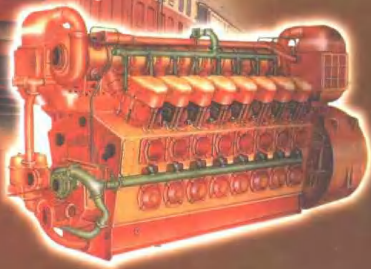




高等学校教材

车用柴油机

西南交通大学 李人宪 编



中国铁道出版社

高等学校教材

车用柴油机

西南交通大学 李人宪 编
北方交通大学 萨殊利 审

中国铁道出版社

1999年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书是铁道部高等学校“九五”重点教材,也是铁路高校机车车辆工程系列教材之一。

编者为了适应铁路高校教改的需要,考虑到当前专业课时大量压缩的形势,在本书的编写中将重点放在介绍柴油机的构造与原理上,同时,以机车柴油机为主,兼顾车辆和其他用途的柴油机。

书中内容主要包括:柴油机的基本工作原理和总体构造;柴油机的主要运动件和固定件;配气机构和进排气系统(含增压部分);燃料供给系统;柴油机辅助系统;柴油机工况及特性。书末的附录还简单介绍了国内外典型的机车柴油机的结构特点。

图书在版编目(CIP)数据

车用柴油机/李人宪编. —北京:中国铁道出版社,1999.9

高等学校教材

ISBN 7-113-03444-6

I. 车… II. 李… III. 柴油机, 车用-高等学校-教材 IV. TK42

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 33423 号

书 名: 车用柴油机

作 者: 西南交通大学 李人宪

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: 赵 静

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: 13 字数: 324 千

版 本: 1999年9月第1版 1999年9月第1次印刷

印 数: 1—3000册

书 号: ISBN 7-113-03444-6/TH·77

定 价: 17.10 元

版权所有 盗印必究

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。

前言

本书是铁道部高等学校“九五”重点教材,也是1999年6月铁道部机械类专业教学指导委员会会议审定的机车车辆工程系列教材中的一本。随着教育部1998年专业目录的颁布,专业数目比1993年原国家教委指导性专业目录所规定的专业数目减少一半,专业课时被大大压缩,原有的教材不一定适合新的专业设置的需要。因此,教学指导委员会决定新编部分教材,本书即为其中之一。

本书重点介绍机车柴油机的构造与原理,希望学生通过本书的学习能对柴油机的工作原理、基本结构、主要零部件的材料和工作状况以及运用中的常见故障有一个较全面的了解,力图使学生在知其然的基础上能知其所以然。本书虽重点介绍机车柴油机,但并不局限于机车柴油机,在篇幅允许的条件下,对其他用途的柴油机结构、零部件材料和工作原理也有所涉及,目的是便于学生分析比较。

全书共分为七章。第一章介绍柴油机的基本工作原理和总体构造;第二、第三章介绍柴油机的主要运动件和固定件,简要介绍了曲柄连杆机构运动学和动力学的基本原理及其平衡分析;第四章介绍配气机构和进排气系统,其中包括了增压部分;第五章介绍燃料供给系统,讲述燃料的输送、喷射,燃烧室和燃烧过程,以及自动调节供油量的调控装置;第六章介绍柴油机辅助系统;第七章讲述柴油机的工况及特性,其中简要介绍了当前引起人们普遍关注的柴油机排放性能,书末附录简单介绍了国内外典型机车柴油机的性能及结构特点。

本书由西南交通大学李人宪编写,北方交通大学萨殊利审阅。在编写过程中得到了西南交通大学内燃机教研室同仁的大力支持,谈荣望教授为本书的附录提供了大量的资料。西南交通大学的魏道远教授、俞文钦副教授,长沙铁道学院潘迪夫副教授、龙文亮副教授,大连铁道学院刘全林教授,兰州铁道学院赵文礼副教授等对本书提出了许多建设性意见,有些已在书中体现,有些限于资料不足尚未编入。在此,对他们的帮助深表感谢。本书的编写时间紧迫,调查研究不够,难免挂一漏万,可能有许多不足之处,希任课教师和读者不吝赐教。

编 者

1999年6月

目 录

第一章 柴油机的基本工作原理和总体构造	1
第一节 概 述.....	1
第二节 单缸柴油机工作原理.....	3
第三节 多缸柴油机工作原理.....	7
第四节 柴油机的总体构造	11
第五节 柴油机的主要性能指标和型号规则	14
第二章 曲柄连杆机构	17
第一节 曲柄连杆机构运动学和动力学	17
第二节 曲柄连杆机构的运动平衡性及曲轴扭转	22
第三节 活 塞 组	26
第四节 连 杆 组	36
第五节 曲 轴 组	43
第三章 主要固定件	53
第一节 机 体	53
第二节 气 缸 套	57
第三节 气 缸 盖	60
第四章 配气机构及进排气系统	65
第一节 配气机构	65
第二节 进排气系统	77
第三节 废气涡轮增压器	84
第四节 恒压增压与变压增压	95
第五章 燃料供给系统	98
第一节 柴油机燃料的主要性能	98
第二节 燃料供给系统的功用和组成.....	100
第三节 燃烧室及燃烧过程.....	105
第四节 燃料喷射装置.....	111
第五节 调控装置.....	122

第六章 润滑、冷却、起动系统.....	140
第一节 润滑系统与润滑油.....	140
第二节 润滑方式和润滑系统的组成.....	142
第三节 润滑系统主要零部件.....	146
第四节 冷却系统的作用及冷却方式.....	151
第五节 冷却系统的组成及其主要零部件.....	152
第六节 起动系统.....	159
第七章 柴油机的工况及特性.....	164
第一节 柴油机的工况.....	164
第二节 柴油机的特性.....	165
第三节 柴油机与废气涡轮增压器的配合特性.....	171
第四节 柴油机的排放性能.....	173
第五节 柴油机的功率修正.....	176
附 录.....	179
附录 1 国产机车柴油机简介.....	179
附录 2 国外典型柴油机简介.....	188
附录 3 国内外部分内燃机车柴油机技术参数和配车状况.....	199
附录 4 主要符号.....	199
参考文献.....	201

第一章 柴油机的基本工作原理和总体构造

第一节 概 述

一、什么是柴油机

将一种能量转变为机械能的机器称为发动机。按照转变能量的不同,发动机可以分为热力发动机、电力发动机、水力发动机、风力发动机和原子能发动机。

热力发动机将燃料燃烧而得到的热能转变为机械能。燃料在发动机外部燃烧的热力发动机叫做外燃机,它包括活塞式蒸汽机和蒸汽轮机;燃料在发动机内部燃烧的热力发动机叫做内燃机,它包括活塞式内燃机、燃气轮机、复合式发动机和喷气发动机等。

其中活塞式内燃机可分为活塞式汽油机与活塞式柴油机。前者以汽油作为燃料,后者以柴油作为燃料。因此,柴油机是一种以柴油为燃料,并在发动机内部燃烧的活塞式热力发动机。

二、柴油机的特点及用途

柴油机具有体积小、重量轻、机动性能好、功率和转速范围广、配套方便、造价较低廉、使用经济性好以及使用维修方便等优点,在动力机械中占有极为重要的地位。例如它的最高有效效率已达46%,而目前活塞式蒸汽机的有效效率约为16%,高参数蒸汽轮机约为35%,汽油机约为30%。柴油机的单机功率最小为1.1 kW,最大可达35280 kW,转速可以是每分钟几十转直至每分钟数千转。因此柴油机是机械排灌和中小型发电站的常用动力,在汽车、拖拉机、内燃机车、内河航运船舶和远洋巨轮中也有较多应用。它不仅是工业、农业、林业及各种繁重劳动过程机械化的强大动力基础,还是坦克、装甲车、海军舰艇和低速飞机的动力心脏。

三、柴油机的一般构造和基本工作情况

图1-1为单缸柴油机构造简图。圆柱形的活塞8装在圆筒形的气缸11内,可沿气缸中心线作往复运动。活塞通过活塞销9与连杆10的小头相连。连杆的大头滑动轴承装在曲轴12的曲柄销上。曲轴的两端支承在曲轴箱13的轴承上。所以,活塞作往复运动时就带动了曲轴作旋转运动。曲轴的尾端装有圆盘形飞轮14。气缸上部装有气缸盖4,使活塞的顶部与气缸盖的底面之间构成密闭的空间作为燃烧室。装在气缸盖上的进气阀7和排气阀6根据工作需要开启或关闭。

当柴油机工作时,首先由曲轴带动活塞自上向下运动,空

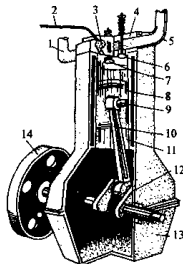


图1-1 单缸柴油机构造简图

- 1—进气管;2—进油管;3—燃烧室;
4—气缸盖;5—排气管;6—排气阀;
7—进气阀;8—活塞;9—活塞销;
10—连杆;11—气缸;12—曲轴;
13—曲轴箱;14—飞轮。

气经进气管1、进气阀7进入气缸内,当活塞接近最下端位置时,进气阀关闭。继之活塞反向上移,气缸内的空气受到活塞的压缩。随后柴油通过进油管2经喷油器喷入燃烧室,与被压缩的高温空气接触而着火燃烧。燃气膨胀产生的巨大推力推动活塞向下运动并通过连杆使曲轴旋转,从而对外输出扭矩做功。最后活塞由下向上移动,将膨胀后的废气排出气缸。至此,完成了一个工作循环。一个个工作循环的重复进行,使柴油机运转起来。

四、柴油机的基本名词术语

图1-2(a)和(b)分别表示曲轴转动时活塞在气缸内的两个极端位置。

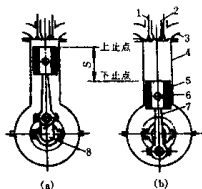


图1-2 柴油机工作简图
1—进气管;2—排气阀;3—排气管;
4—气缸;5—活塞;6—活塞销;
7—连杆;8—曲轴。

1. 活塞的止点与冲程

活塞在气缸内作往复运动的两个极端位置称为止点。活塞离曲轴旋转中心的最近位置称为上止点,离曲轴旋转中心的最近位置称为下止点。上、下止点之间的距离称为活塞冲程,简称冲程(又叫行程),通常用符号 S 表示。

曲轴每转动半圈(即 180°),相当于一个冲程。若用符号 R 表示曲柄半径(即由曲轴旋转中心到曲柄销中心的距离),则

$$S=2R$$

即活塞冲程等于两倍的曲柄半径长度。

2. 气缸容积

活塞在气缸内作往复运动的过程中,气缸内的工作容积是不断变化的。当活塞位于上止点位置时,活塞顶上面的气缸空间叫燃烧室,这个空间的容积称为燃烧室容积(也叫压缩容积),用符号 V_c 表示。

活塞从上止点移动到下止点所扫过的空间容积称为气缸工作容积,用符号 V_h 表示。

$$V_h = \frac{\pi}{4} D^2 S \quad (\text{m}^3)$$

式中 D ——气缸直径(m);

S ——活塞冲程(m)。

活塞位于下止点时,活塞顶上的全部气缸容积称为气缸总容积,用符号 V_a 表示。它等于燃烧室容积与气缸工作容积之和,即

$$V_a = V_c + V_h$$

多缸柴油机(指具有两个或两个以上气缸的柴油机)所有气缸工作容积的总和称为柴油机的排量(也叫做活塞总排量),用符号 V_H 表示。若气缸数为 i ,则

$$V_H = \frac{\pi}{4} D^2 S i \quad (\text{m}^3)$$

3. 压缩比

气缸总容积与燃烧室容积的比值称为压缩比,用符号 ϵ 表示,即

$$\epsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_c + V_h}{V_c} = 1 + \frac{V_h}{V_c}$$

压缩比表示了活塞从下止点移动到上止点时,气体在气缸内被压缩的程度。压缩比越大,表示气体在气缸内受压缩的程度就越大,压缩终点气体的压力和温度就越高。压缩比是柴油机的一个重要的结构参数。柴油机压缩比的范围一般为 $\epsilon=11\sim22$ 。

五、柴油机的分类

柴油机按照其工作循环、结构类型和用途等,大致分类如下:

1. 按工作循环的冲程数分类

柴油机的工作循环由进气、压缩、燃烧膨胀和排气四个工作过程组成。按照完成一个工作循环所需的冲程数可将柴油机分为两类:活塞连续运行四个冲程(即曲轴旋转两圈)完成一个工作循环的柴油机称为四冲程柴油机;活塞连续运行两个冲程(即曲轴旋转一圈)完成一个工作循环的柴油机称为二冲程柴油机。

2. 按气缸数目及其排列方式分类

按气缸数目可分为单缸柴油机和多缸柴油机两类。多缸柴油机的所有气缸中心线在同一垂直平面内的称为直列立式[图 1-3(a)];所有气缸中心线在同一水平面内的称为直列卧式[图 1-3(b)];而气缸中心线分别在两个平面内,并且两平面呈“V”型的称为 V 型[图 1-3(c)];当 V 型夹角为 180° 时,则称为对置式[图 1-3(d)]。此外,还有两排气缸平行排列的 H 型,三排气缸对角排列的 Δ 型,以及气缸中心线呈放射状排列的星型柴油机。机车柴油机和空调客车发电用柴油机绝大多数都采用 V 型或直列立式。

3. 按冷却方式分类

利用水作为冷却介质的称为水冷式柴油机;利用空气作为冷却介质的称为风冷式柴油机。

4. 按进气方式分类

柴油机上没有增压器,空气是靠活塞的抽吸作用进入气缸内的称为非增压式(或自然吸气式)柴油机。柴油机上装有增压器,空气通过增压器提高压力后进入气缸内的称为增压式柴油机。

5. 按用途分类

作为固定设备动力的柴油机称为固定式。转速固定不变是它的特点。例如发电站用及农用(抽水、脱粒等固定作业)柴油机均属于固定式柴油机。作为移动机械动力的柴油机称为移动式。如汽车拖拉机用、船用、工程机械用、内燃机车用及坦克用柴油机均属移动式柴油机。

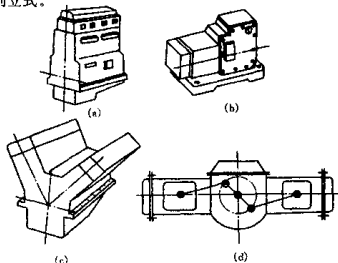


图 1-3 气缸排列形式

(a) 直列立式; (b) 直列卧式; (c) V 型; (d) 对置式。

第二节 单缸柴油机工作原理

一、四冲程柴油机工作原理

图 1-4 为单缸四冲程柴油机工作过程示意图。(a)、(b)、(c)、(d) 四个图形分别表示四个冲程在开始与终了时的活塞位置。

为分析工作循环中气缸内气体压力的变化情况,图 1-5 绘出了单缸四冲程柴油机气缸内气体压力 p 和相应于活塞不同位置的气缸容积 V 之间的变化关系曲线。曲线所围面积表示了柴油机在整个循环过程中气体在气缸内所作的功,故称为示功图。该图可用实验的方法测得。

下面对照图 1-4 和图 1-5 来说明单缸四冲程柴油机的工作过程。

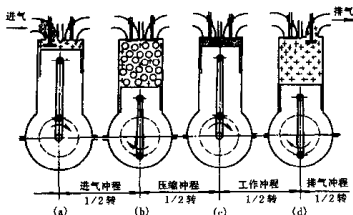


图 1-4 单缸四冲程柴油机工作过程示意图

空气进入气缸的过程中,由于空气滤清器、进气管和进气门处的阻力影响,进气终了时气缸内气体的压力 p_a 略低于大气压力 p_0 , p_a 约为 $80 \sim 95 \text{ kPa}$ 。另外,新鲜空气从高温的残余废气、燃烧室壁面和活塞顶等高温部件处吸收了热量,进气终了时气缸内气体的温度 T_a 会略高于环境温度,可达 $300 \sim 340 \text{ K}$ 。在示功图上 $r-a$ 线即表示进气冲程中气缸内气体压力随气缸容积变化的情况。由图中可以看出,进气冲程中气缸内气体压力基本保持不变。

2. 第二冲程——压缩冲程

活塞从下止点移动到上止点。这期间进排气门都关闭。压缩冲程中,曲轴在飞轮惯性作用下带动旋转,通过连杆带动活塞向上移动,气缸内气体容积逐渐减小,气体被压缩,其压力和温度随之升高。

为实现高温气体引燃柴油的目的,柴油机一般有较大的压缩比,使压缩终了时气缸内的气体温度 T_c 比柴油的自然温度(约 650 K)高出 $200 \sim 300 \text{ K}$,即 $T_c = 750 \sim 950 \text{ K}$,而压力 $p_c = 3 \sim 5 \text{ MPa}$ (图 1-5 中 c 点)。示功图上 $a-c'$ — c 线表示了压缩冲程中气缸容积与压力的变化情况。

为了充分利用燃料燃烧所产生的热能,希望柴油机的燃烧过程能够在活塞移动到上止点略后位置迅速完成,以使燃烧后的气体充分膨胀做功。但是由于燃料喷入气缸内时必须经过一定的着火准备阶段才能着火燃烧,因此,实际柴油机工作时是在压缩冲程结束前(约在活塞到达上止点前 $10^\circ \sim 35^\circ$ 曲轴转角)开始将燃料喷入气缸。图 1-5 中 c' 点表示喷油开始时刻,它对应的至上止点的曲轴转角称为喷油提前角。

3. 第三冲程——作功冲程(燃烧膨胀冲程)

活塞从上止点移动到下止点,这期间进排气门仍关闭着。

由于喷入气缸的燃料在高温空气中着火燃烧,产生大量热能,使气缸内气体的温度和压力

1. 第一冲程——进气冲程

活塞从上止点移动到下止点。这时进气门打开,排气门关闭。当进气冲程开始时,气缸内残留着上一工作循环未排净的残余废气(图 1-4(a)中以小十字符号表示),它的压力 p_r (图 1-5 中 r 点)稍高于大气压力 p_0 (图 1-5 中水平线),约为 $105 \sim 115 \text{ kPa}$ 。

当曲轴沿图 1-4(a)中箭头所示方向旋转时,通过连杆带动活塞

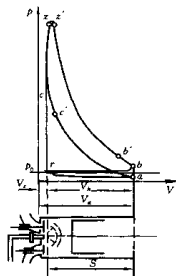


图 1-5 单缸四冲程柴油机示功图

急剧升高。高温高压气体推动活塞向下移动,通过连杆带动曲轴旋转。因为只有在这一冲程才实现了热能转化为机械能,因此,通常把这一冲程称为作功冲程。

作功冲程中,缸内气体的最高温度 $T_3=1\ 800\sim 2\ 200\text{ K}$,最高压力(最大爆发压力) $p_3=6\sim 9\text{ MPa}$ (增压柴油机可达 10 MPa 以上)。随着活塞的被推动下移,气缸容积逐渐增大,气体压力随之逐渐减小。示功图上 $c-z-z'-b$ 线表示作功冲程中气缸容积与压力的变化情况。在这一曲线上,几乎垂直的 $c-z$ 段表示出燃料急剧燃烧时压力升高的情况。此外,由于柴油的喷射,与空气的混合及燃烧等要持续一个时期,此时相应的活塞位置已向下移动了一小段距离,但是气缸内压力并不立即开始下降,直至燃烧接近结束(z' 点),因此,在示功图上出现 $z-z'$ 一段等压燃烧线。

作功冲程结束时,燃气温度降至 $T_4=1\ 000\sim 1\ 200\text{ K}$,压力降至 $P_4=300\text{ kPa}$ 左右。

4. 第四冲程——排气冲程

活塞从下止点移动到上止点。此时排气门开启,进气门保持关闭。

排气冲程开始时,气缸内充满着燃料燃烧后并已膨胀作功的废气。排气门打开后废气在缸内压力的作用下冲出排气门,使气缸内压力迅速降低。随着活塞的上移,低压废气被推出气缸外。

在示功图上 $b-r$ 线表示了排气冲程中气缸容积与气体压力的变化情况。排气终了时的温度 $T_5=700\sim 900\text{ K}$,压力 $p_5=105\sim 120\text{ kPa}$ 。

排气冲程结束时,活塞又回到上止点位置(图 1-4(a)及图 1-5 中 r 点)。至此,单缸四冲程柴油机经历了活塞上、下往复各两次四个冲程,完成了进气、压缩、燃烧膨胀和排气四个工作过程所组成的一个工作循环。一个工作循环结束时,曲轴在飞轮转动的惯性作用下仍继续旋转,上述各过程又重复进行。如此周而复始地一个个工作循环进行下去,使柴油机能连续不断地运转起来。

二、四冲程柴油机的配气相位

在柴油机实际工作过程中,由于进、排气门的开启和关闭都需要一定的时间,不可能在活塞到达上止点或下止点的瞬间完成开启或关闭气阀的动作。另外,为加大进气量、减少进气损失和加速排气过程、降低排气阻力,进、排气阀相对于上、下止点都是提前开启和滞后关闭的。

通常,柴油机的进气阀是设计成在活塞到达上止点前 $40^\circ\sim 70^\circ$ 曲轴转角开启的。当气缸内废气的压力低于进气管压力时开始进气,即进气过程开始。进气阀开启时刻至活塞到达上止点时刻对应的曲轴转角,称为进气提前角。因为进气空气流入气缸时有一定的流速,从而使进气空气具有一定的惯性,为了利用这一惯性多进气,进气阀是设计成活塞到达下止点之后 $40^\circ\sim 60^\circ$ 曲轴转角才关闭的。由于进气阀的早开与迟闭,使柴油机的进气过程大于一个冲程,所以,进气过程不同于进气冲程。

如果进气阀提前开启的角度太大,进气阀开启时气缸内废气的压力会高于进气管压力,使废气倒流入进气管;若提前开启角度过小,将使进气量减少。同样理由,进气阀迟闭的角度太大,会在活塞上行时推出一部分已进入气缸的新鲜空气;迟闭角度过小则会减少进气量,即进气流体的惯性未得到充分利用。因此进气阀的开启提前角和关闭落后角有一个最佳值。这个最佳值通常由实验测定。

柴油机的排气阀也是设计成在活塞到达下止点前开启、活塞到达上止点之后才关闭的。提前开启是为了避免排气冲程开始时活塞上行阻力太大;迟后关闭也是为了利用废气流出时的惯性。因为随着活塞的上行推动,缸内的废气以一定的流速流出排气门,利用这一流动气流的

流动惯性,可进一步使气缸内废气排干净,以利于多进新鲜空气。活塞在上止点附近时,进、排气门是同时开着的,称为气门重迭。同时开启时期对应的曲轴转角称为气门重迭角。

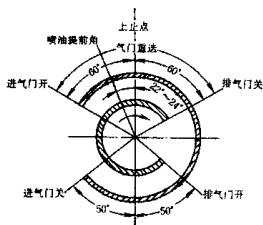


图 1-6 配气相位图

于排气门开启之时。

将进、排气阀开启和关闭时对应的曲轴转角以及相对于上、下止点的位置,画成图 1-6 所示图形,称为配气相位图。从图中可较清楚地看出进、排气阀开启和关闭时的曲轴转角,开启持续角以及气门重迭角。

三、二冲程柴油机工作原理

二冲程柴油机的工作循环也是由进气、压缩、燃烧膨胀和排气四个工作过程所组成,但它是在两个冲程内完成的,因此与四冲程柴油机相比在结构和原理方面有较大差别。

二冲程柴油机的进气是通过位于气缸中间部位,沿气缸四周开有的进气孔(也叫扫气孔)进行的。进气孔的开闭则靠活塞上、下移动位置时对气孔的遮闭和让开来控制。进气过程中,通过压气机(或扫气泵)将外界新鲜空气提高压力(约 120~140 kPa),空气经气缸外部的空气室和气缸上的进气孔压入气缸内。

常见的二冲程柴油机的排气机构有两种类型:一种装有排气阀,与四冲程柴油机一样装在气缸盖上;另一种是在气缸中部四周开有排气孔(比进气孔略高),也靠活塞上下移动位置控制开闭。

图 1-7 为单缸二冲程柴油机工作过程示意图。

1. 第一冲程——辅助冲程

活塞从下止点向上移动(见图 1-7(a)),此时进气孔 2 和排气阀 4 都打开。新鲜空气通过扫气泵提高压力后,从进气孔进入气缸,并将上一循环留在气缸内的残余废气从排气阀排出。这个过程叫做扫气过程或换气过程。

当活塞继续上移至约 1/3 冲程

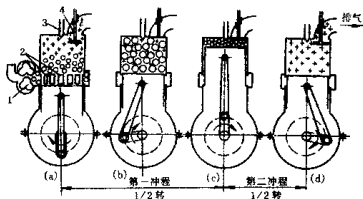


图 1-7 单缸二冲程柴油机工作过程示意图

1—扫气泵;2—进气孔;3—排气孔;4—排气门。

距离时,进气孔被活塞遮闭〔图 1-7(b)〕,然后排气阀也随之关闭,扫气过程结束。活塞继续上移,封闭在气缸内的新鲜空气和少量未排尽的废气被压缩,直到活塞移动到接近上止点位置〔图 1-7(c)〕,完成压缩过程,第一冲程(辅助冲程)结束。

2. 第二冲程——作功冲程

当活塞接近上止点时,气缸内气体压力大约达到 3 000 kPa,温度约升至 900~1 000 K,柴油在高压下(约 18~22 MPa)被喷入气缸内,自行着火燃烧,使气缸内气体的压力和温度急剧升高。温度可达 2 000~2 300 K,压力可达 6~9 MPa。在高温、高压气体的作用下,活塞从上止点被推向下止点,并通过连杆带动曲轴旋转作功。

当活塞下行至约 2/3 冲程时,排气门打开〔图 1-7(d)〕,废气先利用本身较高的压力自行排出,气缸内压力迅速降低,待活塞继续向下移动,进气孔露出,扫气泵开始将压力较高的新鲜空气压入气缸,从而继续把废气由排气门排出,进行扫气。

当活塞下移到下止点位置〔图 1-7(a)〕,第二冲程结束,至此完成一个工作循环。

四、二冲程与四冲程柴油机的比较

与四冲程柴油机相比较,二冲程柴油机有如下几个特点:

①二冲程柴油机大大缩短了辅助冲程所占用的时间,曲轴每转一圈,就有一个作功冲程;而四冲程柴油机曲轴每转两圈才有一个作功冲程。因此,当排量、转速和压缩比相同时,从理论上讲,二冲程柴油机比四冲程柴油机在相同的时间内发出的功率大一倍。但是由于二冲程柴油机不容易排净废气,气缸内的残余废气量较大,废气冲淡了可燃混合气,造成燃烧效率降低,同时,由于气缸壁上气孔的存在,使活塞的有效工作行程长度缩短,而且二冲程柴油机还必须借助于扫气泵进行扫气,扫气泵工作时又要消耗一部分功率,因此,实际上功率只增加 50%~80%左右。

②由于二冲程柴油机每两个冲程即作功一次,所以运转比较平稳,飞轮尺寸可以减小。对于完全采用气孔换气的二冲程柴油机,可省去四冲程柴油机所必需的气门配气机构,所以二冲程柴油机结构上比较简单。

③转速一定时,二冲程柴油机在作功冲程中燃料燃烧的时间比四冲程柴油机的短,且残余废气量较多,燃烧不易充分。二冲程机在中低速柴油机中采用较多,如大型船用机、电站用机等,小型机中亦有采用,而高速柴油机则几乎是四冲程机。机车柴油机和空调客车用柴油机绝大多数为四冲程机,也有少数二冲程柴油机。

第三节 多缸柴油机工作原理

多缸柴油机具有两个或两个以上气缸。一般各缸的活塞连杆组都连接到同一根曲轴上,曲轴上有若干个曲柄,每个曲柄连接一个(直列式机)或两个(V 型机)活塞连杆组。对每一个气缸来说,都按前述单缸柴油机的各工作过程进行工作,但在同一时刻,每个气缸所进行的工作过程却不相同。多缸柴油机是根据气缸数目和排列方式的不同,并按照一定的工作顺序,使各气缸同名冲程相互间隔一定的曲轴转角 ξ 。为便于理解,首先介绍几个概念。

一、几个概念

1. 自由端和功率输出端

一台直列式或V型多缸柴油机,顺着曲轴轴线方向分为两端。曲轴可连接到被驱动机械上的一端叫做功率输出端(也称后端);另一端叫做自由端(也叫前端)。

2. 气缸编号

国家标准规定,从自由端开始向功率输出端顺序对气缸编号,整台柴油机气缸编号应为连续的顺序号。对于V型柴油机,面对功率输出端分成左右两列,右列先编,如图1-8所示。

3. 曲柄图

曲柄图是面对自由端所看到的曲轴的曲柄排列投影图以及曲轴转向的指示。图1-9为三缸柴油机的曲柄(气缸)编号和曲柄图,图中 ϕ 为曲柄图上相邻曲柄的夹角,箭头表示曲轴旋转方向, ω 为转动角速度。按旋转方向可以看出各曲柄到达止点的先后次序。

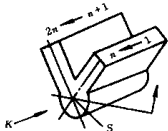


图 1-8 V 型柴油机气缸编号规则

S—功率输出端;K—视向;

n—每列气缸的数目。

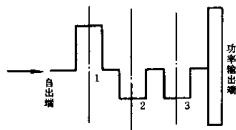


图 1-9 三缸柴油机曲柄图

(a) 曲柄编号; (b) 曲柄图。



(b)

二、直列式柴油机的发火顺序

1. 四冲程柴油机

四冲程柴油机曲轴每转动两圈(720°)完成一个工作循环。为使柴油机运转平稳,应该使各个气缸的作功冲程均匀地分布在 720° 曲轴转角内。假设四冲程多缸柴油机有*i*个气缸,则间隔角度应为

$$\xi = \frac{720^\circ}{i}$$

ξ 称为发火间隔角。

多缸柴油机中各气缸发生同名冲程的顺序称为气缸工作顺序(或发火顺序)。例如4缸四冲程柴油机常用的发火顺序为1—3—4—2(如表1-1和图1-10所示),即第1缸作功后第3缸作功,接着是第4缸作功,最后第2缸作功。以后各过程按既定的顺序重复进行。从表1-1可以看出,4缸四冲程柴油机当曲轴旋转了两圈时,各气缸均作功一次,即曲轴每转半圈就有一个气缸作功,所以它的运转过程比单缸柴油机要平稳得多。

表 1-1 4缸四冲程柴油机工作顺序

曲轴转角	气 缸				示 图
	1	2	3	4	
第一个半圈($0^\circ \sim 180^\circ$)	作功	排气	压缩	进气	图 1-10(a)
第二个半圈($180^\circ \sim 360^\circ$)	排气	进气	作功	压缩	图 1-10(b)
第三个半圈($360^\circ \sim 540^\circ$)	进气	压缩	排气	作功	图 1-10(c)
第四个半圈($540^\circ \sim 720^\circ$)	压缩	作功	进气	排气	图 1-10(d)
气缸工作顺序 1—3—4—2					

图1-11为该4缸柴油机的曲柄图,从图中可以看出,曲柄间隔角为 $\phi = 180^\circ$,按这一曲柄排列方式,气缸发火顺序改为1—2—4—3也是可以的。下面看两个例子。

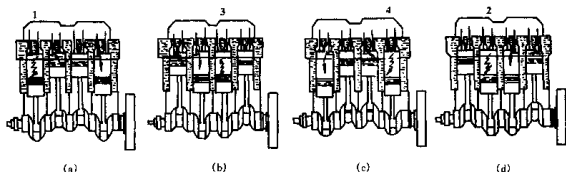


图 1-10 4缸四冲程柴油机工作情况

例 1 四冲程 5 缸柴油机, 各曲柄排列如图 1-12 曲柄图所示。要使其发火均匀, 发火间隔角应为

$$\xi = \frac{720^\circ}{5} = 144^\circ$$

它的发火顺序只能是 1—2—4—5—3。

例 2 四冲程 6 缸柴油机, 各曲柄排列方向如图 1-13 曲柄图所示。要使其发火均匀, 发火间隔角应为

$$\xi = \frac{720^\circ}{6} = 120^\circ$$

它的发火顺序在满足 $\xi = 120^\circ$ 和图 1-13 曲柄排列方式的前提下, 可以是 1—5—3—6—2—4, 还可以是

1—5—4—6—2—3

1—2—3—6—5—4

1—2—4—6—5—3

由此可得结论: 四冲程奇数缸柴油机发火顺序与曲柄排列一一对应, 即曲柄排列一定时发火顺序也为一定; 四冲程偶数缸柴油机在同一曲柄排列的条件下可以有不同的发火顺序 (2 缸机除外)。

2. 二冲程柴油机

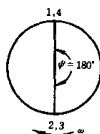


图 1-11 四冲程 4 缸柴油
机曲柄图

发火次序:

① 1—3—4—2—1

② 1—2—4—3—1

发火间隔角: $\xi = 180^\circ = \psi$

可见曲柄数: $q = 2 = \frac{i}{2}$



图 1-12 四冲程 5 缸柴油
机曲柄图

发火次序:

1—2—4—5—3—1

发火间隔角: $\xi = 144^\circ = 2\psi$

可见曲柄数: $q = 5 = i$

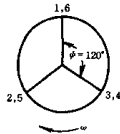


图 1-13 四冲程 6 缸柴油
机曲柄图

发火次序:

① 1—5—3—6—2—4—1

② 1—2—3—6—5—4—1

③ 1—5—4—6—2—3—1

④ 1—2—4—6—5—3—1

发火间隔角: $\xi = 120^\circ = \psi$

可见曲柄数: $q = 3 = \frac{i}{2}$



图 1-14 二冲程 6 缸柴油
机曲柄图

发火次序:

1—6—2—4—3—5—1

发火间隔角: $\xi = 60^\circ = \psi$

可见曲柄数: $q = 6 = i$

曲轴每旋转一圈(360°),二冲程柴油机完成一个工作循环。为使柴油机运转平稳,应该使各气缸的作功冲程均匀地分布在 360° 曲轴转角内。假如二冲程多缸柴油机有 i 个气缸,则发火间隔角应为

$$\xi = \frac{360^\circ}{i}$$

图 1-14 是二冲程 6 缸柴油机的曲柄图。图中相邻曲柄间夹角 $\psi = \frac{360^\circ}{6} = 60^\circ$,发火间隔角 $\xi = \frac{360^\circ}{6} = 60^\circ$ 。因而二冲程柴油机曲柄图上可见曲柄数与气缸数目相等,曲轴上的各个曲柄在曲柄图上没有重迭。四冲程柴油机则不然(参看图 1-13)。只要曲柄位置确定之后,二冲程柴油机就只有一种发火顺序。如图 1-14 所示,二冲程 6 缸机的发火顺序只能是 1—6—2—4—3—5。

三、V 型柴油机的发火顺序

V 型柴油机相当于共用一根曲轴的按 V 型结构(夹角为 γ)组合起来的两台直列式柴油机,面对它的自由端看,可分为左、右两列。按照两列间发火顺序是否相同,V 型柴油机发火顺序分为填补式发火和交叉式发火。

1. 填补式发火

填补式发火时,左、右两列气缸的发火顺序不相同,每列中有连续发火,但是整机发火是均匀的。

填补式发火在 V 型柴油机发火顺序安排中应用较少,只在较特殊的情况下才采用,在此不作详细介绍。

2. 交叉式发火

交叉式发火时左、右两列气缸的发火顺序完全相同,每列都是均匀发火,两列相间发火。整台柴油机发火不一定均匀。

交叉式发火意为左、右两列气缸交叉发火,即左列发一缸,右列发一缸,再左列,再右列,依次类推。交叉式发火又分为下列两种形式:

①连续发火——左、右两列同名气缸连续发火。如图 1-15 所示 V 型 8 缸机为连续发火。

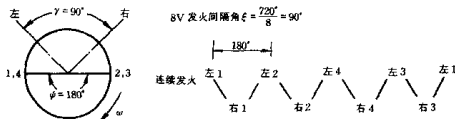


图 1-15 V 型 8 缸柴油机连续发火示意图

②错开发火——左、右两列同名气缸错开一定的曲轴转角发火。如图 1-16 所示 V 型 8 缸机为错开发火。

从上面的例子可以看出,若要单列发火均匀,单列发火间隔角应为 $\xi = \frac{720^\circ}{4} = 180^\circ$ 曲轴转角。若要整机发火均匀,整机的发火间隔角应为 $\xi = \frac{720^\circ}{8} = 90^\circ$ 曲轴转角。由于是交叉式发火,左列的某缸发火后曲轴应转过 90° 角右列某缸再发火。上面例子中柴油机的 V 型夹角恰好是

90°, 因此可以保证整机发火均匀。若 V 型夹角不等于 $\frac{720^\circ}{i}$ (上例中 $i=8$) , 则整机发火不会均匀。所以, 影响 V 型柴油机发火均匀性的因素除曲柄布置外还有 V 型夹角 γ 的大小。例如某 16 缸四冲程柴油机, 其 V 型夹角 $\gamma=50^\circ$ 。若要整机发火均匀, 应使发火间隔角 $\xi=\frac{720^\circ}{16}=45^\circ$, 可见它的发火不均匀。其发火形式为连续发火, 如图 1-17 所示。

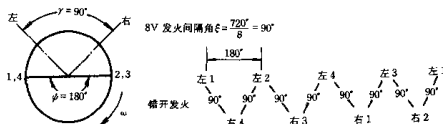


图 1-16 V 型 8 缸柴油机错开发火示意图

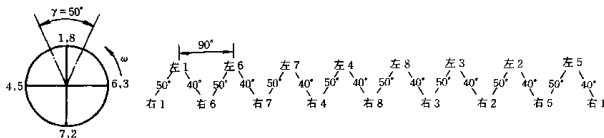


图 1-17 16 缸 V 型柴油机发火顺序图 ($\gamma=50^\circ$)

第四节 柴油机的总体构造

柴油机是一种相当复杂的机器, 它由许多机构和系统组成, 这些机构和系统共同保证柴油机能进行正常的工作, 实现能量转换, 并使之能连续运转。柴油机通常具有下列机构和系统 (参看图 1-18、图 1-19 的 485 型柴油机外形图及纵横剖面图)。

一、曲柄连杆机构

它的功用是将活塞的往复直线运动转变为曲轴的旋转运动, 并将作用在活塞上的燃气压力转变为扭矩, 通过曲轴向外输出。曲柄连杆机构包括活塞组、连杆组、曲轴飞轮组等柴油机主要运动件。

二、柴油机主要固定件

由气缸体、曲轴箱、气缸套和气缸盖等组成的固定部件是柴油机的骨架, 所有运动部件和辅助系统都支承和安装在它上面。

三、配气机构及进排气系统

配气机构由气门机构 (气门、气门弹簧、气门导管、气门座圈等) 和气门驱动机构 (凸轮轴、挺柱、推杆、摇臂及正时齿轮等) 组成, 按一定时间开启和关闭进、排气门。进排气系统由进、排