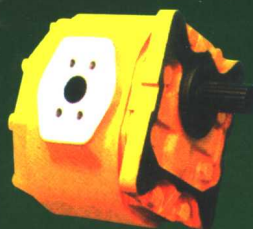
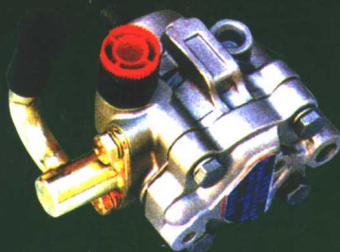
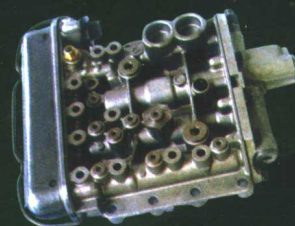


液压系统设计丛书

液压控制系统及设计

● 张利平 编著



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

液压系统设计丛书

液压控制系统及设计

张利平 编著



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书是《液压系统设计丛书》之一, 主要包括液压控制系统概论、液压控制基础知识、电液控制阀、液压控制系统基本功能回路、液压控制系统应用实例分析、液压控制系统设计流程、液压控制系统设计示例、液压控制系统设计中的若干专门问题、常用公式及标准资料等。

本书立足于工程设计及应用实际, 按照“基础知识-基本功能回路-系统实例-系统设计-专题”的体系结构进行叙述。在突出基本内容基础上, 特别注意反映液压控制系统应用、分析及设计方法上的新发展和新成就。本书可读性与可查性并重, 书中论述性内容有助于读者了解、掌握、利用液压控制技术的基本理论、分析设计方法及新动向和新成果, 提高液压控制系统的设计使用水平与分析解决问题的能力; 书中利用有限篇幅介绍了较多的液压控制回路和系统实例, 以展现不同行业液压控制系统的设计及应用特点, 有助于各类行业读者从中汲取经验与方法, 解决液压控制系统设计、使用工作中的各类问题; 书中介绍的国内外电液伺服阀、比例阀、数字阀及伺服液压缸等产品与常用公式及标准资料, 可供读者在设计工作中直接参考引用。

本书可供各行业液压系统的设计、制造和使用维护工程技术人员、现场工作人员参阅, 也可作为高等院校的教学参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

液压控制系统及设计/张利平编著. —北京: 化学工业出版社, 2006. 4
(液压系统设计丛书)
ISBN 7-5025-8514-1

I. 液… II. 张… III. 液压控制-控制系统-系统设计 IV. TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 034580 号

液压系统设计丛书 液压控制系统及设计

张利平 编著
责任编辑: 张兴辉
文字编辑: 宋 薇
责任校对: 周梦华
封面设计: 于 兵

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

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

*

新华书店北京发行所经销
北京永鑫印刷有限责任公司印刷
三河市东柳装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 25 字数 614 千字

2006 年 6 月第 1 版 2006 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8514-1

定 价: 49.00 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

前 言

当代机器设备大部分采用自动控制,从而使得液压传动及控制技术与计算机技术一起成为工业中发展极快的两个学科分支。液压技术是现代机械工程的基本技术构成和现代控制工程的基本技术要素,其应用几乎遍及国民经济各个领域,应用液压技术的程度已成为衡量一个国家工业化水平的重要标志之一。正确合理地设计与使用液压系统,对于提高各类液压机械及装置的工作品质和技术经济性能具有重要意义。

为了推动我国液压技术的发展,提升液压设计与使用人员的整体水平,化学工业出版社邀请国内部分专家组织编写了《液压系统设计丛书》,包括《液压传动系统及设计》、《液压控制系统及设计》、《液压元件及选用》、《液压系统使用与维修》四个分册。丛书从设计与使用人员的实际需要出发,系统介绍了液压系统的组成、性能分析、设计计算方法及设计实例、常用元件产品及选用、安装调试、使用维修等;突出实用性,对成熟的基本理论只做简要介绍,注重工程实际应用,围绕液压系统设计和使用的全过程来组织材料,提供了丰富的设计资料、数据、方法以及应用实例。

液压控制是整个液压技术中的一个重要分支,也是自动控制领域的一个重要组成部分。然而,液压控制系统的分析、设计与使用都难于液压传动系统,究其原因有以下三个方面:(1)液压控制系统的分析、设计、调整和维护对力学、机械学、电子学、自动控制理论、计算机控制等学科知识及工程实践经验有着较高要求;(2)液压控制系统的投资费用和运行成本较高;(3)液压控制系统尤其是液压伺服系统易因工作介质污染引起故障,而且故障难于诊断和排除。为了适应现代化建设及当代设计师和工程师的需要,提高液压控制系统的设计与使用水平,编写成《液压控制系统及设计》一书。本书主要论述和介绍液压控制系统的组成、控制原理、系统的动静态性能分析与设计计算方法。旨在以有限的篇幅,为读者介绍液压控制系统及设计的最新、最实用的方法与经验,较多的回路和系统应用及设计实例,较多的实用数据和资料。

全书立足于工程设计及应用实际进行编写,从国内外相关专著、手册、教材、专业期刊、产品样本、技术标准及 Internet(互联网)等媒体搜集了大量实用素材,并按照“基础知识-基本功能回路-系统实例-系统设计-专题”的体系结构进行叙述。在突出基本内容基础上,特别注意反映液压控制系统应用、分析及设计方法上的新发展和新成就。本书力图可读性与可查性并重,书中论述性内容有助于读者了解、掌握、利用液压控制技术的基本理论、分析设计方法及新动向和新成果,提高液压控制系统的设计使用水平与分析解决问题的能力;书中利用有限篇幅介绍了较多的液压控制回路和控制系统实例,以展现不同行业中液压控制系统的设计及应用特点,有助于各类行业读者群从中汲取经验与方法,解决液压控制系统设计、使用工作中的各类问题。书中介绍的国内外电液伺服阀、比例阀、数字阀及伺服液

压缸等产品与常用公式及标准资料，可供读者在设计工作中直接参考引用。

本书可供各行业液压技术的设计、制造和维护工程技术人员、现场工作人员参阅使用，并可作为高等院校的教学参考书和有关部门的培训教材。使用本书的读者，应对包括液压泵、液压执行器、普通液压控制阀及液压辅助装置等在内的各种液压元件的功能、原理有所了解或较为熟悉。

本书由张利平编著。张津、张秀敏、吴宗哲、黄涛、王涛、刘文学、赵伟等同志曾参与了本书的文献资料搜集、文稿录入整理和部分插图的绘制等工作；张保令同志参与了本书部分计算机仿真示例的编程和计算工作；于冬梅同志为本书提供了宝贵资料。

感谢本书编写过程中给予大力支持的单位、个人及参考文献的各位作者。限于水平和调查研究工作不够全面，书中难免存在不妥之处，恳望同行专家及广大读者给予批评指正。

编著者
2006年3月

目 录

第 1 章 液压控制系统概论	1
1.1 液压控制系统的原理与组成	1
1.1.1 液压控制系统的原理	1
1.1.2 液压控制系统的组成	3
1.2 液压控制系统的类型及适用场合	4
1.2.1 位置控制、速度控制及加速度控制和力及压力控制系统	4
1.2.2 闭环控制系统和开环控制系统	4
1.2.3 阀控系统和泵控系统	5
1.2.4 机械液压控制系统、电气液压控制系统和气动液压控制系统	5
1.2.5 连续量控制系统和离散量控制系统	7
1.2.6 时变系统与时不变系统	8
1.2.7 直线运动控制系统和回转运动控制系统	8
1.3 液压控制系统的优缺点	8
1.3.1 液压控制系统的优点	8
1.3.2 液压控制系统的缺点	9
1.4 液压控制技术的应用	10
1.5 液压控制技术的发展概况	11
1.5.1 液压控制技术的历史进展与趋势	11
1.5.2 我国液压传动与控制技术的发展及现状	12
第 2 章 液压控制基础知识	15
2.1 反馈控制系统的基本概念	15
2.1.1 定义	15
2.1.2 组成	15
2.1.3 基本要求	16
2.2 数学模型	16
2.2.1 微分方程及数学模型的线性化	16
2.2.2 拉氏变换及传递函数	18
2.2.2.1 拉氏变换的定义	18
2.2.2.2 传递函数	19
2.2.3 方块图及其等效变换	20
2.2.4 典型环节的数学模型	21
2.2.4.1 比例放大环节	21
2.2.4.2 积分环节	22
2.2.4.3 一阶惯性环节	22
2.2.4.4 微分环节	22
2.2.4.5 振荡环节	23
2.3 时域瞬态响应	24
2.3.1 时域响应及典型输入信号	24

2.3.1.1	时域响应	24
2.3.1.2	典型输入信号	24
2.3.2	典型环节的瞬态响应	24
2.3.2.1	一阶惯性环节的瞬态响应	26
2.3.2.2	振荡环节的瞬态响应	27
2.3.3	控制系统时域性能指标	27
2.4	控制系统的频率特性	28
2.4.1	定义	28
2.4.2	频率特性的几何表示法——极坐标图、对数频率特性图和对数幅相频率特性图	29
2.4.2.1	极坐标图(乃氏图)	29
2.4.2.2	对数频率特性图(波德图)	29
2.4.2.3	对数幅相特性图(尼氏图)	32
2.4.3	控制系统的闭环频率响应及性能指标	33
2.4.3.1	由开环频率特性估计闭环频率特性	33
2.4.3.2	系统的频域指标(见图 2-20)	35
2.5	控制系统的稳定性分析	35
2.5.1	定义及稳定性充要条件	35
2.5.2	稳定性判据	36
2.5.3	控制系统的相对稳定性(稳定性裕量)	37
2.6	控制系统的误差分析计算	38
2.6.1	基本概念	38
2.6.1.1	误差、偏差及其关系	38
2.6.1.2	误差传递函数及稳态误差计算方法	39
2.6.2	系统类型及稳态误差计算	39
2.6.2.1	系统类型	39
2.6.2.2	稳态误差计算	39
2.7	控制系统的校正	40
2.7.1	系统性能指标与系统校正概述	40
2.7.2	常用校正装置及其选用原则	40
2.7.2.1	串联校正装置	40
2.7.2.2	并联校正(反馈校正)	42
2.7.2.3	校正方式的选用原则	43
2.7.3	用希望对数频率特性法确定校正装置	43
2.7.3.1	方法要点	43
2.7.3.2	希望特性的绘制	43
2.8	线性离散控制系统简介	44
2.8.1	定义与特点	44
2.8.2	信号的采样过程及采样定理	45
2.8.3	采样信号的复现与零阶保持器	46
2.8.4	z 变换和脉冲传递函数	48
2.8.4.1	z 变换与 z 反变换	48
2.8.4.2	脉冲传递函数(Z 传递函数)	51
2.8.5	离散系统的性能分析	53
2.8.5.1	稳定性分析	53

2.8.5.2 动态性能(过渡过程)分析	54
2.8.5.3 稳态误差分析	56
2.8.6 离散系统的设计校正	57
2.9 现代控制理论简介	58
2.9.1 状态空间方程及其解	58
2.9.2 能控性和能观性	60
2.9.2.1 状态空间的非奇异变换	60
2.9.2.2 能控性和能观性	61
2.9.2.3 卡尔曼结构原理	62
2.9.3 系统稳定性分析	62
2.9.4 系统综合及最优控制	63
2.9.4.1 系统综合	63
2.9.4.2 单输入系统的闭环极点配置	63
2.9.4.3 静态特性	64
2.9.4.4 状态观测器及其反馈系统	64
2.9.4.5 最优控制	65
第3章 电液控制阀	67
3.1 电液伺服阀	67
3.1.1 功用及特点	67
3.1.2 组成	68
3.1.2.1 电气-机械转换器	68
3.1.2.2 液压放大器	69
3.1.2.3 检测反馈机构	72
3.1.3 电液伺服阀的分类	72
3.1.4 典型结构与工作原理	72
3.1.4.1 动圈式力马达型单级电液伺服阀	72
3.1.4.2 喷嘴挡板式力反馈型两级电液伺服阀	73
3.1.4.3 动圈滑阀式力马达型两级电液伺服阀	75
3.1.5 主要特性及性能参数	76
3.1.5.1 静态特性	76
3.1.5.2 动态特性	80
3.1.6 应用场合	82
3.1.7 国内外电液伺服阀产品简介	82
3.1.7.1 国内产品	82
3.1.7.2 国外产品	87
3.2 电液比例控制阀	93
3.2.1 功用与特点	93
3.2.2 组成	93
3.2.2.1 比例电磁铁	93
3.2.2.2 液压放大器及检测反馈机构	96
3.2.3 分类	97
3.2.4 典型结构与工作原理	97
3.2.4.1 电液比例压力阀	98
3.2.4.2 电液比例流量阀	99

3.2.4.3 电液比例方向阀·····	100
3.2.5 主要特性及性能参数·····	101
3.2.5.1 静态特性·····	101
3.2.5.2 动态特性·····	102
3.2.6 电液比例阀的典型产品·····	103
3.2.6.1 国内电液比例阀产品概览·····	103
3.2.6.2 部分产品的技术性能·····	104
3.2.6.3 引进力士乐技术系列电液比例阀·····	107
3.2.6.4 油研 E 系列电液比例阀·····	107
3.3 电液数字控制阀·····	117
3.3.1 功用、特点及分类·····	117
3.3.2 基本工作原理·····	117
3.3.2.1 增量式电液数字阀·····	117
3.3.2.2 高速开关式数字阀·····	118
3.3.3 典型结构及工作原理·····	119
3.3.3.1 增量式数字阀·····	119
3.3.3.2 高速开关式数字阀·····	121
3.3.4 技术性能·····	121
3.3.4.1 静态特性·····	122
3.3.4.2 动态特性·····	122
3.3.5 典型产品·····	123
第 4 章 液压控制系统基本功能回路 ·····	127
4.1 伺服控制机构及回路·····	127
4.1.1 机液伺服控制机构·····	127
4.1.1.1 阀控缸机液伺服机构·····	127
4.1.1.2 阀控马达机液伺服机构·····	128
4.1.1.3 常用机液伺服控制机构·····	128
4.1.2 电液伺服控制回路·····	130
4.1.2.1 电液位置伺服回路·····	130
4.1.2.2 电液速度伺服回路·····	131
4.1.2.3 电液力(压力)伺服回路·····	134
4.1.2.4 电液伺服同步回路·····	134
4.2 电液比例控制机构及回路·····	135
4.2.1 电液比例压力控制回路·····	135
4.2.1.1 比例调压回路·····	135
4.2.1.2 比例减压回路·····	136
4.2.1.3 应用回路·····	136
4.2.2 电液比例速度控制回路·····	139
4.2.2.1 比例节流调速回路·····	139
4.2.2.2 比例容积调速回路·····	140
4.2.2.3 比例容积节流调速回路·····	141
4.2.2.4 应用回路·····	141
4.2.3 比例方向速度控制回路·····	143
4.2.3.1 对称执行器的比例方向速度控制回路·····	143

4.2.3.2 非对称执行器的比例方向速度控制回路	144
4.2.3.3 比例差动控制回路	145
4.2.4 比例方向阀节流压力补偿回路	146
4.2.4.1 比例方向阀的进口节流压力补偿回路	146
4.2.4.2 比例方向阀的出口节流压力补偿控制回路	149
4.2.4.3 采用插装元件的压力补偿控制回路	149
4.2.5 电液比例方向阀的应用回路	152
4.2.5.1 平衡回路	152
4.2.5.2 步进链式输送机(热轧钢卷用)的速度、加(减)速度控制回路	153
4.2.5.3 焊接自动线提升装置的电液比例控制回路	154
4.2.5.4 无缝钢管主产线穿孔机芯棒送入机构的电液比例控制回路	154
4.2.5.5 步进式加热炉提升机构及前进机构的电液比例控制回路	154
4.2.5.6 撒盐车电液控制回路	156
4.2.5.7 节流控制式比例同步控制回路	156
4.2.6 电液比例压力/速度控制回路(节能回路)	157
4.2.6.1 比例压力/流量复合阀调压调速回路	157
4.2.6.2 比例压力/流量调节型变量泵回路	157
4.2.7 电液比例控制典型应用回路	158
第5章 液压控制系统应用实例分析	162
5.1 液压控制系统应用实例分析的意义	162
5.2 液压伺服控制系统	162
5.2.1 复杂圆柱曲面石材加工机的机液仿形控制系统	162
5.2.1.1 主机功能结构	162
5.2.1.2 机液仿形控制系统工作原理	163
5.2.1.3 技术特点	164
5.2.2 汽车悬架减振器性能试验台的电液伺服控制系统	164
5.2.2.1 主机功能结构	164
5.2.2.2 电液伺服控制系统与微机测控系统及工作原理	164
5.2.2.3 技术特点	165
5.2.3 电站锅炉蛇形管弯管机液压传动及控制系统	165
5.2.3.1 主机功能结构	165
5.2.3.2 液压传动及控制系统工作原理	165
5.2.3.3 技术特点及参数	167
5.2.4 高压输电线间隔棒振摆试验电液伺服系统	168
5.2.4.1 系统功能结构	168
5.2.4.2 电液伺服系统的工作原理	168
5.2.4.3 技术特点及参数	169
5.2.5 石棉水泥管卷压成型机的电液控制系统	169
5.2.5.1 主机功能结构	169
5.2.5.2 电液控制系统的工作原理	170
5.2.5.3 技术特点及参数	172
5.2.6 中空挤坯吹塑挤出机型坯壁厚电液伺服控制系统	173
5.2.6.1 功能结构	173
5.2.6.2 型坯壁厚电液伺服系统的工作原理	173

5.2.6.3 技术特点·····	174
5.2.7 四辊轧机液压压下装置的电液伺服系统·····	175
5.2.7.1 主机功能结构·····	175
5.2.7.2 电液伺服控制系统工作原理·····	176
5.2.7.3 技术特点及参数·····	177
5.2.7.4 使用要点·····	177
5.2.8 铝箔轧机电液伺服系统·····	177
5.2.8.1 主机功能结构·····	177
5.2.8.2 电液伺服控制系统的工作原理·····	178
5.2.8.3 技术特点及参数·····	180
5.2.9 带材纠偏控制装置的电液伺服控制系统·····	180
5.2.9.1 主机功能结构·····	180
5.2.9.2 电液控制系统工作原理·····	181
5.2.9.3 技术要点及参数·····	182
5.2.10 电液伺服水槽不规则波造波机系统·····	182
5.2.10.1 主机功能结构·····	182
5.2.10.2 机械液压系统原理·····	183
5.2.10.3 技术特点及参数·····	184
5.2.11 PASBAN 炮塔电液伺服控制系统·····	184
5.2.11.1 主机功能结构·····	184
5.2.11.2 电液伺服控制系统工作原理·····	185
5.2.11.3 技术特点及参数·····	186
5.2.12 地空导弹发射装置液压控制系统·····	187
5.2.12.1 主机功能结构·····	187
5.2.12.2 液压系统及其工作原理·····	187
5.2.12.3 技术特点及参数·····	189
5.3 电液比例控制系统·····	190
5.3.1 平面磨床电液比例调速系统·····	190
5.3.1.1 主机功能结构·····	190
5.3.1.2 电液比例调速系统的工作原理·····	190
5.3.1.3 计算机测控操纵系统·····	191
5.3.1.4 技术特点及参数·····	192
5.3.2 电液比例控制塑料注射机系统·····	192
5.3.2.1 主机功能结构·····	192
5.3.2.2 电液比例控制系统的工作原理·····	192
5.3.2.3 技术特点及参数·····	194
5.3.3 金刚石工具热压烧结机的电液比例加载系统·····	194
5.3.3.1 主机功能结构·····	194
5.3.3.2 电液比例加载系统的工作原理·····	195
5.3.3.3 技术特点·····	196
5.3.4 沥青道路修补车电液比例系统·····	197
5.3.4.1 主机功能结构·····	197
5.3.4.2 电液比例控制液压系统的工作原理·····	197
5.3.4.3 技术特点·····	198

5.3.5 波浪补偿起重机电液比例控制系统	199
5.3.5.1 主机功能结构	199
5.3.5.2 电液比例控制系统的工作原理	199
5.3.5.3 波浪补偿闭环控制	200
5.3.5.4 技术特点	201
5.3.6 林木球果采集机器人电液比例控制系统	201
5.3.6.1 主机功能结构	201
5.3.6.2 电液比例控制系统的工作原理	201
5.3.6.3 计算机数字程序控制系统	202
5.3.6.4 技术特点	202
5.3.7 电冰箱内胆四工位热成型机电液比例控制系统	203
5.3.7.1 主机功能结构	203
5.3.7.2 电液比例控制系统工作原理	203
5.3.7.3 技术特点及参数	204
5.3.8 自动卷染机的电液比例控制系统	205
5.3.8.1 主机功能结构	205
5.3.8.2 电液比例控制系统的工作原理	205
5.3.8.3 技术特点	206
5.3.9 飞机起落架收放液压试验车电液控制系统	206
5.3.9.1 主机功能结构	206
5.3.9.2 液压系统工作原理	206
5.3.9.3 电控系统及其原理	208
5.3.9.4 技术特点及参数	208
5.3.10 深潜救生艇对接机械手的电液比例伺服控制液压系统	209
5.3.10.1 主机功能结构	209
5.3.10.2 电液比例伺服控制系统的工作原理	209
5.3.10.3 技术特点	210
5.3.11 船舰模拟平台电液比例闭环控制系统	210
5.3.11.1 主机功能结构	210
5.3.11.2 液压系统的工作原理	211
5.3.11.3 电控系统的控制原理	212
5.3.11.4 技术特点及参数	212
5.3.12 双缸直顶式液压电梯的两种电液比例系统	213
5.3.12.1 主机功能结构	213
5.3.12.2 两种电液比例系统及其工作原理	213
5.3.12.3 进油路节流调速液压系统的计算机控制	215
5.3.13 试验机电液比例加载测控系统	215
5.3.13.1 主机功能结构	215
5.3.13.2 电液比例加载系统的工作原理	215
5.3.13.3 微机测控系统	216
5.3.13.4 技术特点及参数	217
5.3.14 大型剧院三块双层升降舞台电液比例同步控制系统	217
5.3.14.1 舞台功能结构	217
5.3.14.2 液压系统的工作原理	218

5.3.14.3	下层台同步控制	219
5.3.14.4	技术特点及参数	220
5.4	电液数字控制系统	220
5.4.1	造纸磨浆机电液数字控制系统	220
5.4.1.1	主机功能结构	220
5.4.1.2	电液数字控制系统工作原理	220
5.4.1.3	技术特点及参数	221
5.4.2	压铸机电液数字控制系统	221
5.4.3	磨床工作台的电液数字控制系统	222
5.4.4	大惯量工作台驱动系统	223
5.4.5	变量柱塞泵斜盘位置控制系统	223
5.4.6	数字阀控制飞行器系统	223
第6章	液压控制系统的设计流程	225
6.1	液压伺服控制系统的设计	225
6.1.1	明确设计要求	225
6.1.2	拟定控制方案,画出系统原理图	226
6.1.3	静态设计	228
6.1.3.1	供油压力 p_s 的选择	228
6.1.3.2	液压执行器主要规格尺寸和伺服阀空载流量的确定	228
6.1.3.3	伺服阀(或变量泵)规格的确定	233
6.1.3.4	执行器选择及设计	235
6.1.3.5	传动比 i 的确定	235
6.1.3.6	反馈传感器、放大器等其他元件的选择	236
6.1.4	动态设计	238
6.1.4.1	系统方块图与开环传递函数	238
6.1.4.2	绘制对数频率特性曲线(波德图),由稳定性确定系统开环增益	247
6.1.4.3	系统快速性(闭环参数)计算	249
6.1.4.4	系统的准确性(稳态误差)计算	250
6.1.5	检验系统静、动态品质,需要时对系统进行校正	252
6.1.5.1	良好伺服系统的开环波德图	252
6.1.5.2	校正装置的选择与设计	252
6.1.6	选择液压能源	254
6.1.7	绘制正式工作图、编制技术文件	254
6.1.8	机液伺服系统的设计特点	256
6.1.8.1	机液伺服系统的组成与分析	256
6.1.8.2	机液伺服系统的设计特点及注意事项	257
6.2	电液比例控制系统的设计特点	258
6.2.1	开环电液比例控制系统的设计特点及注意事项	259
6.2.2	闭环电液比例系统的设计特点及注意事项	259
6.2.3	比例阀的选型原则	261
6.3	电液数字控制系统的设计	263
6.3.1	增量式电液数字阀控制系统	263
6.3.1.1	开环控制	263
6.3.1.2	闭环控制	264

6.3.2 脉宽调制 (PWM) 式电液数字控制系统	264
第 7 章 液压控制系统设计计算示例	266
7.1 电液伺服系统设计计算示例	266
7.1.1 带钢跑偏光电液伺服控制系统	266
7.1.1.1 主机功用与控制系统设计要求	266
7.1.1.2 论证和拟定控制方案, 组成控制系统原理图	266
7.1.1.3 静态设计 (确定液压动力元件参数, 选择系统的组成元件)	268
7.1.1.4 动态设计	270
7.1.2 数控机床工作台电液位置伺服控制系统	273
7.1.2.1 设计要求及给定参数	273
7.1.2.2 确定系统方案, 组成控制系统原理图	274
7.1.2.3 静态设计 (确定液压动力元件参数, 选择系统组成元件)	274
7.1.2.4 动态设计	275
7.1.3 轧机液压位置伺服系统 (APC) 的工作参数计算	279
7.1.3.1 功能及设计要求	279
7.1.3.2 控制模式	280
7.1.3.3 压下缸参数的确定与计算	280
7.1.3.4 伺服阀参数的确定	281
7.1.4 电液速度控制系统的设计计算	282
7.1.4.1 根据设计要求, 拟定控制方案	282
7.1.4.2 静态设计	282
7.1.4.3 动态设计	283
7.1.5 机床工作台电液速度控制系统的校正计算	285
7.1.5.1 系统原理图及其开环波德图	285
7.1.5.2 系统校正计算	286
7.1.6 工件疲劳试验机电液力伺服控制系统	286
7.1.6.1 控制方案的确定	287
7.1.6.2 静态设计 (确定液压动力元件参数, 选择系统的组成元件)	287
7.1.6.3 动态设计	288
7.2 电液比例控制系统设计计算示例	291
7.2.1 阀控缸开环速度控制系统设计	291
7.2.1.1 设计要求及给定参数	291
7.2.1.2 拟定控制方案	291
7.2.1.3 负载分析计算	291
7.2.1.4 选择比例阀机能及阀控缸配用形式	292
7.2.1.5 确定系统供油压力 p_s , 确定液压缸工作面积和结构尺寸	292
7.2.1.6 比例方向阀通径的选择	293
7.2.1.7 系统加减速时间的选择	294
7.2.2 闭环控制系统比例阀的选型计算	295
第 8 章 液压控制系统设计使用中的若干专门问题	296
8.1 控制放大器	296
8.1.1 功用与要求	296
8.1.2 类型与选用	296
8.1.3 典型构成与工作原理	297

8.1.4	控制放大器示例	306
8.1.5	控制放大器的选用与设计	309
8.2	伺服液压缸的选择与设计	310
8.2.1	功能、典型结构与分类	310
8.2.2	设计步骤及内容	311
8.2.2.1	明确设计要求	311
8.2.2.2	反馈传感器的选定	311
8.2.2.3	伺服液压缸活塞有效面积及主要结构尺寸的确定	311
8.2.2.4	伺服阀的选定	313
8.2.2.5	结构形式的确定	313
8.2.2.6	零部件强度的设计计算	314
8.2.2.7	密封装置的设计	314
8.2.2.8	放气装置和防护装置的设计	314
8.2.2.9	绘制正式工作图,编制设计资料	314
8.2.3	伺服液压缸典型产品	314
8.3	液压站的设计	319
8.3.1	概述	319
8.3.2	液压装置的结构类型及其适用场合	319
8.3.2.1	分散配置型液压装置	319
8.3.2.2	集中配置型液压装置	319
8.3.3	液压站的设计要点	320
8.4	电气控制装置的设计	322
8.4.1	常规控制电路设计	322
8.4.2	计算机控制系统设计简介	323
8.4.2.1	计算机控制系统的分类	323
8.4.2.2	计算机控制系统的组成	323
8.4.2.3	计算机控制系统的设计	324
8.4.2.4	采样周期的选择	327
8.5	计算机数字仿真技术	327
8.5.1	仿真技术简介	327
8.5.2	仿真软件的编制和选择	328
8.5.3	MATLAB 及其应用	329
8.6	污染控制	337
8.6.1	污染物的形态和来源	337
8.6.2	油液污染对液压系统的危害	337
8.6.3	油液污染度的测定和污染度等级	338
8.6.4	污染控制措施	339
8.7	安装调试与使用维护	342
8.7.1	液压控制系统的安装	342
8.7.2	液压控制系统的调试	344
8.7.3	液压控制系统的使用维护	345
第9章	常用公式及标准资料	349
9.1	液压技术常用物理量及其换算(表9-1)	349
9.2	常用计算公式	350

9.2.1 液压流体力学计算公式	350
9.2.1.1 液压工作介质的主要物理性质	350
9.2.1.2 液体静力学计算公式	351
9.2.1.3 液体动力学计算公式	351
9.2.1.4 管道系统压力损失计算公式	352
9.2.1.5 常见孔口流量计算公式 (表 9-14)	356
9.2.1.6 液压系统发热与散热计算	357
9.2.1.7 液压冲击计算	359
9.2.2 液压元件常用计算公式 (表 9-20)	360
9.3 液压伺服阀安装面及液压系统通用条件	360
9.3.1 四油口和五油口液压伺服阀安装面 (GB 17487—1998 摘录)	360
9.3.1.1 范围	360
9.3.1.2 符号	360
9.3.1.3 公差	360
9.3.1.4 尺寸	362
9.3.1.5 定位销	363
9.3.2 液压系统通用技术条件 (GB/T 3766—2001) (摘要)	363
9.3.2.1 范围	363
9.3.2.2 定义	364
9.3.2.3 要求	364
9.3.2.4 系统设计	366
9.3.2.5 能量转换元件	368
9.3.2.6 液压阀	371
9.3.2.7 液压油液和调节元件	372
9.3.2.8 管路系统	376
9.3.2.9 控制系统	377
9.3.2.10 诊断和监控	379
9.3.2.11 清理和涂漆	380
9.3.2.12 运输准备	380
9.3.2.13 试运行	380
9.3.2.14 标注说明 (引用本标准时)	381
参考文献	382

第1章 液压控制系统概论

为了实现对某一机器或装置的工作要求,将若干液压元件连接或复合而成的总体称为液压系统。液压系统种类繁多,然而按工作特征不同,液压系统可划分为液压传动系统和液压控制系统两大类。

液压传动系统一般为不带反馈的开环系统,这类系统以传递动力为主,以信息传递为辅,追求传动特性的完善,系统的工作特性由各组成液压元件的特性和它们的相互作用来确定,其工作质量受工作条件变化的影响较大。液压传动系统的组成、动力传递原理、系统性能分析和设计计算方法,请参见本丛书之《液压传动系统及设计》。

液压控制系统多采用伺服阀等电液控制阀组成的带反馈的闭环系统,以传递信息为主,以传递动力为辅,追求控制特性的完善。由于加入了检测反馈,故系统可用一般元件组成精确的控制系统,其控制质量受工作条件变化的影响较小。本书主要论述和介绍液压控制系统的组成、控制原理、系统的动、静态性能分析与设计计算方法。

液压伺服控制是第二次世界大战期间及以后,由于武器和飞行器等军事装备对高精度、反应快的自动控制系统的需要而发展起来的,它与现代微电子和计算机技术相结合发展的电液比例控制和电液数字控制技术构成了现代液压控制技术的完整体系。与电动控制系统等其他控制系统相比,液压控制系统具有能容量大、响应速度快、系统刚度大和控制精度高等突出优点,因此在各类机床、重型机械、起重机械、建材建筑机械、汽车、大型试验设备、航空航天、船舶和武器装备等领域获得了广泛应用。

本章在介绍液压控制系统的组成、分类及展现液压控制的独特优势及其广阔的应用领域的基础上,概要回顾了液压控制技术的历史进展,简要介绍当代液压控制技术的发展趋势和我国液压传动与控制技术的发展及现状。

1.1 液压控制系统的原理与组成

液压控制系统能够根据机械装备的要求,对位置、速度、加速度、力等被控制量按一定的精度进行控制,并且能在有外部干扰的情况下,稳定、准确的工作,实现既定的工艺目的。

液压控制系统按使用的控制元件的不同,可分为伺服控制系统、比例控制系统和数字控制系统三大类。本节以液压伺服控制系统(简称液压伺服系统)为例,说明液压控制系统的原理,最后归纳出液压控制系统的组成。

1.1.1 液压控制系统的原理

液压伺服系统(也称液压随动系统)是以液压动力元件作驱动装置所组成的反馈控制系统,其输出量(机械位移、速度、加速度或力)能以一定的精度,自动按照输入信号的变化规律运动。与此同时,还起到功率放大作用,故又是一个功率放大装置。

图1-1是一个液压自动控制的举重系统原理图,系统由液压能源、四通滑阀(伺服阀)、液压缸等组成,杠杆上端A为操作者操纵端,下端B与重物支架相连。当操作者将杠杆压到某个位置时,四通阀的进油窗口被打开,液压能源的液压油液便经四通阀进入液压缸下