



项目1 液压教学软件 的使用

作为学习液压技术的工具和平台，液压传动教学软件可用于流量和压力的检测，元件图形符号和工作原理的学习，元件基本性能的检测，基本回路的设计、仿真、安装与检测，以及信号的控制连接与检测等。掌握软件的操作和使用方法，对于学习液压知识有着非常重要的意义。

1.1 项目目标

- (1) 学习液压油的相关知识；
- (2) 掌握压力和流量的基本概念，能够分析管道中油液压力和流量的变化；
- (3) 学会设置液压教学软件中各个液压元件的相关参数，并分析液压回路的运行状态和回路中各元件的作用；
- (4) 了解液体流动状态和压力损失的分类，知道液压冲击和空穴现象的产生原因及其危害；
- (5) 了解液压知识的学习过程和方法。



1.2 实训设备和元器件

项目所需实训设备和元器件见表 1-1。

表 1-1 实训设备和元器件明细表

名称	数量	名称	数量	名称	数量
计算机（安装教学软件）	1	车用立式液压千斤顶	1	重物（自选）	1

1.3 基础知识

1.3.1 液压油

在任何液压系统中，液压油都是至关重要的组成部分。它的功能是有效地传递能量、润滑部件、防锈防腐和作为一种散热介质。液压系统能否可靠、灵敏、准确、有效而且经济地工作，与所选用的液压油品种及性能密切相关。因此，正确选用液压油是确保液压系统长期正常工作的前提。

1. 黏性

液体在外力作用下流动时，分子间的内聚力会阻碍分子间的相对运动而产生一定的内摩擦力，这种性质称为液体的黏性。油液只有在流动时才有黏性，静止液体不显示黏性。

黏性的大小用黏度表示。黏度是选择液压油的主要指标，它对油液流动特性影响很大。当油液黏度过高时，会导致机械上和液体内部两方面的摩擦增加，产生高温，增大压力损失和能耗；黏度过低时，又会增加内外泄漏，增加泵的动力传递损耗和元件的磨损。

常用的黏度有三种，即动力黏度、运动黏度和相对黏度。液压油的牌号用 40℃ 下运动黏度的平均值来表示，如 N46 号液压油就是指这种液压油在 40℃ 时的运动黏度的平均值是 46cSt（厘斯）。

2. 黏温特性

油液的黏度对温度的变化极为敏感，温度升高，油的黏度即显著降低，油的黏度随温度变化的性质称为黏温特性。如图 1-1 所示为某品牌液压油外包装示意图，黏温特性是液压油的主要性能特点之一，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，黏度随温度的变化较小。



图 1-1 某品牌液压油外包装示意图



液压应用技术项目化教程

除了黏温特性以外，液压油还有其他的一些主要性能，如润滑性与抗磨性、防锈和抗腐蚀性、氧化安定性和热安定性、抗剪切安定性、抗乳化性和水解安定性、抗泡性和空气释放性、清洁度和可滤性、对密封材料的相容性及其他要求，如低温性能、可压缩性等。

3. 液压油的分类

液压油的分类见表 1-2，液压油的品种主要可分为石油型、乳化型和合成型三大类。

表 1-2 液压油的分类

分 类	名 称	代 号	组成和特性	应 用
石 油 型	精制矿物油	L-HH	无抗氧化剂	低压液压系统
	普通液压油	L-HL	HH 油，改善其防锈和抗氧化性	中低压液压系统，如精密机床
	抗磨液压油	L-HM	HL 油，改善其抗磨性	中高压液压系统，特别适合于有防磨要求带叶片泵的液压系统，如冶金机械
	低温液压油	L-HV	HM 油，改善其黏温特性	能在-40~-20℃的低温环境中工作，用于户外工作的矿山、工程机械和船用设备的液压系统
	高黏度指数液压油	L-HR	HL 油，改善其黏温特性	黏温特性优于 L-HV 油，用于数控机床液压系统和伺服系统
	液压导轨油	L-HG	HM 油，具有良好的黏滑特性	适用于导轨和液压系统共用一种油品的机床，对导轨有良好的黏滑性和防爬性
	其他液压油		加入多种添加剂	用于高品质的专用液压系统
乳化型	水包油乳化液	L-HFAE	需要难燃液压油的场合	
	水包油乳化液	L-HFB		
合成型	水-乙二醇液	L-HFC		
	磷酸酯液	L-HFDR		

4. 液压油的选用

首先应根据液压系统的环境与工作条件选用合适的液压油类型，其次选择液压油的牌号。

对液压油牌号的选择主要是对油液黏度等级的选择，这是因为黏度对液压系统的稳定性、可靠性、效率、温升及磨损都有显著影响。在选择黏度时应注意以下几点。

(1) 液压系统的工作压力。工作压力较高的液压系统宜选用黏度较大的液压油，以便于密封，减少泄漏；反之，可选用黏度较小的液压油。

(2) 环境温度。环境温度较高时宜选用黏度较大的液压油，因为环境温度高使油的黏度下降。

(3) 运动速度。当工作部件的运动速度较高时，为减小液流的摩擦损失，宜选用黏度较小的液压油。



在液压系统的所有元件中，以液压泵对液压油的性能最为敏感，因为泵内零件的运动速度最高，承受的压力最大，且承压时间长，温升高。因此，常根据液压泵的类型及其要求来选择液压油的黏度。

1.3.2 液体静力学基础

1. 压力

在液压传动中，油液的压力主要来自油液表面所受的外力（大气压力除外），通常将液体在单位面积上所受到的垂直作用力称为压力，用符号 p 表示，即

$$p = \frac{F}{A} \quad (1.1)$$

式中， p 为外力产生的压力，单位为 Pa； F 为对液体的作用力，单位为 N； A 为受力面积，单位为 m^2 。

压力的表示方法有两种，一种是以绝对真空作为基准所表示的压力，称为绝对压力；另一种是以大气压力作为基准所表示的压力，称为相对压力，也称为表压力（仪表所测得的压力）。两者的关系为：绝对压力=相对压力+大气压力，当绝对压力低于大气压力时，比大气压力小的那部分数值叫做真空度，即真空度=大气压力-绝对压力。

压力的单位为 N/m^2 ，即 Pa，除此之外还有 kPa、MPa，以及以前沿用的一些单位，如 bar、工程大气压 at（即 kgf/cm^2 ）、标准大气压 atm 等。

换算关系为

$$\begin{aligned} 1 \text{ MPa} &= 10^3 \text{ kPa} = 10^6 \text{ Pa} \\ 1 \text{ bar} &= 10^5 \text{ N}/\text{m}^2 = 0.1 \text{ MPa} = 1.02 \text{ kgf}/\text{cm}^2 \end{aligned}$$

2. 帕斯卡原理

在密闭容器内，施加于静止液体的压力能等值地传递到液体内部各点，这就是帕斯卡原理，或称静压力传递原理。

如图 1-2 所示，作用在大活塞上的负载 F_1 形成液体压力 $p = F_1/A_1$ ，为防止大活塞下降，在小活塞上应施加的力 $F_2 = pA_2 = F_1A_2/A_1$ ，由此可得：液压传动可使力放大，也可使力缩小，也可以改变力的方向；液体内的压力是由负载决定的。

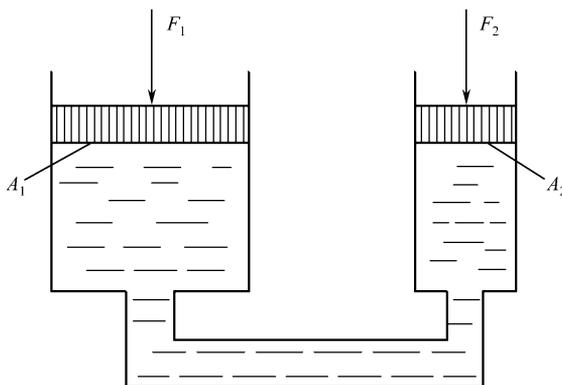


图 1-2 帕斯卡原理示意图



1.3.3 液体动力学基础

1. 理想液体和恒定流动

研究流动液体时要考虑其黏性，而液体的黏性阻力是一个很复杂的问题，因此引入了理想液体的概念。所谓理想液体就是无黏性、不可压缩的假想液体。首先对理想液体进行研究，然后通过实验验证的方法对所得的结论进行补充和修正。这样，不仅使问题简单化，而且得到的结论在实际应用中也具有足够的精确性。

恒定流动是指液体流动时液体中任意一点处的压力、流速和密度不随时间而变化。反之，则是非恒定流动。

2. 流量

单位时间内通过通流截面的液体体积称为流量，用 q 表示，即

$$q = \frac{V}{t} = vA \quad (1.2)$$

式中， q 为流量，单位为 m^3/s ，工程上常用 L/min ； V 为液体体积，单位为 m^3 ； t 为通过液体所需的时间，单位为 s ； v 为平均流速，单位为 m/s ； A 为通流截面面积，单位为 m^2 。

3. 连续性方程

假定液体不可压缩，则液体在同一单位时间内流过同一通道两个不同断面的体积应相等。如图 1-3 所示， v_1 、 v_2 为液体在截面 1 和 2 处的平均流速， A_1 、 A_2 为截面 1 和 2 处的截面积，则 $v_1 A_1 = v_2 A_2 = \text{常量}$ ，因而流速和截面积成反比，直径大的管道流速慢，直径小的管道流速快。

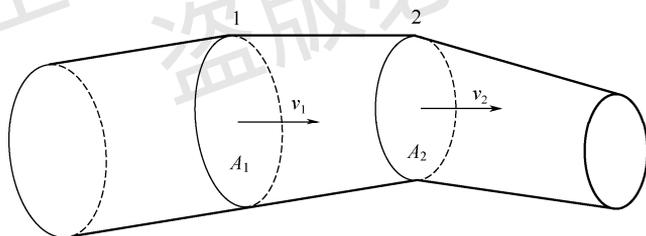


图 1-3 液体的连续性原理

4. 伯努利方程

假定液体不具有黏性且不可压缩，则

$$\frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z = \text{常数} \quad (1.3)$$

式中， p 为液体压力； ρ 为液体密度； v 为液体流速； z 为液体高度。

式 (1.3) 称为理想液体（无黏性和不可压缩的液体）的伯努利方程，其物理意义是：在密闭管道内做稳定流动的理想液体具有三种形式的能量（压力能、位能、动能），在沿管道流动过程中三种能量之间可以互相转化，但在任一截面处，三种能量的总和为一常数。

实际液体在管道中流动时，由于液体具有黏性，会产生内摩擦力，而且随着管道形状



和尺寸的变化，会产生扰动，造成能量损失，因此实际液体在流动时的伯努利方程中需加入能量损耗。

实例 1-1 试用连续性方程和伯努利方程分析如图 1-4 所示的变截面水平管道各截面上的液体流速和压力。

解 由连续性方程 $v_1A_1=v_2A_2=v_3A_3=$ 常量

因为 $A_1>A_2>A_3$ ，所以 $v_1<v_2<v_3$

再根据伯努利方程

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 = \frac{p_3}{\rho g} + \frac{v_3^2}{2g} + z_3 = \text{常量}$$

由于管道水平放置，故 $z_1=z_2=z_3$ ，上式可改写为

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} = \frac{p_3}{\rho g} + \frac{v_3^2}{2g}$$

因为 $v_1<v_2<v_3$ ，所以 $p_1>p_2>p_3$ 。

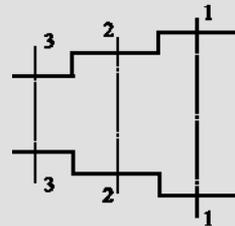
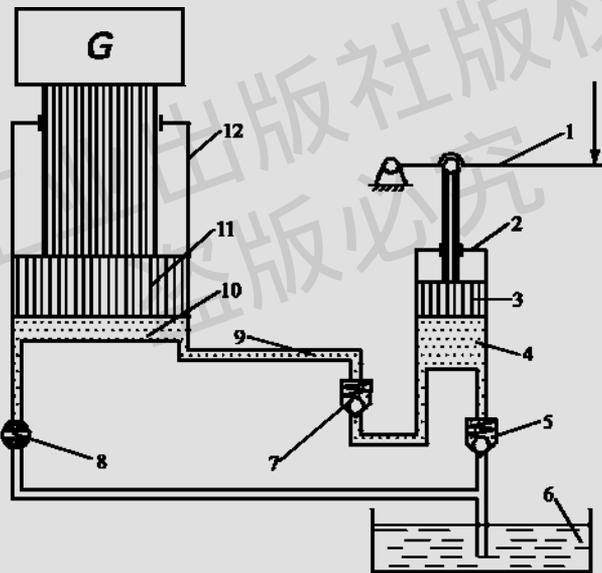


图 1-4 变截面管道示意图

实例 1-2 分析如图 1-5 所示液压千斤顶的工作原理。



1—杠杆；2—泵体；3、11—活塞；4、10—油腔；5、7—单向阀；6—油箱；8—放油阀；9—油管；12—缸体

图 1-5 液压千斤顶的原理图

分析 液压千斤顶的结构中有两个液压缸，用手向上扳动手柄，小液压缸中的小活塞 3 向上移动，油从油箱 6 经过油管、单向阀 5（只准油液从下往上单方向流动的阀门）进入小液压缸下腔 4，产生抽吸作用；当压下手柄，小活塞 3 下移时，将吸入小液压缸下腔 4 的油经油管 9、单向阀 7 压入大液压缸下腔 10，迫使大活塞 11 向上移动，从而顶起重物。这样不断地上下扳动手柄就能将油间歇地压入大液压缸下腔 10，使重物缓慢上升，而且由于油液的不可压缩性，可以保持重物的上升位置。工作完毕，拧开放油阀 8，大液压缸下腔 10 的油就可经管道流回油箱，大活塞 11 下移，千斤顶就可取出来了。



1.3.4 液压传动教学软件

FluidSIM 是一款由德国 FESTO 公司开发的专门用于液压与气压传动的教学软件，运行于 Microsoft Windows 操作系统，其中 FluidSIM-H 用于液压传动教学。该软件的绘图功能模块中含有 100 多种标准液压、电气元件，利用该模块实现液压、电气回路的设计及绘制。

如图 1-6 所示为软件界面，在新建文件后，首先用鼠标从左侧元件库中拖动所需的元件至右侧绘图区域中的期望位置进行元件的布置。完成元件布置后，在两个选定的油口之间可绘制油管，从而完成液压回路的搭建。用同样方法可搭建电气回路。

当回路搭建完成后，利用系统模拟仿真功能模块可对组成液压回路的元件参数进行调节设置，从而对设计的系统进行准确的动作和工作参数的模拟及测试。

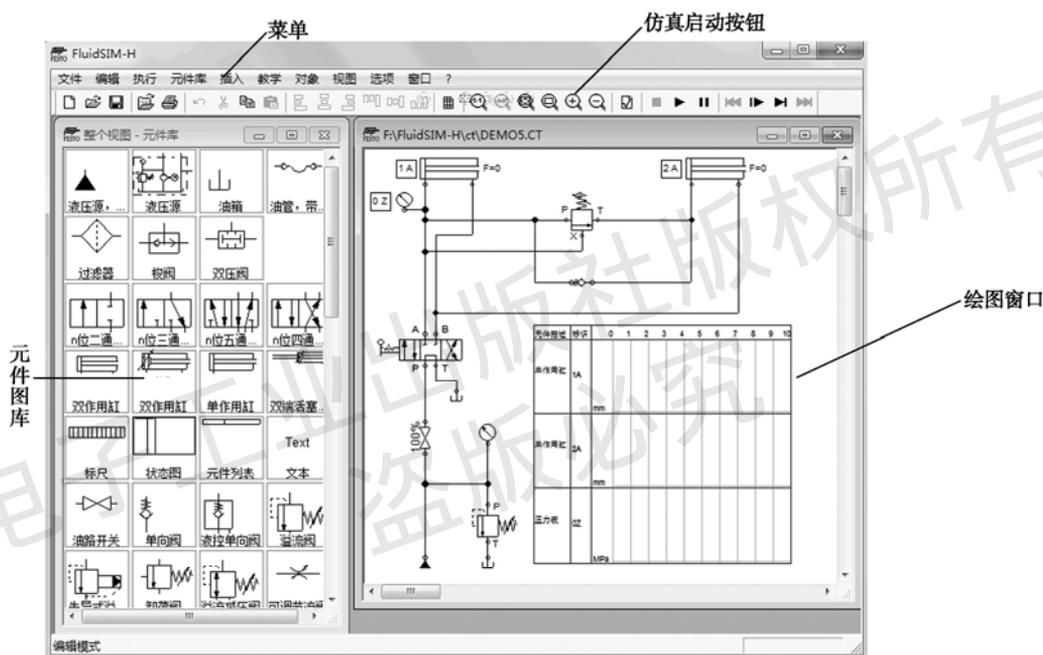


图 1-6 液压传动教学软件 FluidSIM-H 界面

1.4 实训操作

任务 1-1 观察和了解液压回路的工作过程

1. 任务说明

通过液压教学软件的使用，观察和了解教学软件中液压回路的工作过程。

2. 操作步骤

- (1) 打开计算机，运行液压教学软件 FluidSIM-H;
- (2) 单击工具栏上的“新建”按钮;
- (3) 如图 1-7 所示，用鼠标从元件库中选择所需元件，并拖动至右侧绘图区域中，



在元件选定的油口之间绘制油管，完成液压回路的搭建；

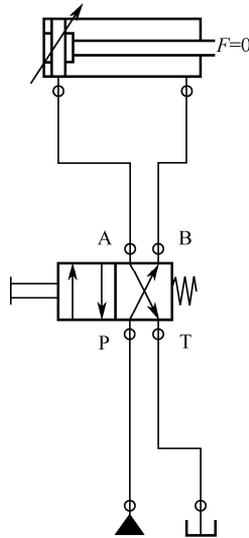


图 1-7 任务 1-1 的液压回路图

- (4) 点选回路中的液压元件，通过鼠标右键菜单观看元件描述、元件图片和元件插图；
- (5) 仿真运行液压回路，观察回路的工作过程；
- (6) 完成实训报告（见附录）。

3. 分析讨论

通过观察教学软件中液压回路的工作过程，分析讨论系统组成及各部分的作用。

任务 1-2 液压回路的压力分析

1. 任务说明

在液压教学软件中搭建液压回路，设置液压缸和液压源的相应参数，根据伸出时压力表的读数，分析回路中压力的变化。

2. 操作步骤

(1) 搭建回路

如图 1-8 所示，运行液压教学软件，在软件的绘图区域中搭建液压回路，点选每一个液压元件，通过鼠标右键菜单观看元件描述、元件图片和元件插图。

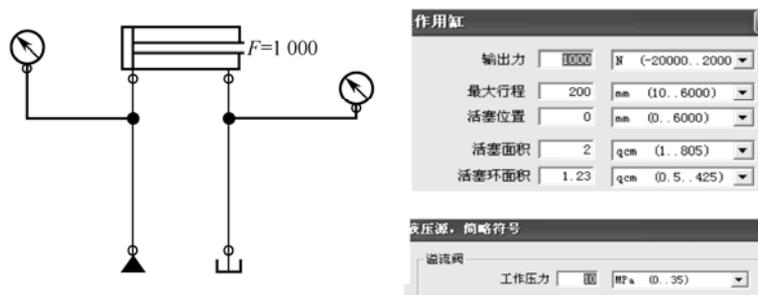


图 1-8 液压回路及参数设置示意图



液压应用技术项目化教程

(2) 设置参数

點選液壓源，在鼠標右鍵菜單上单击屬性，在液壓源的屬性窗口中設置工作壓力為 10 MPa。

(3) 仿真運行

對回路進行仿真運行，觀察並記錄液壓缸在伸出時和伸出到位後壓力表的讀數（見表 1-3）。

表 1-3 壓力表讀數記錄

元 件 參 數		設定值/壓力表讀數		
液壓源工作壓力 (MPa)		10	10	15
液壓缸活塞面積 (qcm)		2	2	3
輸出力 (N)		0	1 000	2 000
伸出	進油路壓力 (MPa)			
	回油路壓力 (MPa)			
到位	進油路壓力 (MPa)			
	回油路壓力 (MPa)			

(4) 修改參數並仿真運行回路

在液壓缸的屬性窗口中設置輸出力為 1 000 N，仿真運行回路後記錄液壓缸伸出時和伸出到位後壓力表的讀數。

(5) 再次修改參數並仿真運行回路

改變相應參數（液壓缸輸出力為 2 000 N，活塞面積為 3 qcm，液壓源工作壓力為 15 MPa），仿真運行回路後記錄液壓缸伸出時和伸出到位後壓力表的讀數。

3. 分析討論

根據液壓缸伸出且輸出力為 0 時的進油路壓力計算液壓缸伸出時摩擦力的大小，分析後面兩種情況下壓力讀數的變化。

4. 總結

液壓系統中的壓力是由於油液的前面受負載阻力的阻擋，後面受液壓泵輸出油液的不斷推動而處於一種“前阻後推”的狀態下產生的，工作壓力取決於負載，而與流入液體的多少無關。

1.5 拓展知識

1.5.1 層流和紊流

液體在管道中流動時存在兩種不同狀態，它們的阻力性質也不相同，如圖 1-9 所示。層流是指液體質點互不干涉，流動呈線性或層狀，平行於管道軸線，沒有橫向運動；紊流是指液體質點的運動雜亂無章，除沿管道軸線運動外，還有劇烈的橫向運動。

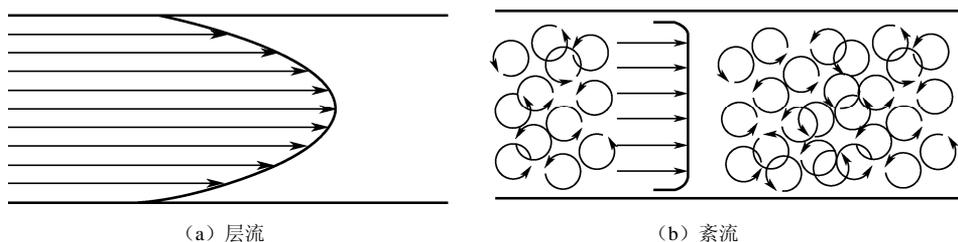


图 1-9 液体流动状态示意图

液体的流动状态通过雷诺数 R_e 来判断, 即

$$R_e = \frac{vd}{\gamma} \quad (1.4)$$

式中, v 为液体流动速度; d 为管道直径; γ 为液体的运动黏度。

液体流动时由层流转化为紊流时的雷诺数 R_e 叫临界雷诺数 R_{e0} 。当雷诺数 R_e 小于临界雷诺数 R_{e0} 时为层流, 而当雷诺数 R_e 大于临界雷诺数 R_{e0} 时为紊流。

1.5.2 压力损失

液压系统中的压力损失分为两类, 一类是油液沿等直径直管流动时所产生的压力损失, 称之为沿程压力损失。这类压力损失是由液体流动时的内、外摩擦力所引起的。另一类是油液流经局部障碍(如弯头、接头、管道截面突然扩大或收缩)时, 由于液流的方向和速度的突然变化, 在局部形成旋涡引起油液质点间, 以及质点与固体壁面间相互碰撞和剧烈摩擦而产生的压力损失, 称之为局部压力损失。

压力损失过大会引起液压系统中功率损耗的增加, 这将导致油液发热、泄漏量增加、效率下降和液压系统性能变坏。

管路系统的总压力损失等于所有沿程压力损失和所有局部压力损失之和。

1.5.3 液压冲击

在液压系统中, 由于某种原因(当极快地换向或关闭液压回路时)而引起油液的压力在瞬间急剧升高, 形成较大的压力峰值, 这种现象称为液压冲击。

系统中出现液压冲击时, 液体瞬时压力峰值可以比正常工作压力大好几倍。液压冲击会损坏密封装置、管道或液压元件, 还会引起设备振动, 产生很大噪声。有时, 液压冲击还会使某些液压元件如压力继电器、顺序阀等产生误动作, 影响系统正常工作。

减小液压冲击的主要措施有以下几点。

- (1) 延长阀门关闭和运动部件制动换向的时间。
- (2) 限制管道流速及运动部件速度。
- (3) 适当加大管道直径, 尽量缩短管路长度。
- (4) 采用软管, 以增加系统的弹性。
- (5) 在系统中装置安全阀, 可起卸载作用。



1.5.4 空穴现象

在液压系统中，如果某处的压力低于空气分离压时，原先溶解在液体中的空气就会分离出来，导致液体中出现大量气泡的现象，称为空穴现象。如果液体中的压力进一步降低到饱和蒸汽压时，液体将迅速气化，产生大量蒸汽泡，这时的空穴现象将会更加严重。

当液压系统中出现空穴现象时，大量的气泡破坏了液流的连续性，造成流量和压力脉动。气泡随液流进入高压区时又急剧破灭，以致引起局部液压冲击，发出噪声并引起振动。当附着在金属表面上的气泡破灭时，它所产生的局部高温和高压会使金属剥蚀，这种由气穴造成的腐蚀作用称为气蚀。气蚀会使液压元件的工作性能变坏，并使其寿命大大缩短。

空穴多发生在阀口和液压泵的进口处。由于阀口的通道狭窄，液流的流速增大，压力则大幅下降，以致产生空穴。当泵的安装高度过大，吸油管直径太小，吸油阻力太大，或泵的转速过高，造成进口处真空度过大时，也会产生空穴。

为减小空穴和气蚀的危害，通常采取下列措施。

- (1) 减小小孔或缝隙前、后的压力降。
- (2) 降低泵的吸油高度，适当加大吸油管内径，限制吸油管内液体的流速，尽量减小吸油管路中的压力损失（如及时清洗滤油器或更换滤芯等）。对于自吸能力差的泵，需用辅助泵供油。
- (3) 管路要有良好的密封，防止空气进入。

1.6 拓展任务——液压千斤顶的操作

1. 任务说明

如图 1-10 所示为车用立式液压千斤顶实物图，学生通过分组练习来操作液压千斤顶，掌握液压千斤顶的使用方法和结构原理。

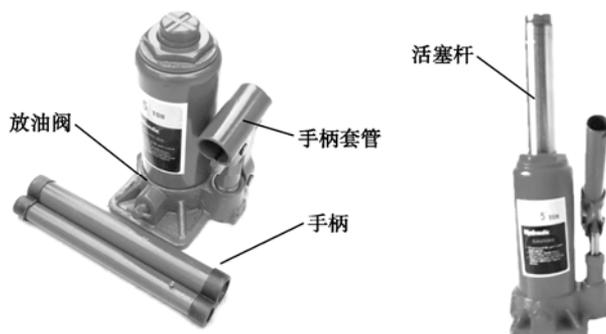


图 1-10 车用立式液压千斤顶实物图

2. 操作步骤

操作步骤如下。

- (1) 用手柄的开槽端，顺时针方向旋紧放油阀；



(2) 使用前估计起重物体的质量，切忌超载使用，选择着力点，正确放置于起升部位下方；
 (3) 将千斤顶手柄插入手柄套管中，上下摇动手柄使活塞杆平稳上升，起升重物至理想高度；

(4) 卸下手柄，缓慢地逆时针方向转动手柄，放松放油阀。如有载荷时，手柄转动不能太快，且放油阀松开一圈为宜。

3. 注意事项

注意事项如下。

- (1) 操作时，基础应稳固牢靠；
- (2) 载荷应与千斤顶轴线一致；
- (3) 液压千斤顶不能倒置使用。

4. 分析讨论

通过实际观察和操作液压千斤顶分析讨论千斤顶的结构原理。

思考与练习题

1. 液压油有哪些主要类型？液压油的牌号与黏度有什么关系？如何选用液压油？
2. 液体的压力是如何形成的？常用的压力单位是什么？
3. 什么叫大气压力、相对压力、绝对压力和真空度？它们之间有什么关系？液压系统中压力表的读数指的是什么压力？
4. 写出连续性方程和理想液体的伯努利方程，并说明伯努利方程的物理意义。
5. 如图 1-11 所示液压千斤顶大活塞直径为 100 mm，小活塞直径为 25 mm，杠杆尺寸 $a=20$ mm， $b=100$ mm，如果要顶起质量 $m=1\ 000$ kg 的重物，需要多大的力？

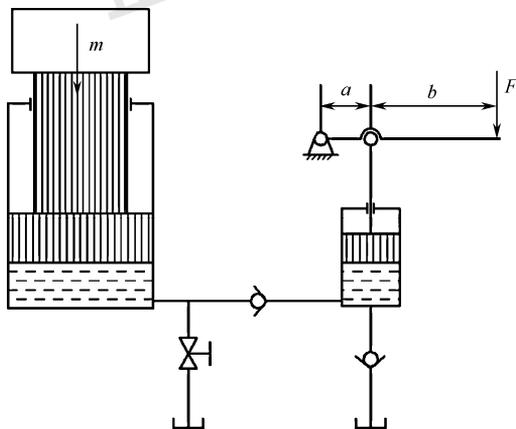


图 1-11 题 5 图

6. 说明液体流动状态和压力损失的分类。
7. 什么是液压冲击？液压冲击的危害有哪些？
8. 什么是空穴现象？空穴现象的危害有哪些？