

高新技术型紧缺人才培养系列教材·模具专业

液压与气动控制技术



王健民 主编
刘学斌 刘 瑛 副主编

 北京航空航天大学出版社

高新技能型紧缺人才培养系列教材·模具专业

液压与气动控制技术

王健民 主 编

刘学斌 刘 瑛 副主编

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

全书共分15章:第1章~第2章介绍液压传动的基本理论,第3章~第6章介绍液压元件的作用原理、性能和用途,第7章~第9章介绍典型回路、典型系统和一般液压系统的设计步骤和方法,第10章~第14章介绍气压传动的基本原理、性能、用途以及其典型回路、典型传动系统和气动系统的安装调试、使用及维护,第15章介绍了典型液压与气动实验。

基于本课程在高职高专机类专业知识、能力构成中的位置及本门技术的特点,本教材充分体现了理论内容以“以必需、够用为度”的特点,突出应用能力和创新素质的培养。

本书可作为普通高等专科学校、高等职业类学校以及民办高校机类及机电类模具(数控)专业的教材,也可供有关的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气动控制技术/王健民主编. —北京:北京航空航天大学出版社,2010.2

ISBN 978-7-81124-995-8

I. ①液… II. ①王… III. ①液压控制②气动技术
IV. ①TH137②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 004629 号

液 压 与 气 动 控 制 技 术

王 健 民 主 编

刘 学 斌 刘 瑛 副 主 编

责 任 编 辑 李 文 轶

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路37号(100191) 发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail:bhpress@263.net

北京市 印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:15.75 字数:403千字

2010年2月第1版 2010年2月第1次印刷 印数:4 000册

ISBN 978-7-81124-995-8 定价:28.00元

前 言

本套模具专业系列教材立足培养 21 世纪的高新技能专业人才,针对高等职业教育的特点,体现高等职业教育在实用性、新颖性和通用性方面的特殊要求,贯彻培养学生应用能力和创新素质的方针而编写的。在编写时力求贯彻少而精、理论联系实际的原则,内容适度、易懂,突出理论知识的应用和加强针对性。

《液压与气动控制技术》全面贯彻有关现行国家标准,突出“以必须,够用为度”的原则,坚持“少而精”,贯彻通俗易懂、循序渐进的原则,紧密围绕培养学生分析问题、解决问题的能力。本书可作为普通高等专科学校、高等职业类学校以及民办高校机类及机电类模具(数控)专业的教材,也可供有关的工程技术人员参考。

全书包括液压传动和气动技术两部分内容,共分 15 章。第 1 章和第 2 章为液压传动的基本理论,第 3 章~第 6 章为液压元件的作用原理、性能和用途,第 7 章~第 9 章为典型回路、典型系统和一般液压系统的设计步骤和方法,第 10 章~第 14 章为气压传动的基本原理、性能、用途以及其典型回路、典型传动系统和气动系统的安装调试、使用及维护。第 15 章介绍了一定数量的典型液压与气压实验。本书主要介绍了流体力学的基本知识,液压、气压元件的基本原理、结构特点以及选择方法,液压、气压基本回路和典型系统的组成分析以及回路的设计方法及典型液压与气动实验等内容。

本书各章均有相当数量的例题和习题,帮助读者加深对基本概念和基本理论的理解。通过第 15 章的实验教学,验证、巩固和深化课堂讲授的理论知识,使学生加深对液压与气动系统中常见元件内部结构,典型回路基本组成,典型系统工作原理的理解和认识,培养动手能力,为今后在工程实际中设计性能优良的流体传动系统打下基础。

本书由王健民、刘瑛、刘学斌、顾红欣、张旭光、于海洋共同编写,其中,王健民编写第 1、3 章,刘瑛编写第 5、7、12 章,刘学斌编写第 8、9、13、14 章和 15 章,顾红欣编写第 2、6、11 章,王健民和张旭光编写第 4 章,王健民和于海洋编写第 10 章。本书由王健民担任主编,刘学斌、刘瑛担任副主编。

在统稿过程中,刘国柱、曹卫芝同志作了大量工作。编者表示诚挚的感谢!

由于编者水平所限,书中难免存在缺点和错误,敬请广大同行和读者批评指正。

编 者
2009 年 12 月

目 录

第 1 章 液压传动概述	1
1.1 液压传动的工作原理	1
1.2 液压传动系统的组成	2
1.3 液压传动的优缺点	3
1.4 液压传动系统的发展概况与应用	3
习 题	4
第 2 章 液压流体力学基础	5
2.1 液压油液	5
2.2 流体静力学	8
2.3 液体动力学.....	10
2.4 管道系统流动分析.....	15
2.5 孔口及缝隙的压力的流量特性.....	19
2.6 液压冲击与气穴现象.....	21
习 题	22
第 3 章 液压泵和液压马达	25
3.1 液压泵概述.....	25
3.2 齿轮泵.....	28
3.3 叶片泵.....	31
3.4 柱塞泵.....	35
3.5 各类液压泵的性能比较及选用.....	36
3.6 液压泵常见故障诊断及其排除方法.....	37
3.7 液压马达.....	38
习 题	41
第 4 章 液压缸	43
4.1 常用液压缸的类型及特点.....	43
4.2 液压缸的设计与计算.....	46
4.3 液压缸的结构设计.....	48
4.4 液压缸常见故障诊断及排除方法.....	52
习 题	53

第 5 章 液压控制阀	56
5.1 液压阀概述	56
5.2 方向控制阀	57
5.3 压力控制阀	68
5.4 流量控制阀	76
5.5 插装阀与叠加阀	81
5.6 伺服阀	84
5.7 电液比例阀	86
习 题	87
第 6 章 液压辅助装置	90
6.1 蓄能器	90
6.2 过滤器	92
6.3 油 箱	94
6.4 热交换器和压力表辅件	96
6.5 管 件	98
6.6 密封装置	100
习 题	103
第 7 章 液压基本回路	104
7.1 方向控制回路	104
7.2 压力控制回路	107
7.3 速度控制回路	113
7.4 多缸动作回路	124
7.5 液压基本回路故障分析与排除方法	130
习 题	132
第 8 章 典型液压系统	137
8.1 组合机床动力滑台液压系统	137
8.2 XS-ZY-250A 型塑料注射成型机液压系统	140
8.3 M1432A 型万能外圆磨床液压系统	143
8.4 液压系统常见故障及其排除方法	147
习 题	151
第 9 章 液压系统设计计算	154
9.1 液压传动系统设计	154
9.2 液压系统设计计算举例	164
习 题	168

第 10 章 气压传动概述	170
10.1 气压传动系统的工作原理及组成	170
10.2 气压传动的特点	171
习 题	171
第 11 章 气源装置及气动元件	173
11.1 执行元件	173
11.2 控制元件	175
11.3 逻辑元件	179
11.4 气源装置及辅助装置	181
习 题	185
第 12 章 气动基本回路	187
12.1 方向控制回路	187
12.2 压力控制回路	188
12.3 速度控制回路	190
12.4 其他回路	193
习 题	197
第 13 章 气压传动系统	199
13.1 气动传动系统设计	199
13.2 气动系统实例	206
习 题	209
第 14 章 气压系统的安装调试、使用及维护	210
14.1 气动系统的安装与调试	210
14.2 气动系统的使用与维护	211
14.3 气动系统主要元件常见故障及其排除方法	212
习 题	214
第 15 章 液压与气动实验	216
实验一 液压泵的性能实验	216
实验二 液压元件的拆装	218
实验三 溢流阀特性实验	221
实验四 压力顺序控制回路	223
实验五 砂轮切割机回路设计	225
实验六 单作用气缸的换向回路	226
附录 习题解析	228
参考文献	242

第 1 章 液压传动概述

液压传动与后续的气压传动是先进制造技术中最基本的技术之一，特别是随着机电一体化技术的发展，液压与气动技术得到了高速发展，尤其通过与计算机技术相结合，在机械领域得到了广泛的应用。

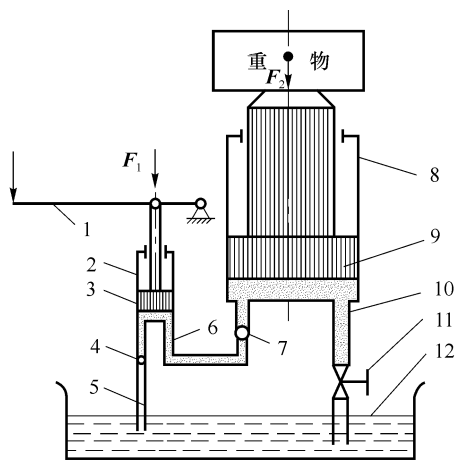
1.1 液压传动的工作原理

一部完整的机器主要是由原动机、传动装置和工作机构 3 部分组成。原动机是给机器提供动力源的，它利用传动装置将原动机的输出功率传递给工作机构来实现动力或能量的传递、转换与控制，以满足工作机构的工作要求。传动装置在其中起中间环节的作用，根据其工作介质的不同，传动分为机械传动、电气传动、液体传动、气压传动以及由前几种组合而成的复合传动等。

液体传动是利用液体作为工作介质，利用流体密封容积的变化传递运动，利用密封容积的压力传递动力，从而实现能量传递、转换和控制的一种传动方式。根据工作原理的不同，液体传动又分为液压传动和液力传动两种。液压传动是利用了液体的压力，液力传动主要是利用了液体的动能。

1.1.1 液压传动的工作原理

液压传动系统的类型和应用范围十分广泛，液压千斤顶就是其中的一种应用，其工作原理如图 1.1 所示。小油缸 2 与吸、排油单向阀 4、7 一起构成了手动液压泵，完成吸油与排油。当向上抬起杠杆 1 时，手动液压泵的小活塞 3 向上运动，小活塞 3 的下部油腔的容积增大形成局部真空，致使排油单向阀 7 关闭，油箱 12 中油液在大气压的作用下经由吸油管道 5 顶开吸油单向阀 4 进入油腔。当小活塞 3 在力 F_1 的作用下向下运动时，小活塞 3 的下部油腔的容积减小，油液因此受到挤压，故压力升高，于是被压的油液将吸油单向阀 4 关闭，而将排油单向阀 7 顶开，经管道 6 进入大油缸 8 的无杆腔，推动大活塞 9 携重物上移，当重物到达一定位置，停止小活塞 3 的运动，则大油缸 8 油腔内油液压力将使排油单向阀 7 关闭，大活塞 9 下部油腔的油液被封闭，大活塞 9 连同重物一起闭锁不动，此时，截止阀 11 处于关闭状态。如打开截止阀 11，则大油缸 8 无杆腔的油液经管道 10 流回油箱 12，大活塞 9 回复到原来位置。



1. 杠杆手柄；2. 小油缸；3. 小活塞；4、7. 单向阀；5. 吸油管；6、10. 管道；8. 大油缸；9. 大活塞；11. 截止阀；12. 油箱

图 1.1 液压千斤顶工作原理

通过以上分析可知，小油缸 2 和吸、排油单向阀 4、7 完成吸油与排油构成了一个手动液压泵将外部的机械能转化成液压能。大油缸 9 则把油液的压力能转换成机械能构成了液压缸，

顶起重物,截止阀 11 控制压力油液的通、断实现了重物的抬起和回降,管道 6、10 和油箱 12 则起到储油和输油的作用。所以,液压泵、液压缸、控制阀和一些辅助元件(管道、油箱)构成液压传动系统以完成运动和动力的传递。

1.1.2 液压传动中的力的传递和运动的传递

1. 力的传递——压力和负载的关系

在图 1.1 中,设液压缸 8 的活塞面积为 A_2 ,负载为 F_2 ,所以在液压缸 8 无杆腔内产生的液体压力(压强)为

$$p_2 = F_2/A_2 \quad (1.1)$$

由帕斯卡原理知,在密闭容器的静止油液内,当某处受一压力作用,该压力将等值传递到油液各处,故液压泵 2 的排油压力 p_1 应等于液压缸 8 中的油液压力 p_2 ,即 $p_1 = p_2 = p$ 。液压泵的排油压力又称为系统压力。

在 A_1 和 A_2 一定时,负载 F_2 越大,则系统中所需要的压力 p 也越高,所以液压传动系统的工作压力取决于外加负载。这是液压传动系统的第一要素。

2. 运动的传递——速度和流量的关系

图 1.1 所示的液压系统在工作时,根据液流连续性原理,油液通过没有分支的管道时流经任意剖面的油液流量相等。故单位时间液压泵 2 中排出的油液体积必然等于进入液压缸 9 中的油液体积。设液压泵 2 活塞的位移为 s_1 ,液压缸 8 活塞的位移为 s_2 ,则有

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

将上式两边同除以运动时间 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。

由式(1.2)、(1.3)可知,液压传动系统是靠密闭工作油腔容积变化相等的原则实现运动传递的,所以液压传动系统的运动速度取决于输入流量的大小。这是液压传动工作原理的第二要素。液压传动系统中力的传递依靠油的压力,运动的传递依靠油的流量。所以,油液的压力和流量是液压传动系统的两个最基本的参数。

3. 液压传动系统的功率

液压缸 8 工作时的瞬时输出功率 P 等于活塞速度 v 与负载 F 的乘积。由式(1.1)和式(1.3)可得

$$P = Fv = p \cdot A \frac{q}{A} = pq \quad (1.4)$$

因此,液压传动系统的液压输出功率等于系统输出流量和压力两个基本参数的乘积。

1.2 液压传动系统的组成

由液压千斤顶的工作原理图 1.1 可知液压传动系统是由若干液压元件组成的,液压传动系统主要分为以下 5 个部分。

① 动力部分:动力部分是将机械能转换为液压能的装置,是液压系统的动力源,在工作介质的作用下输出一定的力和速度以驱动工作机构工作,如液压泵等。

② 执行部分:执行部分是将液压能转换为机械能的装置,其作用是在工作介质的作用下输出力和速度,以驱动工作机构对外做功,如液压缸和液压马达。

③ 控制部分:控制部分是控制油液的流动方向、压力和流量的装置,如方向控制阀、压力控制阀和流量控制阀等。

④ 辅助部分:辅助部分是除以上3部分的功能外,用以可以保证系统正常工作,具有贮油、输油、滤油和测量等作用的装置,如油箱、输油管件、过滤器、压力表、管接头和蓄能器等。

⑤ 工作介质:工作介质是指用来传递液压能的介质,在液压系统中,一般是以液压油作为工作介质的。

1.3 液压传动的优缺点

液压传动与机械传动、电气传动和气压传动相比有以下主要特点。

1. 液压传动系统的优点

① 调速范围大,易实现无级变速。在液压传动系统中,执行元件可以在工作时方便地进行大范围的无级调速,调速范围最高可达2000:1。

② 单位质量传递功率大。与电动机相比,在体积相同的情况下,液压传动装置能产生更大的动力,从而在相同功率要求的情况下,液压传动的体积更小、重量更轻且结构紧凑,有利于机械设备及其控制系统向微型化、小型化发展,并能进行较大功率的作业。

③ 易于实现自动控制和远距离控制,便于机械的自动化。

④ 液压传动装置易于实现过载保护。当系统中的压力过高时会通过溢流阀卸油,起到安全保护作用。

⑤ 自润滑能力强,元件和系统使用寿命长。

⑥ 易于设计制造。液压元件已实现了标准化、系列化和通用化。

⑦ 工作平稳,换向冲击小,易于实现快速启动、制动和频繁换向。

⑧ 布局方便,不受严格的空位置限制。

由于液压传动系统具有以上优点,所以在实际的生活生产中应用十分广泛。

2. 液压传动系统的缺点

① 由于液压系统中的油液存在着压缩性和泄漏的问题,所以液压传动系统无法保证严格要求的运动。因此液压传动系统不宜用在液压传动比严格的场合。

② 液压元件制造精度和安装技术要求高,故装配比较困难,使用维护比较严格。

③ 油液受温度的影响较大。这是由于油的黏度随温度的改变而改变,故不宜在高温或低温的环境下工作。

④ 不适宜远距离输送动力。由于采用油管传输压力油,压力损失较大。

⑤ 油液中混入空气影响工作性能。油液中混入空气后,容易引起爬行、振动和噪声,使系统的工作性能受到影响。

⑥ 油液容易污染。油液污染后,会影响系统工作的可靠性。

⑦ 发生故障不易检查和排除。

1.4 液压传动系统的发展概况与应用

虽然液压技术已有很长时间的应用和发展,但是液压技术相对于机械传动来说还是一项

新兴技术。20世纪50年代,随着世界各国经济的飞速发展,生产过程自动化的不断增长,使液压技术很快转入大规模应用,在机械制造、起重运输机械及各类施工机械、船舶、航空等领域得到了广泛的发展和应。20世纪60年代以来,随着原子能、航空航天技术和微电子技术的需要,液压技术在更深、更广阔的领域得到了发展。液压技术应用的不断发展,几乎囊括了国民经济的各个部门,从机械加工及装配线到材料压延和塑料成型设备,从橡胶、皮革和造纸等轻工机械到石油天然气探采装置,液压技术都得到了广泛的应用。我国液压技术也是由19世纪崛起并蓬勃发展的石油工业推动起来的,随着液压机械自动化程度的不断提高,液压元件应用数量急剧增加,元件小型化、系统集成化是必然的发展趋势。特别是近年来,液压技术与传感技术紧密结合出现了许多诸如电液比例控制阀、数字阀和电液伺服液压缸等机电一体化元器件,使液压技术在高压、高速、大功率、节能高效、低噪声、使用寿命长及高度集成化等方面取得了重大的进展。

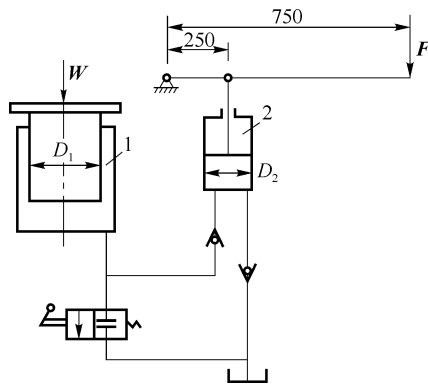
液压技术在机床上的进给运动中应用最为广泛。例如,车床、自动车床的刀架及转塔刀架的进给,组合机床的动力头及动力滑台的进给等,要求有较大的调速范围,并且在工作中能无级调速;刨床和磨床工作台的往复运动,用液压控制,周期性地实现定量进给运动,进给量可进行无级调节。

液压传动的应用已大大超出了机床的应用范围,几乎在所有工业分支都能找到液压传动的实例,比如汽车,在其驱动系统和制动系统中都有液压传动的成功应用。随着液压技术的提高,液压传动的应用将不断得到扩大和发展。液压元件和液压系统的辅助设计和计算机控制的液压传动系统则是当前液压技术的发展方向。

习 题

- 1-1 什么叫液压传动?
- 1-2 试简述液压传动的工作原理。
- 1-3 液压传动由哪几部份组成? 试举例说明它们在系统中的作用。
- 1-4 液压系统有什么优缺点?

1-5 如下图所示液压千斤顶,大小活塞直径比为 $D_1/D_2 = 5$, 杠杆比 $L = 3L$, 若 $F = 100\text{ N}$, 求所顶起重物 W 的重量是多少牛顿(N)?



题 1-5 图

第 2 章 液压流体力学基础

2.1 液压油液

液体是液压传递的介质。最常用的工作介质是液压油,常用石油型液压油。此外,还有乳化型传动液和成型传动液。

2.1.1 液压油液的性质

1. 密度

密度是液体单位体积的质量,即

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

式中 m ——液体的质量;

V ——液体的体积。

2. 重度

重度是液体单位体积的重量,即

$$\gamma = \frac{W}{V} = \rho g \quad (2.2)$$

式中 W ——液体的重量;

ρ ——液体的密度。

液体的密度和重度随温度和压力而变化,但变化很小,在一般使用条件下,可以忽略不计。一般液压油的密度为 900 kg/m^3 , 重度 $\gamma = 900 \times 9.8 \text{ N/m}^3 \approx 8.8 \text{ kN/m}^3$ 。

3. 可压缩性

液体受压力作用而发生体积减少的性质称为液体的可压缩性。体积为 V 的液体,当压力增大 Δp 时,体积减少 ΔV , 则液体在单位压力的变化下的体积相对变化量,为

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

式中, k 称为液体的体积压缩系数。由于压力增大时液体的体积减少,两者变化方向相反,为使 k 成正值,在上式的右边须加一负号。

4. 黏性

(1) 黏性的意义

液体在外力作用下流动或有流动趋势时,分子间的内聚力要阻止分子相对运动而产生一种内摩擦力,这种现象叫做液体的黏性。液体只有在流动或有流动趋势时,才会呈现出黏性,静止的液体是不呈现黏性的。黏性是液体的重要物理特征,也是选择液压用油的依据。

以图 2.1 所示的两平行平板中液体的流动情况为例,观察黏性的作用。若距离为 h 的两平行平板间充满液体,当上平板以速度 u_0 相对于下平板向右移动时,紧贴在上平板上极薄的

一层液体,在附着力的作用下,以相同的速度 u_0 随上平板一起向右运动,紧贴在下平板上极薄的一层液体黏附在下平板上而保持静止。而中间各层液体的速度当层间距离 h 较小时,从上到下近似呈线性递减规律分布。由于各薄层的运动速度不同,流动快的流层会拽曳流动慢的流层,而流动慢的流层又阻滞流动快的流层,层与层之间就是因为存在黏性而产生了阻止相对运动的内摩擦力。

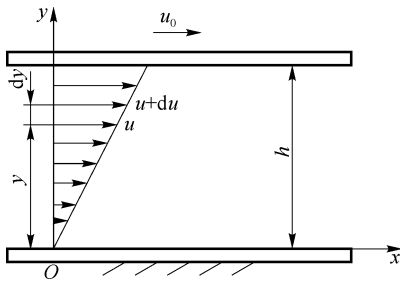


图 2.1 液体黏性示意图

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 、液层间的相对速度 du 成正比,而与液层间的距离的 dy 成反比。即

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

式中, μ 为比例系数,又称为黏度系数或动力黏度。 du/dy 称为速度梯度,即液层相对速度对液层间距离的变化率。若以 τ 表示液层间在单位面积上的内摩擦力,则式(2.4)可写成

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

这就是牛顿液体内摩擦定律。

(2) 液体的黏度

液体的黏性大小用黏度来表示。常用的黏性有 3 种,即动力黏度、运动黏度和相对黏度。

1) 动力黏度 μ

动力黏度是表征液体黏度的内摩擦系数,由式(2.5)可知

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

动力黏度的物理意义是:液体在以单位速度梯度流动时,单位面积上的内摩擦力。其单位是: $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (帕·秒) 或 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ (牛·秒/米²)

2) 运动黏度 ν

运动黏度是动力黏度 μ 与液体密度 ρ 之比。即

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

运动黏度没有明确的物理意义。在 ν 的量纲中只有运动学要素,故称为运动黏度。其单位是 m^2/s (米²/秒)。

3) 相对黏度

液体的动力黏度和运动黏度都难以直接测量,一般仅用于理论分析和计算。工程上常用一些简便方法测定液体的相对黏度。它是采用特定的黏度计在规定的条件下测出来的液体黏度。根据测量条件的不同,各国采用的单位也不相同,如恩氏度^{°E}(中国、德国和前苏联)、通用赛氏秒 SUS(美国、英国)、商用雷氏秒 R1S(英国、美国)和巴氏度^{°B}(法国)等。

恩氏黏度由恩氏黏度计测定,即将 200 ml 温度为 t °C 的被测液体装入黏度计容器内,由其底部 $\phi 2.8 \text{ mm}$ 的小孔流出,测出液体流尽所需的时间 t_1 ,再测出相同体积温度为 20 °C 的蒸馏水在同一容器中流尽所需的时间 t_2 ;这两个时间之比即为被测液体在 t °C 下的恩氏黏度,即

$${}^{\circ}\text{E}_t = \frac{t_1}{t_2} \quad (2.8)$$

恩氏黏度与运动黏度间的换算关系式为

$$\nu = \left(7.31 {}^{\circ}\text{E} - \frac{6.31}{{}^{\circ}\text{E}} \right) \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad (2.9)$$

(3) 黏度和温度的关系

温度变化使液体内聚力发生变化,各种液体的黏度随温度的升高而降低。每种液体自身的黏度随温度变化的特性称为黏-温特性。

(4) 黏度和压力的关系

当压力增加时,液体分子间距离缩小,内聚力增大,黏度也增大。不同的油液有不同的黏度压力变化关系,这种关系称为黏-压特性。当压力不高且变化不大时,压力对黏度的影响很小,一般可忽略不计。当压力大于 50 MPa 或压力变化较大时,其影响才趋于显著。

5. 其他性质

液压传动工作介质还有其他一些性质,如稳定性、抗泡沫性、抗乳化性、防锈性、相容性和润滑性等,这些性质对液压系统的工作性能都有重要的影响,具体应用时可参阅有关资料。

2.1.2 对液压油液的要求及选用

1. 对液压油液的要求

液压系统中的工作油液具有双重性,一是作为传递能量的介质,二是作为润滑剂润滑运动零件的工作表面,因此油液的性能直接影响到液压系统的性能。一般选用液压油液应具备如下性能:

- ① 合适的黏度和良好的黏-温特性;
- ② 具有良好的润滑性;
- ③ 纯净度好,不含腐蚀性物质;
- ④ 对金属和密封件有良好的相容性;
- ⑤ 对热、氧化和水解都有良好的稳定性;
- ⑥ 抗泡沫性、抗乳化性和防锈性好;
- ⑦ 体积膨胀系数小,比热容和传热系数大;
- ⑧ 流动点和凝固点低,闪点和燃点高;
- ⑨ 无毒性,成本低。

2. 液压油液的选用

正确而合理地选择工作介质对液压系统适应各种环境条件和工作状况的能力,延长系统和元件的寿命,提高设备运转的可靠性,防止事故发生等方面都有重要影响。

工作介质的选择通常可按下述 4 个基本步骤进行:

- ① 列出液压系统对工作介质性能的变化范围要求;
- ② 尽可能选出符合或基本符合上述要求的工作介质品种;
- ③ 进行综合、权衡,调整各方面的要求和参数;
- ④ 最终决定采用合适的、经济的工作介质。

当工作介质品种确定后,主要考虑油液的黏度。在一定条件下,选用的油液黏度太高或太

低,都会影响系统的正常工作。选择时一般主要考虑液压系统的工作压力、运动速度、环境温度和泵的类型。

2.2 流体静力学

流体静力学是研究液体处于静止状态下的力学规律以及这些规律的应用。所谓“静止”,是指液体内部质点之间没有相对运动。

2.2.1 静压力及其特征

1. 液体的静压力

静止液体的单位面积上所受的力称为静压力。静压力在物理学上称为压强,在工程实际应用中习惯称为压力。

如果在静止液体内某点处有微小面积 ΔA ,作用有法向力 ΔF ,则液体内某点处的压力可表示为

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (2.10)$$

2. 液体静压力的特征

- ① 液体静压力垂直于其承压面,其方向和该面的内法线方向一致;
- ② 静体液体内任一点所受到的静压力在各个方向上都相等。

2.2.2 静压力基本方程式

1. 静压力基本方程式

在重力作用下的静止液体其受力情况如图 2.2 所示,除了液体重力、液面上的压力还有容器壁面作用在液体上的压力。如要求出离液面为 h 的某一点压力,可以从液体内取出底面包含该点的一个微小垂直液柱作为控制体,如图 2.2(b)所示,小液柱在重力及周围液体的压力作用下处于平衡状态,所以液柱所受各力存在如下关系

$$p\Delta A = p_0\Delta A + \rho gh\Delta A \quad (2.11)$$

式中, $\rho gh\Delta A$ 为液柱的重力。

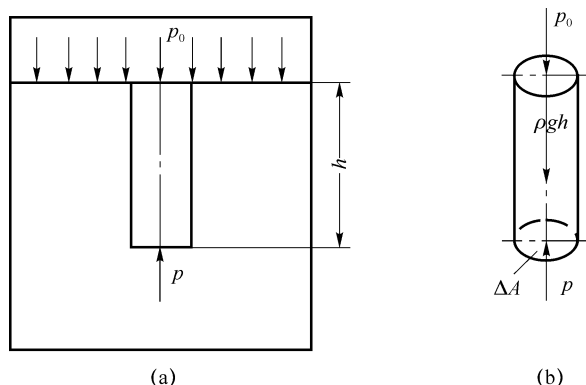


图 2.2 静止液体内压力分布规律

上式简化后得

$$p = p_0 + \rho gh \quad (2.12)$$

式(2.12)即为静压力基本方程式。它说明,重力作用下的静止液体,压力分布有如下特征:

① 静止液体内任一点处的压力由两部分组成,一部分是液面上的压力 p_0 ,另一部分是该点以上液体重力所形成的压力 ρgh 。当液面上只受大气压 p_a 作用时,则液体内任一点处的压力为

$$p = p_a + \rho gh \quad (2.13)$$

② 静止液体内的压力随液体深度呈直线性规律递增。

③ 同一液体中离液面深度相同处各点的压力均相等。压力相等所有点组成的面叫做等压面。在重力作用下静止液体中的等压面是一个水平面,而与大气接触的自由表面也是等压面。

2. 静压力基本方程式的物理意义

对静止液体,如记液面压力为 p_0 ,液面与基准水平面的距离为 h_0 ,液体内任一点处的压力为 p ,与基准水平面的距离为 h ,则由静压力基本方程式可得

$$\frac{p_0}{\rho g} + h_0 = \frac{p}{\rho g} + h = \text{常量} \quad (2.14)$$

式中, $p/\rho g$ 为静止液体中单位质量液体的压力能, h 为单位质量液体的势能。静压力基本方程的意义是:静止液体内任一点具有压力能和位能两种能量形式,且总能量保持不变,即能量守恒。两种能量之间可以相互转换。

2.2.3 压力的表示方法及单位

根据度量基准的不同,液体压力分为绝对压力和相对压力两种。以绝对真空作为基准所表示的压力,叫做绝对压力。以大气压作为基准所表示的压力叫做相对压力或表压力。因大气中的物体受大气压的作用是自相平衡的,所以用压力表测得的压力数值是相对压力。在液压技术中所提到的压力,如不特别指明,均为相对压力。绝对压力与相对压力的关系为

$$\text{绝对压力} = \text{相对压力} + \text{大气压力} \quad (2.15)$$

如果液体中某点的绝对压力低于大气压,这时该点的绝对压力不足于大气压力的那部分压力值,称为真空度。

$$\text{真空度} = \text{大气压} - \text{绝对压力} \quad (2.16)$$

绝对压力、相对压力和真空度的关系如图 2.3 所示。

在 SI 中压力的单位为帕斯卡,用 Pa 表示,我国过去在工程上采用工程大气压 at、水柱高或汞柱高等,各种压力单位之间的换算关系如下:

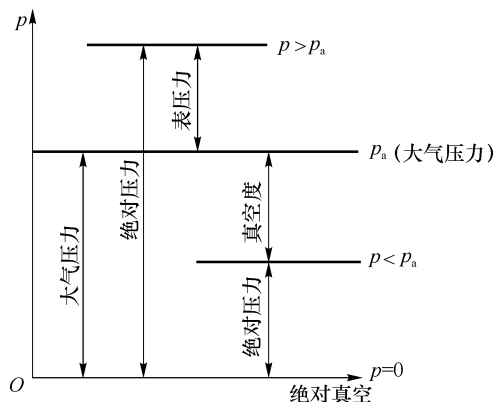


图 2.3 绝对压力、相对压力和真空度

$$1 \text{ Pa (帕)} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ at (工程大气压)} = 9.8 \times 10^4 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ mH}_2\text{O (米水柱)} = 9.8 \times 10^3 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ mmHg (毫米汞柱)} = 1.33 \times 10^2 \text{ N/m}^2$$

2.2.4 帕斯卡原理

盛放在密闭容器内的液体,当外加压力 p_0 发生变化时,只要液体仍保持其原来的静止状态不变,则液体任一点的压力将发生同样大小的变化。也就是说,在密闭容器内,施加于静止液体的压力可以等值地传递到液体中所有各点,这就是帕斯卡原理,也称为静压传递原理。帕斯卡原理是液压传动中一个基本原理,液压千斤顶就是依据这一原理制成的。

2.2.5 静压力对固体壁面的作用力

静止液体和固体壁面接触时,固体壁面将受到液体静压力的作用。当固体壁面为一平面时,如图 2.4(a)所示,液体压力在该平面上的总作用力 F 等于液体压力 p 与该平面面积 A 的乘积,其作用方向与该平面垂直,即

$$F = pA = p \frac{\pi D^2}{4} \quad (2.17)$$

当固体壁面为一曲面时,作用在曲面各点的液体静压力是不平行的,但静压力的大小是相等的。液体压力在该曲面某 x 方向上的总作用力 F_x 等于液体压力 p 与该曲面在该方向投影面积 A_x 的乘积,即

$$F_x = pA_x \quad (2.18)$$

如图 2.4(b)、(c)所示的球面和圆锥面,液体静压力 p 沿垂直方向作用在球面和圆锥面上的力 F ,为压力作用于该部分曲面在垂直的方向投影面积 A 与压力 p 的乘积,其作用点通过投影圆的圆心,方向向上,即

$$F = pA = p \frac{\pi d^2}{4} \quad (2.19)$$

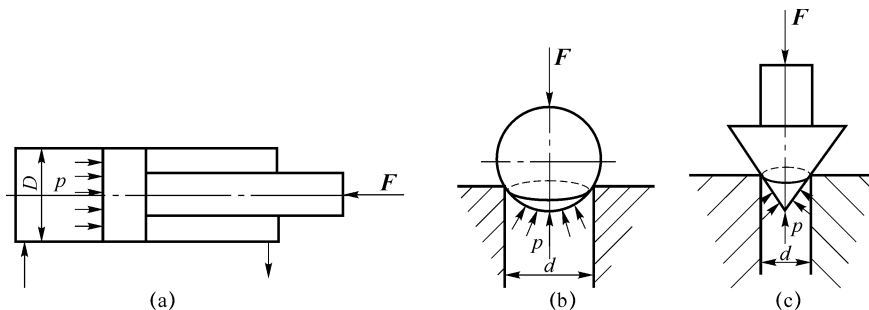


图 2.4 液压力作用在固体壁面上的力

2.3 液体动力学

液体动力学的主要内容是研究液体流动时流速和压力的变化规律。流动液体的连续