

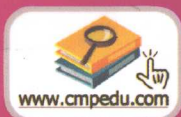


教育部高等职业教育示范专业规划教材

# 机电设备故障 诊断与维修

JIDIAN SHEBEI GUZHANG ZHENDUAN YU WEIXIU

汪永华 贾芸 主编



赠电子课件等

机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

教育部高等职业教育示范专业规划教材

# 机电设备故障诊断与维修

主 编 汪永华 贾 芸  
副主编 程 玉 张 宁 汪凤凤  
参 编 赵华新 王贤虎 徐华俊  
孔小赋 张发挥



YZLI0890169839



机械工业出版社

本书共分7章,主要介绍了机械设备故障诊断与维修的基本知识、机械设备状态监测与故障诊断技术、机械的拆卸与装配、机械零件修复技术、机床的故障诊断与维修、自动化生产线的安装与维修、常用电气设备的故障诊断与维修等内容。

本书具有以下特点:将机械与电气知识有机融合于一体,将传统设备故障诊断与维修技术和现代维修新技术、新工艺相结合,强调理论联系实际,内容新颖,文字简练,通俗易懂,实用性较强。每章后面均附有复习思考题,让学生在理论学习与操作之后巩固所学知识。

本书既可作为高职高专院校(或中职)机电类专业的教材,也可作为从事机电设备维修工作的相关工程技术人员和工人的参考用书和培训教材。

为方便教学,本书配有电子课件,凡选用本书作为教材的学校,均可来电免费索取。咨询电话:010-88379375; E-mail: cmpgaozhi@sina.com。

### 图书在版编目(CIP)数据

机电设备故障诊断与维修/汪永华,贾芸主编. —北京:机械工业出版社,2012.12

教育部高等职业教育示范专业规划教材

ISBN 978-7-111-40732-4

I. ①机… II. ①汪… ②贾… III. ①机电设备-故障诊断-高等教育-教材②机电设备-维修-高等教育-教材 IV. ①TM07

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第293273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:于宁 责任编辑:于宁 曹雪伟

版式设计:赵颖喆 责任校对:张媛

封面设计:马精明 责任印制:乔宇

三河市国英印务有限公司印刷

2013年2月第1版第1次印刷

184mm×260mm·18.75印张·462千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-40732-4

定价:34.00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 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

# 前 言

现代化机电设备是现代科学技术的集成，是工业生产的重要物质技术基础和工业企业的重要资产。现代化机电设备的机电一体化、高速化、自动化等特点使其易于操作，而它的故障诊断与维修则显得较为繁杂和困难。当代维修人员遇到的大多是机电一体化的复杂设备，先进的设备与落后的维修技术之间的矛盾正严重地困扰着企业，成为企业发展的障碍。因此，加强机电设备的现代化管理，提高技术人员对机电设备故障诊断与维修的技术水平，越来越显得重要和紧迫。

本书具有以下特点。

1. 注重内容的实用性。本书内容的编排是根据应用的需要和维修技术的发展现状确定的，适应培养企业实用性人才的需要。从实用性的原则出发，确定了基本理论部分的内容，使该部分内容精练、易懂，为学生学好本课程奠定基础。

2. 注重理论联系实际。本书突出了应用基础理论解决实际问题的训练，通过对典型机电设备故障的诊断和维修实例进行分析，使课程学习与生产实际有机地结合起来。

3. 注重内容的先进性。本教材编入了机电设备安装与维修技术领域一些新理论、新技术和新工艺，为生产中应用这些先进技术提供了参考。

本书由汪永华（编写了第7章的7.1~7.3节）、贾芸（编写了第3章的3.1~3.5节）主编，程玉（编写了第5章的5.1~5.3节）、张宁（编写了第1章）、汪凤凤（第7章的7.4节）任副主编，参加本书编写的有徐华俊（编写了第2章）、孔小赋（第3章的3.6~3.10节）、赵华新（编写了第4章）、张发挥（第5章的5.4节）、王贤虎（编写了第6章）。

鉴于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

## 第1章 机械设备故障诊断与维修的基

### 本知识 ..... 1

#### 1.1 机械设备安装概述 ..... 1

##### 1.1.1 组织准备和技术准备 ..... 1

##### 1.1.2 供应准备 ..... 2

##### 1.1.3 机械设备的开箱检查与清洗 ..... 2

##### 1.1.4 预装配和预调整 ..... 2

##### 1.1.5 机械设备基础的设计与施工 ..... 3

##### 1.1.6 机械安装 ..... 5

#### 1.2 机械磨损 ..... 6

##### 1.2.1 机械磨损的一般规律 ..... 6

##### 1.2.2 机械磨损的种类 ..... 6

#### 1.3 机械设备故障及诊断技术 ..... 8

##### 1.3.1 机械设备故障的概念 ..... 8

##### 1.3.2 机械设备的故障模式及其分类 ..... 9

##### 1.3.3 机械设备故障的一般规律 ..... 9

##### 1.3.4 机械设备故障发生的原因 ..... 9

##### 1.3.5 机械设备故障诊断技术 ..... 13

#### 1.4 机械设备维护与修理制度 ..... 28

##### 1.4.1 概述 ..... 28

##### 1.4.2 维修计划的编制 ..... 30

##### 1.4.3 设备维修计划的实施 ..... 33

##### 1.4.4 设备维修计划的考核 ..... 37

#### 1.5 设备事故管理 ..... 38

##### 1.5.1 事故处理 ..... 38

##### 1.5.2 事故统计 ..... 38

##### 1.5.3 事故上报 ..... 39

##### 复习思考题 ..... 39

## 第2章 机械设备状态监测与故障诊断

### 技术 ..... 40

#### 2.1 概述 ..... 40

##### 2.1.1 机械故障及其分类 ..... 40

##### 2.1.2 机械故障诊断的基本方法及分类 ..... 42

#### 2.2 振动监测与诊断技术 ..... 43

##### 2.2.1 机械振动的基础知识 ..... 43

##### 2.2.2 机械振动的信号分析 ..... 44

##### 2.2.3 振动监测及故障诊断的常用仪器

##### 设备 ..... 48

##### 2.2.4 实施现场振动诊断的步骤 ..... 52

##### 2.2.5 轴承故障的振动诊断 ..... 57

##### 2.2.6 齿轮故障的振动诊断 ..... 60

##### 2.2.7 旋转机械常见故障的振动诊断 ..... 62

#### 2.3 噪声监测与诊断技术 ..... 64

##### 2.3.1 噪声测量 ..... 64

##### 2.3.2 噪声源与故障源的识别 ..... 66

#### 2.4 温度检测技术 ..... 67

##### 2.4.1 温度测量基础 ..... 67

##### 2.4.2 接触式温度测量 ..... 68

##### 2.4.3 非接触式温度测量 ..... 71

##### 复习思考题 ..... 74

## 第3章 机械的拆卸与装配 ..... 75

#### 3.1 概述 ..... 75

##### 3.1.1 机械装配的概念 ..... 75

##### 3.1.2 机械装配的共性知识 ..... 75

##### 3.1.3 机械装配的工艺流程 ..... 77

##### 3.1.4 机械装配工艺的技术要求 ..... 77

#### 3.2 机械零件的拆卸 ..... 77

##### 3.2.1 机械零件拆卸的一般规则和要求 ..... 77

##### 3.2.2 常用的拆卸方法 ..... 78

##### 3.2.3 典型连接件的拆卸 ..... 80

#### 3.3 零件的清洗 ..... 82

##### 3.3.1 拆卸前的清洗 ..... 82

##### 3.3.2 拆卸后的清洗 ..... 82

#### 3.4 零件的检验 ..... 86

##### 3.4.1 检验的原则 ..... 86

##### 3.4.2 检验的分类和内容 ..... 86

##### 3.4.3 检验的方法 ..... 87

#### 3.5 过盈配合的装配 ..... 88

##### 3.5.1 常温下的压装配合 ..... 88

##### 3.5.2 热装与冷装配合 ..... 89

#### 3.6 联轴器的装配 ..... 90

##### 3.6.1 联轴器装配的技术要求 ..... 90

3.6.2 联轴器装配误差的测量和求解调整	92	4.7.1 补焊	138
3.7 滚动轴承的装配	93	4.7.2 堆焊	141
3.7.1 滚动轴承装配前的准备工作	94	4.7.3 喷焊	142
3.7.2 典型滚动轴承的装配方法	95	4.7.4 钎焊	144
3.7.3 滚动轴承的游隙调整	97	4.8 粘接修复技术	145
3.8 滑动轴承的装配	99	4.8.1 粘接的特点	145
3.8.1 剖分式滑动轴承的装配	99	4.8.2 粘接机理	145
3.8.2 整体式滑动轴承的装配	102	4.8.3 胶黏剂的组成和分类	146
3.9 齿轮的装配	103	4.8.4 胶黏剂的选用	147
3.9.1 齿轮传动的精度等级与公差	103	4.8.5 粘接工艺	148
3.9.2 齿轮传动的装配	104	4.8.6 粘接的应用	151
3.10 密封装置的装配	107	4.9 零件修复技术的选择	151
3.10.1 固定连接的密封	107	4.9.1 修复技术的选择原则	151
3.10.2 活动连接的密封	108	4.9.2 零件修复工艺规程的制订	153
复习思考题	112	4.9.3 典型零件修复技术的选择	154
<b>第4章 机械零件修复技术</b>	<b>113</b>	复习思考题	156
4.1 概述	113	<b>第5章 机床的故障诊断与维修</b>	<b>157</b>
4.1.1 机械零件修复技术的特点	113	5.1 概述	157
4.1.2 机械零件修复工艺的类型	113	5.2 普通机床的故障诊断与检修	157
4.2 金属扣合技术	114	5.2.1 车床	157
4.2.1 金属扣合技术的特点	114	5.2.2 铣床	164
4.2.2 金属扣合技术的分类	114	5.3 数控机床的故障诊断与检修	169
4.3 工件表面强化技术	117	5.3.1 数控机床故障诊断与维修的基础知识	169
4.3.1 表面形变强化	117	5.3.2 数控机床机械故障诊断与维修	174
4.3.2 表面热处理强化和表面化学热处理强化	117	5.3.3 数控机床主传动系统故障诊断与维修	178
4.3.3 三束表面改性技术	118	5.3.4 数控机床进给运动系统的维护与故障诊断	179
4.4 塑性变形修复技术	121	5.3.5 数控机床刀库与自动换刀装置故障诊断与维修	182
4.4.1 墩粗法	121	5.3.6 数控机床液压与气动系统故障诊断与维修	184
4.4.2 挤压法	121	5.3.7 数控机床的起、停运动故障诊断	188
4.4.3 扩张法	121	5.3.8 数控系统的日常维护及故障诊断与维修	189
4.4.4 校正法	121	5.4 数控机床故障诊断与维修实例	195
4.5 电镀修复技术	123	5.4.1 数控机床机械故障的诊断与维修实例	195
4.5.1 概述	123	5.4.2 数控系统的故障诊断与维修实例	197
4.5.2 电刷镀	125	5.4.3 数控伺服系统的故障诊断与维修实例	200
4.6 热喷涂修复技术	131	5.4.4 数控机床电气故障的诊断与维修	
4.6.1 热喷涂技术的分类及特点	131		
4.6.2 热喷涂材料	132		
4.6.3 热喷涂技术的主要方法及设备	133		
4.6.4 热喷涂工艺	135		
4.6.5 热喷涂技术的应用	137		
4.7 焊接修复技术	138		

实例 .....	203	7.1.2 电气设备故障检测诊断的方法 .....	243
复习思考题 .....	205	7.1.3 用人体感官诊断电气设备的异常 或故障 .....	244
<b>第6章 自动化生产线的安装与维修</b> .....	<b>206</b>	7.2 变电所电气事故的处理 .....	245
6.1 概述 .....	206	7.2.1 变电所电气事故处理的原则 .....	245
6.1.1 自动化生产线的基本概念 .....	206	7.2.2 电气事故处理的一般规定 .....	245
6.1.2 自动化生产线的发展趋势 .....	207	7.2.3 电气事故处理的程序 .....	246
6.2 自动化生产线的组成 .....	207	7.3 电气设备的检修 .....	246
6.2.1 输入 .....	207	7.3.1 变电所电气设备检修的意义 .....	246
6.2.2 主机 .....	211	7.3.2 电气设备检修的分类和目的 .....	247
6.2.3 输出 .....	214	7.3.3 电气设备检修制度的发展历程 .....	247
6.3 自动化生产线的安装与调试 .....	215	7.3.4 电气设备绝缘劣化或损坏的原因 .....	248
6.3.1 YL-335A型自动化生产线概述 .....	215	7.3.5 电气设备检修的一般安全规定 .....	249
6.3.2 供料单元的结构与控制 .....	216	7.3.6 电气线路与设备检修作业前的 安全措施 .....	249
6.3.3 加工单元的结构与控制 .....	222	7.4 变电所常用电气设备的故障诊断与 维修 .....	250
6.3.4 装配单元的结构与控制 .....	225	7.4.1 变压器的故障诊断与维修 .....	250
6.3.5 分拣单元的结构与控制 .....	229	7.4.2 三相异步电动机的故障诊断与 维修 .....	261
6.3.6 输送单元的结构与控制 .....	233	7.4.3 开关设备的故障诊断与维修 .....	267
6.3.7 公共模块和器件 .....	239	7.4.4 低压控制设备的故障诊断与维修 .....	281
6.4 生产线的检查、维修与保养 .....	241	复习思考题 .....	291
复习思考题 .....	242	<b>参考文献</b> .....	<b>292</b>
<b>第7章 常用电气设备的故障诊断与     维修</b> .....	<b>243</b>		
7.1 电气设备故障诊断概述 .....	243		
7.1.1 电气设备故障诊断的内容和过程 .....	243		

# 第1章 机械设备故障诊断与维修的基本知识

## 1.1 机械设备安装概述

机械设备的安装是按照一定的技术条件,将机械设备正确、牢固地固定在机械设备基础上。机械设备的安装是机械设备从制造到投入使用的必要过程。机械设备安装的好坏,直接影响机械设备使用性能的好坏和生产能否顺利进行。机械设备的安装工艺过程包括:机械设备基础的验收、安装前的物质和技术准备、设备的吊装、设备安装位置的检测和校正、机械设备基础的二次灌浆及试车等。

机械设备安装过程中,首先要保证机械设备的安装质量,机械设备安装之后,应按安装规范的规定进行试车,并能达到国家部委颁发的验收标准和机械设备制造厂的使用说明书的要求,投入生产后能达到设计要求。其次,必须采用科学的施工方法,最大限度地加快施工进度,缩短安装周期,提高经济效益。此外,机械设备的安装还要求设计合理、排列整齐,最大限度地节省人力、物力和财力。最后,必须重视施工的安全问题,坚决杜绝人身和设备安全事故的发生。

机械设备安装之前,有许多准备工作要做。工程质量的好坏、施工速度的快慢都和施工的准备工作的有关。机械设备安装工程的准备工作主要包括下列几个方面。

### 1.1.1 组织准备和技术准备

#### 1. 组织准备

在进行一项大型机械设备的安装之前,应该根据当时的情况,结合具体条件成立适当的组织机构,并且应分工明确、紧密协作,以使安装工作有步骤地进行。

#### 2. 技术准备

技术准备是机械设备安装前的一项重要准备工作,其主要内容包括以下几点。

1) 研究机械设备的图样、说明书、安装工程的施工图、国家部委颁发的机械设备安装规范和质量标准。在施工之前,必须对施工图进行会审,对工艺布置进行讨论审查,注意发现和解决问题。例如:检查设计图样和施工现场尺寸是否相符、工艺管线和厂房原有管线有无冲突等。

2) 熟悉设备的结构特点和工作原理,掌握机械设备的主要技术数据、技术参数、使用性能和安装特点等。

3) 对安装人员进行必要的技术培训。

4) 编制安装工程施工作业计划。安装工程施工作业计划应包括安装工程技术要求、安装工程的施工程序、安装工程的施工方法、安装工程所需机具和材料及安装工程的试车步骤方法和注意事项。



安装工程的施工程序是整个安装工程有计划、有步骤地完成的关键。因此，必须按照机械设备的性质、本单位安装机具和安装人员的状况以最科学、合理的方法安排施工程序。

确定安装工程的施工方法时，可参考以往的施工经验，听取有关专家的建议，广泛听取安装工人和工程技术人员的意见等。

### 1.1.2 供应准备

供应准备是安装中的一个重要方面。供应准备主要包括机具准备和材料准备。

#### 1. 机具的准备

根据机械设备的安装要求准备符合各种规范和所需精度的安装检测机具和起重运输机具，并认真地进行检查，以免在安装过程中才发现不能使用或发生安全事故。

常用的安装检测机具包括：水平仪、经纬仪、自准直仪、拉线架、平板、弯管机、电焊机、气割、气焊、扳手、万能角度尺、卡尺、塞尺、千分尺、千分表及各种检验测试设备等。

起重运输机具包括：双梁桥式起重机、单梁桥式起重机、卷扬机、起重杆、起重滑轮、电葫芦、绞盘及千斤顶等起重设备；汽车、拖车及拖拉机等运输设备；钢丝绳及麻绳等索具。

#### 2. 材料准备

安装中所用的材料要事先准备好。对于材料的计划和使用，应当是既要保证安装质量与进度，又要注意降低成本，不能有浪费现象。安装中所需材料主要包括：各种型钢、管材、螺栓、螺母、垫片、铜片及铝丝等金属材料；石棉、橡胶、塑料、沥青、煤油、机油、润滑油及棉纱等非金属材料。

### 1.1.3 机械设备的开箱检查与清洗

#### 1. 开箱检查

机械设备安装前，要和供货方一起进行设备的开箱检查。检查后应做好记录，并且双方人员要签字。设备的检查工作主要包括以下几项：

- 1) 检查机械设备表面及包装情况；
- 2) 检查机械设备装箱单、出厂检查单等技术文件；
- 3) 根据装箱单清点全部零件和附件；
- 4) 检查各零件和部件有无损坏、变形或锈蚀等现象；
- 5) 检查机械设备各部分尺寸是否与图样要求相符合。

#### 2. 清洗

开箱检查后，为了清除机械设备部件加工面上的防锈剂、残存在部件内的铁屑、锈斑及运输保管过程中的灰尘、杂质，必须对机械设备的部件进行清洗。清洗步骤一般是：粗洗，主要清除部件上的油污、旧油、漆迹和锈斑；细洗，也称油洗，是用清洗油将脏物冲洗干净；精洗，采用清洁的清洗油将机械设备的部件洗净，精洗主要用于安装精度和加工精度都较高的部件。

### 1.1.4 预装配和预调整

为了缩短安装工期，减少安装过程中组装、调整的工作量，常常在安装前对设备的若干

零部件进行预装配和预调整,把若干零部件组装成大部件。用这些预先组装好的大部件进行安装,可以大大加快安装进度。预装配和预调整可以提前发现设备存在的问题,及时加以处理,以确保安装质量。

大部件整体安装是一项先进的快速施工方法,预装配的目的就是为进行大部件整体安装做准备。大部件组合的程度应视场地、运输和起重能力而定。如果设备出厂前已组装成大部件,且包装良好,就可以不进行拆卸、清洗、检查和预装,而直接整体吊装。

### 1.1.5 机械设备基础的设计与施工

#### 1. 概述

机械设备基础的作用是把机械设备牢固地固定在要求的位置上,同时把机械设备本身的重量和工作时的作用力传递到大地中去,并吸收振动。所以机械设备基础是机械设备中重要的组成部分。机械设备基础的设计和施工如果不正确,不但会影响机器设备本身的精度和寿命,还会影响产品的质量,甚至使周围厂房和设备结构受到损害。

机械设备基础的设计包括以下几方面:根据机械设备的结构特点和动力作用的性质选择基础的类型;在坚固和经济的条件下,确定基础最合适的尺寸和强度等。

在机械设备基础的设计中把机械设备分为两类:第一类是没有动力作用的机械设备,这类机械设备的回转部分(转子)的不平衡惯性力相当小,若与机械设备的重量比较起来是微不足道的;第二类是有动力作用的机械设备,这类机械设备在工作时产生很大的惯性力,这类机械设备称为动力机械。没有动力作用的机械设备,对机械设备基础的设计没有任何特殊的要求,不需要考虑动力载荷,但是这种机械设备是比较少的。

回转部分(转子)做均匀转动的机械设备在理论上是完全平衡的。但实际上无论何时都不能使转动部分的重心与回转的几何轴线完全重合。因而当这些机械设备工作时,就有不平衡的惯性力传到机械设备基础上,虽然所产生的偏心矩的数值一般是很小的,但是在现代机械设备高速转动下,这种惯性力就显得比较大。由于偏心矩的大小取决于许多偶然因素,因而转子转动时所产生的离心力,只能根据转子平衡的经验资料近似地计算。但在实际中,绝大部分带有均匀回转部分的机械设备的基础不进行这种计算。

有曲柄连杆机构的机械设备所产生的不平衡离心力是较为复杂的周期力,这些力是各种频率的许多分力的总和,但可以准确地进行计算。

不均匀回转的机械设备,除离心力外还有力偶传到机械设备基础上,力偶的力矩取决于不均匀回转的加速度,计算上述力偶的力矩是比较简单的。但是在有些情况下,例如轧钢机作用在其基础上的力偶,是接近于冲击作用的。

有冲击作用的机械设备在工作中产生一种冲击型的动力效果,将引起机械设备振动,危害周围的厂房和设备,因此,不但需要进行动力学计算,还需要采用隔振结构。

应当指出,一般有力作用的机械设备基础,往往采用一般建筑静力学计算,考虑载荷系数的方法。实践证明这种方法是可靠的。

按结构不同,机械设备基础也可分为两类:一类是大块式(刚性)基础;另一类是构架式(非刚性)基础。大块式基础可建成大块状、连续大块状或板状,其中开有机械设备、辅助设备和管道安装所必需的以及在使用过程中供管理用的坑、沟和孔。根据整套机器设备的不同特点,有的机械设备基础设有地下室,有的没有地下室。这种基础应用最为广泛,可

以安装所有类型的机器设备，尤其是有曲柄连杆机构的机械设备，还适用于安装绝大部分的破碎机、大部分电动机（主要是小功率和中功率的电动机）等。锻锤则只能建造在大块式基础上，而构架式基础一般仅用来安装高频率的机器设备。

## 2. 机械设备基础施工与验收

(1) 机械设备基础的施工 基础施工大约包括几个过程：挖基坑、装设模板、绑扎钢筋、安装地脚螺栓和预留孔模板、浇灌混凝土、养护、拆除模板等。

### (2) 基础的验收

1) 机械设备就位前，必须对机械设备基础混凝土强度进行测定。一般应待混凝土强度达到 60% 以上，机械设备才可就位安装。机械设备找平调整时，必须待混凝土达到设计强度才可拧紧地脚螺栓。中小型机械设备基础可用“钢球撞痕法”测定混凝土强度。大型机械设备基础在就位安装前必须进行预压，预压的重量为自重和允许加工件最大重量总和的 1.25 倍。

2) 机械设备基础的几何尺寸应符合设计规定，机械设备定位的基准线应以车间柱子纵横中心线或以墙的边缘线为基准（应符合设计图样要求）。

### 3) 地脚螺栓。

① 地脚螺栓的作用是将机械设备与地基基础牢固地连接起来，防止机械设备在工作时发生位移、振动和倾覆。

② 地脚螺栓的长度应符合施工图的规定，当施工图没有具体规定时，可按下式确定：

$$L = 15D + S + (5 \sim 10\text{mm})$$

式中， $L$  为地脚螺栓的长度（mm）； $D$  为地脚螺栓的直径（mm）； $S$  为垫铁高度及机座、螺母厚度和预留量（预留量大约为地脚螺栓螺距的 3~5 倍）的总和。

③ 垂直埋放的地脚螺栓，在敷设时应保证铅直度，其垂直偏差应小于 1%。

④ 地脚螺栓偏差的排除。

中心距偏差的处理：当地脚螺栓中心距偏差超出允许值时，先用凿子剔去螺纹周围的混凝土，剔去的深度为螺栓直径的 8~15 倍，然后用氧-乙炔火焰加热螺栓需校正弯曲部位至 850℃ 左右，再用大锤和千斤顶进行校正。达到要求后，在弯曲部位增焊钢板，以防螺栓受力后又被拉直。最后补灌混凝土。

标高偏差的处理：螺栓标高有正偏差且超过允许范围，应切割去一部分，并重新加工出螺纹。若螺栓标高有负偏差且不超过 15mm，应先凿去一部分混凝土，然后用氧-乙炔火焰将螺栓螺纹外部分烤红拉长，在拉长后直径缩小的部分两侧焊上两条加强的钢筋或细管。若负偏差超过 15mm 时，应将螺栓切断，并重焊一根新螺栓，再在对接焊处加焊 4 根钢筋，处理完毕后重新浇灌好混凝土。

地脚螺栓“活板”的处理：在拧紧地脚螺栓时，由于用力过大，将螺栓从机械设备基础中拉出，使机械设备安装无法进行。此时需将螺栓中部混凝土凿去，然后焊上两条交叉的 U 形钢筋，补灌混凝土，即可将螺栓重新固定。

4) 垫铁。在机械设备底座下安放垫铁组，通过对垫铁组厚度的调整，使机械设备达到安装要求的标高和水平，同时便于二次灌浆，使机械设备底座各部分都能与基础充分接触，并使基础均匀承受机械设备的重量及运转过程中产生的力。

① 垫铁的分类及适用范围：矩形垫铁（又称为平垫铁）用于承受主要负荷和具有

较强的连续振动的设备；斜垫铁（又称为斜插式垫铁）大多用于不承受主要负荷（主要负荷基本上由第二次灌浆层承受）的部位，斜垫铁下应有矩形垫铁；开口垫铁常以支座形式安装在金属结构或地平面上，并且是支撑面积较小的情况，其设备由两个以上底脚支撑。

② 垫铁放置应符合以下要求：每个地脚螺栓通常至少应放置一组垫铁。不承受主要负荷的垫铁组，只使用矩形垫铁和一块斜垫铁即可；承受主要负荷的垫铁组，应使用成对斜垫铁，找平后用电焊焊牢；承受主要负荷且在设备运行时产生较强的连续振动时，垫铁组不能采用斜垫铁，只能采用矩形垫铁。每组垫铁总数一般不得超过3块，在垫铁组中，最厚的垫铁放在下面，较薄的垫铁放在上面，最薄的安放在中间。

### 1.1.6 机械安装

#### 1. 设备找平与找正

设备的找正与找平工作，概括起来主要是进行三找，即找中心、找标高和找水平。一般情况下，设备安装的找正与找平工作，可分为两个阶段进行：第一阶段称为初平，主要是初步找正找平设备的中心、水平、标高和相对位置，通常这一过程与设备吊装就位同时进行，许多安装精度要求较低的整体设备和绝大多数静置设备安装，只需进行初平即可；第二阶段称为静平，是在初平的基础上对设备的水平度、铅垂度、平面度等作进一步的调整和检测，使其达到完全合格的程度。对安装精度要求很高的设备，如大型精密机床、空压机等，均应在初平的基础上对设备及各主要机件和相关机件进行精确调整和检测，以保证设备安装精度达到允许偏差的要求。

#### 2. 机械装配用到的零件

1) 螺栓联接的防松装置。螺栓联接本身具有自锁性，承受静载荷，在工作温度比较稳定的情况下是可靠的。但在冲击、振动和交变载荷作用下，自锁性就受到破坏。因此，需增加防松装置。

2) 键联接。键是用来连接轴和轴上零件，键联接的特点是结构简单、工作可靠、装拆方便。键通常按构造不同可分为松键、紧键和花键。

3) 滑动轴承。滑动轴承是一种滑动摩擦的轴承，其特点是工作可靠、平稳、无噪声、油膜吸振能力强，因此可承受较大的冲击载荷。

4) 滚动轴承安装包括清洗、检查、安装和间隙调整等步骤。

5) 齿轮传动机构。齿轮传动机构具有传动准确、可靠、结构紧凑、体积小、效率高及维修方便等优点。

6) 蜗杆传动机构。蜗杆传动机构的特点是传动比大，传动比准确，传动平稳，噪声小，结构紧凑，能自锁。不足之处是传动效率低，工作时产生摩擦热大，需良好的润滑。

7) 联轴器。联轴器分为固定式和可移动式两大类。

#### 3. 设备试运转

机械设备的试运转步骤为：先无负荷、后负荷，先单机、后系统，最后联动。试运转首先从部件开始，由部件至组件，由组件至单台（套）设备。数台设备组成一套的联动机组，应将单台设备分别试好后，再系统地联动试运转。

## 1.2 机械磨损

### 1.2.1 机械磨损的一般规律

相接触的物体相对移动时发生阻力的现象称为摩擦。相对运动的零件的摩擦表面发生尺寸、形状和表面质量变化的现象称为磨损。摩擦是不可避免的自然现象；磨损是摩擦的必然结果，两者均发生于材料表面。摩擦与磨损相伴产生，能造成机械零件的失效。当机械零件配合面产生的磨损超过一定限度时，会引起配合性质的改变，使间隙加大、润滑条件变坏。产生冲击，磨损就会变得越来越严重，在这种情况下极易发生事故。一般机械设备中约有80%的零件因磨损而失效报废。据估计，世界上的能源消耗有30%~50%是由于摩擦和磨损造成的。

摩擦和磨损涉及的科学技术领域甚广，特别是磨损，它是一种微观和动态的过程，在这一过程中，机械零件不仅会发生外形和尺寸的变化，而且会出现其他各种物理、化学和机械现象。零件的工作条件是影响磨损的基本因素。这些条件主要包括：运动速度、相对压力、润滑与防护情况、温度、材料、表面质量和配合间隙等。

以摩擦副为主要零件的机械设备，在正常运转时，机械零件的磨损过程一般可分为磨合（跑合）阶段、稳定磨损阶段和剧烈磨损阶段，如图1-1所示。

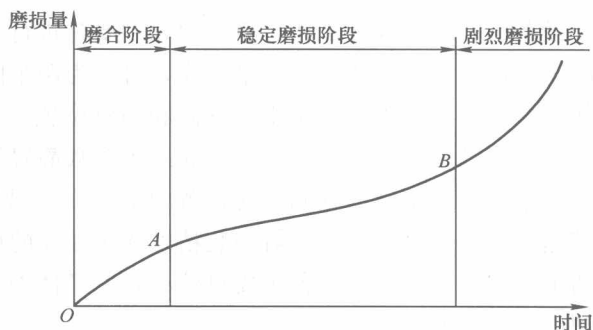


图 1-1 机械磨损过程

(1) 磨合阶段 新的摩擦副表面具有一定的表面粗糙度，实际接触面积小。开始磨合时，在一定载荷作用下，表面逐渐磨平，磨损速度较大，如图1-1中的OA线段。随着磨合的进行，实际接触面积逐渐增大，磨损速度减缓。在机械设备正式投入运行前，认真进行磨合是十分重要的。

(2) 稳定磨损阶段 经过磨合阶段，摩擦副表面发生加工硬化，微观几何形状改变，建立了弹性接触条件。这一阶段磨损趋于稳定、缓慢，AB线段的斜率就是磨损速度；B点对应的横坐标时间就是零件的耐磨寿命。

(3) 剧烈磨损阶段 经过B点以后，由于摩擦条件发生较大的变化，如温度快速升高、金属组织发生变化、冲击增大、磨损速度急剧增加、机械效率下降、精度降低等，从而导致零件失效，机械设备无法正常运转。

### 1.2.2 机械磨损的种类

通常将机械零件的磨损分为粘着磨损、磨料磨损、疲劳磨损、腐蚀磨损和微动磨损5种类型。

#### 1. 粘着磨损

粘着磨损又称为粘附磨损，是指当构成摩擦副的两个摩擦表面相互接触并发生相对运动时，由于粘着作用，接触表面的材料从一个表面转移到另一个表面所引起的磨损。

根据零件摩擦表面的破坏程度，粘着磨损可分为轻微磨损、涂抹、擦伤、撕脱和咬死5类。

在金属零件的摩擦中，粘着磨损是剧烈的，常常会导致摩擦副灾难性破坏，应加以避免。但是，在非金属零件或金属零件和聚合物零件构成的摩擦副中，摩擦时聚合物会转移到金属表面上形成单分子层，凭借聚合物的润滑特性，可以提高耐磨性，此时粘着磨损则起到有益的作用。

## 2. 磨料磨损

磨料磨损也称为磨粒磨损，它是当摩擦副的接触表面之间存在着硬质颗粒，或者当摩擦副材料一方的硬度比另一方的硬度大得多时，所产生的一种类似金属切削过程的磨损。它是机械磨损的一种，特征是在接触面上有明显的切削痕迹。在各类磨损中，磨料磨损约占50%，是十分常见且危害性最严重的一种磨损，其磨损速率和磨损强度都很大，致使机械设备的使用寿命大大降低，能源和材料大量消耗。

根据摩擦表面所受的应力和冲击的不同，磨料磨损的形式可分为鑿削式、高应力碾碎式和低应力擦伤式三类。

## 3. 疲劳磨损

疲劳磨损是摩擦表面材料微观体积受循环接触应力作用产生重复变形，导致产生裂纹和分离出微片或颗粒的一种磨损。

疲劳磨损根据其危害程度不同，可分为非扩展性疲劳磨损和扩展性疲劳磨损两类。

## 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，引起金属表面的腐蚀剥落，这种现象称为腐蚀磨损。它是与机械磨损、粘着磨损、磨料磨损等相结合时才能形成的一种机械化学磨损。因此，腐蚀磨损的机理与前述三种磨损的机理不同。腐蚀磨损是一种极为复杂的磨损过程，经常发生在高温或潮湿的环境下，更容易发生在有酸、碱、盐等特殊介质的条件下。

按腐蚀介质的不同类型，腐蚀磨损可分为氧化磨损和特殊介质下的腐蚀磨损两大类。

(1) 氧化磨损 我们知道，除金、铂等少数金属外，大多数金属表面都被氧化膜覆盖着。若在摩擦过程中，氧化膜被磨掉，摩擦表面与氧化介质反应速度很快，立即又形成新的氧化膜，然后又被磨掉，这种氧化膜不断被磨掉又反复形成的过程，就是氧化磨损。

氧化磨损的产生必须同时具备以下条件：一是摩擦表面要能够发生氧化，而且氧化膜生成速度大于其磨损破坏速度；二是氧化膜与摩擦表面的结合强度大于摩擦表面承受的切应力；三是氧化膜厚度大于摩擦表面破坏的深度。

在通常情况下，氧化磨损比其他磨损轻微得多。减少或消除氧化磨损的对策主要有：

1) 控制氧化膜生长的速度与厚度。在摩擦过程中，金属表面形成氧化膜的速度要比非摩擦时快得多。在常温下，金属表面形成的氧化膜厚度非常小，例如铁的氧化膜厚度为1~3mm，铜的氧化膜厚度约为5nm。但是，氧化膜的生成速度随时间而变化。

2) 控制氧化膜的性质。金属表面形成的氧化膜的性质对氧化磨损有重要影响。若氧化膜紧密、完整无孔，与金属表面基体结合牢固，则有利于防止金属表面氧化；若氧化膜本身

性脆，与金属表面基体结合差，则容易被磨掉。例如铝的氧化膜是硬脆的，在无摩擦时，其保护作用大，但在摩擦时其保护作用很小。在低温下，铁的氧化物是紧密的，与基体结合牢固；但在高温下，随着厚度增大，内应力也增大，将导致膜层开裂、脱落。

3) 控制硬度。当金属表面氧化膜硬度远大于与其结合的基体金属的硬度时，在摩擦过程中，即使在小的载荷作用下，也易破碎和磨损；当两者相近时，在小载荷、小变形条件下，因两者变形相近，故氧化膜不易脱落，但若受大载荷作用而产生大变形时，氧化膜也易破碎；最有利的情况是氧化膜硬度和基体硬度都很高，在载荷作用下变形小，氧化膜不易破碎，耐磨性好，例如镀铬硬时，其硬度为900HBW左右，铬的氧化膜硬度也很高，所以镀铬硬得到广泛应用。然而，大多数金属氧化物都比原金属硬而脆，厚度又很小，故对摩擦表面的保护作用很有限。但在不引起氧化膜破裂的工况下，表面的氧化膜层有防止金属之间粘着的作用，因而有利于抗粘着磨损。

(2) 特殊介质下的腐蚀磨损 特殊介质下的腐蚀磨损是摩擦副表面金属材料与酸、碱、盐等介质作用生成的各种化合物，在摩擦过程中不断被磨掉的磨损过程。其机理与氧化磨损相似，但磨损速度较快。由于其腐蚀本身可能具有化学的或电化学的性质，故腐蚀磨损的速度与介质的腐蚀性质和作用温度有关，也与相互摩擦的两种金属形成的电化学腐蚀的电位差有关。介质腐蚀性越强，作用温度越高，腐蚀磨损速度越快。

### 5. 微动磨损

两个接触表面由于受相对的低振幅振荡运动而产生的磨损称为微动磨损。它产生于相对静止的接合零件上，因而往往易被忽视。微动磨损的最大特点是：在外界变动载荷作用下，产生振幅很小（小于 $100\mu\text{m}$ ，一般为 $2\sim 20\mu\text{m}$ ）的相对运动，由此发生摩擦磨损。例如在键联接处、过盈配合处、螺栓联接处、铆钉联接接头处等接合处产生的磨损。

微动磨损使配合精度下降，过盈配合部件结合紧度下降甚至松动，联接件松动乃至分离，严重者会引起事故。微动磨损还易引起应力集中，导致联接件疲劳断裂。

## 1.3 机械设备故障及诊断技术

### 1.3.1 机械设备故障的概念

机械设备丧失了规定功能的状态称为故障。机械设备的工作性能随使用时间的增长而下降，当其工作性能指标超出了规定的范围时就出现了故障。机械设备发生故障后，其技术和经济指标部分或全部下降而达不到规定的要求，如发动机功率下降、精度降低、加工表面粗糙度达不到预定等级或发生强烈振动、出现不正常的声响等。

显然，必须明确什么是规定的功能，设备的功能丧失到什么程度才算出了故障。比如汽车制动不灵，或在规定的速度下刹车时制动距离超过了允许的距离，那么就认为是制动系统故障。“规定的功能”通常在机械设备运行中才能显现出来，若机械设备已丧失规定功能而设备未开动，则故障就不能显现。有时，机械设备还尚未丧失功能，但根据某些物理状态、工作参数、仪器仪表检测结果，可以判断其即将发生故障并可能造成一定的危害，因此，应当在故障发生之前进行有效的维护或修理。

### 1.3.2 机械设备的故障模式及其分类

每一种故障都有其重要特征，即故障模式。故障模式是故障现象的外在表现形式，相当于医学的疾病症状。各种机械设备的故障模式包括以下数种：异常振动、磨损、疲劳、裂纹、破断、腐蚀、剥离、渗漏、堵塞、过度变形、松弛、熔融、蒸发、绝缘劣化、短路、击穿、声响异常、材料老化、油质劣化、黏合、污染、不稳定及其他。

机械设备的故障按发生的原因或性质可分为自然故障和人为故障两类。自然故障是指因机械设备各部分零件的磨损、变形、断裂和蚀损等而引起的故障；人为故障是指因使用了质量不合格的零件和材料，进行了不正确的装配和调整，使用中违反操作规程或维护保养不当等而造成的故障，这种故障是人为因素造成的，是可以避免的。

### 1.3.3 机械设备故障的一般规律

机械设备的故障率随时间的变化规律如图 1-2 所示，此曲线常称为浴盆曲线。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、运输、安装等原因造成的故障，故障率较高；第二阶段为随机故障期，随着故障一个个被排除而逐渐减少并趋于稳定，此期间不易发生故障，机械设备故障率很低，这个时期也称为有效寿命期；第三阶段为耗损故障期，随着机械设备零部件的磨损、老化等原因造成故障率上升，这时若加强维护保养，可延长其有效寿命。

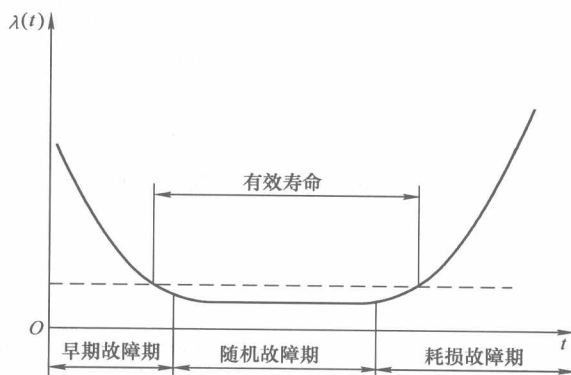


图 1-2 故障率的浴盆曲线

### 1.3.4 机械设备故障发生的原因

#### 1. 机械设备磨损

机械设备故障最显著的特征是构成机械设备的各个组合机件或部件间配合的破坏，如活动连接的间隙、固定连接的过盈等被破坏。这些破坏主要是由于机件过早磨损造成的。因此，研究机械设备故障应首先研究典型机件及其组合的磨损。

机件的磨损是多种多样的。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。

1) 自然磨损是机件在正常的工作条件下，由于其配合表面不断受到摩擦力的作用，有时又由于其配合表面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，而这种自然磨损是不可避免的正常现象。机件由于有不同的结构、操作条件、维护修理质量等而产生不同程度的磨损。

2) 事故磨损是由于机械设备设计和制造中的缺陷，以及不正确的使用、操作、维护和修理等人为了的原因，造成过早的、有时甚至是突然发生的剧烈磨损。

#### 2. 零件的变形

机械零件或构件在外力的作用下，产生形状或尺寸变化的现象称为变形。过量的变形是



机械失效的重要类型，也是判断韧性断裂的明显征兆。例如，各类传动轴的弯曲变形；桥式起重机主梁在变形下挠曲或扭曲；汽车大梁的扭曲变形；弹簧的变形等。变形量随着时间的不断增加，逐渐改变了产品的初始参数，当超过允许极限时，将丧失规定的功能。有的机械零件因变形将引起结合零件出现附加载荷、相互关系失常或加速磨损，甚至造成断裂等灾难性后果。

根据外力去除后变形能否恢复，机械零件或构件的变形可分为弹性变形和塑性变形两大类。金属零件在作用应力小于材料屈服强度时产生的变形称为弹性变形。

在金属零件使用过程中，若产生超量弹性变形（超量弹性变形是指超过设计允许范围的弹性变形），则会影响零件正常工作。例如，当传动轴工作时，超量弹性变形会引起轴上齿轮啮合状况恶化，影响齿轮和支承它的滚动轴承的工作寿命；机床导轨或主轴超量弹性变形，会引起加工精度降低甚至不能满足加工精度。因此，在机械设备运行中，防止超量弹性变形是十分必要的。除了正确设计外，正确使用十分重要，应严防超载运行，注意运行温度规范，防止热变形等。

塑性变形又称为永久变形，是指机械零件在外加载荷去除后留下来的一部分不可恢复的变形。金属零件的塑性变形从宏观形貌特征上看，主要有翘曲变形、体积变形和时效变形三种形式。

变形是不可避免的，下面针对四个不同方面采取相应的对策来防止和减少机械零件变形。

(1) 设计 设计时不仅要考虑零件的强度，还要重视零件的刚度和制造、装配、使用、拆卸及修理等问题。

1) 正确选用材料，注意工艺性能。如铸造的流动性、收缩性；锻造的可锻性、冷脆性；焊接的冷裂、热裂倾向性；机械加工的可切削性；热处理的淬透性、冷脆性等。

2) 合理布置零件，选择适当的结构尺寸。如避免尖角，棱角改为圆角、倒角；厚薄悬殊的部分可开工艺孔或加厚太薄的地方；安排好孔洞位置，把盲孔改为通孔等。形状复杂的零件在可能条件下采用组合结构、镶拼结构，从而改善受力状况。

3) 在设计中，注意应用新技术、新工艺和新材料，减少制造时的内应力和变形。

(2) 加工 在加工中要采取一系列工艺措施来防止和减少变形。对毛坯要进行时效处理，以消除其残余内应力。时效有自然时效和人工时效两种。自然时效是将生产出来的毛坯露天存放1~2年，这是因为毛坯材料的内应力有在12~20个月逐渐消失的特点，其时效效果最佳；缺点是时效周期太长。人工时效是把毛坯通过高温退火、保温缓冷而消除内应力，也可利用振动作用来进行人工时效。高精度零件在精加工过程中必须安排人工时效。

在制定零件机械加工工艺规程时，要在工序、工步的安排上和工艺装备、操作上采取减少变形的工艺措施。例如，粗精加工分开的原则，在粗精加工中间留出一段存放时间，以利于消除内应力。

机械零件在加工和修理过程中要减少基准的转换，保留加工基准供修理时使用，减少修理和加工中因基准不统一而造成的误差。对于经过热处理的零件来说，应注意预留加工余量、调整加工尺寸、预加变形，这是非常必要的。在知道零件的变形规律之后，可预先加以反向变形量，经热处理后两者抵消；也可预加应力或控制应力的产生和变化，使最终变形量符合要求，达到减少变形的目的。