

高职高专机电类  
工学结合模式教材

# 液压与气动技术

孟庆云 主编



清华大学出版社

高职高专机电类  
工学结合模式教材

# 液压与气动技术

孟庆云 主编

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书针对高等职业技术教育要求,结合液压与气动新技术背景,系统地介绍了液压与气压传动的工作原理、结构特点、使用维护等内容。全书以项目为主导,共分为10个课题。课题1和课题2介绍液压与气压传动的基础知识,即液压与气压传动的基本概念及应用,以及液压流体力学的基础知识;课题3~6分别介绍液压动力元件、执行元件、控制元件及辅助元件;课题7介绍液压基本回路;课题8介绍典型液压系统;课题9和课题10分别讲述气压传动基础知识、气源装置与气动辅助元件、气动执行元件、气动控制元件和气动基本回路。

在课题与项目编排上,本书力求简明扼要,深入浅出,并配备大量图表。为便于学生加深理解和巩固所学内容,在每个课题后面附有相应的实训项目和习题。

本书可作为高职高专和高级技校等院校机械与机电类专业以及相关专业的教学用书,也可作为中职、中专和中级技校等院校机械与机电类专业的教学用书,还可以作为企业生产技术人员培训、学习和参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

液压与气动技术/孟庆云主编.--北京:清华大学出版社,2015

高职高专机电类工学结合模式教材

ISBN 978-7-302-39223-1

I. ①液… II. ①孟… III. ①液压传动—高等职业教育—教材 ②气压传动—高等职业教育—教材  
IV. ①TH137 ②TH138

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第024207号

责任编辑:王剑乔

封面设计:傅瑞学

责任校对:刘静

责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795764

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:10.5 字 数:263千字

版 次:2015年6月第1版 印 次:2015年6月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:22.00元



课程建设是提高教学质量的核心,也是教学改革的重点和难点。教材的改革是课程改革的重中之重。为贯彻教育部教学改革的重要精神,配合职业院校教学改革和教材建设,编者根据多年教学经验和为企业员工培训的经验,以高职高专机电专业人才培养模式为依托,通过对学生就业岗位分析,以技能提高为侧重点,将液压与气动技术课程内容划分为不同的课题。课题的选取以实训项目为核心,以提高学生动手能力为主线,注重在实训中渗透教学内容,实现“教学做一体化”。

本书在编写过程中,以职业岗位能力要求为出发点,力求理论联系实际,突出理论知识的应用。坚持理论以定性为主,定量为辅,定量为定性服务的原则;坚持以实践应用为主,理论为辅,理论为实践服务的原则,在介绍液压与气压传动基本理论的同时,重点分析各类元件、回路的工作原理、结构特点、使用场合及应用方法。

本书具有以下特点:

(1) 按照学习的一般规律编写教材内容,由浅入深、循序渐进。围绕实训项目,抽丝剥茧,将课题内容有序整理。

(2) 根据课题内容设置相对应的实训项目,将课题内容融入实训项目过程,便于实现“理实一体”授课。在核心课题的章节,实训项目多样化,供教师根据具体学时和授课情况来选择。

(3) 每个课题后提供题型多样的习题,便于学生巩固所学知识,利于学生课后总结、提高。

(4) 在全面介绍液压与气动技术的基础上,兼顾新技术发展和液压与气动技术的工程实际,在内容上完善、补充。

全书共10个课题。课题1和课题2介绍液压与气压传动的基础知识,即液压与气压传动的基本概念、应用和液压流体力学的基础知识;课题3~6分别介绍液压动力元件、执行元件、控制元件及辅助元件;课题7介绍液压基本回路;课题8介绍典型液压系统;课题9和课题10分别讲述气压传动基础知识、气源装置与气动辅助元件、气动执行元件、气动控制元件和气动基本回路。

本书在课题与项目的编排上,力求简明扼要,深入浅出,并配备大量图表。每个课题都附有实训项目和习题,并根据内容设置为填空题、判断题、问答题、计算题和分析题等题型。

本书由孟庆云主编。费兰英参与了本书的前期策划及部分内容的整理工

作。本书在编写过程中得到了许多合作企业的工程师和液压气动元件厂家的热心支持与帮助,他们在本书内容提升和与工程实践相结合方面提供了很多有益的建议。在此表示感谢。

由于编者水平有限,且编写时间紧迫,书中难免存在不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2015年3月



# 目 录

## CONTENTS

<b>课题 1 液压与气压传动导入</b> .....	1
项目 1 液压传动概述 .....	1
项目 2 液压传动的工作原理及其组成 .....	2
项目 3 液压传动的优、缺点 .....	4
项目 4 液压实训安全教育 .....	4
实训 1 液压回路现场演示 .....	5
习题 .....	5
<b>课题 2 液压传动基础</b> .....	6
项目 1 液压油 .....	6
项目 2 液体静力学 .....	8
项目 3 液体动力学 .....	10
项目 4 管道内压力损失的计算 .....	13
项目 5 孔口和缝隙的流量 .....	15
项目 6 液压冲击及空穴现象 .....	16
实训 2 液压系统中工作压力形成的原理 .....	17
习题 .....	18
<b>课题 3 液压动力元件</b> .....	19
项目 1 液压泵的概述 .....	19
项目 2 齿轮泵 .....	22
项目 3 叶片泵 .....	25
项目 4 柱塞泵 .....	28
项目 5 液压泵的选用 .....	31
实训 3 液压泵拆装 .....	32
习题 .....	32
<b>课题 4 液压执行元件</b> .....	34
项目 1 液压马达 .....	34
项目 2 液压缸 .....	35
实训 4 液压缸拆装 .....	41
习题 .....	41

<b>课题 5 液压控制元件</b> .....	43
项目 1 概述 .....	43
项目 2 方向控制阀 .....	44
项目 3 压力控制阀 .....	50
项目 4 流量控制阀 .....	57
实训 5 液压阀拆装 .....	62
习题 .....	62
<b>课题 6 辅助元件</b> .....	65
项目 1 蓄能器 .....	65
项目 2 过滤器 .....	67
项目 3 油箱 .....	69
项目 4 热交换器 .....	70
项目 5 管件 .....	72
项目 6 密封装置 .....	74
项目 7 压力表 .....	75
实训 6 液压回路辅助元件识别 .....	76
习题 .....	76
<b>课题 7 液压基本回路</b> .....	77
项目 1 方向控制回路 .....	77
项目 2 速度控制回路 .....	78
项目 3 压力控制回路 .....	88
项目 4 多缸动作回路 .....	93
实训 7-1 速度控制回路(节流调速回路) .....	97
实训 7-2 速度控制回路(速度换接回路) .....	98
实训 7-3 多缸动作回路 .....	99
习题 .....	99
<b>课题 8 典型液压系统</b> .....	103
项目 1 组合机床液压系统 .....	103
项目 2 液压机液压系统 .....	105
项目 3 汽车起重机液压系统 .....	108
项目 4 M1432A 型万能外圆磨床液压系统 .....	110
实训 8 工程液压回路分析 .....	114
习题 .....	115
<b>课题 9 气压传动概述与气动元件</b> .....	116
项目 1 气压传动概述 .....	116

项目 2 气源装置及辅件 .....	119
项目 3 气动执行元件 .....	123
项目 4 气动控制元件 .....	127
实训 9 气动元件拆装 .....	139
习题 .....	139
<b>课题 10 气动回路及气动系统 .....</b>	<b>141</b>
项目 1 气动基本回路 .....	141
项目 2 气动系统实例 .....	146
实训 10-1 气动速度控制回路 .....	149
实训 10-2 常用气动回路 .....	150
习题 .....	151
<b>附录 常用液压与气动元件图形符号(GB/T 786.1—1993) .....</b>	<b>153</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>158</b>



# 液压与气压传动导入

## 项目 1 液压传动概述

任何能源与执行机构之间都需要经过传动装置。液压传动和气压传动与传统的机械传动和电气传动一样,是一门传动技术,它具有许多突出的优点,广泛用于机械、工程、冶金、航空、运输等领域。

常见的传动方式有如下几种。

(1) 机械传动:通过齿轮、齿条、蜗轮、蜗杆等机件直接把动力传送到执行机构的传递方式。机械传动简单、直接、可靠、效率高,但不易调节控制,难以实现自动化。

(2) 电气传动:利用电力设备,通过调节电参数来传递或控制动力的传动方式。电气传动以电机为主,多应用于回转运动。电气传动快速、控制敏捷、可靠、精度高,但不能过载,难以实现无级变速和在低速或静态下的大负荷驱动。

(3) 流体传动:分为液体传动和气体传动。液体传动以液压油作为工作介质,利用液体的压力能传递动力。气体传动以压缩空气作为工作介质,利用气体压力能传递动力。

由于液压传动与气压传动原理相似,本书先以液压传动为主要研究对象,介绍两种流体传动方式。

第一个利用液压原理的是英国人约瑟夫·布拉曼(Joseph Braman, 1749—1814),他于1795年在伦敦用水作为工作介质,制造出世界上第一台水压机,将其应用于工业上。1905年,他将工作介质——水改为油,使工作效果进一步改善。

我国的液压工业开始于20世纪50年代,液压元件最初应用于机床和锻压设备,60年代,液压工业获得较大发展,液压设备渗透到各个工业部门,在机床、工程机械、冶金、农业机械、汽车、船舶、航空、石油以及军工领域普遍应用。当前,液压技术向高压、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,新元件的应用、系统计算机辅助设计、计算机仿真和优化、微机控制等研发工作取得了显著成果。

液压技术在我国最初应用于机床和锻压设备上,后来用于拖拉机和工程机械。现在,通过从国外引进液压元件、生产技术,加上自行设计,我国的液压元件已形成系列,并在各种机械设备上广泛使用。

## 项目 2 液压传动的工作原理及其组成

### 1. 液压传动的工作原理

下面以液压千斤顶为例,说明液压传动的工作原理。

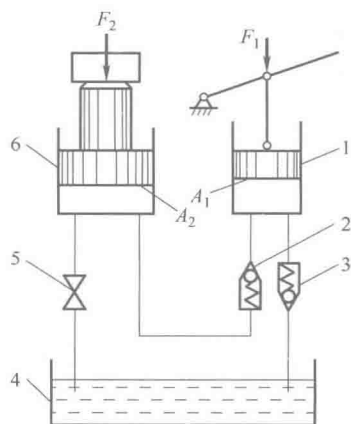


图 1-1 液压千斤顶

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

液压千斤顶由大、小两个液压缸,油箱,两个单向阀,阀门以及它们之间的连接管道构成封闭的油路装置,其内充满液体,如图 1-1 所示。

#### 1) 截止阀 5 关闭时

提起手柄,小液压缸 1 活塞向上移动,其工作容积增加,形成真空;油箱 4 里面的油液在大气压力的作用下,顶开吸油单向阀 3 进入小液压缸 1。压下手柄,小液压缸 1 的活塞向下移动,挤压下面的液体,吸油单向阀 3 自行关闭(单向阀的作用正如其图形符号所示,只能使油液单方向通过);这部分油液压力升高,顶开另一个排油单向阀 2,油液进入大液压缸 6,推动大活塞,从而顶起重物。再提起手柄,排油单向阀 2 反向不通,阻止大液压缸 6 内的压力油倒流入小液压缸 1,以保证重物不致自动落下。多次重复此过程,重物被抬起。

#### 2) 截止阀 5 打开时

大液压缸 6 腔内的油液经截止阀 5 流回油箱,重物作用于大活塞,使其下移,千斤顶处于复位状态。反复打开、关闭截止阀 5,上、下提压手柄,实现重物的上升和下降。

通过对液压千斤顶工作过程的分析,可以初步了解液压传动的基本工作原理:液压传动利用有压力的油液作为传递动力的工作介质。压下杠杆时,小液压缸 1 输出压力油,将机械能转换成油液的压力能;压力油经过管道及排油单向阀 2,推动大液压缸 6 举起重物,将油液的压力能转换成机械能。大液压缸 6 举升的速度取决于单位时间内流入大液压缸中油容积的多少。由此可见,液压传动是利用液体压力能传递动力的一种传动方式,是机械能不断转换的过程。

### 2. 液压传动系统的组成

液压千斤顶是一种简单的液压传动装置。下面分析一种驱动工作台的液压传动系统。

如图 1-2 所示,该系统由油箱、滤油器、液压泵、溢流阀、开停阀、节流阀、换向阀、液压缸以及连接这些元件的油管、接头组成。其工作原理如下: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 1-2(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,液压缸右腔的油经换向阀和回油管 6 排回油箱。

如果将换向阀手柄转换成如图 1-2(b) 所示状态,压力管中的油将经过开停阀、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,工作台的移动速度增大;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。

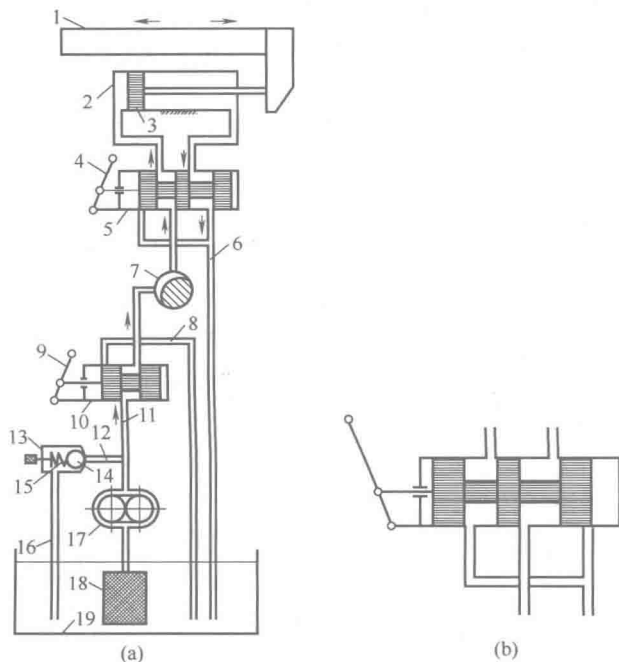


图 1-2 机床工作台液压系统工作原理图

- 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—液泵；18—滤油器；19—油箱

从机床工作台液压系统的工作过程可以看出，一个完整的、能够正常工作的液压系统，应该由以下 5 个主要部分组成。

(1) 动力元件：把原动机的机械能转换成液体压力能的转换元件。最常见的形式是液压泵。它是液压系统的能源，为液压系统提供压力油。

(2) 执行元件：把液体的液压能转换成机械能的转换元件。它可以是液压缸（实现直线运动），也可以是液压马达（实现回转运动）。

(3) 控制元件：对液压系统中油液的压力、流量或流动方向进行控制或调节的元件，例如各种液压阀（溢流阀、节流阀和换向阀等）。

(4) 辅助元件：上述三部分之外的其他元件。例如油箱、管道、滤油器、压力表等元件，在系统中起储存油液、连接、滤油、测量等作用，对保证系统正常工作也具有重要作用。

(5) 工作介质：传递能量的流体，即液压油。

图 1-2 所示是液压系统的一种半结构式的工作原理图。它比较直观，容易理解，但图形复杂，难以绘制。我国制定了相关标准，要求以规定的图形符

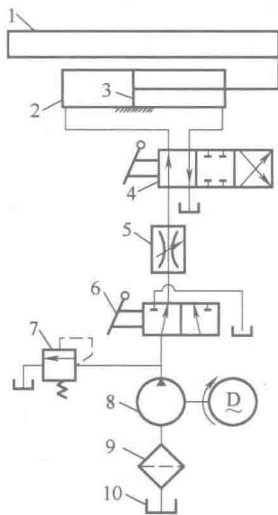


图 1-3 机床工作台液压系统的图形符号图

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

号来表示液压原理图中的元件和连接管路。使用这些图形符号,能够简单、明了地描述液压系统,且便于绘图,如图 1-3 所示。

### 项目 3 液压传动的优、缺点

液压传动之所以应用广泛,在于它具有下述优点。

(1) 液压传动装置重量轻,结构紧凑,惯性小。例如,相同功率液压马达的体积为电动机的 12%~13%;液压泵和液压马达单位功率的重量指标,目前是发电机和电动机的 1/10;液压泵和液压马达可小至 0.0025N/W(牛/瓦),发电机和电动机约为 0.03N/W。

(2) 可在大范围内实现无级调速。借助阀或变量泵、变量马达,可以实现无级调速,调速范围达 1:2000,并可在液压装置运行的过程中调速。

(3) 传递运动均匀、平稳;负载变化时,速度较稳定。正因为有此特点,金属切削机床中的磨床传动现在几乎都采用液压传动。

(4) 液压装置易于实现过载保护。借助于设置溢流阀等,液压元件能自行润滑,因此使用寿命长。

(5) 液压传动容易实现自动化。借助于各种控制阀,特别是液压控制和电气控制相结合,很容易实现复杂的自动工作循环、顺序动作和远程控制。

(6) 液压元件已实现标准化、系列化和通用化,所以液压系统的设计、制造和使用都比较方便。

(7) 液压元件的布置不受严格的位置限制,可依据机器需要,实现各部分连接,布局灵活,安装方便。

与其他传动方式一样,液压传动也有缺点,如下所述。

(1) 液压传动不能保证严格的传动比。这是由液压油的可压缩性和泄漏等因素造成的。

(2) 液压传动对油温的变化比较敏感。温度变化时,液体黏性变化,引起运动特性变化,使得工作的稳定性受到影响,所以它不宜在温度变化很大的环境条件下工作。

(3) 为了减少泄漏以及满足某些性能上的要求,液压元件要求有较高的加工精度,从而成本较高。

(4) 液压系统发生故障时,不易检查和排除。

总之,液压传动的优点是主要的,随着设计制造和使用水平不断提高,有些缺点在逐步克服,因此液压传动有着广泛的发展前景。

### 项目 4 液压实训安全教育

#### 1. 着装要求

进入实验室前,要穿戴好工作服及绝缘鞋。女同学要整理好头发,否则不允许参加实践培训。

#### 2. 操作注意事项

(1) 工作前,先检查液压系统油箱油位、泵压力是否符合要求,再检查各控制阀、按钮、开关、阀门、限位装置等是否灵活、可靠。确认无误后,方可开始工作。

(2) 开机前,应先检查各紧固件是否牢靠,各运转部分及滑动面有无障碍物,限位装置及各个插头是否连接完整等。

(3) 发现油缸活塞抖动,或油泵发出尖锐声响,或工作中出现异常现象,应立即按下急停

按钮,停机检查。排除故障后,方可继续工作。

(4) 工作完毕后,应先关闭工作油泵,再关闭控制系统,切断电源,擦净设备,并做好记录。

### 3. 安全守则

(1) 严禁胡乱调节液压阀及压力表,应定期校正压力表。

(2) 保证液压油液不污染,不泄漏。工作油温度不得超过 45℃。

(3) 严禁把实验室内的仪器、仪表、配件、模块等带出实验室。

(4) 必须按有关规定,正确使用仪器、仪表及设备;不得擅自用实验室内与实验无关的物品。

(5) 实验结束后,应及时做好各实训台和室内卫生工作,经实训指导教师检查合格后方可离开。

## 实训 1 液压回路现场演示

### 1. 实训目的

通过磨床工作台液压回路的现场演示,了解液压系统的组成及工作原理。

### 2. 实训内容、方法及步骤

组建磨床工作台液压回路,并进行现场演示操作。指导教师讲解。

#### 1) 液压回路组成元件介绍

(1) 动力元件介绍。

(2) 执行元件介绍。

(3) 控制元件介绍。

(4) 辅助元件介绍。

#### 2) 液压回路调节方法介绍

(1) 压力的形成以及调节方式的分析、讲解。

(2) 速度的形成以及调节方式的分析、讲解。

(3) 换向操作的分析、讲解。

### 3. 实训报告内容

(1) 写出实训台上所有液压元件的名称。

(2) 抄画液压回路图。

(3) 回答下列问题:

① 能够改变磨床工作台运动方向的元件属于什么元件?

② 怎样调节磨床工作台的运动速度?

## 习 题

### 1-1 填空题

1. 液压系统由\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_组成。

2. 液压传动是利用\_\_\_\_\_传递动力的一种传动方式,是\_\_\_\_\_不断转换的过程。

### 1-2 简答题

1. 液压传动的主要优缺点是什么?

2. 试说明液压系统各组成部分的作用。

3. 举例说明液压与气动的实际应用。

# 液压传动基础

## 项目 1 液 压 油

在液压系统中,液压油是传递动力的工作介质。同时,它对液压装置起润滑、冷却和防锈的作用。因此,液压系统能否可靠而有效地工作,在很大程度上取决于系统中使用的液压油。

### 1. 液压油的物理特性

#### 1) 黏性

(1) 定义:液体在外力作用下流动时,分子间的内聚力要阻止分子的相对运动而产生一种内摩擦力,这种特性叫做液体的黏性。液体只有在相对运动时才会出现黏性,静止液体不显示黏性。

(2) 动力黏度  $\mu$ :是表征液体黏性大小的物理量。它的物理意义是当速度梯度等于 1 时,液体层间单位面积上的内摩擦力。它的单位是  $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (帕·秒)。

动力黏度  $\mu$  与密度  $\rho$  的比值称为运动黏度,用  $\nu$  表示, $\nu = \mu / \rho$ 。运动黏度的单位为  $\text{m}^2 / \text{s}$ ,工程中还使用 cSt(厘斯), $1 \text{m}^2 / \text{s} = 10^6 \text{cSt} = 10^6 \text{mm}^2 / \text{s}$ 。

ISO(国际标准组织)规定统一采用运动黏度表示油的黏度。我国生产的机械油和液压油采用  $40^\circ\text{C}$  时的运动黏度( $\text{mm}^2 / \text{s}$ )的平均值为其标号。例如“YA-N32”中, YA 表示普通液压油, N32 表示  $40^\circ\text{C}$  时油的平均运动黏度为  $32 \text{mm}^2 / \text{s}$ 。

(3) 影响黏度的因素有以下几点。

#### ① 温度:液体的黏度随温度的升高而下降。

液体黏度对温度很敏感,温度略有升高,其黏度明显下降。这是由于温度升高时,分子间距增大,分子间内聚力减小。液体黏度随温度变化的关系可以用黏—温曲线表示。油液黏—温特性的好坏在国际和国内均采用黏度指数(VI)衡量。黏度指数高,表示黏—温曲线平稳,黏—温特性好。

#### ② 压力:压力增加时,黏度略有增加。

因为压力增加时,分子间距缩小,内聚力增加。压力对黏度的影响不大。一般情况下,特别是压力较低时,可不考虑。

#### 2) 可压缩性

在温度不变的条件下,液体受压时,体积要缩小,这一性质称为可压缩性。

油液的可压缩性比钢大得多,为钢的 100~150 倍。一般情况下,在对中、低压系统进行静态特性分析、计算时,油的可压缩性对系统性能影响不大,可以忽略,认为液体是不可压缩的。但在高压下或研究系统动态性能时,必须考虑可压缩性。

## 2. 液压油的选择和使用

### 1) 对液压油的要求

为了很好地传递动力和运动,液压油应具有如下性能:

- (1) 良好的化学稳定性,即对热、氧化、水解都具有良好的稳定性。
- (2) 良好的润滑性能,以减小元件中相对运动表面的磨损。
- (3) 质地纯净,不含或含有极少量的杂质、水分和水溶性酸碱等。
- (4) 适当的黏度和良好的黏—温特性。
- (5) 凝固点较低,保证油液能在较低温度下正常使用。
- (6) 自燃点和闪点要高。
- (7) 抗泡沫性和抗乳化性要好。
- (8) 腐蚀性小,防锈性好,对人体无害,成本低。

### 2) 液压油的选用

正确而合理地选用液压油,是保证液压设备高效率正常运转的前提。

选用液压油时,可根据液压元件生产厂样本和说明书推荐的品种号数选择,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黏度范围,再选择合适的液压油品种。同时,要考虑液压系统工作条件的特殊要求。例如,在寒冷地区工作的系统,要求油的黏度指数高,低温流动性好,凝固点低;伺服系统要求油质纯、压缩性小;高压系统要求油液抗磨性好。

在选用液压油时,黏度是一个重要的参数。黏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压力损失、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,应选用黏度较高的液压油,否则相反。

但是总的来说,应尽量选用较好的液压油,虽然初始成本要高些,但由于优质油使用寿命长,对元件损害小,所以从整个使用周期看,其经济性比选用劣质油好些。

常见液压油系列品种如表 2-1 所示。

表 2-1 常见液压油系列品种

种 类	牌 号		原 名	用 途
	油 名	代 号		
普通液压油	N <sub>32</sub> 号液压油	YA-N <sub>32</sub>	20号精密机床液压油	用于环境温度 0~45℃ 的中、低压液压系统
	N <sub>68</sub> G号液压油	YA-N <sub>68</sub>	40号液压—导轨油	
抗磨液压油	N <sub>32</sub> 号抗磨液压油	YA-N <sub>32</sub>	20抗磨液压油	用于环境温度 -10~40℃ 的中、高压系统
	N <sub>150</sub> 号抗磨液压油	YA-N <sub>150</sub>	80抗磨液压油	
	N <sub>168</sub> K号抗磨液压油	YA-N <sub>168</sub> K	40抗磨液压油	
低温液压油	N <sub>15</sub> 号低温液压油	YA-N <sub>15</sub>	低凝液压油	用于环境温度 -20℃ 至高于 40℃ 的高压系统
	N <sub>46</sub> D号低温液压油	YA-N <sub>46</sub> D	工程液压油	
高黏度指数 液压油	N <sub>32</sub> H号高黏度指数 液压油	YD-N <sub>32</sub> D		用于温度变化小且黏—温性能要求高的液压系统

## 项目 2 液体静力学

液压传动是以液体作为工作介质传递能量的,因此要研究液体处于相对平衡状态下的力学规律及其实际应用。所谓相对平衡,是指液体内部各质点间没有相对运动。至于液体本身,完全可以和容器一起,如同刚体一样,做各种运动。因此,液体在相对平衡状态下不呈现黏性,不存在切应力,只有法向的压应力,即静压力。本节主要讨论液体的平衡规律和压强分布规律,以及液体对物体壁面的作用力。

### 1. 液体静压力及其特性

作用在液体上的力有两种类型:一种是质量力,另一种是表面力。

质量力作用在液体的所有质点上,其大小与质量成正比。属于这种力的有重力、惯性力等。单位质量液体受到的质量力称为单位质量力,在数值上等于重力加速度。

表面力作用于所研究液体的表面,如法向力、切向力。表面力可以是其他物体(例如活塞、大气层)作用在液体上的力;也可以是一部分液体作用在另一部分液体上的力。对于液体整体来说,其他物体作用在液体上的力属于外力,液体间的作用力属于内力。由于理想液体质点间的内聚力很小,液体不能抵抗拉力或切向力,即使是微小的拉力或切向力,都会使液体发生流动。因为静止液体不存在质点间的相对运动,也就不存在拉力或切向力,所以静止液体只能承受压力。

所谓静压力,是指静止液体单位面积上所受的垂直力,用  $p$  表示。

液体内部某质点处的法向力  $\Delta F$  对其微小面积  $\Delta A$  的极限称为压力  $p$ ,即

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (2-1)$$

若法向力均匀地作用在面积  $A$  上,则压力表示为

$$p = \frac{F}{A} \quad (2-2)$$

式中: $A$  为液体有效作用面积; $F$  为液体有效作用面积  $A$  上所受的垂直力。

静压力具有下述两个重要特征:

- (1) 液体静压力垂直于承压面,其方向与该面的内法线方向一致。
- (2) 静止液体中,任一点受到的各个方向的静压力都相等。

### 2. 液体静力学方程

静止液体内部受力情况可用图 2-1 说明。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  $h$ ,距坐标原点高度为  $Z$ ,容器液面距坐标原点为  $Z_0$ 。为了求得任意一点  $A$  的压力,可取  $dA \cdot h$  这个液柱为最小单元(如图 2-1(b)所示)。根据静压力的特性,作用于该液柱上的力在各方向都呈平衡,现求各作用力在  $Z$  方向的平衡方程。微小液柱顶面向上的作用力为  $p_0 dA$ ,液柱本身向下的重力  $G = \rho g h dA$ ,液柱底面对液柱向上的作用力为  $p dA$ ,则平衡方程为

$$p dA = p_0 dA + \rho g h dA$$

故

$$p = p_0 + \rho g h \quad (2-3)$$

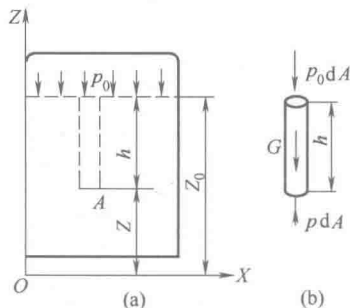


图 2-1 静压力的分布规律



由以上分析可知,静止液体中的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个常量。

分析式(2-3)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称为等压面。很显然,在重力作用下,静止液体的等压面为一个平面。

(3) 可通过下述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。

### 3. 压力的表示方法及单位

液压系统中的压强通称为压力。液体压力通常有绝对压力、相对压力(表压力)和真空度三种表示方法。因为一切物体都受大气压力的作用,而且是自成平衡的,即大多数测压仪表是以大气压为基准零值测量的,因此,测出的是高于大气压力的那部分压力。也就是说,它是相对于大气压测量到的一种压力,因此称为相对压力(或表压力)。另一种是以绝对真空为基准零值测得的压力,称为绝对压力。当绝对压力低于大气压时,即出现真空。因此,某点的绝对压力比大气压小的那部分数值称为该点的真空度。例如,某点的绝对压力为  $0.02\text{MPa}$ ,则该点的真空度为  $0.08\text{MPa}$ 。

绝对压力、相对压力(表压力)和真空度的关系如图 2-2 所示。

由图 2-2 可知,绝对压力总是正值,表压力则可正可负。若表压力为负值,则表压力的绝对值就是真空度。例如,表压力为  $-0.08\text{MPa}$ ,则其真空度为  $0.08\text{MPa}$ 。因此,归纳如下:

绝对压力 = 大气压力 + 表压力

表压力 = 绝对压力 - 大气压力

真空度 = 大气压力 - 绝对压力

压力单位为帕斯卡,简称帕,符号为 Pa,  $1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$ 。由于此单位很小,工程上使用不便,因此常采用兆帕为单位,符号 MPa。  $1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}$ 。此外,实际工程中较多采用的压力单位还有 psi、bar 和公斤力。各种压力单位的近似换算关系如下所示:

$$14.5\text{psi}(\text{磅}/\text{英寸}^2) = 1\text{bar} = 0.1\text{MPa} = 1\text{公斤力}(\text{公斤力}/\text{厘米}^2)$$

### 4. 帕斯卡原理

对于密封容器内的静止液体,当边界上的压力  $p_0$  发生变化时,例如增加  $\Delta p$ ,则容器内任一点的压力将增加同一数值  $\Delta p_0$ 。也就是说,在密封容器内施加于静止液体任一点的压力将等值传到液体各点。这就是帕斯卡原理或静压传递原理。

在液压传动系统中,通常是外力产生的压力比液体自重( $\rho gh$ )产生的压力大得多。因此,可以把式(2-3)中的  $\rho gh$  项略去,认为静止液体内部各点的压力处处相等。

如图 2-3 所示,活塞上的作用力  $F$  是外加负载(液压中,工作机构作用在液压缸上的力称

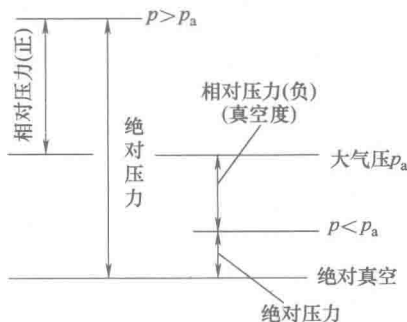


图 2-2 绝对压力与相对压力的关系