



全国高等职业教育示范专业规划教材

机械设计与制造专业

机械设备维修与安装

王丽芬 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全国高等职业教育示范专业规划教材
机械设计与制造专业

机械设备维修与安装

主 编 王丽芬
副主编 刘 杰 杨丽云
参 编 赵宇辉 李天兵 张玉芝
主 审 张树海



机械工业出版社

本书是全国高等职业教育示范专业规划教材。全书共有七个学习项目,主要介绍了机械维护与修理的基础知识、零件和设备的润滑、机械维护与修理制度、机械的拆卸与装配、机械零件修复技术、机械设备的安装、典型设备的修理等内容。本书理论联系实际,突出理论知识的应用,加强内容的针对性、实用性和先进性。

本书可作为各类高职高专及成人院校的机械设计与制造专业、机电工程类专业教材,也可作为工业企业中从事设备管理与维修的工程技术人员参考用书或作为培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

机械设备维修与安装/王丽芬主编. —北京:机械工业出版社, 2011. 4

全国高等职业教育示范专业规划教材. 机械设计与制造专业

ISBN 978 - 7 - 111 - 33363 - 0

I. ①机… II. ①王… III. ①机械设备-维修-高等学校:技术学校-教材②机械设备-设备安装-高等学校:技术学校-教材 IV. ①TH17②TH182

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第020294号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:王海峰 责任编辑:王海峰 王德艳

版式设计:张世琴 责任校对:刘秀丽

封面设计:鞠杨 责任印制:杨曦

北京京丰印刷厂印刷

2011年4月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·15.25印张·373千字

0 001—4 000册

标准书号:ISBN 978 - 7 - 111 - 33363 - 0

定价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

“工欲善其事，必先利其器”。随着科学技术的迅速发展和日趋综合化，知识更新的周期在缩短，生产设备正朝着大型化、自动化、高精度化方向发展，生产系统的规模变得越来越大，设备的结构也随之变得越来越复杂，设备在生产上的重要性日益显现。因此，搞好设备维修，正确地使用设备，精心保养维护设备，使设备处于良好的技术状态，才能保证生产正常进行，使企业取得最佳的经济效益。

本书在编写过程中遵循了理论教学以应用为主，以必须、够用为度，加强了实用性内容，突出了理论和实践相结合，并将“专业知识”与“维修技术”有机地融于一体，使教材内容尽量体现“宽、浅、用、新”，在教材结构和叙述方式上遵循由浅入深、循序渐进的认知规律。

全书共分七个学习项目，主要介绍了机械维护与修理的基础知识、零件和设备的润滑、机械维护与修理制度、机械的拆卸与装配、机械零件修复技术、机械设备的安装、典型设备的修理等内容。目的是使读者了解设备修理的基本知识，学会设备修理的基本技能，熟悉设备修理的基本方法，了解新工艺、新技术、新材料在设备修理中的应用。

本书可作为各类高职高专及成人院校的机械设计与制造专业、机电工程类专业教材，也可供工业企业中从事设备管理与维修的工程技术人员参考或作为培训教材。

本书由河北工业职业技术学院王丽芬任主编，河北工业职业技术学院刘杰、邢台机电职业技术学院杨丽云任副主编，河北工业职业技术学院张树海任主审。学习项目一由邯郸钢铁股份有限公司李天兵编写，学习项目二、三由邢台机电职业技术学院杨丽云编写，学习项目四、六由河北工业职业技术学院刘杰编写，学习项目五由河北工业职业技术学院赵宇辉编写；学习项目七由王丽芬、张玉芝编写。

由于编者的水平和经验有限，书中的不妥和错误之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

学习项目一 机械维护与修理的基础

知识 1

任务1 机械故障和设备事故的概念 1

1.1 机械故障及其规律 1

1.2 了解事故及其评估方法 4

任务2 机械故障发生的原因及其对策 6

2.1 机械磨损 7

2.2 机械故障发生的其他原因及对策 11

任务3 机械故障诊断技术的原理及应用 16

3.1 了解机械故障诊断技术 16

3.2 监测与诊断系统 18

3.3 旋转机械的振动监测与诊断 21

3.4 齿轮的故障诊断 23

3.5 滚动轴承的故障诊断 26

3.6 无损检验法 28

3.7 机械故障诊断的油样分析技术 34

学习项目二 零件和设备的润滑 36

任务1 润滑原理 36

1.1 润滑的作用及分类 36

1.2 常用的润滑原理 37

任务2 常用润滑材料的辨识 43

2.1 润滑材料综述 43

2.2 润滑油 43

2.3 润滑脂 49

2.4 固体润滑材料 53

任务3 稀油润滑系统组成与应用 56

3.1 稀油润滑的概念 56

3.2 常用单体润滑装置 56

3.3 稀油集中润滑系统 58

3.4 油雾润滑和油气润滑 66

任务4 干油润滑系统与固体润滑 72

4.1 干油润滑概述 72

4.2 干油集中润滑系统 72

4.3 干油喷射润滑 77

4.4 固体润滑 78

任务5 典型零部件的润滑 80

5.1 润滑材料的选用原则 80

5.2 滚动轴承的润滑 81

5.3 滑动轴承润滑材料的选择 84

5.4 齿轮和蜗杆传动润滑材料的选择 86

5.5 专门机器和机构润滑材料的选择 88

学习项目三 机械维护与修理制度 90

任务1 设备维修管理方式 90

1.1 现代化设备维修管理的重要性 90

1.2 设备预防维修管理方式 90

任务2 设备的维护管理 92

2.1 设备的维护保养 92

2.2 设备的三级保养制 93

2.3 设备的使用维护要求 94

任务3 点检定修制 96

3.1 点检定修制的主要内容 96

3.2 点检制 96

3.3 定修制 99

3.4 点检、定修制在设备维修管理制度中的地位 101

任务4 设备修理计划的编制与实施 102

4.1 设备修理类别 102

4.2 设备修理计划的编制 104

4.3 设备修理计划的实施 107

学习项目四 机械的拆卸与装配 110

任务1 了解机械拆卸与装配的基础知识 110

1.1 概述 110

1.2 机械零件的拆卸 113

1.3 零件的清洗 116

1.4 零件的检验	121	任务4 塑性变形修复技术的应用	167
任务2 常用拆装工具的使用	124	4.1 镦粗法	167
2.1 扳手类	124	4.2 挤压法	167
2.2 手钳类	127	4.3 扩张法	168
2.3 螺钉旋具	128	4.4 校正法	168
2.4 锤子	129	任务5 电镀修复技术的应用	169
2.5 锉刀	130	5.1 电镀基本原理	170
2.6 普通台虎钳	130	5.2 镀铬	170
任务3 过盈配合的装配方法	131	5.3 镀铁	171
3.1 概述	131	5.4 电刷镀	172
3.2 常温下的压装配合	131	任务6 热喷涂修复技术的应用	174
3.3 热装配合	132	6.1 热喷涂技术的分类及特点	174
3.4 冷装配合	134	6.2 热喷涂技术的主要方法及设备	175
任务4 联轴器的装配技术	134	6.3 热喷涂材料	178
4.1 联轴器的装配方法	135	6.4 热喷涂工艺	179
4.2 联轴器的找正、对中	135	6.5 热喷涂技术的功用	181
4.3 联轴器装配时的调整	137	任务7 焊接修复技术的应用	182
任务5 轴承的装配与调整	139	7.1 补焊	182
5.1 滑动轴承的装配	139	7.2 堆焊	187
5.2 滚动轴承的装配	143	任务8 粘接修复技术的应用	189
任务6 齿轮的装配与检测	146	8.1 粘接的特点	189
6.1 齿轮装配时的注意事项	146	8.2 粘接方法	190
6.2 圆柱齿轮装配与检测	146	8.3 粘结剂	190
6.3 锥齿轮的装配与检测	149	8.4 粘接接头的形式	191
任务7 密封装置的装配	149	8.5 粘接工艺	194
7.1 固定连接密封	150	8.6 粘接技术的应用	195
7.2 活动连接密封	150	8.7 粘接技术的应用实例	195
学习项目五 机械零件修复技术	153	学习项目六 机械设备的安装	196
任务1 零件修复技术的种类及 选择原则	153	任务1 机械设备安装前的准备 工作	196
1.1 零件修复技术的分类	153	1.1 组织、技术准备	196
1.2 零件修复技术的选择	154	1.2 供应准备	197
任务2 金属扣合技术的应用	158	1.3 机械的開箱检查与清洗	197
2.1 强固扣合法	158	1.4 预装配和预调整	197
2.2 强密扣合法	160	任务2 基础的设计与施工	198
2.3 加强扣合法	161	任务3 机械的安装	204
2.4 热扣合法	162	3.1 设置安装基准	204
任务3 工件表面强化技术的应用	162	3.2 设置垫板	205
3.1 表面形变强化	162	3.3 设备吊装、找正、找平、找 标高	207
3.2 表面热处理强化和表面化学热 处理强化	163	3.4 二次灌浆	208
3.3 三束表面改性技术	164	3.5 试运转	208

学习项目七 典型设备的修理	210	1.3 卧式车床常见故障及排除方法	228
任务 1 卧式车床的修理	210	任务 2 试车验收	232
1.1 修理前的准备工作	210	参考文献	235
1.2 修理工艺过程	211		

学习项目一 机械维护与修理的基础知识

任务1 机械故障和设备事故的概念

1.1 机械故障及其规律

1.1.1 机械故障的概念

机械故障，是指机械系统（零件、组件、部件或整台设备乃至一系列设备组合）丧失了它所被要求的性能和状态。机械发生故障后，其技术指标就会显著改变而达不到规定的要求。机械故障的概念不能简单地理解为物质形态“损坏”，也不能简单地理解为设备不能继续使用。性能下降到设计标准以下和状态老化等原因都会带来机械故障，如原动机功率降低、传动系统失去平衡、噪声增大、温度上升、工作机构能力下降、润滑油的消耗增加等都属于机械故障的范畴。通常见到的发动机发动不起来、机床运转不平稳、设备制动不灵等现象都是机械故障的表现形式。

零件是指生产制造的最小单位。在一个基准件上装上若干个零件就构成了套件。在一个基准件上装上若干个零件、套件就构成了组件。在一个基准件上装上若干个零件、套件、组件就构成了部件。机械故障表现在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。

1.1.2 机械故障的类型

机械故障分类的方法主要有四种。

1. 按引发故障的时间性分类

机械故障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 渐发性故障是由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，是通过事前测试或监控可以预测到的故障。设备劣化是指设备在使用或闲置过程中逐渐丧失原有性能，或与新型设备相比性能较差，显得旧式化的现象。设备劣化周期图如图 1-1 所示。

渐发性故障的主要特点是故障发生可能性的大小与使用时间的长短有关，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有效寿命的后期才明显地表现出来。这种故障一旦发生，就标志着机械设备寿命的终结，需要进行大修。由于这种故障是渐发性的，所以它是可以预测的。

(2) 突发性故障 突发性故障是由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，是通过事前测试或监控不能预测到的故障，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；因各参数达到极限值而引起零件变形和断裂等。

(3) 复合型故障 复合型故障包括了上述两种故障的特征，其故障发生的时间是不确

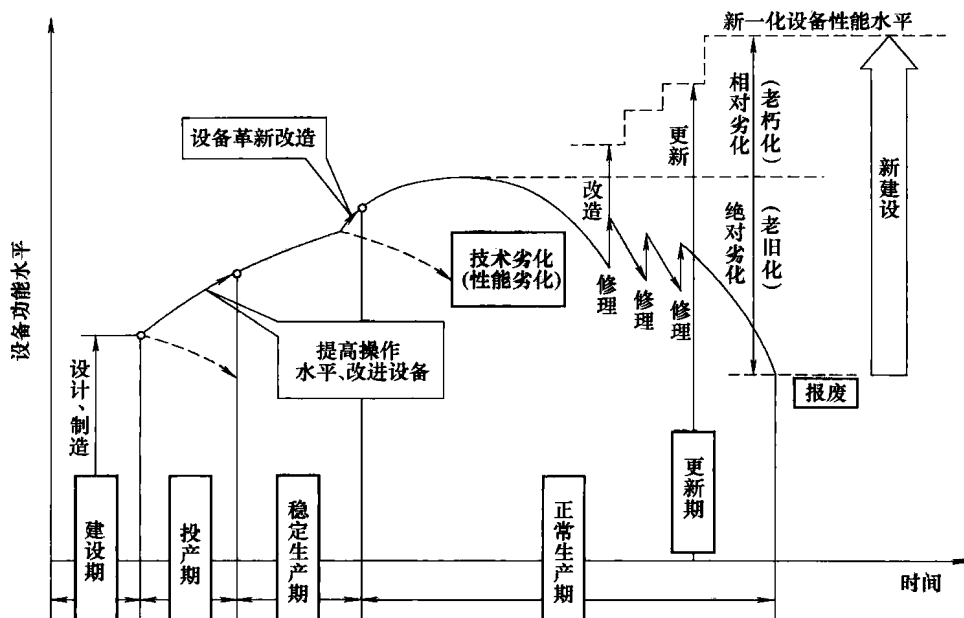


图 1-1 设备劣化周期图

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，当机器受到外界较大冲击后，随着机器的继续使用，就可能逐渐发生裂纹。

2. 按故障出现的情况分类

机械故障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应有的功能，或参数（特性）超出规定的指标，或根本不能工作，也包括机械加工精度被破坏，传动效率降低，速度达不到标准值等。

（2）潜在故障 潜在故障是指对运行中的设备如不采取预防性维修和调整措施，再继续使用到某个时候将会发生的故障。潜在故障和渐发性故障是相互联系的，当故障在逐渐发展，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，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，当探测到裂纹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，这有利于保持机械的完好状态，避免由于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具有重要意义。

3. 按故障发生的原因或性质不同分类

机械故障按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材料等，使各部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。有资料表明，70%以上的机械故障都与违反操作规程有关。在一些制度不规范，规

章不健全的企业，人为故障往往是较常见的。

(2) 自然故障 机械在使用过程中，因各零件的自然磨损或物理化学变化而造成零件的变形、断裂、蚀损等使机件失效所引起的故障，称为自然故障，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。

4. 按故障的影响程度分类

机械故障按故障影响程度可分为轻微故障、一般故障、严重故障、恶性故障。

(1) 轻微故障 轻微故障是指设备略微偏离正常规定指标，设备运行受轻微影响的故障。

(2) 一般故障 一般故障是指设备运行质量下降，导致能耗增加、噪声增大的故障。

(3) 严重故障 严重故障是指关键设备或整体功能丧失，造成停机或局部停机的故障。

(4) 恶性故障 恶性故障是指设备遭受严重破坏造成重大经济损失，甚至危及人身安全或造成环境严重污染的故障。

1.1.3 一般机械的故障规律

机械在运行中发生故障的可能性随时间而变化的规律称为一般机械的故障规律。故障规律曲线如图 1-2 所示，根据曲线的形状，此曲线也称为“浴盆曲线”，图示中横坐标为使用时间，纵坐标为失效率。

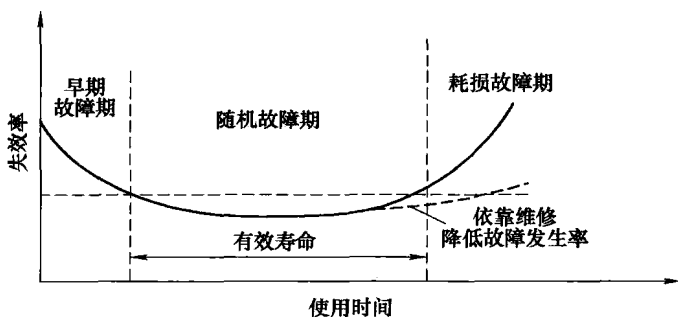


图 1-2 故障规律曲线

故障规律曲线主要分为三个阶段：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、磨合、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，不易发生故障，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。

从设备使用者的角度出发，对于曲线所表示的早期故障率，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，且一般不决定机器的寿命；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。

1.2 了解事故及其评估方法

机械故障和事故是有差别的。机械故障是指设备丧失了规定的性能；事故是指失去了安全状态，包括设备损坏和人身伤亡。机械故障强调设备的可靠性，更多的是考虑经济性因素，而事故更强调设备和人身的安全性。

1.2.1 事故分类

事故是指在没有预料的情况下突然发生的故障。事故按起因和后果可分为四类，见表1-1。

表 1-1 事故的分类

类 型	含 义
设备事故	设备事故是设备丧失安全性的状态。凡正式投入生产的设备，不论何种原因造成动力供应中断或设备不能运行通称为设备事故
生产事故	由于操作或工艺问题造成停产，但未损坏设备，则属于生产事故。例如，冶金炉跑铁、跑钢，高炉悬料结瘤，焙烧炉或煤气发生炉结块等。此外生产中造成工具损坏也属于生产事故。如轧机导轨装置损坏，剪刀和锯片崩裂等。还有，由于非设备原因造成的动力系统（电、水、压缩空气、氧气、煤气等）供应中断及调节失灵而影响生产，也属于生产事故
安全事故	不论何种原因，凡造成人员伤亡都属于安全事故
质量事故	由各种原因导致产品质量急剧下降，超出正常的废品品率的称为质量事故

表1-1中的四种事故类别互相区分而又互有联系，一起事故的类型可能是多种性质的复合型。对于设备维修人员，最重要的是加强设备事故管理。设备事故又分为重大设备事故和一般设备事故两大类。不同的生产行业对重大设备事故和一般设备事故有不同的规定，甚至同一行业的不同企业也有不同的规定。

以冶金行业为例，根据原冶金部有关规定，凡符合下列情况之一者，均属重大设备事故：

- 1) 设备事故影响联动机组或生产系统停产8h以上；或降低计划日产量三分之一以上者。
- 2) 主要生产设备发生事故，导致停产24h以上者。
- 3) 设备事故造成设备损坏严重，无法修复或修复费用达1万元以上者。
- 4) 动力设备发生事故使动力供应中断，造成重要生产厂矿（车间）停产或生产设备损坏较严重者。
- 5) 设备事故并直接引起火灾、水灾、爆炸、倒塌、人身中毒、伤亡者。
- 6) 主要生产设备发生事故，经修复后达不到额定能力和精度者。

凡符合下列情况之一者，均属于一般设备事故：

- 1) 设备事故，使联动机组停产1h以上，或单机生产设备停产4h以上者。
- 2) 设备事故，修复费用在1千元以上1万元以下者。
- 3) 设备事故，使动力供应中断者。

1.2.2 设备事故的原因

造成设备事故的原因有以下几方面：

1) 设备方面。设计上, 结构不合理; 零部件强度、刚度不足, 安全系数过小。制造上, 零件材质与设计不符, 工艺处理达不到要求, 有先天缺陷, 如内裂、砂眼、缩孔、夹杂等; 加工、安装精度不高。安装上, 基础质量不好; 标高、水平不符, 中心线不正, 间隙调整不当等。

2) 设备管理方面。维护不良, 润滑不当, 未定期检查, 故障排除不及时等; 检修工作不当, 未按计划进行检修, 磨损、疲劳超过极限, 部件更换不及时, 修理质量不好, 未能恢复原来的安装水平。

3) 生产管理方面。违章操作, 超负荷运转等。

4) 其他方面。防腐、抗高温等措施不力, 外物碰撞, 卡滞等意外原因。

1.2.3 设备事故的处理与考核

1. 设备事故的处理

设备管理, 应以预防设备事故为重点, 即贯彻预防为主的原则。但是, 设备事故是不可能完全避免的, 关键是要把设备事故的损失减少到最小。因此, 设备事故发生后的处理、考核工作是十分重要的。

设备事故造成的损失, 包括修理费(修复所需材料、备件、人工、管理费用等)和减(停)产损失费等, 可按下式计算:

$$\text{设备事故损失费} = \text{受影响的生产时间(h)} \times \text{小时计划产量} \times (\text{减产产品的价格} - \text{原材料费}) + \text{原样修复费}$$

由此可见, 要减小事故损失, 应做到以下几点:

1) 由于事故而造成的减产损失要比照原样修复的费用高得多, 因此, 千方百计地减少事故发生后的停产时间, 是减小事故损失的关键。

2) 事故发生后, 要根据重大事故和一般事故的划分, 分别由各级主管部门领导主持对事故原因和责任进行认真分析。切实做到事故原因没有查清不放过, 事故责任者不受教育不放过, 防止事故措施不落实不放过。要认真总结教训, 杜绝类似事故发生。

3) 贯彻既防患于未然, 又改进于事后事故管理原则。克服在事故后只照原样修复, 不加改进的消极做法。

4) 不能过分强调防止事故, 而采取过激的检查和修理手段。片面提高维修率, 会造成维修费用和停产时间的增加。

5) 按规定要求填写报表, 并将有关资料存档。对重要设备的重大事故或性质恶劣、情节严重的其他重大设备事故, 必须立即报告上级主管部门。

6) 严格执行事故奖惩制度。

2. 设备事故的考核

为了对设备事故造成的损失进行统计, 以便考核设备管理工作的效果, 通常采用以下几种考核办法:

1) 考核企业的重大设备事故次数、一般设备事故次数、事故停产时间、事故损失价值等。这种考核办法的缺点是没有可比性。因各厂矿企业的设备数量、生产规模、年产值等不尽相同, 所以用事故次数、停产时间、损失价值三项指标还不能评定企业设备管理工作的效果和水平。

2) 近年来, 许多企业都在探讨考核事故率的办法, 即用设备事故率和资金事故率来考

核。

①考核台时事故率：用事故累积时间与主要设备的台数乘以年日历时间之比，即：

$$K_p = \frac{\sum t}{N_p T_0} \times 100\%$$

式中 K_p ——设备台时事故率；

$\sum t$ ——年累计设备事故影响生产时间 (h)；

N_p ——主要设备台数；

T_0 ——年日历时间 (h)。

这种考核办法由于设备台数划分比较复杂，台与台之间差别很大，又不可能把全部设备台数都计算在内，以年日历时间为基础，与企业的实际生产效率、作业率不一致，因此，这种办法只适用于单机组考核，而不适用于整个企业。

②考核资金事故率：即“千元产值事故损失率”。以事故损失金额与产值比较，作为设备事故考核指标，即

$$K_b = \frac{1000 \sum \Delta E}{E} \times 100\%$$

式中 K_b ——千元产值事故损失率；

$\sum \Delta E$ ——年全部事故损失 (万元)；

E ——年总产值 (万元)。

这种考核办法，考虑了生产水平，在企业之间、企业内部各年度间都可进行考核比较。

例1 某轧钢厂去年总产值8000万元，年事故损失金额共6万元；今年总产值12000万元，年事故损失金额共6.5万元。试比较该厂去年和今年的事故率有何变化？

按资金事故率的考核公式计算：

$$\text{去年 } K_{b1} = \frac{1000 \times 6}{8000} \times 100\% = 75\%$$

$$\text{今年 } K_{b2} = \frac{1000 \times 6.5}{12000} \times 100\% = 54.2\%$$

$K_{b1} > K_{b2}$ ，可见今年的事故率比去年下降了。

任务2 机械故障发生的原因及其对策

机械设备越复杂，引起故障的原因越多样化。一般认为引起故障的原因有机械设备自身的缺陷（内因）和各种环境因素（外因）的影响。机械设备本身的缺陷是由于材料有缺陷和应力、人为差错（设计、制造、检验、维修、使用、操作不当）等原因造成的。环境因素主要指灰尘、温度、有害介质等。环境因素和时间因素同时对机械设备的各个方面都有影响（无论是引起机械故障的直接原因，还是间接原因，乃至故障的结果）。这种影响可能是诱发因素，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有很大影响，况且时间和应力实际上是不能分开的。

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,并波及其他零件或设备,使其发生故障。如果弄清了局部发生的异常和波及机理,并加以监测和控制,就可避免故障向其他层次扩展。

2.1 机械磨损

2.1.1 机械磨损的概念及原因

机器故障最显著的特征是构成机器的各个组合零件或部件间配合的被破坏,如,活动连接的间隙、固定连接的过盈等的破坏。这些破坏主要是由于零件过早磨损的结果,因此,研究机器故障应首先研究典型零件及其组合的磨损。

两相互接触产生相对运动的摩擦表面之间的摩擦将产生阻止机件运动的摩擦阻力,引起机械能量的消耗,并转化为热量,使机件产生磨损。

关于机件在摩擦情况下磨损过程的本质问题至今尚在探讨中,对摩擦、磨损曾有诸多学说,下面仅介绍目前常用的干摩擦“粘着理论”和“分子-机械理论”。

1. 粘着理论和分子-机械理论的一些假设

(1) 接触表面凹凸不平 两个物体相对运动的接触表面(即摩擦表面)有一定的粗糙度,无论怎样精密细致地加工、研磨、抛光,表面总是会存在凹凸不平,如图 1-3 所示。采用不同的加工方法,获得的表面最大粗糙高度也不同,其具体对应关系见表 1-2。

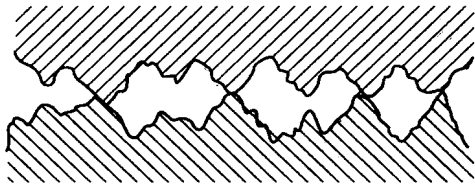


图 1-3 摩擦表面凹凸不平及其接触情况

表 1-2 不同加工方法与对应的表面最大粗糙高度

加工种类	最大粗糙高度/ μm
精车和精镗、中等精度的磨光、刮($0.5 \sim 3$ 点/ cm^2)	6 ~ 16
用硬质合金刀精车和精镗、精磨、刮($3 \sim 5$ 点/ cm^2)	2.5 ~ 6
用金刚石刀车光和镗光、超精磨	1 ~ 2.5
抛光、研磨、光磨	≤ 1

(2) 真实接触面积很小 由于零件表面存在着凹凸不平,因此,当两表面接触时,接触区就不是一个理想的平面,而是在微小面积上发生接触。真实接触面积 a (即在接触区域内,接触各点实际微小面积的总和),远比接触区域或名义接触面积 A 小得多,其比值一般在 $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{10^5}$ 范围内。

(3) 真实接触面积上的压强很大 真实接触面很小,即使垂直载荷 N 很小的时候,在真实接触面积上,也将受到很大的压强。

2. 粘着理论

两接触表面有摩擦时,在接触点产生瞬时高温(达 1000°C 以上且可持续千分之几秒的时间),引起两种金属发生“粘着”;当机件间有相对移动时,粘着点将被剪掉,使两金属产生“滑溜”。摩擦的产生,就是由于粘着与滑溜交替进行的结果。当摩擦副表面较粗糙,且两摩擦表面的硬度不同时,则硬的凸点可嵌入软的表面,在相对运动时,部分表面金属也

将被剪掉,这是产生摩擦力的另一个原因。

每当摩擦时,接触点形成的粘着与滑溜不断相互交替,造成表面的损伤,这就是磨损。

3. 分子-机械理论

分子-机械理论认为,摩擦副接触是弹性与塑性的混合状态,摩擦表面的真实接触部分在较大的压强作用下,表面凸峰相互啮合,同时相互接触的表面分子也有吸引力。在相对运动时,摩擦过程一方面要克服表面凸峰的相互机械啮合作用,另一方面还要克服分子吸引所产生的阻力的总和。因此,摩擦时,表面的相互机械啮合与分子之间引力的形成和破坏不断交替,就造成了磨损。

2.1.2 机械磨损的类型

机械磨损是多种多样的。但是,为了便于研究,按其发生和发展的共同性,可分为自然磨损和事故磨损。

自然磨损是机件在正常的工作条件下,其配合表面不断受到摩擦力的作用,有时由于受周围环境温度或介质的作用,使机件的金属表面逐渐产生的磨损。这种自然磨损是不可避免的正常现象。机件的结构、操作条件、维护修理质量等方面的不同,产生的磨损程度也不相同。

事故磨损是由于机器设计和制造中的缺陷,以及不正确地使用、操作、维护、修理等人为主的原因,而造成过早的、有时甚至是突然发生的剧烈磨损。

机械磨损也可以按磨损的原因分为粘着磨损、磨料磨损、表面疲劳磨损和腐蚀磨损。

1. 粘着磨损

按照前面介绍的粘着理论,根据粘着程度的不同,粘着磨损的类型也不同。常见的粘着磨损类型见表1-3。

表 1-3 粘着磨损的类型

类 型	发生位置及现象	实 例
轻微磨损	剪切发生在粘着结合面上,表面转移的材料极轻微	缸套与活塞环的正常磨损
涂抹	剪切发生在软金属浅层里面,转移到硬金属表面上	重载蜗轮副的蜗杆的磨损
擦伤	剪切发生在软金属接近表面的地方,硬表面可能被划伤	滑动轴承的轴瓦与轴摩擦
撕脱	剪切发生在摩擦副的一方或两方金属较深的地方	滑动轴承的轴瓦与轴的焊合层在较深部位剪断
咬死	摩擦副之间咬死不能相对运动	滑动轴承在油膜严重破坏的条件下,轴与滑动轴承抱合在一起,不能转动

2. 磨料磨损

由于一个表面硬的凸起部分和另一表面接触,或者在两个摩擦表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。

由于磨损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) 凿削磨料磨损 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) 碾碎式磨料磨损 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) 低应力磨料磨损 磨料以某种速度较自由地运动，并与摩擦表面相接触。磨料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称为表面疲劳磨损。例如，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，常常出现的小麻点或痘斑状凹坑就是表面疲劳磨损所形成的。

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，造成产品生产的质量下降，机件的寿命也迅速缩短。

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，使腐蚀和摩擦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且又被磨掉，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。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，又在磨损表面被磨掉，如此反复交替进行而带来比氧化磨损高得多的物质损失，此即为腐蚀介质磨损。

2.1.3 机械磨损的一般规律

机械磨损的规律如图 1-4 所示，机械正常磨损可分为三个阶段。

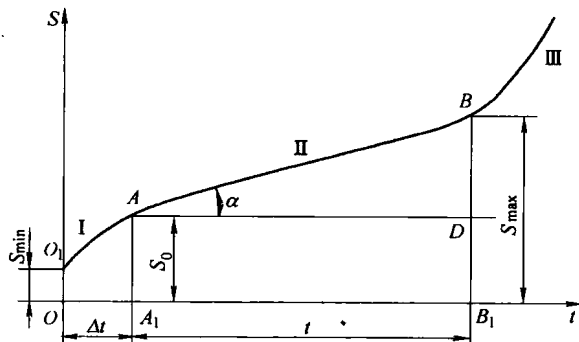


图 1-4 机械磨损规律图

1. “磨合”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；随着机械运转的时间延长，不平度凸峰逐渐磨平，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“磨合”，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。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，最后导致发生意外事故。

机械磨损发展过程是由自然磨损和事故磨损组成的。自然磨损是不可避免的现象，事故磨损可以延缓，甚至避免。应采取适当措施，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，从而减小磨损程度；尽量缩短“磨合”时间，达到延长机械正常工作时间，即延长机器使用寿命的目的。

2.1.4 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、湿度、环境、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取决于它的硬度和韧性。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，可以获得优良的力学性能，提高机件的耐磨性。有时，可用表面火焰淬火或高频淬火的方法使材料提高耐磨性，或者采用渗碳、渗氮、碳氮共渗的方法，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，如轴承衬或轴瓦，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，以达到减小摩擦和提高耐磨性的目的。

2. 机件工作载荷对磨损的影响

一般情况下，单位压力越大，机件磨损越剧烈。除了载荷大小之外，载荷特性对磨损也有直接影响，如是静载荷还是变载荷，有无冲击载荷，是短期载荷还是长期载荷等。一般情况下，机件不应长期超负荷运转和承受冲击载荷。

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、正转与反转、时开时停等，都对磨损有不同程度的影响。通常在干摩擦条件下，速度越高，磨损越快；有润滑油时，速度越高，越