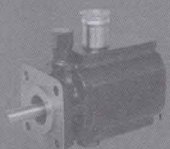


YEYA KONGZHI XITONG
SHEJI YU SHIYONG



液压控制系统 设计与使用

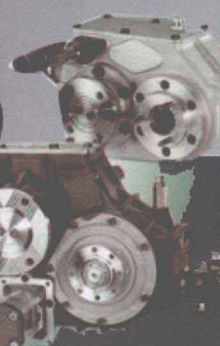
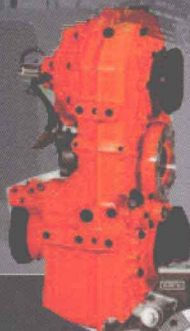
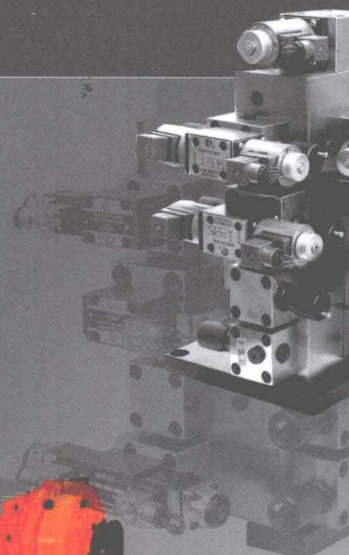
张利平 编著



YEYA KONGZHI XITONG
SHEJI YU SHIYONG



123456789



化学工业出版社

YEYA KONGZHI XITONG
SHEJI YU SHIYONG



液压控制系统 设计与使用

张利平 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是作者所著《液压传动系统设计与使用》一书的姊妹篇,主要介绍了液压控制系统的组成、控制原理、性能分析、设计计算与使用维护方法。全书分为三篇:基础篇主要介绍液压控制的基本概念、基础知识和常用液压放大元件;设计篇主要介绍液压控制系统的功能原理及结构的设计计算方法(含电控系统设计、用 MATLAB 及 AMESim 的模拟仿真、液压站设计等)、实例,同时给出了常用的伺服控制和比例控制回路及典型液压控制系统等必备资料;使用篇主要介绍了液压介质的使用管理与系统的污染控制方法,以及系统的安装调试、运行维护及故障诊断排除方法等内容。书末的附录给出了液压技术常用物理量及其换算关系,并摘录了液压气动图形符号、液压伺服阀安装面、液压系统通用技术条件和电气设备常用基本图形符号四个液压控制系统设计使用相关的常用现行标准内容。

本书系统全面、简明实用,可供各行业液压机械设备及液压控制系统的设计、制造和使用维护工程技术人员、现场工作人员参阅,也可作为大专院校的教学参考书以及工矿企业或技术培训机构的短期培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

液压控制系统设计与使用/张利平编著. —北京:化学工业出版社, 2013.1

ISBN 978-7-122-15714-0

I. ①液… II. ①张… III. ①液压控制-控制系统-系统设计
②液压控制-控制系统-使用 IV. ①TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 257024 号

责任编辑:张兴辉

文字编辑:张燕文

责任校对:周梦华

装帧设计:王晓宇

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:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 20½ 字数 510 千字 2013 年 3 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:69.00 元

版权所有 违者必究

前 言

液压传动及控制是现代工业中发展极快的重要学科分支和工程技术之一。正确合理地设计与使用液压控制系统,对于提高各类液压机械的工作品质和技术经济性能无疑具有重要意义。作者在总结 30 多年液压气动技术教学(培训)科研和为企业解决难题过程中的经验基础上,利用短期旅居境外及在国内多个大中城市及企业讲学之便,收集了一些国内外材料编写而成《液压控制系统设计与使用》一书。目的在于为液压控制系统的设计制造、安装调试和使用维护提供便捷的解决方法及经验,提供最新最实用的资料数据及较多的设计和最新的使用实例,从而适应近代液压技术的发展,解决广大液压技术工作者的实际难题,满足工程实际需要,提升液压控制系统的设计与使用水平。

本书分为三篇共 9 章。基础篇(共 3 章)主要介绍液压控制的基础知识和重要的液压放大元件:在概述液压控制基本概念基础上,概要和结论性地介绍了液压控制系统分析设计常用的液压控制基础知识(经典控制理论);从液压控制系统设计和使用角度,介绍了液压控制系统常用的滑阀式、喷嘴挡板式和射流管式三类液压放大元件的结构及特性,以及电液伺服阀和电液比例阀的功用及特点、组成及原理、典型结构、主要性能、典型产品等内容。设计篇(共 4 章)主要介绍液压控制系统的设计计算方法:重点从功能原理到结构施工,全面详细地介绍了液压控制系统的设计计算流程及方法要点(含电控系统设计、用 MATLAB 及 AMESim 的模拟仿真、液压站设计等),并按控制对象或控制量不同给出若干设计计算实例;同时介绍了一些常用的伺服控制及比例控制回路及不同行业的典型液压控制系统实例。使用篇(共 2 章)主要介绍使用维护方法:详细介绍了液压介质的使用管理与系统的污染控制方法,以及系统安装调试、运行维护及故障诊断排除等内容。书末的附录给出了液压工程常用物理量及其换算关系,并摘录了液压气动图形符号、液压伺服阀安装面、液压系统通用技术条件和电气设备常用基本图形符号四个液压控制系统设计使用相关的常用现行标准内容,其它基础标准则均以最新版本简明渗透于相关章节中。

全书立足于工程设计及应用实际进行编写,取材广泛,力求新颖翔实、图文并茂、可读性与可查性并重,以有助于读者在短期内掌握液压控制系统的设计方法及工程应用,解决液压控制系统设计和使用中的各类实际问题。

本书读者对象为各行业液压技术的设计、制造和维护工程技术人员及现场工作人员,并可作为高等院校相关专业的教学参考书以及工矿企业和技术培训机构的短期培训教材。

本书由张利平编著。张津、山峻和张秀敏参与了本书的前期策划、标准资料的搜集整理编写及部分插图的绘制和文稿的录入、校对、整理工作,参与本书相关工作的还有向其兴、娄瑞娟、周湛学、周兰午、颜一平、黄涛、史玉芳、牛振英、吴宗哲等。

本书的编写,得到了国内外众多厂家(公司)以及热心读者及作者的学生(学员)的大力支持与帮助,提供了最新的技术成果、信息、经验、心得,以及翔实生动的现场资料或建设性意见,作者还参阅了国内外同行的部分参考文献及多家生产厂互联网站中的电子样本及产品图片,作者在此一并表示诚挚谢意。限于水平和能力,书中不妥之处在所难免,欢迎同行专家及广大读者批评指正。

张利平

目 录

基 础 篇

第 1 章 液压控制系统概述	1
1.1 控制类型比较及液压控制的特点	1
1.1.1 控制类型的比较	1
1.1.2 控制类型的选择	2
1.2 液压控制技术的应用	2
1.3 液压控制系统的基本原理、组成与表示	2
1.3.1 液压控制系统的基本原理	2
1.3.2 液压控制系统的组成部分及功用	3
1.3.3 液压控制系统的表示	4
1.4 液压控制系统的类型及适用场合	5
1.4.1 位置控制、速度控制及加速度控制和 力及压力控制系统	5
1.4.2 闭环控制系统和开环控制系统	5
1.4.3 阀控系统和泵控系统	6
1.4.4 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	7
1.4.5 连续量控制系统和离散量控制 系统	8
1.4.6 时变系统与时不变系统	8
1.4.7 直线运动控制系统和回转运动控制 系统	8
第 2 章 液压控制基础知识	10
2.1 反馈控制基本概念	10
2.1.1 定义与组成部分	10
2.1.2 基本要求	10
2.2 数学模型	11
2.2.1 微分方程及数学模型的线性化	11
2.2.2 拉氏变换及传递函数	12
2.2.3 方块图及其等效变换	14
2.2.4 典型环节及其数学模型	15
2.3 控制系统时域瞬态响应	18
2.3.1 时域响应及典型输入信号	18
2.3.2 典型环节的瞬态响应	19
2.3.3 时域性能指标	20
2.4 控制系统的频率特性	21
2.4.1 定义	21
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 相特性图	22
2.4.3 控制系统的闭环频率响应及性能 指标	26
2.5 控制系统的稳定性	28
2.5.1 定义及稳定性充要条件	28
2.5.2 稳定性判据	29
2.5.3 控制系统的相对稳定性（稳定性 裕量）	30
2.6 控制系统的误差（准确性）分析计算	31
2.6.1 基本概念	31
2.6.2 系统类型及稳态误差计算	32
2.7 控制系统的校正	33
2.7.1 系统性能指标与系统校正概述	33
2.7.2 常用校正装置及其选用原则	33
2.7.3 用希望对数频率特性法确定校正 装置	35
第 3 章 液压放大元件及电液伺服阀和电液比例阀	37
3.1 液压放大元件及其功用特点	37
3.2 滑阀	37
3.2.1 工作原理及结构型式分类	37
3.2.2 静态特性及阀系数	38
3.2.3 作用力及驱动力	41
3.2.4 输出功率及效率	41
3.2.5 结构型式的选择与主要参数的 确定	42
3.3 喷嘴挡板阀	43
3.3.1 结构原理及特点	43
3.3.2 静态特性	44
3.3.3 主要结构参数的确定	47
3.4 射流管阀	47
3.4.1 结构原理及特点	47
3.4.2 静态特性	48
3.4.3 主要结构参数的确定	49
3.4.4 射流管阀的特点及应用	50
3.5 电液控制阀简介	50
3.6 电液伺服阀	50
3.6.1 功用及特点	50

3.6.2 组成	51	3.7.1 功用及特点	72
3.6.3 分类	53	3.7.2 组成	73
3.6.4 典型结构与工作原理	53	3.7.3 分类	76
3.6.5 主要特性及性能参数	58	3.7.4 典型结构与工作原理	76
3.6.6 应用场合	62	3.7.5 主要特性及性能参数	80
3.6.7 电液伺服阀典型产品	64	3.7.6 电液比例阀典型产品	82
3.7 电液比例阀	72		

设计篇

第4章 液压控制系统设计计算方法	86		
4.1 液压伺服控制系统的设计	86	及注意事项	117
4.1.1 明确设计要求	86	4.2.2 闭环电液比例控制系统的设计特点	
4.1.2 拟定控制方案, 绘制系统原理图	87	及注意事项	118
4.1.3 静态设计	88	4.2.3 比例阀的选型原则	120
4.1.4 动态设计	98	4.3 液压控制系统的计算机模拟仿真	121
4.1.5 检验系统静、动态品质, 根据需要		4.3.1 仿真技术简介	121
对系统进行校正	111	4.3.2 仿真软件的编制和选择	122
4.1.6 选择液压能源	113	4.3.3 MATLAB 及其应用	123
4.1.7 绘制正式工作图, 编制技术文件	115	4.3.4 AMESim 及其应用	129
4.1.8 机液伺服系统的设计特点	115	4.4 液压控制系统的施工设计	134
4.2 电液比例控制系统的设计特点	117	4.4.1 控制放大器选用与设计	134
4.2.1 开环电液比例控制系统的设计特点		4.4.2 电气控制装置设计	145
		4.4.3 伺服液压缸的选择设计与液压站设计	149
第5章 电液控制系统设计计算示例	164		
5.1 电液伺服系统设计计算示例	164	5.1.5 机床工作台电液速度控制系统的校正计算	180
5.1.1 带钢跑偏光电液伺服控制系统的设计计算	164	5.1.6 工件疲劳试验机电液力伺服控制系统的设计计算	181
5.1.2 轧机液压位置伺服系统 (APC) 的工作参数计算	170	5.2 电液比例控制系统设计计算示例	185
5.1.3 数控机床工作台电液位置伺服控制系统的设计计算	173	5.2.1 阀控缸开环速度控制系统设计计算	185
5.1.4 电液速度控制系统的设计计算	177	5.2.2 闭环控制系统比例阀的选型计算	188
第6章 液压控制系统基本功能回路	190		
6.1 伺服控制机构及回路	190	6.2.3 电液比例方向速度控制回路	202
6.1.1 机液伺服控制机构	190	6.2.4 比例方向阀节流压力补偿回路	204
6.1.2 电液伺服控制回路	192	6.2.5 电液比例方向阀应用回路	209
6.2 电液比例控制机构及回路	196	6.2.6 电液比例压力/速度控制回路 (节能回路)	212
6.2.1 电液比例压力控制回路	196	6.2.7 电液比例控制典型应用回路	214
6.2.2 电液比例速度控制回路	199		
第7章 典型液压控制系统实例分析	217		
7.1 复杂圆柱曲面石材加工机的机液仿形控制系统	217	7.2.1 主机功能结构	219
7.1.1 主机功能结构	217	7.2.2 液压系统工作原理	220
7.1.2 机液仿形控制系统工作原理	218	7.2.3 技术特点及参数	221
7.1.3 技术特点	218	7.3 高压输电线间隔棒振摆电液伺服试验系统	222
7.2 电站锅炉蛇形管弯管机电液控制系统	219	7.3.1 系统的功能结构及工作原理	222

7.3.2 技术特点及参数	222	7.12.2 电液比例控制液压系统的工作原理	243
7.4 石棉水泥管卷压成型机的电液控制系统	223	7.12.3 技术特点	243
7.4.1 主机功能结构	223	7.13 波浪补偿起重机电液比例控制系统	245
7.4.2 系统工作原理	223	7.13.1 主机功能结构	245
7.4.3 技术特点及参数	226	7.13.2 电液比例控制系统工作原理	245
7.5 四辊轧机液压压下装置的电液伺服系统	227	7.13.3 波浪补偿闭环控制	246
7.5.1 主机功能结构	227	7.13.4 技术特点	246
7.5.2 电液伺服控制系统工原理	228	7.14 林木球果采集机器人电液比例控制系统	246
7.5.3 技术特点及参数	228	7.14.1 主机功能结构	246
7.5.4 使用要点	229	7.14.2 电液比例控制系统的工作原理	247
7.6 带材纠偏控制装置电液伺服控制系统	229	7.14.3 技术特点	248
7.6.1 主机功能结构	229	7.15 自动卷染机电液比例控制系统	249
7.6.2 电液控制系统工作原理	230	7.15.1 主机功能结构	249
7.6.3 技术要点及参数	230	7.15.2 电液比例控制系统的工作原理	249
7.7 PASBAN 炮塔电液伺服控制系统	231	7.15.3 技术特点	250
7.7.1 主机功能结构	231	7.16 飞机起落架收放液压试验车电液控制系统	250
7.7.2 电液伺服控制系统工作原理	231	7.16.1 主机功能结构	250
7.7.3 技术特点及参数	233	7.16.2 液压系统工作原理	251
7.8 地空导弹发射装置液压控制系统	233	7.16.3 电控系统及其原理	252
7.8.1 主机功能结构	233	7.16.4 技术特点	252
7.8.2 液压系统及其工作原理	234	7.17 舰模模拟平台电液比例闭环控制系统	252
7.8.3 技术特点及参数	236	7.17.1 主机功能结构	252
7.9 平面磨床工作台电液比例调速系统	236	7.17.2 液压系统的工作原理	253
7.9.1 主机功能结构	236	7.17.3 电控系统的控制原理	253
7.9.2 电液比例调速系统的工作原理	237	7.17.4 技术特点	254
7.9.3 技术特点	237	7.18 双缸直顶式液压电梯电液比例系统	254
7.10 注塑机电液比例控制系统	237	7.18.1 主机功能结构	254
7.10.1 主机功能结构	237	7.18.2 两种电液比例系统及其工作原理	254
7.10.2 电液比例控制系统的工作原理	238	7.19 大型剧院三块双层升降舞台电液比例同步控制系统	256
7.10.3 技术特点	239	7.19.1 舞台功能结构	256
7.11 金刚石工具热压烧结机电液比例加载系统	240	7.19.2 液压系统工作原理	257
7.11.1 主机功能结构	240	7.19.3 下层台同步控制	258
7.11.2 电液比例加载系统的工作原理	241	7.19.4 技术特点及参数	258
7.11.3 技术特点	242		
7.12 沥青道路修补车电液比例控制系统	242		
7.12.1 主机功能结构	242		

使 用 篇

第 8 章 液压介质使用管理与系统污染控制	260
8.1 液压介质的功用和性质	260
8.2 对液压介质的一般要求	261

8.3 液压介质的命名、代号含义与种类		8.5.3 进口液压设备换用国产油液	
特性	262	要点	268
8.4 液压油液的选用要点	264	8.6 液压介质的污染及其控制	269
8.5 工作介质的使用与管理	266	8.6.1 污染物种类及来源	269
8.5.1 液压油(液)合理使用要点	266	8.6.2 油液污染对液压系统的危害	269
8.5.2 液压油液的更换(换油)方法及		8.6.3 污染度及其测量	270
注意事项	267	8.6.4 污染控制措施	277
第9章 液压控制系统的安装调试、运行维护与故障诊断	281		
9.1 安装调试	281	9.2.3 常见故障类型及特点	285
9.1.1 液压控制系统的安装	281	9.2.4 液压系统的故障诊断策略、方法	
9.1.2 液压控制系统的调试	283	技巧及注意事项	287
9.2 液压控制系统的运行维护及故障		9.2.5 液压系统故障现场快速诊断仪器	
诊断	284	简介	290
9.2.1 运行维护的一般注意事项	284	9.2.6 开环和闭环液压控制系统的故障	
9.2.2 故障诊断与维修中拆解时的注意		诊断方法	291
事项	284		
附 录	295		
附录一 液压技术常用物理量单位及		安装面 (GB 17487—1998 摘录)	
换算	295		301
附录二 常用液压气动系统元件图形		附录四 液压系统通用技术条件	
符号	296	(GB/T 3766—2001 摘录)	304
附录三 四油口和五油口液压伺服阀		附录五 电气设备常用基本图形符号	317
参考文献	320		

基 础 篇

第 1 章 液压控制系统概述

1.1 控制类型比较及液压控制的特点

1.1.1 控制类型的比较

在没有人直接参与情况下，使机械设备、生产过程或被控对象的某些物理量准确地按照预期规律变化，即称为自动控制，可简称为控制。例如，数控机床按预先排定的工艺程序自动进刀加工出预期的几何形状；水轮发电机组按照给定电位器的设定通过电液伺服系统对大口径流体管道的流量自动进行连续调节；火炮根据雷达传来的信息自动地改变方位角和俯仰角等。

由于各种动力传动与控制系统中的媒介（机件或工作介质）通常都是在受调节和控制下工作，故传动与控制两者很难截然分开。按照所采用的机件或工作介质的不同，目前广泛应用的传动控制类型可分为机械传动与控制、电力传动与控制、气压传动与控制及液压传动与控制等。机械传动与控制是通过齿轮、齿条、蜗轮、蜗杆、带、链条、丝杠-螺母等机械零件传递动力和进行控制；电力传动与控制是利用电力设备（电动机、电磁铁等）并调节电参数来传递动力和进行控制；气压传动与控制是以压缩空气为工作介质来传递动力和进行控制；液压传动与控制则是以液体为工作介质，利用封闭系统中液体的静压能实现动力和信息的传递及工程控制。各种传动控制方式的综合比较见表 1-1。

表 1-1 各种传动控制方式的综合比较

综合比较	液压传动与控制	气压传动与控制	机械传动与控制	电气传动与控制
机件或工作介质	有压液体	压缩空气	机械零件(齿轮、齿条等)	电力设备(电动机、电磁铁等)
输出力或转矩	大	稍大	较大	不太大
速度	较高	高	低	高
功率密度	大	中等	较大	中等
响应快速性	高	低	中等	高
定位性	稍好	不良	良好	良好
无级调速	良好	较好	较困难	良好
远程操作	良好	良好	困难	特别好
信号变换	困难	较困难	困难	容易
直线运动	容易	容易	较困难	困难
调整	容易	稍困难	稍困难	容易
结构	稍复杂	简单	一般	稍复杂
管线配置	复杂	稍复杂	较简单	不特别复杂
环境适应性	较好,但易燃	好	一般	不太好

续表

综合比较	液压传动与控制	气压传动与控制	机械传动与控制	电气传动与控制
危险性	注意防火	几乎无	无特别问题	注意漏电
动力源失效时	可通过蓄能器完成若干动作	有余量	不能工作	不能工作
工作寿命	一般	长	一般	较短
维护要求	高	一般	简单	较高
价格	稍高	低	一般	稍高
应用	响应速度快的大负载各类场合	小功率场合	在许多场合或逐步被其它传动控制方式所替代,或需与其它传动控制方式融合才能满足主机的动作要求	在许多场合,往往与机械、气动或液压传动结合使用,作为各种传动的组成部分

1.1.2 控制类型的选择

各种控制方式都有其特点、用途和适用范围。由于现代机械设备功能和动作日趋复杂,所以在选择传动控制方案时,应全面考虑被控装置的用途及工作环境、结构布局、负载条件、预计投资额度及使用维护水平等因素,从先进性、经济性、可靠性诸方面进行综合比较和论证后作出决断,而不应牵强地对主机所有工作机构采用某一种传动控制方式。

1.2 液压控制技术的应用

以电液伺服控制为代表的液压控制技术最先发展于航空领域,其目的在于能以最小的电信号对飞行器进行精确控制。之所以采用电液控制,主要是由于飞行器要实现较高的飞行速度,故对其控制既需要较快的调节速度,又需要较大的调节力,即对控制机构的快速性、精确性和功率密度具有较高要求。随着时间的推移,工业领域也着手研究这一技术,并根据所需进行精度改进,使电液伺服元件的价格更具竞争力。迄今,液压控制技术不但是液压技术的重要分支之一,而且已成为现代机械设备和装置中的基本技术构成、现代控制工程的基本技术要素和工业及国防自动化的重要手段,并在工业、农业、国防和科学技术中几乎所有的技术领域得到广泛应用。

1.3 液压控制系统的基本原理、组成与表示

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情况下,稳定而准确地工作,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,主要分为伺服控制系统和比例控制系统两大类。本节以液压伺服控制系统(简称液压伺服系统)为例,来说明液压控制系统的基本原理,最后归纳出液压控制系统的组成。

1.3.1 液压控制系统的基本原理

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,自动地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 所示为一机床工作台液压伺服控制系统原理图,系统的能源为液压泵,它以恒定的压力(由溢流阀设定)向系统供油。液压动力装置由伺服阀(四通控制滑阀)和液压缸组成。伺服阀是一个转换放大元件,它将电气-机械转换器(力马达或力矩马达)给出的机械

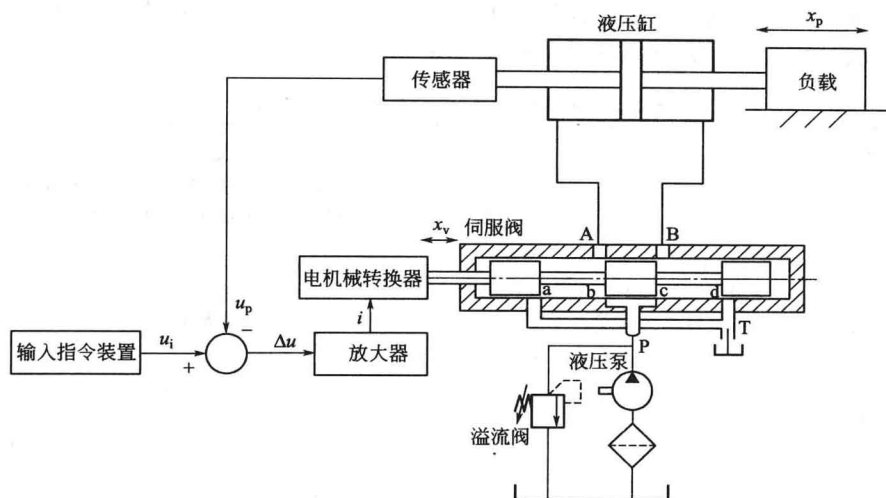


图 1-1 液压控制系统原理图（半结构形式）

信号转换成液压信号（流量、压力）输出并加以功率放大。液压缸为执行元件，其输入是压力油的流量，输出是拖动负载（工作台）的运动速度或位移。液压缸的左端相连的传感器用于检测液压缸的位置，从而构成反馈控制。

当电气输入指令装置给出一指令信号 u_i 时，反馈信号 u_p 与指令信号进行比较得出误差信号 Δu ， Δu 经放大器放大后得出的电信号（通常为电流 i ），输给电气-机械转换器，从而电气-机械转换器带动滑阀的阀芯移动。不妨设阀芯向右移动一个距离 x_v ，则节流窗口 b、d 便有一个相应的开口量，阀芯所移动的距离即节流窗口的开口量（通流面积）与上述误差信号 Δu （或电流 i ）成比例。阀芯移动后，液压泵的压力油由 P 口经节流窗口 b 进入液压缸左腔（右腔油液由 B 口经节流窗口 d 回油），液压缸的活塞杆推动负载右移 x_p ，同时反馈传感器动作，使误差及阀的节流窗口开口量减小，直至当反馈传感器的反馈信号与指令信号之间的差别（误差） $\Delta u=0$ 时，电气-机械转换器又回到中间位置（零位），于是伺服阀也处于中间位置，其输出流量等于零，液压缸停止运动，此时负载就处于一个合适的平衡位置，从而完成了液压缸输出位移对指令输入的跟随运动。如果加入反向指令信号，则滑阀反向运动，液压缸也反向跟随运动。

上述系统采用了电气的输入指令装置和反馈装置，因而指令信号与反馈信号都为电信号。而实际上，除了电气的输入指令装置和反馈装置外，这些装置还可以是机械、液压、气动之一或它们的某种组合。

1.3.2 液压控制系统的组成部分及功用

一个实际的液压控制系统不论如何复杂，都是由一些基本元件构成的，并可用图 1-2 表

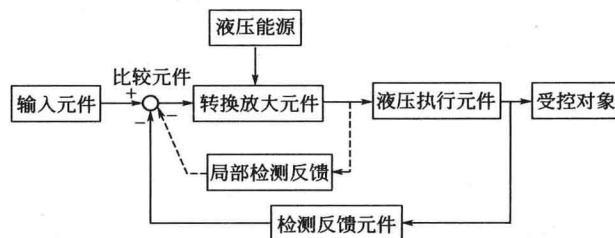


图 1-2 液压控制系统的典型组成

示。这些基本元件包括输入元件、检测反馈元件、比较元件及转换放大装置（含能源）、执行元件和控制对象等部分，各组成部分的作用如表 1-2 所列。

表 1-2 液压控制系统的组成部分及其功用

序号	名称	作用	说 明
1	输入元件 (指令元件)	根据系统动作要求,给出输入信号(也称指令信号),加于系统的输入端	机械模板、电位器、信号发生器或程序控制器、计算机都是常见的输入元件。输入信号可以手动设定或程序设定
2	检测 反馈元件	用于检测系统的输出量并转换成反馈信号,加于系统的输入端与输入信号进行比较,从而构成反馈控制	各类传感器为常见的反馈检测元件
3	比较元件	将反馈信号与输入信号进行比较,产生偏差信号加于放大装置	比较元件经常不单独存在,而是与输入元件、反馈检测元件或放大装置一起,同时完成比较、反馈或放大功能
4	转换 放大装置	将偏差信号的能量形式进行变换并加以放大,输入到执行机构	各类液压控制放大器、伺服阀、比例阀、数字阀等都是常用的转换放大装置
5	执行元件	驱动受控对象动作,实现调节任务	可以是液压缸或液压马达及摆动液压马达
6	受控对象 (负载)	和执行元件的可动部分相连接并同时运动,在负载运动时所引起的输出量中,可根据需要选择其中某物理量作为系统的控制量	受控对象可以是被控制的主机设备或其中一个机构、装置
7	液压能源	为系统提供驱动负载所需的具有压力的液体,是系统的动力源	液压泵站或液压源即为常见的液压能源

1.3.3 液压控制系统的表示

描述液压控制系统的基本组成、工作原理、功能、工作循环及控制方式的说明性图样称为液压控制系统原理图。

(1) 图形符号 为了便于绘制和技术交流,一般采用标准图形符号绘制系统原理图,而不采用图 1-1 所示的半结构形式来绘制。由于图形符号仅表示液压元件的功能、操作(控制)方法及外部接口,并不表示液压元件的具体结构、性能参数、接口的实际位置及元件的安装位置,故用来表达系统中各类元件的作用和整个系统的组成、油路联系和工作原理,简单明了,便于绘制。利用专门开发的计算机图形库软件,还可大大提高系统原理图的设计、绘制效率及质量。我国现行液压气动图形符号标准为 GB/T 786.1—2009《流体传动系统及元件图形符号和回路图 第 1 部分:用于常规用途和数据处理的图形符号》。图

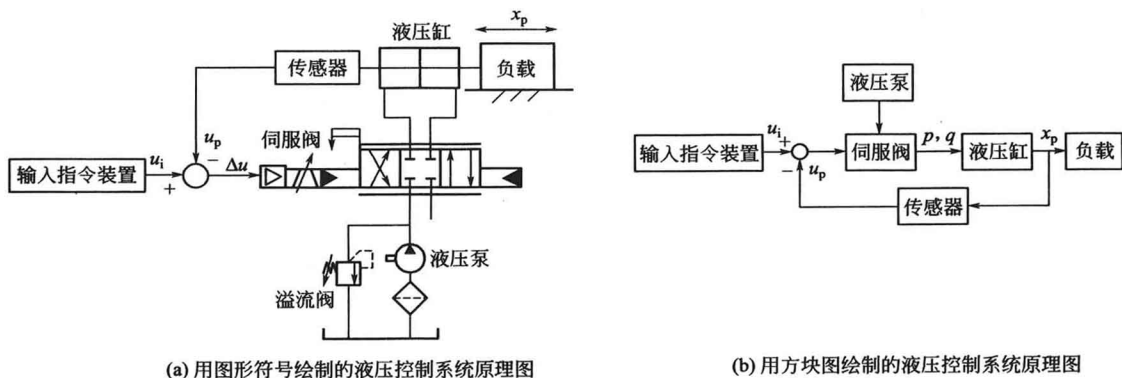


图 1-3 液压控制系统的表示

1-3(a)即为按 GB/T 786.1—2009 规定的图形符号绘制的图 1-1 所示的液压系统原理图。

(2) 方块图 液压控制系统原理的另一种表示方法是方块图。在方块图中,系统的每一组成环节以方块表示,其间用相应变量及信号流向联系起来。系统方块图具体而形象地表示了系统内部各环节及变量的相互关系及信号流向,可以揭示和评价每个组成环节对系统的影响,对于系统的描述、分析相当方便,故应用广泛。图 1-3(b)即为图 1-1 所示液压系统的方块图。

1.4 液压控制系统的类型及适用场合

液压控制系统的类型繁杂,可按不同方式进行分类,如图 1-4 所示。每一种分类方式均代表一定特点。各种类型液压控制系统的特点、实例及应用场合如下所述。

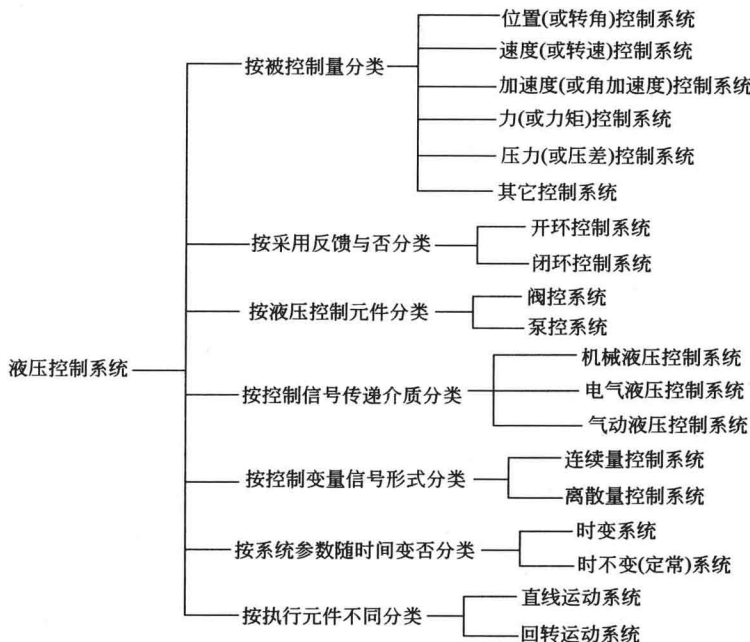


图 1-4 液压系统的分类

1.4.1 位置控制、速度控制及加速度控制和力及压力控制系统

液压控制系统的被控制量有位置(或转角)、速度(或转速)、加速度(或角加速度)、力(或力矩)、压力(或压差)及其它物理量。一个具体的液压控制系统,其被控物理量与控制对象及系统的用途和工艺要求有关,有的系统可能存在可切换的两个被控制量。例如,冶金设备中的轧机液压压下控制系统,大压下量轧制状态时采用位置闭环恒辊缝,而平整状态时则采用闭环恒轧制力。

1.4.2 闭环控制系统和开环控制系统

采用反馈的闭环控制系统(见图 1-1),由于加入了检测反馈,具有抗干扰能力,对系统参数变化不太敏感,控制精度高,响应速度快,但要考虑稳定性问题,且成本较高,多用于系统性能要求较高的场合(如高精数控机床、冶金、航空、航天设备)。不采用反馈的开环控制系统(见图 1-5),不存在稳定性问题,但不具有抗干扰能力,控制精度和响应速度由各组成元件的特性和它们的相互作用来确定,控制精度虽低,但成本较低,用于控制精度

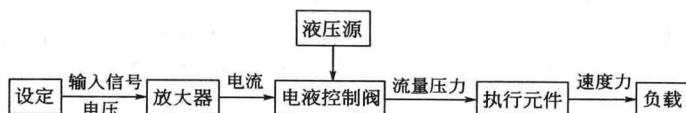


图 1-5 开环控制系统

要求不高的场合。对于闭环稳定性难以解决、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。

1.4.3 阀控系统和泵控系统

阀控系统又称节流控制系统，其主要控制元件是液压控制阀，具有响应快、控制精度高的优点，缺点是效率低，特别适合中小功率快速高精度控制系统使用。按照使用的控制阀的不同，液压控制系统可分为伺服控制系统（控制元件为伺服阀）、比例控制系统（控制元件为比例阀）和数字控制系统（控制元件为数字阀）三大类。图 1-1 所示为采用伺服阀的伺服控制系统；图 1-6 为电液比例控制系统的一般技术构成方块图，其中液压转换及放大器件可以是比例阀，也可以是比例变量泵。

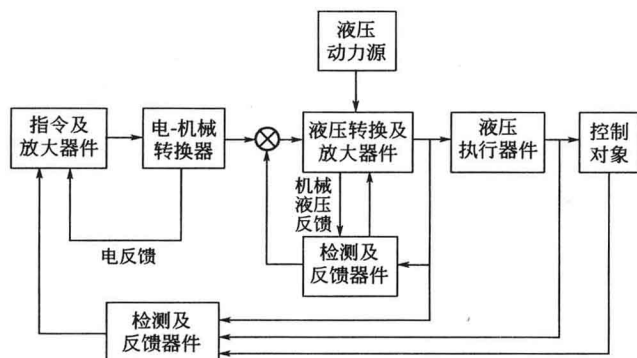


图 1-6 电液比例控制系统的一般技术构成方块图

泵控系统又称容积控制系统，其实质是用控制阀去控制变量液压泵的变量机构，由于无节流和溢流损失，故效率较高，且刚性大，但响应速度慢、结构复杂，适合大功率而响应速度要求不高的控制场合使用。泵控系统示例如图 1-7 所示，它是一个位置控制系统。工作台由双向液压马达与滚珠丝杠来驱动，双向变量液压泵提供液压能源，泵的流量控制通过电液控制阀控制变量缸实现，工作台位置由位置传感器检测并与指令信号相比较，其偏差信号经控制放大器放大后送入电液控制阀，从而实现闭环控制。采用这种位置控制的设备有各种跟踪装置、数控机械、管道卷压机械及飞机等。

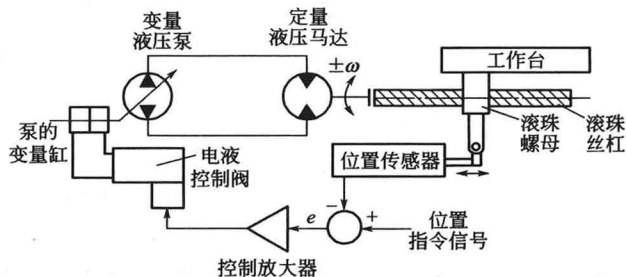


图 1-7 泵控系统原理图

1.4.4 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

机械液压控制系统（简称机液控制系统）的原理方块图如图 1-8 所示，它由液压和机械两部分组成，系统中的给定、反馈和比较元件都是机械构件。其优点是简单可靠，价格低廉，环境适应性好，缺点是偏差信号的校正及系统增益的调整不如电气方便，难以实现远距离操作，此外反馈机构的摩擦和间隙都会对系统的性能产生不利影响。

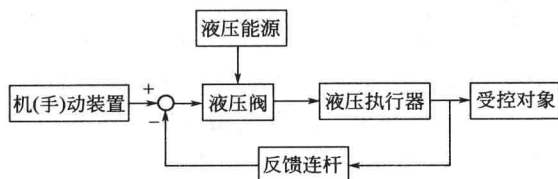


图 1-8 机液控制系统原理方块图

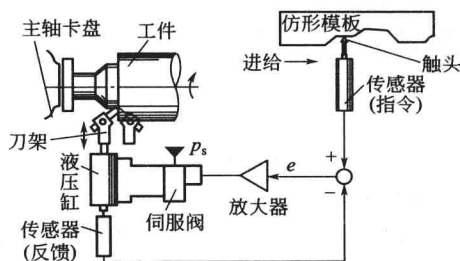


图 1-9 车床仿形刀架机液控制系统原理图

图 1-9 所示为一个典型的机液控制系统原理图，系统用于控制车床仿形刀架。具有某种形状的模板（俗称靠模）作为系统的输入。模板用一边有预制切口的平板做成，它与输入信号发生装置相连的触头沿着模板的边缘移动。传统的液压仿形刀架，触头直接（或通过机械杠杆）与伺服阀阀芯相连，控制刀架的液压缸也和伺服阀的阀套组成一体，当液压缸把伺服阀移到零位置时，又移动刀具，使其在工件上切削出和仿形模板的切口一样的形状。为了克服纯机液控制系统偏差信号的校正及系统增益的调整不便的缺陷，可以将触头连接到电子信号发生装置上〔如直线位置传感器（LVDT）〕，当触头扫过模板时，就产生了与其变化相应的指令信号。位置反馈传感器产生连续的反馈信号与指令信号相比较，所产生的误差信号控制伺服阀，伺服阀又操纵执行元件（液压缸）。由于执行元件又控制着刀架或工作台，所以零件就被加工成所需的形状了。

电气液压控制系统简称电液控制系统，如图 1-10 所示，它由电气及液压两部分组成，系统中偏差信号的检测、校正和初始放大都是采用电气、电子元件来实现的；系统的心脏是电液控制阀，按系统所用电液控制阀不同，电液控制系统可分为电液伺服系统（见图 1-2）和电液比例系统（见图 1-6），它们的详细分类、构成及特点如表 1-3 所列。电液控制系统的优点是信号的测量、校正和放大都较为方便，容易实现远距离操作，容易与响应速度快、抗负载刚性大的液压动力元件实现整合，组成以电子、电气为神经，以液压为筋肉的电液控制系统，具有很大的灵活性与广泛的适应性。由于机电一体化技术的发展和计算机技术的普及，电液控制系统已在工程上普遍得到应用并成为液压控制中的主流系统。随着机械装备工作性能要求的提高，有些一般的液压传动系统将逐步改为电液控制系统。

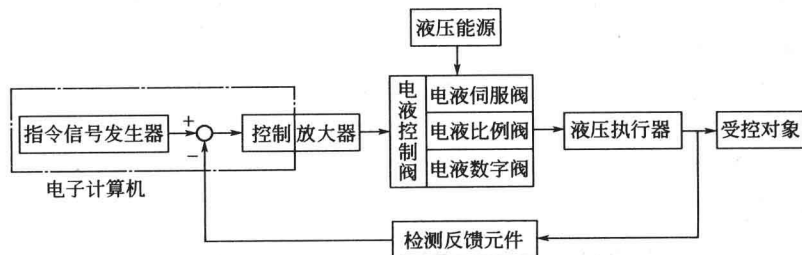


图 1-10 电液控制系统一般构成

表 1-3 电液控制系统的详细分类、构成及特点

类 型		构 成	特 点
电液伺服系统	位置系统	控制装置(伺服放大器和电液伺服阀)、执行元件(液压缸、液压马达或摆动液压马达)、反馈检测装置(传感器)、能源装置(定量泵或变量泵)	响应快、精度高。但成本较高,抗干扰能力较差
	速度系统		
	力(压力)系统		
电液比例系统	开环	控制装置(比例放大器和比例阀)、执行元件(液压缸、液压马达或摆动液压马达)、能源装置(定量泵、变量泵或比例变量泵)	可明显简化系统,实现复杂程序控制;利用电液结合提高机电一体化水平。但控制精度低
	闭环	除构成开环比例系统的装置外,还包括反馈检测装置	响应较快,精度较高,价格低廉

气动液压控制系统简称气液控制系统,它由气动和液压两部分组成,系统中信号的检测和初始放大均采用气动元件实现。气液控制系统具有结构简单、测量灵敏度高、工作可靠、可在高温、振动、易燃、易爆等恶劣环境下工作等优点,但需要压力气源等附属设备。气液控制的典型应用是塑料薄膜跑偏(探边)控制系统(见图 1-11),其中的气液伺服阀就是利用气压信号控制伺服阀的动作的。

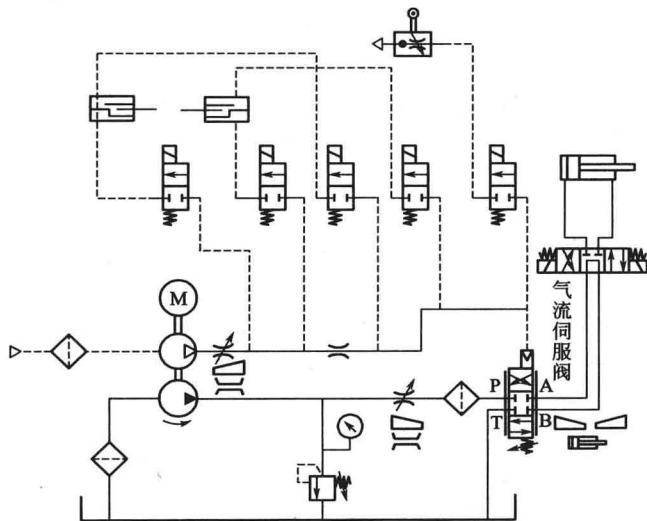


图 1-11 塑膜跑偏气液控制系统

1.4.5 连续量控制系统和离散量控制系统

连续量控制系统中各变量均为时间的连续函数;离散量控制系统中某些变量是用脉冲调制形式表达的。当采用电液数字阀时必然是离散控制系统。用计算机控制电液伺服阀或电液比例阀的控制系统实质上也是离散的系统,是采用脉幅调制形式进行控制的系统。

1.4.6 时变系统与时不变系统

时变与时不变(定常)系统由控制系统本身所决定。时变系统如运行中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。这种系统的分析和控制都比较困难,一般情况下可按时不变系统考虑。

1.4.7 直线运动控制系统和回转运动控制系统

按照执行元件不同,液压控制系统可分为直线运动控制系统和回转运动控制系统。前者以液压缸作为执行元件,后者以液压马达或摆动液压马达作为执行元件。

液压缸是一种实现直线运动常用的执行元件,由于配置方便,不但用于一维控制(见图1-9),还经常用于二维、三维控制。如图1-12所示,采用三组伺服阀2、液压缸1及传感器3,在仿形铣床上, x 及 z 方向的液压缸运动就是工作台的纵向和横向进给, y 方向的液压缸运动即为升降台的升降运动,从而实现了立体形状仿形加工。

但进行位置控制、速度控制并不一定都要采用液压缸作为执行元件,为了满足负载力矩和负载速度的要求,或减小负载惯量的影响以提高液压固有频率,或将旋转运动转变为直线运动,经常采用液压马达作为执行元件。工程上许多极精密的系统是采用液压马达与滚珠丝杠来驱动的(见图1-7)。液压马达的控制精度可达几分之一转,滚珠丝杠能使控制精度进一步提高。液压马达与滚珠丝杠结合在一起使用,可使直线位置的控制精度在千分之一毫米以内或更小。

现代机械设备的运动日趋复杂化,例如计算机控制的数控机械加工设备,有的需要实现三维运动(x 、 y 、 z 再加两个平面运动),为此,采用五组电液控制阀控制的液压执行元件(液压缸和液压马达),每一组为实现一个方向的运动控制的完整的控制回路。这种多执行元件控制系统多采用计算机进行控制,其指令信号通过计算机编程产生,但最终将以直流电压信号形式送至控制阀的电气-机械转换器上,使阀芯移动,液压油液就通向执行元件,使刀具或工件运动,完成复杂工件的加工。

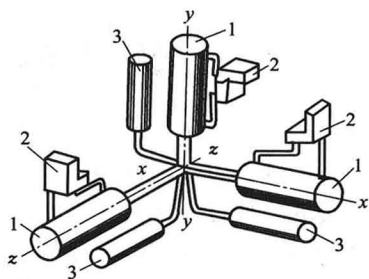


图 1-12 液压缸用于三维控制

1—液压缸; 2—伺服阀; 3—传感器