



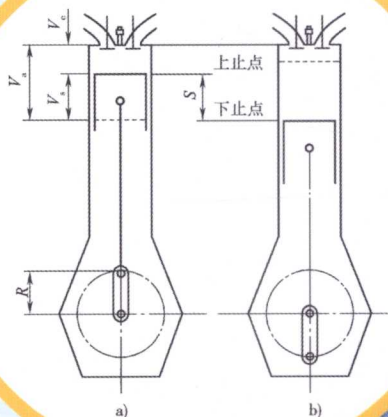
国家示范性高等职业院校重点建设专业教材

轮机工程技术专业

船舶柴油机

◎主编 黄步松 吕凤明

◎主审 张均东 [大连海事大学]



人民交通出版社
China Communications Press

国家示范性高等职业院校重点建设专业教材

Chuanbo Chaiyouji

船舶柴油机

(轮机工程技术专业)

主编 黄步松 吕凤明

主审 张均东 [大连海事大学]

人民交通出版社

内 容 提 要

本书是国家示范性高等职业院校重点建设专业教材。全书包括八个模块,分别是:柴油机基本知识,柴油机吊缸、检查与测量,气阀机构的拆装、检查与调整操作,增压器拆装,喷油设备的拆装、检查和调整,分油机的拆装操作,船舶柴油机的操作,柴油机测试。

本书既可以作为高职院校轮机工程技术专业学生的教材,也可以作为有关人员的参考读物。

图书在版编目(CIP)数据

船舶柴油机/黄步松,吕凤明主编. —北京:人民交通出版社,2009.9

ISBN 978-7-114-07897-2

I. 船… II. ①黄…②吕… III. 船用柴油机 IV. U664.121

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 118889 号

国家示范性高等职业院校重点建设专业教材

书 名: 船舶柴油机

著 作 者: 黄步松 吕凤明

责任编辑: 蒋明耀

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.ccpres.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: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 24.5

字 数: 615 千

版 次: 2009 年 9 月 第 1 版

印 次: 2009 年 9 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-07897-2

定 价: 62.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

序

2006 年是中国高等职业教育的春天。这一年,我国教育部、财政部启动了国家示范性高等职业院校建设计划,高等职业教育首次被定性为中国高等教育发展的一种类型。时代赋予了高等职业教育非常广阔的发展空间。

2006 年也是福建交通职业技术学院发展的春天。同年 12 月,这所有着 140 多年办学历史的百年老校,被确定为全国首批国家示范性高等职业院校建设单位。这对学校而言,是荣誉更是责任,是挑战更是压力。

国家示范性院校建设的核心是专业建设,而课程和教材又是专业建设的重要内容之一。如何通过课程的建构来推动人才培养模式的改革和创新?教材编写工作又如何与学校人才培养模式和课程体系改革相结合?如何实现课程内容适合高素质技能型人才的培养?这均是我校示范性建设中的重要命题。

难能可贵的是,3 年来,在全体教职员工的不懈努力下,我校 8 个重点建设专业(6 个为中央财政支持的重点建设专业)在实验实训条件建设、师资队伍建设、人才培养模式与课程体系改革等方面,都取得了突破性的进展。

更令人欣慰的是,我院教师历经 3 年的不断探索和实践,为我院的教材建设作出了功不可没的成绩。一系列即将在人民交通出版社出版的国家示范性高等职业院校重点建设专业教材,就是我院部分成果的体现。在这些教材中,既有工学结合的核心课程教材,也有专业基础课程教材。无论是哪种类型的教材,在编写中,我院都强调对教材内容的改革与创新,强调示范性院校专业建设成果在教材中的固化,强调教材为高素质技能型人才培养服务,强调教材的职业适应性。因为新教材的使用,必须根植于教学改革成果之上,反过来又促进教学改革目标的实现,推进高职教育人才培养模式改革。

培养出社会所需要的人才,是我院一直不懈努力的方向,而这些教材就是我们努力前行的足迹。

在这些教材的编写过程中,也倾注了相关企业有关专家的大量心血和辛勤劳动,在此谨向他们表示衷心的感谢!

福建交通职业技术学院院长
福州大学博士生导师



前 言

根据国家示范性高等职业院校建设的精神,按照福建交通职业技术学院船政学院的轮机工程技术专业人才培养和教学模式改革方案的要求,为了培养学生的岗位职业核心能力,我们尝试编写了这本具有“工学结合”和“理论与实践周期交替互动”特色的核心课程教材。

本书是根据航海类专业教学指导委员会制定的《轮机工程技术专业指导性教学计划》中的《船舶柴油机》教学大纲要求和中华人民共和国海事局颁布的 2005 年版《海船船员适任考试和评估大纲》中对主推进动力装置中柴油机部分的考试要求,本着航海类高职高专技能培养的需要,以“好用、实用、够用、管用”为度,培养学生岗位职业能力,结合航海类高职院校教学的特点,按照编者自己组织的思路,系统地对相关内容进行编写。

本书主要选用目前典型的现代船用大型低速二冲程柴油机及中速四冲程柴油机为主要机型,力图反映现代船舶柴油机发展的最新状况,向学生传授船舶柴油机的最新知识。

本书由黄步松、吕凤明主编。第一、四、六、七模块由吕凤明编写,第二、三、五、八模块由黄步松编写。全书由大连海事大学轮机工程国家重点学科负责人、博士生导师张均东教授主审。在编写过程中得到许多航运公司的朋友们和其他老师的鼎力帮助,他们的关心和意见使编者受益匪浅。在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请各位专家批评指正。

编者

2009 年 6 月

目 录

模块一 柴油机基本知识	1
任务一 柴油机总体机构认识	1
任务二 柴油机工作原理	13
任务三 拓展性理论知识	20
思考题	28
模块二 柴油机吊缸、检查与测量	29
任务一 柴油机拆卸与装配的流程	29
任务二 常用拆装工具、量具使用及物料的准备	31
任务三 气缸盖的拆装与检验	36
任务四 活塞、连杆组件拆装与检测	38
任务五 气缸套拆装与测量	51
任务六 曲轴的检查与测量	57
任务七 主轴承拆装与测量	63
任务八 燃烧室部件与故障管理	69
任务九 曲柄连杆机构与故障管理	92
任务十 柴油机的主要固定件与管理	104
任务十一 拓展性理论知识	111
思考题	119
模块三 气阀机构的拆装、检查与调整操作	120
任务一 气阀机构拆装流程	120
任务二 气阀机构的拆装、气阀的研磨与密封面检验	120
任务三 气阀间隙、气阀正时的测量与调整	123
任务四 柴油机的换气过程	127
任务五 换气机构	129
任务六 拓展性理论知识	137
思考题	139
模块四 增压器拆装	140
任务一 增压器拆装流程	140
任务二 增压器解体与装配程序	141
任务三 增压器装配间隙检查与调整	147
任务四 增压器维护管理与应急处理操作	150
任务五 柴油机废气能量分析、增压基本知识及形式	152
任务六 废气涡轮增压器的工作原理及喘振机理	157
任务七 拓展性理论知识	164
思考题	171

模块五 喷油设备的拆装、检查和调整	172
任务一 喷油设备拆装流程	172
任务二 喷油泵的拆装与检修	172
任务三 喷油器的拆装与检查	177
任务四 供油定时的检查与调整	180
任务五 过滤器的拆装	185
任务六 船用燃油	187
任务七 燃油的喷射和雾化	195
任务八 燃油系统的主要设备	201
任务九 可燃混合气的形成	212
任务十 燃油的燃烧	217
任务十一 柴油机的排气污染与净化	223
任务十二 拓展性理论知识	228
思考题	235
模块六 分油机的拆装操作	237
任务一 分油机拆装操作流程	237
任务二 分油机的拆装与检修	237
任务三 分油机的操作	242
任务四 分油机的结构和工作原理	244
任务五 拓展性理论知识	253
思考题	255
模块七 船舶柴油机的操作	256
任务一 船舶柴油机操作流程	256
任务二 主柴油机操作	257
任务三 发电柴油机操作	268
任务四 柴油机应急处理操作	273
任务五 柴油机燃油系统的组成、设备和维护管理	284
任务六 柴油机滑油系统的组成、设备和维护管理	289
任务七 柴油机冷却水系统的组成、设备和维护管理	304
任务八 调速器的类型、性能指标及数值范围	310
任务九 液压调速器的结构、应用与各旋钮的作用	314
任务十 并联工作的柴油机对稳定调速率的要求及调整	320
任务十一 调速器的管理要点、常见故障及排除方法	322
任务十二 压缩空气起动系统的组成、设备和维护管理	324
任务十三 拓展性理论知识	331
思考题	346
模块八 柴油机测试	348
任务一 柴油机测试流程	348
任务二 柴油机特性曲线的测取	349
任务三 柴油机示功图测取	353

任务四	柴油机运转参数和性能参数的测量·····	358
任务五	柴油机的特性·····	360
任务六	柴油机的选型区域和使用范围·····	369
任务七	示功图的分析与计算·····	373
任务八	拓展性理论知识·····	379
思考题	·····	381
参考文献	·····	382

模块一 柴油机基本知识

教学目标:

- (1) 具有认识柴油机总体机构的能力;
- (2) 具有柴油机基本知识、基本工作原理知识的能力;
- (3) 具有分析柴油机性能指标、工作参数的能力。

任务一 柴油机总体机构认识

一、柴油机的基本组成

柴油机是一种两次能量转换均在气缸内部进行的压缩发火的往复式内燃机。虽然柴油机的结构复杂、型号各异,但其工作原理和总体结构则有很多共同之处。图 1-1 所示为柴油机的总体结构图。根据其各组成部件的基本作用,可将它分成以下几个组成部分:

1. 主要运动件

柴油机的主要运动件由活塞组件、连杆组件及曲轴组成,对于大型低速柴油机还有十字头组件。活塞与气缸及气缸盖构成燃烧室,保证柴油机工作过程的进行,同时通过连杆将活塞的往复运动变为曲轴的回转运动,使燃气推动活塞的动力通过曲轴以回转的方式向外输出。

2. 主要固定件

柴油机的主要固定件由机座、机架、导板、主轴承、气缸和气缸盖等组成。对于中小型柴油机常将气缸体和机架做成一体称为机体,并省去机座代之以轻便的油底壳。主要固定件构成了柴油机的骨架,形成运动部件(活塞、十字头、连杆、曲轴)和传动部件(传动齿轮、链轮)的运行空间,并布置冷却、润滑和扫气的水、油、气空间。支承运动件和辅助系统。

3. 配气机构及换气系统

配气机构由进排气阀、气阀传动机构、凸轮轴及凸轮轴传动机构组成。进排气系统由空气滤器、进排气管和消音器组成,对于增压柴油机还有增压器及空冷器。它们的作用是按照柴油机工作循环的需要,定时地向气缸内供应充足、清洁的新鲜空气,并将燃烧后的废气排出气缸。

4. 冷却系统

冷却系统由泵、冷却器和温控器等组成。船舶柴油机通常以淡水和滑油为冷却剂在机内

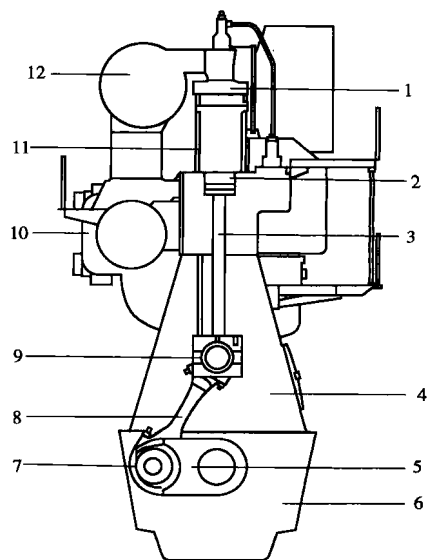


图 1-1 柴油机总体结构图

- 1-气缸盖;2-活塞;3-活塞杆;4-机架;5-曲轴;
6-机座;7-连杆大端轴承;8-连杆;9-十字头;
10-空冷器;11-缸套;12-排气总管

流动,将受热零部件所吸收的热传导出去,保证零部件有正常的工作温度。冷却柴油机后的淡水和滑油本身由海水冷却。

5. 润滑系统

润滑系统的作用是将清洁的润滑油送至柴油机的各运动件摩擦表面,起到减磨、冷却、清洁、密封和防锈作用,保证柴油机的正常工作。对于大型低速柴油机通常由气缸注油系统和曲轴箱油系统两部分组成,而对于中小型柴油机只有曲轴箱油系统,也称之为机油系统。

6. 燃油系统

燃油系统由燃油供给系统和燃油喷射系统组成。燃油供给系统是把符合使用要求的燃油畅通无阻地输送到喷油泵入口端。该系统通常由加装和测量、贮存、驳运、净化处理、供给五个基本环节组成。燃油喷射系统由喷油泵、喷油器和高压油管组成,其作用是定时、定量地向燃烧室内喷入雾化良好燃油,保证燃烧过程的进行。

7. 起动系统

起动系统是柴油机由静止状态,借助于外部能源带动曲轴回转,创造柴油机获得第一个工作循环所需的条件,即进气、压缩、喷油、燃烧、膨胀作功推动活塞自行运转起来的过程。根据柴油机的不同,起动系统可分为两类,一类是借助于外力矩使曲轴转动起来,如人力手摇起动、电机起动和气马达起动等;另一类是借助于加在活塞上的外力推动活塞运动使曲轴旋转起来,如压缩空气起动。

8. 操作与控制系统

柴油机的控制系统是为了满足船舶机动操作的要求,设置的使起动、换向和调速装置各种装置联合动作的操纵机构。

二、柴油机的典型结构

船舶柴油机在结构上主要可分为筒型和十字头式柴油机。随着柴油机的发展,MAN B&W 公司生产的 MC 系列柴油机和 Wärtsilä 瑞士公司生产的 SULZER RTA 系列柴油机已成为二冲程十字头式柴油机市场的主导产品,而 Wärtsilä,MAN B&W, Mak 等公司的产品则在四冲程中速柴油机市场占主导地位。下面以 Wärtsilä L32 型柴油机和 MAN B&W 公司生产的 S50MC-C 型柴油机为例介绍四冲程柴油机和低速二冲程柴油机的总体结构。

1. Wärtsilä 32 型中速柴油机

Wärtsilä 32 型中速柴油机如图 1-2 所示,它是以在燃烧技术上取得的最新成就为基础而设计制造的。它具有氮氧化物排放低、可靠性高、维护管理方便、运转费用低等优点。在结构上有下列特点:

冷却水系统分为两个系统。即高温冷却水系统和低温冷却水系统。气缸套和气缸盖及增压空气冷却器的高温部分等的温度由高温水系统控制,系统温度保持在约 95℃,保证燃用低质燃烧油时的良好工作。而低温系统则用于冷却增压空气冷

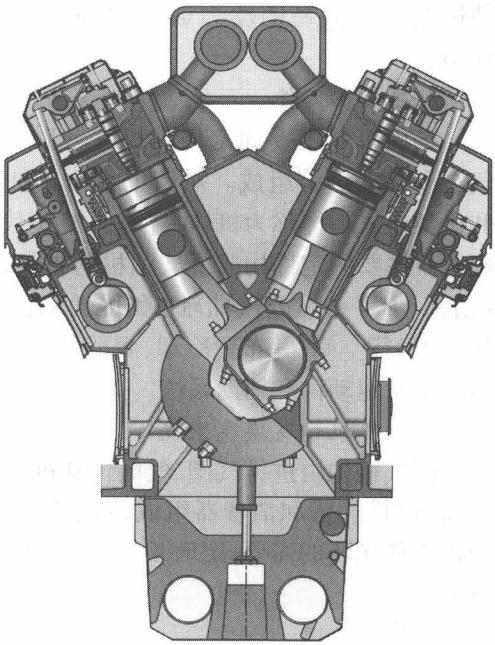


图 1-2 Wärtsilä 32 型中速柴油机

却器的低温部分及滑油冷却器。对于动力装置总体来说,这种冷却方式可获得最大的热回收和总体效率。

增压系统可采用脉冲增压系统和单管脉冲增压系统并带有废气和空气旁通阀,确保了废气侧和空气侧最小的流动损失。

柴油机的机体用球墨铸铁铸造。Wärtsilä 32 机使用最新的铸造技术,将所有的油水管路设置在机体之内,使之成为外部光洁的真正无管路的发动机。柴油机采用弹性底座,确保柴油机的振动不会传到机外。

柴油机的曲轴是整体锻造的并进行了全面的机加工,对曲柄直径和过度圆角的仔细优化和对轴承负荷的精心计算,并且在每个曲柄臂上都装有平衡重,保证了曲轴在高的气缸压力下的可靠工作,并将轴承负荷控制在允许的范围之内,也使柴油机的总体长度达到最小。主轴承采用倒挂式主轴承,通过选择最合适的轴承材料和对关键区域油槽的优化设计,保证了足够的油膜厚度,确保了轴承的良好工作。

柴油机的连杆采用船用大端连杆,对于这种持续在高燃烧压力下工作的柴油机而言,这种连杆是最安全的。杆身与连杆大端的结合面正处于连杆大端轴承座的上方,可以方便地拆卸和维护。螺栓用液压工具同时上紧。

柴油机的活塞是由铸钢的活塞头和铸铁活塞裙制造的组合式活塞,Wärtsilä 32 型柴油机活塞的特点是在活塞的裙部设有润滑装置,这确保了活塞环和活塞裙的可靠润滑并使摩擦损失降低到最小。在活塞上仅装有两道压缩环和一道刮油环,第一道环设有特殊的耐磨层。这使得摩擦损失达到最小。

Wärtsilä 32 型柴油机的气缸套在其上部加高加厚,有足够的强度和刚度承受机械负荷和热负荷,通过钻孔冷却,控制其温度及热负荷。在缸套内部上端设有一个防磨环,可以除去活塞头部的积炭,减少缸套的磨损和滑油的消耗。

气缸盖采用四螺栓结构,通过内部结构设计使其具有最大的刚度,可以确保阀和阀座的均匀接触及气缸套的圆度。进排气道在设计上通过计算液体力学的分析,使其流动损失最小。气缸盖上采用多管道元件代替了传统柴油机上单独元件的结构,可以完成空气进入气缸,废气排至排气系统,冷却水从气缸盖排出等多项功能。

2. MAN B&W 公司的 S50MC-C 型柴油机

自 1982 年 MC 系列柴油机投入使用以来,这一系列柴油机已成为最经常被选用的船用主机,占据了市场的最大份额。在近 20 多年的发展中,这一系列的柴油机仍在不断地改进和发展,新经验、新技术、新材料都在柴油机的发展过程中得到体现,MC-C 型柴油机就是近年内发展起来的广泛用于货船主机的一个新机型。

MC-C 型柴油机首先是在大缸径机上实现的。根据市场需求,MAN B&W 公司又推出了中缸径的 MC-C 型柴油机(S50, S60 及 S70MC-C)。S-MC-C 系列柴油机的发展目标是,在提高功率输出的前提下改善可靠性,减轻重量,缩短柴油机的长度,这就是“C”紧凑型的概念。一般来说,对相同尺寸的发动机其长度约缩短 10%,而功率上升 10%,重量下降 10%,如:S50MC-C 的气缸中心距从 S50MC 的 890mm 下降到 850mm,6S50MC-C 型机的长度比 6S50MC 的长度短 240mm。

S50MC-C 型机如图 1-3 所示,在结构上采用短连杆结构,其主要目的是降低机器的高度,减轻机器重量,并可以减少振动质量和降低成本。其十字头销设计成非常简单的直段轴形,省去了两个端销,直径也缩小了。这样既简化了加工过程,又减轻了重量。

新型的 S-MC-C 柴油机所有的大型轴承普遍采用现代的薄壁轴瓦结构,轴承材料采用

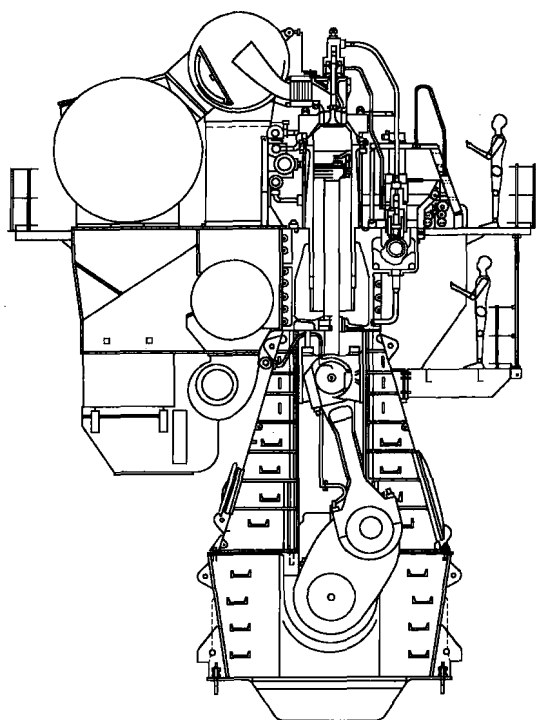


图 1-3 S50MC-C 型柴油机

Sn40Al, 这种轴承材料具有较低的温度敏感性和很强的抗疲劳能力, 这大大地提高了主轴承的可靠性。由于 S50MC-C 型柴油机的行程/缸径比已经达到了 4.0, 最高燃烧压力达到 $150 \times 10^5 \text{ Pa}$, 对曲轴刚度和轴承负荷影响很大。因此在曲轴设计上采用加大主轴颈和曲柄销的直径方法, 并减少轴颈的长度。轴颈直径的增加和长度的缩短增强了曲轴的刚度, 弥补了 S/D 值增大对刚度的影响, 而轴颈直径的加大又可以增大轴承的承载面积, 在相同的轴承负荷下缩短轴颈长度, 当然这也和采用新型轴承材料有关。轴颈的缩短使气缸中心距和整机长度减小, 减轻了机器的重量, 也可以使机舱空间减小, 从而增大用于营运的船舶容积。

S50MC-C 型油机的最明显的特征是以双贯穿螺栓代替了传统的单贯穿螺栓, 而且与传统的贯穿螺栓的不同之处还在于它不再一直插到机座底部, 而是拧入到机座顶部的螺孔之中。机座在不增加宽度的情况下将地脚螺栓移到外

侧, 这样, 简化了焊接工艺并有利于厂家的安装。在气缸体设计上, S50MC-C 的显著特点是气缸体的高度减小, 使其重量变轻, 加工制造和维护管理更加方便。特别是将凸轮轴箱和气缸体做成一体, 并取消了气缸体内的冷却水腔。

在活塞结构上采用了低置活塞环组; 提高活塞顶岸高度。图 1-4 所示为 MAN-B&W K98MC-C 型大缸径柴油机的活塞组, 其主要特点是采用了高火力岸和可控释压环技术。活塞从活塞顶到第一道活塞环的距离较长, 且在活塞顶端车有空槽, 用以隔热。由于活塞环位置的降低, 活塞环处于温度较低的区域, 离燃气区较远, 使燃烧产物不易进入摩擦面, 活塞环工作条件和润滑性能改善, 活塞环组的工作性能提高, 活塞的磨损大大减轻。高火力岸配以隔热槽可以减轻高温燃气给活塞环造成的热负荷。

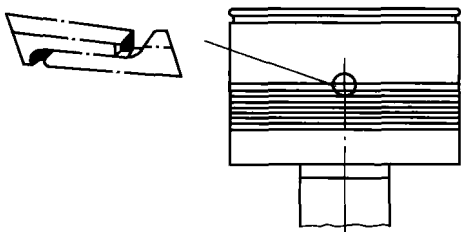


图 1-4 MAN-B&W K98MC-C 型大缸径柴油机活塞组

所谓的“可控释压环”, 实际上为一全气密活塞环。此环不仅采用双 S 形活塞环搭口实现完全密封, 而且在环外圆柱面上均匀布置六道释压小槽。“可控释压环”用作首道气密环, 通过六道释压小槽的设计, 可以调节第一道活塞环的机械负荷, 并均匀第二道环的热负荷。

活塞顶岸高度的提高也使气缸盖与气缸套结合面降低成为可能, 这使得气缸盖与气缸套结合面以及气缸套的热负荷降低, 使其工作条件改善。主要的热负荷由钢制的气缸盖承受。由于钢制的气缸盖的抗热负荷能力比铸铁缸套要大, 这也使其可靠性提高。

三、柴油机的基本概念

机械设备通常可分为动力机械和工作机械两大类。动力机械是将其他形式的能量, 如热能、电能、风能等转化为机械能, 而工作机械则是利用机械能来完成所需的工作。

所谓热机是指把燃料的化学能通过燃烧,再通过燃烧产物(亦称工质)的膨胀做功把热能转换成机械能的动力机械。根据燃料燃烧时所在的部位不同,热机分为外燃机和内燃机两种类型。

1. 外燃机

外燃机如蒸汽机与蒸汽轮(往复式蒸汽机、蒸汽轮等)。在该类机械中,燃料的燃烧(燃料的化学能转变成热能)是在气缸外部特设的锅炉中进行的,燃料燃烧时放出热能加热水,使水变成蒸汽,再将蒸汽引入气缸内膨胀做功,推动机械运动。

2. 内燃机

内燃机有煤气机、汽油机、柴油机及燃气轮机等。在内燃机中,燃料的化学能转变成热能(燃烧)以及热能转变成机械能(燃气膨胀)这两次能量转换均发生在气缸内部,并直接利用燃料燃烧产生的高温高压燃气在气缸中膨胀做功。显然,从能量转换观点,内燃机能量损失小,具有较高的热效率。另外,内燃机在尺寸和重量等方面也具有明显优势(例如,燃气轮机在热机中具有最轻的装置重量),因而在与外燃机竞争中已经取得明显的有利地位。

3. 柴油机

柴油机是一种两次能量转换均在气缸内部进行的压缩发火的往复式内燃机。它使用挥发性较差的柴油或劣质燃料油做燃料。采用内部混合法(燃油与空气的混合发生在气缸内部)形成可燃混合气;缸内燃烧采用压缩式(靠缸内空气压缩形成的高温自行发火)。这种工作特点使柴油机在热机领域内具有最高的热效率(已达到 55% 左右);而且允许作为船用发动机使用。因而在船用发动机中,柴油机已经取得了绝对领先地位。

通常,柴油机具有以下突出优点:

- (1)经济性好。有效热效率可达 55% 以上,可使用价廉的重油,燃油费用低。
- (2)功率范围宽广,单机功率从 0.6 ~ 80800kW(14RTA96),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。起动方便,加速性能好。有较宽的转速和负荷调节范围,能适应船舶航行各种工况的要求。
- (5)可直接反转。柴油机可设计成直接反转的换向柴油机,而且倒车性能好,使装置结构简单。

柴油机也具有以下缺点:

- (1)存在机身振动、轴系扭振和噪声。
- (2)某些部件的工作条件恶劣,承受高温、高压并具有冲击性负荷。

4. 柴油机与汽油机

柴油机与汽油机虽然都同属于往复式内燃机,但是它们在可燃混合气形成、发火方式、使用燃料、性能、有效热效率、结构及压缩比等方面均有区别,如表 1-1 所示。

柴油机与汽油机的区别 表 1-1

项 目	柴 油 机	汽 油 机
混合气形成	气缸内部混合	气缸外部混合
发火方式	压缩自行发火	电火花塞点火
使用燃料	柴油或劣质燃油	汽油
压缩比	12 ~ 22	6 ~ 10
有效热效率(%)	30 ~ 55	15 ~ 40
结构	喷油器	化油器

5. 柴油机的基本结构参数

1) 上止点(T. D. C. ——Top Dead Center)

活塞在气缸中运动的最上端位置,也就是活塞离曲轴中心线最远的位置。

2) 下止点(B. D. C. ——Bottom Dead Center)

活塞在气缸中运动的最下端位置,也就是活塞离曲轴中心线最近的位置。

3) 行程(S ——Stroke)

指活塞从上止点移动到下止点间的直线距离。它等于曲轴曲柄半径 R 的两倍($S = 2R$)。

活塞移动一个行程,相当于曲轴转动 180°CA (Crank Angle, 曲轴转角)。

4) 缸径(D ——Diameter)

气缸的内径。

5) 气缸余隙容积(压缩室容积, V_c)

活塞在气缸内上止点时,活塞顶上的全部空间(活塞顶、气缸盖底面与气缸套表面之间所包围的空间)容积。如图 1-5 所示。

6) 余隙高度(顶隙)

上止点时活塞最高顶面与气缸盖底面之垂直距离。

7) 气缸工作容积(V_s)

活塞在气缸中从上止点移动到下止点时所扫过的容积。见图 1-5。显然

$$V_s = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot S \quad (1-1)$$

8) 气缸总容积(V_a)

活塞在气缸内位于下止点时,活塞顶以上的气缸全部容积,亦称气缸最大容积。显然

$$V_a = V_s + V_c \quad (1-2)$$

9) 压缩比(ε)

气缸总容积与压缩室容积之比值,亦称几何压缩比。

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_s + V_c}{V_c} = 1 + \frac{V_s}{V_c} \quad (1-3)$$

压缩比表示活塞从下止点运动到上止点时,把缸内空气压缩了多少倍,它是柴油机的一个重要结构参数,对柴油机的经济性、燃烧和起动性能以及机械负荷等有重要的影响。 ε 大说明缸内空气被压缩厉害,压缩终点的温度和压力就高,有利于燃油的燃烧和柴油机的起动,并可提高热效率。但 ε 过大,会使柴油机 P_z 过高,工作粗暴,热负荷过大,降低可靠性和缩短柴油机的寿命。 ε 过小,则压缩终点的气体压力和温度过低,不利于燃烧,柴油机起动困难耗油率增加,功率下降。柴油机压缩比一般为 $12 \sim 22$ 。

(1) 不同的机型 ε 不同:

① 小型高速机的 $\varepsilon >$ 大型低速机的 ε 。因为小型高速柴油机气缸尺寸小,单位气缸容积的散热面积大,允许提高柴油机的压缩比以增加其热效率;而大型低速柴油机单位气缸容积的散热面积小,其机械负荷和热负荷都已很高,故压缩比不能太大。

② 非增压机的 $\varepsilon >$ 增压机的 ε 。因为增压柴油机气缸进气压力升高,压缩终点的压力和温度提高,燃烧最高爆发压力和温度均比非增压机要高,为了降低其机械负荷和热负荷,其压缩

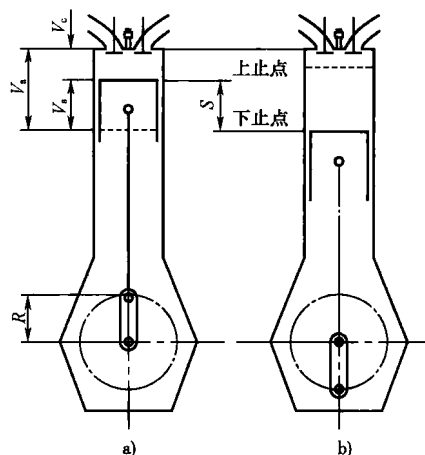


图 1-5 柴油机基本结构参数

比必须比非增压机要低。

③四冲程机的 $\varepsilon >$ 二冲程机的 ε 。因为二冲程柴油机多为大型低速柴油机,在转速相同的情况下其工作循环比四冲程柴油机多 1 倍,其机械负荷和热负荷均比四冲程柴油机要高,故其压缩比应比四冲程柴油机要小。

④柴油机的 $\varepsilon >$ 汽油机的 ε 。因为柴油机气缸内可燃混合气是靠压缩自行发火,是所谓压燃式内燃机,故要有较大的压缩比;而汽油机缸内可燃混合气是靠火花塞点燃发火,即所谓点燃式内燃机,因此可以有较小的压缩比。

(2) 影响压缩比 ε 的因素。根据压缩比的定义可知,气缸工作容积 V_h 是不变的,能够变化的只是气缸的余隙容积 V_c (余隙高度),由此,影响压缩比的因素有:

- ①连杆大端轴承严重磨损,使活塞组件下沉;
- ②十字头销(活塞销)与曲柄销严重磨损;
- ③活塞顶面、缸盖底面被烧蚀或积炭,使 V_c 改变;
- ④船用大端杆身凸缘与大端轴承座之间的调整垫片厚度;
- ⑤缸盖底面密封垫片厚度;
- ⑥连杆杆身发生弯曲。

(3) 压缩比的调整方法。在已有柴油机中,调整压缩比的根本方法是调整柴油机的余隙高度。具体方法有:

- ①增减气缸头垫片厚度(小型柴油机);
- ②增减连杆大端凸缘与轴承座之间的调整垫片厚度(船用大端);
- ③增减活塞杆与十字头本体之间的垫片厚度(车用大端)。

四、柴油机的类型

由于柴油机用途不同,因而柴油机的类型很多。通常有以下几种分类方式:

1. 四冲程柴油机和二冲程柴油机

按工作循环可分为四冲程柴油机和二冲程机两类。柴油机的一个工作循环包括进气、压缩、燃烧、膨胀、排气五个过程,四冲程柴油机是曲轴转两转,即活塞运动四个行程完成一个工作循环,而二冲程柴油机是曲轴转一转,也就是活塞运动两个行程完成一个工作循环。

2. 低速、中速和高速柴油机

柴油机的速度可以用曲轴转速 n (r/min) 和活塞平均速度 V_m (m/s) 表示。活塞的平均速度为:

$$V_m = \frac{Sn}{30} \text{ (m/s)}$$

按此指标分类一般为:

低速柴油机 $n \leq 300$ r/min	$V_m < 6$ m/s
中速柴油机 $300 \text{ r/min} < n \leq 1000$ r/min	$V_m = 6 \sim 9$ m/s
高速柴油机 $n > 1000$ r/min	$V_m > 9$ m/s

3. 增压柴油机和非增压柴油机

在柴油机中,用增加进气压力来提高功率的方法称为柴油机的增压。增压柴油机和非增压柴油机的主要区别在于进气压力不同,增压柴油机是在较高的压力下进气的,而非增压柴油机则是在大气压力下进气的。

增压的分类:

(1) 根据驱动增压器所用能量来源的不同,可分为机械增压、废气涡轮增压和复合增压三

种基本增压形式。

(2) 按增压压力 P_k 可分为:

- ① 低增压 $P_k \leq 0.15 \text{ MPa}$
- ② 中增压 $0.15 \text{ MPa} < P_k \leq 0.25 \text{ MPa}$
- ③ 高增压 $0.25 \text{ MPa} < P_k \leq 0.35 \text{ MPa}$
- ④ 超高增压 $P_k > 0.35 \text{ MPa}$

(3) 根据对废气能量利用方式的不同,废气涡轮增压有定压涡轮增压和脉冲涡轮增压两种。

(4) 根据增压器间的组合情况不同,柴油机增压系统可分为单独增压系统、串联增压系统、串联旁通增压和并联增压系统。

4. 筒形活塞柴油机和十字头式柴油机

图 1-6a) 为筒形活塞的示意图,它的活塞通过活塞销直接与连杆相连。这种结构的优点是结构简单、紧凑、轻便,发动机高度小。它的缺点是由于运动时有侧推力,活塞与气缸之间的磨损较大。中高速柴油机一般都采用此结构。

图 1-6b) 所示为十字头式柴油机。它的活塞设有活塞杆,通过十字头与连杆相连接。由于活塞不起导向作用,同时与缸套之间没有侧推力 N 的作用,因而两者之间的磨损减小,擦伤和卡死的可能性减小。此外,由于活塞杆只在垂直方向作直线运动,因而可在气缸下部加设一横隔板,把气缸与曲轴箱隔开,以免气缸中的污油、结炭或燃气漏入曲轴箱污染滑油。这也为十字头机燃用劣质燃料创造了有利条件。十字头柴油机工作可靠,寿命长。它的缺点是重量和高度增大,结构复杂,大型低速二冲程柴油机都采用这种结构。

5. 直列式和 V 形柴油机

船用柴油机通常均为多缸机。这样可以增大柴油机单机功率,同时可满足船舶机动性、可靠性的要求。

多缸柴油机的气缸排列可以有直列式、V 形、W 形等。船用柴油机均为直列式与 V 形两种。具有两个或两个以上直立气缸,并呈一列布置的柴油机称直列式柴油机,如图 1-7a) 所示。直列式柴油机的气缸数因曲轴刚度和安装上的限制一般不超过 12 缸。当缸数超过 12 缸时通常采用 V 形柴油机,如图 1-7b) 所示。它具有两个或两列气缸,其中心线夹角呈 V 形,并共享一根曲轴输出功率。V 形机的气缸数可达 18 甚至 24,气缸夹角通常为 90° 、 60° 和 45° 。V 形机具有较高的单机功率和较小的比重量(柴油机净重量与标定功率的比值),在中、高速柴油机中用得较多。

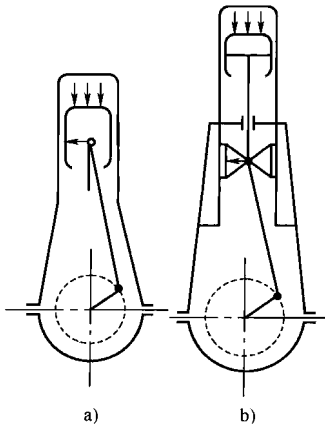


图 1-6 筒形活塞式和十字头式柴油机简图

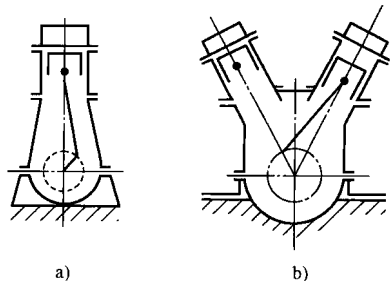


图 1-7 直列式和 V 形柴油机

6. 右旋和左旋柴油机

观察者由柴油机功率输出端向自由端看,正车时按顺时针方向旋转的柴油机称右旋(转)柴油机;观察者由柴油机功率输出端向自由端看,正车时按逆时针方向旋转的柴油机称左旋柴油机。

某些船舶的推进装置(如客船)采用双机双桨推进装置。在这种船舶上,由船尾向船首看,布置在机舱右舷的柴油机为右旋柴油机,亦称右机;布置在机舱左舷的柴油机为左旋柴油机,亦称左机。在这种动力装置中,为便于操纵管理,右机的操纵侧即凸轮轴侧布置在柴油机左侧(即内侧),而排气侧布置在右侧;左机的操纵侧在柴油机的右侧(即内侧)。单台布置的船舶主柴油机通常均为右旋柴油机。

7. 可逆转和不可逆转柴油机

可由操纵机构改变自身转向的柴油机称可逆转柴油机。曲轴仅能按同一方向旋转的柴油机称不可逆转柴油机。

在船舶上凡直接带动螺旋桨的柴油机均为可逆转柴油机;凡带有倒顺车离合器、倒顺车齿轮箱或可变螺距螺旋桨的柴油机以及船舶发电柴油机均为不可逆转柴油机。

8. 按行程缸径比 S/D 分类

S/D 对柴油机的结构和运行性能有较大的影响,按 S/D 的不同,将柴油机分为短行程柴油机、长行程和超长行程,其 S/D 范围分别为:

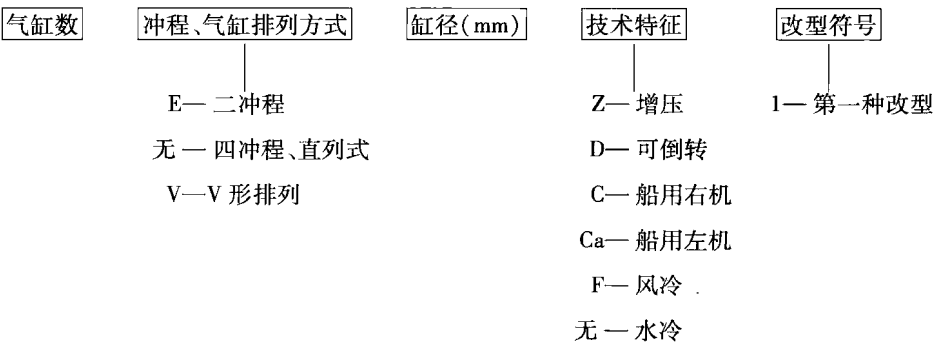
- 短行程柴油机 $S/D \leq 2.5$
- 长行程柴油机 $2.5 < S/D \leq 3.0$
- 超长行程柴油机 $S/D > 3.0$

五、船用柴油机的型号解释

为了便于用户选择柴油机,每一柴油机制造厂都将其产品用一组字母或数字组成的字符串来命名柴油机,这就是柴油机的型号。

1. 国产船用柴油机的型号

(1) 中小型柴油机。国产中小型柴油机系列品种很多,其型号中一般有气缸数、冲程数、缸径、技术特征和改进型符号等内容,组成如下:



例如:12V135ZC 表示 12 缸 V 形排列、缸径 135mm、四冲程增压船用柴油机;8E350ZDC 表示 8 缸二冲程、缸径为 350mm、增压、可倒转船用柴油机。

(2) 大型低速柴油机。国产大型低速柴油机,其型号由气缸数、技术特征、缸径和冲程、改型符号等内容组成如下: