



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）

# 液压与气压传动（第二版）

■ 王亚青 王小萍 邓唯一 罗蓉 主 编  
万江丽 副主编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）

# 液压与气压传动(第二版)

---

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 主 编 | 罗 蓉 |     |     |
| 副主编 | 王亚青 | 王小萍 | 邓唯一 |
|     | 万江丽 |     |     |
| 编 写 | 丁 岩 | 熊 震 | 蔡德玲 |
| 主 审 | 徐从清 |     |     |



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）。本书共十一章，主要包括液压传动基础知识，液压动力元件，液压执行元件，液压辅助元件，液压控制元件及应用，液压基本回路，典型液压系统，液压系统的安装、使用及维护，液压伺服系统，气压传动，气动系统的安装、使用及维护。本书以液压为主，气动为辅，注重内容的实用性与针对性。本书提供电子课件，可联系主编索取，电子邮箱 [luorongying@163.com](mailto:luorongying@163.com)。

本书可作为高职高专院校机电类专业液压与气压传动课程的教材，也可供其他院校师生和工程技术人员参考使用。

420425

## 图书在版编目 (CIP) 数据

液压与气压传动/罗蓉主编. —2 版. —北京: 中国电力出版社, 2012. 11

普通高等教育“十二五”规划教材·高职高专教育

ISBN 978-7-5123-3733-6

I. ①液… II. ①罗… 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 (2012) 第 270619 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2008 年 5 月第一版

2013 年 1 月第二版 2013 年 1 月北京第四次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12.5 印张 302 千字

定价 22.50 元

## 敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪  
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

# 前言

本书是在第一版的基础上修订而成的。第一版教材自2008年5月出版以来，深受广大读者好评。在第二版修订过程中，编者吸取了原教材在教学实践中使用的经验，并广泛听取有关院校师生的意见，对原书的部分内容进行了增、删或改写。例如，在第七章典型液压系统中增加了起重机液压传动系统的内容，使之更好地满足不同专业的教学要求等；同时，对第一版插图进行了调整和更换，使图面更加清晰，图文更加协调。

本书以液压为主，气动为辅。在内容组织上，结合职业教育特点，本着“适用、适教、适学”的原则，突出重点章节，力求简洁易懂，并为此在编写方式上，做了一些有益的尝试。例如，降低液压流体力学基础知识的理论难度，删减气动理论知识；打破先元件后回路的传统格局，对每种液压控制阀在讲清结构原理的基础上，均重点系统地介绍了其应用，并巧妙地将涉及的基本回路穿插进去，使知识及时得到深化和巩固；在液压基本回路部分，注意对常用基本回路进行系统归纳；将液压及气压系统常见故障产生原因及排除方法安排在附录中，方便教学时取舍。本教材配有电子教案，方便教学。在章节之后附有本章小结、复习思考题及习题。本书提供电子课件，可联系主编索取，电子邮箱 [luorongying@163.com](mailto:luorongying@163.com)。

本书的前言、第五章、第六章由三峡电力职业学院罗蓉编写；第一章的一、二节和第十一章由三峡电力职业学院邓唯一编写；第一章的三、四、五、六节和第二章、第三章由武汉电力职业技术学院王小萍编写；第四章由三峡电力职业学院万江丽编写；第七章至第十章及附录由保定电力职业技术学院王亚青编写；三峡电力职业学院的丁岩、熊震、蔡德玲也参加了部分章节的编写工作。全书由罗蓉任主编，由王亚青、王小萍、邓唯一、万江丽任副主编。

编者

2012年10月

# 第一版前言

本书以液压为主，气动为辅。在内容组织上，结合职业教育特点，本着“适用、适教、适学”的原则，不强调学科的完整性和系统性，而是注重于内容的实用性与针对性，突出重点章节，力求简洁易懂，并为此在编写方式上做了一些有益的尝试。例如，降低液压流体力学基础知识的理论难度，删减气动理论知识；打破先元件后回路的传统格局，对每种液压控制阀在讲清结构原理的基础上，均重点系统地介绍了其应用，并巧妙地将涉及的基本回路穿插进去，使知识及时得到深化和巩固，有利于课堂教学；在液压基本回路部分，注意对常用基本回路进行系统归纳；将液压及气压系统常见故障产生原因及排除方法安排在附录中，方便教学时取舍。各章节之后附有本章小结、复习思考题及习题，帮助学生复习巩固。

全书共分十一章，前九章为液压传动，后两章为气压传动。液压传动部分，主要介绍了液压传动基础知识，液压动力元件，液压执行元件，液压辅助元件，液压控制元件及应用，液压基本回路，典型液压系统，液压系统的安装、使用及维护，液压伺服系统等内容。气压传动部分，主要介绍了气压传动，气动系统的安装、使用及维护等内容。本书中的液压与气动元件图形符号全部采用新的国家标准（GB/T 786.1—1993）。

本书的前言、第五章、第六章由三峡电力职业学院罗蓉编写；第一章的一、二节和第十一章由三峡电力职业学院邓唯一编写；第一章的三、四、五、六节和第二章、第三章由武汉电力职业技术学院王小萍编写；第四章由三峡电力职业学院万江丽编写；第七章至第十章及附录由保定电力职业技术学院王亚青编写；三峡电力职业学院的丁岩、熊震、蔡德玲也参加了部分章节的编写工作。全书由罗蓉任主编，由王亚青、王小萍、邓唯一、万江丽任副主编。

本书由平顶山工业职业技术学院的徐从清主审，并提出了宝贵的意见。在本书的编写过程中，得到了有关部门和兄弟院校的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，书中错误在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

2008年2月

## 目 录

|    |                     |    |
|----|---------------------|----|
| 10 | 前言                  | 10 |
| 20 | 第一版前言               | 20 |
| 20 | 第一章 液压传动基础知识        | 20 |
| 20 | 第一节 液压传动概述          | 20 |
| 20 | 第二节 液压油             | 20 |
| 20 | 第三节 液体静力学基础         | 20 |
| 20 | 第四节 液体动力学基础         | 20 |
| 20 | 第五节 管路中液体的压力损失      | 20 |
| 20 | 第六节 液压冲击及气穴现象       | 20 |
| 20 | 本章小结                | 20 |
| 20 | 复习思考题               | 20 |
| 20 | 习题                  | 20 |
| 20 | 第二章 液压动力元件          | 20 |
| 20 | 第一节 液压泵概述           | 20 |
| 20 | 第二节 齿轮泵             | 20 |
| 20 | 第三节 叶片泵             | 20 |
| 20 | 第四节 柱塞泵             | 20 |
| 20 | 本章小结                | 20 |
| 20 | 复习思考题               | 20 |
| 20 | 习题                  | 20 |
| 20 | 第三章 液压执行元件          | 20 |
| 20 | 第一节 液压马达            | 20 |
| 20 | 第二节 液压缸的分类及特点       | 20 |
| 20 | 第三节 液压缸的结构          | 20 |
| 20 | 第四节 液压缸常见故障、原因及排除方法 | 20 |
| 20 | 本章小结                | 20 |
| 20 | 复习思考题               | 20 |
| 20 | 习题                  | 20 |
| 20 | 第四章 液压辅助元件          | 20 |
| 20 | 第一节 油箱              | 20 |
| 20 | 第二节 滤油器             | 20 |
| 20 | 第三节 蓄能器             | 20 |
| 20 | 第四节 油管及管接头          | 20 |
| 20 | 本章小结                | 20 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 复习思考题 .....                    | 61  |
| <b>第五章 液压控制元件及应用</b> .....     | 62  |
| 第一节 液压控制阀概述 .....              | 62  |
| 第二节 方向控制阀及应用 .....             | 62  |
| 第三节 压力控制阀及应用 .....             | 73  |
| 第四节 流量控制阀及应用 .....             | 87  |
| 第五节 新型液压元件的应用 .....            | 95  |
| 本章小结 .....                     | 103 |
| 复习思考题 .....                    | 104 |
| 习题 .....                       | 105 |
| <b>第六章 液压基本回路</b> .....        | 108 |
| 第一节 速度控制回路 .....               | 108 |
| 第二节 压力控制回路 .....               | 114 |
| 第三节 多缸动作回路 .....               | 117 |
| 本章小结 .....                     | 120 |
| 复习思考题 .....                    | 121 |
| 习题 .....                       | 122 |
| <b>第七章 典型液压系统</b> .....        | 124 |
| 第一节 数控车床液压系统 .....             | 124 |
| 第二节 组合机床动力滑台液压系统 .....         | 127 |
| 第三节 塑料注射成型机液压系统 .....          | 130 |
| 第四节 数控加工中心液压传动系统 .....         | 133 |
| 第五节 汽车起重机液压系统 .....            | 136 |
| 本章小结 .....                     | 138 |
| 复习思考题 .....                    | 138 |
| 习题 .....                       | 138 |
| <b>第八章 液压系统的安装、使用及维护</b> ..... | 140 |
| 第一节 液压系统的安装及调试 .....           | 140 |
| 第二节 液压系统的使用及维护 .....           | 141 |
| 本章小结 .....                     | 144 |
| 复习思考题 .....                    | 144 |
| <b>第九章 液压伺服系统</b> .....        | 145 |
| 第一节 概述 .....                   | 145 |
| 第二节 液压伺服系统的基本形式 .....          | 146 |
| 第三节 电液伺服阀 .....                | 149 |
| 第四节 液压伺服系统应用举例 .....           | 150 |
| 本章小结 .....                     | 151 |
| 复习思考题 .....                    | 152 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 习题                            | 152 |
| <b>第十章 气压传动</b>               | 153 |
| 第一节 气压传动概述                    | 153 |
| 第二节 气源装置及辅助元件                 | 154 |
| 第三节 气动执行元件                    | 159 |
| 第四节 气动控制元件                    | 164 |
| 第五节 气动基本回路                    | 169 |
| 第六节 气压传动系统实例                  | 176 |
| 本章小结                          | 180 |
| 复习思考题                         | 180 |
| 习题                            | 180 |
| <b>第十一章 气动系统的安装、使用及维护</b>     | 181 |
| 第一节 气动系统的安装及调试                | 181 |
| 第二节 气动系统的使用及维护                | 181 |
| 本章小结                          | 182 |
| 复习思考题                         | 182 |
| <b>附录 I 液压系统常见故障、原因及排除方法</b>  | 183 |
| <b>附录 II 气动系统常见故障、原因及排除方法</b> | 185 |
| <b>附录 III 常用液压与气动元件图形符号</b>   | 187 |
| <b>参考文献</b>                   | 192 |

# 第一章 液压传动基础知识

## 第一节 液压传动概述

一切机械都有其相应的传动机构以传递和控制动力。机械常用的传动方式有机械传动、电气传动、流体传动等。其中，流体传动根据工作介质的不同，分为气体传动和液体传动两种形式，液体传动又包括利用液体压力能的液压传动和利用液体动能的液力传动。本章介绍液压传动的基本知识。

### 一、液压传动及发展简介

所谓液压传动，是以液体为工作介质，利用液体的压力能来传递和控制动力的一种传动方式。它通过液压泵，将电机输出的机械能转换为液体的压力能，再通过管道、液压控制阀等元件，经液压缸（或液压马达）将液体的压力能转换为机械能输出。

液压传动相对机械传动来说是一门年轻的技术，自 18 世纪末英国制成世界上第一台水压机算起，仅有两三百年的历史。但由于具有独特的优点，液压传动得到了迅猛的发展，广泛应用于机床、工程机械、建筑机械、农业机械等各种机械设备上，已渗透到工业领域的各个方面。据统计，目前国外大部分数控加工中心、工程机械和自动生产线上，都采用了液压技术。所以，单纯的机械、机电一体化技术，已难以适应现代机械设备快速发展的要求，机—电—气—液一体化与计算机技术、传感技术相结合的综合控制技术，正得到越来越普遍的应用。液压技术的应用程度，已成为衡量一个国家工业水平的重要标志。

目前，液压技术正向着高速、高压、高效、大功率、低噪声、经久耐用、高度集成化的方向发展。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）、计算机仿真和优化技术、可靠性技术等方面也是现今液压技术发展和研究的方向。

### 二、液压传动的工作原理

下面以液压千斤顶的工作原理为例（见图 1-1），简要说明液压传动的工作原理。

液压千斤顶主要由手动液压泵（杠杆手柄 1、泵体 2、小活塞 3）和举升液压缸（大活塞 8、缸体 9）等组成。活塞与泵体、缸体内壁间具有良好的配合，能形成容积可变的密封空间。液压千斤顶的工作过程如下：当提起杠杆手柄 1 时，小活塞 3 上移，小活塞下部的泵体油腔 6 的工作容积增大，形成局部真空，油液在大气压的作用下，顶开单向阀 4 进入泵体油腔，实现吸油（此时单向阀 7 关闭）；当压下杠杆手柄 1 时，小活塞下移，泵体油腔工作容积减小，其中的油液在外力挤压作用下压力升

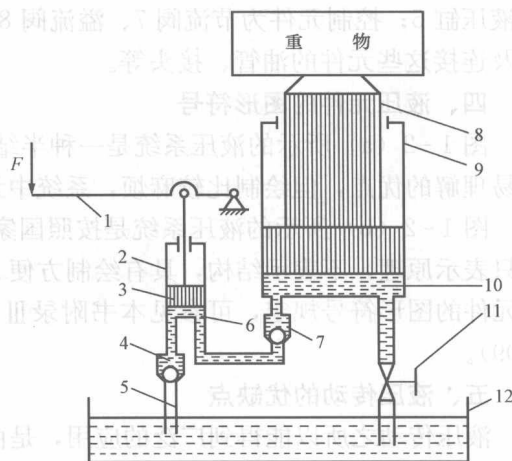


图 1-1 液压千斤顶工作原理图

- 1—杠杆手柄；2—泵体；3—小活塞；4、7—单向阀；  
5—管道；6—泵体油腔；8—大活塞；9—缸体；  
10—缸体油腔；11—截止阀；12—油箱

高, 顶开单向阀 7 (此时单向阀 4 关闭), 进入大活塞下部的缸体油腔 10, 实现压油, 从而迫使缸体油腔的工作容积增大, 推动大活塞 8 上移顶起重物。反复提压杠杆手柄 1, 泵体油腔不断交替进行着吸油和压油, 就能使重物不断上升。提压杠杆手柄 1 的速度越快, 单位时间内压入缸体油腔中的油液越多, 重物举升的速度就越快。如果需要重物下降, 只需打开截止阀 11, 使缸体油腔的油液流回油箱 12。

由液压千斤顶工作过程的分析可知, 压下杠杆手柄 1 时, 泵体油腔输出压力油, 将机械能转换成油液的压力能; 而压力油进入缸体油腔, 推动大活塞顶起重物, 将油液的压力能又转换成机械能。显然, 液压传动是一个不同能量形式的转换过程。

综上所述, 液压传动的基本工作原理可以简述如下: 以油液为工作介质, 通过密封容器的变化来传递运动, 通过油液内部的压力来传递动力。

### 三、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。分析液压千斤顶各元件的作用, 可以看出任何一个简单而完整的液压传动系统都是由以下五部分组成的。

(1) 动力元件。动力元件用来把原动机输入的机械能转换成液压能, 供给液压系统压力油。最常见的形式是液压泵。

(2) 执行元件。执行元件用来把液压能转换成机械能, 带动机械完成所需的动作。包括液压缸和液压马达。

(3) 控制元件。控制元件是对系统中油液的压力、流量或流动方向进行控制或调节的装置。包括各种控制阀, 如单向阀、换向阀、溢流阀、节流阀等。

(4) 辅助元件。辅助元件包括上述三部分之外的其他装置, 如油箱、滤油器、油管、压力表等。它们对保证系统正常工作是必不可少的。

(5) 工作介质。工作介质用来传递液压能 (如液压油等), 直接影响系统的性能和可靠性。

图 1-2 所示为一简化的机床工作台液压传动系统。它的动力元件为液压泵 3; 执行元件为液压缸 5; 控制元件为节流阀 7、溢流阀 8、手动换向阀 6; 辅助元件为油箱 1、滤油器 2 以及连接这些元件的油管、接头等。

### 四、液压元件的图形符号

图 1-2 (a) 所示的液压系统是一种半结构式的工作原理图。这种原理图具有直观性强、容易理解的优点, 但绘制比较麻烦, 系统中元件多时难度更大。

图 1-2 (b) 所示的液压系统是按照国家标准规定的液压系统图形符号绘制的, 这种图形只表示原理, 不表示结构, 具有绘制方便、简单明了的优点, 是常用的表达形式。具体液压元件的图形符号规定, 可参见本书附录Ⅲ 常用液压与气动元件图形符号 (GB/T 786.1—2009)。

### 五、液压传动的优缺点

液压传动之所以能得到广泛的应用, 是由于它具有以下几方面的显著优点:

(1) 体积小、重量轻、结构紧凑, 因而惯性小, 动作灵敏, 换向迅速。例如, 液压马达的体积和重量仅为同功率电动机的 12%~13%, 可实现高频正反转。

(2) 传递运动均匀平稳, 负载变化时速度较稳定。因此, 金属切削机床中的磨床传动现在几乎都采用液压传动。

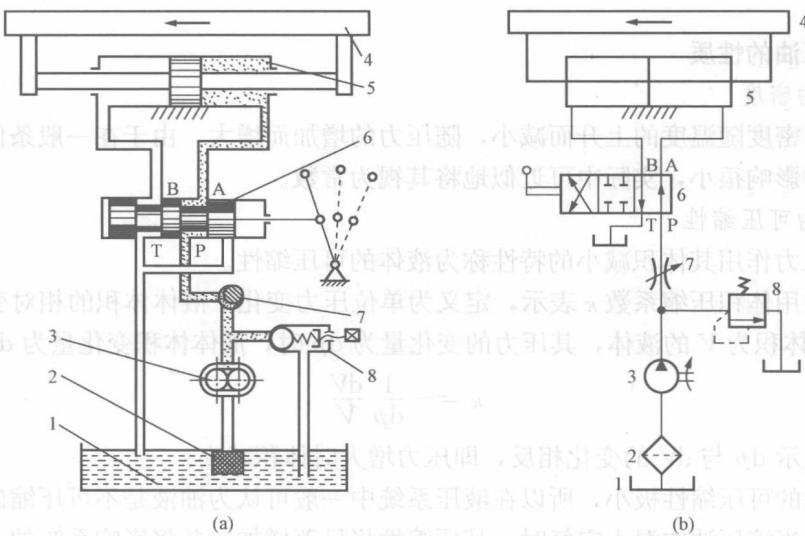


图 1-2 机床工作台液压系统工作原理图

(a) 半结构式工作原理图；(b) 图形符号图

1—油箱；2—滤油器；3—液压泵；4—工作台；5—液压缸；6—手动换向阀；  
7—节流阀；8—溢流阀

(3) 可在大范围内实现无级调速。调速范围可高达 1：2000，并可在液压装置运行的过程中进行调速。

(4) 操作简单，易于实现自动化控制和远程控制。特别是当电—液“协同作战”时，如电磁换向阀、电液伺服阀、数控机床等。

(5) 易于实现过载保护，并且液压元件能自行润滑，使用寿命长。

(6) 由于液压传动是油管连接，所以借助油管的连接可以方便灵活地布置传动机构。

(7) 液压元件已实现标准化、系列化和通用化，便于设计、制造和推广使用。

但液压传动也不可避免地存在一些缺点：

(1) 漏油的存在，会造成环境污染，降低传动效率，加上油液的可压缩性，使得液压传动不能保证严格的传动比。

(2) 液压传动对油温的变化比较敏感，影响工作的稳定性，所以不宜在温度变化很大的环境条件下工作。

(3) 液压元件制造精度要求较高，加工和安装较为困难。

(4) 液压系统发生故障不易检查和排除。

总之，液压传动的优点是主要的，随着设计制造和使用水平的不断提高，必将有着更为广阔的发展前景。

## 第二节 液 压 油

液压油不仅是液压传动系统中的工作介质，而且对液压装置的机构、零件起着润滑、冷却和防锈的作用。油液的特性将会影响液压传动性能，如工作可靠性、灵敏性、系统效率、

零件寿命等。

### 一、液压油的性质

#### 1. 液体的密度

液压油的密度随温度的上升而减小, 随压力的增加而增大。由于在一般条件下, 温度和压力对密度的影响很小, 实际中可近似地将其视为常数。

#### 2. 液体的可压缩性

液体受压力作用其体积减小的特性称为液体的可压缩性。

可压缩性用体积压缩系数  $\kappa$  表示, 定义为单位压力变化下液体体积的相对变化量, 单位为  $\text{m}^2/\text{N}$ 。设体积为  $V$  的液体, 其压力的变化量为  $dp$  时, 液体体积变化量为  $dV$ , 则

$$\kappa = -\frac{1}{dp} \frac{dV}{V} \quad (1-1)$$

其中, 负号表示  $dp$  与  $dV$  的变化相反, 即压力增大时体积减小。

由于液体的可压缩性极小, 所以在液压系统中一般可认为油液是不可压缩的。但在实际液压系统中, 当液压油中混入空气时, 其压缩性将显著增加, 并将影响系统的工作性能, 故应将空气的含量减小到最低限度。

#### 3. 液压油的黏性

液体流动时, 其分子间因有相对运动而产生内摩擦力, 这种特性称为液体的黏性。黏性是液压油最重要的物理特性之一, 也是选择液压油的主要指标。

(1) 黏性的度量。黏性的大小用黏度来衡量。黏度大, 液层的内摩擦力就大, 油液就“稠”; 反之, 油液就“稀”。常用的黏度有动力黏度、运动黏度和相对黏度三种表示形式。

1) 动力黏度。动力黏度是根据牛顿内摩擦定律导出的。下面先以图 1-3 所示实验为例, 简要介绍牛顿内摩擦定律。

如图 1-3 所示, 两平行平板间充满液体, 设上平板以速度  $v_0$  向右运动, 下平板固定不动。由于黏性的作用, 紧贴于上、下板上的液体层速度分别为  $v_0$  和零, 中间各液体层的速度按线性分布。不同速度流层相互制约而产生内摩擦力。

经实验测得, 液体流动时相邻液层间的内摩擦力  $F$  与液层间的接触面积  $A$  及液层间的相对流速  $dv$  成正比, 与两液层间的距离  $dy$  成反比, 即

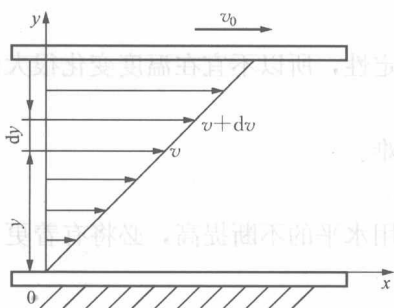


图 1-3 液体的黏性示意

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

式中  $\mu$ ——衡量液体黏性的比例系数, 称为动力黏度或绝对黏度;

$dv/dy$ ——液体液层间速度差异的程度, 称为速度梯度。

式 (1-2) 为牛顿内摩擦定律的数学表达式。

在静止液体中,  $dv/dy=0$ , 即内摩擦力  $F=0$ , 所以静止液体是不显示黏性的, 液体只有在流动时才会呈现黏性。

若以  $\tau=F/A$  表示切应力, 则动力黏度为

$$\mu = \tau / \frac{dv}{dy} \quad (1-3)$$

因此,动力黏度的物理意义是:当速度梯度为1时,相邻液层间单位面积上内摩擦力的大小。

动力黏度的法定计量单位为  $\text{Pa} \cdot \text{s}$  (帕·秒), 即  $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 。

2) 运动黏度。运动黏度  $\nu$  是动力黏度  $\mu$  与密度  $\rho$  的比值, 即

$$\nu = \mu / \rho \quad (1-4)$$

运动黏度  $\nu$  没有明确的物理意义, 由于在理论分析和计算中常常遇到动力黏度与密度的比值, 为方便起见采用运动黏度  $\nu$  代替。

运动黏度的法定计量单位为  $\text{m}^2/\text{s}$ , 常用  $\text{mm}^2/\text{s}$ 。

标称黏度等级用液压油(液)在  $40^\circ\text{C}$  时运动黏度中心值的近似值来表示, 单位为  $\text{mm}^2/\text{s}$ , 同时用来表示液压油(液)的牌号。例如, 32 号液压油指明该油在  $40^\circ\text{C}$  (20 世纪 80 年代前旧牌号为  $50^\circ\text{C}$ ) 时, 其运动黏度  $\nu$  的中心值是  $32\text{mm}^2/\text{s}$ 。我国现行液压油(液)牌号已与国际标称牌号完全一致。常用牌号为 10 号~100 号, 主要集中在 15 号~68 号。

3) 相对黏度。动力黏度和运动黏度是理论分析和推导中经常使用的黏度单位, 它们都难以直接测量, 因此, 工程上常采用另一种可用仪器直接测量的黏度单位, 即相对黏度。

相对黏度又称条件黏度, 根据测量仪器和条件的不同, 条件黏度的种类很多, 有恩氏、赛氏、雷氏等黏度。

在上述三种黏度中, 我国主要采用运动黏度, 国际标准化组织 ISO 也规定统一采用运动黏度。

(2) 压力对黏度的影响。液压油的黏度随压力的增加而增大。在一般情况下, 压力对黏度的影响比较小, 可以不考虑。但当压力升高到  $70\text{MPa}$  以上时, 液体的黏度将比常压下增加 4~10 倍, 此时的黏度值变化则不能忽视。

(3) 温度对黏度的影响。液压油的黏度对温度变化十分敏感, 随着温度的升高而降低。不同种类的液压油黏度随温度的变化不同, 这一特性称为黏—温特性。油液的黏度变化会直接影响液压系统的工作性能, 所以希望液压油黏度随温度的变化越小越好。黏—温特性通常用黏度指数表示。

液压油的黏度指数, 表明随着温度的变化, 实验油的黏度变化程度与标准油的黏度变化程度比较的相对值。黏度指数越高说明黏—温特性越好。一般液压油的黏度指数值要求在 90 以上, 优异的在 100 以上。黏度指数值可按 GB/T 1995—1988 中规定的方法和公式计算得到, 但实际中只要知道液压油在  $40^\circ\text{C}$  和  $100^\circ\text{C}$  时的运动黏度 ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ), 即可在 GB/T 2541—1981《石油产品粘度指数算表》中直接查到。

此外, 液压油还应具有氧化安定性、热安定性、防锈性、抗泡沫性、抗乳化性、润滑性、抗磨性等其他性质, 它们对液压油的选择和使用有着重要的影响, 实际中常根据需要通过在基础油中加入各种添加剂来获得。

## 二、液压油(液)的选用

正确而合理地选用液压油(液)是保证液压设备高效率正常运转的前提。

### 1. 液压油(液)的品种和代号

(1) 液压油(液)的品种分类。液压系统采用的液压油(液)主要有两类: 一类是矿物型和合成烃型液压油; 一类是难燃型液压油。另外, 还有一些专用液压油。目前, 国内外绝

大多数液压系统采用的都是矿物型（含合成烃型）液压油。

在 GB/T 498—1987 中将“润滑剂和有关产品”规定为 L 类产品。在 GB/T 7631.2—2003 中，又将 L 类产品按应用场合分为 19 个组，其中，液压油产品属于 H 组，在 H 组中设有许多品种，每种又有不同的黏度等级（即牌号）。我国液压油（液）的品种分类见表 1-1。

表 1-1 液压油（液）品种分类

| 类 型         | 品种代号 | 组 成 和 特 性                                     | 又 名                        |
|-------------|------|-----------------------------------------------|----------------------------|
| 矿物型和合成烃型液压油 | HH   | 无抗氧化剂的精制矿物油，质量比俗称的机械油（GB 443—89L—AN 全损耗系统用油）高 | —                          |
|             | HL   | 精制矿物油，并改善其防锈和抗氧化性                             | HL 通用机床液压油                 |
|             | HM   | HL 油，并改善其抗磨性                                  | HM 抗磨液压油或抗磨液压油             |
|             | HG   | HL 油，并具有黏滑性                                   | 液压导轨油、精密机床液压导轨油            |
|             | HR   | HL 油，并改善其黏温性                                  | —                          |
|             | HV   | HM 油，并改善其黏温性                                  | 低温液压油、工程液压油、高黏度指数液压油、稠化液压油 |
|             | HS   | 无特定难燃性的合成液                                    | 合成低温液压油                    |
| 难燃型液压油      | HFAE | 水包油高水基乳化液                                     | 水包油乳化液、高水基液、水包油难燃液         |
|             | HFAS | 水的化学溶液                                        | 高水基液                       |
|             | HFB  | 油包水型乳化液                                       | 油包水乳化液、油包水难燃液              |
|             | HFC  | 含聚合物水溶液                                       | 水—乙二醇液、水—乙二醇难燃液            |
|             | HFDR | 磷酸酯无水合成液                                      | 磷酸酯难燃液、磷酸酯液                |

目前，HL 油在我国应用最多，其质量水平与法国 NFE 48—603—1983 中的 HL 油相当。

各种液压油的技术性能指标可查阅有关液压技术资料。

## (2) 液压油（液）的代号示例。

GB/T 498—1987 和 GB/T 7631.2—2003 规定了液压油（液）的代号和命名，例如：

代号 L-HM46

简号 HM-46

含义 L—润滑剂类；H—液压油（液）组；M—防锈、抗氧化和抗磨型；46—黏度等级（或称牌号）为 46 号。

命名 46 号防锈、抗氧化和抗磨型液压油，简称 46 号 HM 油或 46 号抗磨液压油。

## 2. 液压油（液）的选用

选用液压油（液）时，除了可从液压件生产厂及产品样本中获得液压油的推荐资料外，一般根据液压系统的工作环境和系统的工况条件、液压泵类型及经济性等因素全面考虑

选择。

在选用液压油（液）时，黏度是一个重要的参数。黏度对液压装置的性能影响最大。黏度太大，由于油液流动时的压力损失和系统发热温升，会造成系统效率降低；黏度太小，则泄漏量过多。所以，液压油（液）品种确定后，还必须确定黏度等级。在环境温度较高，工作压力高或运动速度较低时，应选用黏度等级较高的液压油，否则相反。

黏度等级的选择主要取决于液压系统的实际工作温度和冷启动温度，也与所用泵的类型、压力等有关。表 1-2 为按照泵的类型、额定压力和液压系统工作温度范围来确定液压油（液）的品种和黏度。

表 1-2 液压泵的黏度范围及用油

| 泵 的 类 型 |       | 运动黏度范围 (40℃) (mm <sup>2</sup> /s) |             | 适用品种及牌号                                            | 最低黏度<br>(mm <sup>2</sup> /s) |
|---------|-------|-----------------------------------|-------------|----------------------------------------------------|------------------------------|
|         |       | 工作温度 5~40℃                        | 工作温度 40~80℃ |                                                    |                              |
| 叶片泵     | <7MPa | 30~50                             | 40~75       | HM 油：32 号、46 号、68 号                                | 12                           |
|         | >7MPa | 50~70                             | 55~90       | HM 油：46 号、68 号、100 号                               |                              |
| 齿轮泵     |       | 30~70                             | 95~165      | HL 油（中、高压时用 HM）：<br>32 号、46 号、68 号、100 号、<br>150 号 | 20                           |
| 轴向柱塞泵   |       | 40                                | 70~150      | HL 油（高压时用 HM）：<br>32 号、46 号、68 号、100 号、<br>150 号   | 8                            |

为了防止泵的磨损，应限制运行工作温度下液压油的最低黏度，通常为 13~16 mm<sup>2</sup>/s，高压系统中则最好在 25 mm<sup>2</sup>/s 左右。

在寒区或严寒区冬季野外工作的液压设备，应按启动温度选用液压油的品种和黏度等级，通常选用 HV 油和 HS 油，而不能选用 HL 或 HM 油。

### 第三节 液体静力学基础

液体静力学所研究的是静止液体的力学性质。本节主要讨论液体静止时的平衡规律以及这些规律的实际应用。所谓液体静止是指液体内部质点间没有相对运动，与盛装液体的容器是否运动无关。

#### 一、液体的静压力及其特性

液体处于静止状态下的压力为液体的静压力。一般液压传动中所谓压力都是指液体的静压力（即物理学中所称的压强，简称压力）。如果在面积  $\Delta A$  上作用有法向力  $\Delta F$ ，则液体内某点处的压力定义为

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (1-5)$$

若法向力  $F$  均匀地作用于面积  $A$  上，则压力可表示为

$$p = \frac{F}{A} \quad (1-6)$$

压力的法定计量单位为  $\text{N/m}^2$  或  $\text{Pa}$  (帕斯卡)。工程上常采用  $\text{kPa}$  (千帕) 或  $\text{MPa}$  (兆帕),  $1\text{MPa}=10^3\text{kPa}=10^6\text{Pa}$ 。

当液体受到外力的作用时, 就形成液体的压力, 如图 1-4 所示。

液体的静压力具有两个重要的特性:

- (1) 液体压力作用的方向总是垂直指向受压表面。
- (2) 静止液体内任一点处的压力在各个方向上都相等。

## 二、重力作用下的液体静力学基本方程式

在重力作用下密度为  $\rho$  的静止液体, 其受力情况如图 1-5 (a) 所示, 静止液体所受的力有液体的重力、液面上的压力  $p_0$ 、容器壁面液体的压力。为求任意深度  $h$  处的压力  $p$ , 可以假想从液面往下切取一个垂直的小液柱作为研究体, 其底面积为  $\Delta A$ , 如图 1-5 (b) 所示, 这个小液柱的重力为  $G=\rho gh\Delta A$ 。由于小液柱处于平衡状态, 于是有

$$p\Delta A = p_0\Delta A + \rho gh\Delta A$$

等式两边同除以  $\Delta A$ , 得

$$p = p_0 + \rho gh \quad (1-7)$$

式 (1-7) 即为静力学基本方程式, 由此可得以下结论。

(1) 静止液体内任一点的压力由两部分组成: 一部分是液面上的压力  $p_0$ , 另一部分是液体自重所引起的压力  $\rho gh$ 。当液面上只受大气压力  $p_a$  作用时, 则液体内部任一点的压力

$$p = p_a + \rho gh$$

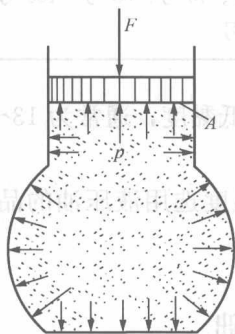


图 1-4 外力作用形成的压力

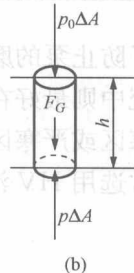
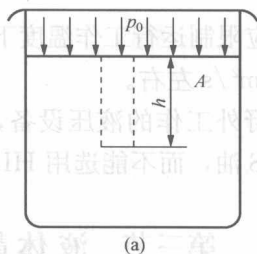


图 1-5 重力作用下静止的液体

(a) 受力情况; (b) 小液柱

(2) 静止液体内的压力随液体深度  $h$  的增加而增大, 即呈直线规律分布。

(3) 连通容器内同一液体中, 深度相同处各点的压力均相等。由压力相等的点组成的面称为等压面, 在重力作用下静止液体的等压面是一个水平面。

## 三、压力的传递

密闭容器内的液体如图 1-6 所示。当外力  $F$  变化引起外加压力  $p_0$  发生变化时, 只要液体仍保持原来的静止状态不变, 则液体内部任一点的压力将发生同样大小的变化。这说明在密闭容器中, 施加于静止液体上的压力将以等值同时传递到液体内部各点。这就是帕斯卡原理, 也称为静压力传递原理。液压传动就是在这个原理的基础上建立起来的。

在液压传动系统中, 通常由外力产生的压力要比液体自重产生的压力  $\rho gh$  大得多。因此, 把式 (1-7) 中的  $\rho gh$  项略去不计, 则液体内部各点的压力就处处相等。这个概念很重

要,在以后分析液压阀和液压系统的工作原理时经常用到。

在图 1-6 中,活塞上的作用力  $F$  为外加负载,  $A$  为活塞横截面面积。根据帕斯卡原理,容器内液体的压力  $p$  与负载  $F$  之间总是保持着正比的关系,即

$$p = \frac{F}{A}$$

可见,液体的压力是由外界负载作用而形成的,即压力的大小决定于负载,这是液压传动中的一个重要的基本概念。

液压千斤顶能够举起重物就是帕斯卡原理的具体应用。如图 1-7 所示,两个互相连通的密封容器,内装有油液,液压缸的上部装有小活塞 1 和大活塞 2,它们的面积分别为  $A_1$  和  $A_2$ ,并在大活塞上放一重物  $W$ 。如果在小活塞上加一外力  $F_1$ ,则小液压缸中油液的压力

$$p_1 = \frac{F_1}{A_1}$$

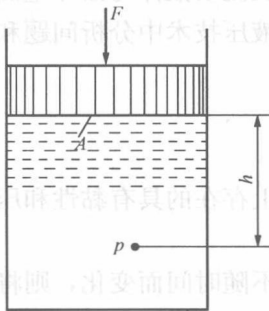


图 1-6 液体内的压力

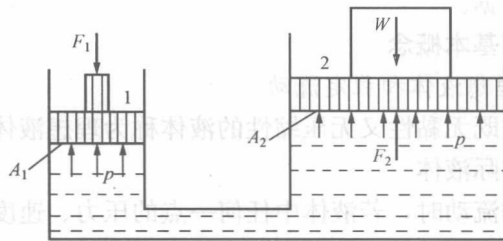


图 1-7 液压千斤顶的工作原理图

1—小活塞; 2—大活塞

#### 大液压缸中液体的压力

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

根据帕斯卡原理  $p_1 = p_2$ , 即

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{W}{A_2} \quad (1-8)$$

从式 (1-8) 可以看出,若  $F_1$  一定,两个活塞面积  $A_2/A_1$  之比越大,大活塞举起重物的能力就越大。也就是说,在小活塞上施加不大的力,大活塞上便可产生较大的作用力,将重物  $W$  举起。液压千斤顶就是利用这个原理来进行起重工作的。

#### 四、压力的表示方法

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(零压力)为基准测得的压力,称为绝对压力;以大气压力为基准测得的高出大气压那一部分压力,称为相对压力。通常,压力计所指的压力就是相对压力。当绝对压力不足于大气压时,习惯上称为具有真空,而绝对压力不足于大气压力的那部分压力值,称为真空度。绝对压力、相对压力与真空度的关系如图 1-8 所

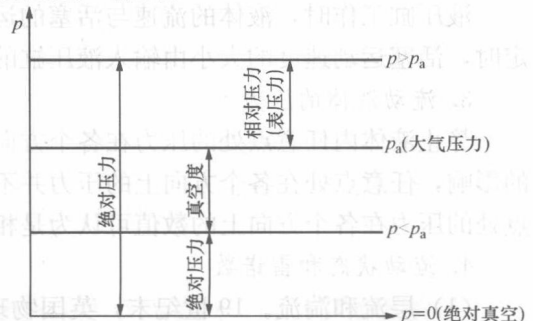


图 1-8 绝对压力、相对压力和真空度