

中等专业学校
教学用书

ZHONGDENG
ZHUANYE
XUEXIAO
JIAOXUE
YONGSHU

机械维护修理 与安装

冶金工业出版社

中等专业学校教学用书

机械维护修理 与 安 装

重庆钢铁专科学校 杨祖孝 主编

冶金工业出版社

中等专业学校教学用书

机械维护修理与安装

重庆钢铁专科学校 杨祖孝 主编

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街海润院北巷22号)

新华书店总店科技发行所发行

怀柔东茶坞印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张14.75 字数354千字

1990年5月第一版 1995年7月第三次印刷

印数19001~21000

ISBN 7-5024-0708-1

TH·41 (课) 定价8.70元

结 论

从事机械设备维护修理与安装的工作，首先要研究机械设备的各种损坏机理，分析其原因，从而找出解决问题的措施，以保证新安装的机械设备迅速投入生产；使现有机械设备保持良好的技术状态和工作性能，最大限度地延长其使用寿命；保证产品质量，最终保证生产顺利进行。

按照设备综合工程学的观点，设备维修具有三大侧面，即技术侧面、经济侧面和经营侧面。其中技术侧面包括日常保养技术（润滑、清洁、紧固和调整）、设备诊断技术、修理技术和设备的更新与改造等；经济侧面包括维修的经济性评价、维修费和劣化损失、固定资产的转移和折旧；经营侧面包括维修的方针和目标、维修组织和人员、维修管理体系等。维修的三个侧面之间有着密切的关系，技术侧面是以设备硬件为对象，从物的角度控制维修活动；经济侧面是对设备所进行的经济价值的考核，是从金钱的角度控制维修活动；经营管理侧面是从经营管理等“软件”的措施方面来控制维修，即从人的角度来控制维修。对维修系统来讲，三者缺一不可。对机械的维修和管理人员的要求，必须树立全面理解和实施维修内容的观点。

机械设备维护修理的历史发展，大体上经历了四个阶段：

1) 事后修理阶段——即自从有了机械以来，维修工作就和机械并存，并随着生产的发展而发展。但是一直到十九世纪，努力提高设备利用率，减少运转维修费用，以便增加利润的想法都还未出现，对机械的故障只是在发生了以后才去处理，即事后修理方式。

2) 预防维修阶段——人类历史进入二十世纪后，生产有了很大发展，出现了以福特汽车装配线为代表的流水生产作业，生产方式由单件生产转向批量生产，生产效率飞跃提高。然而，机械故障对生产的影响显著增加，某一工序出问题，则全线受影响，某一环节停止运转，则全线停工，因而出现了设备利用率的问题。在这样的背景下，预防维修的观点应运而生。这种观点认为设备和人一样，一进入老年期，由于每个零部件劣化，故障频发，采取在进入老年期以前，将劣化了的零部件更换下来，就能预防故障的发生。具体讲，就是对设备进行定期检查和定期修理。这种维修方式在50年代得到了普遍推广，从此开始了从组织上把设备维修管理起来。但是，在这个阶段，由于不能定量地掌握设备的劣化和故障，对维修周期还只能靠经验来确定。这样出现两个问题：一是为了保证安全，必然人为地缩短维修周期，增加不必要的检修次数；二是在维修时，可能出现一些人为差错，增大设备初期故障的机率。

3) 可靠性管理引入维修阶段——第二次世界大战期间，美国为了应付军用装备的频繁损伤和故障，开始有组织地推进了可靠性研究。最先是研究电子管元件可靠性开始的，后来发展到设计电子装置时，必须明确给定可靠度的目标值，在使用过程中，还必须编制实际的可靠度。在1952~1957年间美国电子设备可靠性咨询组发表了一个报告书，此报告指出了编制可靠度的基本思想和方法，成了可靠性工程学的第一篇资料。到了60年代初，可靠性工程学基本确立。可靠性工程学是以概率统计方法为基础，利用可靠度和故障率的概率形式，把设备的状态描述出来，定量地讨论设备维修问题。这是一个很大的进

步,它意味着人们开始用工程学的方法进行维修管理。可靠性工程学在设备管理领域也得到应用,早在60年代,设备的可靠性设计思想和维修性设计思想就已经得到普及。其后,随着经济的增长,不仅电子领域,而且在汽车、航空、原子能等各个方面,可靠性技术都得到了广泛的应用。使用可靠性管理维修方式代替定期大修的维修方式,利用监测方法,测定设备零部件的可靠度,如果其值超过某一标准值,进行有针对性的计划维修。这样,就能够取消不必要的大修,能够减少维修费用,减少因大修而产生的初期故障。实践证明效果是好的。但是,这种维修方式是建立在概率统计基础上的,对同一机型多台设备有效,对不同机型的机械组成的作业线,不可能用统计来掌握设备的状态,不能做出概率性的结论,从而很难制定出具体的维修计划。因而,对多数机械设备来说,不能依靠可靠性工程学进行维修管理。

4) 预知维修阶段——随着科学技术的发展,现代机械设备及其零部件的可靠性要求和需要及时排除故障的要求越来越高,尤其在宇航开发部门更是如此,必须对每台设备、仪器进行严格控制和管理。因而,在60年代中期,这些部门对设备的动态过程进行了大量研究工作,寻找各种措施对设备状态和异常进行诊断和监测,到60年代末期,便开发成功了设备系统各种故障的检测技术和诊断技术。一进入70年代,设备诊断技术开始被应用到设备维修活动中。过去对个别设备不能采取可靠性管理方式,现在由于有了设备诊断技术能准确掌握住每台设备的状态,从而能实施恰当的维修。这是一种新的维修方式,称之为预知维修,或状态维修。此外,对能够采用可靠性管理方式进行维修的设备,也可以采用设备诊断技术,获得每台设备的正确数据,实行预知维修,从而进一步加强了可靠性管理维修方法。

那么,到21世纪初,我国的机械维修发展的趋势又将如何呢?研究这个问题,既不能脱离当前设备维修管理水平,又要充分估计当前科学技术的发展对维修行业的影响。根据国家提出的:“到本世纪末要把经济发达国家在70年或80年代初已经普及了的适用于我国的先进技术,逐步在我国国民经济各部门得到比较普遍的采用”的总要求。据分析推测,到下个世纪初,我国机械维修发展的总趋势将是:

1) 设备维修管理的指导思想是“为企业生产经营服务”;“为社会的经济效益服务”,设备管理要贯穿于设备整个寿命周期的全过程,从规划、设计、制造到安装调试、运转使用、维修补偿、改造更新,直至报废。在整个设备寿命周期中,都充分体现和贯穿安全性、可靠性、维修性和经济性的管理。在全国范围内,一些大型企业,“大而全”的体制还会在一个相当长的时期内存在,而中、小型企业则将从“大而全”的传统观念中解脱出来,维修社会化逐步形成体系。

2) 维修体制的模式将是:制造厂“无维修保养设计”、制造→用户使用、维修、反馈→制造厂(或专业化修理公司)进行定期修理→制造厂与用户相结合,规划新一代设备。大多数企业将不设自己的修理车间(厂),设备维修工作将委托原制造厂或专业化修理公司承担。设备用户只根据“维修指南”或“故障手册”进行日常维护或故障排除。

3) 设备维修制度将在广泛应用设备诊断技术的基础上,主要实行预知维修。到本世纪末,我国将基本建立自己的故障机理及信号数学模型化处理标准的诊断系统与方法。关键设备的状态监测和故障排除,将由设备自身使用微处理机技术与监测诊断技术相结合的“自动诊断信息技术”来进行。设备通过微处理机的程序处理,利用设备监测诊断技术将

设备每一系统的运行状态、动态精度、磨损情况、隐患发展和故障部位随时监测、显示和报警，并对部分运行状态进行自动记录和调节，对已接近磨损极限的零件自动报警或停机，并请修理人员进行检修；单台设备随着标准化的发展或通过更新改造后，标准化、通用化水平的提高，各部均为系列结构。同型号数量多的可采用部件储备、整体检修，这样可使设备开动率达99%以上，几乎没有故障停机时间，从而提高维修的经济效益。

4) 21世纪初的维修人员，没有大专文化水平是难以胜任工作的。维修系统的教育将自成体系，它以修理部门为主，由院（校）、本企业和制造厂三结合分工培训，对维修人员进行补充更新知识的继续教育，教育的模式是教育—劳动—教育—劳动的循环，不断培养和提高“机电一体化”的维修专业人员。

当前，我们面临的任务是迅速提高设备技术水平，抓好人才的开发和培养，增强管理体制的适应性和稳定性，迈好第一步，为第二步大发展作好准备。现在，我国冶金设备基本处于陈旧落后状况。为此，各企业都要坚持技术改造，结合实际情况，制定主要生产设备升级规划，确定既先进又切实可行的设备升级率，努力提高设备技术水平；要改进和完善设备的维修制度，继续开展点检定期修理制试点推广和设备状态监测、故障诊断工作，为由计划检修制过渡到预知维修制创造条件；贯彻“逢修必改”的方针，充分利用检修机会，采用新技术对设备进行改造，对主要生产设备少搞或不搞“恢复性大修”；加速提高设备系统职工队伍的技术素质，通过高等院（校）培养具有现代维修管理知识和技术的人才。对在职管理干部进行“综合工程学”、“设备技术经济分析”、“设备状态监测与故障诊断技术”等方面的专业教育。对技术工人加强设备知识、操作技能和维修知识的培训，举办高级技工培训班，培养高级技工。

本课程属专业课之一，它在现场的适用性很强，是设备维修人员必修课程。根据教学大纲要求，本书主要讲述以下内容：

1) 机械故障的分析，机械故障的类型，机械故障的分布规律，引起机械故障（零件失效）的原因及其影响因素，机械故障的静、动态诊断技术等。其中，设备诊断技术是近20年发展起来的最新技术成果，为适应维修制度的变革，仅作初步介绍。

2) 机械设备的润滑原理，润滑方式和润滑材料的选择，润滑设备的结构原理，润滑系统的设计与计算，典型零部件的润滑。由于现代化生产向大型、连续、高速、自动化方向发展，对机械设备的润滑要求愈来愈高。为此，在这部分内容中，加强了边界润滑的论述；对润滑油的粘度单位和标号均采用新单位制和新标号；增加了新品种润滑油、脂介绍；对润滑装置进行了扬弃，增加了干油喷射润滑和油汽润滑等新技术介绍。

3) 机械设备维护修理与安装的基本理论和方法。具体包括机械零部件的装配、机械维修与一般维修方法、机械设备的安装等。其中，对某些新工艺作了适当介绍，如点检维修制；网络计划技术；联轴器用百分表找正的方法；液压无键连接；用喷涂、刷镀、粘接法进行修复；环氧树脂砂浆粘结地脚螺丝；座浆法；无垫板安装等。

本课程实践性很强，在学习过程中，既要注重基本理论知识，又要紧密联系实际，注意研究机械维护修理与安装的技术和管理的实际问题。

第一章 机械故障的分析

第一节 机械故障

一、机械故障的概念

所谓机械故障，是指机械丧失了它所被要求的规定性能的状态。机械发生故障后，其技术经济指标就会显著改变而达不到规定的要求。如原动机功率降低，传动系统失去平衡，噪声增大，工作机构能力下降，润滑油的消耗增加等等。

机械故障表现在它的结构上主要是零部件损坏和部件之间相互关系的破坏。如零件的断裂、变形、配合件的间隙增大或过盈丧失，固定和紧固装置松动和失效等。

二、机械故障的类型

机械故障分类方法很多，主要有三种。

1. 按故障发生的时间性可分为渐发性故障、突发性故障和复合型故障。

(1) 渐发性故障 这是由于机械产品参数的劣化过程（磨损、腐蚀、疲劳、老化）逐渐发展而形成的。它的主要特点是故障发生可能性的大小与使用时间有关，使用的时间越长，发生故障的可能性就越大。大部分机器的故障都属于这类故障。这类故障只是在机械设备的寿命的后期才明显地表现出来。这种故障一经发生，就标志着机械设备寿命的终结，需要进行大修。由于这种故障的渐发性，它是可以预测的。

(2) 突发性故障 这是由于各种不利因素和偶然的外界影响共同作用的结果。这种故障发生的特点是具有偶然性，一般与使用的时间无关，因而这种故障是难以预测的，但它一般容易排除。这类故障的例子有：因润滑油中断而零件产生热变形裂纹；因机械使用不当或出现超负荷现象而引起零件折断；因各参数达到极端值而引起零件变形和断裂等等。

(3) 复合型故障 这种故障包括了上述两种故障的特征。其故障发生的时间是不定的，并与设备的状态无关，而设备工作能力耗损过程的速度则与设备工作能力耗损的性能有关。如由于零件内部存在着应力集中，当受到外界对机器作用的最大冲击后，随机器的继续使用，就可能逐渐发生裂纹。

2. 按故障出现的情况可分为实际（已发生）故障和潜在（可能发生）故障。

(1) 实际故障 实际故障是指机械设备丧失了它的应有功能或参数（特性），超出规定的指标或根本不能工作，也可能使机械加工精度破坏，传动效率降低，速度达不到标准值等等。

(2) 潜在故障 潜在故障和渐进性故障相联系，当故障是在逐渐发展中，但尚未在功能和特性上表现出来，而同时又接近萌芽的阶段时（当这种情况能够鉴别出来时），即认为也是一种故障现象，并称之为潜在故障。例如，零件在疲劳破坏过程中，其裂纹的深度是逐渐扩展的，同时其深度又是可以探测的。当探测到扩展的深度已接近于允许的临界值时，便认为是存在潜在故障。必须按实际故障一样来处理，探明了机械的潜在故障，就有可能在机械达到功能故障之前排除，这有利于保持机械完好状态，避免因发生功能性

故障而可能带来的不利后果，这在机械使用和维修中是有着重要意义的。

3. 根据故障发生的原因或性质不同可分为人为故障和自然故障

(1) 人为故障 由于维护和调整不当，违反操作规程或使用了质量不合格的零件和材料等，使各部机件加速磨损或改变其机械工作性能而引起的故障称为人为故障，这种故障是可以避免的。

(2) 自然故障 由于机械在使用过程中，因各部机件的自然磨损或物理化学变化造成零件的变形、断裂、蚀损等使机件失效所引起的故障，称自然故障。这种故障虽不可避免，但随着零件设计、制造、使用和修理水平的提高，可使机械有效工作时间大大延长，而使故障较迟发生。

故障和事故是有差别的，故障是指设备丧失了规定的性能；事故是指失去了安全性的状态，包括设备损坏和人身伤亡。换言之，故障是强调设备的可靠性，事故是强调设备和人身的安全性，在多数情况下要求安全性和可靠性兼顾，但有时，宁可放弃可靠性确保安全性，即安全第一。

三、一般机械的故障规律

机械在运行中发生的故障，随时间变化而变化的规律，叫一般机械的故障规律，如图1-1所示。此曲线称为“浴盆曲线”。图中横坐标为使用时间，纵坐标为失效率。这一变化过程主要分为三个阶段：第一阶段为早期故障期，即由于设计、制造、保管、运输等原因造成的故障，因此故障率一般较高。经过运转、跑合、调整，故障率将逐渐下降并趋于稳定。第二阶段为正常运转期，亦称随机故障期，此时设备的零件均未达到使用寿命，不易发

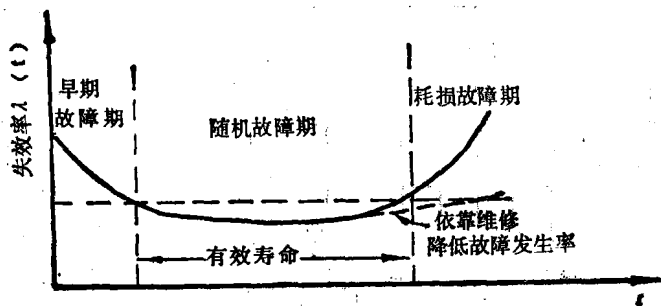


图 1-1 寿命特性曲线

生故障。但由于操作失误等原因，会导致发生故障。因此，此时故障的发生是随机性的。在严格操作、加强维护保养的情况下，故障率很小。这一阶段，为机械的有效寿命。第三阶段为耗损故障期，由于零部件的磨损、腐蚀以及疲劳等原因造成故障率上升。这时，如加强维护保养，及时更换即将到达寿命周期的零部件，则可使正常运行期延长。但如维修费过高，则应考虑设备更新。

从机械使用者的角度出发，对于曲线所表示的初期故障率，由于机械在出厂前已经过充分调整，可以认为已基本得到消除，因而可以不必考虑；随机故障通常容易排除，且一般不决定机械的寿命；唯有耗损故障才是影响机械有效寿命的决定因素，因而是主要研究对象。

第二节 机械故障发生的原因

为了合理地维护和修理机械设备，延长其使用寿命，首先必须充分了解故障发生的原因，只有如此，以后的故障诊断、维护检修才有理论依据。

机械设备越复杂,引起故障的原因便越多样化。一般认为有机械设备自身的缺陷(基因)和各种环境因素、时间因素的影响。机械设备本身的缺陷是由材料有缺陷和应力、人为差错(设计、制造、检验、维修、使用、操作不恰当)等原因造成。环境因素主要指灰尘、湿度、温度、有害介质等。环境因素和时间因素对各方面都有影响,无论是对直接引起机械故障的原因,还是对间接影响因素,乃至故障的结果都同时起作用。这种作用可能是诱发因素,也可能是扩大因素。环境因素是产生应力的原因,因而也是故障原因之一。由于机械设备的状况每时每刻都在发生变化,故障原因自然随时间而变化,因而,时间因素对故障出现的可能性,对故障出现的时刻都给予很大影响,况且时间和应力实际上是不

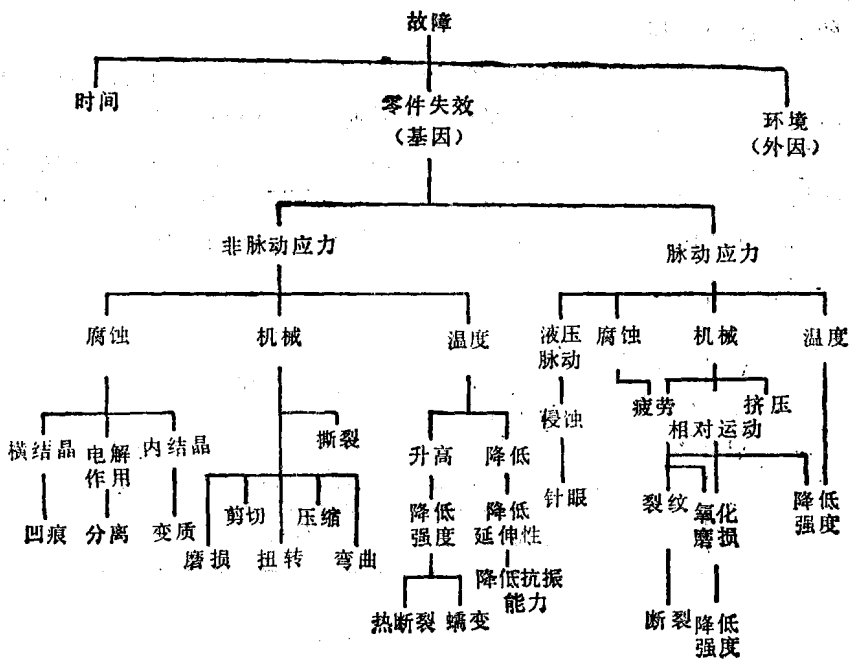


图 1-2 零件失效原因分析

能分开的。图1-2为零件失效原因分析，从中可以看出各种环境因素的影响作用。

此外，应该重视故障的波及作用。例如，某些零件、材料出现异常后，这种潜在故障将向整个零件扩展，并波及到其它零件或设备，使其发生故障。如果弄清了局部发生的异常和波及机理，并加以监测，控制波及作用，就可避免故障向其他层次扩展。

零件的失效是导致机械故障的主要原因。因此,研究零件的失效规律,找出其失效的原因和采取改善措施,以延迟失效的到来,这对减少机械故障的发生和延长机械的使用寿命,有着重大意义。零件失效的形式很多,本章着重介绍磨损、变形、断裂、腐蚀和蠕变损坏等。

一、磨损

(一) 概述

机械设备在工作过程中，相互接触的零件在相对运动时，表层材料不断发生损耗的过程或者产生残余变形的现象称为磨损。磨损的结果，使两相对运动的机件接触表面不断的有微粒脱落，表面性质、几何尺寸发生改变。

磨损是零件失效的主要形式。据统计，机械零件有75%是由于磨损而失效。美国、联邦德国、日本等国的统计表明，每年由于磨损而造成的损失高达数百亿美元。我国的初步统计，仅建材、冶金矿山、农机、煤炭和电力五个部门每年由于磨损而损耗的备件用钢就超过五百万吨，这不能不说是一个惊人的数字。正因为如此，磨损问题越来越受到重视。

冶金厂机械设备的工作特点是：高温、重负荷、冲击性突加载荷多、生产要求连续性、工作环境恶劣、铁末、尘屑、水汽、腐蚀性介质多，并不断受到化学的或电化学的作用。因此，极易引起机件的显著磨损。

(二) 磨损的类型

根据磨损产生的原因和磨损过程的本质，磨损可以分为四种类型。即粘着磨损、磨料磨损、疲劳磨损和腐蚀磨损。

1. 粘着磨损

两摩擦表面接触时，由于表面不平，发生的是点接触，在相对滑动和一定载荷作用下，在接触点发生塑性变形或剪切，使其表面膜破裂，摩擦表面温度升高，严重时表面金属会软化或熔化，此时，接触点产生粘着，然后出现粘着一剪断一再粘着一再剪断的循环过程，这就形成粘着磨损。

根据粘着程度的不同，粘着磨损的类型也不同。若剪切发生在粘着结合面上，表面转移的材料极轻微，则称“轻微磨损”，如缸套—活塞环的正常磨损。当剪切发生在软金属浅层里面，转移到硬金属表面上，称为“涂抹”，如重载蜗轮副的蜗杆的磨损。若剪切发生在软金属接近表面的地方，硬表面可能被划伤，称为“擦伤”，如滑动轴承的轴瓦与轴摩擦的“拉伤”。当剪切发生在摩擦副一方或两方金属较深的地方，称为“撕脱”，如滑动轴承的轴瓦与轴的焊合层在较深部位剪断时就是撕脱。若摩擦副之间咬死，不能相对运动，则称为“咬死”。如滑动轴承在油膜严重破坏的条件下，过热、表面流动、刮伤和撕脱不断发生时，又存在尺寸较大的异物硬粒部分嵌入在合金层中，则此异物与轴摩擦生热。上述两种作用叠加在一起，使接触面粘附力急剧增加，造成轴与滑动轴承抱合在一起，不能转动，相互咬死。

2. 磨料磨损

由于一个表面硬的凸起部分和另一表面接触，或者在两个摩擦面之间存在着硬的颗粒，或者这个颗粒嵌入两个摩擦面的一个面里，在发生相对运动后，使两个表面中某一个面的材料发生位移而造成的磨损称为磨料磨损。在农业、冶金、矿山、建筑、工程和运输等机械中许多零件与泥沙、矿物、铁屑、灰渣等直接摩擦，都会发生不同形式的磨料磨损。据统计，因磨料磨损而造成的损失，占整个工业范围内磨损损失的50%左右。

由于产生的条件有很大不同，磨料磨损一般可以分为如下三种类型：

1) 冶金机械的许多构件直接与灰渣、铁屑、矿石颗粒相接触，这些颗粒的硬度一般都很高，并且具有锐利的棱角，当以一定的压力或冲击力作用到金属表面上时，即从零件

表层凿下金属屑。这种磨损形式称为凿削磨料磨损。

2) 当磨料以很大压力作用于金属表面时(如破碎机工作时,矿石作用于颚板),在接触点引起很大压应力,这时,对韧性材料则引起变形和疲劳,对脆性材料则引起碎裂和剥落,从而引起表面的损伤。粗大颗粒的磨料进入摩擦副中的情况也与此相类似。零件产生这种磨损情况的条件是作用在磨料破碎点上的压应力必须大于此磨料的抗压强度。而许多磨料如(砂、石、铁屑)的抗压强度是较高的。因此把这种磨损称为高应力碾碎式磨料磨损。

3) 磨料以某种速度较自由地运动,并与摩擦表面相接触。磨料的摩擦表面的法向作用力甚小,如气(液)流携带磨料在工作表面作相对运动时,零件表面被擦伤,这种磨损称为低应力磨损。如烧结机用的抽风机叶轮、矿山用泥浆泵叶轮、高炉大小料钟等的磨损,都属于低应力磨料磨损。

3. 表面疲劳磨损

两接触面作滚动和滑动的复合摩擦时,在循环接触应力的作用下,使材料表面疲劳而产生物质损失的现象叫做表面疲劳磨损。如滚动轴承的滚动体表面、齿轮轮齿节圆附近,钢轨与轮箍接触表面等,常常出现小麻点或痘斑状凹坑,就是表面疲劳磨损所形成。

机件出现疲劳斑点之后,虽然设备可以运行,但是机械的振动和噪声会急剧增加,精度大幅度下降,设备失去原有的工作性能。因此,产品的质量下降,机件的寿命也要迅速缩短。

出现疲劳磨损的主要原因是:在滚动摩擦面上,两摩擦面接触的地方产生了接触应力,表层发生弹性变形。在表层内部产生了较大的切应力(这个薄弱区域最易产生裂纹)。由于接触应力的反复作用,在达到一定次数后,其表层内部的薄弱区开始产生裂纹,同时,在表层外部也因接触应力的反复作用而产生塑性变形,材料表面硬化,最后产生裂纹。总而言之,是在材料的表面一层产生了裂纹。因为最大切应力与压应力的方向呈 45° 角,所以,裂纹也都是与表面呈 45° 角。在裂纹形成的两个新表面之间,由于有压力的润滑油的楔入,使裂纹内壁产生巨大的内压力,迫使裂纹加深并扩展,这种裂纹的扩展延伸,就造成了麻点剥落。由此可见,接触应力是导致疲劳磨损的主要原因。降低接触应力,就能增加抵抗疲劳磨损的强度。当然改变材质也可以提高疲劳强度。此外,润滑剂对降低接触应力有重要作用,高粘度的油不易从摩擦面挤掉,有助于接触区域压力的均匀分布,从而降低了最高接触应力值。当摩擦面有充分的油量时,油膜可以吸收一部分冲击能量,从而降低了冲击载荷产生的接触应力值。例如某厂有两台(传动功率200kW)减速器,其中一台先投入生产,采用30号机械油润滑。运行两个月后,齿面就出现斑点;第二台换用28号轧钢机油,由于提高了用油粘度,运行了一年半的时间未出现疲劳磨损。

4. 腐蚀磨损

在摩擦过程中,金属同时与周围介质发生化学反应或电化学反应,使腐蚀和磨损共同作用而导致零件表面物质的损失,这种现象称为腐蚀磨损。

腐蚀磨损可分为氧化磨损和腐蚀介质磨损。大多数金属表面都有一层极薄的氧化膜,若氧化膜是脆性的或氧化速度小于磨损速度,则在摩擦过程中极易被磨掉,然后又产生新的氧化膜和又被磨掉,在氧化膜不断产生和磨掉的过程中,使零件表面产生物质损失,此即为氧化磨损,但氧化磨损速度一般较小。当周围介质中存在着腐蚀物质时,例如润滑油

中的酸度过高等，零件的腐蚀速度就会很快。和氧化磨损一样，腐蚀产物在零件表面生成，又在磨损表面磨去，如此反复交替进行而带来比氧化磨损高得多的物质损失，由此称为腐蚀介质磨损。这种化学—机械的复合形式的磨损过程，对一般耐磨材料同样有着很大破坏作用。

(三) 机械磨损的一般规律

机器在运转中，不同的构件由于磨损类型和工作条件不同，磨损的情况也不一样。但是，磨损的发展规律是共同的。试验结果表明，机件的正常磨损过程大致可分三个阶段（见图1-3）。

1. “跑合”阶段（曲线 O_1A 段） 在这个时期内，开始由于零件表面存在着加工后的不平度，在接触点上引起高接触应力，磨损速度很快，曲线急剧上升。随着机械运转的

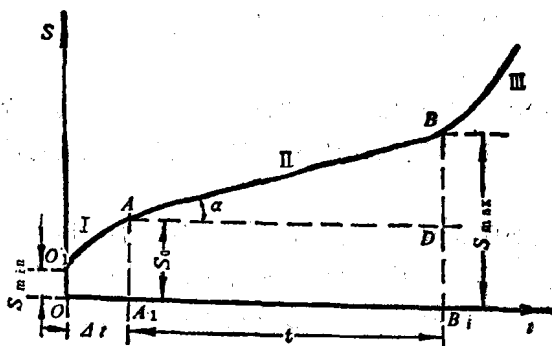


图 1-3 机械磨损发展的规律

时间延长，不平度凸峰被逐渐磨损，使摩擦表面的实际接触面逐渐增大，磨损速度逐渐减慢，曲线趋于 A 点时，逐渐变得平缓。间隙由 S_{min} 逐渐增大到 S_0 。

2. “稳定”磨损阶段（曲线 AB 段） 在这个时期内，由于机械已经过“跑合”，摩擦表面加工硬化，微观几何形状改变，从而建立了弹性接触的条件，同时在正常运转时，摩擦表面处于液体摩擦状态，只是在起动和停车过程中，才出现边界摩擦和半干摩擦情况，因此，磨损速度降低而且基本稳定，磨损量与时间成正比增加，间隙缓慢增大到 S_{max} 。

3. “急剧”磨损阶段（曲线 B 点以右部分） 经过 B 点以后，由于摩擦条件发生较大的变化（如温度急剧增加，金属组织发生变化），产生过大的间隙，增加了冲击，润滑油膜易破坏等。磨损速度急剧增加，致使机械效率下降，精度降低，出现异常的噪声和振动，最后导致意外事故。

学习机械磨损发展规律的意义在于：

第一，了解机件一般工作在“稳定”磨损阶段，一旦转入“急剧”磨损阶段，机件必须进行修理或更换，机件在两次修理中间的正常工作时间 t 可由下列公式算出：

$$tg \alpha = \frac{BD}{AD} = \frac{S_{max} - S_0}{t}$$

$$t = \frac{S_{\max} - S_0}{\operatorname{tg} \alpha}$$

式中 $\operatorname{tg} \alpha$ ——磨损强度。

第二，知道机械磨损发展过程是由自然（正常的）磨损和事故（过早的，迅速增长的或突然发生意外的）磨损组成。自然磨损是不可避免的现象，事故磨损可以延缓，甚至避免。我们的任务就是要采取措施，如提高机件的强度和耐磨性能，改善机件的工作条件，提高修理、装配的质量，特别是对机件进行良好的润滑和维护，从而减小磨损强度，尽量缩短“跑合”时间，达到增长机械正常工作时间，即延长机器使用寿命的目的。

（四）机械磨损的影响因素

影响机械磨损的主要因素有：零件材料、工作载荷、运动速度、温度、润滑、表面加工质量、装配和安装质量、机件结构特点及运动性质等。

1. 零件材料对磨损的影响

零件材料的耐磨性主要决定于它的硬度和韧性。硬度决定其表面抵抗变形的能力，但过高的硬度易使脆性增加，使材料表面产生磨粒状剥落；韧性则可防止磨粒的产生，提高其耐磨性能。

经过热处理或化学热处理的钢材，可以获得新的优良的性质，提高机件的耐磨性。有时，机件的表面需要提高耐磨性，可用表面火焰淬火或高周波淬火的方法获得。或者采用渗碳、渗氮、氰化的方法，使钢的表面具有较高的硬度和耐磨性。

在组合机件中，如轴承轴副中的转轴，由于是需要加工的主要机件，所以，应采用耐磨材料（如优质合金钢）来制造；对较简单的机件—轴承衬或轴瓦，则选用巴氏合金，铜基合金、铅基或铝基合金等较软质材料（又称减磨合金）来制造，以达到减小摩擦和耐磨的目的。

2. 机件工作载荷对磨损的影响

一般讲，单位压力愈大，机件磨损愈加剧。除了载荷大小之外，载荷特性对磨损有直接影响。如静载荷还是变载荷，有无冲击载荷，是短期还是长期载荷等。一般不应长期超负荷和承受冲击载荷。

3. 机件运动速度对磨损的影响

机件运行时，速度的高低、方向、变速与匀速、正转或反转、时开时停等，都对磨损有不同程度的影响。一般情况是在干摩擦条件下，速度愈高磨损愈快；有润滑油时速度愈高，愈易形成液体摩擦而减少磨损；机器的起动频率愈高，机件的磨损亦快。

4. 温度、湿度和环境对磨损的影响

温度主要影响润滑油吸附强度。润滑油膜有相当高的机械稳定性，但温度及化学稳定性较差，当在高温和化学变化时，润滑油便失去吸附性能。

机件工作的周围环境若受到水湿、水汽、煤气、灰尘、铁末或其它液体、气体的化学腐蚀介质等影响，都将导致和加速机件的氧化和腐蚀磨损。

5. 零件表面加工质量的影响

表面加工质量主要指机械加工质量，包括宏观几何形状、表面粗糙度和刀痕。

（1）宏观几何形状的影响 所谓宏观几何形状是指加工后实际形状与理想形状的偏

差，即加工精度，如椭圆度、不柱度、不平行度和不垂直度等，宏观几何形状的偏差使零件表面载荷分布不均匀，容易造成局部地方严重磨损。

(2) 表面粗糙度的影响 图 1-4 是试验测得的磨损量与表面粗糙度的关系曲线。在每种载荷下有一个最合理的粗糙度，其磨损量最小，轻载的合理粗糙度 (O_1 、 O_2) 要比重载小；在相同的载荷下，一般讲，粗糙度愈小，磨损愈小，但超过合理点 O_1 、 O_2 后磨损又会逐渐上升。这是因为过于光洁使接触表面增大，分子间吸引力增强，因而产生粘着

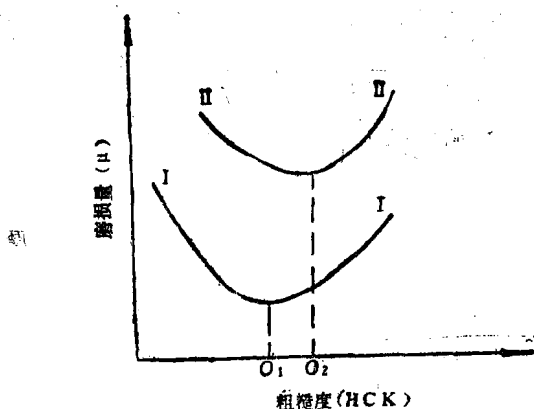


图 1-4 零件磨损量与表面粗糙度的关系

I—轻载；II—重载

磨损的可能性也就增大。

(3) 刀痕方向的影响 刀痕方向对磨损影响较大，如果两摩擦表面的刀痕方向是平行的，而与运动方向一致，则磨损小。如果两摩擦表面的刀痕方向平行，但与运动方向垂直，则磨损大。如刀痕方向与运动方向交叉时，则磨损在上述二者之间。

6. 润滑对磨损的影响

润滑对减少机件的磨损有着重要的作用。比如液体润滑状态能防止粘着磨损；供给摩擦副洁净的润滑油可以防止磨料磨损；正确的选择润滑材料能够减低腐蚀磨损和疲劳磨损等等。对机件进行良好的润滑，在摩擦副中保持足够的润滑剂，可以减少摩擦副的金属与金属的直接摩擦，降低功率消耗，延长机件使用寿命，保证设备正常运转。

7. 装配和安装质量对磨损的影响

机件的装配质量对磨损影响很大，特别是配合间隙不应过大或过小。间隙过小时，不易形成液体摩擦，容易产生高的摩擦热，而且不易散出，故易产生粘着磨损和摩擦副咬死现象。当间隙过大时，同样不易形成液体摩擦，而且会产生冲击载荷加剧磨损。装配好的部件或机器也应正确的安装。如果安装不正确，将会引起载荷分布不均匀或产生附加载荷，使机器运转不灵活，产生噪音和发热，造成机件过早的磨损。

8. 机件运动副结构特点及运动性质对磨损的影响

现以轴承副为例来说明机械运动副结构特点及运动性质对磨损的影响。图 1-5 a 为载荷方向固定并作用在转动件上，另一零件为固定件，则转动件受均匀磨损，固定件受局部磨损；b 和 d 为载荷作用于转动件，并以同一转速随转动件运转，这时转动件受局部磨

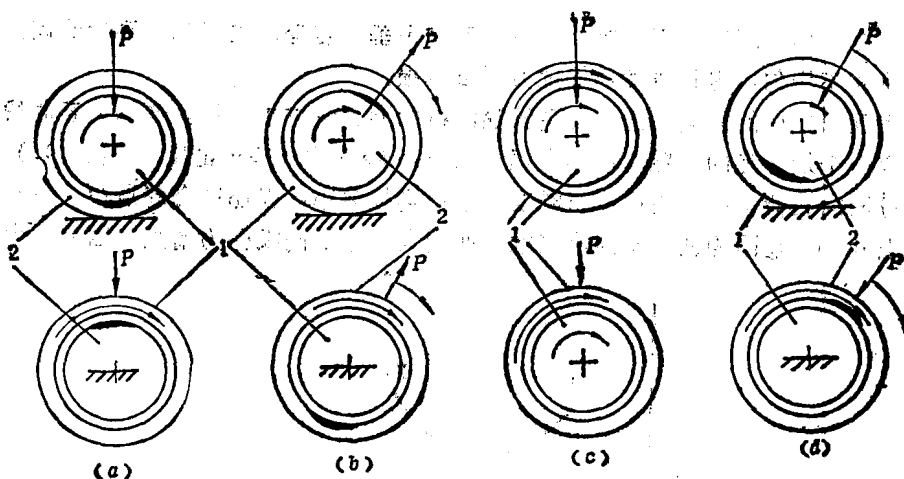


图 1-5 轴承副在不同的运动性质与不同的载荷方向作用下摩擦表面磨损的分布

a—载荷方向固定，并作用在转轴件上；b—载荷作用在转动件上；c—轴套与轴以不同速度旋转；d—载荷作用于转动件并随转轴转动
1—均匀磨损；2—局部磨损

损，固定件受均匀磨损；c 为轴承副的轴套与轴均以不同的转速绕其轴线沿同一方向旋转的情况，所受载荷方向不变，不论作用在轴颈上或轴套上，二者都受均匀磨损。

此外，摩擦的类型不同则磨损的情况也不一样。如滚动摩擦的磨损远远小于滑动摩擦的磨损，通常滚动摩擦为滑动摩擦磨损量的 $1/10 \sim 1/100$ 或更小。

二、零件的变形

机械在工作过程中，由于受力的作用，使机械的尺寸或形态改变的现象叫做变形。机件的变形分弹性变形和塑性变形两种，其中塑性变形易使机件失效。机件变形后，破坏了组装机件的相互关系，因此其使用寿命也缩短很多。

引起零件变形的主要原因是：①由于外载荷而产生的应力超过材料的屈服强度时，零件产生过应力永久变形；②温度升高，金属材料的原子热振动增大，临界切变抗力下降，容易产生滑移变形，使材料的屈服极限下降，或零件受热不均，各处温差较大，产生较大的热应力，引起零件变形；③由于残存的内应力，对影响零件的静强度和尺寸的稳定性，不仅使零件的弹性极限降低，还会产生减小内应力的塑性变形；④由于材料内部存在缺陷等。最后值得指出的是：引起零件的变形，不一定在单因素作用下一次产生，往往是几种原因的共同作用，多次变形累积的结果。

使用中的零件，变形是不可避免的，所以在机械大修时不能只检查配合面的磨损情况，对于相互位置精度也必须认真检查和修复。尤其对第一次大修机械的变形情况要注意检查、修复，因为零件在内应力作用下的变形，通常在 $12 \sim 20$ 个月内完成。

三、断裂

金属的完全破断谓之断裂。当金属材料在不同的情况下，局部破断（裂缝）发展到临界裂缝尺寸时，剩余截面所承受的外载荷即因超过其强度极限而导致完全破断。与磨损、变形相比，虽然零件因断裂而失效的机率较小，但是，零件的断裂往往会造成严重的机械

事故，产生严重的后果。

1. 断裂的类型

从不同的角度出发，零件的断裂可以有不同的分类方法，下面介绍两种。

(1) 按宏观形态可分为韧性断裂和脆性断裂。零件在外加载荷作用下，首先发生弹性变形，当载荷所引起的应力超出弹性极限时，材料发生塑性变形，载荷继续增加，应力超过强度极限时发生断裂，这样的断裂称之为韧性断裂；当载荷引起的应力达到材料的弹性极限或屈服点以前的断裂称为脆性断裂。其特点是：断裂前几乎不产生明显的塑性变形，断裂突然发生。

(2) 按载荷性质可分为一次加载断裂和疲劳断裂两种。一次加载断裂是指零件在一次静载下，或一次冲击载荷作用下发生的断裂。它包括静拉、压、弯、扭、剪、高温蠕变和冲击断裂。疲劳断裂是指零件在经历反复多次的应力后才发生的断裂。包括拉、压、弯、扭、接触和振动疲劳等。

零件在使用过程中发生断裂，约有60~80%属于疲劳断裂。其特点是断裂时的应力低于材料的抗拉强度或屈服极限。不论是脆性材料还是塑性材料，其疲劳断裂在宏观上均表现为脆性断裂。

2. 几种断口形貌

断口是指零件断裂后的自然表面。断口的结构与外貌直接记录了断裂的原因、过程和断裂瞬间矛盾诸方面的发展情况，是断裂原因分析的“物证”资料。

(1) 断裂前伴随大量大塑性变形的断口(如图1-6所示)其断口呈杯锥状，断口的底部，裂纹不规则地穿过晶粒，因而呈灰暗色的纤维状或鹅绒状，边缘有剪切唇，断口附近有明显的塑性变形。

(2) 脆性断裂的断口 其断口平齐光亮，且与正应力相垂直，断口上常有人字纹或放射花样，断口附近的截面的收缩很小，一般不超过3%。

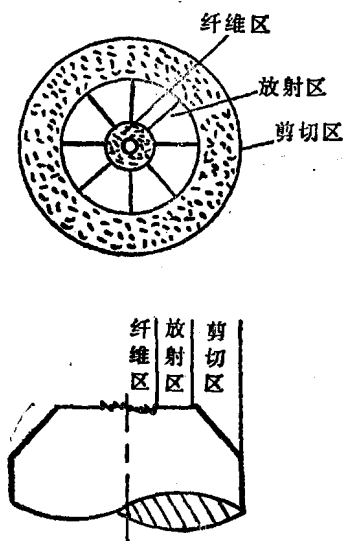


图 1-6 杯锥状断口示意图

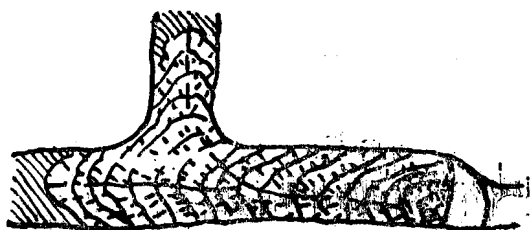


图 1-7 解理断裂人字纹状断口

(3) 解理断裂的断口(如图1-7所示)其表面平齐,呈结晶状,有许多强烈反光的小平面,有时呈放射状或人字形花样。解理断口微观形貌最主要的特征是河流状花样,如图1-8所示。

(4) 疲劳断裂的断口(如图1-9所示) 它有三个区域:疲劳核心区、疲劳裂纹扩展区和瞬时破断区。

疲劳核心区(疲劳源区)是疲劳裂纹最初形成的地方,用肉眼或低倍放大镜就能大致判断其位置。它一般总是发生在零件的表面,但若材料表面进行了强化或内部有缺陷,也在皮下或内部发生。在疲劳核心周围,往往存在着以疲劳源为焦点,非常光滑细洁、贝纹线不明显的狭小区域。疲劳破坏好象以它为中心,向外发射海滩状的疲劳弧带或贝纹线。



图 1-8 解理断裂口的“河流”状花样

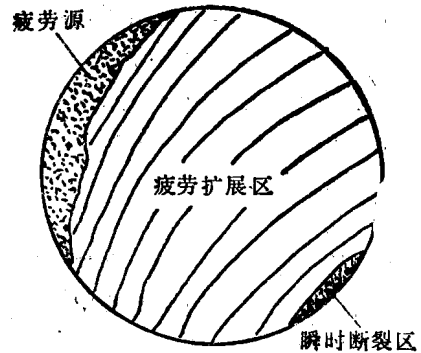


图 1-9 疲劳断口的宏观形貌

疲劳裂纹扩展区是疲劳断口上最重要的特征区域。它最明显的特征是常呈现宏观的疲劳弧带和微观的疲劳纹。疲劳弧带大致以疲劳源为核心,似水波形式向外扩展,形成许多同心圆或同心弧带,其方向与裂纹的扩展方向相垂直。

瞬时破断区是当疲劳裂纹扩展到临界尺寸时发生的快速破断区。其宏观特征与静载拉伸断口中快速破断的放射区及剪切唇相同。

3. 断口分析

断口分析是为了通过断裂零件破坏形貌的研究,推断断裂的性质和类别,分析、找出破坏的原因,提出防止断裂事故的措施。

零件断裂的原因是非常复杂的,因此断口分析的方法也是多种多样的。

(1) 实际破裂情况的现场调查 这是破断分析的第一步。零件破断后,有时会产生许多碎片。对于断口的碎片,都必须严加保护,避免氧化、腐蚀和污染。在未查清断口的重要特征和照像记录以前,不允许对断口进行清洗。另外,还应对零件的工作条件、运转情况以及周围环境等作详细调查研究。

(2) 断口的宏观分析 是指用肉眼或低倍放大镜(20倍以下),对断口进行观察和分析。分析前对油污应用汽油、丙酮或石油醚清洗、浸泡。对锈蚀比较严重的断口,采用化学法或电化学法除去氧化膜。

宏观分析能观察分析破断全貌、裂纹和零件形状的关系,断口与变形方向的关系、断口与受力状态的关系;能够初步判断裂纹源位置、破断性质与原因,缩小进一步分析研究