

高等职业技术学校教学用书

# 机械 维修与安装

周师圣 主编

冶金工业出版社



高等职业技术学校教学用书

# 机械维修与安装

周师圣 主编

北 京

冶金工业出版社

2001

### 图书在版编目(CIP)数据

机械维修与安装/周师圣主编. —北京:冶金工业出版社, 2001. 9  
高等职业技术学校教学用书  
ISBN 7-5024-2805-4

I. 机… II. 周… III. ①机械维修-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. TH17

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 051275 号

出版人 曹胜利 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)  
责任编辑 王秋芬 美术编辑 熊晓梅 责任校对 朱翔 责任印制 李玉山  
北京鑫正大印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销  
2001 年 9 月第 1 版, 2001 年 9 月第 1 次印刷  
787mm×1092mm 1/16; 15.5 印张; 371 千字; 239 页; 1-4000 册  
24.00 元  
冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893  
冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100711) 电话: (010)65289081  
(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

## 前 言

本书是原冶金部“九五”规划教材,是参照冶金机械专业“机械维修与安装”教学大纲编写而成的。

“机械维修与安装”是冶金(矿山)机械专业必修的专业课之一,目的是使学生能够比较系统地掌握机械维修与安装的基本理论和方法,具有一定的分析、解决实际问题的能力,同时,对当代设备维修的发展趋势能够有所了解。本书在编写过程中,根据职业教育的特点和总的培养目标,本着“够用”、“会用”的原则。对某些实用意义不大的设计计算内容作了适当地删减;同时,增补了设备维修管理、典型矿冶机械设备维修与安装实例等章节,并在每一章最后编写了复习思考题和练习题。书中标有“\*”的内容为选修内容。

本书系高等职业技术学院机械专业教材,也可供从事机械设备管理、维修和安装的工程技术人员参考。

本书由铜陵财经专科学校周师圣任主编并负责全书的统稿工作。参加编写的有周师圣(第1章),太原工程职业技术学院段建军(第2章),北京钢铁学校计松江(第3章1~4节),天津工业学校李桂云(第3章第5节、第7章1~3节),河北工业职业技术学院侯维芝(第4章1~5节),河南省工业学校周自斌(第4章6~8节、第6章),铜陵财经专科学校林克璐(第5章1~5节)、余爱华(第5章第6节、第7章4~5节)。

本书由安徽工业大学机械工程系潘紫微教授主审。潘紫微教授对本书的编写提出了许多宝贵意见,特在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中,参考了不少国内资料和书籍,对有关编著者一并表示诚挚的谢意。

限于编者水平,书中难免存在疏漏之处,敬请读者批评指教。

编 者

2001年2月

# 目 录

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 1 绪论 .....                | 1   |
| 1.1 机械维修体系 .....          | 1   |
| 1.2 机械维修管理的发展简况 .....     | 2   |
| 1.3 我国机械维修管理现状及发展趋势 ..... | 4   |
| 1.4 本课程的性质及内容 .....       | 6   |
| 思考题与练习题 .....             | 6   |
| 2 机械维修的理论基础 .....         | 7   |
| 2.1 机械故障 .....            | 7   |
| 2.2 机械零件的失效形式 .....       | 9   |
| 2.3 机械维修方式及维修制度 .....     | 17  |
| * 2.4 机械维修管理 .....        | 22  |
| 2.5 设备事故管理 .....          | 30  |
| 思考题与练习题 .....             | 32  |
| 3 机械设备的润滑 .....           | 34  |
| 3.1 润滑状态与原理 .....         | 34  |
| 3.2 润滑材料 .....            | 40  |
| 3.3 稀油润滑 .....            | 57  |
| 3.4 干油润滑 .....            | 68  |
| 3.5 典型零部件的润滑 .....        | 78  |
| 思考题与练习题 .....             | 85  |
| 4 机械零部件装配技术 .....         | 87  |
| 4.1 概述 .....              | 87  |
| 4.2 过盈配合的装配 .....         | 89  |
| 4.3 联轴器的装配 .....          | 96  |
| 4.4 滑动轴承的装配 .....         | 103 |
| 4.5 滚动轴承的装配 .....         | 108 |
| 4.6 齿轮和蜗轮传动的装配 .....      | 114 |
| 4.7 螺纹连接的装配 .....         | 122 |
| 4.8 密封装置的装配 .....         | 124 |
| 思考题与练习题 .....             | 131 |
| 5 机械零部件的修理技术 .....        | 133 |
| 5.1 零件的检测技术 .....         | 133 |
| 5.2 零件表面污物的清除 .....       | 137 |
| 5.3 零件修复方法及其选择 .....      | 142 |
| 5.4 零件修复工艺 .....          | 144 |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 5.5 典型零件的修理 .....              | 167        |
| * 5.6 液压系统修理 .....             | 172        |
| 思考题与练习题 .....                  | 177        |
| <b>6 机械设备安装技术 .....</b>        | <b>178</b> |
| 6.1 概述 .....                   | 178        |
| 6.2 机械设备的基础 .....              | 179        |
| 6.3 机械设备的安装 .....              | 185        |
| 6.4 设备的试运转 .....               | 193        |
| 思考题与练习题 .....                  | 196        |
| * <b>7 矿冶机械设备安装与维修实例 .....</b> | <b>197</b> |
| 7.1 机械故障诊断技术 .....             | 197        |
| 7.2 矿冶设备安装实例 .....             | 205        |
| 7.3 矿冶设备故障处理实例 .....           | 212        |
| 7.4 提升设备的修理与装配 .....           | 218        |
| 7.5 往复式空气压缩机的修理与装配 .....       | 227        |
| 思考题与练习题 .....                  | 238        |
| <b>主要参考文献 .....</b>            | <b>239</b> |

# 1 绪 论

## 1.1 机械维修体系

### 1.1.1 设备的劣化及补偿

机械设备在使用或者闲置过程中逐渐丧失其原有性能,或者与同类新型设备相比较性能较差,显得旧式化的现象称为设备的劣化。

设备的劣化可分为使用劣化,自然劣化和灾害劣化。使用劣化是指设备在使用过程中,由于磨损和腐蚀所造成的耗损、冲击、疲劳和蠕变等所造成的损坏和变形,原材料的附着和尘埃的污染之类现象,使设备失去其原有的性能。自然劣化是指设备在进厂之后不管使用与否,随着时间的流逝,或者受大气的影响而使材料老朽化,或者遭受意外的灾害而加快这种老朽化的速度的现象。灾害劣化是指由于自然灾害,如暴风、水浸、地震、雷击、爆炸等使设备遭受破坏或设备性能下降的现象。

设备劣化还可分为绝对劣化和相对劣化。绝对劣化就是设备的老朽化,即随着时间的流逝,设备逐渐损耗,逐渐老朽直至需要报废。相对劣化是指原有的设备和新型设备相比较,性能低、质量差,因而显得旧式化的现象。

设备劣化导致设备技术性能下降,或者与新型设备相比,原有设备的技术性能较差,这一类劣化又称之为技术性劣化。如果从设备的经济价值来看待,随着时间的流逝,其价值也在减少,这又称之为经济性劣化。

设备的劣化使设备的性能下降,故障增多,维修费用增加,其所生产的产品产量减少,质量下降,成本增高并且不能保证按期交货,职工的安全感和情绪下降等,造成各种损失。

对设备劣化的补偿方法有两种:一是用新设备来替换已经劣化或损耗的旧设备,即进行设备更新;二是在使用过程中通过检修进行局部性的补偿。由于设备零部件的使用寿命是长短不齐的,因此用检修方法进行局部性的补偿,具有重要的经济意义。

图 1-1 为设备劣化的周期图。从图中可以看出,设备由建设期进入投产期,其性能逐渐达到设计水平,进入稳定生产期。如再经过革新改造,设备性能得到进一步提高,进入正常生产期。在使用中设备逐渐劣化,每经过一次修理,恢复一定的性能,但设备性能仍呈下降的趋势。这时,如果进行改造,设备性能就可能向新一代的设备靠近。当设备性能急剧劣化,再修理得不偿失时,就应当进行更新。

### 1.1.2 设备维修体系的三大侧面

随着设备技术的飞速发展,先进的设备需要先进的维修技术,更需要先进的管理模式。当代设备维修涉及工种广泛,设备管理成为一门边缘的、综合的、系统的学科。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。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、修理技术以及设备的更新与改造等;经济侧面包括维修的经济性评价、维修费用和劣化损失、固定资产的转移和折旧等;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。

设备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

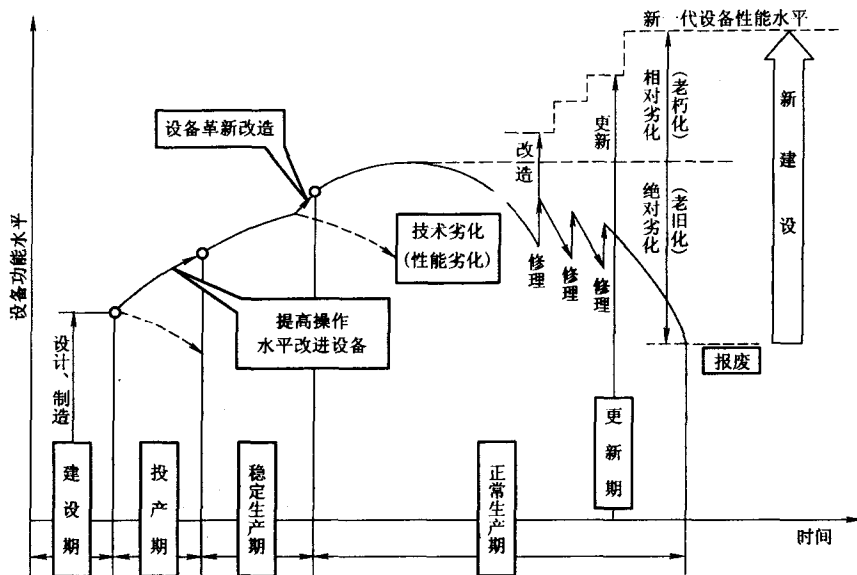


图 1-1 设备劣化周期图

度控制维修活动;经济侧面是对设备进行的经济价值的考核,是从“钱”的角度控制维修活动;经营侧面是从经营管理等软件的措施方面控制维修活动,即从“人”的角度控制维修活动。三大侧面构成了一个完整的设备维修体系,缺一不可。

## 1.2 机械维修管理的发展简况

从维修方式上看,机械维修管理的发展大体可分为以下四个阶段。

### 1.2.1 事后维修阶段

自从有了机器以来,维修工作就和机器并存,并随着生产的发展而发展。但是,直到 19 世纪末,人们对机械故障的处理还是坏了才修,不坏不修。这个阶段又由两个“时代”组成,即兼修时代和专修时代。在兼修时代,由于设备比较简单。设备的操作人员也就是维修人员;随着设备技术复杂程度不断提高,开始有了专业分工,进入了专修时代,这时,操作工专门操作,维修工专门维修。

### 1.2.2 预防维修阶段

人类历史进入 20 世纪后,随着生产的发展,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,由于零部件劣化,故障频发。如果在进入老年期之前,将劣化的零部件替换下来,就能预防故障的发生。具体说,就是对设备进行定期检查和计划修理。这种维修方式在 20 世纪 50 年代得到普遍推广,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,维修周期还只能主要靠经验来确定,这样就出现两个问题:一是为了保证安全,必然会人为地缩短维修周期,增加不必要的检修次数,从而增加了维修费用,二是在维修时,可能出现一些人为差错,从而增大了设备初期故

障的几率。

### 1.2.3 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,开始有组织地推进可靠性研究。最先是由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,还必须编制其实际的可靠度。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,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20世纪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。其后随着经济的增长,不仅电子领域,而且在汽车、航空、原子能等多个方面,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,利用监测技术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,从而减少大修费用,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,对同一机型的多台设备有效,对不同机型的机械组成的作业线,则无法用统计的方法掌握设备的状态,不能做出概率性的结论。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。

### 1.2.4 预知维修(状态维修)阶段

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,为此,从20世纪60年代中期开始,对设备的动态过程进行了大量的研究工作,寻找各种措施对设备状态和异常进行诊断和监测。到20世纪60年代末期,便开发成功了设备系统各种故障的监测技术和诊断技术,并开始应用到设备维修活动中。这种应用先进的状态监测技术和故障诊断技术以准确掌握设备的实际状态,并依赖计算机系统和软件来记录故障、评估系统和制定维修策略的方法,称之为预知维修。又因为它是以状态为基础的维修方式,也称之为状态维修或视情维修。

状态维修要求对设备进行各种参数测量,将测量值与允许的极限值进行比较,以确定维修计划。也可以进行趋向管理,即对测出的数据进行推测,以便预测其可能超出允许值的时间,并在足够的提前期间发出警报,以便提前安排维修。

状态维修是随着故障诊断技术的进步而发展起来的。如果检查手段落后,设备的劣化不能及时、准确地诊断,也就无法进行有效的状态维修。

以上所述设备维修历史发展的四个阶段,既有时间上的先后联系,又是相互渗透,并行不悖的。采取哪一种维修方式,要看企业的性质及其设备状况。一般而言,设备先进、资金密集型产业如冶金、电力、电子、轻工、化工等,检测仪器初期的投入仅占总设备费用的1%,最多不超过5%,与随机故障停机损失比较是微不足道的。所以,在这些企业采用状态维修,可以减少故障停机维修时间和维修费用,产值可增加0.5%~3%,其经济效益是可观的。对于非流程工业,以单体设备为主的企业,可以灵活地采用事后维修、预防维修和低水平的状态维修(即配备简易手提式状态检测仪器,由检测人员对设备进行巡回定期检查)。

### 1.3 我国机械维修管理现状及发展趋势

我国从 20 世纪 50 年代开始学习前苏联的设备管理经验,普遍推广以预防为主的计划维修制,亦称计划预修制。其主要特点是,以预防为主,把日常的设备维护放在重要地位,并做到定期检查,计划修理。按照设备磨损规律确定检修周期和修理周期结构,合理安排小修、中修和大修,并结合检修对设备进行改造。计划预修制的实行,在我国冶金、矿山企业生产任务非常繁重的情况下,对保证生产任务的完成起到了重要的作用。而且,直到今天,我国大多数企业的设备维修工作仍处于以预防维修为主的阶段。

在维修体制的模式上,长期以来,我国的国有企业,维修资源重复配置,大而全、小而全的现象十分严重,造成资源的严重浪费。一方面,多数国有企业的维修部门长期吃不饱,只能依靠行政手段垄断企业内部的维修,其质量、价格与专业化维修相差甚远(在某些国有企业中,保护性的内部大修费用往往高出维修市场价格 10%~20%);另一方面,市场的无序竞争又使得大批不合格的维修机构应运而生。在这种条件下,维修市场化的进程举步维艰。

在 21 世纪,我国设备维修管理的发展趋势又将如何呢?研究这个问题,既不能脱离当前设备维修管理水平,又要充分估计科学技术的发展对维修行业的影响。当代设备技术进步飞快,分别朝着集成化、大型化、连续化、高速化、精密化、自动化、流程化、综合化、计算机化、超小型化、技术密集化的方向发展。先进的设备与相对落后的维修能力的矛盾将日益严重地困扰着企业,成为企业前进的障碍。一方面,要求企业增加设备的自诊断能力和可维修性,要求设备具有更高的可靠性,甚至引入无维修设计;另一方面,呼唤更良好的售后服务和社会化维修力量,减轻企业设备维修的负担。然而,这些目标的实现需要一个发展过程。据此分析预测,在 21 世纪初,我国机械维修发展的总趋势将是:

1) 机械维修管理的指导思想,将在认真研究和消化吸收先进的设备管理与维修理论和模式的基础上,充分体现市场竞争、设备效益、全系统、全员参与、质量控制等新的思想观念。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。在设备整个寿命周期中,都充分体现和贯穿安全性、可靠性、维修性和经济性的管理。设备管理不仅仅是设备管理和维修部门的事,而是从企业领导人到第一线工人全员参与,培养和重视员工的参与精神和创新能力。设备不只是组织生产的重要手段,而是企业参与生产竞争的重要物质资源,重要资产和资本。不仅要追求设备的完好,而且要追求产品的优质。

2) 维修体制的模式,将引入“无维修设计”,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。这样,企业将从“大而全”、“小而全”的传统观念中解脱出来,维修社会化逐步形成体系。此外,维修的服务范畴也早已超出了传统的“维护、检查、修理”而涉及到许多专业化领域,如维修咨询、维修计划的制定与实施、旧设备的拆卸、重新组装、设备薄弱环节分析及排除,设备的防灾及事故处理,设备的现代化改装等等。所有这些基本上都是通过以市场为导向的专业化维修加以实现的。

专业化维修的优势在于:可以更有效地使用、配置维修资源;按计划进行维修,避免额外的停机时间;提高生产率,减少操作人员等候维修的现象;确保维修服务的质量,减少相关的培训费用;可以按维修合同获得一定时间的保修期及其他售后服务。

在工业化国家中,专业化维修占据了主导地位。德国的中小企业往往不设专门的维修机构或只雇用少数维修人员负责设备的维护与检查,设备的修理则委托专业化维修机构或制造厂家。在美国,各工矿区均设有各大设备制造公司的维修中心,例如著名的久益公司,在全美就设有 10 个维修中心,配备有直升飞机、工具修配车等,既使最偏僻的矿山也可以在 24h 内提供专业化维修服务。20 世纪 90 年代中期,我国在北京、上海等五城市实施维修市场的试点工作,推动了维修向专业化、市场化过渡。汽车维修业 1998 年实现了产值 250 亿元,形成了大修、总成修理、维护、专项修理、特约维修等种类齐全、分工合理的市场结构体系。但是从整体上看,维修市场化的进程还相当缓慢。

3) 机械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。1987 年 7 月 28 日国务院发布了《全民所有制工业交通企业设备管理条例》,其中第七条指出:“企业应当积极采用先进的设备管理方法和维修技术,采用以设备状态监测为基础的设备维修方法,不断提高设备管理和维修技术现代化水平。”可以认为,条例发布之日就是标志着我国企业设备工作开始进入预知维修阶段。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,并请示修理人员进行修换;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、整体修换,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) 维修人员没有大专以上文化水平难以胜任工作。随着设备的技术进步,企业的设备操作人员不断减少,而维修人员则不断增加(图 1-2)。以美国为例,保养与维修汽车的工人较之汽车制造业的工人多出 10 倍,用于汽车维修的费用要多出数倍乃至数十倍。另一方面,操作的技术含量逐渐下降,而维修的技术含量却逐年上升(图 1-3)。现今的维修人员遇到的多是机电一体化,集光电技术、气动技术、激光技术和计算机技术为一体的复杂设备。当代的设备维修已经不是传统意义上的维修工所能胜任的工作。当前,我们面临的任务是大力抓好人才的开发和培养,通过高等院校培养和对在职人员进行补充更新知识的继续教育,尽快造就成一批具有现代维修管理知识和技术的维修专业人员。

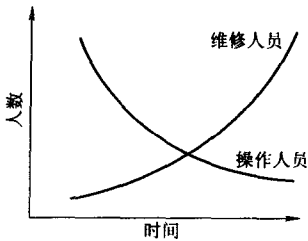


图 1-2 设备操作人员与维修人员的比例关系

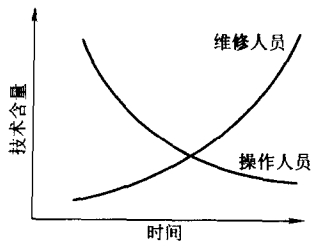


图 1-3 设备维修人员和操作人员与技术含量的关系

## 1.4 本课程的性质及内容

本课程是矿山、冶金机械专业的专业课之一,具有很强的实践性和适用性,是设备管理和维修人员的必修课程。

根据教学大纲的要求,本课程主要讲述以下内容:

- 1) 机械维修的理论基础。介绍机械故障的类型及一般规律;引起机械故障(零件失效)的原因及其影响因素;设备维修制度;设备维修管理及设备事故管理等。
- 2) 机械设备润滑。介绍润滑原理、润滑材料、润滑方式和润滑装置,典型零部件的润滑。同时,介绍油雾润滑、油气润滑及干油喷射润滑等新型润滑技术。
- 3) 零部件装配技术。介绍过盈连接装配、联轴器找正、齿轮传动、滑动轴承和滚动轴承、螺纹连接、密封装置等的装配技术要求和装配工艺要点。
- 4) 零件修理技术。介绍零件检测技术、零件表面污物的清除以及零件修复的方法及典型零件的修理工艺。
- 5) 机械设备安装。介绍设备基础、安装基准的设置、机座下放置垫板、设备安装位置的调整(找正、找平、找标高)、紧固地脚螺栓及二次灌浆、设备试运转等安装工艺过程。
- 6) 矿冶机械设备安装和维修实例。介绍设备诊断技术,并从理论与实践的结合上,选择典型矿冶机械安装、维修及故障处理等实例,供教师选讲和学生自学,以期达到举一反三、触类旁通的效果。

### 思考题与练习题

- 1-1 何谓设备劣化?按劣化原因,设备劣化可分为哪几种?
- 1-2 何谓绝对劣化和相对劣化,何谓技术性劣化和经济性劣化?
- 1-3 设备劣化的补偿方法有几种?
- 1-4 何谓设备维修体系的三大侧面?
- 1-5 什么是预防维修,预防维修有何特点?
- 1-6 什么是可靠性管理引入维修,其有什么特点?
- 1-7 什么是预知维修,实行预知维修需要具备什么条件?
- 1-8 何谓“无维修设计”,21世纪初我国的维修体制的模式将有什么样的变化?
- 1-9 21世纪初,我国对维修人员的素质将有怎样的要求?

## 2 机械维修的理论基础

### 2.1 机械故障

#### 2.1.1 机械故障的概念

机械设备丧失了规定性能的状态,称为机械故障。如轴承温度超过规定值;润滑油耗量变大;机器振动,噪声变大;零件变形超过允许范围,甚至断裂;轴瓦间隙变大,紧固件松动等。机械故障表现在结构上可以归结为机械零部件的损坏以及零部件间相互关系的破坏。

#### 2.1.2 机械故障的类型

##### 2.1.2.1 按故障发生速度分类

(1) 渐发型故障 其特征是故障发生的概率大小与使用时间有关。使用的时间越长,故障发生的概率也越大。这类故障与零件的材料、磨损、腐蚀、疲劳、温度等过程有密切关系。多数机械故障都属于这种类型。故障一旦发生,标志着设备有效寿命终结或设备必须进行大修。通常采用不同监测手段可以预测这类故障。

(2) 突发型故障 其特征是故障发生具有偶然性,与设备使用时间长短无关。因而这类故障是难以预测的。如双齿辊破碎机工作中落入钢件而引起辊齿或辊轴折断;高压离心鼓风机因润滑油突然中断而导致轴瓦烧坏等。

(3) 复合型故障 其特征是故障发生的时间是随机不定的,与设备使用的时间长短无关;而设备零件的损伤过程的速度是时间的函数。这种故障具有上述两种故障的特征。如颚式破碎机中落入过硬的物体引起超负荷,而安全板因材质问题没有断裂保护,致使动颚头出现裂纹,随着设备的继续使用,裂纹扩展造成动颚头断裂事故。

##### 2.1.2.2 按故障后果分类

(1) 功能故障 由于机器个别零件损坏,致使机器不能继续完成设定的功能。如减速器联轴器柱销折断而不能传递动力;内燃机因活塞环拉伤缸套而不能发动等。

(2) 参数故障 这类故障表现为机器的输出参数(特性)超出了允许极限值,它并不妨碍机器继续运转,但按技术要求标准衡量时,这些机器工作能力不佳或丧失了工作能力。如机床因磨损而导致加工精度降低;内燃机因活塞环间隙大而使功率降低等。在复杂的机器中,零件参数故障也可能引起功能故障。例如,在一个机构中,最后一个从动件设定应移动一微小距离,但因运动副磨损间隙过大,结果使这一从动件根本无法移动,因此零件的参数故障也就形成了整机的功能故障。

##### 2.1.2.3 按故障的危害程度分类

这种分类的方法很多,有的将故障造成的经济损失,停工时间作为评价标准;有的依据危害性质分为灾难性、使用性和经济性故障。多数企业是采用按故障频繁程度等级、影响程度等级、排除紧急程度三个方面进行综合评定:

| 故障频繁程度 | 影响程度等级    | 排除紧急程度  |
|--------|-----------|---------|
| 非常容易发生 | I 级重大故障   | 需立即排除   |
| 容易发生   | II 级严重故障  | 尽量快排除   |
| 偶尔发生   | III 级一般故障 | 生产间歇时排除 |
| 极少发生   | IV 级轻微故障  | 大中修期间排除 |

此外,还可根据故障出现的情况分为已发生的实际故障和未发生的潜在故障;也可根据故障发生的原因或性质分为人为故障和自然故障等。总之,研究故障类型的目的,是通过分析各种故障对设备功能、参数、零部件失效形式的影响,从而在设计、使用中采取改进措施,减少或杜绝故障发生,保证人员或机械安全。例如,为防止钢件落入辊式破碎机引起突发故障,在喂料线上设计安装电磁铁;高压离心鼓风机轴瓦设有油压报警器和紧急高位备用油箱等。对易发生故障的设备部位要进行监控使用,并制定相应的紧急抢修措施等等。

### 2.1.3 机械的故障规律

机械故障随时间变化的规律叫机械的故障规律。图 2-1 描述了机械故障失效率  $\lambda$  (%) 随使用时间  $t$  的变化关系。该曲线称寿命特性曲线,也称“浴盆曲线”。曲线变化过程分为三个阶段。第一阶段为早期故障期,即由于设计、制造、保管、运输、安装等原因造成的早期故障。其故障率较高,但较容易排除。第二阶段为正常运转期,亦称随机故障期。机器经跑合、调整,故障率逐渐下降并趋于稳定。在该阶段内仅有突发性故障,一般故障率较小。这一阶段表征了机械的有效寿命。第三阶段为耗损故障期,由于零件的磨损、腐蚀、疲劳等原因造成故障率上升,这时对机器进行大修,更换达到寿命的零部件,加强维护,可延长使用期。但一般大修费用可能较高,大修后的机器性能往往不如新机器。如汽车跑够一定的里程或达到一定年限必须强制报废,否则由于故障多发会造成维修费用的增加,甚至由于零部件劣化可能造成重大事故。

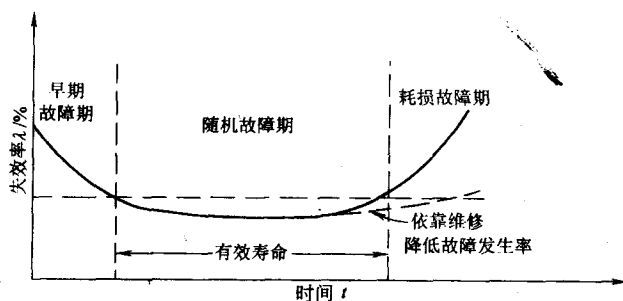


图 2-1 寿命特性曲线

### 2.1.4 机械故障发生的原因

了解故障发生的原因,为合理地维修设备延长其使用寿命,进而采取有效措施,防止故障的发生,具有重要的实际意义。

机械设备故障的原因是多种多样的,归纳起来有:1)机械设备自身缺陷影响(称基因)。如零件材料缺陷,内部残余应力、人为差错(设计、制造、检验、安装和使用不当)等。2)环境因素影响(称外因)。如粉尘、温度、湿度、介质腐蚀、振动、应力状态等影响因素。3)时间因

素影响(又称设备劣化)。

除应重视各类故障发生的原因外,还应重视故障的波及性,如初期零件出现异常,并没影响到机器的功能,这种潜在故障会向整个机器扩展,波及其他零件,最终使故障发生。如弄清了局部零件发生异常的原因和波及的机理,并监控波及作用,则可延长机器的使用寿命,避免故障进一步扩展。

综上所述,各种故障都会先导致零部件失效最终波及其他零部件而构成机械故障。找出零件失效的原因,分析其规律,采取相应的措施,延迟零件失效到来,对减少故障,延长机器寿命有着更重要的意义。

## 2.2 机械零件的失效形式

零件的失效形式有很多,本节重点介绍磨损、变形、断裂、腐蚀和蠕变引起的零件失效。

### 2.2.1 磨损

零件工作表面的物质,由于表面相互摩擦或介质冲刷而不断损失的现象,叫磨损。磨损的结果使零件表面不断脱落,表面性质、几何尺寸发生了改变,破坏了机器正常工作条件,使机器丧失了原有功能。

磨损是零件失效的主要形式,据统计有 75% 的机械零件是由于磨损而失效的。尤其冶金矿山设备负荷重、冲击大、温度高,工作环境恶劣等,机械磨损更为显著。

#### 2.2.1.1 磨损的类型

根据磨损产生的原因和磨损过程的本质,磨损又可分为黏着磨损、磨粒磨损、疲劳磨损和腐蚀磨损。

(1) 黏着磨损 微观地看零件表面都是凹凸不平的,两表面接触时,实际是局部的点接触。在相对滑动和一定载荷作用下,接触点发生塑性变形或剪切,使零件表面温度升高,表面膜破裂,严重时表面金属软化或熔化。此时接触面产生黏着,由于相对运动,旧的黏着点不断被剪断,新的黏着点又形成,如此循环构成黏着磨损。

(2) 磨粒磨损 硬的颗粒或凸起物在摩擦过程中引起材料脱落的现象称磨粒磨损,如图 2-2 所示。据国外统计,在冶金矿山工业中,由于磨粒磨损而引起的损失约占成本的 40%;在煤炭工业中占成本的 30%。所以由磨粒磨损引起零件失效所占比例是较高的。

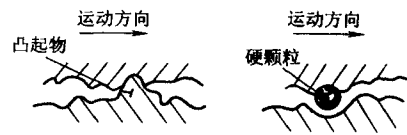


图 2-2 磨粒磨损

(3) 表面疲劳磨损 疲劳磨损是表面有摩擦存在的情况下,同时存在交变接触应力致使表面产生初生的显微裂纹,并不断发展引起材料微粒脱落的现象。例如滚动轴承滚动体表面、齿轮齿面分度圆附近、钢轨与轮的接触表面等,常出现小麻点或痘斑状凹坑,这就是典型的表面疲劳磨损所致。

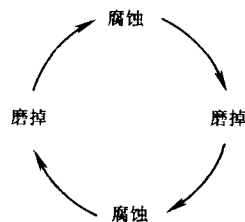


图 2-3 腐蚀磨损

疲劳磨损与零件疲劳破坏的主要区别是前者存在摩擦和磨损,表面发生塑性变形和发热现象,且受液体润滑介质的影响。而后者主要受交变应力作用引起疲劳破坏。

(4) 腐蚀磨损 当两表面在腐蚀环境(气体或液体)中摩擦时,

会在其表面上产生反应生成物,反应生成物与表面结合能力弱,在不断的摩擦中一般都会磨掉,磨掉后露出的金属又迅速生成新的反应物,如此反复形成腐蚀磨损(图 2-3)。它与一般化学腐蚀的根本区别是后者没有摩擦。

### 2.2.1.2 机械磨损的一般规律

机械设备在运转时,零件各部位的磨损并非相同,但磨损的发展具有共同的规律。图 2-4 为机械磨损规律曲线。从图中可看出机械的磨损过程大致分为三个阶段。

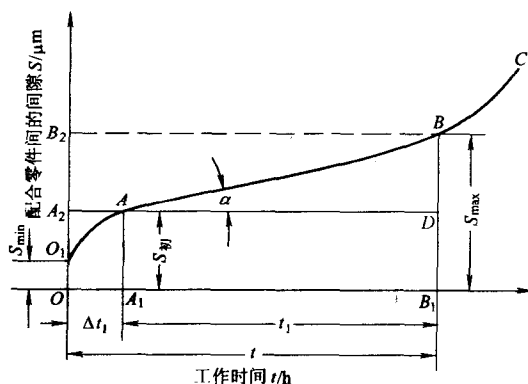


图 2-4 磨损规律的典型曲线

(1) “跑合”阶段(曲线  $O_1A$  段) 由于零件表面存在着加工后的不平度,故接触点上的接触应力较高,擦伤较大,磨损量随时间很快增大,零件的配合间隙由  $S_{\min}$  增大到  $S_{\text{初}}$ ,到达 A 点时,由于实际接触面积逐渐增大,磨损速度逐渐减慢,曲线开始变得平缓。

(2) 稳定磨损阶段(曲线  $AB$  段) 在此阶段内,机械经过“跑合”,微观几何形状得以改善,逐渐建立起弹性接触条件,磨损速度降低且基本稳定。间隙由  $S_{\text{初}}$  缓慢增大到  $S_{\max}$ 。

(3) 急剧磨损阶段(曲线  $BC$  段) 该阶段为事故磨损期,当间隙超过  $S_{\max}$  后,因配合间隙过大增加了冲击,润滑油膜被破坏,磨损速度急剧增加,机件处于危险工作状态,很可能发生意外故障。

研究机械磨损发展规律的意义就在于:了解机件工作的磨损阶段,一旦转入急剧磨损阶段,机件就必须修理或更换。机件在两次修理中间的正常工作时间为  $t_1$ ,可由下式求出:

$$\tan \alpha = \frac{BD}{AD} = \frac{S_{\max} - S_{\text{初}}}{t_1}$$

$$t_1 = \frac{S_{\max} - S_{\text{初}}}{\tan \alpha}$$

式中  $\tan \alpha$ ——磨损强度,为单位时间内的磨损量,也称磨损速度;

$S_{\max}$ ——极限允许磨损值;

$S_{\text{初}}$ ——初期的零件配合间隙。

要想延长机器的使用寿命  $t_1$ ,必须降低磨损强度。降低磨损强度的有效措施是加以良好的维护和润滑。通过研究磨损规律,可知机械磨损是由自然磨损和事故磨损组成的。自然磨损是不可避免的,事故磨损是由于维修不及时或维修质量不高,零件本身有缺陷等引起的。

### 2.2.1.3 机械磨损影响因素及防止措施

影响机械磨损的主要因素有零件材料、工作载荷、运动速度和运动形式、温度及环境、润滑条件、表面加工质量、装配安装质量等。

(1) 零件材料的影响 零件的耐磨性主要取决于它的硬度和韧性。硬度高,表面抵抗变形能力大,耐磨性就好;但硬度太高使脆性增加,易使材料表面产生磨粒状剥落,造成磨粒磨损。提高韧性可防止磨粒产生,有利于提高耐磨性。

在组合机件中,如轴承副中的转轴结构较复杂且价格较贵,一般选用优质碳素钢或合金钢制造,同时采取调质、表面淬火等提高轴的整体强度和表面硬度,以提高轴的耐磨性。对较简单的轴承衬或轴瓦,则选用铜基、铅基或铝基合金等软质减磨材料制造,来达到整个轴承副耐磨的目的。

(2) 工作载荷对磨损的影响 工作载荷大,单位压力大,机件的磨损加剧。此外,载荷特性对磨损也有直接影响。如冲击载荷,交变载荷会影响或破坏油膜,比静载荷磨损大。另外,载荷作用时间的长短对磨损也有影响。

(3) 机件的运动速度对磨损的影响 机件运行时,速度的大小、方向、变速与匀速等都对磨损有不同的影响。一般在干摩擦条件下,相对速度越高,磨损越快。在有润滑的条件下,速度越高,越稳定,越易形成油膜,可减少磨损。机器频繁地启动、制动、正反转时,也会使磨损加剧。

(4) 运动形式对磨损的影响 摩擦副是滚动摩擦还是滑动摩擦对磨损影响很大。通常,滚动摩擦比滑动摩擦磨损量小 $1/10 \sim 1/100$ 或更多。

(5) 温度、湿度和环境对磨损的影响 温度对润滑油的黏度,吸附性和化学稳定性影响很大。使用润滑油时应注意散热和冷却。机件的工作环境如水温、水气、粉尘、煤气、杂屑或其他流体、气体的化学腐蚀介质等都会加速机件的氧化和腐蚀磨损。

(6) 表面加工质量的影响 表面加工质量包括宏观几何形状、表面粗糙度和刀痕等。

宏观几何形状是指零件加工后的实际形状与理想形状的误差。如平面度、圆度、圆柱度、平行度、垂直度等形状和位置误差。误差越大,表面载荷分布越不均匀,局部磨损会越厉害。

表面粗糙度对磨损的影响较为复杂,图 2-5 是由试验测得的零件磨损量与表面粗糙度之间的关系曲线。由图可知:在每种载荷下都有一个最合理的粗糙度值(如  $O_1O_2$  点),这时磨损量最小。若大于最合理粗糙度值时,由于机械啮合作用而产生黏着磨损和磨粒磨损,使磨损量增大。若小于最合理粗糙度值时,磨损量也会上升。这是由于表面光洁使实际接触面增大,分子间引力增加,润滑油不易储存,因而产生黏着磨损的可能性增大。

刀痕方向对磨损影响较大。如两摩擦面刀痕方向平行,且与相对运动方向一致,则磨损量小。如相对运动垂直于刀痕方向,则磨损量最大。如刀痕方向与相对运动方向交叉时,则磨损量介于上述二者之间。

(7) 润滑对磨损的影响 对机件进行良好的润滑可以减少金属间的直接接触摩擦,不仅可降低功率损耗,而且减小了磨损,延长了机件使用寿命。例如,供给洁净的润滑油可防

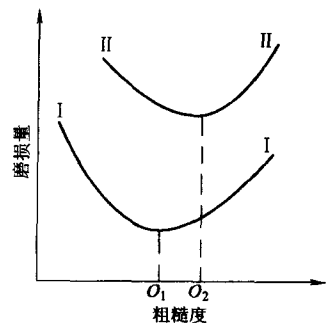


图 2-5 零件磨损量与表面粗糙度的关系

I—轻载; II—重载