3-高压油管

与压缩后的高温空气相混合,形成可燃混合气,然后在一定的温度下自行着火燃烧。燃烧后的废气同样经排气管排出。

四、内燃机的基本术语

图 1-3 为内燃机工作简图,图中 a)、b) 分别表示活塞在气缸内作往复运动时的两个极限位置。

中华人民共和国国家标准(GB1883-89)“往复式内燃机术语”,规定内燃机的基本术语如下:

1. 气缸直径(符号 d): 气缸内孔的直径。
2. 止点(符号 DC): 活塞往复运动时,其顶面从一个方向转为相反方向的转变点的位置。

(1) 上止点(符号 TDC): 活塞顶面离曲轴中心线最远时的止点。

(2) 下止点(符号 BDC): 活塞顶面离曲轴中心线最近时的止点。

3. 活塞行程(符号 S): 活塞运行的上、下两个止点之间的距离。

4. 活塞面积(符号 A):以活塞名义直径(即缸径)为直径的圆面积。

5. 曲柄半径:从曲轴主轴颈中心线到连杆轴颈中心线的垂直距离。

6. 气缸工作容积(活塞排量,符号 V_h):一个气缸中活塞运动一个行程所扫过的容积,即活塞面积与行程的乘积。

7. 气缸余隙容积(燃烧室总容积、压缩室容积,符号 V_c):活塞在上止点时的气缸容积。它是气缸的最小容积。

8. 气缸最大容积(符号 V_l):活塞在下止点时气缸的容积。它是气缸工作容积与余隙容积之和。

9. 内燃机排量(符号 V_H):一台内燃机全部气缸工作容积的总和。

10. 压缩比(几何压缩比,符号 ϵ_c):气缸最大容积与余隙容积的比值。它表示气缸中的气体被压缩后体积缩小的倍数,即被压缩的程度,对内燃机的性能有重要影响。

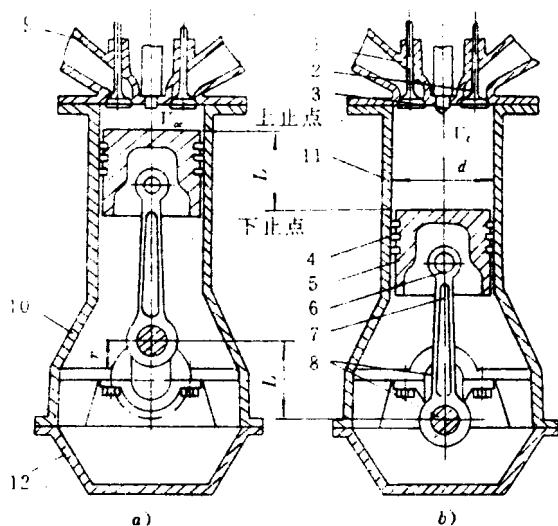


图 1-3 内燃机工作简图

a) 活塞在上止点; b) 活塞在下止点; 1-进气门; 2-排气门; 3-喷嘴; 4-气缸; 5-活塞; 6-活塞销; 7-连杆; 8-曲轴; 9-气缸盖; 10-气缸体; 11-气缸套; 12-油底壳

第二节 四冲程内燃机工作原理

四冲程内燃机是活塞经过四个行程(进气行程、压缩行程、作功行程和排气行程)完成一个工作循环的内燃机。

图 1-4 所示为四冲程内燃机工作循环。

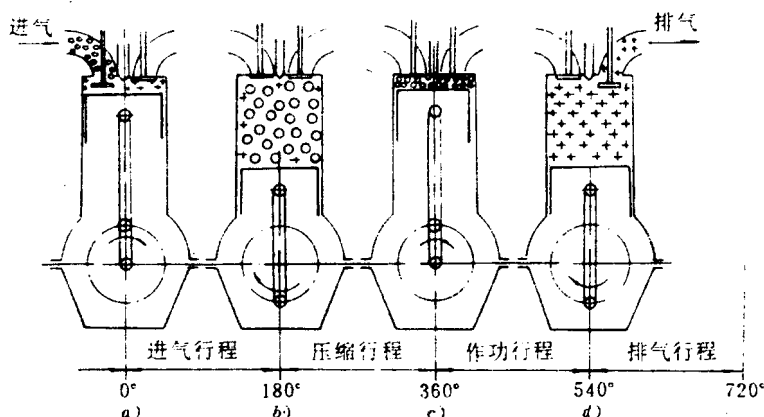


图 1-4 四冲程内燃机工作循环示意图

进气行程 活塞由上止点移动到下止点,即曲轴的曲柄由 0° 转到 180° (活塞位于此行行程上止点时,曲轴的曲柄位置定为 0°)。该行程中,进气门打开,新鲜气体被吸入气缸。

压缩行程 活塞由下止点移动到上止点,即曲柄由 180° 转到 360° 。该行程中,气缸内的气体被压缩。

做功行程 活塞再由上止点移动到下止点,即曲柄由 360° 转到 540° 。该行程中,燃气膨胀做功。

排气行程 活塞再由下止点移动到上止点,即曲柄由 540° 转到 720° 。该行程中,排气门打开,燃烧后的废气经排气门排出气缸。

一、四冲程汽油机工作原理

四冲程内燃机由进气、压缩、做功和排气四个行程组成了一个工作循环,但在内燃机的工作循环分析研究中,常对其工作过程进行探讨。现对四冲程汽油机的工作过程进行阐述,并以此来说明其工作原理。

四冲程汽油机工作过程包括进气过程、压缩过程、做功过程(燃烧-膨胀过程)和排气过程。

图 1-5 所示为四冲程汽油机工作过程示意图

1. 进气过程[见图 1-5a)]

进气门在上止点前开始打开,当活塞由上止点下行时,活塞上方的气缸容积增大,而使气缸内的压力很快低于大气压力而形成真空,空气和汽油在气缸外部的化油器中进行混合,形成可燃混合气,然后经进气门被吸入气缸。进气门在上止点前就开始开启是为了获得较多的充气量,因为当活塞到达上止点,进气门和进气门座之间已有一定的流通面积,这样使进气门开启的时间-截面值增加。由于进气系统的阻力而使进气终了时气缸内气体压力约为 $0.07\sim 0.09\text{MPa}$ 。被吸入气缸内的气体因与气缸壁、活塞顶、进气道等高温零件表面接触并与前一工作循环留下的高温残余废气混合而使温度升高到 $370\sim 400\text{K}$ 左右。

当活塞到达下止点时,气体还具有较大的流动惯性继续向气缸内充气,为了充分利用气体流动的动量,使更多的气体充入气缸,进气门在下止点之后才关闭。

2. 压缩过程[见图 1-5b)]

压缩过程是由进气门关闭到活塞移动,到上止点(称为压缩上止点)为止。进气门关闭之后,随着活塞向上移动,气缸内可燃混合气被压缩,其容积缩小,使可燃混合气的压力和温度上升,在该过程中,汽油加速汽化,在点燃之前全部汽化完毕,并与空气组成比较均匀的混合气。由于汽油的理化特性所决定及采用外源点火的缘故,所以汽油机的压缩比 ϵ_c 较低,从而使压缩终了的压力较低,大约为 $0.8\sim 1.4\text{MPa}$,温度约为 $600\sim 700\text{K}$ 。

3. 做功过程[见图 1-5c)]

在压缩上止点前 $10^\circ\sim 15^\circ$ 曲轴转角(符号 CA)时,装在气缸盖上的火花塞跳火点燃混合

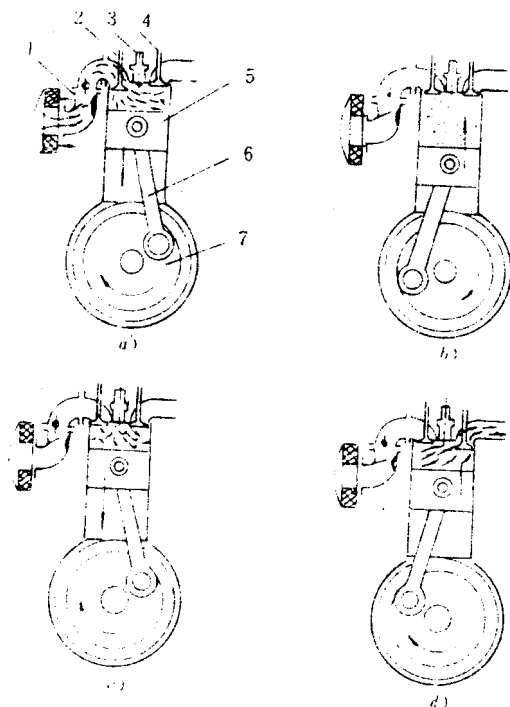


图 1-5 四冲程汽油机工作过程示意图
a) 进气过程; b) 压缩过程; c) 做功过程; d) 排气过程;
1-化油器喉管; 2-进气门; 3-火花塞; 4-排气门;
5-活塞; 6-连杆; 7-曲轴

气,形成火焰中心,由于汽油机混合气比较均匀,所以燃烧速度高,接近定容加热过程。混合气被燃烧后,放出大量的热能,使气缸内的压力和温度急剧升高。在活塞运动到上止点之后,气缸内气体达到最高燃烧压力,其数值约为 $3\sim 5\text{MPa}$,其最高燃烧温度约达 $2200\sim 2700\text{K}$ 。

活塞到达压缩上止点时,随着曲轴的旋转,活塞下移,燃气开始膨胀做功。在气缸内气体达到最高燃烧压力时,还有少部分燃料在膨胀过程中燃烧,这种燃烧现象称为后燃。随着燃气膨胀过程的进行,高温高压的燃气推动活塞从上止点向下止点运动,通过连杆使曲轴旋转并输出机械功。输出的机械功除了用于维持汽油机本身继续运转而外,其余的用于对外做功,带动工作机械。这时,气缸内的气体压力和温度不断下降,在排气门开启时,气体压力约为 0.4MPa ,温度约为 $1200\sim 1500\text{K}$ 。燃气膨胀过程从上止点开始到排气门开始开启为止。

4. 排气过程〔见图 1-5d〕〕

混合气燃烧后生成的废气,必须从气缸内排除,以便进行下一个工作循环。当膨胀过程接近终了时,排气门在活塞到达排气下止点前提前开启,以增加排气门开启的时间-截面积,使气缸内压力仍然较高的废气进行自由排气,减小排气过程消耗的负功。随着曲轴的旋转,活塞到达下止点再向上止点移动时,继续将废气强制排到大气中。在排气过程中,气缸内的气体压力大于外界大气和排气管中的压力。由于活塞到达排气上止点时废气还存在流动惯性,为了利用气体流动的惯性将留在燃烧室的残余废气排出一部分,排气门在上止点之后才关闭。汽油机排气终了的压力约为 $0.105\sim 0.12\text{MPa}$,温度约为 $800\sim 1100\text{K}$ 。

二、四冲程柴油机工作原理

四冲程柴油机和汽油机一样,其工作过程也由进气、压缩、做功和排气过程所组成(图 1-6)。但由于柴油机所用的燃料是柴油,其粘度比汽油大,不易蒸发,而其自燃温度却较汽油低,因此柴油机可燃混合气的形成及着火方式都与汽油机不同。

1. 进气过程〔见图 1-6a〕〕

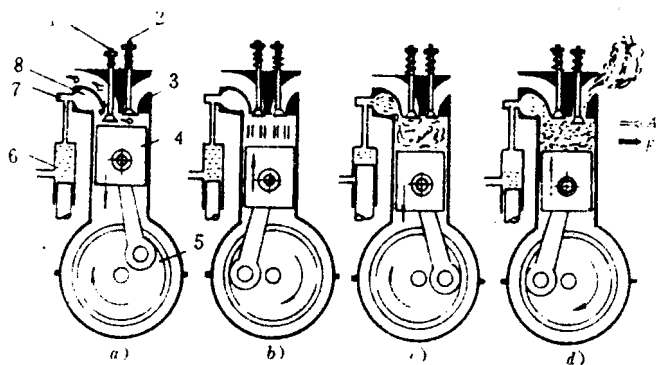


图 1-6 四冲程柴油机工作过程示意图

a) 进气过程; b) 压缩过程; c) 做功过程; d) 排气过程

1-进气门; 2-排气门; 3-气缸盖; 4-活塞; 5-曲轴;

6-喷油泵; 7-喷油器; 8-燃烧室; A-进气; E-排气

2. 压缩过程〔见图 1-6b〕〕

进气门关闭之后,气缸内的空气被压缩,使空气的压力和温度升高。为了使喷入气缸的柴油能迅速自行着火燃烧,柴油机都具有较大的压缩比,以便使压缩终了时气缸内空气的温度比柴油的自燃温度(约为 600K)高出 $200\sim 300\text{K}$,保证气缸内燃烧过程的正常进行。

进气过程是由进气门开始开启到进气门关闭为止。为了获得较多的充气量,活塞到达上止点前进气门就开始开启。与汽油机在进气过程被吸入气缸内的可燃混合气不同的是:柴油机被吸入的是纯空气。为了充分利用气体流动的惯性,使更多的空气充入气缸,进气门在下止点之后才关闭。柴油机进气终了压力约为 $0.08\sim 0.095\text{MPa}$,温度为 $300\sim 340\text{K}$ 左右。

通常,柴油机压缩终了的压力达 $3\sim 5\text{MPa}$,压缩终了温度约达 $750\sim 950\text{K}$ 。

3. 作功过程〔见图 1-6c〕

在活塞到达压缩上止点前 $10^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{CA}$ 时,柴油在 $10\sim 20\text{MPa}$ 的高压作用下,由喷油器喷入燃烧室,并与运动着的受活塞压缩的空气迅速混合,组成可燃混合气,在高温作用下经过一系列物理—化学反应形成火焰中心而自行着火燃烧。火焰从着火中心向尚未燃烧的可燃混合气传播,使之迅速燃烧,其时燃烧室内的压力和温度急剧升高,燃气的最高燃烧压力可达 $6\sim 9\text{MPa}$,最高燃烧温度达 $1800\sim 2200\text{K}$ 。由于柴油机气缸内形成的可燃混合气不太均匀,尚有少量柴油没有燃烧,而将在膨胀过程中继续混合燃烧。但是,如果后燃时间较长,说明混合气形成质量较差,或燃烧组织不佳,或者是喷油时刻偏差太大,使气缸内燃气膨胀终了温度偏高,排气温度增高,柴油机过热,热效率下降,经济性变差。

随着燃气膨胀作功的进行,气缸内的气体压力和温度下降,在排气门开启时,气缸内的压力约为 0.5MPa ,到下止点时约为 0.3MPa ,温度约为 $1000\sim 1200\text{K}$ 。

4. 排气过程〔见图 1-6d〕

排气门在排气下止点前开启,在上止点后关闭。气缸内燃烧后的废气,随着活塞上行而被排出气缸。排气上止点压力约为 $0.105\sim 0.12\text{MPa}$,排气温度约为 $700\sim 900\text{K}$ 。

三、四冲程增压柴油机工作原理

所谓增压就是提高内燃机进气的压力,即增加充气量密度而提高其功率的技术。

四冲程柴油机采用增压技术的目的,在于增加每工作循环进入气缸内的空气量,由此可以相应增加每工作循环柴油的供给量,使每工作循环作功的能力增强,柴油机的输出功率增加。一般,四冲程增压柴油机的功率可比非增压柴油机增大 30% 以上;并且单位千瓦的柴油机质量及所占体积减小,同时,燃料消耗率降低。当然,汽油机同样也能够采用增压技术以提高其输出功率。但是,由于结构及燃料的限制,汽油机增压后,将因压缩和燃烧时混合气的温度和压力增加,使爆燃(汽油机的一种不正常的燃烧现象,对汽油机工作不利)倾向增大;汽油机热负荷增加,特别对排气门和火花塞更为严重;另外,由于进气系统和燃料供给系统布置上的困难等原因,汽油机增压目前尚未大量被采用。因此,本书中,我们主要介绍柴油机增压,特别是四冲程柴油机增压。

四冲程增压柴油机的工作原理基本上和四种程非增压柴油机相同。主要差异在于气缸内的新鲜空气不是直接从大气中吸入,而是利用专门设置的压气机(称为增压器)把来自大气中的空气预先进行压缩,在高于大气压力的情况下把空气压入气缸。根据带动增压器方式的不同,组成各类不同的增压系统。四冲程增压柴油机主要有机械增压(增压器由柴油机输出的动力来驱动)和废气涡轮增压(增压器是利用柴油机排出的废气所具有的能量推动废气涡轮,并由废气涡轮输出的动力来驱动的)两种基本形式。目前,港口起重运输机械、工程机械、汽车、水上交通工具等用途的柴油机广泛采用四冲程废气涡轮增压。

图 1-7 为四冲程废气涡轮增压柴油机的示意图。

从图 1-7 中可以看出,除了柴油机本体外,还装有废气涡轮增压器。废气涡轮增压器由一个离心式压气机 2 及一个废气涡轮机 8 组成。压气机与涡轮机一般都在同一根轴上,因此压气机和涡轮机一起同速旋转。涡轮机是利用柴油机排出的废气来作功的,它输出的机械功就用来驱动压气机压缩来自大气的空气,籍以完成增压的任务。

新鲜空气经压气机进气管 1 吸入压气机,空气在压气机中被压缩到 $0.13\sim 0.3\text{MPa}$ 或

更高些。在此压力下,空气经过中间冷却器 11 冷却后再经过进气门 4 进入柴油机气缸(当增压压力较低时则不用中间冷却器)。四种程增压柴油机的进气、压缩、作功三个过程与非增压的相同。

在排气过程中,废气从排气门 6 排入柴油机排气管 7,然后进入涡轮机的喷嘴,废气经过喷嘴后推动涡轮机旋转,同时带动压气机作功。废气推动涡轮机后经涡轮机排气管 9 排入大气。

有些增压压力较高的柴油机为了降低热负荷及获得更多的充气量,在压气机出口处装有冷却器,对压缩空气进行中间冷却,以降低进气温度,提高压缩空气的密度。

柴油机增压后,其机械负荷和热负荷都有所增加;排气管、进气管等的结构也要作相应的改变。

四、内燃机示功图

内燃机示功图,即是气缸内工质的压力随曲轴转角或气缸容积变化的图形,简称 $p-\theta$ 图或 $p-V$ 图。

内燃机的工作循环用展开式示功图(即 $p-\theta$ 图)来表示特别清楚。这种示功图是利用示功器记录下来的在不同曲轴转角时的气缸内工质压力获得的,是研究内燃机工作过程的重要实验依据。

图 1-8 为四冲程柴油机的展开式示功图。

由图 1-8 上可以看出:

1. 四冲程内燃机的工作循环是在 720°CA 内即曲轴旋转两周后完成的。这期间活塞在上、下止点间往复移动了四个行程。

2. 工作循环中的四个行程,只有作功行程向外提供机械功,其余三个行程则是作功的准备行程。完成这些准备行程需要消耗能量,因此,在单缸内燃机中,完成这些准备行程所需的能量由储存在飞轮中的动能来供给。显然,作功行程中内燃机的转速将大于其他三个行程中内燃机的转速,所以单缸内燃机的工作是不平稳的,同时又因单缸内燃机活塞作往复运动所引起的惯性力难以平衡,故此港口起重运输机械、工程机械、汽车用内燃机大多使用两缸以上的内燃机——多缸内燃机,其中用得最多的是四缸、六缸和八缸内燃机。在多缸内燃机上,完成上述三个准备行程所需的能量是由其他气缸的作功行程来提供的。

内燃机另一种示功图即 $p-V$ 图是以气缸内工质压力 p 为纵坐标,气缸容积 V 为横坐标绘制的示功图,它表示在每个工作循环中活塞所作的指示功。在四冲程内燃机的工作循环中,活塞由上止点向下止点移动时,设它所作的功为正功;活塞由下止点向上止点移动时,则为负功。内燃机工作过程曲线所包围的面积,就表示该工作过程中活塞所作的功的大小(可用求积仪测出)。

图 1-9 为四冲程汽油机 $p-V$ 示功图

图 1-10 为四冲程柴油机 $p-V$ 示功图。

图 1-11 为四冲程增压柴油机示功图。

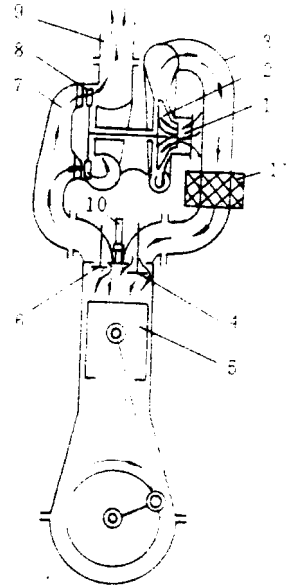


图 1-7 四冲程废气涡轮增压柴油机示意图

1-压气机进气管;2-压气机;3-柴油机进气管;4-进气门;5-活塞;6-排气门;7-柴油机排气管;8-涡轮机;9-涡轮机排气管;10-喷嘴;11-中间冷却器

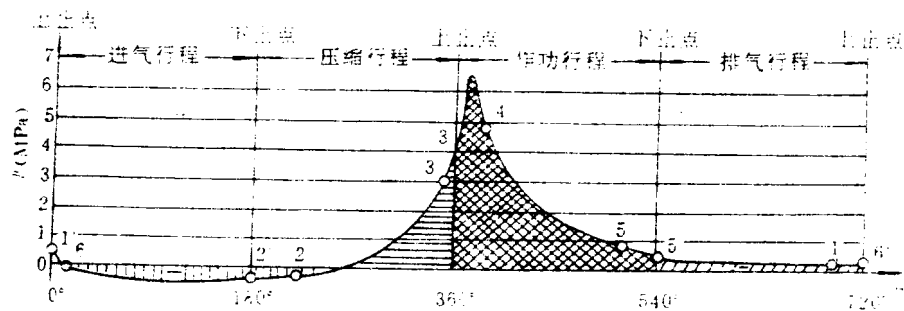


图 1-8 四冲程柴油机的展开式示功图

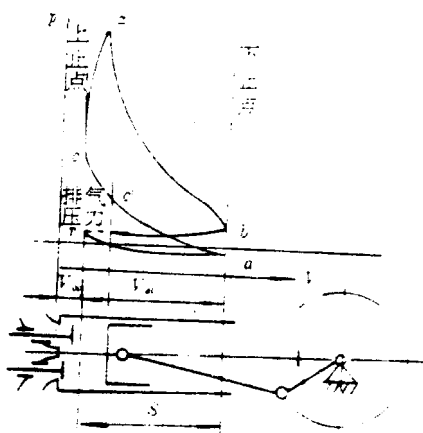


图 1-9 四冲程单缸汽油机示功图

ra-进气压力曲线; ac'-压缩压力曲线; czb-膨胀压力曲线; br-排气压力曲线; c'-点火点

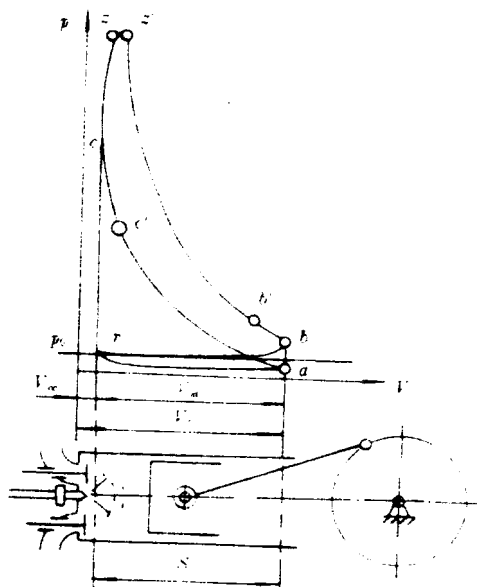


图 1-10 四冲程单缸柴油机示功图

ra-进气压力曲线; ac'-压缩压力曲线; czb-膨胀压力曲线; br-排气压力曲线; c'-喷油点

四冲程内燃机示功图中特征点的压力和温度如表 1-1 所示。

四冲程内燃机示功图特征点的热力参数

表 1-1

示功图特征点		进气行程终点 a	压缩行程终点 c	最高燃烧压力点 z	膨胀行程终点 b	排气行程终点 r
汽油机	p/MPa	0.075~0.09	0.8~1.4	3~5	0.4~0.5	0.105~0.12
	T/K	370~400	600~700	2200~2700	1200~1500	800~1100
柴油机	p/MPa	0.08~0.095	3~5	6~9	0.3~0.4	0.105~0.12
	T/K	350~400	750~950	1800~2200	1000~1200	700~900
增压柴油机	p/MPa	0.13~0.25	5~9	9~15	0.5~0.8	0.12~0.13
	T/K	320~450	1200~1400	2300~2600	1300~1500	1000~1100

五、汽油机和柴油机的不同点

对于四冲程内燃机来说,柴油机和汽油机的基本结构没有差别。下面把柴油机和汽油机作一比较,分析两者各自的一些特点。

表 1-2 为柴油机和汽油机的主要不同点。

汽油机和柴油机的主要不同点

表 1-2

	汽油机	柴油机
燃料	汽油,辛烷值高	轻柴油,十六烷值高
吸入的气体	空气和汽油的混合气	纯空气
燃料的供给	由化油器把空气和汽油以一定的比例混合(称为外部混合)。也有燃油直接喷射式的	用喷油泵将燃油以数百个大气压的压力经喷油器喷入(称为内部混合)
功率的调节	用化油器的节气门来增减吸入混合气的数量(称为量调节)	用喷油量调节(称为质调节)
着火	用高压电使火花塞跳火点燃气缸内混合气(称为点燃式)	燃油喷入后与空气混合经压缩升温而自燃(称为压燃式)
适合的缸径 大 小	因火焰必须在自燃前接触混合气,故缸径一般不超过 $\Phi 100\text{mm}$	因小缸径燃料喷射、燃烧困难,故缸径一般为 $\Phi 75 \sim 1000\text{mm}$

1. 在汽油机示功图(图 1-9)中,在 cz 段期间,燃料燃烧放出的热量,几乎是在气缸容积不变的情况下加热气体,被称为定容加热过程。汽油机的工作循环,称为定容加热循环(奥托循环)。在柴油机示功图(图 1-10)中,除了定容加热过程的 cz 段外,燃料燃烧所放出的热量还在 zz' 段期间,几乎是在最高燃烧压力不变的情况下加热气体,即存在着定压加热过程。因此,柴油机是混合加热过程,其工作循环称为混合加热循环(狄塞尔循环)。

2. 由于汽油机和柴油机采用燃料的不同,其理化性质的差别使两者混合气形成的方式存在不同点:汽油机因汽油易蒸发,且混合时间长(理论上占有进气、压缩两个行程),所以可燃混合气较为均匀;而柴油机是采用在压缩上止点前将柴油喷入燃烧室,使雾状柴油与经压缩的空气混合,所以可燃混合气形成不太均匀。

3. 柴油机压缩比较汽油机的大,燃气膨胀较为充分,热量利用程度较高,所以柴油机比汽油机省燃料。同时,柴油机燃料价格比汽油机低。因此,柴油机比汽油机的使用经济性要好。

4. 柴油机没有点火系统,比汽油机故障少,工作可靠,且保养容易。但柴油机中喷油泵

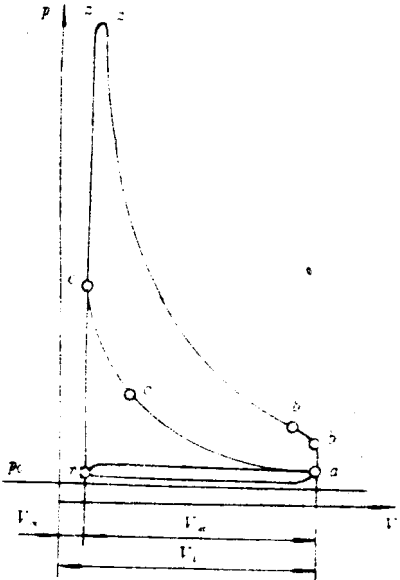


图 1-11 四冲程增压柴油机示功图