

■ 主编 程 东 朱新河 严志军
■ 主审 潘新祥

轮机维护与检修

LUNJI WEIHU YU JIANXIU



大连海事大学出版社
DALIAN MARITIME UNIVERSITY PRESS

轮机维护与检修

主编 程 东 朱新河 严志军

主审 潘新祥

大连海事大学出版社

©程东 朱新河 严志军 2017

图书在版编目(CIP)数据

轮机维护与检修 / 程东, 朱新河, 严志军主编. —
大连: 大连海事大学出版社, 2017. 6

ISBN 978-7-5632-3511-7

I. ①轮… II. ①程… ②朱… ③严… III. ①轮机—
维修—教材 IV. ①U676.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 138178 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

大连住友彩色印刷有限公司印装

大连海事大学出版社发行

2017 年 6 月第 1 版

2017 年 6 月第 1 次印刷

幅面尺寸: 185 mm × 260 mm

印张: 20

字数: 493 千

印数: 1 ~ 2000 册

出版人: 徐华东

责任编辑: 沈荣欣

责任校对: 刘长影 董洪英

封面设计: 解瑶瑶

版式设计: 解瑶瑶

ISBN 978-7-5632-3511-7

定价: 39.00 元

前 言

“轮机维护与检修”是轮机工程专业学生必备的专业知识和技能,为 STCW 公约规定的海船轮机员适任证书培训考试内容之一。学习本科目的主要目的在于培养学生在轮机零件失效、轮机故障诊断、主推进动力装置检修、轮机维修组织与管理等方面的分析问题、解决问题的综合能力,为从事轮机维护与修理工作奠定基础。

本书重点介绍了船舶机械主要零件的损坏形式、损坏机理及其检测和修理工艺。主要包括:现代维修理论(船机故障与维修)、基本失效理论(包括磨损、腐蚀、疲劳)、基本检验方法(船机零件的缺陷检验与故障诊断技术)、船机零件的修复工艺与修理过程、柴油机主要零部件(气缸头、气缸套、活塞、活塞环、主要螺栓、曲轴、轴承、精密偶件、增压器等)的检修、船舶轴系与螺旋桨的检修、船用柴油机的安装与校中等。

本书共九章。第一章由付景国编写,第二章由严志军编写,第三、八、九章由程东编写,第四章由朱新河编写,第五章由于桂峰、王国有、严志军编写,第六章由付景国、马春生编写,第七章由马春生编写。全书由程东统稿,潘新祥主审。

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2017 年 3 月

目 录

第一章 故障与维修理论.....	1
第一节 故障理论.....	1
第二节 维修方式.....	6
第三节 船舶维修与保养.....	11
第二章 船机零件的失效.....	16
第一节 摩擦与磨损.....	16
第二节 腐蚀.....	33
第三节 疲劳破坏.....	41
第三章 船机零件的缺陷检验与故障诊断技术.....	47
第一节 船机零件的缺陷检验.....	47
第二节 船机设备的状态监测与故障诊断技术.....	61
第四章 船机失效零件的修复方法.....	73
第一节 对船机零件进行修复的意义和前提条件.....	73
第二节 机械加工修复工艺.....	76
第三节 电镀修复技术.....	79
第四节 热喷涂修复技术.....	87
第五节 喷熔(或喷焊)修复技术.....	92
第六节 焊补修理.....	93
第七节 金属扣合修复工艺.....	95
第八节 塑性变形修复法.....	99
第九节 黏结修复技术.....	101
第十节 研磨技术.....	106
第十一节 其他修复技术.....	112
第十二节 再制造技术.....	114
第五章 船机维修过程.....	118
第一节 船机设备的拆卸、清洗与装配.....	118
第二节 修船管理.....	129
第六章 柴油机主要零部件的维修与检验.....	140
第一节 气缸盖的检修.....	140
第二节 气缸套的检修.....	146
第三节 活塞与活塞杆的检修.....	157
第四节 活塞环的检修.....	164
第五节 活塞销、十字头销的检修.....	174
第六节 重要螺栓的检修.....	176

第七节 轴承的维修与检验	178
第八节 曲轴的维修与检验	186
第九节 精密偶件的检修	205
第十节 废气涡轮增压器的检修	210
第七章 轴系的检修和安装	223
第一节 概述	223
第二节 轴系的基本组成部件	226
第三节 轴系检修的内容和过程	234
第四节 轴系状态的检测和调整	245
第五节 轴系的安装与轴系校中	255
第八章 船用螺旋桨的安装与检修	265
第一节 船用螺旋桨的结构与工作原理	265
第二节 船用螺旋桨的分类	268
第三节 船用螺旋桨的技术要求	271
第四节 船用螺旋桨的拆卸与安装	274
第五节 船用螺旋桨的失效与维修	276
第六节 船用螺旋桨的检验	280
第九章 船舶主柴油机的安装与校中	290
第一节 机座的定位与安装	290
第二节 机架、气缸体和贯穿螺栓的安装	299
第三节 活塞运动部件的检验与校中	304
参考文献	311

第一章 故障与维修理论

船舶机械在长期的运转过程中,由于受到内部因素(如使用材料、设计、制造和安装工艺等)和外部因素(如环境、负载等)影响,船机零件在几何形状、尺寸精度及材料性能方面发生改变,使机械的使用性能和技术状态不断下降,机械的功能部分或全部丧失,最终导致故障的发生。轮机员在工作时,就必须对发生故障的机械进行故障排除、失效零件更换等检修工作。除此之外,为保证机械保持高效率的运转,轮机员还应做好日常和定期的维护保养工作。因此,提高对故障与维修的认识及维修水平是进行现代轮机管理的基础。本章将对故障理论、维修方式以及现在船舶上常用的维修保养体系做概括性介绍。

第一节 故障理论

所谓机械故障,就是指机械系统(零件、组件、部件或整台设备乃至一系列的设备组合)因偏离其设计状态而丧失部分或全部功能的现象。这一概念可包括如下内容:

- (1)引起系统立即丧失其功能的破坏性故障;
- (2)与设备性能降低有关的性能上的故障;
- (3)设备正常运转时,操作者无意或蓄意使设备脱离正常的运转时的故障。

故障不仅仅是一个状态的问题,更直接与故障的认识方法有关。一个处于故障状态的设备,如果它不是处于工作状态或未经检测,故障就仍然可以潜伏下来,不能被发现。通常见到的主机起动不起来、拉缸、曲轴折断等现象都是故障的表现形式。

一、船机故障分类

船机故障复杂多样,研究时从不同角度将其分类,可以清晰地显示出故障的原因、性质和对船舶营运的影响,有助于轮机员分析、认识故障和排除故障,也便于进行故障统计,为改进船舶机械的设计、制造和良好的维修提供重要的信息资料。不同的分类方法反映了船机故障的不同侧面。以下是常见的故障分类方法。

1. 按故障的技术性原因分类

(1) 磨损性故障

由于运动部件磨损,在某一时刻使其性能参数超过极限值所引起的故障。所谓磨损,是指机械在工作过程中,互相接触做相互运动的对偶表面,在摩擦作用下发生尺寸、形状和表面质量变化的现象。例如:由于过度磨损使气缸套与活塞的间隙过大而产生敲缸、串气;轴与轴承之间过度磨损导致的轴承间隙过大等。

(2) 腐蚀性故障

由于化学腐蚀、电化学腐蚀或者物理腐蚀使零件失去原有尺寸精度或者几何形状发生变化而产生的故障。例如:柴油机气缸套和活塞冷却水腔的电化学腐蚀;排气阀的高温化学腐蚀等。

(3) 断裂性故障

处在复杂环境下的船机设备因材料性质不均匀、加工工艺处理不当、承受过载或者撞击而导致的故障。例如:地脚螺栓因上紧程度不够而产生的断裂;气缸盖因热应力和机械应力周期作用引起热疲劳或机械疲劳或高温疲劳而产生的裂纹等。

(4) 老化性故障

因腐蚀、磨损、疲劳等综合因素作用于船机设备,使其性能老化所引起的故障。例如:机座活动垫块的老化等。

2. 按故障的性质分类

(1) 人为故障

人为故障是指由管理、操作人员的行为过失或制造和安装不良引起的故障。这是不容忽视的故障,在船上它已占 80% 以上,为故障的主要原因。例如:在没有开启主机滑油泵的情况下起动主机,导致轴瓦烧蚀;因轴系校中不良引发的轴系振动、断轴等事故。

(2) 自然故障

自然故障是指由船舶机械工作环境变坏,使用条件恶劣,结构和材料的缺陷造成的故障,可分为正常自然故障和异常自然故障。正常自然故障一般具有规律性,如设备的正常磨损、老化导致的故障;异常自然故障一般具有偶然性,如结构和材料的缺陷造成引起的故障,如船用柴油机中的热应力问题等。

3. 按故障发生、发展的进程分类

(1) 突发性故障

突发性故障指由于各种不利因素和偶然外界影响的共同作用超出了设备所能承受的限度而突然发生的故障。这类故障一般无明显征兆,是依靠事前检查或监视不能预知的故障。例如:螺旋桨桨叶折断,主机自动停车,舵机转舵突然失灵等。

(2) 渐发性故障

渐发性故障指在长时间的运转过程中,由于设备中某些零件的技术指标逐渐恶化,最终超出允许范围或极限而引发的故障。这类故障的发生与设备零件的磨损、腐蚀、疲劳等密切相关,可通过连续的状态检测来有效地防止故障发生,一般发生在设备零件有效寿命的后期,有规律,可预防,故障发生的概率与设备运转时间有关。例如:柴油机气缸套与活塞环之间的磨损,管路的腐蚀穿孔,密封胶圈因老化而漏气、漏油等。

(3) 波及性故障(或称二次故障)

波及性故障是由于船机设备的某种故障引发的更大的故障,无法预测和防止。例如:柴油机连杆螺栓脱落活断裂引起连杆、活塞气缸套和汽缸盖甚至机体的破坏,俗称连杆蹬腿等。

(4) 断续性故障

断续性故障是指设备在某一时间成故障状态,而在另一时间功能又自行恢复的故障,故障反复发生。例如:船上电气设备开关接触不良等。

4. 按故障对船舶的营运和影响程度分类

(1) 船舶不停航的局部故障

因局部故障导致船机设备功能的部分丧失或船机附属系统设备故障,不需要停航修理,可在航行中进行故障处理。例如:更换主机某缸的喷油泵,对主机备用滑油泵或者淡水泵的拆卸、修理等。

(2) 船舶短时间停航的重大事故

由于严重的故障使船机设备的功能丧失,船舶必须停航,采用更换备件等自修措施争取短时间排除故障。例如:主机某缸发生较严重的拉缸故障,停机检修或者实施封缸措施,修后继续航行。

有的国家对停航时间规定:货船不超过 6 h;客船不超过 2 h。

(3) 船舶长时间停航的全局性故障

异常严重的故障导致船机设备的功能丧失,造成船舶丧失航行的能力,需要进厂进行长时间的维修。例如:主机曲轴断裂,艏轴或者中间轴断裂,船舶搁浅,船体破坏等。

除此之外,还可以按船舶机械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)。

二、故障原因

故障原因可以分外因和内因两种:人为因素、工作应力、环境应力和时间是机械产生故障的外因;而故障的内因则是指导致机械故障的物理、化学或机械过程,也称为故障机理。

1. 故障的外因

人为因素、工作环境和时间等因素是机械产生故障的外因,主要有以下几种:

(1) 自然损坏

设备在正常使用过程中,由于磨损、腐蚀、疲劳等因素而使其零部件尺寸、形状和质量发生的变化,从而破坏设备原有的工作状态而导致的故障。

(2) 使用维护不当

在使用中,未严格按照操作规程进行操作,甚至违章操作;维护不当或缺少维护而造成设备零部件的损坏,引起的船舶故障。例如:在主机备车时,对主机的预润滑不够;未及时地检查、添加或更换机油,造成机油数量不符合标准、机油变质;未及时清洗滑油冷却器、空气滤器等,使其流通阻力增大引发故障等。只有全面了解船用设备在使用中的要求及各设备零部件的技术状态变化规律,做到正确使用和及时维修,才能有效地预防由此产生的故障。

(3) 修理质量不高

船用设备的零部件在维修时,从分解、清洗、检验、维修到装配等各个环节,均有严格的技术标准和要求。如不注重维修质量,则会造成设备在工作中出现故障,浪费物力、财力。常见的有:主机气阀间隙过大,敲缸严重;喷油泵针阀的研磨等。规范修理原则,改进维修设备,提高维修技能,加强对维修的检查和验收,是提高维修质量的有效途径。

2. 故障的内因

内因则主要是指设计、制造方面的缺陷。由于零部件在设计、制造方面存在缺陷,在使用过程中突然或逐渐暴露出来,造成设备的故障。例如主要铸件(气缸盖、气缸体等)存在砂眼、

细小裂纹;运动件(连杆、曲轴等)的强度和刚度过小,在加工制造时,未能很好地消除内应力;零部件精度不合适等缺陷也会造成机器的故障,这种情况虽然较少,但一旦出现即为较重大事故。

三、故障的征兆

除突发故障外,任何一种故障在发生前均会有不同形式的信息显示,即故障初期的表现形式。在机舱的管理工作中,轮机员注意观察并及时采取措施可以防止故障的发生。故障征兆主要有以下表现:

1. 船机性能方面

(1) 功能异常

功能异常是指设备的工作状态突然出现不正常现象,这是比较常见的故障症状。表现在主机转速突然增加或减少;主机熄火后不能起动等。这种故障症状明显,容易察觉。

(2) 温度异常

温度异常表现为油、水温度过高或过低;主机排烟温度过高,单缸排温表温度过高;轴承温度过高等。

(3) 压力异常

燃油、滑油的冷却水压力失常;扫气压力、压缩压力和爆发压力不正常等。

(4) 示功图异常

柴油机做功不正常,测试出的示功图图形异常,计算出的气缸功率不符合要求。

2. 船机外观显示方面

(1) 外观反常

船机运转中油、水、气等跑、冒、滴、漏等现象,排烟异常。正常的燃烧产物主要成分应该是二氧化碳和少量的水蒸气,如果燃烧不正常,废气中会掺有未完全燃烧的炭粒、一氧化碳等碳氧化物,这时排烟的颜色可能变黑、变蓝或变白,也就是说排烟不正常。一般情况下,润滑油上窜到气缸时,尾气呈蓝色;燃烧不完全时,尾气呈黑色;油中有水时,尾气呈白色。

(2) 消耗反常

运转中燃油、滑油和冷却水的消耗量过多,或不但不消耗反而增加。例如,曲轴箱油位增高。

(3) 气味反常

在机舱内嗅到橡胶、绝缘材料的“烧焦味”,变质滑油的刺激性气味等。

(4) 声音异常

异常响声设备在运转过程中出现非正常声响,这是故障的“报警器”,此时船上管理人员应该意识到设备出了问题,应该降速或者停车检查,切不可让设备“带病”作业。例如主机在运转过程中出现异常响声,则有可能敲缸;泵出现“哗啦哗啦”的响声,则有可能轴套松动;增压器出现刺耳的鸣叫声;另外还有螺旋桨鸣音等。

四、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。

船舶机械的故障模式有磨损、腐蚀、疲劳破坏等；电器的故障模式有短路、漏电、电路不通等。

了解故障模式的意义在于通过对故障模式进行分析、预测，找出设备潜在的失效模式并分析其造成的影响，对故障模式进行分级与评价，排出相对的优先顺序，选出重要的故障模式，最后找到故障模式预防与改进措施，进而达到在产品的设计时消除这些问题，从而改进产品的质量、可靠性与安全性。此过程也被称为故障模式与影响分析。

五、故障规律

图 1-1 表示了一般机械设备的故障率与时间相对应的寿命特征曲线。图中横坐标标示时间，纵坐标标示故障率，故障率是反映系统、机械或零部件在给定工作时间内由完好状态转向故障状态的概率。由于多数零件的故障率曲线具有浴盆形状，常称为浴盆曲线。它可分为三个阶段，每一个阶段都与一种基本故障类型相对应。

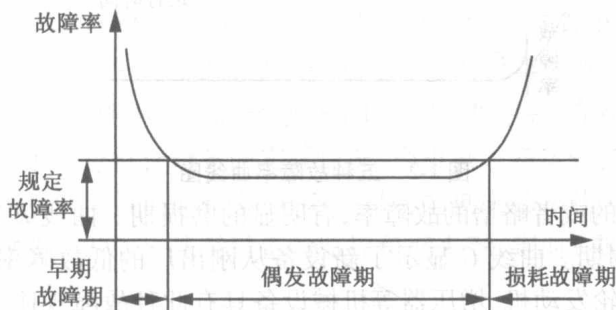


图 1-1 常见船机零件的故障率曲线

1. 早期故障期

早期故障期对于机械产品又叫磨合期，是故障率减小型故障。其特点是在设备使用初期故障率较高，但随着时间的推移，故障率迅速下降。此期间发生的故障主要是由设计、制造上的缺陷所致。通过调试、磨合和更换有缺陷的零件等方法可使故障率很快降低。

2. 偶发故障期

偶发故障期是故障率恒定型故障。在此期间，设备的故障率最低，近于恒定，与使用时间关系不大，处于最佳工作状态。偶发故障期时间较长，是船舶机械的主要使用期，也是进行可靠性评估的时期。这段时间的长短，反映了设备有效寿命的长短，在此期间发生的故障多为使用不当及维修不力造成的。因此，要采取各种措施来保持设备在这段时期的正常运行，延长其有效使用寿命。

3. 损耗故障期

损耗故障期是故障率增加型故障，在船舶机械寿命的后期出现。在此期间，设备的某些零部件已老化损耗，故障率随时间的延长而迅速上升。此时应当及时修复或更换，使船舶机械故障率降下来，延长其有效寿命。

随着科学技术的发展，大量的新技术、新材料开始应用在船上，特别是电气设备上的电子技术、自动化技术的广泛应用。人们通过研究发现，除浴盆曲线之外，还有其他的故障率曲线，大致有以下五种情况，如图 1-2 所示。

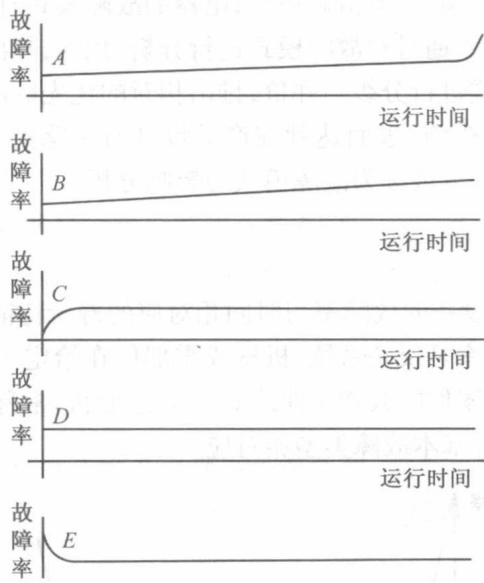


图 1-2 五种故障率曲线图

曲线 A 显示了恒定的或者略增的故障率,有明显的磨损期。曲线 B 显示了缓慢增长的故障率,但没有明显的磨损期。曲线 C 显示了新设备从刚出厂的低故障率,急剧地增长到一个恒定的故障率。航空涡轮发动机、增压器等机械设备具有此种故障规律。曲线 D 显示了设备的故障率为恒定值,出现的故障常常是偶然因素造成的。而曲线 E 显示了设备开始有高的初期故障率,然后急剧下降到一个恒定的或者是增长极为缓慢的故障率。复杂的电子设备等具有此类故障率。

在实际运行中,设备的故障率应该是图 1-2 所示的五种曲线中的一种或者集中的合成,浴盆曲线则可看作曲线 A、D 和 E 的合成。设备故障率取决于设备的复杂性,设备越复杂,其故障率越是接近于曲线 D 和 E。

第二节 维修方式

维修是对机械和设备维护与修理的统称。维护或称技术保养,是为了保持机械和设备的技术性能正常发挥所采取的技术措施。

一、四种基本维修方式

1. 事后维修

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,但是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,而是在故障发生前后均连续不断地进行状态监控,收集和分析设备的

使用、维修的材料,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,但仍需要进行经常性的检查和保养工作。

事后维修特点是不具备预防性,且只限于修复故障。

事后维修一般应用在不直接危害使用安全且仍保持基本功能的设备上,或采用预防维修不经济的设备。事后维修不应当是一种消极和被动的办法,而应当主动地加以监控。

2. 定时(期)维修

定时(期)维修也叫计划维修,即按照规定的时限对机械、设备进行拆卸检验和维修,以防止故障的发生。定时(期)维修的机械、设备应具有以下的条件:

- (1)故障率曲线有明显的磨损故障期,不适于发生偶然性故障设备;
- (2)设备的无故障生存期要足够长,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的设备。

定时(期)维修对防止某些设备、机械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(期)维修的缺点也不容忽视:针对性和准确性不高,有时不仅无效甚至有害;可靠性不是很高且维修工作量大、费用高;存在维修不足或维修过剩。由于所规定的维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从而导致故障发生。从对设备的监控角度来看,定时(期)维修对设备的监控是阶段性的、不连续的。

定时(期)维修的依据是浴盆曲线,即当故障率出现上升拐点时进行定时(期)维修工作。这种维修方式在船舶机械中应用较多。

3. 视情维修

视情维修又称状态维修,是指对机械、设备不确定维修期,通过不断地监控设备的运转状况和定量分析其状态的资料,按照实际情况来确定维修时间,从而避免故障的发生。采用视情维修的设备应具备的条件:

- (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了必要的条件,如设备上安装传感的孔、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,需具备先进的原位无损检测装置及与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。

视情维修对设备不确定维修期,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。视情维修的特点是具有预防性,通过设备状态监(检)测,确定设备状态是否正常,从而确定是否需要进行维修工作。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。

其缺点是需要以监控手段和故障诊断技术为基础;一般只对渐进性故障有效。

4. 主动维护

主动维护是对导致设备损伤的根源性参数进行修复,从而有效防止失效的发生,延长设备的使用寿命,是继视情维修之后国际上近几年来提出的一种新的设备管理理念。主动维护是从设备设计开始到报废一个周期通过监测和控制故障的诱发因素,使故障苗头没有产生的因素,以防止失效发生和发展,进而延长机器的使用寿命,大幅度节约维修费用。

主动维护虽也需要时间和资金的投入,但成本相对较低,忽视主动维护会导致更大的资金和时间投入。一些专门机构对设备液压系统几种不同维修方式所需费用做了分析和比较,认为主动维护所用成本是最低的。

设备维修不是一种独立的维修工作类型,可以是现有维修工作类型(保养、视情维修、定期更换、故障检查、重新设计等)中的任何一种或组合,它同样要对装备(故障根源)的状态进行检测或监测,并根据需要采取措施。但针对的具体对象、实施的顺序却不同。船舶机械和设备在日常的工作中应推广使用主动维护;在维修方式上重点选用视情维修方式或定时维修方式;对不危及安全的故障,即偶然性故障可采用事后维修方式;对于一些经过精确计算有规定使用寿命的零部件或设备采用定时维修,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。一个复杂的设备的不同项目,可依据具体情况分别选取不同的维修方式;同一项目可采取一种或多种维修方式,例如气缸套、活塞环、轴瓦等机械零件的磨损主要是由于润滑油的润滑性能下降所引起的,采用前三种维修方式主要是对机械零件进行维修,而采用主动维护则是监控润滑油的性能,保证其润滑效果,进而避免机械零件的磨损。

二、可靠性与可维修性

1. 可靠性

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。目前,在故障监测诊断、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等方面被国际上认为是较为成熟的可靠性工程领域。

可靠性是反映产品耐用和可靠程度的一种性能。可靠性是指产品在规定的条件下,规定的时间内,完成规定功能的能力。这里的产品可以泛指任何系统、设备和元器件。

可靠性的定量表示有其自身的特点,由于使用场合的不同,很难用一个特征量来完全代表。衡量设备可靠性的指标主要有:

(1) 可靠度 $R(t)$ 和不可靠度 $F(t)$

可靠度是指产品在规定条件下和规定时间内,完成规定功能的概率。产品在规定条件下和规定时间内,丧失规定功能的概率,称为不可靠度。

不可靠度 $F(t)$ 与可靠度 $R(t)$ 的关系式为:

$$F(t) = 1 - R(t)$$

(2) 故障概率密度函数 $f(t)$

故障概率密度函数是反映出产品在单位时间间隔内发生失效或故障的比例或频率。常见

的故障概率密度函数有指数型分布、正态型分布和对数正态型分布。

(3) 故障率 $\lambda(t)$

故障率是指设备工作到某一时刻 t 时,尚未发生故障的产品在下一个单位时间内发生故障的概率。

(4) 寿命特征

产品寿命是指产品工作到规定状态的工作期限,常用平均寿命、使用寿命和可靠寿命等指标表示。平均寿命是指产品的平均故障间隔或平均无故障时间。使用寿命是指产品处于最佳状态的工作时间的长短。可靠寿命是指产品的可靠度下降到规定可靠度时已工作的时间。

2. 可维修性

可维修性是指元件或系统在规定的使用条件下和规定的时间内,按规定的程序和方法实施维修时,保持或恢复能执行规定功能状态的能力。

可维修性好的产品,能在最短的时间、以最低限度的资源(人力与技术水平、备件、维修设备和工具等)和最省的费用,经过维修使产品恢复到良好状态。可维修性既是产品可靠性的必要补充,又是产品维修保障决策的重要依据。维修工作的核心是保证产品的可靠性。

衡量可维修性的定量指标有:

(1) 平均修复时间

在规定的条件下和规定的时间内,产品在任一规定的维修级别上,修复性维修总时间与在该级别上被修复产品的故障总数之比。

(2) 故障检测率(FDR)

在规定条件下和规定时间内,用规定的方法正确检测到的故障数与该时间内发生的故障总数之比,一般在 90% ~ 100% 之间。

(3) 故障隔离率(FIR)

在规定条件下和规定时间内,用规定的方法将正确检测到的故障正确隔离到不大于规定的可更换单元的故障数与该时间内检测到的故障数之比,一般在 80% ~ 95% 之间。

(4) 虚警率(FAR)

在规定条件下和规定时间内,发生的虚警数与同一时间内故障指示总数之比,一般在 1% ~ 5% 之间。

三、先进的维修理念

1. 以可靠性为中心的维修

以可靠性为中心的维修(Reliability Centered Maintenance),也称作 RCM。国家军用标准 GJB1378—1992《装备预防性维修大纲的制定要求与方法》对 RCM 的定义为:按照以最少的资源消耗保持装备固有可靠性和安全性的原则,应用逻辑决断的方法确定装备预防性维修要求的过程或方法。

RCM 是目前国际上流行的、用以确定装备预防性维修工作、优化维修制度的一种系统工程方法,也是发达国家军队及工业部门制定军用装备和装备预防性维修大纲的首选方法。RCM 作为一种确定预防性维修工作的方法,它要求首先确定装备基本的运行状态、正常运转标准和加速耗损问题以及各组成部件的故障规律和故障模式,然后运用逻辑决断模型来确定

维修任务和维修检测间隔,它只是一种基于潜在失效模式与后果分析(FMEA, Failure Mode and Effects Analysis)和逻辑决断图的优化方法,它的着眼点是针对不同的故障模式选择何种维修最为有效,其本质含义是以最少的资源消耗保持装备固有可靠性和安全性。

2. 故障预测与健康管理

故障预测与健康管理(PHM, Prognostics and Health Management),即根据各种先进的传感器采集设备的各种数据信息,融合神经网络、数据挖掘、模糊识别和专家系统等众多推理技术,分析评估设备的健康状态,预测设备故障发生的时间;根据设备的维修性要求和相关的维修理论,结合各种可利用的维修资源信息,制订系列的维修决策方案,采取相应的保障措施,以实现系统的视情维修。

它包括两层含义:一是故障预测,即预先诊断部件或系统完成其功能的状态,确定部件正常工作的时间长度;二是健康管理,即根据诊断/预测信息、可用资源和使用需求对维修活动做出适当决策的能力。

PHM 是一种实施以健康为核心的装备综合管理的技术方法和系统。它实现了两个转变:由传统的基于传感器的故障诊断转向基于智能系统的健康状态预测与评估;由事后维修和定期维修转向基于状态的视情维修。

基于 PHM 的船舶维修大纲的优化系统包括 6 个子模块,但是各模块之间并没有明显界限,存在着数据信息的交叉反馈。各模块的功能如下:

(1) 数据采集模块。采集船舶的状态参数,其数据来源包括船舶自带的机舱监控系统、加装的机舱传感器群以及机内自测试系统(BIT)。其中,机舱传感器群采集各个柴油机和发电机的瞬时转速信号、齿轮箱的振动信号、滑油和燃油的油液信号以及柴油机工作相关的热力参数。

(2) 数据处理模块。利用加窗滤波、Gabor 变换、FFT 变换、Hilbert 变换等数学工具,对采集的原始数据信号进行数据分析,并将采集的原始数据和处理的结果导入状态参数数据库进行备份。

(3) 状态监测模块。利用故障诊断机理分析的结果,建立故障诊断模型,确定故障的判断。然后对设备的状态参数进行数据分析,提取相应的特征参数,同预定的故障阈值进行比较,判断设备的工作状态,如果出现故障,则须进一步明确其故障位置。

(4) 健康评估模块。结合数据库中的历史信息和维护经验,结合状态检测数据和数据分析的结果,分析监测对象故障劣化的趋势,评估其健康状态,判断是否需要进行维修或者保养。

(5) 故障预测模块。故障预测能力是 PHM 技术的显著特征之一,综合利用健康评估模块,采用专家系统、支持向量机、模糊算法等智能模型,预测监测对象的故障发展趋势以及未来的健康状态,优化设备的维修周期和维修方式,制订维修大纲。

(6) 综合保障模块。综合保障或者健康管理是 PHM 技术的另一显著特征,也是维修大纲优化的核心模块。通过剖析船务公司目前所使用的维修大纲,结合故障预测模块的分析结果,提出设备对应的保障决策和维修决策,优化设备的维修大纲,并通过船岸无线通信系统将维修计划发往对应的船舶,安排具体的维修任务,在被监测系统发生故障之前的适宜时机实施维修保养。

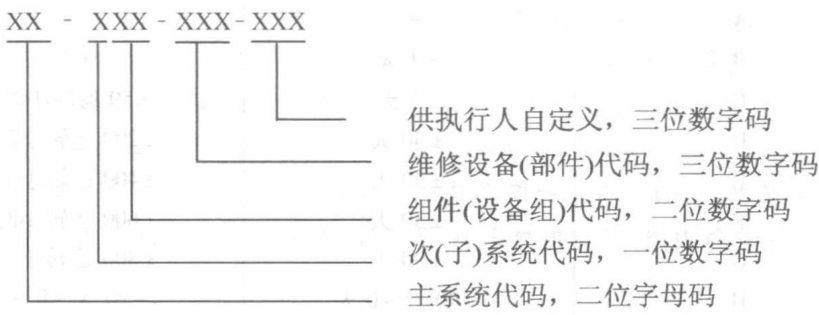
第三节 船舶维修与保养

一、船舶维修保养体系(CWBT)

现在运营中的船舶,一般都装有船舶维修保养体系。这些保养体系的制作和填写都需要轮机员来执行,因此,轮机员必须对它们进行一定的了解。我国在 2009 年 3 月 31 号发布了《船舶维修保养体系检验导则》(以下简称《导则》),该导则于 2009 年 11 月 1 日实施(GB/T16558—2009)。此标准适用于实施船舶维修保养体系并具有中国船级社船舶机械保养系统附加标志的或拟申请该附加标志的船舶与海上设施,其他船舶与舰船可参照采用。

船舶维修保养体系是以我国传统的船舶维修管理模式为基础,吸收外国先进的管理经验,结合我国具体实际而开发建立的。

在维修保养体系里面规定了船舶维修保养体系所适用的范围、术语定义、CWBT 的组成和对管理人员的要求,还有对船舶设备系统进行分类、编码定义等。CWBT 共采用四组代码,其中,前三组表示船舶设备代码,第四组代码供执行人自定义用,中间用“-”连接。CWBT 设备代码结构表示如下:



示例:主系统为空气系统,子系统为起动空气系统,维修部件为主空压机,自定义为 No. 3 号的设备代码表示为:AS-102-152-003,其中维修部件代码和主系统代码可以在 CWBT 代码手册查询,共有 30 个主系统,372 个维修设备代码(详见体系第 2 部分:船舶维修保养体系代码)。

船舶系统用到的维修保养的循环周期必须满足有关规范的实船的保养要求,规定五年为循环保养周期。根据多年来经验以及统计数据,新国标的船舶维修保养等级定为八级,前三级的内容主要是船舶设备日常保养,后面五个等级是计划维修保养等级。根据不同设备不同状况,维修保养周期可分为两种计时方法,即利用设备计数器记录运转小时的定时周期和日历日期的定期周期两种。对于某台设备的多个保养级别的周期值的数量关系有一定的原则,一般为级别高的周期值是级别低的周期值的整数倍,如表 1-1 所示。