



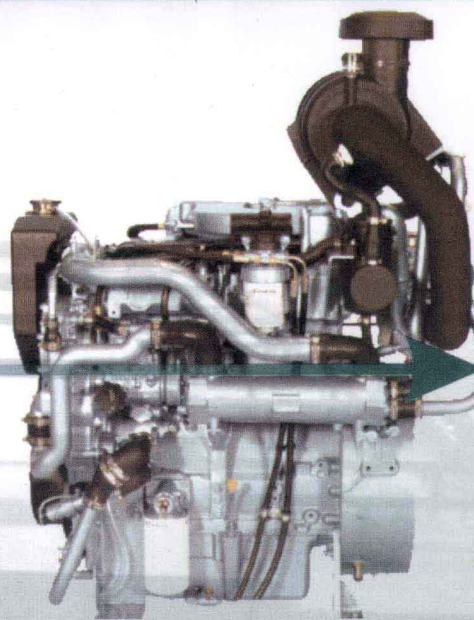
高等学校交通运输类系列教材

能源与动力工程专业教材

船舶机械修理工艺学

丁彰雄 田 野 主编

刘正林 主审



武汉理工大学出版社
WUTP Wuhan University of Technology Press

高等学校交通运输类系列教材
能源与动力工程专业教材

船舶机械修理工艺学

Marine Machinery Repair Technology

主 编 丁彰雄 田 野
主 审 刘正林

武汉理工大学出版社

· 武汉 ·

【内 容 提 要】

本书共分12章,按船舶机械修理的拆卸、检验、修理、安装、试验等过程,详细阐述了维修理论与修船制度,船机零件的失效及损伤规律、探伤方法、基本修理方法、船机拆验及其主要零部件的修理和主机、轴系、舵系在船上的安装工艺、船舶试车等问题。

本书为高等工科院校交通运输(能源与动力工程)专业用教材,亦可作为与船机相近的其他专业的教学参考用书,还可供修造船厂、柴油机修造厂、航运企业和其他从事机械修理、再制造及表面工程的技术人员及管理人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

船舶机械修理工艺学/丁彰雄,田野主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2013.2

ISBN 978-7-5629-3970-2

I. ①船… II. ①丁… ②田… III. ①船舶机械-船舶修理-工艺学 IV. ① U672.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 033270 号

项目负责人:陈军东

责任编辑:陈军东

责任校对:邓 兵

装帧设计:董君承

出版发行:武汉理工大学出版社

地 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址:<http://www.techbook.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:湖北睿智印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:23.5

字 数:608 千字

版 次:2013 年 2 月第 1 版

印 次:2013 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1~3000 册

定 价:42.50 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线:027-87515778 87515848 87785758 87165708(传真)

· 版权所有 盗版必究 ·

前 言

本书是根据“能源与动力工程”专业“船舶机械修理工艺学”教学大纲要求编写的。

与原版教材相比,本书对基本概念和基础理论有所加强,着重介绍了新技术、新工艺,并删去了比较陈旧的内容。因此,在章节上有所变动,将原教材的十九章合并为十章,新增了船机零件的腐蚀、船机零件的疲劳破坏两章,增加了润滑、船机零件的故障诊断技术、激光熔敷、焊补修理、研磨技术、活塞修理、轴承修理、气阀修理及精密偶件修理等内容;并对原教材中的一些修理工艺方法进行了较多的扩充及更新,更好地反映了这些工艺目前的应用及发展动态。

本书参编人员:武汉理工大学范世东教授(第1章)、丁彰雄教授(第2章~第4章、第6章)、白秀琴教授(第5章)、田野副教授(第7章、第8章、第12章)和朱汉华教授(第9章~第11章)。

全书由丁彰雄教授及田野副教授主编,刘正林教授主审。

由于编者水平有限,本书中难免存在不妥和不足之处,希望广大读者批评指正。

编 者

2012年07月

目 录

第 1 章 概论	(1)
1.1 现代船舶维修概述	(1)
1.2 故障	(11)
第 2 章 船机零件的摩擦磨损及润滑	(16)
2.1 摩擦	(16)
2.2 磨损	(23)
2.3 润滑	(31)
2.4 船机零件的摩擦、磨损	(37)
第 3 章 船机零件的腐蚀	(41)
3.1 概述	(41)
3.2 化学腐蚀	(45)
3.3 电化学腐蚀	(49)
3.4 气蚀	(59)
3.5 船机零件的腐蚀及防腐技术	(61)
第 4 章 船机零件的疲劳破坏	(66)
4.1 疲劳破坏的基本知识	(66)
4.2 高温疲劳和热疲劳	(73)
4.3 船机零件的疲劳破坏	(75)
第 5 章 船机零件的缺陷检验与船机故障诊断	(80)
5.1 船机零件的缺陷检验	(80)
5.2 船机故障诊断技术	(93)
第 6 章 船机零件的修复工艺	(111)
6.1 船机零件修复原则	(111)
6.2 机械加工修复	(114)
6.3 电镀工艺	(118)
6.4 热喷涂工艺	(134)
6.5 焊补修理技术	(165)
6.6 激光表面改性及激光熔覆技术	(169)
6.7 金属扣合工艺	(176)
6.8 塑性变形修复技术	(179)
6.9 粘结修复技术	(181)
6.10 研磨技术	(188)

第 7 章 船机部件的拆验	(193)
7.1 船用柴油机拆验	(193)
7.2 修理方案的分析	(199)
第 8 章 船机主要零件的修理	(202)
8.1 气缸盖的修理	(202)
8.2 气缸套修理	(209)
8.3 活塞的修理	(222)
8.4 曲轴的修理	(228)
8.5 轴承的修理	(248)
8.6 气阀的修理	(253)
8.7 精密偶件的修理	(256)
8.8 增压器修理	(262)
第 9 章 船舶主柴油机在船上的安装	(272)
9.1 概述	(272)
9.2 主机定位前的准备工作	(273)
9.3 主机定位	(275)
9.4 主机固定	(280)
第 10 章 船舶轴系的修理及安装	(283)
10.1 概述	(283)
10.2 轴系和螺旋桨的拆验	(284)
10.3 螺旋桨轴的修理	(295)
10.4 尾轴轴承的修理	(301)
10.5 螺旋桨的修理	(304)
10.6 轴系理论中线的确定	(312)
10.7 按轴系理论中线镗孔	(321)
10.8 尾管、螺旋桨轴、尾管密封装置及螺旋桨的安装	(326)
10.9 中间轴的安装	(332)
第 11 章 船舶舵系的修理及安装	(344)
11.1 舵的结构形式	(344)
11.2 舵系的修理	(347)
11.3 舵系校中	(349)
11.4 普通三支点舵的装配与安装	(351)
第 12 章 系泊试验与航行试验	(354)
12.1 概述	(354)
12.2 系泊试验和航行试验方法	(356)
参考文献	(366)

第 1 章 概 论

1.1 现代船舶维修概述

1.1.1 现代维修概念

维修的目标是使设备维持规定的工作能力,以确保完成预定的任务。维修的定义就是“使产品保持在或恢复到规定设计状态所需的全部活动”。船舶维修是对船舶机械和设备维护与修理的统称。船舶维护(或称技术保养)是为了保持船舶机械和设备的技术性能正常发挥所采取的技术措施;船舶修理(或称修船)是当船舶机械和设备的性能下降、状态不良或发生故障而失效时,为了保持或恢复其原有的技术性能所采取的技术措施。所以,船舶维修是船舶正常航行重要的技术保障工作。

长期以来,维修是独立于设计之外而从属于制造的附属行业,修船落后于造船,从属于造船。船上维修工作仅限于船舶营运中对机械设备的日常维护、定期检修和故障排除;修理则是在修船厂针对那些危及安全航行的故障和船舶管理机关规定的定期检修内容进行的修理与完善。维修时注意的只是提高修船技术,长期以来对于船舶维修活动的必要性、合理性和经济性等没有进行深入系统地研究,以致于有的维修并未达到预期的目的。实践证明,不适当的维修不仅不能保持和恢复船舶机械原有的技术性能,反而会引起故障,造成机械损坏和重大的经济损失。

随着科学技术的发展,船舶机械设备日趋先进、复杂,船舶电气化、自动化的程度日益提高,同时对维修技术和维修质量的要求也相应提高。传统的、落后的维修思想和维修方式已不适应现代船舶机械的要求,应该创造一种现代的维修思想和维修方式,即现代维修理论来满足现代船舶维修。

1.1.1.1 维修制度发展主要阶段

关于设备维修管理制度发展历史,通常划分为三个阶段。

第一阶段是指第二次世界大战前的一段时期。在这一时期基本上采用事后维修策略,其原因在于此时的设备多数是超强度设计,安全系数大,结构较为简单可靠,运转速度较低,工作彼此独立,某一设备因故障和修理而停机,一般不太会影响其他机器的工作。

第二次世界大战期间,对各种产品的需求量猛烈增加,且时间紧迫,工业劳动力队伍急剧下降,导致机械化程度的迅速提高,工业更多地依赖于机器,停机时间就变成了矛盾的焦点,设备维修费用也迅速增加。人们认为设备的故障应该事先预防,在一定程度上也是能够预防的。于是设备预防维修制度迅速得到广泛推行和完善,这也就是我们所说的定期维修策略。这是第二阶段,这段时期一直延续到 20 世纪 60 年代。

第三阶段,自 20 世纪 60 年代,尤其是 70 年代以来,伴随着设备结构复杂化程度的上升,定期维修已不能适应新形势的要求,其原因在于许多零部件的故障是随机的,零部件越

多,随机性越高。事实上,定期修理还可能将修理后初期运行时的高故障率引入到系统中,从而增加系统的总故障率。为了满足现代化高效率运行设备的要求,各国相继提出并形成了现代的综合维修方式,这一维修策略强调以可靠性为中心(RCM, Reliability Centered Maintenance)的维修思想。该思想的宗旨是在对设备进行各种潜在故障和功能故障的后果进行分析和评价的基础上,对具有不同后果的故障制定不同的维修方针,以最低的费用实现设备原有的可靠性水平。

1.1.1.2 国内外发展概况

1) 欧洲

维修工程在欧洲发展迅猛,20 世纪 70 年代初,首先在英国兴起了“设备综合工程学”(Terotechnology)这门学科,并很快得到许多国家的重视。该学科把设备的寿命周期费用最经济作为研究目的,其内容涉及设备、机器、装备、建筑物等系统的规划、设计、安装、调试、投产、维修、改造、更新以及有关设计、性能和费用等方面信息的反馈。与此同时在欧洲成立了欧洲国家维修团体联盟(EFNMS),它是国际上最大的维修学术团体。其学术会议每两年举行一次,每次会议都反映了欧洲维修界的新动向、新经验。

2) 美国

20 世纪 70 年代前美国主要实行的是事后维修方式(BM, Breakdown Maintenance),其代价是昂贵的,它导致了众多的计划外停机。70 年代,伴随计算机的应用,预防维修方式(PM, Preventive Maintenance)也逐渐发展起来,此阶段主要是以时间为基础的定期维修方式(TBM, Time Based Maintenance),该方式虽能减少 30% 的维修费用,但不可避免地存在着大量的过剩维修。80 年代后期,因监测技术与仪器的应用,预防监测维修方式(PDM, Preventive Diagnose Maintenance)也发展起来,该维修方式是通过测量机械的状况,识别已有或将来临的问题,预计维修的时机,减少机器的损坏和对生产的影响,其技术基础是采集和处理失效部件以不同方式发出的信息。通过推行这一维修方式所能获取的效益有以下几个方面:

- (1) 设备开工率增加 2%~10%;
- (2) 紧急抢修明显减少,降至总维修量的 5%,加班时间降至总维修人工的 3%;
- (3) 减少机器能量消耗,显著节约能源;
- (4) 提高产品质量,防止废次品产生;
- (5) 减少过剩维修,降低备件需求;
- (6) 可有效地延长设备使用寿命。

在预测维修中常用的预测技术有离线振动频谱分析、在线振动频谱分析、油质及磨粒分析、红外热像分析、超声脉冲分析、声发射分析、电机工作电流分析、电机定子绝缘分析及工艺参数分析等。

尽管 PDM 可以预测维修工作,减少故障停机,但是相对于主动维修,它所能达到的程度还是有限的。主动维修(PAM, Preventive Active Maintenance)是 20 世纪 90 年代在 PM 与 PDM 的基础上发展起来的,它是通过先进的调查分析和高级的维修矫正技术,以显著延长机器寿命为目的的维修技术。而可靠性维修(RBM, Reliability Based Maintenance)则是将主动维修、预防维修和预测维修优化组合而形成的一种新的维修体制,它将可靠性工程原理直接运用于维修管理工作之中,美国在一些企业实施的“达标企业”工作则是推行可靠性

维修的一个明显反映。所谓达标企业,就是能全面实现可靠性维修的企业。与非达标企业相比,达标企业应能做到:极少紧急抢修和加班加点;致力于减少设备损坏,减少非计划停机,采取主动监测,以减少不必要的检修;熟悉设备现状,能制订3~5年的连续改进计划,能通过事例证明采取可靠性维修并不浪费财力,而且节约开支。

3) 日本

日本二战后从本国的国情出发,于20世纪60、70年代从欧美吸取了预防维修、生产维修和设备综合工程学等方面的经验,80年代创立了全员生产维修制(TPM, Total Production Management),使不少企业的设备维修费降低1/2,故障停机减少3/4。近年来,通过从预防故障维修发展到保证设备性能和精度的质量维修,进而发展到定量地掌握设备的状态、应用设备诊断技术预知未来影响的状态监测维修(CBM)几个阶段后,不少企业进入了设备综合维修管理阶段,它是以同生产过程直接联系的设备诊断技术为轴心,建立起包含设备诊断系统、定期诊断信息管理系统、维修管理系统、专家系统等在内的综合系统,对设备实施全面、有效的管理。

4) 国内

我国设备维修管理从20世纪50年代起学习苏联的计划预修制度(ППР),它对当时我国的经济建设起到了促进作用。1963年原第三机械工业部制定了“设备预修与使用管理暂行条例”,它是新中国成立后我国工业企业机械设备管理工作发展的一个重要标志和总结。这段时期在广大设备管理人员和群众实践的基础上,结合我国的具体情况总结出很多好的设备管理原则和方法。自1979年以来,由于引进了现代设备管理的理论与方法,促进了维修制度的改进,20世纪80年代后,尤其在1983年初,国家经济委员会下达《国营工业交通设备管理暂行条例》后,企业选用多种先进体制,进行综合试点,不仅有了同步修理、项目修理,而且经过多年的发展,在预测维修方面也有了一定的基础,并大都收到了成效,突出表现在以下几个方面:

- (1)大修周期普遍延长;
- (2)设备维修人员对设备的技术状态心中有数;
- (3)恶性事故减少;
- (4)设备的有效利用率提高;
- (5)易于生产部门和设备维修部门之间的协调;
- (6)大大地减少了维修的费用;
- (7)人员素质提高。

近二十年来,船舶机械可靠性维修方面的研究在国内外都得到了更为普遍的重视。国外以日本为例,从20世纪50至60年代就开始进行船机故障及对策的研究。如:日本海上安全局、日本钢管公司,以掌握船舶动力系统整体可靠性和确立各设备可靠性对设备整体影响的评价方法为目的,开展了有关船舶动力装置故障树分析、船舶动力装置维修性及复杂性调查等研究。又如,日本造船研究会和神户商船大学及船舶技术研究所在大量的统计基础上,确定以可靠性为中心的维修思想为指导,提出船机维修新构思,建立最佳维修时机的决策方法。国外另一代表性工作是挪威于20世纪80年代建立的船舶维修保养体制(TSAR),其主要做法是将船舶自修与陆上支持相结合,构成以计算机技术为基础的科学维修保证体系。总体来看,西方的几个发达国家,如美国、英国等,都在朝着将主动维修、预防

维修和预测维修结合起来,成为一个统一的维修策略,朝着可靠性维修方向发展,且越来越重视应用计算机及有关技术所作出的维修决策工作。

我国自1987年颁布《全民所有制工业及交通企业设备管理条例》之后,船舶维修理论及实践也有了新的发展。突出表现之一是由原交通部主持的,上海海洋运输公司和上海海运有限公司合作开发、研制的“船舶维修保养体系”(CWBT),将传统的船舶设备管理和国际上插卡式船舶设备管理相结合,形成集计划、管理、指导于一体的、以机务监督为中心的设备管理机制,对船舶技术管理内容、方法和手段等方面进行了改革,重点解决了维修计划插板式管理和计算机管理相结合问题,为以状态为依据的维修方式的推行打下了基础。基于此,1997年中国船级社(CCS, China Classification Society)出台了船舶机械计划保养系统(PMS, Planned Maintenance System)检验指南,它指出:船舶机械(包括电气设备)可根据规范的有关要求和设备制造厂说明书的规定,由船东制订一套详细的周期维修保养计划,通过该计划在船上的贯彻和实施,使船舶机械始终保持良好的技术状态。

1.1.2 维修科学

维修科学是从20世纪40年代开始至70年代逐渐形成的以现代科学技术为基础,由多门学科综合而成的维修理论,是适用于各个行业设备维修的通用科学。70年代末维修科学引入我国,80年代我国修船界和其他行业相继成立各种维修理论学术研究组织和全国性的社会团体,如中国造船学会所属的船舶维修理论学组、中国设备管理协会等。经过二十多年的工作,维修理论的研究和推广方面取得了很大进展。近年来,我国设备的现代化管理的手段与方法逐步完善,现代预防维修的状态监测、故障诊断技术、修复新工艺和新技术以及计算机辅助管理等日益被采用,我国的设备管理与维修呈现出前所未有的发展。

船舶机械和设备经过长期运转,技术状态会不断下降甚至发生故障,要恢复其原有功能就必须进行维修。所以故障与维修就成为船舶维修中的对立与统一的矛盾,成为船舶维修理论与实践发展的基础,并决定着船舶维修事业发展的进程。因此,对于故障与维修的研究就形成了维修科学。

维修科学以可靠性理论与可维修性理论为重要的理论基础。可靠性理论是研究故障规律的理论;可维修性理论是研究如何易于发现和排除故障的理论。这两种理论分别从不同的侧面研究维修。

系统工程理论在维修工作中的应用丰富了维修科学的理论。系统的观点、系统的分析方法和系统工程技术为研究维修提供了科学的手段,尤其是数学方法的使用使许多维修问题得以定量化,从而使维修科学更加完善。

维修科学是一门独立的综合性的通用科学。独立性表现在它具有独特的研究对象和独特的理论基础;综合性表现在它吸收了相关的学科知识和技术并应用到维修工作中;通用性则在于它的基本理论能为各个行业的各类设备服务,并结合其专业知识与维修特征开展维修工作。维修科学应用于船舶维修并结合船舶机械和设备的专业知识和维修特征就形成了船舶维修科学。

1.1.2.1 现代预防维修

预防维修是指为了防止机械和设备发生故障,在故障发生前有计划地进行一系列的维修工作。

20 世纪 30 年代至 50 年代中期是英、美等西方国家广泛应用传统预防维修的阶段。采用日常检查、保养和定时修理等措施进行有计划的预防维修。由于当时的科技水平所限,认为一般机械设备的故障规律基本符合浴盆曲线。为了延长机械和设备的随机故障期,必须在磨损故障期到来之前进行修理。通过实验和经验统计测定出正常使用期的长短,依此使用时间进行定时修理。从而防止了故障,延长了机械设备的使用寿命。

20 世纪 50 年代后期科学技术迅速发展,特别是电子技术的飞跃,使得传统的预防维修已不能完全适用,浴盆曲线不能描述各类设备的故障规律。在大量实验和经验的基础上又统计测定出六种故障率曲线,分别反映各类设备的故障率特征。定时修理仅适用于具有浴盆曲线故障率特征的一类机械设备,而不适于复杂设备和电子设备,因为那些设备的故障大多是偶然性的,无法定时修理,只能采用状态监控的手段预防故障的发生。所以自 20 世纪 50 年代后期至今采用的是现代预防维修的阶段,设备的维修主要是采用以下三种方式:

1) 定时维修方式

定时维修是按照规定的时限(或期限)对机械、设备进行拆卸检验和维修以防止故障的发生。采用定时(或定期)维修的机械、设备应具备以下条件:

- (1)故障率曲线有显明的磨损故障期。
- (2)设备的无故障生存期要足够大,即正常使用期较长,否则无维修的必要。
- (3)采用其他任何维修方式均不适宜。

定时维修对防止某些机械、设备或零部件的故障发生有着重要的作用,是现代预防维修中不可缺少的维修方式。但是定时维修的缺点也不容忽视:针对性和准确性不高,可靠性不是很高,维修工作量大、费用高;由于所规定的检修时间不一定符合设备的实际情况,当机械设备运转良好,距离磨损故障期的出现甚远时进行定时维修不仅无益,反而有害;破坏了设备的良好技术状态,检修后的设备精度可能低于检修前,以致易于发生故障;从对设备状态监控的角度来看,定时维修对设备的监控是阶段性的和不连续的。

2) 视情维修方式

视情维修(或称按状态维修)是指对机械、设备不确定维修期,而是通过不断地监控设备的运转状况和定量分析其状态资料,按照实际情况来确定维修时间,从而避免故障发生。采用视情维修的设备应具备以下条件:

- (1)设备的故障率曲线应具有进展缓慢的磨损故障期,以便监测到故障信息后来得及采取防止故障发生的措施。
- (2)具有能够反映设备技术状态的参数、参数标准或标准图谱,以便准确地诊断设备的故障。
- (3)具有视情设计的设备结构,为进行视情维修提供必要的条件,如设备上有安装传感器的孔、口等。

(4)视情维修是以现代化的监控手段和故障诊断技术为基础,因此需具备先进的原位无损检测装置及与电子计算机相连的终端显示装置等,以进行保护、预警,防止故障发生。

视情维修不对设备确定维修期,而是根据实际情况确定最佳维修时间,因此维修的针对性强。又由于是在设备功能性故障发生前采取措施,因而可有效地预防故障和充分地利用设备的工作寿命。此外,维修工作量和费用均少。视情维修是理想的预防维修方式。

3) 事后维修方式

事后维修是在设备发生故障后才进行的维修。某些复杂设备虽有故障,但其许多零部件仍保持良好的基本功能以致无法预测故障的发生;某些复杂设备缺乏适用的检测手段、参数和临界参数;某些设备不具备实施检测的条件,所以这些设备只能在故障发生后再进行维修。然而事后维修也绝非等待故障的发生,而是在设备故障发生前后连续不断地进行状态监控,收集和分析设备的使用、维修的资料,以便评定和改进设备的可靠性和安全性。事后维修是一种非预防性的维修方式,但仍进行经常性的检查和保养工作。

事后维修适用于故障不直接危害使用安全且仍保持基本功能的设备,或采用预防维修不经济的耗损性设备。

船舶机械和设备一般应选用视情维修方式或定时维修方式,对其发生不危及安全的故障,即偶然性故障时采用事后维修方式。对于一些经过精确计算有规定使用寿命的零部件或设备仍然采用定时维修,而对于大多数设备和零部件,则逐步采用视情维修与定时维修相结合的方式预防故障。一个复杂设备中的不同项目,可依具体情况分别选用不同维修方式,同一项目可采用一种或多种维修方式。

1.1.2.2 维修科学的内容

维修科学是指导船舶进行现代维修的理论,是一门新兴科学,其理论与实践都在不断地发展且日臻充实与完善。维修科学的基础理论包括共同基础理论、技术基础理论和维修基础理论;维修科学的专业学科包括维修设计、维修技术与维修管理。

1) 维修设计学科

维修设计是以设备的全寿命来分析,在设计和制造船舶机械时,赋予机械和设备可靠性、可维修性。可靠性、可维修性是设备的固有特性,是进行维修工作的客观基础。没有完善的设计与良好的制造就不可能在使用阶段获得高效低耗的最佳维修。所以,维修设计是维修科学中的重要专业学科。

维修设计专业学科主要包括:可靠性设计、可维修性设计、综合技术保障设计和费效分析等。

2) 维修技术学科

维修技术是直接用于船舶机械和设备故障维修时的各种维修技术的总称。维修技术对于优质、高效、低耗地完成现代化船舶的维修至关重要,是维修活动的关键。船舶维修技术主要由检测技术和修理工艺两部分组成,并且只有是现阶段检验和修理领域中的最新技术和最新工艺,才能保证达到现代维修质量的要求。

维修技术学科主要包括无损检测技术、状态监测技术、故障诊断技术、修理工艺和技术、计算机应用技术等。

3) 维修管理学科

船舶维修管理是对现代船舶维修活动进行科学管理和组织的学科。现代船舶维修是一个多因素、多变量、多层次和多干扰的巨大而复杂的系统工程。为了保障维修工作正常、优质和良好的经济效果,就必须从全部维修活动的各个方面,如人员、技术、装备、信息、物资、质量和经济等进行科学管理。

船舶维修管理是从维修的全系统和船舶机械、设备的全寿命出发,运用管理的理论和方法,结合船舶维修的特点和规律,对船舶维修工作进行总体决策和规划。

现代船舶维修管理涉及维修系统的各个方面,对维修系统中的各个环节和维修过程进

行预测、计划、组织、协调和控制,实施科学管理;对维修系统中涉及的人、财、物、时间、信息 and 质量等进行合理的协调、周密地计划和有效地组织调动,确保高效、优质修船,实现船舶维修的现代化管理。

维修管理学科主要包括维修计划管理、维修技术管理、维修经济管理、维修信息管理、维修质量管理和维修设备管理等。

1.1.2.3 现代船舶维修的特征

随着维修科学的建立与不断发展,维修理论在船舶维修活动中的应用将使船舶维修发生显著的变化,与传统维修相比具有以下特征:

1)使分散维修转向综合维修

使设备维修由仅限于设备的使用阶段转变为设备的全寿命过程,即在设备的技术设计的同时进行可靠性和可维修性设计、维修保障设计和费用设计,使设计、制造、使用和维修各部门共同参与维修活动。从设备全寿命和总体上来研究维修,获取最大的维修效能,改变传统维修中分散、单件小批使用阶段中修修补补的落后面貌。

2)由经验维修转向理论维修

理论维修是指在维修理论指导下进行维修工作,开展主动的现代预防维修。在维修方式上采用视情维修和定时维修;用统计方法对设备的故障、维修及其有效性进行分析,从而改革修船方法与维修制度,完善设备的结构设计、材料选用和制造工艺。改变过去维修工作中的盲目、被动和孤立维修的状态。

3)由单件维修转向工业化维修

在船舶维修中由于维修对象和时间都是随机的,所以一直是单件或小批量的生产,使得维修质量差、效率低、成本高、时间长。在维修理论指导下使之走向工业化维修,即实行机械化和批量生产,要求相同船型、机型的一批维修对象,采用船舶机械和设备的定型化,船型、机型的系列化,零部件的标准化和通用化,从而提高维修质量,缩短维修周期和降低维修成本,实现船舶机械和设备的工业化维修。同时广泛采用先进的修船工艺和技术进行现代化维修。

1.1.3 可靠性与可维修性概念

1.1.3.1 可靠性概念

可靠性理论是研究设备故障的宏观与微观规律,提高设备可靠性的学科,是现代维修科学的重要理论基础。可靠性理论为设计出不易发生或较少发生故障的机械和设备奠定了基础,并且机械和设备的可靠寿命为确定维修中的最佳维修间隔期、备件数量等提供了可靠的依据,故障机理和故障分析技术为修复故障做了充分的准备。

可靠性的研究自20世纪40年代开始,现已形成一种多学科的可可靠性工程。目前,故障监测诊断、可靠性设计审查、元件加速寿命试验、威布尔概率纸的应用、可靠性数理模型和评估、故障树分析和故障形式影响分析的应用、故障数据库的开发、产品环境条件和试验八个方面被国际上认为是较为成熟的可靠性工程领域。

1)可靠性定义

可靠性是反映产品耐用和可靠程度的一种性能。产品的可靠性是指产品在规定的时间内、规定的条件下完成规定的功能的能力。规定的时间是指产品的使用期和储存期;规定的

条件是指产品的环境条件、使用条件、维修条件和工作方式等；规定的功能是指产品设计时所赋予的工作性能；能力是“三个规定”的综合体现和度量可靠性的总体指标。可靠性是产品固有的特性之一，是产品的功能随时间的延长保持稳定的程度。可靠性的指标可用数学形式表达，以便定量分析产品的可靠性。

船舶机械、设备和系统的可靠性是一个综合性能，反映了设计、材料、制造和安装工艺等的质量。其中在设计时所赋予的内在可靠性是固有可靠性，而在制造和使用过程由于材料、工艺、环境、操作和维修方式等因素的影响，则具有实际的可靠性，即使用可靠性。使用可靠性难于达到固有可靠性。所以，应不断提高使用可靠性。

2) 可靠性研究的内容

可靠性研究包括理论、技术和管理三方面内容：

(1) 可靠性理论。主要研究可靠性指标的定量化、可靠性分析方法、可靠性准则及提高可靠性的方法等。

(2) 可靠性技术。主要包括可靠性设计、可靠性制造与工艺、可靠性试验、评估与标准等。主要研究故障的机理、形式及进行危害性分析，确定寿命和试验方法等。

(3) 可靠性管理。主要包括制订有关可靠性计划、制度、规范及进行情报资料、信息、数据的搜集和处理等。

3) 研究可靠性的意义

研究船舶机械、设备和系统的可靠性具有重要的意义。研究可靠性不仅可以减少故障和维修工作，延长设备的使用寿命，而且可以很好地解决对设备可靠性要求高与现代化复杂设备的可靠性下降之间的矛盾。任何机械设备越先进，其结构越复杂，所需的组成零部件也越多，这就必然导致机械设备的可靠性下降。为了确保机械设备的可靠性，就要求提高其组成零部件的可靠性。通过研究可靠性可以更好地掌握故障机理和故障规律，全寿命地提高设备的可靠性和经济效益，解决好设备的可靠性与经济性之间的矛盾。可靠性研究对于船舶的意义尤其重要，因为海船营运的特点和海洋运输条件等决定了船舶的可靠性越高，越能保证船舶营运安全可靠。

4) 可靠性指标

利用数学的方法对可靠性各个方面的特征进行定量计算，以便了解设备的可靠性，预测设备的故障。衡量设备可靠性的指标主要有可靠度、不可靠度、故障密度、故障率、平均寿命等。

(1) 可靠度 $R(t)$ 。它表示船机设备或零部件在规定的时间内、规定的条件下完成规定功能的概率， $0 \leq R(t) \leq 1$ 。由于设备的可靠度总是随时间的增加而降低，所以 $R(t)$ 是时间 t 的递减函数，如图 1.1(a) 所示。

(2) 不可靠度 $F(t)$ 。它表示设备在规定的时间内、规定的条件下完不成规定功能的概率。即

$$F(t) = 1 - R(t) \quad \text{或} \quad F(t) + R(t) = 1 \quad (1-1)$$

$F(t)$ 直接反映故障的概率，反映在 t 时刻以前累积故障的情况和故障与时间的函数关系，所以 $F(t)$ 也称为故障分布函数，如图 1.1(b) 所示。可靠性研究中多以 $F(t)$ 为对象。

(3) 故障密度 $f(t)$ 。它表示设备在 t 时刻故障的变化速度。若故障分布函数 $F(t)$ 连续可导，则故障密度 $= dF(t)/dt$ ；若 $F(t)$ 不是连续可导函数时，则用经验（平均）密度公式表

示,现场统计中多采用。故障密度 $f(t)$ 与时间的关系如图 1.1(c) 所示。

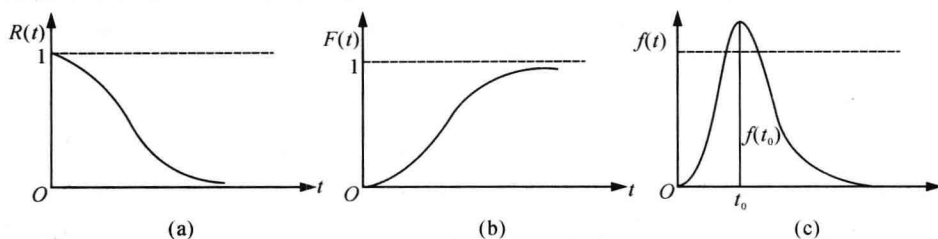


图 1.1 可靠度、不可靠度和故障密度与时间的关系

(4)故障率 $\lambda(t)$ 。它反应设备在 Δt 时间内由完好状态转向故障状态的概率。当 Δt 很小时,表示设备在某一瞬间 t 时刻发生故障的概率,称为瞬时故障率或简称故障率。

$$\lambda(t) = f(t)/R(t) \quad (1-2)$$

(5)平均寿命。设备的寿命通常是指其使用寿命,即设备从投入使用时的完好状态开始,一直使用到发生故障或失效为止所使用的时间。对于可修复设备或整机的寿命是指两次相邻故障之间的运转时间;对于不可修复的设备(如电子元件)的寿命则指其失效之前的工作时间。可修复设备的平均寿命是指其两次相邻故障间工作时间的平均值;不可修复设备的平均寿命是指其失效前的平均工作时间。

1.1.3.2 可维修性概念

可维修性理论是研究维修的宏观和微观规律,为设计出容易维修保养的设备提供科学依据,是现代维修科学中重要的基础学科。

1)可维修性定义

可维修性是指已发生故障的产品,在规定的时间内通过维修使之保持或恢复到规定使用条件下完成规定功能的能力。规定的时间是指限定的维修时间,规定的条件和规定功能均是指产品原有的使用条件和技术性能。可维修性是设计、制造赋予产品的一种固有特性。

产品良好的维修性可使其便于维修、容易维修,对维修工艺和维修人员技术水平的要求不高,所需维修时间短,维修费用低。产品的可维修性好坏在日常检修和保养工作中便可判断。例如,损坏的零件是否容易拆卸和更换;是否便于检测和调整;是否便于日常的维修保养等。良好的可维修性可以获得高的维修质量和维修效果,否则会增加维修时间和维修费用,甚至降低产品使用寿命。

2)研究可维修性的意义

维修的目的是通过维修迅速而又经济地保持或恢复产品的原有功能,也就是说,在产品发生故障后,要求维修工作以最佳的质量、最短的时间和最低的费用恢复产品的规定功能。对于船舶维修来说不仅如此,还具有以下意义:

(1)良好的可维修性是船舶海上安全航行的重要保证。船舶在复杂的航行条件或恶劣气候条件下,任何机械设备的损坏都会招致严重的后果,并且往往难于获得外界援助。因此机械设备的良好维修性和船员自修能力就是船舶安全航行的重要保证,使故障及时排除,设备迅速修复,船舶继续航行完成海上运输任务。

(2)可维修性是可靠性的必要补充。船舶机械和设备随着科技水平的提高也日益先进,电气化、自动化程度不断提高。例如,驾驶台遥控主推进装置、周期性无人机舱等。但是,高度自动化使船舶机械和设备更加复杂,零部件的可靠性虽有很大程度提高,但机械和设备的

可靠性提高则是有限的,甚至有下降的趋势,致使故障率增加。另一方面,随着船舶自动化程度提高船员配备数量减少,船舶机械和设备的维修工作受到影响。因此在船员少、故障增多的情况下提高船舶机械和设备的可维修性,使发生故障后能及时有效地修复,大大地弥补了设备可靠性的不足。

(3)可维修性是船舶机械和设备维修保障工作的基础。船舶进行有效地维修很大程度上取决于机械和设备的可维修性。开展全寿命维修就是在船舶机械和设备的设计、制造过程中对其维修性进行全面分析、预测和综合考虑,使维修工作不局限在使用阶段而是贯穿全寿命的各个阶段中,以保证船舶营运中的维修工作优质高效地完成,保证船舶安全运行。

(4)船舶的高度可维修性是实现工业化修船的必要条件。长期以来,修船业一直是单件、小批量生产,造成生产率低,修船周期长,成本高和修理质量差等缺点。工业化修船使修船过程实现机械化和自动化,取消单件、小批生产和手工劳作。船舶机械、设备的定型化、系列化、标准化和通用化,维修工作的专业化、定点化等均是实现维修生产工业化的条件。而这些又是船机设备可维修性充分包含的内容,只有设备具有高度的可维修性才能促进修船工业化。

3)可维修性指标

衡量可维修性的定量指标有可修复度、修复率、有效度及平均修复时间等。

(1)可维修度 $M(t)$ 。对于已发生故障的产品,在给定的维修条件和维修时间内完成维修工作使产品保持或恢复能完成规定功能的概率称为可维修度。它随维修时间增加而增大。

(2)修复率 $\mu(t)$ 。为了研究某一单位时间内完成维修工作的可能性是多少,需研究单位时间内的可修复性。

修复率表示当修理时间已达某时刻但尚未修复的产品,在该时刻后的单位时间内完成修理工作的概率。由于具有前提条件,所以修复率是一个条件概率。

(3)有效度 $A(t)$ 。可靠性是要求产品不发生或少发生故障,可维修性是要求产品发生故障后迅速修复。对于可修复的产品的可靠性和可维修性的评价是用产品在全部使用过程中能有效工作的程度来衡量,即有效性,用概率表示为有效度或利用率。所以,产品的有效度与其可靠性、可维修性有关。

有效度 $A(t)$ 表示可修复产品在特定时间内保持其规定功能的概率,即修复后使用的产品在某特定瞬间内保持其功能的概率。

1.1.4 我国修船制度

船舶修理类别没有统一的规定,可参照交通运输部或各大航运企业各自修船管理的规定进行。按交通运输部的规定分为航修、小修和检修。按航运企业规定,如某(集团)总公司的规定分为航修、计划修理(包括检修)和事故修理。

1.1.4.1 按交通运输部规定

1)航修

指船舶营运中发生局部过度磨损或一般性事故,影响航行安全而船员难于自行修复,必须由船厂或航修站修理的工程。

2)小修

小修的目的是按规定周期结合验船的坞内检修和年度检修,对船体和主、辅机及船舶辅助机械等设备进行不拆卸或少拆卸机器设备的必要的重点检查,包括零部件的拆检、清洗、测量、修理,以保证船舶安全营运到下次计划修理。

小修的间隔期,客货轮为12个月,远洋货轮为12~18个月。如船舶的技术状况良好不需修理时,经验船师检验认可后,可以延期6个月,但最多不超过12个月。

3) 检修

检修是修船的最大修理类别。检修的目的是经过2~3个小修以后结合验船的特别检验,拆开必要的机器设备,对船体和全船的各主要设备及系统进行一次比较全面的检查,修复已经磨损而在小修时不能解决的缺陷,保持船舶的强度并结合以后的小修统一考虑使主要设备和系统安全运转到下次检修。

除上述厂修类别外,还有事故修理,它是海损或机损事故后的修理。其修理规模、范围等依损坏程度和船检机构的意见而定。

1.1.4.2 按航运企业规定

1) 航修

属临时性修理,不编入修船计划。主要解决营运中的局部故障。它是由船厂或修船队等利用船舶在港期间修理影响航行安全而又不能自修的工程,但不影响船舶营运。

2) 计划修理(包括检修)

一般每5年进行一次,5年中进行一次特检和一次计划修理。两次计划修理之间进行一次坞修。

3) 事故修理

船舶发生事故后,应依损坏情况和船舶检验机构的要求进厂修理。

如果事故损坏通过临时性修理取得适航证书,则采用临时性修理,以降低营运损失;如损坏严重,则依当时当地的条件决定修理方案,当此次事故修理与计划修理时间较近时,则应合并进行。

1.2 故 障

1.2.1 故障的基本概念

任何产品(无论整机还是零部件)凡不能完成其规定功能或其性能指标恶化至规定标准外的一切现象均称作故障。不可修复的产品则称失效。

机械产品中,很多是可修复产品,当构成它的任何一个零部件损坏而不能工作时,最终均可通过更换一个新零部件或通过修复而使其工作,故对这类产品而言,这都是故障。但对某一零件或总成而言,它可能是不可修复的。在故障中如零件损坏、磨损超限、焊缝开裂、油漆剥落、螺栓松动、标牌脱落等均属不能完成规定功能之故障;起动困难、功率下降、油耗上升、提升缓慢等超过规定值的现象均属性能指标恶化之故障;齿轮断齿、传动胶带断、密封件坏、灯泡坏等均是不可修复的故障,它们则称为失效。

而具体到机械故障来讲则是指结构、机器或机械零件在尺寸、形状或材料性质方面的改变,这些变化会使结构、机器或机械零件不能达到原有设计所要求的功能或者改变其原有的