

中等专业学校规划教材

# 液压传动与采掘机械

梁兴义 徐蒙良 主编

煤炭工业出版社

中等专业学校规划教材

# 液压传动与采掘机械

梁兴义 徐蒙良 主编

煤炭工业出版社

## 内 容 提 要

本书在简明扼要介绍了液压传动的基本概念、液压元件类型和结构原理、液压基本回路和液压系统的基本知识之后,用较多篇幅叙述了采煤机、液压支架和掘进、装载机械的类型、基本知识、结构特点、工作原理以及使用维护知识。

本书是煤炭中等专业学校机电专业和机械专业的教材,也可作为煤炭职工中专相关课程的教材,并可供煤矿技术人员和采掘工人自学和工作参考。

中等专业学校规划教材

### 液压传动与采掘机械

梁兴义 徐蒙良 主编

责任编辑:刘永清

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门内大街甲21号)

北京宏伟胶印厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

开本 787×1092mm  $1/16$  印张 25 $1/4$

字数 601 千字 印数 1—6,055

1997年5月第1版 1997年5月第1次印刷

ISBN 7-5020-1385-7/TH137.1

书号 4154 B0170 定价 20.00 元

## 前 言

本书是根据煤炭中等专业学校矿山机电专业和机械专业的《液压传动与采掘机械课程教学大纲编写的。编写过程中注意了理论知识和实践知识的统一，内容先进性与实用性的统一。为了满足不同地区对采掘机械化要求的教学需要，在着重阐述了典型机械之后，注意了一般机械的特点介绍。力争做到结构合理、层次清晰、语言简洁通顺、插图简明正确。

本书编写分工是：马清虎高级讲师编写第一、二、三章，李锋高级讲师编写第四、六章，黄文建讲师编写第五、七、八章，梁兴义高级讲师编写第九章、第十章第一节和第十一章，徐蒙良高级讲师编写第十章第二节和第十二、十三、十四、十五、十六章，杜建平高级讲师编写第十七、十八、十九章。全书由梁兴义、徐蒙良担任主编并负责统稿工作。

本书经煤炭工业部科技教育司教材编审室及矿山机械编委会编委们认真审阅，尤其是马新民高级讲师认真仔细地审阅了书稿，提出了许多宝贵意见，对此我们表示深切谢意。

由于我们水平所限，错误之处在所难免，恳请使用本教材的教师和读者批评指正。

编 者

1995年3月

# 目 录

## 第一篇 液 压 传 动

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| <b>第一章 液压传动的基本知识</b> .....   | 1   |
| 第一节 液压传动的工作原理 .....          | 1   |
| 第二节 液压传动系统的组成 .....          | 2   |
| 第三节 液压传动的优缺点 .....           | 4   |
| <b>第二章 工作液体</b> .....        | 6   |
| 第一节 工作液体的主要物理性质 .....        | 6   |
| 第二节 液压传动用工作液体 .....          | 10  |
| 第三节 气穴现象和液压冲击 .....          | 15  |
| <b>第三章 液压泵</b> .....         | 17  |
| 第一节 概述 .....                 | 17  |
| 第二节 齿轮泵 .....                | 21  |
| 第三节 叶片泵 .....                | 27  |
| 第四节 柱塞泵 .....                | 32  |
| <b>第四章 液压马达</b> .....        | 49  |
| 第一节 概述 .....                 | 49  |
| 第二节 齿轮式液压马达 .....            | 52  |
| 第三节 叶片式液压马达 .....            | 56  |
| 第四节 柱塞式液压马达 .....            | 58  |
| <b>第五章 液压缸</b> .....         | 71  |
| 第一节 概述 .....                 | 71  |
| 第二节 常用液压缸的工作原理及性能参数 .....    | 71  |
| 第三节 液压缸的零部件结构及材料 .....       | 76  |
| <b>第六章 液压控制阀</b> .....       | 85  |
| 第一节 概述 .....                 | 85  |
| 第二节 方向控制阀 .....              | 86  |
| 第三节 压力控制阀 .....              | 96  |
| 第四节 流量控制阀 .....              | 103 |
| <b>第七章 辅助元件</b> .....        | 109 |
| 第一节 管道与管接头 .....             | 109 |
| 第二节 油箱与冷却器 .....             | 113 |
| 第三节 过滤器 .....                | 116 |
| 第四节 蓄能器 .....                | 120 |
| <b>第八章 液压基本回路与液压系统</b> ..... | 123 |
| 第一节 液压系统的基本类型 .....          | 123 |

|     |                  |     |
|-----|------------------|-----|
| 第二节 | 液压基本回路 .....     | 124 |
| 第三节 | 液压伺服系统基础知识 ..... | 136 |
| 第四节 | 典型液压系统 .....     | 142 |

## 第二篇 采 煤 机 械

|      |                                       |     |
|------|---------------------------------------|-----|
| 第九章  | 采煤机械概述 .....                          | 149 |
| 第一节  | 采煤机的组成与工作方式 .....                     | 149 |
| 第二节  | 采煤机的截割部 .....                         | 152 |
| 第三节  | 采煤机的牵引部 .....                         | 159 |
| 第四节  | 采煤机的辅助装置 .....                        | 163 |
| 第十章  | 单滚筒采煤机 .....                          | 169 |
| 第一节  | 1MGD200 型采煤机 .....                    | 169 |
| 第二节  | DY—150 型采煤机 .....                     | 198 |
| 第十一章 | MLS <sub>3</sub> —170 型双滚筒采煤机 .....   | 212 |
| 第一节  | 概述 .....                              | 212 |
| 第二节  | 截割部 .....                             | 215 |
| 第三节  | 牵引部 .....                             | 221 |
| 第四节  | 辅助装置 .....                            | 230 |
| 第五节  | MLS <sub>3</sub> —170 型系列采煤机机型 .....  | 233 |
| 第六节  | MLS <sub>3</sub> —170 型采煤机的使用维护 ..... | 236 |
| 第十二章 | 其它类型采煤机 .....                         | 241 |
| 第一节  | BM—100 型采煤机 .....                     | 241 |
| 第二节  | MG300—W 型采煤机 .....                    | 244 |
| 第三节  | MXA—300/3.5 型采煤机 .....                | 251 |
| 第四节  | AM—500 型采煤机 .....                     | 253 |
| 第五节  | 大倾角采煤机 .....                          | 259 |
| 第六节  | 电牵引采煤机 .....                          | 260 |
| 第七节  | 刨煤机 .....                             | 262 |

## 第三篇 回采工作面支护设备

|      |                             |     |
|------|-----------------------------|-----|
| 第十三章 | 液压支架工作原理及支架构成 .....         | 265 |
| 第一节  | 液压支架的组成及工作原理 .....          | 265 |
| 第二节  | 液压支架的分类及其特点 .....           | 267 |
| 第三节  | 液压支架的构成 .....               | 269 |
| 第十四章 | 各种类型液压支架 .....              | 276 |
| 第一节  | ZY2000/14/31 型掩护式支架 .....   | 276 |
| 第二节  | ZZ4000/17/35 型支撑掩护式支架 ..... | 284 |
| 第三节  | 特种用途液压支架 .....              | 292 |
| 第四节  | 液压支架的选型与使用维护 .....          | 305 |
| 第十五章 | 高档普采工作面支护设备 .....           | 310 |
| 第一节  | 单体液压支柱 .....                | 310 |
| 第二节  | 切顶支柱 .....                  | 314 |



# 第一篇 液 压 传 动

## 第一章 液压传动的基本知识

一部完整的机器，通常由原动机、传动装置和工作机构三部分组成。原动机包括电动机、内燃机等。工作机构是指机器完成工作任务的执行部分，如车床的卡盘、车刀，铲车的铲头，采煤机的截煤滚筒等。由于原动机的性能一般不能直接满足工作机构各种工况的要求，传动装置就成了机器必不可少的组成部分。传动装置分为机械传动、电气传动、气压传动和液体传动。

液压传动是液体传动的一个分支。它是以液体为工作介质，靠液体的压力能在原动机和工作机构之间进行能量转换、传递运动和力的一种传动形式。液压传动在各种机械设备中应用十分广泛。目前，煤矿采掘机械中大都采用了液压传动技术。

### 第一节 液压传动的工作原理

本节以液压千斤顶为例介绍液压传动的基本工作原理。液压千斤顶原理如图 1—1。小活塞与小液压缸、大活塞与大液压缸组成了两个密封而又可变化的工作容积。当向上提手柄时，小活塞向上运动，小活塞下部的密封容积增大，形成真空。在大气压力的作用下，油箱中的油液经油管、单向阀 4 进入小液压缸。当向下压手柄时，小活塞向下运动，密封容积变小，小液压缸内的油液受到挤压。由于这时单向阀 4 已关闭，被挤压的油液便打开单向阀 5 进入大液压缸，迫使大活塞向上移动顶起重物。反复扳动手柄，油液就不断地输入大液压缸下腔，推动大活塞缓慢上升，使重物升到所需高度。工作完毕后，打开放油阀，在重物作用下，大活塞下部的密封容积缩小，油液排回油箱，重物下降复位。

图 1—1 可简化为密闭连通器，如图 1—2 所示。如果大活塞 2 上有负载  $W$ ，小活塞 1 上作用的主动动力为  $F$ ，当连通器处于平衡状态时，小液压缸中的液体压力为

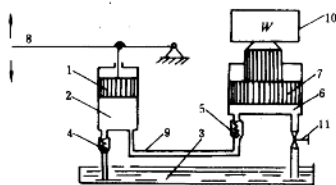


图 1—1 液压千斤顶原理示意图

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

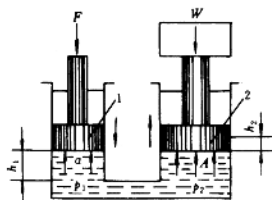


图 1—2 密闭连通器

1—小活塞；2—大活塞



$$p_1 = \frac{F}{a}$$

大液压缸中的液体压力为

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

式中  $a$  ——小活塞的面积；

$A$  ——大活塞的面积。

根据流体力学中的帕斯卡原理：密闭容器中静止液体的压力以同样大小向各个方向传递或称密闭容器中压力处处相等，所以

$$p_1 = p_2 = p = \frac{F}{a} = \frac{W}{A}$$

$$W = \frac{A}{a} F \quad (1-1)$$

由此可见，在液压传动中，力不但可以传递，而且通过作用面积的不同 ( $A > a$ )，力可以放大。这就是千斤顶能以较小的力顶起较重负载的原因。

由于液体几乎不可压缩，小液压缸输出的油液体积与输入大液压缸的油液体积相等，即

$$a h_1 = A h_2 \quad (1-2)$$

式中  $h_1$  ——小活塞下降的距离；

$h_2$  ——大活塞上升的距离。

将式 (1-2) 两边分别除以活塞运动的时间，得

$$a v_1 = A v_2 = Q \quad (1-3)$$

$$v_2 = \frac{a v_1}{A} = \frac{Q}{A} \quad (1-4)$$

$v_2$  和  $v_1$  分别表示大小活塞的运动速度， $Q$  为单位时间内容积的变化量，即流量。大活塞的运动速度  $v_2$  取决于容积变化量  $a v_1$  (或流量  $Q$ )。所以，液压传动是利用密封容器容积的变化实现的。传递运动的过程中，运动速度可以变化，可以增速，也可以减速，运动速度的大小只取决于密封容积的变化量，与所传递力的大小无关。因此，液压传动也称为容积式液压传动。

式 (1-3) 即流体力学中的流量连续性方程。由式 (1-1) 及式 (1-4) 得

$$W v_2 = F v_1 = p Q = P \quad (1-5)$$

上式中的  $W v_2$  是输出功率， $F v_1$  表示输入功率， $p Q$  为液压功率的表达形式。可见，液压传动装置为能量转化装置。如不考虑能量损失，液压传动中传递的能量为常量，符合能量守恒定律。

应该指出，液压传动中液体压力的大小决定于负载，也就是说，压力只随负载的大小而变化，与流量无关；负载的运动速度只与流量有关而与压力无关。

## 第二节 液压传动系统的组成

图 1-3 是某磨床工作台的液压系统，属于典型的泵—缸液压系统。工件被固定在工作台上，工作台往复运动时，可连续磨削工件。工作台 10 与活塞 9 两端的活塞杆固定在一起。当手柄处于图 1-3a 位置时，换向阀 6 与油管连接的  $P$ 、 $A$ 、 $B$ 、 $T$  孔互不相通，液压泵 3

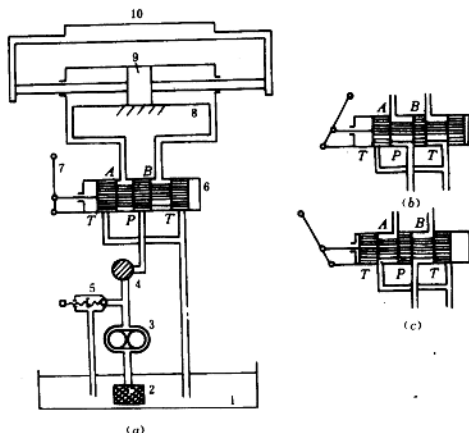


图 1-3 泵—缸液压系统

1—油箱；2—过滤器；3—液压泵；4—节流阀；5—溢流阀；6—换向阀；  
7—手柄；8—液压缸；9—活塞；10—工作台

经过滤器 2 从油箱 1 吸入的油液通过溢流阀 5 又排回油箱，工作台停止不动。若将手柄向右推，使换向阀处于图 1-3b 所示位置，阀孔  $P$  与  $A$ 、 $B$  与  $T$  相通，液压泵输出的压力油液经节流阀 4 从  $P$  孔流入换向阀，再经  $A$  孔进入液压缸左腔。在压力油液的作用下，活塞带动工作台向右运动。与此同时，活塞右腔的油液从  $B$  孔流入换向阀，再经  $T$  孔流回油箱。若使换向阀向左移动（图 1-3c），压力油液经  $P$ 、 $B$  孔进入液压缸右腔，推动工作台向左运动，液压缸左腔的油液经  $A$ 、 $T$  孔回油箱。反复扳动手柄，即可实现工作台的往复运动。工作台的运动速度是可以调节的。调节节流阀 4 的开口大小，可以改变输入液压缸的流量，从而控制工作台的运动速度。

液压泵的流量往往是按工作机构的最大运动速度配备的。由于工作机构速度的改变，液压泵的流量通常大于所需流量，多余的油液须接回油箱。图中的溢流阀 5 就是为这一要求设置的。溢流阀 5 还同时起到保持系统压力稳定、防止系统过载的作用，调节溢流阀 5 还可以改变系统的工作压力。过滤器 2 安装在吸液管口，用于过滤油液中的杂质，保持清洁的油液进入液压系统。

图 1-3 是液压系统的结构原理图。它可以直观地表示各种液压元件的工作原理及其在系统中的功能，而且比较接近于元件的实际结构，因而容易理解，系统发生故障时，查找也较方便，但图形复杂，系统元件较多时，绘制较困难。因此液压系统通常用图形符号绘制。图 1-4 即为上述液压系统的图形符号图。用图形符号绘制的液压系统图，图形标准化，绘制方便，功能清晰，阅读容易，是通用的工程语言。但是它只能表示液压系统各元件的

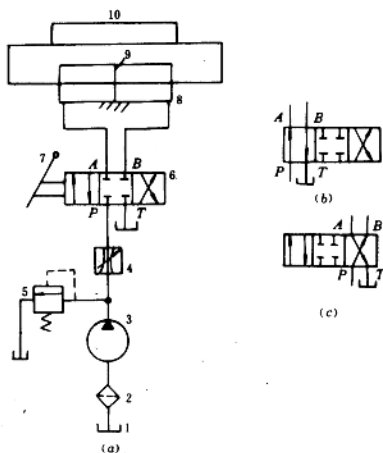


图 1—4 用图形符号表示的液压传动原理图

1—油箱；2—过滤器；3—液压泵；4—节流阀；5—溢流阀；  
6—换向阀；7—手柄；8—液压缸；9—活塞；10—工作台

(4) 辅助元件，包括油箱、管道、滤油器、蓄能器、冷却器、加热器及监测仪表等。它们的功能是多方面的，各不相同。

(5) 工作液体，指液压油和乳化液等。它是液压系统中能量的载体，传递力和运动的介质，是液压传动系统中最本质的一个组成部分。

液压系统的基本组成部分、各元件的相互关系及能量传递与转换的路线如图 1—5 所示。

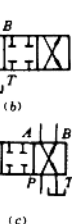


图 1—5 液压传动系统中液压元件之间的关系

### 第三节 液压传动的优缺点

液压传动、机械传动和电力传动是目前应用最广的三种传动方式。与机械传动相比，液压传动具有下列优点：

(1) 工作液体可以用管道输送到任何位置。执行元件可以布置得离原动机较远，方位也不受限制。借助油管的连接可以方便灵活地布置传动机构。液压传动还能方便地将原动机的旋转运动变为直线运动。这些特点十分适合工程机械、采矿设备的需要。煤矿井下使用的单体液压支柱和液压支架就是典型的实例。

功能，不表达这些元件的具体结构及其在系统中的安装位置。液压元件图形符号新、旧国标对照见附录，本书仍采用旧标准表示。

由液压千斤顶和磨床工作台的液压系统可以看出，一个完整的液压系统有以下 5 个基本组成部分：

(1) 动力元件，即液压泵（或称油泵）。它是将原动机（常用的有人力机构、电动机和内燃机）所提供的机械能转变为工作液体的液压能的机械装置。

(2) 执行元件，即液动机。它的作用是将液压泵提供的工作液体的液压能转变为驱动负载的机械能。作往复直线运动的液动机称为液压缸或油缸；作连续旋转运动的液动机称为液压马达或油马达。

(3) 控制元件，指各种液压控制阀。它们的作用是控制液压系统的压力、流量和液流方向。

(2) 可以方便地实现无级调速, 调速性能不受功率大小的限制, 而且调速范围大, 速比可达  $100:1$ , 传动系统又比较简单。

(3) 载荷控制、速度控制以及方向控制容易实现, 也容易进行集中控制、遥控和自动控制。

(4) 液压传动可以实现无间隙传动, 工作液体具有吸振能力, 因此液压元件受冲击力小, 传动平稳。

(5) 工作液体一般都是油液, 液压元件都在油中工作, 具有良好的润滑条件, 因此有利于提高液压元件工作的可靠性和使用寿命。

(6) 液压元件有利于实现标准化、系列化和通用化, 便于大批量生产和推广应用。

与电力传动相比, 液压传动的主要优点是:

(1) 质量轻、体积小。液压泵、液压马达单位功率的质量指标仅为发电机和电动机的十分之一左右。这是由于电机受到磁饱和的限制, 单位面积上的切向力不到  $1\text{MPa}$ , 而液压件受的液压力, 只受自身的强度限制, 一般可达  $35\text{MPa}$ , 所以发电机和电动机的能容量比液压泵和液压马达小得多。

(2) 惯性小, 响应速度快。液压马达的力矩与转动惯量之比较电机大得多, 所以其加速性能好。加速中等功率电机需要  $1\text{s}$  至几秒钟, 而加速同等功率的液压马达只需  $0.1\text{s}$  左右。因此, 液压马达可以实现高频换向。液压马达的这种特性, 对控制系统有重要意义。

(3) 液压马达的低速稳定性比电机好。

液压传动的主要缺点是:

(1) 由于液体流动的阻力损失, 油液的泄漏以及机械摩擦的存在, 液压传动的效率较低, 一般为  $0.75\sim 0.8$  左右。

(2) 温度的变化对系统的工作性能影响较大。一般的液压系统不适合在高温或低温的环境工作。

(3) 由于工作液体的泄漏和可压缩性, 液压系统的刚性较差。因此液压传动无法保证严格的传动比。

(4) 液压元件对工作液体的污染很敏感。污染的液压油会使液压元件磨损、堵塞、性能变坏、寿命缩短。因此, 液压系统对工作液体的使用维护要求十分严格。

(5) 液压元件制造精度要求较高, 因而价格较贵。

(6) 液压系统的故障判断和处理比较困难, 因此要求使用和维护人员有较高的技术水平和专业知识。

总的来说, 液压传动的优点是主要的, 某些缺点, 随着生产水平的提高和科学技术的发展将逐步得到克服与改善。液压传动技术在许多工业部门有着广阔的发展前景。

### 习题与思考题

1. 什么是液压传动? 液压传动具有哪些功能? 有哪些特点? 容积式液压传动的概念是什么?
2. 液压传动系统的基本组成部分有哪些? 各部分的作用是什么?
3. 液压传动与其它传动相比有哪些优缺点?
4. 液压系统图有几种表示方法? 并分述其优缺点。

## 第二章 工 作 液 体

### 第一节 工作液体的主要物理性质

液压传动是以油液作为工作介质来传递动力的，油液的物理性质对系统的工作性能有很大影响。本节主要介绍与液压传动系统的工作性能有关的一些物理性质。

#### 一、密度和重度

液体单位体积的质量称为密度，常用符号  $\rho$  表示。

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-1)$$

式中  $\rho$  ——液体的密度， $\text{kg/m}^3$ ，对矿物油一般取  $\rho = 850 \sim 900 \text{kg/m}^3$ ；

$m$  ——液体的质量， $\text{kg}$ ；

$V$  ——液体的体积， $\text{m}^3$ 。

地球对单位体积液体质量的吸引力（重力）称为重度，常用符号  $\gamma$  表示。

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

式中  $\gamma$  ——液体的重度， $\text{N/m}^3$ ；

$G$  ——液体的重力， $\text{N}$ ；

$V$  ——液体的体积， $\text{m}^3$ 。

重度与密度的关系为

$$\gamma = \rho g \quad (2-3)$$

式中  $g$  ——重力加速度，一般取  $g = 9.81 \text{m/s}^2$ ；

$\gamma$ 、 $\rho$  ——意义同前。

实验表明，液体的密度随温度和压力的变化而变化。在液压传动中，由于其变化很小，通常将液体的密度看作常数。

#### 二、压缩性

液体受压力作用时体积发生变化的性质，称为液体的压缩性。由于液体的压缩性很小，通常忽略不计。但是，当受压体积较大，工作压力很高或对液压系统进行动态分析时，就必须考虑液体的可压缩性。对有些设备，例如煤矿井下的液压支架，正是利用液体的压缩性进行工作的。

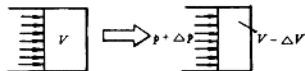


图 2-1 液体的压缩性

如图 2-1 所示，假定压力为  $p$  时，油液的体积为  $V$ ，压力增加  $\Delta p$  后，油液体积缩小  $\Delta V$ ，由于液体的相对压缩量与压力增量成正比，故有

$$\frac{\Delta V}{V} = \beta \Delta p$$

或

$$\beta = \frac{1}{\Delta p} \frac{\Delta V}{V} \quad (2-4)$$

式中  $\beta$  ——压缩系数,  $\text{m}^2/\text{N}$ ;

$\Delta p$  ——压力增量, Pa;

$V$  ——增压前液体体积,  $\text{m}^3$ ;

$\Delta V$  ——增压后液体减小的体积,  $\text{m}^3$ 。

压缩系数  $\beta$  表示单位压力的变化对应的体积的相对压缩量。常用液压油的  $\beta$  值为  $(5 \sim 7) \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{N}$ 。

压缩系数  $\beta$  的倒数称为体积弹性模量, 用  $K$  表示。

$$K = \frac{1}{\beta} \quad (2-5)$$

式中  $K$  ——体积弹性模量, Pa。

常用液压油的  $K$  值为  $(1.4 \sim 2.0) \times 10^9 \text{Pa}$ , 因此, 压力变化不大时, 液体体积变化很小, 可以忽略液体的压缩性。但是, 当液体中混入空气时, 压缩性将显著增加, 体积弹性模量将显著降低, 所以液压系统中应尽量防止空气侵入。

### 三、粘性 & 粘度

液体流动时, 由于液体与固体壁面间的附着力及液体分子间内聚力的存在, 将导致分子间产生相对运动, 从而在液体中产生内摩擦力。液体流动时产生内摩擦力的这种性质称为粘性。表示粘性大小的物理量称为粘度。液体的粘度通常有动力粘度、运动粘度和相对粘度三种表示方法。

#### (一) 动力粘度

如图 2-2 所示, 假设两平行平板间充满液体, 上平板以速度  $u_0$  相对于下平板运动, 则液体各层间的速度按线性规律分布。根据牛顿内摩擦力定律, 相邻两层液体间的内摩擦力  $T$  与液层间的相对速度  $du$  和接触面积  $A$  成正比, 而与液层间的距离  $dy$  成反比, 即

$$T = \mu A \frac{du}{dy} \quad (2-6)$$

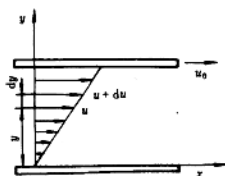


图 2-2 流动液体的内摩擦力示意图

式中  $T$  ——相邻两层液体间的内摩擦力;

$A$  ——相邻两层液体间的接触面积;

$du$  ——相邻两层液体的相对速度;

$dy$  ——相邻液层间的距离;

$\mu$  ——动力粘度系数, 或称动力粘度。

式 (2-6) 等号两边除以  $A$ , 则得

$$\tau = \frac{T}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (2-7)$$

式中  $\tau$  ——切应力,  $\text{N}/\text{m}^2$ 。

$\frac{du}{dy}$  称为速度梯度, 所以由式 (2-7) 可知, 当流动液体过流断面上的速度梯度  $du/dy$

一定时,  $\mu$  值越大, 液层间单位面积上的内摩擦力  $\tau$  就越大, 这说明液体抵抗剪切变形的能力越强, 即其粘性越大; 反之,  $\mu$  值越小, 液体的粘性越小。由此可见, 动力粘度的物理意义是, 单位速度梯度时, 相邻液层间单位面积上内摩擦力的大小。

$$\mu = \tau \frac{dy}{du} \quad (2-8)$$

动力粘度的单位是  $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

液体处于静止状态时, 速度梯度为零, 液体的内摩擦力为零, 因此静止的液体不呈现粘性。

## (二) 运动粘度

液体的动力粘度  $\mu$  与密度  $\rho$  的比值, 称为运动粘度, 用符号  $\nu$  表示, 即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-9)$$

式中  $\nu$  ——运动粘度,  $\text{m}^2/\text{s}$ ;

$\mu$  ——动力粘度,  $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ;

$\rho$  ——液体的密度;  $\text{kg}/\text{m}^3$

运动粘度没有明确的物理意义, 只是在理论分析中常出现  $\mu/\rho$  的形式, 因此引入  $\nu$  代替  $\mu/\rho$ 。它的计量单位是  $\text{m}^2/\text{s}$ , 其因次具有运动学中的长度和时间要素, 故称为运动粘度。由于  $\text{m}^2/\text{s}$  单位太大, 实际应用中常用  $\text{mm}^2/\text{s}$ 。

液压油的牌号是以  $40^\circ\text{C}$  时运动粘度的  $\text{mm}^2/\text{s}$  数值命名的。例如, 68 号液压油, 即表示其  $40^\circ\text{C}$  时的运动粘度为  $68\text{mm}^2/\text{s}$  左右。

动力粘度和运动粘度都包含着液体流动时内摩擦力的数值, 可以直接表示液体粘性大小, 故统称为绝对粘度。

## (三) 相对粘度

相对粘度又称条件粘度, 它们都是用一定量的液体, 在一定条件下通过测量仪器的时间来间接表示液体的粘性。根据测试条件与测量方法的不同, 相对粘度有许多种。常用的有恩氏粘度、赛氏粘度和雷氏粘度, 单位分别为恩氏度  $^\circ\text{E}$ 、赛氏秒和雷氏秒。我国采用恩氏粘度。

恩氏粘度用恩氏粘度计测定, 即将  $200\text{mL}$  的被测液体装入底部有  $\phi 2.8\text{mm}$  小孔的恩氏粘度计中, 测出某一温度下流过恩氏粘度计的时间  $t_1$ , 然后测出同体积的蒸馏水在  $20^\circ\text{C}$  时流过恩氏粘度计的时间  $t_2$ ,  $t_1$  与  $t_2$  的比值称为该温度下液体的恩氏粘度, 即

$$^\circ\text{E}_t = \frac{t_1}{t_2} \quad (2-10)$$

恩氏粘度与运动粘度的换算经验公式为:

$$\nu = 7.31^\circ\text{E} - \frac{6.31}{^\circ\text{E}} \quad (2-11)$$

式中  $\nu$  ——运动粘度,  $\text{mm}^2/\text{s}$ ;

$^\circ\text{E}$  ——恩氏粘度。

## (四) 粘度与温度的关系

液体的粘度随温度的变化而变化。温度升高时, 油液的粘度将减小。油液的粘度与温度之间的关系称为粘温特性。不同的油液, 粘温特性不同。粘温特性可用粘温曲线或粘度

指数表示。粘温曲线可直观地反映出粘度随温度的变化，图 2—3 是典型液压油、液的粘温曲线。粘温曲线平缓的液压油，粘度随温度的变化程度小，粘温性好。粘度指数 IV 是被试液体的粘度随温度变化的程度与标准液体的粘度随温度变化程度比较的相对值。IV 值越大，粘度随温度的变化越小，粘温特性越好。

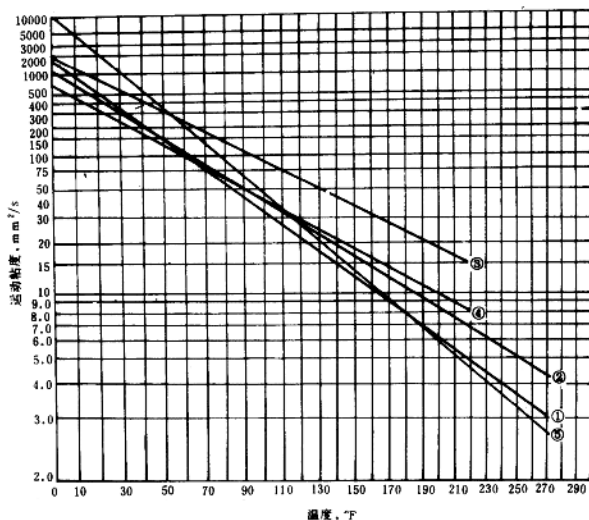


图 2—3 典型液压油、液的粘度—温度曲线

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

粘温特性是液压油的一项重要指标，它对液压系统的工作有直接影响。特别是工作在环境温度变化剧烈的液压设备，如粘度指数高，环境温度虽变化较大，而粘度变化较小，对液压系统工作影响较小，反之，系统很难正常工作。矿物油型液压油粘度指数一般不小于 90，油包水乳化液粘度指数为 130~170，水包油乳化液粘度指数更高。对普通的液压传动系统，一般要求所用液压油的粘度指数在 90 以上。目前，许多专用液压油的粘度指数都在 100 以上。

#### (五) 粘度与压力的关系

液体的粘度随压力的增加而增加。粘度与压力的关系为

$$\nu = \nu_0 e^{b p} \quad (2-12)$$

式中  $\nu_0$  ——大气压力下液体的运动粘度；

$\nu$  ——压力为  $p$  时该液体的运动粘度；

$b$  ——粘度压力系数，不同液体  $b$  值不同，矿物油型液压油  $b=0.015\sim0.035/\text{MPa}$ ；

$p$  ——液体压力，MPa。



由式(2-12)计算表明,当压力不太高时,粘度变化不显著;而液体压力很高时,其粘度将急剧增加。一般在重要的场合,当液体压力大于20MPa时,应考虑它对粘度的影响。

## 第二节 液压传动用工作液体

工作液体在液压传动系统中除进行能量转换和传递外,还要起润滑液压元件运动副和防止零件锈蚀等作用,因此,工作液体的性能、选择使用、维护管理对液压系统能否正常工作有很大关系。

### 一、液压系统对工作液体的基本要求

液压系统工作时,工作液体的各状态参数(如压力、温度、流速等)都处于不断的变化之中。工作液体应当能适应这些参数的变化,并保持液压系统工作性能的稳定和自身的工作寿命。液压系统对工作液体的基本要求,主要有以下几点。

#### (一) 良好的粘温性能

液压系统工作的过程中,温度常常发生变化,工作液体的粘度随之发生改变。粘度的变化对系统的工作性能影响很大。粘度变大时,液体的流动阻力大,使系统的压力损失和机械摩擦损失增加,甚至会造成液压泵吸液困难,发生吸空现象;粘度变得过低时,油液漏损增加,润滑性能降低,系统压力下降,甚至无法工作。因此对液压系统来说,除设法控制其温度变化外,还要求工作液体的粘度随温度的变化要小,即要求工作液体有良好的粘温性能,以便液压系统工作过程中,工作液体有合适的粘度。如前所述,粘度指数越大,粘温性能越好。因此选择工作液体时,除考虑适当的粘度外,还须有必要的粘度指数,以适应液压系统的工作条件、工况参数和性能要求。

#### (二) 良好的抗磨性能(即润滑性能)

抗磨性是指减小液压元件零部件磨损的能力。工作液体的润滑性愈好,油膜强度愈高,其抗磨性就愈好。由于液压技术不断向高性能方向发展,压力越来越高,系统压力的增加必然导致运动部件间隙减小,运动副增加摩擦,加剧磨损。当系统温度上升以及元件始动和停动时的低速运动情况下,会使油膜变薄,出现边界润滑,或不能形成连续油膜导致干摩擦现象。所以在元件材质和系统工作条件一定的情况下,要求工作液体有良好的抗磨性能,以保证边界油膜不被破坏。

#### (三) 抗氧化性能和热安定性好

工作液体使用过程中由于受到热、空气中的氧、金属材料等的影响,会氧化生成有机酸和缩合物,使工作液体氧化变质。氧化变质的工作液体会腐蚀液压元件;液体中生成的粘稠状的液态或固态物质会堵塞系统中的工作小孔和运动副间隙;同时由于变质油液的水分离性和消泡性降低,还会使系统产生噪音、振动和气蚀。这些都会使系统的工作性能变坏。为此,要求工作液体有良好的抗氧化性和热安定性,从而在氧气存在或温度过高的情况下保持性能不变。

#### (四) 抗剪切性能好

工作液体经过液压元件内部时,由于运动部件和微孔的反复剪切作用,会使其粘度发生两种形式的变化:即高剪切速度下的暂时性粘度损失和聚合型增粘剂分子破坏后造成的永久性粘度下降。当粘度降到一定限度后,工作液体便失去工作能力,不能再继续使用。为此,对工作液体,特别是加有聚合型增粘剂的液压油,要求其抗剪切性能好。