

Hydraulic Control Systems

# 液压控制系统

常同立 编著

清华大学出版社

H<sub>y</sub>draulic C<sub>o</sub>ntrol S<sub>y</sub>stems  
**液 压 控 制 系 统**

常同立 编著

清华大学出版社  
北 京

## 内 容 简 介

本书内容包括绪论、动力学系统及反馈控制、液压控制系统原理与结构、液压控制元件、液压动力元件、机液伺服控制系统、电液伺服控制阀、电液控制系统动态设计和液压控制系统设计等九部分。

本书以帮助读者建立实用的液压控制专业基础和培养设计思想作为成书目标,采用了具有较强实用性和工程实践性为特色的撰写方式。

本书主要特色:依据认知规律设计本书的内容总体结构,内容阐述直白且直观;注重专业基础知识掌握与能力培养,突出强调工程实践性;选材纳入了当今相关行业领域的科技发展新成果,注重新方法和新手段的应用。

本书面向高等院校机械工程、机电工程、控制工程专业用作教材;同时它也是一本专业工程技术书,为相关行业领域广大工程技术人员服务。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

液压控制系统/常同立编著.--北京:清华大学出版社,2014

ISBN 978-7-302-37899-0

I. ①液… II. ①常… III. ①液压控制—控制系统—高等学校—教材 IV. ①TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 204915 号

责任编辑:杨倩

封面设计:傅瑞学

责任校对:赵丽敏

责任印制:何芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:18 字 数:436千字

版 次:2014年11月第1版 印 次:2014年11月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:39.80元

# 前言

## FOREWORD

本书是一本面向大学高年级学生的高校专业课程教材；同时它也是一本专业工程技术书，服务于广大工程技术人员。本书将帮助读者建立实用的专业基础和培养设计思想作为成书目标，采用了具有较强实用性和工程实践性的撰写方式，内容安排难度定位适中，详略得当。不追求理论阐述深度和公式推导严密、详尽。

作者在写作过程中始终贯彻两个基本宗旨：写一本容易理解的书；写一本实用性强的书。

本书主要特色有以下几个方面：

### 1. 依据认知规律设计总体结构，阐述直白与直观。

依据人类认知规律规划章节，组织章节内容及其递进关系。合理安排论述深度。多用启发式文字叙述方式，文字叙述直白易懂。多用图示辅助表达，生动直观，提高阅读效率。

### 2. 注重基础知识掌握与能力培养，突出工程实践性。

以液压控制系统理论为主题，向前延伸了基础理论至经典控制理论与系统动力学。强化系统动力学的观念与方法，强调经典控制理论的基础作用。将系统动力学的思想与观念贯穿全书各个部分。注重依据系统动力学理论简化系统模型，以便获得简单、深刻的结论。

书中内容取舍与案例选取均强调联系工程实际。将多作动器系统的工程设计思想与方法编入本书，培养读者处理实际工程问题的能力与素质。

### 3. 选材纳入科技发展新成果，注重新方法和新手段应用。

在人才培养与时俱进的理念指导下，将科技发展的新成果，如将直驱阀、容积直驱控制等新内容纳入本书。在系统分析与综合手段和方法方面，采用 MATLAB 软件作为控制系统分析与设计平台，在书中将计算机控制、计算机仿真分析等与液压控制相结合。

与 Merritt 先生的观点一样，阅读和学习液压控制系统需要的主要基础是控制理论。因此为了易于液压控制系统讲述和理解，书中简明综述了经典控制理论的相关内容。若读者在液压技术方面具有一定基础，将会对于理解书中内容有所帮助。若是更深入理解液压控制的特性，液压基础则凸显重要性。

作者任企业产品开发设计师多年，前期以机械设计为主，从事车辆机液一体化综合动力传动系统设计开发；后期以液压设计为主，从事液压传动系统和液压控制系统设计，期间设计与自制了一些专用的液压元件如泵、阀、马达等。长期产品设计工作使作者养成了一些思维和工作习惯，必然会体现在这本书上，因而期望通过这本书能够与工程技术人员产生

共鸣。

后来,作者从企业界转到教育界,从事教学工作,选用过国内一些教材,也用 Merritt 的英文书作教材为本科生和硕士生授课,并开始写讲义。多年后有了将讲稿变成一本书的计划。但这个计划进展很慢,客观原因是时间不足。一年前,作者可以将更多的时间用在这本书稿上,写书的工作快了很多。诚实地说,这本书稿与作者的理想尚有距离,本着共享素材和方便教学工作的目的,将书稿付印,欢迎读者、同仁、学友、师长多多批评指正,作者邮箱 tonglichang@126.com。另外,本教材配有 PPT 课件,如需要也可以与作者联系。

参考文献在书中多数非直接引用,多用作启示和指导。它们多反映在书中的思想方法等方面,属于道同。为了便于读者进行延伸阅读,参考文献按章列出。匆忙之中,想必定会有曾对作者有重要影响的文献资料遗漏了,这里一并对文献作者的贡献表示感谢!

硕士生冯洋、赵云静、刘学哲协助作者勘查了文字录入错误,这里表示感谢。

本书的出版还要特别感谢师长和同仁们给予我的支持与帮助!感谢清华大学出版社编辑们细致与辛勤的工作。最后,感谢家人的理解与支持,我才能挪用一些陪伴家人的时间写书稿。

常同立

2014 年 7 月

# 目录

## CONTENTS

第 1 章 绪论	1
1.1 开环液压控制与闭环液压控制	1
1.1.1 用电磁换向阀构建的液压控制系统	2
1.1.2 用比例电磁阀构建的液压控制系统	3
1.1.3 用电液伺服阀构建的液压控制系统	3
1.1.4 开环控制与闭环控制的比较	4
1.2 液压控制系统分类	5
1.3 液压反馈控制的特点	7
1.3.1 液压反馈控制优点	7
1.3.2 液压反馈控制缺点	7
1.4 液压控制发展历程及趋势	8
1.4.1 发展历程	8
1.4.2 发展趋势	10
1.5 液压控制的应用	11
1.5.1 应用分析	11
1.5.2 几个典型液压控制应用案例	12
1.6 本章小结	16
思考题与习题	16
主要参考文献	16
第 2 章 动力学系统及反馈控制	18
2.1 动力学系统及其研究方法	18
2.1.1 一个简单的动力学系统	18
2.1.2 另一些类型动力学系统	26
2.2 反馈控制原理	29
2.2.1 反馈控制系统工作原理	30
2.2.2 反馈控制系统构成	30

2.2.3	反馈控制系统分类与性能 .....	31
2.2.4	线性系统的叠加性 .....	32
2.3	控制系统数学建模与模型化简 .....	33
2.3.1	建模方法 .....	33
2.3.2	模型线性化 .....	34
2.3.3	模型化简 .....	35
2.4	控制系统稳定性 .....	36
2.4.1	稳定性概念 .....	36
2.4.2	时域稳定性分析方法 .....	36
2.4.3	频域稳定性分析方法 .....	37
2.5	控制系统准确性 .....	39
2.5.1	系统模型 .....	39
2.5.2	稳态误差 .....	39
2.5.3	动态误差 .....	41
2.5.4	跟踪误差 .....	42
2.6	控制系统快速性 .....	42
2.6.1	时域快速性分析 .....	42
2.6.2	频域快速性分析 .....	43
2.7	控制系统校正 .....	44
2.7.1	串联校正 .....	44
2.7.2	并联校正 .....	46
2.8	连续系统方法设计数字控制器 .....	48
2.8.1	设计问题描述 .....	49
2.8.2	数字控制器设计步骤 .....	49
2.8.3	设计假想的连续系统控制器 .....	49
2.8.4	确定采样周期 .....	49
2.8.5	离散为数字控制器 .....	50
2.8.6	数字控制器算法 .....	50
2.8.7	数字控制器校验 .....	51
2.9	本章小结 .....	51
	思考题与习题 .....	51
	主要参考文献 .....	52
<b>第3章</b>	<b>液压控制系统原理与结构 .....</b>	<b>54</b>
3.1	机械液压伺服系统 .....	54
3.1.1	工作原理 .....	54
3.1.2	机液伺服机构系统结构分析 .....	56
3.2	电液伺服阀控伺服系统 .....	57
3.2.1	工作原理 .....	57

3.2.2	作动器系统结构分析 .....	58
3.2.3	阀控速度伺服系统和力伺服系统 .....	59
3.2.4	阀控系统特点 .....	61
3.3	泵控伺服系统 .....	61
3.3.1	工作原理 .....	61
3.3.2	系统结构分析 .....	65
3.3.3	泵控系统特点 .....	66
3.4	本章小结 .....	66
	思考题与习题 .....	66
	主要参考文献 .....	68
<b>第 4 章</b>	<b>液压控制元件 .....</b>	<b>69</b>
4.1	概述 .....	69
4.1.1	液压控制元件分类 .....	69
4.1.2	滑阀分类 .....	71
4.2	四通滑阀 .....	73
4.2.1	四通滑阀静态特性分析 .....	74
4.2.2	线性化流量方程及阀系数 .....	82
4.2.3	滑阀的作用力 .....	85
4.2.4	阀控系统的功率及效率 .....	86
4.3	三通滑阀 .....	89
4.3.1	三通滑阀的静态特性 .....	90
4.3.2	线性化流量方程及阀系数 .....	93
4.4	三通滑阀与节流孔组合 .....	95
4.4.1	工作原理及设计方案 .....	95
4.4.2	静态特性分析 .....	96
4.5	双喷嘴挡板阀 .....	99
4.5.1	工作原理及设计方案 .....	99
4.5.2	静态特性分析 .....	100
4.5.3	挡板液流力 .....	102
4.6	射流管阀 .....	102
4.6.1	结构与工作原理 .....	103
4.6.2	静态特性分析 .....	103
4.7	控制用液压泵 .....	105
4.7.1	控制用液压泵排量分析 .....	105
4.7.2	控制用液压泵泄漏与阻力矩 .....	108
4.7.3	控制用定量泵 .....	109



4.7.4 控制用变量泵	110
4.8 本章小结	111
思考题与习题	112
主要参考文献	112
<b>第5章 液压动力元件</b>	<b>113</b>
5.1 概述	113
5.2 四通阀控对称缸	114
5.2.1 基本假设	114
5.2.2 数学建模	115
5.2.3 方块图与解表达式	117
5.2.4 模型化简与模型分析	120
5.3 四通阀控液压马达	125
5.3.1 基本假设	125
5.3.2 数学模型	125
5.3.3 四通阀控马达动力元件的特点	127
5.4 三通阀控非对称缸	128
5.4.1 基本假设	128
5.4.2 数学模型	128
5.4.3 三通阀控非对称缸动力元件的特点	131
5.5 四通阀控非对称缸	131
5.5.1 基本假设	131
5.5.2 数学模型	132
5.5.3 四通阀控非对称缸动力元件的特点	134
5.6 变转速泵控对称缸	135
5.6.1 基本假设	135
5.6.2 数学模型	136
5.6.3 变转速泵控对称缸动力元件的特点	137
5.7 变排量泵控液压马达	138
5.7.1 基本假设	138
5.7.2 数学模型	139
5.7.3 变排量泵控液压马达动力元件的特点	140
5.8 液压动力元件驱动能力	141
5.8.1 阀控液压动力元件驱动能力	141
5.8.2 泵控液压马达动力元件驱动能力	142
5.9 本章小结	145
思考题与习题	145
主要参考文献	146

<b>第 6 章 机液伺服控制系统</b> .....	147
6.1 机液位置伺服控制系统分析 .....	147
6.1.1 反馈比较机构.....	148
6.1.2 系统分析.....	149
6.1.3 机液伺服控制系统设计要点.....	151
6.2 实例分析 .....	151
6.2.1 动力转向机液伺服机构.....	151
6.2.2 电液伺服阀内机液伺服系统.....	155
6.3 本章小结 .....	158
思考题与习题.....	158
主要参考文献.....	160
<b>第 7 章 电液伺服控制阀</b> .....	161
7.1 电液伺服阀 .....	162
7.1.1 双喷嘴挡板力反馈电液伺服阀.....	162
7.1.2 滑阀式直接反馈两级伺服阀.....	168
7.1.3 射流管力反馈流量电液伺服阀.....	171
7.1.4 三级流量电液伺服阀.....	172
7.2 直驱阀 .....	174
7.2.1 结构与原理.....	174
7.2.2 系统分析.....	176
7.2.3 直驱阀特点.....	177
7.3 产品特性描述、选型方法.....	178
7.3.1 产品性能描述.....	179
7.3.2 选型方法.....	186
7.3.3 使用维护常识.....	187
7.4 本章小结 .....	188
思考题与习题.....	188
主要参考文献.....	189
<b>第 8 章 电液控制系统动态设计</b> .....	191
8.1 概述 .....	191
8.1.1 电液伺服控制系统分类.....	191
8.1.2 模拟电液控制系统.....	192
8.1.3 数字电液控制系统.....	193
8.1.4 复杂电液控制系统.....	194
8.2 位置伺服系统动态设计 .....	196
8.2.1 阀控电液位置伺服系统.....	196

8.2.2	变转速泵控位置伺服系统	208
8.2.3	位置控制系统校正	210
8.3	速度控制系统动态设计	218
8.3.1	阀控速度伺服控制系统	218
8.3.2	泵控速度控制系统	220
8.4	力控制系统动态设计	224
8.4.1	力控制系统	225
8.4.2	液压动力元件	225
8.4.3	力控制系统分析	227
8.5	本章小结	229
	思考题与习题	229
	主要参考文献	231
<b>第9章</b>	<b>液压控制系统设计</b>	<b>233</b>
9.1	一般设计流程	233
9.2	方案设计	234
9.2.1	明确设计任务	234
9.2.2	拟定控制方案,绘制系统原理图	236
9.3	负载分析计算	239
9.3.1	典型负载与负载模型	239
9.3.2	负载折算	241
9.4	阀控系统参数计算	242
9.4.1	阀控系统参数计算	242
9.4.2	确定液压控制阀的参数及选型	244
9.5	泵控系统参数确定	245
9.5.1	泵控系统参数计算	245
9.5.2	控制用液压泵参数及选型	247
9.6	反馈元件和信号放大器等选型与设计	249
9.6.1	确定反馈元件及其放大器	249
9.6.2	电子伺服放大器选型	250
9.6.3	数字控制器及转换器	250
9.6.4	电源	251
9.7	液压源设计	251
9.7.1	液压源的作用	251
9.7.2	液压源类型选择	252
9.7.3	液压源与液压控制系统的匹配	254
9.7.4	工作液污染度控制与过滤	255
9.7.5	工作液加温与冷却	258

9.8 本章小结 .....	259
思考题与习题 .....	260
主要参考文献 .....	260
<b>附录 A 方块图变换</b> .....	<b>261</b>
<b>附录 B MATLAB 控制系统仿真分析指令</b> .....	<b>262</b>
<b>附录 C ISO4406</b> .....	<b>266</b>
<b>附录 D NAS1638</b> .....	<b>267</b>
<b>附录 E 术语中英文对照</b> .....	<b>268</b>

# 第1章

## 绪 论

液压控制系统是以(静)液压控制与换能元件为主要控制元件构建的控制系统。液压控制与换能元件通常指液压控制阀、控制用液压泵等。

液压控制技术是自动控制技术的一个重要分支。液压控制系统特点鲜明,优势明显,发挥着不可替代的作用。

液压控制技术是典型的机电液一体化技术,是多学科交叉融合发展的范例。例如,电气液压控制系统以动力学系统为对象,以负反馈系统设计为手段,集成机械系统、电气系统和液压系统构建机电液一体化的动态系统。

目前,液压控制技术在装备制造业、汽车工业、航天航空、兵器工业、冶金工业、船舶工业、医疗工程等多领域获得应用。

本章将阐述如下问题:开环液压控制与闭环液压控制系统,液压控制系统的分类及特点,液压控制技术的发展历程与趋势,液压控制技术的应用。

### 1.1 开环液压控制与闭环液压控制

与机电控制系统一样,液压控制系统也可以分为开环液压控制与闭环液压控制。下面以机床运动平台控制为例探讨开环控制系统与闭环控制系统。

机床运动平台是常见的控制对象。机床运动平台是机床的工作台,它安装在床身的滑动导轨上。不同类型机床对运动平台的性能要求不同,例如平面磨床的运动平台(工作台)仅要求实现平稳的水平往复运动,不需要精密控制其位移量。数控加工中心或数控铣床的运动平台(工作台)作精密进给运动,则需要精确控制平台的运动位移量,否则影响工件加工质量。

为了便于清晰探讨实际液压开环控制与液压闭环控制的异同,以机床运动平台为被控对象,分别用电磁换向阀、电磁比例方向阀和电液伺服阀作为主要控制元件,建立机床运动平台的三种常见液压控制系统。

### 1.1.1 用电磁换向阀构建的液压控制系统

普通平面磨床水平往复工作台可以采用如图 1.1 所示的液压控制方案。因不需要精确控制运动位移,它采用电磁换向阀构建液压控制系统。三位四通电磁换向阀作控制元件,采用行程开关或接近开关等作为指令元件,由继电器等构成逻辑运算网络,可以实现控制信号逻辑运算与功率放大,从而产生足够控制电流驱动电磁换向阀的电磁铁。

电磁换向阀的阀芯有三个工作位置,左位、中位和右位。可以控制油路的通断与切换。对每一个阀口油路来说只有两种状态,即完全打开和完全关闭,所以电磁换向阀归类于电磁液压开关阀。

电磁换向阀只能进行打开与关断油路操作,实现运动平台启停;通过改变油路连接实现平台运动换向。无法对电磁换向阀的开度进行调节,从而实现对运动平台速度进行调速控制。

为了调节运动平台的运动速度,液压控制系统中安装一个节流阀,实现回油节流调速。通过调节阀口开度,调节节流阀压差,间接调节经过溢流阀溢流回油箱的流量,从而改变流入和流出液压缸的液流流量,调节平台的运动速度。

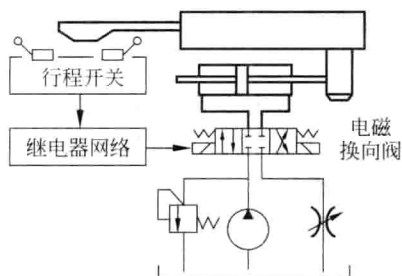


图 1.1 采用电磁换向阀控制系统原理图

运动平台用节流阀调节速度,只能单独调节节流阀,并且不能采用电气控制方式实现平台速度渐变控制。平台启停、换向速度变化突然,平台振动冲击大。

采用电磁换向阀的液压控制系统原理方块图见图 1.2。控制信号由行程开关发出,信号是逻辑控制量(0 或 1),经过继电器网络进行逻辑运算产生电磁换向阀各个电磁铁的控制信号,控制相应电磁铁供电与否,控制相应阀芯运动,实现阀芯左、中、右三个工作位置变化,输出液压控制流量,驱动液压缸,推动机床运动平台运动。

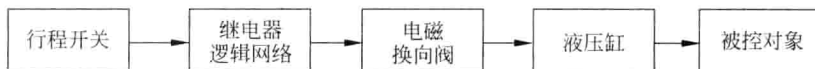


图 1.2 采用电磁换向阀控制系统原理方块图

在由电磁换向阀构成的液压控制系统中,继电器等只能发出简单的控制指令。控制信号是单向流动的,只有流向被控对象的前向信号通道。这种控制系统是开环控制系统。控制指令发出至被控对象响应的的时间取决于信号传递途径的每一元件的响应时间。由于控制指令信号简单,没有控制系统输出跟踪指令信号问题。某一元件若受到干扰,产生误动作,

系统不能自动修正与补偿。

### 1.1.2 用比例电磁阀构建的液压控制系统

比例电磁换向阀是性能较好、价格稍高的新型电磁液压阀。性能要求较高的运动平台控制,如数控平面磨床,也不需要精确控制工作台位移,可以采用比例电磁阀作为控制元件,构成如图 1.3 所示的低冲击、低振动的液压控制系统。

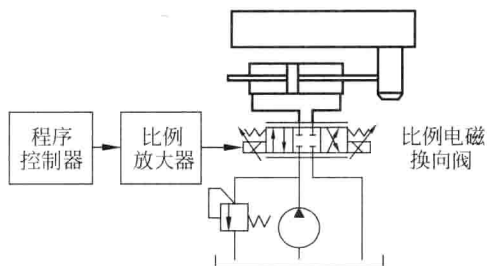


图 1.3 采用比例电磁换向阀的控制系统原理图

比例液压阀采用电信号控制阀芯进行渐变移动,从而控制阀口开度渐变变化,调节比例液压阀的压降和流量等,并在一定程度上实现流量与控制信号间呈现比例变化。

程序控制器产生控制运动平台的电信号,并可以采用渐变的电信号控制和调节平台运动速度,从而改变平台在行进间的速度和运动方向。运动平台启停、换向平稳,几乎无明显冲击。

采用比例电磁换向阀的液压控制系统原理见图 1.4。控制信号由程序控制器发出,信号是模拟控制量(连续电信号),经过比例放大器进行信号功率放大,控制相应比例电磁阀的对应比例电磁铁,推动其阀芯产生连续可调的位移,产生连续变化的液压控制流量驱动液压缸,推动机床运动平台移动。

在由比例电磁换向阀构建的液压控制系统中,尽管可以采用程度控制器发出渐变连续控制指令信号,但是控制信号是单向流动的,只有流向被控对象的前向信号通道。这种控制系统是开环控制系统。指令系统可以发出连续渐变信号,系统输出可以跟踪指令信号,但跟踪精度低,响应速度慢,响应速度取决于传递信号元件响应时间。不能自动补偿干扰引起的误差。

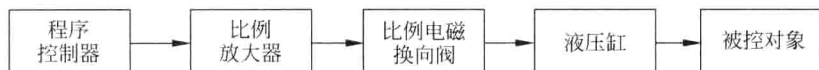


图 1.4 采用比例电磁换向阀的控制系统原理方块图

### 1.1.3 用电液伺服阀构建的液压控制系统

数控加工中心的工作台运动是加工过程的进给运动,需要很高的精度和响应速度。可以采用电液伺服控制系统,它采用电液伺服阀作为控制元件。

电液伺服阀是高性能液压控制元件,具有很高的控制精度、很快的响应速度,不足的是电液伺服阀价格很高。

电液伺服阀常用于电液闭环控制系统。只是在闭环控制系统调试过程中,可以临时用开环控制方式驱动被控对象。

用电液伺服阀做控制元件建立的机床运动平台液压控制系统见图 1.5。机床安装位移传感器,用于检测运动平台位置,发出位置电压信号,并经过放大后输入电子控制装置。

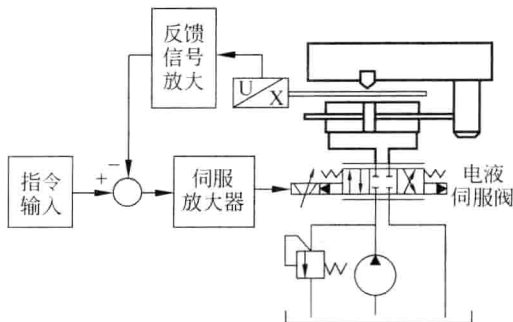


图 1.5 采用电液伺服阀的控制系统原理

控制装置将当前机床平台的位置电压信号与控制指令电压信号进行比较,产生偏差电压信号,偏差信号是连续模拟电压量,它可以精确和实时反映机床平台位置与控制指令(要求平台应处于的位置)的差别。

偏差信号经过比例放大器进行信号功率放大,控制电液伺服阀的力矩马达,高精度、高动态控制阀芯位移,产生需要的液压流量和压力驱动液压缸运动,并推动机床运动平台运动。平台运动被位移传感器检测,并送入电子控制装置。由此构成控制信号封闭循环回路,控制系统也称为闭环控制。

上述控制过程可以用方块图形象描述,如图 1.6 所示,系统是闭环控制结构。闭环液压控制系统中不仅存在控制器对被控对象的前向控制作用,还存在被控对象对控制器的反馈作用。闭环控制系统具有控制精度高、动态响应快、自动补偿外界干扰产生误差的特点。

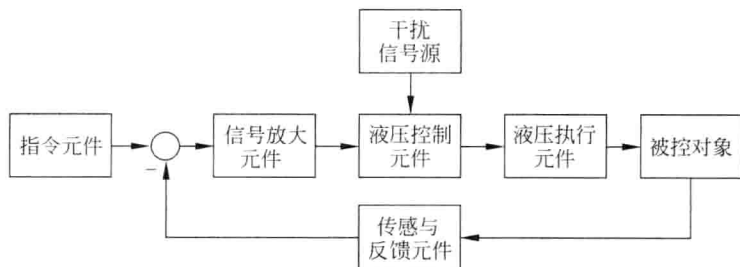


图 1.6 采用电液伺服阀液压控制系统原理方块图

### 1.1.4 开环控制与闭环控制的比较

开环液压控制和闭环液压控制是液压控制的两类基本控制方式,它们各具特点。

#### 1. 开环液压控制

采用普通液压阀和比例液压阀的开环控制系统与液压传动系统有很大的技术重合,它们几乎采用相同类型的液压元件和液压回路。



开环液压控制系统性能主要由所用液压元件的性能实现。开环系统精度取决于系统各个组成元件的精度,系统的响应特性直接与各个组成元件的响应特性有关。

液压开环控制系统无法对外部干扰和内部参数变化引起的系统输出变化进行抑制或补偿。

从系统设计方面看,开环液压控制系统结构简单,开环液压控制系统一定是稳定的,因此系统分析、系统设计及系统安装等均相对容易,而且还可以借鉴液压传动系统的分析与设计经验。开环液压控制系统与液压传动系统具有较多的共性,区别主要是侧重点有所不同。

开环液压系统经常用于控制精度要求不高,外部环境干扰较小,内部参数变化不大,并且允许系统响应速度较慢的情况。

综上所述,开环液压控制系统是一类简单的无反馈控制方式,只存在控制器对被控对象的单方向控制作用,不存在被控对象对控制器的反向作用,不能自动补偿干扰引起的误差。

鉴于开环控制系统精度较低、响应较慢,一般不采用工作条件要求高、相对价格高、性能相对好的伺服阀构建开环控制系统。

## 2. 闭环液压控制

闭环液压控制系统经常采用电液伺服阀或直驱阀(direct drive valve, DDV)作控制元件。

电液伺服阀和直驱阀是高性能液压控制元件,它们内部含有闭环反馈控制系统,因而这两类阀具有很高的控制精度、很快的响应速度。

通常,闭环液压控制系统也称液压反馈控制系统,它依据反馈作用原理工作。

反馈控制的基本思想是以偏差来消除或抑制偏差,反馈控制系统是利用偏差进行工作的。通过比较元件将反馈元件检测到的被控对象信息与系统指令元件的控制指令进行比较形成偏差信号。这个偏差信号经过能量放大,从而能够驱动大功率液压控制阀,控制液压执行元件,驱动与控制被控对象。

闭环液压控制系统结构形成闭环回路。闭环控制系统存在稳定性问题,控制精度与动态响应速度均需细致设计与调试,所以闭环系统分析、系统设计及系统调试等均较为繁琐。但是采用闭环控制(反馈控制)方式,用精度相对不高、抗干扰能力相对不强的液压元件有可能建构控制精度高和抗干扰能力强的控制系统,或者在现有液压元件性能的条件下,有可能利用闭环控制获取更好的控制系统性能及控制效果。反馈控制有开环控制无法实现的优点。

本书将以液压闭环反馈控制问题为主要研究对象。对反馈控制系统的研究结论将有助于指导开环控制系统设计。反馈控制系统的前向控制通道(从偏差信号至被控对象)就是一个开环控制系统。

## 1.2 液压控制系统分类

液压控制系统的工作液粘度等许多重要参数都是温度的变量,而温度会随工作时间和负载情况变化而发生改变,因此严格说液压控制系统是时变系统。为了分析方便,工程上通常将液压控制系统看作定常系统。

液压控制系统是自动控制系统之一,液压闭环控制系统常常有多种分类方法。