

第一部分 液压传动

项目一 液压传动系统的认知

项目描述

液压千斤顶,又称油压千斤顶,是一种采用柱塞或液压缸作为刚性顶举件的千斤顶。液压千斤顶是简单起重设备的一种,一般只备有起升机构,用以起升重物,其构造简单、质量轻、便于携带、移动方便。

教学目标

1. 能力目标

学生通过理论知识的探索学习,培养发现问题、解决问题的能力。

2. 知识目标

- (1) 掌握液压传动的工作原理、系统组成及各部分作用。
- (2) 掌握液压系统压力和流量的定义、公式及单位。

3. 素质目标

培养学生善于发现周围的一些液压系统,并探究其是应用什么原理实现的。

项目分析

观察与思考：图 1-1 中液压千斤顶是如何将重物举起的？它的动力是怎样产生的？操作人员又是用什么样的装置将重物举起的？



图 1-1 液压千斤顶实物图

问题探究

任务一 液压系统的原理及组成

通过了解液压千斤顶的工作过程，思考：它内部的结构是什么样的呢？是利用什么原理进行工作的呢？主要用到了哪些元件？这些元件又起到了什么作用？

一、液压千斤顶的工作原理

图 1-2 是液压千斤顶的工作原理图。大油缸 3 和大活塞 4 组成举升液压缸。杠杆手柄 6、小油缸 8、小活塞 7、单向阀 5 和 9 组成手动液压泵。如提起手柄使小活塞向上移动，小活塞下端油腔容积增大，形成局部真空，这时单向阀 9 打开，通过吸油管 1 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，单向阀 9 关闭，单向阀 5 打开，下腔的油液经管道输入举升油缸 3 的下腔，迫使大活塞 4 向上移动，顶起重物。再次提起手柄吸油时，单向阀 5 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缸下腔，使重物逐渐地升起。如果打开截止阀 2，举升缸下腔的油液通过管道、截止阀 2 流回油箱，重物就向下移动。这就是液压千斤顶的工作原理。

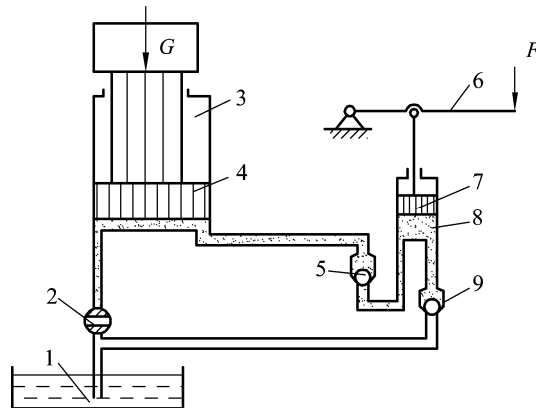


图 1-2 液压千斤顶工作原理

1—油箱；2—放油阀；3—大缸体；4—大活塞；5，9—单向阀；
6—杠杆手柄；7—小活塞；8—小缸体

液压传动的工作原理总结如下：以液体作为工作介质，利用密封容积的变化传递动力，利用液体的压力传递动力。

二、液压传动系统的组成及各部分的作用

液压系统主要由动力元件（油泵）、执行元件（油缸、液压马达）、控制元件（各种阀）、辅助元件和工作介质五部分组成。

1. 动力元件（油泵）

它的作用是利用液体把原动机的机械能转换成液压力能；是液压传动中的动力部分。

2. 执行元件（油缸、液压马达）

它是将液体的液压能转换成机械能。其中，油缸做直线运动，马达做旋转运动。

3. 控制元件

控制元件包括压力阀、流量阀和方向阀等。它们的作用是对液压系统中工作液体的压力、流量和流向进行调节控制。

4. 辅助元件

辅助元件是除上述三部分以外的其他元件，包括压力表、滤油器、蓄能装置、油管、管接头、油箱等，起测量、过滤、蓄能、连接、储油等作用。

5. 工作介质

工作介质是指各类液压传动中的液压油或乳化液。

任务二 液压系统的压力、流量

想一想：从图 1-3 中你能想到什么？



图 1-3 引导图

一、液压系统的压力

1. 压力的概念、公式及单位

油液的压力是由油液的自重和油液受到外力作用所产生的。在液压传动中，与油液受到外力相比，油液的自重一般很小，可忽略不计。以后所说的油液压力主要是指因油液表面受外力作用所产生的压力，即相对压力或表压力。

如图 1-4 (a) 所示，液压缸左腔充满油液，当活塞受到向左的外力 F 作用时，液压缸左腔内的油液（被视为不可压缩）受活塞的作用，处于被挤压状态，同时，油液对活塞有一个反作用力 F_p 而使活塞处于平衡状态。不考虑活塞的自重，则活塞平衡时的受力情形如图 1-4 (b) 所示。作用于活塞的力有两个：一个是外力 F ，另一个是油液作用于活塞的力 F_p ，两个力相等，方向相反。如果活塞的有效作用面积为 A ，则活塞作用在油液单位面积上的压力为 F/A 。即油液单位面积上承受的作用力，称之为压强，在工程上习惯称为压力，用符号 p 表示，公式如下：

$$p = \frac{F}{A}$$

式中 p ——油液的压力 (Pa)；

F ——作用在油液表面的外力 (N)；

A ——油液表面的承压面积，即活塞的有效作用面积 (m^2)。

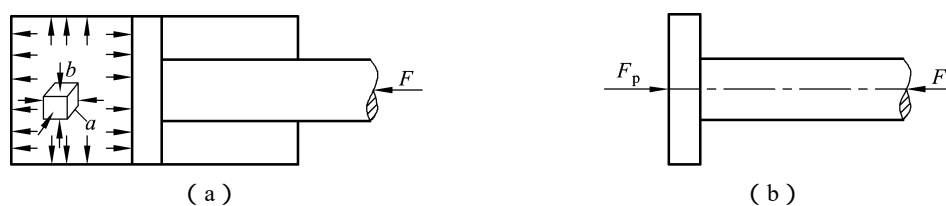


图 1-4 油液压力的形成

压力的国际计量单位符号是 Pa (帕, N/m^2), 它还有非国际计量单位, 如工程大气压为 at (kgf/cm^2)、液柱高 (mmHg、 mH_2O) 等。各种压力单位之间的换算关系如下:

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N}/\text{m}^2$$

$$1 \text{ at} = 1 \text{ kgf}/\text{cm}^2 = 9.8 \times 10^4 \text{ N}/\text{m}^2$$

$$1 \text{ mH}_2\text{O} = 9.8 \times 10^3 \text{ N}/\text{m}^2$$

$$1 \text{ mmHg} = 1.33 \times 10^2 \text{ N}/\text{m}^2$$

📖 小知识点

液压系统中压力单位常为 MPa (兆帕), $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$ 。

2. 压力和负载的关系

如图 1-5 (a) 假定 $F = 0$, 由液压泵输入液压缸左腔的油液不受任何阻挡就能推动活塞向右运动, 此时, 油液的压力为零 ($p = 0$)。如图 1-5 (b) 活塞受到外界负载 F , 液压泵输出而进入到液压缸左腔的油液受到挤压, 油液的压力从零开始由小到大迅速升高, 作用在活塞有效面积 A 上的液压作用力也迅速增大, 当液压作用力足以克服外界负载 F 时, 液压泵输出的油液迫使液压缸左腔的密封容积增大, 从而推动活塞向右运动。一般情况下, 活塞做匀速运动时, 作用在活塞上的力相互平衡, 即液压作用力等于负载阻力, 因此, 可知油液的压力 $p = F/A$ 。如图 1-5 (c) 若活塞在运动过程中负载 F 保持不变, 则油液不会再受更大的挤压, 压力就不会继续上升。也就是说, 液压传动系统中油液的压力取决于负载的大小, 并随负载大小的变化而变化。

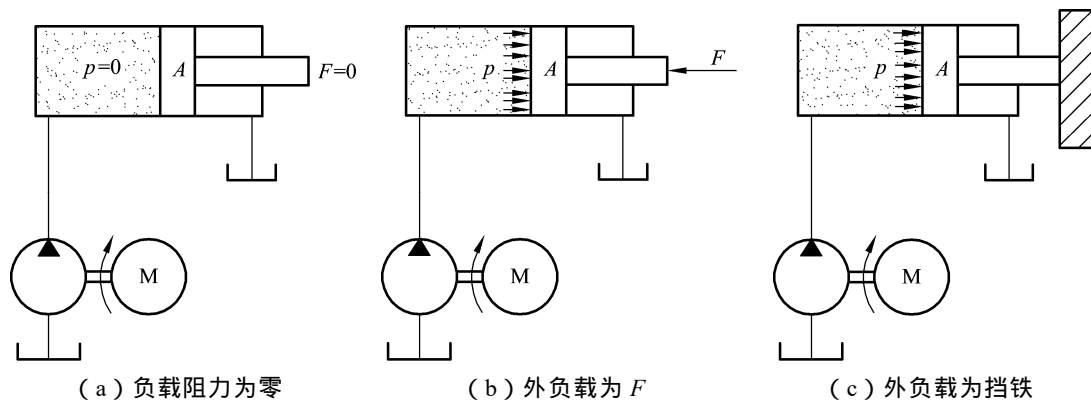


图 1-5 液压传动系统中压力的形成

二、液压系统的流量

再想一想：从图 1-6 中又能想起哪两个字？



图 1-6 引导图

1. 流量的定义、公式及单位

单位时间内流过管路或液压缸某一通流截面的油液体积称为流量，用符号 q 表示。若

在时间 t 内流过管路或液压缸某一通流截面的油液体积为 V ，则油液的流量 $q = V/t$ 。

流量的单位符号为 m^3/s ，常见单位符号为 L/min ，换算关系为

$$1 \text{ m}^3/\text{s} = 6 \times 10^4 \text{ L}/\text{min}$$

2. 流量与流速的关系

流速：由于液体具有黏性，液体在管中流动时，在同一截面上各点的流速是不相同的，分布规律为抛物线，为了方便计算，引入一个平均流速的概念。即假设通流截面上各点的流速为平均流速，用 v 来表示，则通过通流截面的流量就等于平均流速乘以通流截面面积。即平均流速为

$$v = q / A$$

3. 液流连续性原理

理想液体在无分支管路中做稳定流动时，通过每一个截面的流量相等，这称为液流连续性原理，如图 1-7 所示。油液的可压缩性小，通常可视作理想液体，其表达式为

$$q = v_1 A_1 = v_2 A_2 = v_3 A_3 = \dots = v_n A_n = \text{常数}$$

做一做：图 1-8 为液压千斤顶工作过程的简图，假设作用在小活塞上的力 $F_1 = 5.78 \times 10^3 \text{ N}$ ，已知小活塞面积 $A_1 = 1 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ ，大活塞面积 $A_2 = 5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ ，问此千斤顶能举起多重的重物？若小活塞工作时的运动速度是 0.2 m/s ，大活塞的运动速度是多少？

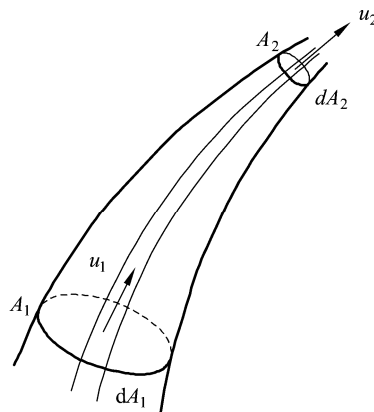


图 1-7 液体的流量连续性示意图

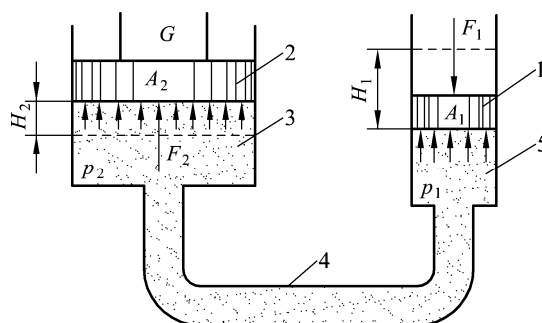


图 1-8 液压千斤顶的工作过程简图

1—小活塞；2—大活塞；3—液压缸油腔；4—管路；5—柱塞泵油腔

📖 小知识点

静压传递原理为，密闭容器内静止油液中任意一点的压力如有变化，其压力的变化值将传递给油液的各点，且其值不变，这就是静压传递原理，即帕斯卡原理。

小活塞下方油液的压力为

$$p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{5.78 \times 10^3 \text{ N}}{1 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 5.78 \times 10^7 \text{ N/m}^2$$

根据帕斯卡原理，千斤顶能提起的重物为

$$G = pA_2 = 5.78 \times 10^7 \text{ N/m}^2 \times 5 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 28\,900 \text{ N}$$

小活塞下方的油液的流量为

$$q = v_1 \times A_1 = 0.2 \text{ m/s} \times 1 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 0.2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

根据液流连续性原理，大活塞的运动速度为

$$v_2 = \frac{q}{A_2} = \frac{0.2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{5 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 0.04 \text{ m/s}$$

由上式可知作用在小活塞上的力 $F_1 = 5.78 \times 10^3 \text{ N}$ ，而在大活塞一侧能抬起的重物 $G = 28\,900 \text{ N}$ ，即液压千斤顶可以用较小的力抬起很重的重物。小活塞的运动速度是 0.2 m/s ，而大活塞的运动速度是 0.04 m/s ，即重物的上升速度是 0.04 m/s 。小活塞截面积 A_1 小而运动速度快，大活塞截面积 A_2 大而运动速度慢，这说明液压缸或管路截面积与运动速度成反比。

实践操作

1. 认识元件

认识液压实训台上面元件的名称（见图 1-9），并指出它是属于系统中的哪个部分，各起什么作用。



图 1-9 液压实训台

2. 熟知本实验室使用注意事项

(1) 进入实验室前，要穿戴好工作服及绝缘鞋，女学员要戴好工作帽，否则不允许参加实践培训。学员要严格遵守实训室安全操作及使用管理制度。

(2) 操作注意事项。

工作前先检查液压系统压力是否符合要求，再检查各控制阀、按钮、开关、阀门、限位装置等是否灵活可靠，确认无误后方可开始工作。

开机前应先检查各紧固件是否牢靠，各运转部分及滑动面有无障碍物，限位装置及各个插头是否连接完好等。

油缸活塞发现抖动或油泵发生尖锐声响，或工作中出现异常现象应立即按下急停按钮，停机检查、排除故障后方可再工作。

工作完毕后应先关闭工作油泵，再关闭控制系统，切断电源，擦净设备并做好实验记录。

严禁乱调调节阀及压力表，应定期校正压力表。

保证液压油液不污染，不泄漏，工作油温度不得超过 $45\text{ }^\circ\text{C}$ 。

(3) 严禁把实验室内的仪器、仪表、配件、模块等带出实验室。必须按有关规定，