

B

高等学校教材

机械设备维修

第2版

陈冠国 编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



机械设 备 维 修

第 2 版

陈冠国 编

江苏工业学院图书馆
藏书章



机械工业出版社

本书从我国现行维修工作的实际水平出发,除继承了维修工艺的主要内容外,考虑了维修科学的发展趋势,加强了维修理论的基础部分,吸收了国内外先进的内容和技术,注意了通用性、实践性和更广泛的适应性,具有实用、简明的特点。全书分为两大部分,前半部为维修的基础理论,后半部是维修实践,重点介绍了常用的几种修复工艺。

本书既可作为大中专院校机械类有关专业的维修课程教材,也可供从事机械设备维修的技术人员和工人参考,还可作为工矿企业培训维修人员用书。

图书在版编目(CIP)数据

机械设备维修/陈冠国编.—2版.—北京:机械工业出版社,2004.12
ISBN 7-111-05563-2

I.机… II.陈… III.机械维修 IV.TH17

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第119249号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:高文龙 版式设计:冉晓华 责任校对:樊钟英

封面设计:王伟光 责任印制:洪汉军

原创阳光印业有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2005年1月第2版·第1次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·13.25印张·324千字

定价:19.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

封面防伪标均为盗版 68326294、68320718

第2版前言

自1997年8月《机械设备维修》第1版出版后,得到了国内同行的热情关注和广大读者的真诚厚爱。截止到2002年9月已印刷了5次,发行1万6千册。本书被国内多种书刊和一些文章引用,作为主要参考文献,作者感到十分欣慰。在此对国内同行和广大读者表示衷心感谢。

近年来,随着现代科学技术的发展和应用,机械设备维修又注入了新的内涵,增添了新的内容,从而使该学科更加综合化、理论化、技术集成化和整体优化。作者在这几年的教学和科研中,对机械设备维修的理论与实践又进行了总结和进一步研究,收集了许多同行的宝贵意见、经验和相关资料,深感第1版已不能完全适应学科发展和维修工作的需要,也不能满足广大读者的要求,有必要进行修订。本书就是对第1版进行了修订和完善而写成的。

本书基本上保持了第1版的框架体系和结构,在此基础上删减和修改了部分陈旧材料,增加了一些新的内容,更加注意了通用性、实践性和更广泛的适应性,具有简明、实用的特点。

本书得到了国内维修界老前辈和有关同志,以及机械工业出版社的精心指导、大力支持和帮助,得到了我院领导、师生的鼓励和帮助,在此向以上各位同志表示衷心感谢。作者在组织材料的过程中,曾参阅了大量有关文献,在此向各位作者也表示诚挚感谢。

由于机械设备维修是一门正在迅速发展的综合性交叉学科,编写本书涉及面广、技术难度较大,加上作者的水平所限,因此书中不妥之处在所难免,敬请国内同行和广大读者批评指正。

作者

2003年12月

第1版前言

机械设备在使用过程中会逐渐老化,出现故障,乃至发生事故,从而影响或中断生产。为保持和恢复机械设备的使用性能,延长使用寿命,就要对其进行维修。因此,维修是维持生产所必须的,是节约能源和资源的重要措施和途径。

机械设备只有科学地组织和实施维修,才能使它充分发挥作用。多少年来,维修只是一门技艺,由师傅带徒弟,一代一代地延续下来。近年来,随着科学技术的进步,生产力的发展,机械设备向着精密化、智能化、自动化、大型化、小型化、复杂化、综合化方向发展,对它们的维修显得日益困难,维修费用逐渐增加。特别是20世纪70年代世界范围的能源危机出现之后,维修受到格外的重视和得到迅速的发展。能够在最短的时间内,以最少的人力和物力,有效地利用最新科学技术去完成维修工作,已成为急待研究和解决的课题。

许多国家在维修领域中广泛地应用了现代科学技术,使其从一般的技术保障作业发展成为专门的技术科学,不仅从技术上、微观上,而且从理论上、宏观上加以研究,成为一门独立的综合科学,联合国教科文组织在1974年把机械设备维修正式列入技术科学学科分类目录中。

我国随着国际上“维修工程学”和“设备综合工程学”的出现,在1979年8月举行的“第一次机械维修学术会议”上对机械设备维修这一门学科的体系作了初步探讨。十多年来,人们从大量的实践中逐步认识到,维修工作量的大小,时间的长短、质量的高低、人力和财力的消耗,并不是单纯取决于维修工作本身,而是受机械设备自身状况的制约和影响,维修不能改变它的固有品质和性能。因此,需要从机械设备研制的最初阶段就把维修作为一个基本因素考虑进去,把设计、制造、使用、维修、管理、报废等作为一个系统加以对待和研究。只有这样才能从根本上改善维修工作。

机械设备维修工作所面临的各种问题,仅靠过去的一些传统观念、操作技艺知识,以及在实践中处理几个具体的技术问题是根本无法解决的。需要把近百年来在维修实践基础上零碎分散的理论、方法、经验加以整理、归纳和提高,从本质、规律和理论上进行研究,使其逐渐做到系统化、数量化、信息化,团结各行业从事维修工作的科技人员、技术工人,加强维修人材的培养,应用现代科学技术,改进和发展机械设备维修工作。

改革开放以来,随着工矿企业的迅速发展,机械设备的大量引进,维修已成为一个突出的问题。企业生产靠机械设备,机械设备维修靠技术,技术进步靠人的素质。维修人员的技术素质如何,对企业机械设备的维护保养和修理水平起着决定性作用。

为了满足迅速提高维修人员技术素质的需要,使学生不仅懂得机械设备如何设计,怎样制造,而且还要知道和掌握如何维修,编者在为河北理工学院机械设计与制造专业开设的机械设备维修课程自编教材的基础上,通过8轮的教学实践,总结了一些经验体会,收集了许多同行的宝贵资料和经验,得到了国内维修界老前辈和有关同志,以及机械工业出版社的精心指导、大力支持和帮助,得到了我院领导、师生的鼓励和帮助,编写了此书。在此,向以上各位同志表示衷心感谢。

在这本书中,力图突出的特点是:从我国现行维修工作的实际水平出发,除继承了维修工艺的主要内容外,考虑了维修科学的发展趋势,加强了维修理论的基础部分,吸收了国内外先进的内容和技术,注意了通用性、实践性和更广泛的适应性,做到了实用、简明。全书分为两大部分,前半部为维修的基础理论,后半部是维修实践,重点介绍了常用的几种修复工艺。

由于编者水平所限,对一些内容尚理解不深,实践也不够,难免有错误和不足之处,恳请大家批评指正。

编者

1996年10月

87	 余周 第一章	1	 余周 第一章
87	 余周 第二章	4	 余周 第二章
88	 余周 第三章	4	 余周 第三章
88	 余周 第四章	7	 余周 第四章
88	 余周 第五章	9	 余周 第五章
88	 余周 第六章	12	 余周 第六章
90	 余周 第七章	22	 余周 第七章
90	 余周 第八章	22	 余周 第八章
90	 余周 第九章	22	 余周 第九章
90	 余周 第十章	22	 余周 第十章
90	 余周 第十一章	22	 余周 第十一章
90	 余周 第十二章	22	 余周 第十二章
90	 余周 第十三章	22	 余周 第十三章
90	 余周 第十四章	22	 余周 第十四章
90	 余周 第十五章	22	 余周 第十五章
90	 余周 第十六章	22	 余周 第十六章
90	 余周 第十七章	22	 余周 第十七章
90	 余周 第十八章	22	 余周 第十八章
90	 余周 第十九章	22	 余周 第十九章
90	 余周 第二十章	22	 余周 第二十章
90	 余周 第二十一章	22	 余周 第二十一章
90	 余周 第二十二章	22	 余周 第二十二章
90	 余周 第二十三章	22	 余周 第二十三章
90	 余周 第二十四章	22	 余周 第二十四章
90	 余周 第二十五章	22	 余周 第二十五章
90	 余周 第二十六章	22	 余周 第二十六章
90	 余周 第二十七章	22	 余周 第二十七章
90	 余周 第二十八章	22	 余周 第二十八章
90	 余周 第二十九章	22	 余周 第二十九章
90	 余周 第三十章	22	 余周 第三十章
90	 余周 第三十一章	22	 余周 第三十一章
90	 余周 第三十二章	22	 余周 第三十二章
90	 余周 第三十三章	22	 余周 第三十三章
90	 余周 第三十四章	22	 余周 第三十四章
90	 余周 第三十五章	22	 余周 第三十五章
90	 余周 第三十六章	22	 余周 第三十六章
90	 余周 第三十七章	22	 余周 第三十七章
90	 余周 第三十八章	22	 余周 第三十八章
90	 余周 第三十九章	22	 余周 第三十九章
90	 余周 第四十章	22	 余周 第四十章
90	 余周 第四十一章	22	 余周 第四十一章
90	 余周 第四十二章	22	 余周 第四十二章
90	 余周 第四十三章	22	 余周 第四十三章
90	 余周 第四十四章	22	 余周 第四十四章
90	 余周 第四十五章	22	 余周 第四十五章
90	 余周 第四十六章	22	 余周 第四十六章
90	 余周 第四十七章	22	 余周 第四十七章
90	 余周 第四十八章	22	 余周 第四十八章
90	 余周 第四十九章	22	 余周 第四十九章
90	 余周 第五十章	22	 余周 第五十章
90	 余周 第五十一章	22	 余周 第五十一章
90	 余周 第五十二章	22	 余周 第五十二章
90	 余周 第五十三章	22	 余周 第五十三章
90	 余周 第五十四章	22	 余周 第五十四章
90	 余周 第五十五章	22	 余周 第五十五章
90	 余周 第五十六章	22	 余周 第五十六章
90	 余周 第五十七章	22	 余周 第五十七章
90	 余周 第五十八章	22	 余周 第五十八章
90	 余周 第五十九章	22	 余周 第五十九章
90	 余周 第六十章	22	 余周 第六十章
90	 余周 第六十一章	22	 余周 第六十一章
90	 余周 第六十二章	22	 余周 第六十二章
90	 余周 第六十三章	22	 余周 第六十三章
90	 余周 第六十四章	22	 余周 第六十四章
90	 余周 第六十五章	22	 余周 第六十五章
90	 余周 第六十六章	22	 余周 第六十六章
90	 余周 第六十七章	22	 余周 第六十七章
90	 余周 第六十八章	22	 余周 第六十八章
90	 余周 第六十九章	22	 余周 第六十九章
90	 余周 第七十章	22	 余周 第七十章
90	 余周 第七十一章	22	 余周 第七十一章
90	 余周 第七十二章	22	 余周 第七十二章
90	 余周 第七十三章	22	 余周 第七十三章
90	 余周 第七十四章	22	 余周 第七十四章
90	 余周 第七十五章	22	 余周 第七十五章
90	 余周 第七十六章	22	 余周 第七十六章
90	 余周 第七十七章	22	 余周 第七十七章
90	 余周 第七十八章	22	 余周 第七十八章
90	 余周 第七十九章	22	 余周 第七十九章
90	 余周 第八十章	22	 余周 第八十章
90	 余周 第八十一章	22	 余周 第八十一章
90	 余周 第八十二章	22	 余周 第八十二章
90	 余周 第八十三章	22	 余周 第八十三章
90	 余周 第八十四章	22	 余周 第八十四章
90	 余周 第八十五章	22	 余周 第八十五章
90	 余周 第八十六章	22	 余周 第八十六章
90	 余周 第八十七章	22	 余周 第八十七章
90	 余周 第八十八章	22	 余周 第八十八章
90	 余周 第八十九章	22	 余周 第八十九章
90	 余周 第九十章	22	 余周 第九十章
90	 余周 第九十一章	22	 余周 第九十一章
90	 余周 第九十二章	22	 余周 第九十二章
90	 余周 第九十三章	22	 余周 第九十三章
90	 余周 第九十四章	22	 余周 第九十四章
90	 余周 第九十五章	22	 余周 第九十五章
90	 余周 第九十六章	22	 余周 第九十六章
90	 余周 第九十七章	22	 余周 第九十七章
90	 余周 第九十八章	22	 余周 第九十八章
90	 余周 第九十九章	22	 余周 第九十九章
90	 余周 第一百章	22	 余周 第一百章

目 录

第2版前言

第1版前言

绪论 1

第一章 故障理论概述 4

第一节 概念 4

第二节 故障特征量的描述 7

第三节 故障理论和规律 9

第四节 故障诊断简介 12

第二章 摩擦学理论概述 22

第一节 表面性质和接触 22

第二节 摩擦 23

第三节 磨损 27

第四节 润滑 34

第三章 失效理论概述 48

第一节 概念 48

第二节 变形 49

第三节 断裂 53

第四节 腐蚀 57

第五节 气蚀 60

第六节 老化 61

第七节 泄漏 64

第八节 失效分析技术简介 66

第四章 可靠性理论概述 71

第一节 概念 71

第二节 可靠性的描述 72

第三节 系统的可靠性 74

第四节 可靠性理论在维修中的应用 77

第五章 维修性理论概述 78

第一节 概念 78

第二节 影响维修性的主要因素和提 高途径 80

第三节 维修思想 82

第四节 维修方式 83

第五节 维修制度 86

第六节 维修费用 88

第六章 机械设备的极限技术状态 90

第一节 极限技术状态的确定原则 90

第二节 极限技术状态的确定方法 90

第三节 零部件维修更换的原则 92

第七章 维修前的准备工作 94

第一节 技术和组织准备 94

第二节 拆卸 95

第三节 清洗 98

第四节 检验 101

第八章 机械零件的修复技术 106

第一节 概述 106

第二节 钳工和机械加工 107

第三节 压力加工(塑性变形) 112

第四节 热喷涂 114

第五节 焊修 120

第六节 电镀与刷镀 135

第七节 粘接 147

第八节 粘涂 153

第九节 治漏 157

第十节 其它修复技术 159

第十一节 修复后的性能 162

第十二节 修复工艺的选择和工艺

规程的制订	169	第十章 机械设备的装配	192
第九章 维修实践	175	第一节 装配精度和装配方法	192
第一节 轴的修复	175	第二节 装配工作注意要点	193
第二节 齿轮的修复	179	第三节 装配工艺过程	193
第三节 轴承的修复	182	第四节 典型零部件的装配要点	194
第四节 壳体零件的修复	186	第五节 总装配要点	201
第五节 机体零件的修复	188	第六节 装配后的磨合与试验调整 ...	202
第六节 其它零部件的修复	190	参考文献	203
第七节 机床零部件的修复	191		

绪 论

机械设备是现代企业生产的主要工具，是创造物质财富的重要手段。国民经济的各行各业都离不开机械设备。

任何机械设备的寿命都不可能是无限的。有些零部件在使用过程中，经过一定周期的运行和工作，因磨损、腐蚀、刮伤、氧化、老化、变形等众多原因，以及其它人为因素而发生失效，出现故障，造成事故。有备件的可更换，但是有的备件又十分昂贵；无备件的，特别是进口件，则需依靠维修。据不完全统计，在现代企业中，机械设备故障及停产损失约占其生产成本的30%~40%。有些行业的维修费用竟占生产成本的第二位。

搞好维修不仅可以延长零部件的使用寿命，维持生产，提高效能，节约资源、能源和资金、外汇，甚至还有很多报废的机械设备通过利用高新技术进行维修改造，使其再生、再利用。

在激烈的市场竞争中，特别是我国加入WTO之后，如何科学地管好、用好、修好、养好机械设备，已不仅仅是保持简单再生产的必要条件，而且对提高企业效益，保持国民经济持续、稳定、协调发展有着极为重要的意义。

随着机械设备结构的日趋复杂，可用性和可靠性的要求日益增强，多样化、现代化、自动化和综合化的程度不断提高，维修已成为机械设备在使用过程中必不可少的新兴领域。面对融合了现代科学技术的机、电、液、光一体化的机械设备，如何进一步更新维修观念，研究维修理论，发展维修技术，优质、高效、低成本、安全地完成维修任务，已成为摆在广大工程技术人员面前的重要课题；如何将包容多门学科和技术的跨学科、跨领域的现代科学技术和理论，合理地综合应用，形成在环境和条件各异的现场行之有效的维修理论和技术，成为现代维修领域面临的严重挑战。

一、维修概念

维修是伴随着生产工具的使用而出现的。随着生产工具的发展，机械设备大规模地使用，人们对维修的认识也在不断地深化。

机械设备维修是为了保持或恢复其完成规定功能的能力而采取的技术管理措施。它具有随机性、原位性、应急性。

维修包含维护和修理两个方面的含意。维护是对机械设备进行清扫、检查、清洗、润滑、紧固、调整和防腐等一系列工作的总称，又叫做保养。维护是按事前规定的计划或相应的技术条件规定进行的。它的目的是及时发现和处理其在运行中出现的异常现象，防止机械设备性能退化和降低故障概率。这是保证机械设备正常运行、延长其物质寿命的重要手段。维护有时也称预防性维修。按维护工作的深度和广度，通常分成等级。我国企业多数采用三级保养制，即日常保养、一级保养和二级保养。

修理则是指机械设备出现故障或技术状况劣化到某一临界状态时，为恢复其规定的技术性能和完好的工作状态而进行的一切技术活动。由于修理往往要以机械设备的检查结果作为依据，而在工作中又与检查相结合，因此修理又称检修。它是恢复机械设备性能，保证正常运行，延长其物质寿命的主要手段。修理按功用不同又分为恢复性修理和改善性修理。通常所说

的修理多数指的是恢复性修理。而改善性修理是结合修理对机械设备中故障率较高的部位,从结构、参数、材质和制造工艺等方面进行改进或改装,使其故障发生率减少或不再发生故障。

维修的目标是以最少的消耗、最少的经济代价、最少的时间、最少的资源、最高的修复率,使机械设备经常处于完好状态,提高可用性,保持、恢复和提高可靠性,降低劣化速度,延长使用寿命,保障使用中的安全性和环境保护要求。

随着生产力的发展,科学技术的进步,自动化水平的提高,机械设备的广泛使用,人们对维修的认识逐步深化和转变。维修已由事后排除故障和损坏,转变为事前对故障进行主动预防;由保障使用的辅助手段,发展为生产力的重要组成部分。在激烈的市场竞争中,维修又成为现代企业增强生产力和竞争力的有力手段,其地位日益明显和提高。在经济全球化趋势不断增强,产业结构改革步伐频繁加快,国际竞争更加剧烈的今天和明天,维修更是企业生存、发展、扩大再生产和更新机械设备的一种投资选择方式。它和生产一样,遵循价值工程的投入产出的经济原理,追求最佳的技术经济效益。维修还是实行全系统、全寿命管理的有机环节。为缓解资源既短缺而又浪费的矛盾,保护环境,适应可持续发展,通过采用新技术、新材料、新工艺进行维修,通过应用表面工程技术,发展再制造、再生、再利用工程,使磨损、腐蚀、老化的机械设备修复如新,重新改造;使报废的机械设备得以起死回生。维修已是实施绿色再制造工程的重要技术措施。

综上所述,维修已从单纯为排除故障,发展到了通过维修提高机械设备可用率,进而成为企业生存和发展的重要手段。维修与投资、生产力、可用率、完好率、安全、提高产品质量和增加数量、延长寿命、提供改进产品设计信息、节约材料和能源、售后服务、环境保护等各个方面都有着密切关系。维修已从一门操作技艺的简单组合,缺乏系统的理论,发展成为一门建立在现代科学技术基础上的新兴学科,即从技艺走向科学;维修从分散的、定性的、经验的阶段,进入到系统的、定量的、科学的阶段。现代维修理论由此应运而生,现代维修技术也由此不断发展。

二、维修理论

维修理论是研究机械设备故障的产生、预防和修复的理论。它包括维修设计理论、维修技术理论和维修管理理论。维修理论是建立在概率统计、故障理论、摩擦学、失效理论、材料强化理论、可靠性工程、维修性工程、工程技术经济、维修技术与工艺,以及现代管理理论等现代科学基础上的一门综合性工程技术应用理论。它用于指导机械设备寿命周期的维修优化,从而获得最佳维修效益,保证机械设备使用中的可用性、可靠性和安全性。其中少维修、无维修、免维修、预测维修和自维修的理论,自然就成为机械工程的重要命题。

1. 维修设计理论

维修设计是在设计机械设备的最初阶段就考虑到故障易于发现、易于检查、便于尽快恢复,甚至在未出现故障时,就能采取必要措施加以预防或消除故障于未然。它和可靠性设计一样是机械设备本身的固有属性,是实施维修的客观物质基础,是通过设计而赋予的。该理论主要包括维修性设计理论、维修保障设计理论、维修工效学、维修心理与行为学等。

2. 维修技术理论

维修技术理论是用于指导维修阶段技术活动的理论。它由分析技术和作业技术理论两部分组成。前者主要包括维修作业分析、维修级别分析、现场损伤评估和修复分析、寿命周期费用分析等理论。后者则主要包括现场故障诊断、失效分析、使用寿命预测、各种修复技

术、表面工程技术等理论。

3. 维修管理理论

维修管理理论是对维修过程中的各个环节和人、财、物、时间、信息等要素进行规划、组织、协调、控制与监督的理论。主要包括维修方针、规划的制定, 维修方法的选择, 维修组织、人员及维修保证的确定, 以及经济管理、信息管理、器材设施管理、质量管理、安全管理等理论。

随着时代的发展, 科学技术的进步, 机械设备自动化程度的提高, 现代化进程的加快, 维修理论必须从现代维修管理出发来分析指导维修实践, 从而构成了现代维修理论。它的核心内容就是以可靠性为中心的维修。这种理论认为, 机械设备的可靠性既是确定维修需求的依据, 又是维修工作的归宿。“以可靠性为中心”的含意就是“集中于保持固有可靠性”。一切维修活动, 归根到底都是为了保持、恢复机械设备的可靠性。在这种理论指导下进行维修, 既能提高质量和可用率, 保障使用安全和满足环境保护的要求, 又能节约费用。它将使机械设备维修进一步走向科学化、现代化。这是系统的、科学的、适应现代化企业机械设备维修的新观念。

三、维修技术

维修技术源发于制造技术, 是某些制造技术的延伸和扩展。但是, 维修技术在应用方式和经济价值上又不同于制造技术。随着维修理论、维修模式及维修市场的发展, 维修技术形成了自身的特性, 即具有很强的现场实践性、选择性、经济性、简便性; 也形成了自身的体系, 即有着对应适用的专业性。维修技术不仅是一门综合技术, 也是一门公用技术, 更是一门适用技术。适用技术的内涵是强调技术、经济的协调发展, 从技术的先进性、经济的合理性、生产的可能性, 以及社会的效益性去选择实施。

在维修技术中, 修复技术是最重要的组成部分。它是研究机械零部件失效后进行修复的工艺和方法。合理地选择和运用修复技术是提高维修质量、节约资源和能源、缩短维修时间和降低维修费用的有效措施。

四、维修创新与表面工程

近年来, 随着科学技术的迅猛发展, 尤其是一些高新技术的发展, 使维修技术的内涵和外延又发生了深刻变化。传统的维修技术不断吸收信息、材料、能源及管理等领域现代成果, 衍生出新的研究领域, 迅速地改变着传统维修业的面貌。以前的原样修复变为超过原始性能的改进性维修; 以前的被动修复变为将制造与维修纳入机械设备及零部件的设计、制造和运行的全过程, 成为以优质、高效、节能、节材、低污染为目标的系统工程。另一方面, 人们由于环保意识的增强, “用后丢弃”的观念开始向“再制造”的观念转变。在再制造中, 大量采用各种先进的表面工程技术, 不仅能有效地补偿因损坏、磨损或腐蚀等而失效的机械零部件, 使其恢复如新, 翻新如初, 而且能提高其耐高温、耐磨损、抗疲劳、耐腐蚀、防辐射, 以及导电、导磁等各种性能, 达到恢复使用、延长寿命、节约费用、解决进口配件难之目的。这是机械设备维修创新和现代化改装的重要手段, 为新一代产品的设计与制造积累了丰富的经验。这是在机械设备维修中继状态监测与故障诊断技术、计算机技术之后的又一通用技术。表面工程是一门新兴的综合性交叉学科, 它与机械设备维修相互依存、相互渗透。它的最大优势正是体现在机械设备的表面延寿、改性和维修方面, 从而产生显著的经济效益和社会效益。

第一章 故障理论概述

第一节 概 念

机械设备在运行过程中要承受力、热、摩擦、磨损等多种作用。随着使用时间的增长,其运行状态不断发生变化,有的性能将逐步劣化,有的零件将失效,甚至完全不能工作,从而发生了故障。

在机械设备维修中,研究故障的目的是通过故障诊断技术查明故障模式,追寻故障机理,探求减少故障发生的方法,提高机械设备的可靠程度和有效利用率。同时,把故障的影响和结果反映给设计和制造部门,以便采取对策。故障理论研究的主要内容是故障机理和故障诊断。

一、定义

故障是指整机或零部件在规定的时间和使用条件下不能完成规定的功能,或各项技术经济指标偏离了它的正常状况,但在某种情况下尚能维持一段时间工作,若不能得到妥善处理将导致事故。例如:某些零部件损坏、磨损超限、焊缝开裂、螺栓松动,使工作能力丧失;发动机的功率降低;传动系统失去平衡和噪声增大;工作机构的工作能力下降;燃料和润滑油的消耗增加等,当其超出了规定的指标时,即发生了故障。

故障通常是指可以排除的障碍,即指可以修复的失效。

对于故障,应明确以下几点:

(1) 规定的对象 它是指一台单机,或由某些单机组成的系统,或机械设备上的某个零部件。不同的对象在同一时间将有不同的故障状况。例如:在一条自动化流水线上,某一单机的故障足以造成整条自动线系统功能的丧失;但在机群式布局的车间里,就不能认为某一单机的故障与全车间的故障相同。

(2) 规定的时间 发生故障的可能性随时间的延长而增大。时间除了直接用年、月、日、时等作单位外,还可用机械设备的运转次数、里程、周期作单位。例如:车辆等用行驶的里程;齿轮用它承受载荷的循环次数等。

(3) 规定的条件 这是指机械设备运转时的使用维护条件、人员操作水平、环境条件等。不同的条件将导致不同的故障。

(4) 规定的功能 它是针对具体问题而言。例如:同一状态的车床,进给丝杠的损坏对加工螺纹而言是发生了故障;但对加工端面来说却不算发生故障,因为这两种情况所需车床的功能项目不同。

(5) 一定的故障程度 即应从定量的角度来估计功能丧失的严重性。

在生产实践中,为概括所有可能发生的事件,给故障下了一个广泛的定义,即“故障是不合格的状态”。

二、模式

机械设备的故障必定表现为一定的物质状况及特征,它们反映出物理的、化学的异常现

象,并导致功能的丧失。这些物质状况的特征称故障模式,需要通过人的感官或测量仪器得到,相当于医学上的“病症”。

常见的故障模式可按以下几方面进行归纳:

(1) 属于机械零部件材料性能方面的故障 包括疲劳、断裂、裂纹、蠕变、过度变形、材质劣化等。

(2) 属于化学、物理状况异常方面的故障 包括腐蚀、油质劣化、绝缘绝热劣化、导电导热劣化、熔融、蒸发等。

(3) 属于机械设备运动状态方面的故障 包括振动、渗漏、堵塞、异常噪声等。

(4) 多种原因的综合表现 如磨损等。

此外,还有配合件的间隙增大或过盈丧失、固定和紧固装置松动与失效等。

故障模式举例见表 1-1。

表 1-1 故障模式举例

序 号	名 称	模 式
1	轴承	弯曲、咬合、堵塞、开裂、压痕、卡住、润滑作用下降、凹痕、刻痕、擦伤、粘附、振动、磨损等
2	齿轮	咬合、破碎、移位、卡住、噪声、折断、磨损等
3	密封装置	破碎、开裂、老化、变形、损坏、泄漏、破裂、磨损、其它等
4	液压系统	液压缸 爬行、外泄漏、内泄漏、声响与噪声、冲击、推力不足、运动不稳、速度下降等
		液压泵 无压力、压力流量均提不高、噪声大、发热严重、旋转不灵活、振动、冲击等
		电磁换向阀 滑阀不能移动、电磁铁线圈烧坏、电磁铁线圈漏电、不换向等
5	机械系统	(1) 系统不能起动或在运行中停止运动 (2) 系统失速或空转 (3) 系统失去负载能力或负载乏力 (4) 系统控制失灵 (5) 系统泄漏严重 (6) 系统振动剧烈、噪声异常 (7) 某些零部件断裂、烧损、过量变形 (8) 电、磁导断失调 (9) 其它

三、性质

(1) 层次性 机械设备可按结构和功能分解为若干个层次(或部分、单元),故障则与之相对应。

(2) 相关性 机械设备的某层次出现故障,同它相关的层次也可能引发故障,使多种故

障并存。不同层次的故障互相联系、互相影响，关系复杂。

(3) 延时性 故障的产生、传播和恶化都需要时间，且随时间的延长而变化。

(4) 不确定性 故障的发生、现象、定量描述和检测分析都具有不确定性，从而增加了故障诊断和维修的复杂程度。

(5) 修复性 多数故障是可以修复的，包括更换零部件。

四、分类

对故障进行分类是为了估计故障事件的影响深度、分析故障的原因，以便采取相应的对策。故障可从不同角度进行分类。

(一) 临时性故障

临时性故障又称间断故障，它多半由机械设备的外部原因引起的。例如：工人误操作、气候变化、运输条件中断、环境设施不良等造成。当这些外部干扰消除后，运转即可正常。但临时性故障能导致永久性故障。

(二) 永久性故障

永久性故障造成的机械设备功能丧失必须到某些零部件更换或修复后才能恢复。

1. 按故障发生时间分

(1) 早发性故障 这是由于机械设备在设计、制造、装配、安装、调试等方面存在问题引起的。例如：新购入的液压系统严重漏油和噪声很大。这种情况可以通过重新检测、重新安装来解决处理；若设计不合理，需修改设计；如果元件质量差，则应更换元件。

(2) 突发性故障 这是由于各种不利因素和偶然的外界影响因素共同作用的结果。故障发生的特点是具有偶然性和突发性，事先无任何征兆，一般与使用时间无关，难以预测。但它容易排除，通常不影响寿命。例如：因润滑油中断而使零件产生热变形裂纹；因使用不当或出现超负荷引起零件折断；因各参数达到极限值而引起零件变形和断裂等。

(3) 渐进性故障 它是因机械设备技术特性参数的劣化，包括腐蚀、磨损、疲劳、老化等逐渐发展而成的。其特点是故障发生的概率与使用时间有关，只是在机械设备有效寿命的后期才明显地表现出来。故障一经发生，就标志着寿命的终结。通常它可以进行预测。大部分机械设备的故障都属于这一类。

(4) 复合型故障 这类故障包括上述故障的特征，其故障发生的时间不定。机械设备工作能力耗损过程的速度与其耗损的性能有关。例如零件内部存在着应力集中，当受到外界作用的最大冲击后，继续使用就可能逐渐发生裂纹；又如摩擦副的磨损过程引起渐进性故障，而外界的磨粒会引起突发性故障。

2. 按故障表现形式分

(1) 功能故障 机械设备应有的工作能力或特性明显降低，甚至根本不能工作，即丧失了它应有的功能，称功能故障。这类故障可通过操作者的直接感受或测定其输出参数而判断。例如关键零件坏了、精度丧失、传动效率降低、速度达不到标准值，使整机不能工作；生产率达不到规定的指标等。

(2) 潜在故障 故障逐渐发展，但尚未在功能方面表现出来，却又接近萌发的阶段。当这种情况能够鉴别时，即认为也是一种故障现象，称潜在故障。例如零件在疲劳破坏过程中，其裂纹的深度接近于允许的临界值时，便认为存在潜在故障。探明了潜在故障，就有可能在达到功能故障之前进行排除，有利于保持完好状态，避免因发生功能故障而带来的不利

后果,这在机械设备使用和维修中有着重要意义。

3. 根据故障产生的原因分

(1) 人为故障 由于在设计、制造、大修、使用、运输、管理等方面存在问题,使机械设备过早地丧失了它应有的功能,称人为故障。它又分为:①错用性故障,这是指机械设备没有按照原设计规定的条件运转,超载、超速、超时,工作条件发生未料及的恶化等原因导致的故障。②固有薄弱性故障,它来源于机械设备本身,如设计不当、制造工艺差、材料低劣等,是固有薄弱性环节构成故障隐患或故障诱发因素。

(2) 自然故障 机械设备在其使用和保有期内,因受到外部或内部各种不同的自然因素影响而引起的故障都属于自然故障。例如正常情况下的磨损、断裂、腐蚀、变形、蠕变、老化等损坏形式。这种故障虽然不可避免,但随着设计、制造、使用和维修水平的提高,可使机械设备有效工作时间大大延长而使故障推迟发生。

4. 按故障造成后果分

(1) 致命故障 这是指危及或导致人身伤亡,引起机械设备报废或造成重大经济损失的故障。例如机架或机体脱离、车轮脱落、发动机总成报废等。

(2) 严重故障 它是指严重影响机械设备正常使用,在较短的有效时间内无法排除的故障。例如发动机烧瓦、曲轴断裂、箱体裂纹、齿轮损坏等。

(3) 一般故障 明显影响机械设备正常使用,在较短的有效时间内可以排除的故障。例如传动带断裂、操纵手柄损坏、钣金件开裂或开焊、电器开关损坏等。

(4) 轻度故障 轻度影响机械设备正常使用,能在日常保养中用随机工具轻易排除的故障。如轻微渗漏、一般紧固件松动等。

此外,还可按故障的部位分为整体和局部;按故障的时间分为磨合、正常使用和耗损故障;按故障的责任分为相关和非相关故障;按故障外部特征分为可见和隐蔽故障;按故障的程度分为部分和完全;按故障的原因又可分为设计结构、生产工艺、材料、使用等故障。

故障通常采取几种分类法复合并用,如突发性的局部故障、磨损性的危险故障等。由此看出故障的复杂性、严重性和起因等情况。

第二节 故障特征量的描述

一、故障概率

机械设备的使用寿命是有限的,其技术状况随使用时间的延长而逐渐恶化,发生故障的可能性也随时间的推迟而增大,它是时间的函数。但是,故障的发生又具有随机性,无论哪一种故障都很难预料它的确切发生时间,因而故障可用概率表示。

从概率的概念出发,由概率理论可知,故障概率的分布是其密度函数 $f(t)$ 的积累函数,即故障发生的时间比率,或单位时间内发生故障的概率。它是单调增函数。故障概率可用公式表示

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (1-1)$$

式中 $F(t)$ ——故障概率;

$f(t)$ ——故障概率分布密度函数；

t ——时间。

当 $t = \infty$ 时, 即 $F(\infty) = \int_0^{\infty} f(t) dt = 1$

机械设备在规定的条件下和规定的时间内不发生故障的概率称无故障概率, 用 $R(t)$ 表示。显然, 故障概率与无故障概率构成一个完整事件组, 即 $F(t) + R(t) = 1$, 或 $R(t) = 1 - F(t)$

二、故障率

故障率是指在每一个时间增量里产生故障的次数, 或在时间 t 之前尚未发生故障, 而在随后的 dt 时间内可能发生故障的条件概率, 用 $\lambda(t)$ 表示, 其数学关系式为

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (1-2)$$

该式说明故障率为某一瞬时可能发生的故障相对于该瞬时无故障概率之比。

故障率亦称失效率, 是判断机械设备或零部件故障或失效规律的基本参数。

根据不同的变化规律, 故障率可分为 4 种类型。

1. 常数型

故障率基本保持不变, 是一个常数, 它不随时间而变化。此时的机械设备或零部件均未达到使用寿命, 不易发生故障。但因某种原因也会导致发生故障, 且有随机性。在严格操作、加强维护保养的情况下将随时排除故障, 因此故障率很小。这是最常见的一种类型。

2. 负指数型

又称渐减型。由于使用了质量粗劣的零件, 或制造中工艺疏忽, 或装配质量不高, 还有设计、保管、运输、操作等方面的原因, 使机械设备投入运转的初期故障率很高, 即有一个早期故障期。随着时间的推移, 经过运转、磨合、调整, 故障逐个暴露, 并一个个排除后, 故障率由高逐渐降低, 并趋于稳定, 成为负指数型故障率曲线。

3. 正指数型

又称渐增型。机械设备或零部件随着时间的增长, 逐渐发生磨损、腐蚀、疲劳等, 故障急剧增多, 其故障率曲线是正指数型。渐进性故障的故障率属于这种类型。

4. 浴盆曲线型

机械设备或零部件发生故障, 包括前述的 3 种类型, 由三条曲线叠加而成一条浴盆曲线, 如图 1-1 所示。

浴盆曲线型是最常见的一种故障率类型。曲线划分成早期故障(初始故障)、随机故障(偶发故障)、耗损故障(衰老故障)三个阶段。

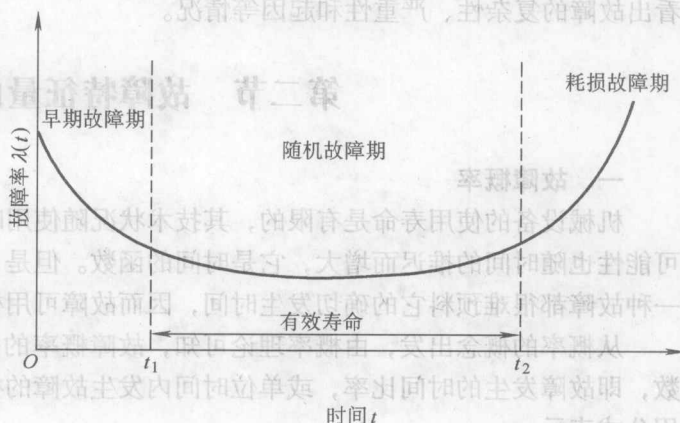


图 1-1 浴盆曲线型故障率曲线

由(1)早期故障期 ($0 \leq t \leq t_1$) 它相当于机械设备安装试车后, 经过磨合、调整将进入正常工作阶段。若进行大修或技术改造后, 早期故障期将再次出现。

(2) 随机故障期 ($t_1 \leq t \leq t_2$) 此时期是机械设备的最佳工作期。

(3) 耗损故障期 ($t_2 \leq t \leq T_i$) T_i 为两次大修间的正常工作时间。大多数的机械设备或零部件经长期运转, 磨损严重, 增加了产生故障的机会。因此, 应在这一时期出现前进行预防维修, 或在这一时期刚出现时就进行小修, 防止故障大量出现, 降低故障率和减少维修工作量。

三、平均故障间隔时间 (MTBF)

它是可修复的机械设备和零部件在相邻两次故障间隔内正常工作时的平均时间。例如某机械设备第一次工作了 1000h 后发生故障, 第二次工作了 2000h 后发生故障, 第三次工作到 2400h 之后又发生故障, 则该机械设备的平均故障间隔时间为

$(1000 + 2000 + 2400) \text{ h} \div 3 = 1800 \text{ h}$

平均故障间隔时间愈长, 说明愈可靠。

平均故障间隔时间可用公式表示

$$\text{MTBF} = \theta = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta t_i}{n} \quad (1-3)$$

式中 θ ——平均故障间隔时间;

Δt_i ——第 i 次故障前的无故障工作时间, 也可用两次大修间的正常工作时间 T_i 代替;

n ——发生故障的总次数。

四、平均无故障工作时间 (MTTF)

对于可修复的机械设备和零部件从开始使用到发生故障的平均时间, 称平均无故障工作时间。它与平均故障间隔时间的数学表达式和计算方法相同, 故通称平均寿命。

第三节 故障理论和规律

一、故障理论

故障理论揭示了机械设备在使用过程中的运动规律, 它包括故障统计分析即故障宏观理论和故障物理分析即故障微观理论。

1. 故障统计分析

它是应用可靠性理论, 运用统计技术和方法, 从宏观现象上, 定性地和定量地描述分析机械设备运动过程的模型、特点和规律性。显然, 故障统计分析可以对机械设备的结局作出规律性的大致描述, 提供信息, 反映主要故障问题, 但不能揭示事物的根本性质。

故障统计分析包括故障的分类、故障分布和特征量、故障的逻辑决断等。

2. 故障物理分析

它是机械设备的各种不同使用条件下发生的各种故障为研究对象, 用先进的测试技术和理化方法, 从微观和亚微观的角度分析研究故障从产生、发展到形成的过程, 故障的机理、形态、规律及其影响因素。

故障物理分析包括故障机理和故障形态两个方面。