

机械设计手册

单行本

成大先 主编 ●

液 压 控 制



化学工业出版社

机械设计手册

单行本

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

化学工业出版社
· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

机械设计手册. 单行本. 液压控制/成大先主编.
北京: 化学工业出版社, 2004.1
ISBN 7-5025-4963-3

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 104924 号

机械设计手册

单行本

液压控制

成大先 主编

责任编辑: 周国庆 张红兵

任文斗 张兴辉

责任校对: 顾淑云

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京管庄永胜印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787 毫米 × 1092 毫米 1/16 印张 22 $\frac{3}{4}$ 字数 764 千字

2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4963-3/TH·170

定 价: 42.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换
京工商广临字 2003—31 号

撰 稿 人 员

成大先 中国有色工程设计研究总院
 王德夫 中国有色工程设计研究总院
 姬奎生 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
 余梦生 北京科技大学
 高淑之 北京化工大学
 柯蕊珍 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
 孙东辉 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
 阮忠唐 西安理工大学
 熊绮华 西安理工大学
 雷淑存 西安理工大学
 田惠民 西安理工大学
 殷鸿樑 上海工业大学
 齐维浩 西安理工大学
 曹惟庆 西安理工大学
 关天池 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
 李安民 机械科学研究院
 李维荣 机械科学研究院
 丁宝平 机械科学研究院
 梁全贵 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
 林基明 中国有色工程设计研究总院
 童祖楹 上海交通大学
 刘清廉 中国有色工程设计研究总院
 许文元 天津工程机械研究所
 孔庆堂 北京新兴超越离合器有限公司
 孔 炜 北京新兴超越离合器有限公司
 朱春梅 北京机械工业学院
 丘大谋 西安交通大学
 诸文俊 西安交通大学
 徐 华 西安交通大学
 陈立群 西北轻工业学院
 肖治彭 中国有色工程设计研究总院

邹舜卿 中国有色工程设计研究总院
 邓述慈 西安理工大学
 秦 毅 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
 朴树寰 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
 汪德涛 广州机床研究所
 王鸿翔 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
 姜 勇 中国有色工程设计研究总院
 徐永年 郑州机械研究所
 梁桂明 洛阳工学院
 张光辉 重庆大学
 罗文军 重庆大学
 沙树明 中国有色工程设计研究总院
 谢佩娟 太原理工大学
 余 铭 无锡市万向轴厂
 陈祖元 广东工业大学
 陈仕贤 北京航空航天大学
 王春和 北方工业大学
 周朗晴 中国有色工程设计研究总院
 孙夏明 北方工业大学
 季泉生 济南钢铁集团
 马敬勋 济南钢铁集团
 蔡学熙 连云港化工矿山设计研究院
 姚光义 连云港化工矿山设计研究院
 沈益新 连云港化工矿山设计研究院
 钱亦清 连云港化工矿山设计研究院
 于 琴 连云港化工矿山设计研究院
 蔡学坚 邢台地区经济委员会
 虞培清 浙江长城减速机有限公司
 项建忠 浙江通力减速机有限公司
 阮劲松 宝鸡市广环机床责任有限公司
 纪盛青 东北大学
 黄效国 北京科技大学
 陈新华 北京科技大学

李长顺 中国有色工程设计研究总院
 崔桂芝 北方工业大学
 张若青 北方工业大学
 王 侃 北方工业大学
 张常年 北方工业大学
 朱宏军 北方工业大学
 佟 新 中国有色工程设计研究总院
 禰有雄 天津大学
 林少芬 集美大学
 卢长耿 集美大学
 吴根茂 浙江大学

钟荣龙 厦门海特液压机械工程有限公司
 黄 畲 北京科技大学
 彭光正 北京理工大学
 张百海 北京理工大学
 王 涛 北京理工大学
 陈金兵 北京理工大学
 包 钢 哈尔滨工业大学
 王雄耀 费斯托 (FESTO) (中国) 有限公司
 蒋友谅 北京理工大学
 刘福祐 中国有色工程设计研究总院
 史习先 中国有色工程设计研究总院

审 稿 人 员

余梦生	成大先	王德夫	强 毅	房庆久	李福君
钟云杰	郭可谦	姬奎生	王春九	韩学铨	段慧文
邹舜卿	汪德涛	陈应斗	刘清廉	李继和	徐 智
郭长生	吴宗泽	李长顺	陈湛闻	饶振纲	季泉生
林 鹤	黄靖远	武其俭	洪允楣	蔡学熙	张红兵
朱天仕	唐铁城	卢长耿	宋京其	黄效国	吴 筠
徐文灿	史习先				

编 辑 人 员

周国庆	张红兵	任文斗	张兴辉	刘 哲	武志怡
段志兵	辛 田				

《机械设计手册》单行本 出版说明

在我国机械设计界享有盛名的《机械设计手册》，自1969年第一版出版发行以来，已经修订了四版，累计销售量超过113万套，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年至2002年，连续被评为全国优秀畅销书。

《机械设计手册》第四版（5卷本），以其技术性和实用性强、标准和数据可靠、思路和方法可行、使用和核查方便等特点，受到广大机械设计工作者和工程技术人员的首肯和厚爱。自2002年初出版发行以来，已累计销售24000多套，收到读者来信数千封。山西省太原重型机器厂设计院的一位工程技术人员在来信中说，“《机械设计手册》（第四版）赢得了我们机械设计者的好评。特别是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，是我们设计工作者不可缺少的好助手。”江苏省南通市的一位退休工程师说，“我从事机械设计工作40余年，最初用的是1969年的《机械设计手册》第一版，后来陆续使用第二版、第三版，现在已经退休。近来逛书店，突然发现《机械设计手册》新出的第四版，爱不释手，自己买了一套收藏，它是我一生事业中最亲密、最忠诚的伴侣。”湖南省湘潭市江麓机械集团有限公司、辽宁省鞍山焦化耐火材料设计总院的读者认为，“《机械设计手册》第四版资料全面、新颖、准确、可靠，突出了实用性，从机械人员的角度出发，反映先进性，设计方法、公式选择、参数选用都采用最新标准，实用便查。”广大读者在对《机械设计手册》第四版的内容给予充分肯定的同时，也指出了《机械设计手册》第四版（5卷本）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。其中武汉钢铁设计研究总院、重庆钢铁设计研究总院、内蒙古包头钢铁设计研究院、哈尔滨重型机器厂研究所、沈阳铁路分局沈东机械总厂、兰州铁道学院、天津工程机械研究院等众多单位的读者都纷纷来函、来电，建议将《机械设计手册》第四版以篇为单位改编为多卷本。

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、机械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，决定编辑出版《机械设计手册》单行本。

《机械设计手册》单行本，保留了《机械设计手册》第四版（5卷本）的优势和特色，从设计工作的实际出发，结合机械设计专业的具体情况，将原来的5卷23篇调整为15分册22篇，分别为：《常用设计资料》、《机械制图·极限与配合》、《常用工程材料》、《联接与紧固》、《轴及其联接》、《轴承》、《弹簧·起重运输件·五金件》、《润滑与密封》、《机械传动》、《减（变）速器·电机与电器》、《机械振动·机架设计》、《机构》、《液压传动》、《液压控制》、《气压传动》。原第5卷第23篇中“中外金属材料、滚动轴承、液压介质等牌号对照”内容，分别编入《常用工程材料》、《轴承》、《润滑与密封》、《液压传动》、《气压传动》等单行本中。这样，全套书查阅和携带更加方便，各分册篇幅适中，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》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》第四版（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》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人员表示诚挚的敬意！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
2004年1月

第四版前言

《机械设计手册》第一版于1969年问世,30多年来,共修订了三版,发行110余万套,受到了广大读者的欢迎和厚爱。

《机械设计手册》第三版于1994年出版发行,至今已有8年的时间。在这期间,我国的改革开放取得了举世瞩目的成就,以信息技术为代表的高新技术产业迅猛发展,经济建设日新月异。作为世界贸易组织的新成员,我国在进一步加强对外开放,顺应经济全球化潮流,主动参与国际竞争与合作的同时,也必将面对更为激烈的竞争和更加严峻的挑战。作为机械设计工作者,要参与激烈的竞争,迎接严峻的挑战,就必须积极快速地开发具有国际先进水平、形成自身特色的高质量的新产品。

《机械设计手册》第四版修订就是以满足新产品开发设计的需要为宗旨而进行的。因此,本版除了继续发扬前三版“实用可靠、内容齐全、简明便查”的特点外,首先着重推荐了许多实用的新技术、新产品、新材料和新工艺,并扩大了相应产品的品种和规格范围,同时全面采用了最新标准。调整了部分篇章,修改删节了不足和错误之处。全书仍分五卷出版,修订情况如下。

1. 采用新技术方面:

(1) 为便于设计人员充分利用通用的、先进的数字仿真软件,快速地进行液压伺服系统的数字仿真与动态分析,专门撰写了MATLAB仿真软件及其在液压控制系统仿真中的应用。气压传动进行了全面更新,包括了现代气压传动最新技术的各主要方面,推荐了阀岛技术、导杆气缸、仿生气动肌腱(一种能卷折起来的便于携带的新型气动驱动器)和模块化气动机械手等。

(2) 传动方面增加了“新型非零变位锥齿轮及双曲齿轮技术”和活齿传动。新型非零变位锥齿轮及双曲齿轮技术突破了零传动设计的制约,创立了非零传动设计。用此设计制造出的齿轮,在轴交角保持不变的条件下,具有高强度、长寿命、低噪声、小体积、大速比、少齿数等优点。该技术具有国际先进或领先水平,适用于高强度正传动设计,小体积小型设计,低噪声负传动设计等,并便于引进产品国产化,新产品开发创优和老产品改进,已在国内许多产品上推广使用。

(3) 介绍了金属-橡胶复合弹簧的设计计算。

(4) 介绍了几种新型热处理和新型表面处理工艺。

2. 采用新材料、新产品方面:

(1) 材料全面采用最新国家标准、行业标准,并推荐了许多新型材料品种,扩大了相应的规格范围。

(2) 联接与紧固、传动零部件、滚动轴承以及大部分或全部液压、气压传动和控制零部件都采用了最新标准及新产品,同时新增加了空气轴承、电磁轴承、膜片联轴器、膜片弹簧、盘形制动器、惯性制动器、电液推杆等,大大丰富了机械零部件的品种和规格范围。

(3) 在同类手册中首次编入了锚固联接一章,锚固联接技术有利于改善和加快设备的安装。

3. 补充了多点柔性传动的动力计算,从而完善了多点柔性传动的设计内容。

4. 为引起读者在新产品开发设计中重视产品的造型设计,特别在第1篇中增加了结构设计应与造型设计相结合的内容。

5. 扩大了几种常用设计资料的中外对照范围,更加便于今后的中外交流和产品开发中的国内外产品选择和配套。

6. 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。

7. 目前国家各级标准修订工作正处在向国际标准接轨时期, 加之组织机构的调整, 使各类标准工作未能同步进行, 因此, 手册中的一些名词、术语以及单位等, 未能完全统一。同时, 手册在引用各种标准时, 也都是根据设计需要进行摘编的, 请读者在使用中注意。

8. 对篇章结构作了部分调整。将第 1 篇原第 12 章通用技术条件及说明, 分散到该篇相关工艺性及结构要素各章, 更便于查阅, 原第 11 章变为第 12 章, 并增加了结构设计应与造型设计相结合的内容 (第 11 章)。第 5 篇联接与紧固增加了锚固联接一章。考虑机电一体化产品发展很快, 原第 22 篇内容已无法满足产品开发设计的需要, 若继续更新扩大, 则手册篇幅过大, 使用不便, 故第四版未再将此内容编入手册, 而是单独组织编写了《光机电一体化产品设计手册》一书。

为了满足新产品开发设计的需要, 我们还陆续组织编写了《机械设计图册》(已出版)、《光机电一体化产品设计使用手册》(已出版)、《现代设计方法实用手册》、《新产品开发设计指南》、《技术创新专利申请策划基础》等新书目。这几套书既各自独立, 又有内在联系, 但其共同点都是有助于新产品的开发, 强调实用性、启发性、开拓性和先进性相结合, 构成一套比较系统的、风格独特的机械新产品开发设计系列工具书。

《机械设计手册》第四版是在前几版基础上重新编写而成的。借《机械设计手册》第四版出版之际, 再次向参加每版编写的单位和个人表示衷心地感谢! 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!

由于水平有限, 调查研究工作不够全面, 《机械设计手册》第四版中难免存在疏漏和缺点, 恳请广大读者继续给予指正。

主 编
2001 年 11 月

内 容 提 要

《机械设计手册》单行本共 15 分册 22 篇,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、极限与配合》、《常用工程材料》、《联接与紧固》、《轴及其联接》、《轴承》、《弹簧·起重运输件·五金件》、《润滑与密封》、《机械传动》、《减(变)速器·电机与电器》、《机械振动·机架设计》、《机构》、《液压传动》、《液压控制》、《气压传动》。

本书为《液压控制》,共 6 章。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、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、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的工具书,也可供大专院校有关专业师生参考。

目 录

第 21 篇 液 压 控 制

第 1 章 控制理论基础	21-3
1 控制系统的一般概念	21-3
1.1 反馈控制原理	21-3
1.2 反馈控制系统的组成、类型和要求	21-3
2 线性控制系统的数学描述	21-4
2.1 微分方程	21-4
2.2 传递函数及方块图	21-5
2.3 控制系统的传递函数	21-7
2.4 信号流图及梅逊增益公式	21-8
2.4.1 信号流图和方块图的对应关系	21-8
2.4.2 梅逊增益公式	21-9
2.5 机、电、液系统中的典型环节	21-10
2.6 频率特性	21-11
2.6.1 频率特性的定义、求法及表示方法	21-11
2.6.2 开环波德图、奈氏图和尼柯尔斯图的绘制	21-12
2.7 单位脉冲响应函数和单位阶跃响应函数	21-14
3 线性控制系统的性能指标	21-15
4 线性反馈控制系统分析	21-16
4.1 稳定性分析	21-16
4.1.1 稳定性定义和系统稳定的充要条件	21-16
4.1.2 稳定性准则	21-16
4.1.3 稳定裕量	21-18
4.2 控制系统动态品质分析	21-19
4.2.1 时域分析法	21-19
4.2.2 频率分析法	21-22
4.2.3 控制系统波德图的绘制	21-24
4.3 控制系统的误差分析	21-24
4.3.1 误差和误差传递函数	21-24
4.3.2 稳态误差的计算	21-25
4.3.3 改善系统稳态品质的主要方法	21-26
5 线性控制系统的校正	21-26
5.1 校正方式和常用的校正装置	21-26
5.1.1 校正方式	21-26
5.1.2 常用的校正装置	21-27
5.2 用期望特性法确定校正装置	21-31
5.2.1 期望特性的绘制	21-31
5.2.2 校正装置的确定	21-32
5.3 用综合性能指标确定校正装置	21-33
6 非线性反馈控制系统	21-34
6.1 概述	21-34
6.2 描述函数的概念	21-35
6.3 描述函数法分析非线性控制系统	21-38
6.3.1 稳定性分析	21-38
6.3.2 振荡稳定性分析	21-39
6.3.3 消除自激振荡的方法	21-39
6.3.4 非线性特性的利用	21-39
6.3.5 非线性系统分析举例	21-40
7 控制系统的仿真	21-40
7.1 系统仿真的基本概念	21-40
7.1.1 模拟仿真和数字仿真	21-40
7.1.2 仿真技术的应用	21-42
7.2 连续系统离散相似法数字仿真	21-42
7.2.1 离散相似法的原理	21-42
7.2.2 连接矩阵及程序框图	21-43
8 线性离散控制系统	21-45
8.1 概述	21-45
8.1.1 信号的采样过程	21-45
8.1.2 信号的复原	21-45
8.1.3 数字控制系统的离散脉冲模型	21-46
8.2 Z 变换	21-46
8.2.1 Z 变换定义	21-46
8.2.2 Z 变换的基本性质	21-48
8.2.3 Z 反变换	21-49
8.2.4 用 Z 变换求解差分方程	21-49
8.3 脉冲传递函数	21-50
8.3.1 脉冲传递函数的定义	21-50
8.3.2 离散控制系统的脉冲传递函数	21-50
8.4 离散控制系统分析	21-51
8.4.1 稳定性分析	21-51
8.4.2 过渡过程分析	21-52
8.4.3 稳态误差分析	21-52
第 2 章 液压控制概述	21-54
1 液压控制系统与液压传动系统的比较	21-54
2 电液伺服系统与电液比例系统的比较	21-55
3 液压伺服系统的组成及分类	21-55
4 液压伺服系统的几个重要概念	21-56

5 液压伺服系统的基本特性	21-56	2.4 动力元件的参数选择与计算	21-88
6 液压伺服系统的优点、难点及应用	21-57	3 伺服阀	21-89
第3章 液压控制元件、液压动力元件、		3.1 伺服阀的组成及分类	21-89
 伺服阀	21-59	3.1.1 伺服阀的组成及反馈方式	21-89
1 液压控制元件	21-59	3.1.2 伺服阀的分类及输出特性	21-90
1.1 液压控制元件概述	21-59	3.1.3 电气-机械转换器的类型、原理及 特点	21-90
1.1.1 液压控制元件的类型及特点	21-59	3.2 典型伺服阀的结构及工作原理	21-91
1.1.2 液压控制阀的类型、原理及 特点	21-59	3.3 伺服阀的特性及性能参数	21-95
1.1.3 液压控制阀的静态特性及其阀 系数的定义	21-60	3.4 伺服阀的选择、使用及维护	21-98
1.1.4 液压控制阀的液压源类型	21-61	3.5 伺服阀的试验	21-99
1.2 滑阀	21-61	3.5.1 试验的类型及项目	21-100
1.2.1 滑阀的种类及特征	21-61	3.5.2 标准试验条件	21-100
1.2.2 滑阀的静态特性及阀系数	21-62	3.5.3 试验回路及测试装置	21-101
1.2.3 滑阀的力学特性	21-64	3.5.4 试验内容及方法	21-101
1.2.4 滑阀的功率特性及效率	21-65	第4章 液压伺服系统的设计计算	21-103
1.2.5 滑阀的设计	21-66	1 电液伺服系统的设计计算	21-103
1.3 喷嘴挡板阀	21-67	1.1 电液位置伺服系统的设计计算	21-103
1.3.1 喷嘴挡板阀的种类、原理及 应用	21-67	1.1.1 电液位置伺服系统的类型及 特点	21-103
1.3.2 喷嘴挡板阀的静态特性	21-68	1.1.2 电液位置伺服系统的方块图、 传递函数及波德图	21-103
1.3.3 喷嘴挡板阀的力特性	21-69	1.1.3 电液位置伺服系统的稳定性 计算	21-105
1.3.4 喷嘴挡板阀的设计	21-69	1.1.4 电液位置伺服系统的闭环频率 响应	21-105
1.4 射流管阀	21-69	1.1.5 电液位置伺服系统的分析及 计算	21-107
1.4.1 射流管阀的紊流淹没射流特征 ..	21-70	1.2 电液速度伺服系统的设计计算	21-108
1.4.2 流量恢复系数与压力恢复系数 ..	21-70	1.2.1 电液速度伺服系统的类型及控制 方式	21-108
1.4.3 射流管阀的静态特性	21-71	1.2.2 电液速度伺服系统的分析与 校正	21-109
1.4.4 射流管阀的特点及应用	21-71	1.3 电液力(压力)伺服系统的分析与 设计	21-111
2 液压动力元件	21-72	1.3.1 电液力伺服系统的类型及 特点	21-111
2.1 液压动力元件的类型、特点及应用 ..	21-72	1.3.2 电液驱动力伺服系统的分析与 设计	21-111
2.2 液压动力元件的静态特性及其负载 匹配	21-72	1.3.3 电液负载力伺服系统的分析与 设计	21-115
2.2.1 动力元件的静态特性	21-72	1.4 电液伺服系统的设计方法及步骤	21-117
2.2.2 负载特性及其等效	21-73	2 机液伺服系统的设计计算	21-121
2.2.3 阀控动力元件与负载特性的 匹配	21-75	2.1 机液伺服系统的类型及应用	21-121
2.3 液压动力元件的动态特性	21-75	2.1.1 阀控机液伺服系统	21-121
2.3.1 对称四通阀控制对称缸的动态 特性	21-75	2.1.2 泵控机液伺服系统	21-124
2.3.2 对称四通阀控制不对称缸 分析	21-81	2.2 机液伺服机构的分析与设计	21-125
2.3.3 三通阀控制不对称缸的动态 特性	21-83		
2.3.4 四通阀控制液压马达的动态 特性	21-84		
2.3.5 泵控马达的动态特性	21-86		

3 电液伺服油源的分析与设计	21-126	5 伺服液压缸的设计计算	21-150
3.1 对液压伺服油源的要求	21-126	5.1 伺服液压缸与传动液压缸的区别	21-150
3.2 液压伺服油源的类型、特点及 应用	21-127	5.2 伺服液压缸的设计步骤	21-150
3.3 液压伺服油源的参数选择	21-127	5.3 伺服液压缸的设计要点	21-151
3.4 液压伺服油源特性分析	21-128	6 液压伺服系统设计实例	21-152
3.4.1 定量泵-溢流阀油源	21-128	6.1 液压压下系统的功能及控制原理	21-152
3.4.2 恒压变量泵油源	21-129	6.2 设计任务及控制要求	21-154
4 液压伺服系统的污染控制	21-130	6.3 APC 系统的控制模式及工作参数的 计算	21-155
4.1 液压污染控制的基础知识	21-130	6.4 APC 系统的数学模型	21-157
4.1.1 液压污染的定义与类型	21-130	7 液压伺服系统的安装、调试与测试	21-159
4.1.2 液压污染物的种类及来源	21-130	8 控制系统的工具软件 MATLAB 及其在 仿真中的应用	21-160
4.1.3 固体颗粒污染物及其危害	21-131	8.1 MATLAB 仿真工具软件简介	21-160
4.1.4 油液中的水污染、危害及脱水 方法	21-131	8.2 液压控制系统 APC 仿真实例	21-161
4.1.5 油液中的空气污染、危害及脱气 方法	21-132	8.2.1 建模步骤	21-161
4.1.6 油液污染度的测量方法及特点	21-132	8.2.2 运行及设置	21-163
4.1.7 液压污染控制中的有关概念	21-133	第 5 章 电液比例系统的设计计算	21-170
4.2 油液污染度等级标准	21-134	1 概述	21-170
4.2.1 GB/T 14039—1993《液压传动— 油液—固体颗粒污染等级 代号法》	21-134	1.1 电液比例系统的组成、原理、分类 及特点	21-170
4.2.2 ISO 4406—1987 液压传动—油液— 固体颗粒污染等级代号法	21-136	1.2 电液比例控制系统的性能要求	21-173
4.2.3 ISO 4406—1999 液压传动—油液— 固体颗粒污染等级代号法	21-136	1.3 电液比例阀体系的发展与应用 特点	21-173
4.2.4 PALL 污染度等级代号	21-139	2 电-机械转换器	21-174
4.2.5 NAS 1638 污染度等级标准	21-139	2.1 常用电-机械转换器简要比较	21-175
4.2.6 SAE 749D 污染度等级标准	21-140	2.2 比例电磁铁的基本工作原理和典型 结构	21-175
4.2.7 几种污染度等级对照表	21-141	2.3 常用比例电磁铁的技术参数	21-178
4.3 不同污染度等级油液的显微图像 比较	21-141	2.4 比例电磁铁使用注意事项	21-179
4.4 伺服阀的污染控制	21-142	3 电液比例压力控制阀	21-179
4.4.1 伺服阀的失效模式、后果及失效 原因	21-142	3.1 电液比例压力阀概述	21-179
4.4.2 伺服阀的典型结构及主要 特征	21-143	3.2 比例溢流阀的若干共性问题	21-179
4.4.3 伺服阀对油液清洁度的要求	21-143	3.3 电液比例压力阀的典型结构及工作 原理	21-181
4.5 液压伺服系统的全面污染控制	21-144	3.4 典型比例压力阀的主要性能 指标	21-188
4.5.1 系统清洁度的推荐等级代号	21-144	3.5 电液比例压力阀的性能	21-188
4.5.2 过滤系统的设计	21-146	3.6 电液比例压力控制回路及 系统	21-191
4.5.3 液压元件、液压部件（装置）及 管道的污染控制	21-148	4 电液比例流量控制阀	21-195
4.5.4 系统的循环冲洗	21-149	4.1 电液比例流量控制概述	21-195
4.5.5 过滤系统的日常检查及清洁度 检验	21-149	4.2 电液比例流量控制的分类	21-195
		4.3 由节流型转变为调速型的基本 途径	21-196
		4.4 电液比例流量控制阀的典型结构 及工作原理	21-196

4.5	电液比例流量控制阀的性能	21-200
4.6	节流阀的特性	21-200
4.7	流量阀的特性	21-201
4.8	二通与三通流量阀工作原理与能耗对比	21-203
4.9	电液比例流量阀动态特性试验系统	21-205
4.10	电液比例流量控制回路及系统	21-205
4.11	电液比例压力流量复合控制阀	21-207
5	电液比例方向流量控制阀	21-208
5.1	比例方向节流阀特性与选用	21-208
5.2	比例方向流量阀特性	21-211
6	比例多路阀	21-214
6.1	概述	21-214
6.2	六通多路阀的微调特性	21-215
6.3	四通多路阀的负载补偿与负载适应	21-215
7	电液比例方向流量控制阀典型结构和工作原理	21-218
8	伺服比例阀	21-222
8.1	从比例阀到伺服比例阀	21-222
8.2	伺服比例阀	21-222
8.3	伺服比例阀产品特性示例	21-224
9	电液比例流量控制的回路及系统	21-227
10	电液比例容积控制	21-230
10.1	变量泵的基本类型	21-231
10.2	基本电液变量泵的原理与特点	21-231
10.3	应用示例——塑料注射机系统	21-233
11	电控器	21-235
11.1	电控器的基本构成	21-235
11.2	电控器的关键环节及其功能	21-236
11.3	两类基本放大器	21-238
11.4	放大器的设定信号选择	21-238
11.5	闭环比例放大器	21-238
12	电液控制系统设计的若干问题	21-239
12.1	三大类系统的界定	21-239
12.2	比例系统的新思考	21-239
12.3	比例节流阀系统的设计示例	21-239
	参考文献	21-241

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	21-243
1.1	国内电液伺服阀主要产品	21-243

1.1.1	双喷嘴挡板力反馈式电液伺服阀	21-243
1.1.2	双喷嘴挡板电反馈式 (FF108、FF109、QDY3、QDY8、DYSF 型) 电液伺服阀	21-246
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	21-247
1.1.4	动压反馈 (FF103 型)、双喷嘴挡板压力反馈 (DYSF-3P 型)、带液压锁 (FF107A 型)、射流管式力反馈 (CSDY、FSDY、SSDY 型) 电液伺服阀	21-248
1.1.5	动圈式 SV9、SVA9 伺服阀	21-249
1.1.6	动圈式 SVA8、SVA10 伺服阀	21-249
1.2	国外主要电液伺服阀产品	21-251
1.2.1	双喷嘴挡板力反馈式电液伺服阀 (MOOG)	21-251
1.2.2	双喷嘴挡板力反馈式电液伺服阀 (DOWTY、SW4)	21-252
1.2.3	双喷嘴挡板反馈式电液伺服阀 (MOOG D76 系列)	21-253
1.2.4	直动电反馈式伺服阀 (MOOG D63 系列)	21-255
1.2.5	电反馈三级伺服阀	21-256
1.2.6	电反馈三级阀 D791 和 D792 系列 (MOOG)	21-257
1.2.7	EMG 伺服阀 SV1-10	21-258
2	比例阀主要产品	21-260
2.1	国内比例阀主要产品	21-260
2.1.1	BQY-G 型电液比例三通调速阀	21-260
2.1.2	BFS 和 BSL 型比例方向流量阀	21-260
2.1.3	BY※型比例溢流阀	21-260
2.1.4	3BYL 型比例压力-流量复合阀	21-261
2.1.5	4BEY 型比例方向阀	21-261
2.1.6	BY 型比例溢流阀	21-262
2.1.7	BJY 型比例减压阀	21-262
2.1.8	DYBL 和 DYBQ 型比例节流阀	21-262
2.1.9	BPQ 型比例压力流量复合阀	21-263
2.1.10	4B 型比例方向阀	21-263

2.1.11	4WRA 型电磁比例换向阀	21-264	2.2.13	比例控制阀	21-289
2.1.12	4WRE 型电磁比例换向阀	21-265	2.2.14	插装式比例节流阀	21-293
2.1.13	4WR ^Z _H 型电液比例方向阀	21-266	2.2.15	BOSCH 插头式比例 放大器	21-294
2.1.14	DBETR 型比例压力 溢流阀	21-268	2.2.16	BOSCH 单通道/双通道盒 式放大器	21-295
2.1.15	DBE/DBEM 型比例 溢流阀	21-269	2.2.17	BOSCH 模块式放大器 1	21-296
2.1.16	3DREP6 三通比例压力 控制阀	21-270	2.2.18	BOSCH 模块式放大器 2	21-297
2.1.17	DRE/DREM 型比例 减压阀	21-270	2.2.19	BOSCH 单通道放大器 (不带 位移控制, 带缓冲)	21-298
2.1.18	ZFRE6 型二通比例 调速阀	21-271	2.2.20	BOSCH 双通道双工 放大器	21-299
2.1.19	ZFRE* 型二通比例 调速阀	21-273	2.2.21	BOSCH 不带缓冲的比例阀 放大器	21-300
2.1.20	ED 型比例遥控溢流阀	21-274	2.2.22	BOSCH 带电压控制式缓冲的 比例阀放大器	21-302
2.1.21	EB 型比例溢流阀	21-274	2.2.23	BOSCH 功率放大器 (带与 不带缓冲电子放大器)	21-304
2.1.22	ERB 型比例溢流减压阀	21-275	2.2.24	力士乐 (Rexroth) DBET 和 DBETE 型/5X 系列比例 溢流阀	21-307
2.1.23	EF (C) G 型比例 (带单向阀) 流量阀	21-275	2.2.25	力士乐 (Rexroth) DBETR/1X 系列比例溢流阀 (带位置 反馈)	21-309
2.1.24	EFB 型比例溢流调速阀	21-276	2.2.26	力士乐 (Rexroth) DBE (M) 和 DBE (M) E 型系列比例 溢流阀	21-312
2.2	国外电液伺服阀主要产品	21-277	2.2.27	力士乐 (Rexroth) 二位四通和 三位四通比例方向阀	21-314
2.2.1	BOSCH 比例溢流阀 (不带位移控制)	21-277	2.2.28	力士乐 (Rexroth) 4WRE, 1X 系列比例方向阀	21-315
2.2.2	BOSCH 比例溢流阀和线性比例 溢流阀 (带位移控制)	21-278	2.2.29	力士乐 (Rexroth) 三位四通 高频响 4WRSE, 3X 系列比例 方向阀	21-319
2.2.3	BOSCH NG6 带集成放大器比例 溢流阀	21-279	2.2.30	力士乐 (Rexroth) WRZ, WRZE 和 WRH 7X 系列比例 方向阀	21-322
2.2.4	BOSCH NG10 比例溢流阀和 比例减压阀 (带位移控制)	21-279	2.2.31	力士乐 (Rexroth) 4WRTE, 3X 系列高频响比例方 向阀	21-326
2.2.5	BOSCH NG6 三通比例减压阀 (不带/带位移控制)	21-280	2.2.32	力士乐 VT-VSPA2-1, 1X 系列 电子放大器	21-330
2.2.6	BOSCH NG6、NG10 比例节流 阀 (不带位移控制)	21-281	2.2.33	力士乐 VT5005 ~ 5008, 1X 系列 电子放大器	21-331
2.2.7	BOSCH NG6、NG10 比例节流 阀 (带位移控制)	21-282	2.2.34	力士乐 VT3000, 3X 系列电子 放大器	21-333
2.2.8	BOSCH NG10 带集成放大器 比例节流阀 (带位移控制)	21-283			
2.2.9	BOSCH 比例流量阀 (带位移 控制及不带位移控制)	21-284			
2.2.10	BOSCH 不带位移传感器比 例方向阀	21-286			
2.2.11	BOSCH 比例方向阀 (带位移控制)	21-287			
2.2.12	BOSCH 带集成放大器比例 方向阀	21-288			

2.2.35	力士乐 VT-VSPA1-1 和 VT-VSPA1K-1, 1X 系列电子放大器	21-334			液压缸	21-337
2.2.36	力士乐 VT2000, 5X 系列电子放大器	21-335		3.1.2	海特公司伺服液压缸	21-338
2.2.37	力士乐 VT5001 至 VT5004 和 VT5010, 2X 系列 VT5003, 4X 系列电子放大器	21-336		3.2	国外生产的伺服液压缸	21-340
3	伺服液压缸	21-337		3.2.1	力士乐 (Rexroth) 伺服液压缸	21-340
3.1	国内生产的伺服液压缸	21-337		3.2.2	MOOG 伺服液压缸	21-341
3.1.1	优瑞纳斯的 US 系列伺服			3.2.3	M085 系列伺服液压缸	21-342
				3.2.4	阿托斯 (Atos) 伺服液压缸	21-343
				参考文献		21-346

第 21 篇 液压控制

主 编 卢长耿

主要撰稿 林少芬 卢长耿 吴根茂 魏建华 钟荣龙 黄 奋

审 稿 卢长耿 宋京其 黄效国 姬奎生