

轮机检验与维修技术

1-5 章重点

注：本讲义文字部分取自轮机工程学院鲁道毅老师的 PPT
由许超同学整理

目录

第一章	故障与维修理论	0
一、	故障的分类（选择）	0
二、	故障曲线	0
三、	四种基本维修方式	1
四、	CWBT – CMS – PMS 小结	2
第二章	船机零件的失效	2
一、	摩擦表面	2
二、	磨损指标	2
三、	零件的磨损	3
四、	磨损机理	4
五、	磨损规律	5
六、	边界润滑	5
七、	流体润滑	5
八、	实现良好磨合的措施	6
九、	化学腐蚀	6
十、	电化学腐蚀	6
十一、	穴蚀	7
十二、	疲劳破坏	7
第三章	缺陷检验与故障诊断	9
一、	无损检验（NDT）	9
第四章	船机失效零件的修复方法	11
一、	修复原则	11
二、	选择修复工艺的原则	11
三、	机械加工修复法	11
四、	修复方法	13
第五章	船机维修过程	15
一、	清洗	15

第一章 故障与维修理论

一、故障的分类（选择）

➤ 按故障的原因(机理)分类

- (1) 磨损性故障：如过度磨损，活塞与气缸间隙过大而产生敲缸、窜气等故障。
- (2) 腐蚀性故障：电化学腐蚀
- (3) 断裂性故障：疲劳破坏
- (4) 老化性故障：由于元件老化、磨损、疲劳引起功能变坏或丧失，常发生于设备后期。

➤ 按故障的性质分类

- (1) 人为故障：由于操作人员管理不良或行为过失引起的故障，目前占 80%以上。
- (2) 自然故障：由于船舶机械工作环境变坏、使用条件恶劣，结构和材料缺陷，制造不良等造成的故障。

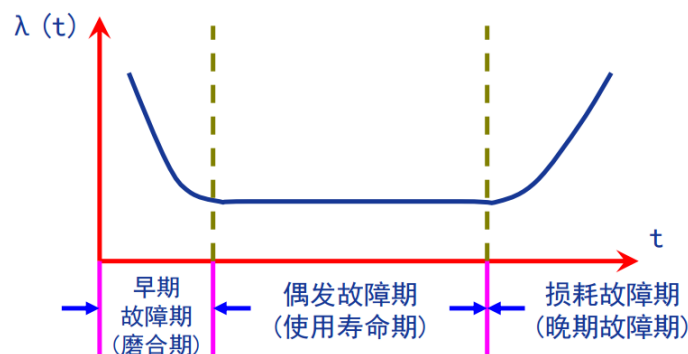
➤ 按故障发生和演变过程的特点分类

- (1) 突发性故障：无故障先兆，难以预测，如主机自动停车、螺旋桨桨叶折断等。
- (2) 渐进性故障：如活塞环和气缸套的磨损、曲轴和轴承磨损、管子腐蚀穿孔等。
- (3) 波及性故障：也称二次故障，无法预测和防止，如连杆伸腿、主机排气阀发盘断裂导致增压器涡轮损坏。
- (4) 断续性故障：如电气开关接触不良

➤ 按故障对船舶营运的影响分类

- (1) 不停航的局部故障：局部故障导致船机设备的功能部分丧失，不需停航修理，如更换主机某缸喷油泵。
- (2) 短时间停航的重大故障：严重的故障使船机设备功能丧失，必须停航，争取短时间通过船员自修排除故障，如主机严重拉缸。
- (3) 长时间停航的全局性故障：如主机曲轴折断、螺旋桨损坏等。

二、故障曲线



早期故障期（磨合期）

- 特点：故障率较高，但随使用时间的延长而迅速下降。
- 主要原因：
 - (1) 设计、制造的缺陷及操作不熟练、不准确和使用条件不当等造成的。
 - (2) 新造零件工作表面彼此形貌不服帖，初始粗糙度很大，摩擦表面不容易建立连续的润滑油膜。

- 手段：通过调试、磨合使故障率很快降低，运转趋于平稳。

偶发故障期（使用寿命期）

- 运转稳定，故障率低，近于恒定，与使用时间关系不大。
- 出现的故障为偶然因素引起的随机故障，主要是设计、制造中的潜在缺陷，操作误差，维护不良和环境因素等引起的。不能通过调试消除，也不能用定期更换零件来预防，所以随机故障是难以预料的。
- 偶发故障期较长，是船舶机械的主要使用期，也是进行可靠性评估的时期。
- 做好日常维护保养工作。

损耗故障期（晚期故障期）

- 特点：故障率随时间的延长而迅速升高。
- 原因：磨损、腐蚀、疲劳、老化。
- 手段：在损耗故障期开始前进行修理或更换备件，延长偶发故障期，推迟损耗故障期。

三、四种基本维修方式

1. 事后维修

- 定义：设备发生故障后才进行的维修。
- 特点：非预防性的维修方式。
- 应用：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设备。
- 说明：事后维修并不是一种消极和被动的的方式

2. 定时维修

- 定义：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。
- 特点：针对性和准确性不高，有时不仅无效，甚至有害。可靠性不高，维修工作量大，费用高。
- 应用：故障率曲线有明显的磨损故障期；无故障生存期要足够大。

3. 视情维修

- 定义：又称状态维修，是指对机械设备不确定维修期，而是通过不断地监控设备的运转状况和定量分析其状态资料，按照实际情况确定维修时间，从而避免故障发生。
- 依据：设备的技术状态。
- 特点：
 - (1) 针对性强：不确定维修周期，而是根据实际情况确定最佳维修时间。
 - (2) 具有预防性：是在设备功能性故障发生前采取措施，可有效地预防故障和充分利用设备的工作寿命。
 - (3) 维修工作量和费用均少。
 - (4) 科学、先进，但它要有可靠的诊断技术为基础投资大，成本高，对技术人员的要求高。
- 条件：
 - (1) 设备的故障率曲线应具有进展缓慢的磨损（损耗）故障期。具有足够的反映设备技术状态的参数、标准或图谱，以便准确地诊断设备的故障。
 - (2) 具有视情设计的设备结构，为进行视情维修提供必要的条件，如安装传感器的孔口位置；

(3) 以现代化的监控手段和故障诊断技术为基础。

4. 主动维修

- 定义：对导致设备损坏的根源性参数进行修复，从而有效地防止失效的发生，延长设备使用寿命
- 对比：
 - 事后维修：坏了才修，不坏不修。
 - 预防维修：仅恢复设备固有功能，无根除故障根源
 - 主动维修：针对频发故障而采取的维修活动，通过分析故障根源、通过技术改造，修复并根除故障的活动。显然，主动维修是更彻底的维修。

四、CWBT – CMS – PMS 小结

- CWBT 以我国传统的船舶维修管理方式为基础，吸收国外先进的管理经验形成的一种科学、实用的现代化船舶维修管理模式。
- CMS 是轮机特别检验的一种替代检验模式，将部分检验项目下放到有资质的轮机长。
- PMS 是将船舶维修管理与船级社检验有机结合的一种船舶计划保养体系和检验模式。

第二章 船机零件的失效

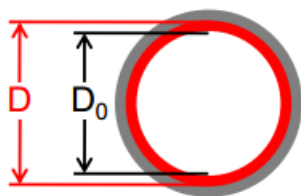
一、摩擦表面

1. 实际表面是凹凸不平的；
2. 接触表面并非真正的全部接触：实际接触面积远小于名义接触面积；
3. 即使在接触点上，也可能有表面膜把金属隔开。

二、磨损指标

磨损量指标：磨损量、磨损率

- 磨损量：摩擦表面尺寸变化量 (mm)



磨损量 (mm/kh)

孔： $\Delta = D - D_0$

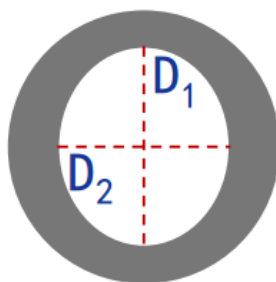
轴： $\Delta = D_0 - D$

- 磨损率：单位时间内零件半径方向上的最大

几何形状指标：平面度、圆度、圆柱度

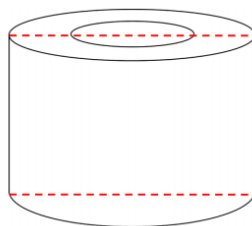


- 平面度：平面零件表面具有的宏观凹凸高度相对理想平面的偏差。用于衡量平面平直的几何精度指标。
- 圆度：工件的横截面接近理论圆的程度。用于限制回转零件横截面的几何形状误差。圆度误差用被测零件上指定横截面的两个相互垂直直径差的一半来表示。



$$t' = (D_1 - D_2) / 2$$

- 圆柱度：任一垂直截面最大尺寸与最小尺寸差。用于限制回转零件纵截面的几何形状误差。测量轴或孔的同一纵向截面（包含轴线）内数个直径，其中最大与最小直径的半径差为圆柱度误差。



$$u' = (D_{\max} - D_{\min}) / 2$$

三、零件的磨损

- 1、常规吊缸常规测量时，对气缸套的四个部位直径进行测量后，可以得到____个磨损量。
- 2、常规吊缸常规测量时，对气缸套的四个部位直径进行测量后，可以得到____个磨损率。
- 3、主机投入运行 10 000 h 后，今测得 Sulzer6S20 型船用柴油机某缸气缸套缸径测量结果为：D1x = 200.26mm，D1y = 200.50 mm，D2x = 200.16 mm，D2y = 200.30mm，气缸套最大内径增量为 2 mm，则气缸的磨损率为_____。

8; 1; 0.025mm/kh

- 1、常规吊缸常规测量时，对气缸套的四个部位直径进行测量后，可以得到____个圆度误差。
- 2、常规吊缸常规测量时，对气缸套的四个部位直径进行测量后，可以得到____个圆柱度误差。

3、某曲轴轴径测量结果为：D1x = 290.26 mm，D1y = 290.50 mm，D2x = 290.16 mm，D2y = 290.30 mm，则最大圆柱度误差为_____。

4; 2; 0.1mm

四、 磨损机理

1. 粘着磨损

- 典例：拉缸、滑动磨损（铝与合金钢空气中干摩擦）、滑动磨损（铸铁与硬质合金半干摩擦）滑动磨损（柴油机铝活塞，缺油）
- 减少粘着磨损的措施
 - (1) 合理润滑，合理选择润滑剂与添加剂。
 - (2) 选择互溶性小的材料配对。
 - (3) 适当的表面处理。
 - (4) 控制摩擦副的工作条件。

2. 磨粒磨损

- 定义： 摩擦副相对运动时，硬的粗糙表面或硬的颗粒对软的摩擦表面的微切削和刮擦作用等造成表面材料的损耗。
- 典例：滑动磨损（灰铸铁缸套工作面）、犁沟磨损（履带驱动齿轮面）、冲刷磨损（磨煤机磨板，耐磨锰钢）
- 减磨措施：
 - (1) 提高材料的硬度、强度和韧性
 - (2) 表面处理；
 - (3) 采用保护措施，防止外界磨粒的侵入。

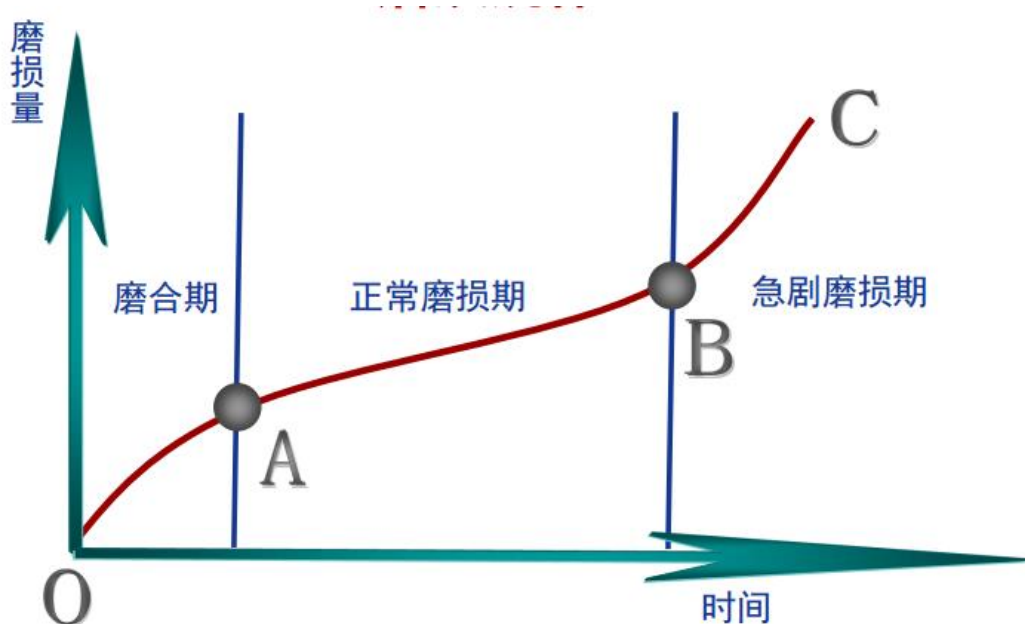
3. 疲劳磨损

- 定义： 金属表面在有摩擦的条件下，同时承受交变接触应力的作用，使表面材料疲劳断裂而形成点蚀或剥落的现象。
- 典例：齿轮、滚动轴承、凸轮机构等滚动摩擦副中。

4. 腐蚀磨损

- 定义： 摩擦表面的金属与周围介质发生化学反应并生产反应产物，当摩擦副工作时，其相对运动的机械作用会使反应产物脱落，使得摩擦表面金属产生损耗的现象。
- 典例：与酸、碱、盐等介质发生化学反应。如缸套的硫酸腐蚀。
- 减小磨损的措施：
 - (1) 选择耐腐蚀能力强的材料。
 - (2) 在润滑剂中加入添加剂，如提高气缸油碱值。

五、 磨损规律



磨合期

- 特点： 时间短，磨损量大，磨损速度快。
- 原因：
 - 新造零件工作表面的初始粗糙度使实际接触面积小而应力大。
 - 开始运转阶段润滑油膜难于建立，即使形成油膜，也会被表面的尖峰和摩擦热所破坏。
- 维护注意事项： 加强润滑，防止粘着磨损。

正常磨损期

- 特点： 磨损量小，磨损速度低且稳定。
- 维护注意事项： 做好运转阶段的维护保养工作，及时排除那些增大磨损的偶然因素。

急剧磨损期

- 特点： 配合性质变坏，产生振动、冲击、温度升高、磨损加剧，最终零件失效。
- 维护注意事项： 及时安排停机检修。

六、 边界润滑

- 定义： 在摩擦副的表面间，存在一层极薄边界膜起保护摩擦表面的作用，这种润滑状态称边界润滑。边界膜分为吸附膜和反应膜。
- 边界润滑实例： 缸套—活塞环，凸轮—顶杆等。

七、 流体润滑

- 定义： 在两相对运动表面，有一层一定厚度的滑油液膜，液膜内压力足以平衡外载荷，使两表面不产生直接接触，摩擦只发生在润滑液的分子之间。
- 流体润滑类型：
 - (1) 流体静压润滑： 利用压力把润滑剂打入摩擦表面使之隔开的润滑。需要一套专用的供油系统。

- (2) 流体动压润滑：利用摩擦表面的相对运动使润滑剂流体产生楔形油膜或挤压油膜来承受外部载荷并使摩擦表面隔开的润滑。
 - 建立流体动压润滑必须具备的条件
- (1) 摩擦副零件的配合间隙要合适。
- (2) 保证连续充分地供给粘度合适的润滑油。
- (3) 摩擦副零件必须具有足够高的相对滑动速度。

八、 实现良好磨合的措施

- (1) 选择合理的摩擦副材料和加工质量。可通过表面镀铬、喷丸、氮化、喷钼等工艺提高表面耐磨性和抗咬合性；应具有合适的初始粗糙度。
- (2) 保证良好的润滑。
- (3) 制定科学合理的磨合程序。遵循转速由低到高、负荷由小到大，合理分配运转时间的原则。

九、 化学腐蚀

1. 化学腐蚀特点

- (1) 腐蚀过程不产生电流。
- (2) 氧化膜对腐蚀的程度有很大影响。
- (3) 实际生产中纯化学腐蚀的现象较少。
- (4) 腐蚀原理比较简单，属于一般的氧化还原反应。

2. 防止化学腐蚀的方法

- 覆盖保护膜：钝化（发蓝处理），电镀（镀锡、镀锌、镀镍）。
- 加强燃烧室零件的冷却，使零件温度在 550℃ 以下。
- 选用含钠、钒和硫少的燃油。
- 选用耐腐蚀的材料。

十、 电化学腐蚀

1. 原理

电池作用原理。

阳极反应：电位低，失去电子，放电，即氧化过程，被腐蚀；

阴极反应：电位高，得到电子，即还原过程，受到保护。

2. 常见的电化学腐蚀

- 硫酸低温腐蚀：气缸套及排气通道
- 电偶腐蚀：艏轴与螺旋桨、离心泵的叶轮与轴等。
- 浓差腐蚀：气缸套与气缸体下部密封圈的缝隙处。
- 选择性腐蚀：铸铁气缸套外圆表面发生铁素体被腐蚀（仅剩下石墨），黄铜零件的脱锌等。
- 应力腐蚀：黄铜管的季裂。

3. 防止电化学腐蚀的方法（重要）

(1) 设计制造方面

- 尽量避免异金属的接触
- 尽量避免电介质的积存环境
- 合理选材：根据介质和使用条件尽量选用相同材料或电位相近的材料或其它

耐腐蚀的材料。

(2) 处理工艺方面

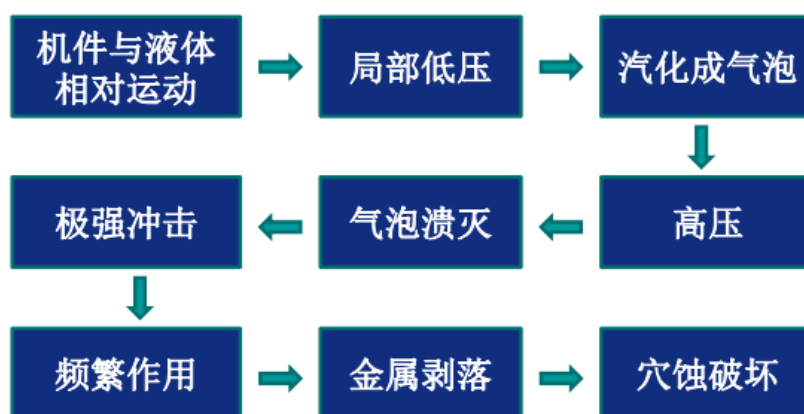
- 表面覆盖保护膜：电镀、电刷镀、喷涂、磷化、钝化等。
- 热处理和精加工
- 阴极保护：牺牲阳极保护法、外加阴极电流
- 阳极保护

(3) 使用管理方面

- (1) 定期进行柴油机冷却水处理。
- (2) 适时检查和更换船体钢板上的防腐锌块。
- (3) 根据燃油含硫量选用合理碱值的气缸油。
- (4) 加强柴油机和艏轴润滑油的定期检验。
- (5) 机件经碱洗后，用清水彻底清洗和涂油保护。

十一、 穴蚀

1. 穴蚀原理



微观电化学腐蚀与穴蚀共同作用对机件表面产生严重的破坏。

2. 防止缸套穴蚀的措施

- 缸套外圆表面覆盖保护层或强化层：采用镀铬、渗氮、涂环氧树脂等。
- 在冷却水腔内安装锌块实施阴极保护防止电化学腐蚀。
- 冷却水定期化验和处理，在冷却水中加入缓蚀剂，在缸套表面形成连续保护膜。
- 其它：控制温度、选材、提高刚度、改善水腔设计等。

十二、 疲劳破坏

1. 疲劳破坏的特征

- (1) 零件长时间承受交变载荷作用；
- (2) 断裂应力小于材料的抗拉强度 σ_b ，甚至小于屈服强度 σ_s ；
- (3) 断裂是突然的，无任何先兆；
- (4) 断口形貌特殊，断口上有明显不同的区域；

(5) 疲劳断裂与零件的形状、表面质量、内部缺陷和表面受力状态等关系密切。

2. 疲劳破坏的过程

(1) 疲劳源：疲劳裂纹的开始点。

- 大多分布于零件表面。在截面突变、有切槽的地方、加工缺陷处等有较大应力集中的部位。

(2) 裂纹扩展区：呈光滑状或贝纹状，颜色发暗，一般占较大面积。

- 第一阶段：切向扩展阶段。沿最大剪切应力（与正应力成 45° 角）的方向金属内部扩展，深度较浅（0.1mm），扩展速度很小。
- 第二阶段：裂纹改变方向，沿与正应力垂直方向扩展。正应力对裂纹的扩展起重要作用，使裂纹扩展的深度和速率远远超过第一阶段。

(3) 最后断裂区（脆断区）：疲劳裂纹的扩展使零件的有效面积不断减小，零件瞬间突然断裂，断口晶粒粗大。

- 疲劳裂纹扩展到临界尺寸后，实际承载面积减小，即断面上剩余面积承受不了所载荷的作用而发生瞬间断裂，在断面上出现最后断裂区。

3. 疲劳断裂的断口分析

(1) 疲劳源大多分布于零件表面，一般有 1-2 个。

(2) 疲劳裂纹扩展区呈贝纹状时，贝纹线间距小，贝纹细密，表示材料的抗疲劳性能好，疲劳强度高。反之，……。

(3) 最后断裂区所占面积越大，甚至超过断口面积一半以上，说明零件承受严重的超负荷，其寿命也越短。若所占面积较小，小于断口面积之半时，说明零件无过载或过载很小。

4. 疲劳破坏的影响因素

1. 应力集中：

- 零件表面上的台阶、键槽、油孔或螺纹等截面变化部分；
- 零件材料内部存在冶炼、毛坯加工等带来的缺陷，如杂质、夹杂物、气孔等。

2. 表面质量：

- 表面越粗糙，疲劳强度越低；
- 淬火、渗碳、氮化等表面强化处理可提高疲劳强度。
- 滚压、喷丸等表面变形强化处理在表面层内形成残余压应力，使表面塑性变形抗力增加，有效提高疲劳极限。

3. 使用条件：

- 过载
- 使用温度
- 环境介质

5. 高温疲劳和热疲劳（了解）

1. 高温疲劳

➤ 定义：零件在高于材料的 $0.5T_m$ （ T_m 用绝对温度表示的熔点）或高于其再结晶温度时，在交变应力作用下引起疲劳破坏的过程。

➤ 典型零件：汽轮机和燃气轮机的叶轮和叶片、柴油机排气阀等。

2. 热疲劳

➤ 定义：金属长期在高温和交变热应力作用下引起疲劳破坏的过程。

6. 曲轴疲劳裂纹的种类

1. 弯曲疲劳裂纹

➤ 过渡圆角处产生，与轴线或曲柄臂垂直

- 原因：主轴承的不均匀磨损，造成曲轴轴线弯曲变形，曲轴回转时产生过大的附加交变弯曲应力。
- 2. 扭转疲劳裂纹
过渡圆角或油孔处产生，在轴颈上沿与轴线成 45° 方向扩展
- 原因（扭振）
 - (1) 临界转速区工作。
 - (2) 海损（搁浅、绞缆）。
- 3. 弯曲—扭转疲劳裂纹
- 根据断面的理纹、裂纹的方向及最后断裂区等的情况来进行判断。（圆形波纹——弯曲疲劳、放射波纹——扭转疲劳）

第三章 缺陷检验与故障诊断

一、 无损检验（NDT）

1. 渗透探伤

(1) 煤油白粉法

特点：简便、实用、经济，但不精确，太小的裂纹不易显示（裂纹宽度不小于 0.01mm ，裂纹深度不小于 0.03mm ）。

(2) 着色探伤

特点：渗透剂渗透时间对检验效果影响很大，通常根据零件材料确定渗透时间。

(3) 荧光探伤

缺点：需要紫外线的发射装置，暗室中进行，对人体有害。

● 渗透探伤的特点

➤ 优点：

在 NDT 中成本最低，设备简单，操作方便，适用于所有材料的表面裂纹，灵敏度比人的眼睛直接观察高 $5 \sim 10$ 倍左右，显示结果直观。

➤ 缺点：

仅适用于表面开口型缺陷类型，不能检测非开口性缺陷和内部缺陷。灵敏度不太高，不便于实现自动化，无深度显示。渗透探伤的特点

2. 磁粉探伤

广泛用于检测铁磁性材料及其构件的表面和近表层的缺陷，可检测的缺陷类型：裂纹、重叠、夹层等。

● 磁粉探伤的特点

➤ 优点

- (1) 比渗透探伤灵敏，对钢铁材料表面裂纹等缺陷的检验非常有效；
- (2) 设备和操作均较简单；
- (3) 检验速度快，便于在现场对大型设备和工件进行探伤；
- (4) 检验费用也较低。

➤ 缺点

- (1) 仅适用于铁磁性材料；
- (2) 仅能显出缺陷的长度和形状，而难以确定其深度；

(3) 对剩磁有影响的一些工件, 经磁粉探伤后还需要退磁和清洗。

3. 超声波探伤

利用超声波来检查金属或非金属材料**零件内部缺陷**的方法

● 超声波探伤的特点

➤ 优点

- (1) 适用的材料范围广 (金属与非金属均可);
- (2) 穿透能力强, 探测深度可达数米;
- (3) 灵敏度高, 可探测十分之几毫米的缺陷;
- (4) 适合于自动化与计算机处理与显示, 可立即提供缺陷检验结果;
- (5) 操作安全, 设备轻便。

➤ 缺点

- (1) 对零件表面粗糙度有一定要求, 与探头接触良好。
- (2) 存在盲区: 距零件表面一段距离内的缺陷难以探测, 因缺陷波与初始波难分清。
- (3) 对所发现缺陷作十分准确的定性、定量表征仍有困难。

4. 涡流探伤

表面或近表面缺陷检验

● 涡流探伤的特点

➤ 优点:

- (1) 设备简单, 操作方便、灵活;
- (2) 对封闭在表层下的缺陷有很高的检测灵敏度;
- (3) 探伤深度比磁粉探伤所达到的深;
- (4) 能提供缺陷的深度信息;
- (5) 非接触的检测方法, 容易实现自动化和计算机化;

➤ 缺点:

- (1) 仅适用于导电材料;
- (2) 距表层较深的缺陷难检测 (集肤效应);
- (3) 缺陷显示不直观, 不适用于形状复杂零件的检测;
- (4) 影响涡流变化的因素较多, 涡流信号不易分离与提取, 影响探测的可靠性;

5. 射线探伤

➤ 优点

- (1) 适用于所有材料 (金属和非金属材料);
- (2) 探测铸件、焊接件等内部缺陷;
- (3) 探测厚度大, 深度达 500mm (钢板)
- (4) 底片可永久保存, 可展示内部缺陷的大小、形状和位置等。

➤ 缺点

- (1) 射线对人体有害;
- (2) 缺陷的深度很难辨别;
- (3) 只宜探查气孔、夹渣、缩孔、疏松等体积性缺陷, 对细小裂纹和内部分层缺陷探测较难;
- (4) 设备昂贵, 检验费高。

6. 声发射探伤

- (1) 除极少数材料外, 金属和非金属材料在一定条件下均有声发射现象, 所以不受

材料限制。

- (2) 操作简单，可大面积探测和监视缺陷活动情况。
- (3) 不仅可以探测缺陷，且可依声发射波的特点和诱发条件了解缺陷形成和预测其发展。
- (4) 容易受外界噪音干扰。

序号	检测方法	缩写	适用的缺陷类型	基本特点
1	渗透探伤法	PT	表面开口型缺陷	操作简单
2	磁粉探伤法	MT	表层缺陷	仅适用于铁磁性材料
3	涡流探伤法	ET	表层缺陷	适用于导电材料的构件
4	超声波探伤法	UT	内部缺陷	速度快，对平面型缺陷敏感
5	射线探伤法	RT	内部缺陷	直观，对体积型缺陷敏感
6	声发射检测法	AE	缺陷的萌生扩展	动态监测方法

第四章 船机失效零件的修复方法

一、 修复原则

- (1) 改变配合件的原设计配合尺寸，恢复配合件的原设计配合间隙值。如修理尺寸法、尺寸选配法等修复工艺。
- (2) 恢复配合件的原设计配合尺寸，恢复配合件的原设计配合间隙值。如喷焊、电镀堆焊等修复工艺。

二、 选择修复工艺的原则

- (1) 修复工艺对零件材料的适用性
- (2) 修复工艺应满足要求的修补层厚度
- (3) 零件结构、尺寸对修复工艺的限制
- (4) 修复工艺对零件变形和材料性能的影响（高温）

三、 机械加工修复法

1. 修理尺寸法

将已损坏的配合件中较贵重、较难制造的零件进行机械加工，在保证其强度和刚度的前提下，消除其工作表面损伤和几何形状误差，使零件的原始尺寸改变为另一尺寸，

具有正确的几何形状和新的基本尺寸-修理尺寸。

配合件中的另一个零件则按照修理尺寸重新制造，达到要求的配合间隙。

(1) 最小加工余量原则

- 修理尺寸 = 实测尺寸 — (或 +) 为消除缺陷所需的最小加工余量。孔：取“+”；轴：取“-”。
- 特点：简单，被修理零件无“过量加工损耗”，能保留最大的强度和刚度。
- 缺点：零件失去了互换性，备件困难，适用于单件生产，增加了生产上的复杂性。

(2) 分级修理原则

- 零件按规定好的分级修理尺寸进行加工。通常，对零件进行的加工余量不是最小的加工余量。配合件之一按相应的分级修理尺寸制造好，直接选用，无须单件制造。分级尺寸为等差数列。
- 特点：修理周期短，经济性好；使单件变成了批量生产。
- 缺点：造成过量加工损耗，损失零件强度和刚度。

2. 恢复尺寸法

- (1) 将已损坏的配合件中较贵重、较难制造的零件进行机械加工，在保证其强度和刚度的前提下，消除其工作表面损伤和几何形状误差；
- (2) 然后采用镀铁、镀铬、电刷镀、堆焊、喷焊等工艺增大零件的尺寸；
- (3) 最后精加工使其恢复原设计的尺寸和形状。配合件中的另一个零件则重新制造或购买，使两者恢复原设计的配合间隙值。

➤ 实例：曲轴修理

- 在保证主轴颈强度前提下，采用曲轴磨床磨削主轴颈，消除其工作表面的损伤和几何形状误差，然后采用镀铁工艺增大主轴颈的尺寸，最后再精加工磨削主轴颈，使其恢复原设计的尺寸和形状。
- 磨损件第二修复原则：恢复尺寸、形状和间隙
- 特点：既适合单件修理，也适合批量修理，应用广泛。

3. 尺寸选配法

- 集中一小批相同机型的已过度磨损的配合件，进行机加工，使其具有正确的几何形状（消除缺陷和几何形状误差），然后根据配合要求进行选配。
- 特点：简单、方便、经济，可使一部分已报废的配合件重新投入使用。缺点是必须有一小批配合件，数量太少，则不易组成新的配合件。
- 应用：精密偶件的修理、喷油泵的柱塞—套筒、喷油器的针阀—阀座

4. 附加零件法

- 零件过度磨损或腐蚀后，将损伤的工作表面进行加工处理使具有正确的几何形状，在损坏处另附加一个零件，并采用适当的方法将其固定，使零件在一定时间内基本恢复原有功能。
- 应用：增压器和冷却水管腐蚀漏水修理、气缸盖阀孔损坏后，用镶套修理，即压入一衬套。
- 特点
 - (1) 衬套与被修理件的配合为过盈配合；
 - (2) 附加的零件具有一定的壁厚，钢衬套的厚度一般 2~2.5mm，铸铁衬套厚度一般 4~5mm，以保证强度和刚度要求；
 - (3) 材料要尽量相同，有相同的热膨胀系数，以使在工作中不产生附加应力或松脱。

5. 局部更换法

- 贵重或尺寸较大的零件，如果只是局部损坏，在能够保证强度要求的前提下，可以从零件上去除损伤的部分，制造一个与缺失部位形状和尺寸完全相同的新部件，并采用适当的方法将其固定在损坏部位。
- 应用：铸钢活塞的顶部被烧蚀或出现严重的裂纹，将整个顶部割去，依据割去的部分用同样的材料制造一个新顶，并焊接到一起。

四、修复方法

1. 电镀

应用：活塞环槽、缸套镀铬，曲轴镀铁等。

➤ 镀铬

● 优点：

- (1) 温度低 (55 ~ 65℃)，对材料的组织性能没有任何影响，不会产生变形和开裂等；
- (2) 镀层与基体的结合强度高，甚至超过零件本身晶间结合强度，与镀前准备工作有关；
- (3) 镀层的硬度与强度高，与镀层的厚度有关（镀层薄时强度高）；
- (4) 化学稳定性好，长时间保持光泽；
- (5) 摩擦系数小，耐磨（镀层硬度高）；

● 缺点：

- (1) 铬的沉积速度慢，效率低，成本高。
- (2) 镀层厚度增加，内应力大，脆性大（与镀层厚度有关），镀层一般为 0.1 ~ 0.25mm。
- (3) 大型零件、形状复杂或难于拆卸的零件因设备的限制而难于采用此方法。
- (4) 镀铬过程中大量气体溢出，带出铬酸，危害人体皮肤、眼睛、和呼吸道。

➤ 镀铁

● 特点

- (1) 镀液温度低 (30 ~ 40℃)；
- (2) 镀层与基体的结合强度高，450MPa；
- (3) 镀层耐磨性好，硬度高（可>50HRC）；
- (4) 沉积速度快，镀厚能力强，沉积速度是镀铬的 10 倍，镀层厚度 2 ~ 4mm；
- (5) 电流效率高，可达 90%，耗电少；
- (6) 电解液容易配置，成本低，有害气体少，对环境污染小。

● 应用：曲轴、缸套等要求镀层厚度大的场合，用于恢复尺寸。

➤ 电刷镀特点

- (1) 简化了电镀工艺，不镀部位不必包扎绝缘。
- (2) 镀层与零件表面金属结合强度高。
- (3) 镀层厚度可以精确控制，可在同一零件上刷镀不同厚度的电镀层。
- (4) 电解液温度低，电刷镀过程中工件的温升<70℃，因此不会引起工件的变形、表面金相组织的变化和产生残余应力。

(1) 适用范围广

- a) 可以在各种金属表面甚至在能导电的非金属表面进行刷镀；
- b) 可以在各种大小、各种形状（外圆、内孔、平面、曲面等）表面上进行刷镀；
- c) 可以实现现场电刷镀和不解体电刷镀。

(2) 设备简单、工艺灵活、操作方便

可以获得种类繁多的镀层以满足不同工况的需求，一般机械人员经短期（一周左右）

培训就可上岗操作。

(3) 生产效率高

电刷镀沉积速度是一般槽镀的 10-15 倍，而且辅助工序和时间少。

(4) 操作安全、环境污染小

电刷镀工艺对环境污染小，溶液可以循环使用，消耗少，不会造成大量的废液排放。

2. 热喷涂

热喷涂是喷涂与喷焊（喷熔）的总称

➤ 热喷涂的工艺特点

- (1) 适用材料范围广：金属和非金属。
- (2) 喷涂材料广：金属、合金、陶瓷、有机树脂等材料
- (3) 零件受热温度低、热应力小，零件变形小。
- (4) 涂层内部多孔，可存油，润滑性好。
- (5) 涂层结合强度低，只有 5~50MPa，抗冲击性能差。
- (6) 设备和工艺简单，操作容易，生产效率高。
- (7) 与电镀相比，污染小。

➤ 喷焊（喷熔）特点

- (1) 零件受热温度高、热应力大，容易产生变形或裂纹，喷熔后应缓冷或应力退火。
- (2) 喷熔层与零件表面为扩散型冶金结合，结合强度高，300~700MPa，抗冲击性能强。
- (3) 喷熔层连续致密，孔隙很少，耐腐蚀性优于喷涂层，但储油和润滑性能不如喷涂层。

➤ 小结：喷涂与喷焊的区别

- (1) 对工件的热影响不同；
- (2) 应用范围不同：
 - a) 喷涂用于不受高应力交变载荷或冲击载荷的零件；
 - b) 喷焊可承受冲击载荷作用。
- (3) 喷涂孔隙率大，组织疏松，储油性能好，耐蚀性差。

3. 焊补修理

- 分类：分为焊接和堆焊。
- 特点：可用于裂纹、断裂、磨损、腐蚀和烧蚀等多种损坏的有效修复。成本低、效率高、焊层结合强度高。
- 缺点：温度高（导致变形和裂纹）。特别是铸铁件的焊补要小心。
- 要求：为了保证修理质量，对焊补工艺要求严格，要求焊前预热，焊后退火。
- 焊接应用：裂纹与断裂的修理。
- 堆焊应用：活塞、活塞杆、气缸盖、排气阀、阀座、螺旋桨等。

4. 金属扣合工艺

➤ 适用范围：

- (1) 强固扣合法（波浪键扣合法）：一般强度的零件，壁厚在 8~45mm。
- (2) 强密扣合法（波浪键—密封螺钉扣合法）：适用于壁厚 8-45mm 的铸铁件。承受载荷的能力高于强固扣合法，并可满足密封性的要求。常用于修复柴油机气缸套、气缸盖、机体等铸铁零件。
- (3) 加强扣合法：适合于修理承载高载荷，壁厚大于 45mm 的大型厚壁铸铁件。
- (4) 热扣合法

➤ 金属扣合的特点：

- (1) 工艺简单、灵活、快速、成本低;
- (2) 基本为手工加工, 不需特殊设备, 可现场修理;
- (3) 质量可靠, 能保证零件要求的强度和密封性等;
- (4) 常温下进行, 零件变形小, 不改变零件材料性能。

➤ 扣合工艺的应用:

- (1) 广泛用于修理裂纹和断裂,
- (2) 尤其对难焊补的铸铁零件, 不允许有变形的零件, 是一种最佳修理方法。
- (3) 如船用柴油机的机座、机架、气缸体、气缸套和气缸盖, 以及各种机械的壳体和螺旋桨等的裂纹修复。

5. 塑性变形修复法

6. 粘接修复技术

➤ 应用: 修理损坏的船机零件

- (1) 修理磨损松动的过盈配合件: 厌氧胶修复齿轮与轴, 泵轴与叶轮的松动。
- (2) 修理腐蚀损坏的零件: 柴油机气缸套的腐蚀、螺旋桨桨叶穴蚀、舱壁腐蚀等腐蚀面积较大, 但深度较小且未危及零件强度情况下。
- (3) 修补裂纹零件: 船舶管系裂纹和漏洞、水柜裂纹、焊缝开裂等。可与金属扣合工艺联合使用。

应用—船机装配: 艏轴与桨的装配、艏轴与铜套的粘接、密封垫片、机座垫片

➤ 粘接优点:

- (1) 粘接强度较高, 但不如焊接和铆接;
- (2) 耐腐蚀、耐磨和具有密封性;
- (3) 粘接温度低, 固化时收缩小, 零件不会有变形和裂纹;
- (4) 工艺简单、操作方便、成本低、修理迅速;
- (5) 不受零件材料限制;
- (6) 不增加零件重量

➤ 粘接缺点:

- (1) 耐热性能差, 有机胶接剂 150℃, 无机胶接剂 700℃;
- (2) 抗冲击性能差;
- (3) 胶层容易老化变质;

➤ 研磨技术

- 应用: 精密偶件 (柱塞-套筒、针阀-针阀体、出油阀-出油阀座), 柴油机的进排气阀配合锥面。
- 平面研磨修复: 高压油泵套筒端面、针阀体端面、阀芯
- 锥面研磨修复 (互研): 喷油器针阀偶件的锥面配合面、进排气阀阀面磨损

第五章 船机维修过程

一、清洗

1. 油洗: 利用柴油去除油污垢。对积炭、铁锈和水垢无效。
2. 机械清洗:
 - (1) 手工机械清洗: 如清洗柴油机燃烧室零件。
 - (2) 喷丸机械清洗

- (3) 高压水射流除锈
- 3. 化学清洗： 表面油、油脂、污垢、漆皮、水垢等的清洗。常用于热交换器的清洗。
 - (1) 碱性清洗剂： 油污，积炭，漆皮。
 - (2) 酸性清洗剂（草酸）： 水垢、铁锈。
 - (3) 合成洗涤剂
- 4. 管系的清洗
 - (1) 内外部分开清洗
 - (2) 管口的堵塞： 不让滑油进入各重要轴承。
 - (3) 保护十字头轴承
 - (4) 振动或敲击管系
 - (5) 清洁油柜和管端
 - (6) 滑油的流速和温度： 清洗时， 应将滑油加热到 $60 \sim 65^{\circ}\text{C}$ 。