



高职高专“十二五”规划教材

机械维修基础

JIXIE WEIXIU JICHU

刘庆才 陈淑荣 主 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

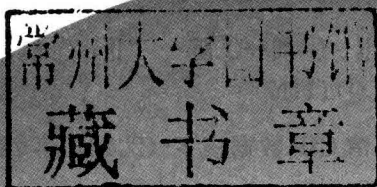


高职高专 “十二五” 规划教材

机械维修基础

JIXIE WEIXIU JICHU

主 编 刘庆才 陈淑荣
编 写 陈 沪 杨 进 龙勇云
主 审 陈选民



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为高职高专“十二五”规划教材。本书分为四个项目，分别阐述了设备零部件失效和设备保养、润滑，典型设备传动机构及零部件的装配、调试、修理，常见的零件维修技术，现代设备故障诊断技术。本书既考虑了设备维修的基本技能和知识，也兼顾了运用声、光、电、热等现代技术进行设备故障诊断的方法。具体课时可根据各校设备支持情况确定，以50~70学时为宜。

本书可作为高等职业技术学院机电类专业的教材，也可供其他院校师生参考使用，还可作为企业设备维修方面的培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

机械维修基础/刘庆才，陈淑荣主编. —北京：中国电力出版社，2012.12

高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-3800-5

I. ①机… II. ①刘…②陈… III. ①机械维修-高等职业教育-教材 IV. ①TH17

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第287833号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2013年1月第一版 2013年1月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 11印张 262千字

定价 20.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

随着经济的迅速发展,各种各样的机电设备得到了大量的应用。这些机电设备的功能日趋强大,自动化水平、复杂性也越来越高,因而故障率也随之提高。所有机电设备的维护需要由大量受过专门培训的、具有较高技能的人员进行,而具有较高专业技能的维修人员培养则是一个很艰巨的任务,需要解决各种各样的系统性问题,这些问题中最为突出的是教材的问题。由于高职教育与区域经济的对接问题,设备维修类教材也不可避免地需要体现适应区域经济的特点,因此,虽然市场上已经有一些类似教材,但是选择教材总是感到难以找到完全满足专业培养计划要求的教材,因此编者根据本校设备维修专业培养计划要求,着手编写了本书。

本书的编写具有以下特点:

(1) 主要按照现场机电设备机械系统维修的基础技术要求组织材料,对具体设备由于篇幅所限不做过多涉及;对基础的钳工技术,考虑到职业院校的钳工实训中已有介绍,在此也不再另做介绍。

(2) 全书内容按照设备保养、设备典型组成零部件的拆装与故障处理、常见的设备零件维修技术、设备的现代故障诊断技术四个部分来组织。

(3) 本书尽量按照行动导向指引的方式来安排内容,以适应高职教育的学生特点。

(4) 在强调维修基本技术的同时,本书也根据现代科学技术在设备维修与故障诊断领域的发展,重点选择介绍了红外热成像、振动分析、油液光谱分析、油液铁谱分析、设备噪声测试等故障诊断新技术,以求起到启发、引导的作用,同时希望促进新技术在设备管理中的应用。

(5) 对于类似金属切削机床、天车等通用设备的维修,因受篇幅所限,本书不做专门介绍。

本书由广州铁路职业技术学院刘庆才、广州港日电梯有限公司陈淑荣任主编,广州铁路职业技术学院陈沪、杨进和茂名职业技术学院龙勇云参加编写。

本书由广州铁路职业技术学院陈选民副教授主审,他提出了宝贵的意见和建议,在此表示感谢。

编者

2012年11月于广州

目 录

前言

项目一 设备维护保养及零件失效	1
任务一 设备维护保养认识	1
任务二 机械零件断裂失效认识	3
任务三 机械零件磨损失效认识	8
任务四 设备的润滑	15
项目二 典型部件装配及故障处理	26
任务一 滚动轴承的装配及故障处理	26
任务二 滑动轴承的装配及故障处理	34
任务三 齿轮机构的装配及故障处理	39
任务四 蜗轮蜗杆机构的装配及故障处理	44
任务五 链传动机构的装配及故障处理	51
任务六 带传动机构的装配及故障处理	59
任务七 螺旋传动机构的装配及故障处理	66
任务八 联轴器的装配及故障处理	70
任务九 离合器的装配及故障处理	75
任务十 密封装置的装配及故障处理	79
任务十一 螺纹连接的装配及故障处理	86
任务十二 键的装配及故障处理	93
任务十三 销的装配及故障处理	100
任务十四 过盈连接件装配及故障处理	102
任务十五 管件连接装配及故障处理	108
项目三 典型零件维修技术	113
任务一 轴类零件维修	113
任务二 零件的扣合维修	116
任务三 零件的焊接修复	120
任务四 零件的热喷涂修复	127
任务五 零件的电镀修复	134
任务六 零件的塑性变形修复	138
项目四 设备故障现代诊断技术	143
任务一 设备油液光谱诊断	143
任务二 设备油液铁谱诊断	146
任务三 设备故障红外成像诊断	151
任务四 设备故障振动诊断	156
任务五 设备故障声音诊断	164
参考文献	167

项目一 设备维护保养及零件失效

任务一 设备维护保养认识

教学目标

- (1) 理解设备保养的含义，熟悉卧式车床的保养内容。
- (2) 获得对设备维修的基本认识。

任务导读

通过 CA6140 车床和 GK0C 内燃机车的维护保养，了解和认识设备维修保养。

实践操作

【案例一】 CA6140 卧式车床的保养。

保养目的：车床使用到一定期限后，产生的油污、锈蚀，以及运动件的磨损、连接件和紧固件的松动等，都会影响车床的精度、使用寿命以及零件的加工质量和生产率。操作工人不但要会使用机床，还要会保养机床。保养一般以使用当日为主，阶段为辅。操作工应承担日常使用中的保养工作。

保养内容：主要是清洁、润滑和进行必要的调整。具体包括以下几点：

- (1) 外保养。各部位外表清洁，无锈蚀、油污，三杠（丝杠、光杠、操纵杠）清洁。
- (2) 主轴箱。定期清理滤油器和油池；定期检查主轴螺母和紧固螺钉是否松动；定期调整摩擦片间隙和制动带松紧。
- (3) 拖板及刀架。经常清理中小拖板和丝杠的切屑及灰尘。
- (4) 尾座。保持尾座清洁。
- (5) 冷却润滑系统。清洗冷却泵、滤油器、分油盘；保证油路畅通，油孔、油绳清洁；定期检查油质、油杯、油窗。
- (6) 电气设备。定期清扫电动机、电气箱，确认电气装置固定整齐。
- (7) 挂轮箱。清洗齿轮、轴套，加入新油脂；调整齿侧间隙；检查轴套无晃动。

由此可以看出，设备保养一般是从设备的外表清洁开始，确保设备润滑正常，检查是否有松动部位，进行必要的调整。

不同设备的结构功能不同，保养要求和内容也不同，具体保养内容要根据设备使用手册结合实际情况进行。

【案例二】 GK0C 内燃机车维修制度。

具体要求：除日常检查维护的例行检查燃油、润滑油位、水位、水质、连接部位外，还需对机车进行定期检查和维修，以便及时了解机车各部分的技术状态，采取相应措施，并更换已使用到期的零部件，确保机车正常运用。

检修一般可分为日检、中检、定修（小轮修、大轮修）、架修和大修。在正常情况下，

上述检修分别当机车已运行每天、一个月、(二个月、一年)、两年和六年进行。机车的检修可根据使用情况适当调整,检修细则由使用单位根据说明书的要求确定。

随车辅助柴油发电机组的使用和保养见随机组提供的资料。

上述内燃机车的检修要求是制造厂提供的手册规定的,具体执行时要结合实际情况。

相关知识

一、维修的概念

维修是使设备保持、恢复和改善其技术状态,使之满足用户需求而进行的活动,包括维护和修理两个方面。维护是指为保持设备良好工作状态所做的清洗擦拭、润滑涂油、检查调校以及补充能源、燃料等消耗品的一切工作。修理是为恢复设备良好工作状态所做的一切工作,包括状态检测、故障判断、故障隔离、故障排除、排除故障之后的测试等。

维修的具体工作内容包括前面所叙述的设备保养、设备出现故障后的故障排除等工作,还包含由于安全、生产效率、可靠性等因素而进行的设备改造。

二、维修方式

维修方式是指导维修作业的策略性准则,从技术和经济角度对应修设备进行分析,确定最适宜的维修时间、维修制度和修理内容。

维修方式选择原则:消除缺陷,保证性能;力求维修费用和停机损失之和最小。

目前,维修方式分为三种形式:预防维修、故障维修和改善维修。

(1) 预防维修。预防维修是在故障发生前维修。预防维修应该能够及时消除故障,避免事故发生,保证正常安全生产要求。根据维修时机的确定方法不同,预防维修可以分为状态维修和定期维修。

状态维修是定期检查分析设备运转状态来判断是否进行维修。而定期维修是按照固定时间间隔维修,以及定期的大修、中修、小修或保养。我国的设备定期维修制度源自前苏联,是被国有大中型企业广泛采用的设备维修制度。

定期维修具有防止和减少突发故障、预防隐蔽故障的优点,适用于已知设备寿命分布规律而且有明显耗损期的设备;实行定期维修,生产和修理均能有计划地进行,既可以预先根据设备停机时间合理调整生产进度,也有利于及时组织设备备件采购。但由于设备的各种情况不同,定期维修难免造成维修过剩和维修不足。

(2) 故障维修。故障维修也称为事后维修,是在故障发生之后维修。

(3) 改善维修。改善维修是从研究故障发生的原因出发,采取对应的改造措施,消灭故障源,提高设备性能和可靠性。改善维修是将维修和改造相结合。常见的利用数控、数显、静压和动压技术、节能技术改造设备都可以看做是改善维修。

三、新型设备维修方式

1. 以可靠性为中心的维修(RCM)

RCM(reliability centered maintenance)是美国人 Howard F. Heap 于 1978 年提出的,最初用于飞机维修,后来逐渐推广到核电、石化、军工等领域。

RCM 按照以下三个步骤执行:

(1) 确定重要功能项目:找出需要预先维修的零部件,其他零部件则事后维修。

(2) 分析重要功能项目的故障模式和影响:要求技术人员熟悉设备性能结构、运行条件

和与其他设备的相互关联。

(3) 确定维修内容。RCM 的好处是灵活, 只对选择的重要项目进行预防维修, 一般项目事后维修, 可以避免过剩维修, 节约维修费用。

2. 质量维修 (QM)

QM (Quality Maintenance) 是日本为了控制产品质量于 1984 年提出的一种维修方式。QM 是把产品质量和设备维修直接联系起来, 从发现产品加工质量问题着手, 找出设备缺陷, 采取对策, 加以消除, 并制订巩固措施, 保证产品质量问题不再发生的维修方法。

任务二 机械零件断裂失效认识

教学目

- (1) 熟悉常见失效现象特征和常见机械零件的失效形式。
- (2) 能够根据失效现象, 判断常见机械零件失效的原因, 并提出针对性的解决方案。

任务导读

认识和分析延性断裂、脆性断裂、疲劳断裂零件的断口特征, 掌握零件常见的延性断裂、脆性断裂、疲劳断裂等失效的分析判别方法。

实践操作

下面举例说明零件的常见断裂形式。

一、脆性断裂

【案例一】 在 20 钢的材料拉伸试验中, 试样最后发生断裂, 断口如图 1-1 所示。

案例分析: 如图 1-1 所示, 试样断口附近在断裂时伴有宏观上的塑性变形, 可观察到明显的缩颈现象, 断口呈盆状或杯状。这种断裂称为延性断裂 (或韧性断裂、塑性断裂)。

延性断裂是零件所受应力超过抗拉强度发生塑性变形之后造成的断裂, 延性断裂的断口具有以下特征:

- (1) 断裂前有明显塑性变形或缩颈。
- (2) 断口有大量微坑 (韧窝)。

在工程结构中, 零件发生延性断裂一般表现为过载断裂, 即零件危险截面处所承受的实际应力超过了材料的屈服强度或强度极限而发生的断裂。因此, 除了零件本身的设计要求满足工作条件、工件应力要求外, 在设备使用时还要遵守操作规程, 避免过载。

二、延性断裂

【案例二】 某设备上的一根丝杠轴在使用过程中突然折断, 断口如图 1-2 所示。

案例分析: 观察如图 1-2 所示的断口, 可以看到断裂部位的直径没有发生变化, 断裂面总体还比较平坦。如果把断裂的轴按照断口对合起来, 除了接缝和边缘局部崩落之外, 整个轴看起来与断裂前在外观上没有区别。如图 1-2 所示的断口属于典型的脆性断

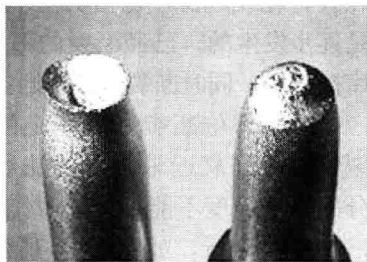


图 1-1 圆柱试样的断口

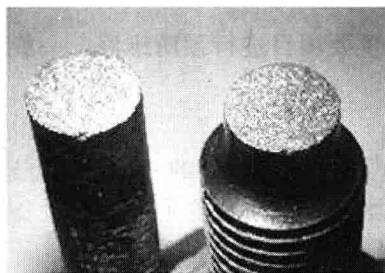


图 1-2 丝杠轴的断裂

裂断口。

脆性断裂是金属零件或构件没有明显塑性变形、发展速度极快的断裂。例如，铸铁等脆性材料受冲击而发生的断裂就属于典型脆性断裂。

脆性断裂具有以下特征：

(1) 断裂处很少或没有宏观塑性变形。

(2) 断口平坦。

(3) 断裂起源于变截面、表面缺陷、内部缺陷等应力集中部位。

(4) 脆性断裂的扩展快，断裂在瞬间完成，有时伴有大声响。

(5) 断裂应力低于屈服强度。

脆性断裂在应力未达到强度极限时就会突然断裂，而且只产生很小的永久变形。它表现在断裂发生在弹性应变状态下，没有经过塑性流变阶段而直接形成断裂。不仅铸铁等脆性材料才会产生这种断裂，材料内部存在微裂纹，或者某些材料在低温下受到冲击等，都有可能产生脆性断裂。脆性断裂后的试样，断裂往往出现在有缺陷（如裂纹、伤痕）的材料位置，并由此导致应力集中的地方断口平整，无盆状或杯状现象。

脆性断裂预防主要考虑以下几个方面：使用温度大于材料的韧脆转变温度；尽量提高材料的表面和内部质量；避免或降低冲击。

延性断裂和脆性断裂可能单独存在，也可能同时发生，例如零件的疲劳断裂中就同时存在脆性断裂和延性断裂。

三、疲劳断裂

【案例三】 一辆自卸卡车的车轴发生断裂，断口如图 1-3 所示。

案例分析：如图 1-3 所示，卡车轴断口下部是一个键槽，断裂截面上分布有环状同心花纹，花纹起源于键槽的两个尖角。这是因为断裂是逐步发生的，已经断裂的部分在外力作用下相互摩擦挤压，同时断裂裂纹逐渐扩展而形成花纹。

中心部位断裂时有一定的塑性变形，当断裂裂纹扩展到靠近轴中心的花纹后，剩余未断裂部分的轴的强度不能抵抗应力作用而发生延性断裂。

根据分析，如图 1-3 所示的卡车轴断裂属于典型的疲劳断裂。工程构件在交变应力作用下，经一定循环周次后发生的断裂称为疲劳断裂，花纹部分可以看做是脆性断裂，中心部分是延性断裂。

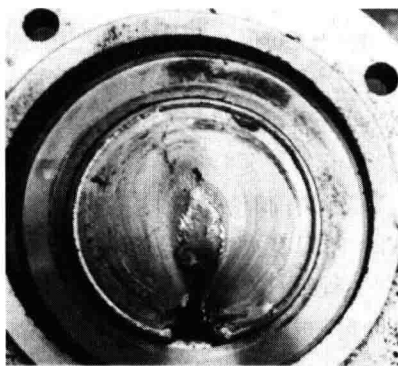


图 1-3 自卸卡车轴断裂后的断口状态

疲劳断裂一般具有以下规律：交变工作应力低于屈服或抗拉强度；断裂与表面质量相关，且突然发生。即断裂一般起源于零件表面的缺陷部位，如过渡圆角部位、表面划伤位置。

疲劳断裂断口分为三个区域：疲劳源区、疲劳扩展区和瞬时破断区。其中，疲劳源区是疲劳产生区域，如图 1-3 所示键槽尖角位置或图 1-4 所示位置 1；疲劳扩展区是疲劳发展

区域,如图 1-3 所示花纹区域或图 1-4 所示位置 2;瞬时破断区是最后断裂的区域,如图 1-3 所示塑形断裂区或图 1-4 所示阴影位置 3。在疲劳核心区周围存在以疲劳源为中心的贝壳线条或海滩线条。

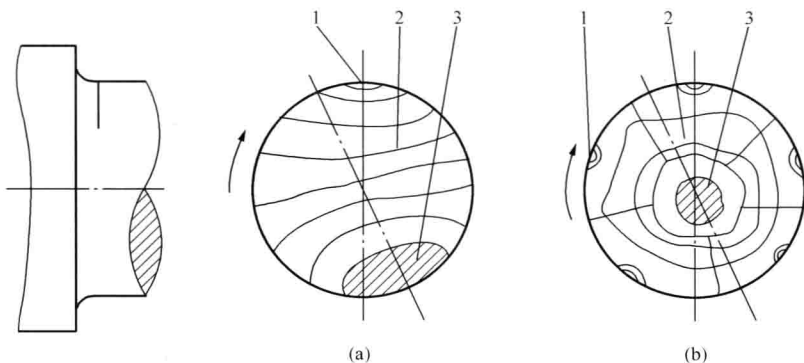


图 1-4 旋转轴的疲劳断裂

零件疲劳断裂的预防主要是设计过程在选材上考虑材料的疲劳寿命,尽量选择疲劳寿命高的材料。因为疲劳裂纹一般从零件表面开始发生,所以材料的表面处理也可以提高零件疲劳寿命。例如,齿轮材料淬火后硬度提高,疲劳寿命也提高;弹簧喷砂后疲劳寿命提高等。

气蚀是零件与液体接触处的压力低于液体的饱和蒸汽压力时,液体气化形成气泡,当气泡随液体运动到高压区时,气泡迅速破裂对接触的零件表面产生冲击。在这种反复冲击的作用下,零件表面发生疲劳破坏。因此,零件的气蚀也属于一种疲劳破坏现象。

气蚀通常发生在流体输送泵、水轮机叶片、阀门上。图 1-5 所示为混流泵的气蚀。

气蚀的预防主要有以下措施:选用耐气蚀材料,如球铁、不锈钢、尼龙;增加气蚀发生位置的液体压力或降低温度;表面涂镀塑料、陶瓷、镀铬;降低表面粗糙度;水中加乳化油。上述措施选择要根据使用条件酌情确定。

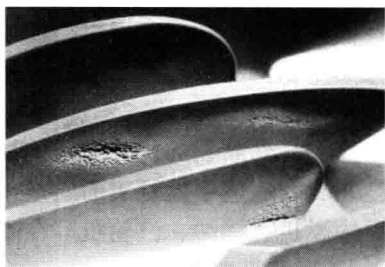


图 1-5 发生气蚀的零件

相关知识

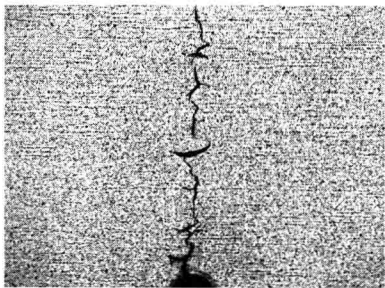


图 1-6 应力腐蚀断裂

一、其他断裂形式

除了上面的零件断裂,工程上还有材料与某种环境因素相互作用而引起的断裂,包括应力腐蚀断裂、氢脆断裂、高温蠕变断裂、腐蚀疲劳断裂和冷脆断裂。

1. 应力腐蚀断裂

应力腐蚀断裂是金属材料在拉应力和特定的腐蚀介质联合作用下引起的低应力脆断,也属于脆性断裂的一种,如图 1-6 所示。

应力腐蚀断裂的特征首先表现为应力方向性,即应

力方向垂直于裂纹；其次是应力为拉应力。

避免或延缓应力腐蚀断裂的措施包括选择抗应力腐蚀能力高的材料，设法降低零件应力、改善腐蚀环境、定期无损检验等。

2. 氢脆断裂

氢脆断裂是氢原子渗入金属内部形成氢气、压力增加产生裂纹导致的断裂，属脆性断裂，如图 1-7 和图 1-8 所示。



图 1-7 管线钢管壁面出现的氢致断裂裂纹

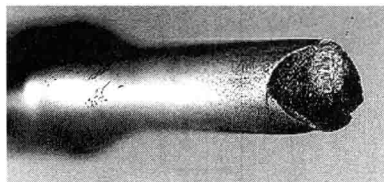


图 1-8 轴类零件氢致开裂引起的断裂

氢脆断裂的特征是裂纹产生不需要应力存在，存在氢原子的扩散和氢气合成。断裂裂纹往往出现如图 1-7 所示的台阶状排列。

氢脆断裂的预防措施包括选择抗氢脆断裂能力高的材料，尽量控制使用环境中氢的产生，定期无损检验等。

氢脆断裂常见于油气输送管道、锻件中的白点缺陷（氢聚集引起的微裂纹）等。

锻件中若经无损检验发现白点裂纹，零件不应继续使用。

3. 高温蠕变断裂

高温蠕变断裂是金属材料在恒温恒压下产生的缓慢塑性变形，不属于脆性断裂。

高温蠕变断裂特征是应力小于屈服强度，断口呈黑色或氧化色，有时可见蠕变孔洞，如图 1-9 所示。

高温蠕变断裂的预防措施包括避免应力集中和微裂纹产生，尽量降低工作温度，采用抗蠕变材料，制造中控制表面质量，严格控制热加工工艺，定期检验。

内燃机、锅炉、汽轮机等在高温下工作的动力设备零件常因高温蠕变而被破坏。

4. 腐蚀疲劳断裂

腐蚀疲劳断裂是在环境腐蚀介质和交变应力作用下发生的零件断裂，这种断裂没有疲劳极限。图 1-10 所示为航空设备零件的腐蚀疲劳断裂。

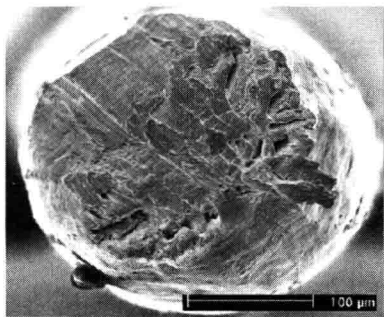


图 1-9 轴的高温蠕变断裂

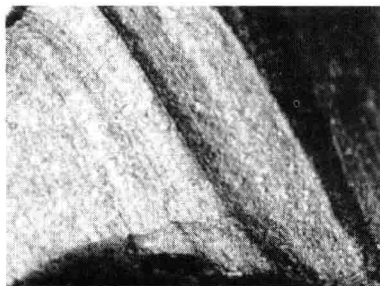


图 1-10 航空设备零件的腐蚀疲劳断裂

腐蚀疲劳断裂的预防措施包括减少腐蚀介质，减低交变应力，采用耐蚀材料，进行阴极或阳极保护。

5. 冷脆断裂

常温下韧性好的材料（如 Q235 等）由于含有元素磷，因而存在冷脆性。温度下降到一定程度时可能发生脆性断裂。脆性断裂的温度要看有害元素磷的含量。磷含量高则发生脆性断裂的温度也高，反之亦然。

对于在寒冷地区或低温下工作的设备零件需要考虑脆性断裂的问题。

脆性断裂的预防主要是控制零件材料中有害元素磷的含量，尽量降低材料的韧脆转变温度。

二、金属零件的腐蚀损伤

金属受周围介质的作用引起损坏的现象称为腐蚀。金属腐蚀包括化学腐蚀和电化学腐蚀。

化学腐蚀是单纯由化学作用引起的腐蚀，腐蚀过程没有电流。防止腐蚀需要构成保护膜，保护膜要求致密、性质稳定、结合牢固、热膨胀系数与基体材料相当。

电化学腐蚀是金属与电解质接触时产生的腐蚀，腐蚀过程有电流。常见金属电化学腐蚀为大气、土壤、电解液、熔融盐中的腐蚀。构成腐蚀电池的条件如下：至少有两个不同的电极电位，电极形成回路，有电解液。

金属腐蚀的预防主要从以下几个方面入手包括正确选材，合理设计；表面处理；电化学保护，阴（阳极）极保护；采用缓蚀剂；改变环境条件。

零件腐蚀一般是从表面开始发生，因此易于辨别。

三、机械故障

在实际工作中，经常会出现设备不能正常工作的现象，一般是由设备的故障而引起的。设备发生故障可能是因为机械部分的故障，也可能是因为电气控制失灵引起的。机械故障是机械系统（零件、部件或整机及生产线）因偏离设计状态而丧失部分或全部功能的现象。例如，发动机不能启动、机床主轴弯曲、导轨过度磨损导致丧失精度、汽车刹车失灵、热水器不点火等。机械故障表现为零部件损坏或部件之间相互关系的破坏，如零件变形、断裂、间隙增大、过盈丧失、紧固件松动、声音异常、异常发热、精度下降等。

机械故障按照故障过程可分为渐发故障、突发故障和复合故障。

(1) 渐发故障。渐发故障可事前测试，监控预测，如轴套、轴承、气缸的磨损等。

(2) 突发故障。突发故障事前监控不能预测，如轴的断裂、管道爆裂、压力容器及锅炉的爆炸。

(3) 复合型故障。复合型故障包含前两种故障特征。

按照故障出现的情况，可分为实际故障和潜在故障。例如，轴的断裂为实际故障，而轴内部出现的疲劳裂纹为潜在故障。

按照故障原因，可分为人为故障和自然故障。例如，由于违反操作规程或误操作引起的故障属于人为故障，零件润滑正常情况下发生的自然磨损可视为自然故障。

机械故障发生的原因多种多样。有因为实际不合理引起的故障，如零件尺寸，结构是否合理；零件制造质量引起的故障，如零件的铸、锻、焊、机加工和热处理等达不到设计要求而导致零件失效；装配调试引起的故障，如在安装过程中未达到要求的质量指标；材料原因导致的故障，如选材不当，材质内部缺陷，毛坯加工或冷热加工产生的缺陷；维护保养不当

引起的故障,如运转工况参数没有定期监控,定期大、中、小检修,润滑条件是否保证,冷却,加热和过滤系统功能是否正常,操作是否正确。

引起故障的外因主要有环境因素、人为因素和时间因素三个方面。

机械故障往往伴随着机械零件的失效。机械零件的失效形式有变形、断裂、磨损和腐蚀。零件失效指零件由于某种原因,导致其尺寸、形状或材料的组织与性能发生变化而不能完满地完成指定的功能。

失效分为以下三种情况:零件完全破坏,不能继续工作;虽然能完全工作,但不能起到预期作用;零件严重受损,继续工作不安全。

零件的变形是机械零件、构件在外力作用下产生尺寸或形状变化的现象。变形分为弹性变形和塑性变形。弹性变形是作用力小于屈服强度,若外力消失,则变形消失。塑性变形是外力去除后不能恢复的残余变形。变形表现为零件的弯曲或翘曲。

零件变形原因主要是超载,零件受热不均匀或受热后强度降低,残余应力作用,存在内部缺陷。

减少变形的措施包括设计保证零件的强度、刚度;加工制造时酌情进行自然时效、人工时效、退火,消除内应力;校直、校平零件,消除变形;使用时遵守操作规程,避免超载。

任务三 机械零件磨损失效认识

任务导读

认识和分析磨料磨损、黏着磨损、表面疲劳磨损的表面特征,掌握零件常见的磨损失效的分析判别方法。

实践操作

下面举例说明零件的常见磨损失效形式。

一、黏着磨损认识

【案例一】 在高速重载齿轮传动设备,齿轮表面工作一段时间后出现磨损沟槽,如图 1-11 所示。

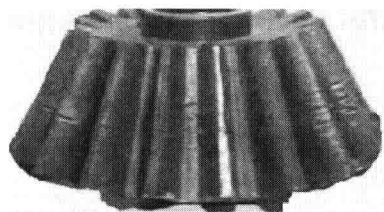


图 1-11 高速重载齿轮的齿面磨损

案例分析:如图 1-11 所示,磨损齿面存在沿多个齿面径向有规律分布的沟状痕迹,是典型的齿面胶合磨损,属于黏着磨损。

黏着磨损又称咬合磨损,它是指滑动摩擦时摩擦副接触面局部发生金属黏着,在随后的相对滑动中黏着处被破坏,有金属屑粒从零件表面被拉拽下来,或零件表面被擦伤的一种磨损形式。

按照黏结点的强度和破坏位置不同,黏着磨损有不同的形式。

(1) 轻微黏着磨损。当黏结点的强度低于摩擦副两材料的强度时,剪切发生在界面上,此时虽然摩擦系数增大,但磨损却很小,材料转移也不显著。通常在金属表面有氧化膜、硫化膜或其他涂层时发生这种黏着磨损。

(2) 一般黏着磨损。当黏结点的强度高于摩擦副中较软材料的剪切强度时,破坏将发生在离结合面不远的软材料表层内,因而软材料转移到硬材料表面上。这种磨损的摩擦系数与轻微黏着磨损的差不多,但磨损程度加重。

(3) 擦伤磨损。当黏结点的强度高于两对磨材料的强度时,剪切破坏主要发生在软材料的表层内,有时也发生在硬材料表层内。转移硬材料上的黏着物又使软材料表面出现划痕,所以擦伤主要发生在软材料表面。

(4) 胶合磨损。如果黏结点的强度比两对磨材料的剪切强度得多,而且黏结点面积较大时,剪切破坏发生在对磨材料的基体内。此时,两表面出现严重磨损,甚至使摩擦副之间咬死而不能相对滑动。

齿面胶合原因是在高速重载传动中,一般因啮合温度升高而引起润滑失效,致使两齿面金属直接接触并相互粘连。当两齿面相对运动时,较软的齿面沿滑动方向被撕裂出现沟纹(如上图所示),这种现象称为胶合。在低速重载传动中,由于齿面间不易形成润滑油膜也可能产生胶合破坏。

避免齿面胶合主要从以下几个方面入手:提高齿面硬度,降低表面粗糙度;低速传动时选用黏度较大的润滑油;高速传动时选用抗胶合添加剂。

磨损量一般随压力的增大逐渐增大,当压力(以兆帕计)数值相当于摩擦副中较软零件布氏硬度数值的 $1/30$ 时,黏着突然变得严重,摩擦副出现咬死现象。相同材料组成摩擦副容易发生黏着。影响磨损的因素很多,磨损系数 k 的变化也很大。对于洁净金属, $k = 0.01 \sim 0.1$; 对于有氧化膜或润滑膜保护的表面, k 值可低至 10^{-6} 或 10^{-7} 。滑动速度和温度对黏着磨损也有很大的影响,摩擦热使表面温度升高,它与压力和速度互有关系。在有润滑摩擦时,表面温升导致润滑膜的破坏;在无润滑摩擦时,零件表面发生软化、相变等现象。防止黏着磨损的措施如下:适当选择摩擦副的配对材料;进行表面处理(如表面热处理、化学热处理、表面涂层等);选择合理的润滑剂和润滑方法。

二、磨料磨损认识

【案例二】 车床主轴箱的齿轮经过多年使用后齿厚磨损变薄,如图 1-12 所示。

案例分析:图 1-12 所示为常见的磨损现象,磨损原因是摩擦表面中的硬凸起和另一表面接触,或摩擦副接触表面之间存在硬质颗粒,相对运动时对一个表面产生切削作用。

物体表面与硬质颗粒或硬质凸出物(包括硬金属)相互摩擦引起表面材料损失的现象称为磨料磨损。磨料磨损机理是属于磨料的机械作用,这种机械作用在很大程度上与磨料的性质、形状、尺寸大小,固定的程度,以及载荷作用下磨料与被磨材料表面的机械性能有关。

磨料磨损是最常见的,同时也是危害最为严重的磨损形式。统计表明在各类磨损形式中,磨料磨损大约占总消耗的 50%。磨料磨损的失效机理还没有完全清楚,目前主要存在以下理论:

(1) 以微量切削为主的假说。该假说认为磨损是从材料表面上切下微量切屑而造成的,其根据是实验室里磨损磨料损失试验所获得的磨屑像切削加工的切屑一样,呈螺旋形、弯曲形等。

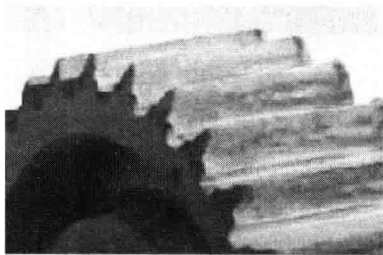


图 1-12 齿面磨料磨损

这种假说是前苏联学者赫鲁晓夫提出的。他认为当塑性材料同被固定的磨料摩擦时,在材料表面内发生两个过程:①塑性挤压,形成擦痕;②切削材料,形成磨屑。在摩擦过程中,大部分磨料在材料表面上只留下两侧凸起的擦痕,小部分磨料即棱面将切削材料,形成切屑。

(2) 以疲劳破坏为主的假说。该假说是以前苏联克拉盖里斯基教授为代表创立的。他认为材料同磨料摩擦时,材料的同一显微体积经多次塑性变形,使材料疲劳破坏,小颗粒从表层上脱落。但他并不排除同时存在磨料直接切下材料的过程。滚动接触疲劳破坏产生的微粒多呈球形。

(3) 以压痕为主的假说。对塑性较大的材料,磨料在压力作用下压入材料表面,在摩擦过程中压入的磨料犁耕材料表面,形成沟槽,使材料表面受到严重的塑性变形,压痕两侧的材料已经受到破坏,其他磨料很容易使其脱落。

(4) 将断裂作为主要作用的假说。该假说主要针对脆性材料,以脆性断裂为主。当磨料压入和划擦材料表面时,压痕处的材料产生变形;当磨料压入深度达到临界深度时,随压力而产生的拉伸应力足以使材料产生裂纹。裂纹主要有两种形式:一种是垂直于表面的中间裂纹,另一种是从压痕底部向表面扩展的横向裂纹。在这种压入条件下,横向裂纹相交或扩展到表面时,材料微粒便产生脱落,形成磨屑。由于裂纹能超过擦痕的边界,所以断裂引起的材料迁移率可能比塑性变形引起的材料迁移率大得多。实验证明,对于脆性材料,如果磨料棱角尖锐、尺寸大,且施加载荷高时,以断裂过程产生的磨损占主要地位,故磨损率很高。

常见的开式齿轮传动磨损属于磨料磨损。

解决方法包括条件允许时采用闭式传动;尽量降低接触表面的粗糙度;保持良好的润滑等措施。

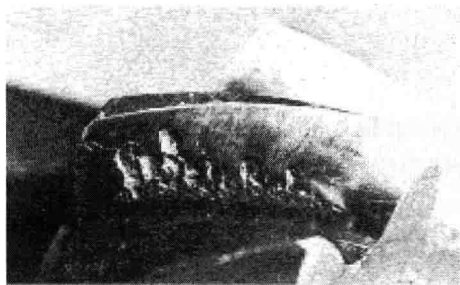


图 1-13 齿面疲劳点蚀

三、表面疲劳磨损认识

【案例三】 传动齿轮箱中的一个齿轮经过一段时间使用后齿面出现凹坑,如图 1-13 所示。

案例分析:齿面凹坑出现在齿面分度圆附近,是齿轮工作的主要接触区域。齿轮传动时,分度圆附近的齿面周期性接触和分离,接触区域受到周期性交变应力作用,长期持续致使表面出现微裂纹,微裂纹扩展后形成局部脱落,产生表面的疲劳点蚀破坏。疲劳点蚀属于表面疲劳磨损。

齿轮摩擦副两对偶表面做滚动或滚滑复合运动时,由于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,称为表面疲劳磨损(或接触疲劳磨损)。

表面疲劳磨损由于循环接触应力的作用,在摩擦副工作表面或表层内部形成裂纹并扩展使表层材料剥落的一种磨损。接触运动有滚动、滑动和滚动加滑动三种情况。表面疲劳磨损常发生在滚动轴承、齿轮以及钢轨与车轮的接触面上。不论是点接触还是线接触,最大压应力都发生在零件的接触表面上,最大切应力则发生在表层内部距离表面一定深度处。滚动接触时,在循环切应力影响下,裂纹容易从表层形成,并扩展到表面而使材料剥落,在零件表面形成麻点状凹坑,造成疲劳磨损。若伴有滑动接触,则破坏的位置逐渐移近表面。由于材料不可能完全均匀,零件表面也不是完全平滑,材料有表面缺陷、夹杂物、孔隙、微裂纹、

硬质点等原因,疲劳破坏的位置往往有所改变,裂纹有时从表面开始,有时从表层内开始。与表面连通的疲劳裂纹还会受到润滑油的楔入作用,使其加速扩展。

减小表面疲劳磨损的措施首先在于提高材料的纯洁度,如限制非金属夹杂物的含量,规定基体组织、碳化物的均匀性等。表面应尽量光洁,避免刀痕式磨痕。在可能条件下,采取渗碳、渗氮等表面强化工艺,以提高硬度。强化层必须有足够的厚度,心部要有足够的强度,并选用合适的润滑剂。这些措施都能减小表面疲劳磨损。

相关知识

磨损是零部件失效的一种基本类型。通常意义上来讲,磨损是指零部件几何尺寸(体积)变小。

零部件失去原有设计所规定的功能称为失效。失效包括完全丧失原定功能;功能降低和有严重损伤或隐患,继续使用会失去可靠性及安全性和安全性。

一、磨损的分类

按照表面破坏机理特征,磨损可以分为黏着磨损、磨料磨损、表面疲劳磨损、腐蚀磨损、微动磨损等。前三种是磨损的基本类型,后两种只在某些特定条件下才会发生。

(1) 腐蚀磨损。零件表面在摩擦的过程中,表面金属与周围介质发生化学或电化学反应由此出现的物质损失称为腐蚀磨损。

(2) 微动磨损。两接触表面间没有宏观相对运动,但在外界变动负荷影响下,有小振幅的相对振动(小于 $100\mu\text{m}$),此时接触表面间产生大量的微小氧化物磨损粉末,由此造成的磨损称为微动磨损。

二、表征材料磨损性能的参量

为了反映零件的磨损,常常需要用一些参量来表征材料的磨损性能。常用的参量有以下几种:

(1) 磨损量。由于磨损引起的材料损失量称为磨损量,可通过测量长度、体积或质量的变化而得到,并相应称为线磨损量、体积磨损量和质量磨损量。

(2) 磨损率。磨损率以单位时间内材料的磨损量表示,即磨损率 $I = dV/dt$, (其中, V 为磨损量, t 为时间)。

(3) 磨损度。磨损度以单位滑移距离内材料的磨损量来表示,即磨损度 $E = dV/dL$ (L 为滑移距离)。

(4) 耐磨性。耐磨性是指材料抵抗磨损的性能,它以规定摩擦条件下的磨损率或磨损度的倒数来表示,即耐磨性 $= dt/dV$ 或 dL/dV 。

(5) 相对耐磨性。相对耐磨性指在同样条件下,两种材料(通常其中一种是 Pb-Sn 合金标准试样)的耐磨性之比值,即相对耐磨性 $\epsilon_w = \epsilon_{\text{试样}}/\epsilon_{\text{标样}}$ 。

三、磨损失效过程

机械零件的磨损失效常经历一定的磨损阶段。根据磨损率曲线,可以将磨损失效过程分为三个阶段。

1. 跑合磨损阶段

新的摩擦副在运行初期,由于摩擦副表面的表面粗糙度值较大,实际接触面积较小,接触点数少而多数接触点的面积又较大,接触点黏着严重,因此,磨损率较大。但随着跑合的

进行,表面微峰峰顶逐渐被磨去,表面粗糙度值降低,实际接触面积增大,接触点数增多,磨损率降低,为稳定磨损阶段创造了条件。为了避免跑合磨损阶段损坏摩擦副,跑合磨损阶段多采取在空车或低负荷下进行。为了缩短跑合时间,也可采用含添加剂和固体润滑剂的润滑材料,在一定负荷和较高速度下进行跑合。跑合结束后,应进行清洗并换上新的润滑材料。

2. 稳定磨损阶段

稳定磨损阶段磨损缓慢且稳定,磨损率保持基本不变,属正常工作阶段。

3. 剧烈磨损阶段

经过长时间的稳定磨损后,由于摩擦副对偶表面间的间隙和表面形貌的改变,以及表层的疲劳,其磨损率急剧增大,使机械效率下降,精度丧失,产生异常振动和噪声,摩擦副温度迅速升高,最终导致摩擦副完全失效。

剧烈磨损阶段有时也会出现下列情况:

(1) 在跑合磨损阶段与稳定磨损阶段无明显磨损。当表层达到疲劳极限后,就产生剧烈磨损,滚动轴承多属于这种类型。

(2) 跑合磨损阶段磨损较快,但当转入稳定磨损阶段后,在很长的一段时间内磨损甚微,无明显的剧烈磨损阶段。一般特硬材料的磨损(如刀具等)即属于这一类。

(3) 某些摩擦副的磨损,从一开始就存在着逐渐加速磨损的现象,如阀门的磨损。

四、表面疲劳磨损

黏着磨损和磨料磨损,都起因于固体表面间的直接接触。如果摩擦副两对偶表面被一层连续不断的润滑膜隔开,而且中间没有磨粒存在时,则不会发生上述两种磨损。但对于表面疲劳磨损来说,即使有良好的润滑条件,磨损仍有可能发生。因此,可以说表面疲劳磨损一般是难以避免的。

1. 磨损机理

表面疲劳磨损形成的原因,按照疲劳裂纹产生的位置,目前存在两种解释。

(1) 裂纹从表面上产生。摩擦副两对偶表面在接触过程中,由于受到法向应力和切应力的反复作用,必然引起表层材料塑性变形而导致表面硬化,最后在表面的应力集中源(如切削痕、碰伤、腐蚀或其他磨损的痕迹等)出现初始裂纹,该裂纹源以与滚动方向小于 45° 的倾角由表向内扩伸。当润滑油楔入裂纹中后,若滚动体的运动方向与裂纹方向一致,当接触到裂口时,裂口封住,裂纹中的润滑油则被堵塞在裂纹内,因滚动使裂纹内的润滑油产生很大压力将裂纹扩展,经交变应力重复作用,裂纹发展到一定深度后则成为悬臂梁形状。在油压作用下,材料从根部断裂而在表面形成扇形的疲劳坑,造成表面疲劳磨损,这种磨损称为点蚀。点蚀主要发生在高质量钢材以滑动为主的摩擦副中,这种磨损的裂纹形成时间很长,但扩展速度十分迅速。

(2) 裂纹从表层下产生。两点(或线)接触的摩擦副对偶表面,最大压应力发生在表面,最大切应力发生在距表面 $0.786a$ (a 是点或线接触区宽度的一半)处。在最大切应力处,塑性变形最剧烈,且在交变应力作用下反复变形,使该处材料局部弱化而出现裂纹。裂纹首先沿滚动方向平行于表面扩展,然后分叉延伸到表面,使表面材料呈片状剥落而形成浅凹坑,造成表面疲劳磨损,这种磨损常称为鳞剥。若在表层下最大切应力处附近有非塑性夹杂物等缺陷,造成应力集中,则极易早期产生裂纹而引起疲劳磨损。这种表面疲劳磨损主要