

机械设计手册



闻邦椿 主编

MACHINE DESIGN HANDBOOK

4



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



机 械 设 计 手 册

第 5 版

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

第 4 卷 流体传动与控制

本卷主编 宋锦春



机 械 工 业 出 版 社

本书是在前4版的基础上,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、新设计理论与方法撰写而成。本书全面系统地介绍了常规设计、机电一体化与控制技术和现代设计方法及其应用等内容。具有内容先进、信息量大、取材广、规格全、实用性强、数据可靠、使用方便等特点。

全书分6卷52篇,内容有:常用设计资料,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、现代设计理论与方法等。

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。

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.第4卷/闻邦椿主编.—5版.—北京:机械工业出版社,2010.1(2012.10重印)

ISBN 978-7-111-29228-9

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第221417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:李建秀 封面设计:姚毅

责任校对:陈延翔 张晓蓉 李婷 陈立辉 刘志文

责任印制:乔宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2012年10月第5版第6次印刷

184mm×260mm·112.25印张·3插页·3955千字

20 001—25 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-29228-9

定价:160.00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

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

销售二部:(010)88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

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的设计过程中所必需的数据库和知识库，目前它已成为产品研究与开发的“利器”，是任何设计器具无法取代的重要的设计工具，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。手册前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，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。相信以崭新的面貌展现在广大读者面前的本版手册，会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：

机电一体化与控制技术；第6卷：现代设计理论与方法。在本版手册的撰写过程中，努力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；在本版手册的取材和选材过程中，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，既考虑了各篇的系统性，又照顾了全书的统一性，尽量避免不必要的重复；在本版手册的各类零部件设计计算中，增加结构图和应用实例；在本版手册的部件设计选用中，提供了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；本版手册的所有计算方法和数据都努力做到准确、可靠、无误，重要的内容注明来源，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图 第1部分：用于常规用途和数据处理的图形符号》、GB/T 10095.1~10095.2—2008《圆柱齿轮精度制》，GB/Z 18620.1~18620.4—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—1997《渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法》、GB/T 10062.1~10062.3—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、17587.5—2008《滚珠丝杠副 第4部分：轴向静刚度》、《滚珠丝杠副 第5部分：轴向额定静载荷与动载荷及使用寿命》，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，编入了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，并对机构设计与选用技术进行综合，以助于技术的应用。

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，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环面蜗杆减速器（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，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的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品牌产品，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）、英国（Dowty）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；增加了伺服液压缸等相关新产品，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势，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，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与生物、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,弥补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。“创新设计”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。“绿色设计与和谐设计”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”篇中,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“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，谨向著名机械学家、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

第4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。

机械设计手册编委会

目 录

第 22 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	22-3
1.1 流体传动系统及元件图形符号	22-3
1.2 液压图形符号绘制规则	22-14
2 常用液压标准	22-17
2.1 流体传动系统及元件的公称压力系列	22-17
2.2 液压泵及马达公称排量系列	22-17
2.3 液压油口螺纹连接系列	22-17
2.4 液压系统用硬管外径系列和软管内径系列	22-18
2.5 液压缸内径及活塞杆外径尺寸系列 ..	22-18
2.6 液压缸活塞行程系列	22-18
2.7 液压元件清洁度指标	22-19
2.8 液压阀油口、底板、控制装置和电磁铁的标识	22-22
3 常用液压术语	22-22
3.1 基本术语	22-22
3.2 液压泵的术语	22-23
3.3 液压执行元件的术语	22-24
3.4 液压阀的术语	22-24
3.5 液压辅件及其他专业术语	22-26
4 常用液压公式	22-26

第 2 章 液压流体力学基础

1 流体静力学	22-28
1.1 压力的度量标准	22-28
1.2 流体静力学基本方程	22-28
1.3 平面上的液体总压力	22-28
1.4 曲线上的液体总压力	22-29
2 流体动力学	22-29
2.1 几个基本概念	22-29
2.2 连续性方程	22-29
2.3 伯努利方程	22-30
2.3.1 理想流体伯努利方程	22-30
2.3.2 实际流体伯努利方程	22-30

2.3.3 系统中有流体机械的伯努利方程	22-30
2.4 动量方程	22-30
3 阻力计算	22-31
3.1 沿程阻力损失计算	22-31
3.1.1 流动类型	22-31
3.1.2 沿程阻力损失计算公式	22-31
3.2 局部阻力损失计算	22-31
4 孔口及管嘴出流、缝隙流动、液压冲击	22-35
4.1 薄壁孔口流量计算及管嘴流量计算	22-35
4.2 缝隙流动	22-35
4.2.1 壁面固定的平行缝隙中的流动	22-35
4.2.2 壁面移动的平行平板缝隙流动	22-36
4.2.3 环形缝隙中的流体流动	22-36
4.2.4 平行平板间的径向流动	22-36
4.3 液压冲击	22-37

第 3 章 液压基本回路

1 概述	22-38
2 液压源回路	22-38
2.1 定量泵-溢流阀液压源回路	22-38
2.2 变量泵-安全阀液压源回路	22-38
2.3 高低压双泵液压源回路	22-39
2.4 多泵并联供油液压源回路	22-39
2.5 闭式系统液压源回路	22-40
2.6 辅助泵供油液压源回路	22-40
2.7 辅助循环泵液压源回路	22-40
3 压力控制回路	22-41
3.1 调压回路	22-41
3.2 减压回路	22-42
3.3 增压回路	22-42
3.4 保压回路	22-44
3.5 卸荷回路	22-44
3.6 平衡回路	22-44

3.7	缓冲回路	22-48
3.8	卸压回路	22-48
4	速度控制回路	22-50
4.1	节流调速回路	22-50
4.2	容积调速回路	22-51
4.3	容积节流调速回路	22-52
4.4	增速回路	22-53
4.5	减速回路	22-53
4.6	二次进给回路	22-54
4.7	比例阀连续调速回路	22-54
5	同步控制回路	22-55
5.1	机械同步回路	22-55
5.2	流量控制同步回路	22-56
5.3	容积控制同步回路	22-57
6	方向控制回路	22-59
6.1	换向回路	22-59
6.2	锁紧回路	22-60
6.3	顺序动作回路	22-61
7	液压马达回路	22-62
7.1	马达制动回路	22-62
7.2	马达浮动回路	22-63

第4章 液压传动系统设计计算

1	液压系统的设计流程	22-64
1.1	明确设计要求	22-64
1.2	进行工况分析、确定液压系统的主要参数	22-64
1.2.1	负载分析计算	22-64
1.2.2	初选系统工作压力	22-65
1.2.3	计算液压缸的主要结构尺寸和液压马达的排量	22-66
1.2.4	计算液压缸或液压马达所需流量	22-66
1.2.5	绘制液压系统工况图	22-67
1.3	制订基本方案和绘制液压系统图	22-67
1.3.1	制订基本方案	22-67
1.3.2	绘制液压系统图	22-67
1.4	液压元件的选择与专用件设计	22-68
1.4.1	液压泵的选择	22-68
1.4.2	液压阀的选择	22-68
1.4.3	蓄能器的选择	22-68
1.4.4	管道尺寸的确定	22-69
1.4.5	油箱容量的确定	22-69
1.5	液压系统性能验算	22-69
1.5.1	液压系统压力损失计算	22-69
1.5.2	液压系统的发热温升计算	22-70

1.5.3	计算液压系统冲击压力	22-71
1.6	设计液压装置,编制技术文件	22-72
1.6.1	液压系统总体布局	22-72
1.6.2	液压阀的配置型式	22-72
1.6.3	集成块设计	22-72
1.6.4	绘制正式工作图,编写技术文件	22-72
2	液压系统设计计算实例——250g 塑料注射机液压系统设计计算	22-72
2.1	250g 塑料注射机液压系统设计要求和有关设计参数	22-72
2.1.1	对液压系统的要求	22-72
2.1.2	液压系统设计参数	22-72
2.2	液压执行元件负载和负载转矩计算	22-73
2.2.1	各液压缸的负载计算	22-73
2.2.2	进料液压马达负载转矩计算	22-73
2.3	液压系统主要参数计算	22-73
2.3.1	初选系统工作压力	22-73
2.3.2	计算液压缸的主要结构尺寸	22-73
2.3.3	计算液压马达的排量	22-74
2.3.4	计算液压执行元件实际工作压力	22-74
2.3.5	计算液压执行元件实际所需流量	22-74
2.4	制订系统方案和拟定液压系统图	22-75
2.4.1	制订系统方案	22-75
2.4.2	拟定液压系统图	22-75
2.5	液压元件的选择	22-76
2.5.1	液压泵的选择	22-76
2.5.2	电动机功率的确定	22-76
2.5.3	液压阀的选择	22-76
2.5.4	液压马达的选择	22-77
2.5.5	油管内径计算	22-77
2.5.6	确定油箱的有效容积	22-78
2.6	液压系统性能验算	22-78
2.6.1	验算回路中的压力损失	22-78
2.6.2	液压系统发热温升计算	22-78

第5章 液 压 泵

1	液压泵的分类	22-80
2	液压泵的主要技术参数和计算公式	22-80
2.1	液压泵的主要技术参数	22-80
2.2	液压泵的常用计算公式	22-80
3	典型液压泵的工作原理及主要结构特点	22-81

4 液压泵的技术性能和参数选择	22 - 82	1.2.1 液压马达的主要技术参数	22 - 177
4.1 各类液压泵的技术性能和应用范围	22 - 82	1.2.2 液压马达主要参数的计算 公式	22 - 177
4.2 液压泵参数的选择	22 - 82	1.3 液压马达主要技术参数概览	22 - 178
5 齿轮泵产品	22 - 82	1.4 液压马达的选择	22 - 178
5.1 齿轮泵产品技术参数概览	22 - 82	1.5 齿轮马达产品	22 - 179
5.2 CB 型齿轮泵	22 - 84	1.5.1 GM5 型齿轮马达	22 - 179
5.3 CBF-E 型齿轮泵	22 - 85	1.5.2 CM 型齿轮马达	22 - 180
5.4 CBF-F 型齿轮泵	22 - 88	1.5.3 BYM 型齿轮马达	22 - 182
5.5 CBG 型齿轮泵	22 - 91	1.5.4 BM 型齿轮马达	22 - 183
5.6 G5 型齿轮泵	22 - 95	1.6 叶片马达产品	22 - 184
5.7 P 系列高压齿轮泵	22 - 98	1.6.1 YM-F-E 型叶片马达	22 - 184
5.8 NB 型内啮合齿轮泵	22 - 101	1.6.2 M 型叶片马达	22 - 185
6 叶片泵产品	22 - 103	1.6.3 YM 型叶片马达	22 - 189
6.1 叶片泵产品技术参数概览	22 - 103	1.7 柱塞马达产品	22 - 191
6.2 YB ₁ 型叶片泵	22 - 104	1.7.1 XM 型柱塞马达(日本东芝 HTM 系列改型产品)	22 - 191
6.3 YB-※车辆用叶片泵	22 - 105	1.7.2 HTM300 型柱塞马达(引进日本 东芝技术产品)	22 - 195
6.4 PV2R 型叶片泵	22 - 107	1.7.3 NJM 型柱塞马达	22 - 198
6.5 T6 型叶片泵	22 - 114	1.7.4 1JMD 型径向柱塞马达	22 - 202
6.6 PFE 型柱销式叶片泵	22 - 118	1.7.5 PJM 型径向球塞马达	22 - 203
6.7 VPVC 低压型变量叶片泵	22 - 124	1.7.6 QJM 型径向球塞马达	22 - 205
6.8 HVPVC 中压型变量叶片泵	22 - 127	1.7.7 A6V 型斜轴式变量马达	22 - 210
6.9 V ₄ 型变量叶片泵	22 - 129	1.7.8 B 型轴向柱塞马达	22 - 214
7 柱塞泵产品	22 - 130	1.7.9 SXM 型柱塞马达	22 - 216
7.1 柱塞泵产品技术参数概览	22 - 130	1.8 摆动液压马达产品	22 - 218
7.2 CY14-1B 型柱塞泵	22 - 131	1.8.1 YMD 型单叶片摆动马达	22 - 218
7.3 A2F 型柱塞泵	22 - 135	1.8.2 YMS 型双叶片摆动马达	22 - 220
7.4 A4V 型柱塞泵	22 - 139	1.8.3 BMR 轴线配油摆线液压 马达	22 - 222
7.5 A7V 型柱塞泵	22 - 145	1.8.4 BM3 型端面配油摆线马达	22 - 224
7.6 A10V 型柱塞泵	22 - 151	1.9 EPM 型低速大扭矩液压马达	22 - 226
7.7 ZB 型斜轴式轴向柱塞泵	22 - 159	2 液压缸	22 - 229
7.8 JBP 径向柱塞泵	22 - 161	2.1 液压缸的基本尺寸参数	22 - 229
7.9 PV 型轴向变量柱塞泵	22 - 163	2.1.1 液压缸内径及活塞杆外径尺寸 系列	22 - 229
7.10 RK 型超高压径向柱塞泵	22 - 170	2.1.2 液压缸行程系列	22 - 229
7.11 SB 型手动泵	22 - 171	2.1.3 液压缸活塞杆螺纹型式和尺寸 系列	22 - 229
8 多联泵产品	22 - 172	2.2 液压缸的分类及安装方式	22 - 229
8.1 VPVCG 型多联泵(变量叶片泵 + 齿轮泵)	22 - 172	2.2.1 液压缸的分类	22 - 229
8.2 VPNCG 型多联泵(定量叶片泵 + 齿轮泵)	22 - 173	2.2.2 液压缸的安装方式	22 - 232
8.3 CBKP 型三联齿轮泵	22 - 175	2.3 液压缸主要零件的结构、材料及 技术要求	22 - 233
		2.3.1 缸体	22 - 233
第 6 章 液压执行元件			
1 液压马达	22 - 177		
1.1 液压马达的分类	22 - 177		
1.2 液压马达的主要技术参数和计算 公式	22 - 177		

2.3.2 缸盖	22-234	2.2 先导式溢流阀、电磁溢流阀	22-334
2.3.3 缸体端部连接方式	22-234	2.2.1 DB/DBW 型先导式溢流阀、电磁溢流阀(5X 系列)	22-334
2.3.4 活塞	22-234	2.2.2 B 型先导式溢流阀	22-338
2.3.5 活塞杆	22-237	2.2.3 C 型先导式溢流阀	22-341
2.3.6 活塞杆的导向、密封和防尘	22-238	2.2.4 RF 型先导式溢流阀	22-344
2.3.7 液压缸的缓冲装置	22-241	2.2.5 SRF 型电磁溢流阀	22-347
2.3.8 液压缸的排气装置	22-241	2.3 卸荷溢流阀	22-351
2.3.9 液压缸安装连接部分的型式及尺寸	22-242	2.3.1 DA 型先导式卸荷溢流阀/DAW 电磁卸荷溢流阀	22-351
2.3.10 柱塞式液压缸的端部型式及尺寸	22-245	2.3.2 BUC 型卸荷溢流阀	22-355
2.4 液压缸的设计计算	22-246	2.4 减压阀	22-357
2.4.1 液压缸设计计算步骤	22-246	2.4.1 DR※DP 型直动式减压阀	22-357
2.4.2 液压缸性能参数的计算	22-246	2.4.2 DR 型先导式减压阀	22-360
2.4.3 液压缸主要几何尺寸的计算	22-246	2.4.3 R 型先导式减压阀和 RC 型单向减压阀	22-365
2.4.4 液压缸结构参数的计算	22-249	2.4.4 X 型先导式减压阀及 XC 型单向减压阀	22-367
2.4.5 液压缸的连接计算	22-252	2.4.5 PRV 型减压阀及 PRCV 型单向减压阀	22-369
2.4.6 活塞杆稳定性计算	22-255	2.5 顺序阀	22-374
2.5 液压缸标准系列	22-257	2.5.1 DZ※DP 型直动式顺序阀	22-374
2.5.1 工程液压缸系列	22-257	2.5.2 DZ 型先导式顺序阀	22-376
2.5.2 冶金设备用标准液压缸系列	22-268	2.5.3 H 型顺序阀/HC 型单向顺序阀	22-381
2.5.3 车辆用液压缸系列	22-277	2.5.4 R 型顺序阀/RC 型单向顺序阀	22-383
2.5.4 重载液压缸	22-280	2.6 平衡阀	22-386
2.5.5 轻型拉杆式液压缸	22-291	2.6.1 FD 型平衡阀	22-386
2.5.6 带接近开关的拉杆式液压缸	22-298	2.6.2 RB 型平衡阀	22-391
2.5.7 伸缩式套筒液压缸	22-300	2.7 压力继电器	22-392
2.5.8 齿轮齿条液压缸	22-305	2.7.1 HED 型压力继电器	22-392
第 7 章 液 压 阀			
1 液压阀概述	22-318	2.7.2 S 型压力继电器	22-395
1.1 液压阀的分类	22-318	2.7.3 S*307 型压力继电器	22-396
1.2 液压阀的基本参数	22-318	2.8 背压阀	22-399
1.3 液压阀的选择	22-318	2.8.1 FBF3 型负载相关背压阀	22-399
1.4 液压阀部分产品汇总	22-319	2.8.2 RFB 型背压阀	22-400
2 压力控制阀	22-322	3 流量控制阀	22-401
2.1 直动式溢流阀及远程调压阀	22-322	3.1 节流阀和单向节流阀	22-401
2.1.1 DBD 型直动式溢流阀	22-322	3.1.1 MG 型节流阀/MK 型单向节流阀	22-401
2.1.2 DBT/DBWT 型遥控溢流阀	22-327	3.1.2 DV 型节流截止阀/DRV 型单向节流截止阀	22-402
2.1.3 D 型直动式溢流阀、遥控溢流阀	22-328	3.1.3 SR 型节流阀/SRC 型单向节流阀	22-404
2.1.4 C 型直动式溢流阀及 CGR 型遥控溢流阀	22-330	3.1.4 TV 型节流阀/TCV 型单向节流阀	
2.1.5 RF 型直动式溢流阀	22-332		

流阀	22 - 406	4.4 手动换向阀	22 - 503
3.2 FB 型溢流节流阀	22 - 411	4.4.1 WMM 型手动换向阀	22 - 503
3.3 行程节流阀与行程调速阀	22 - 413	4.4.2 DM 型手动换向阀	22 - 507
3.3.1 Z 型行程减速阀/ZC 型单向 行程减速阀	22 - 413	4.4.3 HD 型手动换向阀	22 - 513
3.3.2 UCF 型行程流量控制阀	22 - 415	4.5 机动式换向阀	22 - 518
3.4 调速阀	22 - 418	4.5.1 WM 型行程(滚轮)换向阀	22 - 518
3.4.1 MSA 型调速阀	22 - 418	4.5.2 DC 型凸轮操作换向阀	22 - 519
3.4.2 2FRM 型调速阀/Z4S 型流向 调整板	22 - 419	4.6 多路换向阀	22 - 523
3.4.3 FH 型先导操作流量控制阀/FHC 先导操作单向流量控制阀	22 - 424	4.6.1 ZFS 型多路换向阀	22 - 523
3.4.4 F(FC)G 型流量控制阀	22 - 426	4.6.2 ZS 型多路换向阀	22 - 525
3.5 分流集流阀	22 - 430	5 叠加阀	22 - 527
3.5.1 FL、FDL、FJL 型分流集 流阀	22 - 430	5.1 叠加式压力控制阀	22 - 527
3.5.2 3FL-L30 * 型分流阀	22 - 432	5.1.1 力士乐系列叠加式溢流阀	22 - 527
3.5.3 3FJLK-L10-50H 型可调分流集 流阀	22 - 432	5.1.2 油研系列叠加式溢流阀	22 - 529
3.5.4 3FJLZ-L20-130H 型自调式 分流集流阀	22 - 432	5.1.3 威格士系列叠加溢流阀	22 - 531
4 方向控制阀	22 - 432	5.1.4 MRF 型叠加式溢流阀	22 - 534
4.1 单向阀及液控单向阀	22 - 433	5.1.5 力士乐系列叠加式减压阀	22 - 540
4.1.1 S 型/RVP 型单向阀	22 - 433	5.1.6 油研系列叠加减压阀	22 - 543
4.1.2 SV/SL 型液控单向阀	22 - 437	5.1.7 威格士系列叠加减压阀	22 - 544
4.1.3 C 型单向阀/CP 型液控单 向阀	22 - 440	5.1.8 MPR 型叠加式减压阀	22 - 546
4.1.4 4C 型液控单向阀	22 - 443	5.2 叠加式方向阀	22 - 549
4.1.5 PC(PCD)V 型液控单向阀	22 - 445	5.2.1 力士乐系列叠加单向阀	22 - 549
4.2 电磁换向阀	22 - 449	5.2.2 油研系列叠加单向阀	22 - 550
4.2.1 WE 型电磁换向阀/SE 型球式 电磁换向阀	22 - 449	5.2.3 威格士系列叠加单向阀	22 - 552
4.2.2 DSG-01/03 电磁换向阀	22 - 460	5.2.4 MPC 型叠加式液控单向阀	22 - 552
4.2.3 微小电流控制型电磁换 向阀	22 - 463	5.2.5 力士乐系列叠加液控单向阀	22 - 555
4.2.4 DG4V 型湿式电磁换向阀	22 - 464	5.2.6 油研系列叠加液控单向阀	22 - 556
4.2.5 DG4V 型软切换电磁换向阀	22 - 469	5.2.7 威格士系列叠加液控单向阀	22 - 559
4.2.6 DG4V 型带阀芯位置指示开关的 电磁换向阀	22 - 470	5.3 叠加式流量阀	22 - 560
4.2.7 SWH-G02(10,20)型电磁 换向阀	22 - 471	5.3.1 力士乐系列叠加单向节 流阀	22 - 560
4.3 电液换向阀及液动换向阀	22 - 478	5.3.2 油研系列叠加式节流阀	22 - 563
4.3.1 WEH 电液换向阀及 WH 液控换向阀	22 - 478	5.3.3 威格士系列叠加节流阀	22 - 569
4.3.2 DSHG 型电液换向阀	22 - 491	5.3.4 MTC 型叠加式单向节流阀	22 - 570
4.3.3 DSH 型电液换向阀	22 - 499	5.3.5 MFC 型叠加式单向调速阀	22 - 576
		5.3.6 MSF 型叠加式电控调速阀	22 - 578
		5.4 通道块及安装用螺栓	22 - 580
		5.4.1 力士乐、油研系列叠加阀通 道块	22 - 580
		5.4.2 高强度螺栓、螺母	22 - 580
		6 插装阀	22 - 582
		6.1 插装阀的工作原理及特点	22 - 582
		6.2 二通盖板式插装阀	22 - 582
		6.2.1 K 系列插装阀	22 - 582
		6.2.2 L 系列插装阀	22 - 588
		6.2.3 TJ 系列插装阀	22 - 592

6.2.4 Z 系列插装阀	22-595	2.5.11 CUB 型磁性过滤器	22-661
6.3 螺纹插装阀	22-597	2.5.12 LUC 型精密滤油车	22-661
6.3.1 IH 系列螺纹插装阀	22-597	2.5.13 静电净油机	22-664
6.3.2 C13 和 C16 系列电磁线圈	22-623	3 热交换器	22-664
第8章 液 压 辅 件			
1 蓄能器	22-625	3.1 冷却器的种类及特点	22-664
1.1 蓄能器的种类及特点	22-625	3.2 冷却器的选择及计算	22-664
1.2 蓄能器在系统中的应用	22-626	3.3 GL※型列管式冷却器	22-665
1.3 各种蓄能器的性能及用途	22-626	3.4 LQ※型列管式冷却器	22-666
1.4 蓄能器的容量计算	22-627	3.5 BR 型板式冷却器	22-673
1.5 蓄能器使用注意事项	22-627	3.6 FL 型空气冷却器	22-674
1.6 蓄能器产品	22-628	3.7 ACE 型空气冷却器	22-675
1.6.1 NXQ 型气囊式蓄能器	22-628	3.8 ZCT 电磁水阀	22-676
1.6.2 HXQ 型活塞式蓄能器	22-630	3.9 GL 型冷却水过滤器	22-677
1.7 蓄能器辅件	22-631	3.10 加热器	22-677
1.7.1 CQJ 型充氮工具	22-631	3.10.1 油的加热及加热器的发热能力	22-677
1.7.2 QXF 型蓄能器充气阀	22-632	3.10.2 电加热器的计算	22-677
1.7.3 CDZ 型充氮车	22-632	3.10.3 SRY 型加热器	22-677
1.7.4 蓄能器专用阀门	22-632	3.10.4 SRY 型套筒式油用电加热器	22-678
1.7.5 XJF 型蓄能器截止阀	22-633	4 温度仪表	22-678
1.7.6 AQJ 型蓄能器控制阀组	22-634	4.1 WS※型双金属温度计	22-678
1.7.7 FGXQ 型储气瓶	22-635	4.2 WSJ-300 型数显温度继电器	22-679
1.7.8 蓄能器支座	22-636	4.3 2000 型温度开关	22-683
1.7.9 蓄能器紧固箍	22-637	4.4 机械式温度开关 T15 系列	22-685
2 过滤器	22-638	5 压力仪表	22-685
2.1 过滤器的主要性能参数	22-638	5.1 Y 系列压力表	22-685
2.2 过滤器的名称、用途、安装位置、类别、型式及效果	22-638	5.2 YTXG 型磁感式电接点压力表	22-687
2.3 推荐液压系统的清洁度和过滤精度	22-639	5.3 YSJ-300 型数显压力继电器	22-688
2.4 过滤器的选择及计算	22-639	5.4 压力开关 P11 系列	22-691
2.5 过滤器产品	22-639	5.5 电子式数显压力开关 PE80 系列	22-692
2.5.1 WU 型网式吸油过滤器	22-639	5.6 压力表开关	22-695
2.5.2 TF 型箱外吸油过滤器	22-640	5.6.1 KF 型压力表开关	22-695
2.5.3 ZU-H、QU-H 系列高压过滤器	22-641	5.6.2 AF6E 型压力表开关	22-696
2.5.4 FD 型侧面板式高压过滤器	22-648	5.6.3 MS 型六点压力表开关	22-697
2.5.5 PLF 系列压力管路过滤器	22-650	5.7 测压、排气接头及测压软管	22-698
2.5.6 RFA 型微型回油过滤器	22-653	5.7.1 PT 型测压排气接头	22-698
2.5.7 SRFA 型双筒箱上回油过滤器	22-655	5.7.2 HF 型测压软管	22-698
2.5.8 RFB 型箱侧回油过滤器	22-656	5.7.3 PTB 型测压装置	22-699
2.5.9 DRLF 型大流量回油过滤器	22-658	6 空气过滤器	22-700
2.5.10 SDRLF 系列大流量双筒回油滤油器	22-659	6.1 QUQ 型空气过滤器	22-700
		6.2 EF 型空气过滤器	22-701
		6.3 PFB 型增压空气过滤器	22-702
		6.4 QLS 型吸湿空气过滤器	22-702
		6.5 SAF-50 带锁液压空气过滤器	22-704
		7 液位仪表	22-704
		7.1 YWZ 型液位计	22-704