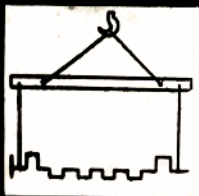
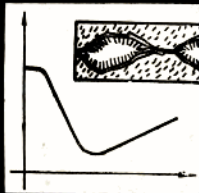
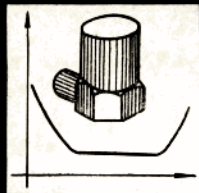


WARSHIP DIESEL MAINTENANCE



# 舰艇柴油机维修

编著 黄钟群

海军工程学院

# 舰艇柴油机维修

黄钟骅 编著

海军工程学院

一九八八年八月

## 内 容 提 要

全书共分四章：可靠性维修概论；柴油机的故障及检修；柴油机的装配工艺；柴油机的修理后试车与舰艇试航验收。

书中重点介绍：可靠性和可维修性的基本概念，从故障理论出发研究以可靠性为中心的维修思想、和维修制度的改革。柴油机的寿命预测及故障诊断，介绍光谱、铁谱油样监测和振、声监测技术。以磨损、裂纹、腐蚀穴蚀和变形的柴油机四大故障为线索，从机理到失效分析和检修技术，理论和实践相结合地介绍了柴油机的动态磨损，极限磨损和寿命，裂纹的断裂机理及扩展规律、断裂韧性。穴蚀对策和变形处理。柴油机的装配基本技术，螺栓、轴承（滚动及滑动）、齿轮的装配，中速柴油机主动件安装检验等。

本书可供舰船轮机人员、修船厂技术人员和工人阅读，也可供航运、交通及水产院校师生、以及有关部门的领导、职能技术人员参考。

舰 艇 柴 油 机 维 修

黄钟骅 编著。

\*

海军工程学院教材处 出版

海军工程学院印刷厂 印刷

\*

787 × 1092毫米 · 1/16开本 · 16.63印张 · 424千字

1988年8月第一版第一次印刷 印数1—2500册

院内统一书号88203.10

定价：4.16元

## 前 言

随着科学技术的发展,柴油机这一动力设备的维修领域也在不断地扩展深化。它已不仅仅需要解决一般的检修工艺技术问题。由于可靠性维修理论的发展,机械故障物理和故障诊断监测技术的可喜进展。维修体制的改革需要解决最佳维修的决策,建立新的以可靠性为中心的维修思想。而且从故障机理出发认识机械故障的发生、发展、掌握失效分析技术。从理论与实践的结合上,将学员学习过的高速柴油机装修的实际检修技能,提高到有规律的检修共性知识高度。

本书是根据海军工程学院内燃机管理专业教学大纲编写的,本院《舰艇动力装置装修》课程,已经有近40年的教学实践。鉴于教学改革的需要,要求在培养学员有较好的实际检修技能的基础上,理论联系实际,在校学习应加强理论知识的学习要求。为此在开设《舰艇高速柴油机装修实验课》和《舰船动力装置可靠性管理》课的同时,按教学分工要求,建立《舰艇柴油机维修》这门课。

从课程分工和教学内容安排上有如下一些特点。

维修体制的改革需要掌握柴油机的磨损规律,以及临修状态的特征信息。润滑油样的光谱分析能够提供柴油机临修时的磨损元素的极限门限值。配合铁谱分析比较有效地完成临修状态的判断,也可以用来进行寿命的预测。柴油机的维修不仅仅是机器性能指标的恢复,也是各种故障的排除。润滑油样的光、铁谱分析以及振、声监测诊断,都是很有前途的监测手段。发展机械监测诊断技术是维修体制改革的需要。

本书除介绍柴油机运行状态下的动态监测之外,对于传统的机件故障检验和检修方法仍然进行了较为系统的阐述。而故障检验和修理工艺,既介绍修理工厂的工艺外,又以舰艇条件下的检修工艺为主。前者着重在质量保证和验收;后者则工艺和质量保证并重。如用较多的篇幅介绍修理尺寸法,刷镀修复法、机件胶粘修复等。

高速柴油机检修着重于检修共性的阐述,力求能够指导一般。为了给予读者对某些因素具备一定的量的概念,书中较多地运用某些实验数据和资料。由于试验的条件局限,仅供读者参考。

维修与管理分不开,它们都是内燃机管理专业的专业课程。在了解一般机械故障规律的基础上,联系柴油机这一动力机械的实际,通过柴油机的动态磨损分析,将管理和维修知识联系起来。故障机理和理论分析,最终将落实到检修排除故障,也提出相应的管理措施要求上。

考虑到学员们有高速柴油机检修和试验台试车的实践经验,本书柴油机装配着重介绍中速机的安装和检验。最后讨论主机的系泊试车和航行试车及验收。

可靠性维修、故障理论和监测诊断技术,以及日益更新的检修装配工艺,使柴油机维修课程,成为跨门类的多学科的高新技术。它既有可靠性工程,摩擦磨损、材料学、力学、电磁学,金属学和失效分析等科学,又要有柴油机的理论和实践知识,使之成为一门综合性的边



# 目 录

第一章 可靠性维修概论	(1)
第一节 故障总论	(2)
一、故障的定义	(2)
二、故障的分类	(2)
三、故障规律	(5)
四、故障机理类别	(6)
第二节 可靠性的基本概念	(8)
一、可靠性及可靠度	(8)
二、故障率	(9)
三、平均寿命和耐久性	(10)
四、固有可靠性与使用可靠性	(12)
第三节 可维修性概述	(13)
一、可维修性	(13)
二、可维修性的特征量	(14)
三、维修的组织制度	(15)
第四节 柴油机的寿命预测—磨损监测	(19)
一、柴油机的磨损规律	(19)
二、柴油机的磨损监测	(21)
第五节 柴油机的故障诊断	(43)
一、柴油机故障诊断方法	(44)
二、柴油机故障的统计和监测	(44)
三、故障诊断—油样光、铁谱分析实例	(53)
四、故障诊断—振、声监测	(57)
第六节 故障—事故分析	(64)
一、查找故障的一般程序	(64)
二、查找故障的基本方法	(68)
三、故障树分析法	(69)
第二章 柴油机的故障及检修	(73)
第一节 磨损机件的检修	(74)
一、磨损、抗磨与检修	(74)
二、柴油机重要机件的磨损及失效分析	(91)
三、磨损机件的故障检验	(109)
四、柴油机机件的极限磨损与寿命	(116)
五、磨损机件的修复	(120)
第二节 裂纹机件的检修	(136)
一、引言	(136)

二、机件疲劳断裂机理及疲劳裂纹扩展规律	(137)
三、金属的断裂韧性及疲劳裂纹的扩展速率	(142)
四、裂纹机件的维修管理	(146)
五、机件裂纹探伤的基本工艺	(151)
六、机件疲劳断裂失效及断口分析	(164)
七、裂纹机件的修理工艺	(170)
第三节 腐蚀及穴蚀机件的检修和对策	(181)
一、柴油机腐蚀及穴蚀的主要特征及机理	(181)
二、柴油机腐蚀及穴蚀的防止措施	(185)
三、腐蚀疲劳、腐蚀磨损与管理维修的关系	(186)
四、穴蚀机件的维修对策	(187)
第四节 机件变形的处理与防止	(188)
一、机件变形的条件分析	(188)
二、变形机件的检修	(192)
<b>第三章 柴油机的装配工艺</b>	(197)
第一节 装配工艺基础	(197)
一、装配的基本方法	(197)
二、主要装配技术	(199)
三、柴油机通用零件的装配	(207)
第二节 中速柴油机的装配	(224)
一、中速柴油机的装配程序	(224)
二、主要零部件的装配	(226)
三、主机的定位与固定	(244)
<b>第四章 柴油机修理后的试车与航试</b>	(248)
第一节 试车的目的和种类	(248)
一、试车的目的	(248)
二、试车的种类	(249)
第二节 船用主机的试车	(249)
一、制订试车技术协议	(249)
二、系泊试车	(250)
三、航行试车	(252)
四、交货试车	(252)
第三节 试车质量的评定及复试	(252)
一、试车质量的评定	(252)
二、重复试车	(253)
三、进行验收	(254)
附录一、关于法定的计量单位	(255)
附录二、常见应废除的单位与国际单位制(SI)的关系	(257)
附录三、粗糙度新旧标准转换和评定	(259)

## 第一章 可靠性维修概论

舰艇动力装置维修工程，是以舰艇的技术设备为对象，研究舰艇维修理论、维修技术（维修工艺技术、故障监测诊断和故障分析技术），和维修管理的综合性工程技术科学。

本课程研究的具体对象是舰艇柴油机。根据教育计划的分工，研究的范畴主要包括：

柴油机的故障理论；

可靠性与维修理论；

维修管理与体制；

故障的诊断监测及分析技术；

故障的检修工艺技术。

装备的运行管理需要通过维修来保证装备的安全、可靠和持续工作。而维修是为了管理，维修是舰艇战斗、机动以及执行各项任务的技术保证；维修是战斗力的重要组成部分。这已经为众多的战例所证实。

现代战争并不排斥装备的及时维修，维修在交战双方力量对比消长的态势中，仍然起着十分重要的作用。为此，经济发达的资本主义国家十分重视军事装备的维修工作，投入了雄厚的人力物力。如美国空军的维修人员，约占全部空军人员的1/3，维修经费开支也占总费用的1/3。若仅从舰艇装备的日常维护来看，任务繁重、经费开支巨大。例如，某型舰艇维修费用与造价相比较，在服役期间的进厂计划修理费用、占造价的80%，若考虑临修和日常保养维修费用，则将超过造价。

如今的问题不是要不要维修的问题，而是用什么指导思想进行装备的维修，和如何通过有效的维修、为装备的可靠运行提供切实的保证。维修实践证明，不适当的维修并不能保持和恢复舰艇装备的原有性能，而且由于修理引起的早期故障和人为差错，反而导致装备的性能降低和出现故障失效。

维修科学要求以可靠性理论和可维修性理论指导维修。

可靠性理论是研究故障规律的理论，研究检查和排除故障过程中一些带有共同性的规律，用以指导合理的维修。

可维修性理论则是研究如何易于发现和排除故障的理论，而不解决具体的维修技术问题和排除故障的方法。当然，维修技术和故障诊断分析将给可维修性以重要的支持，通过可维修性的研究，以有助于有效的维修。

装备的运行管理不可避免地将出现故障，而故障是维修的原因和依据。故障和维修这一对矛盾构成了装备维修发展的基础。而故障将装备的管理和维修联结在一起，是我们首先要研究的问题。重点是故障理论，和故障诊断、预测和分析技术。

装备的可靠性是一门研究技术装备和系统质量指标变化规律的科学。

装备在使用过程中表现的可靠性，在于它的无故障性和耐久性。这时，可靠性取决于使用方法和使用条件、以及所采用的修理制度，维护保养方法，工作规范等使用因素。



图 I-1 列出了管理、维修和故障的关系，以及它们各自需要研究的问题。

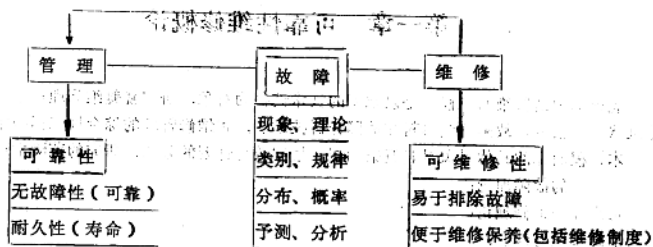


图 I-1 装备故障维修与可靠性管理的关系

## 第一节 故障总论

故障是维修的原因，机件、机器的维修是实施维修的对象，故障是衡量机器可靠性的主要尺度，是实施舰艇装备维修的出发点。

### 一、故障的定义

故障——指机器设备在规定条件下，丧失了规定功能的事件。作为设备的故障，可能是由于某个机构或零部件过度磨损、破断、卡死等故障或缺陷造成了设备的功能破坏；也许是某个系统装置因泄漏、堵塞等而造成机器设备的故障。可以指一个或数个性能参数不能保持在规定的上、下限之内；也可以指机器设备工作能力的丧失。

通常故障是指可修复的机件而言，如一般的磨损、损伤机件。而失效主要是指丧失功能的不可修复机件，如橡胶件的老化变质、铸铁件的长期高温工作因组织转化而疏松等。有时也指严重的故障失效的所有机件。

故障与安全相联系、与工作能力相关联。有无故障是设备可靠性的主要特性。

### 二、故障的分类

机器设备的故障分类方法很多，不同目的有不同的分类方法。根据可靠性维修和装备管理的需要，可以按如下进行分类，见图 I-2。

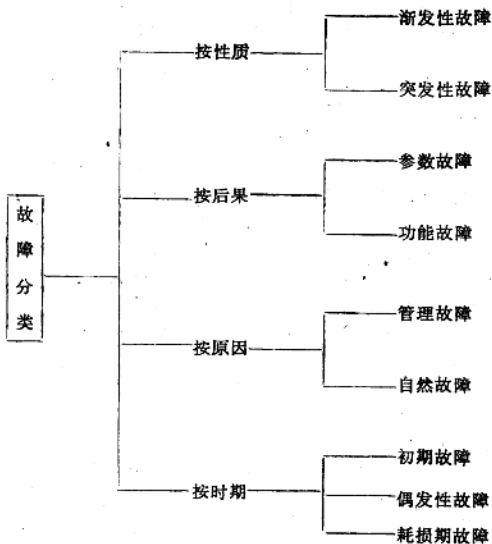


图 I—2 故障分类

(一) 按故障发生的速度及演变过程特性分

有渐发性故障和突发性故障

(1) 渐发性故障

这类故障是由于设备的初始参数逐渐老化而产生的。比较典型的是材料的磨损故障，其它如腐蚀、疲劳和蠕变等。

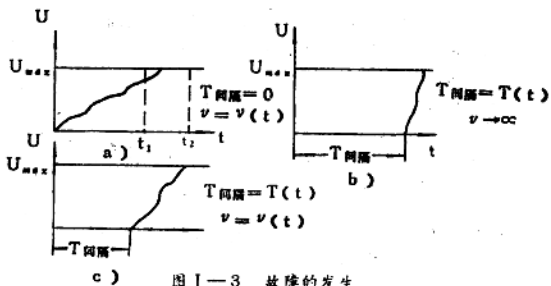


图 I—3 故障的发生

其主要特征是：在规定的时段 $t_1-t_2$ 内（见图 I—3（a），图中U—损伤程度），其发生故障的概率 $F(t)$ 与机器设备已经工作过的时间 $t_1$ 有关。机器使用的时间越长，发生故障的概率越高。损伤过程的速度 $v = \frac{dU}{dt}$ ，〔即 $v = v(t)$ 〕，而 $T_{间隔} = 0$ ，意思是机器工作一开始也就伴随着损伤过程的开始。

## （2）突发性故障

其原因是外来因素的偶然作用，或由于超载超速及操作失误引起的突然故障。

主要特征：机器发生的故障是经历了工作一段时间间隔后突然发生的。 $T_{间隔}$ 是个随机量。由图 I—3（b）中看到，在规定的某时间间隔 $t_1-t_2$ 内，发生故障的概率 $F(t)$ ，与机器使用的时间 $t_1$ 无关。没有明显的故障征兆，事先不易察觉。例如，柴油机起动飞车致使零件折断。或润滑油中断因烧轴瓦而致机器整停。

除上述两类故障外，事实上还存在着复合性故障（如图 I—3（c））。其故障的原因是以上两类故障的综合。其故障特征同样具有上面两类故障的特征。故障发生的时间是个随机量。损伤速度与机器的抗耗损能力有关。例如由于零件内部的应力集中，或某种组织缺陷，又受到外来巨大的冲击载荷，产生了裂纹源后，继续使用而破断。

## （二）按故障后果和对工作能力的影响分

有参数故障和功能故障。

这两类故障对于机器工作的影响，后果是不同的，参数故障仅仅是丧失局部的性能，还存在有继续使用的可能性，为此，也可称作局部性故障。而功能性故障则常常是丧失主要功能，导致工作完全中断，为此，也可称作完全性故障。

### （1）参数故障

机器或机件的工作参数超出了允许的范围。但并不妨碍发动机的继续运转。例如机器的传动效率降低，达不到规定的负荷和转速等。对于机件来说，柴油机个别缸的喷油装置故障，或活塞环的折断。只是由于该缸的故障引起整机性能参数的减低。

参数故障常常是一种渐进的发展过程，而不被人们所重视。其实，这实实在在是机器的故障，量变可能引起质变，机件的参数故障有可能引起功能故障。局部性的故障会蔓延成整机故障。因此，参数故障是可靠性理论的主要研究对象。

### （2）功能故障

机器或机件不能完成规定的功能称之为功能故障。例如，离合器不能结合，油泵因脏物进入使柱塞卡死不能供油等。严重的功能故障如柴油机曲轴折断导致机器打坏等。

## （三）按故障发生的原因分

有管理故障和自然故障。

### （1）管理故障

这一类故障也可称作人为故障。由于没有遵守操作规程的规定，或维修、管理不当造成的故障。如不正确起动造成柴油机飞车。

### （2）自然故障

由于使用环境条件的恶化，材料结构上的缺陷而造成的故障。这类故障常常不是管理者的责任。

## （四）按故障发生的时期分

有初期故障，偶发性故障和耗损期故障。

### 三、故障规律

作为复杂机械设备的柴油机，其故障率的变化符合人们熟知的浴盆曲线规律，见图 I—4。

按照故障出现的时期可以看出：机器的故障发生规律由三个时期组成。初期故障期，偶然故障期和耗损故障期。不同时期的故障率变化规律是不同的。机器运行总时间内，故障率变化曲线也可称为故障率规律曲线。

#### (一) 初期故障期

相当于柴油机的运行初期。图中看出这个时期之初，故障率很高，但随着工作时间的增长，故障率迅速降低。

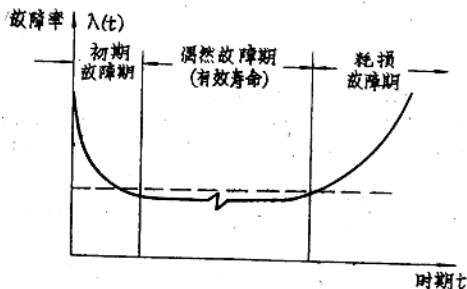


图 I—4 故障率浴盆曲线

这个时期对柴油机来说就是磨合（或称跑合）时期。安排好柴油机的磨合试验时期是十分重要的，应让柴油机的高故障率排除在投入正式运行之前。但又是不可避免的，因为，良好的磨合匹配状况不可能一旦完成装配就马上具备。

而这个时期的高故障率与装配不当，调试不合适以及磨合不充分有关。只要通过提高装配调试质量，加强磨合环节，完全有可能使故障率减小而很快趋于稳定。

#### (二) 偶然故障期

当柴油机结束磨合后，故障率降低到相对稳定的情况下，即进入偶然故障期。（也就是机器的正常运行时期），这是一个故障率低而稳定的时期，将一直持续到耗损故障期之前，机器处于最佳工作状态，发挥出规定的工作性能，故也称为有效寿命期。管理者的任务应尽力维持这段时期的正常运行，以延长机器的有效寿命。这个时期的特点有：

①故障率低且稳定，近似于一常数，与使用时间的延长关系不大。

②出现的故障是偶然因素引起的随机故障。它可能是设计、制造中的隐患突然爆发，也可能是操作差错、维护不良，环境因素引起的故障。总而言之，这些故障都是偶发性的。它既不能通过调试来消除，也不能通过定期更换零部件来预防。在难于预测的情况下，任何提前拆卸翻修，只能引起附加的初期故障率，降低可靠性。合理的办法是让机器工作到有效寿命期的末期为止。

### (三) 耗损故障期

机器在长期使用到达寿命的后期, 由于某些零件的老化、耗损, 整机的寿命衰竭, 导致故障率的迅速和持续上升。如不及时对机器进行翻修更换, 就可能导政机器的失效破坏。每一个管理者的另一个任务, 就是广泛地利用各种监测手段, 事先估计出某些零件的疲劳和耗损极限状态的开始时间, 做到及时更换或修复, 以达到延长机器的有效寿命。

### 四、故障机理类别

故障机理即是引起机器设备故障的物理、化学或其它过程。它是故障的内因属性。根据调查统计机械设备所发生的故障机理, 可以用“CWIFTS”分类法, 即

- (1) 腐蚀 (C);
- (2) 磨损 (W);
- (3) 冲击断裂 (I);
- (4) 疲劳 (F);
- (5) 热 (T);
- (6) 蠕变或形变、应力断裂 (S) 等六类。

有资料介绍根据上述分类方法, 列举出关于轴承、齿轮这些机件的故障机理及其频率 (见表 I-1)。表明磨损是轴承和齿轮的主要故障形式, 是维修的主要内容。

故障机理及其频率 (%)

表 I-1

故障机理	鉴 定	轴 承		齿 轮
		预防维修	修复维修	修复维修
磨 损 (W)	磨 损	49	70	58
	腐 蚀	4	2	—
	断 裂	13	9	—
疲 劳 (F)	疲 劳	—	—	—
	表面裂痕	8	1	—
	断 裂	—	—	21
蠕变、形变、应力 断裂 (S)	形 变	3	2	21
	断 裂	—	—	—
	冲击 (I)	—	—	—
腐蚀 (C)		23	16	—

机器或零部件的环境工作条件, 是产生故障的外因条件, 虽然内因是主导, 但环境条件会影响于机器故障的内因, 在研究故障的时候是不能被忽视的因素。

属于外因的环境条件因素如:

(1) 高温。它影响绝缘, 润滑油粘度和油品安全, 使机件强度降低, 尺寸改变, 镀层起泡。

(2) 低温。润滑油粘度过大影响输送和机件的润滑，使摩擦损耗增加，某些材料发硬变脆，发动机难于起动。

(3) 潮湿。降低绝缘，加快锈蚀，使光学镜头生霉。

(4) 盐雾。使零件表面光洁度变化，影响配合，机械强度下降，损坏仪器仪表。

(5) 低气压。使密封零、部件漏气；漏液，变形。影响柴油机发出功率。

(6) 霉菌。使光学镜片观察模糊，损坏。金属零件腐蚀加快，材料绝缘性能破坏，表面质量降低。

(7) 沙尘。运动件摩擦增加，机件间容易拉伤、卡死。使油、气路堵塞，精加工面擦伤。

(8) 振动。结构件疲劳损伤。零、部件结合松动、脱落，电器及仪表受振损坏。

(9) 电磁辐射。电气电子产品受干扰，仪器产品动作错误。

研究故障发生的机理，发动机使用中故障率的变化规律，主要是为了解发动机的工作可靠性，为使用管理，发动机的设计，制造反馈可靠性数据，同时为维修工作提供依据。

当然，依靠现代科学技术的发展，柴油机监测仪器和手段的日益完善，及时掌握发动机的工作状态，可以使故障得以避免，或不至于发生突发性的严重故障。一旦发生了故障，能够正确地分析判断故障，排除故障。为了做好这方面的工作，必须有效地利用故障物理方面的知识，用正确地分析方法去实现。为此：

①应该坚持不懈的记录运行管理中柴油机性能参数和可靠性数据；详细了解和记录柴油机在研制、生产及实际使用诸环节中所出现的故障，缺陷及其它有关的现象。

②对现象作深入细致的观测、分析、调查。包括故障状态和部位，与故障有关的各个参数、故障环境、使用的负荷等各种工作情况，以及故障发生的时间等。

③把故障的外因（人、环境条件等）和故障机理进行系统分析、并作出必要的记录和统

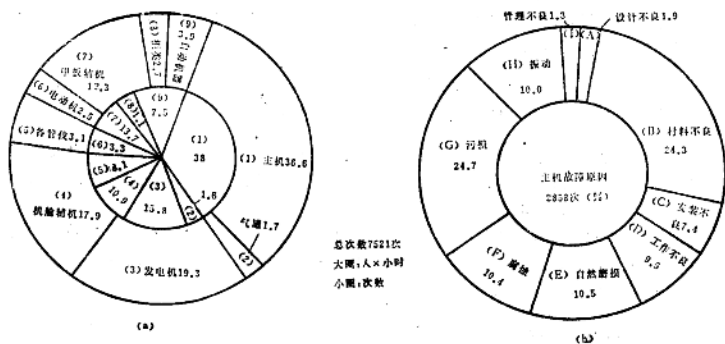


图 I-5 船舶机械和主机故障比例

计。如故障发生的频率、故障排除所采取的措施以及时间特性等。

某资料根据用户410项记录，对柴油机造成的停机事故进行统计，见表 I—2。

表 I—2

故障的分类	故障频率(%)
喷油设备及供油系统故障	27.0
漏水故障	17.3
气阀及阀座故障	11.9
轴承故障	7.0
活塞组件故障	6.6
漏油及润滑系统故障	5.2
涡轮增压系统故障(包括外来物侵入造成的故障)	4.4
齿轮及驱动装置故障	3.9
调速器齿轮故障	3.9
燃油泄漏	3.5
漏气	3.2
除下列标题外的其他破坏及破裂	2.5
其他故障	2.5
基座故障	0.9
曲轴故障	0.2

关于船舶机械和主机的故障比例，见图 I—5。

由图 I—5 (a) 中看出，柴油机船舶，主机故障占总故障7521次的38%，即2858次。它是我们管理的重点。又如图 I—5 (b) 中看出：在统计的2858次主机故障中，由于材料的质量问题和污损约占整个故障原因的一半。这些就为改进该型主机的设计选材、和管理中防止污损提供了有用的信息。

## 第二节 可靠性的基本概念

作为舰艇机电管理干部学习可靠性与维修理论的目的：通过对动力装置及舰艇装备的技术维护和修理，以达到用最少的时间和最少的人力、物力和财力消耗，保证最长的续航时间和无故障航行，保证舰艇的机动和战斗力。

机器设备在使用过程中表现的可靠性，便是机器的无故障性和耐久性。这个阶段的可靠性，取决于机器的使用方法和使用条件，以及所采用的修理制度，维修保养方法、工作规范(环境和边界条件)等使用因素。

### 一、可靠性及可靠度

可靠性：表示系统、产品或零件等的工作或性能，随时间变化的稳定程度或性质。

可靠度：是对可靠性的量度，定义为“系统、产品或零部件等在规定的条件下，和预期

的使用期间内，完成其规定功能的概率”。

定义阐述了五个要点。

①具体的对象，（指系统、机器、产品、零部件或材料等）。

②规定的条件，指实现功能的条件。指装备的环境条件、使用条件、维修条件和工作方式等。环境和条件包括地点场合、气温、湿度、辐射、腐蚀、负荷、速度等等；维修条件包括人机关系，维修设备和材料供应等；工作方式包括连续工作或间断工作等。同一装备在不同条件下，其可靠性差异很大。

③规定的时间。除具体的工作时间要求外，也可以指距离，周期或次数等。使用时间越长，机件磨损越大，其可靠性必然降低。

④规定的功能。指性能和工作能力，以及故障失效等。装备达不到规定性能指标的，我们称之为故障状态，也就是不可靠状态。因此，规定的功能是可靠性不可缺少的“标准”。

⑤概率。出现故障概率的大小，指系统或产品运行的可靠程度。

为此，可靠度是有严格规定的，是不发生故障的概率。可靠度就是对产品设备可靠性的概率度量。

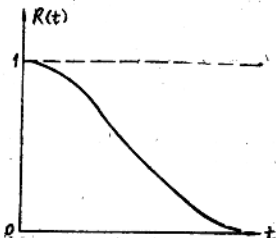


图 I—6 可靠度与时间的关系

假定装备的规定使用时间为  $t$ ，装备从开始工作到发生故障（失效）的延续工作时间为  $T$ 。若  $T > t$  时，则表明装备在规定的使用时间  $t$  内能够完成规定的功能，此事件用概率来表示的话

$$R(t) = P(T > t)$$

而概率的最大值为 1，最小值为 0，即：

$$0 \leq R(t) \leq 1$$

装备的可靠度总是随着时间的增长而降低。如图 I—6 所示， $R(t)$  是  $t$  的递减函数。

## 二、故障率

故障率是判别机械设备或零件故障规律的基本参数。表示机械设备工作到  $t$  时刻后，在单位时间内发生故障的概率。若在某一个瞬时  $t$  发生故障的概率，叫做瞬时故障率或简称故障率。若用条件概率来定义：

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \frac{P(t + \Delta t \geq T > t)}{P(T > t)} \\ &= \frac{1}{R(t)} \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} \\ &= \frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dF(t)}{dt} \\ &= \frac{f(t)}{R(t)} \end{aligned}$$



$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$  表示瞬时故障率为装备工作到  $t$  时故障密度与可靠度的比值。

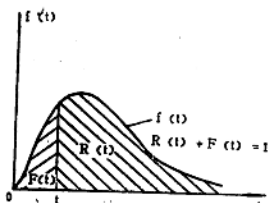


图 1-7

故障密度函数其意义表示装备在  $t$  时刻故障的变化速度。其曲线图形如图 1-7 所示。从该图中也看到，可靠度函数  $R(t)$  与不可靠度  $F(t)$  之间成互补关系。

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

$$\int_0^t f(t) dt = \int_0^t f(t) dt$$

不可靠度  $F(t)$  的大小直接反映故障的概率。这样就明确了可靠性特征量之间的关系。

故障率是由机器管理人员，根据故障的机理、模式进行分类统计、归纳得到的。它不仅是可靠性设计的重要依据，也是管理维修工作者、防止故障、进行正确管理运行状态监测和决定维修间隔期的重要依据。从前附表 I-1 中可以看出：磨损是轴承和齿轮的主要故障形式，占维修工作量的 50% 以上。表 I-2 统计中获知柴油机的三个主要故障是燃料系统机件故障、漏水和气阀及阀座的故障。它们约占总故障频率的 60%，而首要的又是燃料系统机件的故障。这些是我们柴油机管理的重点对象，是维修的主要内容。同样，图 I-5 所列出的统计数据，为改进设计和改善管理提供了有用的信息。

故障、故障率也与机器的寿命相联系。机器的寿命通常指它的有效使用寿命。即机器从完好的工作状态开始，一直使用到出现故障或失效所经历的工作时间。

### 三、平均寿命和耐久性

寿命也就是使用期限。它是指机械设备工作到技术文件规定的工作期限。这个极限状态可以指性能参数超限或效率过低，或者出于安全方面的原因等等。从故障这个随机变量出发，寿命就是机械设备工作到出现故障的工作时间。

#### (一) 平均寿命

指一批零件(装备、机器)从它们开始使用到发生故障时的平均工作时间。

$$\text{平均寿命 } \bar{t} = \frac{\text{所有零件的总工作时间}}{\text{零件总数}}$$

$$= \sum_{i=1}^n \frac{t_i \Delta N_{t_i}}{N} = \sum_{i=1}^n f_i t_i$$

式中： $t_i$ ——为零件发生故障时在  $t$  区间的中值；

$f_i$ ——为相应的故障频率。

但是，对不可修复的产品和可修复的产品来说，平均寿命的概念不同。

对于可修复的产品(如整机)的寿命仅指两次相邻故障之间的工作时间，不是指修了再用，坏了再修，直到退役报废的全部使用时间。

对于不可修复的产品(如电子元件等)的寿命就是指失效前的工作时间。

#### (二) 平均无故障工作时间