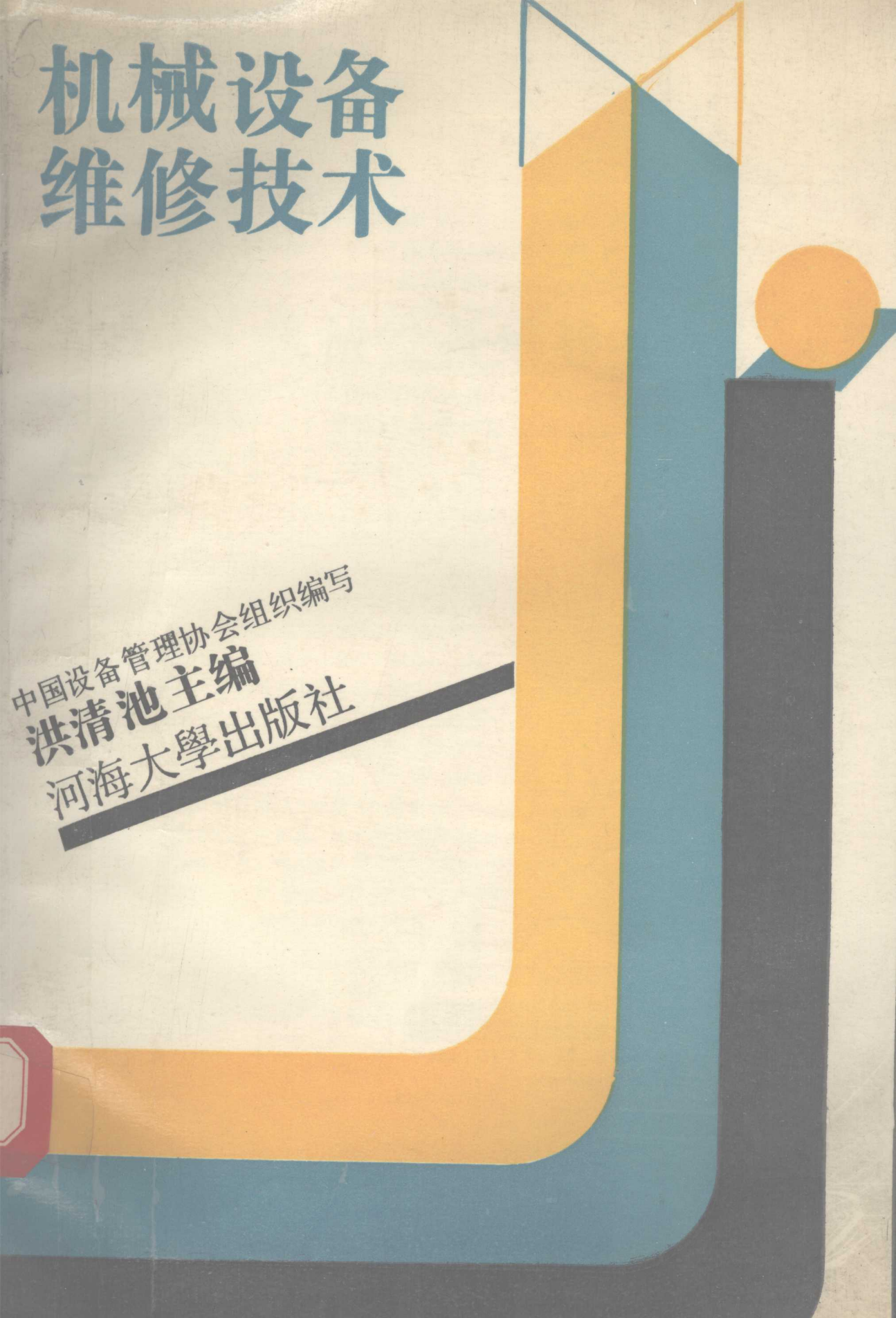


机械设备 维修技术

中国设备管理协会组织编写
洪清池主编
河海大学出版社



机械设备维修技术

中国设备管理协会组织编写

洪清池 主编

河海大学出版社

内 容 提 要

本书共分三篇十六章。第一篇为机械设备维修原理。主要介绍机械设备性能劣化的起因、过程和后果；机械设备零件失效的模式和机理；机械设备性能劣化和故障的控制以及恢复设备原有性能的原理和方法。第二篇为机械零件的修复和修理方法和技术以及各种修复和修理技术的正确合理选用的方法。第三篇为典型机械零件与设备的修理技术。主要介绍轴、轮、盘、箱体、容器等典型零部件以及机床、内燃机、液压传动系统、起重机等典型机械设备的修理、装配和调试等修理技术。

为了帮助读者便于掌握书中内容，在各章之后均附有复习思考题。

本书可作为高等学校设备工程与管理专业学生和各类培训教材，也可供从事设备管理和维修工作的人员和其它有关人员学习、参考之用。

责任编辑：魏 连

责任校对：吴秀华

封面设计：赵 清

机械设备维修技术

中国设备管理协会组织编写

洪清池主编

•

河海大学出版社出版

(江苏省南京市西康路一号 邮政编码210024)

江苏省新华书店发行 各地新华书店经销

江苏省武进县第三印刷厂印刷

开本：787×1092毫米 1/16 印张：21 字数：524千字

1991年7月第一版 1991年7月第一次印刷

印数：1—8000册

*

ISBN 7-5630-0307-X/TH·4

定价：8.00元

本书如有质量问题可随时向承印厂调换

总 序

党的十三届五中全会通过的《中共中央关于进一步治理整顿和深化改革的决定》，要求坚定不移地把经济工作转移到以提高经济效益为中心的轨道上来。为此，必须努力改进经营管理，提高科技水平，讲求经济效益，走投入少、产出多、效益高的经济发展的路子，实现国民经济长期持续、稳定、协调的发展。设备是企业生产经营的重要手段，是完成国民经济发展战略、实现“四化”的物质技术基础。加强设备管理，推进设备管理现代化，争取获得良好的设备投资效益，是设备管理的根本目标和任务。

在当前治理整顿和深化改革期间，国家对各地区、各部门行业设备管理工作总的要求是：以提高企业经济效益为中心，紧密结合“双增双节”运动，切实贯彻执行国务院《设备管理条例》和条例实施办法，建立健全行业 and 企业的设备管理规章制度，治理失修设备，整顿维修秩序，消除事故隐患，积极推动设备改造、更新，为调整产品结构、提高产品质量、降低物质消耗、保证安全生产服务。为了达到上述要求，国家计委提出了治理整顿期间设备管理的各项重点工作，其中之一是“继续抓好设备管理干部和维修职工的培训工作”。它的重要意义已毋庸赘述。

中国设备管理协会根据国家计委对设备管理工作的部署，把抓好设备管理、维修人员的教育与培训工作作为自己的一项重要任务。我们清楚地看到，在人员的教育与培训工作中，编写出符合教学大纲要求的教材是关键性的环节。它不但对学员是必不可少的，而且也是培训师资的依据。因此，早在1988年7月我会“设备工程与管理教学研究会”成立之际，即决定组织编写当前大学本科急需的下列六本教材：《设备管理学》，《计算机辅助设备管理》，《机械设备维修技术》，《设备状态监测与故障诊断技术》，《设备可靠性与维修性》，《设备技术经济学》。这六本教材是按大学本科要求编写的，也照顾到大专班及在职干部培训班的需要，以扩大教材的使用面。

一年多来，在我会的具体组织和国家计委等有关单位的支持下，通过编、审人员的辛勤劳动，六本教材已先后脱稿，并将陆续与读者见面。我会组织、约聘的六本教材编、审人员，均为在设备管理、维修的理论研究和教学、生产实践方面有所建树者，并在编写和审定工作中尽职尽责，由于“设备工程与管理”专业目前在国内外均属新兴学科，处于发展和不断充实、完善的阶段，编写大学本科教材更是一项带有尝试性的开拓工作，编、审人员的水平难以完全适应，故书中不足之处在所难免。我们恳切地希望，在设备管理与维修领域里从事管理、生产实践、科研和教学的各方人士，对我会组织编写、出版的这六本教材，就其内容和编排等提出建设性意见和批评指正，以便今后修订和再版时予以改进。

中国设备管理协会

1991年4月10日

序 言

机械设备作为生产工具，在国民经济的各个产业部门获得了广泛的使用。使用机器设备或机器设备系统进行生产已成为现代工业企业的重要标志之一。现代机器设备是集现代科学技术之大成的产物。随着社会生产的迅速发展，生产设备不仅数量迅速增多，而且日益现代化，机械设备在生产中所起的作用越来越显著，工业企业的生产经营对生产设备的依赖程度越来越大。实践表明，企业的生产设备的技术状态对产品生产率、质量、成本、安全和环保等，在一定意义上说起了决定性作用，这是现代科学技术和社会经济互相渗透、紧密结合、互相促进的一种必然趋势。

迄今为止，在“无维修设计”的理想未真正实现之前，机械设备不论设计和制造得多么完美无缺，由于机械设备在使用运行中不可避免地存在摩擦磨损、疲劳、变形、腐蚀、老化等自然现象，设备性能的劣化是不可抗拒的自然规律。设备使用运行一定时间之后，其性能就会下降，一旦性能下降超过技术条件允许的水平，就意味着设备产生了故障。设备产生了故障会带来一系列的后果，其一是使设备不能正常工作，甚至不能运行；其二是继续运行不经济或不能满足技术要求（产品质量、效率、能耗、加速损坏，不安全、污染环境等）。

面对这样的客观事实，为了减小或缓和机械设备劣化的过程，以及消除故障、恢复设备原有性能，主客观上都需有一整套科学的维护和修理的方法与技术。

机械设备的维修技术是以机械设备为对象，研究并寻找减少或降低设备性能劣化过程的原理和方法，以及相应的技术；研究和寻找消除故障，恢复设备原有性能的原理、方法和相应的技术。

在产业部门中，设备维修活动是面广量大的一种技术性强的活动，它是伴随着机械设备的出现和发展而产生和发展的。自从从机械设备的维修引起企业主关注之后，维修就成为一种专业性工作，由具有一定知识、经验和技能的人员承担，并对于预防设备早期劣化和故障，保证设备的正常运行起到了日益重要的作用，成为设备现代管理不可缺少的重要内容（即维修管理）。

但是，长期以来，人们对于维修缺少研究，因而对它缺乏足够的认识，使得维修在相当长时期内始终被看作是一种零散纯技艺的东西，因而始终被置于“灰姑娘”地位，其功能作用未能充分挖掘和发挥出来。直至本世纪20年代以后，由于社会经济的迅速发展，生产规模迅速扩大，新的生产方式的出现和采用，人们从实践中认识到维修具有普遍性，维修能给工业企业做出独特的贡献，从而开始对维修进行了广泛的系统研究，并迅速取得了进展，最终使维修摆脱纯技艺地位，发展并形成一门科学——维修工程学。维修技术则是它的一个分支。

本教材是根据中国设备管理协会下属的“设备工程与管理教学研究会”审定的教材编写大纲，组织有关高等院校的教授、讲师和工业企业的高级工程师、工程师共同编写的。在编写中遵循以下原则和指导思想：

1. 系统性和科学性。它包括了维修原理、方法和技术这一成熟而又完整的体系；既有维修理论，又有维修技术，两者紧密结合，使之具有科学性。

2. 取材上注重选用国内成熟的，特别是适用的维修技术，同时也注意吸收近期内国内外科

研新成果和新发展的维修技术,使之既实用而又能了解维修新技术的发展。

3. 在维修对象的选择上,以若干机械设备为典型代表,以点带面,使之具有广泛的适应性。

4. 鉴于设备工程与管理教学研究会同还组织编写出版其它五门主要专业课程教材,并进行了分工协作,因此,有关可靠性问题,在本教材中只从维修角度出发,介绍一些有关基本概念;有关设备状态监测与故障诊断技术,在本教材中未再单独列出章节介绍。

5. 维修技术在具体应用上必须重视经济性,为此,本教材中专设一章讨论各种维修技术的科学合理选择问题。

6. 为了帮助读者便于掌握各章的基本内容,在各章之后均附有复习思考题,可以作为课外作业。

7. 由于维修技术本身有较强的实践性,建议在使用本教材组织教学时,应创造条件开设必要的维修技术实验或实习。

本教材全书共分三篇,十六章。第一篇为机械设备维修原理,共三章。主要介绍机械设备性能劣化的起因、过程和后果;机械设备零件失效的模式和机理;机械设备性能劣化和故障的控制,以及恢复设备原有性能的原理和方法。本篇内容对设备维修在理论和方法上起指导作用。第二篇为机械零件的修复和修理技术,共六章。主要介绍因磨损、断裂、疲劳、腐蚀等失效的机械设备零件的修复和修理方法和技术,以及各种修复和修理技术的正确合理选用的方法。本篇介绍的修复和修理技术具有通用性与普遍意义,在维修技术中占有重要地位,是各类机械设备零件修复和修理的基础技术。第三篇为典型机械零件与设备的修理技术,共七章。主要介绍轴、轮、盘、箱体、容器等典型零部件,以及机床、内燃机、液压传动系统、起重机等典型机械设备的修理、装配和调试等修理技术。

本教材由江苏工学院洪清池副教授主编,南京农业工程学院金纯华教授主审。

本书第一、二、三和第六章由洪清池编写,第四、五章由沈传浙编写,第七、十六章由潘行源编写,第八、九、十章由张翠凤编写,第十一、十三章由黄胜昌编写,第十二章由刘喜春、谢秉仁编写,第十四章由韦其煌编写,第十五章由濮幼文编写。全书由洪清池修改定稿。

本教材在编写过程中得到北京装甲兵学院徐滨士、上海航空机械厂杨永发、南京机床厂蔡惟贤、南京第二机床厂赵炳坚、南京机床附件厂石光珉、无锡油泵油咀厂方绿堤、第二汽车制造厂装备部谢怀湘和唐焕金等的热情支持和帮助,江苏工学院设备工程与管理教研室姚冠新、卢中华为本书的出版也做了许多工作,在此一并表示感谢。

由于我们对一些新内容的消化和实践不够,错误和缺点在所难免,诚恳欢迎读者给予批评指正。

编 者

1991年4月

目 录

总序

序言

第一篇 机械设备的维修原理

第一章 机械设备工作性能的劣化	(1)
§ 1-1 机械设备的工作性能及其指标	(1)
§ 1-2 机械设备工作性能劣化的起因	(4)
§ 1-3 机械设备工作性能的劣化	(5)
§ 1-4 机械设备的故障	(10)
第二章 机械零件失效的模式及其机理	(29)
§ 2-1 机械零件材料的磨损	(29)
§ 2-2 机械零件的变形	(43)
§ 2-3 金属零件的断裂	(48)
§ 2-4 金属零件的腐蚀损伤	(56)
第三章 机械设备工作性能劣化与故障的控制	(62)
§ 3-1 决定和影响机械设备可靠性的主要因素	(62)
§ 3-2 机械设备工作能力的维持	(64)
§ 3-3 维持和恢复机械设备工作能力的技术—组织措施	(68)
§ 3-4 恢复机械设备工作能力的实用技术	(79)

第二篇 机械零件的修复和修理工艺

第四章 补焊与堆焊	(83)
§ 4-1 补焊	(84)
§ 4-2 堆焊	(92)
§ 4-3 硬聚氯乙烯塑料的焊接	(99)
第五章 热喷涂	(105)
§ 5-1 热喷涂概述	(105)

§ 5-2	氧乙炔火焰喷涂和喷焊	(110)
§ 5-3	电弧喷涂	(116)
§ 5-4	等离子喷涂和喷焊	(118)
§ 5-5	塑料喷涂	(120)
第六章	电镀	(122)
§ 6-1	电刷镀	(122)
§ 6-2	低温镀铁	(144)
§ 6-3	镀铬	(150)
§ 6-4	复合电镀	(154)
第七章	机械加工修理法	(156)
§ 7-1	修理基准的选择	(156)
§ 7-2	修理尺寸法	(158)
§ 7-3	附加零件法	(161)
§ 7-4	局部更换法	(163)
第八章	其它修复技术	(166)
§ 8-1	变形零件的校正	(166)
§ 8-2	金属扣合	(167)
§ 8-3	粘补与粘接	(170)
§ 8-4	表面强化	(175)
§ 8-5	治漏技术	(177)
第九章	机械零件的修复和修理工艺的选择	(181)
§ 9-1	选择修复工艺应遵守的基本原则	(181)
§ 9-2	选择机械零件修复和修理工艺的方法与步骤	(184)
§ 9-3	机械零件修复和修理工艺规程的拟订	(185)

第三篇 典型机械零件和设备的修理

第十章	修理前的技术准备	(191)
§ 10-1	机械设备修理用的技术文件的准备	(191)
§ 10-2	机械设备的解体	(194)
§ 10-3	机械设备和零件的清洗	(195)
§ 10-4	机械零件的技术鉴定	(199)
第十一章	典型机械零部件的修复和修理工艺	(203)
§ 11-1	轴类零件的修复和修理工艺	(203)

§ 11-2	轮类零件的修复和修理工艺	(209)
§ 11-3	齿轮件的修复和修理工艺	(210)
§ 11-4	孔类零件的修复和修理工艺	(211)
§ 11-5	压力容器的维修工艺	(212)
第十二章	机床关键部件和机构的修理	(216)
§ 12-1	机床导轨的修理	(216)
§ 12-2	机床主轴部件的修理	(220)
§ 12-3	机床箱体和尾座的修理	(226)
§ 12-4	机床分度机构的修理	(231)
§ 12-5	机床螺旋机构的修理	(232)
§ 12-6	机床齿轮传动的修理	(234)
第十三章	发动机的修理	(237)
§ 13-1	气缸体与气缸盖的修理	(237)
§ 13-2	活塞连杆组的修理	(241)
§ 13-3	曲轴与主轴承的修理	(245)
§ 13-4	配气机构的修理	(248)
§ 13-5	燃油供给系统的修理	(250)
第十四章	液压传动系统故障的预防和检修	(257)
§ 14-1	设备使用中液压系统故障的预防	(257)
§ 14-2	液压系统常见的故障分析	(261)
§ 14-3	液压系统故障的检测和诊断方法	(265)
§ 14-4	液压泵常见的故障与检修	(269)
§ 14-5	液压控制阀的故障和修理	(273)
§ 14-6	液压缸的故障和修理	(277)
§ 14-7	液压系统的调试	(279)
第十五章	起重设备的修理	(281)
§ 15-1	桥架变形的修复	(281)
§ 15-2	车轮“啃轨”和小车“三条腿”的排除与修理	(284)
§ 15-3	主要零部件的检修	(286)
§ 15-4	起重机的试车	(291)
第十六章	机床修理装配方法	(293)
§ 16-1	装配尺寸链	(293)
§ 16-2	机床典型零部件的装配	(299)

§ 16-3 机床总装配方法.....(311)

主要参考文献.....(319)

第一章 机械设备工作性能的劣化

§ 1-1 机械设备的工作性能及其指标

机械设备制造出厂时所赋予的性能，在其使用一定时期后将会下降，这种现象称之为劣化。如何减小设备的劣化过程速率，预防早期故障，保持设备长时间正常、可靠地工作，是一个具有普遍意义的重要课题。

本章将讨论机械设备性能劣化的起因、过程和故障发生的特点。

一、机械设备的工作性能

机械设备的种类和型号繁多。但是，任何机械设备在设计时都赋予一定的工作性能，并通过制造给予保证和实现，以满足使用价值。此时，机械设备所具有的工作能力是一种潜在的能力，机械设备的潜在能力是否充分发挥，取决于合理和有效地使用设备。

机械设备的工作性能是根据其输出参数来描述和评定的。而输出参数则是根据机械设备的用途和对它提出的不同要求而制定的各种特性指标。这些特性指标可以是：

1. 运动参数 例如，汽车和火车的行驶速度；飞机和轮船的航行速度；金属切削机床的切削速度；内燃机的标定转速；起重机的提升速度等。
2. 动力参数 例如，内燃机的功率、扭矩；金属切削机床的最大切削力，空气锤的锻造压力；起重机的最大起重量，空气压缩机的最大供气压力等。
3. 工作精度 例如，金属切削机床的加工精度，仪器设备的测量精度等。
4. 效率 例如，减速器和风机的机械效率；内燃机的热效率，发电机的效率等。
5. 生产率 例如，空气压缩机的排气量(m^3/min)，锅炉的产汽率(t/h)，挖掘机的挖掘量(m^3/h)，化工设备的出率(t/h)；
6. 强度或特性 例如，内燃机的速度特性，风机的特性，锅炉的耐压强度等。
7. 经济性 例如，内燃机的主燃油和润滑油消耗率，锅炉的煤耗，加热炉窑的煤耗、油耗或电耗，炼钢炉的焦比等。

各种机械设备的输出参数在它的技术文件中均作了具体规定，并附有必要的说明。在技术文件中要说明它的工作条件、维护保养和修理方法，以及规定参数的标准和允许偏差等。

当机械设备完成规定的功能，它的输出参数处于技术文件规定的范围内时，机械设备是处于正常的、无故障的技术状态。设备管理的任务之一就是要使设备经常处于良好的技术状态。

二、机械设备的可靠性

(一) 可靠性的概念

可靠性是对产品投入使用时无故障工作能力的度量，是产品的一种时间质量指标。不可靠的设备不可能有效地工作和充分发挥潜在能力，并将造成因停机停产而带来的巨大损失，

甚至发生灾难性后果。

国家标准(GB3187—82)《可靠性名词术语及其定义》中,对可靠性定义为,“产品在规定的条件下和在规定的时间内完成规定功能的能力。”

在定义中所指的“产品”,是指以单独研究和分别进行试验为对象的任何元件、器件、设备或系统。产品可分为可修复产品和不可修复产品。前者指的是当产品不能完成或丧失规定的功能,在给定的条件下可以恢复;后者则指产品不能完成或丧失规定的功能时,不能修复或者不值得修复。机械设备是一个复杂系统,它既有可修复的部份,又有一些不可修复和不值得修复的部份。本书以后所讨论的机械产品,除了特别指明者外,均指可修复的产品。

定义中的“规定的条件”,一般指使用条件、环境条件等。它包括所有的物理、化学及人一机工程因素,以及使用次数、放置时间、运输条件等。

定义中的“规定的时间”,一般是通过合同或具体产品技术标准来规定。时间长短随产品的不同而异。

定义中的“规定的功能”,是泛指。对于具体型号的产品,事先都必须仔细、准确地制订出完成规定功能的标准。

(二) 常用的可靠性指标

1. 可靠度 上述的定义是对可靠性的一种定性描述。为了给予定量的描述,通常用“可靠度”作为可靠性的最重要的定量指标。可靠度的定义为:“产品在规定的条件下和规定的时间内,完成规定功能的概率”。用 R 表示。由于可靠度是用概率表示,故 R 的取值范围为:

$$0 \leq R \leq 1$$

与此相对应,若把产品在规定条件下和规定时间内丧失规定功能的概率称为故障概率,记为 F ,则可靠度与故障概率之间有如下关系:

$$R = 1 - F \quad (1-1)$$

可靠度是对一定时间而言的,如果所指的时间不同,可靠度的数值也就不一样。因此可靠度是时间 t 的函数,记成 $R(t)$,称为可靠度函数。

设 N 个产品从时间 $t=0$ 开始工作,到任意时间 t 时的故障个数为 $n(t)$,则在时间 0 到 t 内的故障概率 $F(t) \approx n(t)/N$,称为累积故障概率,它也是时间的函数,故:

$$R(t) = 1 - F(t) \approx \frac{N - n(t)}{N} \quad (1-2)$$

2. 故障率 产品在任意时刻 t 的故障率定义为“产品工作到 t 时刻,在一个单位时间内故障的概率”。也就是说,故障率等于在 t 时刻后的一个单位时间内故障的产品数与在时刻 t 尚在工作的产品数(亦称残存产品数)之比。显然,故障率也是时间 t 的函数,记为 $\lambda(t)$,称为故障率函数。

设有 N 台设备从 $t=0$ 开始工作,到时刻 t 时发生故障的台数为 $n(t)$,则在 t 时刻的残存设备台数为 $N - n(t)$,若在 t 到 $t + \Delta t$ 时间内有 $\Delta n(t)$ 台设备发生故障,则其故障率可用下式估计:

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n(t)}{[N - n(t)] \Delta t} = \frac{n(t + \Delta t) - n(t)}{[N - n(t)] \Delta t} \quad (1-3)$$

故障率是标志产品可靠性的一个常用重要数量特征之一。故障率越低，可靠性愈高。

3. 维修性 对于可修复的产品，在修复时，产品一般都是处于非工作状态。显然，人们总希望当产品在发生了故障后，能够尽可能早发现并及时尽快修复，使其维持工作状态。这就产生了维修性概念。

所谓维修性，其定义为：“在规定条件下使用的产品，在规定时间内按规定的程序和方法进行维修时，保持或恢复到能完成规定功能状态的能力”。它是产品设计、制造和安装的特性，是在设计制造阶段已经确定的。

与可靠度一样，可用“维修度”作为维修性的尺度，并定义为：“在规定条件下和在规定时间内，对可修复的产品维修能完成的概率”。在一般情况下，用维修工作的持续时间、维修要求来衡量产品的维修性。所以，维修度讨论的是产品由故障状态恢复到正常状态时维修时间的分布。

由此可见，对于可修复产品，不仅要求可靠度，还必须要求包含维修因素在内的广义可靠性及其衡量指标。前面定义的可靠性是狭义的。考虑到可靠性与维修性密切相关的特点，应把二者结合起来，从广义上理解可靠性。因此，广义的可靠性包括了狭义的可靠性（固有可靠性）和维修性（使用可靠性）。应当指出，狭义的可靠性和维修性虽然都是为解决可修复产品的可靠性工程问题，但是两者的目标是不尽相同的。狭义可靠性技术的目标是解决产品的故障问题，而维修性技术的目标则是解决维修和维修工作的持续时间、维修费用以及维修的后勤保障等问题。

维修性也是产品固有的特性之一。在设计和研制阶段必须加以考虑和满足，并作为产品性能规范的一个重要组成内容。

4. 有效性 对于可修复产品，有效性定义为：“产品在某时刻具有或者维持规定功能的能力”。它是综合了可靠性和维修性指标要求的广义可靠性的定性指标。其定量指标是有效度，并定义为：“可修复产品在规定的条件下使用时，在特定瞬时中能维持其功能的概率，或在某一时间内能完成其功能的时间比率”。在这个指标下，虽然设备发生了故障，但是只要在规定的时间内修复完毕，保证设备能恢复正常工作，就是可靠而有效的。所以，有效度与单纯的可靠度相比，增加了正常工作的概率。对于可修复产品，要想提高有效度，维修度好不好有很大关系。实际上，往往用提高维修度来达到预定的有效度的目的，要比单纯提高可靠度来达到目的，在费用上更经济些。

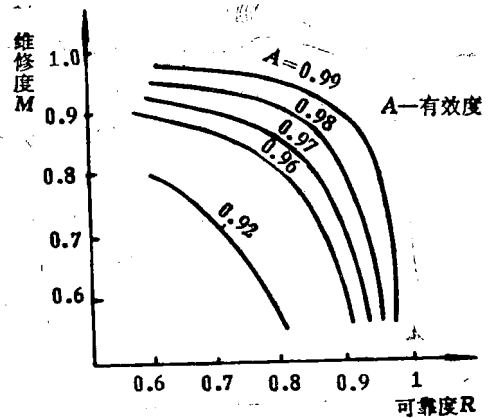


图1-1 有效度与可靠度和维修度的关系

有效度与可靠度和维修度的关系如图1-1所示。

5. 可靠性的经济指标 设备可靠性的提高，一方面用于维修的劳动耗费会减少，因停机停产造成的损失也将降低，导致设备投资效益有所提高，另一方面为了提高可靠性，必须采取许多技术的和组织的措施，因而需要增加额外的投资。显然，在评价可靠性时，必须权衡这两方面的关系，因此，需要有经济指标。

可靠性经济指标 K_E 可用下式表达:

$$K_E = \frac{C_m + C_0}{T_0} \quad (1-4)$$

式中: C_m ——新设备的造价;

C_0 ——设备使用、维修和修理的总费用;

T_0 ——设备的使用期限。

从经济观点出发,期望这个指标达到最小值。图 1-2 是某设备的可靠性要求与制造费用和使用维修费用的关系。从图可看到,对可靠性要求过高或过低都不能取得较佳的经济性,而适度的可靠性要求,却能获得较好的经济性。

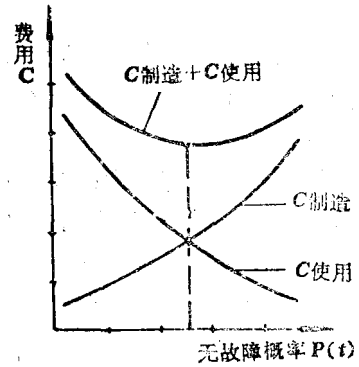


图1-2 设备的可靠性要求与制造费用和使用维修费的关系

§ 1-2 机械设备工作性能劣化的起因

当机械设备的工作能力受破坏,其输出参数达不到技术文件规定的范围时,设备处于某种故障状态。例如,液压系统的工作压力达不到规定值;发动机的功率和燃油消耗率达不到规定值;机床加工精度达不到规定要求等等。这都表明它们有了某种(或某些)故障。

实践表明,机械设备无论设计和制造得多么完美无缺,其初始工作能力都将随着工作时间的增长而发生变化,变化的总趋势是朝着人们不希望有的劣化方向发展。表现为设备工作能力下降,可靠性降低,甚至出现故障或事故。

从哲学上讲,自然界不存在不发生变化的事物,作为机械设备也不例外。由于作用在设备上的各种因素的积累,引起设备能力指标变化;这种变化达到一定程度,设备将从无故障状态过渡到有异常的故障状态。迄今,人们可以寻求减缓变化过程速率的措施,但是还不可能完全避免或消除这种变化。因此,重要的是要研究对设备造成有害作用的根源,查明降低设备工作能力过程的物理实质,弄清设备本身对这些不同作用所产生的反应,以便从设计、制造、使用 and 维修等方面采取可行的对策措施,保障设备在要求的使用期限内完成所规定的功能。

关于机械设备工作性能劣化的起因,可从不同的角度来研究和认识。从劣化的原动力,即从能量的角度考察,机械设备在建造后和在使用过程中,会受到各种能量的作用。这些能量可归纳为三类:周围介质能量的作用;设备内部机械能的作用;在制造中聚集在机械零件材料内部潜伏能量的作用。

一、周围介质能量的作用

作用于设备上的周围介质能量有:

1. 热能 周围介质温度的变化,来源于大环境温度的变化,以及由于设备周围其它设备的发热作用而造成的小环境温度的变化。热能够对机械零件产生作用和影响,例如,热胀冷缩,金属组织和性能的变化;有机材料制零件的软化、蠕变及老化;温度升高使润滑油粘度变化,氧化增强等。

2. 化学能 金属零件表面上的水份及其它浸蚀性气体和液体的作用,会使零件表面受腐

蚀破坏。例如，在潮湿环境及在一定条件下，设备的零件表面会有水蒸汽冷凝成水珠，当它沾附于钢铁件表面时会引起电化学腐蚀，这是十分普遍的一种破坏现象。即使设备闲置不用时，若无防护措施也会产生这种破坏。化工设备、船舶、纺织印染机械等都是在有浸蚀介质条件下工作的，也会受到介质的腐蚀作用。

3. 其它形式的能量 有些设备会受到核能、电磁能等能量的作用。有害生物也会危害设备的工作能力。例如，微生物霉菌的侵蚀会破坏常用的绝缘材料，一旦长了霉，霉菌在生长发育过程中产生的柠檬酸、碳酸、草酸等副产物会腐蚀绝缘材料甚至金属材料。

4. 操作设备和修理设备的人员因误操作或操作不合要求，也会损害设备的工作能力，严重者会迅速造成设备工作能力完全丧失或者酿成事故。

二、机械设备内部机械能的作用

在机械工作过程中，机械能不仅沿着各个机件传递，而且与外部介质（被驱动的机械和工作的对象）发生作用，引起载荷对设备产生作用。此外，机械能还用以克服运动件的摩擦阻力。载荷和摩擦对设备作用的结果将使机械产生疲劳、磨损、变形和内应力再分布等，这些不可逆的过程会使机械设备的性能随时间的增长而劣化。

三、在制造中聚集在机械零件材料内部的潜伏能量的作用

这种潜伏能量表现为铸件的内应力，机械加工或热处理时零件材料的内应力，以及机械装配时的内应力。这三种残余内应力与零件工作载荷共同作用的结果，可能加快引起零件材料的损伤，也可能减弱这种损伤，这取决于残余内应力的性质与大小。例如，当零件材料中残余内应力是拉伸内应力时，若零件工作时受载荷引起的工作应力也是拉伸应力时，则二者共同作用的结果，将使零件材料承受的是更大的拉伸应力。此应力若超过材料的强度，零件将受破坏。

§ 1-3 机械设备工作性能的劣化

一、损伤及其分类

机械设备受到上述三类能量作用，其组成单元发生复杂的物理、化学过程，将会导致机械零件发生诸如磨损、变形、腐蚀、断裂、老化……等现象，这类现象通称为损伤。“损伤”的概念可用于整台设备，也可以用于设备的组成单元。损伤表示的是设备在使用和保管过程中，在各种能量作用下引起的物理、化学过程的结果。

根据损伤的性质和对产品提出的要求以及是否可以预防，可将损伤分为正常损伤和异常损伤两类。前者指的是在正常使用条件下发生的不可避免的一类损伤；后者指的是在一般情况下可以避免的一类损伤。例如，机械摩擦磨损是一种不可避免的损伤，但是在正常使用条件下，磨损是缓慢的过程，是正常损伤；相反，若产生快速磨损或者灾难性磨损，则由此种磨损引起的损伤是不正常的损伤。又如在海洋中航行的船舶，船体受腐蚀是难以避免的，但是对于金属切削机床来说，发生腐蚀就不能认为是正常的。因此，对于不正常损伤应采用各种措施消除其根源和发生的条件；对于正常损伤则应设法减缓其产生和发展的过程速率。

二、机械设备工作能力下降的过程

机械设备的主要输出参数都是由它的许多相关零、部件和机构的工作能力来保证的。因此,设备工作能力的下降是它的相关组成单元不可避免损伤的结果。

例如,在机械能作用下,金属切削机床的各零、部件摩擦表面会产生磨损损伤,导致机床的主要输出参数——加工精度下降,一旦损伤累积,加工误差达到一定程度,机床就将处于不能保证加工精度的故障状态。

又如,内燃机的气缸活塞组在机械能、热能和化学能的共同作用下,气缸、活塞和活塞环的配合表面会产生磨损、变形、腐蚀等;活塞环的弹性会减弱,燃烧产物会粘附于表面上,其结果是气缸、活塞和活塞环的配合密封性下降,气缸压缩压力和可燃混合气燃烧爆发压力下降,最终导致内燃机的主要输出参数——有效功率、燃油和润滑油消耗率增加,经济性降低。当主要参数之一超出该技术条件规定的范围时,内燃机就呈现故障状态。

设备工作能力下降的过程往往可以从它的输出参数随时间变化的过程来考察。

实践和研究表明,设备的许多相关零件产生的各种形式和不同程度的损伤都会影响它的输出参数。但是,设备的输出参数随时间变化的规律 $X(t)$ 与损伤程度随时间变化规律 $U(t)$ 的关系,可能是一致的,也可能有很大区别。这是因为损伤程度与输出参数之间存在着传递关系 $X=f(U)$ 。这个关系由设备的结构、工作原理和用途来决定。此外,损伤同设备组成单元材料中发生的物理、化学现象有关,而输出参数仅仅反映设备自身宏观变化的过程。

图1-3是损伤程度 U 与输出参数 X 之间的函数关系的几个示例。

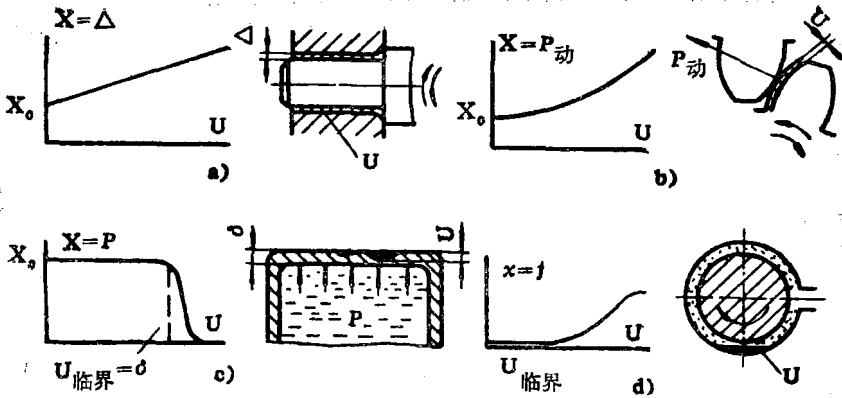


图1-3 损伤程度 U 与输出参数 X 之间的函数关系

- a) 磨损量——间隙 b) 磨损量——动载荷
c) 腐蚀量——承受压力 d) 磨损量——摩擦系数

图1-3a)是轴颈与轴承配合副,其磨损量(损伤程度)同配合间隙成线性关系,损伤程度越大,配合间隙(输出参数)也越大。图1-3b)是齿轮传动副,轮齿磨损增大,牙齿间的间隙增大,接触时动载荷(冲击)也增大,但两牙齿接触碰撞力与间隙大小呈非线性关系。图1-3c)是压力容器,其输出参数(承压能力)与容器壁腐蚀量的关系中有一段不敏感区。在此区域

内，输出参数不能反映容器壁的腐蚀量，仅当腐蚀到一定程度后，该容器的承压能力才开始下降。图 1-3d) 是滑动轴承，仅当其径向间隙增大到某一临界值时，轴承的液体润滑条件受破坏，摩擦性质发生了变化，这时摩擦系数才显著增大。

还应当看到，在许多情况下，设备的输出参数不一定与一种损伤有关，而是与若干种损伤($U_1, U_2, \dots, U_k$)有关。同时，这些损伤随时间变化的规律可能各不相同。例如，在机床的传动机构中，从动环节的位移精度与机构中所有中间传递环节的磨损量有关。

因此，在一般情况下，输出参数与各种损伤的关系，可写成下列函数关系：

$$X = f(U_1, U_2, \dots, U_k) \quad (1-5)$$

此外，应注意到，通常设备是复杂的系统，其输出参数往往有多个($X_1, X_2, \dots, X_n$)，当其中某一个损伤对于各个输出参数有影响时，则其间的关系可用下列函数描述：

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= f_1(U) \\ X_2 &= f_2(U) \\ &\dots\dots\dots \\ X_n &= f_n(U) \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

这样一来，在一般情况下，输出参数($X_1, X_2, \dots, X_n$)与各种损伤($U_1, U_2, \dots, U_k$)之间必须用下列方程组表达，

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= f_1[U_{11}(t), U_{21}(t), \dots, U_{k1}(t)] \\ X_2 &= f_2[U_{12}(t), U_{22}(t), \dots, U_{k2}(t)] \\ &\dots\dots\dots \\ X_n &= f_n[U_{1n}(t), U_{2n}(t), \dots, U_{kn}(t)] \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

在考察各种损伤过程对设备输出参数的影响时，还必须注意到设备的状态与其变化过程之间的反馈对过程速率的影响。例如，设备的个别机械的磨损不仅会降低设备的工作精度，而且还会使动载荷增加，动载荷的增加又进一步加剧机构各零件的磨损。又如，个别零件的热变形不仅会引起设备部件的变形，影响设备的工作精度，而且还会使设备的动载荷增大，进一步发展则会导致所有的相关机构发热量增加。

因此，造成机械设备输出参数逐渐变化的过程具有不同的速率，可认为来自两方面作用的结果：一方面是外部作用(载荷、温度、介质的化学作用等)，另一方面是设备本身状态变化所引起的内部作用。所以，可把设备内部的变化过程和由此引起的输出参数发生变化的过

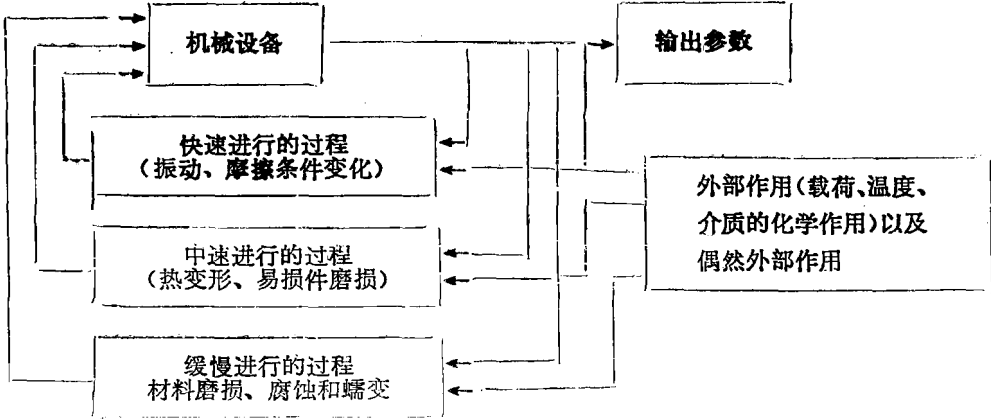


图1-4 设备输出参数的变化与内、外部作用的关系