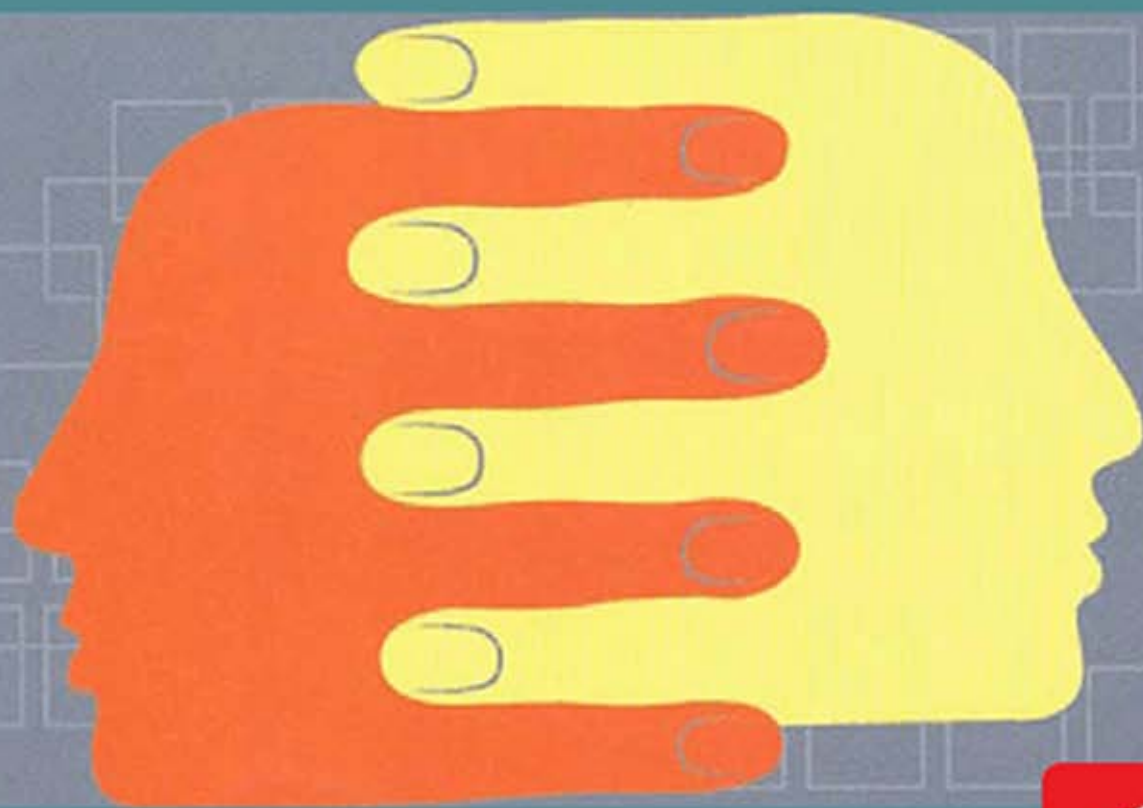


液压与气动技术

(第3版)

邹建华 许小明 主编



华中科技大学出版社



内 容 简 介

本书在内容上以液压为主、气动为辅,将液压与气动融为一体,主要讲述液压与气动技术的基础知识、元件、回路、系统以及系统的安装、使用和维修。

全书共分 12 章,包括认识液压传动,液压传动基础知识,液压泵和液压马达,液压缸,液压控制阀,液压辅助元件,液压基本回路,典型液压系统,液压伺服控制简介,液压系统与气动系统的设计,液压系统的安装、使用和维护,以及气压传动等内容。

为了便于学生学习,书后还列出了必要的附录。本书根据高等职业教育的特点,以培养技术应用能力为目标,深入浅出,图文并茂,理论知识以“必需、够用”为原则,在叙述概念和定律时,尽量避免使用让高职高专学生感到困难的微分方程,而采用通俗易懂的叙述方法。为了提高学生的感性认识和应用能力,介绍元件的各章都增加了元件的外形图、拆装实训,以及常见故障和排除方法的内容,并对主要零部件作了专门的分析。

本书可作为高职高专的机械制造、机电一体化、数控技术应用及其他相关专业的学生学习液压与气动技术的教材,也可供有关教师和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气动技术(第 3 版)/邹建华 许小明 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2010.8
ISBN 978-7-5609-3669-7

I. 液… II. ①邹… ②许… III. ①液压传动-高等学校:技术学校-教材 ②气压传动-高等学校:技术学校-教材 IV. ①TH137 ②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 170827 号

液压与气动技术(第 3 版)

邹建华 许小明 主编

策划编辑:张 毅

责任编辑:张 毅

封面设计:范翠璇

责任校对:刘 竣

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉正风文化发展有限公司

印 刷:武汉科利德印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:18.5

字 数:411 千字

版 次:2010 年 8 月第 3 版第 7 次印刷

定 价:29.00 元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究



第 1 章 认识液压传动 /1

- 1.1 液压传动的工作原理及组成 /2
- 1.2 液压传动系统的组成及图形符号 /5
- 1.3 液压传动的特点及应用 /7

第 2 章 液压传动基础知识 /9

- 2.1 液压油 /10
- 2.2 液体静力学 /15
- 2.3 液体动力学 /21
- 2.4 液体流动时的压力损失 /29
- 2.5 液体流经小孔及缝隙的流量 /32
- 2.6 液压冲击及气穴现象 /36

第 3 章 液压泵和液压马达 /41

- 3.1 液压泵和液压马达概述 /42
- 3.2 齿轮泵 /48
- 3.3 叶片泵 /54
- 3.4 柱塞泵 /61
- 3.5 液压泵的选用 /65
- 3.6 液压马达 /66
- 3.7 液压泵和液压马达的常见故障及排除方法 /69
- 3.8 液压泵的拆装实训 /71

第 4 章 液压缸 /75

- 4.1 液压缸的类型和特点 /76
- 4.2 液压缸的典型结构和组成 /82
- 4.3 液压缸的设计和计算 /87
- 4.4 液压缸的常见故障及排除方法 /90



4.5 液压缸的拆装实训 /92

第5章 液压控制阀 /97

5.1 阀的作用和分类 /98

5.2 方向控制阀 /99

5.3 压力控制阀 /111

5.4 流量控制阀 /121

5.5 其他液压控制阀 /125

5.6 液压控制阀的拆装实训 /133

第6章 液压辅助元件 /137

6.1 蓄能器 /138

6.2 过滤器 /140

6.3 油箱 /145

6.4 流量计、压力表及表开关 /147

6.5 油管 and 管接头 /149

6.6 密封装置 /153

第7章 液压基本回路 /159

7.1 方向控制回路 /160

7.2 速度控制回路 /163

7.3 压力控制回路 /172

7.4 多缸工作控制回路 /179

第8章 典型液压系统 /185

8.1 组合机床动力滑台液压系统 /186

8.2 液压压力机液压系统 /189

8.3 数控车床液压系统 /194

8.4 汽车起重机液压系统 /197

第9章* 液压伺服控制简介 /203

9.1 液压伺服系统的工作原理 /204

9.2 液压伺服系统应用举例 /206





第 10 章 液压系统与气动系统的设计	/213
10.1 液压与气压传动系统设计的主要内容及步骤	/214
10.2 液压系统的设计计算举例	/220
第 11 章 液压系统的安装、使用和维护	/233
11.1 液压系统的安装与调试	/234
11.2 液压系统的使用与维护	/237
第 12 章 气压传动	/243
12.1 气压传动概述	/244
12.2 气动元件	/247
12.3 气动回路及运用实例	/265
附录 A 常用液压及气动元件图形符号	/279
参考文献	/286



第 1 章 认识液压传动

本章学习任务

- (1) 认识液压传动装置的工作原理及组成。
- (2) 根据国家标准GB/T 786.1—1993所规定的液压图形符号绘制系统图。
- (3) 了解液压传动的特点。

液压传动是指以液体为工作介质，利用密封系统中的受压液体来传递运动和动力的一种传动方式。这种传动方式通过动力元件（泵）将原动机的机械能转换为油液的压力能，然后通过管道、控制元件，借助执行元件（油缸或油马达）将油液的压力能转换为机械能，驱动负载实现直线或回转运动。本章主要讨论液压传动的工作原理、液压传动系统的组成等基础知识。



1.1 液压传动的工作原理及组成

液压千斤顶就是一个简单的液压传动装置,下面以图 1.1 所示的液压千斤顶为例来说明液压传动的工作原理。

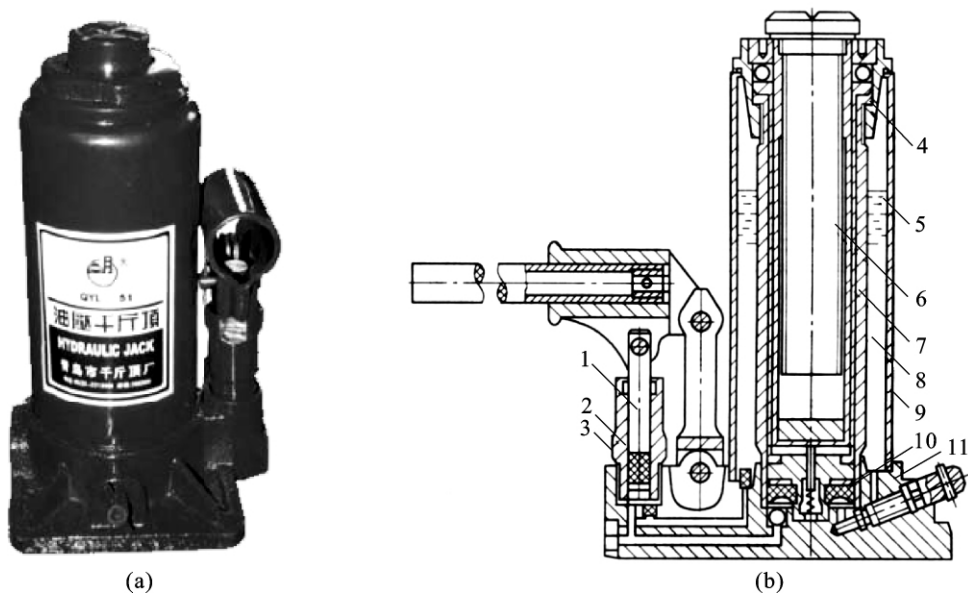


图 1.1 液压千斤顶

(a) 外形图;(b) 结构图

1—小柱塞;2—小油缸;3—密封圈;4—顶帽;5—液压油;6—调节螺杆;

7—大柱塞;8—大油缸;9—外壳;10—密封圈;11—底座

为了便于说明,将图 1.1 简化为图 1.2。如图 1.2(a)所示为液压千斤顶的原理示意图。大油缸 9 和大柱塞 8 组成举升液压缸。杠杆手柄 1、小油缸 2、小柱塞 3、单向阀 4 和单向阀 7 组成手动液压泵。如提起手柄使小活塞向上移动,小柱塞下端油腔容积便增大,形成局部真空,这时单向阀 4 打开,通过吸油管道 5 从油箱 12 中吸油;用力压下手柄,小柱塞 3 下移,小柱塞下腔压力升高,单向阀 4 关闭,单向阀 7 打开,下腔的油液经吸油管道 6 输入大油缸 9 的下腔,迫使大柱塞 8 向上移动,顶起重物。再次提起手柄吸油时,举升缸下腔的压力油将倒流入手动泵内,但此时单向阀 7 自动关闭,使油液不能倒流,从而保证重物不会自行下落。不断地往复扳动手柄,就能不断地把油液压入举升缸下腔,使重物逐渐地升起。如果打开截止阀 11,



举升缸下腔的油液通过吸油管道 10、截止阀 11 流回油箱，大柱塞 8 在重物和自重的作用下向下移动，回到原始位置。

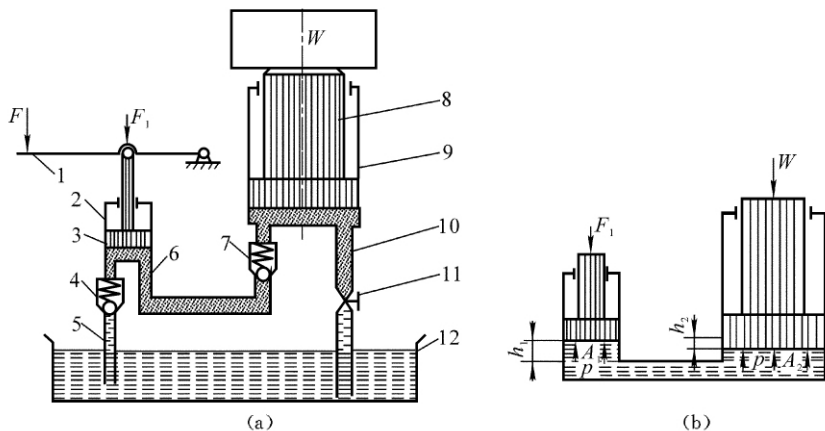


图 1.2 液压千斤顶原理图

(a) 原理图；(b) 密封连通器

1—杠杆手柄；2—小油缸；3—小柱塞；4、7—单向阀；5、6、10—吸油管道；
8—大柱塞；9—大油缸；11—截止阀；12—油箱

如果将图 1.2(a)再简化为图 1.2(b)所示的密封连通器，可更清楚地分析两柱塞之间的力比例关系、运动关系和功率关系。

1. 力比例关系

当大柱塞上有重物负载 W 时，只有小柱塞上作用一个主动力 F_1 才能使密闭连通器保持力的平衡。此时大柱塞下腔的油液产生的压力为 W/A_2 ，小柱塞下腔产生的压力为 F_1/A_1 。根据帕斯卡“在密闭容器内，施加于静止液体上的压力将以等值同时传到液体各点”的观点，即密封连通器中的压力应该处处相等，故

$$\frac{W}{A_2} = \frac{F_1}{A_1} = p \quad (1.1)$$

或

$$W = \frac{A_2}{A_1} F_1 \quad (1.2)$$

式中： A_1 、 A_2 ——小柱塞和大柱塞的作用面积；

F_1 ——杠杆手柄作用在小柱塞上的力；

p ——油液的工作压力。

由式(1.1)可知， $p = W/A_2$ ，即当负载 W 增大时，流体工作压力 p 也要随之增大，亦即 $F_1 = pA_1$ 要随之增大；反之，负载 W 很小，流体压力就很小， F_1 也就很小。由此可知一个很重要的基本概念，即在液压传动中工作压力取决于负载，而与流入的流体多少无关。由式(1.2)



可知,在液压传动中,力不但可以传递,而且通过作用面积($A_2 > A_1$)的不同,力还可以放大。千斤顶所以能够以较小的推力顶起较重的负载,原因就在于此。

2. 运动关系

如果不考虑液体的可压缩性、漏损和缸体、油管的变形,则从图 1.2(b)可以看出,被小柱塞压出的油液的体积必然等于大柱塞向上升起后大油缸中油液增加的体积,即

$$A_1 h_1 = A_2 h_2$$

或
$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{A_1}{A_2} \quad (1.3)$$

式中: h_1 、 h_2 ——小柱塞和大柱塞的位移。

将 $A_1 h_1 = A_2 h_2$ 两端同除以活塞移动的时间 t ,可得

$$A_1 \frac{h_1}{t} = A_2 \frac{h_2}{t}$$

即
$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{A_1}{A_2} \quad (1.4)$$

式中: v_1 、 v_2 ——小柱塞和大柱塞的运动速度。

Ah/t 的物理意义是单位时间内液体流过截面积为 A 的某一截面的体积,称为流量 q ,即 $q = Av$,得

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (1.5)$$

因此,如果已知进入缸体的流量 q ,则柱塞运动速度为

$$v = \frac{q}{A} \quad (1.6)$$

调节进入油缸的流量 q ,即可调节柱塞的运动速度 v ,这就是液压传动能实现无级调速的基本原理。它揭示了另一个重要的基本概念,即活塞的运动速度取决于进入油缸的流量,而与流体的压力无关。

3. 功率关系

由式(1.2)和式(1.4)可得

$$F_1 v_1 = W v_2 \quad (1.7)$$

式(1.7)左端为输入功率,右端为输出功率,这说明在不计损失的情况下输入功率等于输出功率,由式(1.7)可得出

$$P = p A_1 v_1 = p A_2 v_2 = pq \quad (1.8)$$

由式(1.8)可以看出,液压传动中的功率 P 可以用压力 p 和流量 q 的乘积表示, p 和 q 是液压传动中最基本、最重要的两个参数,它们相当于机械传动中的力和速度。它们的乘积为功率。



1.2 液压传动系统的组成及图形符号

1.2.1

液压传动系统的组成

图 1.3(a)所示为一驱动机床工作台的液压传动系统。该系统的工作原理是:液压泵 3 由电动机带动从油箱 1 中吸油,油液经过过滤器 2 进入液压泵 3 的吸油腔,当它从液压泵中输出进入压力油路后,经节流阀 5 至换向阀 6,流入液压缸 7 的左腔,由于液压缸的缸体固定,活塞在压力油的推动下,通过活塞杆带动工作台 8 向右运动,同时,液压缸 7 右腔的油液经换向阀 7、流回油箱。

如果将换向阀 6 扳到左边位置,使换向阀 6 处于图 1.3(b)所示位置时,则油液经换向阀 6 进入液压缸 7 的左腔,推动活塞连同工作台向左运动,同时,液压缸 7 左腔的油液经、换向阀 6 流回油箱。

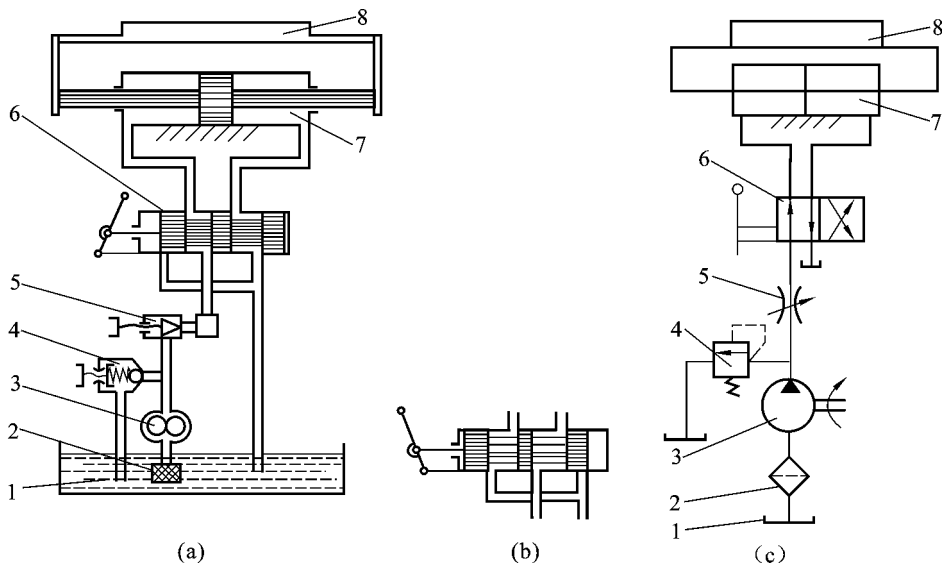


图 1.3 机床工作台液压系统工作原理图

(a) 液压传动系统原理图;(b) 换向阀;(c) 液压图形符号绘制的液压系统原理图

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



工作台的移动速度是通过节流阀 5 来调节的,当节流阀的开口开大时,进入液压缸的油液量就大,工作台的移动速度就快,同时经溢流阀 4 的溢流回油箱的油液就相应的减少;当节流阀的开口减小时,工作台的移动速度将减慢,同时经溢流阀 4 溢流回油箱的油液就相应的增加。液压缸推动工作台移动时必须克服液压缸所受到的各种阻力,这些阻力由液压泵输出油液的压力来克服。根据工作时阻力的不同,要求液压泵输出的油液压力应能进行控制,这个功能是由溢流阀 4 来完成的。当油液压力对溢流阀的阀芯作用力略大于溢流阀中弹簧对阀芯的作用力时,阀芯才能移动,使阀口打开,油液经溢流阀溢流回油箱,压力不再升高,此时,泵出口处的油液压力是由溢流阀决定的。

由上面的两个例子可以看出,液压系统主要由五个部分组成。

(1) 动力元件——最常见的形式就是液压泵,它是将电动机输出的机械能转换成油液液压能的装置,其作用是向液压系统提供压力油。

(2) 执行元件——包括液压缸和液压马达,它是将油液的液压能转换成驱动负载运动的机械能装置。

(3) 控制元件——包括各种阀类,如上例中的溢流阀、节流阀、换向阀等。这些元件的作用是控制液压系统中油液的压力、流量和流动方向,以保证执行元件完成预期的工作。

(4) 辅助元件——上述三种元件以外的其他装置,包括油箱、油管、过滤器以及各种指示器和仪表。它们的作用是提供必要的条件使系统得以正常工作和便于监测控制。

(5) 工作介质——传动液体,通常称液压油。液压系统就是通过工作介质来实现运动和动力传递的。

1.2.2

液压传动系统的图形符号

在图 1.3(a)中,组成液压系统的各个元件是用半结构图画出来的,这种画法直观性强,容易理解,但难以绘制。所以,在工程实际中,除特殊情况外,一般都用简单的图形符号来绘制液压系统原理图。图 1.3(c)所示为采用国家标准 GB 786.1—1993 规定的液压图形符号来绘制的液压系统原理图。图中的符号只表示元件的功能,不表示元件的结构和参数。使用这些图形符号,可使液压系统图简单明了,便于绘制。按照规定,液压元件符号均以元件静止位置或零位表示,有些液压元件无法采用功能符号表示时,仍允许采用结构原理图表示。GB 786.1—1993 液压图形符号参见本书附录 A。



1.3 液压传动的特点及应用

1.3.1 液压传动的特点

与机械传动、电气传动、气压传动相比,液压传动有以下特点。

1. 液压传动的优点

- (1) 液压传动能方便地实现无级调速,调速范围大。
- (2) 在同等功率的情况下,液压传动装置体积小、重量轻、结构紧凑。
- (3) 工作平稳,换向冲击小,便于实现频繁换向。
- (4) 易于实现过载保护。液压元件能自行润滑,使用寿命长。
- (5) 操作简单、方便、易于实现自动化,特别是与电气控制联合使用时,易于实现复杂的自动工作循环。
- (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。

2. 液压传动的缺点

- (1) 液压传动中的泄漏和液体的可压缩性使传动无法保证严格的传动比。
- (2) 液压传动对油温的变化比较敏感,不宜在很高或很低的温度下工作。
- (3) 液压传动有较多的能量损失(泄漏、摩擦等),故传动效率较低。
- (4) 液压传动出现故障时不易查找原因。
- (5) 为了减少泄漏和满足某些性能上的要求,液压元件的配合件制造精度要求较高,加工工艺较复杂。
- (6) 在高压、高速、高效率和大流量的情况下,常常会产生较大的噪声。

1.3.2 液压传动的应用

从 1795 年英国制造世界上第一台水压机算起,液压传动技术已有 200 多年的历史了,但液压传动技术在工业上被广泛采用和快速发展只是近几十年的事情。由于液压传动技术具有



前述显著的优点,使其广泛应用于机床、汽车、航空航天、工程机械、矿山机械、起重运输机械、建筑机械、农业机械、冶金机械、轻工机械和智能机械等领域。

由于工业技术水平的不断提高,近 10 几年来,液压传动技术在高压、高速、大功率、节能高效、高度集成化等方面取得了重大进展。当今,采用液压传动的程度已成为衡量一个国家工业水平的重要标志之一,如发达国家生产的工程机械、数控机床、自动生产线 90% 以上都是采用的液压传动。

本章小结

(1) 液压传动是以液体为工作介质,利用密封系统中的受压液体来传递运动和动力的一种传动方式。

(2) 液压传动中力和速度都是可以传递的,通过活塞作用面积的改变,力可以放大或缩小,速度也可以提高或降低。

(3) 压力和流量是液压传动中两个最重要的参数,液压传动中工作压力大小取决于负载,与流量无关;活塞的运动速度取决于进入油缸的流量,与压力无关;液压传动的功率可以用压力和流量的乘积来表示。

(4) 液压传动系统由动力元件、执行元件、控制元件、辅助元件和工作介质五部分组成。

(5) 液压系统原理图是采用国家标准 GB 786.1—1993 规定的液压图形符号来绘制的。

思考与练习

- 1.1 什么是液压传动? 液压传动的基本原理是什么?
- 1.2 液压传动系统有哪几部分组成? 各部分的主要作用是什么?
- 1.3 液压元件在系统中是如何表示的?
- 1.4 与其他传动方式相比较,液压传动有哪些优、缺点?

第

2章

液压传动基础知识

本章学习任务

- (1) 了解液压油的物理性质，掌握恩氏黏度的测量方法，学会正确选用液压油。
- (2) 理解液体压力的概念及其表示方法，掌握液体静力学基本方程式的运用。
- (3) 了解液体的流动状态，掌握流动液体连续性方程和伯努利方程的运用，了解流动液体动量方程。
- (4) 掌握液体流动时的压力损失计算和小孔和缝隙流量的计算。
- (5) 理解液压冲击和气穴现象的概念、产生原因、危害及防治措施。



2.1 液 压 油

液压油是液压传动系统中的传动介质,而且还对液压装置的机构、零件起着润滑、冷却和防锈的作用。液压油会直接影响液压系统的工作性能。因此,必须对液压油有充分的了解,以便正确选择和合理使用。

2.1.1 液压油的物理特性

1. 密度

单位体积液体的质量称为密度,其公式为

$$\rho = m/V \quad (2.1)$$

式中: m ——液体的质量,单位为 kg;

V ——液体的体积,单位为 m^3 ;

ρ ——液体的密度,单位为 kg/m^3 。

液压油的密度随压力的增加而增大,随温度升高而减小,但一般情况下,这种变化很小,可以忽略。一般矿物油的密度为 $850 \sim 950 \text{ kg}/\text{m}^3$,计算中,一般都设液压油的密度为 $900 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

2. 可压缩性

液体受压力作用发生体积变化的性质称为液体的可压缩性。液体的可压缩性用体积压缩系数 k 来表示,其定义为:受压液体单位压力变化时,液体体积的相对变化量。如图 2.1 所示,假定压力为 p 时液体的体积为 V ,压力增加为 $p + \Delta p$ 时,液体体积为 $V + \Delta V$ 。根据定义,液体的体积压缩系数为

$$k = -\frac{1}{\Delta p} \cdot \frac{\Delta V}{V} \quad (2.2)$$

式中: k ——液体的体积压缩系数,单位为 m^2/N ;

ΔV ——液体的压力变化所引起的液体体积变化量,单位为 m^3 ;

Δp ——液体的压力变化量,单位为 Pa。

压力增大时,液体体积减小;反之则增大,所以 $\Delta V/V$ 为负值。为了使 k 为正值,故在式 (2.2) 的右边加了一个负号。

液体受压时的体积 V_1 为

$$V_1 = V + \Delta V = V(1 - k\Delta p) \quad (2.3)$$

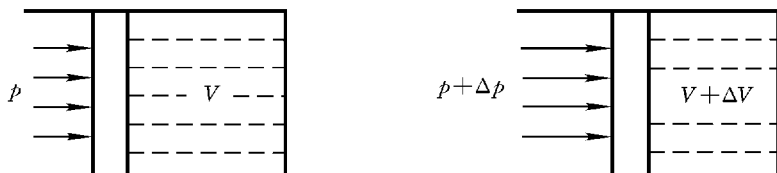


图 2.1 压力增大时液体体积的变化

常用液压油的体积压缩系数 $k = (5 \sim 7) \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$ 。液体体积压缩系数的倒数称为液体的体积模量,用 K 表示,即

$$K = \frac{1}{k} \quad (2.4)$$

一般液压油的体积模量为 $(1.4 \sim 1.9) \times 10^3 \text{ MPa}$,而钢的体积模量为 $(2 \sim 2.1) \times 10^5 \text{ MPa}$,可见液压油的可压缩性是钢的 100~150 倍。在一般情况下,由于压力变化引起液体体积的变化很小,液压油的不可压缩性对液压系统性能的影响不大,所以一般认为液体是不可压缩的。在压力变化较大或有动态特性要求的高压系统中,应考虑液体压缩性对系统的影响。当液压油混有空气时,其压缩性便会显著增加,使液压系统的工作恶化。所以,在设计和使用中应尽力防止空气进入油中。

3. 黏性

液体在外力作用下流动时,液体分子间的内聚力会阻碍液体分子之间的相对运动而产生一种内摩擦力,液体的这种性质称为液体的黏性。液体只有流动时才会呈现黏性,而静止的液体不呈现黏性。

黏性使液体内部各液层间的速度不等。如图 2.2 所示,在两个平行板(下平板不动,上平板动)之间充满某种液体。当上平板以速度 u_0 相对于下平板移动时,由于液体分子与固体壁间的附着力,紧贴于上平板上的液体黏附于上平板上,其速度与上平板相同。紧贴于下平板上的流体黏附于下平板上,其速度为零。中间液体则由于黏性从上到下按递减的速度向右移动。我们把这种流动看成是许多无限薄的液体层在运动,当运动较快的液体层在运动较慢的液体层上滑过时,两层间由于黏性就产生内摩擦力。

根据实际测定的数据可知,液体层间的内摩擦力 F_i 与液体层的接触面积 A 及液体的相对流速 du 成正比,而与此两液体层间的距离 dy 成反比,即

$$F_i = \mu A \frac{du}{dy} \quad (2.5)$$

式中: μ ——衡量流体黏性的比例系数,称为黏性系数或绝对黏度;

du/dy ——流体层间速度差异的程度,称为速度梯度。

如果以 τ 表示切应力,即单位面积上的内摩擦力,则

$$\tau = \frac{F_i}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (2.6)$$

这就是牛顿的液体内摩擦定律。在流体力学中,把黏性系数 μ 不随速度梯度变化而发生

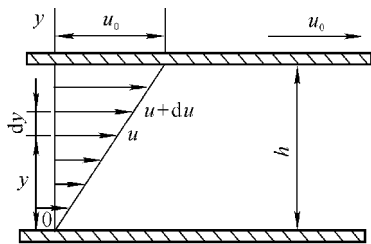


图 2.2 液体的黏性示意图



变化的液体称为牛顿液体;反之称为非牛顿液体。除高黏度或含水量有特殊添加剂的油液外,一般液压油均可视为牛顿液体。

液体黏性的大小用黏度来表示。黏度大,液层之间内摩擦力就大,油液就“稠”;反之就“稀”。黏度是液体最重要的物理特征之一,是选择液压油的主要依据。

常用的黏度表示方法有三种:绝对黏度(动力黏度)、运动黏度和相对黏度。

1) 绝对黏度

绝对黏度可由式(2.6)导出,即

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy} \quad (2.7)$$

绝对黏度的物理意义是:液体在单位速度梯度下流动时,其单位面积上所产生的内摩擦力。绝对黏度的单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (帕·秒)。绝对黏度也称为动力黏度,之所以称为动力黏度,是因为在它的量纲中有动力学的要素——力、长度和时间的缘故。

2) 运动黏度

液体的绝对黏度与其密度的比值称为液体的运动黏度,运动黏度用符号 ν 表示,即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.8)$$

运动黏度的单位为 m^2/s (米²/秒)。

运动黏度 ν 没有什么明确的物理意义,它不能像 μ 一样直接表示流体的黏性大小,只是在力学分析和计算中常遇到 μ 与 ρ 的比值,为了方便起见采用 ν 表示。它之所以被称为运动黏度,是因为在它的量纲中只有运动学的要素——长度和时间的缘故。

国际标准化组织 ISO 规定,各类液压油的牌号是按液压油在一定温度下运动黏度的平均值来标定的。我国生产的液压油采用 40 °C 时的运动黏度值 (mm^2/s) 为其黏度等级标号,即液压油的牌号。例如,牌号为 L-HL32 的液压油,就是指这种油在 40 °C 时的运动黏度平均值为 32 mm^2/s 。

3) 相对黏度

由于绝对黏度很难测量,所以就常用液体的黏性越大、通过量孔越慢的特性来测量液体的相对黏度。

相对黏度是以相对于蒸馏水的黏性的大小来表示该液体的黏性的。相对黏度又称条件黏度。由于测量的条件不同,各国采用的相对黏度单位也不同,有的用赛氏黏度,有的用雷氏黏度,我国采用恩氏黏度。

恩氏黏度由恩氏黏度计测定,其方法是:将 200 cm^3 温度为 t °C 的被测液体装入黏度计的容器,经其底部直径为 2.8 mm 的小孔流出,测出液体流尽所需的时间 t_1 ,再测出 200 cm^3 温度为 20 °C 的蒸馏水在同一黏度计中流尽所需时间 t_2 ,这两个时间的比值即为被测液体在温度 t °C 下的恩氏黏度 $^\circ E_t$,即

$$^\circ E_t = \frac{t_1}{t_2} \quad (2.9)$$

工业上常以 20 °C、50 °C 和 100 °C 来作为测定恩氏黏度的标准温度,由此得来的恩氏黏度分别用 $^\circ E_{20}$ 、 $^\circ E_{50}$ 和 $^\circ E_{100}$ 来表示。