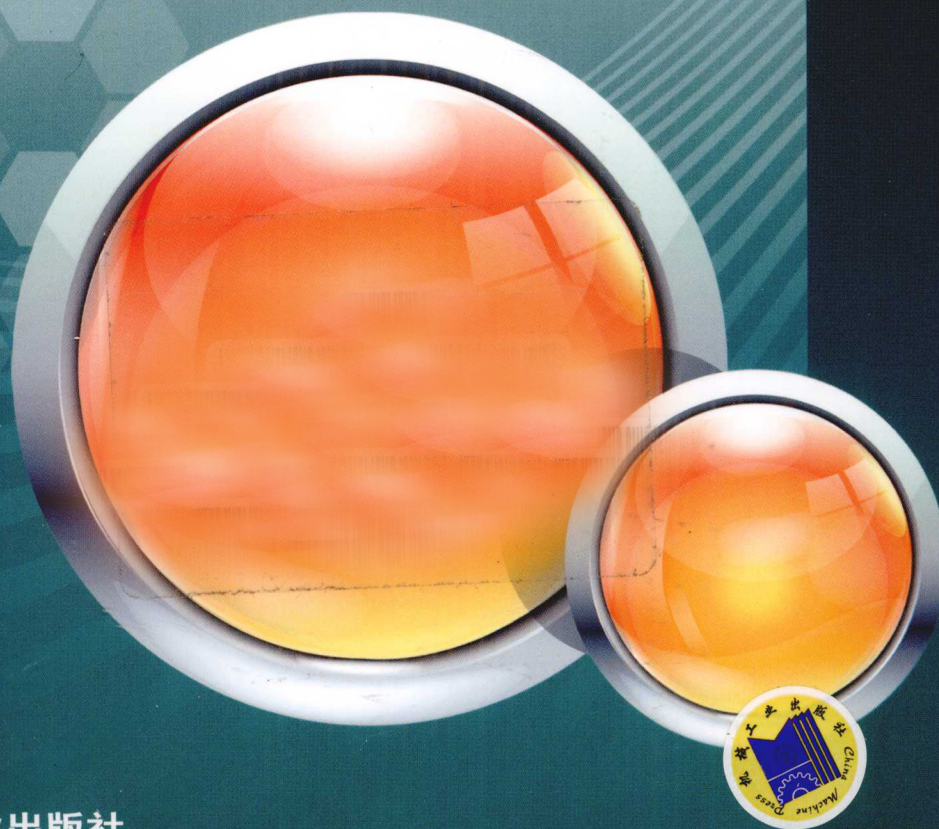




新型液压元件 及系统集成技术

袁子荣 吴张永 袁锐波 罗璟 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



新型液压元件及 系统集成技术

袁子荣 吴张永 袁锐波 罗璟 编著



机械工业出版社

全书共分8章,第1章介绍液压控制技术的发展概况、应用领域及发展趋势。第2章介绍电液控制技术的基础理论。第3章介绍液压控制放大器的结构、原理和一般分析设计方法。第4~第7章分别介绍比例阀、插装阀、数字阀和叠加阀等新型液压阀的原理、结构、应用领域,并着重介绍了系统集成技术及分析设计方法。第8章介绍液压技术中几个关键技术问题:污染控制、泄漏控制、振动、冲击、爬行等方面的问题。

本书具有新颖性,突出工程性与实用性,且条理清楚,文字流畅,逻辑性强,由浅入深,通俗易懂。

本书是为机械工程类专业流体传动与控制学科方向编写的本科教材,也可作为研究生和工程技术人员的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

新型液压元件及系统集成技术/袁子荣等编著. —北京:
机械工业出版社, 2011. 11
ISBN 978-7-111-35891-6

I. ①新… II. ①袁… III. ①液压元件-高等学校-
教材②液压系统-高等学校-教材 IV. ①TH137

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第190004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:张秀恩 责任编辑:张秀恩 崔滋恩

版式设计:霍永明 责任校对:李锦莉

封面设计:陈沛 责任印制:杨曦

北京京丰印刷厂印刷

2012年1月第1版·第1次印刷

169mm×239mm·17.75印张·353千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-35891-6

定价:39.00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

策划编辑:(010) 88379770

社服务中心:(010)88361066

网络服务

销售一部:(010)68326294

门户网:<http://www.cmpbook.com>

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

前 言

本书是为机械工程类专业流体传动与控制学科方向编写的本科教材，也可作为研究生和工程技术人员的学习参考书。

在现代工业化的进程中，液压传动技术在各个领域获得极其广泛的应用。高新技术的发展对液压技术提出了更高的要求，新型液压阀也就应运而生。新型液压阀与传统液压阀之间具有共同的基础理论和相似的工作原理，读者完全可以通过自学掌握其全部内容。

本书有如下特点：

1) 新颖性。本书内容上始终紧扣新型液压元件及集成技术近年来的发展脉络，将所取得的新成果和新成就，有机地与当代高新技术揉在一起，便于读者掌握当代液压技术的发展方向和最新技术。

2) 突出工程性与实用性。本书比较全面地反映了新型元件及集成系统在各工业领域中的应用，列举了许多工程应用的实例，并给出了一般的分析设计方法。

3) 在体系上按照“基础知识——基本原理结构——基本回路——系统集成——工程应用实例——专题”的体系结构进行阐述，且条理清楚，文字流畅，逻辑性强，由浅入深，通俗易懂。

4) 其内容一部分来自国内外相关专著、手册、教材、专业期刊、产品样本、国家技术标准等，另一部分是作者长期从事液压技术与控制理论的教学、科研和工程设计工作的体会与实践经验的总结，许多内容直接取自作者的科研成果、科研论文及专利。

全书共分8章，第1章介绍液压控制技术的发展概况、应用领域及发展趋势。第2章介绍电液控制技术的基础理论。第3章介绍液压控制放大器的结构、原理和一般分析设计方法。第4~第7章分别介绍比例阀、插装阀、数字阀和叠加阀等新型液压阀的原理、结构、应用领域，并着重介绍了系统集成技术及分析设计方法。第8章介绍液压技术中几个关键技术问题：污染控制、泄漏控制、振动、冲击、爬行等方面的问题。

本书由昆明理工大学的袁子荣教授负责统稿，参加编写的有昆明理工大学的袁子荣（第1、第8章）、吴张永（第5、第6章）、袁锐波（第2、第3章）、罗璟（第4、第7章）。云南广播大学的许茂桃教授负责审稿。全书的文字输

入、图表绘制由昆明理工大学的孙春耕、李健锋、赵恩刚、邵晓光等硕士研究生完成，昆明理工大学的龙威博士对本书做了最后审校。对以上各位的辛勤付出，在此深表谢意，并诚挚地感谢本书引用文献的所有作者、出版社、生产企业和公司。

由于作者水平有限，本书难免存在着缺点和错误，请广大读者不吝赐教。

作 者

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 电液控制技术的新发展	2
1.1.1 工程控制系统的基本概念	2
1.1.2 电液控制系统的特点及分类	7
1.1.3 电液控制工程的新发展	9
1.2 新型液压阀的发展	15
1.2.1 电液伺服控制与电液比例控制	15
1.2.2 电液伺服系统与电液比例系统的比较	18
1.2.3 闭环比例控制技术	18
1.2.4 新型液压阀的发展概况	20
第 2 章 电液比例技术的基础理论	24
2.1 拉普拉斯变换	24
2.1.1 拉氏变换的基本概念	24
2.1.2 几种常用控制信号的拉氏变换	25
2.1.3 拉氏变换运算的主要定理	27
2.2 传递函数	28
2.2.1 传递函数的定义	28
2.2.2 几种典型环节的传递函数	29
2.3 功能图及结构变换	33
2.3.1 功能图	33
2.3.2 结构变换	34
2.4 稳定性及稳定裕度	35
2.4.1 稳定性的定义	35
2.4.2 稳定判据	36
2.4.3 稳定裕度	37
2.5 系统的品质指标	38
2.5.1 系统的阶跃过渡过程及其品质指标	38
2.5.2 频域的品质指标	38
2.6 液压系统中的基本性能参数及计算	39
2.6.1 压力	39
2.6.2 排量和流量	40
2.6.3 功率	41

2.6.4 效率	43
第3章 液压控制放大器	44
3.1 液压控制放大器的结构形式与特点	44
3.1.1 先导级放大器的结构形式及特点	45
3.1.2 功率级放大器(滑阀)的结构及特点	48
3.2 液压控制放大器的工作原理	51
3.2.1 二通阀	51
3.2.2 三通阀	51
3.2.3 四通阀	52
3.3 滑阀式液压放大器的综合特性	53
3.3.1 负重叠四通阀的综合特性	53
3.3.2 零重叠四通阀的综合特性	60
3.3.3 三通阀的综合特性	64
3.4 滑阀式液压伺服放大器的功率和效率	68
3.5 滑阀控制放大器的设计	71
3.5.1 滑阀类型的选择	71
3.5.2 基本参数的确定	72
3.6 喷嘴挡板式液压控制放大器的特性分析和设计	74
3.6.1 喷嘴挡板式放大器的工作原理	74
3.6.2 单喷嘴挡板式液压控制放大器的综合特性	76
3.6.3 双喷嘴挡板式液压控制放大器的综合特性	79
第4章 电液比例控制系统与集成技术	83
4.1 比例控制系统的工作原理、分类及组成	83
4.1.1 工作原理	83
4.1.2 分类及组成	84
4.2 比例压力阀	86
4.2.1 直动式比例溢流阀	86
4.2.2 先导式比例溢流阀	87
4.2.3 先导式比例减压阀	88
4.2.4 三通比例减压阀	90
4.2.5 比例压力阀的静态特性曲线	92
4.3 比例流量阀	93
4.3.1 电液比例节流阀	93
4.3.2 电液比例调速阀	95
4.4 比例换向阀	98
4.4.1 工作特性及分类	98
4.4.2 直动式比例换向阀	99
4.4.3 先导式比例换向阀	101

4.5 比例伺服阀	102
4.6 电液比例控制系统与集成技术	104
4.6.1 电液比例压力控制回路	104
4.6.2 电液比例速度控制回路和方向控制回路	105
4.6.3 电液比例控制回路的集成技术	107
第5章 插装阀及其集成技术	108
5.1 概述	108
5.1.1 插装阀的产生	108
5.1.2 二通插装阀控制的技术特点	109
5.1.3 分类	109
5.2 插装阀的结构和工作原理	110
5.2.1 插装阀的组成	110
5.2.2 插装阀的工作原理	113
5.3 典型插装阀	113
5.3.1 插装方向控制阀	113
5.3.2 插装压力控制阀	116
5.3.3 插装流量控制阀	119
5.3.4 数字式插装压力控制阀	121
5.3.5 螺纹插装阀	122
5.3.6 钢球式液压插装阀	124
5.4 插装阀集成技术	125
5.4.1 插装阀液压系统的集成化	125
5.4.2 插装阀集成块单元	127
5.4.3 基本回路的集成化	132
5.5 插装阀控制的基本回路	136
5.5.1 二通回路	136
5.5.2 三通回路	139
5.5.3 四通回路	140
5.6 插装阀集成控制的工程应用	141
5.6.1 插装阀集成控制系统的工程应用前景	141
5.6.2 插装阀集成控制系统在单动薄板冲压压机上的应用	143
第6章 数字式液压元件与系统集成技术	147
6.1 数字式液压元件概述	147
6.2 数字阀	148
6.2.1 数字阀的基本工作原理、分类和特点	148
6.2.2 增量式数字阀	150
6.2.3 高速开关数字阀	153
6.3 典型的数字阀结构	155

6.3.1	数字溢流阀	155
6.3.2	数字流量阀	156
6.3.3	数字方向流量阀	157
6.3.4	高速开关数字阀	158
6.4	数字阀的性能分析	162
6.4.1	静态特性	162
6.4.2	动态特性	163
6.5	数字式液压元件的集成技术	165
6.5.1	数字阀的集成技术	165
6.5.2	数字缸的集成技术	169
6.5.3	数字马达的集成技术	172
6.5.4	数字式变量泵	179
6.5.5	带反馈输入轴的数字方向节流阀	180
6.6	数字阀控制系统的基本回路	181
6.7	数字式液压集成控制系统的应用	182
6.7.1	大型工业机械臂的液压控制系统	182
6.7.2	机床变夹紧力夹具液压控制系统	183
第7章	液压元件叠加集成技术	185
7.1	概述	185
7.2	分类	187
7.3	工作原理与性能特性	187
7.3.1	控制一个执行元件的叠加阀集成回路的工作原理	187
7.3.2	控制两个执行元件的叠加阀集成控制系统的工作原理	188
7.3.3	叠加式先导溢流阀	189
7.3.4	叠加式单向节流阀	189
7.3.5	叠加式液控单向阀	190
7.3.6	叠加式电动单向调速阀-复合功能叠加阀	191
7.3.7	回转式液压缸	192
7.4	典型结构	194
7.5	叠加阀基本回路	195
7.5.1	压力控制回路	195
7.5.2	速度控制回路	196
7.5.3	方向控制回路	199
7.6	液压元件集成技术	202
7.6.1	电流变阻尼缸	202
7.6.2	液压马达与减速器的集成	204
7.6.3	磁性检测液压缸	205
7.7	叠加阀的工程应用	206

7.8 叠加阀系列产品型号说明	207
第8章 新型液压阀与集成系统设计中要重视的若干问题	209
8.1 污染控制	209
8.1.1 污染物的形态和来源	209
8.1.2 油液污染度的测定及等级	212
8.1.3 油液污染对液压系统的危害	221
8.1.4 液压系统污染控制与管理的措施	225
8.2 泄漏控制	231
8.2.1 泄漏及其危害	231
8.2.2 液压设备泄漏的主要部位及原因	233
8.2.3 液压设备泄漏控制的原理与准则	244
8.2.4 液压设备泄漏控制措施	248
8.3 液压系统冲击、振动、噪声和爬行的分析与控制	252
8.3.1 液压冲击的控制	253
8.3.2 振动与噪声的控制	256
8.3.3 爬行现象及其消除措施	267
参考文献	273

第 1 章 绪 论

在信息化、网络化、知识化和全球化的 21 世纪，信息技术、生命科学、生物技术和纳米技术等科技的日益发展，将对电液控制技术的研究、设计理念及方法，对各类液压产品的结构与工艺，对其应用领域产生深刻的影响并带来革命性的变化。电液控制技术及新型液压元件所涉及行业几乎囊括了制造业、建筑业、农业及环保、矿山冶金业、能源、电力电子、交通、航天航空、文化娱乐等国民经济的各个部门，已成为现代机械工程的基本要素和工程控制的关键技术之一。

电液控制系统是动力装置与工作机械之间的中间环节。20 世纪，控制理论及其工程实践得到了飞速发展，从而也为电液控制工程的进步提供了理论基础和技术支持。粗略地说，20 世纪 40 年代至 50 年代发展了经典控制理论，其中以 PID 控制、最优控制及各种补偿（校正）技术为代表，并主要在频域中进行了研究。1930 年，德国人 G. Wuensch 提出了压力和流量调节方法。1932 年，美籍瑞典人 H. Nyquist 提出了根据频率响应判断系统稳定性的准则。1948 年美国科学家 W. R. Evans 提出了根轨迹分析法，同年，C. Eshannon 和 N. Wiener 出版“信息论”与“控制论”。1936 年，美国人 Harry Vickers 发明了以先导控制压力阀为标志的管式系列液压控制元件，于是出现了电液伺服控制应用于海军舰艇的操舵装置。在此基础上，1940 年底在飞机上首次出现了电液伺服系统。20 世纪 50 年代初出现了高速响应的永磁式力矩马达，而后期出现了以喷嘴挡板阀作为先导级的电液伺服阀，使电液伺服系统成为当时响应最快、控制精度最高的伺服系统。20 世纪 60 年代发展了现代控制理论，并主要在时域中进行研究，以状态空间优化控制、自适应控制及鲁棒控制为代表。1967 年瑞士布林格公司生产了首个比例阀（KL 比例复合阀）。20 世纪 70 年代初日本 YUKEN 公司申请了压力阀和流量比例阀两项专利。于是出现了可靠、价廉、控制精度和响应特性均能满足工业控制系统实际需要的电液比例技术。20 世纪 60 年代出现了板式以及叠加式液压元件系列；70 年代出现了插装式系列液压元件，从而逐步形成了以标准功能控制单元为特征的模块化集成单元技术。为了提高液压控制系统的实时工作效率，在 20 世纪 70 年代出现了负载敏感系统，功率协调系统；80 年代出现了二次调节系统，兴起了智能控制，先后推出了模糊控制、专家控制、神经网络控制以及遗传算法，克服了建数学模型难、参数时变及严重非线性等问题。20 世纪 70 年代后期开始研制电液数字阀，现已开发出规格齐全、性能稳定的增量式数字压力阀、流量阀和方向流量阀等产品。由于微电子技术的不断进步，形成了机械电子一体化产品，且通过标准的现场总线（field-

bus), 无线传输与上位机实行数字交互, 形成智能化数字控制电液控制系统, 不但提高了系统的静动态控制精度, 而且提高了系统的智能化程度、可靠性和鲁棒性, 提高了系统对负载、环境的自适应能力。

1.1 电液控制技术的新发展

1.1.1 工程控制系统的基本概念

电液控制技术作为连接现代微电子技术和大功率工程控制设备之间的桥梁, 在社会和工程需求的强力推动下, 显示出自身具有可靠、节能和廉价等明显特点, 已经赢得了相当广泛的应用领域, 形成了颇具特色的技术分支。电液控制技术越来越引起工程控制界的广泛重视, 尤其在机电液一体化和工程设备实现计算机控制的技术进步过程中, 电液控制已成为工程控制的关键技术之一, 同时其本身也获得了全新的发展。

1. 工程控制系统的基本单元

典型的工程控制系统由图 1-1 所示的各部分组成。

(1) 指令及信号处理单元 该单元接受人机对话的随机指令或定值、程序指令, 并接受反馈信号, 一般具有信号比较、交换、运算、逻辑等处理功能。传统的指令及信号处理单元多采用模拟电路。微电子和计算机技术的发展为工程控制系统提供了采用计算机指令和信号处理单元的可能性。在某些简单场合, 也可采用机械、液压或气动方式。例如, 在比例控制系统中的给定电位器或电位器组, 也可以是信号发生器或程序控制器, 指令信号可以手动设定或程序设定。最常见的是手动预置设定, 运行时程序选用。

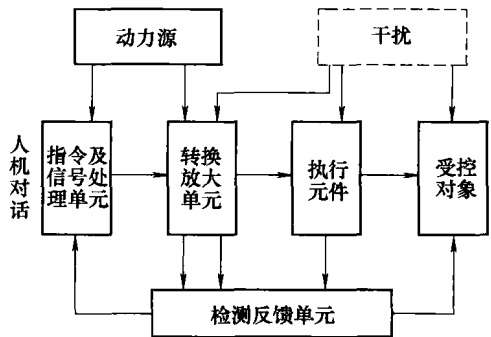


图 1-1 典型的工程控制系统

(2) 转换放大单元 该单元的功能是将指令信号按不同方式(如电气、电子、机械、液压和气动)进行互相转换和线性放大, 使放大后的功率足以控制执行部件并驱动受控对象。在采用电液或电气功率放大方案时, 该单元实际上包含了电子放大器、电-机械转换器和液压或气动功率放大器, 其总的放大增益为各部分增益之积。例如, 在电液比例控制系统中此单元包括电控器与比例阀两个元件。

(3) 执行元件 它是指直接驱动受控对象的元件。它可以是电磁元件, 如电磁铁、电动机等, 也可以是液压气动执行元件, 如液压或气动工作缸及马达。为了

使驱动特性与受控对象的负载特性相互匹配,还可附加变速机构,如液压马达和减速机构的组合等。在电液控制系统中,它是系统的输出装置,用于驱动负载。

(4) 受控对象 工程控制的受控对象种类繁多,但从动力学观点来区分,不外乎常值力、惯性力、弹性力、摩擦力、流体动力和某些随机力等几种负载。在工程实际中的受控对象通常都是几种负载的组合。

(5) 检测反馈单元 该单元的功能在于检测受控参数或其他中间变量,经放大、转换和处理后用以显示或作为反馈信号。常用的检测反馈元件有测速发电机、各类传感器等。

(6) 动力源 其功能是为各单元提供能源,通常包括电气动力源和流体动力源两大类。在电液控制系统中,动力源如液压泵站或液压源等。在气压传动系统中,动力源如空压站或空压机等。

(7) 干扰 干扰不是工程控制系统的组成部分,而是系统外部环境对系统行为产生影响的各种物理因素的总称。

上述各单元的组合便形成了工程控制系统,用来完成各种特定的控制任务。但从广义上来讲,除了物理系统外,它还包括生物工程系统、工程管理系统和工程经济系统,本书仅涉及物理系统。

2. 工程控制系统的分类

(1) 开、闭环系统 按是否采用反馈,工程控制系统可分为开环控制系统和闭环控制系统。

1) 开环控制系统。若系统的输出量对系统的控制作用不产生影响(即无检测反馈闭环回路),则称为开环控制系统。其精度和响应速度取决于各单元的精度和特性。因此,开环系统只能使用在精度要求不高而且不存在内外干扰的场合。开环系统不存在稳定性问题,不具有抗干扰能力,成本低。

2) 闭环控制系统。若系统的输出量对系统产生控制作用,则称为闭环控制系统。闭环控制系统也就是反馈控制系统。输入信号和反馈信号(反馈信号可以是输出信号本身,也可以是它的函数)之差称为误差信号,该误差信号(或经处理后的信号)作用于放大单元和执行部件,使系统受控对象的输出量趋近于期望值。闭环系统的优点是由于加入了检测反馈使系统对内部和外部的干扰不敏感,具有抗干扰能力,对系统参数变化也不太敏感,控制精度高,响应速度快,但要考虑反馈带来的稳定性问题,且成本较高,多用于系统性能要求较高的场合,如高精度数控机床及冶金、航空、航天设备等。

对于闭环稳定性难以解决,但响应速度要求较快、控制精度要求不太高、外扰较小、功率较大、要求成本低的场合,可以采用开环或局部闭环的控制系统。

(2) 伺服、自动调整和过程控制系统 按输入信号或受控输出参数的特征工程控制系统可分为伺服控制系统、自动调整系统和过程控制系统。

1) 伺服控制系统。这种系统的输出量能跟踪随机指令信号的变化, 其受控量多是位移、速度、加速度, 也可以是力或力矩。它被广泛应用于飞机、舰船和雷达的运动控制中。仿型刀架和数控机床应用的都是典型的伺服控制系统, 其特点是输入信号是任意变化的。例如, 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, 自动复现输入信号的变化规律。与此同时, 它还起到功率放大作用, 故又是一个功率放大装置。

2) 自动调整系统。这是一种输出量为常量或随时间变化得很慢的反馈控制系统。其任务是在内外干扰作用下保持系统输出量为期望值。例如, 恒温调节系统、动力机械的调速系统均是典型的自动调整系统。

3) 过程控制系统。输出量是按给定的时间函数实现控制的系统。这类系统被广泛应用于化工、冶金、造纸、食品等工业的工艺过程参数控制, 如温度、压力、流量、液面、pH值等。过程控制系统也可称为程序控制系统, 往往内含伺服控制系统。

(3) 自适应控制系统 按系统特性是否具有适应能力工程控制系统可分为自适应控制系统和无自适应控制系统。由于各种原因, 系统的特性往往是随时间而变化的, 如元件的老化、系统参数和环境的改变等, 只有采用具有一定适应能力的系统才能保持较高的精度。于是, 近代出现了自适应控制系统, 这种系统本身能够适应系统参数和环境条件及负载特性的随机变化, 自行调整闭环校正函数以获得最佳的控制特性。有的自适应系统还能补偿个别器件的特性变劣和一定程度的损坏, 从而提高了系统的可靠性。

(4) 最佳控制系统 为了使受控过程的耗能最低, 效率最高, 经济效益最好, 或质量最高, 人们提出了最优控制的概念。最优控制系统就是能保证在给定的初始状态和某些参数约束条件下, 自动确定控制函数, 以达到某预定目标函数的最优值。最优控制系统又可分为稳态最优和动态最优两类。前者只保证在稳定工况下实现最优化, 后者则保证系统工况变化的动态过程也实现最优化。它们在数学上分别属于函数求极值和泛函求极值的问题。最优控制的工程实践一般只能借助于计算机完成。

(5) 线性系统和非线性控制系统 如构成系统的诸元件特性均呈线性, 则按叠加原理称整个系统为线性系统, 否则就是非线性系统。但由于各种元件均可能存在死区、滞环、饱和以及其他非线性因子, 因此, 严格地讲, 线性系统在工程实际中是不存在的。只有当控制系统的信号变化幅度限制在一定范围内时, 系统的诸元件才可视作具有近似线性的特征, 为了简化分析, 该系统才可作为线性系统来处理。

(6) 时不变(定常)系统和时变系统 系统参数不随时间而改变的系统称为

时不变系统，否则就是时变系统。它们是由控制系统本身决定的。例如，运行的导弹由于燃料消耗使自身质量随时间而变化，机械手在运动过程中随着位置不同转矩也随之变化等都是典型的时变系统。时变系统的分析和控制都比较困难和复杂，为获得较高的控制品质，常采用自适应控制方法。

(7) 连续量控制系统和离散量控制系统 按控制系统中各变量随时间变化的特性可分为连续量控制系统和离散量控制系统。若某一控制系统的各变量均为时间的连续函数，则此系统为连续量控制系统。在这类系统中信号的传递和交换可以用直流方式，也可以采用交流方式来实现，后一种场合要应用调制和解调技术。如果在系统中某些信号是用脉冲或数码形式表达的，则该系统称为离散控制系统。计算机控制系统就属于离散控制系统。当采用电液数字阀时的控制系统必然是离散控制系统，它们是采用脉幅调制形式进行控制的系统。离散控制系统也有开环和闭环之分。

3. 反馈控制原理

反馈控制是实现工程控制的最基本方法。反馈控制的基本原理是利用控制装置将被控制对象的输出信号回输到系统的输入端，并与给定值进行比较形成偏差信号，以产生对被控对象的控制作用，使系统的输出量与给定值之差保持在允许的范围之内。反馈控制的基本特征是存在负反馈过程和按偏差进行调节。图 1-2 是电液位置控制系统原理图。其工作原理是：工作台期望到达某一位置，这一期望位置由输入该系统的指令电压 U_1 给定，工作台的实际位置由位移传感器测量，测量值被转换成相应的电压 U_2 。当工作台的实际位置与期望位置相等时， $U_1 = U_2$ ，若二者有差异则将存在电压差 $\Delta U = U_1 - U_2$ ， ΔU 经放大器放大并驱动电液伺服阀，经阀输出的相应液压力和流量则驱动液压缸活塞带动工作台移动。由期望位置和实际位置的偏差产生的调节作用，最终实现工作台的实际位置接近于指令给定的期望位置，当某种干扰引起工作台的实际位置产生偏移时，也会由位置偏差产生调节作用，使工作台的位置恢复到原始的状态。基于反馈控制过程中信号在系统内构成一个闭合回路，所以反馈控制系统通常又叫闭环控制系统。

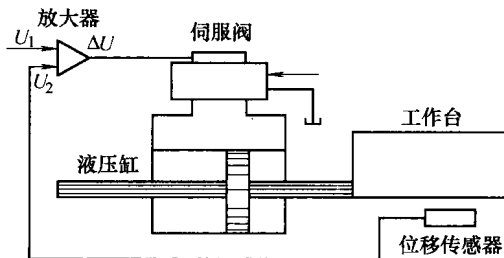


图 1-2 电液位置控制系统原理图

4. 反馈系统的组成

反馈控制系统的组成、类型和要求见表 1-1。

表 1-1 反馈控制系统的组成/类型和要求

<p>下面的职能功能图表示了一个典型的反馈控制系统一般组成、组成形式、信号传递和变换过程</p>	
基本组成	<p>系统中的主要信号</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 输入信号 (指令) u 来自系统外部确定的或变化的信号, 它决定着被控量的变化规律 2) 参考输入 r, 它比例于输入信号并与主反馈信号进行比较, r 为固定值, 也称给定值 3) 主反馈信号 b, 它是被控制量的函数, 并与参考输入进行比较以产生偏差信号 4) 偏差信号 e, 参考输入与主反馈信号之差 5) 输出信号 (被控制量) c, 系统中变化规律需要被检测和加以控制的信号 6) 干扰信号 f, 除输入信号外对系统的输出产生影响的因素, 它可能来自系统外部, 也可以来自系统内部
按控制要求	<ol style="list-style-type: none"> 1) 自动调节系统。其输入量为常值或随时间缓慢变化, 系统的主要任务是在受到干扰时, 使系统的实际输出量保持或接近于期望值 2) 程序控制系统。其输入量的变化规律是事先确定的, 系统将自动地使输出量尽可能准确地按事先给定的规律变化 3) 伺服系统。输入量为任意的时间函数, 系统应使输出量以一定的精度跟随输入量的变化而变化, 若系统的输入量是位置、速度之类的机械量, 工程中通常称伺服控制系统
基本类型 按其他不同特征来分	<ol style="list-style-type: none"> 1) 线性系统和非线性系统。线性系统是描述系统动态特性的数学方程为线性微分方程的一类系统, 否则为非线性系统。线性系统满足叠加原理和均匀性定理 2) 连续系统和离散系统。系统中各部分的信号均为连续的时间变量 t 的函数, 称为连续系统, 其运动特性可用微分方程来描述。若系统中的一处和某几处信号的形式是脉冲或数码, 这类系统称为离散系统, 离散控制系统运动特性可用差分方程来描述 3) 确定系统和不确定系统。系统的结构和参数是确定和已知的, 且作用于系统的输入信号 (包括干扰信号) 也是确定的一类系统为确定系统。若系统本身或作用于该系统的信号不确定或模糊时, 则称为不确定系统 4) 单输入单输出系统和多输入多输出系统。系统的输入和输出量各为一个称为单输入单输出系统, 它只有一个主反馈信号。若系统有多个输入和输出量, 则为多输出系统, 也称多变量系统
反馈控制系统的 基本要求	<ol style="list-style-type: none"> 1) 稳定性。系统稳定且有一定的稳定裕量 2) 稳态精度。系统达到平衡状态后要求满足一定的准确度 3) 动态品质。要求系统过渡过程的性能满足一定的指标 4) 运行条件 5) 可靠性 6) 经济性

1.1.2 电液控制系统的特点及分类

1. 电液控制系统的特点

数十年来, 液压传动技术的发展受到了电气传动发展的不断挑战, 但认真地讲, 两者之间也是取长补短、相互结合的, 液压传动技术的进步在很大程度上依赖电子技术的发展。也就是说, 电和液压的合作成分实际上大于竞争的成分。大家知道, 电气或电子技术在信号的检测、放大、处理和传输等方面比其他方式具有明显的优势, 特别是现代微电子集成技术和计算机科学的进展使得这种优势更显突出。因此, 工程控制系统的指令及信号处理单元和检测反馈单元几乎无一例外地采用了电子器件。但是, 在功率转换放大单元和执行部件方面, 液压元件则具有更多的优越性, 其主要特点如下:

1) 液压执行元件的功率密度大, 也就是功率-质量比和转矩-惯性矩比(或力-质量比)大, 可以构成体积小、质量轻、响应速度快的大功率控制单元。对于中、大功率的系统, 这一优点尤为突出。因为电气元件的最小尺寸取决于最大的有效磁通密度和功率损耗所产生的发热量, 与电流密度有关。最大有效磁通密度受磁性材料的磁饱和限制, 而发热量的散发又比较困难。所以电气元件的结构尺寸较大, 功率-质量比和力矩-惯量比小。而液压元件功率损耗所产生的热量可由油液带到冷却器去冷却, 它的尺寸主要取决于最大工作压力。由于最大工作压力可以很高(目前可达32MPa甚至更高), 所以液压元件的体积小、质量轻, 而输出力或力矩却很大。据统计, 一般液压泵的质量只是同功率电动机质量的10%~20%, 几何尺寸约为后者的12%~13%。液压马达的功率-质量比一般为相当容量电动机的10倍, 而力矩-惯量比为电动机的10~50倍。

2) 液压控制系统的负载刚度大、精度高, 即输出位移受外负载的影响小, 定位准确, 位置误差小, 精度高。这一点是电动机和气动控制系统所不能比拟的。

液压控制系统的输出位移(或角度)受负载变化的影响小, 即有较大的速度-负载刚度(速度-力或转速-力矩曲线斜率的倒数很大), 定位准确, 控制精度高。由于液压固有频率高, 允许液压控制系统特别是电液伺服系统有较大的开环放大系数, 因此可以获得较高的精度和响应速度。另外, 由于液压系统中油液的体积弹性模量很大, 压缩性很小, 故液压动力元件的速度刚度大, 组成闭环系统时其位置刚度也大。液压马达的开环速度刚度约为电动机的5倍, 电动机的位置刚度很低接近于零, 更无法与液压马达相比。因此, 电动机只能用来组成闭环位置控制系统, 而液压执行元件(液压马达或液压缸)却可以用来进行开环位置控制。当然, 闭环液压位置控制系统的刚度比开环时要高得多。

3) 液压控制系统快速性好, 响应快。由于液压动力元件的力矩-惯量比(或力-质量比)大, 因此可以安全、可靠并快速地实现频繁的带负载起动、制动与正反