

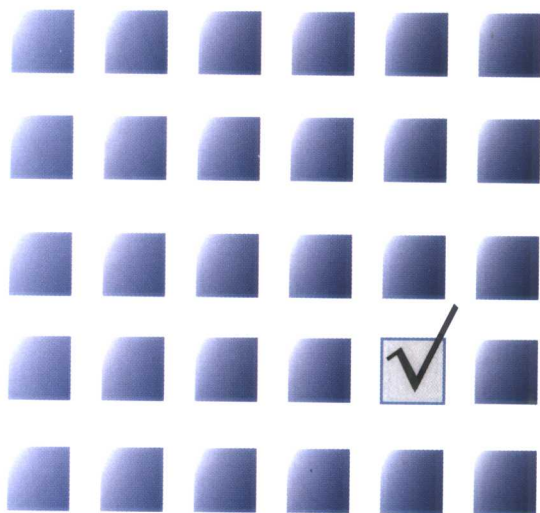
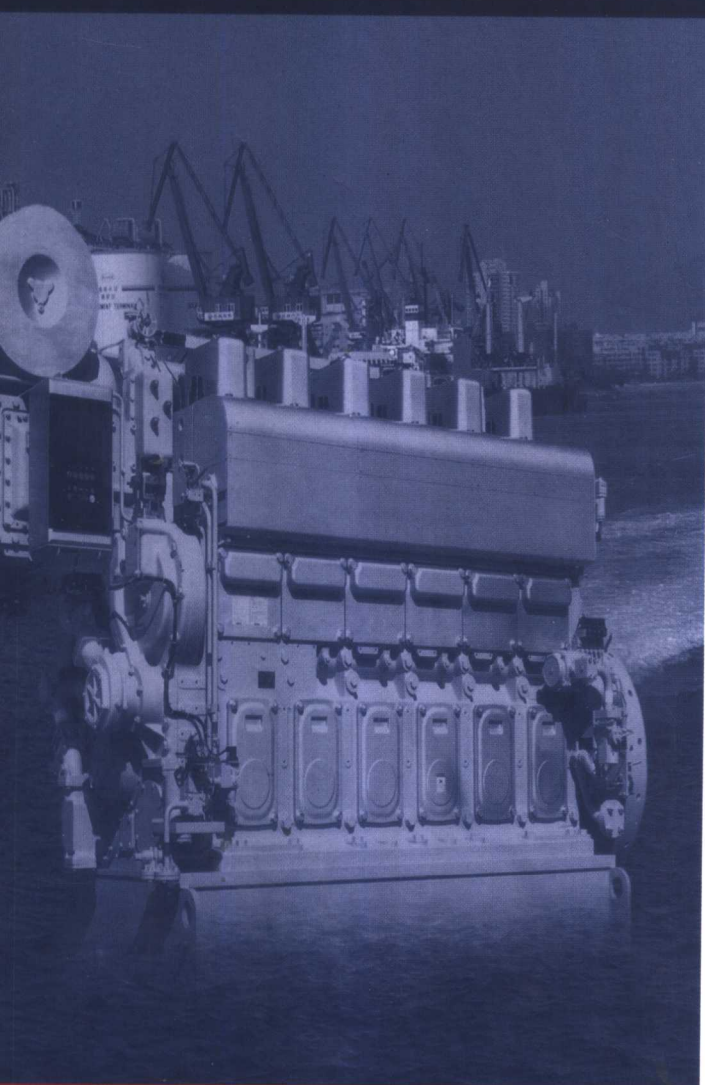
黄少竹 主编

XIANDAI CHUANBO CHAIYOUJI

GUZHIANG FENXI

现代船舶柴油机

故障分析



大连海事大学出版社

现代船舶柴油机故障分析

黄少竹 主编

大连海事大学出版社

© 黄少竹 2005

内容简介

本书系统地论述了现代二冲程主柴油机增压系统运行的基本规律。通过学习,读者可对现代船舶柴油机增压系统运行的基本规律有更深入的理解,建立起概念清楚,思路简明、准确,能用来分析解决问题的理论分析体系,使维护管理现代高增压船舶柴油机有更明确的指导思想。以此为主线,针对现代高增压船舶柴油机各种多发故障,抓主要矛盾,以新近统计的故障发生几率的大小为顺序,结合典型案例进行系统的分析讨论;提供了一个新视角,让我们看到一些新东西。本书通俗易懂,引用了大量精选典型实例。

本书含有模拟计算所得的特性曲线图和参数数据表,它们是生产实践中分析思考增压系统故障时的有力工具,有助于避免人脑分析思考产生一些片面的、错误的结论,在生产实践中很有参考价值。

本书供轮机管理人员及从事船机修造的工程技术人员阅读,也可供大专院校有关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代船舶柴油机故障分析 / 黄少竹主编. —大连:大连海事大学出版社, 2005.1
(2006.10 重印)

ISBN 7-5632-1810-6

I. 现… II. 黄… III. 船用柴油机—故障诊断 IV. U664.121

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 123159 号

大连海事大学出版社出版

地址:大连市凌海路 1 号 邮编:116026 电话:0411-84728394 传真:0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail: cbs@dmupress.com

大连业发印刷有限公司印装 大连海事大学出版社发行

2005 年 3 月第 1 版 2006 年 10 月第 2 次印刷

幅面尺寸:185 mm×260 mm 印张:10.5

字数:262 千字 印数:1001~3000 册

责任编辑:黎 为 封面设计:王 艳

定价:26.00 元

本书获“集美大学出版基金”资助

前 言

当前,船舶柴油机随着新机型增压程度的不断提高,增压系统工作的优劣对柴油机的性能及可靠性影响越来越大。在实际航行中,由于使用条件差、船员对现代船舶柴油机增压系统运行的基本规律认识不清、管理不力,使柴油机性能恶化,可靠性下降,故障明显增加。

柴油机管理的核心问题是保证燃烧良好。这一方面得取决于燃油的喷射,对此船员历来很重视,因而问题相对较少。另一方面是取决于增压空气的供给,对此部分轮机人员管理理念明显滞后于技术的发展,管理不够有力,故障发生几率居高不下。

本书系统地论述了“现代二冲程主柴油机增压系统运行的基本规律”。通过学习读者对现代船舶柴油机增压系统运行的基本规律能有更深入的理解,并建立起概念清楚,思路简明、准确,能用来分析解决问题的理论分析体系,使维护管理现代高增压船舶柴油机有更明确的指导思想。并以此为主线,针对现代高增压船舶柴油机各种多发故障,抓主要矛盾,以新近统计的故障发生几率的大小为顺序,结合典型案例进行了系统的分析讨论;提供了一个新视角,让我们看到一些新东西。“船舶主机持续运行的负荷限制”一节,学术思想新颖,深刻揭示了一种很重要、很常见,又难于观测、难于理解、难于想象的主柴油机气缸热负荷过高的问题。本书后一部分还讲解了柴油机性能诊断技术的基础知识,并简介柴油机故障诊断技术的现状。

柴油机增压系统的工作原理本来就比较抽象,船上增压系统的管理一直是薄弱环节,“二冲程主柴油机增压系统运行的基本规律”的发现使思路简明,运用容易了。但这一理论牵涉到增压系统工作原理,部分读者深刻理解这一理论分析体系可能会有些困难,得有个多次阅读、思考的过程。本书力求通俗易懂,引用了大量精选典型实例。本书可跳着看,感兴趣、易懂的部分和加黑的文字可先看。本书含有模拟计算所得的特性曲线图和参数数据表,它们是生产实践中分析思考增压系统故障时的有力工具,有助于避免人脑分析思考产生一些片面的、错误的结论,在生产实践中很有参考价值。

本书供轮机管理人员及从事船机修造的工程技术人员阅读,也可供大专院校有关专业的师生参考。

本书由集美大学轮机工程学院黄少竹教授主编。全书共五章,第一、二、三、四章由黄少竹编著;第五章由黄加亮副教授编著。

集美大学翁泽民教授作为学科带头人,在相关的一系列科研项目中做了大量创造性的工作,在此谨致衷心感谢!大连海事大学郑克钊教授,作为交通部高等学校统编本科教材《船舶柴油机》主审,对这一系列科研及所得论点进行了极严谨认真的审查,并给予大力支持,也在此致以衷心的感谢!本书中摘引了大量同行专家的文献资料,在此一并表示感谢!

由于编者水平所限,书中不妥之处在所难免,欢迎读者批评指正。

作 者

2004年6月

目 录

第一章 概述.....	(1)
第一节 船机故障概述.....	(1)
第二节 船舶柴油机故障概况.....	(6)
第二章 现代船舶柴油机增压系统运行的规律	(10)
第一节 船舶柴油机增压系统	(10)
第二节 现代船舶柴油机增压系统运行的基本规律	(12)
第三章 典型故障及其案例分析	(20)
第一节 增压系统的故障及其预防	(20)
第二节 船舶主机持续运行的负荷限制	(58)
第三节 船舶柴油机低负荷运行的故障	(65)
第四节 低速机气缸的故障	(73)
第五节 中速机曲轴、连杆及其轴承的故障.....	(83)
第六节 气阀的故障.....	(103)
第四章 柴油机性能故障诊断技术.....	(109)
第一节 柴油机故障诊断技术概述.....	(109)
第二节 内燃机实际工作过程的数值计算.....	(112)
第三节 CAPA 人工判断专家系统	(124)
第四节 New Sulzer 智能发动机管理系统.....	(132)
第五章 船用柴油机故障智能诊断系统研究.....	(141)
参考文献	(160)

第一章 概述

第一节 船机故障概述

一、故障的人为因素

船舶机械事故不仅影响运输任务的完成,造成维修费用和运输成本的提高,还会引起生命、财产重大损失,甚至导致海难发生。

由人和设备相互协调完成一定功能的系统称为人机系统。船舶是机械设备和船员一体化的典型人机系统,人机功能的充分发挥和彼此的良好配合,将使船舶安全可靠地航行、船舶营运获得更大的经济效益和延长船舶的使用寿命。轮机管理人员与船舶机械构成的人机系统,其可靠度取决于船机固有的可靠度及其管理人员的可靠度。

也就是说,管理、操作不当和设计、制造缺陷是船舶机械发生事故的主要因素。船舶机械发生事故的因素可分为两类:

第一,非人为因素:船舶机械工作环境变坏、使用条件恶劣,以及机械的材料、设计、制造和安装等机械本身存在的缺陷,称为非人为因素。因此产生的故障为自然故障。

第二,人为因素:与机械的检查、管理、使用、保养及维修有关的因素,称为人为因素。即管理、操作人员的行为过失引起的故障,称为人为故障。

人为故障是不容忽视的故障。有人统计,在船上它甚至已占 80% 以上。**人为因素已成为船舶机械故障的主要原因。**

因此分析船机损伤的原因及探讨减少事故发生的对策是一项重要课题。我们应更深入研究。

1. 人为因素的重要性

国内外的故障统计资料表明,人为故障比例越来越突出。20 世纪 60 年代初期仅占 41%, 70 年代后 5 年平均占 58%, 而 1980~1983 年平均超过 71%, 甚至达到 80% 以上。

由人为因素造成的船机重大损伤会致使船舶停航。表 1-1-1 是日本在 1981~1986 年间的船机重大故障统计。从中可以看出主、副柴油机的损伤主要是人为因素造成的,如燃油问题、安装不良、管理不善和维修保养不良等。至于船机本身的设计、材质、加工制造等问题则居次要地位。

表 1-1-2 为日本在 1976~1980 年间发生的近海海难事故中发动机故障的原因。其中硬件因素(设计、材质、加工制造)仅占 17.8%, 而软件——人为因素(检查、管理、保养、维修)则高达 82.2%。

表 1-1-1 主、副柴油机损伤造成不能自航的船舶艘数

		设计不良	材质不佳	加工不良	长年老化	可暴抗风拒雨灾害等不	燃油燃烧问题	安装不良	管理不善	保养维修不良	其他原因
主机	气缸盖				1					1	1
	缸套		1				2	1	1	3	2
	活塞		1				2	1	1	3	3
	连杆		1					1			1
	喷油器										1
	进排气阀				1						2
	轴承及轴承螺栓				1			2		2	2
	凸轮轴及其驱动装置			1				4		2	2
	曲轴							2	1	1	2
	增压器										1
	空气冷却器								1	1	
副柴油机					1	1		1	1	1	
小计		0	3	1	4	1	4	12	4	14	18
总计		61									

表 1-1-2 船用发动机损伤的原因分类

类 别	原 因	次数(%)	总计(%)
发动机的检查和管理	运转中检查不充分	125(17.1)	46.7
	运转前准备不足	76(10.4)	
	运转中发现异常但采取措施不当	73(10.0)	
	超负荷运转	45(6.2)	
	管理失误	22(3.0)	
发动机的保养和维修	日常维修检查疏漏	103(14.4)	35.6
	维修不充分	91(12.2)	
	对应修部位未修	40(5.5)	
	维修失误	26(3.5)	
发动机的材质、设计和结构等	材质不佳	89(12.2)	17.8
	设计、结构不合理	28(3.8)	
	加工不良	13(1.8)	

2. 影响人失误的 4M 因素[1]

人发生失误的机理,现在还没有完全弄清楚,但是一般认为,人的失误是由于在人的意识不明确的内部状态下作用于外部因素产生的。失误的外部因素称为人的背景因素。美国航空航天局(NASA)对影响人失误的背景因素采用 4M 分析法,即人(Man)、管理(Management)、环境(Media)、机器(Machine)。这 4 项因素在船机损伤事故中对人失误影响程度如图 1-1-1

所示。下面对 4M 因素做进一步分析。其中凡与机器的材料、设计结构、制造加工有关的原因属机械本身存在缺陷,称为硬件原因,即非人为因素;凡与机器的检查、管理、使用、保养、维修有关的原因,称为软件原因,即人为因素。

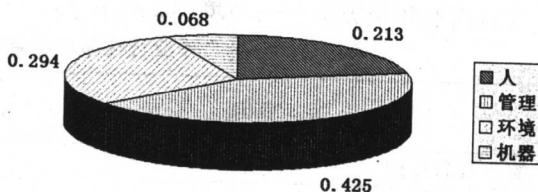


图 1-1-1 4M 对人失误影响程度

(1) 操作者个人特性方面——人 (Man)

表 1-1-3 操作者个人特性方面:人 (Man)

发生原因	软件原因(56 艘)	
	件数	比例(%)
操作者知识、能力、经验不足	42	75
操作者的身体、性格不合适	0	0
动机及教养上的缺陷	5	9
其 他	0	0
合 计	47	

由表 1-1-3 可见,在个人特性方面,人的失误基本上是由于“操作者知识、能力、经验不足”所引起。但值得注意的是该项与下文“Management”项中“教育、训练、指示不充分”是相关因素。“教育、训练、指示不充分”可直接导致“知识、能力、经验不足”。

(2) 管理体制方面——管理 (Management)

表 1-1-4 管理体制方面:管理 (Management)

发生原因	软件原因(56 艘)	
	件数	比例(%)
教育、训练、指示不充分	23	41
手册、指导书和检查表不完备	14	25
未执行检查及维修	24	43
信息交流不充分	10	18
操作计划不合理	4	7
指挥命令系统不完备	2	4
操作上的不良习惯	7	13
小组合作不好	1	2
不关心细小的缺陷	9	16
其 他	0	0
合 计	94	

从表 1-1-4 可见,“教育、训练、指示不充分”、“手册、指导书及检查表不完备”、“未执行检查及维修”影响较大。其次是“信息交流不充分”、“不关心细小的缺陷”和“操作上的不良习惯”。所有这些均与企业、船舶和部门的生产制度、安全制度、监察及检查制度、教育培训措施、船员的安全意识等有密切关系。

(3) 作业环境方面——环境(Media)

表 1-1-5 作业特性和环境条件方面:媒体及环境(Media)

发生原因	软件原因(56 艘)	
	件数	比例(%)
需要紧急处理	9	16
需要有上级的意见和会议讨论	4	7
需要停止设备	3	5
对象处理困难带有危险性	0	0
物理环境不好	4	7
时间及情况紧迫	5	9
为其他事情分心	8	14
轻松状态下马虎(疏忽)	21	38
很难掌握判断情况的局面	11	20
其 他	0	0
合 计	65	

人在紧张的状态下发生失误,这是易于理解的,但从表 1-1-5 可见,人的失误却大多发生在十分轻松的状态下,这是值得人们高度重视的。造成人的心理紧张和过于放松的原因是十分复杂的,就船员(主要指远洋船员)而言,远离人群、脱离家庭、社会角色单一、性欲长时间得不到满足、缺少娱乐、摇晃、振动、噪声、高温等都是影响船员生理和心理十分重要的因素,与船员的失误有不可分割的联系。

(4) 机械、装置在人机工程设计上的缺陷——机械(Machine)

表 1-1-6 机械和装置在人机工程设计上的缺陷方面:机械(Machine)

发生原因	软件原因(56 艘)	
	件数	比例(%)
机器、阀类、指示仪表不足	4	7
信号表示形态的意义难以了解	2	4
指示仪表分散很难处理	1	2
指示仪表和操作用具相互识别困难	2	4
阀类过紧、难以操作	1	1
阀类的配置使操作困难	1	2
配置上空间没有余量	1	2
其 他	2	4
合 计	1	5

由表 1-1-6 可见,“机器、阀类、指示仪表不足”占主要地位。

二、减少船机故障的对策

从上文分析可知,人的原因引起的船机损伤占原因总数的 70% 以上。而在影响人失误的背景因素中,人(Man)和管理(Management)又占总数的 63.8%。因此要想减少船机损伤事故,首先要做的工作是加强人员的培训及管理。

1. 提高人员素质

知识、技能和经验组合在一起,构成了安全操作与避免事故发生所要求的基础,如果这个

基础达不到应有的专业水准,那么机损事故将会不断发生。从上文分析可见,“人(Man)”中的“知识、能力、经验不足”(表 1-1-3)和“管理(Management)”中的“教育、训练、指示不充分”(表 1-1-4)占十分重要的地位。因此,应当提高船员素质,这主要包括以下 3 方面:

(1) 技术训练

主要是轮机实践及技能,并达到相应的技术标准,且具备在正常、应急和故障情况下操纵各种设备的能力;管理人员的业务水平,对于保证船舶的可靠性具有头等重要意义。统计表明,许多故障是由于船员采取了不正确的决策和违反技术操作规程所造成。业务水平高的船员,可以保证船舶技术设备的利用和维护的质量,使之处于完好状态;能正确执行操作规程,充分做好设备起动前的准备工作,正确判断设备的技术状态和正确地确定负荷高低;还可以迅速发现和排除故障,用较短的时间完成高质量的维修工作。在拆装机械、更换零部件时,如果船员水平不高,则可能使部件遭受异常负荷和额外应力,从而导致故障次数增加。

(2) 发展性训练

主要与新知识、新技术有关,如新型柴油机高增压、燃用劣质重油,管理要求更高更精确。如在自动化程度较高的船舶上工作的船员,应分期分批去有关培训中心进行自动化机舱及模拟器训练,提高驾驶先进船舶的业务水准;随着船舶的日趋复杂,对船员业务水平、熟练程度、操作技能、发现和排除故障能力等的要求越来越高,其完成任务的职责也在加强。

(3) 心理素质训练

保持良好的心态是减少人为因素造成事故的重要途径,航海工作的风险性、复杂性、应急性及机舱特殊的振动和噪声环境,要求轮机管理人员有很强的心理容量及过硬的心理素质,需经过不断训练及磨炼。

在人为原因的故障中,属于责任心不强(工作不仔细、检查不及时和违章)造成的事故与属于管理水平低(保养维护不良、指挥命令不当、判断错误、操作错误等)所造成的事故几乎各占一半,而且低职船员的人为事故所占比例高于高职船员。这些事实说明了提高船员管理水平的重要性和迫切性,并应从思想作风教育和业务能力提高两方面去努力。

2. 实行科学化管理

从图 1-1-1 可见,在影响人失误的四要素中,管理(Management)占主导地位。因此,实行科学化管理是十分必要的。“环境(Media)”中的“轻松状态下马虎(疏忽)”(表 1-1-5)和“管理(Management)”中的“不关心细小的缺陷”(表 1-1-4)是造成机损事故十分重要的原因。应防微杜渐,及时地发现事故“苗子”,把事故消灭在萌芽状态。因此,在安全管理方面,增强安全意识有着极其重要的作用。此外,应运用现代管理的理论及方法,实行科学化管理。强化行政管理的方法,严格安全岗位责任制,建立安全生产的法规,依法从严进行安全治理;理顺、简化相应的法规,做到人人了解、条条记得住、实用能操作,以减少因“手册、指导书及检查表不完备”(表 1-1-4)而造成的失误;奖罚分明,以减少“未执行检查及维修”和“操作上的不良习惯”(表 1-1-4)而造成的船机损伤。

3. 改善人机关系

人机系统的工作能力与可靠性取决于人的素质与机械设备是否符合人的心理和生理可能,是否能承受一定的载荷及过载量以及传递所需的信息等。为了减少船机损伤,应采用人机系统设计,改善人机关系。

(1) 合理分配人机功能

人与机器的能力是有明显差别的,有各自的特征及其局限性,人机系统进行分配时,应采两者之长,抑两者之短,使综合效果最佳。比如从监控能力讲,人难以监控偶然发生的事件,但机器的监控能力很强,因此可以让机器(包括计算机)对某些物理量进行监控及调节。

(2)改善人机环境

1)创造舒适的工作生活环境,休息场所安静等;

2)机器的仪器仪表(信息测定,显示方式,操作方法,排列方式)的设计及布置应符合人的生理及心理特点;

3)除了设计部门提供的娱乐设施外,船员要利用一切可能的工具及方法,积极开展各种娱乐活动,以减少孤寂感,并在娱乐之余创造舒适的休息环境,保证充分的休息,改善人的精神状态,实现人机和諧统一。

总之,在轮机管理人员与船舶机械构成的人机系统中,产生船机损伤的原因是十分复杂的,但主要可归结为船机本身的某种缺陷和人为因素。人为因素是主要因素。在影响人失误的背景因素中,管理占主导地位。应提高人员素质,实行科学化管理。

第二节 船舶柴油机故障概况

一、船舶各种机械故障的比例

第22届国际内燃机会议于1998年5月在丹麦哥本哈根举行。会上Swedish Club(瑞典俱乐部)保险公司发表了一篇文献[2],对该公司1988~1997年10年间所投保船舶的船壳和机械设备索赔费用进行了统计和分析(按:MC、RTA首台机均在1983年研制成功,此统计分析的对象已是现代船舶)。这家保险公司的统计资料显示:船壳和设备的索赔中16.9%的次数,11.5%的费用是主机发生的。在三种主机,即低速机、中速机和蒸汽轮机之中,该保险公司所投保索赔的情况,如表1-2-1所示。

表 1-2-1 三种主机投保索赔的情况

	低速机	中速机	蒸汽轮机
投保费比例	69.4	24.2	5.4
索赔费比例	35.6	58.2	6.1
每船每年平均索赔费用	7 600 美元	36 000 美元	17 000 美元

可以看出:中速机的索赔费用几乎是低速机的5倍。根据该公司1988~1994年以及1995~1997年的统计,上述中速机的高索赔额具有相似趋势,说明新型中速机并没有改善这种状况。低速机主机发生故障的趋势(在这几年中)是逐年递减,低速柴油机推进系统不但维修管理费用低,而且使船舶的安全可靠性得到保证。瑞典俱乐部的2000年新文献称,以前发现有特殊问题的中速机平均索赔费用明显减少,但中速机的平均索赔费用依然是低速机的2.5~3倍。1999年,低速机的平均索赔费用为7 503美元。

二、柴油机部件故障的比例

表1-2-2给出了早些年柴油机部件发生故障的统计数据。

表 1-2-2 早些年柴油机部件发生故障的统计数据

	劳氏船级社		中国远洋总公司	
	低速机	中速机	主机(含中速机)	发电副机
气缸盖	14.6	4.9	13.7	13.15
气缸套	6.1	4.8	1.92	1.31
活塞	11.8	10.4	19.2	6.57
气阀	2.6	8.5	3.84	2.63
十字头轴承	18.7	0.2	7.69	
连杆大端轴承	8.1	11.1		11.84
曲轴、主轴承	3.8	13.4	11.52	34.2
增压器	12.6	11.7	5.76	3.94

由这些统计资料可以看出:早些年在低速柴油机中发生故障最多的部件依次是十字头轴承、气缸盖、增压器和活塞。在中速机(包括柴油发电机)中曲轴及其轴承和增压器的故障比较突出。这些部件在运行管理中应特别关注。

第 22 届国际内燃机会议 Swedish Club 保险公司(瑞典)的报告(针对现代柴油机)统计结果

是:低速机主要的故障如图 1-2-1 所示,为增压器(47%)、缸套(19%)、轴颈和轴承(8%)、活塞和活塞杆(6%)以及燃油泵(4%)。中速机的主要故障如图 1-2-2 所示,为增压器(20%)、曲轴和连杆(16%)、排气阀和顶杆(14%)、轴颈和轴承(12%)以及活塞(9%)。

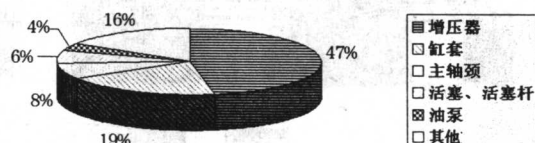


图 1-2-1 低速机的部件故障比例

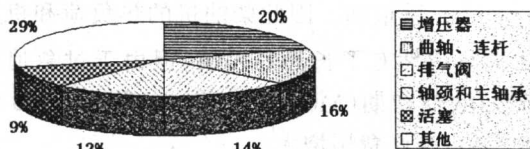


图 1-2-2 中速机的部件故障比例

对现代柴油机的管理,轮机人员要心中有数。对低速机的增压器、缸套,中速机的增压器、曲轴连杆及其轴承、排气阀等易于发生问题的部件要加强管理,重视对多发性故障的预防。

三、现代高增压柴油机故障概述

由于新型柴油机在研制过程中越来越广泛深入地使用计算机,设计制造精度不断改善,已不必盲目地取大的安全系数。(盲目地取大的安全系数是浪费,提高了造价或燃油费用得不到应有的降低。)而且新型柴油机增压度越来越高,其性能的优劣越来越依赖于增压系统工作的优劣。也就是说,增压系统的维护管理工作对柴油机性能和可靠性的影响越来越大。如果管理的精确程度、管理的理念仍停留在 20 世纪 70 年代,甚至保留更老的经验,是难免要出问题的,有许多老经验已变成错误。有些船员常常将新型柴油机发生故障的原因简单归结为“新型高增压柴油机变娇气了”,这在一定程度上反映了思想、知识的老化,必须注意知识更新。新型柴油机要求管理应更加精确,应有新的管理理念。要注意区分新、老知识,应注意评判老经验是否已变成错误。

废气涡轮增压技术的发展使柴油机性能逐步提高,增压器的发展带动柴油机发展。柴油机由非增压发展成低增压、中增压,现在已发展到高增压。ABB 公司 VTR 增压器:0 系列(20 世纪 50~60 年代)、1 系列(60~70 年代)、4 系列(70~80 年代),现在主流是 4A 系列、4D 系

列已开始装机使用。现又推出了结构重新设计的 TPL 增压器。有了新一代压比更高、效率更高的增压器,于是新设计的柴油机的 p_e 更高,燃油消耗率 g_e 更低, p_{max} 通常也更高。

柴油机的发展和其他事物一样,也是波浪式发展:新一代(新型)柴油机推出,使用中会暴露出薄弱环节,如活塞、气缸、气缸盖……经过结构、材料、工艺以及维护管理技术的多次改进,这些薄弱环节不再薄弱。如果增压器性能进一步提高,柴油机性能(p_e 、 g_e 、 p_{max})就被带着进一步提高。这之后使用中又会暴露出新的薄弱环节,再经过结构、材料、工艺以及维护管理技术的不断改进……。当市场对柴油机有新的要求时,开发了新一代增压器,新的重要设计方法、设计思想产生(结构、材料、工艺有重大的改进),柴油机动力性、经济性较大提高,就又产生新一代柴油机。

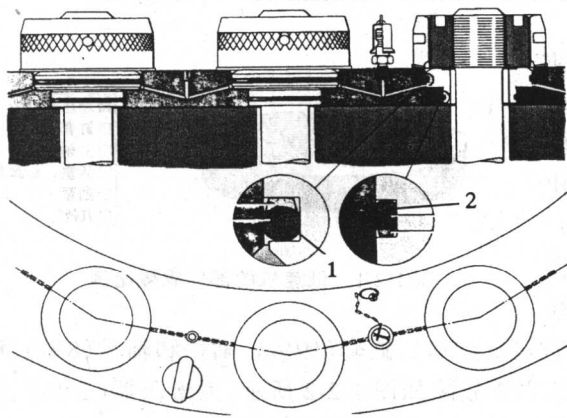


图 1-2-3 缸盖螺栓液压拉伸

20 世纪 70 年代石油危机使石油价格涨了十几倍,航运造船界把注意力集中在节能(油)。市场对柴油机的经济性产生强烈要求。降低燃油消耗率成了船用柴油机市场竞争的焦点。在此之前经济上不划算的提高柴油机经济性的设计方案,变得值得采用了。总之,70 年代末至 80 年代中期,增压度和 p_e 仍有所提高,但远不及最高爆发压力 p_{max} 提高得快,柴油机的发展侧重追求经济性、降低燃油消耗率、 p_{max}/p_e 比值增大、冲程加长、燃用劣质重油。因此柴油机的热负荷和机械

负荷也都相应提高。这期间设计生产的船用柴油机经济性有了长足的发展,但由于过急追求降低燃油消耗率,不可能充分顾及可靠性和维修性,致使初期(MC、RTA 首台机均在 1983 年研制出来)新型机器的事故发生率有所增加,导致使用、维修费用增大。

近年来石油的价格回落,航运界要求柴油机有高的综合经济性(包括高的可靠性、提高平均有效压力、降低单位功率造价及保持低的燃油消耗率),而排气污染则应降低至法规限定的范围内。

事物总是波浪式发展的。20 世纪 80 年代新型柴油机的开发,是一个较大的波浪。

由于新型柴油机在研制过程中广泛深入地使用计算机,设计制造精度不断改善,已不必盲目地取大的安全系数。这就要求使用、维修时对量的把握更准确。这也是新型柴油机的重要特点。

船员发展性训练不够,导致对新知识、新技术不够理解。例如新型柴油机 MC 的缸盖螺栓的液压紧固装置,如图 1-2-3 所示,其液压活塞的两道密封圈 1 与 2 较容易老化,特别是靠近排气侧温度较高的地方。不注意更换,容易造成液压紧固装置失效,如果用老办法上紧,上紧均匀程度就不可能达到要求。新型柴油机 p_{max} 很高,用老办法上紧气密困难,可能造成漏气烧伤或和缸套承受过大的安装应力(往往是局部的),产生裂纹。新型机余量很小,但由采用新的维护管理技术来给予保证。如果我们没有充分地意识到新的维护管理技术的重要性,管理思想

没有跟上,就难免要出问题。因此要注意防止把老机型的淘汰经验套到新型机上!

特别突出的是增压系统的管理。我们知道,增压度越高,增压器功率越大,增压系统的作用就越大,增压系统工作的优劣对柴油机性能、可靠性的影响也越大。新型柴油机燃用劣质重油,使排气系统容易污阻。燃用劣质重油又要求过量空气系数足够大。因此,增压系统的维护管理工作对柴油机性能和可靠性的影响越来越大。老机型柴油机的增压程度较低,老经验、老习惯是对增压系统的管理很不重视的。这在低增压柴油机不会出大问题,如现在仍按老经验、老习惯管理高增压柴油机就行不通了。

第二章 现代船舶柴油机增压系统运行的规律

第一节 船舶柴油机增压系统

柴油机、压气机、废气涡轮、增压空气冷却器和辅助气泵等基本部件组成了柴油机废气涡轮增压系统。我们可根据增压所需能量来源把增压系统分为机械增压、纯废气涡轮增压及复合增压三大类。

机械增压系统中,增压所需功率就由柴油机本身提供。增压器(气泵)要消耗柴油机的有效功率,经济性会有所下降,特别是压比较高时,消耗于增压器(气泵)的能量迅速增加,经济性明显降低。因此,这种系统只用于压力比不高的特殊场合。纯废气涡轮增压系统即增压所需功率均由柴油机排气能量提供,使用最广泛。复合增压系统则是将纯废气涡轮增压和机械增压两者结合起来而组成的增压系统。

一、四冲程柴油机增压系统

四冲程柴油机一般均采用纯废气涡轮增压系统。它可采用等压增压或脉冲增压(包括脉冲转换增压、多脉冲增压、模件式单排气总管增压等)方式。总之不必增设由柴油机驱动的辅助气泵。纯废气涡轮增压系统压缩空气的能量全部由回收的废气能量供给,因此既能有效地提高柴油机功率,还能改善柴油机的经济性。这种系统结构简单。

二、二冲程柴油机增压系统

与四冲程柴油机相比,二冲程柴油机要实现纯废气涡轮增压较困难。这是因为早些年废气涡轮增压器的效率不够高,二冲程柴油机往往要遇到其涡轮发出的功率与压气机所需功率不平衡的矛盾。第一,二冲程的换气过程得靠进排气压差 $p_s - p_T$ 来进行, $p_s - p_T$ 小了就无法换气。尤其是弯流扫气,更要求 $p_s - p_T$ 大些。四冲程柴油机的换气过程则是靠活塞推挤、抽吸强制完成的, $p_s - p_T$ 压差小仍能工作。第二,二冲程柴油机扫气过程中新气与废气会掺混(弯流扫气更严重),增压空气消耗量较大。因此二冲程柴油机,特别是弯流扫气的二冲程柴油机,要求压气机输入较大的功率。第三,二冲程柴油机在扫气过程中新气与废气掺混,使涡轮进口废气温度较低,可用能较小,涡轮能发出的功率较小(也是弯流扫气更突出)。第四,二冲程柴油机没有四冲程柴油机在排气过程中因活塞推挤废气而增加的那部分废气能量,也使涡轮与压气机的功率难于平衡。在低负荷及起动工况时,因这时新气与废气掺混更严重,废气可用能更明显减少,而废气涡轮及压气机又工作在非设计工况,效率低,涡轮与压气机功率不平衡更严重,致使柴油机不能稳定运转。总之,上述涡轮与压气机功率难于平衡的矛盾在二冲程柴油机是较大的,而其中弯流扫气柴油机尤为突出。

1. 纯废气涡轮增压系统

如上所述,涡轮发出的功率不足以驱动压气机的矛盾在扫气质量较好的直流扫气柴油机中较小。直流扫气柴油机因采用排气阀的结构,管路布置较紧凑,能有效地利用废气脉冲能;排气阀提前角可定得大一些,使废气的可用能多些,上述功率不平衡矛盾首先得到了解决。20

世纪 50 年代初在增压度不高的脉冲增压低速机(B&W)上实现了纯废气涡轮增压。图 2-1-1 即为二冲程纯废气涡轮增压系统简图。现在大型低速二冲程柴油机扫气形式均采用了直流扫气,并实现了纯废气涡轮增压,它们均为高增压,采用等压增压方式。

由于高增压等压增压系统低负荷扫气性能很差,在低负荷工况包括起动时必须辅以电动鼓风机。(B&W 公司较早的机型因增压度不高,采用脉冲增压,在这些工况不必起动电动鼓风机。)一般在低于 50% 标定功率时就得开动鼓风机,采用新型高效增压器时可至 40% 标定功率才开鼓风机。电动鼓风机还有应急作用,当废气涡轮增压器损坏不能工作时,开动辅助鼓风机可供给一定数量的空气,例如保证柴油机在 15% 标定功率(即 53% 标定转速)下仍能持续运转。

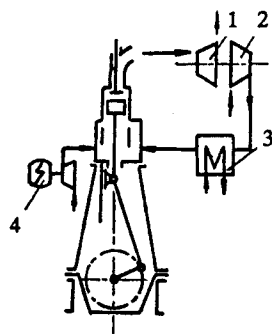


图 2-1-1 纯废气涡轮增压系统
1-废气涡轮;2-离心式压气机;3-空
冷器;4-电动鼓风机

目前燃油价格下跌,安装动力涡轮的柴油机不多。为了利用增压器效率有了富余这一成果,新型超长冲程低速柴油机进一步加长活塞有效做功行程,减小排气阀开启角(导致排气阀开启角 φ_{co} 小于排气阀关闭角 φ_{cc} , 见图 2-1-2)。加上采用大的压缩比,采用大的过量空气系数 φ , 扫气也更彻底,过后排气阶段排气阀处的残余废气与新鲜空气的混合气体排出更多一些。因此,燃气在气缸中更充分膨胀做功后才排出,扫气质量提高,燃烧更充分迅速,柴油机热效率进一步提高。这些措施导致涡轮前废气的温度低,能量少了,只有在增压器效率足够高的条件下才可行。

2. 复合增压系统

早些年,当增压器效率 $\eta_{\tau k}$ 还不够高时,二冲程柴油机采用废气涡轮增压就必须解决压机

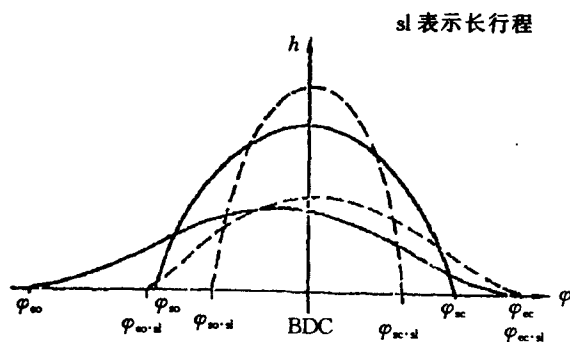


图 2-1-2 新型低速柴油机的时面值配置

机与废气涡轮之间的功率不平衡问题。通常采取的办法是增设由柴油机直带的辅助气泵,从柴油机提取一部分有效功率辅助对空气进行增压,以弥补压机功率的不足。因此曾出现了各种形式的复合增压系统。

大型低速柴油机复合增压系统常见的有以下几种形式。

(1) 串联旁通增压系统

如图 2-1-3 所示,这种增压系统中涡轮增压器为第一级增压,柴油机活塞下部工作空间(活塞底泵)起辅助气泵作用,为

串联第二级增压。扫气箱隔为内外两部分,外侧各缸连通,内侧各缸隔开并分别与活塞下部工作空间连通,形成各缸的扫气室。外侧扫气箱与内侧各缸扫气室之间均设有单向阀(口琴阀)。增压器输出的增压空气冷却后进入外侧扫气箱。然后经单向阀进入扫气室。

当活塞上行时,由于活塞下部空间体积增大,内侧扫气室压力下降,由增压器输出的空气就从外侧扫气箱经单向阀进入内侧扫气室。在活塞下行过程中,当内侧压力高于外侧压力时,单向阀自动关闭。活塞继续下行,其中的空气压力增高。当扫气口打开时,活塞下部空间扫气