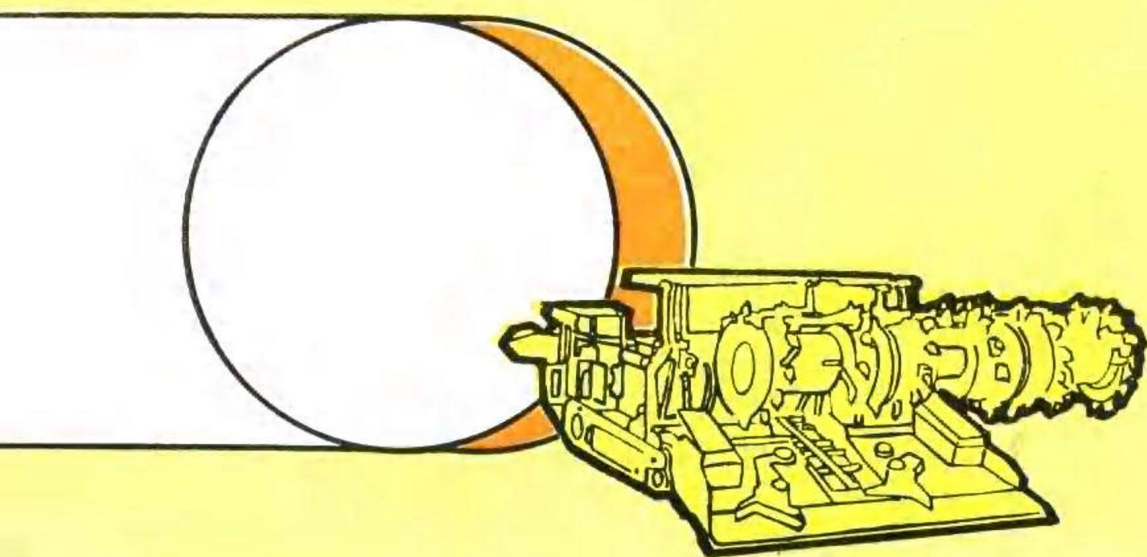


高等学校教学用书

# 液压传动 与 采掘机械

裴惕元 主编



中国矿业大学出版社

TD42

32

3

高等学校教学用书

# 液压传动与采掘机械

裴惕元 主编

中国矿业大学出版社

---

## 内 容 提 要

本书是高校本科专业课教材，主要阐述了采煤机、工作面输送机、装载机、掘进机、液压支架等煤矿机械设备，及液压传动知识。

本书适用于矿山机电、采矿工程和矿业机械等专业，也适合煤炭函授该专业用书。

责任编辑：阎前辉

责任校对：周俊平

高等学校教学用书

液压传动与采掘机械

裴扬元 主编

---

中国矿业大学出版社 出版 发行

新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷

开本787×1092毫米1/16 印张20.5<sub>2</sub>字数498千字

1990年12月第一版 1990年12月第一次印刷

印数：1—3000册

---

ISBN 7-81021-395-4

---

TD·84

定价：4.05元



# 前 言

本教材是根据原煤炭部教育司1987年在成都召开的成人高校教材会议的决定，由山西矿业学院负责主编，并有中国矿业大学、阜新矿业学院和西山矿务局职工大学参加，共同编写的。教材适用于高等院校的矿山机电、采矿工程和矿业机械等专业。也可用作以上专业的函授及成人高校教材。

本教材在内容选择和编写方法上认真考虑了以下原则：

1) 本教材与目前已出版的同类教材相比，除系统性有所变动外，内容方面也作了较大的调整和精简，力求贯彻少而精原则。

2) 教材深度和广度以满足矿山机电、采矿工程和矿业机械专业的本科培养目标为原则。着重点放在基本原理、基本结构、基本计算和基本应用方面。

3) 本课程的第一部分“液压传动”属于专业基础课，它既是专业课程的先导课，又是一门独立的专业技术课。第二部分“采掘机械”为主要专业课程。两个部分都与生产实际有密切联系，并直接为生产服务。在编写时充分体现了这种联系。教材中分析和介绍的实例均为矿山机械中常用的设备和系统，能够学以致用。

4) 本教材的文字方面具有通俗易懂、形象生动、概念明确、结论肯定等特点。此外，还采用大量简化的图形，以增加读者的实感，有利于理解和记忆。

5) 为了使读者把握重点，每章前面都有“提要”。各章还附有思考题和习题，便于读者复习巩固。

参加本书执笔编写的有：中国矿业大学郭润良（第八、九、十章）；阜新矿业学院程东棠（第四、十一章）；西山矿务局职工大学白履俊（第五、六、七章）；山西矿业学院裴惕元（第一、二、三章）。由裴惕元、郭润良审校。

由于作者水平有限，谬误之处，在所难免。敬请读者诸君批评指正。

《液压传动与采掘机械》编写小组

1989年3月

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	( 1 )
第一节 液压传动的基本原理.....	( 1 )
第二节 液压传动系统的组成.....	( 2 )
第三节 液压元件和液压系统的参数及计算.....	( 4 )
第四节 液压油的物理性质及选择.....	( 9 )
思考题和习题.....	( 11 )
<b>第二章 液压泵</b> .....	( 12 )
第一节 液压泵的基本原理.....	( 12 )
第二节 齿轮泵.....	( 14 )
第三节 摆线转子泵.....	( 18 )
第四节 单作用叶片泵.....	( 21 )
第五节 双作用叶片泵.....	( 23 )
第六节 单柱塞泵和卧式多柱塞泵.....	( 25 )
第七节 轴向柱塞泵.....	( 27 )
思考题和习题.....	( 41 )
<b>第三章 液压马达和液压缸</b> .....	( 43 )
第一节 液压马达的基本工作原理和功能.....	( 43 )
第二节 高速液压马达.....	( 45 )
第三节 低速液压马达.....	( 53 )
第四节 液压缸.....	( 79 )
思考题和习题.....	( 90 )
<b>第四章 液压控制阀</b> .....	( 91 )
第一节 方向控制阀.....	( 91 )
第二节 压力控制阀.....	( 103 )
第三节 流量控制阀.....	( 113 )
思考题和习题.....	( 120 )
<b>第五章 液压辅助元件</b> .....	( 122 )
第一节 油箱和冷却器.....	( 122 )
第二节 滤油器.....	( 124 )
第三节 蓄能器.....	( 127 )
第四节 油管和管接头.....	( 130 )

思考题和习题.....	(133)
<b>第六章 液压传动系统.....</b>	<b>(134)</b>
第一节 液压系统的主回路.....	(134)
第二节 液压系统的调速方法.....	(136)
第三节 液压系统的基本控制回路.....	(144)
第四节 典型液压系统.....	(154)
第五节 液压系统的设计计算.....	(158)
思考题和习题.....	(164)
<b>第七章 采煤机械.....</b>	<b>(166)</b>
第一节 概述.....	(166)
第二节 采煤机截割部.....	(170)
第三节 采煤机牵引部.....	(178)
第四节 采煤机附属装置.....	(189)
第五节 $MLS_3-170$ 型采煤机.....	(195)
思考题和习题.....	(208)
<b>第八章 掘进机械.....</b>	<b>(210)</b>
第一节 概述.....	(210)
第二节 煤巷掘进机.....	(215)
第三节 岩巷掘进机.....	(221)
第四节 连续采煤机.....	(227)
思考题和习题.....	(234)
<b>第九章 装载机械.....</b>	<b>(235)</b>
第一节 耙斗装载机.....	(235)
第二节 铲斗装载机.....	(241)
第三节 蟹爪装载机.....	(253)
思考题和习题.....	(259)
<b>第十章 工作面运输机械.....</b>	<b>(261)</b>
第一节 刮板输送机.....	(261)
第二节 转载机和破碎机.....	(282)
第三节 梭车.....	(286)
思考题和习题.....	(288)
<b>第十一章 液压支架.....</b>	<b>(289)</b>
第一节 液压支架的结构和类型.....	(289)
第二节 液压支架主要液压元件.....	(299)
第三节 液压支架的选用.....	(305)
第四节 单体液压支柱.....	(310)
第五节 乳化液泵站.....	(312)
思考题和习题.....	(318)
<b>参考文献.....</b>	<b>(319)</b>

# 第一章 绪 论

[提要] 液压传动的基本工作原理和功能；液压传动系统的组成部分；液压元件和液压系统的参数计算；液压油的粘度、粘温特性、压缩性及液压油的选择。

## 第一节 液压传动的基本原理

液压传动属于液体传动的一个分支。它是以液压油作为工作介质，在原动机与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。其作用是将原动机的输出功率通过液压油的传递而使负载做功。

相对于机械传动而言，液压传动是一门新兴的应用技术。现代液压技术是从本世纪30年代开始发展起来的，40年代由于军事工业的推动而飞速发展。液压传动由于具有许多优点，它已经愈来愈广泛地应用于国民经济的各个部门。机床上采用液压传动最早，今天各种液压机床已大量出现。煤矿采掘机械上采用液压传动是在40年代以后。50年代中期由于液压支架的问世而实现了综合机械化采煤技术，60年代以后，多数采煤机械都采用了液压传动。

液压传动是根据帕斯卡原理：液体几乎不可压缩和密闭容器中静止液体的压力以同样大小向各个方向传递。这就是静压力传递的原理。

现在以液压千斤顶为例，说明液压传动的基本工作原理。

液压千斤顶原理如图1-1。向上扳动手柄8时，小活塞1向上运动，小液压缸2内密封容积增大，形成真空。在大气压力作用下，油箱3内的油液经油管 and 单向阀4进入小液压缸。向下压手柄时，小活塞向下运动，小液压缸内的油液受到挤压；此时单向阀4已关闭，被挤压的油液便打开另一单向阀5进入大液压缸6，推动大活塞7向上运动而举起重物。反复扳动手柄，油液便不断输入大液压缸，使重物慢慢上升。

液压千斤顶就是这样利用液体的压力能而工作的，这一原理也是液压传动的基本原

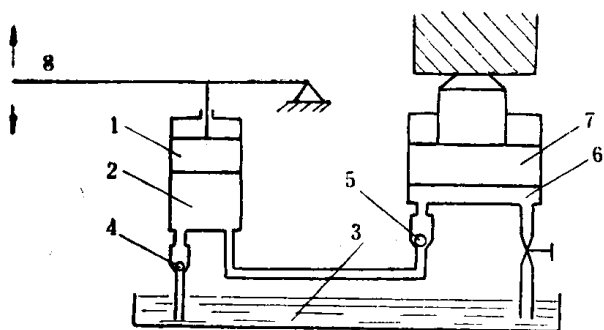


图1-1 液压传动的基本原理

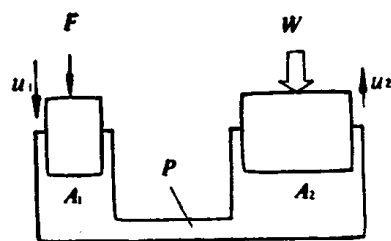


图1-2 连通液压缸

理。可见液压传动具有以下几个功能：(1)转换能量，即把输入的机械能转换为液压能输出；或者作相反的转换；(2)传递运动和力，使负载做功；(3)支承负载。

现在把图1-1简化为一个密封的连通液压缸，如图1-2所示。

从这个连通液压缸的动力传递过程中，还可以看到液压传动有这样一些特点：

(1) 根据静压力传递原理，连通液压缸内的压力为

$$p = \frac{F}{A_1} = \frac{W}{A_2}$$

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

因此，用一个较小的力可以得到较大的力，这就实现了力的放大作用。

(2) 由于液体几乎不可压缩，小液压缸内输出的液体体积便等于输入大液压缸的液体体积。即

$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 \quad (1-2)$$

$v_2$  和  $v_1$  分别为大小活塞的运动速度， $v_1 A_1$  为小液压缸的容积变化量， $v_2$  取决于  $v_1 A_1$ 。所以，液压传动是利用密封容器的容积变化来实现的。传递过程中，运动速度可以变化，既可以增速，也可以减速。运动速度的大小决定于密封容积的变化量。因此，这种液压传动也叫做容积式液压传动。

(3) 由  $W = \frac{A_2}{A_1} F$  及  $v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1$

得  $W v_2 = F v_1 = \text{Const.}$  (1-3)

可见，如果不考虑能量损失，液压传动中传递的能量为常量，符合能量守恒定律。

## 第二节 液压传动系统的组成

图1-3是一个常用的机床液压系统，在矿山机械中也有类似的应用。这是一个典型的泵-缸液压传动系统。

在机床上加工工件时，要求工作台慢速向右进给和快速向左退回。图1-3中，10为工作台，与液压缸8的活塞杆相固定，液压缸又固定在机床上。换向阀6由手把12操纵。向右推动手把使换向阀处于图中所示位置时，液压泵3从油箱1吸油。液压泵输出的压力油经节流阀4、换向阀6和油管11进入液压缸8的左端，推动活塞9向右移动，并带动工作台10向右作进给运动。液压缸右端的油液经油管7、换向阀6和油管5流回油箱。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。向左推动手把12时，换向阀的阀芯向左运动（见图1-3b），改变了油液的流通方向，液压泵输出的压力油经节流阀、换向阀和油管7进入液压缸8的右端，推动活塞9向左移动，带动工作台向左退回。这时液压缸左端的油液便经油管11、换向阀6和油管5流回油箱。

溢流阀13接在液压泵的旁路上，用来保持系统压力稳定，防止系统压力过载。调节溢流阀还可以改变系统的工作压力。

滤油器2安装在吸油管口，可以滤除进入液压泵的油液中的固体杂质，保持油液清洁。此外，还可以安装压力表用来监测和指示系统的工作压力。一个完善的液压系统还有蓄能



器、冷却器和温度计等等。

图1-4是同一个液压系统用液压元件职能符号表示的液压系统图。用职能符号绘制液压系统图时，图形标准化，容易绘制，阅读方便，功能清晰，是通用的工程语言。但是它只能表示液压系统和元件的功能，不表示具体的结构和安装位置。

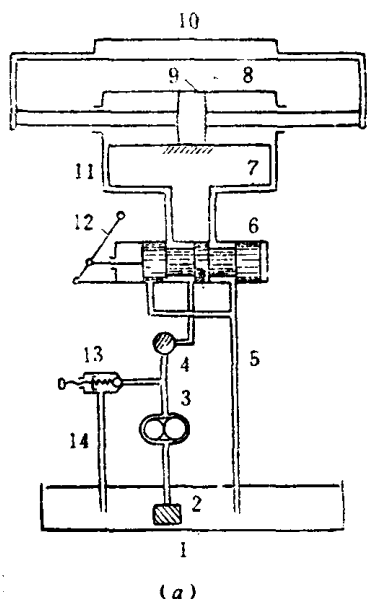


图1-3 机床工作台液压系统

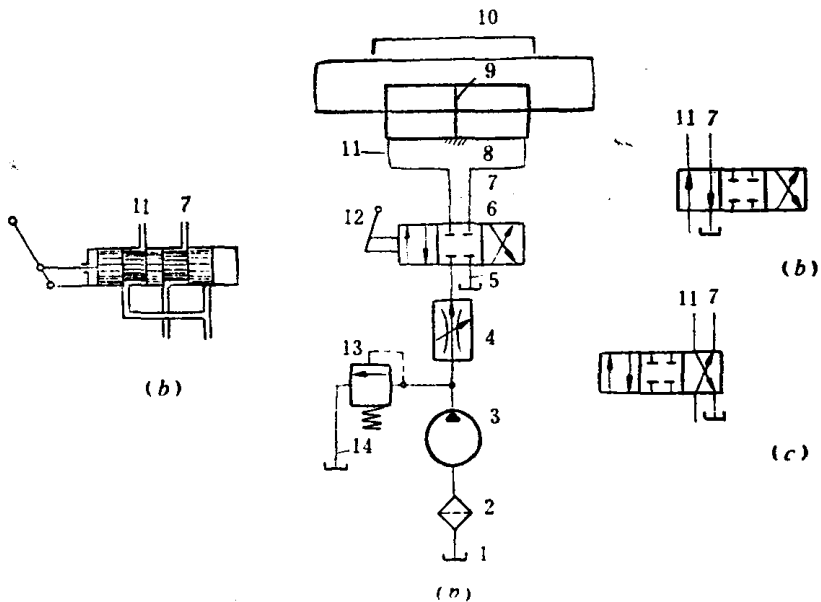


图1-4 机床工作台液压系统原理图

从上述液压千斤顶和典型的泵-缸液压传动系统中，可以看出，一个完整的液压传动系统应包括以下五个基本组成部分：

- 1) 动力元件，即液压泵，它的作用是将原动机输入的机械能转换为工作液体的液压能。
- 2) 执行元件，即液压马达或液压缸，它的作用是将液压泵提供的液压能转换为机械能，并驱动负载作功。
- 3) 控制元件，包括各种液压控制阀，用来控制液压系统的压力，流量和液流方向。
- 4) 辅助元件，包括油箱、管道、滤油器、蓄能器、冷却器、加热器以及监测仪表等。
- 5) 工作液体，即液压油，液压油是液压系统中传递运动和传递力的介质。

液压传动与机械传动、电力传动相比，具有以下主要优点：

- 1) 能方便地进行无级调速，调速范围大。
- 2) 可以方便地传递旋转运动或直线运动，而且不受距离远近的限制。
- 3) 液压元件的单位重量功率大，结构紧凑，体积小，惯性小，运转平稳，操作方便，易于实现自动化控制和过载保护。
- 4) 具有良好的润滑条件，工作可靠，元件工作寿命长。

液压传动的主要缺点是：

- 1) 液压系统存在压力损失、容积损失和机械摩擦损失，故传动效率较低，总效率通常只有0.75~0.80左右。
- 2) 工作性能受温度影响较大。
- 3) 工作液体对污染敏感，泄漏的油液又要污染环境，容易着火，维护工作较麻烦。

4) 液压元件加工精度和光洁度以及材质要求都较高。

5) 液压系统的故障判断和处理较困难。

### 第三节 液压元件和液压系统的参数及计算

#### 一、液压泵的参数及计算

##### (一) 压力

###### 1. 额定压力 $p_r$

在正常条件下, 液压泵连续运转的最高压力称为额定压力。液压泵额定压力的名义值称为公称压力。

###### 2. 最高压力 $p_H$

超过额定压力时, 允许液压泵短暂运转的最高压力, 称为最高压力。

###### 3. 实际工作压力 $p$

液压泵工作时的实际压力, 称为实际工作压力。实际工作压力取决于实际负载的大小。压力的单位为“Pa”。

##### (二) 排量和流量

###### 1. 排量 $q_v$

液压泵每转一转的密封容积最大变化量称为排量。单位为 L/r。排量决定于泵的几何尺寸, 所以也称为容积常数。变量泵的排量可以改变。

###### 2. 理论流量 $Q_t$

不考虑泄漏时, 液压泵单位时间输出的油液体积称为理论流量。如果液压泵的主轴转速为  $n$ (r/min), 则理论流量为

$$Q_t = nq_v, \quad (\text{L/min}) \quad (1-4)$$

###### 3. 泄漏流量 $\Delta Q$

泄漏流量与工作压力、元件运动副的间隙及油液粘度有关, 也称为容积损失。

###### 4. 实际流量 $Q$

液压泵单位时间实际输出的油液体积称为实际流量。

$$Q = Q_t - \Delta Q \quad (1-5)$$

##### (三) 容积效率

液压泵的容积效率  $\eta_{pv}$  为实际流量与理论流量之比, 即

$$\eta_{pv} = \frac{Q}{Q_t} = \frac{Q_t - \Delta Q}{Q_t} = 1 - \frac{\Delta Q}{Q_t} \quad (1-6)$$

因此  $Q = Q_t \eta_{pv} = nq_v \eta_{pv}, \quad \text{L/min} \quad (1-7)$

液压泵的容积效率根据泵的结构不同而不同, 一般为 0.7~0.95。

##### (四) 功率和总效率

###### 1. 理论功率 $N_t$

不考虑容积损失和压力损失时, 液压泵所具有的液压功率, 称为理论功率。

$$N_t = \frac{pQ_t \times 10^{-6}}{60}, \quad \text{kW} \quad (1-8)$$

## 2. 输出功率 $N_o$

液压泵实际输出的液压功率称为输出功率。

$$N_o = \frac{PQ \times 10^{-6}}{60} = N_i \eta_{pv} \eta_{pp}, \text{ kW} \quad (1-9)$$

液压泵的液压效率  $\eta_{pp}$  一般都在 0.99 以上, 液压损失可以忽略不计, 于是

$$N_o = \frac{pQ \times 10^{-6}}{60} = N_i \eta_{pv}, \text{ kW} \quad (1-10)$$

## 3. 输入功率 $N_i$

原动机作用在液压泵轴上的机械功率称为输入功率。

$$N_i = M_i 2\pi n \times \frac{10^{-3}}{60}, \text{ kW} \quad (1-11)$$

式中  $M_i$  —— 主轴上的输出扭矩, N·m,

$n$  —— 主轴转速, r/min。

## 4. 机械效率 $\eta_{pm}$

液压泵的理论功率与输入功率之比称为机械效率, 即

$$\eta_{pm} = \frac{N_i}{N_t}$$

或

$$N_i = N_t \eta_{pm} \quad (1-12)$$

## 5. 总效率 $\eta_p$

液压泵的总效率为输出功率与输入功率之比, 即

$$\eta_p = \frac{N_o}{N_i} = \frac{N_t \eta_{pv}}{N_t / \eta_{pm}} = \eta_{pv} \eta_{pm} \quad (1-13a)$$

$$N_i = \frac{N_o}{\eta_p} = \frac{PQ}{\eta_p} \times \frac{10^{-6}}{60}, \text{ kW} \quad (1-13b)$$

上述关系可用图 1-5 表示。

## 二、液压马达的参数及计算

### (一) 排量 $q_m$

液压马达的排量  $q_m$  与液压泵相同。单位为 L/r。

### (二) 流量和容积效率

#### 1. 理论流量 $Q_t$

不考虑容积损失时, 液压马达所需要的流量称为理论流量。

#### 2. 实际输入流量 $Q$

液压系统向液压马达供给的流量称为实际输入流量。由于存在泄漏, 显然实际输入流量应大于理论流量, 即

$$Q = Q_t + \Delta Q \quad (1-14)$$

式中  $\Delta Q$  —— 液压马达的泄漏流量。

#### 3. 容积效率 $\eta_{mv}$

液压马达的容积效率为理论流量与实际输入流量之比, 即

$$\eta_{mv} = \frac{Q_t}{Q} = \frac{Q - \Delta Q}{Q} = 1 - \frac{\Delta Q}{Q} \quad (1-15)$$

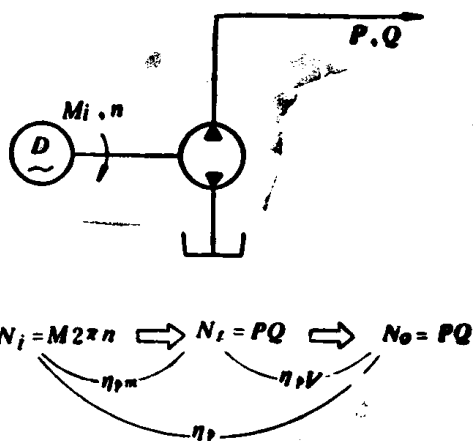


图1-5 液压泵功率图

或 
$$Q_s = Q\eta_{mv} \quad (1-16)$$

(三) 转速  $n$

液压马达的转速取决于输入流量和马达的排量。

$$n = \frac{Q_s}{q_m} = \frac{Q\eta_{mv}}{q_m}, \text{ r/min} \quad (1-17)$$

当转速已确定时，液压马达的实际输入流量为

$$Q = \frac{nq_m}{\eta_{mv}}, \text{ L/min} \quad (1-18)$$

(四) 扭矩和机械效率

1. 输出扭矩  $M$

液压马达输出轴上实际传递的扭矩称为输出扭矩。

2. 额定扭矩  $M_r$

在额定压力下，液压马达输出轴上传递的最大扭矩，称为额定扭矩。

3. 理论扭矩  $M_t$

不考虑机械损失时，液压马达能够传递的扭矩，称为理论扭矩。

因 
$$M_t \frac{2\pi n}{60} = \frac{pQ_s \cdot 10^{-3}}{60}$$

所以 
$$M_t = \frac{pQ_s \cdot 10^{-3}}{2\pi n} = \frac{1}{2\pi} p q_m \cdot 10^{-3}, \text{ N}\cdot\text{m} \quad (1-19)$$

可见，液压马达的理论扭矩决定于液压系统的工作压力和液压马达本身的排量。由于液压马达的回油通常都有背压，故上式中的压力  $p$  应以液压马达的进油和回油压力差代替，即

$$M_t = \frac{1}{2\pi} (p_1 - p_2) q_m \cdot 10^{-3}$$

或 
$$M_t = \frac{1}{2\pi} \Delta p q_m \cdot 10^{-3}, \text{ N}\cdot\text{m} \quad (1-20)$$

式中  $\Delta p = p_1 - p_2$  为进油与回油的压力差；

$p_1$ ——进油压力，Pa；

$p_2$ ——回油压力，Pa。

4. 机械效率  $\eta_{mm}$

液压马达的输出扭矩与理论扭矩之比称为机械效率。即

$$\eta_{mm} = \frac{M}{M_t} \quad (1-21)$$

或

$$\begin{aligned} M &= M_t \eta_{mm} \\ &= \frac{1}{2\pi} \Delta p q_m \eta_{mm} \cdot 10^{-3}, \text{ N}\cdot\text{m} \end{aligned} \quad (1-22)$$

(五) 功率和总效率

1. 理论功率  $N_t$

不考虑机械损失时，液压马达所具有的液压功率称为理论功率。

$$N_t = \frac{pQ_s \cdot 10^{-3}}{60}, \text{ kW} \quad (1-23)$$

## 2. 输出功率 $N_o$ 。

液压马达输出轴上实际传递的机械功率，称为输出功率。

$$\begin{aligned}
 N_o &= M \frac{2\pi n \cdot 10^{-3}}{60} \\
 &= \frac{1}{2\pi} p q_m \eta_{mm} \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{Q_s}{p_m} \cdot 10^{-6} \\
 &= \frac{p Q_s}{60} \eta_{mm} \cdot 10^{-6}, \text{ kW}
 \end{aligned} \tag{1-24}$$

## 3. 输入功率 $N_i$ 。

液压马达从系统中取得的液压功率，称为输入功率。

$$\begin{aligned}
 N_i &= \frac{p Q_s \cdot 10^{-6}}{60} \\
 &= \frac{p Q_s \cdot 10^{-6}}{60 \eta_{mv}}, \text{ kW}
 \end{aligned} \tag{1-25}$$

## 4. 总效率 $\eta_m$

液压马达的总效率为输出功率与输入功率之比，即

$$\eta_m = \frac{N_o}{N_i} = \frac{p Q_s \eta_{mm}}{p Q_s / \eta_{mv}} = \eta_{mv} \eta_{mm} \tag{1-26}$$

以上关系可以用图 1-6 表示。

## 三、液压缸的参数及计算

### (一) 负载力、牵引力和机械效率

#### 1. 负载力 $R$

负载力包括工作机构对液压缸产生的作用力，工作机构的摩擦阻力和惯性力。

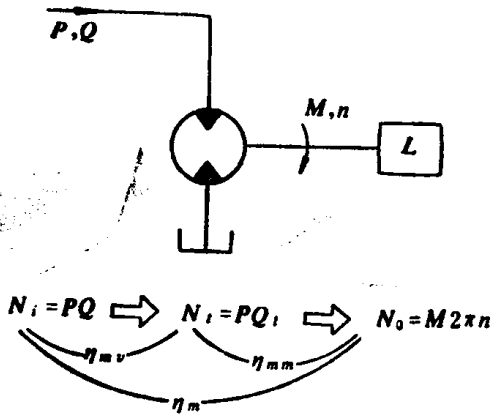


图1-6 液压马达的功率图

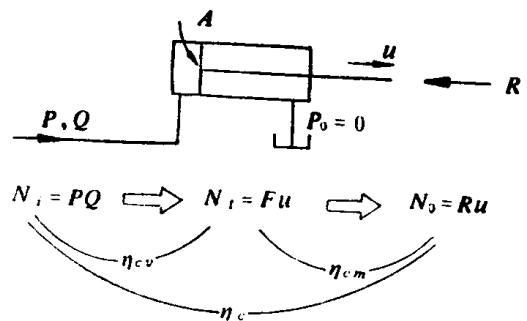


图1-7 液压缸工作图

#### 2. 牵引力 $F$

牵引力为液压缸的出力，或液压缸产生的作用力。

$$F = p A \times 10^{-4}, \text{ N} \tag{1-27}$$

式中  $p$ ——系统工作压力，Pa；

$A$ ——液压缸活塞有效工作面积， $\text{cm}^2$ 。

#### 3. 机械效率 $\eta_{cm}$

由于液压缸密封元件有摩擦阻力，所以牵引力应大于负载力。负载力与牵引力之比，称为机械效率。即

$$\eta_{o.m} = \frac{R}{F} \quad \text{或} \quad R = F\eta_{o.m}, \text{ N} \quad (1-28)$$

一般 $\eta_{o.m} = 0.95$ 。

(二)运动速度

$$v = \frac{Q\eta_{o.v}}{6A}, \text{ m/s} \quad (1-29)$$

式中  $Q$ ——液压缸的实际输入流量，L/min。

$\eta_{o.v}$ ——液压缸的容积效率，泄漏很小时，可取 $\eta_{o.v} = 1$ 。

(三)功率和总效率

1. 理论功率 $N_i$

$$N_i = Fv \cdot 10^{-3}, \text{ kW} \quad (1-30)$$

2. 输出功率 $N_o$

$$\begin{aligned} N_o &= Rv \cdot 10^{-3} \\ &= pA\eta_{o.m} \cdot 10^{-4} \cdot \frac{Q\eta_{o.v}}{6A} \cdot 10^{-3} \\ &= pQ\eta_{o.v}\eta_{o.m} \cdot \frac{10^{-6}}{60}, \text{ kW} \end{aligned} \quad (1-31)$$

3. 输入功率 $N_i$

$$N_i = pQ \cdot \frac{10^{-6}}{60}, \text{ kW} \quad (1-32)$$

4. 总效率 $\eta_o$

$$\eta_o = \frac{N_o}{N_i} = \eta_{o.v}\eta_{o.m} \quad (1-33)$$

#### 四、液压系统的参数计算

液压系统的参数有：工作压力 $p_i$ ，流量 $Q_i$ ，管道效率 $\eta_i$ ，系统总效率 $\eta_s$ 等，其中管路效率 $\eta_i$ 为

$$\eta_i = \eta_{i.p}\eta_{i.v} \quad (1-34)$$

式中  $\eta_{i.p}$ ——管路液压效率。液压效率与压力损失 $\Delta p$ 有关，

$$\eta_{i.p} = \frac{p_i - \Delta p}{p_i} = 1 - \frac{\Delta p}{p_i} \quad (1-35)$$

$\eta_{i.v}$ ——管路容积效率。容积效率与管路流量损失 $\sum \Delta Q$ 有关，

$$\eta_{i.v} = \frac{Q_i - \sum \Delta Q}{Q_i} = 1 - \frac{\sum \Delta Q}{Q_i} \quad (1-36)$$

系统的总效率 $\eta_s$ 为

$$\eta_s = \eta_p\eta_i\eta_m \quad (1-37)$$

式中  $\eta_m$ ——系统中执行元件的总效率；

$\eta_p$ ——液压泵的总效率。

液压系统的总效率可用图 1-8 表示。

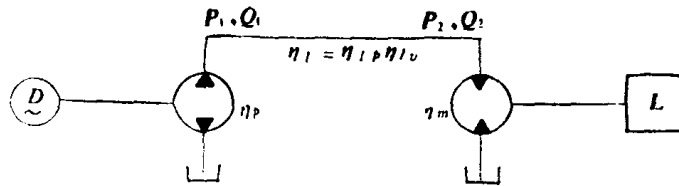


图1-8 液压系统效率图

## 第四节 液压油的物理性质及选择

液压油的主要物理性质为粘性和压缩性。

### 一、粘性和粘度

油液流动时，内部产生摩擦力的性质称为粘性。粘性大的油液流动性差，阻力大；粘性小的油液流动性好，阻力小。因此油液的粘性对液压系统的工作性能有直接影响。油液只有在流动时才显示粘性，静止的油液不呈现粘性。

粘性大小用粘度来衡量。通常采用以下几种粘度单位：

#### (一) 动力粘度

根据牛顿内摩擦力定律，液体流动时的内摩擦力  $T$  与液层间的相对运动速度  $dv$  及层间接触面积  $S$  成正比，与层间距离  $dz$  成反比，即

$$T = \mu S \frac{dv}{dz}$$

或切应力  $\tau = \frac{T}{S} = \mu \frac{dv}{dz}$

式中  $\frac{dv}{dz}$  —— 速度梯度；

$\mu$  —— 动力粘度系数，或称动力粘度。

$$\mu = \tau \frac{dz}{dv} \quad (1-38)$$

动力粘度  $\mu$  表示速度梯度为 1 时，油液单位面积上的内摩擦力。动力粘度的单位为  $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

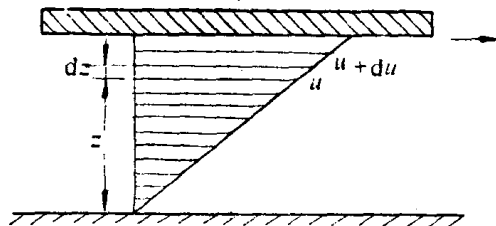


图1-9 流动液体的内摩擦力示意图

#### (二) 运动粘度

运动粘度  $\nu$  是动力粘度  $\mu$  与密度  $\rho$  之比，即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-39)$$

运动粘度没有明确的物理意义，只是由于在理论分析中常常出现以  $\frac{\mu}{\rho}$  表示的粘度，

因此引入  $\nu$  来代替  $\frac{\mu}{\rho}$ 。它的计量单位为  $\text{m}^2/\text{s}$ ，其因次为运动学中的长度和时间要素，故

称为运动粘度。

动力粘度  $\mu$  和运动粘度  $\nu$  都直接表示油液的内摩擦力大小，属于绝对粘度。

### (三) 相对粘度

相对粘度是以相对于水的粘性大小表示油液的粘度。我国采用恩氏粘度，恩氏粘度用恩氏粘度计测定。表示方法为 $^{\circ}E_t$ 。例如 $8^{\circ}E_t$ ，即相对粘度为8恩氏度。 $t$ 为测定时的标准温度，工业上常用 $20^{\circ}\text{C}$ 、 $50^{\circ}\text{C}$ 和 $100^{\circ}\text{C}$ 作为测定恩氏粘度的标准温度，分别用 $^{\circ}E_{20}$ 、 $^{\circ}E_{50}$ 和 $^{\circ}E_{100}$ 表示。

### 二、粘度和温度的关系

温度对油液的粘度影响较大，随着温度升高，油液的粘度将减小。油液粘度与温度之间的关系称为粘温特性。不同的油液有不同的粘温特性。由于油液温度变化直接影响液压系统的泄漏、流速、压力损失和效率，选用液压油时要特别注意粘温特性。粘温特性可用粘温曲线或粘度指数表示。常用液压油的粘温曲线可查有关手册。粘温曲线平缓的液压油，粘度随温度变化的程度较小，粘温特性好。粘度指数 $\text{VI}$ 是液压油粘度随温度变化的程度与标准液体粘度变化程度的比值。 $\text{VI}$ 值越大，粘温特性越好。一般液压传动系统要求 $\text{VI} > 90$ 。目前，一些专用液压油要求 $\text{VI} > 100$ 。

### 三、压缩性和体积弹性模数

液压油受压力作用时体积发生变化的性质称为压缩性。由于液压油的压缩性很小，在压力较低时可以略而不计；但是在压力较高、体积较大或进行动态分析时，就必须考虑这一性质。

液体的相对压缩量与压力增量成正比。由图1-10可知

$$\beta = -\frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta p}, \text{ m}^2/\text{N} \quad (1-40)$$

式中  $V$ ——增压前液压油体积， $\text{m}^3$ ；

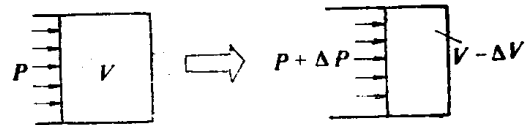
$\Delta V$ ——压力增加 $\Delta p$ 后因压缩而减小的体积， $\text{m}^3$ ；

$\Delta p$ ——压力增量， $\text{Pa}$ ；

$\beta$ ——压缩系数， $\text{m}^2/\text{N}$ 。常用液压油的

$$\beta = (5 \sim 7) 10^{-10}, \text{ m}^2/\text{N}。$$

由于压力增加时，体积减小，故上式右端取“ $-$ ”号。



压缩系数 $\beta$ 的倒数称为体积弹性模数，其值为 图1-10 液体的压缩量与压力的关系

$$K = \frac{1}{\beta} = (1.4 \sim 2.0) 10^9, \text{ Pa} \quad (1-41)$$

根据以上情况可见，压力变化不大时，液压油体积变化很小。所以压力 $p < 18\text{MPa}$ 时，可以忽略压缩性。液压油的体积弹性模数比钢的弹性模数小得多。当液压油中混有空气时，压缩性将显著增加，体积弹性模数将显著降低；所以液压系统中应尽量防止空气混入。

### 四、液压油的选择

选择液压油时要注意以下原则和要求：

- 1) 粘度适当、粘温特性好、粘度指数高。
- 2) 润滑性能好（油膜强度高），抗磨性好。
- 3) 化学稳定性好，不易分解、变质和对金属无腐蚀性。
- 4) 清洁、无固体杂质，对人体无害。



5) 价格低廉。

液压传动系统中常用液压油的粘度一般为  $2^{\circ} \sim 8^{\circ} E_{50}$ 。使用时要注意保持清洁，防止污染，防止空气和水混入其中。换油时要彻底清洗油箱，加油时要过滤。工作油温保持在  $15 \sim 60^{\circ}\text{C}$  范围内。

液压传动中常用的液压油大都是矿物油，例如N32号机械油，N46号机械油和N68号机械油。此外液压支架的乳化液泵站使用乳化油和水配制的O/W型乳化液。

## 思考题和习题

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. 液压传动系统的组成部分是哪些？

3. 液压系统和液压元件的主要参数及其概念是什么？

4. 简述粘性和粘度的概念；动力粘度、运动粘度和恩氏粘度的区别及其计量单位。

5. 简述液压油的粘度与温度和压力的关系及其对液压系统工作的影响。

6. 选择液压油的原则和要求。

7. 设液压泵向液压缸供给压力油，压力为  $p_1$ ，流量为  $Q_1$ 。液压缸推动负载以速度  $v = 0.1\text{m/s}$  运动。负载力  $R = 40000\text{N}$ ，液压缸的工作面积  $A = 100\text{cm}^2$ 。回油压力  $p_2 = 0$ 。液压缸的机械效率  $\eta_{cm} = 0.8$ ，液压泵的总效率  $\eta_p = 0.8$ 。不考虑管路压力损失和容积损失。求：

1)  $p_1$ ， $Q_1$  及驱动电机功率  $N_1$

2) 如果管路液压效率  $\eta_{lp} = 0.8$ ，容积效率  $\eta_{lv} = 0.95$ ，系统总效率  $\eta_s$  为多少？

8. 液压泵、液压马达和液压缸，其输入功率、理论功率和输出功率之间的关系有什么不同？其机械效率和容积效率之间有什么不同？

9. 液压泵的理论流量为  $0 \sim 160\text{L/min}$ ，工作压力为  $10\text{MPa}$ ， $\eta_{pv} = 0.8$ ， $\eta_{pm} = 0.95$ 。输出压力油供给液压马达，马达排量为  $2.45\text{L/r}$ ，回油背压为  $5 \times 10^5\text{Pa}$ ， $\eta_{mv} = 0.9$ ， $\eta_{mm} = 0.95$ 。求：1) 马达的输出转速，2) 马达的输出扭矩，3) 液压泵的最大输入功率。（不考虑管路效率）。