



ZHUANGXIE JIXIE YEYA CHUANDONG

装卸机械液压传动

人 民 铁 道 出 版 社

内 容 提 要

本书结合装卸机械叙述液压传动的基本知识。内容分八章。第一章介绍液压传动的水力学原理；第二章至第六章介绍油泵、油马达、油缸、阀及辅助装置等液压元件的性能；第七章介绍液压系统；第八章介绍液力联轴器和液力变矩器。

本书可供从事装卸机械工作的工程技术人员参考。

装卸机械液压传动

西南交通大学《装卸机械液压传动》编写小组

人民铁道出版社出版

责任编辑 褚书铭

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张：9.25 字数：202 千

1979年8月第1版 1979年8月第1次印刷

印数：0001—28,000册 定价：0.96元

前 言

利用受压液体传递压力能，再通过执行机构将压力能转换为机械能而作功的传动方式称为液压传动。由于液压传动具有结构紧凑、操纵灵便、传动平稳、易于实现无级调速与自动化等一系列优点，因此在装卸机械上应用日益广泛，并已成为发展趋势。本书就是为了向初学者介绍液压传动的基本知识而编写的。

本书侧重于装卸机械液压传动的水力学原理。全书分三部分：第一章阐述液压传动的流体力学基本原理，第二章至第六章介绍液压元件，第七、八两章介绍液压传动系统及液力传动。

本书由金学易编写，陈留校阅，并承上海交通大学钟庭修同志审阅；在编写过程中，曾得到兄弟院校和工厂的帮助，并提供了一部分技术资料，在此一并表示谢意。由于我们水平不高，书中存在不少缺点，恳请读者批评指正。

西南交通大学《装卸机械液压传动》编写小组

1978年3月

目 录

第一章 液压传动的基本理论.....	1
第一节 液体静压力的传递规律.....	1
一、液压制动装置的工作原理.....	1
二、液体的静压力及其传递规律.....	2
三、液体压力传递规律的应用.....	7
第二节 液压传动系统的组成及其工作原理.....	10
一、叉车的液压传动系统.....	10
二、液压系统中元件的符号.....	14
第三节 液体流动的连续性原理与执行元件的无级调速.....	17
一、液体的流量.....	17
二、液体流动的连续性原理.....	18
三、液压执行元件的无级调速.....	22
第四节 液体流动的压力降落.....	23
一、油的粘度与液体内部摩擦阻力定律.....	23
二、油在直管中流动的压力降落.....	25
三、液压系统的局部压力降落.....	29
第五节 液体运动的能量方程及其在液压传动计算中的应用.....	31
一、液体运动的能量方程.....	31
二、能量方程在液压系统计算上的应用.....	34
第六节 液压系统的泄漏.....	40
第七节 液压系统的发热与油箱散热面积的计算.....	42
第八节 液体流动的动量方程与液压冲击.....	47

一、液体流动的动量方程	47
二、液压系统中的压力冲击	49
第二章 油泵的工作原理、构造与选用	54
第一节 齿轮油泵	55
一、齿轮油泵的工作原理	55
二、齿轮油泵的性能	56
三、齿轮油泵的优缺点与适用场合	62
第二节 叶片油泵	65
一、叶片油泵的工作原理	65
二、YB 型叶片油泵的构造	71
三、叶片油泵的优缺点与适用场合	73
第三节 径向柱塞油泵	74
一、径向柱塞油泵的工作原理	74
二、径向柱塞油泵的优缺点及适用场合	76
第四节 轴向柱塞油泵	77
一、斜盘式轴向柱塞油泵	77
二、斜轴式轴向柱塞油泵	89
三、轴向柱塞油泵的优缺点及适用场合	92
第三章 油马达的工作原理、构造与选用	94
第一节 高转速小扭矩油马达	97
一、齿轮油马达	97
二、叶片油马达	100
三、轴向柱塞油马达	103
四、高转速小扭矩油马达的优缺点与适用场合	107
第二节 内曲线多作用式径向柱塞油马达	107
一、内曲线油马达的工作原理及构造	108
二、内曲线油马达的性能	110
三、内曲线油马达的优缺点及适用场合	117

第三节 连杆单作用式径向柱塞油马达	118
第四节 静力平衡式径向柱塞油马达	120
第四章 油缸的构造与计算	126
第一节 油缸的结构型式及工作原理	126
一、单作用油缸	126
二、双作用油缸	131
三、组合油缸	135
四、摆动油缸	137
第二节 油缸的密封装置	138
一、O形密封圈	139
二、V形夹织物橡胶密封圈	141
三、Y形密封圈	141
第三节 油缸的设计计算	143
一、油缸内径的计算	144
二、油缸壁厚的计算	145
三、活塞杆直径的计算	147
四、油缸零件的连接计算	154
第四节 油缸的材料、技术条件和工艺	158
一、油缸的材料	158
二、油缸的技术条件和工艺	158
第五章 控制阀及其在液压系统中的应用	160
第一节 方向控制阀	160
一、单向阀	161
二、换向阀	165
三、转阀	186
第二节 压力控制阀	186
一、溢流阀及安全阀	187
二、减压阀	194

三、顺序阀	196
四、平衡阀	197
第三节 流量控制阀	199
一、节流阀	199
二、调速阀	203
三、分流集流阀	206
四、恒分流溢流阀	207
五、共泵分流阀	209
第四节 液压随动阀及液压助力器	210
一、阀控油缸式液压助力器	211
二、阀控油马达式液压助力器	212
第六章 液压传动系统的辅助元件	218
第一节 油管及接头	218
第二节 油箱	221
第三节 滤油器	222
第四节 散热器与蓄能器	224
一、散热器	224
二、蓄能器	224
第五节 压力表与油温表	226
一、压力表	226
二、油温表	227
第七章 液压传动系统的设计与计算	228
第一节 典型装卸机械液压传动系统	228
一、叉车的液压传动系统	228
二、装载机的液压传动系统	230
三、汽车起重机的液压传动系统	232
四、轮胎起重机的液压传动系统	236
第二节 液压系统的方案选择	239

第三节	液压系统简图的拟定	242
第四节	液压系统的计算	249
第五节	液压系统装配图的绘制	253
第八章	液力联轴器与液力变矩器	256
第一节	液力联轴器	258
一、	液力联轴器的工作原理	258
二、	液力联轴器的选用	260
第二节	液力变矩器的工作原理	264
一、	液力变矩器工作轮的转矩方程	264
二、	液力变矩器的变矩情况	270
三、	液力变矩器的效率和变矩系数	271
第三节	液力变矩器的结构类型	272
一、	单级单相液力变矩器	272
二、	单级三相液力变矩器	273
三、	双级涡轮液力机械变矩器	275
第四节	液力变矩器的选用	276
结束语		284

第一章 液压传动的基本理论

利用液体为工作介质来传递能量（或力）的传动方式称为液体传动。液体传动又分为液压传动和液力传动两种。前者是利用液体的压力能的变换，把发动机的功率传递到工作机构；而后者则主要是以液体动能的变换来传递功率。液体的流动规律是这两种传动方式的理论基础。

目前在装卸机械中已十分广泛地应用液压传动技术。关于液压传动的优缺点和它的适用条件，将在叙述液压传动的全部工作原理之后，再加以评论。本着从特殊到一般的认识规律，本章将结合某些装卸机械部件的工作原理来论述液压传动的基本理论。

第一节 液体静压力的传递规律

一、液压制动装置的工作原理

叉车的制动装置常采用液压制动，它是利用液体来传递压力的典型机构，其工作原理如图 1—1 所示。当司机踩下制动踏板 1 时，推杆 2 推动总泵 3（即主缸）中的活塞和皮碗压缩回位弹簧，皮碗关闭了总泵上的回油孔 7，总泵中的制动油在总泵活塞的作用下产生压力，推开出油阀经油管流入制动分泵（即轮缸）4，将分泵中的两个活塞和推杆向外推移。由于分泵推杆和制动蹄 5 互相衔接，所以制动蹄和摩擦片也向外扩张，使摩擦片紧压在制动鼓上产生摩擦力，阻止车轮旋转，起制动作用。同时缓解弹簧 6 处于被拉伸状态。

当司机放松制动踏板时，总泵活塞借助回位弹簧的弹力而回行，此时制动液压系统中的油压力降低，制动蹄在缓解

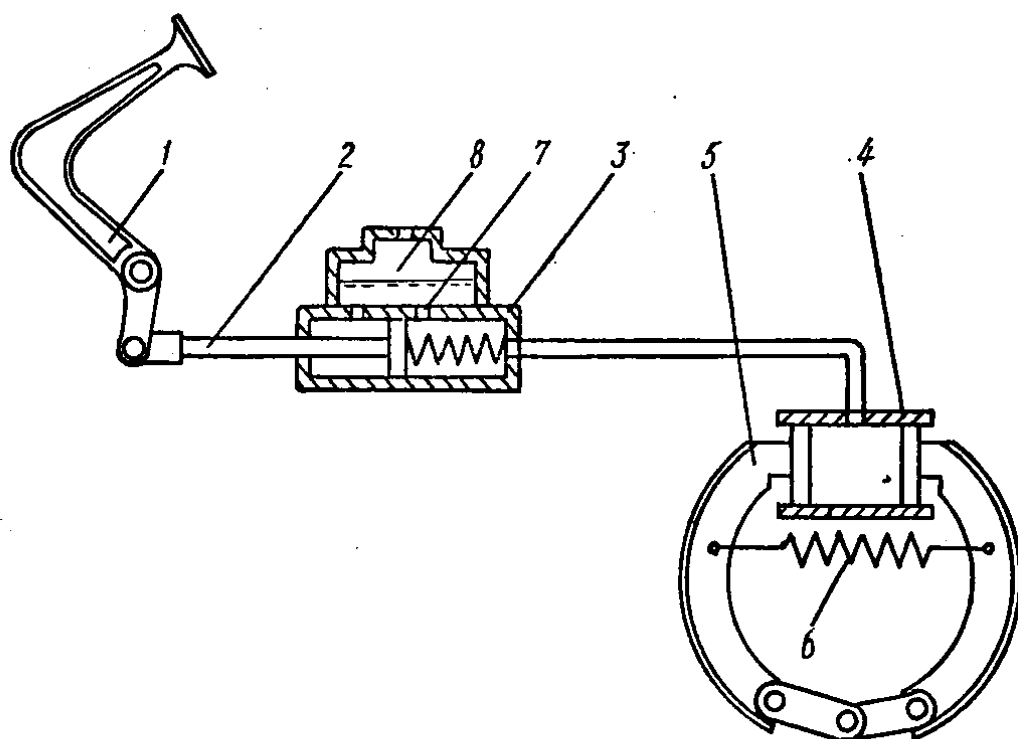


图 1—1 液压制动原理示意图

- 1 —— 踏板； 2 —— 推杆； 3 —— 总泵； 4 —— 分泵； 5 —— 制动蹄；
6 —— 缓解弹簧； 7 —— 回油孔； 8 —— 贮油室。

弹簧 6 的作用下，迫使分泵的活塞向内退回到原来位置并使制动油流回总泵，于是解除了制动作用。

从上面液压制动装置的工作原理中可以看出：摩擦片紧压在制动鼓上的力是从作用在分泵活塞上的制动油压力经推杆而传到摩擦片上。分泵中的油压则是从总泵传来。那么，总泵中的油压是如何产生又如何传递？下面我们就来讨论这个问题。

二、液体的静压力及其传递规律

液体作用在单位面积上的压力称为压强。在液压技术领域中，也常把液体压强简称为液体压力。

(一) 液体压力的方向

液体是物质的一种状态。在一般的技术领域中，物质可能处于固体状态、液体状态或气体状态。例如水是液态，但遇冷将成为冰（固态），加热将成为水蒸汽（气态）。物质在固体状态时具有一定的体积并保持一定的形状。气体则不能保持一定的体积和形状，它能完全充满在任何容器中，其体积和形状随容器而定。液体只能保持一定的体积，但不能保持固定的形状。它和气体都具有流动性，所以其形状随容器而定。固体、液体、气体三者间存在这些区别是由于它们的分子力和分子热运动的动能大小不同的缘故。

液体的分子力比固体的分子力小，所以静止的液体不能抵抗剪应力，即切应力。我们可以举一例子证明这点。一桶油在静止时，油面是水平的。假使将油桶倾斜（图 1—2），则倾斜的油面上的质点的重力 mg 将沿斜面产生一切向分力 $mg\sin\theta$ 。而静止的油液不能承受切向力，于是油液立即发生流动，直至油面恢复水平，切向力消失为止。

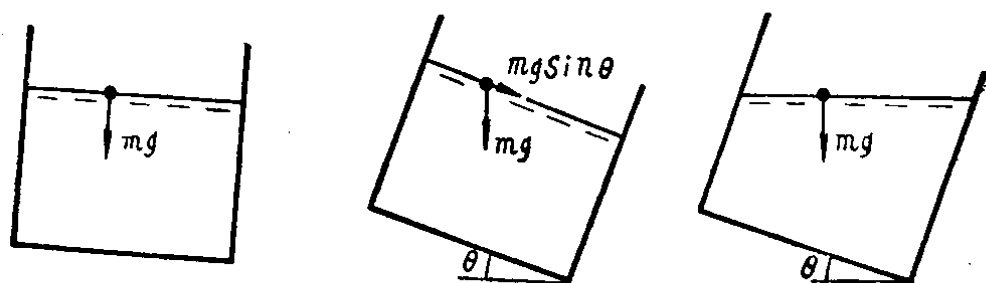


图 1—2 静止液体不能承受切向力示意图

既然静止液体中不能承受剪应力（切应力），所以液体对容器壁的作用力或液体内部各质点间的作用力只能存在压应力，其方向垂直于受压面。

(二) 液体压力的大小

有一盛着油的油箱（图 1—3 a），现计算在油面下深度为 h 的 A 点处的油压力。为此，我们可取出 A 点上面的油的柱体作为“分离体”来进行力的平衡分析（图 1—3 b）。

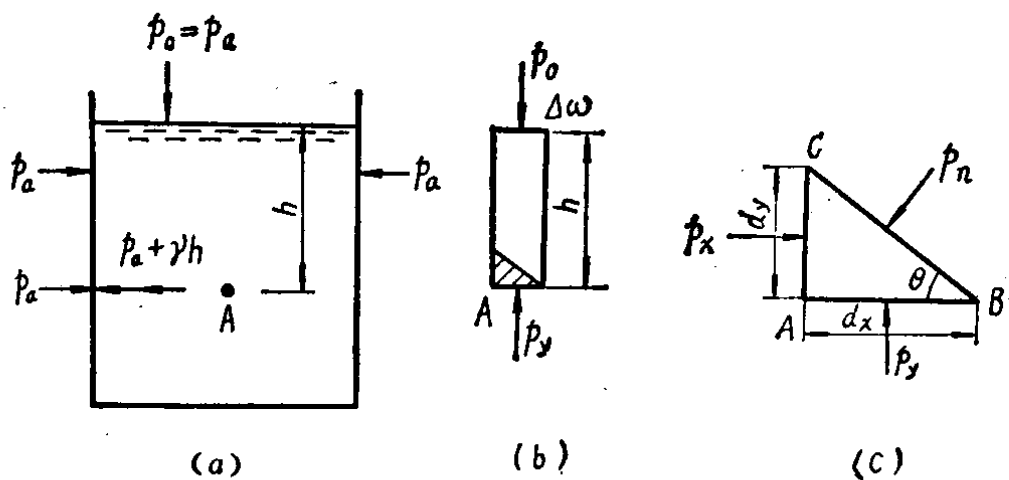


图 1—3 液体静压力计算简图

设油柱体的高度为 h ，油柱的顶面积和底面积均为 $\Delta\omega$ ，油的单位体积重量（或称重度）为 γ 。于是油柱的重量为 $\gamma h \Delta\omega$ 。作用在油柱顶面单位面积上的力为油面压力 p_0 ，作用在油柱底面单位面积上的力为油压力 p_y ，油柱侧面的压力垂直于 y 轴方向。现写出在 y 轴方向油柱受力的平衡方程：

$$p_y \Delta\omega - \gamma h \Delta\omega - p_0 \Delta\omega = 0$$

$$\text{消去 } \Delta\omega \text{ 得} \quad p_y = p_0 + \gamma h \quad (a)$$

然后，我们再来分析在 A 点处其他方向的油压力与 y 轴方向油压力 p_y 的关系。为此，可取出包括 A 点的微小油液三棱体（即图 1—3 b 中绘阴影线部分放大为图 1—3 c）来分析力的平衡条件。三棱体各边的长度： $AB = dx$ ， $AC =$

$$dy, \quad BC = \frac{dx}{\cos\theta} = \frac{dy}{\sin\theta} \quad \text{垂直于纸面方向的长度为 } dz。$$

写出 y 轴方向的力平衡方程：

$$p_y \cdot dx dz - \gamma \frac{1}{2} dx dy dz - p_n \left(\frac{dx}{\cos \theta} \right) dz \cdot \cos \theta = 0$$

或
$$p_y - \frac{1}{2} \gamma dy - p_n = 0$$

当 $dy \rightarrow 0$ 时, 得 $p_y = p_n$

再写出 x 轴方向的力平衡方程:

$$p_x dy dz - p_n \left(\frac{dy}{\sin \theta} \right) dz \cdot \sin \theta = 0$$

得
$$p_x = p_n$$

于是
$$p_x = p_y = p_n = p \quad (b)$$

由于 θ 角度是任意选取的, 所以 (b) 式说明 A 点各方向的压力都相等。将 (b) 式代入 (a) 式, 我们得在油箱中 A 点的油压力为

$$p = p_0 + \gamma h \quad (1-1)$$

式中 p_0 为外界作用在油面上的压力。如油面与大气相接触, 则 p_0 等于大气压力 p_a , 即

$$p = p_a + \gamma h \quad (1-1a)$$

注意到大气压力 p_a 不但作用在油面上, 而且油箱外壁各处都作用有大气压力。所以大气压力 p_a 对油箱壁以至整个液压系统中的作用不显示出来, 计算时只须考虑 (1-1) 式中 γh 一项, 该项是由于油液的重量所引起的油压。即

$$p = \gamma h \quad (1-2)$$

【例 1-1】 某液压汽车起重机的油箱中, 油深 $h = 1$ 米, 油的重度 $\gamma = 900$ 公斤力/米³, 试计算油箱底面的油压力。

解 由式 (1-2) 得

$$p = \gamma h = 900 \times 1 = 900 \text{ 公斤力/米}^2$$

$$=0.09 \text{ 公斤力/厘米}^2 \text{ [注]}$$

现在再计算油缸中的油压力，设油缸中 A 点在油缸活塞下面的深度为 h 如图 1—4 示。当活塞上加荷载时，并忽略活塞的重量，则 A 点的油压力仅仅是大气压力 p_a 和由于油的重量所引起的压力 γh ，即 $p = p_a + \gamma h$ 。如在活塞上加一荷载 W ，而活塞的面积为 ω ，则作用在活塞底面由 W 所引起的油压力为

$$p_w = \frac{W}{\omega} \quad (1-3)$$

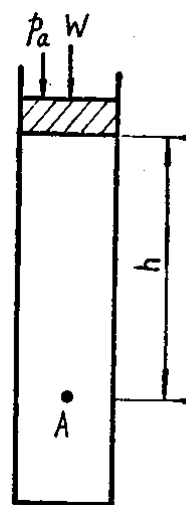


图 1—4 油缸压力计算简图

仿照式 (1—1) 的推导过程，可求得在这种情况下 A 点处的油压力为

$$p = p_a + \gamma h + p_w \quad (1-4)$$

(三) 液体的压力的传递

比较式 (1—1 a) 及式 (1—4)，可说明活塞荷载所引起的油压力 p_w 能等值地传递到油液内部各点。我们还可以从式 (1—1) 出发，对上述论点进行一般性的推导：

因
$$p = p_0 + \gamma h$$

如油面（或封闭油液的边界上）的压力为 p_0 ，由于外界的荷载而增加 Δp_0 ，则油液内部任一点的压力将由 p 增到 $p + \Delta p$ ，在油液仍保持平衡的情况下：

则有
$$p + \Delta p = p_0 + \Delta p_0 + \gamma h$$

但
$$p = p_0 + \gamma h$$

所以
$$\Delta p = \Delta p_0$$

〔注〕 本书仍沿用工程单位制。但目前我国已开始推广国际单位制。在国际单位制中，力的单位为牛顿，1 公斤力 = 9.81 牛顿。压力单位为帕斯卡（即牛顿/米²），1 公斤力/厘米² = 9.81 × 10⁴ 帕斯卡。液压传动中其他参数的单位换算关系参阅本书末附表。

这也说明了由于荷载产生的油液压力 p_0 能等值地传递到油液内部任一点上。这一关系在物理学上称为帕斯卡定律。水压机、油压千斤顶、油压制动装置都是根据这一原理制成的。

【例1—2】油缸活塞的直径 $d = 2.54$ 厘米，如在活塞上加荷载 $W = 200$ 公斤，试求所产生的油压力

$$\begin{aligned} \text{解 } p_w &= \frac{W}{\omega} = \frac{W}{\frac{1}{4}\pi d^2} = \frac{200}{\frac{1}{4} \times 3.14 \times (2.54)^2} \\ &= 39.5 \text{ 公斤力/厘米}^2 \end{aligned}$$

比较【例1—1】和【例1—2】的计算结果，可以看出在液压系统中由于荷载引起的油压力 p_w 比起由于油液重量产生的油压力 γh 要大几百倍甚至几千倍。因此在计算时常将 γh 一项略去不计。

三、液体压力传递规律的应用

液压制动装置、油压千斤顶以及水压机都可看成是两个连通的油缸。因此，如在小油缸1的活塞面积 ω_1 上加荷载 W_1 （图1—5），则小油缸中油液产生的压力为

$$p_1 = \frac{W_1}{\omega_1}$$

这个压力能等值地传递到大油缸2中，即作用在大油缸的活塞面积 ω_2 上的油压力 $p_2 = p_1$

$$\text{由于 } p_2 = \frac{W_2}{\omega_2}$$

$$\text{所以 } \frac{W_1}{\omega_1} = \frac{W_2}{\omega_2}$$

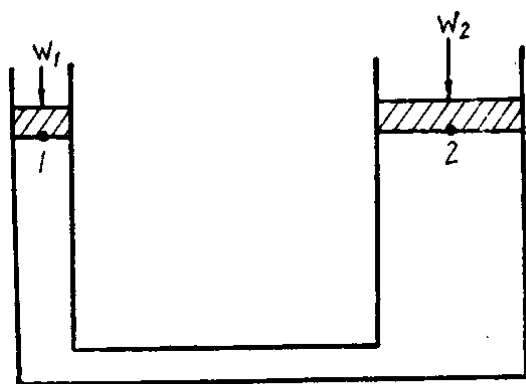


图1—5 液压制动装置原理图

或
$$W_2 = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right) W_1 \quad (1-5)$$

这说明当 $\left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)$ 比值很大时，在小活塞上加较小的力 W_1 ，能在大活塞上产生很大的力 W_2 。

【例1—3】 在SC-3型内燃叉车的液压制动装置中，总泵的直径 $d = 25.4$ 毫米，分泵的直径 $D = 32$ 毫米。现根据制动要求，分泵活塞推杆作用在制动蹄上的力 $W_2 = 322$ 公斤，踏板的传动比 $\frac{l_1}{l_2} = 5.5$ （见图1—6）试求司机脚踩在踏板上的力 F 。

解 由式（1—5）得

$$W_1 = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right) W_2 = \left(\frac{d}{D} \right)^2 W_2 = \left(\frac{25.4}{32} \right)^2 \times 322 = 203 \text{ 公斤力}$$

又 $F l_1 = W_1 l_2$

因此 $F = W_1 \left(\frac{l_2}{l_1} \right) = \frac{203}{5.5} = 37 \text{ 公斤力}$

油压千斤顶是另一种最简单的液压传动机构。其基本工作原理如图1—5示，在小油缸的活塞上加一很小的力，可以在大油缸的活塞上产生一很大的力将重物抬起，但要注意到大油缸对小油缸的直径比 $\left(\frac{D}{d} \right)$ 很大，因此为将大活塞抬高一小点，小活塞的行程就要很大。所以在构造上要将小油缸改为一个往复式的油泵，其工作原理如图1—7所示。

当用手向上扳动手柄1时，小活

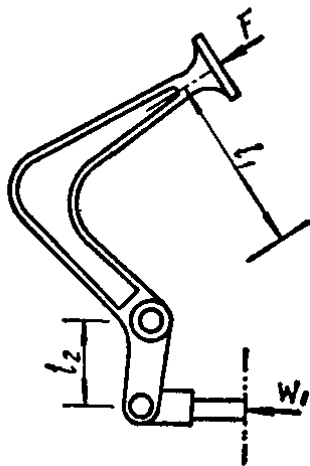


图1—6 制动踏板

塞2向上移动,油从贮油室4经油管5推开单向阀3吸入小油缸下腔;然后撤下手柄,小活塞下移,将吸入小油缸下腔的油经油管6及单向阀7压入大油缸的下腔,使大活塞将重物顶起。单向阀7的作用是防止当小活塞不加力时油从大油缸顶起。单向阀7的作用是防止当小活塞不加力时油从大油缸

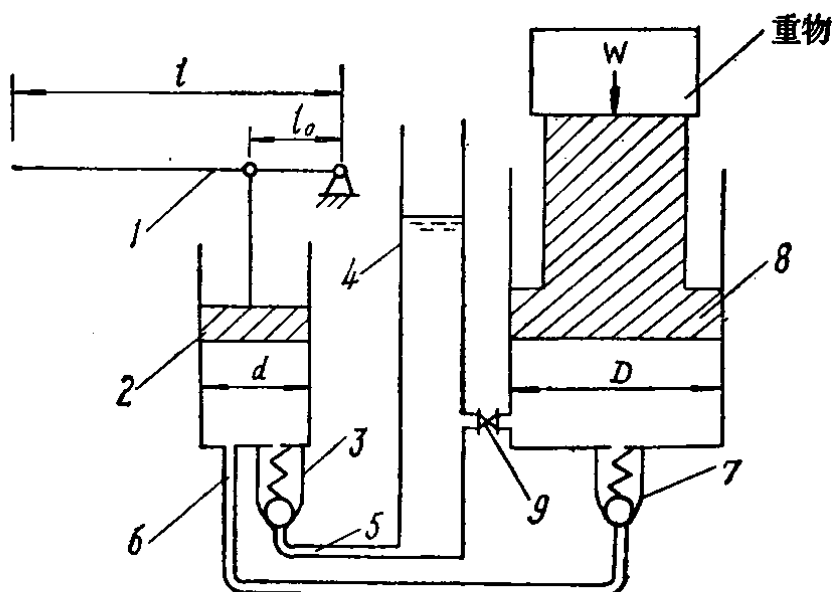


图1—7 油压千斤顶工作原理示意图

1——手柄; 2——小活塞; 3——单向阀; 4——贮油室; 5——油管; 6——油管; 7——单向阀; 8——大活塞; 9——放油阀。

缸倒流出来。单向阀3的作用,则是当小活塞加力下移时不让小油缸中的油倒流回贮油室。这样上下往复扳动手柄,就能使重物缓慢上升。当千斤顶不用时,为使大活塞下降,可拧开放油阀9,使大油缸中的油流回贮油室。

油压千斤顶是液压传动系统的雏形。它可说明液压传动系统应由下列几个部分组成才能正常地工作。

1. 动力元件: 油泵(油压千斤顶的小油缸相当于一个手动柱塞泵)将机械能转换为油的压力能。

2. 执行元件: 油缸(通进压力油使活塞形成直线运动)或油马达(通进压力油使其中转子形成旋转运动)将油的压力能转换为机械能对外做功。