

高等学校教材

液压控制系统

吴振顺 编



高等教育出版社
Higher Education Press

高等学校教材

内容提要

液压控制系统

吴振顺 编
王积伟 审阅

图书在版编目(CIP)数据

液压控制系统 / 吴振顺编. — 北京: 高等教育出版社, 2008.2

2008.2

ISBN 978-7-04-023114-4

I. 液… II. 吴… III. 液压控制—控制系统—高等学校—教材—IV. TH137

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第058836号

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第058836号

责任编辑	王积伟	封面设计	吴振顺	版式设计	王积伟	责任印制	王积伟
文字编辑	王积伟	版式设计	吴振顺	版式设计	王积伟	责任印制	王积伟

ISBN 7-04-023114-4	定价	23.00元
ISBN 978-7-04-023114-4	定价	31.50元
ISBN 978-7-04-023114-4	定价	28.00元

地址: 北京西城区德胜大街4号
邮编: 100120
电话: 010-28281000
网址: <http://www.hep.com.cn>
E-mail: hep@hep.com.cn

高等教育出版社

编辑 王积伟

内容提要

林慧萍学等

本书全面系统地介绍液压控制系统理论。本书包括液压控制阀、液压动力机构、电液伺服阀、电液位置控制系统、电液速度控制系统、电液力控制系统、机械液压控制系统、非线性液压控制系统的分析等章节。书中充分利用 MATLAB 与 SIMULINK 仿真平台,极大地丰富了液压控制系统的分析与设计。为了学以致用,加深对液压控制系统主要内容的理解与掌握,本书在阐明液压控制系统理论的基础之上,以大量的具体实例加以说明,并相应给出了 SIMULINK 仿真模型和液压控制系统频率特性与时域特性仿真及分析结果。

本书体系符合教学规律,好学易教,在编写的过程中注意兼顾科学知识的传授和创新能力的培养。本书是高等院校机械设计制造及其自动化专业教材,可作为高等院校机械类本科高年级学生及研究生的教学用书,也可作为从事液压控制系统技术研究与应用工程技术人员的自学与参考书籍。

阎申 林慧萍

图书在版编目(CIP)数据

液压控制系统/吴振顺编. —北京:高等教育出版社, 2008. 5

ISBN 978 - 7 - 04 - 023114 - 4

I. 液… II. 吴… III. 液压控制 - 控制系统 - 高等学校 - 教材 IV. TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 029836 号

策划编辑 卢广 责任编辑 查成东 封面设计 张志奇 责任绘图 尹莉
版式设计 马敬茹 责任校对 王超 责任印制 毛斯璐

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010 - 58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800 - 810 - 0598
邮政编码	100120	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010 - 58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京机工印刷厂		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787 × 1092 1/16	版 次	2008 年 5 月第 1 版
印 张	21.25	印 次	2008 年 5 月第 1 次印刷
字 数	520 000	定 价	26.60 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 23114 - 00

前 言

本书是高等院校机械设计制造及其自动化专业教材,是编者在几十年教学和科学研究的基础上,总结同类教材的编写经验,注意吸取国内外液压控制系统课程领域成功的教学经验和最新科研成果编写而成的。

全书分为9章。第1章绪论,主要讲述液压控制系统的基本原理、组成、分类、特点及其应用等。第2章液压控制阀,主要介绍液压控制阀的结构和分类、液压控制阀的分析,给出了各类阀的稳态特性方程、阀系数、液动力的计算等。第3章液压动力机构,是本课程的重点,主要介绍液压动力机构,其中包括四通阀控液压缸、四通阀控液压马达、三通阀控液压缸、泵控液压马达及对称阀控非对称液压缸等,讨论了动力机构的基本方程、传递函数、频率特性响应及主要性能参数分析。第4章电液伺服阀,主要介绍电液伺服阀的工作原理、分类,永磁力矩马达、电液伺服阀的动态分析及电液伺服阀的性能及其规格选择等问题。第5章电液位置控制系统,也是本课程的重点,用较大的篇幅介绍液压位置控制系统的组成、工作原理、频率特性与时域特性分析、系统误差分析、设计原则及其校正方法等。第6章电液速度控制系统,主要介绍速度控制系统的构成及控制方式、电液速度控制系统的动态特性分析及其校正等。第7章电液力控制系统,主要介绍驱动力控制系统、压力控制系统、负载力控制系统及加载控制系统等。第8章机械液压控制系统,主要介绍典型机械液压控制系统的分析、机械液压控制系统的校正、液压仿形刀架位置控制系统、液压力矩控制系统、机液负载模拟器的分析等。第9章非线性液压控制系统的分析,主要介绍液压控制系统中的非线性、非线性液压控制系统的描述函数分析、时域特性分析、利用非线性特性改善液压控制系统的性能等。书中列举了大量的具体实例,基于MATLAB、SIMULINK仿真平台,详细介绍了各类控制系统的静、动态特性分析与设计。

液压控制系统与液压传动系统是两门不同的课程。液压传动系统主要完成能量的转换与传递,不起控制作用,在没有精度要求的情况下可以采用液压传动系统。而液压控制系统具有高响应、高精度、大功率、高可靠性等优点,在航天、航空、航海、兵器、矿山、冶金及民用等各方面都得到极其广泛的应用。可以说,液压控制系统是在自动控制理论和液压传动基础上发展起来的,液压控制系统中液压控制系统数学模型的描述、液压控制系统静动态特性的分析以及液压控制系统校正装置的设计等都与自动控制理论紧密相关。

在编写的过程中,作者始终贯彻取材精练、通俗易懂、刻意求新、学以致用方针。力求理论知识完整,并注意吸收同类教材成功的编写经验和先进的编写思路,努力兼顾科学知识的传授和创新能力的培养,同时注意引进国内外先进技术和最新研究成果,充分利用MATLAB及SIMULINK仿真平台分析和设计液压控制系统。每章都列举了大量的具体实例并附有导学部

分、思考与练习和本章小结,点明本章的重点、难点和知识点,着眼于使读者尽快掌握液压控制这一门科学技术,从基本理论、基本方法出发,培养读者提出问题、分析问题和解决问题的能力,希望本书能起到抛砖引玉的作用。

本书由吴振顺编著。东南大学王积伟教授审阅了本书并提出许多宝贵的意见与建议,在此表示深切的感谢。

由于液压控制系统涵盖内容繁杂、涉及知识面广,加上作者学识浅薄、经验不足、水平有限,疏漏或不当之处在所难免,殷切期望广大读者批评与斧正。

吴振顺

2007年5月于哈尔滨工业大学

目 录

第1章 绪论	1	2.3.3 正开口四通阀的阀系数	26
1.1 液压控制系统的基本原理及其特点	1	2.3.4 正开口四通阀的泄漏量与液动力	27
1.1.1 液压控制系统基本原理	1	2.4 三通滑阀的分析	28
1.1.2 液压控制系统特点	4	2.4.1 零开口三通阀的分析	28
1.2 液压控制系统的组成及分类	5	2.4.2 正开口三通阀的分析	29
1.2.1 液压控制系统的组成	5	2.5 喷嘴挡板阀的分析	30
1.2.2 液压控制系统的分类	6	2.5.1 单喷嘴挡板阀的分析	31
1.3 液压控制系统的研究内容与研究方法	6	2.5.2 双喷嘴挡板阀的分析	34
1.3.1 液压控制系统的研究内容	6	2.6 本章小结	38
1.3.2 液压控制系统的研究方法	6	思考与练习	39
1.4 本章小结	7	第3章 液压动力机构	40
思考与练习	8	3.1 四通阀控液压缸动力机构	40
第2章 液压控制阀	9	3.1.1 四通阀控液压缸动力机构的基本方程	41
2.1 液压控制阀概述	9	3.1.2 四通阀控液压缸动力机构的方框图、传递函数及状态方程	42
2.1.1 液压控制阀的结构分类	9	3.1.3 四通阀控液压缸动力机构液压刚度及传递函数的简化形式	46
2.1.2 液压控制阀的定义和作用	12	3.1.4 主要性能参数分析	50
2.2 零开口四通阀的分析	13	3.1.5 四通阀控液压缸动力机构的频率特性分析	52
2.2.1 零开口四通滑阀的假设条件	13	3.1.6 四通阀控液压缸动力机构的动态柔度及动态刚度特性	54
2.2.2 零开口四通滑阀的流量-压力特性方程	14	3.2 四通阀控液压马达动力机构	56
2.2.3 零开口四通滑阀量纲一的流量-压力特性方程	15	3.2.1 阀控液压马达的基本方程	56
2.2.4 流量-压力特性曲线	15	3.2.2 阀控液压马达的传递函数	58
2.2.5 流量-压力特性方程的线性化	16	3.3 三通阀控液压缸动力机构	60
2.2.6 零开口四通滑阀的阀系数	17	3.3.1 三通阀控差动液压缸的基本方程	60
2.2.7 零开口四通阀的液动力分析	19	3.3.2 三通阀控差动液压缸的方框图及其传递函数	60
2.2.8 实际零开口阀的泄漏特性	22	3.4 泵控液压马达动力机构	63
2.2.9 滑阀主要结构参数的确定	22	3.4.1 泵控液压马达动力机构的基本	
2.3 正开口四通阀的分析	24		
2.3.1 假设条件	24		
2.3.2 正开口四通滑阀的稳态特性	25		

方程	63	方框图	112
3.4.2 泵控液压马达的方框图与传递函数	65	4.4 单级电液伺服阀的分析	113
3.4.3 泵控液压马达和阀控液压马达的比较	66	4.4.1 动铁式单级电液伺服阀	113
3.5 对称阀控非对称液压缸动力机构	67	4.4.2 动圈式单级电液伺服阀的方框图	117
3.5.1 对称阀控非对称液压缸动力机构的基本方程	67	4.5 力反馈两级电液伺服阀的分析	118
3.5.2 对称阀控非对称液压缸动力机构的传递函数	72	4.5.1 力反馈两级电液伺服阀的基本方程	118
3.5.3 对称阀控非对称液压缸动力机构传递函数的简化形式	74	4.5.2 力反馈两级电液伺服阀的方框图及其传递函数	120
3.5.4 对称阀控非对称液压缸动力机构频率特性分析举例	76	4.6 两级滑阀式电液伺服阀的分析	122
3.6 动力机构的负载折算、负载轨迹及参数选择	81	4.6.1 动圈式两级滑阀电液伺服阀的方框图	122
3.6.1 动力机构的最大输出功率及液压系统的效率	81	4.6.2 动圈式两级滑阀电液伺服阀的传递函数	122
3.6.2 动力机构的负载折算	83	4.7 电液伺服阀的选择及其性能参数	123
3.6.3 负载轨迹	87	4.7.1 电液伺服阀的选择方法	123
3.6.4 动力机构的负载最佳匹配	91	4.7.2 伺服阀的主要性能参数	124
3.7 本章小结	96	4.7.3 使用伺服阀应注意的事项	125
思考与练习	97	4.8 伺服放大器的传递函数及控制线圈的连接方式	125
第4章 电液伺服阀	98	4.8.1 电压负反馈伺服放大器的传递函数	125
4.1 电液伺服阀的结构、分类及其工作原理	98	4.8.2 电流负反馈伺服放大器的传递函数	126
4.1.1 电液伺服阀的结构与功能	98	4.8.3 伺服阀控制线圈的连接方式	127
4.1.2 电液伺服阀的分类	99	4.9 本章小结	128
4.1.3 电液伺服阀的工作原理	100	思考与练习	128
4.2 动铁式永磁力马达的分析	103	第5章 电液位置控制系统	129
4.2.1 概述	103	5.1 液压位置控制系统的组成与工作原理	129
4.2.2 动铁式力矩马达的基本方程	103	5.2 液压位置控制系统的方框图与传递函数	131
4.2.3 动铁式力矩马达的传递函数	107	5.3 液压位置控制系统频率特性与时域特性分析	135
4.2.4 动铁式力矩马达的静、动态特性分析	108	5.3.1 开环频率特性分析与系统稳定条件	135
4.2.5 设计动铁式力矩马达时应注意的事项	112		
4.3 动圈式永磁力马达的分析	112		
4.3.1 动圈式力马达的基本方程	112		
4.3.2 动圈式力马达的传递函数和			

5.3.2	闭环频率特性分析	137	控制	176
5.3.3	系统闭环柔度特性与刚度特性 分析	138	5.8.5	液压位置系统的压力反馈和动压 反馈
5.3.4	液压位置控制系统的时域特性 分析	140	5.9	液压位置控制系统的设计步骤及 应用举例
5.3.5	利用 SIMULINK 仿真平台实现液压 位置控制系统动态分析例	142	5.9.1	液压位置控制系统的设计 步骤
5.4	液压位置控制系统误差分析	145	5.9.2	液压位置控制系统的应用 举例
5.4.1	液压位置控制系统的稳态 误差	145	5.10	本章小结
5.4.2	液压位置控制系统的静态 误差	146	思考与练习	214
5.4.3	利用 SIMULINK 仿真平台实现 跟踪误差与稳态误差分析	147	第6章	电液速度控制系统
5.5	典型液压位置控制系统的特点 及其设计原则	149	6.1	电液速度控制系统的构成及 控制方式
5.5.1	液压位置控制系统的特点	149	6.2	电液速度控制系统的分析
5.5.2	液压位置控制系统的设计 原则	150	6.2.1	速度控制系统的方框图及传递 函数
5.6	具有弹性负载的液压位置控制 系统	156	6.2.2	速度控制系统的分析
5.6.1	具有弹性负载的液压控制系统的 传递函数	156	6.2.3	速度控制系统的校正
5.6.2	具有弹性负载的液压控制系统 动态特性分析	157	6.3	电液速度控制系统的分析与 设计举例
5.6.3	具有弹性负载液压控制系统 的特点	158	6.4	本章小结
5.6.4	具有弹性负载液压位置控制系统 设计举例	159	思考与练习	240
5.7	对称阀控非对称缸液压位置 控制系统	162	第7章	电液力控制系统
5.7.1	对称阀控非对称缸液压位置控制 系统及其方框图	162	7.1	驱动力控制系统
5.7.2	对称阀控非对称缸液压位置控制 系统动态特性分析	164	7.1.1	单自由度驱动力控制系统的 分析
5.8	液压位置控制系统常用的校正 方法	165	7.1.2	双自由度驱动力控制系统的 分析
5.8.1	滞后校正(PI校正)	166	7.1.3	设计举例
5.8.2	滞后-超前校正(PID校正)	169	7.2	压力控制系统的分析
5.8.3	加速度、速度负反馈校正	172	7.2.1	静载压力控制系统
5.8.4	液压位置控制系统的极点配置		7.2.2	发散力控制系统
			7.3	负载力控制系统
			7.3.1	负载力控制系统的分析
			7.3.2	负载力控制系统设计举例
			7.4	加载控制系统
			7.4.1	正开口伺服阀加载原理
			7.4.2	零开口伺服阀加载原理
			7.4.3	加载系统的数学模型

7.4.4	加载控制系统设计时需考虑的 几个问题	265
7.4.5	加载控制系统的结构不变原理	265
7.4.6	加载控制系统的设计举例	267
7.5	本章小结	270
	思考与练习	271
第8章	机械液压控制系统	273
8.1	典型机械液压控制系统的 分析	273
8.2	机械液压控制系统的校正	276
8.2.1	液压阻尼器	276
8.2.2	相位滞后液压校正装置	278
8.2.3	相位超前液压校正装置	279
8.2.4	相位超前机械校正网络	280
8.2.5	相位滞后机械校正网络	282
8.2.6	滞后-超前机械校正网络	283
8.2.7	液压继电器及液压继电器的 校正	284
8.3	液压仿形刀架位置控制 系统	286
8.3.1	液压仿形刀架的结构及其工作 原理	286
8.3.2	液压仿形刀架的数学模型	287
8.3.3	液压仿形刀架位置控制系统的 动态特性分析举例	288
8.4	液压力矩放大器	290
8.4.1	液压力矩放大器的构成与工作 原理	290
8.4.2	液压力矩放大器的数学模型	291
8.4.3	液压力矩放大器的动态特性 分析举例	292
8.5	机液负载模拟器	293

8.5.1	机液负载模拟器的工作原理	293
8.5.2	机液负载模拟器的分析	294
8.6	本章小结	298
	思考与练习	298
第9章	非线性液压控制系统的 分析	300
9.1	非线性液压控制系统	300
9.1.1	概述	300
9.1.2	液压控制系统中的典型非线性 特性	301
9.1.3	非线性液压控制系统的特点、 研究问题及其研究方法	301
9.2	非线性液压控制系统的描述 函数分析	302
9.2.1	描述函数的定义	302
9.2.2	液压控制系统中典型非线性 特性的描述函数	303
9.2.3	描述函数法在非线性液压控制 系统中的分析	309
9.2.4	利用描述函数法分析典型非线性 液压控制系统举例	312
9.3	非线性液压控制系统的时域 特性分析	315
9.3.1	非线性液压控制系统的状态方程 及其输出方程	316
9.3.2	利用 SIMULINK 仿真平台分析 非线性液压控制系统举例	319
9.4	利用非线性特性改善液压控制 系统的控制性能	322
9.5	本章小结	325
	思考与练习	326
	参考文献	328

第 1 章 绪 论

本章简单介绍了液压控制系统的基本原理、组成、分类、特点及其应用等,要求学生熟悉液压传动系统与液压控制系统的主要区别、液压控制系统的分类和组成等。

液压控制系统与液压传动系统相比,液压传动系统主要完成能量的转换与传递,它不起控制作用,在没有精度要求的情况下,可以采用液压传动系统。而液压控制系统除了具有液压传动系统的所有优点外,还具有高响应、高精度、大功率、系统刚度大以及抗干扰能力强等优点。在航天、航空、航海、兵器、矿山、冶金及民用等各方面都得到极其广泛的应用。例如运载火箭的飞行控制、六自由度空间对接模拟装置、导弹制导系统、负载模拟器、飞机驾驶仪操作系统、飞行员训练模拟装置、雷达天线控制系统、舵机控制系统、军用舰艇稳定平台控制系统、船用消摆系统、带钢跑偏控制系统、张力控制系统、数控机床、仿形车床、大型车辆转向助力器、地震模拟台、振动试验台、疲劳试验机、道路模拟试验台、汽车驾驶员训练模拟装置等均采用液压控制系统。

可以说,液压控制系统是在自动控制理论和液压传动系统的基础上发展起来的,特别是数字计算机的迅速发展,电子技术的应用,现代控制理论、智能控制理论的发展,使得液压控制系统无论是在控制理论方面,还是在技术应用方面都日趋完善与成熟,并成为一门学科。液压控制系统中的液压控制系统数学模型的描述、液压控制系统静态特性的分析以及液压控制系统校正装置的设计、智能液压控制系统的研究等都与控制理论紧密相关。

1.1 液压控制系统的基本原理及其特点

1.1.1 液压控制系统基本原理

液压控制系统,也称为液压随动系统。它由液压控制元件、液压执行元件、液压能源装置等组成。在液压控制系统中,液压执行元件的运动亦即液压伺服系统的输出(包括机械位移、运动速度和加速度等),能自动地、快速精确地反映输入信号随时间的变化。为了说明液压控制系统的基本工作原理,这里以最常见的液压速度控制系统和液压位置控制系统为例加以介绍。

1. 液压速度系统

液压速度系统分为液压速度传动系统与液压速度控制系统两种,如图 1.1 所示。

图 1.1(a)为液压速度传动系统,它主要由液压缸、工作台、电磁换向阀、调速阀及液压能源装置组成。其工作原理可以简述为:当电磁铁 CT_1 通电,电磁换向阀左边功能工作,液压油经电

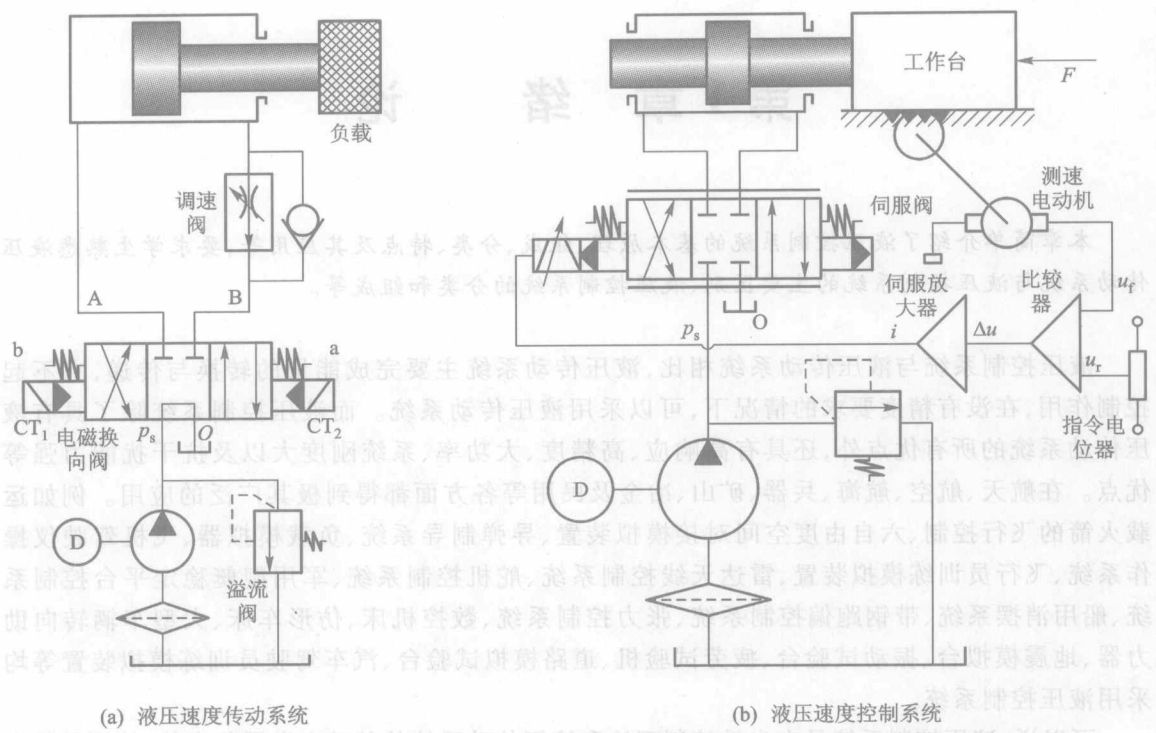


图 1.1 液压速度系统

磁换向阀、单向阀进入活塞杆右侧，液压缸活塞在压力油的作用下向左快速运动，其运动速度由液压泵的输出流量决定。当 CT_2 通电，电磁换向阀换向，液压油经电磁换向阀直接进入液压缸左腔，液压缸活塞在压力油的作用下向右运动，液压缸右腔的回油经调速阀、电磁换向阀回油箱，其流量受调速阀控制，从而控制活塞运动速度。通过调节调速阀的节流口，可以改变活塞运动速度的大小。这里需要说明的是，调速阀具有压力补偿和温度补偿作用，调速阀的流量不受负载变化和温度变化的影响。但是它不能补偿液压缸、单向阀等液压元件泄漏的影响，所以当负载增加时，因泄漏的增加会使系统速度有所减慢。

由上述液压速度传动系统工作原理可知，液压传动系统液压缸的运动方向是根据电磁换向阀电磁铁 CT_1 、 CT_2 的通电、断电改变换向阀阀芯运动方向，控制液压缸的运动方向。液压缸的运动速度分为向左快速运动和向右慢速运动，向左快速运动的速度由泵的输出流量决定，向右慢速运动的速度由调速阀调节。液压速度传动系统特点是调速阀对温度、压力有补偿作用，可以不受温度、负载变化的影响，但对系统元件的泄漏不起补偿作用。

图 1.1(b) 为液压速度控制系统，它主要由液压伺服缸、电液伺服阀、测速电动机、指令元件、伺服放大器、工作台、校正装置以及液压能源装置等组成。其工作原理为：当指令电位器给出一个指令信号 u_r 时，通过比较器与反馈信号 u_f 比较，输出偏差信号 Δu ，偏差信号经伺服放大器输出控制电流 i ，控制电液伺服阀运动，电液伺服阀输出流量、压力来控制液压伺服缸，推动工作台运动。

由液压速度控制系统的基本工作原理可知，液压伺服缸活塞的运动方向由控制电流的正

负极性确定,液压伺服缸活塞的运动速度由控制电流的大小决定。液压速度控制系统特点是对温度、负载、泄漏等均有自动补偿作用,系统输出可以满足系统性能指标的要求,使系统输出误差控制在允许的范围。液压速度控制系统是负反馈控制系统,其工作原理如图 1.2 所示。

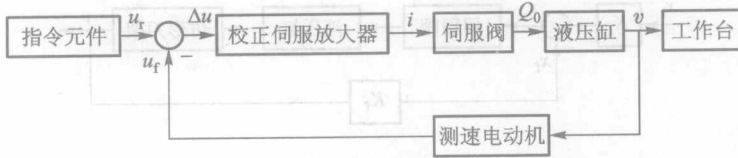


图 1.2 液压速度控制系统职能方框图

图 1.2 液压速度控制系统职能方框图清楚地描述了指令元件、校正伺服放大器、伺服阀、液压伺服缸以及测速电动机之间的连接关系及信号流向。

2. 液压位置控制系统

典型的液压位置控制系统如图 1.3 所示,它是一个仿形刀架机液伺服控制系统,主要由滑阀、液压缸及反馈机构组成。

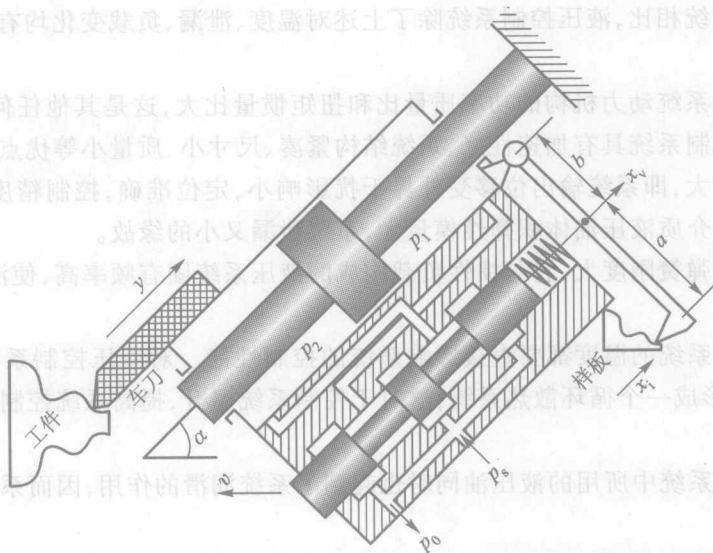


图 1.3 仿形刀架机液伺服控制系统示意图

仿形刀架的装配特点是:液压缸活塞杆固定安装,缸体移动,阀套与缸体刚性连接,触头与模板接触。其工作原理为:当仿形刀架开始工作时,由于触头与模板直接接触,产生输入位移 x_i ,通过杠杆带动阀芯移动,其位移设为 x_v ,阀芯与阀套之间形成控制节流口,控制进出液压缸压力油的流量与流动方向,液压缸缸体在压力油的作用下产生运动,直接带动刀架运动。由于阀套与缸体刚性连接,在缸体带动刀架运动的同时,阀套也同时作相同的运动,使阀芯与阀套之间的控制节流口逐渐变小,直到恢复阀套与阀芯的相对原始位置,控制刀架完全跟踪触头运动。根据该原理可知,由于液压能源的存在,车刀上的力要远大于触头的输出力,仿形刀架实际上是一个力放

大器。仿形刀架的各部件之间的连接关系及信号流向,可以用职能方框图 1.4 描述,它的输入量是触头的位移 x_i ,液压缸缸体的位移 y 是该系统的输出量,即被控制量,伺服阀是比较、放大元件,系统的偏差为伺服阀芯的位移 x_v ,液压缸是该系统的执行元件,杠杆是该系统的反馈检测元件,其反馈系数设为 K_f 。

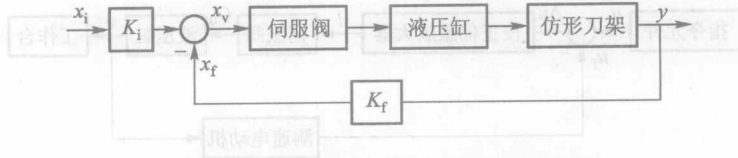


图 1.4 仿形刀架液伺服控制系统职能图

由上述分析可知,仿形刀架运动方向是由输入信号 x_i 控制的,改变 x_i 的运动方向即改变系统输出量 y 的运动方向,输出量 y 的大小是由输入信号 x_i 的大小控制。这种位置控制系统的特点是对温度、泄漏、负载的变化均有自动补偿、调节的作用,它也是一个负反馈控制系统。

1.1.2 液压控制系统特点

与其他控制系统相比,液压控制系统除了上述对温度、泄漏、负载变化均有补偿作用外,还具有如下优点:

(1) 液压控制系统动力机构的功率质量比和扭矩惯量比大,这是其他任何动力机构不能比拟的,因此,液压控制系统具有加速性好、系统结构紧凑、尺寸小、质量小等优点。

(2) 系统刚度大,即系统输出位移受外界干扰影响小,定位准确,控制精度高。这是由于液压控制系统所用的介质液压油体积弹性模量大,系统泄漏又小的缘故。

(3) 由于液压弹簧刚度大,它与惯性负载构成的液压系统固有频率高,使液压控制系统频带宽、响应速度快。

(4) 任何控制系统的温度都要直接影响系统的控制性能。对液压控制系统来说,系统在正常的工作中,自然形成一个循环散热系统,这对于控制系统温升,提高系统控制性能,都将带来极大的好处。

(5) 液压控制系统中所用的液压油同时也起到了系统润滑的作用,因而系统润滑性好,系统使用寿命长。

鉴于上述液压控制系统的突出优点,使得液压控制系统得以广泛的应用,但它还存在下述缺点:

(1) 液压元件,尤其是液压控制元件,它的抗污染能力很差,对油液的清洁度要求很高。液压控制系统所发生的故障,绝大多数是由于液压控制元件被污染、堵塞所造成的。

(2) 液体粘度受系统温度的影响大,它的变化直接影响系统的粘性阻尼,将给系统稳定性和系统密封性带来不利的影

(3) 制造精度高、经济性差,由于液压控制系统是精密控制系统,要求构成液压控制系统元件的制造精度高,这就直接提高了系统成本,影响液压控制系统的推广应用。

(4) 能源供给不方便,液压控制系统不像电控系统电能可以长距离输送,如果液压能像电能

那样长距离输送,这不但会加大管道压力损失,还会给系统响应速度带来不利的影响,可能引起系统的不稳定。在一般的情况下,一套液压控制系统,需要有一套液压能源装置,这无疑进一步提高液压控制系统的制造成本。

1.2 液压控制系统的组成及分类

1.2.1 液压控制系统的组成

典型的位置控制系统如图 1.5 所示,它由指令元件(计算机、D/A 转换器)、比较元件(加法器)、校正装置(校正放大器)、放大元件(伺服阀)、执行元件(液压伺服缸)、被控对象(负载)、反馈元件(位移传感器)等组成。它们之间的连接关系如图 1.6 所示。

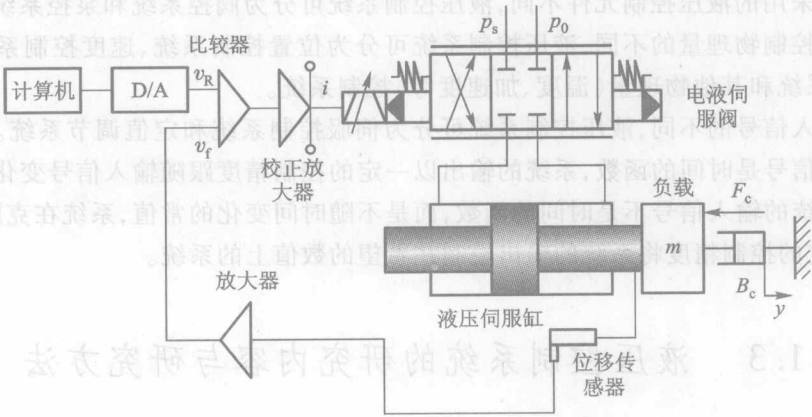


图 1.5 液压位置控制系统



图 1.6 液压控制系统职能结构图

由指令元件发出指令,通过比较元件与反馈元件输出信号的比较,产生偏差信号,通过校正装置、放大元件产生控制信号控制执行元件,带动被控对象运动,传感器的输出信号通过反馈元件反馈到输入端。当偏差信号趋向于零时,系统的输出将被控制在希望的位置上。由此可知,典型的控制系统一般由下述元件构成:

(1) 指令元件 给出指令控制信号,指令元件通常有指令电位器、数字计算机或其他元件。

(2) 比较元件 将控制信号和反馈信号加以比较,输出偏差信号。比较元件有时不是单独存在的,它可以由输入元件、反馈检测元件、放大器构成一个整体结构,例如仿形刀架中的滑阀,它是集控制输入、比较和放大于一体的控制元件。

(3) 反馈元件 检测被控制量,给出系统的反馈信号。例如位置控制系统中的位移传感器、速度控制系统中的测速电动机、力控制系统中的力传感器等。

(4) 放大元件 将偏差信号加以放大,并作能量转换,以液压量(流量、压力)的形式输出,控制执行元件运动,例如电液伺服系统中的电液伺服阀。

(5) 执行元件 直接控制被控对象,例如液压伺服缸、液压伺服马达。

(6) 被控对象 它是系统所要控制的对象,例如工作台或其他的负载等。

除了上述基本元件外,系统还需要有能源装置和其他的辅助装置等。

1.2.2 液压控制系统的分类

液压控制系统可按下述几种方法进行分类:

(1) 按能量转换的形式不同,液压控制系统可分为机械-液压控制系统、电气-液压控制系统、气动-液压控制系统等。

(2) 按所采用的液压控制元件不同,液压控制系统可分为阀控系统和泵控系统。

(3) 按被控制物理量的不同,液压控制系统可分为位置控制系统、速度控制系统、力控制系统、压力控制系统和其他物理量(温度、加速度等)控制系统。

(4) 按输入信号的不同,液压控制系统可分为伺服控制系统和定值调节系统。其中伺服控制系统的输入信号是时间的函数,系统的输出以一定的控制精度跟随输入信号变化的控制系统。而定值调节系统的输入信号不是时间的函数,而是不随时间变化的常值,系统在克服外界干扰的影响下,以一定的控制精度将系统的输出控制在希望的数值上的系统。

1.3 液压控制系统的研究内容与研究方法

1.3.1 液压控制系统的研究内容

液压控制系统是建立在液压传动、自动控制理论及流体力学基础上的一门学科。本课程所研究的内容是液压控制阀、液压动力机构、电液伺服阀及各类电液控制系统。其中液压动力机构是本课程的重点,它建立了适合应用于各类液压控制系统的动力机构的基本方程、传递函数以及状态方程及其输出方程,给出研究液压动力机构的基本方法与基本思想,分析了液压动力机构的动态特性及动力机构结构参数对性能特性的影响。在各类液压控制系统中以电液位置控制系统为重点,主要研究包括构成各类系统的组成、工作原理、频率特性、时域特性与系统误差分析、系统设计原则及其校正方法。在非线形液压控制系统中,主要研究液压控制系统中的非线性、非线性液压控制系统的描述函数分析、时域特性分析、利用非线性特性改善液压控制系统的性能等。本书中列举了大量的具体应用实例,充分利用 MATLAB、SIMULINK 仿真平台,详细介绍了各类控制系统的静、动态特性分析与设计。

1.3.2 液压控制系统的研究方法

如前所述,液压控制系统是在自动控制理论和液压传动的基础上发展起来的,液压控制系统

的分析是建立在自动控制理论的基础上的。自动控制相关理论、基本分析方法都适用于液压控制系统的分析与设计。主要的方法有时域特性分析法、频域特性分析法及状态空间分析法等。数字计算机、控制理论的迅速发展,特别是 MATLAB 与 SIMULINK 仿真软件的推出,给液压控制系统的分析与设计带来了极大的方便。

由于描述液压控制元件的微分方程都是非线性或高阶的,对于包含这类非线性控制元件的液压控制系统,直接根据现代控制理论,写成非线性状态微分方程或编写数值计算程序,或利用 MATLAB 仿真平台,在数字计算机上进行液压控制系统的特性分析与系统设计,无疑是今后的发展方向。但不能因此而忽略线性化理论的作用,利用线性化理论分析液压控制系统,可以揭示液压控制元件、液压控制系统的内在物理本质,建立系统结构参数间的基本定量关系及控制系统的设计准则;利用这些基本定量关系和设计准则,可以更便捷地设计出更理想的液压控制系统。

本课程是在液压控制系统数学模型描述的基础上,利用线性化理论,通过合理的简化,给出适合应用于工程实际的液压控制系统,充分利用自动控制理论及 MATLAB、SIMULINK 仿真平台,完成液压控制系统的静态特性和动态特性的分析、液压控制系统的校正与设计等。在分析的过程中,力求合理简化,分析结果实用,不过分追求数学上的精确与严谨。从液压控制系统的实际问题出发,给出具有普遍性的典型问题,通过研究搞懂问题的本质与要点,确定主要因素,忽略次要因素,建立合理简化模型,找出影响液压控制系统性能的结构参数与物理参数。注意判别液压控制系统中物理量的性质。在液压控制系统的物理量中,可分为硬量和软量两种。所谓硬量,即是那些易于识别、计算和控制的量,这些量的数值相对保持恒定,例如负载质量、弹簧刚度、液压固有频率、伺服阀的流量增益等。所谓软量,即是那些不可预测、难于控制的量,例如液压阻尼比、流量压力系数、泄漏系数等。在设计液压控制系统时,应把硬量作为设计液压控制系统的依据,通过这些硬量的调整,使系统满足其性能的要求。注意液压控制系统的共性问题,引进控制理论最新研究成果,考虑到液压控制系统本身的特殊性质,掌握各类液压控制系统的特点,设计出更好的液压控制系统。

1.4 本章小结

液压控制系统,也称为液压伺服系统。它是由液压控制元件、液压执行元件及液压能源装置组成的。在液压控制系统中,系统的输出能自动地、快速精确地反映输入信号随时间的变化。它与液压传动系统不同的是,液压控制系统是一个闭环控制系统,在系统控制的过程中,不断检测被控制量,并通过反馈装置将被控制量反馈到系统的输入端,与输入信号进行比较,产生偏差,整个系统靠偏差完成控制工作。

在液压控制系统中,液压控制元件、液压执行元件和负载的作用是紧密相关的,在这里将这三者的组合称为液压动力机构,本书所研究的液压控制系统是指具有液压动力机构的反馈控制系统。

思考与练习

- 1.1 试简述液压传动系统与液压控制系统的基本原理,它们之间的主要区别是什么?
- 1.2 典型的液压控制系统主要由哪些元件组成,它们在系统中所起的作用是什么?
- 1.3 试举例说明机液位置控制系统的工作原理。
- 1.4 试简述液压控制系统的分类,举例说明液压定值控制系统与伺服控制系统的主要区别。
- 1.5 试简述液压控制系统的主要优缺点。
- 1.6 何谓液压动力机构?

第 4 章 本 章