

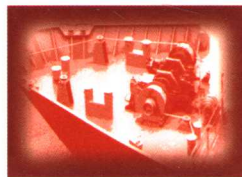
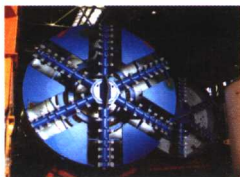
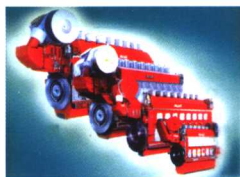
普通高等教育规划教材

# 轮机维护与修理

(轮机工程专业)

顾卓明 / 主编

江彦桥 / 主审



人民交通出版社

China Communications Press

U676.4  
7226-1

普通高等教育规划教材

Lunji Weihu Yu Xiuli

# 轮机维护与修理

(轮机工程专业)

顾卓明 主编

江彦桥 主审

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书着重介绍了轮机维护和修理方面的基本理论与实际工艺,主要内容有:现代维修理论;船机零件的磨损、腐蚀与疲劳;船机零件缺陷检验与故障诊断;基本修理工艺与专用工、量具;柴油机典型零件与其他船机零部件检修;轮机维修的组织与管理等。本书还考虑到 STCW 公约对船员培训的要求。

本书不仅适用于高等和中等海运院校轮机工程专业学生的教学用书,也可作为海船船员“轮机维护和修理”科目的培训教材,同时可供航运部门和修船厂工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

轮机维护与修理/顾卓明主编. —北京:人民交通出版社,2008. 2

ISBN 978-7-114-06954-3

I. 轮… II. 顾… III. 船舶-轮机-维修 IV. U676.4  
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 002955 号

书 名: 轮机维护与修理(轮机工程专业)

著 者: 顾卓明

责任编辑: 蔡培荣

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)85285838, 85285995

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: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 18.25

字 数: 457千

版 次: 2008年2月 第1版

印 次: 2008年2月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-06954-3

印 数: 0001 3000册

定 价: 35.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

# 前言

本书系轮机工程专业本科生的“轮机维护和修理”课程的教学用书。轮机维护与修理是轮机工程专业学生的专业必修课,是轮机人员从事轮机管理工作必须具备的专业知识,也是在船厂进行船舶监修和监造的不可缺少的技术基础。

本书是编者在2001年人民交通出版社出版的《轮机维护和修理》基础上,又汇集了编者多年的教学实践经验,并且收集了轮机维修方面的丰富的、最新的技术资料后编写的。本书的编写内容遵循了交通部教学指导委员会的指导性意见,也符合“海船船员适任考试和评估大纲”中对本科目的要求,侧重考虑对学生的专业知识与基本技能的培养,同时还考虑了轮机人员业务工作的实际要求。

本书着重介绍了轮机维护和修理方面的基本理论与实际工艺,主要内容有:现代维修理论;船机零件的磨损、腐蚀与疲劳;船机零件缺陷检验与故障诊断;基本修理工艺与专用工、量具;柴油机典型零件与其他船机零部件检修;轮机维修的组织与管理等。本书还考虑到STCW公约对船员培训的要求。

本书不仅适用于高等和中等海运院校轮机工程专业学生的教学用书,也可作为海船船员“轮机维护和修理”科目的培训教材,同时可供航运部门和修船厂工程技术人员参考。

本书由上海海事大学顾卓明教授任主编并统稿,金国平、郭军武讲师任副主编。其中,第一章、第六章、第八章第一~八节、第十章由顾卓明编写;第二章~第五章由金国平编写;第七章及第八章第九节由郭军武编写。廖国忠讲师对本书的出版提供了有用的资料与建议。本书由上海市教育评估院常务副院长、上海市教育委员会国际交流处处长江彦桥教授任主审。编写工作中得到上海海事大学领导和同事的大力支持和帮助,在此深表感谢。

书中缺点和错误诚盼指正。

编者

2007年7月15日

# 目录

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| <b>第一章 现代维修理论</b> .....          | 1  |
| 第一节 船机故障概述.....                  | 1  |
| 第二节 可靠性和可维修性.....                | 5  |
| 第三节 维修方式、维修类别与维修工作内容.....        | 9  |
| 第四节 以可靠性为中心的预防维修.....            | 13 |
| 思考与练习.....                       | 16 |
| <b>第二章 船机零件的磨损</b> .....         | 17 |
| 第一节 摩擦.....                      | 17 |
| 第二节 润滑和润滑剂.....                  | 19 |
| 第三节 磨损.....                      | 23 |
| 第四节 活塞环与气缸套的摩擦磨损.....            | 28 |
| 第五节 曲轴和轴承的摩擦磨损.....              | 32 |
| 思考与练习.....                       | 33 |
| <b>第三章 船机零件的腐蚀</b> .....         | 35 |
| 第一节 金属腐蚀.....                    | 35 |
| 第二节 化学腐蚀.....                    | 38 |
| 第三节 电化学腐蚀.....                   | 39 |
| 第四节 穴蚀.....                      | 44 |
| 思考与练习.....                       | 46 |
| <b>第四章 船机零件的疲劳破坏</b> .....       | 47 |
| 第一节 金属疲劳的概念.....                 | 47 |
| 第二节 柴油机气缸盖的疲劳破坏.....             | 52 |
| 第三节 曲轴的疲劳破坏.....                 | 55 |
| 思考与练习.....                       | 57 |
| <b>第五章 船机零件缺陷检验和船机故障诊断</b> ..... | 58 |
| 第一节 船机零件的缺陷检验.....               | 58 |
| 第二节 船机故障诊断技术.....                | 67 |
| 思考与练习.....                       | 73 |
| <b>第六章 船机零件的修复工艺</b> .....       | 74 |
| 第一节 船机零件的修复.....                 | 74 |
| 第二节 钳工和机械加工修复法.....              | 76 |

|             |                                 |            |
|-------------|---------------------------------|------------|
| 第三节         | 金属扣合法与塑性变形修复法                   | 79         |
| 第四节         | 电镀修复法                           | 83         |
| 第五节         | 焊补修复法                           | 91         |
| 第六节         | 热喷涂修复法(喷涂和喷焊)                   | 96         |
| 第七节         | 粘接修复法                           | 101        |
| 第八节         | 研磨修复工艺                          | 107        |
| 思考与练习       |                                 | 112        |
| <b>第七章</b>  | <b>船机维修过程</b>                   | <b>113</b> |
| 第一节         | 船舶机械的拆验                         | 113        |
| 第二节         | 维修过程中的专用工具、量具和物料                | 118        |
| 第三节         | 船舶机械的清洗技术                       | 129        |
| 第四节         | 船舶机械装配                          | 134        |
| 第五节         | 柴油机的吊缸检修                        | 135        |
| 第六节         | 交船试验                            | 154        |
| 思考与练习       |                                 | 160        |
| <b>第八章</b>  | <b>典型零件的检修</b>                  | <b>161</b> |
| 第一节         | 气缸盖的检修                          | 161        |
| 第二节         | 气缸套的检修                          | 165        |
| 第三节         | 活塞组件的检修                         | 170        |
| 第四节         | 曲轴的检修与保养                        | 186        |
| 第五节         | 轴承的检修                           | 201        |
| 第六节         | 重要螺栓的检修                         | 207        |
| 第七节         | 喷油设备的检修                         | 210        |
| 第八节         | 气阀的检修                           | 214        |
| 第九节         | 船舶其他零部件的检修                      | 216        |
| 思考与练习       |                                 | 227        |
| <b>第九章</b>  | <b>船舶主要部件的检修</b>                | <b>229</b> |
| 第一节         | 增压器的检修                          | 229        |
| 第二节         | 轴系的检修                           | 242        |
| 第三节         | 舵系检修                            | 260        |
| 第四节         | 主机的安装和运动部件的校中                   | 263        |
| 思考与练习       |                                 | 273        |
| <b>第十章</b>  | <b>轮机维修工程的组织与管理</b>             | <b>274</b> |
| 第一节         | 船舶维修保养体系(CWBT)和船舶机械有计划保养体系(PMS) | 274        |
| 第二节         | 修船的管理                           | 280        |
| 思考与练习       |                                 | 283        |
| <b>参考文献</b> |                                 | <b>284</b> |

# 第一章 现代维修理论

现代船舶维修工程是以船舶维修理论为基础的系统工程,是建立在故障理论、可靠性和可维修性理论基础之上的综合性科学。船舶机械在长期的运转过程中,由于受到内部因素和外部条件的影响,会使船机零件产生失效和船机设备产生故障。因此,轮机员除了进行日常的和定期的维护管理工作之外,还必须进行失效零件的更换、设备故障的排除等检修工作以及必要的船厂修理;增强对故障与维修的认识以及不断地提高船机维护和修理的技术水平。这对进行现代轮机管理是很必要的。

## 第一节 船机故障概述

### 一、故障的概念

故障的一般定义:故障是系统、设备或零部件丧失了规定功能的状态。通常把设备丧失规定的功能称为功能故障,简称故障。船机故障是指船舶机械设备或零部件丧失了原有规定的功能。在这里必须明确什么是规定的功能,设备的功能丧失到什么程度才算出了故障。例如,汽车的制动不灵,是指汽车在规定的速度下制动、停车超过了允许的距离,那么就认为是制动系统产生了故障。对船机故障同样应当明确船机的“规定的功能”和“功能丧失的程度”。“规定的功能”只有在机械设备运行中才能显示出来,如果设备已经丧失规定的功能而设备不能开动,则故障就不能显现。有时,设备尚未完全丧失功能,我们根据某些物理状态、工作参数、仪器、仪表检测等,可以判断即将发生故障,并可能造成一定的危害。因此,应当在故障发生之前进行有效的维护或修理。这种根据某些物理状态、工作参数而事先鉴别出设备即将发生的故障,称为潜在故障。通过有效手段诊断潜在故障并及时予以排除,是现代维修科学技术中要解决的一个重要课题。

### 二、故障的分类、原因及征兆

船机故障是复杂多样的,按故障的性质、原因、影响、特点等情况可以将其分成4类。这样有助于轮机员分析、认识故障和排除故障,也可为进行故障统计,为改进船舶机械的设计、制造和维修提供可靠的依据。

#### 1. 按故障的性质分类

##### 1) 人为故障

由于轮机管理、操作人员的行为过失而引起的故障。这是船上故障的主要原因,占80%以上,所以是不容忽视的故障。

##### 2) 自然故障

由于船舶机械的工作条件与周围环境的恶劣,结构与材料的缺陷,制造与安装质量的不良等原因造成的故障。

## 2. 按故障的原因分类

### 1) 结构性故障

船机设备因结构设计上的缺陷、计算上的错误或选材不合适等原因导致的故障。例如,柴油机气缸套上部凸缘根部在设计上受力不当和制造工艺不良而引起凸缘根部产生裂纹,甚至导致缸套断裂。

### 2) 工艺性故障

由于制造、安装工艺的问题或者质量的控制、检测不严等引起的故障。例如,由于轴系的安装、校中质量不良而引起轴系振动、轴承发热或过度磨损等。

### 3) 磨损性故障

在设计设备时就能预料到的正常磨损所造成的故障。例如,气缸-活塞由于长期运转产生磨损后造成间隙过大而产生的敲缸、窜气等故障。

### 4) 管理性故障

由于轮机维护不良或违反操作规程等原因而造成的故障。例如,由于润滑不良而造成轴瓦合金烧熔的故障。

## 3. 按故障对船舶营运的影响程度分类

### 1) 船舶不停航的局部性故障

由于船机设备产生局部故障导致船机设备的功能部分丧失,但不需停航修理,可在航行中进行故障处理。例如,主机某缸的喷油泵的故障。

### 2) 船舶需停航的完全性故障

由于船机设备的严重故障导致设备的功能完全丧失,必须停航争取短时间内船员通过自修采取更换备件等措施来排除的故障。其中,又可分为船舶需要短时间停航的重大故障与船舶需要长时间停航的全局性故障。对于停航时间长短的规定为:客船不超过2h、货船不超过6h为短时间停航,否则为长时间停航。例如,主机发生严重的拉缸,可以通过短时间停机检修后继续航行,属短时间停航的重大故障。当船机设备的故障异常严重时,除了造成船机设备功能完全丧失,甚至会导致船舶丧失航行的功能需进厂较长时间修理。例如,主机曲轴折断、尾轴或中间轴折断、螺旋桨损坏等属船舶长时间停航的全局性故障。

## 4. 按故障的发生和发展(演变)过程的特点分类

### 1) 突发性故障

是由于外界的随机因素或是材料内部的潜在缺陷引起的故障,该类故障无先兆,难以预测。例如,螺旋桨桨叶的折断。

### 2) 渐进性故障

船机设备经长时间的运转,零部件因损伤(如磨损、腐蚀和疲劳等)的累积使其性能逐渐变坏而发生的故障。例如,柴油机的气缸套-活塞环的磨损、曲轴-轴承的磨损以及管子的腐蚀穿孔等。这类故障是有可能通过连续的状态监测来有效地防止发生。

### 3) 波及性故障(或称二次故障)

是由于船机设备的某种故障引发的更大的、危险的故障。例如,由于发电柴油机连杆螺栓的断裂或脱落而引起的连杆、活塞、气缸套和气缸盖甚至机体的破坏,俗称连杆伸腿。

### 4) 断续性故障

船机设备在某一段时间呈现故障状态,而在另一段时间又自行恢复功能的故障。例如,设备的仪表指示灯时亮时灭等。



此外,还可按船机设备在使用过程中故障发生的时间分为早期故障、使用期故障(随机故障)和晚期故障(老化期故障)等。同一零件由于故障分类方法不同可属于不同的故障。

任何故障(突发故障除外)在发生前都会有不同形式的征兆显示,即故障先兆。船机故障的征兆主要有预示船机性能故障和预示船机油、水、气故障两个方面。

(1) 预示船机性能故障的征兆有:

- ① 功能异常,如启动困难、功率不足、转动不稳、振动加剧、自动停车等。
- ② 温度异常,如油、水温度过高,轴承温度过高等。
- ③ 压力异常,如燃油、滑油、冷却水压力异常,压缩压力和爆发压力异常等。
- ④ 示功图异常。

(2) 预示船机油、水、气故障的征兆有:

- ① 外观反常,如船机运转中油、水、气等有跑、冒、滴、漏等;冒黑烟、蓝烟或白烟等。
- ② 消耗反常,运转中燃油、滑油、冷却水消耗量过多或过少。
- ③ 气味反常,嗅到烧焦味、刺激味等。
- ④ 声音异常,如敲缸、拉缸声、喘振声等,螺旋桨鸣音等。

### 三、故障模式

故障模式是指妨碍产品完成规定任务的某种可能方式,即产品的故障或失效的表现形式。例如,船机设备的故障模式有磨损、腐蚀、疲劳等;电器的故障模式有短路、漏电、断路等。

产品的故障模式可能是单一的,也可能是综合的。此外,产品的故障模式也可能不是一成不变的,它会随着工作环境、使用条件、运转时间以及产品的内在因素等的变化而异,并与产品的设计、材料、制造等因素密切相关。

在实际生产中,通过对产品故障模式的调查、统计和计算分析,便可以评价与鉴定产品的可靠性。在维修管理工作中,可以根据产品(例如,船机设备)的各种故障模式发生时间来确定早期故障期和故障率的变化规律,从而可以采取相应的预防措施,减少或防止故障的发生。

### 四、故障规律

船机设备及零部件在使用过程中,在不同时期的故障几率不同。使用经验与试验表明,一些设备的故障率 $\lambda(t)$ 随时间 $t$ 的变化规律如图1-1所示。该曲线两头高,中间低,它很像一个浴盆的剖面。因此,该曲线常被称作“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、机械或零部件在某一时刻 $t$ 以后的单位时间内由完好状态转向故障状态的概率,它是随时间而变化的。从图中可见,故障率随时间的变化大致可以分为3个阶段:早期故障期、随机故障期和耗损故障期。

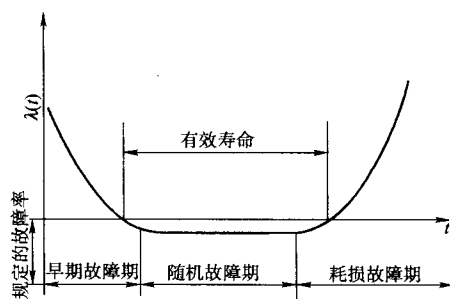


图1-1 故障率浴盆曲线

从图中可见,故障率随时间的变化大致可以分为3个阶段:早期故障期、随机故障期和耗损故障期。

#### 1. 早期故障期

又称磨合期,出现在设备投入工作的早期。其特点是故障率较高,且故障随时间的增加而迅速下降。早期故障一般是由于设计、制造上的缺陷等原因引起的,设备进行大修或改造后,

再次使用也会出现这种情况。设备在接近使用条件下的磨合、调试、修理和更换有缺陷的零件等措施使故障率很快降低,使运转趋向稳定。

### 2. 随机故障期

又称偶然故障期,是在早期故障期之后耗损故障期之前的一段时期,是设备的有效寿命期。其特点是:在这个阶段中,故障率低且稳定。随机故障是由于偶然因素引起的,是难以预测的。主要是由于设计、制造中的潜在缺陷,操作不当、维护不当和环境因素等原因引起的。随机故障不能通过调试或延长磨合期来消除,也不能用定期更换零件来预防。

### 3. 耗损故障期

又称磨损故障或晚期故障,出现在设备使用的后期。其特点是:故障率随时间的延长而增高。耗损故障是由于设备零部件的磨损、疲劳、腐蚀和老化等造成的。如果在耗损故障期开始前进行修理或更换零件等工作可以延长随机故障期,推迟耗损故障期。

并非所有设备都具有以上3个故障期呈现浴盆曲线规律。一些设备只有其中一个或两个,如有些无早期故障期,有些则达不到耗损故障期。统计分析表明,产品可以出现如图1-2所示的6种故障率曲线。

曲线A、B具有明显的耗损故障期,通常显示设备发生磨损、疲劳和材料老化等故障,可以采用定时维修方式延长使用寿命。船机零部件中的气缸、轴承、齿轮等具有此类故障规律。

曲线C的特征是无明显的耗损故障期,故障率随时间延长而缓慢增加。飞机涡轮发动机等设备具有此种故障规律,可以通过判断设备的技术状态来确定检修时间。

曲线D、E、F表现为产品在整个寿命期中故障率几乎为常数,无需进行定期维修,一般复杂的电子设备具有这类故障规律。

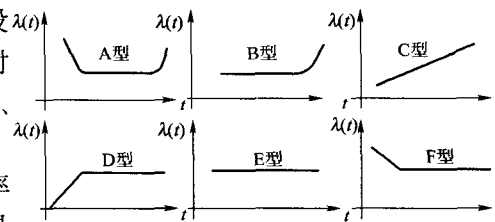


图1-2 6种故障率曲线

## 五、人为因素对故障的影响

运载工具是机械设备与人一体化的人机系统,人机功能的充分发挥和彼此良好的配合是运载工具安全、经济、可靠运行的有力保证。从飞机和船舶等运载工具的统计分析中可以看出人为的因素对故障的产生有重要的影响。如表1-1所示为1977~1986年空军飞机事故的统计结果,其中由于飞行员操作不当引起的事占56.1%,是主要因素。制造、维护修理等产生的事故占20.2%,也是不可低估的因素。

空军飞机事故统计表(1977~1986年,中国)

表1-1

| 事故原因   | 操纵   | 制造   | 维护  | 修理  | 指挥等  | 不明  |
|--------|------|------|-----|-----|------|-----|
| 百分比(%) | 56.1 | 12.8 | 4.7 | 2.7 | 18.1 | 5.6 |

如表1-2所示为日本在1976~1980年发生的海难事故中发动机故障的原因分析。其中与轮机员有关的检查、管理、维修和保养等人为因素有关的原因占82.3%,而与发动机的设计、制造与材料等不良引起的占17.8%。从这些案例中可以看出不少故障是由于轮机员的检查不够、维修不良、管理不当等引起的。只要不断提高轮机员的技术素质,掌握轮机维护与修理方面的知识,大量的故障是可以避免的。

船用发动机故障的原因分析(1976~1980年,日本)

表 1-2

| 类别           | 原因           | 次数(%)     | 总计(%) |
|--------------|--------------|-----------|-------|
| 发动机的检查与管理    | 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)   |       |
| 发动机的维护与修理    | 日常维修检查疏漏     | 103(14.4) | 35.6  |
|              | 维修不充分        | 91(12.2)  |       |
|              | 应修部位未修理      | 40(5.5)   |       |
|              | 维修失误         | 26(3.5)   |       |
| 发动机的设计、制造与材质 | 材质不佳         | 89(12.2)  | 17.8  |
|              | 设计、结构不合理     | 28(3.8)   |       |
|              | 加工制造不良       | 13(1.8)   |       |

世界经济的迅速发展和国际贸易的不断扩大促进了航运业的繁荣和进步,船舶在数量和吨位不断增加的同时,正朝着大型化、专用化、高速化方向发展,海上交通趋繁忙。与此同时,各种海损、海难事故(船舶的碰撞、搁浅、腐蚀、疲劳破坏、沉船、火灾、爆炸、漏油等等)不断发生,其数量之多、损失之大已引起世界各国的广泛关注。

根据近年来的权威统计,全世界全损船舶数量和吨位居高不下,特别是1991年全损船舶数量达到173艘,总吨位达到175万吨,达历史最高记录。英国劳埃德船级社发布的1985~1994年的各主要国家船舶灭失及海洋污染事故的统计数据令人触目惊心,通过对大量事件的调查、统计分析,发现造成船舶灭失和污染事故大约有80%是由于人为因素引起的。其中:

(1)德国不来梅航运经济研究所的报告指出:1987~1991年发生的330件事故中,75%是人为因素造成的;

(2)澳大利亚运输部1988年的报告指出:在已调查的事故中,75%是人为因素造成的,仅25%是船舶机械故障或设计结构上的问题;

(3)英国海洋污染咨询委员会报告指出:1990年英国水域发生的182起漏油事故中,66%是人为失误造成的;

(4)英国船东保赔协会的报告指出:1987~1991年的1444件索赔案件中66%是人为因素造成的。其中财产损失索赔案件的80%和碰撞事故的90%是由于人为因素造成的,而且重点在于船公司和船员对船舶的操作和管理上的原因。

人为因素的重要性已经引起了国际社会的极大关注。为此,国际海事组织认为解决船舶安全和海上污染问题属于一项系统工程,单纯依靠技术或单纯依靠船员的培训还不足以完全解决。需要调动各方面的力量参与,其中还涉及政府主管机关、航运企业、海事部门、港口机构、保险行业、造船行为、船级社等等。相信在各方面的共同努力之下,人为因素造成的故障与破坏将会逐步被遏制。

## 第二节 可靠性和可维修性

一种产品(包括船机设备、零部件等)质量的好坏,一般应有3个标准。首先是技术性能指标,即功能。除此之外,还有两个共同的标准,那就是:①出现故障要尽可能少;②出了故障

之后要能容易修复,即设备的可靠性和可维修性。可靠性与可维修性是研究产品的故障情况的两个重要概念。从本质上讲,可靠性是主要的,如果产品很可靠,出现故障可能就很少,也就很少需要维修,维修的时间及费用也就少。同时,设备可以在使用过程中通过科学的维护与修理保持与提高其可靠性。

设备的故障与维修是一对既对立又统一的矛盾,对于故障与维修的研究形成了维修科学,即与故障作斗争的科学。维修科学是以可靠性与可维修性理论作为重要理论基础。可靠性理论是研究故障规律的理论,可维修性理论是研究如何易于发现与排除故障的理论。这两种理论分别从不同的侧面研究维修。

## 一、可靠性的概念

可靠性的定义是产品在规定的条件下和规定的时间内,完成规定的功能的能力称为产品的可靠性。可靠性是体现产品耐用和可靠程度的一种性能,是在设计时赋予产品的固有特性之一。

在此,所谓“规定的条件”是指设计时考虑的环境条件(例如,温度、压力、振动、湿度、大气或海水腐蚀等)、负荷条件(载荷、电压、电流等)、工作方式(连续工作或断续工作)、运输条件、存贮条件以及使用维护条件等。设备处于不同条件下,其可靠性是不同的。设备对上述各种条件的适应性越强,则其可靠性越高。

可靠性还是一项与时间有关的质量指标。人们总希望能够长时间地保持设备的规定的功能,但是随着时间的推移,设备的可靠性将会越来越低,设备只能在一定的时间范围内是可靠的,不可能永远可靠。设备在设计时应规定其时间性指标,如使用期、有效期、行驶里程、作用次数等。

设备的可靠性还与“规定的功能”有着极为密切的联系。“规定的功能”是指设备的性能指标,这里指出的“完成规定的功能”是要完成若干功能的全体,而不是其中一个或一部分功能。

设备的可靠性可以分为固有可靠性,使用可靠性和环境适应性3个方面。固有可靠性是指设备在设计,制造之后所具有的可靠性。使用可靠性是设备在使用和维修过程中表现出来的可靠性。环境适应性是设备在周围环境的影响下所具有的可靠性。固有可靠性是设备所能达到的可靠性的最高水平。由于各种因素的影响,设备的使用可靠性与其固有可靠性会有很大的差距。例如,航空设备的使用可靠性比其固有可靠性有时相差几倍甚至几十倍。同样,船舶机械,设备和系统的可靠性也是一个综合性能,反映了设计、材料、制造和安装工艺等的水平,影响因素颇为复杂。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中由于材料、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。

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量,延长设备使用寿命,而且可以妥善解决现代化设备结构日趋复杂与可靠性下降之间的矛盾。通过研究可靠性可以使人们深入理解故障规律和故障机理,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。研究船舶的可靠性对于确保船舶安全、可靠与高效地营运,尤为重要。

## 二、可靠性的量度

可靠性的定义只是一个定性的概念,在研究可靠性问题时,还需有定量的指标。对于设备的可靠性不能停留在“好”或“不好”,“可靠”或“不可靠”这样笼统、抽象的评价上,还必须具

地确定可靠性的数量是多少。下面介绍可靠性的几种主要指标：

### 1. 可靠度 $R(t)$ 和不可靠度 $F(t)$

可靠性用概率表示时称为可靠度。它的定义是：设备在规定的条件下和规定的时间内，完成规定功能的概率，用  $R(t)$  表示。可靠度最大值为 1，即 100% 可靠；最小值为 0，也即完全不可靠。由此可见， $0 \leq R(t) \leq 1$ 。

可靠度也可以理解为在规定条件下和规定的时间内，不发生任何一个故障的概率。所以，有人把可靠度叫做无故障工作概率（或可靠性函数）。由于设备的可靠度总是随时间增加而降低，所以  $R(t)$  是时间  $t$  的递减函数，如图 1-3a) 所示。

不可靠度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，用  $F(t)$  表示。

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

$F(t)$  直接反映故障的概率，反映在  $t$  时刻以前累积故障与时间的函数关系，所以  $F(t)$  也称为故障分布函数，如图 1-3b) 所示。可靠性研究中一般以  $F(t)$  为对象。

### 2. 故障密度 $f(t)$ 和故障率 $\lambda(t)$

故障密度  $f(t)$  是表示时刻  $t$  故障的变化速率。若故障分布函数  $F(t)$  连续可导，则故障密度  $f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$ ；若  $F(t)$  不是连续可导函数时，则用经验（平均）密度公式（现场统计中多采用）。故障密度  $f(t)$  与时间的关系如图 1-3c) 所示。

故障率  $\lambda(t)$  是反映设备在  $\Delta t$  时间内由完好状态转向故障状态的概率。当  $\Delta t$  很小时，表示设备在某一瞬间  $t$  发生故障的概率，称为瞬时故障率或简称为故障率。 $\lambda(t)$  可以按式 (1-2) 计算：

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (1-2)$$

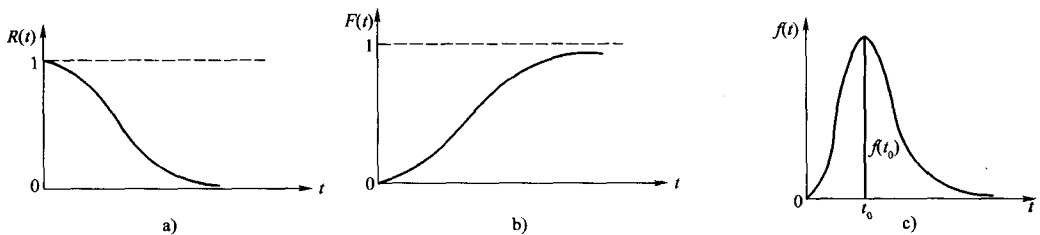


图 1-3 可靠度、不可靠度和故障密度与时间的关系

a)  $R(t) - t$  关系曲线; b)  $F(t) - t$  关系曲线; c)  $f(t) - t$  关系曲线

### 3. 平均寿命

设备的寿命通常是指其使用寿命，即从设备投入使用时的完好状态开始，一直使用至发生故障或失效为止所使用的时间。对于可以修复的设备或整机的平均寿命是指相邻两次故障之间的平均运转时间 (MTBF, Mean Time Between Failure)。对于不可修复的设备（如电子元件等）的平均寿命是指其失效前的平均工作时间 (MTTF, Mean Time to Failure)。

## 三、可维修性的概念

可维修性理论是研究维修的宏观与微观规律，为设计出容易维修保养的设备提供科学依据，是现代维修科学中的重要基础学科。船舶是重要的运载工具，而且工作条件和环境条件颇为特殊，提高船舶机械设备维修性更为重要。

可维修性(又称维修性)是指已发生故障的产品在规定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。可维修性也是设计、制造时赋予产品的一种固有特性。定义中规定的时间是指限定的维修时间;规定的条件和规定的功能均是指产品原有的使用条件和技术性能。可维修性是针对可修复的产品而言的,是根据产品的维修要求而提出来的。对于不需要或不可以维修的产品,如一次性使用的导弹和火箭等就不存在可维修性问题。

产品具有良好的可维修性,可使其便于维修,容易维修,对维修工艺和维修工作人员的技术水平要求不高,所需的维修时间短,维修费用低。产品的可维修性好坏可以在日常检修和保养工作中来判断。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,甚至降低产品的使用寿命。

对于船舶这一重要的载运工具具有良好的可维修性更具有重要的意义。因为船舶是在复杂的航行条件或恶劣的气候海况条件下工作的,任何机械,设备的损坏均会招致严重的后果,并且往往难于获得外援帮助。因而良好的可维修性是船舶海上安全航行的重要保证。当前,船舶机械与设备随着科技水平的提高而日益先进,电气化、自动化程度不断提高,而船员配套的人数却在减少,这就使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,可以大大弥补设备的可靠性。此外,船舶机械可维修性的提高,可使船舶机械、设备定型化、系列化、标准化和通用化,这些都有利于修船工作实现专业化、定点化和工业化。

#### 四、可维修性的量度

##### 1. 可维修度 $M(t)$

可修复产品在规定条件下和在规定的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,用  $M(t)$  表示。可维修度  $M(t)$  是随时间  $t$  增加而增大。 $M(t)$  与不可靠度  $F(t)$  形态相似,其最小值为 0,最大值为 1。

##### 2. 修复率 $\mu(t)$

修复率的定义是:当修理时间已达到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,用  $\mu(t)$  表示。由于修复率是具有前提条件,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综合评价可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  $A(t)$  或称利用率。

有效度的定义是指产品在规定使用条件下和规定时间内保持正常使用状态的概率,用  $A(t)$  表示。且  $A(t)$  可以表示为

$$A(t) = \frac{\text{正常工作的时间}}{\text{正常工作的时间} + \text{停机维修的时间}} \quad (1-3)$$

或

$$A(t) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (1-4)$$

式中:MTBF——平均工作时间(Mean Time Between Failure);

MTTR——平均修复时间(Mean Time to Repair),是设备或系统修复时间的平均值。

从式(1-4)可知,一台设备尽管可靠性很高,故障十分稀少,但是可维修性不好,其有效度还是不高。一般情况下,一台设备在服役时间内的时间构成和各时间要素所占的比重与其可维修性密切相关。要缩短设备的“不能工作时间”(停机时间),必须重视设备的可靠性、可维修性设计。此外,还应根据具体情况采取各种提高可维修性的措施,如利用状态监测装置,设置检查点定期检测,收集维修信息,研究维修方式,编制维修技术资料,健全维修服务系统,加强维修人才的培训,搞好备件管理等。在维修分析中,首先要对“不能工作时间”的各部分加以分析,搞清楚哪些要素对可维修度影响最大,以便采取措施来提高可维修度。

### 第三节 维修方式、维修类别与维修工作内容

维修是为了保持设备的良好技术状态及正常运行所采取的措施。根据以上概念,维修工作可以分为3个部分,即维护、修理和检查。维护是指为了保持设备良好的技术状态及正常的运行所采取的措施。例如,每日每班船员对船机设备进行的清洁、润滑、调整和保养等项工作。修理是指设备的技术状态恶劣,或是产生了缺陷,甚至导致发生了故障时,所要采取恢复设备正常状态的措施,或为了防止在以后的运行中发生故障而对零件采取的预防性的强制性的更换;或对设备进行定期修理或定期进行对零件的更换。检查是对设备的有关部位的状态进行检查,以发现其存在的缺点。通过检查可以预防设备的故障紧急出现,可以防止和减少紧急停机。因此检查是预防性维修的主要手段。

#### 一、维修方式

维修方式是产品维修时机的控制形式。防止系统、机械设备、零部件发生故障的预防措施是预防维修。为了实现上述预防维修目的可以采取不同的维修方式。从维修发展的概况来看,维修方式总的发展趋势是从事后维修逐步走向定时的预防性维修;再从定时的预防性维修走向有计划的定期检查以及按检查发现的问题而安排近期的预防性维修计划;最近的趋势是随着状态监测技术的发展走向在设备的状态监控的基础上进行维修,即按状态维修。但是,最新的维修方式,或者最先进的方式,在各种不同的情况下并不一定总是最经济的、最高效的。只有结合自身的情况,选择最适用的方式才能达到最经济和效益最高的目的。

下面对现代一些主要的维修方式分别加以说明。

##### 1. 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条件,所以只能在故障发生后再进行维修。这种维修方式的缺点是停机时间长,停机造成的生产损失大,尤其在设备对生产的影响较大时更为显著。但这种维修方式修理的费用低,对管理的要求也低。这是因为它不需要为各种预防性措施付出代价,而仅是修复损坏了的部分。事后维修虽不属于预防性维修,但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。

##### 2. 定时维修方式

定时维修方式是按照规定的时限(或期限)对船机设备进行拆卸检验和维修,以防止故障的发生。定时(或定期)维修的机械设备应具备以下条件:

(1)故障率曲线有明显的耗损故障期,如图 1-2 中的 A、B 型故障率曲线,不适于发生偶然性故障的设备。

(2)设备的无故障工作期要足够大,即可以正常使用的期限较长,否则就无维修的必要。

(3)采用其他维修方式不适宜的设备。

定时维修是现代预防维修中的一种重要维修方式。它的优点是使维修工作可以事先安排在生产时间内,因而停机造成的损失相对较小。定时维修对防止船机设备和零部件故障发生有重要作用。但是定时维修的缺点也不容忽视,主要是:针对性和准确性不高,有时不仅无效,甚至产生一定的后遗症,造成设备精度和可靠性降低;维修费用较高、工作量大。这是由于预先规定的检修时间不一定符合设备的实际情况,在机械设备运转尚良好,距离产生耗损故障期的出现甚远时进行定时维修有可能破坏了设备的良好技术状态,有时还会因为检修过失而导致设备的精度及可靠性反而低于检修前的情况。

### 3. 视情维修方式

视情维修或称按状态维修,是指对机械、设备不确定维修期限,而是通过不断地监控具体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,从而避免故障的发生。采取视情维修的设备应具备以下条件:

(1)设备的故障率曲线上应具有进展缓慢的耗损故障期,即从发现故障的征兆起到故障真正出现之间的时间足够长,以便在监测到故障信息后来得及采取修理和排除故障的措施。

(2)具有准确而有效的监测方法和技术,可以测试到并判断出故障的存在。这就要求具有视情设计的设备,为进行视情维修提供必要条件。例如,设备上具备安装传感器的孔、口等。

(3)视情维修是以现代化的监控手段和先进的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电子计算机相联的终端显示装置等,还需具有能够反映设备技术状态的参数、参数标准或标准图谱等,以便准确诊断出设备的故障。

视情维修对设备不确定维修期,而是根据实际情况来确实最佳维修时间,因此维修工作的针对性较强。同时该种维修方式由于是在设备功能性故障发生前采取措施,因而可以有效地预防故障和充分地利用设备的工作寿命。此外,维修的工作量和费用均较少。所以,视情维修是一种较理想的预防维修方式。

对各种维修方式要根据其特点以及设备与本单位的实际情况来考虑选择,不能一概而论。对船舶中的重要机械与设备一般应选用视情维修或定时维修方式;对故障不危及使用安全的设备或只发生偶然性故障的设备采用事后维修方式。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采用定时维修方式,而大多数设备和零部件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;同一项目也可以采用一种或多种维修方式。

## 二、维修类别与维修监督类别

### 1. 船舶维修类别

关于船舶维修的类别,各厂、船单位的规定还不完全一致。例如,中国船舶工业公司规定为,舰船的定期计划修理分为坞修、小修、中修与大修 4 类。而交通部则规定为航修、小修、检修 3 种。

#### 1) 航修

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验与年度检验,对船体和主副机等主要设备进行不拆开或少拆开机器设备的必要的重点检验,修复过度磨损的部位或部件,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。如果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18个月。

### 3) 检修

检修是修船的最高修理类别。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使主要设备和系统安全营运到下次检修。

除上述几种正常的厂修类别外,还有一种事故修理。例如,中国远洋运输(集团)总公司规定的船舶维修级别有:航修、小修、检修和事故修理4种。事故修理是指船舶在营运中如遇到不可抗拒的因素(如台风、龙卷风等)或意外(如船舶碰撞、触礁等)所造成的海损事故后的修理。其修理情况要根据船舶损坏程度和船检部门提出的修理意见和要求进行临时性的修理,以取得适航证书。事故修理日期如接近计划修理时,可以考虑合并进行,但必须征得公司和船检部门的同意。事故修理涉及索赔问题,工程项目必须另外开出单据,单独结账。

船舶修理中的保修规定为:运动部件为3个月,固定件为6个月。

目前,我国不少航运企业正在推广应用船舶维修保养体系(CWBT),现行的船舶维修保养体系将维修工作划分为4种类型和8个维修级别。4种维修类型为:常规检查;主要部件维修保养;解体拆修检查;特别检验、循环检验要求的维修工作。8种维修级别为:A、B、C、D、E、F、G、H。它们之间的对应关系如表1-3所示。

维修级别与维修工作类型

表 1-3

| 维修级别   |    | A    | B  | C  | D      | E      | F      | G       | H              |
|--------|----|------|----|----|--------|--------|--------|---------|----------------|
| 维修周期   | 定期 | 日常   | 1周 | 1月 | 1季     | 半年     | 1年     | 2年      | 4年             |
|        | 定时 |      |    |    | 1 500K | 3 000K | 6 000K | 12 000K | 24 000K        |
| 维修工作类型 |    | 常规检查 |    |    | 主要部件维修 |        | 解体拆修检查 |         | 特检、循环<br>要求的维修 |

注:系数K=1为标准系列。

### 2. 维修监督类别

营运的船舶为了保持船舶系统和设备的良好的功能和技术状态,除了要进行各种维修保养工作外,还必须履行船级社规定的船舶保持入级的各种监督检验,以确定船舶的状态和监督、检查维修工作的效果。

中国船级社根据我国《钢质海船入级与建造规范》施行入级和保持入级的定期检验。船级社对营运船舶保持船级的监督检验有以下种类:

- (1) 年度检验。
- (2) 中间检验。
- (3) 坞内检验。
- (4) 特别检验。