

机械设计手册

单行本

疲劳强度设计 机械可靠性设计



闻邦椿 主编

MACHINE DESIGN HANDBOOK

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

机械设计手册

第6版

单行本

疲劳强度设计 机械可靠性设计

主 编 闻邦椿
副主编 鄂中凯 张义民 陈良玉 孙志礼
宋锦春 柳洪义 巩亚东 宋桂秋

机械工业出版社

《机械设计手册》第6版 单行本共26分册，内容涵盖机械常规设计、机电一体化设计与机电控制、现代设计方法及其应用等内容，具有系统全面、信息量大、内容现代、突显创新、实用可靠、简明便查、便于携带和翻阅等特色。各分册分别为：《常用设计资料和数据》《机械制图与机械零部件精度设计》《机械零部件结构设计》《连接与紧固》《带传动和链传动 摩擦轮传动与螺旋传动》《齿轮传动》《减速器和变速器》《机构设计》《轴 弹簧》《滚动轴承》《联轴器、离合器与制动器》《起重运输机械零部件和操作件》《机架、箱体与导轨》《润滑 密封》《气压传动与控制》《机电一体化技术及设计》《机电系统控制》《机器人与机器人装备》《数控技术》《微机电系统及设计》《机械系统概念设计》《机械系统的振动设计及噪声控制》《疲劳强度设计 机械可靠性设计》《数字化设计》《工业设计与人机工程》《智能设计 仿生机械设计》。

本单行本为《疲劳强度设计 机械可靠性设计》，“疲劳强度设计”主要介绍疲劳强度设计概念、疲劳载荷、金属材料的疲劳极限和 $S-N$ 曲线、影响疲劳强度的因素、常规疲劳强度设计、现代疲劳强度设计、环境疲劳强度、冲击与接触疲劳强度、提高零构件疲劳强度的措施、疲劳试验与数据处理等内容；“机械可靠性设计”主要介绍可靠性设计的基础知识、可靠性试验数据的统计处理方法、机械零件的可靠性设计、机械系统的可靠性分析、机构运动可靠性分析、可靠性灵敏度设计等内容。

本书供从事机械设计、制造、维修及有关工程技术人员作为工具书使用，也可供大专院校的有关专业师生使用和参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械设计手册. 疲劳强度设计 机械可靠性设计/闻邦椿主编. —6版. —北京: 机械工业出版社, 2020. 1

ISBN 978-7-111-64740-9

I. ①机… II. ①闻… III. ①机械设计-技术手册②疲劳强度-机械设计-技术手册③机械设计-可靠性设计-技术手册 IV. ①TH122-62②TH114-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2020) 第 024610 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: 曲彩云 责任编辑: 曲彩云 高依楠

责任校对: 徐 强 封面设计: 马精明

责任印制: 张 博

北京铭成印刷有限公司印刷

2020 年 4 月第 6 版第 1 次印刷

184mm×260mm·18.75 印张·459 千字

0001—1900 册

标准书号: ISBN 978-7-111-64740-9

定价: 39.00 元

电话服务

客服电话: 010-88361066

010-88379833

010-68326294

网络服务

机 工 官 网: www.cmpbook.com

机 工 官 博: weibo.com/cmp1952

金 书 网: www.golden-book.com

封底无防伪标均为盗版

机工教育服务网: www.cmpedu.com

出版说明

《机械设计手册》自出版以来，已经进行了5次修订，2018年第6版出版发行。截至2019年，《机械设计手册》累计发行39万套。作为国家级重点科技图书，《机械设计手册》深受广大读者的欢迎和好评，在全国具有很大的影响力。该书曾获得中国出版政府奖提名奖、中国机械工业科学技术奖一等奖、全国优秀科技图书奖二等奖、中国机械工业部科技进步奖二等奖，并多次获得全国优秀畅销书奖等奖项。《机械设计手册》已成为机械设计领域的品牌产品，是机械工程领域最具权威和影响力的大型工具书之一。

《机械设计手册》第6版共7卷55篇，是在前5版的基础上吸收并总结了国内外机械设计领域中的新标准、新材料、新工艺、新结构、新技术、新产品、新的设计理论与方法，并配合我国创新驱动战略的需求编写而成的。与前5版相比，第6版无论是从体系还是内容，都在传承的基础上进行了创新。重点充实了机电一体化系统设计、机电控制与信息技术、现代机械设计理论与方法等现代机械设计的最新内容，将常规设计方法与现代设计方法相融合，光、机、电设计融为一体，局部的零部件设计与系统化设计互相衔接，并努力将创新设计的理念贯穿其中。《机械设计手册》第6版体现了国内外机械设计发展的新水平，精心诠释了常规与现代机械设计的内涵、全面荟萃凝练了机械设计各专业技术的精华，它将引领现代机械设计创新潮流、成就新一代机械设计大师，为我国实现装备制造强国梦做出重大贡献。

《机械设计手册》第6版的主要特色是：体系新颖、系统全面、信息量大、内容现代、突显创新、实用可靠、简明便查。应该特别指出的是，第6版手册具有较高的科技含量和大量技术创新性的内容。手册中的许多内容都是编著者多年研究成果的科学总结。这些内容中有不少依托国家“863计划”“973计划”“985工程”“国家科技重大专项”“国家自然科学基金”重大、重点和面上项目资助项目。相关项目有不少成果曾获得国际、国家、部委、省市科技奖励、技术专利。这充分体现了手册内容的重大科学价值与创新性。如仿生机械设计、激光及其在机械工程中的应用、绿色设计与和谐设计、微机电系统及设计等前沿新技术；又如产品综合设计理论与方法是闻邦椿院士在国际上首先提出，并综合8部专著后首次编入手册，该方法已经在高铁、动车及离心压缩机等机械工程中成功应用，获得了巨大的社会效益和经济效益。

在《机械设计手册》历次修订的过程中，出版社和作者都广泛征求和听取各方面的意见，广大读者在对《机械设计手册》给予充分肯定的同时，也指出《机械设计手册》卷册厚重，不便携带，希望能出版篇幅较小、针对性强、便查便携的更加实用的单行本。为满足读者的需要，机械工业出版社于2007年首次推出了《机械设计手册》第4版单行本。该单行本出版后很快受到读者的欢迎和好评。《机械设计手册》第6版已经面市，为了使读者能按需要、有针对性地选用《机械设计手册》第6版中的相关内容并降低购书费用，机械工业出版社在总结《机械设计手册》前几版单行本经验的基础上推出了《机械设计手册》第6版单行本。

《机械设计手册》第6版单行本保持了《机械设计手册》第6版（7卷本）的优势和特色，依据机械设计的实际情况和机械设计专业的具体情况以及手册各篇内容的相关性，将原手册的7卷55篇进行精选、合并，重新整合为26个分册，分别为：《常用设计资料和数据》《机械制图与机械零部件精度设计》《机械零部件结构设计》《连接与紧固》《带传动和链传动 摩擦轮传动与螺旋传动》《齿轮传动》《减速器和变速器》《机构设计》《轴 弹簧》《滚动轴承》《联轴器、离合器与制动器》《起重运输机械零部件和操作件》《机架、箱体与导轨》《润滑 密

封》《气压传动与控制》《机电一体化技术及设计》《机电系统控制》《机器人与机器人装备》《数控技术》《微机电系统及设计》《机械系统概念设计》《机械系统的振动设计及噪声控制》《疲劳强度设计 机械可靠性设计》《数字化设计》《工业设计与人机工程》《智能设计 仿生机械设计》。各分册内容针对性强、篇幅适中、查阅和携带方便，读者可根据需要灵活选用。

《机械设计手册》第6版单行本是为了助力我国制造业转型升级、经济发展从高增长迈向高质量，满足广大读者的需要而编辑出版的，它将与《机械设计手册》第6版（7卷本）一起，成为机械设计人员、工程技术人员得心应手的工具书，成为广大读者的良师益友。

由于工作量大、水平有限，难免有一些错误和不妥之处，殷切希望广大读者给予指正。

机械工业出版社

前 言

本版手册为新出版的第6版7卷本《机械设计手册》。由于科学技术的快速发展，需要我们对手册内容进行更新，增加新的科技内容，以满足广大读者的迫切需要。

《机械设计手册》自1991年面世发行以来，历经5次修订，截至2016年已累计发行38万套。作为国家级重点科技图书的《机械设计手册》，深受社会各界的重视和好评，在全国具有很大的影响力，该手册曾获得全国优秀科技图书奖二等奖（1995年）、中国机械工业部科技进步奖二等奖（1997年）、中国机械工业科学技术奖一等奖（2011年）、中国出版政府奖提名奖（2013年），并多次获得全国优秀畅销书奖等奖项。1994年，《机械设计手册》曾在我国台湾建宏出版社出版发行，并在海内外产生了广泛的影响。《机械设计手册》荣获的一系列国家和部级奖项表明，其具有很高的科学价值、实用价值和文化价值。《机械设计手册》已成为机械设计领域的一部大型品牌工具书，已成为机械工程领域权威的和影响力较大的大型工具书，长期以来，它为我国装备制造业的发展做出了巨大贡献。

第5版《机械设计手册》出版发行至今已有7年时间，这期间我国国民经济有了很大发展，国家制定了《国家创新驱动发展战略纲要》，其中把创新驱动发展作为了国家的优先战略。因此，《机械设计手册》第6版修订工作的指导思想除努力贯彻“科学性、先进性、创新性、实用性、可靠性”外，更加突出了“创新性”，以全力配合我国“创新驱动发展战略”的重大需求，为实现我国建设创新型国家和科技强国梦做出贡献。

在本版手册的修订过程中，广泛调研了厂矿企业、设计院、科研院所和高等院校等多方面的使用情况和意见。对机械设计的基础内容、经典内容和传统内容，从取材、产品及其零部件的设计方法与计算流程、设计实例等多方面进行了深入系统的整合，同时，还全面总结了当前国内外机械设计的新理论、新方法、新材料、新工艺、新结构、新产品和新技术，特别是在现代设计与创新设计理论与方法、机电一体化及机械系统控制技术等方面做了系统和全面的论述和凝练。相信本版手册会以崭新的面貌展现在广大读者面前，它将对提高我国机械产品的设计水平、推进新产品的研究与开发、老产品的改造，以及产品的引进、消化、吸收和再创新，进而促进我国由制造大国向制造强国跃升，发挥出巨大的作用。

本版手册分为7卷55篇：第1卷 机械设计基础资料；第2卷 机械零部件设计（连接、紧固与传动）；第3卷 机械零部件设计（轴系、支承与其他）；第4卷 流体传动与控制；第5卷 机电一体化与控制技术；第6卷 现代设计与创新设计（一）；第7卷 现代设计与创新设计（二）。

本版手册有以下七大特点：

一、构建新体系

构建了科学、先进、实用、适应现代机械设计创新潮流的《机械设计手册》新结构体系。该体系层次为：机械基础、常规设计、机电一体化设计与控制技术、现代设计与创新设计方法。该体系的特点是：常规设计方法与现代设计方法互相融合，光、机、电设计融为一体，局部的零部件设计与系统化设计互相衔接，并努力将创新设计的理念贯穿于常规设计与现代设计之中。

二、凸显创新性

习近平总书记在2014年6月和2016年5月召开的中国科学院、中国工程院两院院士大会

上分别提出了我国科技发展的方向就是“创新、创新、再创新”，以及实现创新型国家和科技强国的三个阶段的目标和五项具体工作。为了配合我国创新驱动发展战略的重大需求，本版手册突出了机械创新设计内容的编写，主要有以下几个方面：

(1) 新增第7卷，重点介绍了创新设计及与创新设计有关的内容。

该卷主要内容有：机械创新设计概论，创新设计方法论，顶层设计原理、方法与应用，创新原理、思维、方法与应用，绿色设计与和谐设计，智能设计，仿生机机械设计，互联网上的合作设计，工业通信网络，面向机械工程领域的大数据、云计算与物联网技术，3D打印设计与制造技术，系统化设计理论与方法。

(2) 在一些篇章编入了创新设计和多种典型机械创新设计的内容。

“第11篇 机构设计”篇新增加了“机构创新设计”一章，该章编入了机构创新设计的原理、方法及飞剪机剪切机构创新设计，大型空间折展机构创新设计等多个创新设计的案例。典型机械的创新设计有大型全断面掘进机（盾构机）仿真分析与数字化设计、机器人挖掘机的机电一体化创新设计、节能抽油机的创新设计、产品包装生产线的机构方案创新设计等。

(3) 编入了一大批典型的创新机械产品。

“机械无级变速器”一章中编入了新型金属带式无级变速器，“并联机构的设计与应用”一章中编入了数十个新型的并联机床产品，“振动的利用”一章中新编入了激振器偏移式自同步振动筛、惯性共振式振动筛、振动压路机等十多个典型的创新机械产品。这些产品有的获得了国家或省部级奖励，有的是专利产品。

(4) 编入了机械设计理论和设计方法论等方面的创新研究成果。

1) 闻邦椿院士团队经过长期研究，在国际上首先创建了振动利用工程学科，提出了该类机械设计理论和方法。本版手册中编入了相关内容和实例。

2) 根据多年的研究，提出了以非线性动力学理论为基础的深层次的动态设计理论与方法。本版手册首次编入了该方法并列举了若干应用范例。

3) 首先提出了和谐设计的新概念和新内容，阐明了自然环境、社会环境（政治环境、经济环境、人文环境、国际环境、国内环境）、技术环境、资金环境、法律环境下的产品和和谐设计的概念和内容的新体系，把既有的绿色设计篇拓展为绿色设计与和谐设计篇。

4) 全面系统地阐述了产品系统化设计的理论和方法，提出了产品设计的总体目标、广义目标和技术目标的内涵，提出了应该用IQCTES六项设计要求来代替QCTES五项要求，详细阐明了设计的四个理想步骤，即“3I调研”“7D规划”“1+3+X实施”“5(A+C)检验”，明确提出了产品系统化设计的基本内容是主辅功能、三大性能和特殊性能要求的具体实现。

5) 本版手册引入了闻邦椿院士经过长期实践总结出的独特的、科学的创新设计方法论体系和规则，用来指导产品设计，并提出了创新设计方法论的运用可向智能化方向发展，即采用专家系统来完成。

三、坚持科学性

手册的科学水平是评价手册编写质量的重要方面，因此，本版手册特别强调突出内容的科学性。

(1) 本版手册努力贯彻科学发展观及科学方法论的指导思想和方法，并将其落实到手册内容的编写中，特别是在产品设计理论方法的和谐设计、深层次设计及系统化设计的编写中。

(2) 本版手册中的许多内容是编著者多年研究成果的科学总结。这些内容中有不少是国家863、973计划项目，国家科技重大专项，国家自然科学基金重大、重点和面上项目资助项目的研究成果，有不少成果曾获得国际、国家、部委、省市科技奖励及技术专利，充分体现了本版

手册内容的重大科学价值与创新性。

下面简要介绍本版手册编入的几方面的重要研究成果：

1) 振动利用工程新学科是闻邦椿院士团队经过长期研究在国际上首先创建的。本版手册中编入了振动利用机械的设计理论、方法和范例。

2) 产品系统化设计理论与方法的体系和内容是闻邦椿院士团队提出并加以完善的，编写者依据多年的研究成果和系列专著，经综合整理后首次编入本版手册。

3) 仿生机械设计是一门新兴的综合性交叉学科，近年来得到了快速发展，它为机械设计的创新提供了新思路、新理论和新方法。吉林大学任露泉院士领导的工程仿生教育部重点实验室开展了大量的深入研究工作，取得了一系列创新成果且出版了专著，据此并结合国内外大量较新的文献资料，为本版手册构建了仿生机械设计的新体系，编写了“仿生机械设计”篇（第 50 篇）。

4) 激光及其在机械工程中的应用篇是中国科学院长春光学精密机械与物理研究所王立军院士依据多年的研究成果，并参考国内外大量较新的文献资料编写而成的。

5) 绿色制造工程是国家确立的五项重大工程之一，绿色设计是绿色制造工程的最重要环节，是一个新的学科。合肥工业大学刘志峰教授依据在绿色设计方面获多项国家和省部级奖励的研究成果，参考国内外大量较新的文献资料为本版手册首次构建了绿色设计新体系，编写了“绿色设计与和谐设计”篇（第 48 篇）。

6) 微机电系统及设计是前沿的新技术。东南大学黄庆安教授领导的微电子机械系统教育部重点实验室多年来开展了大量研究工作，取得了一系列创新研究成果，本版手册的“微机电系统及设计”篇（第 28 篇）就是依据这些成果和国内外大量较新的文献资料编写而成的。

四、重视先进性

(1) 本版手册对机械基础设计和常规设计的内容做了大规模全面修订，编入了大量新标准、新材料、新结构、新工艺、新产品、新技术、新设计理论和计算方法等。

1) 编入和更新了产品设计中需要的大量国家标准，仅机械工程材料篇就更新了标准 126 个，如 GB/T 699—2015《优质碳素结构钢》和 GB/T 3077—2015《合金结构钢》等。

2) 在新材料方面，充实并完善了铝及铝合金、钛及钛合金、镁及镁合金等内容。这些材料由于具有优良的力学性能、物理性能以及回收率高等优点，目前广泛应用于航空、航天、高铁、计算机、通信元件、电子产品、纺织和印刷等行业。增加了国内外粉末冶金材料的新品种，如美国、德国和日本等国家的各种粉末冶金材料。充实了国内外工程塑料及复合材料的新品种。

3) 新编的“机械零部件结构设计”篇（第 4 篇），依据 11 个结构设计方面的基本要求，编写了相应的内容，并编入了结构设计的评估体系和减速器结构设计、滚动轴承部件结构设计的示例。

4) 按照 GB/T 3480.1~3—2013（报批稿）、GB/T 10062.1~3—2003 及 ISO 6336—2006 等新标准，重新构建了更加完善的渐开线圆柱齿轮传动和锥齿轮传动的设计计算新体系；按照初步确定尺寸的简化计算、简化疲劳强度校核计算、一般疲劳强度校核计算，编排了三种设计计算方法，以满足不同场合、不同要求的齿轮设计。

5) 在“第 4 卷 流体传动与控制”卷中，编入了一大批国内外知名品牌的新标准、新结构、新产品、新技术和新设计计算方法。在“液力传动”篇（第 23 篇）中新增加了液黏传动，它是一种新型的液力传动。

(2) “第 5 卷 机电一体化与控制技术”卷充实了智能控制及专家系统的内容，大篇幅增

加了机器人与机器人装备的内容。

机器人是机电一体化特征最为显著的现代机械系统，机器人技术是智能制造的关键技术。由于智能制造的迅速发展，近年来机器人产业呈现出高速发展的态势。为此，本版手册大篇幅增加了“机器人与机器人装备”篇（第26篇）的内容。该篇从实用性的角度，编写了串联机器人、并联机器人、轮式机器人、机器人工装夹具及变位机；编入了机器人的驱动、控制、传感、视角和人工智能等共性技术；结合喷涂、搬运、电焊、冲压及压铸等工艺，介绍了机器人的典型应用实例；介绍了服务机器人技术的新进展。

(3) 为了配合我国创新驱动战略的重大需求，本版手册扩大了创新设计的篇数，将原第6卷扩编为两卷，即新的“现代设计与创新设计（一）”（第6卷）和“现代设计与创新设计（二）”（第7卷）。前者保留了原第6卷的主要内容，后者编入了创新设计与与创新设计有关的内容及一些前沿的技术内容。

本版手册“现代设计与创新设计（一）”卷（第6卷）的重点内容和新增内容主要有：

1) 在“现代设计理论与方法综述”篇（第32篇）中，简要介绍了机械制造技术发展总趋势、在国际上有影响的主要设计理论与方法、产品研究与开发的一般过程和关键技术、现代设计理论的发展和根据不同的设计目标对设计理论与方法的选用。闻邦椿院士在国内外首次按照系统工程原理，对产品的现代设计方法做了科学分类，克服了目前产品设计方法的论述缺乏系统性的不足。

2) 新编了“数字化设计”篇（第40篇）。数字化设计是智能制造的重要手段，并呈现应用日益广泛、发展更加深刻的趋势。本篇编入了数字化技术及其相关技术、计算机图形学基础、产品的数字化建模、数字化仿真与分析、逆向工程与快速原型制造、协同设计、虚拟设计等内容，并编入了大型全断面掘进机（盾构机）的数字化仿真分析和数字化设计、摩托车逆向工程设计等多个实例。

3) 新编了“试验优化设计”篇（第41篇）。试验是保证产品性能与质量的重要手段。本篇以新的视觉优化设计构建了试验设计的新体系、全新内容，主要包括正交试验、试验干扰控制、正交试验的结果分析、稳健试验设计、广义试验设计、回归设计、混料回归设计、试验优化分析及试验优化设计常用软件等。

4) 将手册第5版的“造型设计与人机工程”篇改编为“工业设计与人机工程”篇（第42篇），引入了工业设计的相关理论及新的理念，主要有品牌设计与产品识别系统（PIS）设计、通用设计、交互设计、系统设计、服务设计等，并编入了机器人的产品系统设计分析及自行车的人机系统设计等典型案例。

(4) “现代设计与创新设计（二）”卷（第7卷）主要编入了创新设计与与创新设计有关的内容及一些前沿技术内容，其重点内容和新编内容有：

1) 新编了“机械创新设计概论”篇（第44篇）。该篇主要编入了创新是我国科技和经济发展的重要战略、创新设计的发展与现状、创新设计的指导思想与目标、创新设计的内容与方法、创新设计的未来发展战略、创新设计方法论的体系和规则等。

2) 新编了“创新设计方法论”篇（第45篇）。该篇为创新设计提供了正确的指导思想和方法，主要编入了创新设计方法论的体系、规则，创新设计的目的、要求、内容、步骤、程序及科学方法，创新设计工作者或团队的四项潜能，创新设计客观因素的影响及动态因素的作用，用科学哲学思想来统领创新设计工作，创新设计方法论的应用，创新设计方法论应用的智能化及专家系统，创新设计的关键因素及制约的因素分析等内容。

3) 创新设计是提高机械产品竞争力的重要手段和方法，大力发展创新设计对我国国民经

济发展具有重要的战略意义。为此,编写了“创新原理、思维、方法与应用”篇(第47篇)。除编入了创新思维、原理和方法,创新设计的基本理论和创新的系统化设计方法外,还编入了29种创新思维方法、30种创新技术、40种发明创造原理,列举了大量的应用范例,为引领机械创新设计做出了示范。

4) 绿色设计是实现低资源消耗、低环境污染、低碳经济的保护环境和资源合理利用的重要技术政策。本版手册中编入了“绿色设计与和谐设计”篇(第48篇)。该篇系统地论述了绿色设计的概念、理论、方法及其关键技术。编者结合多年的研究实践,并参考了大量的国内外文献及较新的研究成果,首次构建了系统实用的绿色设计的完整体系,包括绿色材料选择、拆卸回收产品设计、包装设计、节能设计、绿色设计体系与评估方法,并给出了系列典型范例,这些对推动工程绿色设计的普遍实施具有重要的指引和示范作用。

5) 仿生机械设计是一门新兴的综合性交叉学科,本版手册新编入了“仿生机械设计”篇(第50篇),包括仿生机械设计的原理、方法、步骤,仿生机械设计的生物模本,仿生机械形态与结构设计,仿生机械运动学设计,仿生机构设计,并结合仿生行走、飞行、游走、运动及生机电仿生手臂,编入了多个仿生机械设计范例。

6) 第55篇为“系统化设计理论与方法”篇。装备制造机械产品的大型化、复杂化、信息化程度越来越高,对设计方法的科学性、全面性、深刻性、系统性提出的要求也越来越高,为了满足我国制造强国的重大需要,亟待创建一种能统领产品设计全局的先进设计方法。该方法已经在我国许多重要机械产品(如动车、大型离心压缩机等)中成功应用,并获得重大的社会效益和经济效益。本版手册对该系统化设计方法做了系统论述并给出了大型综合应用实例,相信该系统化设计方法对我国大型、复杂、现代化机械产品的设计具有重要的指导和示范作用。

7) 本版手册第7卷还编入了与创新设计有关的其他多篇现代化设计方法及前沿新技术,包括顶层设计原理、方法与应用,智能设计,互联网上的合作设计,工业通信网络,面向机械工程领域的大数据、云计算与物联网技术,3D打印设计与制造技术等。

五、突出实用性

为了方便产品设计者使用和参考,本版手册对每种机械零部件和产品均给出了具体应用,并给出了选用方法或设计方法、设计步骤及应用范例,有的给出了零部件的生产企业,以加强实际设计的指导和应用。本版手册的编排尽量采用表格化、框图化等形式来表达产品设计所需要的内容和资料,使其更加简明、便查;对各种标准采用摘编、数据合并、改排和格式统一等方法进行改编,使其更为规范和便于读者使用。

六、保证可靠性

编入本版手册的资料尽可能取自原始资料,重要的资料均注明来源,以保证其可靠性。所有数据、公式、图表力求准确可靠,方法、工艺、技术力求成熟。所有材料、零部件、产品和工艺标准均采用新公布的标准资料,并且在编入时做到认真核对以避免差错。所有计算公式、计算参数和计算方法都经过长期检验,各种算例、设计实例均来自工程实际,并经过认真的计算,以确保可靠。本版手册编入的各种通用的及标准化的产品均说明其特点及适用情况,并注明生产厂家,供设计人员全面了解情况后选用。

七、保证高质量和权威性

本版手册主编单位东北大学是国家211、985重点大学、“重大机械关键设计制造共性技术”985创新平台建设单位、2011国家钢铁共性技术协同创新中心建设单位,建有“机械设计及理论国家重点学科”和“机械工程一级学科”。由东北大学机械及相关学科的老教授、老专家和中青年学术精英组成了实力强大的大型工具书编写团队骨干,以及一批来自国家重点高

校、科研院所、大型企业等 30 多个单位、近 200 位专家、学者组成了高水平编审团队。编审团队成员的大多数都是所在领域的著名资深专家，他们具有深广的理论基础、丰富的机械设计工作经历、丰富的工具书编纂经验和执着的敬业精神，从而确保了本版手册的高质量和权威性。

在本版手册编写中，为便于协调，提高质量，加快编写进度，编审人员以东北大学的教师为主，并组织邀请了清华大学、上海交通大学、西安交通大学、浙江大学、哈尔滨工业大学、吉林大学、天津大学、华中科技大学、北京科技大学、大连理工大学、东南大学、同济大学、重庆大学、北京化工大学、南京航空航天大学、上海师范大学、合肥工业大学、大连交通大学、长安大学、西安建筑科技大学、沈阳工业大学、沈阳航空航天大学、沈阳建筑大学、沈阳理工大学、沈阳化工大学、重庆理工大学、中国科学院长春光学精密机械与物理研究所、中国科学院沈阳自动化研究所等单位的专家、学者参加。

在本版手册出版之际，特向著名机械专家、本手册创始人、第 1 版及第 2 版的主编徐灏教授致以崇高的敬意，向历次版本副主编邱宣怀教授、蔡春源教授、严隽琪教授、林忠钦教授、余俊教授、汪恺总工程师、周士昌教授致以崇高的敬意，向参加本手册历次版本的编写单位和人员表示衷心感谢，向在本手册历次版本的编写、出版过程中给予大力支持的单位和社会各界朋友们表示衷心感谢，特别感谢机械科学研究总院、郑州机械研究所、徐州工程机械集团公司、北方重工集团沈阳重型机械集团有限责任公司和沈阳矿山机械集团有限责任公司、沈阳机床集团有限责任公司、沈阳鼓风机集团有限责任公司及辽宁省标准研究院等单位的大力支持。

由于编者水平有限，手册中难免有一些不尽如人意之处，殷切希望广大读者批评指正。

主编 闻邦椿

目 录

出版说明
前言

第 35 篇 疲劳强度设计

第 1 章 概 论

1 疲劳的分类	35-3
2 疲劳强度设计方法	35-4
2.1 名义应力法	35-4
2.2 局部应力应变法	35-4
2.3 损伤容限设计法	35-4
2.4 概率疲劳设计法	35-4

第 2 章 疲 劳 载 荷

1 概述	35-5
2 循环应力和循环应变	35-5
2.1 循环应力	35-5
2.2 循环应变	35-5
3 随机载荷的循环计数法	35-6
4 随机疲劳载荷谱的编制	35-7
4.1 累积频数曲线	35-7
4.2 载荷谱编制	35-7

第 3 章 金属材料的疲劳极限和 $S-N$ 曲线

1 金属材料疲劳极限	35-9
1.1 基本概念	35-9
1.2 金属材料的疲劳极限	35-9
1.3 疲劳极限的经验公式	35-13
2 常用金属材料的 $S-N$ 曲线	35-13

第 4 章 影响疲劳强度的因素

1 应力集中的影响	35-23
1.1 理论应力集中系数	35-23
1.2 有效应力集中系数	35-37
2 尺寸的影响	35-44
3 表面状况的影响	35-46
3.1 表面加工状况	35-46

3.2 表面腐蚀状况	35-46
3.3 表面强化状况	35-46
4 载荷状况的影响	35-48
4.1 载荷类型的影响	35-48
4.2 载荷频率的影响	35-48
4.3 载荷峰值的影响	35-49
4.4 平均应力的影响	35-49

第 5 章 常规疲劳强度设计

1 概述	35-52
2 疲劳安全系数	35-52
3 疲劳累积损伤理论	35-56
3.1 基本概念	35-56
3.2 线性疲劳累积损伤理论	35-56
3.3 相对迈因纳 (Miner) 法则	35-57
4 无限疲劳寿命设计	35-57
4.1 单向应力时的无限疲劳寿命设计	35-57
4.1.1 计算公式	35-57
4.1.2 算例	35-57
4.2 多向应力时的无限疲劳寿命设计	35-59
5 有限疲劳寿命设计	35-59
5.1 安全系数计算公式	35-59
5.2 寿命估算	35-59
5.3 随机疲劳寿命估算	35-59
5.3.1 程序谱的疲劳寿命计算	35-59
5.3.2 概率密度函数给出的连续谱寿命 计算	35-60
5.4 算例	35-60

第 6 章 现代疲劳强度设计

1 概述	35-62
2 低周疲劳	35-62
2.1 低周疲劳曲线 ($\epsilon-N$ 曲线)	35-62

2.2 循环应力-应变 (σ - ε) 曲线	35-65	2.3 热疲劳强度设计要考虑的主要 问题	35-98
2.2.1 滞回线	35-65	3 低温疲劳强度	35-98
2.2.2 循环硬化与循环软化	35-65	3.1 低温下金属的特性	35-98
2.2.3 循环 σ - ε 曲线	35-65	3.2 低温下材料的疲劳数据和图线	35-99
2.3 应变-寿命曲线的获得	35-68	3.2.1 低温下材料的疲劳极限	35-99
2.3.1 曼森-科芬方程	35-68	3.2.2 低温下的材料 S - N 曲线	35-99
2.3.2 四点法求应变-寿命曲线	35-69	3.3 低温对应力集中的影响	35-100
2.4 低周疲劳寿命估算	35-70	3.4 低温疲劳强度计算	35-101
3 局部应力应变法	35-71	4 高温疲劳强度	35-101
3.1 预备知识	35-71	4.1 高温对材料力学性能的影响	35-101
3.1.1 真实应力与真实应变	35-71	4.2 高温时材料 S - N 曲线	35-101
3.1.2 玛辛特性	35-72	4.3 影响金属高温疲劳性能的主要 因素	35-105
3.1.3 材料的记忆特性	35-72	4.3.1 材料因素	35-105
3.1.4 载荷顺序效应	35-72	4.3.2 温度因素	35-106
3.2 局部应力-应变分析	35-72	4.3.3 频率因素	35-106
3.2.1 滞回线方程	35-72	4.3.4 应力集中因素	35-107
3.2.2 诺伯法	35-73	4.3.5 表面状态因素	35-107
3.3 裂纹形成寿命的估算	35-73	4.3.6 平均应力因素	35-108
3.3.1 损伤计算	35-73	4.4 高温下疲劳强度计算	35-108
3.3.2 估算裂纹形成寿命步骤	35-74	4.4.1 静态算法	35-109
3.4 算例	35-74	4.4.2 蠕变疲劳复合作用算法	35-110
4 裂纹扩展寿命估算	35-76		
4.1 应力强度因子和断裂韧度	35-76		
4.1.1 应力强度因子	35-76		
4.1.2 断裂韧度	35-77		
4.2 疲劳裂纹扩展速率	35-79		
4.2.1 $\frac{da}{dN}$ - ΔK 关系曲线	35-79		
4.2.2 影响疲劳裂纹扩展速率的因素	35-82		
4.3 疲劳裂纹扩展寿命估算	35-83		
4.3.1 初始裂纹尺寸 a_0 的确定	35-83		
4.3.2 临界裂纹尺寸 a_c 的确定	35-83		
4.3.3 裂纹扩展寿命的估算公式	35-83		
4.4 算例	35-83		
		第 8 章 冲击与接触疲劳强度	
		1 冲击疲劳强度	35-112
		1.1 多次冲击能量-寿命 (A - N) 曲线	35-112
		1.2 影响多次冲击强度的因素	35-112
		1.2.1 材料的强度和韧性	35-112
		1.2.2 表面强化工艺	35-113
		1.3 冲击疲劳强度计算	35-115
		2 接触疲劳强度	35-115
		2.1 接触疲劳失效机理	35-115
		2.2 接触应力	35-116
		2.3 影响接触疲劳强度的因素	35-117
		2.4 接触疲劳强度计算	35-119
		第 9 章 提高零部件疲劳强度的措施	
		1 合理选材	35-121
		1.1 强度、塑性和韧性间最佳配合	35-121
		1.2 材料纯度	35-121
		1.3 晶粒度和晶粒取向的影响	35-121
		2 改进结构和工艺	35-121
		2.1 改进结构	35-121
		2.2 改进工艺	35-123
		3 表面强化	35-123
第 7 章 环境疲劳强度			
1 腐蚀疲劳强度	35-85		
1.1 腐蚀疲劳的 S - N 曲线	35-85		
1.2 腐蚀疲劳极限	35-85		
1.3 影响腐蚀疲劳的因素	35-85		
1.4 腐蚀疲劳寿命的估算	35-96		
2 热疲劳强度	35-96		
2.1 热应力与热疲劳	35-96		
2.2 热疲劳强度与寿命估算	35-96		
2.2.1 最大温度-寿命曲线	35-96		
2.2.2 应变幅度-寿命曲线	35-97		

3.1 表面热处理	35-124	2.2.2 机械加工	35-132
3.2 表面化学处理	35-124	2.2.3 热处理	35-133
3.3 表面冷作强化	35-125	2.2.4 测量、探伤与储存	35-133
4 表面防护	35-127	3 疲劳试验方法	35-133
5 合理操作与定期检修	35-127	3.1 S-N 曲线试验	35-133
第 10 章 疲劳试验与数据处理			
1 疲劳试验机	35-128	3.1.1 单点试验法	35-133
1.1 疲劳试验机的种类	35-128	3.1.2 成组试验法	35-134
1.2 疲劳试验加载方式	35-128	3.2 疲劳极限试验	35-135
1.3 疲劳试验控制方式	35-128	3.3 ϵ -N 曲线试验	35-136
1.4 疲劳试验数据采集	35-129	3.4 应力-应变曲线试验	35-137
2 疲劳试样及其制备	35-129	3.5 裂纹扩展速率 (da/dN 曲线) 试验	35-138
2.1 试样	35-129	3.6 断裂韧度试验	35-138
2.1.1 光滑试样	35-129	4 疲劳试验数据处理	35-139
2.1.2 缺口试样	35-130	4.1 可疑观测值的取舍	35-139
2.1.3 低周疲劳试样	35-130	4.2 S-N 曲线拟合	35-140
2.1.4 疲劳裂纹扩展试样	35-131	4.3 ϵ -N 曲线拟合	35-141
2.2 试样制备	35-132	4.4 应力-应变曲线拟合	35-141
2.2.1 取样	35-132	4.5 da/dN 曲线拟合	35-142
		4.6 断裂韧度试验数据处理	35-144
		参考文献	35-145

第 37 篇 机械可靠性设计

第 1 章 可靠性设计的基础知识

1 概述	37-3
1.1 可靠性的概念	37-3
1.2 可靠性设计程序和手段	37-3
1.3 可靠性设计的目标值	37-3
1.4 可靠性设计方法	37-4
1.5 可靠性设计的其他方面	37-4
2 可靠性中常用的概率分布	37-5
3 可靠性特征量	37-17
3.1 可靠度	37-17
3.2 累积失效概率	37-18
3.3 平均寿命、可靠寿命和中位 寿命	37-18
3.4 失效率和失效率曲线	37-18
3.5 可靠性特征量间的关系	37-19
3.6 维修性特征量	37-20
3.6.1 维修度	37-20
3.6.2 修复率	37-20
3.6.3 平均修复时间	37-20
3.6.4 维修性和可靠性特征量的对应	

关系	37-20
3.7 有效性特征量	37-20
3.7.1 有效度的意义	37-20
3.7.2 有效度的种类	37-21
3.7.3 单元有效度	37-21
第 2 章 可靠性试验数据的统计处理方法	
1 可靠性试验分类	37-22
1.1 按试验场所的分类	37-22
1.2 按试验截止情况的分类	37-22
2 分布类型的假设检验	37-22
2.1 χ^2 检验法	37-22
2.2 K-S 检验法	37-23
3 指数分布的分析法	37-24
3.1 指数分布的拟合性检验	37-24
3.2 指数分布的参数估计和可靠度 估计	37-25
4 正态及对数正态分布的分析法	37-26
4.1 正态及对数正态分布的拟合性 检验	37-26
4.2 正态及对数正态分布完全样本的	

参数估计	37-28	5.6 用等效应力计算零件的疲劳强度 可靠度	37-85
4.3 正态及对数正态分布截尾寿命试验的 参数估计	37-28	5.7 受复合应力时零件的疲劳强度可靠度 计算	37-85
4.4 正态及对数正态分布可靠寿命和 可靠度的估计	37-34	5.8 零件疲劳强度可靠度计算的应用 举例	37-86
5 威布尔分布的分析法	37-37	5.9 零件疲劳寿命的可靠性预计	37-91
5.1 威布尔分布的拟合性检验	37-37	6 其他失效形式时可靠性设计	37-93
5.2 威布尔分布的参数估计	37-38	6.1 断裂韧度的可靠性设计	37-93
5.3 威布尔分布的可靠度和可靠寿命 估计	37-47	6.2 刚度的可靠性设计	37-94
6 可靠性虚拟试验方法	37-50	6.3 磨损和腐蚀的可靠性设计	37-96
6.1 蒙特卡洛模拟法	37-50	6.3.1 磨损的可靠性设计	37-96
6.1.1 概述	37-50	6.3.2 腐蚀的可靠性设计	37-97
6.1.2 随机数的产生方法	37-51	6.4 摩擦传动的可靠性设计	37-98
6.1.3 随机数检验	37-51		
6.1.4 常用分布随机数的产生	37-52		
6.2 蒙特卡洛模拟法计算随机变量函数的 分布	37-53		
第 3 章 机械零件的可靠性设计		第 4 章 机械系统的可靠性分析	
1 应力-强度干涉模型与可靠度计算方法	37-54	1 不可修复系统的可靠性分析	37-100
1.1 应力-强度干涉模型	37-54	1.1 系统可靠性模型	37-100
1.2 可靠度计算的一般公式	37-54	1.2 常用系统的可靠度和平均寿命	37-101
1.3 可靠度计算的数值积分法	37-55	2 可修复系统的可靠性	37-102
1.4 可靠度计算的极限状态法	37-55	3 可靠性预计	37-103
2 可靠度的近似算法	37-57	3.1 可靠性预计的目的	37-103
2.1 可靠安全系数	37-57	3.2 可靠性预计的方法	37-103
2.2 随机变量函数的均值和标准差的近似 计算	37-58	4 可靠性分配	37-104
3 机械零件可靠性设计所需的部分数据 和资料	37-59	4.1 可靠性分配的原则	37-104
3.1 几何尺寸	37-59	4.2 可靠性分配的方法	37-104
3.2 材料的强度特性	37-60	5 失效模式、效应及危害度分析	37-106
4 零件静强度的可靠性设计	37-68	5.1 基本概念	37-106
4.1 正态分布的设计法	37-68	5.2 分析的过程和方法	37-106
4.2 非正态分布的设计法	37-68	6 故障树分析	37-107
4.3 零件静强度的可靠性设计应用 举例	37-70	6.1 基本概念	37-107
5 疲劳强度的可靠性设计	37-71	6.2 故障树的建立	37-108
5.1 变应力和变载荷的类型	37-71	6.3 故障树的定性分析	37-110
5.2 部分材料的 $p-S-N$ 曲线	37-72	6.4 故障树的定量分析	37-111
5.3 零件的疲劳极限	37-80		
5.4 用疲劳曲线线图计算零件的疲劳强度 可靠度	37-82		
5.5 用疲劳极限线图计算零件的疲劳强度 可靠度	37-84		
		第 5 章 机构运动可靠性分析	
		1 概述	37-112
		1.1 机构可靠性的分类	37-112
		1.2 机构可靠度的计算方法	37-112
		2 机构运动可靠性基本模型及计算方法	37-112
		2.1 机构运动可靠性的定义及影响 因素	37-112
		2.2 机构可靠性指标	37-113
		2.2.1 可靠度 R	37-113
		2.2.2 可靠性储备系数 K	37-113
		2.3 机构可靠性通用数学模型	37-113

2.3.1	机构运动学数学模型	37-113	4.4	Delta 型并联机构的运动可靠性分析	37-123
2.3.2	机构运动精度概率模型	37-114	4.5	并联机构的运动可靠性仿真研究	37-124
2.3.3	计算可靠度 R	37-115	4.5.1	参数化建模	37-124
3	曲柄滑块机构运动可靠性分析	37-115	4.5.2	位置正反解的获得	37-124
3.1	理想状态下机构运动关系式	37-115	4.5.3	模拟各个原始误差的随机性	37-125
3.1.1	对心曲柄滑块机构运动关系式	37-115	4.5.4	Monte Carlo 仿真	37-125
3.1.2	偏心曲柄滑块机构运动关系式	37-116	4.5.5	可靠度计算	37-125
3.2	考虑原始误差的可靠性计算模型	37-116	第 6 章 可靠性灵敏度设计		
3.2.1	考虑尺寸误差的计算模型	37-116	1	目的及意义	37-127
3.2.2	考虑运动副间隙误差的计算模型	37-117	2	可靠性灵敏度设计方法	37-127
3.3	考虑磨损建立随时间变化的可靠性计算模型	37-119	2.1	基于摄动法的可靠性灵敏度分析	37-127
3.3.1	对运动铰链中轴套的磨损分析	37-119	2.2	不完全概率信息机械可靠性设计	37-128
3.3.2	建立磨损与间隙之间的关系	37-120	2.3	可靠性灵敏度设计	37-128
3.3.3	建立磨损与输出运动参数的关系	37-121	2.4	基于响应面方法的可靠性灵敏度分析	37-130
4	并联机构运动可靠性分析实例	37-121	3	可靠性灵敏度设计实例	37-131
4.1	并联机构的特点及应用	37-121	3.1	汽车前轴	37-131
4.2	Delta 型并联机构的运动学分析	37-121	3.2	螺旋弹簧	37-132
4.3	Delta 型并联机构的位置误差分析	37-122	3.3	法兰	37-133
			3.4	附件机匣	37-134
			参考文献		37-137

第 35 篇 疲劳强度设计

主 编 王德俊 王 雷
编 写 人 王德俊 王 雷
审 稿 人 鄂中凯 孙志礼