

交通系统中等专业学校试用教材

船舶柴油机与推进装置检修

(轮机管理专业用)

青岛海运学校 赵鸿坤 编

广州海运学校 李保福 审

人 民 交 通 出 版 社

交通系统中等专业学校试用教材

船舶柴油机与推进装置检修

(轮机管理专业用)

青岛海运学校 赵鸿坤 编

广州海运学校 李保福 审

人 民 交 通 出 版 社

交通系： 等专业学校试用教材

船舶柴油机与推进装置检修

(轮机管理专业用)

青岛海运学校 赵鸿坤 编

广州海运学校 李保福 审

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 006 号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 1/32 印张：10.25 字数：251 千

1980年7月 第1版

1980年7月 第1版 第1次印刷

印数：0001—15,500册 定价：0.85元

内 容 提 要

本书主要介绍船用柴油机零件的损伤和检修基本知识。全书共分十一章：船用柴油机零件的损伤及其检查；船用柴油机零件的基本修复方法；燃烧室部件的检修；曲轴和轴承的常见故障和检修；燃油喷射系统主要机件的检修；废气涡轮增压器的检修；拉缸及其应急处理；柴油机的拆卸和检修；柴油机主要机件的船上安装和校中；船舶轴系和螺旋桨的检修；船上试验。

本书为交通系统中等专业学校教材，也可供远洋和沿海轮机人员参考。

目 录

第一章 船用柴油机零件的损伤及其检查	1
第一节 船用柴油机零件损坏的形式和原因.....	1
第二节 柴油机零件的摩擦和磨损.....	5
第三节 柴油机零件损伤的检查.....	10
第二章 船用柴油机零件的基本修复方法	17
第一节 改变零件原有尺寸和恢复其原有配合性质的方法.....	17
第二节 电镀.....	18
第三节 金属喷镀.....	20
第四节 焊补修理.....	21
第五节 胶补修理.....	21
第六节 金属扣合修复法.....	24
第三章 燃烧室部件的检修	28
第一节 气缸盖的检修.....	28
第二节 气缸套的检修.....	31
第三节 活塞组件的检修.....	39
第四节 气阀和阀座的检修.....	54
第四章 曲轴和轴承的常见故障和检修	57
第一节 曲轴的常见故障和检修.....	57
第二节 曲轴拐档差的测量和调整.....	65
第三节 轴承的检修.....	73
第五章 燃油喷射系统主要零件的检修	85
第一节 精密偶件的常见故障.....	85
第二节 精密偶件的检修.....	88
第六章 废气涡轮增压器的检修	92
第一节 废气涡轮增压器的常见故障及其处理.....	92
第二节 废气涡轮增压器的清洗.....	97
第三节 废气涡轮增压器在大修时的检修工作.....	100
第七章 拉缸及其应急处理	101
第一节 拉缸事故发生的主要原因.....	101
第二节 预防拉缸的主要措施.....	104
第三节 拉缸事故发生后的应急处理.....	107
第八章 柴油机的拆卸和检修	111
第一节 柴油机的吊缸检验.....	111

第二节	柴油机的拆卸·····	113
第三节	柴油机拆卸时的测量·····	114
第九章	柴油机主要机件的船上安装和校中·····	115
第一节	概述·····	115
第二节	机座的安装·····	117
第三节	机架、气缸体和贯穿螺栓的安装·····	121
第四节	固定件相互位置校中·····	122
第五节	活塞运动组件的船上校中·····	127
第六节	气缸盖的安装·····	132
第十章	船舶轴系和螺旋桨的检修·····	134
第一节	轴系和螺旋桨的拆卸和检验·····	134
第二节	螺旋桨的检修·····	139
第三节	尾轴的检修·····	141
第四节	尾轴承的检修·····	144
第五节	轴系的找正和安装·····	145
第十一章	船上试验·····	152
第一节	系泊试验·····	152
第二节	航行试验·····	155

第一章 船用柴油机零件的损伤及其检查

第一节 船用柴油机零件损坏的形式和原因

作为船舶动力的柴油机应力求可靠地工作,以保证船舶的安全航行。但往往由于设计、材料和加工上的问题或维护保养以及使用管理不善等原因,造成柴油机在运转一段时间后出现某些事故,从而使机器部分地或全部地丧失工作性能,影响船舶的安全航行。所以,轮机管理人员必须了解船机零件的常见故障、主要损坏形式、损坏部位以及造成损坏的原因,以便作好日常管理工作和防止事故的发生;而当一旦发生事故时,能够根据零件损坏形式、部位等具体情况分析和判断出损坏原因,并能及时采取相应的有效措施排除故障。

根据国内外的多年实践经验,船机零件的损坏形式和缺陷主要有锥度、椭圆度、划痕、擦伤、裂纹、折断、腐蚀和烧伤等。零件损坏的原因很多,即使是损坏形式相同,而损坏原因也可能完全不同,要根据具体情况作仔细的分析和判断。主要的损坏原因可归纳为磨损、疲劳、腐蚀和烧伤等。

一、磨 损

磨损是组成运动副零件损伤中最常出现的一种形式,也是缩短零件使用寿命的主要原因。有关这部分内容将在本章第二节中专门讨论。

二、疲 劳 破 坏

所谓疲劳破坏,就是零件在交变应力的长期作用下所引起的破坏。在柴油机运转中,某些零件有时由于疲劳而引起突然破坏,而造成严重的机损事故。例如曲轴、活塞销、连杆螺栓等容易出现此类破坏。因此在柴油机运转中,一般若作用应力大大超过材料的疲劳极限,则会引起破坏,特别是在某些应力集中的部位。所以,要使零件在交变应力的作用下能够安全地工作,就要求零件所受交变应力的最大值应小于材料疲劳极限,这样零件就不会产生疲劳破坏。

柴油机在运转过程中,其运动部件(活塞、连杆、曲轴……等)均产生较大的交变应力。在这种情况下,由于材质不佳或是设计和操作不当,就可能发生疲劳破坏事故。大量疲劳破坏的统计说明,零件的疲劳破坏大多是发生在零件横截面上有突然变化和材料中有缺陷的地方。例如柴油机曲轴的曲柄销或主轴颈与曲柄臂相接的圆根处当过渡圆角不够大时,就会因有应力集中而产生裂纹。这种裂纹如果没有及时发现,就会在交变应力的继续作用下扩散,进而发展成为突然断裂。从观察疲劳破坏零件的断面中可以清楚地看到,断面的四周光滑,而中心突然断裂部分则比较粗糙。有时在断面的光滑区还可以看到,围绕裂纹开始处有许多环形线条。这些现象说明了零件的疲劳破坏产生在零件内部应力较大或材料强度较弱的地方,首先在这些地方产生微小裂纹,这种微小裂纹在交变应力的长期作用下逐渐扩大,并使零件金属材料相接截面面积逐渐减小,最后发生断裂。断面的光滑部分即是断裂前裂缝

两面材料互研的结果，最后因金属材料连接面减小到不能承受一定的作用力而突然发生脆性断裂。

影响零件疲劳破坏的因素很多，其中主要有下述几点。

(一)零件的外形和尺寸的影响

船机零件中有许多由于构造上的需要而具有复杂的外形，例如有的零件开有键槽、油孔等，有的零件有螺纹，有的零件具有突然变化的横截面。大量的零件损坏说明，零件在交变应力的作用下，大都是在这些地方首先产生疲劳裂纹、而后遭到破坏的。因此，在船机零件制造加工时将截面有突然变化的地方做成过渡圆角，过渡圆角的半径要足够大，以避免应力集中，减少疲劳破坏。

(二)零件材料中缺陷的影响

零件材料的金属组织不均以及有非金属夹杂、气孔、缩孔、表面损伤和微裂等，均会引起材料内部变形不均或产生局部应力集中，导致在交变应力作用下显微裂纹形成和扩展。零件的尺寸越大，材料的不均匀程度也大，材料内部出现缺陷的可能性就多。

(三)零件表面质量的影响

零件表面质量的情况对疲劳破坏影响很大，一般都是零件表面越粗糙，在交变载荷的作用下就越容易产生应力集中，而使零件的疲劳强度降低。表面光洁度较高的零件，其疲劳强度就高。例如当合金钢零件表面光洁度从 $\nabla 9$ 经过抛光提高到 $\nabla 12$ 时，就可以使材料的疲劳强度提高20%。

另外，零件表面经过冷加工硬化，在一定的情况下可以提高材料的疲劳强度，因为经过冷硬的表面能阻碍疲劳裂纹的产生和扩展。所以，近来有采用滚压零件表面等办法来提高零件表面层的硬度。

(四)操作使用不当和管理不善的影响

除设计、材料和加工制造等引起疲劳破坏以外，操作和管理不当也会造成零件疲劳破坏。例如柴油机在超负荷、超转速下运转，即使时间不长，也会引起机件内部产生异常高的应力，当此应力超过材料疲劳极限时，就会引起疲劳破坏。柴油机连杆螺栓的折断，大都是由于超速运转而造成的。

管理不善会使机器受到附加应力，如柴油机主轴承磨损后，若不及时调整修复，就会受到附加的弯曲应力，当应力超过设计值时，就容易产生破坏。又如贯穿螺栓的断裂，往往是由于没有注意检查，中央的防振装置失去作用而引起共振，最后导致疲劳断裂。有时在上紧螺栓时扭得过紧，则会使纹底应力过大而造成疲劳破坏。上述例子说明，机件疲劳破坏与轮机管理人员的工作有很大关系，必须注意防止。

柴油机有些机件在高温条件下工作，如气缸盖、活塞和气缸套等，在高温的影响下，机件材料内部会产生热应力。所以柴油机在开车前必须暖机，并在起动后慢车运行一段时间后，再逐渐增加负荷；而在停机前要让冷却水循环一段时间再停冷却水泵，其目的是为了避开燃烧室周围的机件（活塞、缸盖、缸套）内外温差太大，引起过大热应力而产生裂纹。如果温度是周期性变化的，便会引起周期性变化的热应力，使其产生疲劳裂纹，而导致破坏，即为由热疲劳而造成的破坏。因此，燃烧室周围的机件由于热疲劳而产生的破坏，主要取决于热应力随柴油机反复起停交变作用的次数（因为起停时产生很大的热应力）。由此可见，在日常管理工作中，不仅要注意到机件的受力情况，还要注意到温度的影响。

三、腐 蚀

金属腐蚀的现象是很普遍的，象海船与海水接触的各部位金属，柴油机活塞、活塞环等与高温燃气接触的各部位金属，以及发电机、电动机等，常因腐蚀而遭到破坏，大大缩短了使用寿命，有时会造成严重事故。据统计，每年由于腐蚀而损耗的金属，相当于金属年产量的 $1/4 \sim 1/3$ 。例如国外一艘一万六千吨的油轮经过8~10年航行后，就有二百七十吨钢材因腐蚀而损失掉。由于腐蚀而造成的停航修理费用和停止营运所造成的损失就更大了。所以，轮机管理人员必须了解金属腐蚀的原因，以便采取有效的防护措施。这样既能保证船舶的安全航行，又有重大的经济意义。

金属腐蚀是由于在周围接触到的气体或液体（海水、淡水、燃油、滑油……）的化学或电化学的作用下，金属被氧化的结果。所以，金属和周围接触的气体或液体发生化学作用或电化学作用而引起的破坏，叫做腐蚀。

金属由于机械作用而引起的破坏，譬如磨损或水流的冲击等造成的金属损坏，则不能叫做腐蚀。但有时也不能把某一现象清楚地区别为腐蚀还是机械损坏。例如将要讨论的穴蚀，就是两者同时发生作用的结果。

零件的腐蚀都是从零件金属表面开始的，然后再向内部蔓延，或者同时也向零件表面的四周扩展。

船用柴油机零件要与各种不同的气体或液体接触。例如，有的零件要与淡水或海水接触，有的要与燃油或滑油接触，而组成燃烧室的零件则要与高温燃气接触。零件和这些气体或液体相互作用，就会相应发生不同类型的腐蚀。腐蚀的结果，轻者会使零件尺寸改变，表面变坏，严重时则会造成零件产生裂纹、穿孔或断裂。腐蚀所造成的破坏并非在短时间内形成的，而是长时间作用的结果。轮机管理人员掌握了有关金属腐蚀的知识，加强对机器的检查和维护保养，注意容易产生腐蚀的部位，以便及时发现问题和采取措施，就可防止腐蚀的发生和避免因腐蚀而造成的机损事故。

船用柴油机零件的腐蚀有化学腐蚀和电化学腐蚀。

（一）化学腐蚀

化学腐蚀是金属直接与所接触的气体或液体发生化学作用而引起的腐蚀。在发生化学腐蚀的过程中，没有电流产生。例如，在高温下轧制钢材时，钢铁表面生成黑色氧化皮，此情况即为化学腐蚀。这种气体腐蚀是最常见的一种化学腐蚀。一般在高温条件下工作的金属设备和零件，都有可能因金属被化学腐蚀而损坏。

此外，金属在一些非电解质的有机液体中发生的腐蚀也是化学腐蚀。例如在石油、柴油中往往因含硫（以及硫的化合物）等杂质而对金属有较大的腐蚀性，象油舱的腐蚀亦属于化学腐蚀。

（二）电化学腐蚀

电化学腐蚀虽然也是由金属与所接触的液体或气体发生氧化还原反应所造成的，但与化学腐蚀不同，它在腐蚀过程中伴有电流产生。例如金属制品在潮湿空气中的腐蚀，海水对船体的腐蚀等，均为电化学腐蚀。

如果金属上各部分（或不同的金属之间）存在着电极电位差，而这些具有电极电位差的金属相互接触并有电解质溶液时，也会发生电化学腐蚀。例如，在气缸盖底面或气缸套冷却水腔上部温度较高部位，容易产生汽泡，冷却水长时间停滞更助长了汽泡发生（冷却水通道

设计不合理)，于是铸铁组织中的石墨作阴极，铁素体作阳极，由于局部电池的作用而溶出铁素体，余下石墨、渗碳体等变成疏松物质，这就是电化学腐蚀的结果。如图 1-1 所示，气缸肩部冷却水出口附近发生了腐蚀，并且缸套法兰圆角部分也由于腐蚀而产生裂纹。

除上述的化学腐蚀和电化学腐蚀外，在船机零件中还有应力腐蚀。

金属经过铸造，由于结构、表面状态和不均匀变形等原因，使机件的各部分内应力和热应力分布不均。突出的尖端、棱角尖和细窄裂缝深处，常常是形成阳极的部位。在热力机械运动中，也分布着错综复杂的内应力和热应力，应力集中处的金属，要比对应未受应力或应力较小处的金属变得活泼些，成为阳极区。由此而产生的腐蚀现象称为应力腐蚀。所以，应力腐蚀往往发生在缸套和气缸体连接的肩部以及那些应力集中的部位，如加强筋的圆角，在腐蚀的同时还伴随有裂纹产生，如图 1-2 所示。

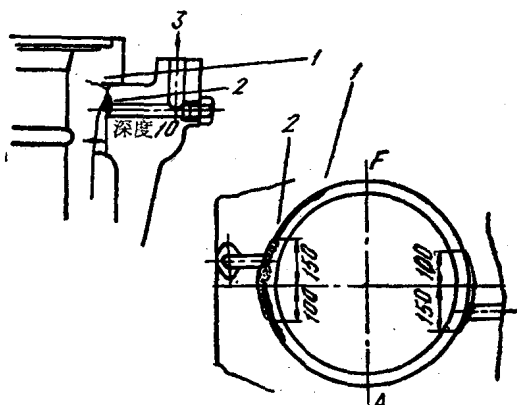


图1-1 气缸体的电化学腐蚀
1-裂纹；2-电化学腐蚀；3-冷却水出口

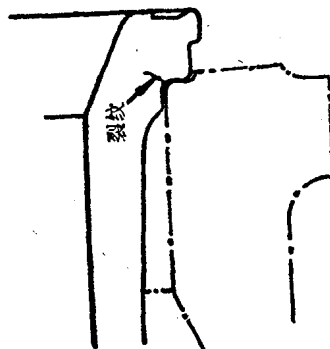


图1-2 应力腐蚀

因为金属的电化学腐蚀就是金属与接触的气体或液体发生电化学作用而引起的，所以对金属的腐蚀进行防护，就是阻止这种作用的发生。为此，可以改变金属的成分，提高抗蚀能力；或采取使金属与外界隔绝的保护层法；或使腐蚀反应按照人们预定方向进行的电化学保护法，等等，现分别叙述如下。

1. 保护层法

在金属表面上涂漆，使金属与周围环境隔绝，金属表面就不能发生电化学腐蚀。

保护层法除了涂油漆外，还有搪瓷、敷以塑料薄膜和铬钼涂层等。此外，可以经过化学处理形成耐腐蚀的氧化膜或磷酸盐膜；还可用喷镀、电镀在金属表面覆盖一层稳定的金属保护膜。

2. 电化学保护法

1) 牺牲阳极保护法（阴极保护法）。用电化学的方法使被保护的金属作为阴极，而用辅助电极作为阳极，这样被腐蚀的就是辅助电极的金属（牺牲阳极）。例如，在海船的舵和船体上以及机件的冷却腔内镶有一定数量的锌块，由于锌比钢、铁活泼，在海水中（电解质溶液）中，锌是阳极，舵和船体等是阴极，这样只有锌在不断地溶解而被腐蚀，而作为阴极的船体钢板和舵则得到了保护。

2)外加电流保护法(或称静电保护法)。将被保护的金属与直流电源的负极相接作为阴极,另一附加电极与直流电源的正极相接作为阳极。阳极可选用不溶性的合金材料。这样,只要消耗一定量的电,就能对阴极起到保护作用。

3.正确选用材料和合理设计金属零件的结构

金属由于成分不同,抗腐蚀能力也不同。例如钢铁中加入适量的铬、镍或钛,就成为耐腐蚀性能较好的不锈钢(镍铬钢或钛钢)。但是,即使不锈钢,其耐腐蚀的性能也会随使用地方而异,因此必须根据实际要求正确选用金属材料。例如船上使用较多的铜质合金等。此外,应合理设计金属零件的结构,以避免发生腐蚀的机会。

四、穴 蚀

穴蚀又称空泡腐蚀或气蚀、麻蚀。产生穴蚀的主要原因是由于液体流速的变化而引起压力的变化。在某种条件下,当液体流速升高使其压力降低到一定程度时,就会从液体中析出气泡,这些气泡随液体流入高压区时,在高压作用下迅速破裂,此时产生很高的局部压力,对机件金属表面造成高压冲击作用(最大压力可达数百个兆帕^①,即数千个工程大气压),使金属颗粒脱落,而形成穴蚀。穴蚀的结果,在零件表面出现大量的局部麻点或蜂窝状凹坑,并成片分布,严重时会造成穿孔。这种破坏是由穴蚀和电化学腐蚀作用的结果。

在船舶机件中发生穴蚀的有气缸套冷却面(多为筒状活塞垂直于曲轴中心线的气缸套外表面上)、高压油泵柱塞上的螺旋槽附近和受交变负荷作用的轴承油槽、油孔周围(中、高速机的曲柄销轴承)以及螺旋桨桨叶的边缘处。上述机件产生穴蚀的具体条件和原因将在各机件的故障分析中详细讨论。

五、烧 蚀

组成柴油机燃烧室的各零件除受很高的爆炸压力外,还受到高温燃气的作用。这些零件与高温燃气或火焰直接接触,同时还因冷却不良和传热不佳等原因,使零件局部过热,造成零件表面的烧伤。此外,还会因热应力产生变形和裂纹以致损坏。所以,当零件局部温度突然升高后,上述几种作用的结果就会使零件表面破坏形成烧伤。

烧伤大多是由于高温腐蚀(钎腐蚀)造成的。这种烧伤在活塞顶部和排气阀盘处最容易发生,详见这些零件的故障分析。

第二节 柴油机零件的摩擦和磨损

船机零件的磨损是零件损伤中最常见的一种形式。组成运动副的零件在机器运转中必然产生磨损。零件的磨损是由于接触表面相互摩擦的结果。

一、摩 擦

摩擦的基本形式有三种:滑动摩擦、滚动摩擦和复合摩擦。复合摩擦具有滚动摩擦和滑动摩擦两种形式。船舶机器上大多为滑动摩擦。

根据运动副摩擦表面润滑状态的特征,可将滑动摩擦分为以下几种。

① 在国际单位制中,压力单位采用帕斯卡,简称帕(1帕=1牛/米²);在工程单位制中,压力单位采用千克力/厘米²(工程大气压)。二者间的换算关系为1千克力/厘米²=9.80665×10⁴帕。

(一)干摩擦

在组成运动副零件的摩擦面之间没有润滑油膜，而摩擦表面金属直接接触，这种摩擦称为干摩擦。

干摩擦的摩擦系数很大，接触表面间的磨损也很严重。当摩擦的局部高温达到零件金属材料的熔化点时，就会发生金属的熔化和粘着，例如轴瓦合金的烧熔或活塞与缸套的粘咬。

(二)液摩擦

组成运动副零件的摩擦表面完全被润滑油隔开，即形成完整的润滑油膜，如图1-3所示，这种摩擦称为液摩擦。

液摩擦的摩擦系数最小，运动副零件的磨损也最小，因此液摩擦是一种理想的摩擦。在机器中要建立液摩擦，需要具备以下几个条件：

1. 运动副零件间要有足够高的相对滑动速度；
2. 运动副零件的摩擦表面要有较高的光洁度和精度；
3. 运动副零件的摩擦表面间的配合间隙适当；
4. 保证润滑油连续不断的供给；
5. 在指定的温度下有固定的润滑油粘度。

在满足上述条件的情况下，运动副零件的间隙中就能建立起楔形油膜，从而使运动副零件表面金属不致发生直接接触，而形成液摩擦。但是船舶机器大都是低速的，因此要建立液摩擦较为困难。特别是往复运动副零件间（如活塞环与气缸套），更不容易建立油楔和实现液摩擦。

(三)边界摩擦

边界摩擦介于液摩擦和干摩擦之间，其特点是在运动副零件的摩擦面之间有一层极薄的润滑油膜（油膜厚度 ≤ 0.1 微米），这层油膜强度很大，能承受很大的压力不致破裂，摩擦系数较小。由于这层油膜的存在，可减少运动副摩擦表面上凸起部分的直接接触，所以可以减少磨损。但当压力很大时，运动副零件摩擦表面上的凸起部分尖峰就会刺破油膜而直接接触，因此也会发生磨损。由此可知，边界摩擦只能减少磨损而不可能避免磨损，如图1-4所示。

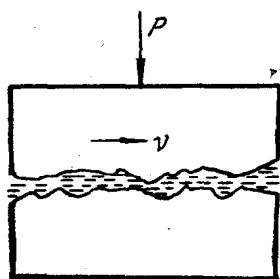


图1-3 液摩擦示意图
 P -零件所受压力； v -零件运动速度

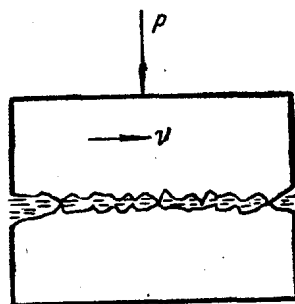


图1-4 边界摩擦示意图
 P -作用到零件上的压力； v -运动速度

(四)半干摩擦和半液摩擦

在运动副零件的摩擦面之间同时存在液摩擦和干摩擦，其中以干摩擦为主的称为半干摩擦，而以液摩擦为主的称为半液摩擦。

二、磨 损

磨损是运动副零件损坏的最普遍的一种形式，也是缩短机器零件使用寿命的主要因素。因为摩擦和磨损现象是很复杂的，与很多因素有关，所以将磨损概括地分为自然磨损和事故磨损两种。所谓自然磨损，就是在正常使用条件下运动副零件摩擦表面间所产生的磨损，这种磨损无法避免，只能设法减少。事故磨损是由于对机器使用和维护不当或由于设计和制造上的缺陷所造成的，磨损速度很快。这种磨损是可以避免的，而且应当避免。实际上，轮机人员在日常管理工作中做了大量的减少磨损和延长零件使用寿命的维护保养工作。如经常检查各运动部位有无发热现象，供给适量清洁的润滑油以保证润滑，定期拆检和清洗等工作，都是为了减少磨损和避免事故性磨损。运动副零件的磨损大都是不均匀的，均匀磨损是很少见到的。这主要是因为柴油机运动副零件的受力大小是变化的，而且带有冲击性。轴和孔组成的运动副经磨损后会出现椭圆度和锥度，而由平面组成的运动副则会产生不平直度，这些将在有关运动副零件中具体讨论。磨损的另一种形式是运动副零件摩擦表面上产生刮纹或凹痕，这大都是由于润滑油不清洁造成的。

在机器运转中造成运动副零件磨损的原因很多，但主要有以下三点。

(一) 磨料磨损

经过机械加工的零件表面总会有一定的粗糙度，当组成运动副的两个零件相对运动时，相互作用的表面凸出部分的金属就会直接接触，同时会互相嵌入，嵌入的深度不同，就会产生不同的变形。嵌入深的产生塑性变形并会产生金属的擦伤和脱落，嵌入浅的则产生弹性变形。这样多次作用的结果，就会引起表面层的硬化或疲劳，以致产生裂纹。最终表面被擦伤和脱落部分就成为磨料。此外，由于所加入的润滑油不清洁，其中的杂质成为磨料，这些磨料的存在加速了零件摩擦面间的磨损。

(二) 粘附磨损

在润滑油供给不充分或中断或在高温高压工作条件下，运动副零件摩擦表面间的油膜极易破坏或难以形成，使其处于边界摩擦或干摩擦状态，造成局部高温。当温度升高到零件材料熔点时，再加上分子引力的作用，两摩擦表面的局部金属互相扩散并熔合在一起，发生粘附现象。当继续运动时，就会在粘结处或者零件上产生金属的撕裂现象。例如柴油机的拉缸就是由于这种原因造成的。

(三) 腐蚀磨损

在机器运转过程中，组成运动副的零件摩擦表面与周围相接触的液体或气体（汽体）发生化学和电化学反应，因而产生化学或电化学反应。其腐蚀产物与基体金属结合较弱，容易脱落，形成磨料，加速了磨料磨损。例如柴油机气缸中的高温腐蚀（钒腐蚀）和低温腐蚀（硫酸腐蚀）的产物就会造成腐蚀磨损。

零件磨损的程度可用零件的尺寸、重量和体积的改变来衡量。

船机零件在运转过程中产生的磨损是有一定规律性的。任何一对运动副，在正常的使用条件下，工作的时间与磨损量的关系都会有如图 1-5 所示的规律。图中纵坐标（ S ）表示运

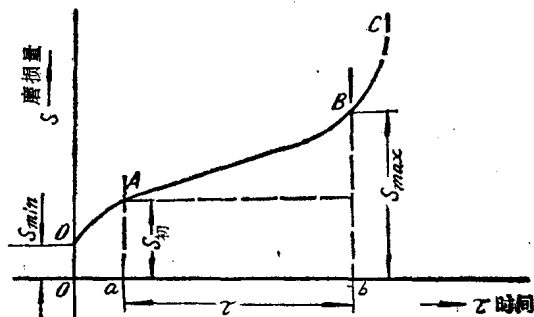


图1-5 组合运动件磨损规律曲线

动副零件的磨损量或间隙，横坐标 (τ) 表示工作时间。

图中曲线 $OABC$ 表示磨损过程，它分别表示三个不同的工作阶段。

OA 为磨损的第一阶段，称为磨合期（跑合期），表示运动副零件初期磨合的特征。间隙 $OO(S_{\min})$ 是运动副两零件间的最初配合间隙。从 OA 线段可以看出，在单位时间内磨损量较大，这是由于新加工零件的表面不光滑，所以在这个阶段运动副零件表面金属凸出部分尖峰相碰，很容易产生磨损。同时，相互接触部分会产生大量的热，破坏润滑油膜，加剧磨损。产生局部过热时则会使金属产生粘结，并在继续运动中撕裂，造成金属剥落，加速磨损。所以在磨合期间，运动副零件表面很快磨损。磨损结果，运动副零件的配合间隙增加到 $aA(S_{\text{初}})$ 。从实践可知，运动副零件的加工精度和光洁度越高，则磨合的时间可以缩短，并且磨合期中的零件磨损量也越小。

大量的航行实践说明，机器只有获得良好的磨合运转后，在进行正常使用时才能安全运转。所以要求柴油机所有的运动副零件在投入额定运转之前都要在尽量短的时间内获得良好的磨合，并要求磨损量最小，即完成有效的初期磨损。要达到上述要求，不但对运动副零件的修造质量（表面光洁度、精度、安装质量、材料等）提出较高的要求，而且要求磨合运转中的运转时间和负荷分配安排合适，并保证合适的润滑油品质和数量。

目前国内外都为适应初期磨合而采取了一些相应的措施。例如柴油机活塞环表面镀铜或车削细微的小槽，而缸套内表面采用波纹加工（以前是采用珩磨精加工），这样可以在短时间内完成气缸套的磨合。

AB 为磨损的第二阶段，称为正常磨损阶段（稳定磨损阶段）。曲线在这一阶段比较平缓，磨损量很小，表示磨损趋于稳定。因为运动副零件经过磨合运转后，工作表面已较光滑，产生局部过热的因素已经消除，所以磨损速度降低，零件进入正常工作阶段。在此阶段中，应加强维护保养工作，科学地管理机器，例如供给清洁适量的润滑油，控制合适的冷却水量和进、出口温度等，这样就可以延长零件正常运转阶段。

BC 为磨损的最后阶段（急剧磨损阶段）。磨损的绝对值最终达到最大值 ($S_{\max}$) 时，零件的尺寸和几何形状均发生较大的变化，同时运动副两个零件的配合性质受到破坏，产生敲击。

由于运动副零件磨损是不均匀的（产生椭圆度、锥度），因此会影响到油膜的形成和承压能力，引起局部发热，因而磨损加剧，使运动副零件失去正常工作状态，最终可能出现机损事故。所以，轮机管理人员在日常管理和检修工作中应及时进行测量，掌握运动副零件的磨损规律，在未到急剧磨损期之前，就应进行调整和修复，防止出现急剧磨损期和机损事故。

上面分析的磨损规律适用于任何运动副的零件。掌握磨损规律的目的是为了指导实践。当机器在正常运转条件下，运动副零件产生磨损，这是正常工作条件下出现的自然磨损，只能设法减轻，但是无法避免。因此，轮机管理人员应加强管理，做好维护保养，设法减轻磨损，延长零件使用寿命，保证机器安全可靠地运行。

影响运动副零件磨损的因素很多，而且很复杂，应根据具体运动副的情况进行具体分析和研究，消除其主要影响因素。主要影响因素可归纳为以下几点。

1. 运动副零件材料的影响

运动副零件的材料选择得是否合适，直接影响到零件的磨损情况。实践说明，采用耐磨材料作运动副的零件是提高耐磨性的主要措施。选用材料时，一定要根据零件的作用和工作条

件, 同时应考虑运动副两个零件的材料性质。例如柴油机气缸套和活塞环这一对运动副, 二者工作表面的硬度大小有一定关系, 一般要求活塞环的硬度要比气缸套的硬度高 HB10~20, 这主要是从提高缸套和活塞环的使用寿命考虑的。

2. 运动副零件结构不良的影响

运动副零件的结构不良, 对机件的耐磨性有很大影响。所以在设计新型机器时, 设计人员应尽量根据过去的经验做到零件结构形状设计得合理, 以消除或减少因此而造成的磨损。但是预先做到完全合理也较困难, 这要通过实践的总结才能确定。例如气缸套润滑油孔两侧增加的人字布油槽就是为了改进润滑、减少磨损而改进的结构。一般对船舶柴油机来说, 对耐磨性不利的零件结构主要有刚性不足和冷却不良以及润滑不良的结构。因为运动副刚性不足时容易变形, 破坏了运动副零件间的正确配合性质, 使磨损加剧。冷却不良的零件结构则会使运动副零件工作表面温度升高, 润滑油膜遭到破坏, 零件变形, 加速零件磨损。所以近来有些机型的气缸套上部设计有加强冷却的水导壁或钻有斜孔, 以加强冷却, 减少影响磨损的因素。

3. 运动副零件制造或修理质量不高的影响

零件制造或修理质量不高, 如尺寸、表面光洁度和几何形状等不符合技术要求, 覆盖层(电镀、喷镀、堆焊的金属)的机械物理性能不符合要求等, 都会降低零件的耐磨性。

运动副零件工作表面要有合适的光洁度。在一般情况下, 表面光洁度越低, 表面就越粗糙, 就越容易磨损。例如, 燃油喷射系统精密偶件的表面光洁度要求很高 ($\nabla 12$), 以减少磨损。而对气缸套和活塞环这对运动副工作表面光洁度的要求就不能太高, 因为表面太光滑不易贮存润滑油而造成润滑表面润滑不良, 反而加速磨损。因此, 必须根据具体运动副的工作性质和条件来确定适宜的表面光洁度等级。

零件的尺寸和几何精度不高, 会使配合间隙不合适, 进而影响其配合性质, 同样会增加磨损, 严重时还会影响机器的正常运转。

通过以上的讨论可知, 零件本身的材料、设计的结构和机械加工的好坏以及修理质量, 都会影响到零件的使用寿命, 所以在机器修造以后, 要对零件进行仔细的检查和验收。

4. 运动副零件工作条件的影响

运动副零件的工作条件是指运动副两个零件的相对运动形式、相对运动速度、单位载荷、运动路程以及冷却和润滑情况等。相对运动的形式主要是指摩擦种类(滑动或滚动)和运动方式(往复或回转)。在其它条件相同时, 滚动摩擦的磨损小于滑动摩擦时的磨损。从运动方式来看, 往复运动的润滑要比回转运动的困难, 所以往复运动的磨损大于回转运动的磨损。

相对运动速度高时容易建立液摩擦, 但是在有负荷的情况下, 相对运动速度越高, 相应产生的热量就越增多, 因而会对磨损量有所影响。所以, 在一定的载荷下, 有一个使磨损最小的最佳速度范围。

润滑油品质的好坏和数量的大小对运动副零件磨损的影响也是很大的。要求润滑油具有合适的粘度, 以利于油膜(或油楔)的建立; 同时要求润滑油的抗氧化安定性良好, 不含机械杂质, 以利于减少磨损。

对润滑方式也要特别注意。工作条件恶劣的运动机件应采用强力润滑(如气缸润滑), 并要保证润滑油连续不断的供给, 以便形成连续均匀的油膜(或油楔)。

对于冷却方式和冷却效果也要非常重视, 这些条件对磨损也是有很大影响的。

5. 机器的运转管理和维护保养的影响

作为一个轮机管理人员,应当对自己所管理机器的结构和性能非常了解,并能正确而科学地使用和管理,及时维护保养,使之始终处于良好的技术状态,这样就会减少机件磨损,延长机器的使用寿命。为了达到上述要求,轮机管理人员应根据说明书或船舶检验部门的规定对机器进行有计划的检查和测量,并及时调整和修复。同时,除保证连续不断地供给适量的润滑油和冷却水外,还要注意滑油品质的检验和冷却水质的处理,并勤于认真观察和仔细做好记录,及时消除不利因素,使机器始终保持良好的技术状态,保证船舶安全航行。

第三节 柴油机零件损伤的检查

为了使船舶机器始终处于良好的技术状态,轮机管理人员必须对自己所使用和管理机器定期拆检和测量,掌握机件的工作情况和各运动副零件间的配合间隙是否符合说明书的规定,同时做好记录,以便正确判断机器内部是否存在问题,及时调整和修复。这样既可消除事故苗子,又可节省修理费用和缩短进厂修理时间。

在一般情况下,对零件的磨损情况可以采用普通量具进行测量,对裂纹等可用目测法、听响法和着色法等进行检查。当船舶进厂修理时,对一些重要的零件可以采用无损探伤检验,例如用磁力探伤、超声波探伤、X射线和 γ 射线等方法检验。下边仅就我国目前常用的检验方法作一简单介绍。

一、零件缺陷的一般检验方法

在船上或工厂检修时,可根据具体情况采用相应的方法。

(一)目测法

目测法是直接用肉眼或借助放大镜等来观察和判断零件表面缺陷的方法。这种方法只适用于有明显缺陷的零件检查。

(二)听响法

听响法是在检验时用小锤敲击零件,根据发出的声音来判断零件有无缺陷。声音清脆表明零件没有缺陷,或者合金与基体金属结合良好(例如轴承合金与瓦壳的结合);声音沙哑说明零件内部有缺陷或者是合金与基体金属结合不良,在某处存在脱壳现象。在修船中常用此法检查轴瓦是否有脱壳现象。这种方法只能获得一个大概的结果,而且在很大程度上决定于检查人员的经验。但由于听响法简便、灵活、迅速,所以不论在船上或船厂均得到了广泛使用。

(三)测量法

测量法是在检查磨损和腐蚀的零件时,采用量具直接测量零件的形状和尺寸的变化情况。如对活塞和气缸套的直径可用外径千分尺、内径千分尺、内径百分表等进行椭圆度和锥度的测量。在主机和轴系找正时,可以采用直尺、塞尺、千分尺或光学仪器以及激光等。在测量和检验时,可根据不同的零件采用不同的量具或量仪。目前激光技术发展很快,在修造船的检验上已逐步采用。

(四)液体压力试验法

某些船机零件在工作时必须具有较高的密封性,保证不漏汽(气)、水或油。例如组成柴油机燃烧室的气缸套、气缸盖和活塞等是在受高温高压燃气的条件下工作,所以除要求其

材料具有耐热性和足够的强度和刚度外，还要求这些零件在铸造时不产生气孔、缩孔等缺陷，否则在高压作用下就会产生渗漏，以致严重影响柴油机的正常工作。因此，对容纳气体或液体的零件（如气缸盖、缸套、活塞、空气瓶、锅炉和管系等），均需进行液压或气压试验。

在进行检验之前，先将被检验的零件或部件的所有孔洞全部堵塞起来，然后注满液体，按规范要求加压到试验压力，并保持一段时间，观察零件表面上有无渗漏现象。如有渗漏现象，说明该机件有缺陷，不能使用。例如气缸上部的水压试验，如图 1-6 所示，试验压力为 $1.5P_z$ （ P_z 为最高燃烧压力）。这种试验方法很符合零件实际所处的工作条件，所以可靠性强。我国船舶检验部门和修造船规范中对船机具体零件的水压试验均有详细规定，检验时必须严格参照。

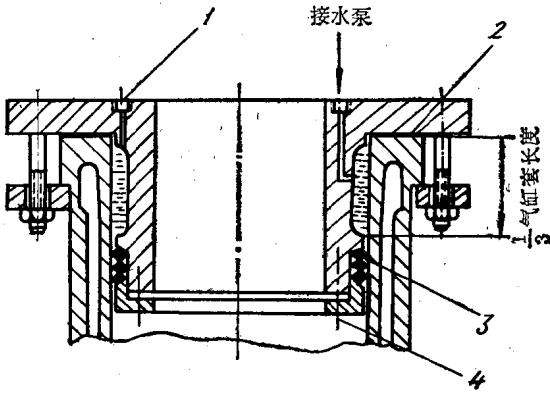


图1-6 气缸套水压试验

1-装放泄阀；2-垫圈；3-填料圈；4-螺钉

柴油机各零部件的液压或空压试验要求见表 1-1。

液压和空压试验标准

表1-1

序号	零 部 件 的 名 称	液 压 形 式		附 注
		液 压	空 压	
1	机座(对可拆的底盘)	灌 注		检查接头和焊缝或铸件紧密性程度
2	单独的气缸、气缸体	$1.5P$		水 套 空 间
3	气 缸 套	$1.5P_z$		从衬套凸缘向下在衬套长度 $1/3$ 处高压空间内
		不小于 5公斤力/厘米 ² (4.9×10^5 帕)		对衬套其他部分（包括二冲程发动机衬套上气口的区域）
		不小于 5公斤力/厘米 ² (4.9×10^5 帕)		对内径小于200毫米、外部表面进行加工的衬套，可沿衬套全长进行试验
4	气缸衬套的密封装置	$1.5P$		与气缸套或机身装置在一起后形成的水套空间
5	气缸盖或气缸头	$1.5P$		冷 却 空 间
		$1.5P_z$		从燃烧室方面
6	进、排气的阀体	$1.5P$		冷 却 空 间
7	活 塞	$1.5P$		冷 却 空 间
		$1.5P_z$		在压缩空间方面，仅对没有加工的且无冷却空间的顶部而言
8	活塞式扫气泵气缸	$1.5P$		空 气 腔

表中： P_z ——最高燃烧压力，
 P ——工作压力。

(五)粉剂显痕法

粉剂显痕法主要包括三种方法，即煤油白粉法、荧光法和着色法。此三种方法都是利用