



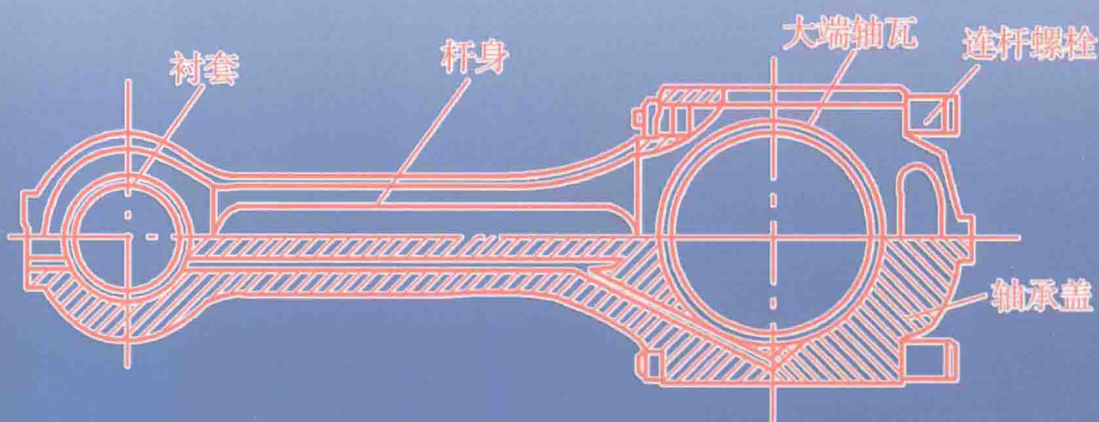
交通职业教育教学指导委员会推荐教材
中等职业学校水运类专业教学用书

中等职业教育规划教材

船舶柴油机

轮机工程技术专业

李衡夫 主编
傅象伦 主审



人民交通出版社

China Communications Press



交通职业教育教学指导委员会推荐教材
中等职业学校水运类专业教学用书

中等职业教育规划教材

船舶柴油机

CHUANBO CHIYOUJI

轮机工程技术专业

李衡夫 主编
傅象伦 主审



人民交通出版社

China Communications Press

内 容 提 要

本书是中等职业教育水运类轮机工程技术专业交通职业教育教学指导委员会规划教材之一,按照《船舶柴油机》教学大纲的要求编写的。

本书共分十三单元,内容包括:柴油机概述,柴油机的主要部件,柴油机的主要技术指标,配气系统,燃油系统,柴油机的调速装置,润滑系统,冷却系统,启动系统,换向装置,船舶推进装置,柴油机的增压装置,柴油机的特性与运行管理。

本书是针对三年制中等职业教育编写的,两年制的也可参考使用。同时,本书还适用于船员的考证培训和其他形式的职业教育。

图书在版编目(CIP)数据

船舶柴油机 / 李衡夫主编. —北京:人民交通出版社,
2008.7

ISBN 978 - 7 - 114 - 07198 - 0

I . 船… II . 李… III . 船用柴油机 IV . U664.121

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 077810 号

书 名: 船舶柴油机

著 作 者: 李衡夫

责任编辑: 蔡培荣

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757969, 59757973

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京凯通印刷厂

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 20.5

字 数: 493 千

版 次: 2008 年 8 月 第 1 版

印 次: 2008 年 8 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978 - 7 - 114 - 07198 - 0

印 数: 0001—2000 册

定 价: 38.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

交通职业教育教学指导委员会

航海类专业指导委员会委员名单

主 任: 孙欣欣

副主任: 季永青 王同庆

秘 书: 胡一民

委 员: 尤庆华 王 捷 王景代 孙捍民 汤荣生 张 宏

张玉良 张亦丁 杨新宅 陆卫东 陈 宏 陈明达

周明顺 林 敏 金南东 施祝斌 凌 整 梅德泉

黄琮念 韩雪峰 魏 滨

前言

QIANYAN

随着航运业的迅速发展,江海直达运输方式的出现,对水运学校的现有培养模式提出了新的更高要求。为深入贯彻《国务院关于大力发展职业教育的决定》,积极推进课程改革的教材建设,为职业教育教学和培训提供更加丰富、多样和实用的教材,更好地满足我国航运业快速发展的需要,交通职业教育教学指导委员会航海类专业指导委员会与交通职业教育研究会交通技工教育分会航运专业联络处联合组织有关中等职业学校及其骨干教师,按照交通职业教育教学指导委员会颁布的内河《船舶轮机专业》、航海《轮机工程技术专业》教学计划与大纲以及《中华人民共和国值班机工、值班水手培训大纲》的要求,编写了中等职业教育水运类轮机工程技术专业规划教材。

本系列教材注重以就业为导向,以能力为本位,面向市场,面向社会,体现了职业教育的特色,满足了高素质的实用型、技能型轮机专业中等职业人才培养的需要。本系列教材在组织编写过程中,形成了如下特色:

1. 打破内河和航海教育的界线,涵盖了两者的教学大纲要求,符合国际公约和国家法律法规对船员的要求,与培养目标紧密联系。
2. 遵从教学规律,强调循序渐进,由浅入深,师生互动,图文并茂的直观表达方式,学生易于接受。
3. 突出职业教育特点,基础理论以“够用为度”为原则,在保证课程理论的系统性和严谨性的同时,更注重知识的实用性。
4. 紧跟时代步伐,注重新知识的引进,力求反映航运发展的现状和趋势。

本书是针对三年制中等职业教育编写的,两年制的也可参考使用。同时,本书还适用于船员的考证培训和其他形式的职业教育。

《船舶柴油机》是中等职业教育水运类轮机工程技术专业规划教材之一,按照《船舶柴油机》教学大纲的要求编写。内容包括:柴油机概述,柴油机的主要部件,柴油机的主要技术指标,配气系统,燃油系统,柴油机的调速装置,润滑系统,冷却系统,启动系统,换向装置,船舶推进装置,柴油机的增压装置,柴油机的特性与运行管理。

本书编写与分工:主编武汉航道学校李衡夫(编写第一、二、十三单元),参编无锡交通高等职业学校钱洪星(编写第三、四、八、九单元)、安徽省航运学校张超(编写第五、七单元)、天津海员学校柳国建(编写第六、十、十二单元)、无锡交通高等职业学校陈建明(编写第十一单元)。本书由青岛远洋运输公司职工学校傅象伦担任主审。

限于编者经历和水平,教材内容难以覆盖全国各地的实际情况,希望各教学单位在积极选用和推广本系列教材的同时,注重总结经验,及时提出修改意见和建议,以便再版修订时改正。

交通职业教育教学指导委员会航海类专业指导委员会

二〇〇六年十月

目录

MULU

第一单元 柴油机概述	1
课题一 柴油机基本结构	1
思考与练习题	4
课题二 柴油机的分类和型号表示法	4
思考与练习题	8
课题三 柴油机工作原理	8
思考与练习题	15
第二单元 柴油机的主要部件	16
课题一 气缸盖	16
思考与练习题	26
课题二 气缸套	26
思考与练习题	34
课题三 活塞、连杆组件	34
思考与练习题	65
课题四 机架、机座	65
思考与练习题	76
课题五 曲轴飞轮组件	77
思考与练习题	97
第三单元 柴油机的主要技术指标	98
课题一 柴油机的指示指标	98
思考与练习题	101
课题二 机械损失功率和机械效率 η_m	101
思考与练习题	103
课题三 柴油机的有效指标	103
思考与练习题	106
第四单元 配气系统	107
课题一 换气过程	107



思考与练习题	116
课题二 配气系统的功用和组成	116
课题三 气阀装置	117
思考与练习题	121
课题四 气阀传动机构	122
思考与练习题	124
课题五 凸轮轴及其传动机构	125
思考与练习题	127
课题六 气阀间隙的检查与调整	127
思考与练习题	128
课题七 故障与维护管理	128
思考与练习题	130
第五单元 燃油系统	131
课题一 燃油	131
思考与练习题	134
课题二 可燃混合气的形成与燃烧室	134
思考与练习题	137
课题三 燃油的燃烧	138
思考与练习题	140
课题四 燃油系统的功用和组成	140
思考与练习题	141
课题五 输油泵	141
思考与练习题	142
课题六 喷油泵	142
思考与练习题	151
课题七 喷油器	152
思考与练习题	154
课题八 燃油系统的维护与管理	154
思考与练习题	155
第六单元 柴油机的调速装置	156
课题一 机械调速器	156
思考与练习题	160
课题二 液压调速器	160
思考与练习题	163
课题三 调速器的维护管理	163
思考与练习题	164



第七单元 润滑系统	165
课题一 摩擦、润滑与润滑油	165
思考与练习题	168
课题二 润滑系统的组成与设备	169
思考与练习题	172
课题三 润滑系统的管理与维护	173
思考与练习题	174
课题四 油水分离器	174
思考与练习题	188
第八单元 冷却系统	189
课题一 冷却系统的功用、组成和布置	189
思考与练习题	194
课题二 冷却系统的设备	195
思考与练习题	196
课题三 冷却系统的管理维护	196
思考与练习题	197
第九单元 启动系统	198
课题一 柴油机的启动	198
思考与练习题	199
课题二 电力启动的离合机构	199
思考与练习题	203
课题三 压缩空气启动系统	203
思考与练习题	209
课题四 辅助启动的装置和方法	209
思考与练习题	210
课题五 启动系统的管理与常见故障	210
思考与练习题	211
第十单元 换向装置	212
课题一 柴油机换向	212
思考与练习题	213
课题二 直接换向装置	213
思考与练习题	218
课题三 间接换向装置	218
思考与练习题	233
课题四 船用齿轮箱的常见故障	233



思考与练习题	236
第十一单元 船舶推进装置	237
课题一 概述	237
思考与练习题	239
课题二 轴与轴系	239
思考与练习题	250
课题三 船舶轴系的理论中心线	251
思考与练习题	257
课题四 尾轴管、尾轴、密封装置和螺旋桨安装	257
思考与练习题	259
课题五 轴系校中状态的检查	259
思考与练习题	269
第十二单元 柴油机的增压装置	270
课题一 柴油机的增压	270
思考与练习题	271
课题二 增压柴油机的工作原理	271
思考与练习题	277
课题三 废气涡轮增压器	277
思考与练习题	287
课题四 废气涡轮增压器的使用和维护	287
思考与练习题	292
第十三单元 柴油机的特性与运行管理	293
课题一 柴油机的工作特性	293
思考与练习题	303
课题二 船舶柴油机的试验	303
思考与练习题	308
课题三 柴油机的运行与管理	308
思考与练习题	317
参考文献	318

第一单元

柴油机概述

船舶柴油机在广义上讲是运输专用船舶和其他船舶上使用的所有柴油机;在狭义上说,就是船舶的主机,即向船舶提供航行动力装置的柴油机。柴油机被广泛应用到船舶上,是因为柴油机经过 100 年来的不断地发展,在经济性和可靠性上得到加强,更优于其他内燃机械设备。具体特点如下:

(1)经济性好。有效热效率可达 50%以上,燃料除了柴油外,还可以使用廉价的重油,甚至劣质燃油,故燃油费用低。

(2)功率范围宽广,柴油机的单机功率从 0.6~68 000kW,适用的领域广。

(3)尺寸小,重量轻,有利于船舶机舱布置。

(4)机动性好。启动方便,正常启动只需 3~5s、加速性能好,能在较短的时间内达到满负荷、有较宽的转速和负荷调节范围、可直接反转、能适应船舶航行的各种工况需求。

(5)运行安全、维修方便、使用寿命长。

由于柴油机具有上述特点,特别是具有能源消耗低,经济性能好的独特优越性而得到广泛应用。根据有关国外船级社统计:20 世纪末全世界制造的船舶载重量达 2 000t 以上的,以柴油机作为推进装置者占 100%,可见柴油机是目前最经济和最合理的一种船舶动力装置。具有能量损失小,较高的热效率及在尺寸和重量方面的明显优势。所以,在船用发动机中,柴油机已经取得了绝对领先地位。我国自行设计制造的“远望三号”航天测量船,在对“神舟五号”宇宙飞船的海上跟踪测量任务中,往返于太平洋、印度洋和大西洋,该船舶历时 74d、远航近 4 万 km,就是采用柴油机作为船舶动力装置而远航各大洋的。

课题一 柴油机基本结构

柴油机是现代船舶航行的主要动力推进装置。

柴油机是内燃机中的一种。它是将液体燃料——柴油,以雾化形式喷入气缸中去,并与气缸里的压缩空气充分混合,迅速燃烧膨胀,放出大量热量并转化成机械能。这样,活塞的往复运动,由连杆、曲柄,变成曲轴的旋转运动,经轴系带动螺旋桨的运转,推动船舶前进。

为了保证柴油机能顺利地运转工作,柴油机自身必须具有一系列基本结构和相应系统。

一台正常运行的柴油机,它的结构必须满足以下条件:

(1)要能吸入足够的空气,并压缩到一定的值(即一定的温度和压力)。

(2)燃料(柴油)必须以高压雾化状态喷入气缸,并与空气充分混合。



(3)要有一整套专门机构(即活塞—连杆—曲柄机构),能将热能转化成机械能。

(4)必须将作功后的废气及时迅速排扫出机外。

除此之外,燃料的燃烧需要在密封的状态下进行,许多机件需要固定,因此,还必须有坚固的机件来承担。

为了保证柴油机能正常地运行,并能满足各种海况的需要,柴油机必须设置一系列系统来保障柴油机运行工况的需求。这些系统是减少机件磨损的润滑系统;能确保源源不断地供给高压清洁柴油的燃油系统;有提供新鲜空气和排除废气的换气系统;有及时散热并带走一定的热量而专门设置的冷却系统。另外,为了使船用柴油机能适合船舶航行的需要,船用柴油机都设有启动、换向、调速和操纵装置。

综上所述,船用柴油机的基本结构是由固定部件、运动部件等主要部件及辅助机构两大部分组成。柴油机的主要部件是指燃烧室部件(活塞、气缸套、气缸盖)、曲柄连杆机构(十字头、连杆、曲轴和主轴承)、机架、机座和贯穿螺栓等部件。这些部件构成了柴油机的主体。因为它们工作的好坏,不但直接影响柴油机的技术性能指标,而且与船舶的安全航行密切相关。统计表明,船用柴油机主要部件发生的故障,占柴油机的故障率的90%左右,由此可见,深入了解主要部件并提高工作责任心,是降低柴油机故障发生率的重要一环。

一、固定部件

柴油机的固定部件是组成柴油机的主体。固定部件主要由机座、机架、气缸和气缸盖、主轴承等组成。这些部件形成了柴油机气缸工作容积及曲轴箱空间,并支承其他机件的各种装置。并且用螺栓将它们紧密地连接在一起,组成一个坚固的刚性整体。在小、中型柴油机中,为了简化工艺和提高构造的刚性,往往把机座、机架合铸成一体,统称为机体。固定部件的重量约占整台柴油机的70%左右。

二、运动部件

柴油机的运动部件是组成柴油机的核心。运动部件主要由活塞组件、连杆组件和曲轴组件等构成。这些部件是将热能转变为机械能,使活塞的往复运动,通过连杆转变为曲轴的回转运动的极其重要的部件。

在大型柴油机中,还装有活塞杆、十字头和滑块等部件。

上述柴油机的固定部件和运动部件,是柴油机工作的受力部件。

三、辅助机构

柴油机的辅助机构主要由以下各个系统和装置所组成。进排气系统,燃油系统及调速、滑油系统、冷却系统,以及启动装置、换向装置、增压装置和操纵装置等。

图1-1为四冲程柴油机的主要部件示意图,图1-2为二冲程柴油机主要部件横剖视图。

要掌握柴油机的理论知识和技能本领,除了了解柴油机主要组成部分之外。还必须掌握柴油机专用名称的含义及其型号和类型的区别。

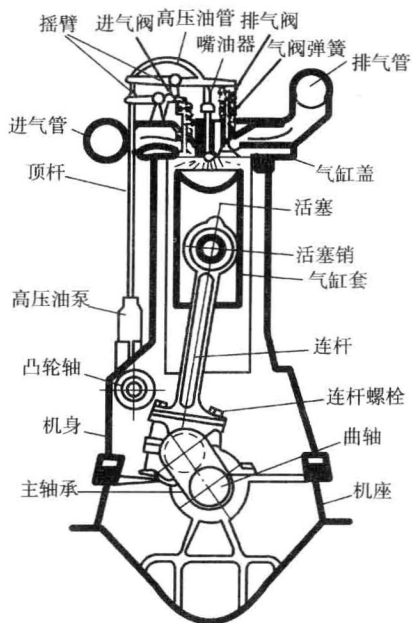


图 1-1 四冲程柴油机的主要部件

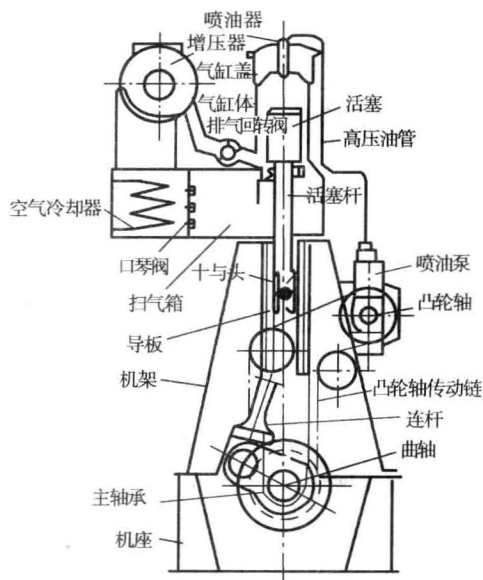


图 1-2 二冲程柴油机的主要部件

四、柴油机的专用名称

柴油机有很多专用名称术语,每一个名称术语都包含着一定的技术概念,现将常用的主要专用名称术语简述如下:

1 气缸直径

指柴油机的气缸内径,用符号 D 表示。单位是毫米或厘米。

2 上止点

活塞在气缸中运动到最上端的位置,即活塞离曲轴中心线最远的位置。见图 1-3。

3 下止点

活塞在气缸中运动到最下端的位置。即活塞离曲轴中心线最近的位置。

4 活塞行程(冲程)

上、下止点之间的距离,用符号 S 表示,单位为毫米或厘米。它等于曲柄半径 R 的两倍,即 $S=2R$,活塞移动一个行程相当于曲轴回转 180° 。

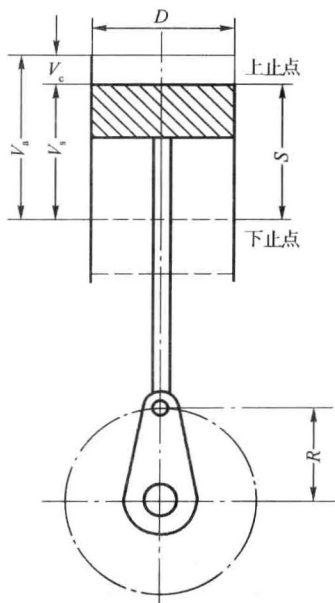


图 1-3 柴油机的专用名称



5 压缩容积

活塞位于上止点时,与气缸盖底面之间容积(又称为燃烧室容积),以符号 V_c 表示。

6 工作容积

活塞从上止点运动到下止点之间的气缸容积,以符号 V_s 表示。工作容积可用公式求出:

$$V_s = \frac{\pi}{4} D^2 S$$

7 气缸总容积

活塞位于下止点时,活塞顶上的全部气缸容积,以符号 V_a 表示:

$$V_a = V_c + V_s$$

8 压缩比

气缸总容积与压缩容积之比值。以符号 ϵ 表示。压缩比 ϵ 可用公式求出:

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

压缩比是柴油机工作性能好坏的一个重要技术参数。柴油机压缩比的调整要按其说明书的要求进行。压缩比值过大,使柴油机应力增加,磨损严重;压缩比值过小,则柴油机的压缩压力和温度达不到额定值,从而造成燃烧恶化,启动困难。

高速柴油机的 ϵ 值取:15~19;

中速柴油机的 ϵ 值取:14~15;

低速柴油机的 ϵ 值取:11~13。

思考与练习题

1. 柴油机主要包括那几个部分?
2. 什么叫上止点、下止点和行程?
3. 什么叫压缩室容积、工作容积、气缸总容积和压缩比?

课题二 柴油机的分类和型号表示法

一、柴油机的分类

目前国内外各类型柴油机很多,且应用极为广泛。为了从总体上了解和掌握柴油机的特点,现根据柴油机的最基本的特征,对其作如下分类。

1 按柴油机的冲程数分类

根据柴油机的工作循环,柴油机每四个行程(即曲轴回转两周)完成一个工作循环称为四



冲程柴油机；每两个行程（即曲轴回转一周）完成一个工作循环称二冲程柴油机。

2 按曲轴连杆机构形式分类

柴油机以构造特点可分为筒形活塞式柴油机和十字头式柴油机两种。

1) 筒形活塞式柴油机

筒形活塞式柴油机的活塞直接与连杆相连，活塞的导向作用靠缸体部分来承担。在工作时产生的侧推力直接作用在气缸壁上。这种柴油机的结构较为简单、紧凑，适用于中小型高速柴油机，见图 1-4a)。

2) 十字头式柴油机

十字头式柴油机的活塞是通过活塞杆、活塞杆填料、十字头，再与连杆相连接，活塞的导向作用主要靠十字头来承担。当柴油机工作时，其十字头上的滑块在机架导板上滑动，并将产生侧推力直接作用在滑块与导板之间。活塞杆填料函能将燃烧室空间和曲轴箱空间完全隔离开，防止燃油燃烧时的产生物串入曲轴箱空间，污染曲轴箱的润滑油。这对于采用燃料油为燃料的柴油机来说是十分重要的。这样，十字头式柴油机的高度和重量也随之增大，构造也复杂，所以适用于中大型柴油机，见图 1-4b)。

3 按扫气方式分类

柴油机按其扫气形式可分为直流扫气和弯流扫气两大类，其中弯流扫气的又可分为横流扫气和回流扫气两种。

B&W 公司生产的船用低速大功率柴油机是采用直流扫气方式。这种扫气方式较为合理，大有发展前途。

Sulzer 公司生产的船用低速柴油机以采用回流扫气而著名。这种扫气方式的结构简单，但换气质量没有直流扫气方式好。

MAN 公司生产的船用柴油机采用横流扫气方式。

4 按转速分类

柴油机的速度可用活塞平均速度(m/s)和曲轴转速(r/min)两种方式来表示。为了适应船舶柴油机的使用 and 实际出发，通常以柴油机曲轴的转速来表示，故柴油机可分为：

- (1) 高速柴油机， $n > 1000 \text{ r/min}$ ；
- (2) 中速柴油机， $300 \text{ r/min} < n \leq 1000 \text{ r/min}$ ；
- (3) 低速柴油机， $n \leq 300 \text{ r/min}$ 。

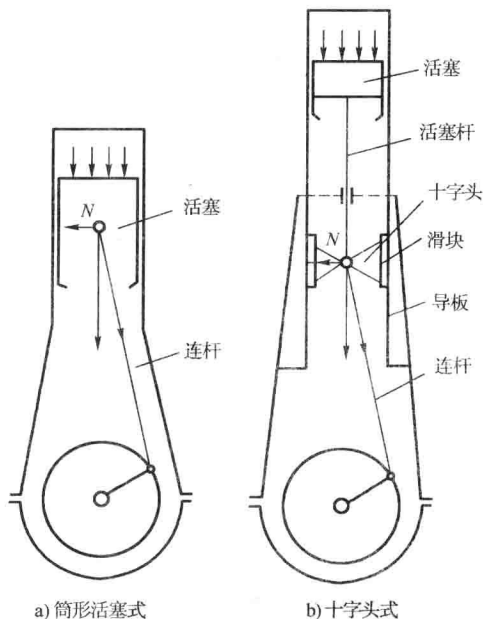


图 1-4 柴油机的结构简图



5 按气缸排列方式分类

柴油机根据其气缸的排列式样,可分为单列式柴油机和多列式柴油机。单列式柴油机是目前应用广泛的一种,尤其适用于中大型船上。

多列式柴油机适用于中小型及高速舰船上,有V形、W形、X形和星形等多种气缸排列的式样。见图1-5。

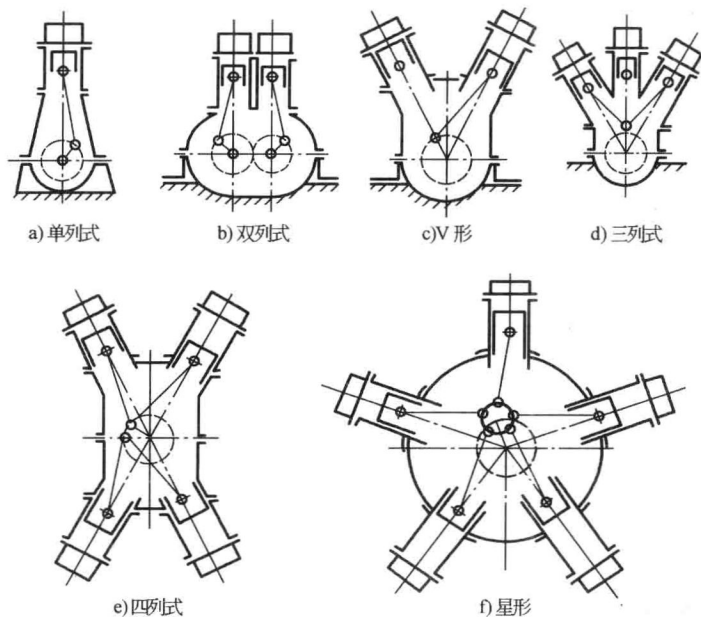


图 1-5 柴油机按气缸列数分类简图

6 按柴油机的用途分类

柴油机根据其用途的不同,有作为船舶推进的并直接带动螺旋桨工作的主机;有作为航行用发电机的原动机以及应急电机的原动机或其他船用动力的辅机。

7 按进气压力分类

根据柴油机的空气进入气缸的压力,可分为非增压柴油机和增压柴油机两种。靠自然吸入空气的柴油机,称为非增压柴油机,这类柴油机的空气进入压力很低。用增压器来提高空气压力进入柴油机,称为增压柴油机,此类柴油机的进气压力较高,一般为 $0.12 \sim 0.15 \text{ MPa}$,高增压的可达到 0.3 MPa 以上。

二、柴油机的型号

每种柴油机的型号不同。各国生产的柴油机型号,其编制方法也不尽相同,但大致包括两部分内容。其中数字部分主要表示柴油机的技术规格,如气缸数、气缸直径、活塞行程等;字母



部分则主要用来表示柴油机的技术特征的。

现将国产和部分国外生产的柴油机型号的表示意义和方法,举例说明。

1 国产船用柴油机型号的表示方法

我国柴油机现今开发的系列品种较多,使用面广泛,加上原来已有的柴油机型号比较杂乱,因此型号表示的方法和内容没有完全统一。现将已得到规定的型号表示方法列在下面。

型号示例:

①	③	②	③	④	⑤	
6		135				柴油机
12	VE	230	ZC			柴油机
6	ESDZ		43/82	A		柴油机

代号意义:

①气缸数

②气缸直径(mm)

③技术特征

E—二冲程(无E者为四冲程)

V—气缸排列形式,V形

Z—增压

G—高增压

S—十字头式

D—可倒转

C—船用(大型低速机),全部船用无代号

④气缸直径(cm)/活塞行程(cm)

⑤改进型号

2 国外部分船用柴油机的型号表示方法

现今我国引进多种类型的船用柴油机的专利,以及国外部分船用柴油机的购入,故必须了解其部分类型柴油机的型号,对满足船舶柴油机型号的掌握有一定的帮助。

丹麦 B&W 公司柴油机的型号示例:

①	②	③	②	④	⑤	⑥	
9	74	VT		B	F	160	柴油机
8		K	84	E	F		柴油机
6		L	67	G	F		柴油机

代号意义:

①气缸数目

②气缸直径(cm)

③结构特征:



VT—二冲程、十字头

K—二冲程、十字头、短冲程

L—二冲程、十字头、长冲程

④增压状况(增压度的大小)

⑤用途, F—船用

⑥活塞行程, (cm)

瑞士苏尔寿(Sulzer)公司柴油机的型号表示

①	②	③	②	④	③	
12	R	N	D	90	M	柴油机
5	RL	A		56		柴油机

代号意义:

①气缸数

②技术特征:

R—二冲程、十字头、焊接结构

D—直接倒转、有推力轴泵

L—长冲程

③改进型:

N—新型

M—改进型

A—变型

④气缸直径(cm)

思考与练习题

1. 叙述柴油机的分类形式。
2. 国产大型柴油机的型号是怎样表示的? 试说明代号的含义。

课题三 柴油机工作原理

一、四冲程柴油机工作原理

柴油机是一种压燃式的内燃机,它的作用过程必须具备以下要求:在气缸里要有足够的空气并被压缩到一定程度,以达到柴油燃烧所需的自燃温度,同时也能将作过功的废气迅速排出气缸外。

柴油机每作功一次,都必须经过进气、压缩、燃烧、膨胀和排气 5 个过程,这 5 个过程称为一个循环,此循环不断地进行,柴油机就能连续地运行运转起来。活塞上下运动四个冲程(即曲轴回转两周)完成一个工作循环的柴油机,叫做四冲程柴油机。