

高等学校教材

船机检修工艺

(轮机管理专业)

CHUANJI JIANXIU GONGYI

满一新 李素玉 编



人民交通出版社

高等学校教材

船机检修工艺

(轮机管理专业)

第二版

满一新 李素玉 编

人民交通出版社

高等学校教材

船机检修工艺

(轮机管理专业)

第二版

满一新 李素玉 编

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

北京市仰山印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 14 字数: 344千

1983年5月 第1版

1989年6月 第2版 第3次印刷

印数: 7,301—12,250册 定价: 2.80元

内 容 提 要

本书为高等海运院校轮机管理专业教材,适用于远洋及近海船舶轮机人员阅读,亦可作为 航运部门和修船厂工程技术人员的参考用书。

本书主要介绍船舶主、辅柴油机主要零件的损伤机理和检修工艺。其中包括:船机故障与维修,船机零件磨损、腐蚀及疲劳断裂的机理;船机零件缺陷检验与故障诊断以及修复工艺;柴油机和增压器主要零件的损坏与检修;主机与轴系在船上的安装与校中;船舶轴系与舵系的 检修等。

本书为《船机检修技术》一书的修订再版。

前 言

《船机检修工艺》系轮机管理专业教材。船机检修工艺是轮机管理专业学生必备的专业知识，是轮机人员作好机舱日常检修工作的基础，是轮机人员在船厂进行船舶监修和监造工作不可缺少的工艺知识。

本教材是根据大连海运学院轮机管理专业1986年制订的教学大纲编写的。本教材经1963年、1965年、1973年三次校内印刷，并曾由人民交通出版社于1983出版，它是我院多年教学实践的总结。此次修订再版注意吸收当前国内外先进的维修理论知识、修船工艺和反映现代技术，使之更加符合轮机员工作的需要。

本书第一至第三章、第五至第七章、第九章由满一新副教授编写；第四章、第八章、第十至十二章由李素玉副教授编写。全书由满一新副教授统稿。全书由王富山副教授和吴恒轮机长、副教授主审。

书中缺点和错误，诚盼读者批评指正。





大连港大港装卸区 Dalian Port: The Dagang load/discharge area



Dalian Port: The Nianyuwan
load/discharge area
大连港鲇鱼湾装卸区

目 录

第一章 船机故障与维修	(1)
第一节 现代维修概念.....	(1)
第二节 可靠性与可维修性概念.....	(5)
第三节 故障.....	(6)
第四节 船机故障统计和故障的人为因素.....	(9)
第二章 船机零件的磨损	(14)
第一节 摩擦.....	(14)
第二节 磨损.....	(17)
第三节 活塞环与气缸套的摩擦磨损.....	(22)
第四节 曲轴与轴承的摩擦磨损.....	(25)
第三章 船机零件的腐蚀与防护	(27)
第一节 金属腐蚀.....	(27)
第二节 化学腐蚀.....	(29)
第三节 电化学腐蚀.....	(30)
第四节 穴蚀.....	(35)
第四章 船机零件的疲劳断裂	(39)
第一节 疲劳断裂.....	(39)
第二节 船机零件的疲劳裂纹及断裂.....	(42)
第三节 防止或减少疲劳裂纹的主要方法.....	(46)
第五章 船机零件的缺陷检验与故障诊断	(48)
第一节 船机零件的缺陷检验.....	(48)
第二节 船机故障诊断.....	(54)
第六章 船机零件的修复工艺	(62)
第一节 机械加工修复法.....	(62)
第二节 喷涂与喷焊工艺.....	(63)
第三节 电镀与快速电镀工艺.....	(64)
第四节 焊补修理.....	(68)
第五节 粘结技术.....	(69)
第六节 金属扣合工艺.....	(73)
第七章 柴油机主要零件的检修	(75)
第一节 气缸盖的检修.....	(75)
第二节 气缸套的检修.....	(78)
第三节 活塞的检修.....	(85)
第四节 活塞环的检修.....	(89)
第五节 曲轴的检修.....	(96)

第六节 轴承的检修	(114)
第八章 精密偶件及增压器主要零件的检修	(122)
第一节 精密偶件的检修	(122)
第二节 废气涡轮增压器主要零件的检修	(127)
第九章 柴油机主要机件在船上的安装与校中	(137)
第一节 机座的安装与校中	(137)
第二节 机架、气缸体和贯穿螺栓的安装	(146)
第三节 固定件相互位置的校中	(147)
第四节 活塞运动部件的平台检验	(150)
第五节 活塞运动部件在船上的校中	(153)
第十章 船舶轴系的检修	(162)
第一节 概述	(162)
第二节 轴系修理前的拆验	(163)
第三节 螺旋桨的检修	(172)
第四节 尾轴的检修	(178)
第五节 尾轴管装置的检修	(181)
第六节 中间轴及中间轴承的检修	(187)
第七节 轴系校中	(189)
第十一章 船舶舵系的检修	(200)
第一节 舵系的检修	(201)
第二节 舵系中心线的检验与调整	(204)
第三节 舵系修理安装后的检验	(205)
第十二章 交船试验	(206)
第一节 系泊试验与航行试验	(206)
第二节 船舶主柴油机的系泊试验	(207)
第三节 船舶主柴油机的航行试验	(208)
第四节 轴系及传动装置的试验	(210)
附录	
表I. 国产船用柴油机各机型对曲轴臂距差要求数值	(211)
表II. 国外船用柴油机各主要机型对曲轴臂距差要求数值	(212)
表III. 国产船用柴油机各机型曲轴及推力轴轴承装配间隙及磨损极限间隙	(214)

第一章 船机故障与维修

第一节 现代维修概念

一、维修科学的建立

维修又统称修理,是指为保持或恢复船舶机械或设备的规定功能所采取的技术措施。船舶维修分为预防维修和故障维修两种。预防维修是预防发生故障和失效而有计划进行的维修;故障维修是在事故发生后所进行的维修。

长期以来,修船落后于造船,从属于造船,船舶修理仅限于船舶使用阶段中的修修补补。在船舶营运期间,对船舶设备或系统进行日常的和定期的维护以及在故障发生后的修理,也只是为了保持和恢复其原有的技术性能。维修的关键仅是提高船舶检修的技艺以提高维修质量。所以,维修本身并没有形成完整的学科体系。

随着科学技术的进步,船舶设备日趋先进、复杂,船舶自动化、电气化已逐渐代替了手工操作。同时,随之而来的故障增多、维修工作量的增大及对维修技术要求的提高,使得仅从维修技艺来解决问题,非但不能保持或恢复船舶设备的原有性能,反而会由于修理引起早期故障和由于人为差错而使设备性能下降,甚至造成大的损失。这说明有些故障并不是通过维修就可能有效地防止,维修工作还受到船舶设备本身的制约和影响。这就引起人们对故障规律的重视,促使人们在船舶设备的设计、制造时就注意有效地解决维修问题。同时,不可忽视的维修费用的增加,促使人们从船舶的全寿命来探讨费用—效果的最优化,寻求指导维修工作的理论,于是萌发了维修科学。

第二次世界大战后,可靠性理论在短时间内获得迅速的发展。随后,对可靠性的定量研究,把可维修性设计要求发展为维修管理所依据的维修大纲。70年代可维修性与系统工程理论相结合,形成了维修管理理论,可维修性的规范化成为应用新技术必须遵循的要求。

与此同时,故障机理和故障检测手段的研究,形成了故障物理学和工程诊断学,加上新材料、新工艺在维修中的运用,都为发展维修科学奠定了基础。

二、维修科学

船舶不论是停泊还是航行,都会受到内部因素(设计、材料、制造和安装工艺等)或外部环境(维护管理、负荷、海况等)的影响,使其技术状态不断下降,最后导致故障发生,使得船舶全部或部分设备丧失功能。因此,故障与维修是矛盾的双方:故障使船舶丧失功能,而维修使船舶保持或恢复功能。这样,故障与维修构成了船舶维修发展的基础,决定着船舶维修的进程。对于故障与维修的研究形成了维修科学,维修科学是研究与故障作斗争的科学。

可靠性理论和可维修性理论是维修科学的重要理论基础。可靠性理论是研究故障规律的

理论；可维修性理论则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侧面来研究维修。

系统工程理论在维修工作中的应用丰富了维修科学。系统观点、系统分析方法和系统工程技术为维修科学研究提供了科学手段，尤其是用数学方法使许多维修问题得以进行定量研究，从而使维修科学更加完善。

因此，维修科学是一门独立的综合性的通用维修科学。独立性表现在它具有自己的研究对象和理论基础；综合性表现在它吸收了有关学科的知识并有机地结合到维修工作中；通用性在于它的基本理论能为各类装备维修工作服务。

三、维修科学的主要内容

目前，维修科学还处于形成和发展阶段，其内容也还在不断地充实和完善，所以，目前维修科学理论体系尚无统一的定论。但是，从目前已形成的学科分支和应用到的基础理论来看，它包括基础理论和应用理论两大部分，如图1-1所示。

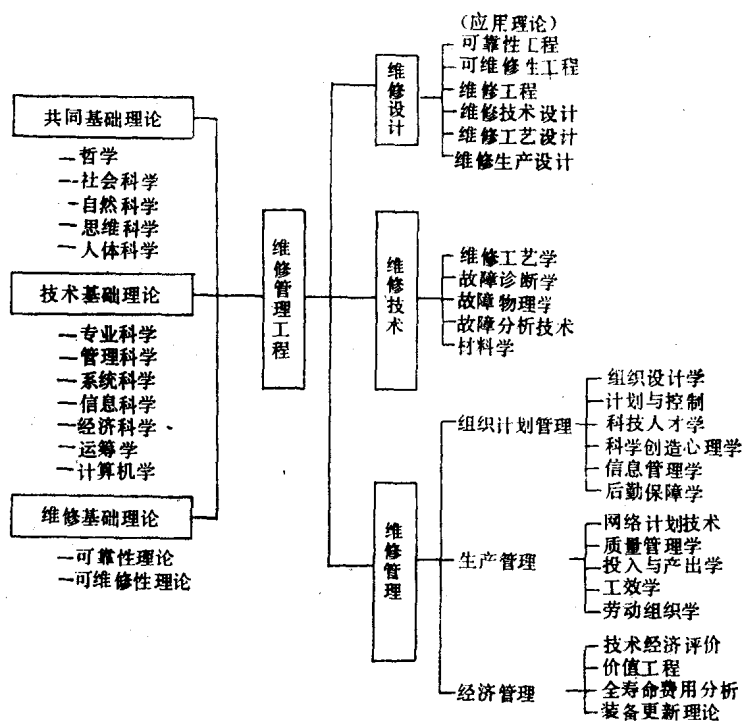


图1-1 维修科学体系与内容示意图

四、现代维修的特征

随着维修科学的产生和维修理论的应用，设备维修发生了显著地变化，与传统维修相比具有以下特征：

1. 由分散维修转向综合维修

系统观点认为,系统的功能大于各组成部分功能之和,只有从系统的总体上研究维修,才能取得最大的维修效能,例如:

1)在进行设备技术性能设计的同时,进行可靠性和可维修性设计,把可靠性与可维修性作为设备的基本性能。按维修等级来规划设备的维修性能,从而使维修工作转向预先进行维修设计。

2)设计、制造、使用和维修部门共同参与维修工作。

2.由经验维修转向理论维修

所谓理论维修是指在维修理论指导下组织维修工作,例如:

1)在定期预防性维修的基础上,进行设备的状态监测,根据设备可靠性的实际水平确定维修工作。

2)用统计方法进行设备的故障分析和维修分析,结合有效性分析,改革设备维修制度。采用循环维修制或组合修船法,提高船舶设备的利用率。

3)用故障机理改善维修设备的结构和材料。用无损检测技术进行不拆卸检验,减少维修工程的范围。

3.由单件维修转向工业化维修

维修中由于维修对象的随机性,一直是采用单件、小批量的生产,因而维修效率和经济效益均不高。工业化维修就是要实行机械化和批量生产,以提高维修质量、缩短维修周期和降低维修成本。

实现船舶工业化维修,就要求船舶和设备的定型化,实现船型、机型系列化和零部件的标准化、通用化等。

4.采用新工艺新技术进行维修

维修船舶的新工艺新技术对提高维修质量和效率有很大作用。例如,目前国外广泛采用水下维修技术,在船舶不进坞的情况下进行一系列的水下检验、清洗、除锈、涂装、焊补等工作,使船舶进坞修理的间隔延长到4~5年,大大节约了经费,增加了营运时间。又如,广泛采用无损检验、状态监控和故障诊断等先进手段,可明显减少故障和维修工作量。

五、两大维修体系

1.预防维修体系

预防维修是指为了防止机械和设备发生故障,在故障发生前进行一系列有计划的维修工作,并且是以日常维修为基础。这种维修体系始于1930年美、英等西方国家,按其发展过程分为两个阶段。

1)传统的预防维修阶段(从30年代到50年代中期)

传统的预防维修是在经常检查、定期修理的情况下保持和恢复设备原有性能的思想指导下展开的,是以日常检查、保养为基础的定时修理。基于当时的科学技术水平,一般机械设备的故障规律基本符合浴盆曲线,(见后面图1-2)。由于浴盆曲线上稳定的随机故障期是机械和设备的正常使用期,可以通过实验统计进行测定,所以在磨损故障期到来之前进行翻修,即进行定时维修。按照规定的时间进行预防性检查、保养、更换备件与修理,以防止故障发生,从而延长了设备的使用寿命。

2)现代预防维修(50年代后期至今)

50年代后期,随着科学技术的发展,传统的预防维修已不适应。由于定时维修工作量、费用高,而且有的机械或设备的定时维修不符合其故障规律。因此,进行定时维修不仅无益,甚至有害,没有达到预防故障的目的。60年代以来,维修理论研究和大量实验证明,机械设备的故障规律除浴盆曲线外,还有其它一些表示复杂电子设备故障规律的曲线(见后面图1-3)。

现代预防维修认为:设备的可靠性是由设计、制造确定的固有特性,通过维修只能保持或恢复设备的性能,但却无法提高;复杂设备的故障规律不是浴盆曲线形式,故定时维修不宜采用;复杂设备的故障是偶然的,也是不可避免的,在设计上采取对策予以防止,在技术管理上采用状态监控,以发现潜在故障;定时维修的检查是不连续的,只能做到间歇性、阶段性的监控,因此难于发现故障的征兆。

现代预防维修方式可分为三种:

(1)定时维修方式 适用于具有如后面图1-3中A、B型曲线的设备,同时其随机故障期要足够大,如使用寿命很短则无维修的必要。所以此种维修方式目前仍不可缺少,尤其对具有磨损故障期的设备在防止故障发生方面具有重要作用。

(2)视情维修方式 这种方式对一个具体设备不确定其维修期,而是根据不断地定量分析设备技术状态的数据来确定最佳维修期。由于视情维修方式是预防性的,能够充分发挥设备的潜力,因此也是最理想的维修方式。然而并非任何设备都可以采用此种方式。采用视情维修应具备的条件是:必须进行视情设计,为开展视情维修提供先决条件,如标准图谱、临界参数、检查孔等;以现代监控手段为基础,配置各种先进的无损检测仪器、与电子计算机相联结的终端显示装置等进行保护和预警,防止故障发生。例如,采用振动监测来诊断柴油机气缸、活塞的故障,为了连续不断地获得振动信号需采用传感器,因此柴油机应为传感器的安装提供检查孔口和振动的标准图谱,以便实测振动图谱与之比较和诊断。在船上,主、副柴油机应采用状态监控和故障诊断,以便为开展视情维修提供先决条件。

(3)事后维修方式 由于有些复杂设备的许多零部件仍保持基本功能的故障无法预测,只能在故障发生后进行维修。因此,它是一种非预防性维修方式。这种维修方式并非任何维修工作也不做,同样在故障发生前要不断地监控其技术状态和进行经常性的保养工作。

在三种维修方式中,一般应首选视情维修方式,次选定时维修方式,对不直接危及安全的偶然性故障采用事后维修方式。复杂设备或系统中,可依具体情况确定维修方式。

2. 计划预修

计划预修是苏联沿用的维修体制。计划预修以计划性、预防性修理为基础,注重为生产使用服务,但对日常维护保养和综合效益不甚注重。计划预修依照其发展过程分为三个阶段,即计划修理阶段(又称定期修理阶段)、部门的计划预修阶段和全苏统一的计划预修阶段。

新的全苏统一计划预修制度是以磨损理论为基础,用磨损极限、磨损期分类、计算修理工作量和使用寿命来确定修理类别、内容、周期等;强调使用者自修,强调专业化修理与提高自动化水平,强调合理的修理组织与努力研究减少修理工作量等。

我国的修船制度相当于苏联的部门计划预修的维修制度,规定船舶每年1次小修、4年1次中修、12年1次大修的大、中、小修理。1965年后我国确定了“保养、修理并重、预防为主”的修船方针,将大、中、小修改为检修、小修和航修。航修是营运中发生影响船舶航行而船员又难于自修必须进厂修理的故障项目;小修是结合坞修和保持船级的“年度检验”

进行的定期检修,海船为1~2年1次;检修是修船的最大修理类别,是在2~3次小修后结合保持船级的“定期检验”进行的较为全面的检验和修理。目前,我国在不断地学习外国先进的维修理论与经验的同时,正不断地改革我国的船舶维修制度,以提高修理质量和经济效益,推动我国船舶维修事业的发展。

第二节 可靠性与可维修性概念

一、可靠性概念

1. 可靠性定义

可靠性并非新的概念,它早已被人们在日常生活中所普遍使用,在专业领域的使用则是近20多年的事情,而在海运界可靠性工作的历史更短,确切地说是刚刚开始。

船舶设备或系统的可靠性是其固有特性之一,它是指设备或系统的功能随时间的延长而保持稳定的程度,也就是说,设备或系统在规定的条件下和在规定的时间内完成规定功能的能力。

在上述定义中,规定的条件、时间和功能是对可靠性作了定量的解释,使之更为严密。船舶设备和系统的规定的功能是在设计时赋予的、在规定的条件下所能显示的技术性能。然而,只有在规定的时间内保证设备和系统的这些性能,才有可能讨论可靠性问题。因为,即使最可靠的船舶也不能保证其设备和系统在无限长的时间里保持其初始性能参数不变。

衡量可靠性的指标有:可靠度、故障率、平均故障间隔期、平均寿命等。

2. 可靠性研究的内容

1) 在可靠性理论方面

利用数学、物理、化学等基础理论对故障现象和故障率进行分析、控制、测量、预测和综合。主要研究可靠性指标定量化、可靠性分析方法、可靠性准则及提高可靠性的方法等。

2) 在可靠性技术方面

主要有可靠性设计、可靠性制造与工艺、可靠性试验、可靠性评估和可靠性标准等。主要研究发生故障的机理、形式及危害性分析、寿命的确定与试验方法等。

3) 在可靠性管理方面

包括制订有关可靠性的计划、制度、规范及情报资料、数据的收集与处理等。

4) 船舶可靠性课题

主要有积累和收集船舶各类设备的可靠性信息;确定船舶最佳修理间隔期,以及设备维护工作最佳周期的方法;确定船舶设备最佳配件的方法;预测船舶结构和设备状态的方法;确定可靠度在经济上的合理性。

二、可维修性概念

1. 可维修性定义

可维修性是指发生故障的机械或设备,在规定的时间内,通过维修使之保持或恢复到使用条件下完成规定功能的能力。

可维修性是通过设计赋予船舶机械或设备的一种固有属性。良好的可维修性可使船舶机械或设备便于维修,对维修方法和维修人员的技术水平要求不高,而所需维修时间少并且维

修费用低。

船舶机械和设备的可维修性在日常维修保养工作中便能体现。例如,损坏的零件是否容易拆卸和更换;日常的维修保养工作是否容易进行;设备是否便于检测和调整等。所以,良好的可维修性能可获得较好的维修效果,否则不仅会增加维修时间和费用,而且还会影响船舶机械和设备的使用寿命。

2. 研究可维修性的意义

船舶维修的目的是迅速而又经济地保持和恢复船舶机械和设备的可靠性。也就是说,在机械或设备发生故障后,要求以最佳的维修质量、最低的维修费用和最短的维修时间来恢复其规定的功能。然而,研究船舶可维修性意义不只于此,还在于船舶良好的可维修性是船舶在海上安全航行的重要保证,在海上发生故障后船员能够及时修复,保证船舶继续航行;还在于船舶可维修性是船舶可靠性的必要补充,因为机械和设备可靠性提高是有限的,况且随着机械和设备的复杂程度提高其可靠性有下降的趋势,在航行中通过维修就可增强其工作的可靠性。船舶可维修性愈好,愈益于弥补设备可靠性的不足,船舶机械和设备具有较高的可维修性是实现工业化修船的必要条件。由于修船的单件、小批生产所带来的一系列缺点,如果实现定型化、标准化、通用化和可维修性设计则可实现修船的工业化。

船舶良好的可维修性可由下列几点来衡量:

- (1) 所需的维修机械和设备数量少、维修的次数少;
- (2) 因维修造成的停航时间少;
- (3) 机械和设备的保养、维修时间间隔长,即维修周期长;
- (4) 保养和维修工时少;
- (5) 对船员的维修技能要求不高;
- (6) 维修工具较为简单和通用;
- (7) 备件数量少;
- (8) 便于检查、调整和拆换等。

衡量船舶可维修性的定量指标有:可维修度、修复率、平均修复时间及有效度等。

第三节 故 障

故障是指船舶系统、机械或零部件的功能失效。

一、故障分类

船舶系统和机械的故障是多种多样的,可依照故障对船舶营运所造成的后果、故障的性质及故障的原因等分类。

1. 按故障对船舶的影响分类

(1) 船舶未停航的局部故障 由于故障导致设备丧失部分功能,但船舶仍可继续航行。

(2) 船舶短时间停航的重大故障 造成这种后果的有主机、船舶系统和舵机等故障。主机则主要是喷油设备的严重损坏、活塞环折断及气缸盖裂纹等。这些故障均可在船舶营运条件下由船员自修更换备件予以消除。这种情况下的停航时间,货船不应超过 6 h,客船不应超过 2 h。

(3)船舶长时间停航的重大故障 由于船舶搁浅、主机曲轴折断、尾轴折断、螺旋桨损坏及船体破洞等故障导致船舶丧失主要功能,以致为了消除这类故障要求船舶停航进厂修理。

2.按故障发生演变过程的性质分类

(1)渐进性故障 由于机械或设备的性能逐渐变坏而发生的故障。这类故障可以通过测量检查来预测和防止故障的发生。柴油机活塞、气缸的磨损和轴承的磨损以及管系腐蚀穿孔等均属渐进性故障。

(2)突发性故障 由于外界随机因素或材料内部的潜在缺陷造成的突然发生的故障,事先无法预知。例如,主机突然停车、航行中螺旋桨桨叶折断等。

(3)波及性故障 又称二次故障,是由于某种故障而产生的故障。例如,因连杆螺栓的断裂而造成连杆、气缸套、活塞甚至机体的损坏。

3.按故障的原因分类

(1)结构性故障 由于设计时结构上的缺陷或选材不当等引起的故障。产生这种故障大多是设计时忽略某种工作条件所致。例如,船体剧烈振动造成船体裂缝。

(2)工艺性故障 由于制造和安装的质量不佳导致的故障。例如,轴系安装质量不佳引起轴承发热或严重磨损等。

(3)磨损性故障 是在正常条件下长期工作产生的故障。由于长期使用,机械或零部件的性能参数逐渐变坏而达到极限状态。例如,正常磨损使零件尺寸变化、配合间隙增大,以致达到磨损极限时的状态。

(4)管理性故障 是由于违反操作规程或管理不当造成的人为故障。这类故障很多,如轴承油压过低或供油中断等造成轴瓦合金熔化的事故。

二、发生故障时的征兆

除突发性故障外,任何一种故障在发生之前都会有不同程度的显示。这些故障的前兆是故障的初期表现形式,如果轮机员在工作中注意并及时采取措施是可以避免事故发生的。这些故障前兆主要表现在下列方面:

1.性能方面

(1)功能异常 表现在起动困难、功率不足、转速不稳定,甚至自动停车等;

(2)温度异常 表现在油、水温度过高或过低,排气温度过高等;

(3)压力异常 表现在燃油、滑油、冷却水压力失常,扫气压力、压缩压力和爆发压力等不正常;

(4)示功图异常 如燃油燃烧不良示功图就会失常。

2.表现反常

(1)外观反常 表现在油、水、气等有跑、冒、滴、漏等现象,排烟异常,如冒黑烟、蓝烟或白烟等;

(2)消耗反常 柴油机的燃油、滑油和冷却水等消耗量增多,或不仅不消耗反而增多,例如,曲柄箱润滑油油面自行升高;

(3)气味反常 橡胶、绝缘材料的“烧焦味”、变质滑油的刺激性气味等;

(4)声音反常 柴油机敲缸、拉缸的声响,增压器喘振声以及其它工作不正常的敲击声响等。

以上各种现象均能帮助轮机人员及早发现潜伏故障。

三、故障规律

船舶机械和零件在全部使用过程中,不同时期出现故障的机率不同,大量的实践和试验表明,故障与时间成“浴盆曲线”的关系,即故障率规律曲线,如图1-2所示。

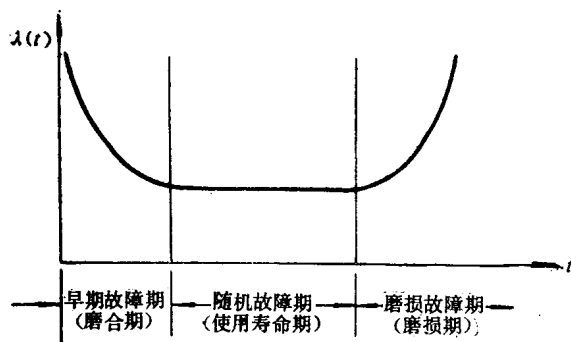


图1-2 故障率曲线(浴盆曲线)

图中横坐标表示时间 t ,纵坐标表示故障率 $\lambda(t)$ 。故障率 $\lambda(t)$ 是反映系统、机械或零部件在给定的时间间隔内(或给定的工作时间内)发生故障的比例。系统、机械或零部件的全部使用期中分为以下三个时期。

1. 早期故障期

又称磨合期,是机械开始投入使用的初期发生的故障。这个时期故障的特点是故障率较高,但随着使用时间的延长而迅速降低。这主要是由于设计、制造和安装上的缺陷,或者是由于使用环境不适等造成。随着缺陷的克服,故障逐渐减少。

2. 随机故障期

又称偶然故障期或使用寿命期,出现于早期故障期之后。这个时期的特点是故障率低且稳定,机械进入正常使用阶段。但由于某些偶然因素,如设计、制造中潜在缺陷的突发和操作差错、维护保养不良及环境因素等均可导致故障。这种随机故障无法预测,也不能通过调试来消除。随机故障期较长,而且应设法使其延长。

3. 磨损故障期

或称晚期故障期,在随机故障期之后出现。其特点是故障率随时间延长而迅速升高,维修费用增多而工作效果愈来愈差。这是由于磨损、腐蚀、疲劳和老化造成的,如在磨损故障期开始前进行零部件的修理或更换,则可延长随机故障期,使磨损故障期推迟到来。

然而,并非所有的机械、设备等产品的故障规律均是浴盆曲线的关系,还有如图1-3所示的各种故障规律。

图中A、B型曲线有明显的磨损故障期,通常具有机械磨损、材料老化和金属疲劳等特点,可以通过定时维修延长使用期,推迟磨损故障期,适用于柴油机气缸、轴承、飞机机体和船体等。

C型曲线无明显的磨损故障期,适用于航空喷气发动机等设备,可依设备的技术状态确定检修时间。

D、E、F型曲线适用于复杂电子设备,设备的整个寿命期中故障率为常数。

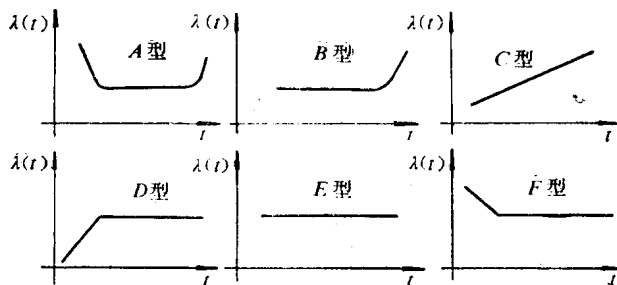


图1-3 各种故障率曲线