



21st CENTURY
实用规划教材

21世纪全国高职高专
机电系列实用规划教材

液压传动与气动技术

YEYA CHUANDONG YU QIDONG JISHU

主编 曹建东 龚肖新



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

机械工业出版社

21 世纪全国高职高专机电系列实用规划教材

液压传动与气动技术

主 编 曹建东 龚肖新



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是根据职业技术教育的教学要求,结合现代企业技术发展的需要编写的。全书共 19 章,主要内容包括:液压与气压传动的工作原理、工作介质及其主要性能和参数、常用液压与气动元件的结构类型及图形符号、典型液压与气动回路的功能及应用、液压系统实例分析及气动系统设计举例、气动系统的故障诊断与排除方法。每章末均附有一定数量的习题,全书还增加了气动实验课题及相应解答,并配有附录。本书力求简明扼要地阐述工作原理,系统全面地介绍常用元件,联系实际地列举典型回路,开拓创新地设计实验课题;充分体现职业技术教学内容的实用性、时代性和拓展性。

本书可作为职业技术学院机械制造、机电一体化、模具、数控、自动化等专业的教材,也可作为相关专业人员和相关技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

液压传动与气动技术/曹建东,龚肖新主编. —北京:北京大学出版社,2006.1

(21 世纪全国高职高专机电系列实用规划教材)

ISBN 7-301-10371-9

I. 液… II. ①曹… ②龚… III. ①液压传动—高等学校:技术学校—教材②气压传动—高等学校:技术学校—教材 IV. TH13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 150584 号

书 名: 液压传动与气动技术

著作责任者: 曹建东 龚肖新 主编

责任编辑: 黄平山 李 虎

标准书号: ISBN 7-301-10371-9/TH·0055

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://cbs.pku.edu.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667

电子信箱: pup_6@163.com

排 版 者: 北京东方人华北大彩印中心 电话: 62754190

印 刷 者: 北京宏伟双华印刷有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20.5 印张 470 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 28.00 元

前 言

本书是职业技术教育机械制造、机电一体化、模具、数控、自动化等专业的教学用书，是作者结合现代工业自动化飞速发展的需求，经过多年的教学、科研及生产的实践，引用最新技术资料编写而成的。

在编写本书时，我们遵循的指导思想是：阐明工作原理，拓展专业知识，引入先进技术信息，强化实验实践环节，注重理论联系实际，培养学生理解、分析、应用的综合能力。

全书主要由三大部分组成：第一部分为液压传动的基本概念，常用液压元件的类型和特点，液压基本回路和典型液压系统的功能及应用；第二部分为气压传动的基础知识，多种类型气动元件的结构和特性，常用气动回路的应用特点，气动控制系统的设计，故障诊断与排除方法；第三部分为气动实验课题及解答。

由于现代企业大量引进气动设备和技术，相关专业的技术人员和职业技术学院的学生在接受专业培训和教育过程中需要配套教材，而目前市场上的相关教材中液压部分内容所占比重大，气动部分资料比较欠缺。为此，在编写教材过程中进行了重大改进：将液压传动与气动技术两部分内容有机整合，在精简液压传动理论知识的基础上，大量引入现代实用气动技术资料，并附有气动系统常见故障诊断与排除、与自动化生产设备相关的气动实验课题及解答等内容，同时还提供了符合国家标准的、常用液压与气动元件图形符号的附录。

本书不仅可以作为职业技术学院相关专业的试用教材或培训资料，还可以供教师、学生、企业技术人员课内外学习、拓展视野或进一步提高时参考。

本教材建议教学学时为 80 学时，各章学时分配见下表（供参考）：

章 次	学 时	章 次	学 时
第 1 章	2	第 10 章	2
第 2 章	4	第 11 章	4
第 3 章	6	第 12 章	4
第 4 章	4	第 13 章	2
第 5 章	10	第 14 章	2
第 6 章	2	第 15 章	8
第 7 章	8	第 16 章	4
第 8 章	4	第 17 章	2
第 9 章	2	实验课题	10

参加本书编写的是苏州工业职业技术学院的曹建东和龚肖新。

本书在编写过程中得到苏州工业职业技术学院自控研发中心等部门老师的支持和帮助，在此一并表示衷心感谢。

限于编者的水平和经验，书中存在的错误和不妥之处敬请读者批评指正。

编 者
2005 年 9 月

目 录

第 1 章 液压传动概述	1	3.2 齿轮泵	26
1.1 液压传动的工作原理	1	3.2.1 外啮合齿轮泵	26
1.2 液压传动系统的组成	2	3.2.2 内啮合齿轮泵	28
1.3 液压系统的图形符号	3	3.3 叶片泵	29
1.4 液压传动的优缺点	3	3.3.1 双作用叶片泵	29
1.5 习题	4	3.3.2 单作用叶片泵	31
第 2 章 液压传动基础知识	5	3.4 柱塞泵	33
2.1 液压传动的工作介质	5	3.4.1 径向柱塞泵	33
2.1.1 液压油的主要性质	5	3.4.2 轴向柱塞泵	34
2.1.2 液压传动介质的选用	6	3.5 液压马达	36
2.1.3 工作介质的污染及控制	7	3.6 习题	37
2.2 液压传动的主要参数	7	第 4 章 液压缸	40
2.2.1 压力	7	4.1 液压缸的类型和特点	40
2.2.2 流量	12	4.1.1 活塞式液压缸	40
2.3 液体流动时的能量	13	4.1.2 柱塞式液压缸	42
2.3.1 理想液体流动时的能量	13	4.1.3 伸缩式液压缸	43
2.3.2 实际液体流动时的能量	14	4.1.4 摆动式液压缸	44
2.3.3 液压系统的能量损失	15	4.2 液压缸的结构	45
2.4 液体流经小孔和间隙时的流量	18	4.2.1 缸筒与端盖的连接	46
2.4.1 液体流经小孔的流量	19	4.2.2 活塞与活塞杆的连接	46
2.4.2 液体流经间隙的流量	19	4.2.3 液压缸的密封装置	47
2.5 液压冲击和空穴现象	20	4.2.4 液压缸的缓冲和排气	48
2.5.1 液压冲击	20	4.3 液压缸的设计计算	49
2.5.2 空穴现象	20	4.3.1 液压缸主要尺寸的计算	49
2.6 习题	21	4.3.2 液压缸的校核	50
第 3 章 液压泵和液压马达	23	4.4 习题	51
3.1 液压泵和液压马达概述	23	第 5 章 液压控制阀	54
3.1.1 液压泵的工作原理	23	5.1 方向控制阀	54
3.1.2 液压泵的性能参数	24	5.1.1 单向阀	54
3.1.3 液压马达的性能参数	25	5.1.2 换向阀	55
3.1.4 液压泵和液压马达的种类	26	5.2 压力控制阀	62
		5.2.1 溢流阀	62

5.2.2 减压阀.....	66	第 8 章 典型液压系统	121
5.2.3 顺序阀.....	67	8.1 组合机床动力滑台液压系统.....	121
5.2.4 压力继电器.....	70	8.1.1 概述.....	121
5.3 流量控制阀.....	71	8.1.2 工作原理.....	123
5.3.1 节流阀.....	72	8.1.3 液压系统的特点.....	124
5.3.2 调速阀.....	75	8.2 专用铣床液压传动系统.....	125
5.4 插装阀、比例阀和叠加阀.....	77	8.2.1 概述.....	125
5.4.1 插装阀.....	77	8.2.2 工作过程.....	126
5.4.2 比例阀.....	80	8.3 机械手液压传动系统.....	127
5.4.3 叠加阀.....	82	8.3.1 概述.....	127
5.5 习题.....	84	8.3.2 工作原理.....	128
第 6 章 液压辅助元件	87	8.3.3 系统特点.....	129
6.1 油箱.....	87	8.4 液压伺服系统.....	130
6.2 滤油器.....	88	8.4.1 液压伺服控制原理.....	130
6.3 压力表及压力表开关.....	90	8.4.2 液压伺服系统的基本特点.....	131
6.4 油管和管接头.....	91	8.4.3 液压伺服系统实例.....	132
6.5 蓄能器.....	93	8.5 习题.....	133
6.6 习题.....	94	第 9 章 气动基础知识	135
第 7 章 液压基本回路	96	9.1 气动技术的应用与发展.....	135
7.1 方向控制回路.....	96	9.1.1 气动技术的应用.....	135
7.1.1 换向回路.....	96	9.1.2 气动元件的发展动向.....	135
7.1.2 闭锁回路.....	97	9.2 气动技术的优缺点.....	137
7.2 压力控制回路.....	98	9.3 气动元件的分类.....	138
7.2.1 调压回路.....	98	9.4 空气的性质.....	139
7.2.2 减压回路.....	100	9.4.1 空气的特性.....	139
7.2.3 增压回路.....	101	9.4.2 气体的状态变化.....	143
7.2.4 卸荷回路.....	101	9.5 习题.....	145
7.2.5 平衡回路.....	103	第 10 章 气源及气源处理系统	147
7.3 速度控制回路.....	104	10.1 气源系统.....	147
7.3.1 调速回路.....	104	10.1.1 空气压缩机.....	148
7.3.2 快速运动回路.....	109	10.1.2 后冷却器.....	151
7.3.3 速度换接回路.....	111	10.1.3 储气罐.....	152
7.4 多缸动作控制回路.....	112	10.2 气源处理系统.....	153
7.4.1 顺序回路.....	112	10.2.1 概述.....	153
7.4.2 同步回路.....	114	10.2.2 过滤器.....	155
7.5 习题.....	116	10.2.3 自动排水器.....	159

10.2.4 干燥器.....	161	13.4 气动传感器.....	213
10.3 习题.....	165	13.5 气动放大器.....	218
第 11 章 气动执行元件.....	166	13.6 转换器.....	219
11.1 分类和特点.....	166	13.7 管道系统.....	222
11.2 常用气缸的结构特点和 工作原理.....	168	13.7.1 管道系统布置原则.....	222
11.2.1 普通气缸.....	168	13.7.2 管道布置注意事项.....	223
11.2.2 特殊气缸.....	170	13.8 习题.....	224
11.2.3 气缸的使用注意事项.....	179	第 14 章 真空元件.....	226
11.3 气动马达.....	180	14.1 真空发生装置.....	226
11.3.1 气动马达的结构和 工作原理.....	180	14.1.1 真空泵.....	226
11.3.2 气动马达的特点和应用.....	182	14.1.2 真空发生器.....	227
11.4 习题.....	183	14.2 真空吸盘.....	230
第 12 章 气动控制阀.....	184	14.3 真空用气阀.....	231
12.1 方向控制阀.....	184	14.4 真空压力开关.....	233
12.1.1 单向型控制阀.....	184	14.5 其他真空元件.....	234
12.1.2 换向型控制阀.....	188	14.6 使用注意事项.....	236
12.2 压力控制阀.....	196	14.7 习题.....	237
12.2.1 减压阀.....	196	第 15 章 气动回路.....	239
12.2.2 溢流阀(安全阀).....	199	15.1 方向控制回路.....	239
12.2.3 顺序阀.....	200	15.2 压力控制回路.....	242
12.3 流量控制阀.....	201	15.3 速度控制回路.....	247
12.3.1 节流阀.....	201	15.4 位置控制回路.....	251
12.3.2 单向节流阀.....	202	15.5 同步控制回路.....	254
12.3.3 排气节流阀.....	203	15.6 安全保护回路.....	256
12.3.4 柔性节流阀.....	203	15.7 习题.....	260
12.3.5 使用流量控制阀的 注意事项.....	204	第 16 章 气动顺序控制系统.....	263
12.4 习题.....	204	16.1 概述.....	263
第 13 章 气动辅助元件.....	206	16.2 全气动控制系统的典型实例.....	264
13.1 润滑元件.....	206	16.3 继电器控制气动系统的 设计应用.....	267
13.1.1 不供油润滑.....	206	16.3.1 概述.....	267
13.1.2 油雾器.....	206	16.3.2 继电器梯形图.....	268
13.2 空气处理组件.....	210	16.3.3 常用继电器控制电路.....	268
13.3 消声器.....	211	16.3.4 继电器控制气动系统 的设计举例.....	271
		16.4 习题.....	273

第 17 章 气动系统的使用与维护	275	课题 12 双缸顺序控制	292
17.1 维护保养	275	第 19 章 气动实验解答	293
17.1.1 经常性维护工作	275	课题 1 单作用气缸的直接控制	
17.1.2 定期性维护工作	276	(全气动)	293
17.2 故障诊断与排除	277	课题 2 单作用气缸的速度控制	
17.2.1 故障种类	277	(全气动)	294
17.2.2 常见故障分析及排除	278	课题 3 逻辑控制回路(全气动)	295
17.3 维修工作	284	课题 4 单作用气缸的直接控制	
17.4 习题	286	(单电控)	297
第 18 章 气动实验课题	287	课题 5 双作用气缸的间接控制	
课题 1 单作用气缸的直接控制		(双电控)	298
(全气动)	287	课题 6 双作用气缸的逻辑“与”	
课题 2 单作用气缸的速度控制		控制(直接控制)	300
(全气动)	287	课题 7 双作用气缸的逻辑“或”	
课题 3 逻辑控制回路(全气动)	288	控制(间接控制)	301
课题 4 单作用气缸的直接控制		课题 8 双作用气缸的自锁电路	
(单电控)	288	控制(断开优先)	302
课题 5 双作用气缸的间接控制		课题 9 双作用气缸的自锁电路	
(双电控)	289	控制(导通优先)	303
课题 6 双作用气缸的逻辑“与”		课题 10 双作用气缸往返运动	
控制(直接控制)	289	控制(接触式)	303
课题 7 双作用气缸的逻辑“或”		课题 11 双作用气缸往返运动	
控制(间接控制)	290	控制(非接触式)	305
课题 8 双作用气缸的自锁电路		课题 12 双缸顺序控制	307
控制(断开优先)	290	附录	311
课题 9 双作用气缸的自锁电路		附录 1 液压图形符号	
控制(导通优先)	290	(GB/T 786.1—1993)	311
课题 10 双作用气缸往返运动控制		附录 2 气动图形符号	
(接触式)	291	(GB/T 786.1—1993)	316
课题 11 双作用气缸往返运动控制		参考文献	319
(非接触式)	291		

第 1 章 液压传动概述

教学目标：了解液压传动与其他传动方式之间的不同之处，熟悉其优缺点，掌握液压传动系统的工作原理、组成部分及各组成部分的作用，认识图形符号及其功用。

1.1 液压传动的工作原理

液压传动是利用静压传递原理来工作的，其传动模型如图 1.1 所示。密封容器中盛满液体，当小活塞在作用力 F 足够大时即下压，小缸体内的液体流入大缸体内，依靠液体压力推动大活塞，将重物 W 举升。这种力和运动的传递是通过容器内的液体来实现的。

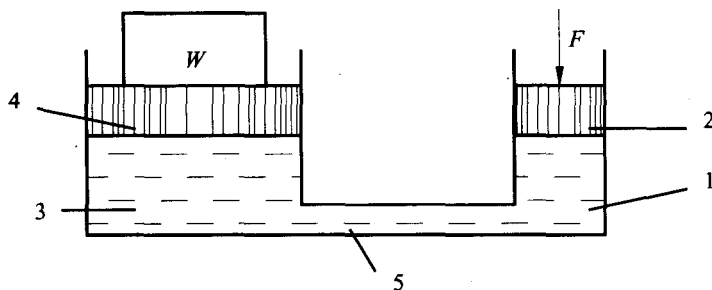


图 1.1 液压传动模型

1,3—缸体；2,4—活塞；5—连通管； W —重物重力； F —作用力

如图 1.2 所示是磨床工作台液压系统工作原理图。油液由油箱 1 经滤油器 2 被吸入液压泵 3，由液压泵输出的压力油经过节流阀 5、换向阀 6 进入液压缸 7 的左腔(或右腔)，液压缸的右腔(或左腔)的油液则经过换向阀后流回油箱，工作台 9 随液压缸中的活塞 8 实现向右(或向左)移动，当换向阀处于中位时，工作台停止运动。工作台实现往复运动时，其速度由节流阀 5 调节，克服负载所需的工作压力则由溢流阀 4 控制。图 1.2 中(a)、(b)、(c) 分别表示了换向阀处于三个工作位置时，阀口 P、T、A、B 的接通情况。

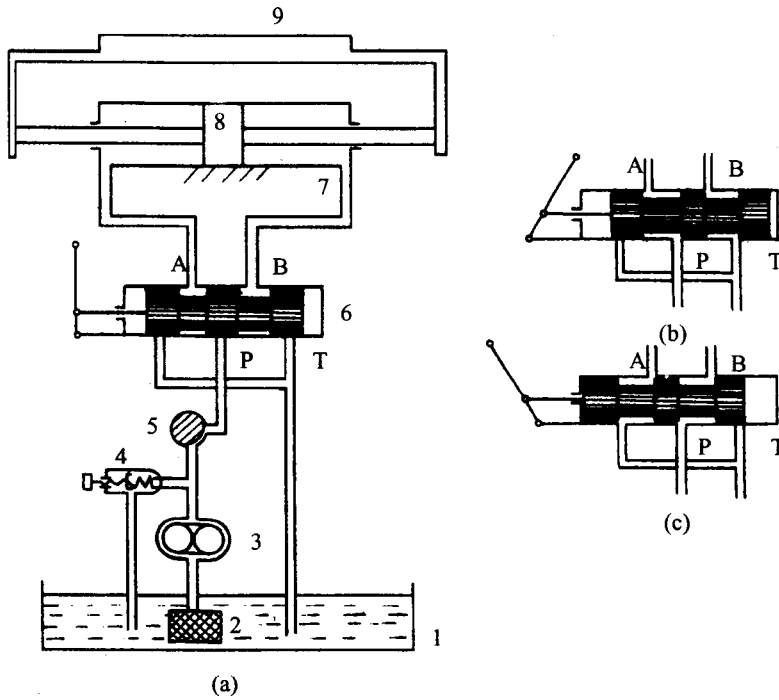


图 1.2 液压传动系统工作原理图

1—油箱；2—滤油器；3—液压泵；4—溢流阀；
5—节流阀；6—换向阀；7—液压缸；8—活塞；9—工作台

1.2 液压传动系统的组成

根据磨床工作台液压系统的工作原理可知，液压传动是以液体为工作介质的，一个完整的液压传动系统还必须由动力元件、执行元件、控制元件、辅助元件几部分组成，见表 1-1。

表 1-1 液压传动系统组成

组成部分	功用	举例
动力元件	将机械能转换为液体的压力能	液压泵
执行元件	将液体的压力能转化为机械能	液压缸、液压马达
控制元件	控制流体的压力、流量和方向，保证执行元件完成预期的动作要求	方向阀、压力阀、流量阀等
辅助元件	起连接、贮油、过滤、测量等作用	油管、油箱、滤油器、压力表等

1.3 液压系统的图形符号

图 1.2 所示的液压系统结构原理图较直观、容易理解，但图形较复杂，难以绘制。在实际工作中，常用图形符号来绘制，如图 1.3 所示。图形符号不表示元件的具体结构，只表示元件的功能，使系统图简化，原理简单明了，便于阅读、分析、设计和绘制。

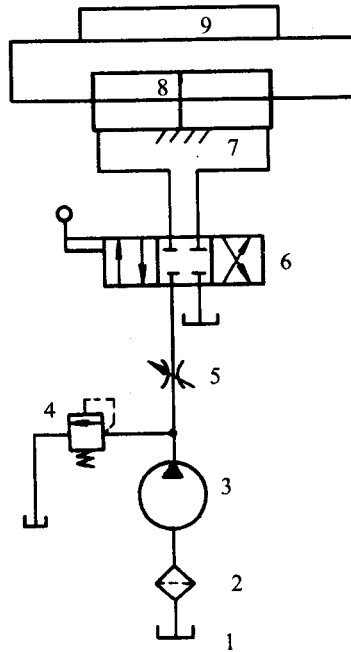


图 1.3 液压传动系统图形符号图

1—油箱；2—滤油器；3—液压泵；4—溢流阀；
5—节流阀；6—换向阀；7—液压缸；8—活塞；9—工作台

1.4 液压传动的优缺点

液压传动与机械传动、电气传动相比有以下主要优点。

- 液压传动的传递功率大，能输出大的力或力矩。即在同等功率下，液压装置的体积小、重量轻、结构紧凑。
- 液压执行元件的速度可以实现无级调节，而且调速范围大。
- 液压传动工作平稳，换向冲击小，便于实现频繁换向。
- 液压装置易于实现过载保护，能实现自润滑，使用寿命长。
- 液压装置易于实现自动化的工作循环。
- 液压元件易于实现系列化、标准化和通用化，便于设计、制造和推广使用。

液压传动也存在如下缺点。

- 由于液压传动中的泄漏和液体的可压缩性，使传动无法保证严格的传动比。
- 液压传动能量损失大，因此传动效率低。
- 液压传动对油温的变化比较敏感，不宜在较高或较低的温度下工作。
- 液压传动出现故障时不易找出原因。

1.5 习 题

一、填空题

1. _____是液压传动中常用来传递运动和动力的工作介质。
2. 液压传动的工作原理是依靠_____来传递运动，依靠_____来传递动力。
3. 液压传动系统除油液外可分为_____、_____、_____、_____四个部分。
4. 液压传动具有传递功率_____，传动平稳性_____，能实现过载_____易于实现自动化等优点。但是有泄漏，容易_____环境，传动比不_____。

二、判断题

1. 液压传动装置实质上是一种能量转换装置。 ()
2. 液压与气压传动均以流体为工作介质。 ()
3. 液压传动可实现过载保护，而气压传动则不能。 ()

三、选择题

1. 液压系统的辅助元件是_____。
A. 电动机 B. 液压泵 C. 液压缸或液压马达 D. 油箱
2. 换向阀属于_____。
A. 动力元件 B. 执行元件 C. 控制元件 D. 辅助元件
3. 可以将液压能转化为机械能的元件是_____。
A. 电动机 B. 液压泵 C. 液压缸或液压马达 D. 液压阀
4. 液压传动的特点是_____。
A. 可与其他方式联用，但不易自动化
B. 不能实现过载保护与保压
C. 速度、扭矩、功率均可作无级调节
D. 传动准确、效率高

四、问答题

1. 什么是液压传动？什么是气压传动？
2. 液压传动系统由哪几部分组成？各组成部分的主要作用是什么？
3. 绘制液压与气动系统图时，为什么要采用图形符号？
4. 简述液压传动的主要优缺点。

第2章 液压传动基础知识

教学目标：了解液压系统中工作介质的主要性质及其选用，掌握液压传动中压力、流量的基本概念、主要特性和实际应用，初步认识液体流动中的能量转换、液压冲击和空穴现象。

2.1 液压传动的工作介质

在液压系统中，使用的工作介质有石油基液压油、难燃型液压液、高水基液和水介质(海水、淡水)等，一般称为液压油。液压油的基本性质和合理选用对液压系统的工作状态影响很大。

2.1.1 液压油的主要性质

1. 粘性

液体分子之间存在内聚力，液体在外力作用下流动时，液体分子间的相对运动导致内摩擦力的产生，液体流动时具有内摩擦力的性质被称为粘性。

液体粘性的大小用粘度来表示，粘度是液压油划分牌号的依据。譬如：N32 液压油，是指这种油在 40℃ 温度时的运动粘度平均值为 32mm²/s。

表 2-1 是常用液压油的新、旧粘度等级牌号的对照，旧标准是以 50℃ 的粘度值作为液压油的粘度值。

表 2-1 常用液压油的牌号和粘度

ISO 3448-92 粘度等级	40℃时运动粘度/ (mm ² /s)	现牌号 (GB/T3141-94)	过渡牌号 (1983年-1990年)	旧牌号 (1982年以前)
ISO VG15	13.5~16.5	15	N15	10
ISO VG22	19.8~24.2	22	N22	15
ISO VG32	28.8~35.2	32	N32	20
ISO VG46	41.4~50.6	46	N46	30
ISO VG68	61.2~74.8	68	N68	40
ISO VG100	90~110	100	N100	60

影响液体粘度的主要因素是温度和压力。

当液体所受的压力增加时，其分子间的距离将减小，于是内摩擦力将增加，即粘度也将随之增大，但由于一般在中、低压液压系统中压力变化很小，因而通常压力对粘度的影响忽略不计。

液压油粘度对温度的变化十分敏感，温度升高，粘度下降，液压油的粘度随温度变化的性质称为粘温特性。一般高温应选择粘度大的液压油，以减少泄漏；低温应选择粘度小的液压油，以减小摩擦。

2. 可压缩性

液体受压力后其容积发生变化的性质，称为液体的可压缩性。

一般中、低压液压系统，其液体的可压缩性很小。因而可以认为液体是不可压缩的。而在压力变化很大的高压系统中，就需要考虑液体可压缩性的影响。当液体中混入空气时，可压缩性将显著增加，并将严重影响液压系统的工作性能，因而在液压系统中应使油液中的空气含量减少到最低限度。

2.1.2 液压传动介质的选用

选用液压传动介质的种类，要考虑设备的性能、使用环境等综合因素。如一般机械可采用普通液压油；设备在高温环境下，就应选用抗燃性能好的介质；在高压、高速的工程机械上，可选用抗磨液压油；当要求低温时流动性好，则可用加了降凝剂的低凝液压油。液压油粘度的选用应充分考虑环境温度、工作压力、运动速度等要求，如温度高时选用高粘度油，温度低时选用低粘度油；压力愈高，选用的粘度愈高；执行元件的速度愈高，选用油液的粘度愈低。

在液压传动装置中，液压泵的工作条件最为恶劣，较简单实用的方法是按液压泵的要求确定液压油，见表 2-2。

表 2-2 液压泵用油粘度范围及推荐用油表

名称		粘度范围/(mm ² /s)		工作压力/ MPa	工作温度/ ℃	推荐用油
		允许	最佳			
叶片泵 (1200r/min)		16~220	26~54	7	5~40	L-HM 液压油 32, 46, 68
					40~80	
叶片泵 (1800r/min)		16~220	26~54	7 以上	5~40	L-HM 液压油 46, 68, 100
					40~80	
齿轮泵		4~220	25~54	12 以下	5~40	L-HL 液压油 32, 46, 68
					40~80	
				12 以上	5~40	L-HM 液压油 46, 68, 100, 150
					40~80	
柱 塞 泵	径 向	10~65	16~48	14~35	5~40	L-HM 液压油 32, 46, 68, 100, 150
					40~80	
轴 向	4~76	16~47	35 以上	5~40	L-HM 液压油 32, 46, 68, 100, 150	
				40~80		
螺杆泵		19~49		10.5 以上	5~40	L-HL 液压油 32, 46, 68
					40~80	

注：液压油牌号 L-HM32 的含义是：L 表示润滑剂，H 表示液压油，M 表示抗磨型，粘度等级为 VG32。

2.1.3 工作介质的污染及控制

工作介质的污染对液压系统的可靠性影响很大，液压系统运行中大部分故障是因为油液不清洁引起的。因此，正确使用和防止液压油的污染尤为重要。

油液的污染，是指油液中含有固体颗粒、水、微生物等杂物，这些杂物的存在会导致以下问题。

- 固体颗粒和胶状生成物堵塞滤油器，使液压泵吸油不畅、运转困难、产生噪声；堵塞阀类元件的小孔或缝隙，使阀类元件动作失灵。
- 微小固体颗粒会加速有相对滑动零件表面的磨损，使液压元件不能正常工作；同时还会划伤密封件，使泄漏流量增加。
- 水分和空气的混入会降低液压油液的润滑性，并加速其氧化变质，产生气蚀，使液压元件加速损坏；使液压传动系统出现振动、爬行等现象。

控制油液的污染，常采用以下措施。

- 减少外来的污染：液压传动系统的管路和油箱等在装配前必须严格清洗，用机械的方法除去残渣和表面氧化物，然后进行酸洗。液压传动系统在组装后要进行全面清洗，最好用系统工作时使用的油液清洗，特别是液压伺服系统最好要经过几次清洗来保证清洁。油箱通气孔要加空气滤清器，给油箱加油要用滤油装置，对外露件应装防尘密封，并经常检查，定期更换。液压传动系统的维修、液压元件的更换、拆卸应在无尘区进行。
- 滤除系统产生的杂质：应在系统的相应部位安装适当精度的过滤器，并且要定期检查、清洗或更换滤芯。
- 控制液压油液的工作温度：液压油液的工作温度过高会加速其氧化变质，产生各种生成物，缩短它的使用期限。
- 定期检查更换液压油液：应根据液压设备使用说明书的要求和维护保养规程的有关规定，定期检查更换液压油液。更换液压油液时要清洗油箱，冲洗系统管道及液压元件。

2.2 液压传动的主要参数

液压传动中的主要参数是压力和流量，了解这两大参数的概念、基本特性和应用，有助于深入理解液压传动的 basic 工作原理和特性。

2.2.1 压力

1. 压力的概念

液体在单位面积上所受的垂直力称为压力(在物理学中称为压强)，压力通常用 p 表示。若在液体的面积 A 上受均匀分布的作用力 F ，则压力可表示为：

$$p = \frac{F}{A}$$

压力的国标单位为 N/m^2 (牛/米²), 即 Pa(帕); 工程上常用 MPa(兆帕)、bar(巴)和 kgf/cm^2 , 它们的换算关系为:

$$1\text{MPa}=10\text{bar}=10^6\text{Pa}=10.2\text{kgf/cm}^2$$

2. 静压传递

据帕斯卡原理可知, 在密闭容器中的静止液体, 由外力作用在液面的压力能等值地传到液体内部的所有各点。

如图 2.1 所示, A_1 、 A_2 分别为液压缸 1 和 2 的活塞面积, 两缸用管道连通。大活塞缸 2 内的活塞上有重力 W , 当给小活塞缸 1 的活塞上施加力 F_1 时, 液体中就产生了 $p = \frac{F_1}{A_1}$ 的压力。随着 F_1 的增加, 液体的压力也不断增加, 当压力 $p = \frac{W}{A_2}$ 时, 大活塞缸 2 的活塞开始运动。

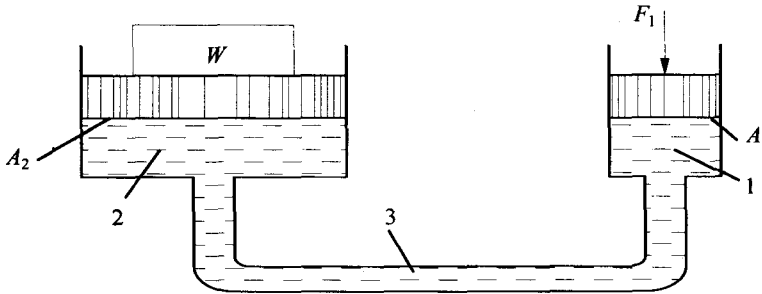


图 2.1 帕斯卡原理的应用

1—小活塞缸; 2—大活塞缸; 3—管道

可见, 静压力传动有以下特点。

- 传动必须在密封容器内进行。
- 系统内压力大小取决于外负载的大小。也就是说, 液体的压力是由于受到各种形式的阻力而形成的, 当外负载 $W=0$ 时, 则 $p=0$ 。
- 液压传动可以将力放大, 力的放大倍数等于活塞面积之比, 即

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{W}{A_2}$$

或

$$\frac{W}{F_1} = \frac{A_2}{A_1}$$

3. 液压传动系统中压力的建立

密闭容器内静止油液受到外力挤压而产生压力(静压力), 对于采用液压泵连续供油的液压传动系统, 流动油液在某处的压力也是因为受到其后各种形式负载(如工作阻力、摩擦

力、弹簧力等)的挤压而产生的。除静压力外,油液流动还有动压力,但在一般液压传动中,油液的动压力很小,可忽略不计。因此,液压传动系统中流动油液的压力,主要考虑静压力。下面就如图 2.2 所示的液压传动系统中压力的形成进行分析。

在图 2.2(a)中,假定负载阻力为零(不考虑油液的自重、活塞的质量、摩擦力等因素),由液压泵输入液压缸左腔的油液不受任何阻挡就能推动活塞向右运动,此时,油液的压力为零($p=0$)。活塞的运动是由于液压缸左腔内油液的体积增大而引起的。

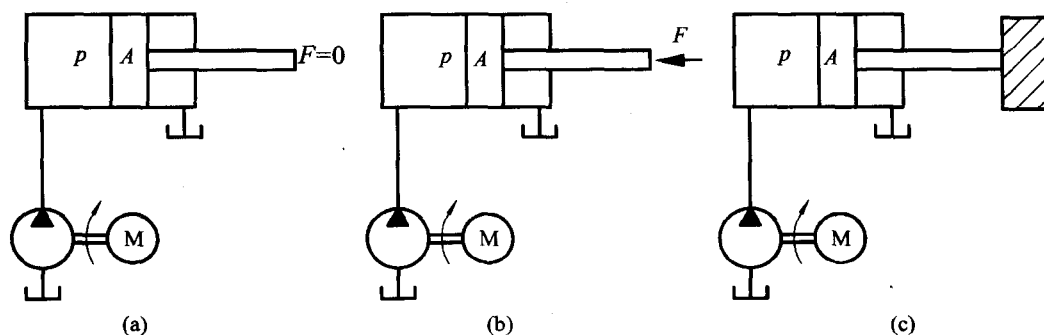


图 2.2 液压系统中压力的形成

在图 2.2(b)中,输入液压缸左腔的油液由于受到外界负载 F 的阻挡,不能立即推动活塞向右运动,而液压泵总是连续不断地供油,使液压缸左腔中的油液受到挤压,油液的压力从零开始由小到大迅速增大,作用在活塞有效作用面积 A 上的液压作用力(pA)也迅速增大。当液压作用力足以克服外界负载 F 时,液压泵输出的油液迫使液压缸左腔的密封容积增大,从而推动活塞向右运动。在一般情况下,活塞作匀速运动,作用在活塞上的力相互平衡,即液压作用力等于负载阻力($pA = F$)。因此,可知油液压力 $p = \frac{F}{A}$ 。若活塞在运动过程中负载 F 保持不变,则油液不会再受更大的挤压,压力就不会继续上升。也就是说,液压传动系统中油液的压力取决于负载的大小,并随负载大小的变化而变化。

图 2.2(c)所示的是向右运动的活塞接触固定挡铁后,液压缸左腔的密封容积因活塞运动受阻停止而不能继续增大。此时,若液压泵仍继续供油,油液压力会急剧升高,如果液压传动系统没有保护措施,则系统中薄弱的环节将损坏。

在图 2.3 中,液压泵出口处有两个负载并联。其中负载阻力 F_c 是溢流阀的弹簧力,另一负载阻力是作用在液压缸活塞(杆)上的力 F 。在油液压力较小时,溢流阀阀芯在弹簧力 F_c 的作用下,处于阀的最下端位置,将阀的进油口 P 和出口口 T 的通路切断。

随着液压泵的不断供油,油液压力迅速增加,当油液压力达到 p_c 时,作用于溢流阀阀芯底部的液压作用力 $p_c A_c$ (A_c 为阀芯底部有效作用面积)将克服弹簧力 F_c 使阀芯上移,这时进油口 P 与出口口 T 连通,液压泵输出的油液由此通路流回油箱,液压泵出口处的压力为 p_c 。

假设使液压缸活塞运动所需的油液压力为 p ,若 $p_c < p$,液压泵出口处压力的形成过程为:压力由零值开始上升,当升到 p_c 值时,溢流阀阀芯上移,使 P 口和 T 口连通,油液由