

机械设计手册

单行本

数字化设计



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 5 版

单行本

数 字 化 设 计

主 编 闻邦椿

副主编 张义民 鄂中凯 陈良玉 孙志礼

宋锦春 柳洪义 汪 恺



机 械 工 业 出 版 社

《机械设计手册》第5版 单行本共22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、凸显创新、实用可靠、简明便查、便于携带和翻阅等特色。各分册分别为:《常用设计资料与零件结构设计工艺性》《机械工程材料》《零部件设计常用基础标准》《连接、紧固与弹簧》《带、链、摩擦轮与螺旋传动》《齿轮传动》《减速器和变速器》《机构、机架与箱体》《轴及其连接件》《轴承》《起重运输机械零部件和操作件》《润滑与密封》《液压传动与控制》《气压传动与控制》《机电系统设计》《工业机器人与数控技术》《微机电系统设计》《创新设计与绿色设计》《机械系统的振动设计及噪声控制》《数字化设计》《疲劳强度与可靠性设计》《机械系统概念设计与综合设计》。

本单行本为《数字化设计》,主要介绍弹性理论与有限元法的基本原理、平面问题和空间问题的有限元、等参元的基本原理、单元形函数的性质、杆梁问题的有限元、薄板弯曲问题的有限元、壳体问题的有限元、动力学问题的有限元、非线性问题的有限元、热传导问题的有限元、有限元分析实例等;优化设计算法原理、机构优化设计、机械零件优化设计、模糊优化设计、结构优化设计、形状优化设计、可靠性优化设计、复杂系统优化设计等;并行设计与协同设计概述、并行设计原理、协同设计、数字化产品建模、产品数据管理、能使用的技术与工具、设计实例等;反求工程的概念和流程、反求工程所涉及的主要技术、反求工程的应用领域、反求测量系统简介、应用实例、反求设计全过程实例等;快速成型设备发展简况、快速原型技术流程、几种典型的快速成型技术、快速成型技术的应用、快速成型相关软件技术、主要快速成型产品介绍及应用实例、快速成型技术的发展方向等;计算机辅助设计概论、几何变换和图形处理基础、CAD的分析计算和仿真、计算机绘制工程图样和数据交换标准、三维CAD的产品模型数据交换标准、CAD系统的人工智能技术、软件开发的一般步骤与文档编写、软件文档编制规范推荐等。

本书可供从事机械设计、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.数字化设计/闻邦椿主编. —5版. —北京:机械工业出版社,2014.12

ISBN 978-7-111-49148-4

I. ①机… II. ①闻… III. ①数字技术—应用—机械设计—技术手册 IV. ①TH122-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第002844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 责任印制:刘 岚

北京中兴印刷有限公司印刷

2015年1月第5版第1次印刷

184mm×260mm • 26.5印张 • 652千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-49148-4

定价:58.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88361066

读者购书热线:010-68326294

010-88379203

封面无防伪标均为盗版

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

教育服务网:www.cmpedu.com

《机械设计手册》第 5 版 单行本 卷目

常用设计资料与 零件结构设计工艺性	第 1 篇 常用资料、常用数学公式和常用力学公式 第 4 篇 零件结构设计工艺性
机械工程材料	第 2 篇 机械工程材料
零部件设计常用基础标准	第 3 篇 零部件设计常用基础标准
连接、紧固与弹簧	第 5 篇 连接与紧固 第 16 篇 弹簧
带、链、摩擦轮与螺旋传动	第 6 篇 带传动和链传动 第 7 篇 摩擦轮传动与螺旋传动
齿轮传动	第 8 篇 齿轮传动
减速器和变速器	第 10 篇 减速器和变速器
机构、机架与箱体	第 11 篇 机构 第 18 篇 机架与箱体
轴及其连接件	第 12 篇 轴 第 15 篇 联轴器、离合器与制动器
轴承	第 13 篇 滑动轴承 第 14 篇 滚动轴承
起重运输机械零部件和操作件	第 17 篇 起重运输机械零部件和操作件
润滑与密封	第 20 篇 润滑 第 21 篇 密封
液压传动与控制	第 22 篇 液压传动与控制
气压传动与控制	第 23 篇 气压传动与控制
机电系统设计	第 25 篇 机电一体化技术及设计 第 26 篇 机电系统控制 第 32 篇 电动机、电器与常用传感器
工业机器人与数控技术	第 27 篇 工业机器人技术 第 28 篇 数控技术
微机电系统设计与激光	第 29 篇 微机电系统及设计 第 31 篇 激光及其在机械工程中的应用
创新设计与绿色设计	第 35 篇 创新设计 第 36 篇 绿色设计与和谐设计
机械系统的振动设计及噪声控制	第 38 篇 机械系统的振动设计及噪声控制
数字化设计	第 39 篇 机械结构的有限元设计 第 44 篇 优化设计 第 47 篇 并行设计与协同设计 第 48 篇 反求设计与快速成形制造技术 第 50 篇 计算机辅助设计
疲劳强度与可靠性设计	第 40 篇 疲劳强度设计 第 41 篇 机械可靠性设计
机械系统概念设计与综合设计	第 37 篇 机械系统概念设计 第 52 篇 产品综合设计的理论与方法

《机械设计手册》第5版 单行本 出版说明

《机械设计手册》(6卷本),自1991年面世发行以来,历经四次修订再版。截至2014年,手册累计发行了35万套。二十多年来,作为国家级重点科技图书的《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,曾获得中国出版政府奖,提名奖(2013年)、中国机械工业科学技术奖一等奖(2011年)、全国优秀科技图书奖二等奖(1995年)、机械工业部科技进步奖二等奖(1994年),并多次获得全国优秀畅销书奖等奖项。《机械设计手册》已经成为机械工程领域最具权威和最具影响力的大型工具书。

《机械设计手册》第5版是一部6卷、共52篇的大型工具书。它与前4版相比,无论在体系上还是在内容方面都有很大的变化。它在前4版的基础上,编入了国内外机械工程领域的新标准、新材料、新工艺、新结构、新技术、新产品、新设计理论与方法,并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。本版手册体现了国内外机械设计发展的最新水平,它精心诠释了常规与现代机械设计的内涵、全面提取了常规与现代机械设计的精华,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5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5版手册具有很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。这些内容中有不少是国家863、973、985、科研重大专项,国家自然科学基金重大、重点和面上资助项目,有不少成果曾获得国际、国家、部委、省市科技奖励,充分体现了手册内容的重大科学价值与创新性。如闻邦椿院士经过数十年研究创建的振动利用工程新学科,手册中编入了该类机械设计理论和方法。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依据八本专著综合整理后首次编入手册。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。以综合设计方法作为手册的收尾篇是对所有设计内容的系统化综合和运用,并对现代化大型机械产品的设计起到引领作用。闻邦椿院士在国际上首次按系统工程的观点对现代设计方法进行了分类,并由此选编了21种现代设计方法,构成了科学地论述和编纂现代设计理论与方法的专卷(手册第6卷),可谓是现代设计方法之大全。创新设计是提高机械产品竞争力的重要手段和方法,本版手册编入了29种创新思维方法、30种创新技术、40条发明创造原理,列举了大量的应用实例,为引领机械创新设计做出了示范。

在《机械设计手册》历次修订的过程中,机械工业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》版本厚重,不便翻阅和携带,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。为了使读者能按需要、有针对性地选用《机械设计手册》第5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》第4版单行本经验的基础上推出了《机械设计手册》第5版单行本。

《机械设计手册》第5版单行本保持了《机械设计手册》第5版(6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,将原手册拆

分为 22 个分册，分别为：《常用设计资料与零件结构加工工艺性》《机械工程材料》《零部件设计常用基础标准》《连接、紧固与弹簧》《带、链、摩擦轮与螺旋传动》《齿轮传动》《减速器和变速器》《机构、机架与箱体》《轴及其连接件》《轴承》《起重运输机械零部件和操作件》《润滑与密封》《液压传动与控制》《气压传动与控制》《机电系统设计》《工业机器人与数控技术》《微机电系统设计与激光》《创新设计与绿色设计》《机械系统的振动设计及噪声控制》《数字化设计》《疲劳强度与可靠性设计》《机械系统概念设计与综合设计》。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 5 版单行本是为了实现装备制造强国梦和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 5 版（6 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，书中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

第5版前言

人类社会正迈入知识经济时代,以知识为依托的科学技术在当今社会发展过程中正在发挥着越来越重要的作用。科学技术成果的研究与开发及其广泛应用是当今,也是未来推动经济发展和进步的至关重要的因素。依靠科技进步振兴装备制造业是使我国由制造大国过渡到制造强国的核心因素和关键。

发展装备制造业离不开产品的研究与开发及设计。机械产品设计正由传统设计模式向现代设计模式转变,现代设计的特点是广泛采用计算机技术,着力应用智能化设计、数字化设计、网络化设计、绿色化设计及系统化设计的综合技术。机械设计手册的编辑与出版,充分地展现了现代设计的特点,是现代设计不可缺少的工具和手段。

本版手册在科学发展观和自主创新设计的理念引领下,进行了较大篇幅的修改和补充,为我国现代机械产品自主创新设计提供了保障。例如,在手册中重点介绍了产品绿色设计、和谐设计与系统化设计,也介绍了产品的创新设计等内容,这有利于产品设计师们采用手册中介绍的内容和方法开展产品开发。

本版手册汇总了大量的原始数据和设计资料,以及在设计时必须采用的技术标准,同时还介绍了设计中许多不可缺少的相关设计知识。因此,可以说手册是设计师们在设计过程中所必需的数据库和知识库,目前她已成为产品研究与开发的“利器”及其他设计器具无法取代的重要的设计工具,这不仅在现在,而且在将来也会发挥其积极的作用。

本版手册系统地叙述了机械设计各专业的主要技术内容,归纳和总结了新中国成立以来我国机械领域取得的成就和经验,不少新内容是本手册编者通过研究得到的,此外,还吸取了国外的若干先进科学技术,其内容丰富,实用性强,前4版出版后,受到了社会各界的重视和好评,作为国家级重点科技图书和机械工程方面的最具权威的大型工具书,曾获得全国优秀图书二等奖、机电部科技进步二等奖、全国优秀科技畅销书奖,1994曾在台湾建宏出版社出版发行,她在机械产品设计中起着十分重要的作用,目前已成为各行业,尤其是机械行业各技术部门必备的工具书。

在本版手册的修订过程中,我们努力贯彻了“科学性、先进性、实用性、可靠性”的指导思想。广泛调研了厂矿企业、设计院、科研院所、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、新技术,特别是在产品的综合设计理论与方法、机电一体化及机械系统自动控制技术等方面作了系统和全面的论述和凝炼。相信本手册会以崭新的面貌展现在广大读者面前,她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转变,发挥其积极的作用。

本版手册分6卷52篇。第1卷:常用设计资料;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:

机电一体化及控制技术；第6卷：现代设计理论与方法。在撰写过程中，贯彻和采用最新技术标准和国际新标准，最大限度地充实和更新技术内容，凝炼和总结机械设计的最新成就和经验，尽力地吸取国外的先进科学技术，努力反映当代机械设计的最新水平，更好地为现代机械设计服务；在取材和选材过程中，尽量压缩对基本原理的介绍，避免在手册中出现教科书的叙述方式，特别强调要采用手册化、表格化的设计流程。删除一些可要可不要的内容，以及应用面相对较窄和尚未用于实际的研究性内容，力求使各篇章内容构成有机的整体，既考虑到各篇的系统性，又照顾全书的统一性，尽量避免不必要的重复；在各类零部件设计计算中，增加结构图和应用实例。在部件设计选用中，适当提供可选用的产品的结构及其安装尺寸、主要技术参数等，给设计和选用创造方便的条件；所有计算方法和数据都要准确、可靠、无误，重要的要注明来源；对相近标准的数据和表格尽量予以合并、采用双栏排版、摘其所要等形式予以编写，以使该手册采用较少的篇幅而编入较多的内容。

手册的第5版是在前4版的基础上，着力在以下几个方面作了修订：

一、在贯彻落实推广标准化技术方面

手册全部内容贯彻和采用了2010年1月以前颁发的最新国家标准、行业标准和相关的国际新标准，最大限度地充实和更新标准化技术的内容。本次修订为历次修订中标准更新规模最大的一次，例如：机械工程材料部分更新的标准达162个，流体传动与控制部分更新的标准有150多个。更换的标准中有许多是机械行业的重要标准，如GB/T 786.1—2009 流体传动系统及元件图形符号和回路，GB/T 10095.1~2—2008 圆柱齿轮精度制，GB/Z 18620.1~4—2008 圆柱齿轮检验实施规范等。

二、在新的设计计算方法方面

按照GB/T 3480.1~5—1997 渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法、GB/T 10300.1~3—2003 锥齿轮承载能力计算方法重新构建了实用、合理的齿轮设计体系。对圆柱齿轮和锥齿轮均按照初步确定尺寸的简化计算、简化疲劳强度校核计算和一般疲劳强度校核计算编排设计计算方法，以满足不同场合不同要求的齿轮设计需求。增加了齿轮齿廓修形和齿顶修缘的内容，给出了修形计算公式和确定修形量的方法。

在滚动螺旋传动中，按最新的国家标准GB/T 17587.4~5—2008 滚珠丝杠副轴向静刚度、轴向静载荷与动载荷，整理更新了滚珠丝杠传动选用和评估计算方法。

根据机构学的最新发展，考虑到近年来并联机器人和并联机床的快速发展和应用，特地另辟一章，编入并联机器人和并联机床的运动学和动力学分析、典型并联机器人和并联机床的类型和应用选型，这是在大型工具书中首次载入。增加了机构系统方案的构思与拟定并例举了典型实例，对机构设计与选用起到综合和运用的作用。

三、在新材料、新元器件、新产品等方面

在新材料方面，编入了新型工程材料——钛及钛合金，该种材料具有低密度、高熔点、高比强度、耐腐蚀性好、高低温特性好、生物相容性好、具有形状记忆特性等优点，在航空航天、海洋开发、化工、冶金、生物技术、汽车工程、食品、轻工等工业技术领域的装备制造中有重要用途。编入了有“21世纪绿色材料”之称的镁及镁合金，该种材料在轻量性、比强度、导热性、减振性、储能性、切削性、尺寸稳定性以及可回收性等方面具有独特的优点。编入了GB/T 20878—2007 不锈钢和耐热钢牌号及化学成分，该标准是一个全新标准，它规定了143

个牌号的化学成分及部分牌号的物理性能参数与国内外标准牌号的对照,这些在各种手册中未见编入。

在新元件、新产品方面,在减速器和变速器篇中,增加了平面二次包络蜗杆减速器(GB/T 16444—2008)、新型的锥盘环盘式无级变速器、XZW 型行星锥轮无级变速器,在大型工具书中首次编入了用于高档轿车的新型金属带式无级变速器,以及其他相关的设计资料。

流体传动与控制卷在内容和产品方面作了大幅度的更新,编入了液压气动领域中最新开发的各类元器件,为流体传动与控制系统的的设计、运行和维护提供全面的技术支撑。为满足不同层次用户的需要,分别引入了国内主流品牌(含台湾知名品牌 HP)以及国际知名品牌的产品,如液压传动中的德国(Rexroth)、美国(Vickers)、日本(Yuken)、意大利(Atos)等品牌产品;液压控制系统中的德国(Festo)、美国(Moog、Vickers、Dowry)等品牌产品;气压传动中的德国(Festo)、日本(SMC)等品牌产品。

编入了最新出现的具有广泛应用前景的液压元件——螺纹插装阀系列产品,增加了液压伺服油缸等相关新产品,大幅度增加了最新出现的适应性强的各类液压辅件。增加了以气流引射原理制造的真空发生器等气动系统常用的真空元器件。

四、在机电一体化设计与控制技术方面

机械技术与电子技术相结合已经成为当前装备制造业的主流和发展趋向,机电一体化是现代机械和技术的重要典型特征之一,为适应机电一体化技术的应用,本版手册对该方面的内容作了重新编排和大量充实,专辟一卷为机电一体化及控制技术等内容进行较系统和全面的叙述。

在机电一体化技术及设计篇中,以典型机电一体化产品的五大组成部分的技术要点作主线进行编写,并以产品设计为背景组织内容,并编入了多个综合性设计实例。

机器人是机电一体化特征最为显著的现代机械系统,从实用性的角度介绍了工业机器人技术中的本体、驱动、控制、传感等共性技术,结合喷涂、搬运、电焊、冲压、压铸等工艺,介绍了机器人的典型应用。另外对视觉机器人、智能机器人等作了实用性的介绍。

微机电系统(MEMS)是20世纪80年代中后期出现的微电子技术、机械技术及生物、物理、化学等学科相交叉的一种新技术,它不仅是机械学科发展的前沿方向之一,也逐渐形成了产业。顺应高新技术发展潮流,设专篇撰写微机电系统,这在大型工具书中尚属首次。本篇重点编入了MEMS制造技术和设计技术。

激光加工目前已经成为一种有效的重要先进制造技术。手册以激光加工技术的最新成果为素材,编写了各种激光加工的原理、工艺及其应用,其中包括在打孔、切割、焊接、淬火、熔覆与合金化中的应用和激光加工中的安全防护等。

同时,对机电系统控制、数控技术、机械状态监测与故障诊断技术和电动机、电器与常用传感器等内容,简化原理、突出应用、扩充实例、引用最新成果作了编写。

五、在凝炼和推广现代设计理论与方法方面

针对现代机械产品设计的新方法和新技术存在的多样性和复杂性问题,本版手册以现代机械产品设计的总目标和建立其设计方法新体系为主旨,从先进性、系统性和实用性的角度,对产品的设计理论与方法作了系统总结 and 介绍。本版手册按新的分类共编入了21种现代设计方法,可以说是集现代设计方法之大全。

在现代设计理论与方法综述篇中,介绍了机械及机械制造技术发展总趋势,国际上有影响的主要设计理论与方法,产品研究和开发的一般过程和关键问题,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。首次采用系统工程的方法对产品设计理论与方法做了分类,克服了目前对产品设计理论与方法的叙述缺乏系统性的不足。

创新设计是现代机电产品提高竞争力的重要技术和方法。该篇在概要介绍创新设计的基本理论、创新思维、创新技法的基础上,基于国际上著名的发明问题解决理论(TRIZ)就情景分析、理想设计、创新设计中的技术进化和技术预测、冲突以及冲突解决原理、物质-场模型方法等介绍了创新设计的系统化方法。介绍了29种创新思维方法,30种创新技术,40条发明创造原理,并通过大量应用实例开拓创新设计思路。

绿色设计是实现低资源消耗、低环境影响、低碳经济的重要手段。该篇系统地论述绿色设计的概念、理论、方法及其关键技术。结合编者多年的研究实践,并参考了大量的国内外文献及其最新研究成果,通过介绍绿色设计的概念、材料选择、拆卸回收产品设计、包装设计、节能设计和绿色设计体系及评价方法,对绿色设计进行系统、简明的论述,并给出了绿色设计在上述几个方面的典型案例。这是在工具书中首次全面和系统地论述绿色设计,为推动工程绿色设计的普遍实施具有指引作用。

本版手册对机械系统的振动设计及噪声控制、机械结构有限元设计、疲劳强度设计、可靠性设计、优化设计、计算机辅助设计等比较成熟的现代设计方法和技术,本着简明化、实用化的原则,做了全面修订和充实,吸收了最新研究成果,增加了系列应用实例。例如,机械系统的振动设计及噪声控制中,增加了非线性系统中的等效线性化和多尺度法;机械可靠性设计篇编入了机构运动可靠性设计理论和方法、可靠性灵敏度分析方法等最新成果;在机械优化设计篇中,增加了模糊优化设计等新内容。

另外,对机械系统概念设计、虚拟设计、智能设计、并行设计与协同设计、反求设计、快速反应设计、公理设计和质量功能展开(QFD)设计、和谐设计等设计领域的前沿方法分别作了实用化介绍,以进一步拓展设计思路。

在本版手册最后一篇,系统介绍了现代机电产品的综合设计方法。该方法是一种基于系统工程的产品深层次的综合设计理论和方法。它以产品功能设计、性能设计和产品质量检验和评估为基本目标,将产品设计过程分为准备阶段、规划阶段、实施阶段和设计质量检验阶段等四个阶段,以准备阶段的3I调研、规划阶段的7D规划、实施阶段的深层次1+3+X综合设计和设计质量检验阶段的3A检验为基本要点构成综合设计法的完整技术体系。本版手册首次对该设计法作了系统论述,并给出了大型综合应用实例。

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,并组织邀请清华大学、上海交通大学、浙江大学、哈尔滨工业大学、天津大学、华中科技大学、西安交通大学、大连理工大学、东南大学、同济大学、重庆大学、上海大学、合肥工业大学、大连交通大学、苏州大学、西安建筑科技大学、沈阳工业大学、沈阳理工大学、重庆理工大学、机械科学研究总院、中国科学院沈阳自动化研究所、中国科学院长春精密机械及物理研究所、合肥通用机械研究院、沈阳液压件制造有限公司、大连液力传动机械厂、天津工程机械研究所等单位的专家、学者参加。

在本手册第5版出版之际,向著名机械学家、本手册创始人、历次版本的主编徐灏教授致

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、周士昌教授表示崇高的敬意，向参加本手册历次版本的编写单位和人员表示衷心感谢，向在手册编写、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、沈阳铝镁设计研究院、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国家标准馆沈阳分馆等单位的大力支持。

由于水平有限，手册难免有一些不尽人意之处，殷切希望广大读者批评指正。

主编 闻邦椿

目 录

出版说明
第 5 版前言

第 39 篇 机械结构的有限元设计

第 1 章 弹性理论与有限元法的基本原理

1 弹性力学基本概念	39-3
1.1 理想弹性体基本假设	39-3
1.2 弹性理论的基本概念	39-3
1.3 应力平衡微分方程	39-4
1.4 几何方程	39-4
1.5 物理方程	39-4
2 有限元法的一般格式	39-5
2.1 有限元法的基本步骤	39-5
2.2 广义坐标下的有限元格式	39-5

第 2 章 平面问题和空间问题的有限元

1 两类平面问题	39-7
1.1 平面应力问题	39-7
1.2 平面应变问题	39-7
2 平面问题的三角形单元	39-7
2.1 建立过程	39-7
2.2 分析公式	39-9
3 轴对称问题的三角形单元	39-11
4 空间问题的四面体单元	39-13

第 3 章 等参元的基本原理

1 平面八节点四边形等参元	39-16
2 一维等参元	39-17
3 平面矩形等参元	39-18
4 平面三角形等参元	39-21
5 三维等参元	39-21
6 等参元用于机械结构分析的一般格式	39-23

第 4 章 单元形函数的性质

1 形函数的构造原理	39-25
1.1 常用单元的形函数	39-25

1.2 形函数的构造规律——帕斯卡三角形	39-27
2 形函数的性质	39-28
3 用面积坐标表达的形函数	39-29
4 有限元的收敛准则	39-30
5 等效节点载荷列阵	39-30
5.1 单元载荷的移置	39-30
5.2 结构整体载荷列阵的形成	39-31

第 5 章 杆梁问题的有限元

1 杆单元	39-32
1.1 轴力杆单元	39-32
1.2 扭转杆单元	39-32
2 平面梁单元	39-32
3 空间梁单元	39-33
3.1 空间梁单元的自由度定义	39-33
3.2 空间梁单元的坐标变换	39-34
3.3 空间梁单元的单元刚度矩阵	39-35

第 6 章 薄板弯曲问题的有限元

1 线弹性薄板理论	39-36
1.1 薄板弯曲的几何方程	39-36
1.2 薄板弯曲的物理方程	39-36
1.3 薄板弯曲的内力矩平衡方程	39-37
2 三角形薄板单元	39-37
3 用面积坐标表示的三角形板单元	39-38
4 四边形薄板单元	39-39
5 用局部坐标表示的四边形板单元	39-40
6 考虑剪切的明德林 (Mindlin) 板单元	39-41

第 7 章 壳体问题的有限元

1 基于薄壳理论的轴对称壳体单元	39-43
1.1 轴对称薄壳理论的基本公式	39-43
1.2 薄壳截锥单元	39-44

2 位移和转动各自独立插值的轴对称壳体单元	39-45
2.1 基本公式	39-45
2.2 截锥单元	39-45
2.3 曲边单元	39-46
3 轴对称超参数壳体单元	39-46
3.1 几何形状的规定	39-46
3.2 位移函数	39-46
3.3 应力和应变的确定	39-47
3.4 刚度矩阵的计算	39-47
4 不同类型单元的连接	39-47
4.1 多点约束方程	39-47
4.2 过渡单元	39-48
5 一般壳体问题的平板壳体单元	39-48
5.1 局部坐标系下的单元刚度矩阵	39-48
5.2 单元刚度矩阵的坐标转换	39-49
6 一般壳体问题的超参数壳体单元	39-49
6.1 几何形状的规定	39-49
6.2 位移函数的表示	39-49
6.3 应力和应变的确定	39-49
6.4 单元刚度矩阵的计算	39-50

第 8 章 动力学问题的有限元

1 单元的动力学方程	39-51
2 单元质量矩阵和阻尼矩阵	39-52
3 机械结构的动力学有限元方程	39-52
4 机械结构固有特性的有限元分析	39-52
4.1 机械结构固有特性的基本方程	39-52
4.2 机械结构固有特性的求解方法	39-53
5 求解动力响应问题	39-55
5.1 振动响应的振型叠加法	39-55
5.2 振动响应的时域积分法	39-55
5.2.1 中心差分法	39-56
5.2.2 纽马克方法	39-56
6 减缩动力系统自由度的方法	39-57

第 9 章 非线性问题的有限元

1 非线性方程组的数值解法	39-59
1.1 直接迭代法	39-59
1.2 牛顿-拉富生(Newton-Raphson)方法	39-59

1.3 修正的 N-R 方法	39-59
1.4 增量法	39-60
1.5 加速收敛方法	39-60
2 材料非线性问题的有限元分析	39-61
2.1 塑性力学基本法则	39-61
2.2 弹塑性应力应变关系	39-62
2.3 弹塑性增量有限元分析	39-62
2.4 与时间相关的材料非线性问题分析	39-62
3 几何非线性问题的有限元分析	39-63
3.1 几何非线性问题的应变与应力度量	39-63
3.2 几何非线性问题的有限元表达	39-65
3.3 结构屈曲的稳定性分析	39-66
4 接触问题的有限元分析	39-67

第 10 章 热传导问题的有限元

1 热传导微分方程	39-68
2 线性热传导方程的有限元方法	39-68
3 热传导单元分析	39-69
3.1 一维单元	39-69
3.2 二维单元	39-69
3.2.1 三角形单元	39-69
3.2.2 四节点等参元	39-70
3.3 八节点块体等参元	39-71
4 稳态热传导的有限元分析	39-72
5 非稳态热传导的有限元分析	39-72
6 非线性热传导的有限元方法	39-72
7 场问题的有限元分析	39-73

第 11 章 有限元分析实例

1 平面应力问题算例	39-74
2 等参元应用算例	39-75
3 杆梁问题的算例	39-77
4 板壳问题的算例	39-78
5 动力学问题的算例	39-79
6 热传导问题的算例	39-80
7 几何和材料非线性问题的算例	39-81
8 接触非线性问题的算例	39-83
9 水泵泵体的有限元分析	39-86
参考文献	39-87

第 44 篇 优 化 设 计

第 1 章 优化设计算法原理

1 优化设计概述	44-3
1.1 优化设计基本概念	44-3
1.2 优化设计数学模型	44-3
1.3 优化设计的迭代算法及终止准则	44-4
1.4 优化算法分类	44-4
2 一维无约束优化方法	44-5
2.1 确定搜索区间的进退算法	44-5
2.2 切线法(牛顿法)	44-6
2.3 黄金分割法(0.618 法)	44-6
2.4 二次插值法(抛物线插值法)	44-6
3 多维无约束优化算法	44-7
3.1 坐标轮换法	44-7
3.2 共轭方向法(Powell 法)	44-7
3.3 梯度法(最速下降法)	44-7
3.4 共轭梯度法	44-8
3.5 牛顿法	44-8
3.6 变尺度法	44-8
4 简约梯度法及广义简约梯度法	44-9
4.1 简约梯度法	44-9
4.2 广义简约梯度法	44-10
5 罚函数法	44-12
5.1 内点法	44-12
5.2 外点法	44-13
5.3 混合法	44-14
6 序列线性规划法	44-14
7 序列二次规划法	44-15
8 遗传算法	44-16
9 神经网络优化方法的基本思路与类型	44-18
9.1 神经网络优化方法基本思路	44-18
9.2 神经网络优化方法的类型	44-18

第 2 章 机构优化设计

1 机构优化设计概述	44-20
2 连杆机构优化设计	44-20
3 凸轮机构优化设计	44-23
4 机构多目标优化设计	44-24

第 3 章 机械零件优化设计

1 机械零件优化设计概述	44-28
--------------------	-------

2 齿轮传动优化设计	44-29
3 弹簧优化设计	44-31
4 液体动压滑动轴承优化设计	44-33

第 4 章 模糊优化设计

1 模糊优化设计概述	44-35
1.1 机械设计中的模糊性影响因素	44-35
1.2 隶属函数	44-35
1.3 数学模型	44-38
1.3.1 目标函数	44-38
1.3.2 约束条件	44-38
1.3.3 设计变量	44-38
1.4 模糊优化求解的基本思想	44-38
2 对称型模糊优化设计	44-38
2.1 对称模糊优化模型的直接解法	44-38
2.2 对称模糊优化模型的迭代解法	44-38
2.3 模糊约束下非模糊目标优化模型的求解	44-39
3 非对称型模糊优化设计	44-39
3.1 模糊约束下函数的条件极值	44-39
3.2 非对称型模糊优化的数学模型	44-39
3.3 非对称型模糊优化的水平截集解法	44-40
3.3.1 普通模糊约束的优化设计	44-40
3.3.2 广义模糊约束的优化设计	44-40
4 三级斜齿圆柱齿轮减速器的模糊优化设计	44-41
5 简支梁的模糊优化设计	44-44

第 5 章 结构优化设计

1 结构优化设计概述	44-46
2 结构优化设计的准则法	44-46
2.1 满应力法	44-47
2.2 单位移约束准则法	44-47
2.3 多位移约束准则法	44-48
3 结构优化的齿行法	44-48
3.1 结构优化齿行法简介	44-48
3.2 杆结构优化齿行法	44-48
3.3 梁结构优化齿行法	44-49
3.4 悬臂梁的结构优化设计	44-49

第 6 章 形状优化设计

1 形状优化设计概述	44-51
2 形状优化的灵敏度分析	44-52
2.1 位移灵敏度计算	44-52
2.2 应力灵敏度计算	44-53
2.3 形状灵敏度分析实现	44-53
3 形状优化的自适应分析技术	44-54
3.1 误差估计	44-54
3.2 h 自适应法	44-55
3.3 p 自适应法	44-55
4 自适应分析形状优化设计	44-57
5 连杆的形状优化设计	44-58
6 起重吊钩的自适应形状优化设计	44-58

第 7 章 可靠性优化设计

1 可靠性优化设计概述	44-60
-------------	-------

2 机构可靠性优化设计	44-60
3 结构可靠性优化设计	44-63
4 三杆结构可靠性优化设计	44-63

第 8 章 复杂系统优化设计

1 复杂系统优化设计概述	44-65
2 优化算法	44-65
2.1 粒子群优化算法	44-65
2.2 智能体	44-67
2.3 免疫算法	44-68
2.4 蚁群算法	44-68
2.5 多级优化设计技术	44-69
3 飞机设计的多级优化实例	44-70
参考文献	44-72

第 47 篇 并行设计与协同设计

第 1 章 并行设计与协同设计概述

1 并行设计与协同设计产生的背景	47-3
1.1 传统产品串行设计方式的缺陷	47-3
1.2 全球化市场竞争对产品开发设计的要求	47-3
2 并行设计与协同设计的概念	47-3
2.1 并行设计的概念	47-3
2.2 协同设计的概念	47-4
3 串行设计、并行设计与协同设计的区别	47-5
3.1 串行设计过程	47-5
3.2 并行设计过程	47-5
3.3 协同设计过程	47-6
4 并行设计与协同设计的发展	47-7

第 2 章 并行设计原理

1 并行设计基本原理	47-10
1.1 并行设计的体系结构	47-10
1.2 产品并行开发设计过程	47-10
1.3 并行设计中的关键技术	47-11
2 并行设计过程模型	47-12
2.1 ARIS 建模方法	47-13
2.2 PPORF/P—PROCE 建模方法	47-14
3 并行设计过程冲突与协调	47-21

3.1 产生冲突的原因	47-21
3.2 冲突的协调	47-21

第 3 章 协同设计

1 协同设计基本原理	47-24
1.1 协同设计的特点	47-24
1.2 协同设计过程	47-25
2 协同设计的关键技术	47-26
2.1 协同设计过程重构技术	47-26
2.2 产品建模技术	47-27
2.3 产品数据管理	47-28
2.4 协同设计过程 CAD/CAM/CAPP 集成技术	47-28
3 协同设计是对并行设计、CIMS、虚拟设计的继承和发展	47-29

第 4 章 数字化产品建模

1 数字化产品建模的基本概念	47-32
2 产品几何建模技术	47-32
2.1 参数形体及其调用	47-33
2.2 扫描表示法	47-33
2.3 单元分解法	47-34
2.4 几何体素构造法	47-35
2.5 边界表示法	47-35

3 产品特征建模技术	47-36	1.1 智能协作研究	47-63
3.1 特征的定义与分类概述	47-37	1.2 多 Agent 系统基本概念	47-63
3.2 设计环境中特征的分类	47-37	1.3 Agent 的基本结构	47-64
3.3 特征建模系统设计	47-39	1.4 Agent 的工作过程	47-65
3.4 零件特征编码	47-40	1.5 多 Agent 系统中自主主体模型	47-65
3.5 特征造型实例	47-42	1.6 多 Agent 协作系统实现的基本方法	47-66
4 面向产品装配建模技术	47-43	2 涉及到的数据库技术	47-67
4.1 装配关系的定义及分类	47-44	2.1 数据模型	47-67
4.2 面向产品装配模型	47-44	2.2 数据挖掘	47-68
5 面向集成化产品建模技术	47-45		
5.1 集成化产品建模框架	47-45		
5.2 集成产品数据模型	47-46		
第 5 章 产品数据管理			
1 PDM 的基本概念与技术特点	47-47	1 基于 PDM 的油泵产品并行设计原型系统	47-70
1.1 PDM 的定义	47-47	1.1 系统目标	47-70
1.2 PDM 的技术特点	47-47	1.2 体系结构	47-70
1.3 PDM 的体系结构	47-48	1.3 IPDT 设计	47-70
2 PDM 产品数据管理原理	47-49	1.4 电子仓库设计	47-71
2.1 数据管理	47-49	1.5 产品开发过程管理	47-71
2.2 过程管理	47-55	1.6 基于 PDM 的油泵产品并行开发原型系统	47-72
2.3 系统集成	47-56	2 支持 e-Service 服务的可控软起动行星变速器并行协同设计	47-76
3 CAD/CAM/CAPP 与 ERP 的信息集成	47-60	2.1 开发项目概况	47-76
4 PDM 系统的应用	47-60	2.2 变速器机械系统传动方案设计	47-78
4.1 机电产品数据集成管理应用	47-60	2.3 变速器产品参数化设计	47-78
4.2 塑料件与模具设计集成应用	47-61	2.4 变速器产品优化和仿真设计	47-81
第 6 章 能使用的技术与工具			
1 智能协作原理	47-63	参考文献	47-83

第 48 篇 反求设计与快速成形制造技术

概述	48-3	3 反求工程的应用领域	48-22
第 1 章 反求工程技术			
1 反求工程的概念和流程	48-3	4 反求测量系统简介	48-23
1.1 广义反求工程	48-3	4.1 光学测量设备介绍	48-24
1.2 制造业反求工程的一般流程	48-3	4.2 重构软件介绍	48-27
2 反求工程所涉及的主要技术	48-4	5 应用实例	48-28
2.1 数据采集技术	48-4	6 反求设计全过程实例	48-30
2.2 数据处理技术	48-5		
2.3 曲面重构技术	48-16	第 2 章 快速成形	
2.4 实体构造技术	48-22	1 快速成形设备发展简况	48-32
		2 快速原型技术流程	48-32
		3 几种典型的快速成形技术介绍	48-33

4 快速成形技术的应用	48—34	7 快速成形技术的应用实例	48—41
5 快速成形相关软件技术	48—38	8 快速成形技术的发展方向	48—41
6 主要的快速成形产品介绍	48—39		

第 50 篇 计算机辅助设计

第 1 章 概 论

1 计算机辅助设计技术	50—3
2 CAE/CAPP/CAM/PDM/MRP II /ERP /CIMS	50—3
3 计算机辅助设计系统硬件支撑环境	50—4
3.1 主机	50—4
3.2 内存存储器	50—4
3.3 外存储器	50—4
3.4 输入输出设备	50—5
3.4.1 输入设备	50—5
3.4.2 输出设备	50—6
3.5 网络互联设备	50—6
3.6 硬件系统配置	50—7
4 CAD 系统的软件	50—8
4.1 操作系统与窗口系统	50—8
4.1.1 操作系统基本概念	50—8
4.1.2 常用操作系统简介	50—8
4.1.3 窗口系统基本概念	50—8
4.1.4 常用窗口系统简介	50—8
4.2 CAD 系统的支撑软件	50—9
4.2.1 CAD 系统中常用支撑软件的特点	50—9
4.2.2 典型 CAD 软件产品简介	50—9
4.3 程序设计语言	50—11
5 CAD 系统配置选择	50—11
6 CAD 技术的发展趋势	50—12

第 2 章 几何变换和图形处理基础

1 图形软件标准	50—13
1.1 GKS 标准	50—13
1.1.1 基本输出图素	50—13
1.1.2 输出属性	50—13
1.1.3 图形输入	50—14
1.1.4 图段	50—14
1.1.5 输入输出逻辑装置(工作站)的分类和 GKS 级别	50—14
1.1.6 坐标系统和变换	50—14

1.2 PHIGS 标准	50—15
1.2.1 PHIGS 系统框架结构	50—15
1.2.2 输出图素及其属性	50—15
1.2.3 图形输入	50—15
1.2.4 图形数据结构和模型编辑	50—15
1.2.5 显示表达	50—16
1.2.6 坐标系统和变换	50—16
1.3 图形接口标准 CGI 和图形元文件标准 CGM	50—16
1.3.1 CGI 标准	50—16
1.3.2 CGM 标准	50—17
2 基本图素绘制	50—17
2.1 生成图形的两种最基本图素类型	50—17
2.2 点阵组成直线图像的生成算法	50—17
2.3 点阵组成圆的生成算法(中点圆算法)	50—18
3 图形变换	50—19
3.1 坐标系	50—19
3.2 窗口和视区的匹配变换	50—19
3.3 图形裁剪	50—20
3.4 二维图形线性变换	50—20
3.5 变换的组合	50—21
3.6 三维变换	50—22
4 样条曲线和曲面	50—24
4.1 三次样条曲线	50—25
4.1.1 分段内的三次样条曲线	50—25
4.1.2 分段拟合衔接的连续条件	50—25
4.1.3 端点条件	50—25
4.1.4 拟合举例	50—26
4.2 Bezier 曲线	50—26
4.3 B 样条曲线	50—27
4.4 非均匀有理 B 样条曲线(NURBS)	50—28
4.5 双三次曲面	50—29
5 真实感图像绘制	50—30
5.1 透视图中隐藏线和隐藏面的消除	50—30
5.2 物体的浓淡显示图形	50—31
5.3 彩色图像绘制中的颜色模型	50—32
6 通用图形程序包 OpenGL	50—33