

高等学校教材

船舶机械 修理工艺学

(船舶机械工程及自动化专业用)

吴宗荣 主编

牛求煌 主审

人民交通出版社

高等学校教材

船舶机械修理工艺学

Chuanbo Jixie Xiuli Gongyixue

(船舶机械工程及自动化专业用)

吴宗荣 主编

牛求煌 主审

人民交通出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

船舶机械修理工艺学/吴宗荣编著. —北京: 人民交通出版社, 2000

ISBN 7-114-03567-5

I. 船… II. 吴… III. 船舶机械-船舶修理-工艺学-高等学校-教材 IV. U672.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 10054 号

高等学校教材

船舶机械修理工艺学

(船舶机械工程及自动化专业用)

吴宗荣 主编

牛求煌 主审

版式设计: 刘晓方 责任校对: 刘高彤

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

北京交通印务实业公司印刷

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张: 14.5 字数: 370 千

2000 年 4 月 第 1 版

2000 年 4 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001—3000 册 定价: 21.00 元

ISBN 7-114-03567-5

U·02570

内 容 提 要

本书共分三篇十八章。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、管系、舵系在船上的安装工艺、船舶试车等问题。

本书为高等工业院校交通运输(船舶机械工程及自动化)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、柴油机修造厂和其他从事船机修理工艺的技术人员、机务管理人员、管理干部和工人以及轮机人员阅读。

前 言

本书是在原《船机制造与修理工艺学》(修订版,上、下册)基础上,根据教学需要而分别编写出版的《船舶机械制造工艺学》和《船舶机械修理工艺学》两本教材的其中之一。

与原修订版相比,本书对基本概念和基础理论有所加强,着重介绍了新工艺,并删去了比较陈旧的内容。因此,在章节上有所变动,增加了船机故障与维修和船舶管子制造与安装等内容,对其他章节的内容也作了较多的更新和补充。

本书参编人员:武汉交通科技大学范世东副教授(第一章)、饶润生副教授(第二章、第十章)、吴宗荣副教授(第三章~第九章,第十四章~第十九章)和郎静副教授(第十一章~第十三章)。

全书由吴宗荣副教授主编,牛求煌教授主审。

由于我们的水平有限,本书中还会有不妥和不足之处,希望广大读者批评指正。

编 者

1999年5月

目 录

第一篇 船机零件的损伤及其基本修复方法

第一章 船机故障与维修	1
§ 1-1 现代维修概念及我国修船制度	1
§ 1-2 故障	4
复习思考题.....	7
第二章 摩擦、磨损	7
§ 2-1 摩擦的基本理论	7
§ 2-2 磨损原理及减少磨损的途径	11
复习思考题	16
第三章 无损探伤	16
§ 3-1 磁粉探伤	16
§ 3-2 荧光探伤	20
§ 3-3 超声波探伤	22
§ 3-4 其它各种无损探伤方法	25
复习思考题	26
第四章 机械加工修复法	27
§ 4-1 修理尺寸法和尺寸选配法	27
§ 4-2 附加零件法	29
§ 4-3 局部更换法	30
复习思考题	30
第五章 金属扣合修复法	30
§ 5-1 概述	30
§ 5-2 波浪键扣合法	31
§ 5-3 波浪键——螺钉扣合密封法	33
§ 5-4 加强块扣合法	34
复习思考题	34
第六章 塑料应用	35
§ 6-1 环氧树脂粘结剂	35
§ 6-2 无机粘结剂	40
§ 6-3 金属补漏剂	41
复习思考题	42
第七章 电镀工艺	43

§ 7-1 概述	43
§ 7-2 镀铬	45
§ 7-3 镀铁	52
§ 7-4 涂镀	56
复习思考题	58
第八章 金属粉末喷涂和喷焊	58
§ 8-1 等离子喷涂和喷焊	59
§ 8-2 氧—乙炔焰金属粉末喷涂和喷焊	63
§ 8-3 特种喷涂	66
复习思考题	68

第二篇 船机拆验和主要零、部件修理

第九章 船机拆验	69
§ 9-1 船用柴油机拆验	69
§ 9-2 修理方案的分析	72
复习思考题	74
第十章 气缸盖的修理	74
§ 10-1 气缸盖裂纹及其修理	74
§ 10-2 气门座的损伤及修理	79
复习思考题	80
第十一章 气缸套修理	81
§ 11-1 气缸套的磨损	81
§ 11-2 气缸套的穴蚀	85
§ 11-3 气缸套的裂纹	87
§ 11-4 气缸套的修理	89
复习思考题	92
第十二章 曲轴修理	92
§ 12-1 轴颈的磨损、擦伤、划痕和腐蚀	92
§ 12-2 曲轴的弯曲和扭曲	98
§ 12-3 曲轴的裂纹和折断	100
§ 12-4 组合式曲轴套合处滑移	102
复习思考题	104
第十三章 增压器修理	104
§ 13-1 增压器的拆卸和清洗	105
§ 13-2 增压器的缺陷及修理	106
§ 13-3 转子的动平衡	112
§ 13-4 增压器损坏的应急措施	114
复习思考题	114
第十四章 轴系零件及螺旋桨修理	115

§ 14-1 螺旋桨轴的缺陷及其修理	115
§ 14-2 尾管轴承的缺陷及其修理	121
§ 14-3 螺旋桨的损伤及其修理	124
复习思考题	128

第三篇 船舶主机、轴系、舵系的安装和试车

第十五章 主机在船上的安装	129
§ 15-1 概述	129
§ 15-2 主机定位技术要求	129
§ 15-3 安装主机底座的准备	130
§ 15-4 主机定位	132
§ 15-5 主机固定	136
复习思考题	138
第十六章 轴系拆验及安装	138
§ 16-1 概述	138
§ 16-2 轴系和螺旋桨的拆验	139
§ 16-3 轴系理论中线的确定	147
§ 16-4 按轴系理论中线镗孔	156
§ 16-5 尾管、螺旋桨轴、尾管密封及螺旋桨的安装	161
§ 16-6 中间轴的安装	167
复习思考题	178
第十七章 船舶管子制造与管系安装	178
§ 17-1 管子材料及其选用	178
§ 17-2 管子的弯制	181
§ 17-3 管子的校对、液压试验、清洗与表面处理	198
§ 17-4 管系的安装与检验	201
复习思考题	208
第十八章 舵系安装	208
§ 18-1 舵的结构型式	208
§ 18-2 普通三支点舵的装配与安装	212
复习思考题	215
第十九章 系泊试验与航行试验	215
§ 19-1 概述	215
§ 19-2 系泊试验	215
§ 19-3 航行试验	219
复习思考题	220
参考文献	221

第一篇 船机零件的损伤及其基本修复方法

第一章 船机故障与维修

§ 1-1 现代维修概念及我国修船制度

一、现代维修概念

维修作业是人类一项历史悠久的生产活动。其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”。由于世界技术革命的影响,新技术、新工艺、新设备不断涌现,特别是微电子技术、通信技术的飞速发展,导致企业中所用装备发生了巨大的变化,其机械化、自动化程度急剧上升,高精度、微电脑自动监测与控制等方面的技术更加日新月异、层出不穷。因此,这对设备维修活动所涉及的人员素质、维修装备、维修策略、维修计划和维修费用等方面都提出了新的严峻的挑战。现代工业生产中的设备系统比以往任何时候更加注重其高效率、低消耗,从而使过去传统的维修模式显得难以适应,需要寻找更适合的维修制度、更有效的维修策略以及开发更先进的维修技术。

关于设备维修制度的发展历史通常划分为 3 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,其原因在于那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,一般不大影响其它机器工作。

第二次世界大战期间,战时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,并且在一定程度上能够预防。于是设备预防维修制度迅速得到完善和广泛推行,这也就是我们所谈的定期维修策略。这是第二阶段,这段时期一直延续到 60 年代。

第三阶段,自 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,定期修理还可能将初期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订不同的维修方针,以最低的费用实现设备固有的可靠性水平。

下面就国外几个主要国家及国内在该领域的情况做一简要介绍。

欧洲:维修工程发展迅猛,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的目的,其内容涉及到设备、机器、装备、建筑物等规划和设计的可靠性与维修性;其安装、调试、投产、维修、改建及更新;有关设计、性能和费用等信息方面的反馈。与此同时在欧洲成立了欧洲国家维修团体联盟,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。其内容有:维修策略及实施;维修控制;应用现代手段和方法优化维修功能;与实现维修战略相关的管理任务;强化维修管理;突出教育培训;重视技术改造和改进性维修;维修实践等。另外在欧洲各种管理和维修模型的研究和应用也开展得比较广泛和深入。

美国:70年代前主要实现的是事后维修方式(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),该方式虽可能减少30%的维修费用,但必不可免地存在大量过剩维修。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 Diagnoses 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将体现在增加设备开工率、明显减少紧急抢修、减少机器能量消耗、提高产品质量、减少过剩维修并降低备件需求以及有效地延长设备使用寿命等方面。预测维修常用的9种预测技术是: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;工艺参数分析。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。

日本:日本战后从本国的国情出发,于60、70年代从欧美多国吸取了预防维修、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 Maintenance),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——Condition Based Maintenance)几个阶段后,不少企业进入了设备综合维修管理阶段,这一体制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、维修管理系统和专家系统等在内的综合系统,对设备实施全面、有效的管理。

国内:我国设备维修管理从50年代起学习前苏联的计划预修制度,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

是建国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,由于引进现代设备管理的理论与方法,促进了维修制度的改进。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 10 余年的发展,在预测维修方面也有了一定的基础,并大都收到了成效,令人信服,突出表现在:

1. 大修周期的普遍延长;
2. 设备维修人员对设备的技术状态心中有数;
3. 严重的恶性事故减少;
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的协调;
6. 大大地减少了维修费用。

船舶机械可靠性维修方面的研究近一、二十年来,在国内外都得到了更为普遍的重视。国外以日本为例,从 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 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。就总体来看,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,即朝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),该项目试图对船舶技术管理内容、方法和手段等方面进行改革,建立一套以机务监督为中心的机务管理机制,重点解决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。

二、我国修船制度

目前我国各用船及修船单位所推行的修船制度并不完全一致。如原中国船舶工业总公司的《舰船修理暂行条例》规定,舰船的定期计划修理分为坞修、小修、中修和大修 4 类。而交通部制定的有关修船规定则分为航修、小修和检修 3 种。

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以自行修复,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的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,客货船为 12 个月,远洋货船为 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。

§ 1-2 故 障

一、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。对不可修复产品则称作失效。

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,这就是故障。但对某一零件或总成而言,它本身可能是不可修复的。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、传动胶带断裂、密封件坏、灯泡坏等均属不可修复之故障,这就是失效。

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各种参数。

机械在使用过程中之所以发生故障是因为受到各种会影响到其工作能力的能量的作用,它们是机械能、热能、化学能、核能、电磁能和生物因素。这些能量或因素在机械零件中会产生一种使产品参数降低的过程,这些过程一般都与复杂的物理——化学现象紧密相连,并使零件发生变形,如磨损、断裂、腐蚀等,结果引起输出参数变化,最后导致故障发生。

二、故障的分类

故障分类的方法很多,主要决定于分类的目的与用途,以及产品结构的复杂程度。通过分类不仅可以揭示和分析故障的实质,也有利于在开展现代设备维修管理过程中选择适当的诊断方法。常见的故障分类方法有以下几种。

1. 按故障发生的基本原因分类

1) 本质故障(非相关故障)

由于零、部件本身固有的缺陷而引起的故障,称为本质故障。例如:由于结构强度、材质、加工和装配工艺等原因所引起的过度变形、断裂、过度磨损、粘结、腐蚀、老化、紧固件松动或失效、“三漏”及性能恶化等。本质故障是反映产品可靠性高低的基本故障,是计算可靠性指标的主要依据。

2) 从属故障(相关故障,二次故障)

由于机械的其他零件的故障导致产生的派生故障,或外界偶然事故引起的故障称为从属

故障。例如:变速箱内某紧固件损坏,导致齿轮损坏或引起一系列其他零件损坏,则该紧固件损坏是本质故障,由此引起的其他零件损坏均属从属故障。

3) 误用故障(人为故障)

用户不按产品使用说明书规定进行操作和使用而引起的故障,称为误用故障。这类故障往往被忽视,而实际上还是占有一定的比例。例如:轮机员未按规定要求给船舶主机加油、加水导致主机咬缸、烧瓦;用户擅自改变某一结构或调整状态,致使有关零部件损坏等。

2. 按故障的严重性及后果分类

1) 致命故障

是指危及或导致人身伤亡,引起主要总成报废或造成重大经济损失的故障。例如:飞轮破裂、机架或机体脱离、车轮脱落等。

2) 严重故障

是指严重影响产品正常使用,或者规定的重要指标恶化至规定范围以外必须停机修理、修理费用较高、在较短的有效时间内无法排除的故障,即需要更换外部重要零部件或拆开机体更换内部零部件的故障。例如:发动机烧瓦、咬缸、曲轴断裂、箱体裂纹、齿轮损坏、轴承损坏等。

3) 一般故障

明显影响产品正常使用、修理费用中等、在较短的有效时间内可以排除的故障,即需要更换或修理产品外部零件的故障。例如:传动胶带断裂、灯泡损坏等。

4) 轻度故障

轻度影响产品正常使用,暂时不会导致工作中断、修理费用低廉的故障,即在日常保养中能用随机工具轻易排除的故障。例如:非警示标牌脱落、轻微渗漏、外部一般紧固件松动、非重要塑料件出现裂纹等。

3. 按故障的后果对机械工作能力的影响分类

1) 完全性故障

由于故障导致机器丧失主要功能,工作完全中断。

2) 局部性故障

由于故障导致机器丧失部分功能,但还能够继续使用。

4. 按故障发生的速度及演变过程分类

1) 突发性故障

由外界随机因素或材料内部潜在缺陷引起的突发性故障,故障的概率往往与工作时间无关,事先没有明显的征兆,往往来不及监测预报。

2) 渐进性故障

机器中某些零件长期使用,这些零件的技术指标逐渐超过标准极限范围而引起的故障。这类故障占全部故障的绝大多数,可以通过监测而获得预报。

5. 按故障发生的时期分类

1) 早期故障

2) 使用期故障

3) 老化期故障

根据不同的故障分类,可以分类统计机械的故障数量,从而了解机械故障的分布特征,有助于抓住关键、采用对策,并对机械的设计制造和维修使用提供有价值的信息。

三、故障的规律

在产品整个使用寿命期间,其发生故障的频度是不同的,按其故障率 $\lambda(t)$ 的变化,故障可分为早期故障期故障、偶然故障期故障和耗损故障期故障。图 1-1 所示为典型故障变化曲线,通常称为“浴盆曲线”。

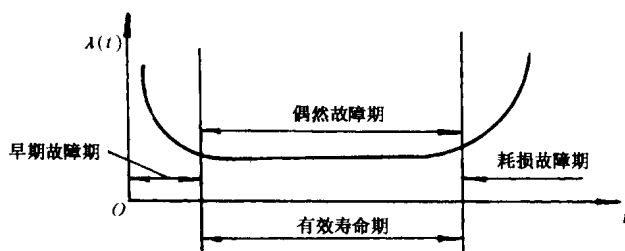


图 1-1 浴盆曲线 $\lambda-t$

早期故障期——该期间故障率急剧下降,相当于产品磨合期。其特点是:故障率较高,但随着时间的增长而迅速下降。早期故障的原因大都是由于设计不当、装配质量差、材料和结构上有某些缺陷、操作不熟练与使用环境不合适而引起的。通过试车调试、磨合、更换有缺陷的零件,故障率很快下降,并趋向稳定。

偶然故障期——该期间故障率低而稳定,基本上保持常数,与使用时间关系不大。这一时期的故障是随机发生的,即没有一定的失效机理起主导作用,大多数是由于使用不当,操作差错,润滑不良,维护不当以及材料内部缺陷,或工艺和结构缺陷等偶然因素所引起的。这一时期一般比较长,产品处于最佳工作状态,为产品的有效寿命。

耗损故障期——该期间故障率急剧上升,零件达到耗损老化阶段,维修费用急剧增长,工作效果越来越差。大多数疲劳件和易磨损零件的失效均属于这类。如在故障率急剧上升之前将老化的零件更换下来,可以降低其整机的故障率,有助于延长产品的有效寿命。

统计分析表明,并非所有的机电产品的故障规律都符合浴盆曲线,除了有少数是耗损性失效占绝对优势的情况外,故障率变化的浴盆曲线是不适用的。如图 1-2 所示为几种典型的非浴盆化的故障率,图中 a) 没有早期故障期或早期故障期不明显,且其有效寿命的故障率为常数或略有增长,属于这种情况的产品或零部件的结构、工艺都是成熟的、系列化的、或者是经厂商认真筛选过的;b) 没有明显的早期故障期和耗损故障期,且其故障率是持续增长的,这是典型的磨损特征,应用摩擦学的最新成果是降低其故障率的最佳途径;c) 故障率是阶梯式的跳跃增长,这是由于不良维修或不良的操作引起的。不良的维修常常将高故障机制引入到稳定系统中,即通常所说的“越修越坏”。因此,对于稳定系统不应随意解体,不良的操作经常表现为违章操作和超负荷。在这种情况下。受损设备或其零部件再也不会复原了,在每一次“受损”之后,其故障率总是跳跃式的增长;d) 完全没有早期故障期和耗损故障期。其故障率呈现为常数,其故障是随机的,而且与运行时间无关,这是典型的非浴盆化曲线。这就完全打破了故障率随时间增长这一观念。产品(设备)愈复杂,机电一体化程度愈高就愈趋向这种情况;e) 没有耗损故障期,经过早期故障期之后,故障率就表现为常数,电子工业的经验早就揭示了这种规律。厂商的早期可靠性试验、筛选和健全的质量管理制度可以淘汰那些高故障率的零件和元件,然后,幸存的零件和元件就呈现出恒定的失效率,这也是一种随机故障。至于软件产品,若设计得当,总是越用越好的。因此,经过一段时间的运行,其故障率就降为零,f) 所显示的就是这种情况。

四、故障模式、故障机理及故障分布

机电产品是个复杂的系统,各个子系统、零部件的故障模式不胜枚举,其故障机理十分复

杂。所谓故障模式是指产品故障的表现形式,它是一般能观察到的故障现象,如油管漏油、电子元器件短路等。故障模式是多种多样的,在现场分析使用中,它是最基本的故障数据,利用它即可分析故障产生的原因,寻找薄弱环节,迅速采取有针对性的维修管理措施。而故障机理则是引起故障的物理、化学和材料特性等变化的内在原因、规律及其原理。它与故障模式的根本区别是:故障模式是故障的外在表现,即能观察(包括检测)到的不正常现象,而故障机理则是引起这些现象的内在原因。故障机理依产品的种类、使用条件而异,不能一概而论,但往往以磨损、疲劳、腐蚀、氧化等简单形式表现。故障分布则是以数理统计及概率论为基础,从故障所占有的空间、时间角度出发对其加以分析归纳而确定的概率及统计学模型,常见的不外乎正态分布、指数分布、威布尔分布和对数正态分布等。若从故障的物理、化学、力学性质角度来归纳,也不外乎应力——强度模型、最弱环模型、退化模型和累积损伤模型等常见的物理模型。前者定量地分析故障特征,后者定性地分析故障机理。它们从不同途径描述产品的寿命分布,相互之间存在着一定的内在联系。也就是说,故障机理的特征有助于故障分布模型的判别,而故障分布模型的特性有助于故障机理的分析。具体请参见有关书籍。

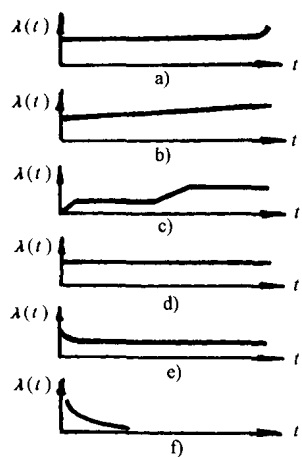


图 1-2 故障率曲线

复习思考题

1. 常见的维修方式有哪几种? 各自的含义是什么?
2. 简述我国修船制度。
3. 什么叫故障? 为什么要采用多种方法进行故障分类? 通过查阅其他资料还可列出哪些故障分类方法。
4. 试述故障模式及故障机理的异同。

第二章 摩擦、磨损

根据统计大约有 80% 的零件都是因磨损而报废的。只要这个零件与另外一个零件之间有接触,并且有相对运动(即有摩擦),就不可避免的产生磨损,只能采取措施使其减小。摩擦磨损使船舶机械性能下降,功能丧失,甚至危及船舶的安全航行。所以,研究船舶机械的摩擦磨损,寻求减少磨损的措施,达到提高船舶使用寿命的目的,是一项非常有意义的工作。

§ 2-1 摩擦的基本理论

一、固体的表面特性

摩擦磨损都是由固体表面之间接触作用开始的,因此固体表面特性对摩擦磨损的影响很大,在未研究摩擦之前,首先有必要了解固体的表面特性。

固体的表面特性包括:表面粗糙度和波纹度、表面能、化学活性、表面吸附层、氧化层或化学反应层、加工硬化层以及表面残余应力等等。

1. 表面形貌

零件表面不论用什么方法加工得到,不论表面看起来多么平整光滑,在显微镜下观察,其固体表面好似大地一样,布满了峡谷,高岗和山岳。这就是说:从微观的角度看,任何固体表面都是不规则的,起伏不平的,即存在着粗糙度。我们通常所说的表面形貌,也就是微观粗糙度和宏观粗糙度(即波纹度),如图 2-1 所示。

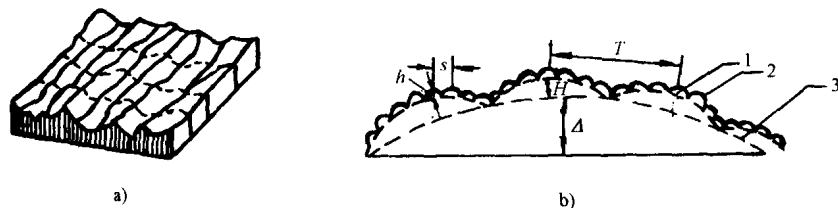


图 2-1 表面形貌的组成

a) 三维表面形貌; b) 二维表面微观几何特性

1-波纹度; 2-粗糙度; 3-宏观几何形状偏差; T -波纹度波距; s -粗糙度波距; H -波纹度波高; h -粗糙度波高; Δ -形状误差

表面结构中独立的单体称做微凸体。微观粗糙度指的就是这种微凸体几何形状细节;而宏观粗糙度则表示这些单体(即微凸体)的组合。不论是微观粗糙度还是宏观粗糙度,它对两个表面的接触力学性能和摩擦磨损过程与机理的影响都极大。

2. 金属的晶体结构

金属及其合金都是由原子或分子所组成的一种物质聚集态。通常金属在固态下都是晶体,即原子均为有规则的排列。如图 2-2a)所示。

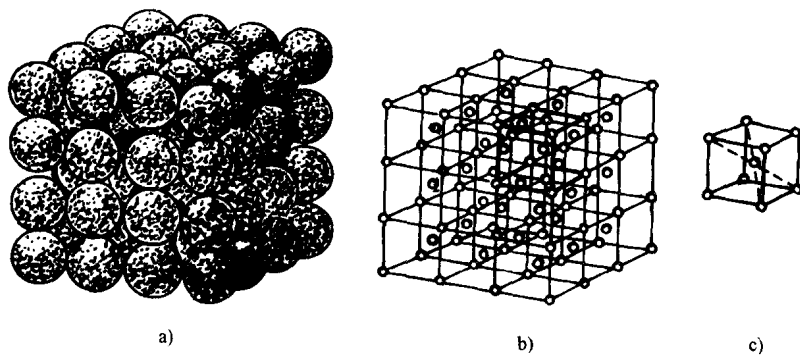


图 2-2 α -Fe 晶体中铁原子排列示意图

a) 原子堆砌模型; b) 晶格; c) 晶胞

这种具有一定几何形状的排列称为空间晶格。如图 2-2b)所示。空间晶格的基本单元叫晶胞或单位晶格。如图 2-2c)所示。

金属元素中,约有 90% 以上的金属晶格属于下列 3 种晶格形式:

体心立方晶格,如图 2-3 所示。

面心立方晶格,如图 2-4 所示。

密排六方晶格,如图 2-5 所示。

实际金属中存在着各种各样的晶格缺陷,根据几何形态,可分为点缺陷、线缺陷和面缺陷 3 种类型。并且这些缺陷不是静止地、稳定不变地存在,而是随着条件的改变不断地变动和交

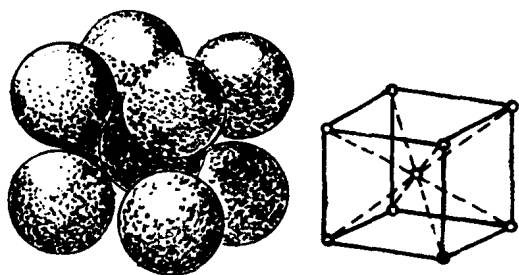


图 2-3 体心立方晶格

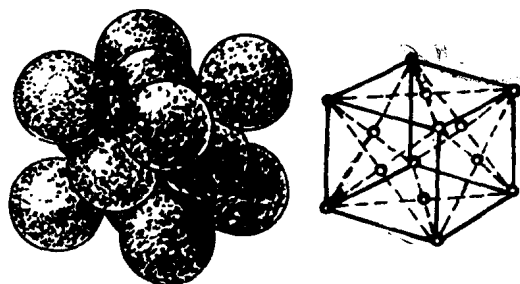


图 2-4 面心立方晶格

相互作用。这些晶格缺陷将显著地影响其机械性能和物理、化学性能,当然也会严重地影响摩擦、磨损与润滑性能。

3. 表面能

不论是液体或固体,表面原子所处的状态与内部原子所处的状态是绝然不同的。以面心立方晶格晶胞上表面为例,如图 2-6 所示。

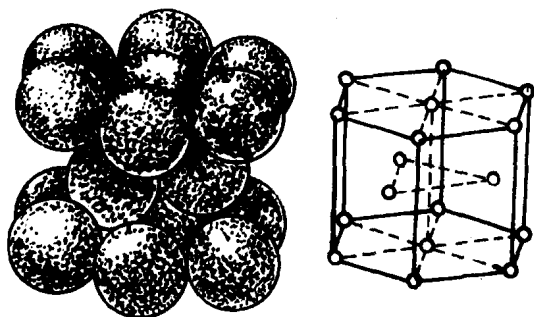


图 2-5 密排六方晶格

如原子 1 的近邻原子为 2、3、4、5。在原子 1 的下方还有 6、7、8、9 为近邻原子。因此,处在表面的 1 个原子与 8 个近邻原子相结合。而处在晶体内部的 1 个原子则与 12 个近邻原子相结合。这样一来,表面原子相对晶体内部原子就多出了 2 个完整的结合键能。它是构成表面能的主要组成部分。另外表面能还与组态熵、振动熵有关。材料种类(晶体键合类型)、晶体取向(原子的配位数)、温度、表面形貌和表面受污染的程度等因素都会影响表面能。

4. 表面膜

固体表面都具有一定的表面能。表面加工成型过程中产生了许多晶体缺陷,使表面的原子处于不饱和和不稳定的状态,空气中的 O_2 、 N_2 、 CO_2 等气体,润滑油中的极性基团或其它介质都会吸附在固体表面,形成各种表面膜。按结合性质不同,可分为吸附膜和反应膜两种。吸附膜又可分为物理吸附膜和化学吸附膜。反应膜又分为化学反应膜和氧化膜。

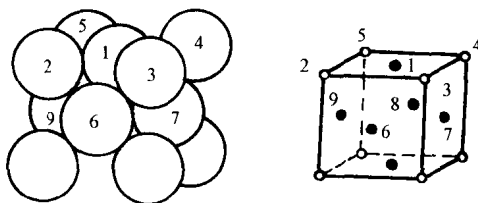


图 2-6 面心立方晶胞的原子排列

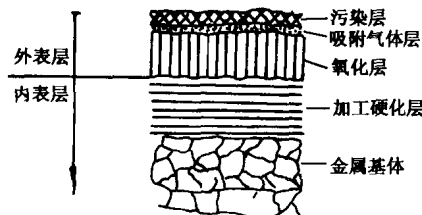


图 2-7 金属表层结构示意图

5. 金属表层的实际结构

完全洁净的金属表面在大气环境中是不存在的。一旦洁净新鲜的表面出现,就会立刻自然地吸附、污染形成覆盖膜。为了描述金属表层的实际结构,斯墨芝早在 1936 年就把它分成“外表层”和“内表层”。外表层包括:污染层,吸附层,氧化层或化学反应层;内表层即加工硬化层和塑性变形层与没有受到影响的金属基体相连,如图 2-7 所示。磨损程度和速率与摩擦负荷作用的深度有关。如果作用深度只限于外表层,则磨损小;若负荷作用达到内表层,则磨损严重。