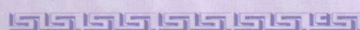




中等职业教育示范专业规划教材(机电技术应用专业)

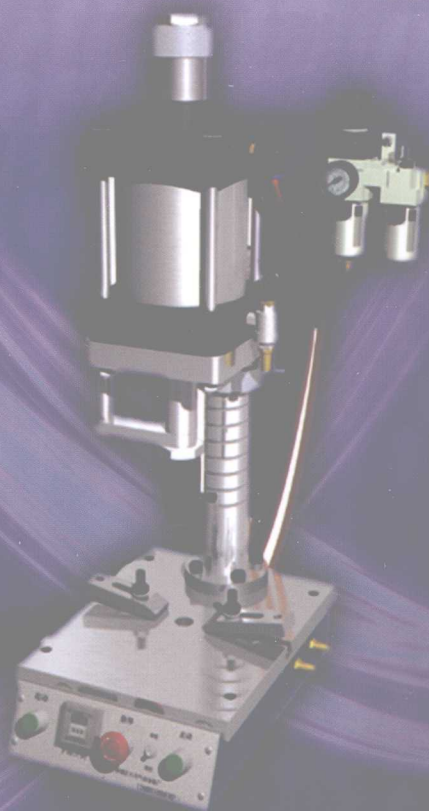
# 液压与气动技术

潘玉山 主编



赠电子教案

机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



中等职业教育示范专业规划教材

# 液压与气动技术

(机电技术应用专业)

主 编 潘玉山  
参 编 韩军林 尹向东 刘尚华  
主 审 徐永生



机械工业出版社

本书是中等职业教育示范专业规划教材,全书共分为液压传动与气压传动基础知识、液压力元件、液压执行元件、液压辅助元件、液压控制元件及液压基本回路、气源装置及气动辅助元件、气动执行元件、气动控制阀和气动回路、典型液压与气压传动系统9个单元。

本书的编写贯彻少而精的原则,力求体现职业教学内容的实用性、先进性和实践性,通过若干“实践活动”将液压与气动理论知识与相关实践结合起来。

本书可作为中等职业学校机电类专业教材,也可作为机电行业技术人员的岗位培训教材及工程技术人员自学用书。

为方便教学,本书配有免费电子教案,凡选用本书作为授课教材的学校,均可来电索取。咨询电话:010-88379195。

### 图书在版编目(CIP)数据

液压与气动技术/潘玉山主编.-北京:机械工业出版社,2008.9

中等职业教育示范专业规划教材(机电技术应用专业)  
ISBN 978-7-111-24590-2

I. 液… II. 潘… III. ①液压传动-专业学校-教材  
②气压传动-专业学校-教材 IV. TH137 TH138

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第100620号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:高倩 责任编辑:张值胜 责任校对:魏俊云

封面设计:鞠杨 责任印制:洪汉军

北京汇林印务有限公司印刷

2008年8月第1版第1次印刷

184mm×260mm·11.75印张·287千字

0001-4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-24590-2

定价:20.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换  
销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379182

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

本书是根据中等职业教育机电专业的人才培养目标和岗位技能要求而编写的中等职业教育示范专业规划教材。本教材在比较全面阐述液压与气动技术基本概念的基础上,依据“少而精”的原则,充分体现职业教学内容的实用性、先进性和实践性,突出应用能力和综合素质的培养,符合我国液压与气动技术发展需要。

本教材的任务是阐明液压与气动的工作原理,培养学生理解和分析液压与气动系统的能力。全书共分9个单元,每单元设有“基本知识点”、“拓展知识点”、“实践活动”和“综合训练”四部分内容。“实践活动”及“综合训练”中运用的相关知识在“基本知识点”中作阐述。“拓展知识点”是提高内容,可根据学生或学校实际情况自主选学。

本书的教学时数为60学时,各单元学时分配见下表(供参考)

单元	学时数	单元	学时数
第1单元	8	第6单元	4
第2单元	6	第7单元	2
第3单元	4	第8单元	12
第4单元	2	第9单元	6
第5单元	16	合计	60

本书由潘玉山担任主编,第1、4、5单元和附录由潘玉山编写;第2、3单元由刘尚华编写;第7、8单元由尹向东编写;第6、9单元由韩军林编写。无锡职业技术学院徐永生担任本书主审。

本书在编写过程中得到了有关兄弟学校以及企业的大力支持和帮助,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

## 第1单元 液压传动与气压

### 传动基础知识 ..... 1

#### 【学习要求与方法】 ..... 1

#### 【基本知识点】 ..... 1

#### 知识点1 液压与气压传动 工作原理及系统组成 ..... 1

#### 知识点2 液压油的物理性质 ..... 4

#### 知识点3 空气的性质 ..... 7

#### 知识点4 液压传动系统工作 介质的选用 ..... 8

#### 知识点5 压力与流量 ..... 9

#### 知识点6 液体流动时压力损失和 流经小孔及缝隙流量 ..... 13

#### 【拓展知识点】 ..... 15

#### 知识点1 液压与气压传动 技术的应用与发展 ..... 15

#### 知识点2 液压冲击与空穴现象 ..... 15

#### 知识点3 液压油污染及其控制 ..... 16

#### 知识点4 气体高速流动与噪声 ..... 18

#### 【实践活动】 ..... 18

#### 实践项目1 搭接一个简单液压或气压 传动系统(此处以液压 传动系统为例) ..... 18

#### 实践项目2 压力的形成 ..... 19

#### 【综合训练】 ..... 19

## 第2单元 液压动力元件 ..... 22

#### 【学习要求与方法】 ..... 22

#### 【基本知识点】 ..... 22

#### 知识点1 初识液压泵 ..... 22

#### 知识点2 齿轮泵 ..... 24

#### 知识点3 叶片泵 ..... 26

#### 知识点4 柱塞泵 ..... 29

#### 知识点5 液压泵的选用 ..... 30

#### 【拓展知识点】 ..... 32

#### 知识点1 液压泵的噪声 ..... 32

#### 知识点2 液压泵站 ..... 32

#### 知识点3 液压泵的常见故障 及其排除方法 ..... 33

#### 【实践活动】 ..... 34

#### 实践项目 液压泵的拆装 ..... 34

#### 【综合训练】 ..... 35

## 第3单元 液压执行元件 ..... 37

#### 【学习要求与方法】 ..... 37

#### 【基本知识点】 ..... 37

#### 知识点1 液压缸 ..... 37

#### 知识点2 液压马达 ..... 41

#### 【拓展知识点】 ..... 44

#### 知识点1 其他形式液压缸 ..... 44

#### 知识点2 液压缸的常见故障 及其排除方法 ..... 45

#### 【实践活动】 ..... 45

#### 实践项目 液压缸的拆装 ..... 45

#### 【综合训练】 ..... 46

## 第4单元 液压辅助元件 ..... 48

#### 【学习要求与方法】 ..... 48

#### 【基本知识点】 ..... 48

#### 知识点1 管件 ..... 48

#### 知识点2 密封装置 ..... 50

#### 知识点3 过滤器 ..... 52

#### 知识点4 其他辅助元件 ..... 55

#### 【实践活动】 ..... 58

#### 实践项目 管路的连接 ..... 58

#### 【综合训练】 ..... 58

## 第5单元 液压控制元件及

### 液压基本回路 ..... 60

#### 【学习要求与方法】 ..... 60

#### 【基本知识点】 ..... 60

#### 知识点1 方向控制阀及方向 控制基本回路 ..... 60

#### 知识点2 压力控制阀及压力 控制基本回路 ..... 71

知识点 3 流量控制阀及速度 控制基本回路 .....	79	【实践活动】 .....	130
知识点 4 其他基本回路 .....	87	实践项目 认识气缸 .....	130
【拓展知识点】 .....	91	【综合训练】 .....	131
知识点 1 其他形式控制阀 .....	91	<b>第 8 单元 气动控制阀和气动回路</b> .....	132
知识点 2 增压回路 .....	94	【学习要求与方法】 .....	132
知识点 3 互不干扰回路 .....	94	【基本知识点】 .....	132
知识点 4 常用液压控制阀及液压基本回路 的常见故障及其排除方法 .....	95	知识点 1 方向控制阀及其 所组成的回路 .....	132
【实践活动】 .....	100	知识点 2 压力控制阀及其 所组成的回路 .....	138
实践项目 1 溢流阀及调压回路 .....	100	知识点 3 流量控制阀及其 所组成的回路 .....	139
实践项目 2 减压阀及减压回路 .....	101	知识点 4 气液联动回路 .....	140
实践项目 3 顺序阀及顺序动作回路 .....	102	知识点 5 其他气动回路 .....	141
实践项目 4 快速运动回路 .....	103	【拓展知识点】 .....	143
实践项目 5 节流调速回路 .....	104	知识点 1 气动逻辑元件 .....	143
实践项目 6 PLC 控制的行程 顺序动作回路 .....	105	知识点 2 安全保护回路 .....	146
【综合训练】 .....	106	知识点 3 气动控制阀的常见 故障及其排除方法 .....	147
<b>第 6 单元 气源装置及气动   辅助元件</b> .....	109	【实践活动】 .....	148
【学习要求与方法】 .....	109	实践项目 1 气缸的直接控制 与间接控制 .....	148
【基本知识点】 .....	109	实践项目 2 气缸逻辑控制 .....	149
知识点 1 气源装置 .....	109	实践项目 3 采用双电控电磁阀的 连续往复回路 .....	150
知识点 2 气动辅助元件 .....	114	实践项目 4 多缸顺序动作回路 .....	151
【拓展知识点】 .....	117	实践项目 5 PLC 控制延时返 回的单往复回路 .....	152
知识点 1 空气压缩机的选用 .....	117	【综合训练】 .....	153
知识点 2 供气管路设计 .....	118	<b>第 9 单元 典型液压与   气压传动系统</b> .....	155
知识点 3 空气过滤器及油雾器的 常见故障及其排除方法 .....	120	【学习要求与方法】 .....	155
【实践活动】 .....	121	【基本知识点】 .....	155
实践项目 认识气源装置及 气动辅助元件 .....	121	知识点 1 动力滑台液压系统 .....	155
【综合训练】 .....	121	知识点 2 液压压力机液压系统 .....	157
<b>第 7 单元 气动执行元件</b> .....	123	知识点 3 气动机械手气动系统 .....	161
【学习要求与方法】 .....	123	知识点 4 数控加工中心气动换刀系统 .....	163
【基本知识点】 .....	123	【拓展知识点】 .....	164
知识点 1 气缸 .....	123	知识点 1 液压伺服系统简介 .....	164
知识点 2 气动马达 .....	127	知识点 2 液压 CAD 技术 .....	167
【拓展知识点】 .....	128	知识点 3 液压系统常见的 故障及其排除方法 .....	169
知识点 1 几种特殊气缸 .....	128		
知识点 2 气缸的常见故障及 其排除方法 .....	130		

【综合训练】 .....	170	附表3 泵、马达及缸 .....	174
<b>附录 常用液压气动图形符号</b>		附表4 方向控制阀 .....	175
(摘自 GB/T 786.1—1993) .....	172	附表5 压力控制阀 .....	176
附表1 符号要素、功能要素、 管路及连接 .....	172	附表6 流量控制阀 .....	177
附表2 控制方式和方法 .....	173	附表7 液压辅件和其他装置 .....	178
		<b>参考文献</b> .....	179

# 第1单元 液压传动与气压传动基础知识

## 学习要求与方法

液压与气压传动是机械设备中被广泛采用的传动方式之一。通过本单元的学习,认识液压与气压传动的工作原理、液压传动系统的组成;掌握液压传动系统中工作介质的选用原则、液压传动中压力和流量这两个重要参数;了解压力损失、液压与气动技术的发展应用等其他知识。学习时,注重理论联系实际,要与机械设计基础、工程力学及有关专业知识相联系,还要多观察一些液压与气压传动装置的工作情况,以获得必要的感性认识。

## 基本知识点

### 知识点1 液压与气压传动工作原理及系统组成

#### 1. 液压与气压传动工作原理

液压与气压传动知识广泛应用在我们的日常生活和生产工作中。看看以下几个实例。

想一想:你见到液压或气压传动应用实例还有哪些?

实例1:图1-1所示为人们常见的液压千斤顶原理图。它由手动液压泵和液压缸两部分构成。当手柄1向上时,带动小活塞3向上。因为左右两缸体形成封闭的连通空间,小活塞3向上时,活塞下腔密封容积增大,形成局部真空,单向阀4打开,单向

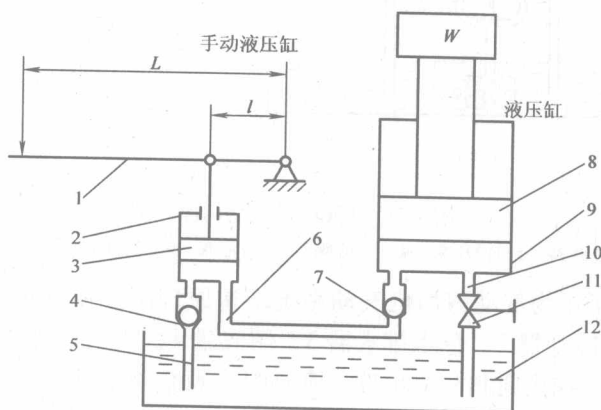


图 1-1 液压千斤顶原理图

- 1—手柄 2—小液压缸 3—小活塞 4、7—单向阀 5、6、10—管道  
8—大活塞 9—大液压缸 11—放油阀 12—油箱



阀7 闭合，在大气压作用下，油液从油箱 12 中吸入小液压缸 2。当手柄 1 向下时，活塞下腔密封容积减小，油压升高，单向阀 4 闭合，单向阀 7 打开，小液压缸 2 中的油液压入大液压缸 9。压入大液压缸 9 的油液将大活塞 8 顶起，并顶起重物。这样反复多次，即可完成把重物举起到一定的高度的任务。若打开放油阀 11 后，大液压缸 9 的油液经阀 11 流回油箱，重物就向下移动。

实例 2：图 1-2 所示为某液压系统结构原理图。当换向阀 6 阀心处于右端时，如图 1-2b 所示，液压泵 3 由电动机驱动旋转，从油箱 1 经过滤器 2 吸油，油液经节流阀 4、换向阀 6，压送至液压缸 7 的左腔，推动活塞向右运动。液压缸右腔的油液经换向阀 6，排回油箱。当换向阀 6 阀心处于左端时，如图 1-2c 所示，推动活塞向左运动。调节节流阀 4 的开口，可以控制流入液压缸的流量，从而调节活塞的运动速度。溢流阀 5 的作用是将液压泵 3 输出的多余油液经溢流阀 5 排回油箱，并使液压泵 2 的出口压力保持恒定。

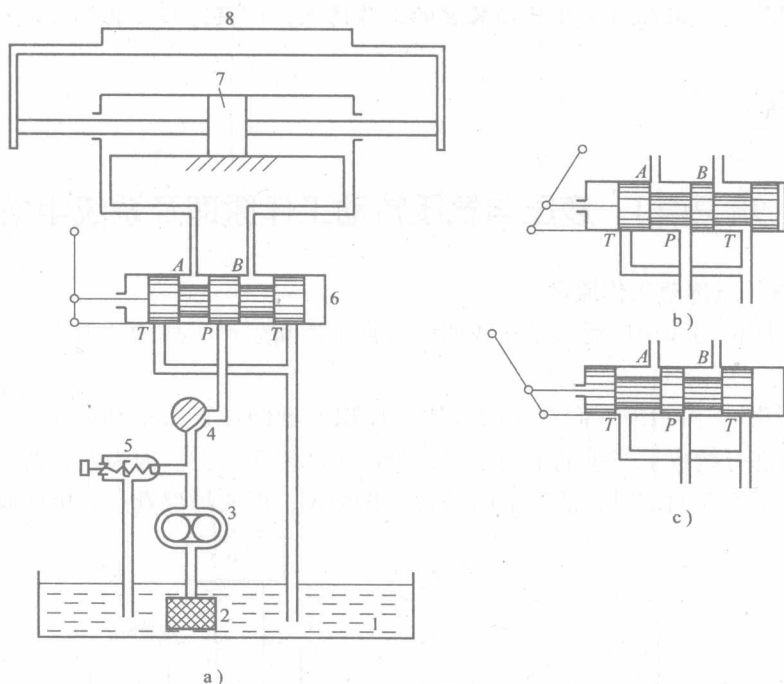


图 1-2 某液压系统结构原理图

1—油箱 2—过滤器 3—液压泵 4—节流阀 5—溢流阀 6—换向阀 7—液压缸 8—工作台

实例 3：图 1-3 所示为气动剪切机气动系统结构原理图。在图示状态下，空气压缩机 1 产生的压缩空气经后冷却器 2、分水排水器 3、储气罐 4、空气过滤器 5、减压阀 6、油雾器 7 等气源净化装置和气控换向阀 9（此时，换向阀 9 阀心被推到上位），进入气缸 10，气缸有杆腔充气，活塞处于下位，剪切机的剪口张开。当送料机构将工料 11 送入剪切机并达到规定位置时，工料将行程阀 8 的阀心推向右侧，换向阀 9 阀心下部与大气相通，阀心在弹簧作用下被推向下位，气缸 10 无杆腔通气，活塞上移，并带动剪刀快速向上运动，将工料剪切下来。工料剪切下来后，系统又恢复到图示位置，准备进行第二次剪切。

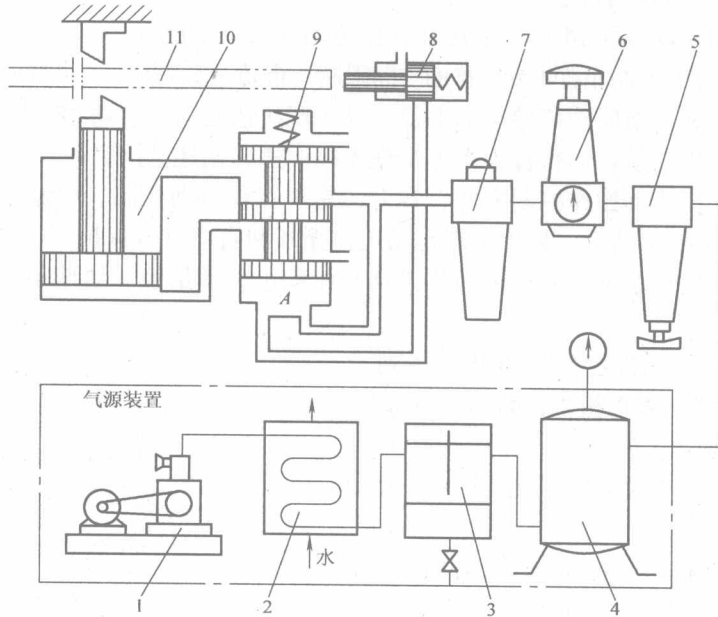


图 1-3 气动剪切机气动系统结构原理图

1—空气压缩机 2—后冷却器 3—分水排水器 4—储气罐 5—空气过滤器  
6—减压阀 7—油雾器 8—行程阀 9—换向阀 10—气缸 11—工件

综合上面几个实例，可以看出：液压与气压传动是以流体（液体或气体）为工作介质，进行能量传递和控制的一种传动形式。液压与气压传动系统实质上是一种能量转换装置，它由液压泵（或空气压缩机）将原动机的机械能转换为流体的压力能，再通过液压缸或液压马达（气缸或气压马达）将流体压力能转换成机械能，以驱动工作机构完成所要求的各种动作。

想一想：你还能说出其他传动方式吗？

## 2. 液压与气压传动系统的构成

液压与气压传动系统的构成及各部分作用见表 1-1。

表 1-1 液压与气压传动系统的构成及各部分作用

序号	组成	作用	主要元件
1	动力装置	把原动机输入的机械能转换成流体压力能	液压泵或空气压缩机
2	执行装置	把流体压力能转换成机械能	作直线运动的液压缸或气缸，以及作回转运动的液压马达或气马达
3	控制装置	对系统中流体的压力、流量和流动方向进行控制和调节	各种控制阀，如换向阀、溢流阀等
4	辅助装置	用以输送流体、贮存流体、净化流体、消除噪音等，保证系统可靠和稳定地工作	油箱、油管、过滤器、消声器等
5	工作介质	它是传递能量的流体	液压油或压缩空气

### 3. 液压与气压传动的优缺点

与机械和电力拖动系统相比，液压和气压传动具有以下优点：

- 1) 液压与气动元件的布置不受严格的空限制，布局、安装灵活，可构成复杂的系统。
- 2) 液压传动和气液联动传递运动平稳，易实现快速起动、制动和频繁换向。
- 3) 液压和气压传动在运行过程中可实现无级调速，调速范围大。
- 4) 液压和气压传动操作控制方便、省力，易于实现自动控制、中远距离控制和过载保护。与电气、电子控制结合，易于实现自动工作循环和自动过载保护。
- 5) 在同等输出功率下，液压传动装置具有体积小、重量轻、惯性小、动态性能好等特点。

6) 液压与气动元件已经标准化、系列化和通用化，有利于缩短机器的设计、制造周期和降低制造成本。

液压与气压传动同时也存在着以下缺点：

- 1) 在传动过程中，能量需经过两次转换，会产生损耗，传动效率低。
- 2) 由于传动介质的可压缩性和泄漏等因素的影响，其传动比不能保证严格准确。
- 3) 液压传动的工作介质对温度的变化比较敏感，其工作稳定性易受温度变化的影响，不宜在高温和温度变化很大的环境中工作。
- 4) 液压与气动元件制造精度高，系统出现故障时不易诊断。

### 4. 图形符号

结构原理图具有直观性好、容易理解的优点，但它图形复杂，绘制困难。为了简化操作，目前各国均采用元件的图形符号来绘制液压和气压传动系统图。这些图形符号只表示元件的职能及连接通路，而不表示其结构和性能参数。目前，我国液压与气压传动系统图采用 GB/T 786.1—1993 所规定的图形符号绘制。图 1-2 所示的液压系统结构原理可用图形符号表示成如图 1-4 所示的简化图。

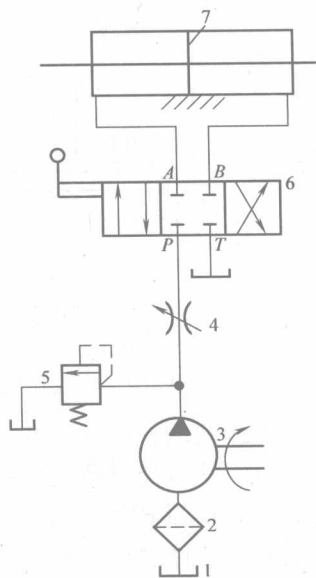


图 1-4 用图形符号表示的液压传动系统原理图  
1—油箱 2—过滤器 3—液压泵 4—节流阀  
5—溢流阀 6—换向阀 7—液压缸

## 知识点 2 液压油的物理性质

### 1. 密度与重度

单位体积液体的质量称为密度，用  $\rho$  表示，即

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

常用液压油的密度为  $850 \sim 950 \text{kg/m}^3$ 。

单位体积液体的重量称为重度，用  $\gamma$  表示，即

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1-2)$$

常用液压油的重度为  $8400 \sim 9500 \text{ N/m}^3$ ，因  $G = mg$ ，所以  $\gamma = G/V = \rho g$

两式中  $\rho$ ——液体的密度，单位为  $\text{kg/m}^3$ ；

$m$ ——液体的质量，单位为  $\text{kg}$ ；

$V$ ——液体的体积，单位为  $\text{m}^3$ ；

$G$ ——液体的重量，单位为  $\text{N}$ ；

$g$ ——重力加速度，单位为  $\text{m}^2/\text{s}^2$ 。

液压油在工作过程中，当工作压力和温度发生变化时，其密度和重度也会随之变化。密度和重度两者均随压力的增大而增大，随温度的升高而减小。因其变化量很小，常近似为常数。

## 2. 粘性与粘度

(1) 粘性 在日常生活中我们都有这样体验：将手从液体中取出时，手上总是粘了一层液体。究其原因是当液体在外力作用下流动时，由液体分子间的内聚力（液体内部分子之间引力的作用效果）而产生一种阻碍液体分子之间进行相对运动的内摩擦力。液体的这种产生内摩擦力的性质称为液体的粘性。图 1-5 所示为在两块平板间充满液体，上平板以速度  $u_0$  向右运动，下平板固定不动。紧贴上平板的一层液体粘附在上平板上，也以相同的速度与上平板一起向右运动。紧贴在下平板上一层液体，粘附在下平板上静止不动。当两平板之间的距离很小时，液体内部各层运动速度呈线性分布。实验测定表明，液体流动时相邻液层的内摩擦力  $F$  与液层面积  $A$ 、液层间相对运动速度梯度  $du/dy$  成正比，即

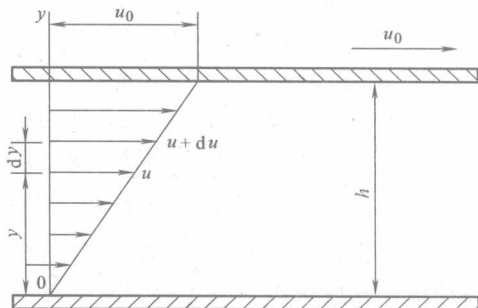


图 1-5 液体的粘性示意图

$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1-3)$$

式中  $\mu$ ——比例系数，称为动力粘度。

当  $du/dy = 0$  时，内摩擦力  $F = 0$ 。这表明液体只有在流动时才会呈现粘性，静止状态的液体是不呈现粘性的。

(2) 粘度 粘度是用来衡量粘性的大小尺度。粘度是选择液压传动用液体的主要指标，是影响液体流动的重要物理性质。液体的粘度通常有三种不同的测试单位。

1) 动力粘度  $\mu$ 。它是表征液体粘性的内摩擦力系数，其物理意义是当速度梯度  $du/dy = 1$  时，单位面积上的内摩擦力的大小，即

$$\mu = \frac{F/A}{du/dy} \quad (1-4)$$

动力粘度的国际 (SI) 计量单位为牛顿·秒/米<sup>2</sup> ( $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ )，或为帕·秒 ( $\text{Pa} \cdot \text{s}$ )。

2) 运动粘度  $\nu$ 。它是动力粘度  $\mu$  与密度  $\rho$  的比值，即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-5)$$

在我国法定计量单位制及国际 (SI) 制中, 运动粘度  $\nu$  单位为  $\text{m}^2/\text{s}$ , 由于该单位偏大, 实际上常用  $\text{cm}^2/\text{s}$  或  $\text{mm}^2/\text{s}$ , 它们之间的关系为

$$1\text{m}^2/\text{s} = 10^4\text{mm}^2/\text{s} = 10^6\text{cm}^2/\text{s} \quad (1-6)$$

运动粘度  $\nu$  没有什么明确的物理意义, 它不能像  $\mu$  一样直接表示液体的粘性大小, 但对  $\rho$  值相近的流体, 例如各种石油型液压油之间, 还是可以用来大致比较它们的粘性。液压油的牌号上所标明的号数就是该油液在温度  $40^\circ\text{C}$  时, 运动粘度  $\nu$  (以  $\text{cSt} (\text{mm}^2/\text{s})$  为单位) 的中心值。例如牌号为 L-HL32 的液压油, 表明该液压油在  $40^\circ\text{C}$  时其运动粘度  $\nu$  的平均值是  $32\text{cSt} (\text{mm}^2/\text{s})$ 。

3) 相对粘度。它是以相对于蒸馏水粘性的大小来表示液体的粘性。相对粘度又称条件粘度。各国采用的相对粘度单位有所不同, 有的用赛氏粘度, 有的用雷氏粘度, 我国采用恩氏粘度。恩氏粘度的测定方法如下: 测定  $200\text{cm}^3$  某一温度的被测液体在自重作用下流过直径  $\phi = 2.8\text{mm}$  小孔所需的时间  $t_1$ , 然后测出相同体积的蒸馏水在  $20^\circ\text{C}$  时流过同一小孔所需时间  $t_2$  ( $t_2 = 50 \sim 52\text{s}$ ),  $t_1$  与  $t_2$  的比值即为该液体的恩氏粘度值。恩氏粘度用符号  $^\circ E$  表示。被测液体温度  $t^\circ\text{C}$  时的恩氏粘度用符号  $^\circ E_t$  表示。

$$^\circ E_t = \frac{t_1}{t_2} \quad (1-7)$$

知道恩氏粘度以后, 利用下列的经验公式, 可以将恩氏粘度换算成运动粘度。

$$\nu = (8^\circ E - 8.64/^\circ E_t) \times 10^{-6} \quad 1.35 \leq ^\circ E_t \leq 3.2 \quad (1-8)$$

$$\nu = (7.6^\circ E - 4/^\circ E_t) \times 10^{-6} \quad ^\circ E_t \geq 3.2 \quad (1-9)$$

为了得到合适粘度液体, 有时采用将两种不同粘度的液体按一定比例混合的方法, 混合后的液体粘度可按下列经验公式计算。

$$^\circ E = [a^\circ E_1 + b^\circ E_2 - c(^\circ E_1 - ^\circ E_2)]/100 \quad (1-10)$$

式中  $^\circ E$ ——混合液体的恩氏粘度;

$^\circ E_1, ^\circ E_2$ ——用于混合的两种油液的恩氏粘度,  $^\circ E_1 > ^\circ E_2$ ;

$a, b$ ——用于混合的两种液体  $^\circ E_1, ^\circ E_2$  各占的百分数,  $a + b = 100$ ;

$c$ ——与  $a, b$  有关的实验系数, 见表 1-2。

表 1-2 系数  $c$  的值

$a/\%$	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$b/\%$	90	80	70	60	50	40	30	20	10
$c$	6.7	13.1	17.9	22.1	25.5	27.9	28.2	25	17

(3) 粘度与温度压力关系 当温度和压力发生变化时, 液体粘度将随之变化。当压力增加时, 液体分子间的距离缩小, 其粘度增加。在一般情况下, 压力对粘度的影响比较小, 当压力低于  $5\text{MPa}$  时, 粘度值的变化很小, 可以忽略不计。

想一想: 粘度与温度的关系, 你有这样体验吗?

液体粘度对温度十分敏感, 温度略有升高, 粘度即显著降低。这种液体粘度随温度变化

而变化的特性称为粘温特性。由于温度对液压油粘度影响较大，因此，粘温特性的重要性不亚于粘度本身。

### 知识点3 空气的性质

#### 1. 空气的粘度

空气的粘度是空气质点相对运动时产生阻力的性质。空气粘度的变化只受温度变化影响，且随温度的升高而增大。这主要是由于温度升高后，空气内分子运动加剧，使原本间距较大的分子之间碰撞增多的缘故。显然，温度变化引起液体粘度和空气粘度的变化方向正好相反。压力的变化对空气粘度的影响很小，可以忽略不计。

#### 2. 空气的湿度

自然界中的空气是由若干气体混合而成，其主要成分是氮气、氧气和二氧化碳，其他气体所占比例很小。此外，空气中常含有一定的水蒸气，通常把含有水蒸气的空气称为湿空气，不含有水蒸气的空气称为干空气。当湿空气中有水分析出时，该湿空气称为饱和湿空气。空气中含有水分的多少对系统的稳定性有直接影响，因此各种气动元件对允许含水量有明确规定，并且常采取一些措施防止水分进入。

湿空气中所含水分的程度通常用湿度来表示，湿度的表示方法有绝对湿度和相对湿度之分。绝对湿度是指每立方米湿空气中所含水蒸气的质量，用公式表示为

$$x = \frac{m_s}{V} \quad (1-11)$$

式中  $x$ ——绝对湿度，单位为  $\text{kg}/\text{m}^3$ ；

$m_s$ ——水蒸气的质量，单位为  $\text{kg}$ ；

$V$ ——空气的体积，单位为  $\text{m}^3$ 。

相对湿度是指在某温度和总压力不变的条件下，其绝对湿度和饱和绝对湿度（饱和湿空气的绝对湿度）之比，用公式表示为

$$\varphi = \frac{x}{x_b} \times 100\% \quad (1-12)$$

式中  $\varphi$ ——相对湿度；

$x_b$ ——饱和绝对湿度，单位为  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

显然，当  $\varphi = 0$  时，表示干空气；当  $\varphi = 1$  时，表示饱和湿空气。通常情况下，空气的相对湿度在 60% ~ 70% 范围内，人体感觉比较舒适，气动技术中规定各种阀的相对湿度应小于 95%。

#### 3. 空气的可压缩性

由于气体分子间的距离大，分子间的内聚力小，体积容易变化，与液体相比具有明显的可压缩性。温度越高，压力越大，空气的可压缩性越大。在实际工程中，管路内气体流速较低（平均速度  $v \leq 50\text{m/s}$ ），温度变化不大时，气体压缩性并不明显，可将其看作是“不可压缩的”，然而在某些气动元件（如气缸、气马达）中，局部流速很高（ $v > 50\text{m/s}$ ），气体的可压缩性将逐渐明显，则必须考虑气体的可压缩性。

## 知识点4 液压传动系统工作介质的选用

### 1. 液压传动系统对工作介质的要求

不同的工作机械、不同的使用情况对液压传动工作介质的要求有很大不同。为了很好地传递运动和动力，液压传动系统对工作介质有以下要求：

- 1) 适宜的粘度和良好的粘温特性，一般液压系统所用工作介质粘度范围为： $\nu = (15 \sim 68) \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ 。
- 2) 润滑性能好。
- 3) 化学稳定性好。
- 4) 对金属材料具有防锈性和防腐性。
- 5) 比热、热传导率大，热膨胀系数小。
- 6) 抗泡沫性好，抗乳化性好。
- 7) 质地纯净，含杂质量少。
- 8) 流动点和凝固点低，闪点和燃点高。
- 9) 对人体无害，价格便宜。

### 2. 工作介质的分类

液压系统工作介质主要有石油型、乳化型和合成型三类，其特性及应用见表1-3。

表 1-3 液压系统工作介质分类

分类	名称	代号	组成及特性	应用
石油型	精制矿物油	L-HH	无抗氧化剂	循环润滑油，低压液压系统
	普通液压油	L-HL	HH油，并改善其防锈和抗氧化性	一般液压系统
	抗磨液压油	L-HM	HL油，并改善其抗磨性	低、中、高压液压系统，特别适合于有防磨要求带叶片泵的液压系统
	低温液压油	L-HV	HM油，并改善其粘温特性	能在 $-40 \sim -20^\circ\text{C}$ 的低温环境中工作，用于户外工作的工程机械和船用设备的液压系统
	高粘度指数液压油	L-HR	HL油，并改善其粘温特性	粘温特性优于L-HV油，用于数控机床液压系统和伺服系统
	液压导轨油	L-HG	HM油，并具有粘-滑特性	适用于导轨和液压系统共用一种油品的机床，对导轨有良好的润滑性和防爬性
	其他液压油		加入多种添加剂	用于高品质的专用液压系统
乳化型	水包油乳化液	L-HFAE	需要难燃液の場合	
	油包水乳化液	L-HFB		
合成型	水-乙二醇液	L-HFC		
	磷酸脂液	L-HFDR		

液压系统工作介质的品种以其代号和后面的数字组成,代号中L是石油产品的总分类号“润滑剂和有关产品”,H表示液压系统用的工作介质,数字表示为该工作介质的某个粘度等级。石油型液压油是最常用的液压系统工作介质。

### 3. 工作介质的选用

正确而合理地选用工作介质,是保证液压设备高效率正常运转的前提。

选用工作介质时,可根据液压元件生产厂样本和说明书中所推荐的品种牌号来选用工作介质,或者根据液压系统的工作压力、工作温度、液压元件种类及经济性等因素全面考虑。一般是先确定适用的粘度范围,液压系统的工作介质粘度一般在  $(10 \sim 60) \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  之间,再选择合适的工作介质品种。同时还要考虑液压系统工作条件的特殊要求,如同服系统则要求工作介质质纯、压缩性小。

在选用工作介质时,粘度是一个重要的参数。粘度的高低将影响运动部件的润滑、缝隙的泄漏以及流动时的摩擦损失、系统的发热温升等。所以,在环境温度较高,工作压力高或运动速度较低时,为减少泄漏,应选用粘度较高的工作介质;反之,若为了减少摩擦损失,应选用粘度较低的工作介质。

## 知识点5 压力与流量

### 1. 压力

(1) 液体静压力及特性 所谓静压力是指静止液体单位面积上所受的法向力,用  $p$  表示。若法向力(用  $F$  表示)均匀地作用在面积  $A$  上,则静压力表示为

$$p = \frac{F}{A} \quad (1-13)$$

式中  $A$ ——液体有效作用面积,单位为  $\text{m}^2$ ;

$F$ ——液体有效作用面积  $A$  上所受的法向力,单位为  $\text{N}$ 。

压力的国际(SI)计量单位为  $\text{N}/\text{m}^2$  或  $\text{Pa}$ ,  $1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$ 。由于此单位很小,工程上使用不便,因此常采用它的倍单位兆帕,符号为  $\text{MPa}$ ,  $1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}$ 。

液体静压力具有以下两个重要特征:

- 1) 液体静压力垂直于作用面,其方向与该面的内法线方向一致。
- 2) 静止液体中,任何一点所受到的各方向的静压力都相等。

(2) 液体静力学基本方程 静止液体内部受力情况可用图 1-6a 来说明。

假设容器中装满液体,在任意一点  $A$  处取一微小面积  $dA$ ,该点距液面深度为  $h$ 。为了求得任意一点  $A$  的压力,可取  $h \cdot dA$  这个液柱为分离体,如图 1-6b 所示。根据静压力的特性,作用于这个液柱上的力在各个方向都平衡,现求各作用力在  $Z$  方向的平衡方程。微小液柱顶面上的作用力为  $p_0 dA$  (方向向下),液柱本身的重力  $G =$

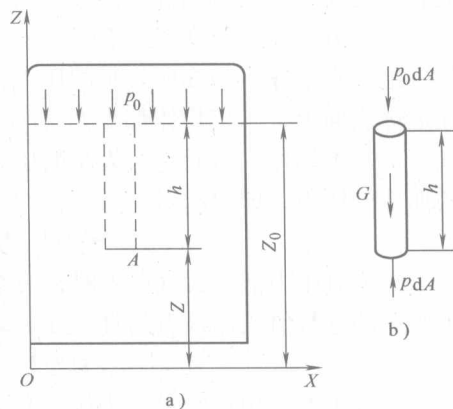


图 1-6 静压力的分布规律



$\rho gh dA$  (方向向下), 液柱底面对液柱的作用力为  $p dA$  (方向向上), 则平衡方程为

$$p dA = p_0 dA + \rho gh dA \quad (1-14)$$

故

$$p = p_0 + \rho gh \quad (1-15)$$

分析式 (1-15) 可知:

1) 静止液体中任一点的压力均由两部分组成, 即液面上的表面压力  $p_0$  和液体自重而引起的对该点的压力  $\rho gh$ 。

2) 静止液体内的压力随液体距液面的深度变化呈线性规律分布, 且在同一深度上各点的压力相等, 压力相等的所有点组成的面为等压面。很显然, 在重力作用下, 静止液体的等压面为一个平面。

3) 在液压传动系统中, 通常作用在液面上的压力  $p_0$  要比液体自重所产生的压力  $\rho gh$  大得多。因此可把  $\rho gh$  项略去, 而认为静止液体内部各点的压力处处相等。

4) 可通过以下三种方式使液面产生压力  $p_0$ :

- ① 通过固体壁面 (如活塞) 使液面产生压力;
- ② 通过气体使液面产生压力;
- ③ 通过不同质的液体使液面产生压力。

静力学基本方程另一种形式为

$$\frac{p}{\rho g} + Z = \frac{p_0}{\rho g} + Z_0 = \text{常量} \quad (1-16)$$

式中  $p$ ——任一点 A 的压力, 单位为 Pa;

$Z$ ——任一点 A 距坐标原点高度, 单位为 m;

$Z_0$ ——容器液平面距坐标原点高度, 单位为 m;

$p_0$ ——容器液平面上的压力, 单位为 Pa。

$Z$  表示单位质量液体的位能, 常称作位置水头,  $p/\rho g$  表示单位质量液体的压力能, 常称为压力水头。因此, 静力学基本方程的物理意义为静止液体中任一点都有单位质量液体的位能和压力能, 即具有两部分能量, 而且各点的总能量之和为一常量。

(3) 压力的表示方法 液体压力通常有绝对压力和相对压力两种表示方法。绝对压力是以绝对真空作为基准所表示的压力, 相对压力是以大气压力作为基准所表示的压力。因为在地球表面上, 一切物体都受大气压力的作用, 而且是自成平衡的, 即大多数测压仪表在大气压下并不动作, 这时它所表示的压力值为零, 因此, 用压力表测出的压力是高于大气压力的那部分压力, 即为相对压力, 也称表压力。绝对压力与相对压力关系为

$$\text{绝对压力} = \text{相对压力} + \text{大气压力}$$

当绝对压力低于大气压力时, 习惯上称为出现真空。因此, 某点的绝对压力比大气压力小的那部分数值叫作该点的真空度, 即

$$\text{真空度} = \text{大气压力} - \text{绝对压力}$$

绝对压力、相对压力 (表压力) 和真空度的关系如图 1-7 所示。

(4) 压力的传递 在密封容器中, 施加于静止液体任一点的压力将以等值传递到液体各点, 这就是帕斯卡原理, 或称静压传递原理。

根据帕斯卡原理和静压力的特性, 液压传动不仅可以进行力的传递, 而且还能将力放大和改变力的方向。图 1-8 所示是应用帕斯卡原理推导压力与负载关系的实例。图中左侧大液