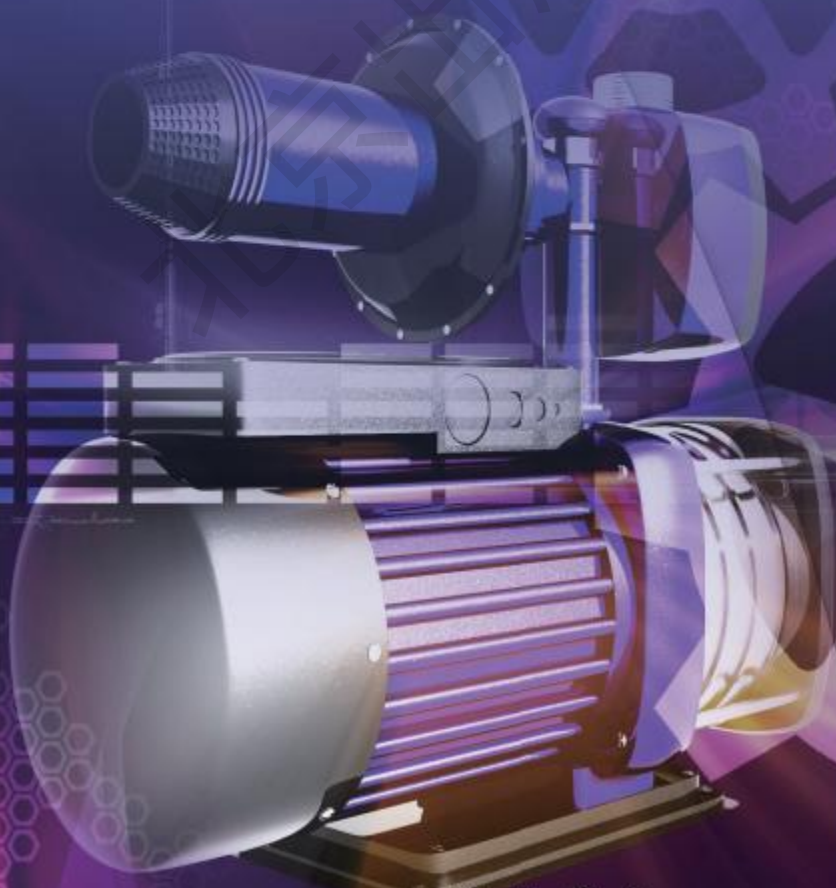




机电设备安装与维修专业精品教材

液压与气压传动

主 编 金英姬 刘光起



北 京 出 版 社
山东科学技术出版社

液压与气压传动

主 编 金英姬 刘光起

北京出版社
山东科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动 / 金英姬, 刘光起主编. --北京 :
北京出版社, 2015.12 (2021 重印)
“十二五”职业教育国家规划教材. 2015
ISBN 978-7-200-11846-9

I. ①液… II. ①金… ②刘… III. ①液压传动—职业
教育—教材②气压传动—职业教育—教材 IV.
①TH137②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 005379 号

液压与气压传动

YEYA YU QIYA CHUANDONG

主 编: 金英姬 刘光起
出 版: 北京出版集团公司
北 京 出 版 社
地 址: 北京北三环中路 6 号
邮 编: 100120
网 址: www.bph.com.cn
总 发 行: 北京出版集团公司
经 销: 新华书店
印 刷: 定州市新华印刷有限公司
版 次: 2015 年 12 月第 1 版 2021 年 11 月修订 2022 年 1 月第 2 次印刷
开 本: 787 毫米×1092 毫米 1/16
印 张: 16.5
字 数: 274 千字
书 号: ISBN 978-7-200-11846-9
定 价: 34.00 元

质量监督电话: 010-82685218 010-58572162 010-58572393

目 录

单元一 液压传动基础	1
学习任务 1 液压传动初步认识	2
学习任务 2 液压系统初步认识	11
学习任务 3 工作介质（液压油）认知	16
单元小结	22
单元教学设计建议	22
自我检测	23
单元二 液压元件识别	25
学习任务 1 液压泵的识别	26
学习任务 2 液压马达的识别	40
学习任务 3 液压缸的识别	48
学习任务 4 液压辅助元件的识别	56
单元小结	68
单元教学设计建议	68
自我检测	68
单元三 液压控制阀与基本回路认知	70
学习任务 1 方向控制阀与换向回路认知	71
学习任务 2 压力控制阀与压力控制回路认知	87
学习任务 3 流量控制阀与速度控制回路认知	103
学习任务 4 电液伺服阀与液压伺服回路认知	118
单元小结	124
单元教学设计建议	125
自我检测	125
单元四 典型液压系统应用	127
学习任务 1 液压系统的识读	128
学习任务 2 MJ-50 型数控车床液压系统装调	131
学习任务 3 YT4543 型组合机床动力滑台液压系统装调	135
学习任务 4 液压打号机液压系统装调	139
学习任务 5 Q2-8 型汽车起重机液压系统装调	142

学习任务 6 液压系统的装调与故障排除	147
单元小结	152
单元教学设计建议	152
自我检测	152
单元五 气压传动基础	154
学习任务 1 气动系统初步认识	155
学习任务 2 气源装置及气动三联件的识别	161
学习任务 3 气动执行元件的识别	171
单元小结	176
单元教学设计建议	176
自我检测	177
单元六 气动控制阀与基本回路认知	179
学习任务 1 方向控制阀与换向控制回路认知	180
学习任务 2 压力控制阀与压力控制回路认知	192
学习任务 3 流量控制阀与速度控制回路认知	197
学习任务 4 逻辑控制阀与基本逻辑控制回路认知	202
单元小结	208
单元教学设计建议	209
自我检测	209
单元七 典型气动系统应用	211
学习任务 1 机床工件夹紧气动系统控制与实施	212
学习任务 2 拉门自动开闭系统控制与实施	214
学习任务 3 分检单元气动机械手气动系统控制与实施	219
单元小结	223
单元教学设计建议	223
自我检测	223
附录	225
附录 A 常用液压与气动元件图形符号	225
附录 B 常用单位换算表	238
附录 C 常用液压、气动元件外形及图形符号	240
附录 D 单元评价标准	245
参考答案	247
参考文献	253

单元一

液压传动基础

学习目标

1. 具备简单液压系统的识读和绘图能力。
2. 具备简单液压系统的安装与调试能力。
3. 具备资料的搜集、查找及应用能力。

单元导引

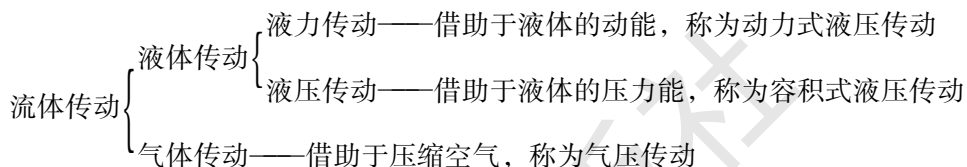
将导入液压传动基本概念。通过学习，掌握压力和流量两个重要参数、液压系统基本组成、液压职能符号、借助液压仿真软件简单液压回路绘制和仿真以及安装与调试。

学习任务 1

液压传动初步认识

液压与气压传动统称为流体传动，两者都是利用有压流体（压力油或压缩空气）作为工作介质传递动力或控制信号的一种传动方式。

流体传动是以流体为工作介质进行能量的转换、传递和控制的传动，一般可进行以下分类：



液压传动（又称静力式或容积式液体传动）是以液体为工作介质，借助于处在密封容积内液体的压力能来传递能量或动力的一种传动方式。相对于机械传动来说，液压传动和气压传动都是一门新兴的技术。

液压传动因具有结构简单、体积小、质量轻、反应速度快、输出力大、可方便地实现无级调速、易实现频繁换向、易实现自动化等优点，在机床、工程机械、矿山机械、压力机械和航空工业等领域得到广泛应用。

自 1795 年世界上第一台水压机诞生算起，液压传动已有 200 多年的历史。我国的液压工业开始于 20 世纪 50 年代，自 1964 年开始从国外引进液压元件生产技术以来，液压传动在各种机械设备上得到了广泛的使用。特别是近年来，随着机电技术、计算机技术的迅速发展，液压技术与传感技术、微电子技术密切结合，出现了机（液）电一体化元件，使液压技术正向高压、高速、大功率、高效率、低噪声、低能耗、长寿命、高集成化等方面发展。

任务描述 >>

液压千斤顶是起重吊装作业中的一种常用工具，广泛应用于机床、冶金机械、矿山机械、建筑机械、厂矿等领域，另外在交通运输行业中可用于车辆维修工作中。

如图 1-1 所示为液压千斤顶在汽车维修行业中的应用实例。

一、液压千斤顶液压回路仿真

用 FluidSIM - H 软件进行液压回路的设计与仿真，如图 1-3 所示。

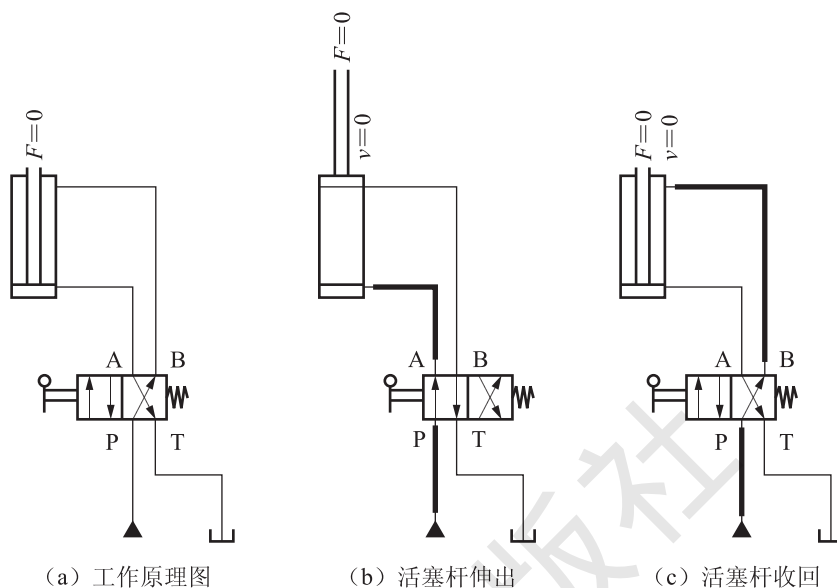


图 1-3 液压回路仿真示意图

二、千斤顶液压系统的安装与调试

如图 1-4 所示为液压教学实训台。选用表 1-1 中的液压元件，在液压实训台上构建液压千斤顶的液压系统，实现液压千斤顶活塞杆的伸出和收回。

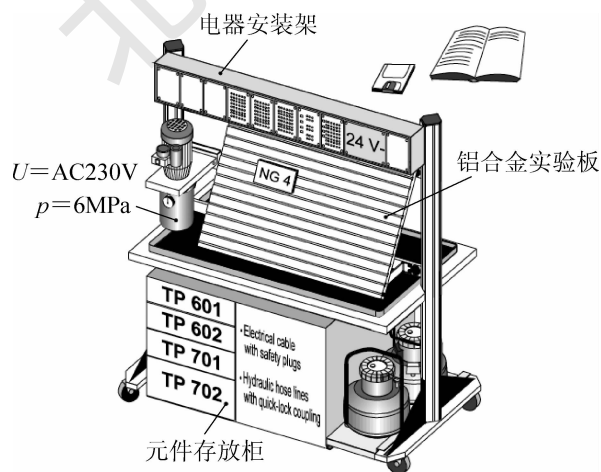
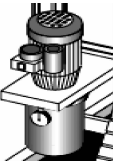
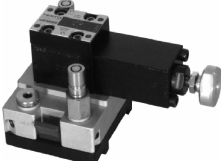


图 1-4 液压教学实训台

表 1-1 液压元件明细表

序号	元件	序号	元件
1	 电动机和液压泵	3	 直控式溢流阀
2	 单电控电磁阀	4	 单活塞液压缸

运行操作注意事项：

- (1) 开机前检查电源、电器元件接线是否正确。
- (2) 系统开机运行前检查液压泵出口处压力是否调整为零，要求系统压力调整为零后启动。
- (3) 系统关机前检查液压泵出口处压力是否调整为零，要求系统卸压后停机。
- (4) 实操过程中，坚持推行 5S 的工作作风，培养职业道德和职业素养。
- (5) 5S 是指整理、整顿、清扫、清洁、素养。
整理：要与不要，一留一弃；
整顿：科学布局，取用快捷；
清扫：清除垃圾，美化环境；
清洁：洁净环境，贯彻到底；
素养：形成制度，养成习惯。

任务评价 >>

序号	能力点	掌握情况	序号	能力点	掌握情况
1	操作规程		4	液压回路仿真	
2	操作能力		5	系统安装与调试	
3	工作原理理解				

核心知识 >>

一、液压传动原理

液压千斤顶是液压传动应用中最典型的例子，下面以液压千斤顶为例介绍液压传动原理。

1. 液压千斤顶的工作原理

液压千斤顶的工作原理如图 1-5 所示。使用千斤顶时，手柄将杠杆 1 提起或压下，实现重物的起升或下降。

当向上提起杠杆 1 时，小活塞 2 就被带动上升，于是小液压缸 3 的下腔密封容积增大，腔内压力下降，形成部分真空，这时钢球 5 将所在的通路关闭，油箱 10 中的油液就在大气压力的作用下推开钢球 4 沿吸油孔道进入小液压缸的下腔，完成一次吸油动作。

当压下杠杆 1 时，小活塞 2 下移，小液压缸下腔的密封容积减小，腔内压力升高，这时钢球 4 自动关闭油液流回油池的通路，小液压缸下腔的压力油推开钢球 5 进入大液压缸 6 的下腔，推动大活塞 7 将重物 8（重力为 G ）向上顶起一段距离。

如此反复地提压杠杆 1，可以使重物不断升起，达到起重的目的。若将放油阀 9 旋转 90° ，则在物体 8 的自重作用下，大液压缸中的油液流回油箱，大活塞 7 下降到原位。

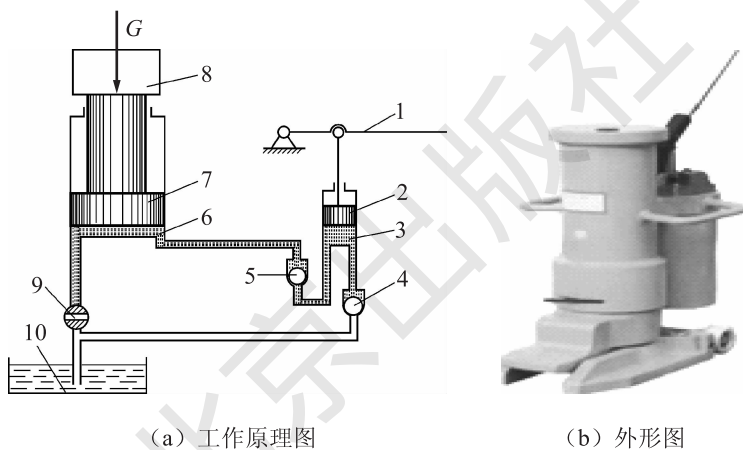


图 1-5 液压千斤顶的工作原理及外形图

1—杠杆；2—小活塞；3、6—液压缸；4、5—钢球；7—大活塞；8—重物；9—放油阀；10—油箱

2. 液压传动原理

从如图 1-5 (a) 所示的液压千斤顶的工作过程可以看出，液压传动系统实质上是一种能量转换装置，它将杠杆上下运动的机械能转换成液体的压力能，随后又将液体的压力能转换成重物上升的机械能而做功。

由此可见，液压传动系统是基于帕斯卡原理实现能量转换的装置。

3. 帕斯卡原理

如图 1-6 所示，在密闭容器内的液体，当外力 F 变化引起外加压力 p 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。这就是说，在密闭容器中，由外力作用所产生的压力将等值地传递到液体内部的所有点（不计液体自重），这就是帕斯卡原理，或称为静压传递原理。

【例 1-1】如图 1-6 所示为相互连通的两个液压缸，已知大缸内径 $D = 100\text{mm}$ ，

小缸内径 $d=20\text{mm}$ ，大活塞上放置一重物 $G=20\,000\text{N}$ 。试问在小活塞上应加多大的力 F 才能使大活塞顶起重物？

【解】根据帕斯卡原理，由外力产生的压力在两缸中相等，即

$$\frac{4F}{\pi d^2} = \frac{4G}{\pi D^2}$$

故为了顶起重物应在小活塞上加的力为

$$F = (d^2/D^2)G = (20^2/100^2) \times 20\,000\text{N} = 800\text{N}$$

由此可见，液压装置具有力的放大作用，液压千斤顶和液压起重机械就是利用这个原理进行工作的。

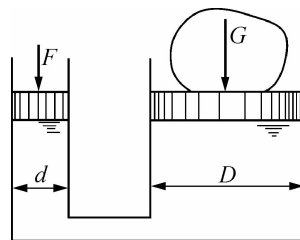


图 1-6 帕斯卡原理应用

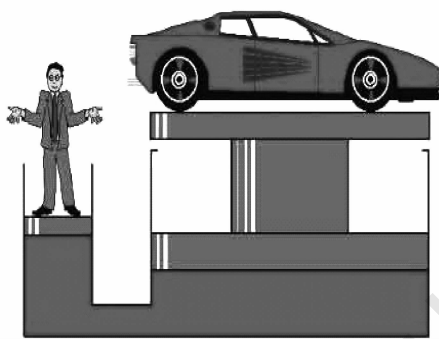


图 1-7 实例图

二、压力与静压传递原理（静力学方程）

1. 压力

（1）压力的概念

液体单位面积上所受的力称为压力。这一定义在物理学中称为压强，但在液压传动中习惯称为压力，压力通常以 p 表示，单位为 Pa ，其表达式为

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

式中： F ——作用面积上的法向作用力， N ；

A ——作用力下的作用面积， m^2 。

液体的压力有如下特性：

- 1) 液体的压力沿着内法线方向作用于承压面。
- 2) 静止液体内任一点的压力在各个方向上都相等。

（2）压力的表示方法及单位

1) 压力的表示方法。液体的压力通常有绝对压力、相对压力（表压力）、真空度三种表示方法。在实际的压力测试中，有两种基准，一种是以绝对真空为基准，另一

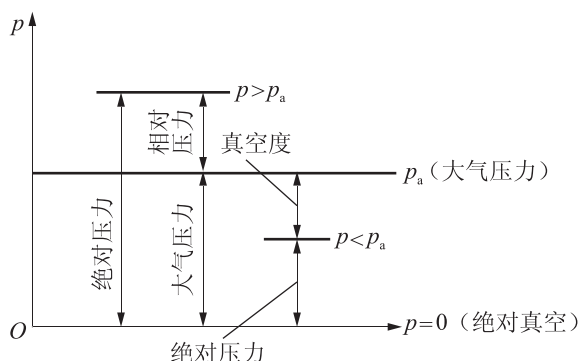
种是以大气压力为基准。

① 绝对压力：指以绝对真空为基准测得的压力，用 p 表示。

② 相对压力：指以大气压力 p_a 为基准测得的高出大气压力的那部分压力，用 p_b 表示。一般由压力计测定的压力均是相对压力，又称表压力。

③ 真空度：指绝对压力低于大气压力的数值，用 p_z 表示。

绝对压力、相对压力、真空度的关系如图 1-8 所示。



问一问：真空度和
负压一样吗？

图 1-8 绝对压力、相对压力、真空度之间的关系

它们的数值关系是：

$$\text{绝对压力} = \text{相对压力} + \text{大气压力}$$

$$\text{真空度} = \text{大气压力} - \text{绝对压力}$$

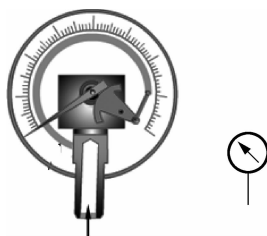
2) 压力的单位。

① 在国际单位制 (SI) 中，用液体在单位面积上所受到的作用力大小来表示压力时，其单位为 N/m^2 ，即 Pa (帕)，由于单位太小，因而常采用 kPa (千帕) 和 MPa (兆帕)。

$$1\text{MPa} = 10^3\text{kPa} = 10^6\text{Pa}$$

② 用大气压力表示时为工程大气压 (at)、标准大气压 (atm)。

③ 用液柱高度表示时为米水柱 (mH_2O)、毫米汞柱 (mmHg)。



看一看：压力表所示的单位是
什么 (图 1-9)？MPa
还是 kPa？

图 1-9 压力表

2. 静压传递原理（静力学方程）

如图 1-10 所示，密闭容器内盛有液体，作用在液面上的压力为 p_0 ，现在求距液面 h 深处 A 点的压力。在液体内取一个底面包含 A 点的小液柱，设其底部面积为 ΔA ，高为 h 。这个小液柱在重力及周围液体的压力作用下，处于平衡状态，其受力情况如图 1-10 (b) 所示。

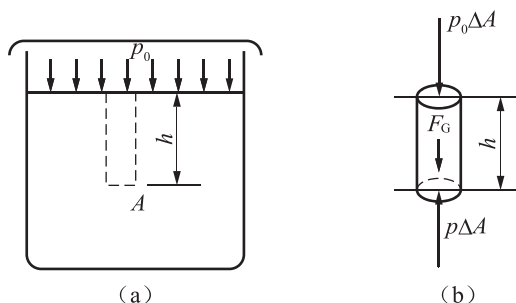


图 1-10 重力作用下的静止液体

A 点所受到的压力为

$$p = p_0 + \rho gh \quad (1-2)$$

式中： p ——压力，Pa；

ρ ——密度， kg/m^3 ；

g ——重力加速度， m/s^2 ；

h ——水位高度，m。

此表达式即为液体静压力的基本方程，由此式可知：

(1) 静止液体内任一点处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 ρg 与该点距液面深度 h 的乘积。

(2) 同一容器中同一液体内的静压力随液体深度 h 的增加而线性增加。

(3) 连通器内同一液体中深度 h 相同的各点压力都相等。由压力相等的点组成的面称为等压面。在重力作用下，静止液体中的等压面是一个水平面。

三、流量与能量守恒定律（动力学方程）

1. 流量

单位时间内流过某通流截面的液体的体积称为流量，常用 q 表示，单位为 m^3/s 、 L/min 或 mL/s 。

2. 能量守恒定律（动力学方程）

(1) 连续性方程

流量连续性方程是质量守恒定律在流体力学中的一种表达形式。根据质量守恒定律，在单位时间内流过两个截面的液体质量相等，即

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 \quad (1-3)$$

如图 1-11 所示, 液体在管内做恒定流动, 若任取 1、2 两个通流截面, 根据质量守恒定律, 在单位时间内流过两个截面的液体流量相等, 不考虑液体的压缩性, 则

$$q = vA = v_1A_1 = v_2A_2 \quad (1-4)$$

或写成

$$q = vA = \text{常数}$$

式中: q ——流量, L/min;

v_1 、 v_2 ——液体流过两截面的流速, m/s;

A_1 、 A_2 ——两截面面积, m^2 。

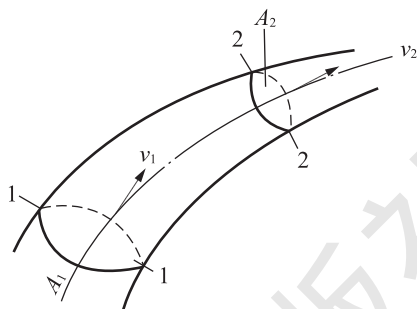


图 1-11 液流的连续性原理

式 (1-4) 是液流的连续性方程。它说明液体在管道中流动时, 流过各个截面的流量是相等的 (即流量是连续的), 因而流速和通流截面积成反比。

(2) 伯努利方程

伯努利方程是能量守恒定律在流体力学中的一种表达形式。理想液体无黏性地在管道内做恒定流动时, 没有能量损失。根据能量守恒定律, 无论液流的能量如何转换, 在任何位置上总的能量是相等的。在液压传动中, 流动的液体除具有压力能, 还具有动能和位能, 如图 1-12 所示。它们的关系分析如下:

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2 = C \quad (1-5)$$

式中: p_1 、 p_2 ——压力, Pa;

ρ ——密度, kg/m^3 ;

v_1 、 v_2 ——液体流过两截面的流速, m/s;

g ——重力加速度, m/s^2 ;

h ——水位高度, m;

C ——常数。

物理意义: 在密封管道内做恒定流动的理想液体具有三种形式的能量, 即动能、位能和压力能。三种能量的总和称为总的机械能, 是一个常数。但三者之间能量是可以互相转换的。理想液体伯努利方程实质上是能量转换与守恒在流体力学中的具体表达。

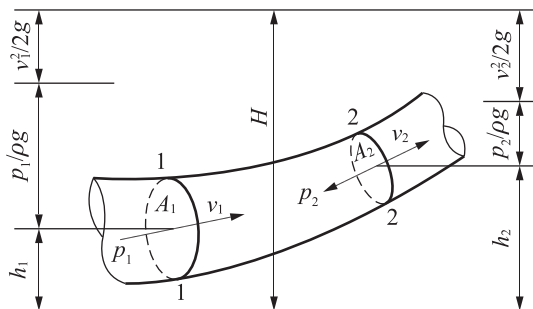


图 1-12 伯努利方程示意图

任务拓展 >

与其他传动方式相比较，液压传动主要有以下优缺点。

1. 主要优点

- (1) 液压传动能方便地实现无级调速，调速范围大。
- (2) 在相同功率情况下，液压传动能量转换元件的体积较小，质量较轻。
- (3) 液压传动工作平稳，反应速度快，冲击小，能高速启动、制动和换向。
- (4) 液压传动系统便于实现过载保护。
- (5) 液压传动系统操纵简单，便于实现自动化。特别是和电气控制联合使用时，易于实现复杂的自动工作循环。
- (6) 液压元件易于实现系列化、标准化和通用化，故便于设计、制造。

2. 主要缺点

- (1) 由于泄漏及流体的可压缩性，它们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，且易污染环境。

学习任务 2

液压系统初步认识

任务描述 >

如图 1-13 所示为 JY 系列液压滑台示意图，通过它可以了解一般液压传动系统应具备的基本性能和组成情况。

下面以机床工作滑台液压系统为例，引入液压传动系统的组成及图形符号。

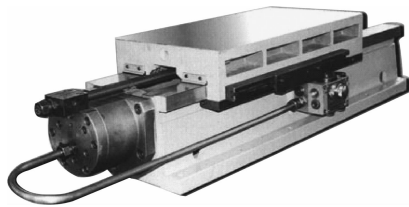


图 1-13 JY 系列液压滑台示意图

任务目标 > >

1. 了解机床工作滑台的工作过程。
2. 掌握液压传动系统组成。
3. 掌握液压传动系统的图形符号。

任务导入 > >

如图 1-14 所示为机床液压滑台的工作原理。液压泵 3 由电动机（图中未画出）带动旋转，从油箱 1 中吸油，油液经过滤器 2 流向液压泵，来自液压泵的压力油流经节流阀 5 和换向阀 6 进入液压缸 7 的左腔，推动活塞连同工作台 8 向右移动，这时，液压缸右腔的油通过换向阀经回油管流回油箱。

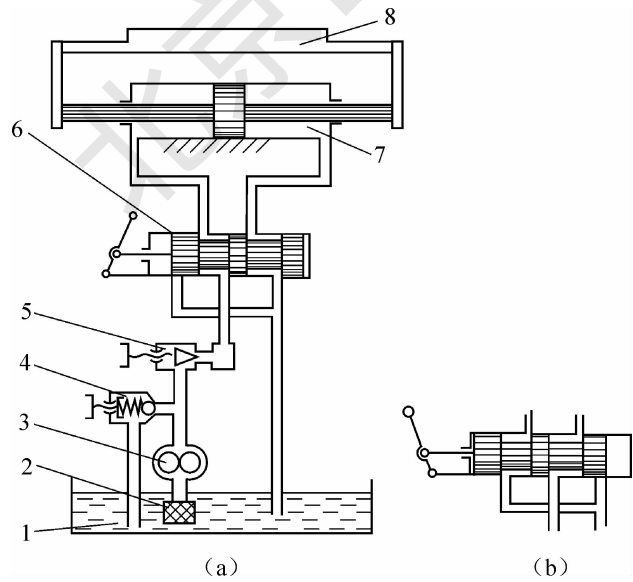
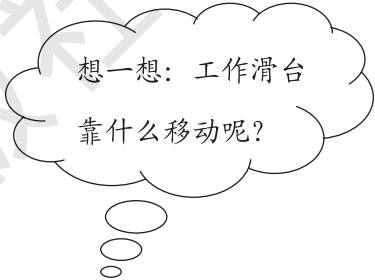


图 1-14 机床液压滑台工作原理

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

观察机床液压滑台的工作过程，绘制液压回路，掌握液压系统的组成。

任务实施 >>

- 熟悉机床液压滑台的工作原理。
- 进行机床液压滑台液压回路仿真。
- 实现机床液压滑台的速度控制。

一、液压滑台液压回路仿真

用 FluidSIM - H 软件绘制液压滑台液压系统，如图 1 - 15 所示。软件的仿真功能可以实时显示液压缸活塞杆的伸出与收回动作，如图 1 - 16 所示。在软件界面中，单击界面工具栏选项中的黑色三角形仿真按钮，完成系统仿真。

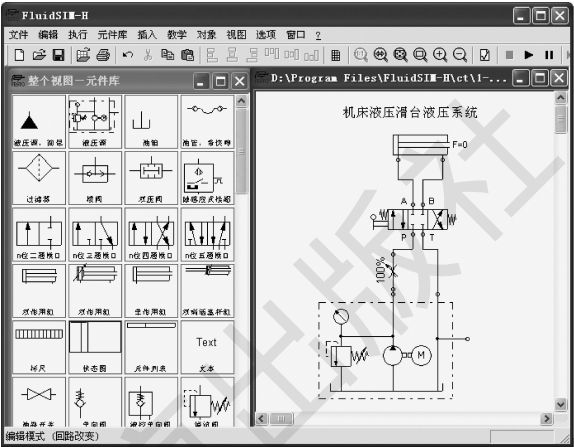


图 1 - 15 用 FluidSIM - H 软件绘制液压回路

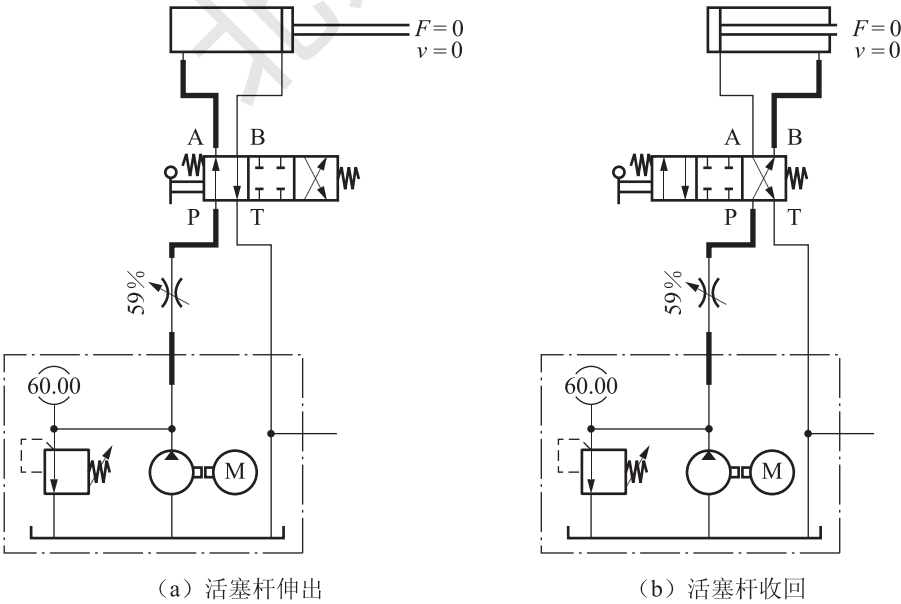


图 1 - 16 液压回路仿真

二、液压滑台液压系统的安装与调试

选择液压元件并组装，运行机床液压滑台液压系统，如图 1-17 所示。

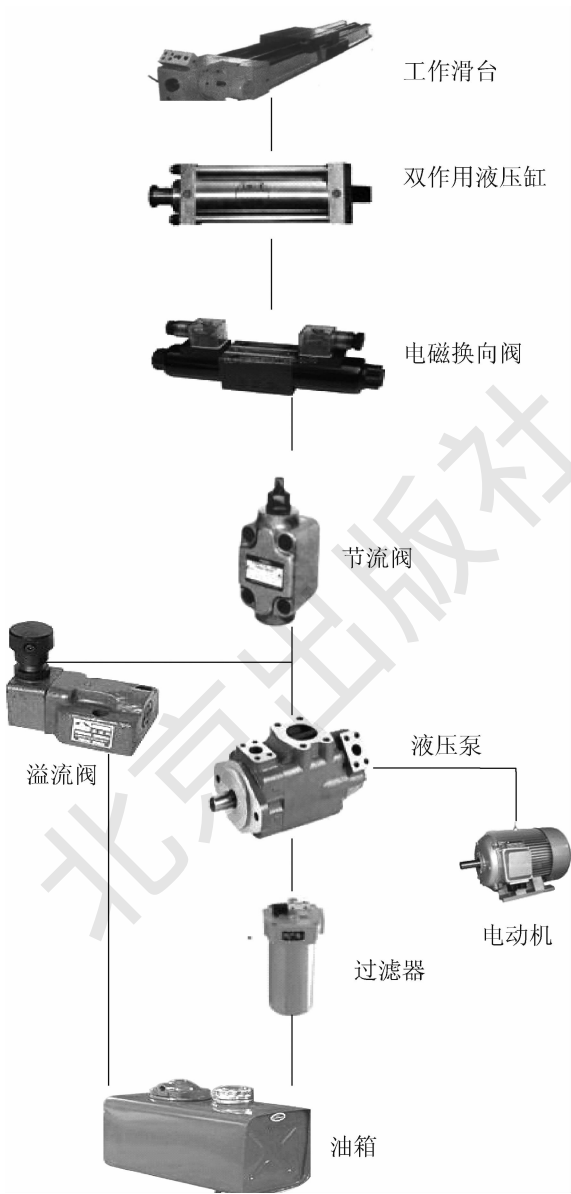


图 1-17 机床工作滑台液压系统的安装与调试

任务评价 > >

序号	能力点	掌握情况	序号	能力点	掌握情况
1	操作规程		2	操作能力	

续表

序号	能力点	掌握情况	序号	能力点	掌握情况
3	工作原理理解		5	系统安装与调试	
4	液压回路仿真		6	故障诊断与排除	

核心知识 > >

一、液压传动系统的组成

液压传动系统主要由以下五个部分组成。

1. 动力元件

一般最常见的动力元件是液压泵，它的作用是将原动机输入的机械能转换成为流体的压力能，以驱动执行元件运动。

2. 执行元件

执行元件一般指做直线运动的液压缸、做回转运动的液压马达等，它们的作用是将流体的压力能转换为机械能，以驱动工作部件。

3. 控制元件

控制元件是指各种阀类元件，它们的作用是控制和调节液压系统中流体的压力、流量和流动方向，以保证工作机构完成预定的工作运动。

4. 辅助元件

辅助元件是指除以上三种以外的其他装置，如油箱、过滤器、分水滤气器、油雾器、蓄能器等，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

液压传动的工作介质为液压油，气压传动的工作介质为压缩空气，其作用是实现运动和动力的传递。

二、液压传动系统的图形符号

液压传动系统的图形符号有结构原理图和职能符号图两种。

1. 结构原理图

如图 1-14 所示，液压系统的各个元件用半结构式图形画出来的这种图形称为结构原理图。结构原理图直观性强，较易理解，但难以绘制。在实际工程中，除某些特殊情况外，结构原理图已逐渐被淘汰。

2. 职能符号

对于如图 1-14 所示结构原理图，可以用液压图形符号绘制，如图 1-18 所示，这种图形符号称为职能符号。图中的符号只表示元件的功能，不表示元件的结构和安装位置。使用图形符号，可使液压系统图简单明了，便于绘制。目前常用的液压图形符号见附录 A。

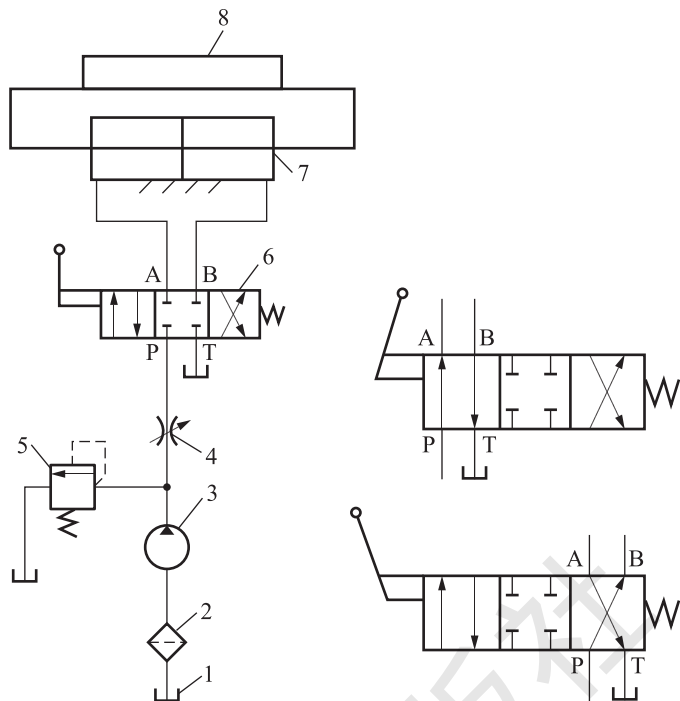


图 1-18 机床液压滑台液压系统

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

学习任务 3

工作介质（液压油）认知

任务描述 >>

液压油是液压传动系统中实现能量和信号传递的工作介质，同时具有润滑、防锈、冷却、减振等功能。液压系统运转的可靠性、准确性和灵活性在很大程度上取决于工作介质的选择与使用是否合理。

下面以防锈、抗氧化 L-HL 液压油（用于低压系统）和抗磨 L-HM 液压油（用于各种液压泵的中、高压系统）为例，介绍常用液压油的牌号。

任务目标 >>

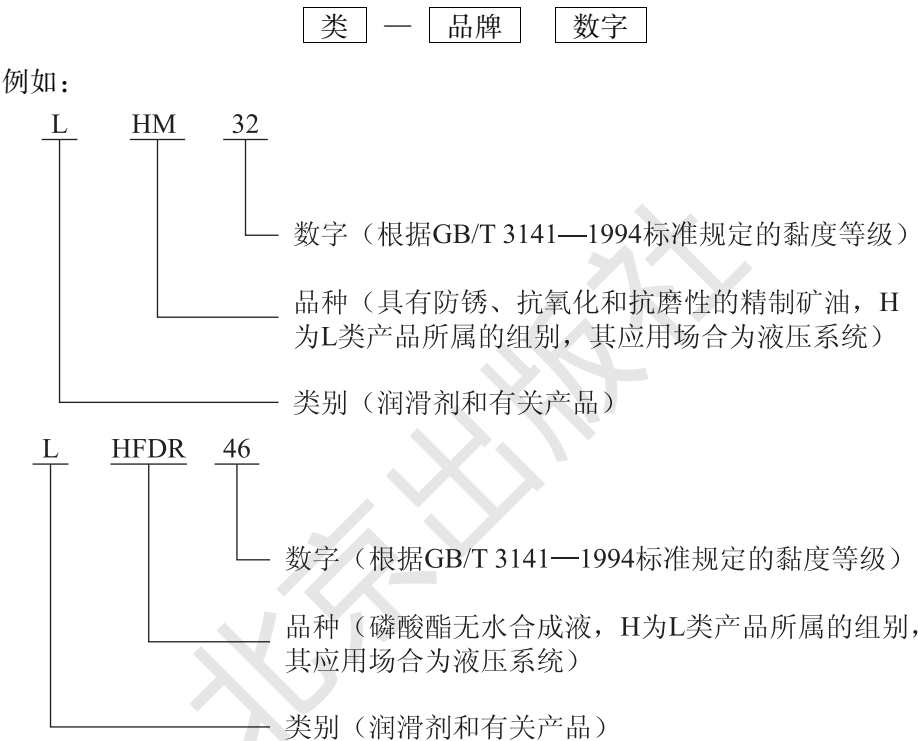
1. 了解液压油的特性。
2. 掌握液压油牌号的含义。
3. 正确选择液压油。

任务导入 >>

目前 90% 以上的液压系统采用矿油型液压油作为工作介质，如精制矿油（全损耗系统用油）L-HH、普通液压油 L-HL、抗磨液压油 L-HM 等。

液压油可用统一的形式表示。一个特定的产品可用一种完整的形式表示为 ISO-L-HV32，或用缩写形式表示为 L-HV32。其中，数字表示 GB/T 3141—1994《工业液体润滑剂 ISO 黏度分类》中规定的黏度等级，英文字母 ISO 表示国际标准化组织。

产品牌号的一般形式为：



分析液压油牌号的含义，掌握液压系统常用液压油型号。

任务实施 >>

- 了解液压油的种类与特性。
- 液压油牌号的含义识别。
- 正确选择液压油。
- 观察油液的黏温特性。

液压油的选用

选择液压油时，首先根据液压元件说明书所推荐的油类品种或性能要求，确定液压油的品种，然后按照液压系统的工作压力、环境温度和运动速度来选择液压油的黏度。

选择黏度时应注意以下几个方面：

(1) 按工作机械的不同要求选用。精密机械为了避免温度升高而引起机件变形,影响工作精度,宜采用较低黏度的液压油。

(2) 按液压泵的类型选用。选择黏度时需考虑液压泵类型,否则,泵磨损快,容积效率降低,甚至可能破坏泵的吸油条件。在一般情况下,可将液压泵要求液压油的黏度作为选择液压油的基准,见表 1-2。

表 1-2 按液压泵类型推荐液压油的运动黏度

液压泵类型		环境温度 5 ~ 40℃ 时的 运动黏度/cst (40℃)	环境温度 40 ~ 80℃ 时的 运动黏度/cst (40℃)
叶片泵	7MPa 以下	30 ~ 50	40 ~ 75
	7MPa 以上	50 ~ 70	55 ~ 90
齿轮泵		30 ~ 70	65 ~ 165
柱塞泵		30 ~ 80	65 ~ 240

(3) 按液压系统的工作压力选用。当工作压力较高时,宜选用黏度较高的液压油,以免系统泄漏过多,效率过低;当工作压力较低时,宜用黏度较低的液压油,减少压力损失。

(4) 考虑液压系统的环境温度。当环境温度高时,宜采用黏度较高的液压油;当环境温度低时,宜采用黏度较低的液压油。

(5) 考虑液压系统中的运动速度。当工作部件运动速度很高时,油液的流速也高,液压损失随之增大,而泄漏相对减少,因此宜用黏度较低的液压油;反之,当运动速度较低时,每分钟所需的油量很小,这时泄漏相对较大,所以宜选用黏度较高的液压油。

任务评价 > >

序号	能力点	掌握情况	序号	能力点	掌握情况
1	操作规程		4	常用液压油举例	
2	操作能力		5	恩氏黏度的测试	
3	液压油牌号识别		6	黏温特性理解	

核心知识 > >

一、液压油的种类与特性

液压工作介质品种繁多,按照国家标准 GB/T 7631.2—2003《润滑剂、工业用油和相关产品(L类)的分类 第2部分:H组(液压系统)》的规定,将液压油(液)根据产品的应用场合进行详细分类,具体见表 1-3。

表 1-3 液压油（液）的分类

类别	组别	应用范围	更具体应用	产品符号 ISO-L	组成和特性	备注
L	H	液压系统（流体静压系统）	用于要求使用环境可接受液压液的场合	HH	无抑制剂的精制矿油	
				HL	精制矿油，并改善其防锈和抗氧化性	
				HM	HL 油，并改善其耐磨性	典型应用为有高负荷部件的一般液压系统
				HR	HL 油，并改善其黏温特性	
				HV	HM 油，并改善其黏温特性	典型应用为建筑和船舶设备
				HS	无特定难燃性的合成油	特殊性能
				HETG	甘油三酸酯	每个品种的基础液的最小含量应不小于 70%（质量分数）；典型应用为一般液压系统（可移动式）
				HEPG	聚乙二醇	
				HEES	合成酯	
				HEPR	聚 α 烯烃和相关烃类产品	
			液压导轨系统	HG	HM 油，并具有抗黏一滑性	这种液体具有多种用途，但并非在所有液压应用中皆有效。典型应用为液压和滑动轴承导轨润滑系统合用的机床在低速下使振动或间断滑动（黏一滑）减为最小
		用于使用难燃液压液的场合		HFAE	水包油型乳化液	通常含水量大于 80%（质量分数）
				HFAS	化学水溶液	通常含水量大于 80%（质量分数）
				HFB	油包水乳化液	
				HFC	含聚合物水溶液 ^①	通常含水量大于 35%（质量分数）
				HFDU	磷酸酯无水合成液 ^①	
				HFDU	其他成分的无水合成液 ^①	
		液压系统（流体动力系统）	自动传动系统	HA		与这些应用有关的分类尚未进行详细的研究，以后可以增加
			耦合器和变矩器	HN		

注：① 表示这类液体也可以满足 HE 品种规定的生物降解性和毒性要求。

由以上可知，液压油的品种繁多，根据产品的应用场合，一般也可以将液压油（液）归纳为三大类型，即矿油型、乳化型和合成型。

1. 矿油型液压油

矿油型液压油是以全损耗系统用油为基础原料，精炼后按需要加入适当的添加剂而制得的，如普通液压油、耐磨液压油、低温液压油等。全损耗系统用油是一种机械润滑油，价格较低，但抗氧化稳定性较差，一般适用于低压系统。

矿油型液压油的主要缺点是可燃。在一些高温、易燃、易爆的工作场合，为了安全起见，液压系统通常使用难燃性液体，如乳化型液压油或合成型液压油。

2. 乳化型液压油

乳化型液压油简称乳化液，由两种互不相溶的液体（如水和油）构成，主要有水包油乳化液（油占 5% ~ 10%）和油包水乳化液（含油约 60%）两类。在煤矿综采机械中，液压支架的工作介质通常采用乳化型液压油。

3. 合成型液压油

合成型液压油有水—乙二醇液和磷酸酯液等。

二、液压油的主要性质

1. 密度

单位体积液体的质量称为该液体的密度，用符号 ρ 表示，即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-6)$$

式中： V ——液体的体积；

m ——体积为 V 的液体的质量。

密度是液体重要的物理参数之一。随着液体温度或压力的变化，其密度也会发生变化，但这种变化量很小，可以忽略不计。一般液压油的密度为 900kg/m^3 。

2. 可压缩性

液体受压力作用而发生体积减小的性质称为液体的可压缩性。体积为 V 的液体，当压力增大 Δp 时，体积减小 ΔV ，则液体在单位压力变化下的体积相对变化量表示为

$$k = -\frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta p} \quad (1-7)$$

式中： k ——液体的体积压缩系数。

由于压力增大时液体的体积减小，因此式的右边须加一负号，以使 k 为正值。

另外，也可以表示为

$$K = \frac{1}{k} = -\frac{\Delta p}{\Delta V}V \quad (1-8)$$

K 称为体积弹性模量, 简称体积模量, 用于说明液体抵抗压缩能力的大小。在常温下, 纯净油液的体积模量 $K = (1.4 \sim 2) \times 10^3 \text{ MPa}$, 数值很大, 故一般可以认为油液是不可压缩的。

应当指出, 当液压油中混有空气时, 其抗压缩能力将显著降低, 这会严重影响液压系统的工作性能。由于油液中的气体难以完全排除, 实际计算中常取液压油的体积模量为 $K = 0.7 \times 10^3 \text{ MPa}$ 。

3. 黏性

(1) 黏性的物理本质

液体在外力作用下流动时, 分子间的内聚力要阻止分子间的相对运动, 因而产生一种内摩擦力, 这一特性称为液体的黏性。黏性是液体的重要物理性质, 也是选择液压油的主要依据之一。

(2) 黏度

液体的黏性大小用黏度值来表示, 称为黏度。常用的黏度分为三种, 即动力黏度、运动黏度和相对黏度

1) 动力黏度。动力黏度又称绝对黏度, 是用液体流动时所产生的内摩擦力的大小来表示的黏度。

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

2) 运动黏度。在相同温度下, 液体的动力黏度和它的密度的比值称为运动黏度, 用 ν 表示:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-9)$$

ν 无物理意义, 但它是工程实际中经常用到的物理量。

运动黏度的法定计量单位是 m^2/s , 它与单位 cst (厘斯) 之间的关系是

$$1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^6 \text{ mm}^2/\text{s} = 10^6 \text{ cst} \quad (1-10)$$

ISO 规定统一采用运动黏度表示油的黏度等级。我国生产的全损耗系统用油和液压油采用 40°C 时的运动黏度值 (mm^2/s) 为其黏度等级标号, 即油的牌号。例如, 牌号为 L-HL32 的液压油是指这种油在 40°C 时的运动黏度平均值为 $32 \text{ mm}^2/\text{s}$ 。

3) 相对黏度。相对黏度又称条件黏度, 是根据一定的测量条件测定的, 中国、德国等用恩氏黏度, 美国用赛氏黏度 SSU , 英国则用雷氏黏度 R , 等等。

恩氏黏度用恩氏黏度计测定, 将被测油放在恩氏黏度计的液池内, 加热至 t 后, 由容器底部一个 $\phi 2.8 \text{ mm}$ 的孔流出, 测量出 200 mL 体积的油液流尽所需时间 t_1 , 与流出同样体积的 20°C 的蒸馏水所需时间 t_2 的比值就是该油在温度 t 时的恩氏黏度, 用符号 $^\circ E_t$ 表示。

$$^{\circ}E_t = \frac{t_1}{t_2} \quad (1-11)$$

式中： t_1 ——200mL 被测油液流过恩氏黏度计小孔所需的时间，s；

t_2 ——200mL 蒸馏水在 20℃ 温度下流过恩氏黏度计小孔所需的时间，s。

恩氏黏度与运动黏度的换算可用查表法和经验公式法。

4. 黏度和温度的关系

油液的黏度对温度的变化极为敏感，温度升高，油液的黏度下降。黏度随温度变化的性质称为油液的黏温特性。不同种类的液压油有不同的黏温特性，黏温特性较好的液压油，其黏度随温度的变化较小，因而油温变化对液压系统性能的影响较小。

国际和国内常采用黏度指数 VI 值来衡量油液黏温特性的好坏。黏度指数 VI 值较大，表示油液黏度随温度的变化率较小，即黏温特性较好。一般液压油的 VI 值要求在 90 以上，优异的在 100 以上。

液压油的黏度和温度的关系可用黏温图来查找。

5. 黏度和压力的关系

液体所受的压力增大时，其分子间的距离减小，内聚力增大，黏度亦随之增大。但对于一般的液压系统，当压力在 32MPa 以下时，压力对黏度的影响不大，可以忽略不计。

6. 其他性质

液压油还有其他一些物理、化学性质，如抗燃性、抗凝性、抗氧化性、抗泡沫性、抗乳化性、防锈性、润滑性、导热性、相溶性（主要是指对密封材料不侵蚀、不溶胀的性质）及纯净性等，都对液压系统的工作性能有重要影响。对于不同品种的液压油，这些性质的指标也有所不同，具体可见液压油产品手册。

单元小结

通过学习，应掌握基本概念，液压系统组成、工作原理，液压回路的绘图、专业绘图软件应用以及简单液压系统的安装、调试和控制操作。

单元教学设计建议

采用以教为主，教和学互动的教学设计，教学方法采用讲授法、演示与观摩法、模拟演练和仿真模拟等，评价方法采用定性、定量评价。

自我测试

一、选择题

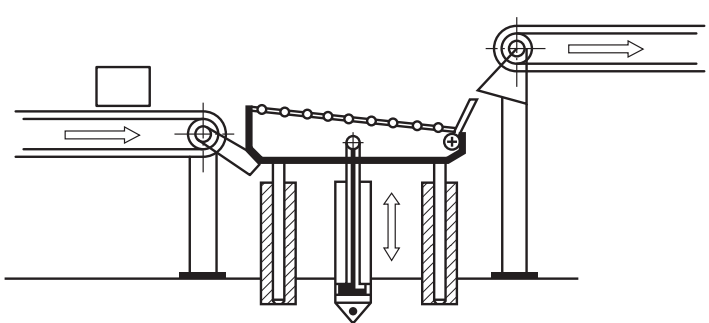
- 1. 在液压传动中人们利用（ ）来传递力和运动。
A. 固体 B. 液体 C. 气体 D. 绝缘体
- 2. 液压系统压力通常用 p 表示，其单位为 Pa（帕），即（ ）。
A. kg/m^3 B. N/m^2 C. kg/m^2 D. N/m^3
- 3. 液压油 L-HM32 中，L-HM 表示（ ）。
A. 普通液压油 B. 耐磨液压油 C. 低温液压油 D. 汽轮机油
- 4. （ ）又称表压力。
A. 绝对压力 B. 相对压力 C. 大气压 D. 真空度
- 5. （ ）是液压传动中最重要的参数。
A. 压力和流量 B. 压力和负载 C. 压力和速度 D. 流量和速度
- 6. 在液压传动中，压力一般是指压强，在国际单位制中，它的单位是（ ）。
A. 帕 B. 牛顿 C. 瓦 D. 牛·米

二、简述题

- 1. 液压传动系统有哪些组成部分？各部分的作用是什么？
- 2. 液压传动系统的图形符号有几种？
- 3. 什么是压力？压力有哪几种表示方法？
- 4. 什么是帕斯卡原理？
- 5. 液压油应具备哪些主要性质？

三、工作任务实操

任务名称：液压升降台

目的	直接控制双作用液压缸
说明	通过升降台将一条传送带上到达的箱子向上传送到一条装配线上。要求用一个单向作用的液压油缸随意控制升降台的上升和下降  升降台示意图

续表

目的	直接控制双作用液压缸
要求	1. 绘制液压回路、电气控制回路图 2. 通过仿真软件检查系统的完整性 3. 选元件，搭接液压与控制回路并装调、运行系统 4. 制定元件清单，完成任务报告 5. 实操工作中，做好实验室 5S

北京出版社