

液气压传动与控制

赵汝和 蒋冬清 主编



重庆大学出版社



内容提要

全书分两篇,共13章。第1篇即1—10章为液压传动与控制。第1章详细讲解液压传动与控制的工作原理与特征;第2章讲解流体静力学和动力学;第3章介绍液压系统的动力元件,介绍常见的齿轮泵、叶片泵和柱塞泵等的基本结构及基本原理;第4章介绍液压马达和液压缸;第5章介绍液压系统的控制阀,包括常见的流量控制阀、方向控制阀、压力控制以及伺服控制阀等;第6章介绍液压系统的辅助元件;第7章介绍液压系统的典型回路,包括方向控制回路、压力控制回路和速度控制回路;第8章举例介绍典型液压控制系统;第9章介绍液压系统的设计计算;第10章介绍液压仿真软件 AMESim、液压系统的仿真。第2篇即第11—13章为气压传动与控制。第11—13章介绍气压系统的基础知识。全书的特点有两个:采用了新形态的形式,重点、难点知识和章节,提供了视频、动画讲解;国内在液气压传动与课程中引入 AMESim 软件的仿真,对液压静力学、动力学、液压系统的动力元件、执行元件、控制回路提供全方位的仿真。

本书可作为高等院校机械类专业教材,也可作为工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

液气压传动与控制/赵汝和,蒋冬清主编. -- 重庆:
重庆大学出版社, 2021.6

机械设计制造及其自动化专业本科系列教材

ISBN 978-7-5689-2765-9

I. ①液… II. ①赵… ②蒋… III. ①液压传动—自动控制—高等学校—教材 ②气压传动—自动控制—高等学校—教材 IV. ①TH137 ②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 107398 号

液气压传动与控制

主 编 赵汝和 蒋冬清

主 审 李三雁 刘 念

策划编辑:杨粮菊

责任编辑:李定群 版式设计:杨粮菊

责任校对:谢 芳 责任印制:张 策

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:饶帮华

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路21号

邮编:401331

电话:(023)88617190 88617185(中小学)

传真:(023)88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆市远大印务有限公司印刷

*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:18.25 字数:470千

2021年6月第1版 2021年6月第1次印刷

ISBN 978-7-5689-2765-9 定价:49.80元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

液气压传动与控制以体积小、功率密度高、响应快等特点成为现代传动与控制的一种重要的形式,伴随着微电子技术、自动控制技术的发展,液气压传动与控制技术进入一个全新的发展时期,广泛应用于工程机械、兵器工业、航空航天、冶金、石油勘探等领域。为了适应新工科对人才培养的要求,编写了液气压传动与控制教材。

“液气压传动与控制”属于专业基础课。本书适用于机械工程各个专业的研究生、本科生作为教材或教学参考书。本书的知识结构较为独立,详细介绍了流体力学基础理论、液气压基本元件、液气压基本回路以及典型应用,也适合从事液气压传动与控制工程的工程技术人员作为参考。

本书的特点有两个:采用了新形态的教材,重点、难点知识和章节,提供了视频讲解;在液气压传动与控制课程中引入 AMESim 软件的仿真,对液压静力学、动力学、液压系统的动力元件、执行元件、控制回路提供全方位的仿真。

本书分两篇,共 13 章。第 1 章详细讲解液气压传动与控制的基本原理与特征;第 2 章讲解液压流体力学,是整个液气压传动与控制的理论基础,主要讲解的是静力学和动力学;第 3 章介绍液压系统的动力元件即液压泵的基本结构以及基本原理,介绍常见的齿轮泵、叶片泵和柱塞泵等;第 4 章介绍液压系统的执行元件:液压马达和液压缸;第 5 章介绍液压系统的控制阀,包括常见的流量控制阀、方向控制阀、压力控制以及伺服控制阀等;第 6 章介绍液压系统的辅助元件;第 7 章介绍液压系统的典型回路,包括方向控制回路、压力控制回路和速度控制回路;第 8 章举例介绍典型液压控制系统;第 9 章介绍液压系统的设计计算;第 10 章介绍液压仿真软件 AMESim、液压系统的仿真;第 11—13 章介绍气压系统的基础知识。

全书由赵汝和负责统稿,具体分工:黄晖编写第 1 章,赵汝和编写第 2, 6, 7 章,黄兰编写第 3, 11 章,刘琴琴编写第 4, 9 章,蒋冬清编写第 5 章,李永胜编写第 8 章,刘启伟、李小平编写第 10 章,周思河编写第 12 章,代春香编写第 13 章。

本书是四川省“液气压传动与控制”示范课程建设成果,也是四川大学锦城学院教学改革的经验总结,引导学生参与编写工作,实现教学相长、教研相长、教技相长;由四川大学锦城学院李三雁教授、四川大学刘念教授负责审稿,在此表示衷心感谢。感谢四川大学锦城学院实验实训中心的支持和配合。

由于作者水平有限,加之书中图表较多,难免有不足与疏漏之处,恳请广大读者以及同行批评指正,不胜感激!

编 者
2021 年 1 月

目 录

第 1 篇 液压传动与控制

第 1 章 绪论	1
1.1 液压传动的工作原理及特征	1
1.2 液压传动系统的构成	3
1.3 液压传动的优缺点	4
1.4 液压传动与控制系统的概况	5
思考与练习	6
第 2 章 流体力学基础	7
2.1 液压油的类型和性质	7
2.2 流体静力学	11
2.3 流体运动学和动力学	14
2.4 管道中液流的特性	20
2.5 孔口的压力流量特性	24
2.6 液压冲击和气穴现象	27
思考与练习	29
第 3 章 液压泵	31
3.1 液压泵概述	31
3.2 齿轮泵	36
3.3 叶片泵	40
3.4 柱塞泵	44
3.5 螺杆泵	48
3.6 液压泵的选用	49
思考与练习	50
第 4 章 液压系统执行元件	51
4.1 液压马达	51
4.2 液压缸	58
4.3 液压缸的设计计算	67
思考与练习	72
第 5 章 液压控制阀	74
5.1 液压控制阀的概述	74

5.2	流量控制阀	75
5.3	方向控制阀	84
5.4	压力控制阀	96
5.5	电液数字控制阀	105
5.6	电液比例控制阀	108
5.7	插装阀和叠加阀	113
5.8	伺服阀	121
	思考与练习	124
第 6 章	液压辅助元件	126
6.1	蓄能器	126
6.2	管件	129
6.3	密封元件	131
6.4	冷却器与加热器	134
6.5	滤油器	135
6.6	油箱	139
	思考与练习	141
第 7 章	液压基本回路	142
7.1	方向控制回路	142
7.2	压力控制回路	146
7.3	速度控制回路	151
7.4	多执行元件控制回路	162
	思考与练习	167
第 8 章	典型液压控制回路	169
8.1	组合机床动力滑台液压系统	169
8.2	液压机液压系统	173
8.3	汽车起重机液压系统	176
8.4	电弧炼钢炉液压传动系统	179
8.5	M1432A 型万能外圆磨床液压系统	181
	思考与练习	185
第 9 章	液压系统的设计与计算	188
9.1	液压系统的设计计算步骤	188
9.2	液压系统设计计算举例	200
	思考与练习	206
第 10 章	液压仿真软件 AMESim	207
10.1	AMESim 中液压仿真的总体介绍	207

10.2	液压流体力学的仿真方法	210
10.3	动力元件的仿真方法	217
10.4	执行元件的仿真方法	221
10.5	蓄能器的仿真方法	224
10.6	控制元件的仿真方法	228
10.7	典型液压回路的仿真方法	232
	思考与练习	237

第 2 篇 气压传动与控制

第 11 章	气压传动基础知识	239
11.1	气压传动系统的工作原理	239
11.2	气压传动系统的构成	240
11.3	气压传动系统的特点	241
11.4	气压传动的应用	242
11.5	空气的性质	242
11.6	气体的状态变化	245
11.7	气体的流动规律	246
	思考与练习	250
第 12 章	气源装置和气动元件	251
12.1	气源装置	251
12.2	气动元件	256
12.3	气动控制元件	258
12.4	气压辅件	265
	思考与练习	267
第 13 章	气动回路和气压传动系统实例	268
13.1	气动压力控制回路	268
13.2	气动方向控制回路	272
13.3	气动速度控制回路	274
13.4	其他控制回路	276
13.5	气动控制系统实例	279
	思考与练习	281
	参考文献	283

第 **1** 篇

液压传动与控制

第 **1** 章

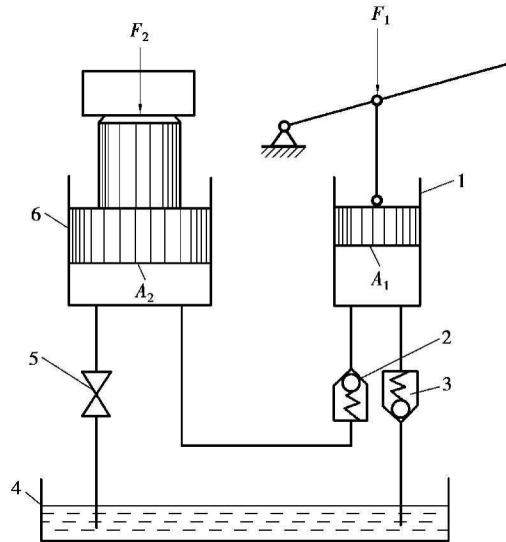
绪 论

1.1 液压传动的工作原理及特征

液压传动的工作原理及特征与气压传动的的基本工作原理是相似的。现以如图 1.1 所示的液压千斤顶为例来阐述液压传动的工作原理。

如图 1.1 所示,当向上抬起杠杆时,手动液压泵的小活塞向上运动,小液压缸 1 下腔容积增大形成局部真空,排油单向阀 2 关闭,油箱 4 的油液在大气压作用下经吸油管顶开吸油单向阀 3 进入小液压缸下腔。当向下压杠杆时,小液压缸 1 下腔容积减小,油液受挤压,压力升高,关闭吸油单向阀 3,顶开排油单向阀 2,油液经排油管进入大液压缸 6 的下腔,推动大活塞上移顶起重物。如此不断地上下扳动杠杆,则不断有油液进入大液压缸 6 下腔,使重物逐渐举升。

如杠杆停止动作,大液压缸下腔油液压力将使排油单向阀2关闭,大活塞连同重物一起被自锁不动,停止在举升位置。如打开截止阀5,大液压缸6下腔通油箱,大活塞将在自重作用下向下移动,迅速回复到原始位置。



液压千斤顶的工作原理

图 1.1 液压千斤顶工作原理图

1—小液压缸;2—排油单向阀;3—吸油单向阀;4—油箱;5—截止阀;6—大液压缸

由液压千斤顶的工作原理可知,小液压缸1与单向阀2,3一起完成吸油与排油,将杠杆的机械能转换为油液的压力能输出,称为(手动)液压泵。大液压缸6将油液的压力能转为机械能输出,抬起重物,称为(举升)液压缸。在这里,大、小液压缸组成了最简单的液压传动系统,实现了力和运动的传递。

1) 力的传递

设液压缸活塞面积为 A_2 ,作用在活塞上的负载力为 F_2 。该力在液压缸中所产生的液体压力为

$$p_2 = \frac{F_2}{A_2}$$

根据帕斯卡原理,在密闭容器内,施加于静止液体上的压力将以等值同时传递到液体各点,液压泵的排油压力 p_1 应等于液压缸中的液体压力,即

$$p_1 = p_2 = p$$

液压泵的排油压力又称系统压力。

为了克服负载力使液压缸活塞运动,作用在液压泵活塞上的作用力 F_1 应为

$$F_1 = p_1 A_1 = p_2 A_1 = p A_1 \tag{1.1}$$

式中 A_1 ——液压泵活塞面积。

在 A_1, A_2 一定时,负载力 F_2 越大,系统中的压力 p 也越高,所需的作用力 F_1 也越大,即系统压力与外负载密切相关。这是液压与气压传动工作原理的第一个特征:液压与气压传动中工作压力取决于外负载,与施加的力大小无关。

2) 运动的传递

如果不考虑液体的可压缩性、漏损和缸体及管路的变形,液压泵排出的液体体积必然等于

进入液压缸的液体体积。设液压泵活塞位移为 s_1 , 液压缸活塞位移为 s_2 , 则

$$s_1 A_1 = s_2 A_2 \quad (1.2)$$

式(1.2)两边同时除以运动时间 t , 得

$$q_1 = v_1 A_1 = v_2 A_2 = q_2 \quad (1.3)$$

式中 v_1, v_2 ——液压泵活塞和液压缸活塞的平均运动速度;

q_1, q_2 ——液压泵输出的平均流量和液压缸输入的平均流量。

由此可知, 液压与气压传动是靠密闭工作容积变化相等的原则实现运动(速度和位移)传递的。调节进入液压缸的流量 q , 即可调节活塞的运动速度 v , 这是液压与气压传动工作原理的第二个特征: 活塞的运动速度只取决于输入流量的大小, 而与外负载无关。

由上述讨论还可知, 与外负载力相对应的流体参数是流体压力, 与运动速度相对应的流体参数是流体流量。因此, 压力和流量是液压与气压传动中两个最基本的参数。

1.2 液压传动系统的构成

以如图 1.2 所示的机床工作台液压系统为例, 说明其组成和各种元件在系统中的作用。当液压泵 3 由电动机驱动旋转时, 从液压泵 3 经过滤油器 2 吸油。油液经换向阀 7 和管路 11 进入液压缸 9 的左腔, 推动活塞杆及工作台 10 向右运动。液压缸 9 右腔的油液经管路 8、换向阀 7 和管路 6, 4 排回油箱 1, 通过扳动换向手柄 12 来切换换向阀 7 的阀芯, 使之处于左端工作位置, 则液压缸活塞反向运动; 换向阀 7 的阀芯工作位置处于中间位置, 则液压缸 9 可在任意位置停止运动。

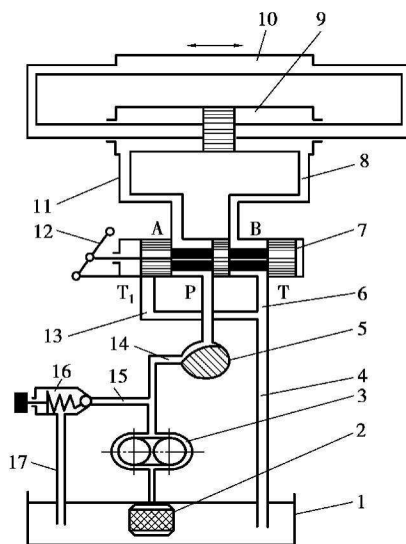


图 1.2 机床工作台液压系统

1—油箱; 2—滤油器; 3—液压泵; 4, 6, 8, 11, 13, 14, 15, 17—管路; 5—流量控制阀;
7—换向阀; 9—液压缸; 10—工作台; 12—换向手柄; 16—溢流阀

调节和改变流量控制阀 5 的开度大小可调节进入液压缸 9 的流量, 从而调节液压缸活塞及工作台的运动速度。液压泵 3 排出的多余油液经管路 15、溢流阀 16 和管路 17 流回油箱 1。



机床工作台液压系统

液压缸 9 的工作压力取决于负载。液压泵 3 的最大工作压力由溢流阀 16 调定,其调定值应为液压缸的最大工作压力及系统中的油液经各类阀和管路的压力损失之和。因此,系统的工作压力不会超过溢流阀的调定值,溢流阀对系统还有超载保护作用。

由机床工作台液压系统的工作过程可知,一个完整的、能正常工作的液压系统应由以下 5 个主要部分组成:

1) 动力元件

动力元件是供给液压系统压力油,把原动机的机械能转化成液压能的装置。常见的有各类液压泵。

2) 执行元件

执行元件是把液压能转换为机械能的装置。常见的有作直线运动的液压缸和作旋转运动的液压马达。

3) 控制元件

控制元件用来完成对液压系统中工作液体的压力、流量和流动方向的控制与调节。这类元件主要包括各种液压阀,如溢流阀、节流阀和换向阀等。

4) 辅助元件

辅助元件是指油箱、蓄能器、油管、管接头、滤油器、压力表及流量计等。这些元件分别起储油、蓄能、输油、连接、过滤、测量压力及测量流量等作用,以保证系统正常工作。它是液压传动系统不可缺少的组成部分。

5) 工作介质

工作介质在液压传动及控制中起传递运动、动力及信号的作用。它包括液压油或其他合成液体。它直接影响液压系统的工作性能。



液压系统的基本元件

1.3 液压传动的优缺点

与其他的传动方式相比,液压传动有其独特的优点,但也有不足。

1) 液压传动的优点

液压传动的优点具体如下:

- ① 液压传动的各种元件可根据需要进行方便、灵活的布置。
- ② 单位功率的质量小,体积小,传动惯性小,反应速度快。
- ③ 液压传动装置的控制调节较简单,操纵方便、省力,可实现大范围的无级调速(调速比可达 2 000)。当机、电、液配合使用时,易于实现自动化工作循环。
- ④ 能较方便地实现系统的自动过载保护。
- ⑤ 一般采用矿物油为工作介质,完成相对运动部件的润滑,延长零部件的使用寿命。
- ⑥ 很容易实现工作机构的直线运动或旋转运动。
- ⑦ 在采用电、液联合控制后,可实现更高层次的自动控制和遥控。
- ⑧ 液压元件已实现标准化、系列化和通用化。因此,液压系统的设计、制造和使用都较方便。

2) 液压传动的缺点

液压传动的缺点具体如下:

①因为液体流动的阻力损失和泄漏较大,所以效率较低。如果处理不当,泄漏不仅污染场地,而且可能引起火灾和爆炸事故。

②工作性能易受温度变化的影响。因此,不宜在很高的温度或很低的温度条件下工作。

③液压元件的制造精度要求很高。因此,其价格较贵。

④由于液体介质的泄漏及可压缩性,因此,不能得到严格的定比传动;液压传动出故障时,不易找出原因,要求具有较高的使用和维护技术水平。

⑤在高压、高速和大流量的环境下,液压元件和液压系统的噪声较大。

总之,随着科学技术的不断进步,液压传动的缺点会得到克服,液压技术会日臻完善,液压技术与电子技术及其他传动技术的相互配合会更加紧密,其发展前途很大。

1.4 液压传动与控制系统的发展概况

液压传动以其独特的优势成为现代机械工程、机电一体化技术中的基本构成技术和现代控制工程中的基本技术要素,在国民经济各行业得到了广泛的应用。表 1.1 列举了一些液压传动在机械工程设备中的应用。

表 1.1 液压传动在机械工程设备中的应用

行业名称	应用举例
工程机械	挖掘机、装载机、推土机、铲运机等
矿山机械	凿岩机、开掘机、提升机、液压支架等
建筑机械	平地机、液压千斤顶、打桩机等
冶金机械	轧钢机、压力机等
机械制造	机床、数控加工中心、模锻机、空气锤、压铸机等
轻工机械	打包机、食品包装机、织布机、印染机、造纸机等
汽车工业	自卸式汽车、汽车吊、高空作业车、汽车转向器、减振器等
水利工程	水坝、闸门、船舵液压操纵装置等
农林机械	联合收割机、拖拉机、农具悬挂系统等
国防工业	飞机、坦克、舰艇、火炮、导弹发射架、雷达等
智能机械	折臂式小汽车装卸器、数字式体育锻炼机、模拟驾驶舱、机器人等

我国的液压传动技术是在中华人民共和国成立后发展起来的,最初只应用于机床和锻压设备上。我国的液压传动技术从无到有,发展很快,从最初的引进国外技术到现在进行产品自主研发、开发国产液压件新产品,并在性能、种类和规格上与国际先进新产品水平接近。

随着世界工业水平的不断提高,各类液压产品的标准化、系列化和通用化也使液压传动技术得到了迅速发展,液压传动技术开始向高压、高速、大功率、高效率、低噪声、低能耗、长寿命、

高度集成化等方向发展。同时,新型液压元件和液压系统的计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助测试(CAT)、计算机直接控制(CDC)、机电一体化技术、计算机仿真技术、优化设计技术及可靠性技术等方面也在不断发展。可以预见,液压传动技术将在现代化生产中发挥越来越重要的作用。

思考与练习

简答题

1. 液体传动有哪两种形式? 它们的主要区别是什么?
2. 液压传动系统由哪几部分组成? 各组成部分的作用是什么?
3. 液压传动的优缺点有哪些?

第 2 章

流体力学基础

液体是液压传动的工作介质。因此,了解液体的基本性质,掌握液体在静止状态和运动状态的主要力学规律,是正确理解液压传动原理以及合理设计、使用液压系统的基础。本章除了简要介绍液压油的性质、对液压油的要求和选用等外,将着重阐述液体的静力学特性、静力学基本方程式和动力学方程。

2.1 液压油的类型和性质

2.1.1 液压油的类型

目前,液压传动中采用的工作液体介质主要有矿物油、乳化液和合成油液三大类。矿物油有汽轮机油、通用液压油、机械油、液压导轨油等,具有润滑性能好、腐蚀性小、品种多、化学安定性好等优点,能满足各种黏度的需要。大多数液压传动系统都采用矿物油作为传动介质。乳化液有油包水(油占 60%,水占 40%)和水包油(油占 40%,水占 60%)两种类型。合成油液主要有磷酸酯基液压油和水-二元醇基液压油两类。

2.1.2 油液的性质

1) 密度

单位体积液体的质量,称为该液体的密度,用 ρ 表示。对均质液体,则

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

式中 V ——液体的体积, m^3 ;

m ——液体的质量, kg 。

液压油的体积随着温度和压力的变化而改变。一般是随着温度的升高体积膨胀,体积随压力的增加而减小。但是,体积的变化量很小,可近似将液体的密度视为常数。在液压油的密度计算时,可取近似值 $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$ 。

2) 可压缩性

液体受压力作用而发生体积缩小的性质,称为液体的可压缩性。体积为 V 的液体,当压

力增加 Δp 时, 体积缩小 ΔV , 则液体在单位压力变化下的体积相对变化量为

$$k = -\frac{1}{\Delta p} \cdot \frac{\Delta V}{V} \quad (2.2)$$

式中 k ——液体的压缩系数。

由于压力增加时液体的体积缩小。因此, 式(2.2)的右边须增加一负号, 使 k 值为正值。 k 的倒数称为液体的体积弹性模量, 用 K 表示, 即

$$K = \frac{1}{k} = -\frac{\Delta p}{\Delta V} V \quad (2.3)$$

式中 K ——产生单位体积相对变化量所需要的压力增量。在实际应用中, 常用 K 值说明液体抵抗压缩能力的大小。

液压油的平均体积弹性模量 K 值为 $(1.2 \sim 2) \times 10^3$ MPa, 数值很大, 故对一般液压系统中的液压油都认为是不可压缩的。但如果液压油中混入空气时, 其可压缩性将显著改变, 并将严重影响液压系统的工作性能。因此, 在液压系统中, 应尽量防止空气混入油液中。

3) 油液的黏性

(1) 黏性的意义

液体分子与固体分子之间的吸引力, 称为附着力。液体分子之间的吸引力使其互相制约形成一体, 这种吸引力称为内聚力。当液体在流动时, 液体分子间内聚力会阻碍上层液体分子的运动, 拖拽下层分子, 宏观上体现为内摩擦力, 这个特性称为液体的黏性。黏性是液压油的重要物理特性, 也是选择液压油的依据。油液在流动时, 呈现黏性; 液体处于静止状态时, 不呈现黏性。

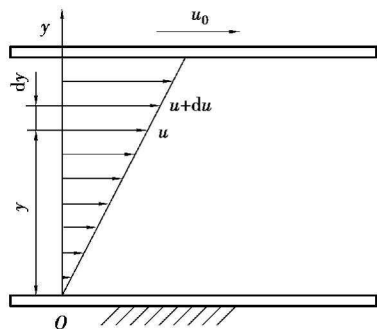


图 2.1 液体黏性示意图

液体流动时, 由液体和固体壁面间的附着力以及液体的黏性的存在, 会使液体各液层间的速度大小不同。如图 2.1 所示, 设在两个平行平板之间充满液体, 当上平板以速度 u_0 向右运动, 下平板相对于静止时, 在附着力的作用下, 紧贴于上平板的液体层其运动速度为 u_0 , 而中间各层液体的速度则从上到下近似呈线性规律递减到 0, 这是因为在相邻两液体层间存在内摩擦力的缘故。该力对上层液体起阻滞作用, 而对下层液体则起拖拽作用。

实验测定结果表明, 液体流动时相邻液层间的内摩擦力 F_f 与液层接触面积 A 、液层间的速度梯度 du/dy 成

正比, 即

$$F_f = \mu A \frac{du}{dy} \quad (2.4)$$

式中 μ ——比例系数, 又称动力黏度或黏度系数。

若以 τ 表示液层间在单位面积上的内摩擦力, 则式(2.4)可写为

$$\tau = \frac{F_f}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (2.5)$$

式(2.5)为牛顿内摩擦定律的表达形式。

由式(2.5)可知, 在静止液体中, 因速度梯度为零, 故内摩擦力为零。因此, 液体在静止状态下是不呈黏性的。

(2) 液体的黏度

液体的黏性的大小用黏度来表示。常见的黏度有3种,即动力黏度、运动黏度和相对黏度。

① 动力黏度 μ

它是表征液体黏度的内摩擦系数。由式(2.5)可知

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{du}{dy}} \quad (2.6)$$

由式(2.6)可知,动力黏度的物理意义是:当速度梯度为1时,液层间单位面积上的内摩擦力 τ ,就是动力黏度。因此,动力黏度也称绝对黏度。

在我国动力黏度的单位是 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (帕·秒),或用 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 表示。

② 运动黏度

动力黏度和该液体密度 ρ 的比值,称为运动黏度,用 ν 表示,即运动黏度。它没有明确的物理意义,即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.7)$$

动力黏度并不是一个黏度的量。但工程中,常用它来标志液体的黏度。例如,液压油的牌号,就是这种油液在 40°C 时的运动黏度(mm^2/s)的平均值,如L-AN32液压油就是指这种液压油在 40°C 时的运动黏度平均值为 $32 \text{ mm}^2/\text{s}$ 。

③ 相对黏度

相对黏度又称条件黏度,是采用特定的黏度计在规定的条件下测量出来的液体黏度。根据测量条件的不同,目前世界各国采用的相对黏度的单位也不同。例如,中国、俄罗斯及德国等普遍采用恩氏黏度($^\circ E$),英国采用雷氏黏度(R),以及美国采用国际赛氏秒(SSU)等。

恩氏黏度由恩氏黏度计(见图2.2)测定,即将 200 cm^3 的被测液体装入底部有 $\phi 8$ 的小孔的恩氏黏度计的容器中,在某一特定温度 $t^\circ\text{C}$ 时,测定液体在自重作用下流过小孔所需的时间 t_1 ,和同体积的蒸馏水在 20°C 时流过同一小孔所需的时间 t_2 ($50 \sim 52 \text{ s}$,通常取 51 s)的比值作为恩氏黏度。它是一个没有量纲的数,恩氏黏度用符号 $^\circ E_t$ 表示。

一般以 $20, 50, 100^\circ\text{C}$ 作为测定恩氏黏度的标准温度,由此而得来的恩氏黏度分别用 $^\circ E_{20}$ 、 $^\circ E_{50}$ 和 $^\circ E_{100}$ 表示。

恩氏黏度(单位: m^2/s)和运动黏度的换算关系为

$$\nu = \left(7.31^\circ E - \frac{6.31}{^\circ E} \right) \times 10^{-6} \quad (2.8)$$

4) 黏温关系

黏度和温度的关系,称为黏温关系,也称黏温特性。温度对油液黏度的影响很大,当油液温度升高时,其黏度迅速下降。油液黏度的变化直接影响液压系统的性能和泄漏量。因此,希望黏温关系越平稳越好。不同的油液有不同的黏温特性。黏温特性常用黏度指数(ν_i)来表

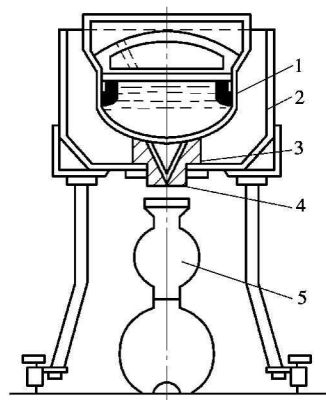


图 2.2 恩氏黏度计
1—储液器;2—水槽;3—锥管;
4—出口小孔;5—量筒

达。 ν_1 表示该液体的黏度随温度变化程度与标准液的黏度变化程度之比。黏度指数越高,液体的黏度特性越好,即温度变化时,黏度变化较小。通常要求油液的黏度指数高于 90,在 100 以上为优质液压油。

5) 黏压关系

压力会在一定程度上影响油液的黏度。压力增加,分子间的距离缩小,液体不容易流动,黏度增加。不同的液压油有不同的压力变化曲线,这种关系称为油液的黏压特性。通常当压力在 35 MPa 以下时,黏度随压力的变化较小;当压力在 35 MPa 以上时,压力对黏度的影响较明显。当压力从零升高到 150 MPa 时,液压油的黏度将增大至 17 倍。其运动黏度可计算为

$$\nu_p = \nu_0 e^{bp} \quad (2.9)$$

式中 ν_p ——压力 p 时的运动黏度, $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$;

ν_0 ——一个大气压下的运动黏度, $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$;

b ——黏度压力系数,对一般液压油, $b = 0.002 \sim 0.003$ 。

6) 其他特性

液压油还有其他的一些物理化学性质,如抗燃性、抗凝性、抗氧化性、抗泡沫性、防锈性、抗乳化性、导热性、润滑性、稳定性及相容性(主要是指对密封材料、软管等不侵蚀和不溶胀的性质)等。这些性质对液压系统的工作性能有重要影响。对不同品种的液压油,这些性质的指标是有差异的。具体应用时,可查阅相关手册。

2.1.3 液压油的要求和选用

1) 液压系统对液压油的要求

液压系统中的液压油具有两大作用:一是作为传递能量和运动的工作介质;二是作为润滑剂润滑运动零件的工作表面。因此,油液的性能会直接影响液压传动的性能,如系统可靠性、灵敏性、稳定性、系统的效率及部件的寿命等。液压系统对液压油有以下 7 个要求:

①合适的黏度及良好的黏温性能,以确保工作温度发生变化的条件下能准确、灵敏地传递动力,尽可能小的泄露。

②良好的抗乳化性,能与混入油中的水迅速分离,以免形成乳化液。

③良好的极压抗磨性、润滑性能,以保证液压元件中的摩擦副在高压、高速苛刻条件下得到正常的润滑,减少磨损。

④具有良好的抗泡沫性能,油液在受到机械不断搅拌的工作条件下产生的泡沫能自动消失,以使动力传递稳定。

⑤具有良好的防锈性及抗氧化稳定性,使用寿命长。

⑥低温液压油要求具有良好的低温使用性能。

⑦抗燃液压油要求具有良好的抗燃性能。在防火防爆的场合需要在使用时,需要考虑防火措施。

2) 液压油选用原则

选择液压油,首先要考虑的是合适的黏度。黏度选择偏高的油液流动时产生的阻力较大,克服阻力所消耗的功率高,消耗能量。黏度选择偏低,会使系统泄漏量加大,系统的容积效率下降。黏度选择时,一般考虑以下 4 个方面: