



成大先 主编

机械设计手册

HANDBOOK
MECHANICAL
DESIGN

第五版



液压控制



化学工业出版社

机械设计手册

HANDBOOK
OF MECHANICAL
DESIGN

第五版

单行本

常州大学图书馆

藏书章

液压控制

主编单位 中国有色工程设计研究总院
主 编 成大先
副 主 编 王德夫 姬奎生 韩学铨
姜 勇 李长顺 王雄耀
虞培清



化学工业出版社

· 北 京 ·

《机械设计手册》第五版单行本共 16 分册,涵盖了机械常规设计的所有内容。各分册分别为:《常用设计资料》、《机械制图·精度设计》、《常用机械工程材料》、《机构》、《连接与紧固》、《轴及其连接》、《轴承》、《起重运输件·五金件》、《润滑与密封》、《弹簧》、《机械传动》、《减(变)速器·电机与电器》、《机械振动·机架设计》、《液压传动》、《液压控制》、《气压传动》。

本书为《液压控制》。其中第 1 章为控制理论基础,主要介绍控制理论知识以及典型控制系统;第 2 章为液压控制概述,主要介绍液压控制系统与液压传动系统、电液伺服系统与电液比例系统的对比,液压伺服系统的分类、特点、应用等;第 3 章为液压控制元件、液压动力元件、伺服阀,主要介绍液压控制元件(滑阀、喷嘴挡板阀、射流管阀和射流偏转板阀等)、液压动力元件、伺服阀的类型、特性、设计、应用等;第 4 章为液压伺服系统的设计计算,主要介绍电液伺服系统、电液速度伺服系统、机液伺服系统的设计计算,电液伺服油源的分析与设计,液压伺服系统的污染控制,伺服液压缸设计计算,液压伺服系统设计实例、安装与调试等;第 5 章为电液比例系统的设计计算,主要介绍电-机械转换器、电液比例压力控制阀、电液比例流量控制阀、电液比例方向流量控制阀、比例多路阀、伺服比例阀、电控器等结构、性能参数、典型产品等;第 6 章为伺服阀、比例阀及伺服缸主要产品简介。

本书可作为机械设计人员和有关工程技术人员工具书,也可供高等院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计手册(第五版):单行本. 液压控制/成大先
主编. —北京:化学工业出版社, 2010.1
ISBN 978-7-122-07132-3

I. 机… II. 成… III. ①机械设计-技术手册②液
压控制-技术手册 IV. ①TH122-62②TH137-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 213105 号

责任编辑:周国庆 张兴辉 王 烨 贾 娜 文字编辑:闫 敏 张燕文
责任校对:郑 捷 战河红 装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司
装 订:三河市万龙印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 27 字数 951 千字 2010 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:48.00 元
京化广临字 2009—31 号

版权所有 违者必究

撰稿人员

- | | | | |
|-----|--------------------|------|----------------|
| 成大先 | 中国有色工程设计研究总院 | 徐 华 | 西安交通大学 |
| 王德夫 | 中国有色工程设计研究总院 | 陈立群 | 西北轻工业学院 |
| 刘世参 | 《中国表面工程》杂志、装甲兵工程学院 | 谢振宇 | 南京航空航天大学 |
| 姬奎生 | 中国有色工程设计研究总院 | 陈应斗 | 中国有色工程设计研究总院 |
| 韩学铨 | 北京石油化工工程公司 | 张奇芳 | 沈阳铝镁设计研究院 |
| 余梦生 | 北京科技大学 | 肖治彭 | 中国有色工程设计研究总院 |
| 高淑之 | 北京化工大学 | 邹舜卿 | 中国有色工程设计研究总院 |
| 柯蕊珍 | 中国有色工程设计研究总院 | 邓述慈 | 西安理工大学 |
| 王欣玲 | 机械科学研究院 | 秦 毅 | 中国有色工程设计研究总院 |
| 陶兆荣 | 中国有色工程设计研究总院 | 周凤香 | 中国有色工程设计研究总院 |
| 孙东辉 | 中国有色工程设计研究总院 | 朴树寰 | 中国有色工程设计研究总院 |
| 李福君 | 中国有色工程设计研究总院 | 杜子英 | 中国有色工程设计研究总院 |
| 阮忠唐 | 西安理工大学 | 汪德涛 | 广州机床研究所 |
| 熊绮华 | 西安理工大学 | 朱 炎 | 中国航宇救生装置公司 |
| 雷淑存 | 西安理工大学 | 王鸿翔 | 中国有色工程设计研究总院 |
| 田惠民 | 西安理工大学 | 郭 永 | 山西省自动化研究所 |
| 殷鸿樑 | 上海工业大学 | 厉始忠 | 机械科学研究院 |
| 齐维浩 | 西安理工大学 | 厉海祥 | 武汉理工大学 |
| 曹惟庆 | 西安理工大学 | 欧阳志喜 | 宁波双林汽车部件股份有限公司 |
| 关天池 | 中国有色工程设计研究总院 | 段慧文 | 中国有色工程设计研究总院 |
| 房庆久 | 中国有色工程设计研究总院 | 姜 勇 | 中国有色工程设计研究总院 |
| 李建平 | 北京航空航天大学 | 徐永年 | 郑州机械研究所 |
| 李安民 | 机械科学研究院 | 梁桂明 | 河南科技大学 |
| 李维荣 | 机械科学研究院 | 张光辉 | 重庆大学 |
| 丁宝平 | 机械科学研究院 | 罗文军 | 重庆大学 |
| 梁全贵 | 中国有色工程设计研究总院 | 沙树明 | 中国有色工程设计研究总院 |
| 王淑兰 | 中国有色工程设计研究总院 | 谢佩娟 | 太原理工大学 |
| 林基明 | 中国有色工程设计研究总院 | 余 铭 | 无锡市万向联轴器有限公司 |
| 王孝先 | 中国有色工程设计研究总院 | 陈祖元 | 广东工业大学 |
| 童祖楹 | 上海交通大学 | 陈仕贤 | 北京航空航天大学 |
| 刘清廉 | 中国有色工程设计研究总院 | 郑自求 | 四川理工学院 |
| 许文元 | 天津工程机械研究所 | 贺元成 | 泸州职业技术学院 |
| 孔庆堂 | 北京新兴超越离合器有限公司 | 季泉生 | 济南钢铁集团 |
| 孙永旭 | 北京古德机电技术研究所 | 方 正 | 中国重型机械研究院 |
| 丘大谋 | 西安交通大学 | 马敬勋 | 济南钢铁集团 |
| 诸文俊 | 西安交通大学 | 冯彦宾 | 四川理工学院 |

袁 林	四川理工学院	崔桂芝	北方工业大学
王春和	北方工业大学	张若青	北方工业大学
周朗晴	中国有色工程设计研究总院	王 侃	北方工业大学
孙夏明	北方工业大学	张常年	北方工业大学
黄吉平	宁波市镇海减变速机制造有限公司	朱宏军	北方工业大学
陈宗源	中冶集团重庆钢铁设计研究院	佟 新	中国有色工程设计研究总院
张 翌	北京太富力传动机器有限责任公司	褚有雄	天津大学
蔡学熙	连云港化工矿山设计研究院	林少芬	集美大学
姚光义	连云港化工矿山设计研究院	卢长耿	厦门海德科液压机械设备有限公司
沈益新	连云港化工矿山设计研究院	容同生	厦门海德科液压机械设备有限公司
钱亦清	连云港化工矿山设计研究院	吴根茂	浙江大学
于 琴	连云港化工矿山设计研究院	魏建华	浙江大学
蔡学坚	邢台地区经济委员会	吴晓雷	浙江大学
虞培清	浙江长城减速机有限公司	钟荣龙	厦门厦顺铝箔有限公司
项建忠	浙江通力减速机有限公司	黄 雷	北京科技大学
阮劲松	宝鸡市广环机床责任有限公司	王雄耀	费斯托 (FESTO) (中国) 有限公司
纪盛青	东北大学	彭光正	北京理工大学
付宏生	北京电子科技职业学院设计与工艺学院	张百海	北京理工大学
张海臣	深圳海翔铭公司	王 涛	北京理工大学
黄效国	北京科技大学	陈金兵	北京理工大学
陈新华	北京科技大学	包 钢	哈尔滨工业大学
李长顺	中国有色工程设计研究总院	蒋友谅	北京理工大学
刘秀利	中国有色工程设计研究总院	刘福祐	中国有色工程设计研究总院
宋天民	北京钢铁设计研究总院	史习先	中国有色工程设计研究总院
周 堉	中冶京城工程技术有限公司		

审 稿 人 员

刘世参	余梦生	成大先	王德夫	李长顺	强 毅	邹舜卿	李福君
王孝先	郭可谦	孙永旭	汪德涛	林基明	方 正	余雪华	陈应斗
朱 琪	朱 炎	房庆久	李钊刚	厉始忠	姜 勇	陈湛闻	饶振纲
张海臣	季泉生	林 鹤	洪允楣	吴豪泰	王 正	詹茂盛	姬奎生
申连生	张红兵	容同生	卢长耿	郭长生	吴 筠	徐文灿	

编 辑 人 员

周国庆	张兴辉	王 烨	贾 娜	张红兵	郭长生	任文斗	黄 滢
周 红	李军亮	辛 田	张燕文	闫 敏	项 澈		

HANDBOOK
MECHANICAL
DESIGN

《机械设计手册》(第五版)单行本

出版说明

国内第一部机械设计大型工具书——《机械设计手册》第一版于1969年由化学工业出版社正式出版,40年来,共修订了五版,累计销售量超过120万套,受到广大读者的欢迎和厚爱,也多次获得国家和省部级奖励。

《机械设计手册》自出版以来,收到读者数千封来信,赢得了广大机械设计工作者的好评。特别是手册推荐了许多实用的新技术、新产品、新材料和新工艺,扩大了相应产品的品种和规格范围,内容齐全,实用、可靠,成为设计工作者不可缺少的工具书。

广大读者在对《机械设计手册》给予充分肯定的同时,也指出了《机械设计手册》装帧太厚、太重,不便携带和翻阅,希望出版篇幅小些的单行本,建议将《机械设计手册》以篇为单位改编为单行本。

根据广大读者的反映和建议,化学工业出版社组织编辑出版人员深入设计科研院所、大中专院校、制造企业和有一定影响的新华书店进行调研,广泛征求和听取各方面的意见,在与主编单位协商一致的基础上,于2004年以《机械设计手册》第四版为基础,编辑出版了《机械设计手册》单行本,并在出版后很快得到了读者的认可。

而今,《机械设计手册》第五版(5卷本)已于去年修订完毕上市发行,第五版在提高产品开发、创新设计方面,在促进新产品设计和加工制造的新工艺设计方面,在为新产品开发、老产品改造创新提供新型元器件和新材料方面,在贯彻推广标准化工作等方面,都较第四版有很大改进。为使更多的读者可按自己的需要,有针对性地选用《机械设计手册》第五版中的部分内容,并降低购书费用,化学工业出版社在汲取《机械设计手册》第四版单行本成功经验的基础上,隆重推出《机械设计手册》第五版单行本。

《机械设计手册》第五版单行本,保留了《机械设计手册》第五版(5卷本)的优势和特色,从设计工作的实际出发,结合机械设计专业具体情况,将原来的5卷23篇调整为16分册20篇,分别为:《常用设计资料》、《机械制图·精度设计》、《常用机械工程材料》、《机构》、《连接与紧固》、《轴及其连接》、《轴承》、《起重运输件·五金件》、《润滑与密封》、《弹簧》、《机械传动》、《减(变)速器·电机与电器》、《机械振动·机架设计》、《液压传动》、《液压控制》、《气压传动》。这样,各分册篇幅适中,查阅和携带更加方便,有利于设计人员和读者根据各自需要灵活选购。

《机械设计手册》第五版单行本,是为了适应机械设计事业发展和广大读者的需要而编辑出版的,将与《机械设计手册》第五版(5卷本)一起,成为机械设计工作者、工程技术人员和广大读者的良师益友。

借《机械设计手册》第五版单行本出版之际，再次向热情支持和积极参加编写工作的单位和个人表示诚挚的敬意！向长期关心、支持《机械设计手册》的广大热心读者表示衷心感谢！

由于编辑出版单行本的工作量较大，时间较紧，难免存在疏漏和缺点，恳请广大读者给予指正。

化学工业出版社

2010年1月



第五版前言

《机械设计手册》自1969年第一版出版发行以来,已经修订至第五版,累计销售量超过120万套,成为新中国成立以来,在国内影响力最强、销售量最大的机械设计工具书。作为国家级的重点科技图书,《机械设计手册》多次获得国家和省部级奖励。其中,1978年获全国科学大会科技成果奖,1983年获化工部优秀科技图书奖,1995年获全国优秀科技图书二等奖,1999年获全国化工科技进步二等奖,2002年获石油和化学工业优秀科技图书一等奖,2003年获中国石油和化学工业科技进步二等奖。1986~2002年,连续被评为全国优秀畅销书。

与时俱进、开拓创新,实现实用性、可靠性和创新性的最佳结合,协助广大机械设计人员开发出更好更新的产品,适应市场和生产需要,提高市场竞争力和国际竞争力,这是《机械设计手册》一贯坚持、不懈努力的最高宗旨。

《机械设计手册》第四版出版发行至今已有6年多的时间,在这期间,我们进行了广泛的调查研究,多次邀请了机械方面的专家、学者座谈,倾听他们对第五版修订的建议,并深入设计院所、工厂和矿山的第一线,向广大设计工作者了解《手册》的应用情况和意见,及时发现、收集生产实践中出现的新经验和新问题,多方位、多渠道跟踪、收集国内外涌现出来的新技术、新产品,改进和丰富《手册》的内容,使《手册》更具鲜活力,以最大限度地快速提高广大机械设计人员自主创新的能力,适应建设创新型国家的需要。

《手册》第五版的具体修订情况如下。

一、在提高产品开发、创新设计方面

1. 开辟了“塑料制品与塑料注射成型模具设计”篇:介绍了塑料产品和模具设计的相关基础资料、注塑成型的常见缺陷和对策。

2. 机械传动部分:增加了点线啮合传动设计;增加了符合ISO国际最新标准的渐开线圆柱齿轮的设计;补充并完善了非零变位锥齿轮设计;对多点啮合柔性传动的柔性支撑做了重新分类;增加了塑料齿轮设计。

3. “气压传动”篇全面更新:强调更新、更全、更实用,尽可能把当今国际上已有的新技术、新产品反映出来。汇集的新技术、新产品有:用于抓取和卸放的模块化导向驱动器、气动肌肉、高速阀、阀岛、气动比例伺服阀、压电比例阀、气动软停止、气动的比例气爪、双倍行程无杆气缸、无接触真空吸盘、智能三联件等。第一次把气动驱动器分成两大类型,即普通类气缸和导向驱动装置。普通类气缸实质上是不带导向机构的传统气缸及新型开发的各种气缸,如低摩擦气缸、低速气缸、耐高温气缸、不含铜和四氟乙烯的气缸等。所谓导向驱动装置是让读者根据产品技术参数直接选用,不必再另行设计导轨系统。它将成为今后的发展趋势,强调模块化,即插即用。另外还增补了与气动应用密切相关的其他行业标准、技术的基础性介绍,如气动技术中静电的产生与防止、各国对净化车间压缩空气的分类等级标准;气动元件的防爆等级分类;食品行业对设备气动元件等的卫生要求;在电子行业不含铜和四氟乙烯产品等。

4. 收集了钢丝绳振动的分析资料。

二、在促进新产品设计和加工制造的新工艺设计方面

1. 进一步扩充了表面技术,在介绍多种单一表面技术基础上又新增了复合表面技术的基本原理、适用场合、选用原则和应用实例等内容。

2. 推荐了快速原型制造技术。该技术解决了单件或小批量铸件的制造问题,大大缩短了产品的设计开发周期,可以预见,它必将受到普遍的重视,得到迅速的发展。

3. 节能的形变热处理。如铸造余热淬火,它是利用锻造的余热淬火,既节省了热处理的重新加热,而且得到了较好的力学性能的组合,使淬火钢的强度和冲击值同时提高。

三、为新产品开发、老产品改造创新,提供新型元器件和新材料方面

1. 左右螺纹防松螺栓:生产实践证明防松效果良好,而且结构简单,操作方便,是防松设计的一种新的、好的设计思路。

2. 集成式新型零部件:包括一些新型的联轴器、离合器、制动器、带减速器的电机等,这种集成式零部件增加了产品功能,减少了零件数,既节材又省工。

3. 节能产品:介绍了节能电机。

4. 新型材料:在零部件设计工艺性部分和材料篇分别阐述了“蠕墨铸铁”和“镁合金”的工艺特性和主要技术参数。“蠕墨铸铁”具有介于灰铸铁和球墨铸铁之间的良好性能。其抗拉强度、屈服强度高于高强度灰铸铁,而低于球墨铸铁,热传导性、耐热疲劳性、切削加工性和减振性又近似于一般灰铸铁;它的疲劳极限和冲击韧度虽不如球墨铸铁,但明显优于灰铸铁;它的铸造性能接近于灰铸铁,制造工艺简单,成品率高,因而具有广泛的条件,如:(1)由于强度高,对于断面的敏感性小,铸造性好,因而可用来制造复杂的大型零件;(2)由于具有较高的力学性能,并具有较好的导热性,因而常用来制造在热交换以及有较大温度梯度下工作的零件,如汽车制动盘、钢锭模等;(3)由于强度较高、致密性好,可用来代替孕育铸铁件,不仅节约了废钢,减轻了铸件重量(碳当量较高,强度却比灰铸铁高),而且成品率也大幅度提高,特别是铸件气密性增加,特别适用于液压件的生产等。“镁合金”的主要特点是密度低、比刚度和比强度高。铸造镁合金还有高的减振性,因此能承受较大的冲击振动载荷,而且在受冲击及摩擦时不会起火花。镁的体积热容比其他所有金属都低,因此,镁及其合金的另一个主要特性是加热升温与散热降温都比其他金属快;所有金属成形工艺一般都可以用于镁合金的成形加工,其中,压铸(高压铸造)工艺最为常用,镁压铸件精度高、组织细小、均匀、致密,具有良好的性能,因此,镁合金广泛应用于航天、航空、交通运输、计算机、通信器材和消费类电子产品、纺织和印刷等工业。镁合金由于它的优良的力学性能、物理性能等以及材料回收率高,符合环保要求,被称为 21 世纪最具开发应用前景的“绿色材料”。

四、在贯彻推广标准化工作方面

1. 所有产品、材料和工艺方面的标准均全部采用 2006 年和 2007 年公布的最新标准资料。

2. 在产品资料编写方面,对许多生产厂家(如气动产品厂家)进行了标准化工作的调查研究,将标准化好的产品作为入选首要条件。应广大读者的要求,在介绍产品时,在备注中增加了产品生产厂名。由于市场经济的实际变化较快,读者必须结合当时的实际情况,进一步作深入调查,了解产品实际生产品种、规格及尺寸,以及产品质量和用户的实际反映,再作选择。

借《机械设计手册》第五版出版之际,再次向参加每版编写的单位和个人表示衷心的感谢!同时也感谢给我们提供大力支持和热忱帮助的单位 and 各界朋友们!特别感谢长沙有色冶金设计研究院的袁学敏、刘金庭、陈雨田,武汉钢铁设计研究总院的刘美珑、刘翔等同志给我们提供帮助!

由于水平有限,调研工作不够全面,修订中难免存在疏漏和不足,恳请广大读者继续给予批评指正。

主 编

目 录

第 22 篇

液压控制

第1章 控制理论基础 22-3

- 1 控制系统的一般概念 22-3
 - 1.1 反馈控制原理 22-3
 - 1.2 反馈控制系统的组成、类型和
要求 22-3
- 2 线性控制系统的数学描述 22-4
 - 2.1 微分方程 22-4
 - 2.2 传递函数及方块图 22-5
 - 2.3 控制系统的传递函数 22-7
 - 2.4 信号流图及梅逊增益公式 22-8
 - 2.4.1 信号流图和方块图的对应
关系 22-8
 - 2.4.2 梅逊增益公式 22-9
 - 2.5 机、电、液系统中的典型环节 22-10
 - 2.6 频率特性 22-11
 - 2.6.1 频率特性的定义、求法及
表示方法 22-11
 - 2.6.2 开环波德图、奈氏图和尼柯
尔斯图的绘制 22-12
 - 2.7 单位脉冲响应函数和单位阶跃
响应函数 22-14
- 3 线性控制系统的性能指标 22-15
- 4 线性反馈控制系统分析 22-16
 - 4.1 稳定性分析 22-16
 - 4.1.1 稳定性定义和系统稳定的
充要条件 22-16
 - 4.1.2 稳定性准则 22-16
 - 4.1.3 稳定裕量 22-18
 - 4.2 控制系统动态品质分析 22-19

- 4.2.1 时域分析法 22-19
- 4.2.2 频率分析法 22-22
- 4.2.3 控制系统波德图的绘制 22-24
- 4.3 控制系统的误差分析 22-24
 - 4.3.1 误差和误差传递函数 22-24
 - 4.3.2 稳态误差的计算 22-25
 - 4.3.3 改善系统稳态品质的主要
方法 22-26
- 5 线性控制系统的校正 22-26
 - 5.1 校正方式和常用的校正装置 22-26
 - 5.1.1 校正方式 22-26
 - 5.1.2 常用的校正装置 22-27
 - 5.2 用期望特性法确定校正装置 22-31
 - 5.2.1 期望特性的绘制 22-31
 - 5.2.2 校正装置的确定 22-32
 - 5.3 用综合性能指标确定校正装置 22-33
- 6 非线性反馈控制系统 22-34
 - 6.1 概述 22-34
 - 6.2 描述函数的概念 22-35
 - 6.3 描述函数法分析非线性控制
系统 22-38
 - 6.3.1 稳定性分析 22-38
 - 6.3.2 振荡稳定性分析 22-39
 - 6.3.3 消除自激振荡的方法 22-39
 - 6.3.4 非线性特性的利用 22-39
 - 6.3.5 非线性系统分析举例 22-40
- 7 控制系统的仿真 22-40
 - 7.1 系统仿真的基本概念 22-40
 - 7.1.1 模拟仿真和数字仿真 22-40
 - 7.1.2 仿真技术的应用 22-42

7.2 连续系统离散相似法数字仿真	22-42	1.1.3 液压控制阀的静态特性及其阀系数的定义	22-60
7.2.1 离散相似法的原理	22-42	1.1.4 液压控制阀的液压源类型	22-61
7.2.2 连接矩阵及程序框图	22-43	1.2 滑阀	22-61
8 线性离散控制系统	22-45	1.2.1 滑阀的种类及特征	22-61
8.1 概述	22-45	1.2.2 滑阀的静态特性及阀系数	22-62
8.1.1 信号的采样过程	22-45	1.2.3 滑阀的力学特性	22-64
8.1.2 信号的复原	22-46	1.2.4 滑阀的功率特性及效率	22-66
8.1.3 数字控制系统的离散脉冲模型	22-46	1.2.5 滑阀的设计	22-66
8.2 Z变换	22-47	1.3 喷嘴挡板阀	22-67
8.2.1 Z变换定义	22-47	1.3.1 喷嘴挡板阀的种类、原理及应用	22-67
8.2.2 Z变换的基本性质	22-49	1.3.2 喷嘴挡板阀的静态特性	22-68
8.2.3 Z反变换	22-49	1.3.3 喷嘴挡板阀的力特性	22-69
8.2.4 用Z变换求解差分方程	22-50	1.3.4 喷嘴挡板阀的设计	22-69
8.3 脉冲传递函数	22-50	1.4 射流管阀和射流偏转板阀	22-70
8.3.1 脉冲传递函数的定义	22-50	1.4.1 射流管阀的紊流淹没射流特征	22-70
8.3.2 离散控制系统的脉冲传递函数	22-51	1.4.2 流量恢复系数与压力恢复系数	22-71
8.4 离散控制系统分析	22-51	1.4.3 射流管阀的静态特性及应用	22-71
8.4.1 稳定性分析	22-51	1.4.4 射流偏转板阀的特点及应用	22-72
8.4.2 过渡过程分析	22-52	2 液压动力元件	22-73
8.4.3 稳态误差分析	22-53	2.1 液压动力元件的类型、特点及应用	22-73
第2章 液压控制概述	22-54	2.2 液压动力元件的静态特性及其负载匹配	22-73
1 液压控制系统与液压传动系统的比较	22-54	2.2.1 动力元件的静态特性	22-73
2 电液伺服系统与电液比例系统的比较	22-55	2.2.2 负载特性及其等效	22-74
3 液压伺服系统的组成及分类	22-55	2.2.3 阀控动力元件与负载特性的匹配	22-76
4 液压伺服系统的几个重要概念	22-56	2.3 液压动力元件的动态特性	22-76
5 液压伺服系统的基本特性	22-56	2.3.1 对称四通阀控制对称缸的动态特性	22-76
6 液压伺服系统的优点、难点及应用	22-57	2.3.2 对称四通阀控制不对称缸分析	22-82
第3章 液压控制元件、液压动力元件、伺服阀	22-59	2.3.3 三通阀控制不对称缸的动态特性	22-84
1 液压控制元件	22-59	2.3.4 四通阀控制液压马达的	
1.1 液压控制元件概述	22-59		
1.1.1 液压控制元件的类型及特点	22-59		
1.1.2 液压控制阀的类型、原理及特点	22-59		



动态特性	22-85	与校正	22-112
2.3.5 泵控马达的动态特性	22-87	1.3 电液力(压力)伺服系统的分析	
2.4 动力元件的参数选择与计算	22-89	与设计	22-114
3 伺服阀	22-90	1.3.1 电液力伺服系统的类型及	
3.1 伺服阀的组成及分类	22-90	特点	22-114
3.1.1 伺服阀的组成及反馈方式 ...	22-90	1.3.2 电液驱动力伺服系统的分	
3.1.2 伺服阀的分类及输出特性 ...	22-91	析与设计	22-114
3.1.3 电气-机械转换器的类型、		1.3.3 电液负载力伺服系统的分析	
原理及特点	22-91	与设计	22-118
3.2 典型伺服阀的结构及工作原理 ...	22-92	1.4 电液伺服系统的设计方法及	
3.3 伺服阀的特性及性能参数	22-96	步骤	22-120
3.3.1 流量伺服阀的特性及性能		2 机液伺服系统的设计计算	22-124
参数	22-96	2.1 机液伺服系统的类型及应用	22-124
3.3.2 压力伺服阀的特性及性能		2.1.1 阀控机液伺服系统	22-124
参数	22-99	2.1.2 泵控机液伺服系统	22-127
3.4 伺服阀的选择、使用及维护	22-101	2.2 机液伺服机构的分析与设计	22-128
3.5 伺服阀的试验	22-102	3 电液伺服油源的分析与设计	22-129
3.5.1 试验的类型及项目	22-103	3.1 对液压伺服油源的要求	22-129
3.5.2 标准试验条件	22-103	3.2 液压伺服油源的类型、特点及	
3.5.3 试验回路及测试装置	22-104	应用	22-130
3.5.4 试验内容及方法	22-104	3.3 液压伺服油源的参数选择	22-130
第4章 液压伺服系统的设计计算 ...	22-106	3.4 液压伺服油源特性分析	22-131
1 电液伺服系统的设计计算	22-106	3.4.1 定量泵—溢流阀油源	22-131
1.1 电液位置伺服系统的设计		3.4.2 恒压变量泵油源	22-132
计算	22-106	4 液压伺服系统的污染控制	22-133
1.1.1 电液位置伺服系统的类型		4.1 液压污染控制的基础知识	22-133
及特点	22-106	4.1.1 液压污染的定义与类型	22-133
1.1.2 电液位置伺服系统的方块图、		4.1.2 液压污染物的种类及	
传递函数及波德图	22-106	来源	22-133
1.1.3 电液位置伺服系统的稳定性		4.1.3 固体颗粒污染物及其	
计算	22-108	危害	22-134
1.1.4 电液位置伺服系统的闭环		4.1.4 油液中的水污染、危害及	
频率响应	22-108	脱水方法	22-134
1.1.5 电液位置伺服系统的分析及		4.1.5 油液中的空气污染、危害及	
计算	22-110	脱气方法	22-135
1.2 电液速度伺服系统的设计		4.1.6 油液污染度的测量方法及	
计算	22-111	特点	22-136
1.2.1 电液速度伺服系统的类型		4.1.7 液压污染控制中的有关	
及控制方式	22-111	概念	22-136
1.2.2 电液速度伺服系统的分析		4.2 油液污染度等级标准	22-137
		4.2.1 GB/T 14039—2002《液压	

传动—油液—固体颗粒污染 等级代号法》	22-137	在仿真中的应用	22-163
4.2.2 PALL 污染度等级代号	22-140	8.1 MATLAB 仿真工具软件简介	22-163
4.2.3 NAS 1638 污染度等级 标准	22-140	8.2 液压控制系统位置自动控制 (APC) 仿真实例	22-164
4.2.4 SAE 749D 污染度等级 标准	22-141	8.2.1 建模步骤	22-164
4.2.5 几种污染度等级对照表	22-142	8.2.2 运行及设置	22-167
4.3 不同污染度等级油液的显微图像 比较	22-142	第5章 电液比例系统的设计 计算	22-173
4.4 伺服阀的污染控制	22-143	1 概述	22-173
4.4.1 伺服阀的失效模式、后果及 失效原因	22-143	1.1 电液比例系统的组成、原理、 分类及特点	22-173
4.4.2 双喷嘴挡板伺服阀的典型 结构及主要特征	22-144	1.2 电液比例控制系统的性能 要求	22-176
4.4.3 伺服阀对油液清洁度的 要求	22-146	1.3 电液比例阀体系的发展与应用 特点	22-176
4.5 液压伺服系统的全面污染 控制	22-146	2 电-机械转换器	22-177
4.5.1 系统清洁度的推荐等级 代号	22-146	2.1 常用电-机械转换器简要比较	22-178
4.5.2 过滤系统的设计	22-149	2.2 比例电磁铁的基本工作原理和 典型结构	22-178
4.5.3 液压元件、液压部件(装置) 及管道的污染控制	22-151	2.3 常用比例电磁铁的技术参数	22-181
4.5.4 系统的循环冲洗	22-152	2.4 比例电磁铁使用注意事项	22-182
4.5.5 过滤系统的日常检查及 清洁度检验	22-152	3 电液比例压力控制阀	22-182
5 伺服液压缸的设计计算	22-153	3.1 概述	22-182
5.1 伺服液压缸与传动液压缸的 区别	22-153	3.2 比例溢流阀的若干共性问题	22-182
5.2 伺服液压缸的设计步骤	22-153	3.3 电液比例压力阀的典型结构及 工作原理	22-184
5.3 伺服液压缸的设计要点	22-154	3.4 典型比例压力阀的主要性能 指标	22-191
6 液压伺服系统设计实例	22-155	3.5 电液比例压力阀的性能	22-191
6.1 液压压下系统的功能及控制 原理	22-155	3.6 电液比例压力控制回路及 系统	22-194
6.2 设计任务及控制要求	22-157	4 电液比例流量控制阀	22-198
6.3 APC 系统的控制模式及工作参数 的计算	22-158	4.1 电液比例流量控制的分类	22-198
6.4 APC 系统的数学模型	22-160	4.2 由节流型转变为调速型的基本 途径	22-199
7 液压伺服系统的安装、调试与测试	22-162	4.3 电液比例流量控制阀的典型结 构及工作原理	22-199
8 控制系统的工具软件 MATLAB 及其 在仿真中的应用	22-163	4.4 电液比例流量控制阀的性能	22-203
		4.5 节流阀的特性	22-203
		4.6 流量阀的特性	22-204

4.7	二通与三通流量阀工作原理与 能耗对比	22-206
4.8	电液比例流量阀动态特性试验 系统	22-208
4.9	电液比例流量控制回路及 系统	22-208
4.10	电液比例压力流量复合控 制阀	22-210
5	电液比例方向流量控制阀	22-211
5.1	比例方向节流阀特性与选用	22-211
5.2	比例方向流量阀特性	22-214
6	比例多路阀	22-217
6.1	概述	22-217
6.2	六通多路阀的微调特性	22-218
6.3	四通多路阀的负载补偿与负载 适应	22-218
7	电液比例方向流量控制阀典型结构 和工作原理	22-221
8	伺服比例阀	22-225
8.1	从比例阀到伺服比例阀	22-225
8.2	伺服比例阀	22-225
8.3	伺服比例阀产品特性示例	22-227
9	电液比例流量控制的回路及系统	22-230
10	电液比例容积控制	22-233
10.1	变量泵的基本类型	22-234
10.2	基本电液变量泵的原理与 特点	22-234
10.3	应用示例——塑料注射机 系统	22-236
11	电控器	22-238
11.1	电控器的基本构成	22-238
11.2	电控器的关键环节及其功能	22-239
11.3	两类基本放大器	22-241
11.4	放大器的设定信号选择	22-241
11.5	闭环比例放大器	22-242
12	数字比例控制器及电液轴控制器	22-242
12.1	数字技术在电液控制系统中的 应用与技术优势	22-242
12.2	数字比例控制器	22-243
12.3	电液轴控制器	22-247
13	电液控制系统设计的若干问题	22-252

13.1	三大类系统的界定	22-252
13.2	比例系统的合理考虑	22-252
13.3	比例节流阀系统的设计示例	22-252

第6章 伺服阀、比例阀及伺服 缸主要产品简介

1	电液伺服阀主要产品	22-256
1.1	国内电液伺服阀主要产品	22-256
1.1.1	双喷嘴挡板力反馈式电液 伺服阀	22-256
1.1.2	双喷嘴挡板电反馈式 (FF109、QDY3、QDY8、 DYSF 型) 电液伺服阀	22-259
1.1.3	动圈式滑阀直接反馈式 (YJ、 SV、QDY4 型)、滑阀直接位 置反馈式 (DQSF-I 型) 电液伺服阀	22-260
1.1.4	滑阀力综合式压力伺服阀 (FF119)、双喷嘴-挡板喷 嘴压力反馈式伺服阀 (DYSF-3P)、 P-Q 型伺服阀 (FF118)、 射流管力反馈式伺服阀 (CSDY、FSDY、SSDY)	22-261
1.1.5	动圈式伺服阀 (SV9、SVA9)	22-262
1.1.6	动圈式伺服阀 (SVA8、SVA10)	22-262
1.2	国外主要电液伺服阀产品	22-264
1.2.1	双喷嘴力反馈式电液伺服阀 (M00G)	22-264
1.2.2	双喷嘴挡板力反馈式电液伺 服阀 (DOWTY、SM4)	22-265
1.2.3	双喷嘴挡板力反馈式 (M00G D761) 和电反馈式电液 伺服阀 (M00G D765)	22-266
1.2.4	直动电反馈式伺服阀 (DDV) M00G D633 及 D634 系列	22-268
1.2.5	电反馈三级伺服阀 M00G D791 和 D792 系列	22-269
1.2.6	EMG 伺服阀 SV1-10	22-271
1.2.7	M00G D661 ~ D665 系列电	

反馈伺服阀	22-273	尺寸	22-295
1.2.8 伺服射流管电反馈高响应 二级伺服阀 M00G D661 GC 系列	22-276	1.3.11 CSDY 和 Abex 型电液伺 服阀外形及安装尺寸	22-296
1.2.9 射流管力反馈伺服阀 Abex 和射流偏转板力反馈伺服阀 M00G26 系列	22-279	1.3.12 M00G760、M00G G761 和 M00G G631 型电液伺服阀外形 及安装尺寸	22-297
1.2.10 博世力士乐 (Bosch Rexroth) 双喷嘴挡板机械 (力) 和 / 或 电反馈二级伺服阀 4WS (E) 2EM6-2X、4WS (E) 2EM (D) 10-5X、4WS (E) 2EM (D) 16-2X 和电反馈三级伺服阀 4WSE3EE	22-279	1.3.13 M00G D633、D634 系列 直动式电液伺服阀外形及 安装尺寸	22-298
1.3 电液伺服阀的外形及安装 尺寸	22-286	1.3.14 M00G D791 和 D792 型电 反馈三级阀外形及安装 尺寸	22-299
1.3.1 FF101、YF12、M00G30 和 DOWTY30 型电液伺服阀外形 及安装尺寸	22-286	1.3.15 M00G D662 ~ D665 系列 电液伺服阀外形及安装 尺寸	22-300
1.3.2 FF102、YF7、M00G31、M00G32、 DOWTY31 和 DOWTY32 型伺服阀 外形及安装尺寸	22-287	1.3.16 博世力士乐电反馈三级阀 4WSE3EE (16、25、32) 尺寸	22-301
1.3.3 FF113、YFW10 和 M00G72 型电液伺服阀外形及安装 尺寸	22-288	1.4 伺服放大器	22-302
1.3.4 FF106A、FF118 和 FF119 型 伺服阀外形及安装尺寸	22-289	1.4.1 YCF-6 型伺服放大器	22-302
1.3.5 FF106、FF130、YF13、M00G35 和 M00G34 型电液伺服阀外形 及安装尺寸	22-290	1.4.2 M00G G122-202A1 系列 伺服放大器	22-303
1.3.6 QDY 系列电液伺服阀外形及 安装尺寸	22-291	1.4.3 M00G G123-815 缓冲放大器	22-305
1.3.7 FF131、YFW06、QYSF-3Q、 DOWTY ⁴⁵⁵¹ ₄₆₅₉ 和 M00G78 型伺服阀 外形及安装尺寸	22-292	1.4.4 M00G G122-824PI 伺服放大器	22-306
1.3.8 FF109 和 DYSF-3G ⁻¹ ₁₁ 型电反馈 三级阀外形及安装尺寸	22-293	1.4.5 博世力士乐 YT-SR1 和 VT-SR2 系列伺服放大器	22-307
1.3.9 SV (CSV) 和 SVA 型电液伺 服阀外形及安装尺寸	22-294	2 比例阀主要产品	22-309
1.3.10 YJ741、YJ742 和 YJ861 型 电液伺服阀外形及安装		2.1 国内比例阀主要产品	22-309
		2.1.1 BQY-G 型电液比例三通 调速阀	22-309
		2.1.2 BFS 和 BSL 型比例方向 流量阀	22-309
		2.1.3 BY※型比例溢流阀	22-309
		2.1.4 3BYL 型比例压力-流量 复合阀	22-310
		2.1.5 4BEY 型比例方向阀	22-310
		2.1.6 BY 型比例溢流阀	22-311
		2.1.7 BJY 型比例减压阀	22-311
		2.1.8 DYBL 和 DYBQ 型比例	

节流阀	22-311	2.2.7	BOSCH NG6、NG10 比例节流阀 (带位移控制)	22-331
2.1.9	BPQ 型比例压力流量 复合阀	22-312	2.2.8	BOSCH NG10 带集成放大器比 例节流阀 (带位移控制) ...
2.1.10	4B 型比例方向阀	22-312	2.2.9	BOSCH 比例流量阀 (带位移 控制及不带位移控制)
2.1.11	4WRA 型电磁比例 换向阀	22-313	2.2.10	BOSCH 不带位移传感器 比例方向阀
2.1.12	4WRE 型电磁比例 换向阀	22-314	2.2.11	BOSCH 比例方向阀 (带位移控制)
2.1.13	4WR ^z _H 型电液比例方向阀	22-315	2.2.12	BOSCH 带集成放大器比例 方向阀
2.1.14	DBETR 型比例压力 溢流阀	22-317	2.2.13	比例控制阀
2.1.15	DBE/DBEM 型比例 溢流阀	22-318	2.2.14	插装式比例节流阀
2.1.16	3DREP6 三通比例压力 控制阀	22-319	2.2.15	BOSCH 插头式比例 放大器
2.1.17	DRE/DBEM 型比例 减压阀	22-319	2.2.16	BOSCH 单通道/双通道盒 式放大器
2.1.18	ZFRE6 型二通比例 调速阀	22-320	2.2.17	BOSCH 模块式放大器 1
2.1.19	ZFRE※型二通比例 调速阀	22-322	2.2.18	BOSCH 模块式放大器 2
2.1.20	ED 型比例遥控溢流阀	22-323	2.2.19	BOSCH 单通道放大器 (不 带位移控制, 带缓冲) ...
2.1.21	EB 型比例溢流阀	22-323	2.2.20	BOSCH 双通道双工 放大器
2.1.22	ERB 型比例溢流减压阀 ...	22-324	2.2.21	BOSCH 不带缓冲的比例阀 放大器
2.1.23	EF(C)G 型比例 (带单向阀) 流量阀	22-324	2.2.22	BOSCH 带电压控制式缓冲 的比例阀放大器
2.1.24	EFB 型比例溢流调速阀 ...	22-325	2.2.23	BOSCH 功率放大器 (带与 不带缓冲电子放大器) ...
2.2	国外电液伺服阀主要产品	22-326	2.2.24	力士乐 (REXROTH) DBET 和 DBETE 型/5X 系列比例 溢流阀
2.2.1	BOSCH 比例溢流阀 (不带 位移控制)	22-326	2.2.25	力士乐 (REXROTH) DBETR/1X 系列比例溢流阀 (带位置 反馈)
2.2.2	BOSCH 比例溢流阀和线性比 例溢流阀 (带位移控制) ...	22-327	2.2.26	力士乐 (REXROTH) DBE (M) 和 DBE (M) E 型系列比例 溢流阀
2.2.3	BOSCH NG6 带集成放大器 比例溢流阀	22-328	2.2.27	力士乐 (REXROTH) 二位四通 和三位四通比例方向阀 ...
2.2.4	BOSCH NG10 比例溢流阀和 比例减压阀 (带位移 控制)	22-328		
2.2.5	BOSCH NG6 三通比例减压阀 (不带/带位移控制)	22-329		
2.2.6	BOSCH NG6、NG10 比例节流阀 (不带位移控制)	22-330		

2.2.28	力士乐 (REXROTH) 4WRE, 1X 系列比例方向阀	22-364	5X 系列电子放大器	22-384
2.2.29	力士乐 (REXROTH) 三位 四通高频响 4WRSE, 3X 系列比例方向阀	22-368	2.2.37 力士乐 (REXROTH) VT5001 至 VT5004 和 VT5010, 2X 系列 VT5003, 4X 系列电子 放大器	22-385
2.2.30	力士乐 (REXROTH) WRZ, WRZE 和 WRH 7X 系列比例 方向阀	22-371	3 伺服液压缸	22-386
2.2.31	力士乐 (REXROTH) 4WRTE, 3X 系列高频响比例 方向阀	22-375	3.1 国内生产的伺服液压缸	22-386
2.2.32	力士乐 (REXROTH) VT- VSPA2-1, 1X 系列电子 放大器	22-379	3.1.1 优瑞纳斯的 US 系列伺服 液压缸	22-386
2.2.33	力士乐 (REXROTH) VT5005 ~ 5008, 1X 系列电子 放大器	22-380	3.1.2 海德科液压公司伺服 液压缸	22-387
2.2.34	力士乐 (REXROTH) VT3000, 3X 系列电子放大器	22-382	3.2 国外生产的伺服液压缸	22-389
2.2.35	力士乐 (REXROTH) VT- VSPA1-1 和 VT-VSPA1K-1, 1X 系列电子放大器	22-383	3.2.1 力士乐 (REXROTH) 伺服 液压缸	22-389
2.2.36	力士乐 (REXROTH) VT2000, 5X 系列电子放大器	22-384	3.2.2 M00G 伺服液压缸	22-390
			3.2.3 M085 系列伺服液压缸	22-391
			3.2.4 阿托斯 (Atos) 伺服 液压缸	22-392
			3.2.5 JBS 系列伺服液压缸	22-395
			3.2.6 各国液压、气动图形符号 对照	22-395
			参考文献	22-412