

成大先 主编

机械设计手册

第六版



液压控制

HANDBOOK
MECHANICAL
DESIGN



化学工业出版社

机械设计手册

第六版

单行本

液压控制

主编单位 中国有色工程设计研究总院

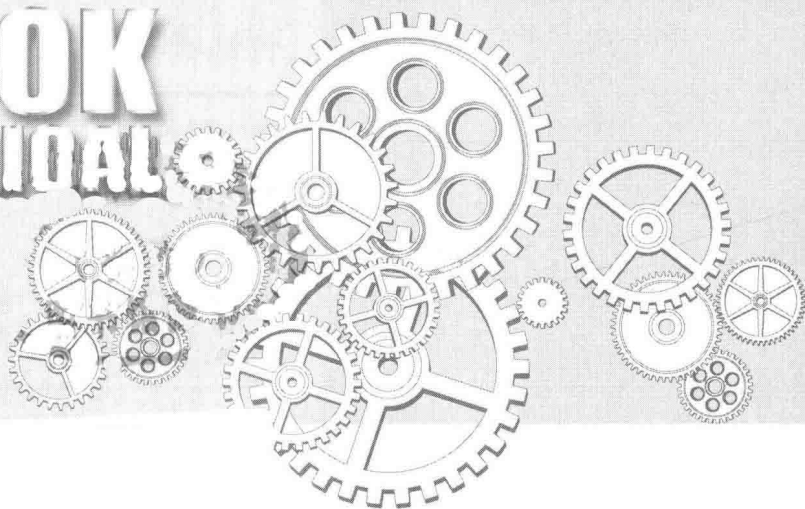
主 编 成大先

副主编 王德夫 姬奎生 韩学铨

姜 勇 李长顺 王雄耀

虞培清 成 杰 谢京耀

HANDBOOK
OF MECHANICAL
DESIGN



化学工业出版社

· 北 京 ·

《机械设计手册》第六版单行本共 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·结构设计》《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》。主要介绍了控制理论知识以及液压伺服系统的概念、特性和应用;液压控制元件(滑阀、喷嘴挡板阀、射流管阀和射流偏转板阀)、液压动力元件、伺服阀的特性、原理、性能参数及选用;液压伺服系统和伺服液压缸的设计计算,电液伺服油源的分析与设计,液压伺服系统污染控制方法、安装、调试与测试等;电液比例系统的设计计算;伺服阀、比例阀及伺服缸主要产品的型号、特点、技术性能和主要参数等。

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使用。

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. —6

版. —北京:化学工业出版社, 2017. 1

ISBN 978-7-122-28709-0

I. ①机… II. ①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(2016)第 309031 号

责任编辑:周国庆 张兴辉 贾娜 曾越
责任校对:王静

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:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 29 字数 1022 千字 2017 年 2 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:78.00 元

版权所有 违者必究

京化广临字 2016—23

撰稿人员

- | | | | |
|-----|--------------------|------|----------------|
| 成大先 | 中国有色工程设计研究总院 | 孙永旭 | 北京古德机电技术研究所 |
| 王德夫 | 中国有色工程设计研究总院 | 丘大谋 | 西安交通大学 |
| 刘世参 | 《中国表面工程》杂志、装甲兵工程学院 | 诸文俊 | 西安交通大学 |
| 姬奎生 | 中国有色工程设计研究总院 | 徐 华 | 西安交通大学 |
| 韩学铨 | 北京石油化工工程公司 | 谢振宇 | 南京航空航天大学 |
| 余梦生 | 北京科技大学 | 陈应斗 | 中国有色工程设计研究总院 |
| 高淑之 | 北京化工大学 | 张奇芳 | 沈阳铝镁设计研究院 |
| 柯蕊珍 | 中国有色工程设计研究总院 | 安 剑 | 大连华锐重工集团股份有限公司 |
| 杨 青 | 西北农林科技大学 | 迟国东 | 大连华锐重工集团股份有限公司 |
| 刘志杰 | 西北农林科技大学 | 杨明亮 | 太原科技大学 |
| 王欣玲 | 机械科学研究院 | 邹舜卿 | 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 | 邓述慈 | 西安理工大学 |
| 孙东辉 | 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 |
| 李福君 | 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 |
| 阮忠唐 | 西安理工大学 | 杜子英 | 中国有色工程设计研究总院 |
| 熊绮华 | 西安理工大学 | 汪德涛 | 广州机床研究所 |
| 雷淑存 | 西安理工大学 | 朱 炎 | 中国航宇救生装置公司 |
| 田惠民 | 西安理工大学 | 王鸿翔 | 中国有色工程设计研究总院 |
| 殷鸿樑 | 上海工业大学 | 郭 永 | 山西省自动化研究所 |
| 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 |
| 吴宗泽 | 清华大学 | 段慧文 | 中国有色工程设计研究总院 |
| 关天池 | 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 |
| 房庆久 | 中国有色工程设计研究总院 | 徐永年 | 郑州机械研究所 |
| 李建平 | 北京航空航天大学 | 梁桂明 | 河南科技大学 |
| 李安民 | 机械科学研究院 | 张光辉 | 重庆大学 |
| 李维荣 | 机械科学研究院 | 罗文军 | 重庆大学 |
| 丁宝平 | 机械科学研究院 | 沙树明 | 中国有色工程设计研究总院 |
| 梁全贵 | 中国有色工程设计研究总院 | 谢佩娟 | 太原理工大学 |
| 王淑兰 | 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 |
| 林基明 | 中国有色工程设计研究总院 | 陈祖元 | 广东工业大学 |
| 王孝先 | 中国有色工程设计研究总院 | 陈仕贤 | 北京航空航天大学 |
| 童祖楹 | 上海交通大学 | 郑自求 | 四川理工学院 |
| 刘清廉 | 中国有色工程设计研究总院 | 贺元成 | 泸州职业技术学院 |
| 许文元 | 天津工程机械研究所 | 季泉生 | 济南钢铁集团 |



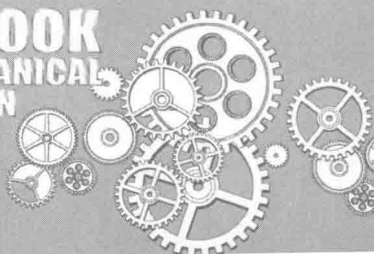
方正 中国重型机械研究院
 马敬勋 济南钢铁集团
 冯彦宾 四川理工学院
 袁林 四川理工学院
 孙夏明 北方工业大学
 黄吉平 宁波市镇海减变速机制造有限公司
 陈宗源 中冶集团重庆钢铁设计研究院
 张翌 北京太富力传动机器有限责任公司
 陈涛 大连华锐重工集团股份有限公司
 于天龙 大连华锐重工集团股份有限公司
 李志雄 大连华锐重工集团股份有限公司
 刘军 大连华锐重工集团股份有限公司
 蔡学熙 连云港化工矿山设计研究院
 姚光义 连云港化工矿山设计研究院
 沈益新 连云港化工矿山设计研究院
 钱亦清 连云港化工矿山设计研究院
 于琴 连云港化工矿山设计研究院
 蔡学坚 邢台地区经济委员会
 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

申连生 中冶迈克液压有限责任公司
 刘秀利 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
 周堉 中冶京城工程技术有限公司
 崔桂芝 北方工业大学
 佟新 中国有色工程设计研究总院
 禡有雄 天津大学
 林少芬 集美大学
 卢长耿 厦门海德科液压机械设备有限公司
 容同生 厦门海德科液压机械设备有限公司
 张伟 厦门海德科液压机械设备有限公司
 吴根茂 浙江大学
 魏建华 浙江大学
 吴晓雷 浙江大学
 钟荣龙 厦门厦顺铝箔有限公司
 黄畚 北京科技大学
 王雄耀 费斯托(FESTO)(中国)有限公司
 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
 蒋友谅 北京理工大学
 史习先 中国有色工程设计研究总院

— 审 稿 人 员 —

刘世参	成大先	王德夫	郭可谦	汪德涛	方正	朱炎	李钊刚
姜勇	陈谌闻	饶振纲	季泉生	洪允楸	王正	詹茂盛	姬奎生
张红兵	卢长耿	郭长生	徐文灿				

**HANDBOOK
OF MECHANICAL
DESIGN**



《机械设计手册》(第六版)单行本

出版说明

重点科技图书《机械设计手册》自1969年出版发行以来,已经修订至第六版,累计销售量超过130万套,成为新中国成立以来,在国内影响力最大的机械设计工具书,多次获得国家和省部级奖励。

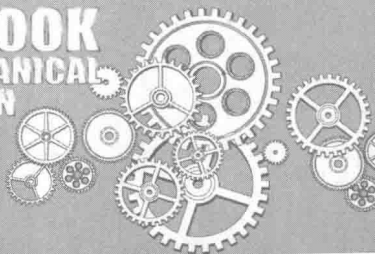
《机械设计手册》以其技术性和实用性强、标准和数据可靠、便于使用和查询等特点,赢得了广大机械设计工作者和工程技术人员的首肯和好评。自出版以来,收到读者来信数千封。广大读者在对《机械设计手册》给予充分肯定的同时,也指出了《机械设计手册》装帧太厚、太重,不便携带和翻阅,希望出版篇幅小些的单行本,诸多读者建议将《机械设计手册》以篇为单位改编为多卷本。

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。2011年,《机械设计手册》第五版单行本出版发行。

《机械设计手册》第六版(5卷本)于2016年初面市发行,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,都较第五版有很大改进。为更加贴合读者需求,便于读者有针对性地选用《机械设计手册》第六版中的部分内容,化学工业出版社在汲取《机械设计手册》前两版单行本出版经验的基础上,推出了《机械设计手册》第六版单行本。

《机械设计手册》第六版单行本,保留了《机械设计手册》第六版(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21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·结构设计》《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,有利于设计人员和广大读者根据各自需要

HANDBOOK
OF MECHANICAL
DESIGN



灵活选购。

《机械设计手册》第六版单行本将与《机械设计手册》第六版（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》第六版单行本出版之际，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，恳请广大读者给予批评指正。

化学工业出版社

2017年1月

**HANDBOOK
OF MECHANICAL
DESIGN**



《机械设计手册》自 1969 年第一版出版发行以来,已经修订了五次,累计销售量 130 万套,成为新中国成立以来,在国内影响力强、销售量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。1986~2015 年,多次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》(以下简称《手册》)第五版出版发行至今已有 8 年的时间,在这期间,我们进行了广泛的调查研究,多次邀请机械方面的专家、学者座谈,倾听他们对第六版修订的建议,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》第六版的具体修订情况如下。

一、在提高产品开发、创新设计方面

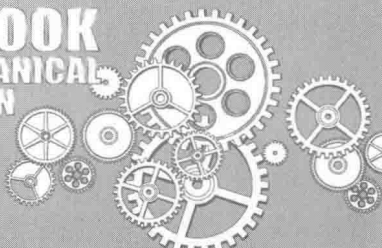
1. 新增第 5 篇“机械产品结构设计”,提出了常用机械产品结构设计的 12 条常用准则,供产品设计人员参考。

2. 第 1 篇“一般设计资料”增加了机械产品设计的巧(新)例与错例等内容。

3. 第 11 篇“润滑与密封”增加了稀有润滑装置的设计计算内容,以适应润滑新产品开发、设计的需要。

4. 第 15 篇“齿轮传动”进一步完善了符合 ISO 国际标准的渐开线圆柱齿轮设计,非零变位锥齿轮设计,点线啮合传动设计,多点啮合柔性传动设计等内容,例如增加了符合 ISO 标准的渐开线齿轮几何计算及算例,更新了齿轮精度等。

5. 第 23 篇“气压传动”增加了模块化电/气混合驱动技术、气动系统节能等内容。



二、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

1. 介绍了相关节能技术及产品，例如增加了气动系统的节能技术和产品、节能电机等。

2. 各篇介绍了许多新型的机械零部件，包括一些新型的联轴器、离合器、制动器、带减速器的电机、起重运输零部件、液压元件和辅件、气动元件等，这些产品均具有技术先进、节能等特点。

3. 新材料方面，增加或完善了铜及铜合金、铝及铝合金、钛及钛合金、镁及镁合金等内容，这些合金材料由于具有优良的力学性能、物理性能以及材料回收率高等优点，目前广泛应用于航天、航空、高铁、计算机、通信元件、电子产品、纺织和印刷等行业。

三、在贯彻推广标准化工作方面

1. 所有产品、材料和工艺均采用新标准资料，如材料、各种机械零部件、液压和气动元件等全部更新了技术标准和产品。

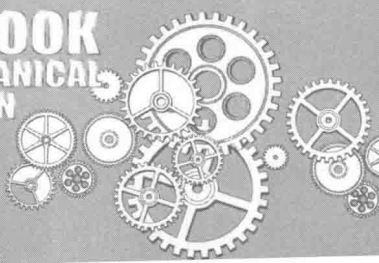
2. 为满足机械产品通用化、国际化的需要，遵照立足国家标准、面向国际标准的原则来收录内容，如第 15 篇“齿轮传动”更新并完善了符合 ISO 标准的渐开线齿轮设计等。

《机械设计手册》第六版是在前几版的基础上编写而成的。借《机械设计手册》第六版出版之际，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！

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

主 编

HANDBOOK
OF MECHANICAL
DESIGN



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

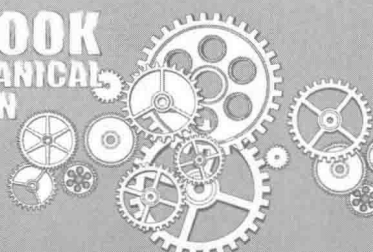
7.2 连续系统离散相似法数字仿真 22-42

7.2.1 离散相似法的原理 22-42

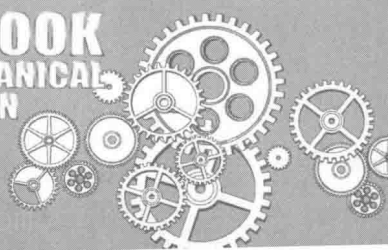
7.2.2 连接矩阵及程序框图 22-43

8 线性离散控制系统 22-45

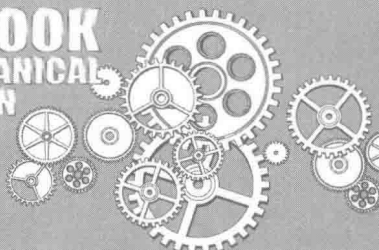
8.1 概述 22-45



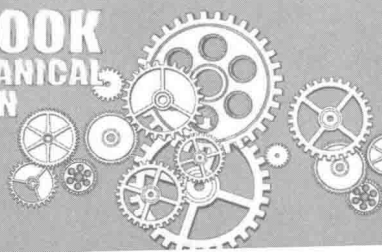
8.1.1 信号的采样过程	22-45	1.2.4 滑阀的功率特性及效率	22-66
8.1.2 信号的复原	22-46	1.2.5 滑阀的设计	22-66
8.1.3 数字控制系统的离散脉冲 模型	22-46	1.3 喷嘴挡板阀	22-67
8.2 Z变换	22-47	1.3.1 喷嘴挡板阀的种类、原理及 应用	22-67
8.2.1 Z变换定义	22-47	1.3.2 喷嘴挡板阀的静态特性	22-68
8.2.2 Z变换的基本性质	22-49	1.3.3 喷嘴挡板阀的力特性	22-69
8.2.3 Z反变换	22-49	1.3.4 喷嘴挡板阀的设计	22-69
8.2.4 用Z变换求解差分方程	22-50	1.3.5 喷嘴挡板阀用作先导级时的 实际结构	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动态 特性	22-85
1.1 液压控制元件概述	22-59	2.3.5 泵控马达的动态特性	22-87
1.1.1 液压控制元件的类型及特点	22-59	2.4 动力元件的参数选择与计算	22-89
1.1.2 液压控制阀的类型、原理及 特点	22-59	3 伺服阀	22-90
1.1.3 液压控制阀的静态特性及其阀 系数的定义	22-60	3.1 伺服阀的组成及分类	22-90
1.1.4 液压控制阀的液压源类型	22-61	3.1.1 伺服阀的组成及反馈方式	22-90
1.2 滑阀	22-61	3.1.2 伺服阀的分类及输出特性	22-91
1.2.1 滑阀的种类及特征	22-61		
1.2.2 滑阀的静态特性及阀系数	22-62		
1.2.3 滑阀的力学特性	22-64		



3.1.3 电气-机械转换器的类型、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步骤	22-120
3.3 伺服阀的特性及性能参数	22-96	2 机液伺服系统的设计计算	22-124
3.3.1 流量伺服阀的特性及性能参数	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参数	22-99	2.1.1 阀控机液伺服系统	22-124
3.4 伺服阀的选择、使用及维护	22-101	2.1.2 泵控机液伺服系统	22-127
3.5 伺服阀的试验	22-102	2.2 机液伺服机构的分析与设计	22-128
3.5.1 试验的类型及项目	22-103	3 电液伺服油源的分析与设计	22-129
3.5.2 标准试验条件	22-103	3.1 对液压伺服油源的要求	22-129
3.5.3 试验回路及测试装置	22-104	3.2 液压伺服油源的类型、特点及应用	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计算	22-106	3.4.2 恒压变量泵油源	22-132
1.1.1 电液位置伺服系统的类型及特点	22-106	4 液压伺服系统的污染控制	22-133
1.1.2 电液位置伺服系统的方块图、传递函数及波德图	22-106	4.1 液压污染控制的基础知识	22-133
1.1.3 电液位置伺服系统的稳定性计算	22-108	4.1.1 液压污染的定义与类型	22-133
1.1.4 电液位置伺服系统的闭环频率响应	22-108	4.1.2 液压污染物的种类及来源	22-133
1.1.5 电液位置伺服系统的分析及计算	22-110	4.1.3 固体颗粒污染物及其危害	22-134
1.2 电液速度伺服系统的设计计算	22-111	4.1.4 油液中的水污染、危害及脱水方法	22-134
1.2.1 电液速度伺服系统的类型及控制方式	22-111	4.1.5 油液中的空气污染、危害及脱气方法	22-135
1.2.2 电液速度伺服系统的分析与校正	22-112	4.1.6 油液污染度的测量方法及特点	22-136
1.3 电液力(压力)伺服系统的分析与设计	22-114	4.1.7 液压污染控制中的有关概念	22-136
1.3.1 电液力伺服系统的类型及特点	22-114	4.2 油液污染度等级标准	22-137
1.3.2 电液驱动力伺服系统的分析与设计	22-114	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
1.3.3 电液负载力伺服系统的分析		4.2.2 PALL 污染度等级代号	22-140
		4.2.3 NAS 1638 污染度等级标准	22-140
		4.2.4 SAE 749D 污染度等级标准	22-141
		4.2.5 几种污染度等级对照表	22-142
		4.3 不同污染度等级油液的显微图像比较	22-142
		4.4 伺服阀的污染控制	22-143



4.4.1 伺服阀的失效模式、后果及失效原因	22-143	特点	22-176
4.4.2 双喷嘴挡板伺服阀的典型结构及主要特征	22-144	2 电-机械转换器	22-177
4.4.3 伺服阀对油液清洁度的要求	22-146	2.1 常用电-机械转换器简要比较	22-178
4.5 液压伺服系统的全面污染控制	22-146	2.2 比例电磁铁的基本工作原理和典型结构	22-178
4.5.1 系统清洁度的推荐等级代号	22-146	2.3 常用比例电磁铁的技术参数	22-181
4.5.2 过滤系统的设计	22-149	2.4 比例电磁铁使用注意事项	22-182
4.5.3 液压元件、液压部件(装置)及管道的污染控制	22-151	3 电液比例压力控制阀	22-182
4.5.4 系统的循环冲洗	22-152	3.1 概述	22-182
4.5.5 过滤系统的日常检查及清洁度检验	22-152	3.2 比例溢流阀的若干共性问题	22-182
5 伺服液压缸的设计计算	22-153	3.3 电液比例压力阀的典型结构及工作原理	22-184
5.1 伺服液压缸与传动液压缸的区别	22-153	3.4 典型比例压力阀的主要性能指标	22-191
5.2 伺服液压缸的设计步骤	22-153	3.5 电液比例压力阀的性能	22-191
5.3 伺服液压缸的设计要点	22-154	3.6 电液比例压力控制回路及系统	22-194
6 液压伺服系统设计实例	22-155	4 电液比例流量控制阀	22-198
6.1 液压压下系统的功能及控制原理	22-155	4.1 电液比例流量控制的分类	22-198
6.2 设计任务及控制要求	22-157	4.2 由节流型转变为调速型的基本途径	22-199
6.3 APC 系统的控制模式及工作参数的计算	22-158	4.3 电液比例流量控制阀的典型结构及工作原理	22-199
6.4 APC 系统的数学模型	22-160	4.4 电液比例流量控制阀的性能	22-203
7 液压伺服系统的安装、调试与测试	22-162	4.5 节流阀的特性	22-203
8 控制系统的工具软件 MATLAB 及其在仿真中的应用	22-163	4.6 流量阀的特性	22-204
8.1 MATLAB 仿真工具软件简介	22-163	4.7 二通与三通流量阀工作原理与能耗对比	22-206
8.2 液压控制系统位置自动控制(APC)仿真实例	22-164	4.8 电液比例流量阀动态特性试验系统	22-208
8.2.1 建模步骤	22-164	4.9 电液比例流量控制回路及系统	22-208
8.2.2 运行及设置	22-167	4.10 电液比例压力流量复合控制阀	22-210
第5章 电液比例系统的设计		5 电液比例方向流量控制阀	22-211
计算	22-173	5.1 比例方向节流阀特性与选用	22-211
1 概述	22-173	5.2 比例方向流量阀特性	22-214
1.1 电液比例系统的组成、原理、分类及特点	22-173	6 比例多路阀	22-217
1.2 电液比例控制系统的性能要求	22-176	6.1 概述	22-217
1.3 电液比例阀体系的发展与应用		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



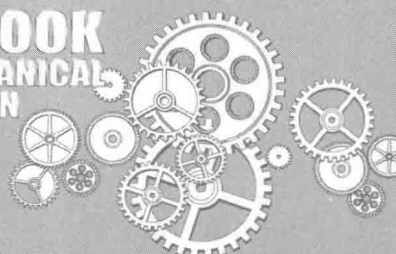
8 伺服比例阀	22-225
8.1 从比例阀到伺服比例阀	22-225
8.2 伺服比例阀	22-225
8.3 伺服比例阀产品特性示例	22-227
9 电液比例流量控制的回路及系统	22-230
10 电液比例容积控制	22-233
10.1 变量泵的基本类型	22-234
10.2 基本电液变量泵的原理与特点	22-234
10.3 应用示例——塑料注射机系统	22-236
11 电控器	22-238
11.1 电控器的基本构成	22-238
11.2 电控器的关键环节及其功能	22-239
11.3 两类基本放大器	22-241
11.4 放大器的设定信号选择	22-241
11.5 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

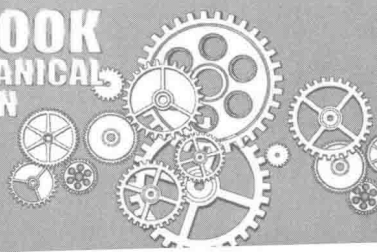
主要产品简介

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三级 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)、 P-Q 型伺服阀 (FF118)、双喷嘴- 挡板喷嘴压力反馈式压力阀	

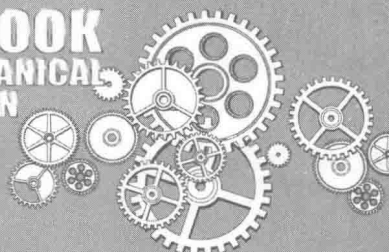
(DYSF-3P)、射流管力反馈式 伺服阀 (CSDY 系列、三线圈 电余度 DSDY、抗污染 CSDK)	22-261
1.1.5 动圈式伺服阀 (SV9、 SVA9)	22-262
1.1.6 动圈式伺服阀 (SVA8、 SVA10)	22-262
1.1.7 直动式电液伺服阀 (DDV 阀) (FF133、QDYD-1-40、QDYD-1- 100)、射流管式伺服阀 (FF129、 FF134)、双喷嘴挡板力反馈 伺服阀 YF	22-264
1.2 国外主要电液伺服阀产品	22-265
1.2.1 双喷嘴力反馈式电液伺服阀 (MOOG)	22-265
1.2.2 双喷嘴挡板力反馈式电液伺 服阀 (DOWTY、SM4)	22-266
1.2.3 双喷嘴挡板力反馈伺服阀 (DY 型、PH76 型)	22-267
1.2.4 双喷嘴力反馈伺服阀 (SE 型)、 双喷嘴电反馈伺服阀 (SE2E 型)、 射流偏转板力反馈伺服阀 (BD 型)	22-268
1.2.5 PARKER 动圈 (VCD) 式电反馈 直接驱动阀 D1FP* S、D1FP、 D3FP* 3 和 D3FP 系列 伺服阀	22-269
1.2.6 ATOS 公司 DLHZO-T* 和 DLKZOR-T* 型直动式比例伺服阀	22-271
1.2.7 双喷嘴挡板力反馈式 (MOOG D761) 和电反馈式电液伺服阀 (MOOG D765)	22-274
1.2.8 直动电反馈式伺服阀 (DDV) MOOG D633 及 D634 系列	22-276
1.2.9 电反馈三级伺服阀 MOOG D791 和 D792 系列	22-277
1.2.10 EMG 伺服阀 SV1-10	22-279
1.2.11 MOOG D661 ~D665 系列电	



反馈伺服阀	22-281	伺服阀外形及安装尺寸	22-305
1.2.12 伺服射流管电反馈高响应二级 伺服阀 MOOG D661 GC 系列	22-284	1.3.9 FF109 和 DYSF-3G ⁻¹ ₁₁ 型电反馈 三级阀外形及安装尺寸	22-306
1.2.13 MOOG D636 和 D637 带数字 电路和现场总线接口的直动式 比例伺服阀	22-287	1.3.10 SV (CSV) 和 SVA 型电液 伺服阀外形及安装尺寸	22-307
1.2.14 射流管力反馈伺服阀 Abex 和 射流偏转板力反馈伺服阀 MOOG26 系列	22-291	1.3.11 YJ741、YJ742 和 YJ861 型 电液伺服阀外形及安装 尺寸	22-308
1.2.15 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	22-291	1.3.12 CSDY 和 Abex 型电液伺服阀 外形及安装尺寸	22-309
1.3 电液伺服阀的外形及安装尺寸	22-298	1.3.13 FF129 和 FF134 型伺服阀 外形和安装尺寸	22-310
1.3.1 FF101、YF12、MOOG30 和 DOWTY30 型电液伺服阀外形 及安装尺寸	22-298	1.3.14 FF133、QDYD-1-40、QDYD- 1-100 型伺服阀外形及安装 尺寸	22-311
1.3.2 FF102、YF7、MOOG31、 MOOG32、DOWTY31 和 DOWTY32 型伺服阀外形 及安装尺寸	22-299	1.3.15 MOOG760、MOOG G761 和 MOOG G631 型电液伺服阀 外形及安装尺寸	22-312
1.3.3 FF113、YFW10 和 MOOG72 型电液伺服阀外形及安装 尺寸	22-300	1.3.16 MOOG D633、D634 系列 直动式电液伺服阀外形及 安装尺寸	22-313
1.3.4 FF106A、FF118 和 FF119 型 伺服阀外形及安装尺寸	22-301	1.3.17 MOOG D791 和 D792 型 电反馈三级阀外形及安装 尺寸	22-314
1.3.5 FF106、FF130、YF13、MOOG35 和 MOOG34 型电液伺服阀外形 及安装尺寸	22-302	1.3.18 MOOG D662 ~D665 系列电液 伺服阀外形及安装尺寸	22-315
1.3.6 QDY 型伺服阀外形及安装 尺寸	22-303	1.3.19 博世力士乐电反馈三级阀 4WSE3EE (16、25、32) 尺寸	22-316
1.3.7 SFL 型伺服阀外形和安装 尺寸	22-304	1.3.20 PARKER DY 型电液伺服阀 外形及安装尺寸	22-317
1.3.8 FF131、YFW06、QYSF-3Q、 DOWTY ⁴⁵⁵¹ ₄₆₅₉ 和 MOOG78 型		1.3.21 PARKER SE 系列、PH76 系列、 BD 系列伺服阀外形及安装 尺寸	22-318
		1.3.22 PARKER VCD 直接驱动阀 D1FP* S、D1FP、D3FP* 3、 D3FP 外形及安装尺寸	22-320
		1.3.23 MOOG D636、D637 系列 比例伺服阀外形及安装	



尺寸	22-321	2.1.12 4WRE 型电磁比例	
1.3.24 ATOS 公司 DLHZO 和 DLKZOR		换向阀	22-345
型比例伺服阀外形及安装		2.1.13 4WR _Z 型电液比例方向阀	22-346
尺寸	22-325	2.1.14 DBETR 型比例压力	
1.4 伺服放大器	22-327	溢流阀	22-348
1.4.1 YCF-6 型伺服放大器	22-327	2.1.15 DBE/DBEM 型比例	
1.4.2 MOOG G122-202A1 系列		溢流阀	22-349
伺服放大器	22-328	2.1.16 3DREP6 三通比例压力	
1.4.3 MOOG G123-815 缓冲		控制阀	22-350
放大器	22-330	2.1.17 DRE/DREM 型比例	
1.4.4 MOOG G122-824PI 伺服		减压阀	22-350
放大器	22-331	2.1.18 ZFRE6 型二通比例	
1.4.5 博世力士乐 YT-SR1 和 VT-SR2		调速阀	22-351
系列伺服放大器	22-332	2.1.19 ZFRE※型二通比例	
1.4.6 PARKER BD90/95 系列伺服		调速阀	22-353
放大器	22-334	2.1.20 ED 型比例遥控溢流阀	22-354
1.4.7 ATOS 公司 E-RI-TES、E-RI-LES 型		2.1.21 EB 型比例溢流阀	22-354
数字式集成电子放大器和		2.1.22 ERB 型比例溢流减压阀	22-355
E-RI-TE、E-RI-LE 型模拟式		2.1.23 EF(C)G 型比例(带单向阀)	
集成电子放大器	22-336	流量阀	22-355
2 比例阀主要产品	22-340	2.1.24 EFB 型比例溢流调速阀	22-356
2.1 国内比例阀主要产品	22-340	2.2 国外电液伺服阀主要产品	22-357
2.1.1 BQY-G 型电液比例三通调		2.2.1 BOSCH 比例溢流阀(不带	
速阀	22-340	位移控制)	22-357
2.1.2 BFS 和 BSL 型比例方向流		2.2.2 BOSCH 比例溢流阀和线性比	
量阀	22-340	例溢流阀(带位移控制)	22-358
2.1.3 BY※型比例溢流阀	22-340	2.2.3 BOSCH NG6 带集成放大器	
2.1.4 3BYL 型比例压力-流量		比例溢流阀	22-359
复合阀	22-341	2.2.4 BOSCH NG10 比例溢流阀和比	
2.1.5 4BEY 型比例方向阀	22-341	例减压阀(带位移控制)	22-359
2.1.6 BY 型比例溢流阀	22-342	2.2.5 BOSCH NG6 三通比例减压阀	
2.1.7 BJY 型比例减压阀	22-342	(不带/带位移控制)	22-360
2.1.8 DYBL 和 DYBQ 型比例		2.2.6 BOSCH NG6、NG10 比例节流阀	
节流阀	22-342	(不带位移控制)	22-361
2.1.9 BPQ 型比例压力流量		2.2.7 BOSCH NG6、NG10 比例节流阀	
复合阀	22-343	(带位移控制)	22-362
2.1.10 4B 型比例方向阀	22-343	2.2.8 BOSCH NG10 带集成放大器比例	
2.1.11 4WRA 型电磁比例		节流阀(带位移控制)	22-363
换向阀	22-344		



2.2.9	BOSCH 比例流量阀 (带位移控制及不带位移控制)	22-364	方向阀	22-399
2.2.10	BOSCH 不带位移传感器比例方向阀	22-366	2.2.30	力士乐 (REXROTH) WRZ, WRZE 和 WRH 7X 系列比例方向阀
2.2.11	BOSCH 比例方向阀 (带位移控制)	22-367	2.2.31	力士乐 (REXROTH) 4WRTE, 3X 系列高频响比例方向阀
2.2.12	BOSCH 带集成放大器比例方向阀	22-368	2.2.32	力士乐 (REXROTH) VT-VSPA2-1, 1X 系列电子放大器
2.2.13	比例控制阀	22-369	2.2.33	力士乐 (REXROTH) VT5005 ~ 5008, 1X 系列电子放大器
2.2.14	插装式比例节流阀	22-373	2.2.34	力士乐 (REXROTH) VT3000, 3X 系列电子放大器
2.2.15	BOSCH 插头式比例放大器	22-374	2.2.35	力士乐 (REXROTH) VT-VSPA1-1 和 VT-VSPA1K-1, 1X 系列电子放大器
2.2.16	BOSCH 单通道/双通道盒式放大器	22-375	2.2.36	力士乐 (REXROTH) VT2000, 5X 系列电子放大器
2.2.17	BOSCH 模块式放大器 1	22-376	2.2.37	力士乐 (REXROTH) VT5001 至 VT5004 和 VT5010, 2X 系列 VT5003, 4X 系列电子放大器
2.2.18	BOSCH 模块式放大器 2	22-377	3	伺服液压缸
2.2.19	BOSCH 单通道放大器 (不带位移控制, 带缓冲)	22-378	3.1	国内生产的伺服液压缸
2.2.20	BOSCH 双通道双工放大器	22-379	3.1.1	优瑞纳斯的 US 系列伺服液压缸
2.2.21	BOSCH 不带缓冲的比例阀放大器	22-380	3.1.2	海德科液压公司伺服液压缸
2.2.22	BOSCH 带电压控制式缓冲的比例阀放大器	22-382	3.2	国外生产的伺服液压缸
2.2.23	BOSCH 功率放大器 (带与不带缓冲电子放大器)	22-384	3.2.1	力士乐 (REXROTH) 伺服液压缸
2.2.24	力士乐 (REXROTH) DBET 和 DBETE 型/5X 系列比例溢流阀	22-387	3.2.2	MOOG 伺服液压缸
2.2.25	力士乐 (REXROTH) DBETR/1X 系列比例溢流阀 (带位置反馈)	22-389	3.2.3	M085 系列伺服液压缸
2.2.26	力士乐 (REXROTH) DBE (M) 和 DBE (M) E 型系列比例溢流阀	22-392	3.2.4	阿托斯 (Atos) 伺服液压缸
2.2.27	力士乐 (REXROTH) 二位四通和三位四通比例方向阀	22-394	3.2.5	JBS 系列伺服液压缸
2.2.28	力士乐 (REXROTH) 4WRE, 1X 系列比例方向阀	22-395	3.2.6	各国液压、气动图形符号对照
2.2.29	力士乐 (REXROTH) 三位四通高频响 4WRSE, 3X 系列比例		参考文献	22-444

