



**图书在版编目(CIP)数据**

液压与气压传动 / 单淑梅, 孟宪臣主编. — 长春:  
吉林大学出版社, 2016. 7

ISBN 978 - 7 - 5677 - 7214 - 4

I. ①液… II. ①单… ②孟… III. ①液压传动  
②气压传动 IV. ①TH137②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 190082 号

书 名: 液压与气压传动

作 者: 单淑梅 孟宪臣 主编

责任编辑: 吴亚杰 责任校对: 张文涛

吉林大学出版社出版、发行

开本: 787×1092 毫米 1/16

印张: 16.25 字数: 400 千字

ISBN 978 - 7 - 5677 - 7214 - 4

封面设计: 彭富强

吉林省吉盛印业有限公司 印刷

2016 年 07 月 第 1 版

2016 年 07 月 第 1 次印刷

定价: 45.00 元

版权所有 翻印必究

社址: 长春市明德路 501 号 邮编: 130021

发行部电话: 0431—89580028/29

网址: <http://www.jlup.com.cn>

E-mail: [jlup@mail.jlu.edu.cn](mailto:jlup@mail.jlu.edu.cn)

《液压与气压传动》立体化教材是为了适应职业教育培养目标和课程改革的需要，紧扣职业教育教学中的重点难点，运用先进的 AR（增强现实）技术开发的新型教学产品。本教材根据高等职业学校专业课程结构改革和国家职业技能鉴定标准进行编写。在教材内容上，在对学科特点和社会实际人才需求进行深度调研的基础上，以项目式教学为主进行教材内容的设定，教材包括液压传动基本知识的学习、液压泵的使用、液压执行元件的使用、液压控制元件的使用、液压辅助元件的使用、液压基本回路的应用分析、典型液压系统的应用分析、气源装置与气动辅助元件的使用、气动执行元件的使用、气动控制元件的使用及气动基本回路的应用分析、气动系统的应用分析和电气气动控制技术的应用 12 个项目内容。

本教材的突出特点在于表现形式上的一次变革，利用增强现实技术提供界面友好、形象直观的交互式学习环境，提供图文声像并茂的多种感官综合刺激资源。

在视觉资源上，通过自主控制的人机交互方式，提供形象的思维材料来展现学生不能直接观察到的内部结构及原理，从而方便了“教”与“学”的过程。

在预期效果上，通过直观形象的信息展示，学生可以利用立体教材提供的虚拟仿真三维交互模型进行轻松自主、生动活泼、扩展思维的学习，提高学生自主学习兴趣和能力；学生还可以利用信息化技术，互相学习，共同探究，建立合作型的学习模式，培养合作交流能力。

在教授过程中，教师可以利用立体化教材完成高科技的教学，实现日常授课教学的信息化，开展声形并茂、视听结合的辅助教学机制。

教材由来自于长春汽车工业高等专科学校具有丰富教学经验和实践能力



人员共同完成，课程内容紧贴生产实际，为学生与企业员工的无缝对接和现代信息技术的应用奠定了良好的基础。本教材由单淑梅、孟宪臣担任主编，董世钢、陈光、马国新、郭立侠担任副主编。参编有李爱淑、徐恒斌、孟凡荣、肖冰、王菊丽、刘春颖、彭富强、张森、南玉华、韩璐、钟晓亮。

其中，单淑梅负责教材中项目一的任务一、项目四的任务二和项目六的任务一的编写，以及教材中大部分项目中动画资源的制作指导；孟宪臣负责教材中项目一的任务二、任务三、任务四和项目五的内容的编写，以及对应项目中动画资源的制作指导；徐恒斌负责教材中项目二和项目三内容的编写；董世钢负责教材中项目四的任务一、任务三、任务四和项目十内容的编写；孟凡荣负责教材中项目六的任务二、任务三、任务四和项目七内容的编写；肖冰负责教材中项目八和项目九内容的编写；李爱淑负责教材中项目十一、项目十二内容的编写；王菊丽主要为资源的制作搭建相应的教学场景；刘春颖负责立体教材模式整体架构的开发；郭立侠负责教材内容的最终审核及资源的完善；陈光负责三维动画资源的开发；马国新负责二维动画资源的开发；南玉华、韩璐负责教材中所有的描图工作；张森、彭富强负责全书的排版、校对和印刷。钟晓亮负责立体教材移动端应用制作。

本教材可作为高职高专机械制造与自动化、机电一体化、数控技术、模具设计与制造等专业及其相关专业的教材，也可作为中职学校、成人自学考试院校等相关专业及职业培训用书。

鉴于作者水平有限，书中难免存在缺点和错误，望读者和同仁批评指正。

2016年5月



项目一 液压传动基本知识的学习	1
任务一 液压传动基本概念的学习	1
任务二 液压油的选用	9
任务三 流体力学的应用	18
任务四 液压冲击及空穴现象的防治	28
项目二 液压泵的使用	31
任务一 液压泵选型	31
任务二 齿轮泵的使用	37
任务三 叶片泵的使用	43
任务四 柱塞泵的使用	49
任务五 液压泵的安装及常见故障	53
项目三 液压执行元件的使用	62
任务一 液压缸的使用	62
任务二 液压马达的使用	80
项目四 液压控制元件的使用	85
任务一 方向控制阀的使用	85
任务二 压力控制阀的使用	98
任务三 流量控制阀的使用	111
任务四 液压控制阀的安装、使用注意事项	118
项目五 液压辅助元件的使用	122
任务一 蓄能器的使用	122
任务二 滤油器的使用	126
任务三 油箱的使用	131
任务四 其他辅助元件的使用	134
项目六 液压基本回路的应用分析	144
任务一 方向控制回路的应用分析	144



任务二	压力控制回路的应用分析·····	147
任务三	速度控制回路的应用分析·····	154
任务四	多缸动作控制回路的应用分析·····	165
<b>项目七</b>	<b>典型液压系统的应用分析·····</b>	<b>170</b>
任务一	组合机床动力滑台液压系统的应用分析·····	170
任务二	数控机床液压系统的应用分析·····	174
任务三	塑料注射成型机液压系统的应用分析·····	178
<b>项目八</b>	<b>气源装置与气动辅助元件的使用·····</b>	<b>185</b>
任务一	气源装置的使用·····	185
任务二	气动辅件的使用·····	190
<b>项目九</b>	<b>气动执行元件的使用·····</b>	<b>195</b>
任务一	气缸的使用·····	195
任务二	气动马达的使用·····	200
<b>项目十</b>	<b>气动控制元件的使用及气动基本回路的应用分析·····</b>	<b>203</b>
任务一	气动控制元件的使用·····	203
任务二	气动基本回路及典型系统的应用分析·····	212
<b>项目十一</b>	<b>气动系统的安装与调试·····</b>	<b>221</b>
任务一	气动系统的安装与调试·····	221
任务二	气动系统的使用与维护·····	223
<b>项目十二</b>	<b>电气气动控制技术的应用·····</b>	<b>226</b>
任务一	典型气动系统继电器控制的应用·····	226
任务二	气动钻床 PLC 控制的应用·····	238
<b>附    录</b>	·····	<b>248</b>
<b>参考文献</b>	·····	<b>254</b>



## 项目一 液压传动基本知识的学习

液压与气压传动技术是机电设备中发展速度最快的技术之一，特别是近些年来，随着机电一体化技术的发展，液压与气压传动技术正向着更广阔的领域渗透发展。该技术是实现工业自动化的一种重要手段，具有广阔的发展前景。

### 任务一 液压传动基本概念的学习

#### 任务目标

1. 掌握液压传动系统的组成部分及每部分的作用。
2. 了解液压图形符号的表现形式及功能。
3. 熟悉液压传动的优缺点及应用。
4. 掌握压力与流量的概念。

#### 任务引入

液压传动是以液体为工作介质进行能量传递和转换的一种传动形式。液压传动有许多突出的优点，因此它的应用非常广泛，如图 1-1 (a) 中汽车行业用的起重设备千斤顶便是通过液压传动原理进行重物的提升，图 1-1 (b) 中机械行业用的磨床设备也主要通过液压传动原理实现工作台的往复运动。本任务就是学习液压传动中的一些基本概念并了解液压传动的基本原理。



(a) 千斤顶



扫一扫 (b) 磨床

图 1-1 液压传动的应用

## 任务分析

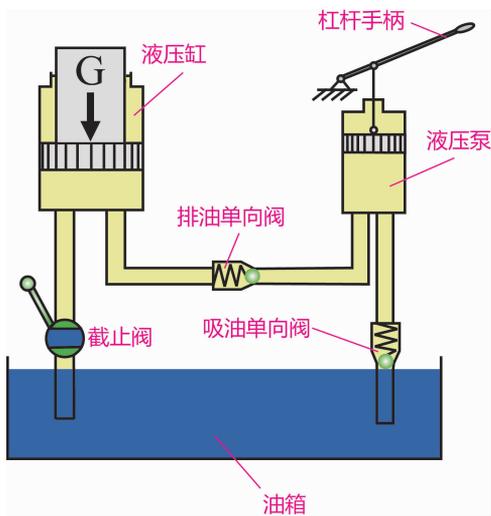
引导问题：

1. 液压传动系统由哪几部分构成？
2. 液压传动系统的工作原理是怎样的？
3. 液压传动系统每个组成元件的作用是怎样的？
4. 液压传动系统中的压力和流量具有什么特性？

## 知识链接

### 一、液压千斤顶的工作原理

图 1-2 为图 1-1 (a) 中液压千斤顶工作原理图。它由杠杆手柄、泵体、排油单向阀、吸油单向阀、油箱、截止阀、液压缸以及连接这些元件的油管等构成。提起手柄使小活塞向上移动，小活塞下端密封油腔容积增大，形成局部真空，这时吸油单向阀打开，通过吸油管从油箱中吸油；用力压下手柄，小活塞下移，小活塞下腔压力升高，吸油单向阀关闭，排油单向阀打开，下腔的油液经管道输入举升缸的下腔，迫使大活塞向上移动，顶起重物。再次提起手柄吸油时，排油单向阀自动关闭，使油液不能倒流，从而保证了重物不会自行下落。不断地往复扳动手柄，就能不断地把油液压入举升液压缸下腔，使重物逐渐地升起。如果打开截止阀，举升液压缸下腔的油液通过管道、截止阀流回油箱，重物就向下移动。这就是液压千斤顶的工作原理。



扫一扫 图 1-2 液压千斤顶工作原理图

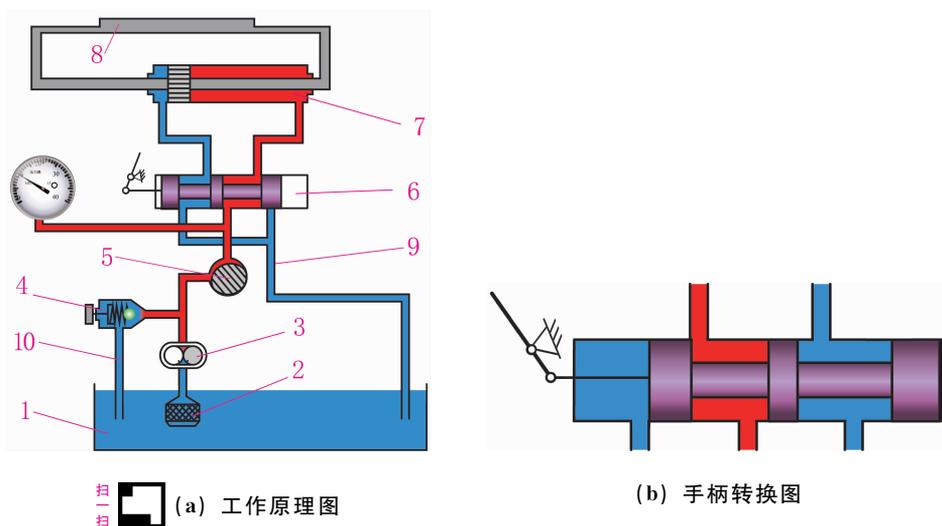
### 二、磨床工作台的工作过程

液压千斤顶是比较简单的液压系统，比较完善的液压系统是如图 1-3 (a) 中所示的图 1-1 (b) 磨床工作台液压传动系统。它由油箱、滤油器、液压泵、溢流阀、节流阀、换向阀、液压缸以及连接这些元件的油管、接头等构成。

该系统的工作原理是：液压泵 3 由电动机驱动后，从油箱 1 经滤油器 2 吸油，油液在泵腔中从入口的低压到泵出口的高压，泵输出的压力油通过节流阀 5、换向阀 6 进入液压缸 7 右腔，推动活塞使工作台 8 向左运动。这时液压缸 8 中左腔的油液经换向阀 6 和回油

管 9 排回油箱 1。

如果将换向阀 6 手柄转换成图 1-3 (b) 所示状态, 则压力油通过节流阀 5、换向阀 6 进入液压缸 7 左腔, 推动活塞使工作台 8 向右运动。这时液压缸 8 中右腔的油液经换向阀 6 和回油管 9 排回油箱 1。



(a) 工作原理图

(b) 手柄转换图

图 1-3 磨床工作台液压传动系统原理图

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—工作台；9、10—回油管

工作台的移动速度是通过节流阀来调节的。当节流阀开大时, 进入液压缸的油量增多, 工作台的移动速度增大; 当节流阀关小时, 进入液压缸的油量减小, 工作台的移动速度减小。因此, 可以说液压缸的速度决定于流量。

为了克服移动工作台时所受到的各种阻力, 液压缸必须产生一个足够大的推力, 这个推力是由液压缸中的油液压力所产生的。要克服的阻力越大, 缸中的油液压力越高; 反之, 压力就越低。这种现象正说明了液压传动的一个基本原理, 即工作压力决定于负载。

溢流阀的作用是调节和稳定系统的最大工作压力, 并溢出定量泵多余的油液。当工作台工作进给时, 液压缸活塞需要克服大的负载并作慢速运动。因此, 进入液压缸的压力油必须有足够的稳定压力才能推动活塞带动工作台平稳运动。调节溢流阀的弹簧力, 使之与液压缸最大承载力相平衡, 当系统压力升高到稍大于溢流阀的弹簧力时, 溢流阀便打开, 将定量泵输出的部分油液经回油管 10 溢回油箱, 这时系统压力不再升高, 工作台保持稳定的低速运动。

本系统所涉及的各液压元件, 我们将在后续项目中逐一介绍。

### 三、液压传动系统组成部分

综合图 1-3 所示磨床工作台液压传动系统原理图, 总结出液压传动系统基本上由五

大部分组成。

(1) 能源装置 把机械能转换成液体的压力能装置。一般常见的是液压泵。

(2) 执行元件 把液体的压力能转换成机械能的装置。可以是作直线运动的液压缸，也可以是作回转运动的液压马达。

(3) 控制调节元件 对系统中液体压力、流量和流动方向进行控制和调节，从而控制执行元件的推力（或转矩）、速度（或转速）和运动方向（或转向）的装置。例如溢流阀、节流阀、换向阀等。

(4) 辅助元件 保证系统正常工作所需的上述三种以外的装置。如油箱、滤油器、蓄能器、管件等。

(5) 传动介质 传递能量及信息的液体，即液压油。

#### 四、液压传动系统图形符号图

图 1-3 所示的液压传动系统是一种半结构式的工作原理图，它具有直观性强、容易理解的优点，当液压系统发生故障时，根据原理图检查十分方便，但图形比较复杂，绘制比较麻烦。我国已经制定了一种用规定的图形符号来表示液压原理图中的各元件和连接管路的国家标准，即“液压系统图图形符号（GB/T786.1—2009）”。我国制定的液压系统图图形符号（GB/T786.1—2009）中，对于这些图形符号有以下几条基本规定：

(1) 符号只表示元件的职能及连接系统的通路，不表示元件的具体结构和参数，也不表示元件在机器中的实际安装位置。

(2) 元件符号内的油液流动方向用箭头表示，线段两端都有箭头的，是强调流动方向可逆，通常换向阀的箭头只表示油口连通，不表示流动方向。

(3) 符号均以元件的静止位置或中间零位置表示，当系统的动作另有说明时，可作例外。

图 1-4 所示为图 1-3 (a) 系统用国标《GB/T786.1—2009 液压系统图图形符号》绘制的工作原理图。使用这些图形符号可使液压系统图简单明了，且便于绘图。

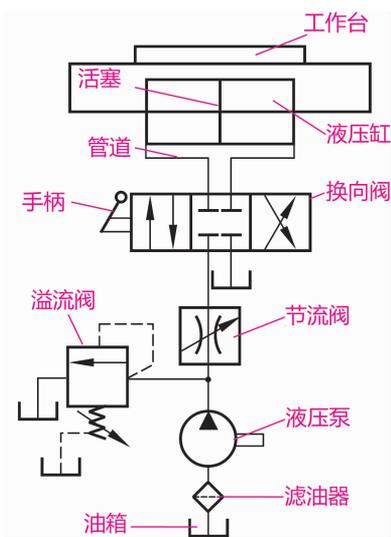


图 1-4 磨床工作台液压传动系统图形符号图

#### 五、液压传动系统的特点

前面所述的液压传动与其他传动相比有以下优点：

(1) 体积小、重量轻，因此惯性力较小，当突然过载或停车时，不会发生大的冲击，

并且容易实现较大的力及转矩的传递；

(2) 能在给定范围内平稳的自动调节牵引速度，并可实现无级调速；

(3) 换向容易，在不改变电机旋转方向的情况下，可以较方便地实现工作机构旋转和直线往复运动的转换；

(4) 液压泵和液压马达之间用油管连接，在空间布置上彼此不受严格限制；

(5) 由于采用油液为工作介质，元件相对运动表面间能自行润滑，磨损小，使用寿命长；

(6) 操纵控制简便，自动化程度高；

(7) 容易实现过载保护。

液压传动的缺点是：

(1) 使用液压传动对维护的要求高，工作油要始终保持清洁；

(2) 对液压元件制造精度要求高，工艺复杂，成本较高；

(3) 液压元件维修较复杂，且需要较高的技术水平；

(4) 液压油泄漏和可压缩性原因造成无法实现严格的传动比；

(5) 传动效率低；

(6) 不适合远距离传动，且油温过冷或过热都不宜。

## 六、压力与流量

对于液压千斤顶或者磨床工作台设备来说，要使工作部件能够克服负载，液压泵输出的油液就必须具有一定的压力，并且能够根据负载大小进行调节；另外，为满足不同的加工工艺要求，运动部件的速度也应该是可以调整的，即油液的流量是可调的。因此，必须要学习压力与负载的关系、流量与速度的关系。

### 1. 压力

#### (1) 液体静压力及其特性

液体静压力  $p$ ：当液体相对静止时，液体单位面积上所受的力称为压力，相当于物理学中的压强，即

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

式中  $p$ ——液体静压力，单位为  $\text{N}/\text{m}^2$  或  $\text{Pa}$ （帕斯卡）。工程中也常采用  $\text{kPa}$ （千帕）或  $\text{MPa}$ （兆帕）。换算关系为： $1\text{MPa}=10^3\text{kPa}=10^6\text{Pa}$ 。

当液体受到外力的作用时，就形成液体的压力，如图 1-5 所示。

#### (2) 压力的形成与传递

在密闭容器中的静止液体，当一处受到外力作用而产生压力时，这个压力将通过液体等值传递到液体内部的所有各

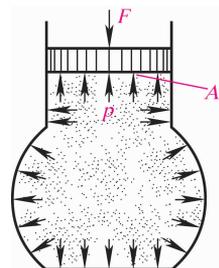


图 1-5 外力作用形成的压力

点。这就是静压传递原理，又称帕斯卡原理。

如图 1-6 所示密闭连通器中，液体各点表示的压力数值都相同（忽略因液位高度不同而引起的压力大小的差异）。

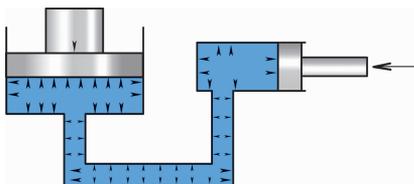


图 1-6 密闭连通器内压力处处相等

## 2. 流量

液压传动是依靠密封容积的变化来传递运动的，而密封容积的变化必然引起液体的流动。为此，需要了解有关液体流动的一些基本概念和规律。

### (1) 流量和平均流速

①通流截面 垂直于液体流动方向的截面。

②流量  $q$  单位时间内流过某一通流截面的液体体积，即

$$q = \frac{V}{t} \quad (1-2)$$

式中  $q$  的单位为  $\text{m}^3/\text{s}$  (米<sup>3</sup>/秒) 或  $\text{L}/\text{min}$  (升/分)，换算关系为  $1\text{m}^3/\text{s} = 6 \times 10^4 \text{L}/\text{min}$ 。

③平均流速  $v$  液体流动时，由于粘性的作用，使得在同一截面上各点的流速不同，分布规律较为复杂，如图 1-7 所示，计算很不方便。

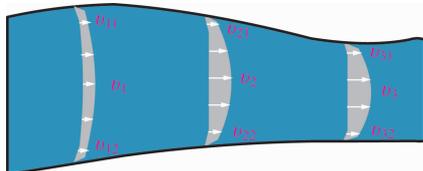


图 1-7 平均流速

现假设通流截面上各点的流速均匀分布，液体以此平均流速流过通流截面的流量与以实际流速  $u$  流过的流量相等，这时流速  $v$  称为平均流速，即

$$v = \frac{q}{A} \quad (1-3)$$

在液压缸中，液体的流速即为平均流速，它与活塞的运动速度相同，从而可以建立起活塞运动速度与液压缸有效面积和流量之间的关系。当液压缸的有效面积一定时，活塞运动速度决定于输入液压缸的流量。

### (2) 液体的流动方式

①恒定流动 液体流动时，液体中任何一点处的压力、速度和密度都不随时间变化，如图 1-8 所示。

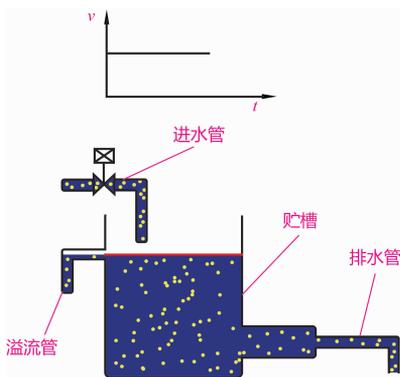


图 1-8 恒定流动

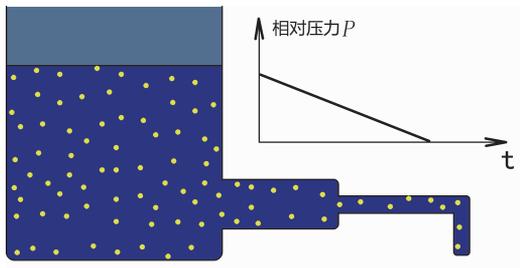


图 1-9 非恒定流动

②非恒定流动 通过空间某一固定点的各液体质点的压力、速度或密度中至少有一个参数随时间变化，如图 1 - 9 所示。

**任务实施**

例 1 - 1 图 1 - 10 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  $d=30\text{ mm}$ ，大活塞上放一重物  $G=20\text{ kN}$ 。问在小活塞上应加多大的力  $F_1$ ，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

$$\frac{4F_1}{\pi d^2} = \frac{4G}{\pi D^2}$$

故顶起重物时在小活塞上应加的力为

$$F_1 = \frac{d^2}{D^2} G = \frac{30^2}{100^2} \times 20000\text{ N} = 1800\text{ N}$$

由例 1 - 1 可知液压装置具有力的放大作用。液压压力机和液压千斤顶就是利用这个原理进行工作的。

如果  $G=0$ ，不论怎样推动小活塞，也不能在液体中形成压力，即  $p=0$ ；反之， $G$  越大，液压缸中压力也越大，推力也就越大，这验证了液压系统的工作压力决定于外负载。

综上所述，液压传动是依靠液体内部的压力来传递动力的，在密闭容器中压力是以等值传递的。

此外，液体流动时还有动压力，但在一般液压传动中动压力很小，可以不计。所以在液体流动时，主要是考虑静压力。

**技能拓展**

**液压传动系统压力建立的过程**

与液压千斤顶一样，所有液压传动系统的工作压力都是建立在外负载基础之上的。如图 1 - 11 所示，液压缸进油腔工作压力是随着液压缸伸出时的阻力增加而增加的。

(1) 动力元件将机械能转换为液体的压力能。如图 1 - 11 所示，随着齿轮回转，吸满液体的齿间转过吸入腔，沿壳壁转到排出腔，当重新进入啮合时，齿间的液体即被轮齿挤出，带有压力的油液进入管路，液压缸伸出时，负载增加，压力增大。而图 1 - 11 所示的系统如果没有安全装置的保护，

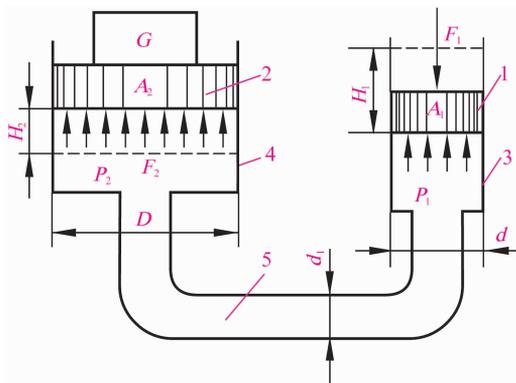


图 1 - 10 液压千斤顶

1、2—活塞；3、4—缸筒；5—管路

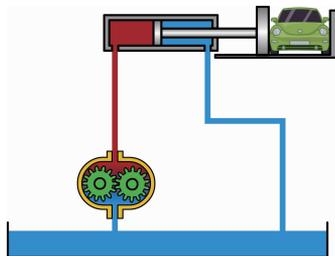


图 1 - 11 机械能转换压力能

压力将一直增大而损坏设备，所以需要增加溢流阀来调定系统压力，用溢流阀限定系统的最高工作压力，如图 1 - 12 所示。

(2) 液压传动系统的压力决定于负载，随负载变化而变化。液压缸伸出挤压负载时，压力随阻力增大而增大，最大工作压力由溢流阀控制，如图 1 - 13 所示。液压缸返回时负载减小，压力自动下降。

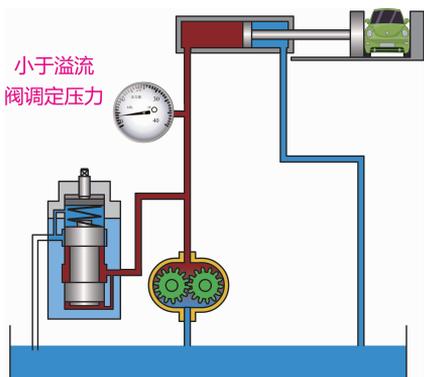


图 1 - 12 系统压力的控制

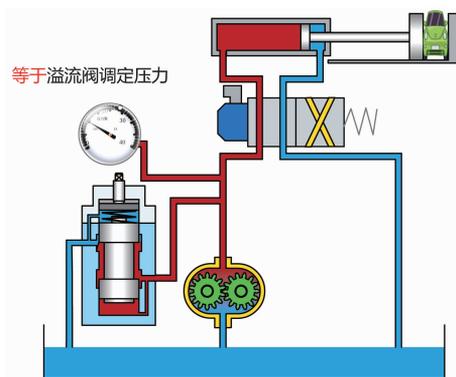


图 1 - 13 系统压力的控制

## 思考与练习

### 一、填空题

1. 液压传动是以\_\_\_\_\_为传动介质，必须在\_\_\_\_\_进行，利用液体的\_\_\_\_\_来实现运动和动力传递的一种传动方式。
2. 液压传动系统由\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_五部分组成。
3. 在液压传动中，液压泵是\_\_\_\_\_元件，它将输入的\_\_\_\_\_能转换成\_\_\_\_\_能，向系统提供动力。
4. 在液压传动中，液压缸是\_\_\_\_\_元件，它将输入的\_\_\_\_\_能转换成\_\_\_\_\_能输出。
5. 液压元件的图形符号只表示元件的\_\_\_\_\_，不表示元件的\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_，以及连接口的实际位置。

### 二、判断题

1. 液压系统故障诊断方便、容易。( )
2. 液压传动适用于远距离传动。( )
3. 液压传动可在高温下运行。( )

### 三、选择题

1. 液压系统的执行元件是（ ）。  
 A. 电动机            B. 液压泵            C. 液压缸或液压马达            D. 液压阀
2. 液压系统中，液压泵属于（ ）。  
 A. 动力部分            B. 执行部分            C. 控制部分            D. 辅助部分
3. 液压传动的特点有（ ）。  
 A. 易于实现远距离操纵和自动控制  
 B. 可在较大速度范围内实现无级变速  
 C. 传动迅速、变速、传动准确  
 D. 体积小，重量轻，自润滑，且诊断、维护、保养和排放方便。

### 四、简答题

1. 简述液压传动的工作原理。
2. 液压传动有哪些优缺点？

## 任务二 液压油的选用

### 任务目标

1. 了解液压油的主要性质。
2. 了解液压油牌号的含义。
3. 掌握液压油的使用及污染的控制。

### 任务引入

在选用机床液压油时必须保证粘度要满足系统的要求。液压油选择不恰当，是早期故障和耐久性下降的主要原因，液压油污染会严重影响系统正常工作，对污染的控制是保证系统正常工作的前提，因此要学习液压油相关知识，合理选择液压油并对液压油污染进行有效的控制。

### 任务分析

引导问题：

1. 需要从哪些方面了解液压油的物理性质？
2. 如何选用液压油？
3. 如何有效控制液压油的污染？

根据问题的引导, 需要从液体的密度、液体的粘性、粘度与温度的关系、液体的可压缩性几个方面掌握液压油的物理性质。液压油就是传递液体压力能的液压介质, 在液压系统中起着能量传递、抗磨、系统润滑、防腐、防锈、冷却等作用。对于液压油来说, 由于油的粘度变化直接与液压动作、传递效率和传递精度有关, 所以, 应首先满足液压装置在工作温度与启动温度下对液体粘度的要求; 同时还要满足不同用途所提出的各种粘温性能的需求。另外, 液压油其他的一些性能, 比如对液压系统中的金属元件和密封材料有良好的配伍性等特点, 都是我们需要了解的内容。本任务的目的就是了解液压油的特性、种类, 合理选择液压油, 并对液压油液污染能进行有效的控制。

## 知识链接

### 一、液压油的物理性质

#### 1. 液体的密度

单位体积液体的质量称为液体的密度, 即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-4)$$

式中  $m$ ——液体的质量, 单位为 kg;

$v$ ——液体的体积, 单位为  $\text{m}^3$ 。

矿物油型液压油的密度随温度的上升而有所减小, 随压力的提高而稍有增加, 但变动值很小, 可认为是常数。

#### 2. 液体的粘性

##### (1) 粘性的意义

液体在外力作用下流动 (或有流动趋势) 时, 分子间的内聚力要阻止分子相对运动而产生的一种内摩擦力, 这种现象叫做液体的粘性。液体只有在流动 (或有流动趋势) 时才会呈现出粘性, 粘性使流动液体内部各处的速度不相等, 静止液体是不呈现粘性的。

##### (2) 液体的粘度

液体粘性的大小用粘度来表示, 常用的粘度有三种: 动力粘度、运动粘度和相对粘度。

①动力粘度  $\mu$  又称绝对粘度, 它是表征液体粘性的内摩擦系数, 单位为  $\text{Pa} \cdot \text{s}$  (帕·秒)。

②运动粘度  $\nu$  是动力粘度与其密度的比值,  $\nu = \mu/\rho$ , 单位为  $\text{m}^2/\text{s}$ 。运动粘度  $\nu$  无明确的物理意义, 但 ISO 规定统一采用运动粘度来标志液体粘度, 液压油的牌号就是采用它在  $40^\circ\text{C}$  时运动粘度 (以  $\text{m}^2/\text{s}$  计) 的平均值来标号的。例如 L-HL32 普通液压油在  $40^\circ\text{C}$  时的运动粘度的平均值为  $32 \text{ m}^2/\text{s}$ 。

③相对粘度 又称条件粘度, 由于测量仪器和条件不同, 各国相对粘度的含义也不同, 如美国采用赛氏粘度 (SSU); 英国采用雷氏粘度 (R); 而我国和一些欧洲国家采用恩氏粘度  $^\circ\text{E}$ 。恩氏粘度  $^\circ\text{E}$  用恩氏粘度计测定。

恩氏粘度与运动粘度 (m<sup>2</sup>/s) 的换算关系为:

当 1.35 ≤ °E ≤ 3.2 时,

$$\nu = \left(8^{\circ E} - \frac{8.64}{^{\circ E}}\right) \times 10^{-6} \quad (1-5)$$

当 °E > 3.2 时,

$$\nu = \left(7.6^{\circ E} - \frac{4}{^{\circ E}}\right) \times 10^{-6} \quad (1-6)$$

④调合油的粘度 当油液产品的粘度不符合要求时,可将同一型号两种粘度不同的油按适当的比例混合起来使用,称为调合油。不同型号的液压油不能混用。调合油的粘度可用下面经验公式计算:

$$^{\circ}E = \frac{a_1^{\circ}E_1 + a_2^{\circ}E_2 - c (^{\circ}E_1 - ^{\circ}E_2)}{100} \quad (1-7)$$

式中 °E<sub>1</sub>、°E<sub>2</sub>——混合前两种油液的恩氏粘度,取 °E<sub>1</sub> > °E<sub>2</sub>;

°E——混合后的调合油的恩氏粘度;

a<sub>1</sub>、a<sub>2</sub>——两种油液各占的百分数 (a<sub>1</sub> + a<sub>2</sub> = 100%);

c——实验系数,见表 1-1。

表 1-1 实验系数 c 的值

a <sub>1</sub>	10	20	30	40	50	60	70	80	90
a <sub>2</sub>	90	80	70	60	50	40	30	20	10
c	6.7	13.1	17.9	22.1	25.5	27.9	28.2	25	17

### (3) 粘度与温度的关系

液压油粘度对温度的变化十分敏感,如图 1-14 所示,温度升高,粘度下降。这种油液粘度随温度变化的性质称为粘温特性。由图可见,温度对液压油粘度影响较大,必须引起重视。

#### 3. 液体的可压缩性

液体受压力作用而使其体积发生变化的性质,称为液体的可压缩性。对于一般液压系统,压力不高时液体的可压缩性很小,因此可认为液体是不可压缩的;而在压力变化很大的高压系统中,就必须考虑液体可压缩性的影响。当液体混入空气时,其可压缩性将显著增加,并将严重影响液压系统的工作性能。因此,应将液压系统油液中的空气含量减少到

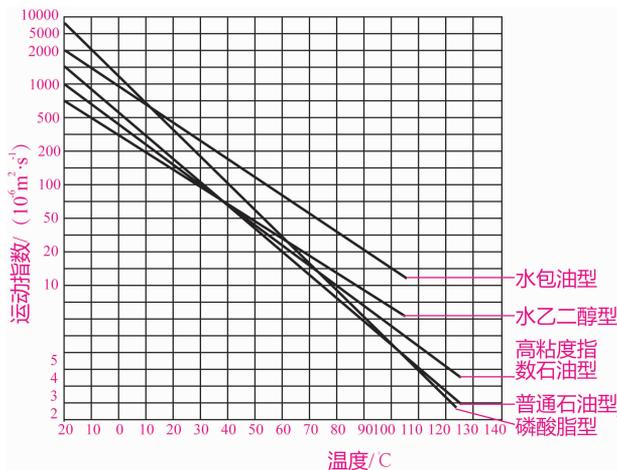


图 1-14 粘度与温度的关系

最低限度。

## 二、液压油的种类

液压油的种类很多，主要有矿油型、合成型和乳化型三类。

矿油型液压油是以机械油为原料，精练后按需要加入适当添加剂而成的。这类液压油润滑性能和防锈性能好，粘度等级范围宽，目前有 90% 以上的液压系统采用矿油型液压油作为工作介质。

在一些高温、易燃、易爆的工作场合，为了安全起见，应该在系统中使用合成型或乳化型液压油。其中合成型液压油主要有水-乙二醇液、磷酸酯液和硅油等；乳化型液压油分为水包油乳化液（L-HFAE）和油包水乳化液（L-HFB）两大类。

## 三、对液压油的要求及选用

### 1. 对液压油的要求

在液压系统中，液压油除传递运动和动力外，还要起到润滑和散热的作用，为此，应具备以下性能：

- (1) 合适的粘度，较好的粘温特性。
- (2) 润滑性能好。
- (3) 质地纯净，杂质少。
- (4) 对金属和密封件有良好的相容性。
- (5) 对热、氧化和水解都有良好的稳定性。
- (6) 抗泡沫性好，抗乳化性好，腐蚀性小，防锈性好。
- (7) 体积膨胀系数小，比热容大。

(8) 流动点和凝固点低，闪点（明火能使油面上油蒸气闪燃，但油本身不燃烧时的温度）和燃点高。

- (9) 无毒性，成本低。

### 2. 液压油的选择

(1) 液压油的类型 应根据其工作性质和工作环境要求来选择。

(2) 液压油的牌号 主要是根据工作条件选用适宜的粘度。粘度是选择液压油的主要依据，选择时应考虑液压系统在以下几个方面的情況：

①工作压力 工作压力较高的系统宜选用粘度较大的液压油，以减少泄漏。

②运动速度 当液压系统的工作部件运动速度较高时，宜选用粘度较小的液压油，以减轻液流的摩擦损失。

③环境温度 环境温度较高时，宜选用粘度较大的液压油。

④液压泵的类型 在液压系统中，不同的液压泵对润滑的要求不同，选择液压油时应考虑液压泵的类型及工作环境。

### 3. 合理使用液压油的要点

为了充分发挥液压油的功能，在了解液压油的性质并能进行合理的选择以外，还要合理使用液压油。合理使用液压油要注意以下几点：

(1) 换油前要清洗液压系统 液压系统每次使用液压油前，必须彻底清洗干净；在更换同一品种液压油时，也要用新换的液压油冲洗几次。

(2) 液压油不能随意混用 一种牌号的液压油，未经设备生产厂家同意和没有科学依据时，不能随意与不同牌号的液压油混用，更不得与其他品种的液压油混用。

(3) 注意液压系统密封良好 液压系统必须保持严格的密封，防止泄漏，以及防止外界各种尘土杂物和水等混入。

(4) 加入新油时，必须按要求过滤。

(5) 油液污染后根据换油指标及时更换液压油。

## 任务实施

### 一、液压油品种的选择

#### 1. 不同液压系统液压油品种选择

选择液压油品种，应从液压系统的特点、工作环境和液压油的特性等方面出发，综合考虑，选择液压油时，见表 1 - 2。

表 1 - 2 液压油品种选择参考

液压设备液压系统举例	对液压油的要求	可选择的液压油品种
低压或简单机具的液压系统	抗氧化安定性和抗泡沫性一般，无抗燃要求	HH，无本产品时可选 HL
中、低压精密机械等液压系统	要求有较好的抗氧化安全性，无抗燃要求	HL，无本产品时可选 HM
中、低压和高压液压系统	要求抗氧化性安定性、抗泡沫性、防锈性好、抗磨性好	HM，无本产品时可选 HV、HS
环境变化较大或工作条件恶劣的（指野外工程和远洋船舶等）低、中、高压系统	除上述要求外，要求凝点低、粘度指数高、粘温性好	HV、HS
环境温度变化较大或工作条件恶劣的（指野外工程和远洋船舶等）低压系统	要求凝点低、粘度指数高	HR，对于有银部件的液压系统，北方选用 L-HR 油，南方用 HM 油或 HL 油

(续 表)

液压和导轮润滑台用的系统	在 HM 油基础上改善粘滑性 (防爬行性好)	HG
煤矿液压支架、静压系统和其他不要求回收报废液和不要求有良好润滑的情况, 但要求有良好的难燃性, 使用温度为 5℃~50℃	要求抗燃性好, 并具有一定的防锈、润滑性和良好的冷却性, 价格便宜	L-HFAE
冶炼、煤矿等行业的中压和高压、高温和易燃的液压系统, 使用温度为 5℃~50℃	抗燃性、润滑性和防锈性好	L-HFB
需要难燃液的低压液压系统和金属加工等机械, 使用温度为 5℃~50℃	不要求低温性、粘温性和润滑性, 但抗燃性要好, 价格便宜	L-HFAS

## 2. 不同液压泵液压油品种选择

在液压系统中, 不同的液压泵对润滑的要求不同, 选择液压油时应考虑液压泵的类型及工作环境, 见表 1-3。

表 1-3 各类液压泵推荐用液压油

液压泵类型		油液粘度 (40℃时) /mm <sup>2</sup> /s		适应液压油的种类和粘度牌号
		液压系统温度 5℃~40℃	液压系统温度 40℃~80℃	
叶片泵	7 MPa 以下	30~50	40~75	L-HL32、L-HM46、L-HM68
	7 MPa 以上	50~70	55~90	L-HM46、L-HM68、L-HM100
齿轮泵		30~70	95~165	中、低压时用: L-HId32、L-HIA6、L-HL68、L-HL100、L-HL150 中、高压时用: L-HM32、L-HM46、L-HM68、L-HM100、L-HM150
径向柱塞泵		30~50	65~240	
轴向柱塞泵		30~70	70~150	

其中 L-HM-46 表示的含义如下:

L—类别 (润滑剂及有关产品, GB7631.1);

HM—品种 (抗磨);

46—牌号 (粘度级, GB3141);

液压油的粘度牌号由 GB3141 做出了规定, 以 40℃时运动粘度的平均值来划分牌号。

## 二、液压系统清洗

液压系统在制造、试验、使用和储存中都会受到污染, 而清洗是清除污染, 使液压

油、液压元件和管道等保持清洁的重要手段。生产中，液压系统清洗通常有主系统清洗和全系统清洗。全系统清洗是指对液压装置的整个回路进行清洗，在清洗前应将系统恢复到实际运转状态。

清洗用油液的粘度应与规定润滑油的粘度相同或较低。粘度较低，能保证有良好的溶解作用。清洗时间一般为 2~4 h，特殊情况下也不超过 10 h，清洗效果以回路滤网上无杂质为标准。

清洗注意事项如下：

(1) 一般液压系统清洗时，多采用工作用的液压油或试车油。不能用煤油、汽油、酒精、蒸气、金属清洗剂或肥皂水，防止液压元件、管路、油箱和密封件受污染或泡沫大，油压不稳定。

(2) 清洗过程中，液压泵运转和清洗介质加热同时进行。清洗油液的温度为 50℃~80℃时，系统内的橡胶渣是容易清除的。

(3) 清洗过程中，可用非金属锤棒敲击油管，可连续地或不连续地敲击，以利于清除管路内的附着物。

(4) 液压泵间歇运转有利于提高清洗效果，间歇时间一般为 10~30 分钟。

(5) 在清洗油液的回路上，应装滤油器或滤网。刚开始清洗时，因杂质较多，可采用 80 目滤网，清洗后期改用 150 目以上的滤网。

(6) 为了防止外界湿气引起锈蚀，清洗结束时，液压泵还要连续运转，直到温度恢复正常为止。

(7) 清洗后要将回路内的清洗油排除干净。

### 三、液压油污染的控制

由于液压油液被污染的原因比较复杂，液压传动系统在工作过程中液压油液又在不断地产生污染物，因此，要彻底地防止污染是很困难的。为了延长液压元件的使用寿命，保证液压传动系统的正常工作，应将液压油液的污染程度控制在一定的范围内。一般采取如下措施来控制污染：

(1) 消除残留物污染 液压系统组装前后，必须对零件进行严格的清洗。

(2) 减少外来的污染 为了减少液压系统的污染源，改善设备的运转环境，应加强粉尘治理，减少工作现场的粉尘。油箱通大气处要加空气滤清器，向油箱灌油应通过滤油器，维修拆卸元件应在无尘区进行。

(3) 滤除系统产生的杂质 根据系统和元件的不同要求，分别在泵的吸油口、压力管路、系统的吸油管路、回油管路、伺服阀或调速阀的进油口处，按照要求的过滤精度，设置滤油器，选用滤油器时还要考虑纳垢能力。在精度相同的情况下，应尽量选用滤油面积大的滤油器。在需要时，还可以增设外循环过滤系统，从而使系统的污染物控制等级得到提高；应定期检查滤油器的滤网有无破裂，若有破裂要及时更换，对变质油和清洁度

超标油禁止使用，油箱内壁一般不要涂刷油漆，以免油中产生沉淀物质，为防止空气进入系统，回油管口应在油箱液面以下，液压泵和吸油管应严格密封。总之，应根据需要，在系统的有关部位设置适当精度的滤油器，并且要定期检查、清洗或更换滤芯。

(4) 控制液压油液的工作温度 在没有特定要求的情况下，可优先考虑选用容积式调速回路，此种调速回路温升小，效率高；用扩大油箱容量和通风自然冷却来缓解油温的升高；另外还可以采用双油箱结构方案，以实现不同温升情况下的油温调节；当系统功率损失较大，发热量大而结构又不允许有较大的油箱容量的情况下，可采用冷却器进行强制冷却。

## 知识扩展

### 液压油液污染的原因

要长时间地保持液压系统高效而可靠地工作，除了选好工作介质以外，还必须合理使用和正确维护工作介质。工作介质维护的关键是控制污染。统计表明，液压系统故障的70%~80%是由工作介质的污染造成的。

#### 1. 液压油污染的原因

(1) 残留物的污染 主要指液压元件以及管道、油箱在制造、储存、运输、安装、维修过程中，带入的砂粒、铁屑、磨料、焊渣、锈片、油垢、棉纱、灰尘等，虽然经过清洗，但未清洗干净而残留下来的残留物所造成的液压油液污染。

(2) 侵入物的污染 主要指周围环境中的污染物，如空气、尘埃、水滴等通过一切可能的侵入点，如外露的往复运动活塞杆、油箱的通气孔和注油孔等侵入系统所造成的液压油液污染；维修过程中不注意清洁，将环境周围的污染物带入；以粗代细，甚至不用滤油器，滤网不经常清洗，换油或补油时不注意油的过滤，脏的油桶未经过严格的清洗就拿来用，从而把污染物带入。

(3) 生成物的污染 主要指液压传动系统在工作过程中所产生的金属微粒、密封材料磨损颗粒、涂料剥离片、水分、气泡、油液变质后的胶状物等所造成的液压油液污染。这些颗粒污染物类似于研磨金属加工面使用的研磨剂，液压系统中的污染颗粒随着液压油的流动而遍布整个系统。当通过泵、缸、阀各液压元件时，会加剧各摩擦副的磨损，产生出新的污染颗粒，造成恶性循环，大大降低元件的使用寿命，严重地威胁着液压系统的正常工作。油液分解残余物及表面活性媒介物等，它们会腐蚀机件，并使元件表面的污物分散到油液中去而难以清除，还降低过滤网附着污物的能力，常常使节流小孔堵塞，使液压元件失效造成故障。

#### 2. 污染度等级

工作介质的污染用污染度等级来表示，它是指单位体积工作介质中固体颗粒污染物的含量，即工作介质中所含固体颗粒的浓度。为了定量地描述和评定工作介质的污染程度，国际标准化组织的标准 ISO4406 中已经给出了污染度等级标准（见表 1-4）。

表 1 - 4 油液污染度等级 (100 mL 中的颗粒数)

污染度等级	颗粒尺寸范围 ( $\mu\text{m}$ )				
	5~15	15~25	25~50	50~100	>100
00	125	22	4	1	0
0	250	44	8	2	0
1	500	89	16	3	1
2	1000	178	32	6	1
3	2000	356	64	11	2
4	4000	712	126	22	4
5	8000	1425	253	45	8
6	16000	2851	506	90	16
7	32000	5700	1012	180	32
8	64000	11400	2025	360	64
9	128000	22800	4050	720	128
10	256000	45600	8100	1440	258
11	512000	91200	16200	2880	512
12	1024000	182400	32400	5760	1024

### 思考与练习

#### 一、填空题

- 液体流动时，分子之间的\_\_\_\_\_阻碍分子的相对运动的性质称为液体的\_\_\_\_\_，大小用\_\_\_\_\_表示，常用的粘度有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。
- 我国采纳的相对粘度是\_\_\_\_\_，它是用\_\_\_\_\_测量的。
- 液压油牌号是该油液在 40℃ 时\_\_\_\_\_的平均值。

#### 二、选择题

- 油液特性的错误提法是 ( )。
  - 在液压传动中，油液可近似看作不可压缩。
  - 油液的粘度与温度变化有关，油温升高，粘度变大。
  - 粘性是油液流动时，内部产生摩擦力的性质。
  - 低压液压传动中，压力的大小对油液的性质影响不大，一般不予考虑。

#### 三、问答题

- 液压油污染的原因有哪些？如何控制液压油的污染？