

机械设计手册



闻邦椿 主编

MACHINE DESIGN HANDBOOK

第4卷



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



机械设计手册

第6版

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

第4卷 流体传动与控制

卷主编 宋锦春

机械工业出版社

本版手册是在前5版手册的基础上吸收并总结了国内外机械工程设计领域中的新标准、新材料、新工艺、新结构、新技术、新产品、新设计理论与方法,并配合我国创新驱动战略的需求撰写而成的。本版手册全面系统地介绍了常规设计、机电一体化设计、机电系统控制、现代设计与创新设计方法及其应用等内容,具有体系新颖、内容现代、凸显创新、系统全面、信息量大、实用可靠及简明便查等特点。

本版手册分为7卷55篇,内容有:机械设计基础资料、机械零部件设计(连接、紧固与传动)、机械零部件设计(轴系、支承与其他)、流体传动与控制、机电一体化与控制技术、现代设计与创新设计等。

本卷为第4卷,主要内容有:液压传动与控制、气压传动与控制、液力传动等。

本版手册可供从事机械设计、制造,维修及相关专业的工程技术人员作为工具书使用,也可供大专院校的相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.第4卷/闻邦椿主编.—6版.—北京:
机械工业出版社,2017.12
ISBN 978-7-111-58344-8

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第260853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 王 珑 王春雨
责任校对:陈延翔 封面设计:马精明 责任印制:孙 炜
保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2018年1月第6版第1次印刷
184mm×260mm·110.5印张·3插页·3591千字
0001—5000册
标准书号:ISBN 978-7-111-58344-8
定价:199.00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》卷目

卷 次	篇 名
第1卷 机械设计基础资料	1. 常用设计资料和数据 2. 机械制图与机械零部件精度设计 3. 机械工程材料 4. 机械零部件结构设计
第2卷 机械零部件设计(连接、紧固与传动)	5. 连接与紧固 6. 带传动和链传动 7. 摩擦轮传动与螺旋传动 8. 齿轮传动 9. 轮系 10. 减速器和变速器 11. 机构设计
第3卷 机械零部件设计(轴系、支承与其他)	12. 轴 13. 滑动轴承 14. 滚动轴承 15. 联轴器、离合器与制动器 16. 弹簧 17. 起重运输机械零部件和操作件 18. 机架、箱体与导轨 19. 润滑 20. 密封
第4卷 流体传动与控制	21. 液压传动与控制 22. 气压传动与控制 23. 液力传动
第5卷 机电一体化与控制技术	24. 机电一体化技术及设计 25. 机电系统控制 26. 机器人与机器人装备 27. 数控技术 28. 微机电系统及设计 29. 机械状态监测与故障诊断技术 30. 激光及其在机械工程中的应用 31. 电动机、电器与常用传感器
第6卷 现代设计与创新设计(一)	32. 现代设计理论与方法综述 33. 机械系统概念设计 34. 机械系统的振动设计及噪声控制 35. 疲劳强度设计 36. 摩擦学设计 37. 机械可靠性设计 38. 机械结构的有限元设计 39. 优化设计 40. 数字化设计 41. 试验优化设计 42. 工业设计与人机工程 43. 机械产品设计中的常用软件
第7卷 现代设计与创新设计(二)	44. 机械创新设计概论 45. 创新设计方法论 46. 顶层设计原理、方法与应用 47. 创新原理、思维、方法与应用 48. 绿色设计与和谐设计 49. 智能设计 50. 仿生机械设计 51. 互联网上的合作设计 52. 工业通信网络 53. 面向机械工程领域的大数据、云计算与物联网技术 54. 3D打印设计与制造技术 55. 系统化设计理论与方法

编写和审稿人员

主 编 闻邦椿 (东北大学)
副 主 编 鄂中凯 张义民 陈良玉 孙志礼 (东北大学)
宋锦春 柳洪义 巩亚东 宋桂秋

卷次及卷主编	篇次	篇 主 编	编 写 人	审稿人
第1卷 机械设计基础资料 卷主编 鄂中凯(东北大学)	第1篇	鄂中凯 (东北大学)	鄂中凯 周康年 宋叔尼 林 菁	张义民
	第2篇	黄 英 李小号 (东北大学)	黄 英 李小号 孙少妮 马明旭 张闻雷 赵 薇	田 凌 毛 昕
	第3篇	方昆凡 (东北大学)	方昆凡 夏永发 黄 英 鄂晓宇 单宝峰 高 虹	鄂中凯
	第4篇	王宛山 于天彪 (东北大学)	王宛山 单瑞兰 崔虹雯 于天彪 孟祥志 王学智	巩亚东
第2卷 机械零部件设计 (连接、紧固与传动) 卷主编 陈良玉 巩云鹏 (东北大学)	第5篇	吴宗泽 (清华大学)	吴宗泽	罗圣国
	第6篇	吴宗泽 (清华大学) 陈铁鸣 (哈尔滨工业大学)	吴宗泽 陈铁鸣	罗圣国
	第7篇	陈良玉 (东北大学)	陈良玉	巩云鹏
	第8篇	陈良玉 巩云鹏 (东北大学)	陈良玉 巩云鹏 张伟华	鄂中凯 陈良玉 王延忠
	第9篇	李力行 (大连交通大学)	李力行 叶庆泰 何卫东 李 欣	张少名
	第10篇	程乃士 (东北大学)	程乃士 刘 温 石晓辉 程 越	鄂中凯 巩云鹏
第11篇	邓宗全 (哈尔滨工业大学) 于红英 (东北大学) 邹 平 (哈尔滨工业大学) 焦映厚 (哈尔滨工业大学)	邓宗全 于红英 邹 平 焦映厚 陈照波 唐德威 杨 飞 刘文涛 陶建国 荣伟彬 王乐峰 陈 明 刘荣强	陈良玉 杨玉虎	
第3卷 机械零部件设计 (轴系、支承与其他) 卷主编 孙志礼(东北大学)	第12篇	巩云鹏 (东北大学)	巩云鹏 张伟华	孙志礼
	第13篇	卜 炎 (天津大学)	卜 炎	吴宗泽
	第14篇	李元科 (华中科技大学)	李元科 毛宽民	吴宗泽
	第15篇	孙志礼 (东北大学)	孙志礼 闫玉涛 闫 明 王 健	修世超 苏鹏程

卷次及卷主编	篇次	篇 主 编	编 写 人	审稿人
第3卷 机械零部件设计 (轴系、支承与其他) 卷主编 孙志礼(东北大学)	第16篇	闫玉涛 (东北大学)	闫玉涛 印明昂	孙志礼
	第17篇	郑夕健 (沈阳建筑大学)	郑夕健 谢正义 鄂东 冯勃	屈福政
	第18篇	张耀满 吴自通 (东北大学)	张耀满 吴自通	原所先
	第19篇	丁津原 (东北大学)	丁津原 马先贵 胡俊宏 金映丽	鄂中凯 孙志礼
	第20篇	修世超 (东北大学)	修世超 李宝民	丁津原 杨好志
第4卷 流体传动与控制 卷主编 宋锦春(东北大学)	第21篇	宋锦春 (东北大学)	宋锦春 陈建文 韩学军 周生浩	张艾群
	第22篇	陈建文 (东北大学)	王长周 林君哲 李松	曹鑫铭
	第23篇	宋锦春 王炳德 (东北大学)	宋锦春 王炳德 赵丽丽 周娜	曹鑫铭 张艾群
第5卷 机电一体化与 控制技术 卷主编 柳洪义 刘杰 巩亚东 (东北大学)	第24篇	雷雨龙 (吉林大学)	雷雨龙 汤辉 李兴忠 王忠山	宋锦春
	第25篇	刘杰 (东北大学)	付尧 卢秀全 王佳欣 王宏卫	宋斌
	第26篇	柳洪义 (东北大学)	刘杰 李允公 刘宇 戴丽	柳洪义 刘杰
	第27篇	宋伟刚 (东北大学)	柳洪义 郝丽娜 罗忠 王菲	柳洪义
	第28篇	宋伟刚 (东北大学)	宋伟刚 汪博	柳洪义 赵明扬
	第29篇	巩亚东 张耀满 (东北大学)	巩亚东 张耀满	刘杰
	第30篇	黄庆安 (东南大学)	黄庆安 周再发 宋竞 聂萌	李宪凯
	第31篇	段志善 (西安建筑科技大学)	段志善 史丽晨 东亚斌	刘杰
第6卷 现代设计与创新设计 (一) 卷主编 张义民 孙志礼 宋桂秋 (东北大学)	第32篇	王立军 (中国科学院长春光学精密机械与物理研究所)	王立军 付喜宏 关振忠	高金吉 柳洪义
	第33篇	史家顺 (东北大学)	史家顺 朱立达	柳洪义
	第34篇	闻邦椿 (东北大学)	闻邦椿 刘树英	鄂中凯 刘杰
	第35篇	闻邦椿 刘树英 (东北大学)	闻邦椿 刘树英	雒建斌
	第36篇	邹慧君 (上海交通大学)	邹慧君	谢友柏
	第37篇	王德俊 王雷 (东北大学)	王德俊 王雷	黄文虎
第6卷 现代设计与创新设计 (一) 卷主编 张义民 孙志礼 宋桂秋 (东北大学)	第38篇	王雷 (东北大学)	王雷	鄂中凯 孙志礼
	第39篇	卜炎 (天津大学)	卜炎	丁津原
第6卷 现代设计与创新设计 (一) 卷主编 张义民 孙志礼 宋桂秋 (东北大学)	第40篇	孙志礼 (东北大学)	孙志礼 张义民 杨强 郭瑜	王德俊
	第41篇	孙志礼 (东北大学)	王健	李良巧

卷次及卷主编	篇次	篇 主 编	编 写 人	审稿人
第6卷 现代设计与创新设计 (一) 卷主编 张义民 孙志礼 宋桂秋 (东北大学)	第38篇	韩清凯 (大连理工大学)	韩清凯 翟敬宇 张 昊	陈良玉
	第39篇	宋桂秋 (东北大学)	宋桂秋 李一鸣	佟杰新
	第40篇	王宛山 于天彪 (东北大学)	王宛山 郭 钢 于天彪 朱立达 李 虎 孙 伟 杨建宇 王学智	巩亚东
	第41篇	任露泉 田为军 (吉林大学) 丛 茜	任露泉 田为军 丛 茜	杨印生
	第42篇	刘 洋 任 宏 (沈阳航空航天大学)	刘 洋 任 宏	张 强 张 剑
	第43篇	李 鹤 孙 伟 (东北大学)	李 鹤 孙 伟	孙志礼
第7卷 现代设计与创新设计 (二) 卷主编 宋桂秋 刘树英 (东北大学)	第44篇	闻邦椿 (东北大学)	闻邦椿 宋桂秋	雒建斌
	第45篇	闻邦椿 刘树英 (东北大学)	闻邦椿 刘树英	赵淳生
	第46篇	闻邦椿 刘树英 (东北大学)	闻邦椿 刘树英	高金吉
	第47篇	赵新军 (东北大学)	赵新军 钟 莹 孙晓枫	宋桂秋 巩云鹏
	第48篇	刘志峰 (合肥工业大学)	刘志峰 李新宇 张 雷 李小彭	刘光复 孙志礼
	第49篇	王安麟 (同济大学)	王安麟	柳洪义
	第50篇	任露泉 韩志武 (吉林大学)	任露泉 韩志武 呼 咏 孙霁宇 田丽梅 张成春 张俊秋 张 强 张 锐 张志辉	王继新
	第51篇	朱爱斌 (西安交通大学)	朱爱斌 张执南	谢友柏
	第52篇	宋桂秋 刘 宇 (东北大学)	宋桂秋 刘 宇 李一鸣	邓庆绪 彭玉怀
	第53篇	邓庆绪 (东北大学)	邓庆绪 彭玉怀	张 斌
	第54篇	李 虎 (东北大学)	李 虎 陈亚东	巩亚东 宋桂秋
第55篇	闻邦椿 刘树英 (东北大学)	闻邦椿 刘树英	赵淳生	

前 言

本版手册为新出版的第6版七卷本《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）、机械工业部科技进步奖二等奖（1997年）、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），并多次获得全国科技畅销书奖等奖项。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 and 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，国家科研重大专项，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择。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关键战略、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“机械设计及其理论国家重点学科”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

第 21 篇 液压传动与控制

第 1 章 常用液压基础标准

1 液压图形符号	21-3
1.1 流体传动系统及元件图形符号	21-3
1.2 液压图形符号绘制规则	21-14
2 常用液压标准	21-17
2.1 流体传动系统及元件的公称压力系列	21-17
2.2 液压泵及马达公称排量系列	21-17
2.3 液压油口螺纹连接系列	21-17
2.4 液压系统用硬管外径系列和软管内径系列	21-18
2.5 液压缸内径及活塞杆外径尺寸系列	21-18
2.6 液压缸活塞行程系列	21-18
2.7 液压元件清洁度指标	21-19
2.8 液压阀油口、底板、控制装置和电磁铁的标识	21-19
3 常用液压术语	21-22
3.1 基本术语	21-22
3.2 液压泵的术语	21-22
3.3 液压执行元件的术语	21-22
3.4 液压阀的术语	21-22
3.5 液压辅件及其他专业术语	21-22
4 常用液压公式	21-26

第 2 章 液压流体力学基础

1 流体静力学	21-28
1.1 压力的度量标准	21-28
1.2 流体静力学基本方程	21-28
1.3 流体对壁面的作用力	21-28
1.3.1 流体对平面的作用力	21-28
1.3.2 流体对曲面的作用力	21-28
2 流体动力学	21-28
2.1 几个基本概念	21-28

2.2 连续性方程	21-29
2.3 伯努利方程	21-29
2.3.1 理想流体伯努利方程	21-29
2.3.2 实际流体伯努利方程	21-29
2.3.3 系统中有流体机械的伯努利方程	21-30
2.4 动量方程	21-30
3 阻力计算	21-30
3.1 沿程阻力损失计算	21-30
3.1.1 流动类型	21-30
3.1.2 沿程阻力损失计算公式	21-30
3.2 局部阻力损失计算	21-31
4 孔口及管嘴出流、缝隙流动、液压冲击	21-34
4.1 薄壁孔口流量计算及管嘴流量计算	21-34
4.2 缝隙流动	21-35
4.2.1 壁面固定的平行缝隙中的流动	21-35
4.2.2 壁面移动的平行平板缝隙流动	21-35
4.2.3 环形缝隙中的流体流动	21-36
4.2.4 平行平板间的径向流动	21-36
4.3 液压冲击	21-36

第 3 章 液压基本回路

1 概述	21-37
2 液压源回路	21-37
2.1 定量泵-溢流阀液压源回路	21-37
2.2 变量泵-安全阀液压源回路	21-37
2.3 高低压双泵液压源回路	21-38
2.4 多泵并联供油液压源回路	21-38
2.5 闭式系统液压源回路	21-39
2.6 辅助泵供油液压源回路	21-39
2.7 辅助循环泵液压源回路	21-39

3 压力控制回路	21-40	1.4.1 液压泵的选择	21-67
3.1 调压回路	21-40	1.4.2 液压阀的选择	21-67
3.2 减压回路	21-41	1.4.3 蓄能器的选择	21-67
3.3 增压回路	21-41	1.4.4 管道尺寸的确定	21-68
3.4 保压回路	21-43	1.4.5 油箱容量的确定	21-68
3.5 卸荷回路	21-43	1.5 液压系统性能验算	21-68
3.6 平衡回路	21-43	1.5.1 液压系统压力损失计算	21-68
3.7 缓冲回路	21-47	1.5.2 液压系统的发热温升计算	21-69
3.8 卸压回路	21-47	1.5.3 计算液压系统冲击压力	21-70
4 速度控制回路	21-49	1.6 设计液压装置, 编制技术文件	21-71
4.1 节流调速回路	21-49	1.6.1 液压系统总体布局	21-71
4.2 容积调速回路	21-50	1.6.2 液压阀的配置形式	21-71
4.3 容积节流调速回路	21-50	1.6.3 集成块设计	21-71
4.4 增速回路	21-52	1.6.4 绘制正式工作图, 编写技术文件	21-71
4.5 减速回路	21-52	2 液压系统设计计算实例——250g 塑料	
4.6 二次进给回路	21-53	注射机液压系统设计计算	21-71
4.7 比例阀连续调速回路	21-53	2.1 250g 塑料注射机液压系统设计要	
5 同步控制回路	21-54	求及有关设计参数	21-71
5.1 机械同步回路	21-54	2.1.1 对液压系统的要求	21-71
5.2 流量控制同步回路	21-55	2.1.2 液压系统设计参数	21-71
5.3 容积控制同步回路	21-55	2.2 液压执行元件负载和负载转矩	
6 方向控制回路	21-58	计算	21-72
6.1 换向回路	21-58	2.2.1 各液压缸的负载计算	21-72
6.2 锁紧回路	21-59	2.2.2 进料液压马达负载转矩计算	21-72
6.3 顺序动作回路	21-59	2.3 液压系统主要参数计算	21-72
7 液压马达回路	21-60	2.3.1 初选系统工作压力	21-72
7.1 马达制动回路	21-60	2.3.2 计算液压缸的主要结构尺寸	21-72
7.2 马达浮动回路	21-60	2.3.3 计算液压马达的排量	21-73
		2.3.4 计算液压执行元件实际工作	
		压力	21-73
		2.3.5 计算液压执行元件实际所需	
		流量	21-73
		2.4 制订系统方案和拟定液压系统图	21-74
		2.4.1 制订系统方案	21-74
		2.4.2 拟定液压系统图	21-74
		2.5 液压元件的选择	21-75
		2.5.1 液压泵的选择	21-75
		2.5.2 电动机功率的确定	21-75
		2.5.3 液压阀的选择	21-75
		2.5.4 液压马达的选择	21-76
		2.5.5 油管内径计算	21-76
		2.5.6 确定油箱的有效容积	21-77
		2.6 液压系统性能验算	21-77
		2.6.1 验算回路中的压力损失	21-77
第 4 章 液压传动系统设计计算			
1 液压系统的设计流程	21-63		
1.1 明确设计要求	21-63		
1.2 进行工况分析, 确定液压系统的			
主要参数	21-63		
1.2.1 负载分析计算	21-63		
1.2.2 初选系统工作压力	21-64		
1.2.3 计算液压缸的主要结构尺寸和			
液压马达的排量	21-65		
1.2.4 计算液压缸或液压马达所需			
流量	21-65		
1.2.5 绘制液压系统工况图	21-66		
1.3 制订基本方案和绘制液压系统图	21-66		
1.3.1 制订基本方案	21-66		
1.3.2 绘制液压系统图	21-66		
1.4 液压元件的选择与专用件设计	21-67		

2.6.2 液压系统发热温升计算	21-77
------------------------	-------

第5章 液 压 泵

1 液压泵的分类	21-79
2 液压泵的主要技术参数和计算公式	21-79
2.1 液压泵的主要技术参数	21-79
2.2 液压泵的常用计算公式	21-79
3 典型液压泵的工作原理及主要结构特点	21-80
4 液压泵的技术性能和参数选择	21-81
4.1 各类液压泵的技术性能和应用范围	21-81
4.2 液压泵参数的选择	21-81
5 齿轮泵产品	21-82
5.1 齿轮泵产品技术参数概览	21-82
5.2 CBF-E 型齿轮泵	21-83
5.3 CBF-F 型齿轮泵	21-85
5.4 CBG 型齿轮泵	21-88
5.5 P 型高压齿轮泵	21-91
5.6 NB 型内啮合齿轮泵	21-95
6 叶片泵产品	21-96
6.1 叶片泵产品技术参数概览	21-96
6.2 YB ₁ 型叶片泵	21-97
6.3 YB-* 车辆用叶片泵	21-98
6.4 PV2R 型叶片泵	21-100
6.5 T6 型叶片泵	21-107
6.6 PFE 型柱销式叶片泵	21-111
6.7 VPVC 低压型变量叶片泵	21-117
6.8 V ₄ 型变量叶片泵	21-120
7 柱塞泵产品	21-121
7.1 柱塞泵产品技术参数概览	21-121
7.2 CY14-1B 型柱塞泵	21-122
7.3 A2F 型柱塞泵	21-126
7.4 A4V 型柱塞泵	21-130
7.5 A7V 型柱塞泵	21-136
7.6 A10V 型柱塞泵	21-142
7.7 JBP 径向柱塞泵	21-150
7.8 RK 型超高压径向柱塞泵	21-152
7.9 SB 型手动泵	21-154
8 多联泵产品	21-154
8.1 VPVCG 型多联泵(变量叶片泵+齿轮泵)	21-154
8.2 VPNCG 型多联泵(定量叶片泵+齿轮泵)	21-155
8.3 CBKP 型三联齿轮泵	21-157

第6章 液 压 马 达

1 液压马达的分类	21-159
2 液压马达的主要技术参数和计算公式	21-159
2.1 液压马达的主要技术参数	21-159
2.2 液压马达主要参数的计算公式	21-159
3 液压马达产品主要技术参数概览	21-160
4 液压马达的选择	21-160
5 齿轮马达产品	21-161
5.1 GM5 型齿轮马达	21-161
5.2 CM 型齿轮马达	21-162
6 摆线马达产品	21-164
6.1 BYM 型齿轮马达	21-164
6.2 BM 型齿轮马达	21-165
6.3 BMR 轴线配油摆线液压马达	21-166
6.4 BM3 型端面配油摆线马达	21-168
7 叶片马达产品	21-170
7.1 YM-F-E 型叶片马达	21-170
7.2 YM 型叶片马达	21-171
8 柱塞马达产品	21-173
8.1 XM 型柱塞马达(日本东芝 HTM 系列改型产品)	21-173
8.2 HTM300 型柱塞马达(引进日本东芝技术产品)	21-177
8.3 NJM 型柱塞马达	21-180
8.4 IJMD 型径向柱塞马达	21-184
8.5 PJM 型径向球塞马达	21-185
8.6 QJM 型径向球塞马达	21-187
8.7 A6V 型斜轴式变量马达	21-192
8.8 B 型轴向柱塞马达	21-196
8.9 SXM 型柱塞马达	21-198
9 摆动马达产品	21-200
9.1 YMD 型单叶片摆动马达	21-200
9.2 YMS 型双叶片摆动马达	21-202
10 EPM 型低速大转矩液压马达	21-204

第7章 液 压 缸

1 液压缸的基本尺寸参数	21-207
1.1 液压缸内径及活塞杆外径尺寸系列	21-207
1.2 液压缸行程系列	21-207
1.3 液压缸活塞杆螺纹形式和尺寸系列	21-207
2 液压缸的分类及安装方式	21-208
2.1 液压缸的分类	21-208

2.2 液压缸的安装方式	21-208	2.1.4 C型直动式溢流阀及CGR型遥 控溢流阀	21-308
3 液压缸主要零件的结构、材料及技术 要求	21-211	2.1.5 RF型直动式溢流阀	21-310
3.1 缸体	21-211	2.2 先导式溢流阀、电磁溢流阀	21-312
3.2 缸盖	21-212	2.2.1 DB/DBW型先导式溢流阀、 电磁溢流阀(5X系列)	21-312
3.3 缸体端部连接方式	21-212	2.2.2 B型先导式溢流阀	21-316
3.4 活塞	21-212	2.2.3 C型先导式溢流阀	21-319
3.5 活塞杆	21-215	2.2.4 RF型先导式溢流阀	21-322
3.6 活塞杆的导向、密封和防尘	21-216	2.2.5 SRF型电磁溢流阀	21-325
3.7 液压缸的缓冲装置	21-219	2.3 卸荷溢流阀	21-329
3.8 液压缸的排气装置	21-219	2.3.1 DA型先导式卸荷溢流阀/DAW 电磁卸荷溢流阀	21-329
3.9 液压缸安装连接部分的形式及 尺寸	21-220	2.3.2 BUC型卸荷溢流阀	21-333
3.10 柱塞式液压缸的端部形式及 尺寸	21-223	2.4 减压阀	21-335
4 液压缸的设计计算	21-224	2.4.1 DR*DP型直动式减压阀	21-335
4.1 液压缸设计计算步骤	21-224	2.4.2 DR型先导式减压阀	21-338
4.2 液压缸性能参数的计算	21-224	2.4.3 R型先导式减压阀和RC型 单向减压阀	21-343
4.3 液压缸主要几何尺寸的计算	21-224	2.4.4 X型先导式减压阀及XC型 单向减压阀	21-345
4.4 液压缸结构参数的计算	21-227	2.5 顺序阀	21-347
4.5 液压缸的连接计算	21-230	2.5.1 DZ*DP型直动式顺序阀	21-347
4.6 活塞杆稳定性计算	21-233	2.5.2 DZ型先导式顺序阀	21-350
5 液压缸产品	21-235	2.5.3 H型顺序阀/HC型单向顺 序阀	21-354
5.1 液压缸产品技术参数概览	21-235	2.5.4 R型顺序阀/RC型单向顺 序阀	21-357
5.2 工程液压缸	21-236	2.6 平衡阀	21-359
5.3 冶金设备用标准液压缸	21-246	2.6.1 FD型平衡阀	21-359
5.4 车辆用液压缸	21-255	2.6.2 RB型平衡阀	21-363
5.5 重载液压缸	21-258	2.7 压力继电器	21-364
5.6 轻型拉杆液压缸	21-269	2.7.1 HED型压力继电器	21-364
5.7 带接近开关的拉杆式液压缸	21-276	2.7.2 S型压力继电器	21-367
5.8 伸缩式套筒液压缸	21-278	2.7.3 S*307型压力继电器	21-368
5.9 齿轮齿条液压缸	21-283	2.8 背压阀	21-371
第8章 液 压 阀			
1 液压阀概述	21-296	2.8.1 FBF3型负载相关背压阀	21-371
1.1 液压阀的分类	21-296	2.8.2 RFB型背压阀	21-372
1.2 液压阀的基本参数	21-296	3 流量控制阀	21-373
1.3 液压阀的选择	21-296	3.1 节流阀和单向节流阀	21-373
1.4 液压阀部分产品汇总	21-297	3.1.1 MG型节流阀/MK型单向 节流阀	21-373
2 压力控制阀	21-300	3.1.2 DV型节流截止阀/DRV型单向 节流截止阀	21-374
2.1 直动式溢流阀及远程调压阀	21-300	3.1.3 SR型节流阀/SRC型单向节	
2.1.1 DBD型直动式溢流阀	21-300		
2.1.2 DBT/DBWT型遥控溢流阀	21-305		
2.1.3 D型直动式溢流阀、遥控 溢流阀	21-306		