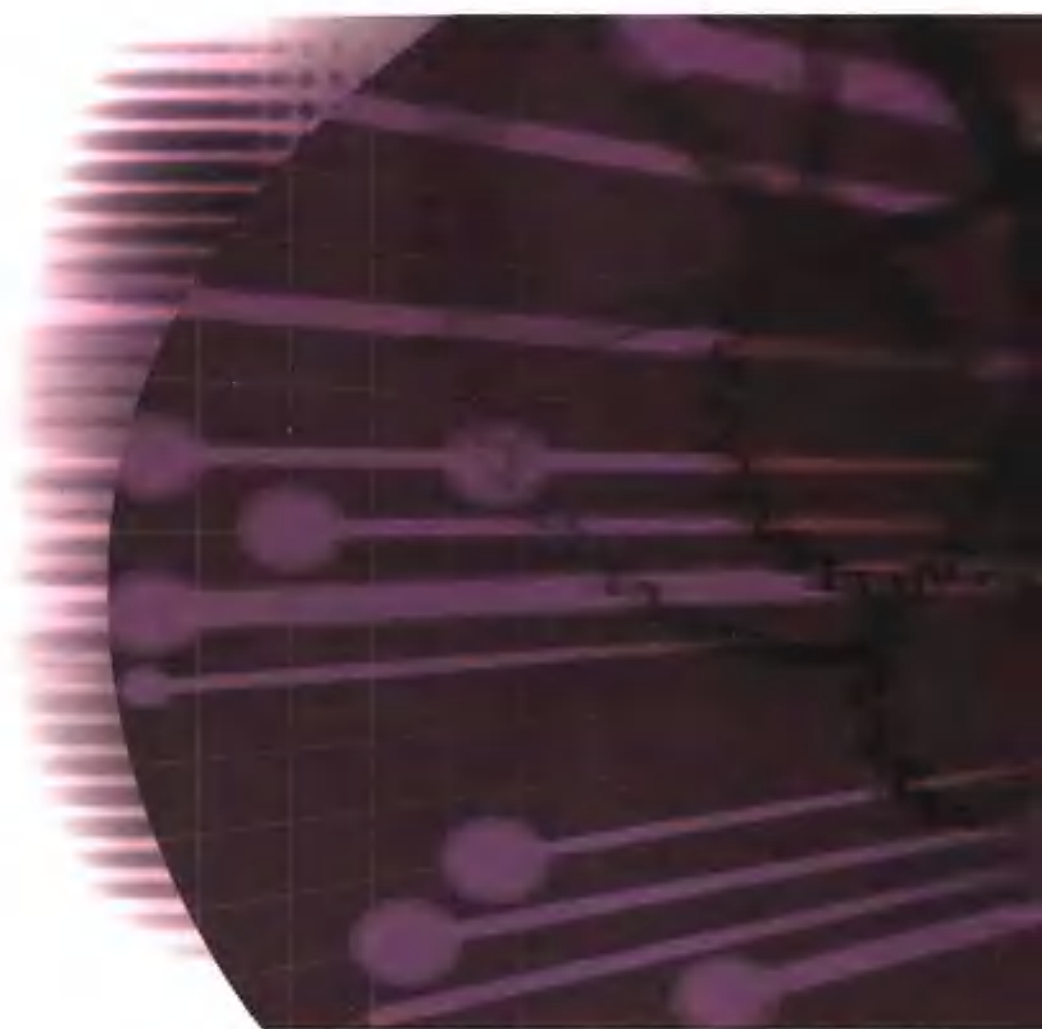


● 铁路中等职业学校职工学历教育试用教材

内燃机车柴油机

哈尔滨铁路局教育处组织编写



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

U262.1
5

铁路中等职业学校职工学历教育试用教材

内燃机车柴油机

齐齐哈尔铁路高级司机学校 许大勇 邵嘉林 主编
呼和浩特成人中等专业学校 曹雪林 主审

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本套教材是为铁路职工进行学历教育而编写的。本书共十二章,内容包括:柴油机基本知识、固定件、运动件、配气机构、进排气系统、燃油系统、调控系统、机油系统、冷却及预热系统、辅助传动装置、柴油机日常运用保养及封存、柴油机常见故障分析与处理等基本知识。

本书基本涵盖了柴油机理论知识及实际应用的各个方面,同时增加了有关保养与封存及故障分析与处理方面的内容,并对 DF_{4C}及 DF_{4D}型机车柴油机的改进部分加以简要介绍,以便于学生学习。

本教材是职工学历教育培训教材,也可作为复退军人非学历教育培训、一年环流培训以及岗位规范化培训、复退军人入校学习的教学用书,并可供铁路工程技术人员、职工学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

内燃机车柴油机/许大勇等主编. —北京:中国铁道出版社,2003.8

铁路中等职业学校职工学历教育试用教材

ISBN 7-113-05454-4

I. 内… II. 许… III. 内燃机车-柴油机-专业学校-教材 IV. U262.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 075728 号

书 名: 内燃机车柴油机

作 者: 许大勇 邵嘉林 主编

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: 方 军

封面设计: 蔡 涛

印 刷: 河北省遵化市胶印厂

开 本: 787×1092 1/16 印张: 17.25 插页: 2 字数: 432 千

版 本: 2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月第 1 次印刷

印 数: 1~5000 册

书 号: ISBN7-113-05454-4/U·1551

定 价: 26.00 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:(010)51873134 发行部电话:(010)51873171

★★★ 前 言

为了适应铁路运输生产的需要,保证铁路职工队伍整体素质的提高,根据铁道部和铁路局对职工岗位达标及复退军人培训工作的要求,依据铁路中等职业学校有关专业教学计划的要求,从铁路职工学历教学入学的实际水平和状况出发,我们组织编写了适用于职工学历教育及复退军人入校学习的部分专业教材,并将陆续出版发行。

本套教材是根据《铁路运输技工学提教学计划》和《铁路职工技能鉴定指导丛书》的要求及各专业教学实际,结合铁路运输生产中的新技术、新材料、新工艺、新设备、新规章的运用进行编写的,为铁路职业学校开展职工学历教育提供适用、客观、科学、规范的教材,为学提授课提供依据,从而保证教学质量。

本套教材由哈尔滨铁路局教育处经过两年多的时间组织编写,在编写过程中我们根据目前铁路职工学历教育办学特点,结合近几年来铁路局所属成人中专及技工学提承担在职职工岗位学历达标及接受大量的复退军人上岗培训的教学实际,组织了长期从事教学、具有丰富教学经验和有一定的教改实践经历的专业教师担任教材的主编,由局内其他学提承担协编和审稿任务。为确保教材质量,我们还特将部分教材送其他铁路局进行了审稿。

本套教材坚持理论与实际相结合,与过去已出版的中专教材相比,内容上减少了理论教学,加大实作应用,突出技能水平,语言上力求通俗易懂、言简意赅,具有较强的针对性。

本教材由齐齐哈尔铁路高级司机学校许大勇、邵嘉林主编,呼和浩特铁路成人中等专业学校技曹雪林主审,加格达奇铁路运输校工学校丁尚义、陈连成审稿。参加本书编写的人员有许大勇、邵嘉林、马东辉、刘智、吴荣琦、谢树起、刘可欣、李望东、冯晓东等。李斌、梁中成、张锁山、谭秀兰等对本教材的修改工作提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

鉴于铁路改革和技术的进展,本教材难免有不足之处,欢迎读者提出宝贵意见。

哈尔滨铁路局教育处
2003年1月

目 录 ★★

绪 论	1
第一章 柴油机基本知识	4
第一节 概 述	4
第二节 四冲程柴油机工作原理	7
第三节 柴油机示功图、功率及特性	13
第四节 16V240ZJB 型柴油机总体布置	15
复习思考题	23
第二章 固 定 件	24
第一节 机体 主轴承	24
第二节 气缸 气缸盖 油底壳 连接箱 泵支承箱 弹性支承	31
第三节 曲轴箱保护装置	42
复习思考题	46
第三章 运 动 件	47
第一节 活 塞 组	47
第二节 连 杆 组	56
第三节 曲 轴 组	61
复习思考题	77
第四章 配气机构	78
第一节 配气机构的作用与组成	78
第二节 气门机构	81
第三节 气门驱动机构	83
第四节 配气定时的调整	92
复习思考题	94
第五章 进、排气系统	96
第一节 进、排气系统的组成与通路	96
第二节 空气滤清器	97
第三节 涡轮增压器	98
第四节 空气中间冷却器	112
第五节 进、排气管	114
复习思考题	116
第六章 燃油系统	117
第一节 燃油系统的组成与通路	117
第二节 燃油滤清器	122

第三节 喷油泵	124
第四节 喷油器及高压油管	131
第五节 燃油的喷射及燃烧	138
复习思考题	141
第七章 调控系统	142
第一节 概 述	142
第二节 联合调节器	143
第三节 控制机构	159
第四节 调控传动装置	163
复习思考题	167
第八章 机油系统	168
第一节 机油系统的作用与通路	168
第二节 机 油 泵	174
第三节 机油滤清装置	179
第四节 机油热交换器	183
复习思考题	185
第九章 冷却水系统与预热装置	186
第一节 冷却水系统的组成与通路	186
第二节 冷却水泵	190
第三节 冷却装置	192
第四节 预热装置	196
复习思考题	202
第十章 辅助传动装置	203
第一节 辅助传动装置的总体布置	203
第二节 静液压系统	210
复习思考题	219
第十一章 柴油机日常运用保养与封存	221
第一节 柴油机日常运用保养	221
第二节 柴油机的封存与启封	225
复习思考题	228
第十二章 柴油机常见故障分析与处理	229
第一节 故障分析与处理概述	229
第二节 柴油机起机前准备工作中的故障处理	230
第三节 柴油机起机时的故障分析与处理	234
第四节 柴油机在运转中的故障分析与处理	237
复习思考题	269
参考文献	270

绪 论

一、内燃机车发展简史

自 1897 年德国人狄塞尔首先研制成功柴油机后,经不断改进和研究发展,柴油机的结构及特性日趋完善,并充分显示出其优越性,因此,在各个领域得到广泛应用。

20 世纪初,国外就酝酿将柴油机作为机车动力。

1905 年,世界上第一台电传动内燃机车问世。它是由美国通用电气公司(GE)采用了一台英制 103 kW 的汽油机,驱动一台直流发电机,发出的电供给车轴上的直流电动机,推动车辆前进。

1924 年,世界上第一台干线内燃机车在苏联诞生,这台装有 736 kW 柴油机的电传动内燃机车,最高速度为 50 km/h。

1925 年,世界上第一次正式在铁路上使用的调车机车问世。它是由美国发动机公司、美国机车公司、美国通用电气公司使用制造的,功率为 220 kW。

我国从 1958 年开始设计、试制内燃机车,从 1964 年开始批量生产。

世界上内燃机车经过 20 世纪 20~40 年代的初期发展阶段进入急速发展、提高功率及进一步发展几个阶段后,据不完全统计,至今在全世界 20 多万台机车的保有量中,内燃机车已占到总数的 70% 左右。

二、柴油机特点

柴油机与其他热机相比具有如下优点:

1. 热效率高。柴油机运转经济性好,起动前和停机后不消耗燃料,燃料消耗率低,特别是部分负荷运行时更显得优越,柴油机的热效率可达 46%,是热机中最高的。
2. 功率和转速范围广,能适应各种不同用途。柴油机的最小功率约为 0.6 kW,整机最大功率达 40 440 kW,转速从每分钟几十转到每分钟几千转,品种规格多,可适用于各种用途。
3. 结构紧凑、轻巧、便于移动。柴油机的质量与功率之比一般为 5~8 kg/kW,有的可低于 4 kg/kW,这作为移动式动力装置尤为适用。
4. 起动迅速,操纵简便,并能在起动后很快达到全负荷运转。
5. 耗水量少,特别适合缺水或水质不良地域。
6. 油耗低。
7. 使用可靠,工作寿命长。

柴油机也存在以下缺点:

1. 一般燃用轻柴油,并且对燃料的清洁程度要求严格。
2. 结构复杂,对零部件的加工、装配、使用及维修要求高。
3. 扭振和不平衡质量引起的振动、机械噪声、排气噪声及排气中所含有的毒性物质等会对环境造成污染。

机车柴油机与其他领域运用的柴油机相比较,在负荷类型、环境条件、加速性能等方面,有着特殊的要求。这些要求主要是高可靠性、高耐久性、高经济性、高适应性和低污染性。没有高可靠性,柴油机发生故障时就会导致内燃机车不能正常运行,严重时造成铁路运输中断;没有高耐久性,造成柴油机利用率降低,维修费用增加;没有高经济性,致使柴油机耗油率高,修理成本高;没有高适应性,就满足不了国民经济对铁路运输的需要,我国疆域广,四季温差大,海拔高差悬殊,这些都要求柴油机能正常工作,适应各种环境的要求。机车柴油机是流动的污染源,排出的废气中含有毒性物质及工作中的噪声都会对铁路沿线造成污染,曲轴箱的气体、燃油、机油和冷却水的蒸发对周围大气也有污染,因此低污染性的要求显得尤为迫切。

三、我国铁路上使用的机车柴油机概况

目前,在我国铁路上使用的内燃机车有进口的,也有国产的,详见表1、表2。

国产机车柴油机主要参数见表3。

随着改革开放的深入和国民经济的持续高速发展,机车柴油机正面临前所未有的机遇,新技术、新工艺、新设备、新材料在机车柴油机上的应用将更加广泛。

表1 进口机车柴油机概况

国别	机车型号	柴油机型号	进口年份	进口台数	功率(kW)		转速(r/min)	燃油消耗率[g/(kW·h)]
					UIC	装车		
德国	NY ₅	MB839B6	1967	4	1471	1250	1450	213.5~215
	NY ₆	MB16V625TB10	1972	10	1690	1580	1400	231.2(1±5%)
	NY ₇	MA12V956SB10	1972	20	1986	1840	1500	210.8(1±5%)
法国	ND ₄	AGO240	1973	50	2942	2685	1350	210.8±6.8
罗马尼亚	ND ₂	12LDS28B	1972		1690	1545	750	238±6.8
	ND ₃	12LDS28B	1985		1690	1545	750	238±6.8
美国	ND ₅	7FDL	1984	220		2942	1050	<211.7
			1986	201				

表2 国产机车柴油机概况

厂名	机车型号	柴油机型号	制造年份
大连	DF	10E207J	1964~1974
	DF ₃	10E207J	1972~1974
	DF ₄	16V240ZJA	1974~1986
	DF _{4B}	16V240ZJB	1984~1994
	DF ₅	8240ZJ	1984~1990
	DF _{4C}	16V240ZJC	1985~1996
	DF _{4D}	16V240ZJD	1991~1999
	DF ₁₀	12V240ZJ	1985~1989
	DF ₆	16V240ZJD	1988~1992
	GKD ₁	6V240ZJ	1990~1998
二七	BJ	12V240ZJ	1970~1980
	DF ₇	12V240ZJ	1982~1989
戚墅堰	DF ₂	6E207J	1965~1969
	DF ₈	16V280ZJ	1984~1993
	DF ₁₁	16V280ZJ	1994~2003
资阳	DFH ₂	12V180ZL	1973~1976
	DFH ₅	12V180ZL	1976~
四方	DFH ₁	12V180Z	1964~1970
		12V175Z	
		12V175ZL	1970~1972
	DFH ₃	12V180ZJ	1976~1988

表 3 国产主要机车柴油机主要参数

型 号	12V180ZJ 12V180ZJA 12V180ZJB	12V180ZJC	12V240ZJ	12V240ZJC	12V240ZJD	16V280ZJ	16V280ZJA	16V240ZJB	16V240ZJC	16V240ZJD	16V240ZJE
型 式	四冲程 预燃式 增压中冷	四冲程 直喷式 增压中冷	四冲程 直喷式 增压中冷	四冲程 直喷式 增压中冷	四冲程 直喷式 增压中冷	四冲程 直喷式 增压中冷	四冲程 直喷式 增压中冷	四冲程 直喷式 增压中冷	四冲程 直喷式 增压中冷	四冲程 直喷式 增压中冷	四冲程 直喷式 增压中冷
缸径×行程(mm)	180×205	180×205	240×260	240×275	240×275	280×285	280×285	240×275	240×275	240×275	240×275
气缸总排量(L)	62.6	62.6	144.81	149.29	149.29	280.78	280.78	199.04	199.04	199.04	199.04
燃油消耗率[g/(kW·h)]	225×(1+0.05) 225×(1+0.05) 220×(1+0.05)	202×(1+0.05) 210×(1+0.05) 214×(1+0.03)	210×(1+0.05) 214×(1+0.03)	208×(1+0.03)	210.8	208+7	210+7	208.1	206.7	207	207
平均有效压力(MPa)	1.175 1.268 1.405	1.692	主缸 1.565 副缸 1.488	1.637	1.819	1.572	1.73	1.61	1.775	1.819	2.3
转速(r/min)	650~1 500	600~1 500	425~1 100	430~1 000	430~1 000	400~1 000	400~1 000	430~1 000	400~1 000	400~1 000	400~1 000
活塞平均速度(m/s)	10.25	10.25	主缸 9.53 副缸 10.03	9.17	9.17	9.5	9.5	9.17	9.17	9.17	9.17
压缩比	14.5	14.5	12.5	12.5	12.5	13	12.5	12.5	12.5	12.5	12.4
功率标定/装车(kW)	920 标定 993 1103	标定 1324	2205/1985	2206/1985	2310/2130	3676/3309	3860/3610	2647/2426	2940/2647	3015/2940	标定 3680

第一章

柴油机基本知识

第一节 概 述

燃料在气缸内燃烧产生热能对外作功的机器称为内燃机。根据所用燃料的不同,内燃机可分为柴油机、汽油机、煤气机等。其中,柴油机是以柴油作为燃料的内燃机。柴油机的工作特点是:空气在气缸内被压缩成具有一定压力、温度的气体,使喷入气缸中的柴油自燃,并由燃气膨胀而作功。目前,内燃机车的动力装置一般都采用柴油机。

图 1-1 所示为单缸柴油机简化示意图。活塞在气缸内作上、下往复运动,并通过连杆与曲轴相连接。安装于气缸上方的气缸盖上装有进气门、喷油器和排气门。从喷油器喷入气缸的柴油在气缸内燃烧产生热能,通过曲柄连杆机构转变为机械能输出。柴油的燃烧必须有充足的空气。空气和柴油混合后,如果没有一定的温度,也是不能进行着火燃烧的。因此,在将柴油喷入气缸之前,必须使气缸内的空气温度升高,为柴油的燃烧准备条件,所以说柴油机是压燃式内燃机。燃油燃烧后放出热量,产生高温,利用高温、高压燃气的膨胀而作功。作功以后的废气必须及时排出气缸,然后再将新鲜空气和燃油供入气缸进行下一个工作循环,使柴油机连续作功。由此可见,柴油机完成一次热功转换要经过 4 个步骤,即进气、压缩、燃烧膨胀(作功)和排气。

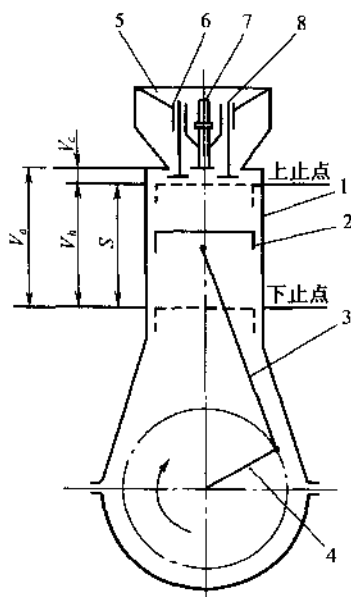


图 1-1 柴油机简化示意图

1—气缸;2—活塞;3—连杆;4—曲轴;
5—气缸盖;6—进气门;
7—喷油器;8—排气门。

一、常用术语

为了进一步了解柴油机的工作过程,现将柴油机主要的常用术语解释如下:

1. 上止点(又称上死点):活塞距曲轴中心线最远时的位置。
2. 下止点(又称下死点):活塞距曲轴中心线最近时的位置。
3. 活塞冲程(又称活塞行程):活塞从上止点运动到下止点,或由下止点运动到上止点所经过的距离(即上、下止点之间的距离),通常以 S 表示,单位为 mm。活塞移动一个行程,即曲轴相应旋转 180° ,行程值是曲柄半径 r 值的 2 倍,即 $S=2r$ 。
4. 气缸直径:气缸为一薄壁圆形筒体,它的内圆孔直径称为缸径,以 D 表示,单位为 mm。

5. 燃烧室容积: 活塞位于上止点时, 活塞顶、气缸以及气缸盖之间所包围的空间, 称为燃烧室容积, 以 V_c 表示。

6. 气缸工作容积: 活塞从一个止点运动到另一个止点时所扫过的气缸容积, 称为气缸工作容积, 又称活塞排量, 以 V_h 表示。气缸工作容积可用下式计算:

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

7. 活塞总排量: 多缸柴油机有几个气缸, 则各个气缸工作容积之和, 称为柴油机气缸工作总容积, 或称为活塞总排量, 它是气缸数 i 与气缸工作容积之积, 用 V_H 表示:

$$V_H = i \cdot V_h \quad (\text{L}) \quad (1-2)$$

8. 气缸总容积: 当活塞位于下止点时, 活塞顶以上的全部气缸容积, 称为气缸总容积, 它是气缸工作容积 V_h 与燃烧室容积 V_c 之和, 用 V_a 表示:

$$V_a = V_h + V_c \quad (\text{L}) \quad (1-3)$$

9. 压缩比: 气缸总容积 V_a 与燃烧室容积 V_c 的比值称为压缩比, 以 ϵ 表示:

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

压缩比是柴油机重要的结构参数, 它表明进入气缸的工质被压缩的程度。压缩比如果大一些, 压缩终了的压力和温度就会高一些, 柴油机的起动相对容易, 热量利用程度也高一些。但压缩比过高, 会导致机件易于磨损和损坏, 柴油机工作粗暴。压缩比如果太小, 压缩终了的压力和温度低, 柴油机起动困难, 热量利用程度也低。所以机车柴油机的压缩比一般为:

非增压柴油机 $\epsilon = 14 \sim 18$

增压柴油机 $\epsilon = 12 \sim 15$

DF₄ 机车柴油机的压缩比分别为: 16V240ZJB 型柴油机 $\epsilon = 12.5$; 16V240ZJC 型柴油机 $\epsilon = 12.5$; 16V240ZJD 型柴油机 $\epsilon = 12.4$ 。

10. 工作循环: 柴油机气缸经过进气、压缩、燃烧膨胀做功和排气完成一次化学能到热能, 热能再到机械能的转换过程, 称为一个工作循环。柴油机的连续运转, 就是工作循环反复连续进行的过程。

二、柴油机的分类

柴油机因其热效率高, 用途十分广泛。因而在其结构形式和工作特点方面也是不同的。柴油机常见的分类如下:

1. 根据完成一个工作循环的冲程数, 可分为二冲程柴油机和四冲程柴油机。

2. 根据进入气缸的空气压力可分为:

(1) 非增压式柴油机, 从大气中直接吸入新鲜空气到气缸, 或空气虽然经压缩进入气缸, 但压力较低, 只是为了扫除废气的柴油机。

(2) 增压式柴油机, 用增压器增大进气密度, 从而提高平均有效压力和功率的柴油机。目前机车用柴油机几乎全部采用增压柴油机。

3. 根据柴油机的转速, 可分为低速、中速和高速 3 种。

但具体界限又与用途有关。一般情况下, 曲轴转速 $n \leq 750 \text{ r/min}$ 的柴油机为低速柴油机; 曲轴转速 $750 \text{ r/min} < n \leq 1350 \text{ r/min}$ 的柴油机为中速柴油机; 曲轴转速 $n > 1350 \text{ r/min}$ 的柴油机为高速柴油机。目前机车柴油机通常采用中速柴油机和高速柴油机。

4. 根据气缸的布置形式可分为:

(1)立式柴油机,气缸中心线与地面垂直,如图 1-2(a)所示。

(2)对置活塞式柴油机,在同一气缸中设有两个活塞作相对运动,如图 1-2(b)所示。

(3)V 形柴油机,左右两列气缸中心线分别在两个平面内,两个平面排列成 V 形,由一根曲轴输出功率。在内燃机车上广泛应用,如图 1-2(c)所示。

(4)其他类型柴油机,有卧式、正方形、H 形、W 形、X 形、三角形等各种形式的柴油机。

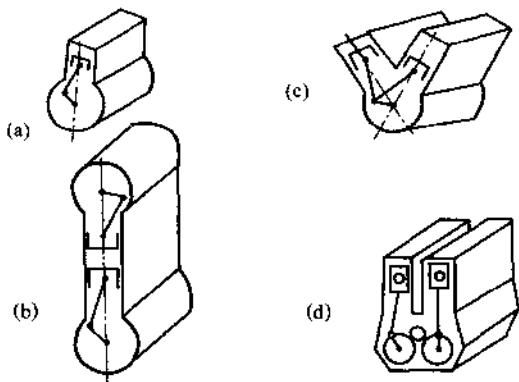


图 1-2 柴油机气缸的排列形式

(a)立式柴油机;(b)对置活塞式柴油机;
(c)V 形柴油机;(d)H 形柴油机。

5. 按燃烧室的结构特征分为:

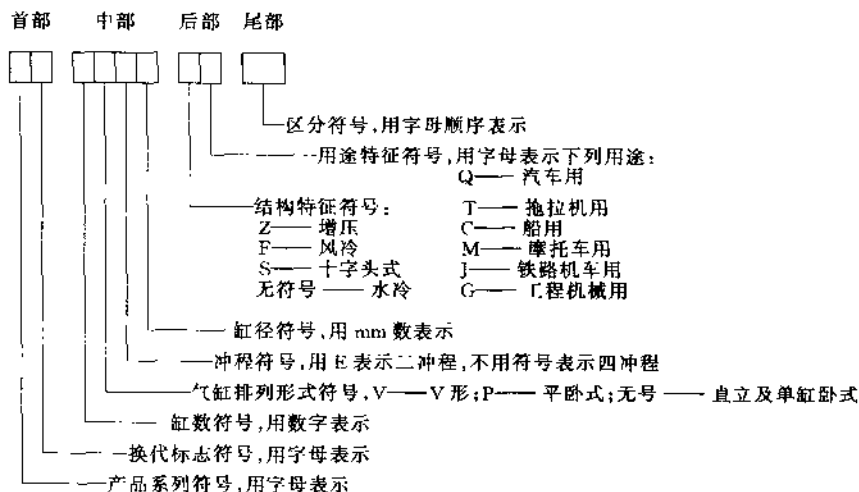
(1)直接喷射式燃烧室:活塞顶部为了适应喷油器喷孔喷出的油束形状而略呈或深或浅的凹穴。

(2)分隔式燃烧室,这种燃烧室被明显分成两部分,一部分在活塞顶面以上,燃烧过程主要在此进行;另一部分在气缸盖内,两部分之间由一个或几个通道相连接。

三、柴油机的型号和若干规定

(一)柴油机的型号

根据国标(GB 725—82)规定:柴油机的型号由阿拉伯数字和汉语拼音字母或象形字组成。柴油机的型号分首部、中部、后部及尾部 4 部分。首部及尾部符号由制造厂自选,可根据具体情况标出或不标出。



机车柴油机型号的顺序及符号编制举例:

16V240ZJB 表示 16 缸、气缸 V 形排列、四冲程、缸径为 240 mm, Z 表示增压, J 表示铁路机车用柴油机, B 表示第二种改进产品。

10E207J 表示 10 缸, 气缸直立排列, E 表示二冲程, 缸径为 207 mm, 非增压, J 表示铁路机车用柴油机。

(二)柴油机的输出端、自由端和左、右侧规定

1. 输出端:柴油机连接传动装置(被驱动机械)的一端,也称为后端。

2. 自由端:与输出端相对应的另一端,也称为前端或控制端。

3. 左、右侧:确定柴油机左、右侧时,应面对输出端朝自由端看,左手一侧为左侧,右手一侧为右侧。对于V形柴油机,其左侧的一列气缸称为左侧气缸;右侧的一列气缸称为右侧气缸。

(三)柴油机曲轴旋转方向与气缸编号

根据国家标准 GB 726-65 规定,柴油机曲轴旋转的方向,是从功率输出端朝自由端看。凡输出端曲轴顺时针旋转的称为右旋;凡输出端曲轴逆时针旋转的称为左旋。如 16V240ZJB 型柴油机是顺时针方向旋转的,为右旋。

多轴式柴油机的旋转方向,应以主要输出轴确定。

根据国家标准 GB726-65 规定,柴油机气缸编号方法,面对输出端向自由端看,以垂直于功率输出轴中心线的水平线为基准,从该水平线的右端,逆时针方向依次计数,最先遇到的一列气缸为第一列,以后依次为第二列、第三列、…等。

不论柴油机的气缸排列形式如何,均应从第一列的自由端开始,向功率输出端方向,依次进行气缸编号;整台柴油机的气缸号码,应为连续的顺序号。

V 形柴油机是右边的第一列气缸,从自由端开始顺序编为 1、2、3、…、 n ;左边第二列气缸,从自由端开始顺序编为 $n+1$ 、 $n+2$ 、 $n+3$ 、…、 $2n$ 。

根据以上规定,16V240ZJB 型柴油机的气缸编号为:

自由端	右	1	2	3	4	5	6	7	8	功率输出端
	左	9	10	11	12	13	14	15	16	

国外引进柴油机的型号和气缸编号由制造厂独自规定。

顺便指出,有一些柴油机包括机车柴油机的型号和气缸编号等是不符合国家标准的。如泰山型调车机车柴油机型号为 Z12V190BJ;DFH_{2.3.5} 及 DFH₍₂₁₎ 型机车柴油机气缸的编号为:

输出端	左	1	2	3	4	5	6	自由端
	右	7	8	9	10	11	12	

第二节 四冲程柴油机工作原理

一、理论四冲程柴油机的工作原理

由活塞的 4 个冲程(即曲轴转两圈)完成一个工作循环的柴油机,称为四冲程柴油机,如图 1-3 所示。

第一冲程——进气冲程:活塞由上止点向下移动,进气门开启(此时排气门关闭),新鲜空气进入气缸,直到活塞到达下止点为止。这一冲程给气缸充入空气,为燃油的燃烧做好准备。如图 1-3(a)所示。

第二冲程——压缩冲程:活塞到达下止点后,由于曲轴继续转动,活塞由下止点上行,此时进、排气门均关闭,活塞对气缸内的空气进行压缩,提高空气的压力和温度。至压缩终点(上止点)时,气缸内温度已超过柴油自燃点,从而保证喷入气缸的燃油能够自行着火燃烧。如图 1-3(b)所示。

第三冲程——燃烧膨胀(做功)冲程:在压缩过程中活塞到达上止点时,燃油喷入气缸与气体混合开始着火,产生高温、高压的燃气,膨胀做功而推动活塞下行,通过连杆驱动曲轴旋转,对外输出功率。如图 1-3(c)所示。

第四冲程——排气冲程:当活塞被炽热的燃气推动下行到下止点时,做功冲程结束,排气门打开(此时进气门仍然关闭)。由于曲轴的转动,使活塞从下止点向上移动,把做功后的废气排出气缸。以后又重新进行下一个工作循环的进气冲程,如图 1-3(d)所示。

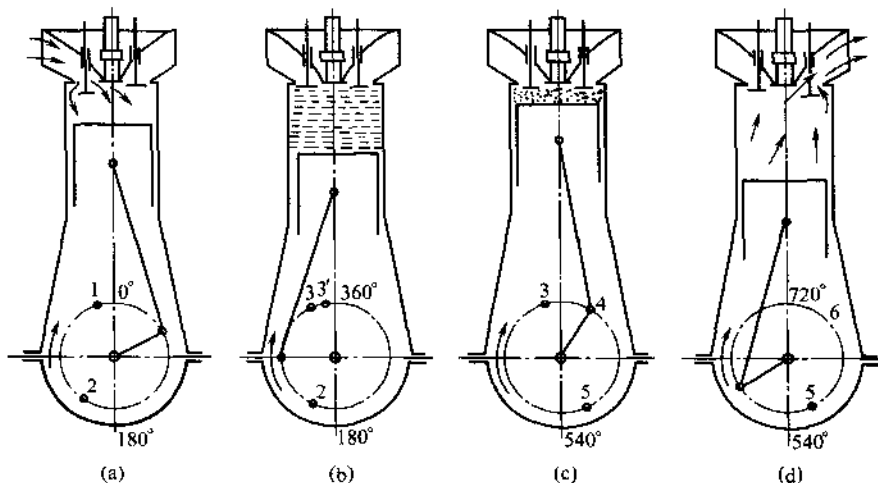


图 1-3 四冲程柴油机工作原理示意图

(a) 进气冲程; (b) 压缩冲程; (c) 做功冲程; (d) 排气冲程。

曲轴转了两圈,带动活塞上、下移动两次,用 4 个冲程完成了一个工作循环。四冲程柴油机的工作过程,就是不断地重复工作循环的过程。

上述工作循环是在一些假定情况下完成的。例如,假定进、排气门的开启和关闭是瞬时完成的,燃油的喷射和燃烧也是瞬时完成的。实际并非如此,气门的开启和关闭,燃油的喷射与燃烧,都要有一个过程。所以,实际工作循环是一个更为复杂的过程。

二、实际四冲程柴油机的工作原理

1. 进气过程

进气量的多少,是决定柴油机发出功率大小的主要因素。新鲜空气越多,相应可以喷入更多的燃油参与燃烧,因而产生的热能也越多,就会发出更大的功率。所以进气过程中,要使尽可能多的新鲜空气进入气缸。

当活塞向下止点运动时,气缸形成真空度(对非增压柴油机)吸入新鲜空气。由于活塞运动的速度很快,同时进气门等处有一定的阻力,使所吸入的新鲜空气容积比活塞让开的容积要小些,充入气缸内的气体压力也低于外界压力。为了增大进气门开启截面积,减少进气阻力,多进新鲜空气,同时又考虑到进气门是逐渐开启的,故使进气门不在进气上止点打开,而是当活塞上行至上止点前某一曲轴转角时进气门开启(进气门早开或叫进气门提前开),如图 1-3 中 1 所示。这个从进气门开启瞬时到活塞行至上止点时的曲轴转角,称为进气提前角。

进气提前角如果太小,进气开始时,进气门流通截面较小,进气阻力增加,既增加进气功率的消耗,又会使充气量不足;反之,如果进气提前角太大,进气门过早开启,则会因上一个工作

循环排气过程的残余废气尚有一定压力,造成废气倒流进入进气道,严重影响进气质量,这是不允许的。所以,进气提前角应按规定调整准确。如 16V240ZJB、C 型柴油机的进气提前角为 $42^{\circ}20'$;16V240ZJD 型柴油机的进气提前角为 50° 。

进气门开启时,由于气缸内残余废气的存在,有一定的残余废气压力,会影响新鲜空气进入气缸。只有在气缸内残余废气压力低于进气道内的进气压力时,才能真正开始进气。此时,由于进气门的流通截面还较小,再加上活塞向下止点方向移动的影响,所以在进气过程的初期,气缸内会产生急剧的压力下降。随着进气门开度的不断增大,进入气缸内的新鲜空气逐渐增多;同时这部分新鲜空气受到气缸内燃烧室高温壁面以及残余废气的加热,与进气状态相比,其温度将有较大的提高,压力也随之上升。到进气终了时,因进入气缸的新鲜空气的动能将部分转化为压能,又会使气缸内的压力有所提高,但仍然低于供气源压力。

为了利用进气的流动惯性充分进气,以增加进气充量,所以进气门一般不在进气冲程的下止点,而是在下止点后的某一曲轴转角关闭(进气门晚关或叫进气门滞后关)如图 1-3 中 2 所示。活塞越过下止点后延迟关闭进气门的曲轴转角,称为进气滞后角。

因为活塞对新鲜空气的真正压缩,是在进气门完全关闭以后才开始的,所以进气滞后角过大时,压缩比会下降,使柴油机起动困难,还会影响柴油机的性能指标;如果进气滞后角过小,进气的流动惯性不能充分利用,使充气量减少,影响柴油机功率。如 16V240ZJB、C 型柴油机的进气滞后角为 $42^{\circ}20'$;16V240ZJD 型柴油机的进气滞后角为 42° 。

进气提前角和滞后角对于不同的四冲程柴油机角度值不同,其最佳值均由试验测定。柴油机型式一定,则进气提前角和滞后角的角度值就一定。

进气门从开启至关闭所转过的曲轴转角,称为进气持续角。在此期间的全部进气状态称为进气过程,以和进气冲程相区别。显然,进气持续角等于 180° 与进气门早开和晚关角度之和。

16V240ZJB 型柴油机进气持续角为 $180^{\circ} + 42^{\circ}20' + 42^{\circ}20' = 264^{\circ}40'$ 。

2. 压缩过程

压缩过程是指对进入气缸的新鲜空气进行压缩。压缩的主要作用是增大气体压力、提高气体温度,从而提高热功转换的效率,同时,也为燃烧过程的迅速进行创造良好条件。由于进气门迟后关闭,故实际压缩过程是从进气门关闭到活塞行至压缩上止点时为止。在压缩时,空气体积逐渐缩小,压力和温度不断升高,到压缩终了时,气体压力 $p_c = 2.5 \sim 8.5 \text{ MPa}$, 温度 $t_c = 550 \sim 870^{\circ}\text{C}$ 。即压缩过程终了的压力和温度比柴油的自燃温度($200 \sim 270^{\circ}\text{C}$)高出 $200 \sim 300^{\circ}\text{C}$,这就能保证柴油机可靠地进行冷机起动,燃油能够较快地自行着火燃烧。

压缩比是影响压缩过程的重要因素,其值的大小,决定压缩终了的空气压力和温度的高低,所以组装柴油机时,应对压缩比进行检查和调整。

在柴油机实际工作中,如果气缸漏气严重,则压力要降低,柴油机输出功率将减小,因此,常以实测压缩压力来检查柴油机的技术状态;对多缸柴油机来说,还须各缸压缩压力均匀一致。各缸压缩压力的实测值,可作为调整压缩比、检查进气系统(进气真空度)及活塞环气密性的依据。

在压缩过程接近终点时,向气缸供入燃油。喷油泵开始供油的瞬时到活塞行至上止点时的曲轴转角,称为供油提前角,如图 1-3 中 3 所示。此时由凸轮轴驱动的喷油泵,通过高压油管向喷油器输送高压燃油(瞬时最高压力可达 80 MPa)。燃油在供油系统内,经过压缩、管道弹性扩张以及泄漏等滞后效应后,在活塞行至点 3' 时,开始由喷油器喷入气缸内。在压缩过

程中确定向气缸内喷油的时机对改善柴油机的燃烧过程,实现柴油机的平稳运转,排气无黑烟具有很大的作用。若活塞到达上止点才开始向气缸供燃油,由于着火落后期等因素的影响,燃油将在活塞离开压缩上止点后才开始着火燃烧,相应地其燃烧过程结束也晚。大部分燃油将延迟在膨胀过程中燃烧,后燃严重,致使排气冒黑烟,柴油机的作功能力和经济性能也随之下降。反之,若在压缩上止点前过早地将燃油供入气缸,会因为气缸内的压力和温度都较低,致使着火落后期延长,从而引起燃烧粗暴。急剧升高的压力,将在气缸内引起强烈的冲击和振动,除影响柴油机的使用寿命外,还会产生刺耳的燃烧噪音,造成环境污染。所以,机车柴油机的供油提前角一般在上止点前 $15^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 曲轴转角范围内。

16V240ZJB 型柴油机单螺旋边柱塞副的喷油泵供油提前角为 21° ;

16V240ZJC 型柴油机供油提前角为 18° ;

16V240ZJD 型柴油机供油提前角为 20.5° 。

对于柴油机的供油提前角,一定要按规定调整准确。从进气门关闭到活塞运动至上止点止称为压缩过程,以和压缩冲程相区别。显然压缩过程的曲轴持续转角为 180° 与进气滞后角之差。

16V240ZJB 型柴油机压缩持续角为 $180^{\circ} - 42^{\circ}20' = 137^{\circ}40'$ 。

3. 燃烧膨胀(作功)过程

燃烧膨胀(作功)过程是指将燃油的化学能转变为热能,并由热能转变为机械功的过程。燃油燃烧所放出的热量越多,并且放热及时,则工作循环所作的功越多,热效率也越高。因此,要求在气缸内燃油的燃烧要完全和及时。

在压缩上止点前,燃油已经喷入气缸中,在进行吸热、蒸发、混合等物理变化以及氧化、分解等化学变化以后,与气缸内压缩后的空气形成了可燃混合气,柴油随即自行着火燃烧。此时燃油仍在继续喷入气缸内,如图 1-3 中 4 喷油结束,所以燃烧甚为猛烈。燃油在燃烧时放出大量的热能,气缸内的压力和温度急剧上升,而气缸容积无显著变化。大约在上止点后曲轴转角 $6^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 时达到最高燃烧压力(爆发压力);在此以后燃烧仍在进行,虽然活塞向下移动,但气缸压力变化不大;大约在上止点后曲轴转角 $20^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 达到最高温度。

在高温、高压燃气的作用下,活塞迅速下移,由于曲柄连杆机构的作用,活塞所承受的燃气压力转变为曲轴的旋转力矩,使柴油机对外输出功率。随着活塞的下移,气缸内气体的体积不断地膨胀,气体的压力和温度不断下降。已经膨胀作功的燃气成为废气。在活塞到达下止点前的某一曲轴转角,排气门开启(排气门早开或叫排气门提前开),废气即可排出缸外,燃烧膨胀(作功)过程随之结束,把燃烧膨胀(作功)叫过程,以和燃烧膨胀(作功)冲程相区别。显然,燃烧膨胀(作功)过程的曲轴持续转角为 180° 与排气门早开的角度之差。

16V240ZJB 型柴油机燃烧膨胀(作功)过程持续角为 $180^{\circ} - 42^{\circ}20' = 137^{\circ}40'$ 。

4. 排气过程

为了彻底排除废气,减少排气压力(即背压),当活塞在膨胀作功过程中下行至下止点前某一曲轴转角时排气门开启,如图 1-3 中 5 所示。从排气门开启的瞬时到活塞行至下止点时的曲轴转角,称为排气提前角。在排气门刚开启时,气缸内仍有一定的压力,借助气缸内废气与排气管之间的压力差向缸外排气,称为自由排气。从排气门开启到活塞行至下止点这一阶段为自由排气阶段。自由排气阶段时间很短,但气流速度很高,排出的废气量很大,大约有 $60\% \sim 70\%$ 的废气在此阶段排出。

排气提前角如果太大,就会过早地排出尚能作功的燃气,降低输出功率;如果太小,自由排

气阶段的排气量就少,大量废气要由活塞推出,即排气背压大,排气消耗功率就多。一般增压柴油机排气提前角较大,具有一定压力的废气排出,能推动废气涡轮旋转,其能量可以再次得到利用;非增压柴油机的排气提前角则较小。柴油机转速越高,则排气提前角越大;转速越低,则排气提前角越小。对于确定的柴油机,应按其规定的排气提前角调整准确。

16V240ZJB、C型柴油机的排气提前角为 $42^{\circ}20'$;16V240ZJD型柴油机的排气提前角为 50° 。

随着活塞由下止点向上运动,废气被活塞强迫推出缸外而消耗功,该阶段的排气称为强制排气阶段。

在强制排气阶段,气缸内压力比排气管内的平均压力略高一些,这个压力差主要是排气门处的节流所引起的。流速越高,节流越严重。

当活塞运动到上止点时,燃烧室内还存有一定量的废气。为了把废气彻底清除干净,并且使排气门在强制排气阶段后期仍有较大的流通截面以减少排气阻力,从而减少排气损失功。柴油机的排气门都在排气上止点以后 $40^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 曲轴转角范围内关闭(排气门晚关或叫排气门迟后关)如图1-3中6点所示。从活塞行至上止点到排气门完全关闭时的曲轴转角称为排气迟后角。选择合适的排气迟后角度值,就可以利用排气管中废气流动的惯性(即利用排气管中较大的压力降落),使气缸内的废气继续排出,进一步达到减少废气残余量以增加新鲜空气充量的目的。

从排气门开启到关闭这一过程称为排气过程,以和排气冲程相区别,排气提前角和滞后角对于不同的四冲程柴油机角度值不同,其最佳值均由试验测定。柴油机型式一定,则排气提前角和滞后角的角度值就一定。

16V240ZJB、C型柴油机的排气滞后角大小为 $42^{\circ}20'$;16V240ZJD型柴油机的排气滞后角大小为 50° 。

排气门从开启到关闭所经历的曲轴转角叫排气持续角。显然排气持续角等于 180° 与排气门早开和晚关角度之和。

16V240ZJB型柴油机排气持续角为 $180^{\circ} + 42^{\circ}20' + 42^{\circ}20' = 264^{\circ}40'$ 。

进气门在上止点前已经开启,排气门在上止点后关闭。此时进、排气门处于同时开启的状态,通常将这个现象称为气门重叠。同一气缸的进排气门同时开启时所占的曲轴转角,称为气门重叠角。

在气门重叠期间,柴油机的进气系统、燃烧室和排气系统全部沟通。在增压柴油机中,进、排气管道之间有较大的压差,当气门重叠角较大时,将会有一部分新鲜空气通过燃烧室而直接流入排气管内。借助进、排气门之间的压差,利用新鲜空气驱赶废气排出气缸的过程称为扫气过程。

柴油机燃烧室的扫气过程不仅可以很好地清除燃烧室中的残余废气,增加气缸内的新鲜空气,改善燃烧过程,降低排气温度,而且扫气还将使燃烧室得到必要的冷却,从而可以降低活塞、气缸盖、排气门等受热零部件的热负荷。此外,对于废气涡轮增压器来说,由于排气温度的降低,还能改善增压器涡轮叶片的工作条件。正因为燃烧室的扫气过程可以改善柴油机的性能指标并提高其工作可靠性,所以在增压柴油机中,都采用较大的气门重叠角。一般增压柴油机的气门重叠角约在 $100^{\circ}\sim 140^{\circ}$ 曲轴转角范围内。例如16V240ZJB、C型柴油机的气门重叠角为 $84^{\circ}40'$;16V240ZJD型柴油机的气门重叠角为 100° 。应注意,气门重叠角过大时会出现废气倒流或空气量损失过大的现象。

四冲程柴油机的实际工作循环,包括了以上叙述的4个过程,即进气过程、压缩过程、燃烧膨胀(作功)过程和排气过程。