

# 机械设计手册

单行本

## 机械系统的振动设计及噪声控制



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

## 机械系统的振动设计及 噪声控制

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》。

本单行本为《机械系统的振动设计及噪声控制》,主要介绍机械振动基本知识(机械振动的含义及其分类、机械工程中常遇到的振动问题、机械振动等级的评定)、机械振动的基础、线性系统的振动、非线性振动和随机振动、振动的利用、机械振动的控制、机械振动的测试、轴和轴系的临界转速;机械噪声及其评价、机械噪声的测量及噪声源识别、常见机械噪声源特性及其控制、消声装置及隔声设备等。

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

机械系统的振动设计及噪声控制/闻邦椿主编. —5版. —北京:  
机械工业出版社, 2014. 12  
ISBN 978-7-111-49169-9

I. ①机… II. ①闻… III. ①机械系统—机械振动—设计  
②机械系统—噪声控制 IV. ①TB533②TB535

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第006952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·13.5印张·331千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-49169-9

定价:31.00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

网络服务

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

# 《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社会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,以及在产品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产品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及机械技术及生物、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和介绍。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、低碳经济的重要技术手段。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

《机械设计手册》第5版 单行本 卷目

|                      |                                                                             |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 常用设计资料与<br>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<br>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<br>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<br>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                                             |

# 目 录

出版说明  
第5版前言

## 第38篇 机械系统的振动设计及噪声控制

### 第1章 绪 论

|                 |      |
|-----------------|------|
| 1 机械振动的含义及其分类   | 38-3 |
| 1.1 机械振动的含义     | 38-3 |
| 1.2 机械振动在工程中的作用 | 38-3 |
| 1.3 机械振动的分类     | 38-3 |
| 2 机械工程中常遇到的振动问题 | 38-4 |
| 3 机械振动等级的评定     | 38-5 |
| 3.1 振动烈度的确定     | 38-5 |
| 3.2 泵振动烈度的评定    | 38-6 |

### 第2章 机械振动的基础

|                    |       |
|--------------------|-------|
| 1 机械振动的表示方法        | 38-7  |
| 1.1 简谐振动的表示方法      | 38-7  |
| 1.2 周期振动幅值的表示方法    | 38-7  |
| 1.3 振动频谱的表示方法      | 38-8  |
| 2 机械系统的力学模型        | 38-8  |
| 2.1 力学模型的简化原则      | 38-8  |
| 2.2 力学模型的种类        | 38-9  |
| 2.3 等效参数的转换计算      | 38-10 |
| 3 弹性构件的刚度          | 38-11 |
| 4 机械振动系统的阻尼系数      | 38-14 |
| 4.1 线性阻尼系数         | 38-14 |
| 4.2 非线性阻尼的等效线性阻尼系数 | 38-15 |
| 5 振动系统的固有圆频率       | 38-16 |
| 5.1 单自由度系统的固有圆频率   | 38-16 |
| 5.2 二自由度系统的固有圆频率   | 38-20 |
| 5.3 各种构件的固有圆频率     | 38-22 |
| 6 同向简谐振动的合成        | 38-27 |

### 第3章 线性系统的振动

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| 1 单自由度振动系统              | 38-29 |
| 1.1 单自由度自由振动系统的力学模型及其响应 | 38-29 |

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| 1.2 单自由度系统的受迫振动             | 38-31 |
| 1.2.1 简谐激励作用下的受迫振动及响应       | 38-31 |
| 1.2.2 非简谐激励作用下的受迫振动及响应      | 38-32 |
| 2 多自由度振动系统                  | 38-34 |
| 2.1 多自由度自由振动系统的力学模型及其响应     | 38-34 |
| 2.2 二自由度受迫振动系统的振幅和相位差角的计算公式 | 38-36 |
| 3 扭转振动系统                    | 38-36 |
| 3.1 扭转振动与直线振动的比较            | 38-36 |
| 3.2 传递矩阵法                   | 38-38 |
| 4 共振                        | 38-39 |
| 5 回转机械起动和停机过程中的振动           | 38-39 |
| 5.1 起动过程的振动                 | 38-39 |
| 5.2 停机过程的振动                 | 38-40 |

### 第4章 非线性振动和随机振动

|                      |       |
|----------------------|-------|
| 1 非线性振动              | 38-41 |
| 1.1 概述               | 38-41 |
| 1.1.1 非线性特性          | 38-41 |
| 1.1.2 非线性力的特征曲线      | 38-42 |
| 1.1.3 非线性系统的物理特性     | 38-45 |
| 1.2 求解非线性振动的常用方法     | 38-48 |
| 1.2.1 等效线性化近似解法      | 38-48 |
| 1.2.2 多尺度法           | 38-49 |
| 1.3 自激振动             | 38-56 |
| 1.3.1 自激振动与自振系统的特性   | 38-56 |
| 1.3.2 机械工程中常见的自激振动现象 | 38-57 |
| 1.3.3 单自由度系统相平面及稳定性  | 38-59 |

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 2 随机振动                 | 38-62 |
| 2.1 平稳随机振动描述           | 38-62 |
| 2.2 单自由度线性系统的传递函数及动态特性 | 38-65 |
| 2.3 单自由度线性系统的随机响应      | 38-65 |
| 2.4 多自由度线性系统的随机响应      | 38-66 |

## 第5章 振动的利用

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| 1 概述                       | 38-67 |
| 1.1 振动机械的组成                | 38-67 |
| 1.2 振动的用途及工艺特性             | 38-70 |
| 1.3 振动机械的频率特性及结构特征         | 38-71 |
| 1.4 振动利用的方法步骤              | 38-72 |
| 2 利用振动的机械系统                | 38-72 |
| 2.1 常用的振动系统                | 38-72 |
| 2.2 振动系统的一般分析方法            | 38-72 |
| 3 振动系统中物料的运动学与动力学          | 38-72 |
| 3.1 物料的运动学                 | 38-72 |
| 3.1.1 物料的运动状态              | 38-72 |
| 3.1.2 物料的滑行运动状态            | 38-73 |
| 3.1.3 物料的抛掷运动状态            | 38-74 |
| 3.2 物料的动力学                 | 38-74 |
| 3.2.1 物料滑行运动时的结合质量与当量阻尼    | 38-74 |
| 3.2.2 物料抛掷运动时的结合质量与当量阻尼    | 38-75 |
| 3.2.3 弹性元件的结合质量与阻尼         | 38-75 |
| 3.2.4 振动系统的计算质量、总阻尼系数及功率消耗 | 38-76 |
| 4 常用的振动机械                  | 38-76 |
| 4.1 振动机械的分类                | 38-76 |
| 4.1.1 按用途分类                | 38-76 |
| 4.1.2 按驱动装置(激振器)的型式分类      | 38-76 |
| 4.1.3 按动力学特性分类             | 38-76 |
| 4.2 常用振动机械的计算              | 38-77 |
| 4.2.1 惯性式振动机械              | 38-77 |
| 4.2.2 弹性连杆式振动机械            | 38-78 |
| 4.2.3 电磁式振动机械              | 38-81 |
| 4.2.4 自同步式振动机械             | 38-82 |
| 5 振动机械设计示例                 | 38-83 |
| 5.1 远超共振惯性振动机设计示例          | 38-83 |
| 5.1.1 远超共振惯性振动机的运动参数设计示例   | 38-83 |
| 5.1.2 远超共振惯性振动机的动力参        |       |

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| 数设计示例                 | 38-84 |
| 5.2 惯性共振式振动机的动力参数设计示例 | 38-85 |
| 5.3 弹性连杆式振动机的动力参数设计示例 | 38-86 |
| 5.4 电磁式振动机的动力参数设计示例   | 38-87 |

## 第6章 机械振动的控制

|                      |        |
|----------------------|--------|
| 1 机器及其零部件的平衡         | 38-89  |
| 1.1 刚性转子的平衡          | 38-89  |
| 1.1.1 回转体的动力分析       | 38-89  |
| 1.1.2 平衡精度           | 38-90  |
| 1.1.3 刚性回转体的静平衡      | 38-91  |
| 1.1.4 刚性回转体的动平衡      | 38-91  |
| 1.2 柔性转子的动平衡         | 38-92  |
| 1.3 往复机械惯性力的平衡       | 38-92  |
| 2 阻尼减振               | 38-94  |
| 2.1 材料阻尼             | 38-94  |
| 2.2 扩散阻尼             | 38-95  |
| 2.3 相对运动阻尼           | 38-95  |
| 2.4 结构阻尼             | 38-96  |
| 2.5 附加阻尼             | 38-96  |
| 2.6 阻尼减振原理           | 38-97  |
| 3 常用的减振装置            | 38-97  |
| 3.1 阻尼减振器            | 38-97  |
| 3.2 固体摩擦减振器          | 38-98  |
| 3.3 动力减振器            | 38-99  |
| 3.3.1 无阻尼动力减振器       | 38-99  |
| 3.3.2 有阻尼动力减振器       | 38-100 |
| 3.3.3 动力减振器的最佳参数     | 38-101 |
| 3.3.4 随机振动的动力减振器     | 38-102 |
| 3.4 液压摩擦减振器          | 38-102 |
| 3.5 摆式减振器            | 38-102 |
| 3.6 冲击减振器            | 38-104 |
| 4 隔振原理及隔振设计          | 38-104 |
| 4.1 隔振原理及一次隔振的动力参数设计 | 38-104 |
| 4.2 单自由度隔振系统         | 38-106 |
| 4.3 二次隔振动力参数设计       | 38-107 |
| 4.4 多自由度隔振系统         | 38-109 |
| 4.4.1 固有频率           | 38-109 |
| 4.4.2 主动隔振           | 38-109 |
| 4.4.3 被动隔振           | 38-110 |
| 4.5 随机振动的隔离          | 38-110 |
| 4.5.1 单自由度随机隔振系统     | 38-110 |

|                        |        |                       |        |
|------------------------|--------|-----------------------|--------|
| 4.5.2 二自由度随机隔振系统       | 38-111 | 2.1 周期振动的测量           | 38-128 |
| 4.6 冲击隔离               | 38-111 | 2.1.1 典型的电测系统         | 38-128 |
| 4.6.1 冲击隔离原理           | 38-111 | 2.1.2 振幅的测量           | 38-129 |
| 4.6.2 冲击的主动隔离          | 38-111 | 2.1.3 频率的测量           | 38-129 |
| 4.6.3 冲击的被动隔离          | 38-112 | 2.1.4 相位的测量           | 38-130 |
| 4.6.4 阻尼对冲击隔离的影响       | 38-113 | 2.1.5 激振力的测量          | 38-130 |
| 4.7 隔振设计的几个问题          | 38-114 | 2.2 冲击的测量             | 38-130 |
| 4.7.1 隔振设计的步骤          | 38-114 | 2.2.1 测试量             | 38-130 |
| 4.7.2 隔振设计的要点          | 38-114 | 2.2.2 冲击测量的特点和对仪器的要求  | 38-130 |
| 4.7.3 隔振器的阻尼           | 38-114 | 2.2.3 典型的冲击测量系统       | 38-130 |
| 4.8 常用隔振器及隔振材料         | 38-114 | 2.3 随机振动的测量           | 38-131 |
| 4.9 隔振系数的参考标准          | 38-118 | 2.3.1 测试量             | 38-131 |
| 5 振动的主动控制              | 38-118 | 2.3.2 测量系统及其对仪器的要求    | 38-131 |
| 5.1 振动主动控制的原理          | 38-118 | 3 机械动力学系统振动特性的测试      | 38-131 |
| 5.2 振动主动控制的类型          | 38-118 | 3.1 固有频率的测定           | 38-131 |
| 5.3 振动主动控制的组成          | 38-119 | 3.2 振型的测定             | 38-132 |
| 5.4 控制律的设计方法           | 38-119 | 3.3 阻尼比的测定            | 38-133 |
| 5.5 主控消振               | 38-120 | 3.4 动力响应特性的测试         | 38-133 |
| 5.5.1 谐波控制             | 38-120 | 3.5 模型试验              | 38-134 |
| 5.5.2 结构响应主动控制         | 38-120 | 4 动力强度试验              | 38-135 |
| 5.5.3 脉冲控制             | 38-121 | 4.1 周期振动试验            | 38-135 |
| 5.6 主控阻振               | 38-121 | 4.2 随机振动试验            | 38-135 |
| 5.7 主控吸振               | 38-121 | 4.3 冲击试验              | 38-135 |
| 5.7.1 惯性可调式动力吸振器       | 38-121 | 5 测试装置                | 38-135 |
| 5.7.2 刚度可调式动力吸振器       | 38-122 | 5.1 传感器               | 38-135 |
| 5.7.3 主控式有阻尼动力吸振器      | 38-123 | 5.1.1 电测法的常用传感器       | 38-136 |
| 5.8 主控隔振               | 38-123 | 5.1.2 传感器的选用原则        | 38-136 |
| 5.8.1 全主控隔振            | 38-123 | 5.2 中间转换装置            | 38-136 |
| 5.8.2 半主控隔振            | 38-124 | 5.3 记录及显示仪器           | 38-136 |
| 5.8.3 主控隔振的作动器         | 38-124 | 5.4 激振设备及简便的激振方法      | 38-136 |
| 6 允许振动量                | 38-125 | 5.5 测试装置的校准及标定        | 38-136 |
| 6.1 机械设备的允许振动量         | 38-125 | 5.5.1 绝对校准法           | 38-137 |
| 6.2 其他要求的允许振动量         | 38-125 | 5.5.2 比较校准法           | 38-137 |
|                        |        | 5.5.3 应用校准激励器进行校准     | 38-138 |
| <b>第7章 机械振动的测试</b>     |        |                       |        |
| 1 概述                   | 38-127 | 6 信号分析及数据处理           | 38-138 |
| 1.1 测量在机械振动系统设计中的作用    | 38-127 | 6.1 信号的时域分析           | 38-138 |
| 1.2 振动测量方法的分类          | 38-127 | 6.2 信号的频域分析           | 38-139 |
| 1.2.1 振动测量的主要内容        | 38-127 | 6.3 模拟信号分析            | 38-139 |
| 1.2.2 振动测量方法的分类        | 38-127 | 6.4 数字信号分析            | 38-140 |
| 1.3 测振原理               | 38-128 | 6.5 智能化数据采集与分析处理、监测系统 | 38-141 |
| 1.3.1 线性系统振动量时间历程曲线的测量 | 38-128 | <b>第8章 轴和轴系的临界转速</b>  |        |
| 1.3.2 测振原理             | 38-128 | 1 概述                  | 38-142 |
| 2 振动的测量                | 38-128 | 2 简单转子的临界转速           | 38-142 |

|                          |        |
|--------------------------|--------|
| 2.1 力学模型 .....           | 38-142 |
| 2.2 两支轴承的临界转速 .....      | 38-143 |
| 2.3 两支单盘转子的临界转速 .....    | 38-143 |
| 2.4 用传递矩阵法计算临界转速 .....   | 38-144 |
| 3 两支承多盘转子临界转速的近似计算 ..... | 38-146 |
| 3.1 带多个圆盘轴的一阶临界转速 .....  | 38-146 |
| 3.2 力学模型 .....           | 38-146 |
| 3.3 临界转速计算公式 .....       | 38-146 |
| 3.4 计算示例 .....           | 38-147 |
| 4 轴系的模型与参数 .....         | 38-147 |
| 4.1 力学模型 .....           | 38-147 |
| 4.2 滚动轴承支承刚度 .....       | 38-148 |
| 4.3 滑动轴承支承刚度 .....       | 38-149 |
| 4.4 支承阻尼 .....           | 38-153 |
| 5 轴系临界转速设计 .....         | 38-153 |
| 5.1 轴系临界转速修改设计 .....     | 38-153 |
| 5.2 轴系临界转速组合设计 .....     | 38-154 |
| 6 影响轴系临界转速的因素 .....      | 38-155 |
| 6.1 支承刚度对临界转速的影响 .....   | 38-155 |
| 6.2 回转力矩对临界转速的影响 .....   | 38-155 |
| 6.3 联轴器对临界转速的影响 .....    | 38-155 |
| 6.4 其他因素对临界转速的影响 .....   | 38-156 |

## 第9章 机械噪声及其评价

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| 1 机械噪声的分类与特征 .....    | 38-157 |
| 1.1 起源不同的机械噪声 .....   | 38-157 |
| 1.2 强度变化不同的机械噪声 ..... | 38-157 |
| 1.3 噪声污染的危害 .....     | 38-157 |
| 2 机械噪声的评价 .....       | 38-157 |
| 2.1 声强与声强级 .....      | 38-158 |
| 2.2 声压与声压级 .....      | 38-158 |
| 2.3 声功率与声功率级 .....    | 38-158 |
| 2.4 A计权声级 .....       | 38-158 |
| 2.5 A计权声功率级 .....     | 38-159 |
| 2.6 噪声评价数 NR .....    | 38-159 |
| 2.7 声级的综合 .....       | 38-160 |
| 2.7.1 声级的运算 .....     | 38-160 |
| 2.7.2 声级运算示例 .....    | 38-160 |
| 3 法规及标准 .....         | 38-160 |
| 3.1 保护听力的噪声标准 .....   | 38-161 |
| 3.2 语言干扰标准 .....      | 38-161 |
| 3.3 机械噪声标准 .....      | 38-161 |

## 第10章 机械噪声的测量及噪声源识别

|                        |        |
|------------------------|--------|
| 1 测量项目与测量仪器 .....      | 38-163 |
| 1.1 测量项目 .....         | 38-163 |
| 1.2 噪声测量系统 .....       | 38-163 |
| 1.3 声级计 .....          | 38-163 |
| 1.4 声强计及声强测量系统 .....   | 38-164 |
| 2 测量方法 .....           | 38-165 |
| 2.1 声级计及传声器的校准 .....   | 38-165 |
| 2.2 A声级测量 .....        | 38-166 |
| 2.3 声功率测量 .....        | 38-166 |
| 2.4 声强测量 .....         | 38-169 |
| 3 测量环境对测量结果的影响 .....   | 38-169 |
| 4 机械噪声源的识别 .....       | 38-170 |
| 5 工业企业噪声测量 .....       | 38-171 |
| 5.1 机器设备噪声测量 .....     | 38-171 |
| 5.2 生产环境(车间)噪声测量 ..... | 38-171 |

## 第11章 常见机械噪声源特性及其控制

|                         |        |
|-------------------------|--------|
| 1 一般控制原则与控制方法 .....     | 38-173 |
| 1.1 噪声控制的一般原理 .....     | 38-173 |
| 1.2 机械噪声控制的一般原则 .....   | 38-173 |
| 1.3 某些机械设备的噪声控制方法 ..... | 38-174 |
| 1.4 工业噪声的一般控制方法 .....   | 38-174 |
| 2 齿轮噪声及其控制 .....        | 38-175 |
| 2.1 齿轮噪声的产生 .....       | 38-175 |
| 2.2 齿轮噪声控制途径与措施 .....   | 38-176 |
| 3 滚动轴承噪声及其控制 .....      | 38-176 |
| 3.1 滚动轴承噪声的产生 .....     | 38-176 |
| 3.2 滚动轴承噪声的控制 .....     | 38-177 |
| 4 液压系统噪声及其控制 .....      | 38-177 |
| 4.1 液压系统噪声的产生 .....     | 38-177 |
| 4.1.1 液压泵的噪声 .....      | 38-177 |
| 4.1.2 阀门的噪声 .....       | 38-177 |
| 4.1.3 管路的噪声 .....       | 38-178 |
| 4.2 液压系统噪声的控制 .....     | 38-178 |
| 5 气体动力性噪声及其控制 .....     | 38-178 |
| 5.1 概述 .....            | 38-178 |
| 5.2 气体动力性噪声的基本声源 .....  | 38-179 |
| 5.3 气体动力性噪声的特性与控制 ..... | 38-180 |

## 第12章 消声装置及隔声设备

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| 1 消声器 .....           | 38-181 |
| 1.1 消声器的分类与性能要求 ..... | 38-181 |

|                         |          |                        |          |
|-------------------------|----------|------------------------|----------|
| 1.2 阻性消声器 .....         | 38 - 182 | 2.3 缝隙、孔洞对隔声量的影响 ..... | 38 - 196 |
| 1.2.1 阻性消声器的结构与特点 ..... | 38 - 182 | 2.4 隔声罩设计步骤与设计要点 ..... | 38 - 196 |
| 1.2.2 阻性消声器消声量的计算 ..... | 38 - 182 | 2.5 隔声罩降噪效果的评价 .....   | 38 - 196 |
| 1.3 抗性消声器 .....         | 38 - 188 | 3 隔声屏 .....            | 38 - 197 |
| 1.3.1 扩张室型消声器 .....     | 38 - 188 | 3.1 隔声屏降噪原理 .....      | 38 - 197 |
| 1.3.2 共振型消声器 .....      | 38 - 191 | 3.2 隔声屏降噪效果计算 .....    | 38 - 197 |
| 1.3.3 其他类型的消声器 .....    | 38 - 192 | 3.3 道路隔声屏的结构型式 .....   | 38 - 198 |
| 2 隔声罩 .....             | 38 - 193 | 3.4 道路隔声屏的设计 .....     | 38 - 198 |
| 2.1 单层隔声结构的隔声量 .....    | 38 - 193 | 参考文献 .....             | 38 - 200 |
| 2.2 双层隔声结构的隔声量 .....    | 38 - 194 |                        |          |

# 第 38 篇 机械系统的振动 设计及噪声控制

主 编 闻邦椿 刘树英  
编写人 闻邦椿 刘树英  
审稿人 黄文虎 张义民