



普通高等院校“十一五”规划教材

流体传动 与控制

LIUTI CHUANDONG YU KONGZHI

董继先 吴春英 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

TH137/149

2008

普通高等院校“十一五”规划教材

流体传动与控制

董继先 吴春英 主编

国防工业出版社

地址：北京
电话：(010) 88414133
传真：(010) 88414134

内 容 简 介

流体传动与控制分为液压传动与控制 and 气压传动与控制,本书将以此分为两大部分分别予以介绍。在液压传动中系统地介绍了液压传动的理论基础,常用液压元件的工作原理、结构及性能特点。通过实例叙述了液压传动系统的分析和设计方法,并对液压伺服系统也进行了简单的介绍。气压传动部分除了介绍气压传动的基本知识以及常见气动元件的结构、原理、性能、特点外,着重介绍了新型气动控制元件和执行元件,重点介绍了气动程序控制回路的设计方法,在分析典型气动基本回路的基础上,探讨了气动技术在工业自动化中的应用。

图书在版编目(CIP)数据

流体传动与控制/董继先,吴春英主编. —北京:国防工业出版社,2008.2

普通高等院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-118-05468-2

I. 流... II. ①董...②吴... III. ①液压传动—高等学校—教材②液压控制—高等学校—教材 IV. TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 179566 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 19 字数 433 千字。

2008 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 29.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行传真: (010)68411535

发行邮购: (010)68414474

发行业务: (010)68472764

前 言

随着教育的不断深入,教学计划、教学内容和课程的调整,与机械类各专业密切相关的液压、气压传动课程必须作相应的改革,为此我们编写了此书。

本书将液压传动与气压传动两本教材合编为流体传动与控制,避免了原液压、气压传动教学中关于流体力学等部分的交叉重复现象,本书的特点是从目前教学改革特点出发,强调知识的应用与能力的培养。在内容的选取和安排上,使液压与气压传动知识有机地融会贯通,并注意处理好理论与实际应用的关系,重点介绍理论知识,强调基本训练,加强分析、解决实际问题的能力 & 工程应用素质的培养。本教材适用于机械类的各个专业。

全书共分为两大部分,即液压传动与气压传动两部分。在液压传动中系统地介绍了液压传动的基本理论和基本知识,常用液压元件的工作原理、结构特点及性能分析。在介绍了由各种基本元件组成的基本回路之后,通过实例叙述了液压系统的分析和设计方法,并对液压伺服系统也进行了简单的介绍。气压传动部分除了介绍一般气压传动的基本理论和气动元件的结构、原理、性能、特点外,着重介绍了最新气动控制元件和执行元件,重点介绍了气动程序控制回路的设计方法及典型气动基本回路以及在工业自动化中的应用。

本教材液压传动部分由吴春英副教授主编,气压传动部分由董继先教授主编。其中绪论、第2章~第9章由吴春英副教授编写,第1章、第12章由张浩讲师编写,其余部分由董继先教授编写。在本书的编写过程中得到了王涛、洪刚院、赵朋涛等同学的大力支持和帮助,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏和错误,敬请广大读者指正。

编 者

2007年9月

目 录

绪论	1
0.1 液压传动发展概况和趋势	1
0.1.1 发展概况	1
0.1.2 发展趋势	1
0.2 液压传动的工作原理及系统组成	2
0.2.1 液压传动工作原理	2
0.2.2 液压系统的组成	4
0.2.3 液压系统图的职能符号	4
0.3 液压传动的主要优缺点	4
0.3.1 液压传动的优点	4
0.3.2 液压传动的主要缺点	5
第1章 液压传动基础知识	6
1.1 液压油	6
1.1.1 密度和比容	6
1.1.2 可压缩性	6
1.1.3 黏性	7
1.1.4 对液压油的要求和选用	9
1.2 液体静力学	11
1.2.1 静压力(或称压力)及其性质	11
1.2.2 在重力作用下静止液体中的压力分布	12
1.2.3 压力的表示方法及单位	12
1.2.4 帕斯卡原理——静压传递原理	13
1.2.5 液体静压力作用在固体壁面上的力	13
1.3 液体动力学	14
1.3.1 几个基本概念	15
1.3.2 连续性方程	16
1.3.3 伯努利方程	17
1.4 管路系统的压力损失	18
1.4.1 液体的流动状态	18
1.4.2 圆管流动时的沿程压力损失	20
1.4.3 局部压力损失	21
1.4.4 管路系统的总压力损失	22

1.4.5 推荐流速和管径的确定	23
1.5 孔口及缝隙流动	24
1.5.1 小孔流量计算	24
1.5.2 隙缝流量计算	26
1.6 气穴现象和液压冲击	28
1.6.1 气穴(或空穴)	28
1.6.2 液压冲击	29
习题	32
第2章 液压泵和液压马达	36
2.1 概述	36
2.1.1 液压泵和液压马达的工作原理	36
2.1.2 液压泵和液压马达的基本性能	37
2.1.3 液压泵和液压马达的分类	40
2.2 齿轮泵	40
2.2.1 外啮合齿轮泵	41
2.2.2 内啮合齿轮泵	43
2.3 叶片泵	44
2.3.1 单作用式叶片泵	44
2.3.2 双作用式叶片泵	45
2.3.3 限压式变量叶片泵	47
2.4 柱塞泵	49
2.4.1 径向柱塞泵	49
2.4.2 轴向柱塞泵	50
2.5 液压马达	52
2.5.1 双作用叶片马达的结构和工作原理	52
2.5.2 轴向柱塞马达的结构和工作原理	53
2.6 液压泵(液压马达)的选用	54
习题	55
第3章 液压缸	57
3.1 液压缸的分类	57
3.1.1 活塞式液压缸	57
3.1.2 柱塞式液压缸	60
3.1.3 摆动液压缸	61
3.2 液压缸的典型结构和组成	62
3.2.1 液压缸的典型结构举例	62
3.2.2 液压缸的组成	63
3.3 液压缸的设计和计算	65
3.3.1 液压缸设计中应注意的问题	65
3.3.2 液压缸主要尺寸的确定	65

101	3.3.3 强度校核	66
101	3.3.4 缓冲计算	67
101	3.3.5 稳定性校核	67
101	习题	68
	第4章 液压控制阀	70
101	4.1 概述	70
101	4.2 方向控制阀	71
101	4.2.1 单向阀	71
101	4.2.2 换向阀	72
101	4.3 压力控制阀	78
101	4.3.1 溢流阀	78
101	4.3.2 减压阀	81
101	4.3.3 顺序阀	82
101	4.3.4 压力继电器	84
101	4.4 流量控制阀	85
101	4.4.1 流量控制原理及节流口形式	85
111	4.4.2 普通节流阀	86
111	4.4.3 调速阀	87
111	4.4.4 溢流节流阀	88
111	4.5 插装阀和叠加阀	89
111	4.5.1 插装阀	89
111	4.5.2 叠加阀	92
111	4.6 比例阀	92
111	4.6.1 电磁比例压力阀	92
111	4.6.2 电磁比例流量阀	93
111	4.6.3 电磁比例方向阀	94
111	习题	95
	第5章 液压辅助装置	97
111	5.1 过滤器	97
111	5.1.1 对过滤器的要求	97
111	5.1.2 过滤器的类型	97
111	5.1.3 过滤器的选用	98
111	5.1.4 过滤器的安装	98
111	5.2 蓄能器	99
111	5.2.1 蓄能器的功用	99
111	5.2.2 蓄能器的种类	99
111	5.2.3 计算	100
111	5.2.4 蓄能器的使用 and 安装	100
111	5.3 油箱	101

5.3.1	油箱的功用和结构	101
5.3.2	设计时的注意事项	101
5.4	管路和管接头	102
5.4.1	管路	102
5.4.2	管接头	102
5.5	密封装置	103
5.5.1	对密封装置的要求	103
5.5.2	密封装置的类型及特点	104
	习题	105
第 6 章	液压基本回路	107
6.1	压力控制回路	107
6.1.1	调压回路	107
6.1.2	减压回路	108
6.1.3	增压回路	108
6.1.4	卸荷回路	109
6.1.5	保压回路	110
6.1.6	平衡回路	111
6.2	速度控制回路	111
6.2.1	调速回路	111
6.2.2	快速运动回路	123
6.2.3	速度换接回路	124
6.3	多缸工作控制回路	126
6.3.1	顺序动作回路	127
6.3.2	同步回路	128
6.3.3	多缸快慢速互不干扰回路	130
	习题	130
第 7 章	典型液压传动系统	135
7.1	组合机床动力滑台液压传动系统	135
7.1.1	动力滑台快进	136
7.1.2	第一次工作进给	136
7.1.3	第二次工作进给	136
7.1.4	死挡块停留及动力滑台快退	136
7.1.5	动力滑台原位停止	136
7.1.6	系统具有的特点	137
7.2	CB3463-1 型半自动转塔车床液压传动系统	137
7.2.1	机床概述	137
7.2.2	液压系统的工作原理	139
7.2.3	液压传动系统的特点	144
7.3	SZ-100/80 型注射成形机液压传动系统	144

281	7.3.1 概述	144
281	7.3.2 注塑机工况对液压传动系统的要求	145
281	7.3.3 SZ-100/80 型注塑机液压传动系统工作原理	146
281	7.3.4 注塑机液压系统的特点	149
281	习题	149
	第 8 章 液压传动系统的设计与计算	151
281	8.1 概述	151
281	8.1.1 明确设计要求、进行工况分析	151
281	8.1.2 初步确定液压传动系统参数	151
281	8.1.3 拟定液压传动系统图	152
281	8.1.4 计算和选择液压元件	152
281	8.1.5 液压传动系统的性能验算和绘制工作图、编写技术文件	152
281	8.2 液压传动系统的设计与计算举例	153
281	8.2.1 负载分析	153
281	8.2.2 执行元件主要参数的确定	154
281	8.2.3 拟定液压传动系统原理图	155
281	8.2.4 选择液压元件	156
281	8.2.5 验算液压系统性能	158
281	习题	160
	第 9 章 液压伺服系统	162
281	9.1 液压伺服系统的工作原理与类型	162
281	9.2 液压放大器	167
281	9.2.1 滑阀式液压放大器	167
281	9.2.2 射流管式液压放大器	169
281	9.2.3 喷嘴挡板式液压放大器	170
281	9.3 机液伺服系统	171
281	9.3.1 伺服阀的流量—压力特性	171
281	9.3.2 伺服阀的特性系数	173
281	9.3.3 机液伺服系统仿形刀架的静态误差	175
281	9.4 电液伺服阀	176
281	习题	181
	第 10 章 气压传动的基本知识	182
281	10.1 气压传动的基本原理及组成	182
281	10.1.1 气压传动的工作原理	182
281	10.1.2 气压传动系统的组成	182
281	10.2 气动技术的特点	183
281	10.3 气动技术的发展	184
281	10.4 空气的物理性质	185
281	10.4.1 空气的组成	185

10.4.2	空气的密度	185
10.4.3	空气的黏性	186
10.4.4	空气的压缩性与膨胀性	186
10.4.5	湿空气	187
10.4.6	压缩空气的析水量	190
10.5	理想气体的状态方程	190
10.5.1	理想气体的状态方程	190
10.5.2	气体状态变化过程	191
10.6	气体的流动规律	192
10.6.1	气体流动的基本方程	192
10.6.2	声速与马赫数	192
10.6.3	气体在管道中的流动特性	193
10.6.4	通流能力	194
10.6.5	充气、放气温度与时间的计算	196
	习题	199
第 11 章	气源装置及气动辅助元件	200
11.1	气源装置	200
11.1.1	气动系统对压缩空气的要求及净化	200
11.1.2	气源装置的组成和布置	201
11.1.3	空压机类型及工作原理	201
11.1.4	空气压缩机容量计算与选择	203
11.1.5	冷却器	206
11.1.6	油水分离器	206
11.1.7	储气罐	207
11.1.8	干燥器	208
11.2	辅助元件	208
11.2.1	气动三大件	209
11.2.2	其他辅件	211
11.2.3	气源系统的管道设计	212
	习题	215
第 12 章	气动控制元件	216
12.1	压力控制阀	216
12.1.1	减压阀	216
12.1.2	安全阀(溢流阀)	219
12.1.3	顺序阀	219
12.2	流量控制阀	220
12.2.1	排气节流阀	220
12.2.2	柔性节流阀	220
12.2.3	选择与作用	221

12.3	方向控制阀	221
12.3.1	分类	221
12.3.2	气压控制换向阀	227
12.3.3	电磁控制换向阀	227
12.3.4	单向型方向控制阀	229
12.3.5	方向控制阀的工作条件和性能指标	231
12.3.6	方向控制阀的选用	232
	习题	233
第13章	气动执行元件	234
13.1	概述	234
13.2	气缸	234
13.2.1	气缸的分类	234
13.2.2	普通气缸	235
13.3	气缸的设计和计算	237
13.3.1	气缸输出力计算	237
13.3.2	气缸缸径计算	239
13.3.3	缸壁厚度的计算	240
13.3.4	活塞杆的计算	241
13.3.5	耗气量计算	241
13.4	特殊气缸	242
13.4.1	气液阻尼缸	242
13.4.2	制动气缸	243
13.4.3	磁性开关气缸	244
13.4.4	无杆气缸	245
13.4.5	其他气缸	247
13.4.6	气缸的选择、安装使用与维护保养	249
13.5	气马达	251
13.5.1	气马达的结构	251
13.5.2	气马达的特性	252
13.5.3	气马达的选用	252
	习题	252
第14章	气动基本回路	253
14.1	压力(力)控制回路	253
14.1.1	气源压力控制回路	253
14.1.2	工作压力控制回路	253
14.2	速度控制回路	254
14.2.1	单作用气缸的速度控制回路	254
14.2.2	双作用气缸的速度控制回路	255
14.3	方向控制回路	256

14.3.1	单作用气缸回路	256
14.3.2	双作用气缸回路	256
14.4	转矩控制回路	257
14.4.1	气马达转矩控制回路	257
14.4.2	摆动马达转矩控制回路	257
14.5	常用回路	257
14.5.1	安全回路	257
14.5.2	自动和手动并用回路	259
14.5.3	气液联动回路	260
	习题	261
第 15 章	气动程序控制回路的设计	262
15.1	概述	262
15.1.1	三种程序控制简介	262
15.1.2	行程程序的表示方式	263
15.1.3	行程程序回路设计中的主要矛盾	265
15.2	单往复程序的回路设计方法	267
15.2.1	绘制“信号—动作状态图”	267
15.2.2	判断障碍信号,消除障碍,确定执行信号	269
15.2.3	绘制控制回路图	273
15.2.4	单控主控阀控制回路的设计方法	278
15.2.5	单气(或电)控主控阀的回路图绘制	280
15.3	多缸多往复行程程序回路设计	281
15.3.1	画 X-D 线图	281
15.3.2	判断和排除障碍	281
15.3.3	逻辑原理图的画法	282
15.3.4	气动控制回路图的画法	282
15.4	气动系统设计的主要内容及步骤	283
15.4.1	明确工作要求	283
15.4.2	设计气控回路	283
15.4.3	选择、设计执行元件	284
15.4.4	选择控制元件	284
15.4.5	选择辅助元件	284
15.4.6	确定管道直径、计算压力损失	285
15.4.7	选择空压机	285
	习题	286
附录	液压与气压传动常用图形符号	287
	参考文献	292

绪 论

0.1 液压传动发展概况和趋势

0.1.1 发展概况

液压传动与气压传动统称为流体传动，它与机械传动和电气传动一起构成了现代工业中普遍采用的三大传动方式。

无论液压传动还是气压传动，相对于机械传动来说，都是一门新兴的技术。若从18世纪末英国制成第一台水压机开始算起，液压传动已有300年的历史了。但是液压传动被各国普遍重视，并应用于国民经济各部门中，只是近几十年的事。第二次世界大战以后，随着现代科学技术的迅速发展和制造工艺水平的提高，各种液压元件的性能日益完善，液压传动才开始得到广泛应用。特别是出现了高精度、响应速度快的伺服阀后，液压技术的应用更是突飞猛进。20世纪60年代以来，由于电子计算机的迅速发展，使得液压技术进入了数控液压伺服时期。目前普遍认为：电子技术和液压技术相结合是液压系统实现自动控制的发展方向。液压传动由于具有传动平稳、大功率、结构简单、易于无级调速和定位精度高等一系列优点，因此，目前已不仅广泛应用于机床、工程机械、冶金、航空航天等工业部门，而且在轻工业机械(如：注塑成形机、挤出机、精密冲床、皮革机械以及造纸机械等)中也被普遍采用。但各工业部门应用液压传动技术的出发点不尽相同，各有其特殊性。

当前液压技术正向高压、高速、大功率、高效、低噪声、经久耐用、高度集成化的方向发展。同时，新型液压元件和液压系统的计算机辅助设计，计算机辅助测试、计算机直接控制、计算机适时控制技术、机电一体化技术、计算机仿真和优化设计技术、可靠性技术以及污染控制技术等方面也是当前液压传动及控制技术发展和研究的方向。

0.1.2 发展趋势

随着生产的不断发展，对液压元件的结构和性能的要求也越来越高，综观国内外液压元件的发展趋势，大致有以下两方面。

1. 小型、轻量化

在液压技术中，为了要达到小型轻量化的目的，液压系统的压力趋向高压化，当然，随着压力的提高，系统及元件的寿命有所下降，质量也有增加的趋势，上述矛盾的出现，给材料科学的研究提出了新的课题。

在国外，液压元件正在向多功能和系统化方向发展。例如：以方向控制阀为核心，再加上其他各种功能的截止式四通阀，使液压系统具有高度集成化、轻量化和小型化等特点。用一个多功能阀(即组合阀)即可组成一个差动回路，但其安装尺寸仅与一般电磁阀

相同。

在电气技术中，小功率范围内，小型元件的开发和系统化正在积极地发展，特别是使单个元件向系统化发展，正作为小型、轻量化主攻的方向。如一个组合式元件，即可构成包括执行元件在内的一个自成系统，它既具有自动换向、中途停止的功能，又具有调速等功能。

2. 与电子技术相结合

以电子元件作为系统的信息处理和传递信息的手段来控制控制阀，以输出液体的压力能作为功率输出，这两者的结合，是流体控制阀的重要研究课题。

在液压技术中，现在一般感兴趣的是比例电磁阀和数字阀，这两者虽然都是开发控制，但与电—液伺服阀相比，抗污染能力要强得多，且制造方便，维护使用简单。

0.2 液压传动的工作原理及系统组成

0.2.1 液压传动工作原理

液压传动在机床上应用很广，具体的结构也比较复杂，下面介绍一个简化了的机床液压传动系统，用以概括地说明液压传动的工作原理。

图0-1(a)所示为简化了的机床工作台往复送进的液压系统图。液压缸10固定不动，活塞8连同活塞杆9带动工作台14可以作向左或向右的往复运动。图中所示为电磁换向阀7

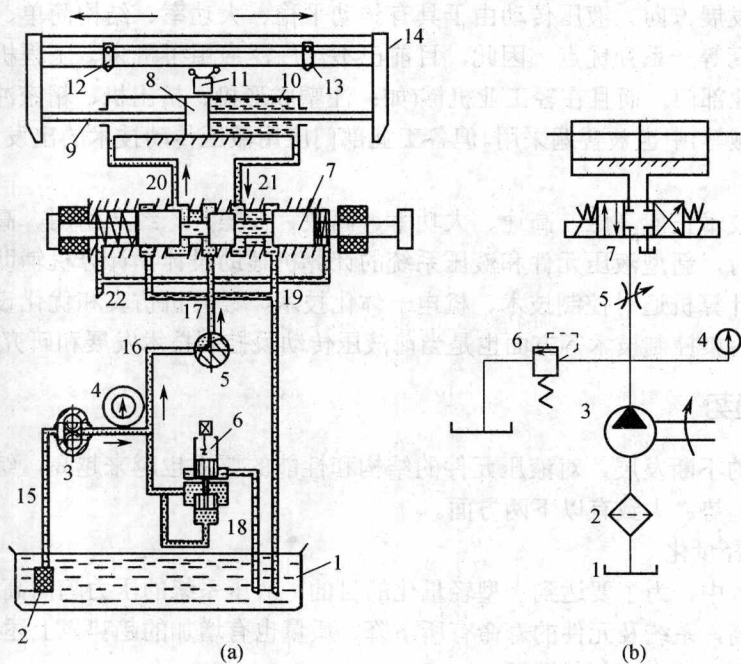


图 0-1 简化的机床液压系统图

1—油箱；2—滤油器；3—液压泵；4—压力表；5—节流阀；6—调压阀；7—电磁换向阀；8—活塞；
9—活塞杆；10—液压缸；11—行程开关；12、13—撞块；14—工作台；15~22—油管。

的左端电磁铁通电而右端的电磁铁断电状态,将阀芯推向右端。液压泵3由电动机带动旋转,通过其内部的密封腔容积变化,将油液从油箱1中,经滤油器2、油管15吸入,并经油管16、节流阀5、油管17、电磁换向阀7、油管20,压入液压缸10的左腔。迫使液压缸左腔容积不断增大,推动活塞及活塞杆连同工作台向右移动。液压缸左腔的回油,经油管21、电磁换向阀7、油管19排回油箱。当撞块12碰上行程开关11,使电磁换向阀7左端的电磁铁断电而右端的电磁铁通电,便将阀芯推向左端。这时,从油管17输来的压力油经电磁换向阀7,由油管21进入液压缸的右腔,使活塞及活塞杆连同工作台向左移动。液压缸左腔的回油,经油管20、电磁换向阀7、油管19排回油箱。电磁换向阀的左右端电磁铁交替通电,活塞及活塞杆连同工作台便循环往复左右移动。当电磁换向阀7的左右端电磁铁都断电时,阀芯在两端的弹簧作用下,处于中间位置。这时,液压缸的左腔、右腔、进油路及回油路之间均不相通,活塞及活塞杆连同工作台便停止不动。由此可见,电磁换向阀是控制油液流动方向的。调节节流阀5的开口大小,可控制进入液压缸的油液流量,改变活塞及活塞杆连同工作台移动的速度。

在进油路上安装溢流阀6,且与液压泵旁路连接。液压泵的输出压力,可从压力表4中读出。当油液的压力升高到稍超过溢流阀的调定压力时,溢流阀开启,油液经油管18排回油箱,这时油液的压力不再升高,稳定在调定的压力值范围内。溢流阀在稳定系统压力和防止系统过载的同时,还起着把液压泵输出的多余油液排回油箱的作用。电磁换向阀7的阀芯两端弹簧腔泄漏油,通过油管22(泄漏口)排回油箱。

在图0-1(a)所示液压系统中,所采用的液压泵为定量泵,即在单位时间内所输出的压力油的体积(称为流量)为定值。定量泵所输出的压力油,除供给系统工作所需外,多余的油液由溢流阀排回油箱,能量损耗就增大。为了节约能源,可以采用在单位时间内所输出的流量可根据系统工作所需而调节的流量泵。如果机床液压系统的工作是旋转运动,则可以将液压缸改用液压马达。

通过上述例子可以看到:

(1) 液压传动是以有压力的油液作为传递动力的介质,液压泵把电动机供给的机械能转换成油液的液压能,油液输入液压缸后,又通过液压缸把油液的液压能转变成驱动工作台运动的机械能。

(2) 在液压泵中,电动机的旋转运动的机械能是依靠密封容积的变化转化为液压能,即输出具有一定压力与流量的液压油。在液压缸中,也是依靠其密封容积的变化,把输入的液压能转换为活塞直线往复运动的机械能。这种依靠密封容积变化来实现能量转换与传递的传动方式称为液压传动,它与主要依靠液体的动能来传递动力的“液力传动”(例如水轮机、离心泵、液力变矩器等)不同,后者在机床上用得极少。液压传动与液力传动,都是液体传动。

(3) 工作台运动时所能克服的阻力大小与油液的压力和活塞的有效工作面积有关,工作台运动的速度决定于在单位时间内通过节流阀流入液压缸中油液容积的多少。

(4) 在液压传动系统中,控制液压执行元件(液压缸或液压马达)的运动(速度、方向和驱动负载能力)是通过控制与调节油液的压力、流量及液流方向来实现的,即液流是处在液压控制的状态下进行工作的,因此液压传动与液压控制是不可分割的。然而通常所谓的液压控制系统是指具有液动力机构的反馈控制系统。

0.2.2 液压系统的组成

从分析上述系统可以看出, 液压传动系统均由以下四部分所组成:

(1) 动力元件(液压泵)。液压泵的作用是向液压系统提供压力油, 是动力的来源。它是将原动机(电动机)输出的机械能转变为油液液压能的能量转换元件。

(2) 执行元件(液压缸或液压马达)。它的作用是在压力油的推动下, 完成对外做功, 驱动工作部件。它是将油液的液压能转变为机械能的能量转换元件。

(3) 控制元件。如溢流阀(压力阀)、节流阀(流量阀)及换向阀(方向阀)等, 它们的作用是分别控制液压系统油液的压力、流量及液流方向, 以满足执行元件对力、速度和运动方向的要求。

(4) 辅助元件。如油箱、油管、管接头、滤油器、蓄能器、压力表等, 分别起贮油、输油、连接、过滤、贮存压力能、测压等作用, 是液压系统中不可缺少的重要组成部分。但从液压系统的工作原理来看, 它们是起辅助作用的, 故因此而得名。

上述各类元件, 将在以后章节中分别予以介绍。

0.2.3 液压系统图的职能符号

图0-1(a)所示的液压系统, 各元件的图形基本上表示了它们的结构原理, 称结构式原理图。它直观性强, 容易理解, 发生故障时按此类图来检查和判断故障原因比较方便, 但图形复杂不便绘制。为了简化液压原理图的绘制以适应液压技术的迅速发展, 我国国家标准(GB/T7861—1993)规定了液压系统图的图形符号。这些符号只表示元件的职能、连接系统的通路, 并不表示元件的具体结构和参数, 是职能符号。图0-1(b)所示为该液压系统的职能符号式原理图。当无法用职能符号表示, 或必须特别说明系统中某一重要元件的结构及动作原理时, 也允许局部用结构式原理图表示。

国家标准规定: 图中各元件的符号均以静止状态(或零工位)表示; 工作油路(包括主压油路和主回油路)以标准实线表示。泄漏油路以细实线表示, 控制油路以虚线表示。

0.3 液压传动的主要优缺点

0.3.1 液压传动的主要优点

(1) 与机械传动和电气传动比较, 在输出相同功率下, 体积和质量均较小。

(2) 较易实现无级调速, 而且调速范围大, 一般可达 $100:1$, 最大可达 $2000:1$, 这是机械传动或电传动难以实现的。

(3) 液压传动的工作平稳, 能在低速下稳定运动。且因其质量轻、惯性小, 故响应速度快, 换向频率高。

(4) 操纵简单, 便于实现过载保护, 便于实现自动化。特别是与电气联合控制, 可实现高精度的自动控制或遥控。

(5) 随着液压技术的发展, 液压元件, 液压回路和某些液压装置可以实现系列化、标准化及通用化, 可采用计算机进行辅助测试、控制和辅助设计等, 有利于提高质量, 降

低成本，大大缩短设计、制造周期。

0.3.2 液压传动的主要缺点

- (1) 在液压元件和系统中各相对滑动件或各配合面间不可避免存在泄漏。
- (2) 油温的变化会引起油液的黏度变化，影响液压传动的工作平稳性。在低温和高温的场合，采用液压传动有一定困难。
- (3) 液压元件的制造精度要求较高，因而价格较贵；使用和维修要求有较高的技术水平和一定的专业知识。
- (4) 对油液的污染敏感，污染会使液压元件磨损和堵塞，使性能变坏，寿命缩短，因此必须防止油液污染和良好的过滤。

由于液压传动具有许多突出的优点，因此广泛应用于机械制造、航空、矿山及起重等许多工程领域。这种传动方式也愈来愈多地应用在轻工行业中应用。例如，在塑料、制鞋、制砖等行业中都获得广泛采用。随着液压技术的发展与元件质量的提高，这一技术必将在轻工行业中获得更广泛的应用。

$$(1-1) \quad \frac{m}{V} = \rho$$

$$(5-1) \quad \frac{L}{q} = \tau$$

$$(1.2.1) q = q_1$$

$$(1.2.2) q = q_2$$

$$(6-1) \quad \frac{V_b \cdot 1}{q_b \cdot V} = \frac{1 \cdot V_b}{q_b \cdot V} = \lambda$$