

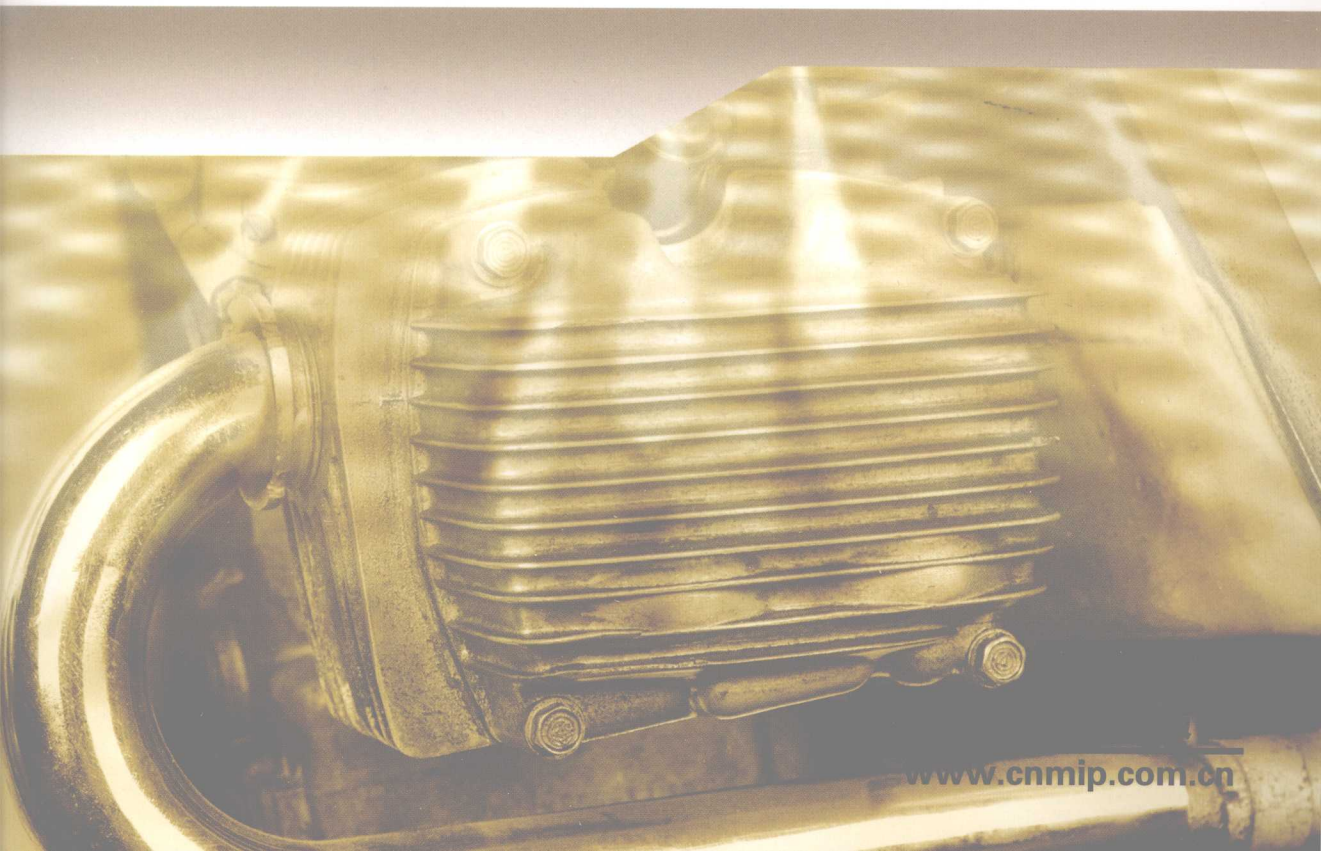


高职高专“十一五”规划教材

机械电子类

# 液压传动 与气动技术

侯会喜 主编



[www.cnmp.com.cn](http://www.cnmp.com.cn)

高职高专“十一五”规划教材·机电类

# 液压传动与气动技术

主 编 侯会喜  
副主编 李 莉 赵晓平 张俊  
主 审 申晓龙

北 京  
冶 金 工 业 出 版 社  
2008

## 内 容 简 介

本书共分为 13 章, 其中第 1~10 章为液压传动部分, 第 11~13 章为气压传动部分。本书主要阐述了液压与气动流体力学基础知识; 液压与气动元件的工作原理、结构特点及选用方法; 液压与气动基本回路和典型系统的组成与分析; 液压与气动的综合应用与设计; 液压伺服系统的原理及应用; 液压与气动系统的使用、维护与故障排除等。本书在编写过程中, 突出理论联系实际, 加强针对性和实用性, 注重引入新的技术内容, 且在编写理念上力求章节层次清楚, 内容简洁明了、通俗易懂。

本书在每章后都选编了适应高职学生特点的思考题, 并将实习实训指导列入书中。本书可作为高职高专院校机电类、机械类和近机类专业教材。全书配有大量工业应用图例, 有利于学生自学, 也可以为工程技术人员提供参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

液压传动与气动技术/侯会喜主编. —北京: 冶金工业出版社,  
2008.6  
ISBN 978-7-5024-4651-2

I.液… II.侯… III.F231.5 IV.F231.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 087506 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 马文欢

ISBN 978-7-5024-4651-2

北京天正元印务有限公司印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销  
2008 年 6 月第 1 版, 2008 年 6 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 13.5 印张; 304 千字; 210 页; 1-3000 册

28.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100711) 电话: (010)65289081

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

# 前 言

教材建设是专业建设的重要组成部分。为了适应高等职业教育的不断发展，满足其机电类、机械类专业的人才培养目标和岗位技能需要，本书在广泛吸取和借鉴相关院校高职高专教学改革成果和编者多年教学经验的基础上，较全面地阐述了液压与气动技术的基本概念，依据理论内容以“必需、够用”的原则，力求突出应用能力和综合素质的培养，尽力使教材的内容符合我国液压与气压传动技术发展的需要。

本书的特点是对液压与气压传动基本理论与基本概念的阐述力求简明、清晰，强调其在工程项目中的应用。全书以技术应用为主线，对液压与气压控制阀的结构及基本回路进行了重点讲述，使其与实际应用相结合。针对高职高专教学的特点，本书强调对基本技能加强训练，增加了液压基本回路图例和液压系统应用实例，并详细介绍了液压与气动系统的安装、调试、维护与维修等相关知识。考虑到液压与气压传动之间存在较多的共性，为避免不必要的重复，教材中对气动技术的相关内容进行了适当的压缩。

本书由侯会喜任主编，李莉、赵晓平、张俊任副主编，马韧宾、官丹参加编写。全书由申晓龙主审。

本书适合作为高职高专院校机电类、机械类专业的教材，也可作为中等职业学校相关专业的教学参考书，并可供机械类工程技术人员参考使用。

由于编者水平所限，书中如有不足之处敬请使用本书的师生与读者批评指正，以便修订时改进。如读者在使用本书的过程中有其他意见或建议，恳请向编者(bjzhangxf@126.com)提出宝贵意见。

编 者

# 目 录

|                          |                             |
|--------------------------|-----------------------------|
| 第 1 章 液压传动概述..... 1      | 6.1 概述..... 79              |
| 1.1 液压传动的工作原理及组成.....1   | 6.2 方向控制阀及方向控制回路..... 80    |
| 1.2 液压传动的优缺点及应用和发展.....4 | 6.3 压力控制阀及压力控制回路..... 84    |
| 1.3 实验.....5             | 6.4 流量控制阀及速度控制回路..... 92    |
| 第 2 章 液压流体力学基础..... 7    | 6.5 其他速度控制回路..... 99        |
| 2.1 液压油.....7            | 6.6 其他基本控制回路..... 106       |
| 2.2 液体静力学基础.....12       | 6.7 其他阀及其应用..... 110        |
| 2.3 液体动力学基础.....16       | 6.8 实验..... 115             |
| 2.4 液压系统的能量损失.....18     | 第 7 章 典型液压传动系统..... 121     |
| 2.5 液体流经孔口及缝隙的流量.....20  | 7.1 组合机床动力滑台液压系统..... 121   |
| 2.6 空穴现象和液压冲击.....22     | 7.2 汽车起重机液压系统..... 124      |
| 第 3 章 液压动力装置..... 25     | 7.3 液压压力机液压系统..... 128      |
| 3.1 液压泵概论.....25         | 7.4 数控机床液压系统..... 132       |
| 3.2 齿轮泵.....27           | 第 8 章 液压传动系统的设计与计算..... 135 |
| 3.3 叶片泵.....32           | 8.1 液压系统的设计要求及参数确定.... 135  |
| 3.4 柱塞泵.....37           | 8.2 拟订液压系统原理图及元件选择.... 139  |
| 3.5 液压泵的选用.....40        | 8.3 液压系统主要性能的验算..... 142    |
| 3.6 实验.....41            | 8.4 绘制工作图和编制技术文件..... 144   |
| 第 4 章 液压执行装置..... 47     | 第 9 章 液压伺服系统..... 145       |
| 4.1 液压执行机构的类型和特点.....47  | 9.1 液压伺服系统的工作原理及特性.... 145  |
| 4.2 液压缸的典型结构和组成.....56   | 9.2 液压伺服阀及伺服机构..... 146     |
| 4.3 液压缸主要尺寸的确定.....61    | 9.3 液压伺服系统实例..... 151       |
| 第 5 章 液压辅助装置..... 65     | 第 10 章 液压系统的使用与维护..... 155  |
| 5.1 油管及管接头.....65        | 10.1 液压系统的安装与清洗..... 155    |
| 5.2 滤油器.....66           | 10.2 液压系统的调试..... 156       |
| 5.3 密封装置.....69          | 10.3 液压系统保养..... 157        |
| 5.4 蓄能器.....72           | 10.4 液压系统的故障分析和排除方法.. 157   |
| 5.5 油箱.....74            | 第 11 章 气压传动元件..... 163      |
| 5.6 流量计压力表及表开关.....77    | 11.1 气压传动概述..... 163        |
| 第 6 章 液压元件与液压回路..... 79  | 11.2 气动元件..... 165          |

---

|                                 |     |                           |     |
|---------------------------------|-----|---------------------------|-----|
| <b>第 12 章 气动基本回路与常用回路</b> ..... | 191 | 12.6 气压系统应用与分析 .....      | 200 |
| 12.1 方向控制回路 .....               | 191 | <b>第 13 章 气动系统安装调试、使用</b> |     |
| 12.2 压力和力控制回路 .....             | 192 | <b>及维护</b> .....          | 204 |
| 12.3 速度控制回路 .....               | 195 | 13.1 气动系统的安装与调试 .....     | 204 |
| 12.4 位置控制回路 .....               | 197 | 13.2 气动系统的使用与维护 .....     | 205 |
| 12.5 其他气动常用回路 .....             | 198 | <b>参考文献</b> .....         | 210 |

# 第 1 章 液压传动概述

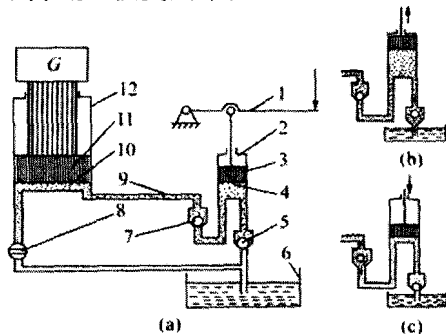
液压传动是以液体为工作介质，利用液体的压力能来进行能量传递的传动方式，它包括液压传动和液力传动。液压传动主要是利用液体的压力能来传递能量，而液力传动则主要是利用液体的动能来传递能量，两者在原理上有很大区别，本书主要讨论前者。

## 1.1 液压传动的工作原理及组成

### 1.1.1 传动的工作原理

首先，我们从液压千斤顶着手来讨论液压传动的工作原理，液压千斤顶是一种起重高度小(小于 1m)的最简单的起重设备。它主要用于厂矿和交通运输等部门，做车辆修理及其他起重和支撑等工作。下面以液压千斤顶为例简述液压传动的工作原理。

如图 1-1 所示，液压千斤顶主要由手动柱塞液压泵(杠杆 1、泵体 2、活塞 3)和液压缸(活塞 11、缸体 12)两大部分构成。工作时，关闭放油阀 8，向上提起杠杆，活塞 3 被带动上升，如图 1-1(b)所示，泵体油腔 4 的工作容积增大，由于单向阀 7 受油腔 10 中油液的作用力而关闭，油腔 4 形成真空，油箱 6 中的油液在大气压力的作用下，推开单向阀 5 的钢球，进入并充满油腔 4。压下杠杆，活塞 3 被带动下移，如图 1-1(c)所示，泵体油腔 4 的工作容积减小，其内的油液在外力的挤压作用下压力增大，迫使单向阀 5 关闭，而单向阀 7 的钢球被推开，油液经油管 9 进入缸体油腔 10，缸体油腔的工作容积增大，推动活塞 11 连同重物 G 一起上升。反复提压杠杆，就能不断从油箱吸入油液并压入缸体油腔 10，使活塞 11 和重物不断上升，从而达到起重的目的。提压杠杆的速度越快，单位时间内压入缸体油腔 10 的油液越多，重物上升的速度越快。重物越重，下压杠杆的力就越大。停止提压杠杆，单向阀 7 被关闭，缸体油腔中的油液被封闭。此时，重物保持在某一位置不动。若将放油阀旋转 90°，缸体油腔直接连通油箱，油腔 10 中的油液在重物的作用下流回油箱，活塞 11 将下降直至恢复到原位。



(a)工作原理图；(b)泵的吸油过程；(c)泵的压油过程

图 1-1 液压千斤顶的工作原理

1—杠杆；2—泵体；3、11—小活塞；4、10—油腔；5、7—单向阀；  
6—油箱；8—放油阀；9—油管；12—缸体

液压千斤顶是一个简单的液压传动装置。从其工作过程可以看出，液压传动的工作原理是以油液作为工作介质，通过密封容积的变化来传递运动，通过油液内部的压力来传递动力。

## 1.1.2 液压传动系统的组成

### 1.1.2.1 机床工作台液压传动系统

如图 1-2 所示为一简化了的机床工作台液压传动系统。液压泵 4 在电动机(图中未画出)的带动下旋转，油液由油箱 1 经过滤器 2 被吸入液压泵，在液压泵输入的压力作用下，通过手动换向阀 9、节流阀 13、换向阀 15 进入液压缸 18 的左腔，推动活塞 17 和工作台 19 向右移动，同时液压缸 18 右腔的油液经换向阀 15 排回油箱。如果将换向阀 15 转换成如图 1-2(b)所示的状态，则压力油进入液压缸 18 的右腔，推动活塞 17 和工作台 19 向左移动，液压缸 18 左腔的油液经换向阀 15 排回油箱。工作台 19 的移动速度由节流阀 13 来调节。当节流阀开大时，进入液压缸 18 的油液增多，工作台的移动速度增大；当节流阀关小时，工作台的移动速度减小。液压泵 4 输出的压力油除了进入节流阀 13 以外，其余的打开溢流阀 7 流回油箱。如果将手动换向阀 9 转换成如图 1-2(c)所示的状态，液压泵输出的油液经手动换向阀 9 流回油箱，这时工作台停止运动，液压系统处于卸荷状态。

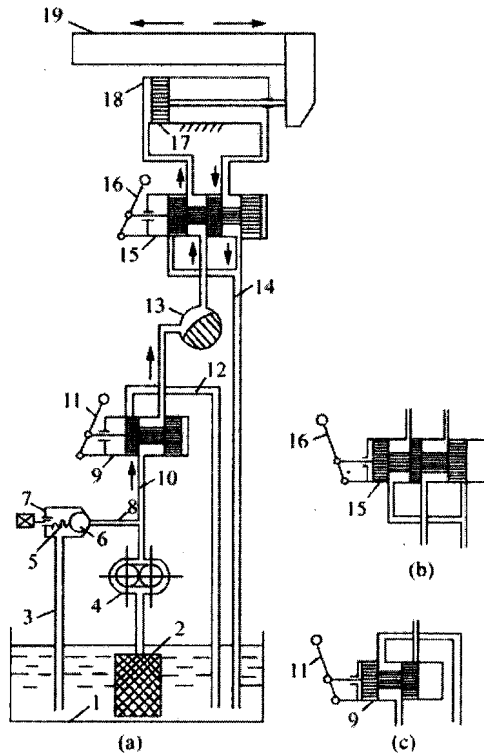


图 1-2 机床工作台液压传动系统

- 1—油箱；2—过滤器；3、12、14—回油管；4—液压泵；5—弹簧；6—钢球；7—溢流阀；  
8、10—压力油管；9—手动换向阀；11、16—换向手柄；13—节流阀；15—换向阀；  
17—活塞；18—液压缸；19—工作台



### 1.1.2.2 液压传动系统的组成

由图 1-2 机床工作台液压传动系统可以看出, 一个完整的液压系统除工作介质外, 一般由下列 4 个部分组成。

(1) 动力元件。将原动机的机械能转换为液体压力能的装置。在液压系统中动力元件是液压泵, 在液压千斤顶中为手动柱塞泵。

(2) 执行元件。将液压泵输入的液体压力能转化为机械能的装置。执行元件有液压缸和液压马达, 在液压千斤顶中为液压缸。

(3) 控制元件。用来控制和调节液体的压力、流量和流动方向的装置。控制元件有各种压力控制阀、流量控制阀和方向控制阀等, 在液压千斤顶中为放油阀、单向阀。

(4) 辅助元件。指以上 3 种组成部分以外的其他装置, 如各种管接件、油管、油箱、过滤器、蓄能器和压力表等。它主要起连接、输油、贮油、过滤、贮存压力能和测量等作用。

### 1.1.3 液压传动系统的符号

如图 1-1 和图 1-2 所示的液压千斤顶和机床工作台液压系统结构原理图具有直观性强、容易理解的特点。但其绘制较复杂, 特别是当系统中元件较多时, 绘制更为困难。为了方便阅读、分析、设计和绘制液压系统, 工程实际中, 国内外都采用液压元件的图形符号来表示。这些符号只表示元件的功能、操作(控制)方法及外部接口, 不表示元件的具体结构及参数、连接口的实际位置和元件的安装位置。GB/T 786.1—1993《液压气动图形符号》对液压气动元件的图形符号作了具体规定, 常用液压元件及液压系统其他有关装置或器件的图形符号见相关手册。如图 1-3 所示为使用图形符号表示的机床工作台液压系统工作原理图。

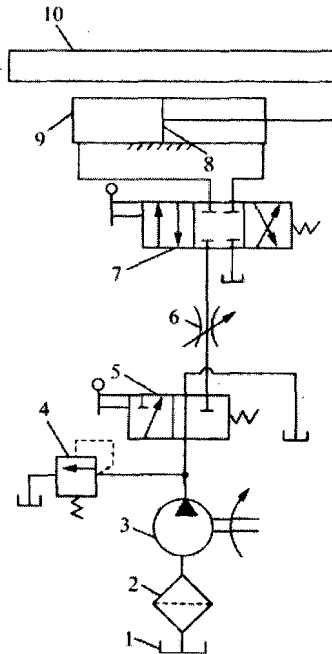


图 1-3 机床工作台液压系统的图形符号图

1—油箱; 2—过滤器; 3—液压泵; 4—溢流阀; 5—手动换向阀; 6—节流阀;

7—换向阀; 8—活塞; 9—液压缸; 10—工作台

## 1.2 液压传动的优缺点及应用和发展

### 1.2.1 液压传动的优缺点

液压传动与机械传动、电气传动、气压传动等相比较,具有以下特点。

#### 1.2.1.1 液压传动的优点

(1) 在同等功率的情况下,液压传动装置的体积小、重量轻、结构紧凑,如液压马达的重量只有同等功率电动机重量的 10%~20%。当液压传动采用同等高压时,则更容易获得很大的力或力矩。

(2) 液压系统执行机构的运动比较平稳,能在低速下稳定运动。当负载变化时,其运动也较稳定。同时因其惯性小、反应快,所以易于实现快速启动、制动和频繁地换向。在往复回转运动时换向可达每分钟 500 次,往复直线运动时换向可达每分钟 1 000 次。

(3) 液压传动可在大范围实现无级调速,调速比一般可达 100 以上,最大可达 2 000 以上,并且可在液压装置运行的过程中进行调速。

(4) 液压传动容易实现自动化,因为它是对液体的压力、流量和流动方向进行控制或调节,操纵很方便。当采用电液联合控制甚至计算机控制后,可实现大负载、高精度、远程自动控制。

(5) 液压装置易于实现过载保护且液压件能自行润滑,因此使用寿命较长。

(6) 液压元件实现了标准化、系列化、通用化,便于设计、制造和使用。

#### 1.2.1.2 液压传动的缺点

(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所造成的。

(2) 液压传动在工作过程中常有较多的能量损失(如摩擦损失和泄漏损失等)。

(3) 液压传动对油温的变化比较敏感,它的工作稳定性容易受到温度变化的影响,因此不宜在温度变化很大的环境中工作。

(4) 为了减少泄漏,液压元件在制造精度上的要求比较高,因此其造价较高,且对油液的污染比较敏感。

(5) 液压传动出现故障的原因较复杂,而且查找困难。

总的说来,液压传动的优点较为突出,且它的一些缺点现已大为改善。相信随着科学技术的发展,其缺点将得到进一步地克服。

### 1.2.2 液压传动技术发展概况

相对于机械传动来说,液压传动是一门新学科。从 17 世纪中叶帕斯卡提出静压传动原理,18 世纪末英国制成第一台水压机算起,液压传动技术已有二三百年的历史。只是由于早期技术水平和生产需求的不足,液压传动技术没有得到普遍地应用。随着科学技术的不断发展,对传动技术的要求越来越高,液压传动技术得到了不断发展。特别是在第二次世界大战期间及战后,由于军事及建设需求的刺激,液压传动技术日趋成熟。

第二次世界大战成功地将液压传动装置用于舰艇炮塔转向器,其后出现了液压六角车床和磨床。第二次世界大战期间,随着功率大、反应快、动作准的液压传动和控制装置在兵器上的广泛应用,兵器的性能得到了很大的提高,同时也大大促进了液压技术的发展。

战后, 液压技术迅速转向民用, 并随着各种标准的不断制订和完善及各类元件的标准化、规格化、系列化而在机械制造, 工程机械、农业机械和汽车制造等行业中推广开来。近30年来, 原子能技术、航空航天技术、控制技术、材料科学和微电子技术等学科的发展, 再次使液压技术得到进一步发展, 使它发展成为包括传动、控制、检测在内的一门完整的自动化技术, 在国民经济的各个部门都得到了应用。如今采用液压传动的程度已成为衡量一个国家工业化程度的重要标志之一。

## 1.2.3 液压传动的广泛应用及发展方向

### 1.2.3.1 液压传动的广泛应用

由于液压传动的显著优点, 如今, 液压传动已被广泛地应用在各个领域之中。

- (1) 工业上的应用, 如机床、塑料加工机械、压力机和重工业(炼钢厂和轧钢厂)等。
- (2) 土建工程和发电厂上的应用, 如船闸和堰坝、桥梁操纵机构、涡轮机控制、舞台技术、操控技术和核电站等。
- (3) 行走机械上的应用, 如建筑机械、农用机械和汽车工业等。
- (4) 造船业上的应用, 如方向舵的调节、船用起重机、舱壁门、锚机和船头推进器等。
- (5) 在特种技术领域中的应用, 如伸缩系统、天线的操纵机构、传感器浮标、飞行器的起落架和副翼的操纵机构等。

### 1.2.3.2 液压传动的发展方向

(1) 液压传动正向着高压、高速、大功率、高效、低噪声、经久耐用、高度集成化的方向发展。

(2) 与计算机科学相结合。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)、计算机实时控制技术、机电一体化技术、计算机仿真技术和优化技术相结合。

(3) 与其他相关科学结合。如污染控制技术和可靠性技术等方面也是当前液压技术发展和研究的方向。

(4) 开辟新的应用领域。

## 1.3 实验 液压系统组成

### 1.3.1 实验目的

通过对简单液压系统的组装和调试, 更加形象、准确地了解液压传动系统的组成部分, 加深对液压传动系统工作原理和工作特点的认识。

### 1.3.2 实验设备

液压传动实验台 1 部。

### 1.3.3 实验内容

组装液压系统, 对液压系统进行调试, 观察及了解各零件在液压系统中的作用, 分析液压系统的工作原理, 更加直观地体会液压传动的工作特点。

液压传动系统的组成如图 1-4 所示。

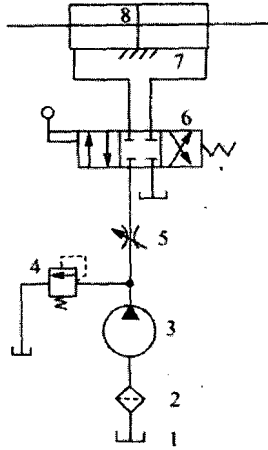


图 1-4 液压传动系统的组成

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

(1) 实验原理。电机驱动液压泵 3 从油箱中吸油，将油加压后输入油路，经节流阀 5、换向阀 6 进入液压缸 7 左腔，推动活塞向右运动。液压缸右腔的油经换向阀 6 和回油管流回油箱。操纵换向阀 6 的手柄，可改变换向阀的工作位置，从而使油液分别进入液压缸两腔，推动活塞左右运动。活塞运动速度的大小是靠调节节流阀 5 节流口的大小实现的。系统调压和稳压则要通过调节溢流阀来实现。液压系统中负载大，则系统油压上升，反之，系统油压降低，当油压大于溢流阀的调定压力时，溢流阀打开，系统油压稳定在溢流阀的调定值上。由此可见，系统压力取决于负载，并随负载大小的变化而变化。

(2) 实验报告要求。分析本实验液压系统各组成部分涉及的液压元件；分析液压系统中各元件的作用。

## 思考题

1. 试述液压传动的定义。
2. 液压传动系统由哪几部分组成？各组成部分的主要作用是什么？
3. 为什么采用图形符号替代液压系统结构原理图？
4. 试述液压有哪些优缺点。

# 第2章 液压流体力学基础

在液压传动中，液体是传递运动和动力的工作介质。液压系统是否能可靠有效地工作，在很大程度上取决于系统中所采用的工作介质。了解工作介质的种类、基本性质和主要力学特性，对于正确理解液压传动原理及其规律，从而正确使用液压系统是十分必要的。

## 2.1 液压油

了解液体的某些基本物理性质，研究液体的静力学、运动学和动力学规律，是液压系统的合理使用及设计计算的理论基础。

### 2.1.1 液压油的性质

#### 2.1.1.1 密度

单位体积液体的质量称为该液体的密度，用  $\rho$  表示。即

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (2-1)$$

液体的密度随温度的升高而下降，随压力的增加而增大。对于液压传动中常用的液压油(矿物油)来说，在常用的温度和压力范围内，密度变化很小，可视为常数。在计算时，常取 15℃ 时的液压油密度  $\rho=900 \text{ kg/m}^3$ 。

#### 2.1.1.2 可压缩性

液体受压力作用而发生体积减小的特性称为液体的可压缩性。一般中、低压液压系统，其液体的可压缩性很小，可认为液体是不可压缩的。只有在研究液压系统的动态特性和高压情况下，才考虑油液的可压缩性。但是，若液压油中混入空气，其压缩性将显著增加，并将严重影响液压系统的工作性能，故在液压系统中应尽量减少油液中的空气含量。

#### 2.1.1.3 黏性

##### 1. 黏性的意义

液体在外力作用下流动时，分子间的内聚力阻碍分子间的相对运动而产生内摩擦力的特性称为黏性。液体在流动时，它和固体壁面间的附着力以及它的黏性，会使液体内部各液层间的速度不相等。如图 2-1 所示，两平行平板间充满液体，下平板不动，而上平板以速度  $u_0$  向右平动。由于液体的黏性，紧靠下平板和上平板的液体层速度分别为零和  $u_0$ ，而中间各液层的速度则视它距下平板的距离按曲线规律或线性规律变化。因此，不同速度层相互制约而产生内摩擦力。

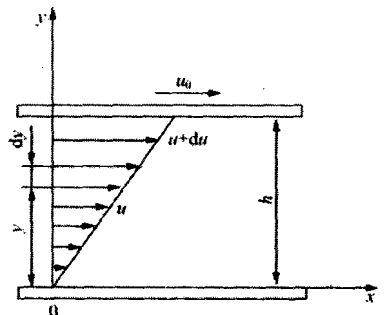


图 2-1 液体黏性示意图

实验测定指出，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  $A$  和液层间的相对运动速度  $du$  成正比，而与液层间的距离  $dy$  成反比，即

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

若  $\tau$  表示切应力，即单位面积上的内摩擦力，则

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (2-3)$$

式中  $\mu$ ——比例常数，称为动力黏度；

$\frac{du}{dy}$ ——速度梯度。

由上式可知，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现黏性的。

## 2. 液体的黏度

黏度是衡量流体黏性的指标。常用的黏度有 3 种：动力黏度、运动黏度和相对黏度。

(1) 动力黏度  $\mu$  又称绝对黏度，是表征液体黏性的内摩擦系数，可由式(2-3)导出，即

$$\mu = \tau \frac{dy}{du} \quad (2-4)$$

由此可知，液体动力黏度的物理意义是当速度梯度等于 1 时，流动液体液层间单位面积上的内摩擦力。

在 SI 单位中，动力黏度  $\mu$  的单位为  $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (帕·秒)或  $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 。在 CGS 中， $\mu$  的单位为 P(泊)。单位换算关系为  $1\text{Pa} \cdot \text{s} = 10\text{P}$ (泊) =  $1\,000\text{cP}$ (厘泊)

(2) 运动黏度  $\nu$  是动力黏度  $\mu$  与液体密度  $\rho$  之比，即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-5)$$

运动黏度  $\nu$  没有明确的物理意义。因为在其单位中只有长度和时间的量纲，所以称为运动黏度，它在液压分析和计算中是一个经常遇到的物理量。

在 SI 单位中，运动黏度的单位为  $\text{m}^2/\text{s}$ 。在 CGS 中，运动黏度的单位为 St(斯)。单位换算关系为  $1\text{m}^2/\text{s} = 10^4\text{St}$ (斯) =  $10^6\text{cSt}$ (厘斯)。

工程中常用运动黏度来标志液体黏度。机械油的牌号就是用机械油在  $40^\circ\text{C}$  时的运动黏度的平均值来表示的。如 10 号机械油就是指其在  $40^\circ\text{C}$  时的运动黏度的平均值为  $10\text{cSt}$ 。

牌号为 L-HL22 的普通液压油在  $40^\circ\text{C}$  时运动黏度的平均值为  $22\text{mm}^2/\text{s}$ (L 表示润滑剂类，H 表示液压油，L 表示防锈抗氧型)。

(3) 相对黏度又称条件黏度，是按一定的测量条件制定的。根据测量的方法不同，可分为恩氏黏度  $^\circ\text{E}$ 、赛氏黏度 SSU 和雷氏黏度 Re 等。我国和德国等国家采用恩氏黏度。

恩氏黏度用恩氏黏度计测定。其方法是：将 200mL 的被测液体装入底部有  $\phi 2.8\text{mm}$  小孔的恩氏黏度计的容器中，在某一特定温度  $t(^\circ\text{C})$  时，测定全部液体在自重作用下流过小孔所需的时间  $t_1$  与同体积的蒸馏水在  $20^\circ\text{C}$  时流过同一小孔所需的时间  $t_2$  之比，便是该液体在  $t(^\circ\text{C})$  时的恩氏黏度。

恩氏黏度和运动黏度之间的经验换算公式为

$$\nu = (7.31^\circ\text{E} - \frac{631}{^\circ\text{E}}) \times 10^{-6} \quad (2-6)$$

### 3. 黏度的影响因素

液体的黏度随液体的压力和温度而变化。当压力增加时，液体分子间距离减小，内聚力增加，其黏度也有所增加。在液压系统中，当压力不高且变化不大时，压力对黏度的影响较小，一般可以忽略不计。当压力高于 50MPa 或压力变化较大时，需要考虑这种影响。液压油的黏度对温度变化十分敏感。温度升高时，黏度下降。油液黏度的变化直接影响液压系统的性能和泄漏量，因此，黏度随温度的变化越小越好。液体黏度随温度变化的性质称为黏温特性。如图 2-2 所示为几种国产液压油的黏温特性曲线。

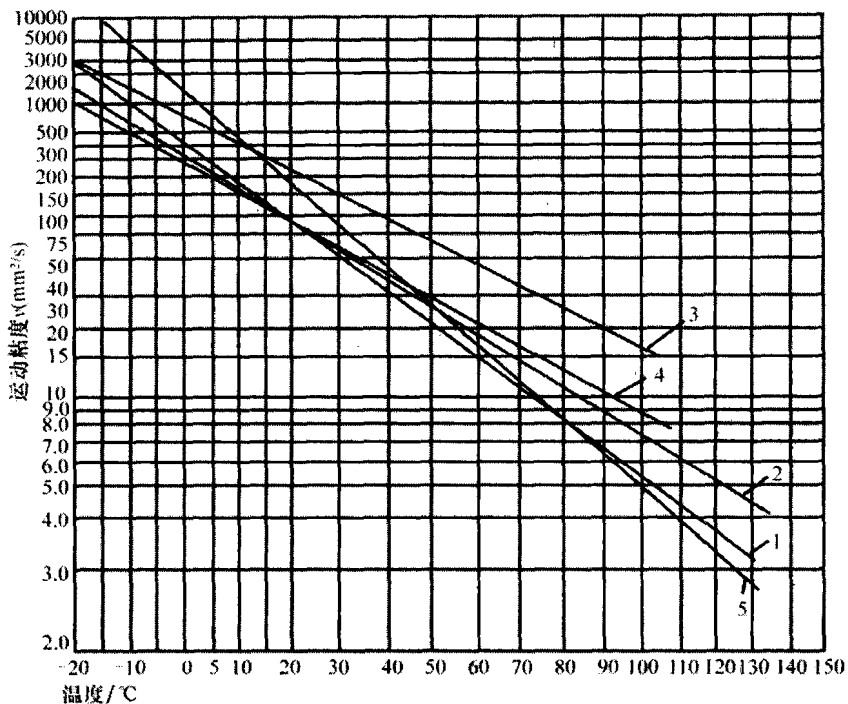


图 2-2 典型液压油的黏度—温度特性曲线

- 1—石油型普通液压油；2—石油型高黏度指数液压油；3—抗燃性水包油乳化液；  
4—抗燃性乙二醇液；5—抗燃性磷酸酯液

### 4. 其他性质

液压油的其他一些物理化学性质，如抗燃性、抗氧化性、抗泡沫性、抗乳化性、防锈性和抗磨性等，都对它的选择和使用有重要影响。这些性质需要在精炼的矿物油中加入各种添加剂来获得，具体应用时可查油类产品手册。

#### 2.1.2 液压传动用油的要求

液压介质的性能对液压系统的工作状态有很大影响，液压系统对工作介质的基本要求如下。

(1) 有适当的黏度和良好的黏温特性。黏度是选择工作介质的首要因素。液压油的黏性对减少间隙的泄漏、保证液压元件的密封性能都起着重要作用。黏度过高，各部件运动阻力增加，温升快，泵的自吸能力下降，同时，管道压力降低功率损失增大。反之，黏度

过低会增加系统的泄漏,并使液压油膜支承能力下降,导致摩擦副间产生摩擦。所以,工作介质要有合适的黏度范围,同时在温度、压力变化下和剪切力作用下,油的黏度变化要小。所有工作介质的黏度都随温度的升高而降低,黏温特性好是指工作介质的黏度随温度变化小。

(2) 质地纯净,杂质少。

(3) 化学稳定性好。在贮存和工作过程中不易氧化变质,以防胶质沉淀物影响系统正常工作,防止油液变酸,腐蚀金属表面。

(4) 抗乳化性、抗泡沫性好。工作介质在工作过程中可能混入水或出现凝结水。混有水分的工作介质在泵和其他元件的长期剧烈搅拌下,易形成乳化液,使工作介质水解变质或生成沉淀物,引起工作系统锈蚀和腐蚀,所以要求工作介质有良好的抗乳化性。抗泡沫性是指空气混入工作介质后会产生气泡,混有气泡的介质在液压系统内循环会产生异常的噪声、振动,所以要求工作介质具有良好的抗泡沫性和空气释放能力。

(5) 闪点、燃点高,能防火、防爆。一般液压系统中所用的液压油的闪点约为 130~150℃。

(6) 凝固点低。一般液压系统中所用的液压油的凝固点约为-10~-15℃。

(7) 有良好的润滑性。在规定的范围内有足够的油膜强度,以免产生干摩擦。

(8) 对人体无害,成本低。

### 2.1.3 液压油类型

液压传动介质按照 GB/T 7631.2—87 进行分类,主要有石油基液压油和难燃液压力两大类。

#### 2.1.3.1 石油基液压油

(1) L-HL 液压油(又名普通液压油)。采用精制矿物油作基础油,加入抗氧、抗腐、抗泡和防锈等添加剂调合而成,是当前我国供需量最大的主品种,用于一般液压系统,但只适于 0℃ 以上的工作环境。其牌号有:HL-32、HL-46、HL-68。在其代号 L-HL 中,L 代表润滑剂类,H 代表液压油,L 代表防锈、抗氧化型,最后的数字代表运动黏度。

(2) L-HM 液压油(又名抗磨液压油,M 代表抗磨型)。除普通液压油具有的全部添加剂外,还加有抗氧、防锈剂,主剂是极压抗磨剂,以减少液压件的磨损。适用于-15℃ 以上的高压、高速工程机械和车辆液压系统。其牌号有:HM-32、HM-46、HM-68、HM-100、HM-150。

(3) L-HG 液压油(又名液压—导轨油)。除普通液压油所具有的全部添加剂外,还加有油性剂,用于导轨润滑时有良好的防爬性能。适用于机床液压和导轨润滑合用的系统。

(4) L-HV 液压油(又名低温液压油、稠化液压油、高黏度指数液压油)。用深度脱蜡的精制矿物油,加抗氧、抗腐、抗磨、抗泡、防锈、降凝和增黏等添加剂调合而成。其黏温特性好,有较好的润滑性,以保证不发生低速爬行和低速不稳定现象。适用于低温地区的户外高压系统及数控精密机床液压系统。

(5) 其他专用液压油,如航空液压油(红油)、炮用液压油和舰用液压油等。

#### 2.1.3.2 难燃液压力

难燃液压力可分为合成型、油水乳化型和高水基型 3 大类。



### 1. 合成型抗燃工作液

(1) 水—乙二醇液(L-HFC 液压液)。这种液体含有 35%~55%的水,其余为乙二醇及各种添加剂(增稠剂、抗磨剂和抗腐蚀剂等)。其优点是凝点低(-50℃),有一定的黏性,而且黏度指数高,抗燃。适用于要求防火的液压系统,使用温度范围为-18~65℃。其缺点是价格高,润滑性差,只能用于中等压力(20MPa 以下)。这种液体密度大,所以吸入困难。水—乙二醇液能使许多普通油漆和涂料软化或脱离,可换用环氧树脂或乙烯基涂料。

(2) 磷酸酯液(L-HFDR 液压液)。这种液体的优点是使用的温度范围宽(-54~135℃),抗燃性好,抗氧化安定性和润滑性都很好,允许使用现有元件在高压下工作。其缺点是价格昂贵(为液压油的 5~8 倍),有毒性,与多种密封材料(如丁腈橡胶)的相容性很差,而与丁基胶、乙丙胶、氟橡胶、硅橡胶和聚四氟乙烯等均可相容。

### 2. 油水乳化型抗燃工作液(L-HFB、L-HFAE 液压液)

油水乳化液是指互不相溶的油和水,使其中的一种液体以极小的液滴均匀地分散在另一种液体中所形成的抗燃液体。分水包油乳化液和油包水乳化液两大类。

### 3. 高水基型抗燃工作液(L-HFAS 液压液)

这种工作液不是油水乳化液。其主体为水,占 95%,其余 5%为各种添加剂(抗磨剂、防锈剂、抗腐剂、乳化剂、抗泡剂、极压剂和增黏剂等)。其优点是成本低,抗燃性好,不污染环境。其缺点是黏度低,润滑性差。

液压系统中的工作液体既是传递功率的介质,又是液压元件的冷却、防锈和润滑剂。在工作中产生的磨粒和来自外界的污染物,也要靠工作液体带走。工作液体的黏性,对减少间隙的泄漏、保证液压元件的密封性能都起着重要作用。

## 2.1.4 液压油选择

液压油的种类很多,在选择时要考虑以下几个方面。

(1) 液压系统的工作条件。按系统中液压元件,主要是液压泵来确定工作介质的黏度,见表 2-1。同时,要考虑工作压力范围、油膜承载能力、润滑性、系统温升程度、工作介质与密封材料是否相容等要求。

表 2-1 按液压泵类型推荐用工作介质的黏度

| 液压泵类型 | 工作介质黏度 $v_{40}(\text{mm}^2/\text{s})$ |               |
|-------|---------------------------------------|---------------|
|       | 液压系统温度 5~40℃                          | 液压系统温度 40~80℃ |
| 齿轮泵   | 30~70                                 | 65~165        |
| 叶片泵   | $p > 7.0\text{MPa}$                   | 30~50         |
|       | $P \geq 7.0\text{MPa}$                | 50~70         |
| 径向柱塞泵 | 30~80                                 | 65~240        |
| 轴向柱塞泵 | 40~75                                 | 70~150        |

(2) 液压系统的工作环境。主要是环境温度的变化范围、有无明火和高温热源、抗燃性等要求。还要考虑环境污染、毒性和气味等因素。

(3) 综合经济分析。选择工作介质时要通盘考虑价格和使用寿命,高质量的液压油从一次购置的角度来看花费较大,但从使用寿命、元件更换、运行维护、生产效率的提高上看,总的经济效益是非常合算的。