

21世纪高等职业教育机电类规划教材

21 Shiji Gaodeng Zhiye Jiaoyu Jidianlei Guihua Jiaocai

液压与 气压传动技术

YEYA YU QIYA CHUANDONG JISHU

冯锦春 主编 吴先文 主审

- 注重液压与气动技术实例的讲解
- 增加系统安装调试和故障排除内容
- 拓展设备系统维护等现场实用知识



 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



精品系列

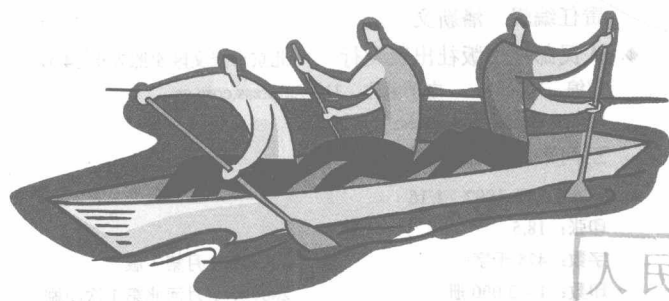
21世纪高等职业教育机电类规划教材

21 Shiji Gaodeng Zhiye Jiaoyu Jidianlei Guihua Jiaocai

液压与 气压传动技术

YEYA YU QIYA CHUANDONG JISHU

冯锦春 主编 吴先文 主审



人民邮电出版社

北京

人民邮电出版社

样
专



精品系列

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动技术 / 冯锦春主编. —北京: 人民邮电出版社, 2009. 9
21世纪高等职业教育机电类规划教材
ISBN 978-7-115-20074-7

I. 液… II. 冯… 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. TH137 TH138

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第139054号

内 容 提 要

本书根据高等职业教育培养目标和教学特点编写而成, 主要内容包括液压传动和气压传动两部分。其中液压传动部分主要包括液压传动基础、液压元件、液压基本回路、现代液压技术、典型液压系统分析、液压系统的使用、维护与故障诊断; 气压传动部分主要包括气压传动元件、气压传动基本回路、典型气压传动系统分析、气压传动系统故障分析与排除。

本书可作为高等职业技术学院机械类和近机类专业的教材, 也可作为职工大学、成人高校教学用书, 还可作为有关工程技术人员的参考资料。

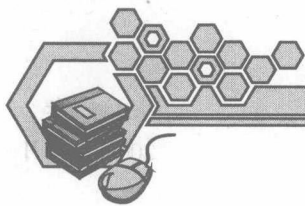
21世纪高等职业教育机电类规划教材 液压与气压传动技术

-
- ◆ 主 编 冯锦春
主 审 吴先文
责任编辑 潘新文
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市海波印务有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 18.5
字数: 475千字
印数: 1—3000册
- 2009年9月第1版
2009年9月河北第1次印刷

ISBN 978-7-115-20074-7

定价: 29.00元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154



随着工业经济的发展和科学技术的进步,生产领域的自动化技术含量在不断提高,液压与气压传动技术得到越来越广泛的应用。为了满足新时期的相关工作岗位对技术应用型人才的需要,编者根据当前教育部高等职业教育机电类专业的培养目标和教学改革精神,贯彻“必需、管用、够用”的编写理念,在总结多年教学改革实践经验的基础上编写了本书。

本书在总体框架上体现简明、实用的特点,遵循高职高专教学规律,内容深入浅出,通俗易懂,在讲授必需的液压与气压传动基本概念与基本原理的同时,突出理论知识的应用,注重加强对高职学生的工程实践能力的培养,突出液压气动技术实例的讲解以及液压系统故障诊断与排除的分析,以体现职业教育的特色。

本书在编写内容上做了大胆的取舍,在理论知识方面舍弃了实际工作岗位上极少用到的液压系统设计等内容,而仅保留了必需的液压与气压基础知识、元件结构和简单原理的阐述;在实用技术方面,增加了工作现场中较多用到的液压元件与系统的安装调试、故障分析与排除方法等内容,拓展了液压气动设备的安装调试与维护等现场实用知识,使理论知识与工作实际密切结合。

本书汲取了当前科学技术和制造业技术的发展在液压技术领域的新成果,反映了液压领域技术发展的新动向,增加了新型液压元件、现代液压技术的内容,以拓宽学生的知识面,为学生了解液压与气动技术的最新发展动态,将来在实际工作中适应日益发展的液压技术打下基础。

本书对应的课程总学时数约在60学时左右,其中目录中带“*”号的部分可作为选修与自学内容。各院校任课教师在实际教学过程中,可根据自身的专业和学时等实际情况自主安排内容。

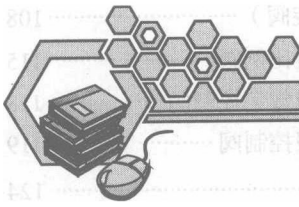
本书既可作为高职高专、高级技校、技师学院的机械、机电、电气、汽车等专业的液压与气压传动类课程的教学用书,也可作为普通高校、职工大学、成人高校的教学用书,还可作为相关工程技术人员的参考用书及自学材料。

本书由四川工程职业技术学院冯锦春副教授主编,吴先文副教授主审。参加编写的人员有:冯锦春、谭红川、周晓吴、胡代明、曹素兵、苟建峰。编写分工如下:曹素兵编写第1、2、3(1、2节)章,苟建峰编写第4、9章,谭红川编写第5、6章,周晓吴编写第7章,胡代明编写第10、11章(第1、2、3节),冯锦春编写第3章(3、4、5节),8、11章(第4、5、6、7节)、附录,全书由冯锦春统稿和定稿。在本书的编写过程中,作者参考了很多相关资料和书籍,并得到了有关院校的大力支持与帮助,在此一并表示感谢!



由于编者水平有限，编写时间仓促，书中错误和不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。
编者联系邮箱：catsmiling@163.com。

编者
2009年8月



第 1 章 液压传动概述1	
1.1 液压传动的工作原理与系统的组成.....1	
1.1.1 液压传动的工作原理.....1	
1.1.2 液压传动系统的组成及职能符号.....2	
1.1.3 液压传动系统的图形符号.....2	
1.2 液压传动的优缺点.....3	
1.3 液压传动的应用及发展概况.....4	
思考题与习题.....4	
第 2 章 液压传动基础5	
2.1 液压油的主要物理性质及选用.....5	
2.1.1 液体的黏性.....5	
2.1.2 液体的可压缩性.....7	
2.1.3 液压油的要求与选用.....7	
2.2 液体静力学.....9	
2.2.1 液体静压力及其特性.....9	
2.2.2 液体静力学基本方程.....10	
2.2.3 液体静压力的传递.....10	
2.2.4 压力的表示方法.....11	
2.2.5 液体对固体壁面的作用力.....11	
2.3 液体动力学.....12	
2.3.1 液体动力学基本概念.....12	
2.3.2 流动液体的基本定律.....14	
2.4 液体流动时的压力损失.....15	
2.4.1 沿程压力损失.....16	
2.4.2 局部压力损失.....16	
2.4.3 管路系统的总压力损失.....16	
2.5 液体流经小孔及间隙的流量.....16	
2.5.1 液体流经小孔的流量.....16	
2.5.2 液体流经间隙的流量.....17	
2.6 液压冲击与空穴现象.....19	
2.6.1 液压冲击.....19	
2.6.2 空穴现象.....20	
思考题与习题.....20	
第 3 章 液压泵23	
3.1 液压泵概述.....23	
3.1.1 液压泵的工作原理.....23	
3.1.2 液压泵的主要性能参数.....24	
3.2 齿轮泵.....26	
3.2.1 齿轮泵的工作原理和结构.....26	
3.2.2 齿轮泵流量计算.....27	
3.2.3 齿轮泵的结构特点分析.....28	
3.2.4 高压齿轮泵的特点.....29	
3.2.5 齿轮泵的常见故障及排除方法.....30	
3.3 叶片泵.....31	
3.3.1 叶片泵的工作原理.....31	
3.3.2 叶片泵的排量和流量计算.....33	
3.3.3 定量叶片泵.....34	
3.3.4 叶片泵的常见故障及排除方法.....39	
3.4 柱塞泵.....40	
3.4.1 轴向柱塞泵.....40	
3.4.2 径向柱塞泵.....42	
3.4.3 柱塞泵的常见故障及排除方法.....43	
3.5 液压泵的选用.....45	
思考题与习题.....45	
第 4 章 液压缸与液压马达47	
4.1 液压缸.....47	
4.1.1 液压缸的类型和特点.....47	
4.1.2 几种常用的液压缸.....48	
4.1.3 其他液压缸.....52	
4.1.4 液压缸的典型结构和组成.....54	
4.1.5 液压缸的安装、调整、常见	



故障和排除方法	58	插装阀)	108
4.2 液压马达	60	5.4.3 电液比例阀	115
4.2.1 液压马达的特点和分类	61	5.4.4 电液数字控制阀	118
4.2.2 液压马达的工作原理	61	5.4.5 伺服控制阀	119
4.2.3 液压马达的基本参数和性能指标	65	思考题与习题	124
思考题与习题	66	第6章 液压辅助元件	126
第5章 液压控制阀	69	6.1 油管及管接头	126
5.1 方向控制阀	70	6.1.1 油管	126
5.1.1 单向阀	70	6.1.2 油管接头	127
5.1.2 换向阀	72	6.1.3 软管及管接头	128
5.1.3 换向阀中位机能	80	6.1.4 油管及管接头的选用及安装	128
5.1.4 方向控制阀的选用、安装、调整	81	6.1.5 油管及管接头常见故障和排除方法	129
5.1.5 方向控制阀常见故障和排除方法	82	6.2 过滤器	130
5.2 压力控制阀	84	6.2.1 过滤器功用	130
5.2.1 溢流阀	84	6.2.2 过滤器结构	130
5.2.2 减压阀	88	6.2.3 过滤器选用和安装	132
5.2.3 顺序阀	90	6.2.4 过滤器常见故障和排除方法	132
5.2.4 压力继电器	92	6.3 蓄能器	133
5.2.5 压力控制阀的选用、安装、调整	94	6.3.1 蓄能器功用	133
5.2.6 各类压力控制阀常见故障和排除方法	94	6.3.2 蓄能器结构	133
5.3 流量控制阀	98	6.3.3 蓄能器的使用和安装	135
5.3.1 节流口形式及流量特性	98	6.3.4 蓄能器常见故障和排除方法	136
5.3.2 节流阀	99	6.4 压力计及压力计开关	136
5.3.3 调速阀	101	6.4.1 压力计及压力计开关的功用	136
5.3.4 温度补偿调速阀	103	6.4.2 压力计	136
5.3.5 旁路型调速阀(溢流节流阀)	104	6.4.3 压力计开关	137
5.3.6 流量控制阀的选用、安装、调整	105	6.4.4 压力计及压力计开关常见故障和排除方法	139
5.3.7 流量控制阀常见故障和排除方法	105	6.5 油箱	139
5.4 其他液压控制阀	106	6.5.1 油箱功用	139
5.4.1 叠加式液压阀	106	6.5.2 油箱结构	139
5.4.2 插装式锥阀(逻辑阀或二通		6.5.3 油箱使用注意事项	140
		6.5.4 油箱常见故障和排除方法	140
		思考题与习题	141
		第7章 液压基本回路	142
		7.1 压力控制回路	142



7.1.1 调压回路	142	液压系统	183
7.1.2 减压回路	144	8.3.4 液压系统的特点分析	186
7.1.3 增压回路	145	8.3.5 系统的调整	186
7.1.4 卸荷回路	146	8.3.6 系统常见故障及排除方法	187
7.1.5 平衡回路	147	8.4 数控车床液压系统	188
7.2 速度控制回路	149	8.4.1 概述	188
7.2.1 调速回路	149	8.4.2 数控车床液压系统	188
7.2.2 增速回路	154	8.4.3 液压系统的特点分析	189
7.2.3 减速回路	156	8.5 工业机械手液压系统	190
7.2.4 二次进给回路	157	8.5.1 概述	190
7.3 方向控制回路	159	8.5.2 JS01 工业机械手液压系统	190
7.3.1 换向回路	159	思考题与习题	194
7.3.2 锁紧回路	160	第 9 章 现代液压技术	198
7.4 多缸工作控制回路	160	9.1 液压伺服系统	198
7.4.1 顺序动作回路	160	9.1.1 液压伺服系统的工作原理	198
7.4.2 同步控制回路	164	9.1.2 液压伺服系统的分类及特点	199
7.5 液压基本回路故障分析	166	9.1.3 液压伺服系统的基本形式	200
思考题与习题	167	9.1.4 电液伺服阀	202
第 8 章 典型液压系统分析	170	9.1.5 液压伺服系统应用举例	203
8.1 组合机床动力滑台液压系统	170	9.2 水压传动技术	203
8.1.1 概述	170	9.2.1 水的理化指标	203
8.1.2 1HY40 型动力滑台液压系统	170	9.2.2 水压传动技术的优点	204
8.1.3 液压系统的特点分析	172	9.2.3 水压传动技术的缺点及解决方向	204
8.1.4 系统的调整	173	9.2.4 典型水压系统分析	205
8.1.5 系统常见故障及排除方法	174	9.3 电液比例控制技术	206
8.2 自动线输送装置液压系统	176	9.3.1 电液比例控制的特点	206
8.2.1 输送装置简介	177	9.3.2 电液比例阀的特点与分类	206
8.2.2 输送装置液压系统	178	9.3.3 电液比例控制系统	207
8.2.3 液压系统的特点分析	179	9.4 射流技术	207
8.2.4 系统的调整	180	9.4.1 概述	207
8.2.5 系统常见故障及排除方法	181	9.4.2 高压水射流技术的应用	208
8.3 万能外圆磨床液压系统	181	思考题与习题	209
8.3.1 概述	181		
8.3.2 万能外圆磨床工作台换向回路	182		
8.3.3 M1432B 型万能外圆磨床			



第 10 章 液压系统的使用、维护与故障诊断210	11.2 气动动力元件和辅助元件 230
10.1 液压系统的安装与清洗210	11.2.1 气动动力元件 230
10.1.1 清洗.....210	11.2.2 气动辅助元件 232
10.1.2 过滤.....211	11.3 气动执行元件 240
10.1.3 安装.....211	11.3.1 气缸 240
10.1.4 加油.....213	11.3.2 气马达 244
10.2 液压系统的调试213	11.4 气动控制元件 246
10.2.1 调试前的准备工作.....213	11.4.1 方向控制阀 246
10.2.2 点动.....213	11.4.2 压力控制阀 253
10.2.3 空载试车.....213	11.4.3 流量控制阀 256
10.2.4 负载试车.....214	11.4.4 气动逻辑元件 258
10.3 液压系统的维护保养214	11.5 气动基本回路 260
10.3.1 使用维护要求.....214	11.5.1 压力控制回路 261
10.3.2 操作保养规程.....215	11.5.2 换向回路 262
10.3.3 点检与定检.....215	11.5.3 速度控制回路 263
10.3.4 定期维护.....216	11.5.4 气液联动回路 264
10.4 液压油的污染与控制216	11.5.5 增压回路 267
10.4.1 液压油污染原因与危害217	11.5.6 延时控制回路 267
10.4.2 控制液压油污染的措施.....217	11.5.7 往复动作回路 268
10.5 液压系统常见故障的诊断与排除218	11.5.8 安全保护回路 269
10.5.1 液压系统故障的特点218	11.6 典型气压传动系统分析 271
10.5.2 液压系统故障诊断的步骤与方法218	11.6.1 自动传输带 271
10.5.3 液压系统常见故障的排除方法220	11.6.2 工件夹紧气压传动系统 271
10.5.4 液压系统的泄漏与解决方法223	11.6.3 插销分送机构 272
思考题与习题225	11.6.4 数控加工中心气动换刀系统 274
第 11 章 气压传动226	11.7 气压传动系统常见故障的诊断与排除 275
11.1 气压传动概述226	11.7.1 气压传动系统故障种类 275
11.1.1 空气的性质和气体状态方程226	11.7.2 气压传动系统故障分析的方法 275
11.1.2 气压传动系统的工作原理和组成228	11.7.3 气压传动系统的常见故障与排除方法 277
	思考题与习题 278
	附录 液压及气压传动元件图形符号
	(摘自 GB/T 786.1—93) 281
	参考文献 288

第 1 章

液压传动概述

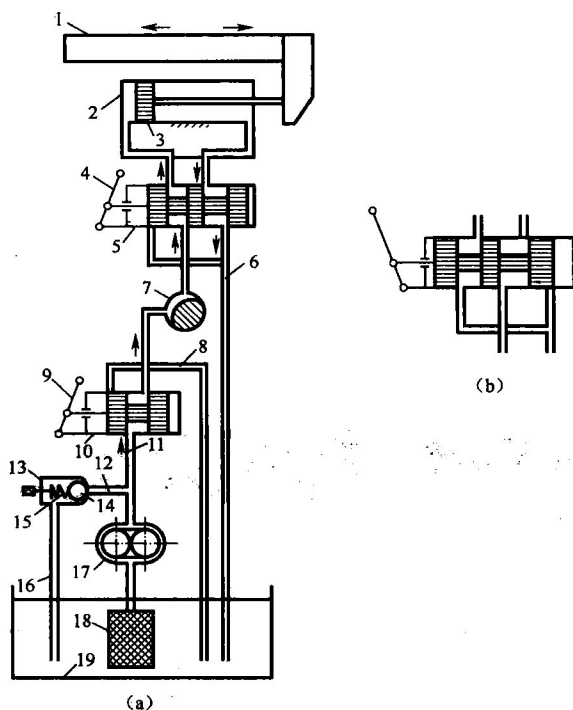
传动有多种类型，如机械传动、电力传动、液压传动、气压传动等。用液体作为工作介质进行能量传递的方式称为液体传动。按照其工作原理的不同，液体传动又可分为液压传动和液力传动两种形式。液压传动主要是利用液体的压力能来传递能量；而液力传动则主要利用液体的动能来传递能量。

1.1 液压传动的工作原理与系统的组成

1.1.1 液压传动的工作原理

图 1-1 所示为某机床工作平台的液压系统，下面以该系统为例来说明液压传动系统的工作原理。该液压系统由油箱、滤油器、液压泵、溢流阀、开停阀（两位三通手动换向阀）、节流阀、换向阀、液压缸以及连接这些元件的油管、管接头等组成。液压泵由电动机驱动后，从油箱中吸油。油液经滤油器进入液压泵，油液在泵腔中从入口低压到泵出口高压，在图 1-1 (a) 所示状态下，通过开停阀、节流阀、换向阀进入液压缸左腔，推动活塞使工作台向右移动。这时，液压缸右腔的油液经换向阀和回油管 6 排回油箱。如果将换向阀手柄转换成图 1-1 (b) 所示状态，则压力油将经过开停阀、节流阀和换向阀进入液压缸右腔、推动活塞使工作台向左移动，并使液压缸左腔的油液经换向阀和回油管 6 排回油箱。

工作台的移动速度是通过节流阀来调节的。当节流阀开大时，进入液压缸的油量增多，工作台的移动速度加快；当节流阀关小时，进入液压缸的油量减小，工作台的移动速度减小。为了克服移动工作台时所受到的各种阻力，液压缸必须产生一个足够大的推力，这个推力是由液压缸中的油液压力所产生的。要克服的阻力越大，缸中的油液压力越高；反之压力就越低。这种现象正说明了液压传动的一个基本原理——液压系统的压力取决于负载。



1—工作台 2—液压缸 3—活塞 4—换向手柄 5—换向阀 6、8、16—回油管 7—节流阀 9—开停手柄
 10—开停阀 11—压力管 12—压力支管 13—溢流阀 14—钢球
 15—弹簧 17—液压泵 18—滤油器 19—油箱
 图 1-1 机床工作台液压系统工作原理图

1.1.2 液压传动系统的组成及职能符号

从上述实例可看出，液压传动系统主要由以下四个部分组成。

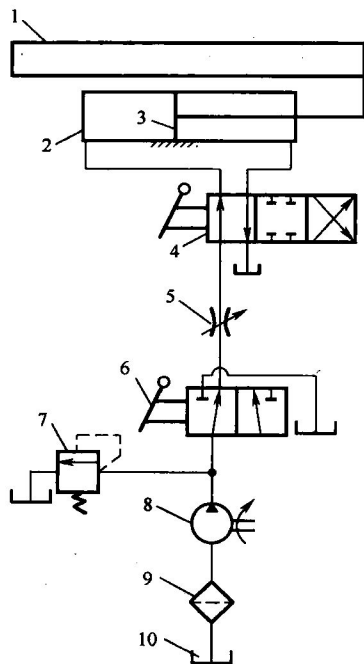
- (1) 动力元件 将原动机输入的机械能转换为液体压力能的装置，其作用是为液压系统提供压力油，是系统的动力源，如各类液压泵。
- (2) 执行元件 将液体压力能转换为机械能的装置，其作用是在压力油的推动下输出力和速度（转矩和转速），以驱动工作部件。如各类液压缸和液压马达。
- (3) 控制调节元件 用以控制液压传动系统中油液的压力、流量和流动方向的装置。如溢流阀、节流阀和换向阀等。
- (4) 辅助元件 除以上元件外的其他元器件都称为辅助元件，如油箱、工作介质、过滤器、蓄能器、管件、管接头以及各种信号转换器等。它们是一些对完成主运动起辅助作用的元件，在系统中也是必不可少的，对保证系统正常工作有着重要的作用。

1.1.3 液压传动系统的图形符号

图 1-1 (a) 所示液压传动系统中各元件的图形基本上表示了其结构原理，故称为结构原理图。这种原理图直观性强，容易理解，但图形比较复杂，特别是当系统中元件较多时，绘制很不方便。为此一般液压传动系统图都应按照 GB/T 7861.1—93 所规定的液压图形符号来绘制。图 1-1 (a) 所示液压



系统用图形符号绘制的系统图如图 1-2 所示。使用图形符号可使液压传动系统图简单明了,便于绘制。液压传动系统中的图形符号只表示元件的功能、操作(控制)方法和外部接口,而不表示元件的具体结构和参数;液压传动系统图只表示各元件的连接关系,而不表示系统管道布置的具体位置或元件在机器中的实际安装位置;液压传动系统中的图形符号通常以元件的静止位置或零位来表示。



1—工作台 2—液压缸 3—油塞 4—换向阀 5—节流阀 6—开停阀
7—溢流阀 8—液压泵 9—滤油器 10—油箱

图 1-2 机床工作台液压系统的图形符号图

1.2 液压传动的优缺点

1. 液压传动的优点

- (1) 液压传动容易做到对速度的无级调节,且调速范围大,并且对速度的调节还可以在工作过程中进行;
- (2) 在功率相同的情况下,液压传动装置的体积小、重量轻、结构紧凑;
- (3) 液压传动工作比较平稳、反应快、换向冲击小,能快速起动、制动和频繁换向;
- (4) 液压装置易实现自动化,可以方便地对液体的流动方向、压力和流量进行调节和控制,并能很容易地与电气、电子控制或气压传动控制结合起来,从而实现复杂的运动和操作;
- (5) 液压传动易实现过载保护,液压元件能够自行润滑,故使用寿命较长;
- (6) 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。

2. 液压传动的缺点

- (1) 液体的泄漏和可压缩性使液压传动难以保证严格的传动比;



- (2) 液压传动在工作过程中能量损失较大, 因此, 传动效率相对低, 不宜作远距离传动;
- (3) 液压传动对油温变化比较敏感, 不宜在较高和较低的温度下工作;
- (4) 液压系统出现故障时, 不易诊断。

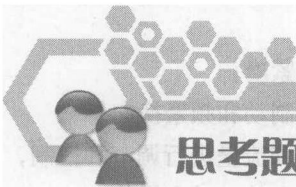
总的说来, 液压传动的优点非常突出, 其缺点也将随着科学技术的发展逐渐得到克服。

1.3 液压传动的应用及发展概况

相对于机械传动来说, 液压传动是一门新的技术。液压传动自 17 世纪帕斯卡提出静压传递原理、1795 年世界上第一台水压机诞生以来, 已有 200 多年的历史。但直到 20 世纪 30 年代, 由于工艺制造水平的提高, 它才较普遍地用于起重机、机床及其他工程机械。特别是在第二次世界大战期间, 由于军事工业迫切需要反应快和精度高的自动控制系统, 因而出现了液压伺服系统。20 世纪 60 年代以后, 由于原子能、空间技术、大型船舰及计算机技术的发展, 不断地对液压技术提出新的要求, 液压技术相应也得到了很大的发展, 并渗透到了国民经济的各个领域。在工程机械、冶金、军工、农机、汽车、轻纺、船舶、石油、航空和机床工业中, 液压技术得到了普遍应用。近年来, 液压技术已广泛应用于智能机器人、海洋开发、宇宙航行、地震预测及各种电液伺服系统, 使液压技术应用提高到一个崭新的高度。总之, 液压传动是工农业生产中广为应用的一门技术, 如今, 液压传动技术水平已成为一个国家工业发展水平的标志。

新中国成立前, 我国经济落后, 液压工业完全是空白。新中国成立后, 我国经济获得了迅速发展, 液压工业也和其他工业一样, 发展很快。20 世纪 50 年代我国就开始生产各种通用液压元件。当前, 我国已生产出许多自行设计的新型系列产品, 如插装式锥阀、电液比例阀、电液伺服阀、电液脉冲马达以及其他新型液压元件。但所生产的液压元件在品种与质量等方面和国外先进水平相比, 还存在一定差距, 其主要原因是过去基础薄弱, 工艺制造水平跟不上去, 制造困难, 材料性能不能满足设计需要等, 这些综合因素影响了我国液压传动技术的发展, 所以, 我国液压技术的现状还满足不了国民经济发展需要。但是可以预见, 随着我国工业技术的发展, 液压技术也将获得进一步发展, 它在工业各个部门中的应用, 也将会越来越广泛。

目前, 液压技术正向高压、高速、大功率、高效率、低能耗、低噪声和高度集成化等方向发展; 同时, 减小元件的重量和体积, 提高元件寿命, 研制新的传动介质以及液压传动系统的计算机辅助设计、计算机仿真和优化设计、微机控制等工作, 也取得了日益显著的成果。



思考题与习题

- 1-1 说明什么叫液压传动。
- 1-2 液压传动系统由哪几部分组成? 试说明各组成部分的作用。
- 1-3 液压传动的主要优点、缺点是什么?
- 1-4 国家标准对液压系统职能符号的绘制主要有哪些规定?
- 1-5 国家标准对液压油的牌号是如何规定的?

第2章

液压传动基础

液压传动是以液体作为工作介质来传递运动和动力的,液体是液压传动的工作介质。因此,了解液体的物理、化学性质,研究液体的静力学与动力学规律,对正确理解液压传动的基本原理是十分重要的,也是今后学习的基础。

本章介绍有关液压传动的流体力学基础知识,包括液体静力学方程、连续性方程、伯努利方程、动量方程的应用,压力损失、小孔流量的计算以及压力冲击现象等。

2.1 液压油的主要物理性质及选用

2.1.1 液体的黏性

1. 液体黏性的意义

液体在外力作用下流动时,分子间的内聚力会阻止分子间的相对运动而产生内摩擦力,这种特性叫做液体的黏性。液体只有在流动时才会呈现出黏性,静止液体是不呈现黏性的。黏性的大小可以用黏度表示。

2. 液体的黏度

常用的黏度有动力黏度、运动黏度和相对黏度三种。

(1) 动力黏度 μ 如图 2-1 所示,若两平行平板之间充满液体,上平板以速度 u_0 向右运动,下平板固定不动。附着在上平板的液体在其吸附力作用下,跟随上平板以速度 u_0 向右运动。附着在下平板的液体在吸附力作用下则保持静止,中间液体的速度由上至下逐渐减小。当两平行平板距离较小时,速度近似按线性规律分布。

由实验可得,液层间的内摩擦力 F 与液层间的接触面积 A 、液层间相对速度 du 成正比,而与液层间的距离 dy 成反比,即



$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (2-1)$$

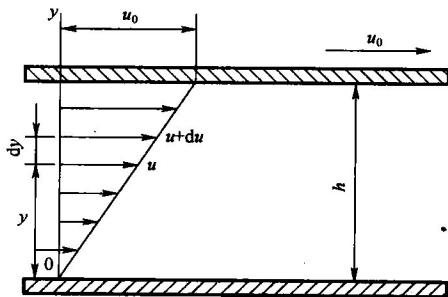


图 2-1 液体黏性示意图

若用单位面积上的内摩擦力，即切应力 τ 来表示液体黏性，则上式可改写成

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (2-2)$$

式中： μ 为动力黏度； du/dy 为速度梯度，或称剪切率。

由上式可得，动力黏度 μ 的表达式

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{du}{dy}} \quad (2-3)$$

由此可知动力黏度 μ 的物理意义：当速度梯度等于 1 时，接触液层间单位面积上的内摩擦力即为动力黏度。

动力黏度的法定计量单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 和 $\text{MPa} \cdot \text{s}$ 。

(2) 运动黏度 ν 动力黏度 μ 与该液体密度 ρ 的比值称为运动黏度，即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-4)$$

运动黏度 ν 没有明确的物理意义，但它却是工程实际中经常用到的物理量，因为其单位只有长度和时间量纲，类似于运动学的量，故称为运动黏度。

运动黏度的法定计量单位为 m^2/s 和 mm^2/s 。液压油（液）的黏度等级就是以其 40°C 时运动黏度的某一中心值来表示，如 L-HM32 液压油的黏度等级为 32，则 40°C 时其运动黏度的中心值为 $32 \text{ mm}^2/\text{s}$ 。

(3) 相对黏度 它是用特定黏度计在规定条件下测出的黏度。各国采用的相对黏度单位有所不同。有的用赛氏黏度，有的用雷氏黏度，我国采用恩氏黏度。由于测量条件不同，相对黏度也不同。恩氏黏度用恩氏黏度计测定，即将 200 cm^3 的被测液体装入底部有 $\phi 2.8 \text{ mm}$ 小孔的恩氏黏度计容器内，在某一特定温度下测定该液体在自重作用下流尽所需时间 t_1 ，再与 20°C 的 200 cm^3 蒸馏水在同一黏度计中流尽所需时间 t_2 相比，便是该液体在这一特定温度时的恩氏黏度，即

$$^\circ E_t = \frac{t_1}{t_2} \quad (2-5)$$



恩氏黏度与运动黏度可用经验公式换算，也可从有关图表中直接查出。

3. 黏度与压力、温度的关系

液体的黏度会随压力和温度的变化而变化。在一般液压系统工作压力范围内，液压油（液）的黏度受压力变化的影响甚微，可以忽略不计；但当液体所受的压力加大时，分子之间的距离缩小，内聚力增大，其黏度也随之增大。因此，在压力很高（高于 10 MPa）以及压力变化很大的情况下，黏度值的变化就不能忽视。

液压油（液）的黏度对温度变化十分敏感，温度升高，黏度将降低。液压油（液）的黏度随温度变化的性质称为黏温特性。液压油（液）的黏温特性常用黏度指数 VI 来表示，VI 值越大，表示其黏度受温度变化的影响越小，黏温特性越好。

2.1.2 液体的可压缩性

液体体积随着压力变化而改变。液体受压力作用而体积减小的性质称为液体的可压缩性。压缩性大小用压缩系数 β 表示，即

$$\beta = -\frac{dV/V}{dp} \quad (2-6)$$

式中： dp 为压力变化值； dV 为在 dp 作用下液体体积变化值； V 为液体压缩前的体积；负号表示压力增加时，液体体积减小。

压缩系数描述了在压力增量作用下，液体的压缩程度。在液压传动中，常以 β 的倒数 K 表示油液的压缩性，即

$$K = \frac{1}{\beta} = -\frac{dp}{dV/V} \quad (2-7)$$

K 为液体的体积弹性系数。相对气体而言，液体压缩性小，体积弹性系数大。

液压油（液）的可压缩性很小，所以一般可忽略不计。但在某些情况下，如研究液压系统的动态特性以及远距离操纵的液压机构时，就需要考虑液压油（液）可压缩性的影响。

2.1.3 液压油的要求与选用

1. 液压系统对液压油的要求

液压油是液压传动系统的重要组成部分，是用来传递能量的工作介质。除了传递能量外，它还起着润滑运动部件和保护金属不被锈蚀的作用。液压油的质量及其各种性能将直接影响液压系统的工作。液压系统使用油液的要求主要有下面几点。

(1) 适宜的黏度和良好的黏温性能。一般液压系统所用的液压油其运动黏度范围为： $(13 \sim 68) \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (40°C)，一般液压系统要求黏度指数 VI 在 90 以上。

(2) 良好的润滑性能，以减小液压元件中相对运动表面的磨损。为了改善液压油的润滑性能，可加入添加剂以增加其润滑性能。

(3) 良好的化学稳定性，即对热、氧化、水解、相容都具有良好的稳定性。



- (4) 良好的防锈性和防腐性。
- (5) 比热、热传导率大，热膨胀系数小。
- (6) 良好的泡沫性和抗乳化性。
- (7) 油液纯净，含杂质量少。
- (8) 倾点和凝点低，闪点（明火能使油面上油蒸汽内燃，但油本身不燃烧的温度）和燃点高。
- (9) 对人体无害，成本低。

2. 液压油（液）的选用

(1) 液压油的品种

我国液压油的主要品种、黏度等级、组成和特性见表 2-1。

表 2-1 我国液压油（液）的主要品种

油名（品种）	黏度等级	组成和特性
L-HL	15、22、32、46、68、100、150	精制矿油、R&O
L-HM	15、22、32、46、68、100、150	精制矿油、R&O、AW
L-HG	32、46、68	精制矿油、R&O、AW、ASS
L-HFC	15、22、32、46、68、100	含聚合物水溶液、LS、HVI、LPP
L-HFDR	15、22、32、46、68、100	磷酸酯无水合成液、LS、AW
L-HFAE	7、10、15、22、32	水包油乳化液、LS
L-HFB	22、32、46、68、100	油包水乳化液、LS
L-HV	15、22、32、46、68、100	精制矿油、R&O、AW、HVI、LPP
L-HS	10、15、22、32、46	合成液（合成烃油）、R&O、AW、HVI、LPP

注：R&O—抗氧防锈，AW—抗磨，HVI—高黏度指数，LPP—低倾点，ASS—防爬，LS—难燃。

(2) 液压油品种的选择

液压油品种的选择通常可参考表 2-2。应根据液压传动系统的工作环境、工况条件和液压泵的类型等选择液压油的品种。一般而言，齿轮泵对液压油的抗磨性要求比叶片泵和柱塞泵低，因此齿轮泵可选用 L-HL 或 L-HM 油，而叶片泵和柱塞泵则选用 L-HM 油。

表 2-2 液压油（液）品种的选择

环境、工况	压力：7.0MPa 以下	压力：7.0 ~ 14.0MPa	压力：7.0MPa 以上
	温度：50℃ 以下	温度：50℃ 以下	温度：50℃ ~ 100℃
室内、固定液压设备	L-HL	L-HL, L-HM	L-HM
露天寒冷和严寒区	L-HV	L-HV, L-HS	L-HV, L-HS
高温热源或明火附近	L-HFAE	L-HFB, L-HFC	L-HFDR

(3) 液压油黏度等级的选择

在液压油（液）品种选定后，还必须确定其黏度等级。在选择黏度等级时应注意以下几方面情况。