

机械设计手册

单行本

失效分析和故障诊断

机械设计手册编委会



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

TH122-62
216(4)
128

机 械 设 计 手 册

单 行 本

失效分析和故障诊断

机械设计手册编委会



机 械 工 业 出 版 社

本书是在前几版的基础上,吸收了近年来新的设计方法及最新国家标准,全面、系统地介绍了所有现代设计和常规设计方法、数据、图表,内容丰富,具有信息量大,标准新、取材广、规格全、常用结构多、并增加了许多国内外常用的新产品的结构、规格、选用范围、实用性强、查找方便等特点。

全书共分常用资料,机械零部件与传动设计(一)、(二),液压、气动、液力传动与控制,机械设计基础、现代设计方法及应用等6卷50篇。

本单行本主要介绍各种类型的失效分析、金属零件损伤的类型、预防及失效判据以及设备故障诊断与预防。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计手册.失效分析和故障诊断/《机械设计手册》编委会.一4版.一北京:机械工业出版社,2007.2(2007.5重印)

ISBN 978-7-111-20966-9

I.机... II.机... III.①机械设计-技术手册②机械元件-失效分析-技术手册③机械-故障诊断-技术手册 IV.TH122-62 TH13-62 TH 17-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第025253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:曲彩云 版式设计:张世琴 责任校对:李秋荣

封面设计:姚毅 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷

2007年5月第4版·第2次印刷

184mm×260mm·6.75印张·230千字

3 001—6 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-20966-9

定价:16.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)68351729

封面无防伪标均为盗版

机械设计手册编委会

主 任：王文斌

副主任：林忠钦 严隽琪 李 奇 谢里阳 汪 恺 孙慧波

委 员：鄂中凯 崔虹雯 方昆凡 周康年 吴宗泽 樊文萱 黄万吉

吴自通 徐秀彦 徐 鹏 朱孝录 施永乐 王起龙 巩云鹏

李立行 程乃士 王德俊 李元科 卜 炎 施高义 郑洪生

周恩涛 宗 跃 唐恒龄 高 敏 何德方 欧宗瑛 黄雨华

郭宝柱 张健民 史家顺 陈 铭 蔡建国 王安麟 钟廷修

蒋寿伟 王石刚 邹慧君 金 烨 谢友柏 蒋祖华 曲彩云

《机械设计手册》单行本

出版说明

“设计高品质机械产品，成就新时代设计大师”是我们组织编写《机械设计手册》的指导思想。《机械设计手册》自出版发行以来，已经多次修订，累计销售几十万套，成为国内影响力强、销售量大的机械设计工具书。作为国家级的重点科技图书，《机械设计手册》曾获得全国优秀科技图书二等奖、原机械工业部科技进步二等奖、全国优秀畅销书奖等各项国家和省部级奖励。

《机械设计手册》以权威、系统、实用、先进为编写宗旨，全书贯彻标准化、创新化、国际化，以其技术性和实用性强、国家标准和专业标准全新、数据可靠、设计方法极佳、使用和查阅方便等特点，特别是推荐了许多实用的新技术、新产品、新材料和新工艺，扩大了相应产品的品种和规格范围，内容齐全，实用、可靠，受到广大机械设计工作者和工程技术人员的首肯和厚爱，成为设计工作者不可缺少的案头工具书。

《机械设计手册》新版自2004年8月出版发行以来，已累计销售30000多套，得到读者的充分肯定。为了更好地服务于读者，我社组织编辑人员深入设计科研院所、机械企业、院校等使用单位进行调研，广泛征求和听取各方面的意见后，为了满足机械设计人员使用更加方便的需求，我们决定编辑出版《机械设计手册》有关篇的单行本。

从设计工作的实际出发，结合机械设计专业的具体情况，《机械设计手册》单行本包括：《零件结构设计工艺性》、《连接与紧固》、《起重运输机械零部件、操作件和小五金》、《密封件、密封与润滑》、《管道与管道附件》、《带传动和链传动》、《齿轮传动》、《减速器和变速器》、《滚动轴承》、《滑动轴承》、《联轴器、离合器与制动器》、《液压传动与控制》、《气压传动与控制》、《液力传动》、《失效分析和故障诊断》、《机电一体化系统设计》等，读者可根据各自需要灵活选购。

新版前言

《机械设计手册》自出版以来,在机械设计实践中发挥了重要的基础性作用,先后荣获全国优秀科技图书二等奖、机械电子工业部科技进步二等奖,是全国优秀科技畅销书,在社会上有较高的知名度,影响广泛,深得广大工程技术人员的厚爱。

机械设计是机械工业的基础技术。科技成果要转化为有竞争力的新产品,设计起着关键性作用。设计工作的质量和水平,直接关系到产品质量、性能和技术经济效益。特别是在产品创新和创造方面,工业发达国家都极为重视机械设计工作,不断地研制出适应市场需要的机电产品。近几年来,由于科学技术不断发展,加之我国加入世贸组织以后国际技术交流更直接、便捷,使我国在机械设计领域有了长足的进步,取得了丰硕的成果,发现了许多新材料、新的设计理念和设计方法,这些都需要我们及时归纳总结,全面准确地提供给广大读者。为使《机械设计手册》紧跟时代步伐,满足广大读者需要,我们组织了这次《机械设计手册》的新版修订工作。

这次修订,根据广大工程技术人员实际需要和阅读习惯,在保持手册先进性、系统性的前提下,我们调整了卷、篇、章的框架结构,重新编排,并补充了机械设计应用方面的内容。更加突出实用便查,让技术人员感到既有很多成熟使用的现代设计方法,又能更方便、快捷地查到所需内容。

这次修订取材仍根据基本、常用、关键、发展的原则,强调准确性。我们认真细致地对各种数据、图表等进行分析、核对和验证,对一些局部性的技术经验和测试结果,为了做到准确、可靠,作者亲自南下北上,取得第一手试验数据资料,以确定选取范围,做到了精益求精。对国外资料,以常用和新材料为主,主要从选用角度编写,重点介绍材料的技术参数、性能特点、适用范围和应用技术等,为如何正确选择和合理使用提供依据,以发挥其最佳性能和经济效果,这些都是作者经过长期生产实践积累的宝贵资料。本书数据、资料全部来自国家最新标准、规范和其他权威机构,设计方法、公式选择、参数选取原则均经过长期实践检验,典型结构设计、计算实例均来自工程实践。为了突出反映先进性,增加了许多适合我国国情的新材料、新方法、新技术、新工艺,广泛收集具有先进水平的新产品。

重点修订内容:

(1) 更换补充新标准

书中所涉及的标准均采用现行国际、国家及行业最新标准,这对提高我国机械设计标准化水平,促进机械产品走向世界都将起到促进作用。同时,对一些新旧标准过渡有难点的内容做了详细指导,如渐开线圆柱齿轮部分引入最新国家标准 GB/T 10095.1~2—2001 渐开线圆柱齿轮精度和 GB/Z 18620.1~4—2002 圆柱齿轮检验实施规范;考虑到新旧标准应用的过渡期,保留了渐开线圆柱齿轮精度标准 GB/T 100095—1988 的相关内容,给出了新旧标准精度对照表及旧标准向新标准的转化方法,同时给出了新旧标准标注的齿轮工作图示例,以方便读者使用。

锥齿轮强度计算采用最新颁布的国家标准 GB/T 10062.1~3—2003,为便于采用新标准,

增加了强度计算用到的锥齿轮的端面当量齿轮和法面当量齿轮参数计算公式,给出了用新标准计算的两个锥齿轮传动设计算例。把现有国内资料中关于锥齿轮几何设计中的“参考点”改为“基准点”,以忠实原意。

在轴承中增加了2004年6月发布的滚动轴承代号方法的补充规定,以作为轴承标准的补充内容。

(2) 增加新材料、新结构

由于新材料、新结构不断出现,故在这次修订中,均适当纳入新内容,更换老内容,使手册更新、更适用。

如由于工程塑料和复合材料的力学性能有了很大的提高,又具有价廉、防腐、防锈蚀等一系列优点,故其应用发展很快,我们加强了这方面的介绍,书中还大量增加了新的结构类型和应用实例。

在轴承部分增加了带座外球面轴承、专用轴承、直线运动滚动支撑、关节轴承,以及国外轴承、钢球、钢种、润滑油等的代号和国内外对照表。

(3) 介绍新产品,删掉淘汰产品

机械设计中经常选用的一些基础产品发生了很大的变化,现在产品的分类、代号方法、设计计算等内容完全与国际接轨,与老产品相比完全不同。对于这些内容,我们必须加以修正,以适应我国机械产品进入国际市场的需要。因而,我们删掉了部分淘汰产品内容,并将国内主要厂家新开发推出的具有较大影响的新产品进行了补充,并适当增加了国内选用较多的国外产品,如为适应目前国内市场上进口液压、液力、气动元器件所占份额逐渐增大的现状,特增加了大篇幅的内容,主要推出世界著名的几大品牌应用较广泛的产品,以满足专业技术人员的需要。

近年来我国出现的新的减速器或形成了新标准的减速器,都在不断地向国外的新技术看齐,也收入本手册中供大家参考。此外,还及时引入了国外的产品,如SEW和PIV的产品,一则是为了向国际靠拢(接轨),二则是让设计人员方便选用国外知名公司的适用产品。

(4) 增加了反映现代科技的新内容

在“机械振动的控制”一章内,不仅填补了对冲击、对随机振动的隔离等国内外空白内容,还重点增加了利用振动信号的测量、分析、反馈及跟踪等先进技术,进行最优控制、自适应控制、预测控制、模糊控制等振动的主动控制的新内容。增加了“振动的利用”一章,使读者不仅能查到对有害振动进行控制的内容,还能查到振动的有益内容,包括振动利用的方法、步骤、设计与计算,利用振动原理工作的各类机械。

为适应现代机械设计的要求,增加了“模态分析与参数识别”一章。在机械设计中应用此章的内容,能对机械给定的动力特性,识别出机械应有的物理参数,或者已知机械的物理参数,识别出其动力特性。还能识别出很难准确计算和直接测量的机械动载荷,更能在机械运行时“在线”识别其动态特性。这些都将提高机械动态优化设计的功能与效率。

(5) 充实增加了现代设计方法的应用技术

近年来,机械设计的理论和方法在国内外取得了很大的发展,我国设计人员要在产品设计方面赶超国际水平,必须掌握先进的设计理论和方法。由于机械设计涉及面广,即使是经验丰富的设计师,也难以及时、全面地掌握这些理论与方法,所以本书重点介绍了当今发达工业国

家流行的成熟的设计理论与方法,增强广大工程技术人员的创新意识和能力。如通过对有限元设计、创新设计、虚拟设计、优化设计、并行设计、智能设计、机电一体化设计及其相应工具软件等内容的详细阐述,使得工程技术人员在日常设计工作中融入现代设计的理论与方法,并注重相应流行软件的应用,达到提高设计水平和设计效率的目的。如有限元设计部分,详细介绍将“有限元设计”如何应用于实际设计工作之中,以适应国际流行的针对重大机电产品(包括新产品)研发及销售过程中需配备有限元分析软件的需要。又如为加强环保,进行绿色设计,生产绿色产品,在世界各国均受到普遍欢迎,工业发达国家更是十分重视环保这方面的工作,所以本手册也介绍了如何实施机电产品的绿色设计。所有这些内容,都是现代设计工作者必不可少的最新的必备知识,而其他同类工具书却极少涉及这些内容。

可靠性、优化、疲劳强度、摩擦学等理论的新发展,可以为机械设计人员提供当代的先进资料,其中有些是最新的研究成果。设计人员可以较方便地找到自己需要的方法或解决问题的线索,并为进一步深入开展工作打下良好的基础。

本书作者都是具有丰富的设计知识和技能,具有出色的机械设计实践和研究经验的本学科知名学者和机械设计专家,他们统观全局、采实撷精,为本书修订奠定了可靠的保证。

第2版前言

《机械设计手册》自1990年出版至今已有10年,曾8次印刷,销售10万多套,得到了广大读者的关心、支持和好评,获第七届全国优秀科技图书二等奖,原机械电子工业部科技进步二等奖。

现在,《机械设计手册》(第2版)又与广大读者见面了!

2版修订是在1版的基础上,调整结构、更新内容、完善不足、更新标准、突出实用,让广大机械设计人员更方便快捷地查到所需内容。

一、修订的重点

1. 充实和更新技术内容。在重点反映国内外机械设计领域的新技术、新材料的同时,加强了自动化技术、计算机技术等在设计中的应用。现代设计方法和应用等都增设了新篇章。对于一些有发展前景的新设计方法,也作了相应介绍。2版新增设了电动机和常用低压电器、创新设计、绿色产品设计、并行设计、虚拟设计、快速响应变型设计和反求设计、机电一体化系统设计、现代设计主流软件、零部件设计常用基础标准、传动总论等10篇;重新编写了摩擦学设计、优化设计、计算机辅助设计、带传动和链传动、齿轮传动、滚动轴承、滑动轴承、气压传动与控制、液压传动与控制等9篇。其他各篇也作了较大程度的修改或更新。

2. 突出重点,务求实用。在总体结构和内容设置上作了一定调整,精简了基础理论部分内容,注意收集设计实践的经验和数据,使手册结构更趋合理,内容更切实际,更方便查阅。

3. 更换最新标准。根据到2000年6月为止颁发的国家或行业现行标准及技术规范,重新更换了旧的标准,体现了技术内容和数据的可靠性。

二、内容和结构

2版主要包括常用资料和设计基础、现代设计方法及应用、机械零部件设计、机械传动设计、流体传动与控制等部分,共44篇,分为5卷。

1. 常用资料和设计基础 机械设计总论、常用资料和数学公式、机械工程材料、机械设计力学基础、实验应力分析、机械振动和噪声、造型设计和人机工程、失效分析和故障诊断、电动机和常用低压电器。

2. 现代设计方法及应用 创新设计、绿色产品设计、并行设计、虚拟设计、快速响应变型设计和反求设计、可靠性设计、摩擦学设计、优化设计、计算机辅助设计、疲劳强度设计、蠕变设计、价值工程、机电一体化系统设计、附录 现代设计主流软件。

3. 机械零部件设计 零部件设计常用基础标准、零件结构工艺性、联接与紧固、弹簧、起重、搬运件、操作件、机架、箱体及导轨、密封件、管路附件。

4. 机械传动设计 传动总论、机构、带传动和链传动、摩擦轮及螺旋传动、齿轮传动、轮系、减速器和变速器、轴、滚动轴承、滑动轴承、联轴器、离合器与制动器。

5. 流体传动与控制 气压传动与控制、液压传动与控制、液力传动。

为了便于协调,提高质量,加快编写进度,参加编审的人员以东北大学有关院系为主,并组织邀请清华大学、北京理工大学、北京科技大学、上海交通大学、上海大学、天津大学、哈尔滨工业大学、重庆大学、浙江大学、昆明理工大学、大连理工大学、大连铁道学院、华中理工大学、北京、上海、合肥、天津、沈阳等地的专家学者参加。值此手册出版之际,谨向所有参加本版工作的全体编审人员及有关单位表示诚挚的谢意。由于水平和时间有限,难免有一些不尽人意之处,殷切希望广大读者批评指正,提出宝贵意见,以便在今后的工作中改进。

第1版前言

《机械设计手册》是继《机械工程手册》之后出版的一部大型机械设计专业技术工具书。

机械工业担负着向国民经济各部门,包括工业、农业和社会生活各个方面提供各种性能先进、价格低廉、使用安全可靠的技术装备的任务,所以在现代化建设中是举足轻重的。市场竞争的生命力在于产品的水平。任何科技成果要转变为有竞争力的商品,设计起着关键性的作用。机械设计是机械产品研制的第一道工序,设计工作的质量和水平,直接关系到产品质量、性能、研制周期和技术经济效益。工业发达国家都十分重视产品设计:日本认为,工业发达是企业对产品设计高度重视的结果;美国认为,设计是一本万利的事,对产品设计投资1美元,带来的利润却是1500美元;英国认为,产品设计是英国工业的命脉,英国工业革新必须以设计为中心,始终应把产品设计作为企业的头等大事,应时常探索研究使产品设计尽善尽美;法国认为,设计是工业的生命,要培养超一流设计大师,要大胆启用有才华有实践工作经验的设计人员。

这里,有必要回顾一下机械和机械设计发展的历史。机械的发明和发展,是先由几种简单工具开始的。石器时代的石刀、石斧,只是为了能省力或便于用力。后来发展到利用杠杆原理制作灌溉或扬水用的桔槔,利用滑轮原理制作重物提升用的辘轳等简单机械。这些机械所需的原动力是直接出自人的本身。为了省力和扩大力,开始时利用牲畜力,后来利用风力和火力。待到18世纪60年代发明了蒸汽机,作为动力带动了纺织机、磨粉机、鼓风机、工作母机和铁路机车,促进了冶金、轮船和火车等工业的发展。到19世纪60年代,出现了第一台直流发电机,到19世纪80年代,研制成功了交流发电机和交流电动机,20世纪初,电动机已在工业生产中取代了蒸汽机,成为驱动各种工作机械的基本动力。电气技术的应用,使机械工业得到了高速的发展。工业的发展,要求围绕机械设计制造的基础理论和设计方法,能适应当时机械工业的形势。到18~19世纪,材料科学、结构力学、弹性力学、流体力学、热力学、制图和公差等,都分别发展成为一门独立学科。但由于机械设计的复杂性,还需将这些学科在应用于设计时作某些简化假设,再加上设计人员的经验,逐渐形成了一整套机械设计方法。在这套设计方法中,要应用一些经验设计方法、经验设计公式和经验系数等,称之为常规设计或传统设计。

1946年世界上第一台电子数字计算机诞生。经历了电子管、半导体、集成电路和大型集成电路的发展,电子计算机在机械设计中已广为采用。电子计算机的发展,使有限元法、优化设计和计算机辅助设计等成为可能。加上材料科学、计算力学、摩擦学和设计理论等的发展,逐渐形成了一套现代设计理论和方法。现代设计的特点为:(1)从静态设计到动态设计;(2)从单项设计指标到综合设计指标;(3)从常规设计到精确设计;(4)从手算设计到广泛应用计算机的设计。常规设计是不可缺少的,但对于培养具有更广阔视野的设计人员来说显得非常不够。近二、三十年,设计方法更为科学化、系统化、完善化和现代化了,虽然如此,常规设计仍然是重要基础。

由于机械产品品种繁多,除一些重要的机械产品(如机床等)有专业手册,加上综合性的《机械工程手册》外,编写一部能统贯整个机械设计领域,主要写机械设计共性内容,具有现

代设计水平,实用性强,为机械设计学科领域的机械设计人员、科研和教学工作者查阅使用的《机械设计手册》,实属当务之急。为此,机械工业出版社于1985年冬着手组织全国专家、学者进行《机械设计手册》的编写工作。

本手册是在现代设计方法在我国经历了宣传普及阶段并在设计中初步取得成果、新的设计标准规范陆续制订公布的有利时机完成编写工作的。在制订编写提纲过程中,广泛听取了各方面的意见,将设计作为一个整体来考虑,不仅要考虑强度和润滑等常规设计注意的问题,还要考虑便于制造、技术经济指标合理和美观等方面,贯彻“四性”(实用性、整体性、科学性、先进性)精神,立足于80年代机械设计水平进行编写。手册中的计量单位一律采用国家法定计量单位,原有的数据单位,还没换成法定单位的,我们一律换算成法定单位。标准均为现行标准。

本手册共有42篇,分5卷出版。第1卷共7篇。第1篇机械设计总论,对机械设计的地位、设计遵循原则、设计的内容和设计方法作战略性的描述,使读者对机械设计有整体性理解。后面6篇是机械设计的基础理论和基本数据,各篇尽量用较小的篇幅写出覆盖面广的现代设计所需的实用内容。第2卷共10篇,是现代设计理论和设计方法。其中第8篇机构及机械系统设计,是机械设计的第一步骤,它是方案设计的主要内容。考虑到现代设计中的计算机应用,故以数值解法为主,代替了传统的图解法。第9篇造型设计和人机工程,介绍机械设计中如何考虑机器的形体和色彩,如何考虑操作者的人体尺寸、出力大小和视力范围等。第10篇价值工程,介绍机械设计中技术经济指标的计算以及评价和决策。下面几篇疲劳强度设计、蠕变设计、可靠性设计、优化设计、计算机辅助设计,都是一些现代设计方法。第16篇是计算机辅助设计所用的“数据库”,第15篇是与现代设计密切相关的“失效分析和故障诊断”。这些篇大多是现有手册中没有的,个别篇虽然少数手册中有类似的篇名,但本手册是从现代设计的要求出发进行编写,内容新而且深入。第3卷共8篇,第4卷共11篇,是机械零部件设计部分。虽然其中大部分篇名,在一些机械设计手册中也有,但本手册采用了最新的标准规范,尽量与现代设计相结合,所以各篇中都有一些内容,甚至整篇内容在一般手册中是没有的。一些重要的设计计算,另备有设计软件包。第5卷共6篇,是各种传动、机械自动化和工业机器人。其中工业机器人是机电仪一体化的典型产品,作为本手册的终篇,对贯彻本手册编写意图是有深刻含意的。为与本手册精神相一致,工业机器人也只写其共性部分。

《机械设计手册》是一部千万字的巨著,参加编写人员近200名,组织工作繁重。为了统一编写精神,经多次讨论确定了编写体例,按篇确定主编,由主编提出编写人员,召开编写会,审查各篇的编写提纲,按篇确定2~4位审稿人,初稿完成后送审,审稿意见与编写人见面,共同商量改稿意见,在此基础上,部分篇召开了审稿会。待到条件成熟,按卷召开定稿会。所以,本手册的出版,是在国内大专院校、研究院所和工厂的教授、研究人员和工程师的积极参加下完成的,并得到机械工业出版社、机械电子工业部科技司和东北工学院等单位的大力支持,这是本手册能够在较短的时间内从组织编写到出书的有力保证,在此谨向大家表示诚挚的感谢,并衷心希望广大读者提出批评意见,使本手册在修订时能有所改进。

徐 灏

1988年11月

目 录

第 28 篇 失效分析和故障诊断

第 1 章 总 述

1 机械产品的失效(故障)类型及影响因素	28-3
1.1 失效类型	28-3
1.1.1 机器或系统的失效类型	28-3
1.1.2 零部件失效类型	28-3
1.2 失效的基本影响因素	28-4
1.2.1 设计因素	28-4
1.2.2 制造工艺因素	28-4
1.2.3 装配调试因素	28-4
1.2.4 材质因素	28-4
1.2.5 运转维修因素	28-4
2 失效分析的基本内容与故障诊断的基本类型	28-5
2.1 失效分析的基本内容	28-5
2.1.1 失效分析对象与作用	28-5
2.1.2 失效分析工作三要素	28-5
2.1.3 失效分析与其他学科的关系	28-5
2.2 故障诊断的基本类型	28-5
2.2.1 性能诊断和运行诊断	28-5
2.2.2 定期诊断和在线监测	28-6
2.2.3 直接诊断和间接诊断	28-6
2.2.4 常规诊断和特殊诊断	28-6
2.2.5 简易诊断和精密诊断	28-6
3 失效分析的基本思路与方法	28-6
3.1 失效分析的一般思路	28-7
3.2 失效分析系统工程方法	28-7
3.3 失效分析的一般过程与步骤	28-8
3.3.1 失效对象的现场调查	28-9
3.3.2 现场初步分析	28-9
3.3.3 检测试验、查清失效原因	28-9
3.3.4 提出结论与报告	28-10

第 2 章 金属断裂与断口分析

1 金属零件的脆性断裂	28-11
1.1 基本特点	28-11
1.1.1 低应力断裂	28-11
1.1.2 裂纹源	28-11
1.1.3 韧性转变脆性	28-11
1.1.4 宏观断口形貌	28-11
1.2 微观机理	28-11
1.2.1 解理断裂	28-11
1.2.2 准解理断裂	28-12
2 金属零件的过载断裂	28-12
2.1 韧窝的形成和性质	28-13
2.2 韧窝的类型与应力状态	28-13
2.2.1 正交韧窝	28-13
2.2.2 剪切韧窝	28-13
2.2.3 撕裂韧窝	28-13
3 金属零件的疲劳断裂	28-14
3.1 疲劳断裂的基本类型	28-14
3.1.1 按疲劳断裂的不同产生基 因分	28-14
3.1.2 按疲劳断裂寿命分	28-14
3.2 疲劳断口的宏观形貌特征	28-14
3.2.1 疲劳断口三区的宏观一般特 征	28-14
3.2.2 加载类型对疲劳断口三区的 影响	28-15
3.3 疲劳断口的微观形貌特征	28-16
3.3.1 疲劳源的典型微观特征	28-17
3.3.2 疲劳扩展区的微观结构	28-18
3.3.3 瞬断区的微观形貌特征	28-19
4 金属零件的环境致断	28-20
4.1 应力腐蚀破裂	28-20
4.1.1 应力腐蚀破裂的特点和影响 因素	28-20

4.1.2 应力腐蚀破裂的断口特征	28-22	2.2.1 大气腐蚀	28-45
4.2 氢脆	28-23	2.2.2 土壤腐蚀	28-46
4.2.1 氢脆的特点与一般影响因素	28-23	2.2.3 海水腐蚀	28-47
4.2.2 氢脆的主要类型及其预防措施	28-24	2.2.4 均匀腐蚀	28-47
4.2.3 氢脆的断口形貌特征	28-25	2.2.5 点腐蚀(穴点腐蚀)	28-48
4.3 蠕变断裂	28-27	2.2.6 缝隙腐蚀	28-49
4.3.1 蠕变断裂的特点和影响因素	28-27	2.2.7 接触腐蚀	28-49
4.3.2 蠕变断裂的裂纹状态与断口形貌	28-28	2.2.8 晶间腐蚀	28-50
5 金属零件的裂纹分析	28-29	2.3 腐蚀失效分析方法	28-50
5.1 金属零件裂纹的基本类型与特点	28-29	2.3.1 现场检测注意事项	28-50
5.2 裂纹源的位向	28-32	2.3.2 腐蚀表面检析	28-50
5.2.1 裂纹源的宏观位向	28-32	2.3.3 反馈腐蚀试验	28-51
5.2.2 裂纹源的微观局部位向	28-33	2.4 防腐措施	28-51
第3章 表面损伤及变形失效		2.4.1 采用表面防护技术	28-51
1 磨损失效分析	28-34	2.4.2 正确选用金属材料与表面状态	28-52
1.1 磨损与磨损失效	28-34	2.4.3 改善介质的抗腐蚀条件	28-52
1.1.1 磨损概念	28-34	2.4.4 电偶作用防腐法	28-53
1.1.2 磨损量、度与耐磨性	28-34	2.4.5 采用合理的防蚀结构设计	28-53
1.1.3 磨损失效	28-34	3 畸变失效分析	28-54
1.2 磨损失效的基本类型	28-34	3.1 畸变和畸变失效	28-54
1.2.1 粘着磨损	28-34	3.1.1 畸变	28-54
1.2.2 磨粒磨损	28-35	3.1.2 畸变失效	28-54
1.2.3 表面疲劳磨损	28-35	3.2 畸变失效的基本类型	28-55
1.2.4 冲蚀磨损	28-35	3.2.1 弹性畸变失效	28-55
1.2.5 腐蚀磨损	28-35	3.2.2 塑性畸变	28-56
1.2.6 气蚀磨损	28-36	3.2.3 翘曲畸变	28-56
1.3 磨损失效的基本影响因素	28-36	3.3 畸变失效分析方法	28-57
1.3.1 摩擦副材质对磨损失效的影响	28-36	第4章 金属零件损伤的类型、预防及失效判据	
1.3.2 工况参数对磨损失效的影响	28-38	1 齿轮	28-58
1.4 磨损失效的分析方法	28-40	1.1 齿轮损伤的类型及预防	28-58
1.4.1 特点	28-40	1.2 齿轮的失效判据	28-58
1.4.2 磨损失效分析的一般步骤	28-43	1.2.1 重载齿轮磨损失效判据	28-61
1.4.3 磨损失效分析手段	28-43	1.2.2 重载齿轮齿面点蚀失效判据	28-61
2 腐蚀失效分析	28-45	1.2.3 重载齿轮齿面剥落失效判据	28-62
2.1 腐蚀失效基本概念及腐蚀程度表示法	28-45	1.2.4 重载齿轮齿面胶合失效判据	28-62
2.1.1 腐蚀失效的基本概念	28-45	1.2.5 重载齿轮轮齿塑性失效判据	28-62
2.1.2 金属腐蚀程度的表示法	28-45	1.2.6 重载齿轮轮齿折断、裂纹的失效判据	28-62
2.2 腐蚀失效的基本类型和影响因素	28-45	1.3 某大型减速器齿轮断齿分析	28-62
		1.3.1 齿轮断裂的检查与分析	28-62

1.3.2 双圆弧齿轮试验及其结论	28-64	1.6.2 光诊断技术	28-79
1.3.3 结论与措施	28-65	2 信号采集	28-79
2 轴	28-65	2.1 信号采集技术	28-79
2.1 轴的失效类型及预防	28-65	2.1.1 振动信号的采集方法	28-79
2.2 轴的失效判据	28-65	2.1.2 声信号采集方法	28-79
2.3 失效轴的检验	28-66	2.1.3 温度信号采集方法	28-80
2.4 某大型减速机齿轮轴的断裂分析	28-66	2.1.4 油样分析中的铁谱和磁塞的 油样采集方法	28-80
2.4.1 轴的断口分析	28-66	2.1.5 其他信号采集方法	28-80
2.4.2 轴的力学分析	28-67	2.2 传感器	28-81
2.4.3 轴的理化检验和分析	28-68	2.2.1 传感器分类	28-81
2.4.4 轴断裂原因、机理与预防 轴断裂的对策	28-69	2.2.2 常用传感器	28-81
3 滚动轴承	28-69	3 信号处理	28-82
3.1 滚动轴承的失效分析	28-69	3.1 信号的预处理	28-82
3.2 滚动轴承典型失效案例两则:不对中 结构与亚表面缺陷	28-71	3.1.1 滤波处理	28-82
3.2.1 因轴承和轴不对中结构引起 的轴承失效	28-71	3.1.2 相加平均法	28-83
3.2.2 亚表面金属缺陷引起轴承 构件的失效	28-72	3.1.3 包络处理	28-83
4 螺纹联接件	28-74	3.2 以快速傅里叶变换(FFT)技术为基础 的相关分析与谱分析	28-83
4.1 螺纹联接件的失效分析	28-74	3.2.1 确定性信号的数据处理	28-84
4.2 案例——高强度螺纹件的断裂 分析	28-74	3.2.2 随机信号的数据处理	28-84
4.2.1 断裂原因分析	28-74	3.3 时间序列法数据处理	28-86
4.2.2 材料的分析与试验	28-75	3.4 小波分析法	28-86
4.2.3 结论与措施	28-76	3.5 信号的分形处理	28-87
第5章 设备故障诊断与预防		3.5.1 分形滤波	28-87
1 诊断技术	28-77	3.5.2 分形特征提取	28-87
1.1 故障诊断技术	28-77	3.6 其他信号的处理方法	28-87
1.1.1 状态监测	28-77	3.6.1 温度信号处理方法	28-87
1.1.2 识别诊断	28-77	3.6.2 光信号处理方法	28-87
1.1.3 决策预防	28-77	3.6.3 声的信号处理	28-87
1.2 振动诊断技术	28-78	4 故障诊断系统	28-88
1.3 声诊断技术	28-78	4.1 诊断方法与特征参数	28-88
1.3.1 声和噪声诊断法	28-78	4.2 诊断用标准谱数据库	28-88
1.3.2 超声波诊断法	28-78	4.3 监测与诊断系统实例	28-89
1.3.3 声发射诊断法	28-78	4.3.1 650 轧机轧制力矩在线监测 系统	28-89
1.4 温度诊断技术	28-79	4.3.2 旋转机械在线监测系统	28-89
1.5 油样分析技术	28-79	4.3.3 造纸工艺流程系统的在线 监测	28-89
1.6 其他诊断技术	28-79	4.3.4 齿轮减速器的综合监测诊 断系统	28-90
1.6.1 振声诊断	28-79	4.4 故障诊断的智能系统	28-90
		4.4.1 基于知识的专家系统	28-90

4.4.2 基于神经网络的智能诊断系统	28 - 90	5.2.1 设备维修后勤功能分析和配置	28 - 91
5 故障预防	28 - 90	5.2.2 生产系统功能分析	28 - 91
5.1 故障预防技术	28 - 90	5.3 机器设备故障隐患消除	28 - 91
5.2 机械设备维修原则	28 - 91	参考文献	28 - 92

第 28 篇 失效分析和故障诊断

主 编 何德芳
编写人 何德芳
虞和济

