

液 压 传 动



上海市业余工业大学

說 明

液压传动是一项较新的技术，由于它有不少独特的优点，因此发展比较迅速，尤其自无产阶级文化大革命开展以来，更是推动了液压技术的蓬勃发展，它广泛应用于各种机床、自动机械、工程机械和国防工业等各个方面，成为发展现代工业的一门比较重要的技术知识。

在毛主席无产阶级革命路线指引下，在批林批孔运动普及、深入、持久开展的大好形势下，我校广大工人学员和革命教师，认真学习无产阶级专政理论，坚持贯彻党的基本路线，坚持“教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。”的方针，批判修正主义教育路线，加强对资产阶级实行全面专政，有力地促进了教育革命的前进步伐。这本教材是在这样大好形势下组织编写的。

遵照毛主席“教材要彻底改革”“理论和实际统一”的教导，我们在原有试用教材经过初步实践的基础上重新修编，以适应于广大工人学员尽快掌握这项技术知识为社会主义建设服务。在这次编写过程中，我们注意了以下几点：

一、教材内容尽可能反映当前上海的生产实际，就地取材，便于工人学员深入现场学习。

二、贯彻“少而精”原则，在一定程度上打破了原有体系，对密切相关的内容（如典型回路和阀门）串融起来讲，使原十章内容缩并为八章。

三、在编写中注意走群众路线，发动尽可能多的工人师傅、技术人员和本校液压教师进行“三结合”编写。

本教材部分内容留作学员工作中参考。

编写过程中，得到上海机床厂、锻压机床二厂、上塑一厂、机电设计院等有关单位工人和技术人员的热情帮助，参加编写部分章节和审阅有关内容，我们表示衷心感谢。

由于思想水平和业务水平的限制，教材中缺点错误一定很多，希望同志们提出批评和修改意见。

目 录

说明

第一章 液压传动的初步知识

第一节 两个例子	1
一、 液压千斤顶	1
二、 简单液压刀架	3
第二节 几个基本概念	5
一、 压力	5
二、 流量	8
三、 功率	9
四、 效率	9
五、 液压冲击	11
第三节 液压油的选择	13
一、 油的粘度	13
二、 液压油的选择	14

第二章 油 缸

第一节 油缸的几种结构形式	17
一、 双作用油缸	17
(一) 双杆活塞油缸	17
(二) 单杆活塞油缸	19
(三) 齿条活塞式油缸	21
(四) 伸缩式套筒油缸	21
二、 单作用油缸	23
三、 摆动油缸	25
第二节 油缸的密封	26
一、 间隙密封	26
二、 “O”形密封圈	26
三、 “V”形密封圈	27
四、 “Y”形密封圈	27
第三节 油缸的缓冲和排气	30
一、 油缸的缓冲	30

二、油缸的排气	31
第四节 油缸主要尺寸的确定	32
第五节 油缸和活塞的材料和技术条件	37
一、油缸和活塞常用的材料	37
二、油缸和活塞的主要技术条件	37

第三章 油泵和油马达

第一节 叶片泵与叶片油马达	41
一、叶片泵	41
(一) 叶片泵的工作原理	41
(二) YB型双作用式叶片泵的结构	42
(三) 双作用式叶片泵的平均输油量计算	46
(四) YEP型限压式变量叶片泵	46
(五) 高压叶片泵的特点	49
二、叶片油马达	51
第二节 齿轮泵与齿轮油马达	53
一、齿轮泵	53
(一) 外啮合齿轮泵	53
(二) 内啮合齿轮泵	58
(三) 高压外啮合齿轮泵	59
二、齿轮油马达	60
第三节 柱塞油泵与柱塞油马达	62
一、轴向柱塞泵	62
(一) 轴向柱塞泵工作原理	62
(二) 轴向柱塞泵的流量	64
(三) SCY-14-1型手动变量轴向柱塞泵	64
二、轴向柱塞式油马达	67
三、径向柱塞泵	69
(一) 径向柱塞泵工作原理	69
(二) 径向柱塞泵结构	70
第四节 油泵的选择	71
一、油泵的输油量	71
二、油泵的工作压力 $p_{\text{泵}}$	71
三、油泵类型的选择	71

第四章 液压回路及其控制阀门

第一节 方向控制回路	74
一、换向回路	74
(一) 电磁阀换向回路	74

(二) 液动阀的换向回路.....	76
(三) 电液动阀的换向回路.....	81
二、锁紧回路.....	82
(一) 采用“O”型或“H”型换向阀的锁紧回路.....	82
(二) 采用液控单向阀的锁紧回路.....	82
第二节 调压回路.....	84
一、用溢流阀的调压回路.....	84
(一) 溢流阀的调压原理.....	84
(二) 溢流阀的结构型式.....	85
(三) 用溢流阀的调压回路.....	89
二、用减压阀的调压回路.....	91
(一) 减压阀的结构及工作原理.....	91
(二) 减压回路.....	93
第三节 顺序动作回路.....	95
一、压力控制顺序动作回路.....	95
(一) 用顺序阀的顺序动作回路.....	95
(二) 用压力继电器控制的顺序动作回路.....	99
二、行程控制顺序动作回路.....	100
(一) 用电气行程开关的顺序动作回路.....	100
(二) 用行程阀的顺序动作回路.....	102
(三) 用顺序缸的顺序动作回路.....	102
三、时间控制顺序动作回路.....	104
第四节 平衡回路.....	105
一、用顺序阀的平衡回路.....	105
二、用液控顺序阀的平衡回路.....	105
第五节 卸荷回路.....	106
一、系统不需保压的卸荷回路.....	106
(一) 用三位换向阀的卸荷回路.....	106
(二) 用二位三通换向阀的卸荷回路.....	106
(三) 用导阀式溢流阀的卸荷回路.....	106
二、系统需要保压的卸荷回路.....	107
(一) 用蓄能器保持系统压力而油泵卸荷的回路.....	107
(二) 双泵供油的卸荷回路.....	109
第六节 增压回路.....	110
一、利用增压油缸的增压回路.....	110
二、利用串连油缸增压.....	111
三、连续增压回路.....	112
第七节 调速回路.....	113
一、节流调速回路.....	113
(一) 节流调速的原理.....	113
(二) 节流阀的结构和流量特性.....	114
(三) 节流调速的基本形式.....	118
(四) 节流调速的速度稳定性问题.....	122

二、	容积调速回路	125
(一)	变量油泵和定量液动机组成的调速回路	126
(二)	定量油泵和变量液动机组成的调速回路	127
(三)	变量油泵和变量液动机组成的调速回路	128
三、	联合调速回路	129
(一)	YEP 限压式变量叶片泵的调速回路	129
(二)	压差式变量叶片泵调速回路	130
第八节	增速回路	131
一、	采用差动联接油缸增速的回路	132
二、	双泵并联增速回路	132
三、	带快速柱塞油缸与变量泵组合的增速回路	133
第九节	速度换接回路	133
一、	采用单向行程节流阀的换接回路	133
二、	利用油缸本身结构的换接回路	134
三、	二次进给的换接回路	135
第十节	多油缸同步动作回路	137
一、	采用串联油缸的同步回路	137
二、	采用调速阀正反向同步回路	137
三、	采用同步油缸或同步油马达的同步回路	138
四、	采用同步阀的同步回路	138
第十一节	液压控制阀门的选择	140
一、	方向阀类(表4~2、3、4)	141
二、	压力阀类(表4~5)	144
三、	流量阀类(表4~6)	145

第五章 液 压 系 统

第一节	组合机床的液压系统	147
一、	YT5249 型自驱式动力头的液压系统	148
二、	液压动力滑台	150
三、	液压回转工作台	157
第二节	C691 型液压半自动车床液压系统	160
一、	机床的用途	160
二、	机床的主要技术参数	160
三、	刀架布置与运动要求	161
四、	两种专用阀的介绍	161
五、	C691A 型半自动车床液压系统工作原理	166
第三节	万能外圆磨床液压系统	167
一、	磨床换向回路形式的选择	169
二、	工作台液压操纵箱结构及工作原理	169
三、	M131W 万能外圆磨床液压系统	173
四、	Hyy21/3P 型工作台液压操纵箱	178

第四节	250吨粉末制品压制机	182
一、	压机的典型工艺程序	182
二、	YA79—250压机的液压系统	183
三、	系统的特点	186
第五节	塑料注射成型机	187
一、	机械结构及其要求	187
二、	Xs—Z—60A技术特性	189
三、	Xs—Z—60A液压传动系统	190

第六章 液压传动系统的设计

第一节	液压系统的设计步骤	193
一、	调查研究,明确工作要求	193
二、	拟定液压系统图	194
三、	计算主要参数和选择液压元件	196
四、	选择辅助装置	198
	(一) 滤油器的配置	198
	(二) 选择油管和管接头	201
	(三) 液压线路板的选择	203
	(四) 确定油箱的容量和设计油箱	207
第二节	液压传动系统设计举例	208
例一	滚花机床液压系统的设计	208
一、	明确工作要求,确定液动机类型	208
二、	拟定液压系统图	208
三、	计算主要参数和选择液压元件	209
四、	选择辅助装置	211
五、	滚花机的电气控制	211
例二	汽车转向器垂臂五工位组合机床液压系统的设计	213
一、	调查研究,明确工作要求	213
二、	拟定液压系统图	216
三、	计算主要参数和选择液压元件	219
四、	选择辅助装置	224

第七章 液压仿形刀架和电液脉冲马达

第一节	液压仿形刀架工作原理	226
一、	四边液压仿形刀架	226
二、	双边液压仿形刀架	230
三、	单边液压仿形刀架	232
四、	三种仿形刀架的性能比较	232
第二节	液压仿形刀架实例	233
一、	液压仿形刀架的基本参数	234

二、	液压仿形刀架的主要结构	234
第三节	液压仿形刀架关键另件工艺	234
第四节	液压仿形刀架工作情况分析	240
一、	基本参数的符号及单位	241
二、	压力分布情况	241
三、	流量方程式	242
四、	仿形速度	242
五、	刀架的静态性能	243
六、	刀架的动态性能	244
第五节	液压仿形刀架设计	245
一、	设计的原始资料	245
二、	决定仿形刀架的技术规格	245
三、	液压仿形刀架的参数计算	246
第六节	液压仿形刀架设计例题	247
一、	设计原始资料	247
二、	决定仿形刀架的技术规格	248
三、	液压仿形刀架的参数计算	248
第七节	电液步进(脉冲)马达	249
一、	基本原理	250
二、	随动误差分析	252
三、	主要参数计算实例	254
第八节	附录	256
一、	双边正开口液压仿形刀架设计计算例题	256
二、	XZY编织机液压导板铣床	260

第八章 液压系统的使用维护与故障排除

一、	液压系统的使用维护	265
二、	液压系统的试车及调整	266
三、	液压系统和主要元件的故障排除	267

附 录

一、	常用计算公式	273
二、	液压系统图形符号(附表~1)	278
三、	中、低压液压元件型号说明及齿轮泵叶片泵规格(附表~2、3、4、5)	281
四、	耐油橡胶密封圈规格尺寸(附表~6、7、8)	284
五、	扩口薄管式管接头规格型号(附表~9、10、11、12、13)	287
六、	高压软管产品规格(附表~14、15、16)	290
七、	液压基本回路选编	291
八、	组合机床及单能机系统选编	313

第一章 液压传动的初步知识

液压传动这门技术目前在各个工业部门中已得到了广泛应用，由于它与机械传动及电气传动相比，具有结构紧凑、体积小、重量轻、传动平稳、容易控制力和运动、能方便地实现无级变速及容易实现自动化等显著的特点，在专用与自动化机械中得到了越来越普遍的采用。当然液压传动由于本身的特性，也存在因泄漏而影响运动的平稳性及传动效率、确定系统中的故障原因较为费事等缺点。

解放后，液压技术在我国得到了迅速的发展，但在它的发展过程中，亦始终贯串着两个阶级、两条道路、两条路线的激烈斗争。过去一些资产阶级“权威”拚命鼓吹“液压神秘论”，妄图永远霸占液压技术这个阵地，对此广大工人师傅进行了针锋相对的斗争，在实践与理论上都作了重要的发明与创造，对资产阶级和修正主义路线作了有力地批判。今天我们更要以“无产阶级必须在上层建筑其中包括各个文化领域中对资产阶级实行全面的专政”的高度责任感，坚持党的基本路线，大破“液压神秘论”，遵照毛主席关于“入门既不难，深造也是办得到的，只要有心，只要善于学习罢了。”的教导，在不断地生产实践过程中学习和掌握这门技术，为社会主义革命和社会主义建设服务。

第一节 两个例子

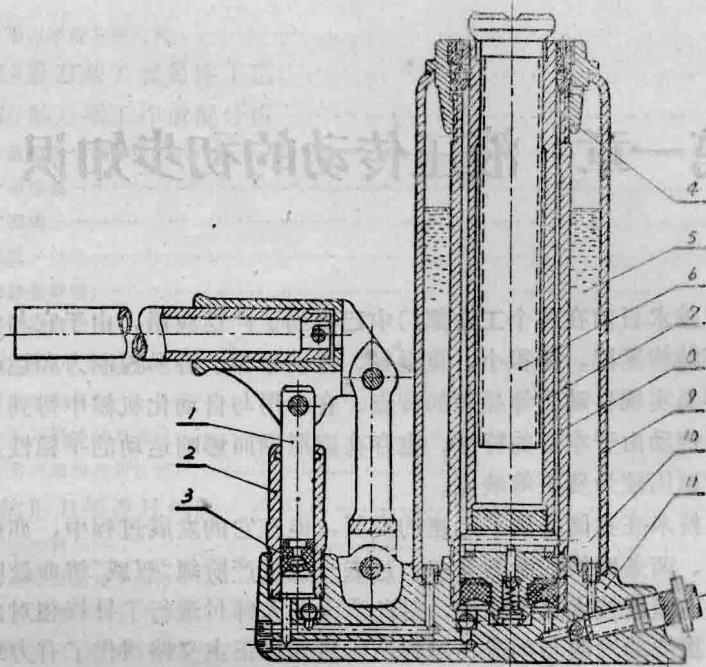
“认识的过程：一个是由特殊到一般，一个是由一般到特殊”。下面通过二个液压传动的简单例子，我们可以对液压传动是怎么回事有一个初步的了解。

一、液压千斤顶

在建筑工地及汽车修理中，人们常常使用一种小巧的起重工具——液压千斤顶。其外形与结构如图 1~1 所示。它的起重量为 5 吨，手柄的操作力为 32 公斤。

小小的千斤顶为什么能顶起几吨的重物？

为了弄清这个问题，我们通过液压千斤顶原理图(图 1~2)来分析它的特殊点，“注意它和其他运动形式的质的区别。”如图示液压千斤顶有大小两个油缸，其动作原理为：将手柄向上扳，使小活塞向上移动，形成真空，油从油箱经管道 1、单向阀 2 吸入小油缸的下腔；撤下手柄，小活塞下移，将吸入小油缸中的油经管道 3、单向阀 4 压入大油缸的下腔（此时单向阀 2 不通），迫使大活塞上升，顶起重物。这样将手柄不断上下往复扳动，就能不断将油压入大油缸下腔，使大活塞顶着重物缓慢上升，单向阀 4 的作用是保证进入



1. 油泵芯 2. 油泵缸 3. 油泵胶碗 4. 顶帽 5. 工作油 6. 调整螺杆
7. 活塞杆 8. 活塞缸 9. 外套 10. 活塞胶碗 11. 底座

图 1~1 液压千斤顶

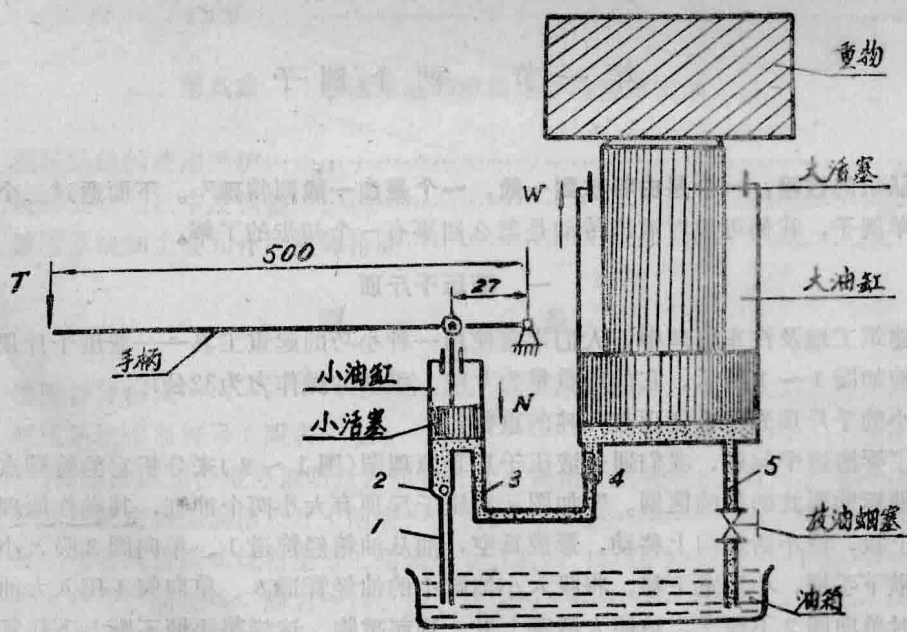


图 1~2 液压千斤顶原理图

大油缸的油不能倒流出来,从而利用油所具有的不可压缩性使重物保持在上升位置。从上述分析可知,小油缸的主要作用是通过不断地完成吸油和压油的动作,将人做的机械功转换为油液的能量,实际上它是一个手动柱塞泵,而大油缸的作用在于将油液的能量转化为抬起重物的机械功,相当于一只柱塞油缸。单向阀 2、4 等的作用则是控制油液的流动方向。若要降下重物,可拧开放油柱塞,此时,大油缸内的油经管道 5 进入油箱,大活塞下移,重物亦下降。

我们还可看到,如果小油缸直径 $d = 12$ 毫米,大油缸直径 $D = 35$ 毫米,小活塞的往复最大行程 $S_{小} = 22$ 毫米,则随着手柄每次上下往复,小油缸的密封容积亦重复地从 $0 \rightarrow S_{小} \times \frac{\pi}{4} d^2 = 2.49 \text{ 厘米}^3 = 2.49 \text{ 毫升} \rightarrow 0$ 的不断变化着。如果没有这一可变的密封容积,小油缸亦就无法吸油与压油。同样大油缸之所以能不断地将重物抬高,亦是由于小油缸随着手柄每次往复,不断地将 2.49 毫升的油压入大油缸的密封容积使这一容积不断变化,每次增加 2.49 毫升,因此大活塞每次上升 $S_{大} = \frac{2.49 \text{ 毫升}}{\frac{\pi}{4} D^2} = 2.35 \text{ 毫米}$ 。

二、简单液压刀架

在车床上加工工件时,通常刀架的进给运动是依赖于丝杆螺母、齿轮齿条、凸轮等一系列机构来传递的。随着群众性技术革新的深入开展,在许多工厂已广泛采用液压传动,例如用油缸来推动刀架移动进行切削加工,从而大大简化了传动机构并且能十分方便地实现自动进给循环。

“感觉到了的东西,我们不能立即理解它,只有理解了的东西才更深刻地感觉它。”为了弄清油缸为什么能推动刀架移动这一现象,我们对图 1~3 (a) 所示的实现刀架慢速进刀→快速退回动作循环的简单液压油路系统作一个初步分析。

如图所示,油缸固定在床身上,活塞杆和刀架拖板连接。进给时,油泵将油箱内的油经滤油器、油管 1 吸上来,并将这些油经油管 2、换向阀、油管 3 压入油缸的左腔,使油缸左腔容积不断增大,推动活塞向右移动,于是带动拖板向右运动。油缸右腔的油经管 4、节流阀(此时单向阀不通)、油管 5、换向阀、油管 6 流回油箱。节流阀的作用和水龙头相仿,但结构不同,要求较高。图中节流阀是偏心槽式的,转动阀芯时,由于偏心而使开口变化,油缸右腔回油从此开口通过。节流阀开口大,单位时间回油量大,拖板速度快;关小,单位时间回油量小,拖板速度慢;关死,回油流不出,拖板不动。因此调整节流阀,可控制油缸右腔回油流量,亦就可以控制拖板向右移动的速度。

要使拖板退回,只需改变油流进出油缸的方向。当换向阀吸铁失电,阀芯在弹簧作用下向左移动,使油管 2 与 3, 5 与 6 通路切断,而 2 与 5, 3 与 6 接通,油流方向改变,油泵打出的压力油经油管 2、换向阀、油管 5、单向阀、油管 4 进入油缸右腔,油缸左腔的油经油管 3、换向阀、油管 6 回油箱,拖板快速向左退回。

在油管 4 和 5 中间,节流阀和单向阀并联。当拖板慢速进刀时,油缸通过节流阀回油而快速退回时,压力油经单向阀进入油缸。

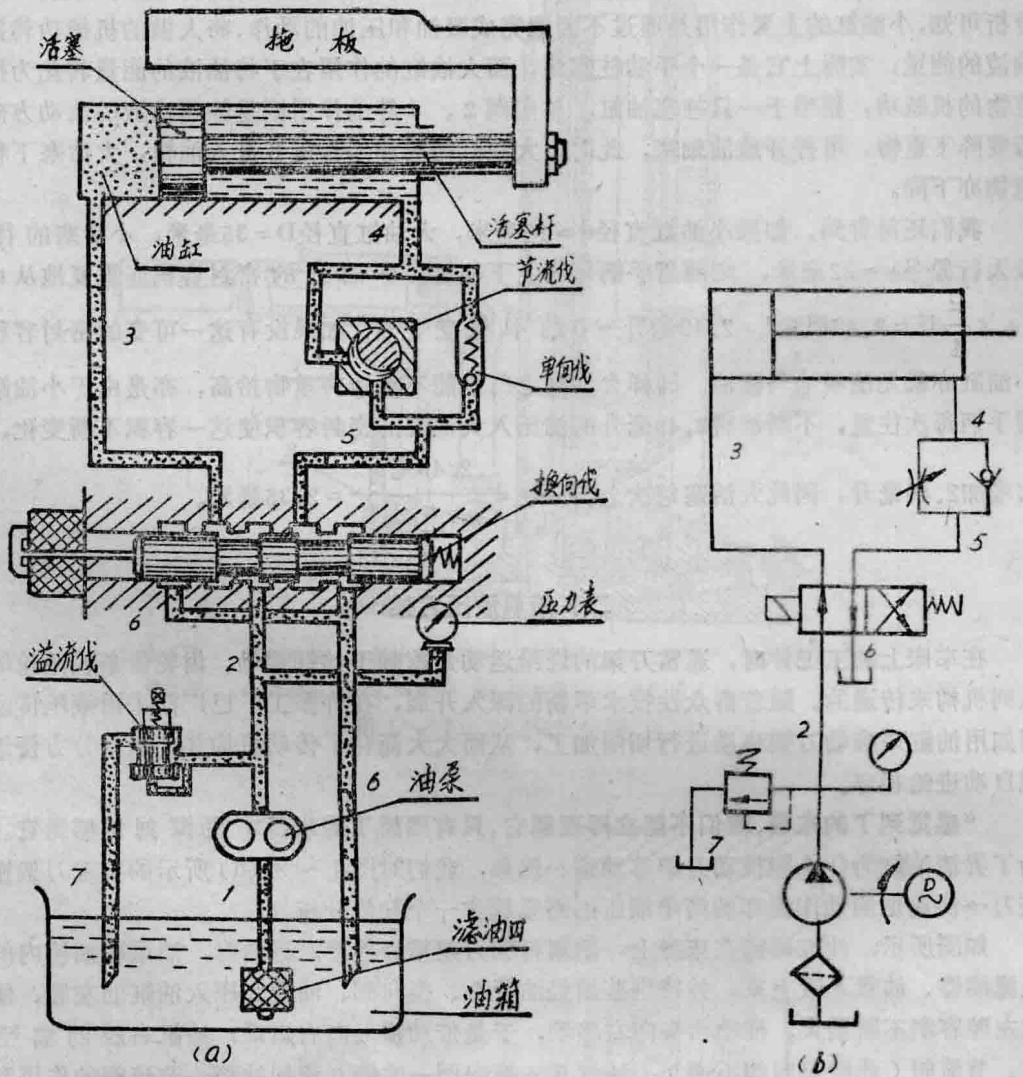


图 1~3 简单液压刀架液压系统图

溢流阀的作用是调节系统的压力，例如油泵额定压力为25公斤/厘米²，而当系统压力只需15公斤/厘米²时，即可调整溢流阀压力为15公斤/厘米²来实现。当系统油压超过溢流阀调定的压力时，阀门打开，油管2与7相通，部份油液溢回油箱。当系统压力低于调定压力时，阀门关闭，没有油溢回油箱，这样溢流阀就控制了系统的压力在调定的压力范围内，而且还起过载保护作用。系统的压力由压力表测定。

图 1~3 (b) 为用我国制订的液压系统图图形职能符号表示的液压刀架原理图。

综上所述液压传动是用油来作为工作介质传递动力的。它并不“神秘”，它的基本原理早就为人们所熟悉并应用于生产了。通常一个液压系统一般由下面四部份组成：

(1) 驱动部份：油泵（千斤顶例子中小油缸相当于一只手动柱塞泵。）将机械能转换

为油的压力能，也就是油泵使油箱里的油（没有压力）转变为有一定压力的油，这样的压力油才能够推动活塞运动。

(2) 执行部份：油缸（或油马达）将压力油的压力能转换为工作部件运动（例如拖板运动）的机械能。

(3) 控制部份：各种压力、流量及方向控制阀等。用来控制和调节油流的压力（如溢流阀）、流量（如节流阀）和方向（如换向阀），以满足对液压传动系统提出的动作和性能要求。

(4) 辅助部份：各种管接头、油管、油箱、滤油器、压力表等，主要是将前三部份连成一个系统。起连接、贮油、过滤、测量等作用。

液压系统的图形符号见附录附表——1。

第二节 几个基本概念

“社会实践的继续，使人们在实践中引起感觉和印象的东西反复了多次，于是在人们脑子里生起了一个认识过程的突变（即飞跃），产生了概念”。从上一节的两个例子中，我们看到液压传动是用油作为工作介质来传递动力的现象，那么为什么油可以用来传递动力和运动呢？它又是如何来传递的呢？弄清这个问题，总结并掌握几个概念，对于我们今后的学习是十分重要的。

一、压 力

1. 静压力

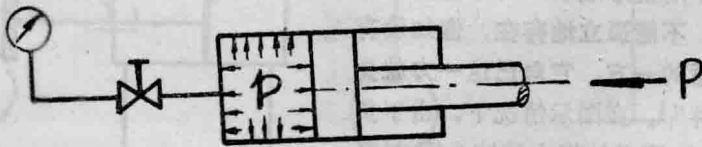


图 1~4

我们知道油是一种液体，它没有固定形状，容易流动（质点间内聚力小）并且它具有几乎不可压缩的特性。那么油存放在一个密封的容器中的情况又将如何呢？如图(1~4)油缸的左腔，假定充满了油液且完全密封，在不计油的重量和活塞与缸壁之间的摩擦情况下，当加于活塞上的载荷 $P=0$ 时，压力表上的指针为零，表明油液没有压力。如果开始加载，则随着载荷 P 的增加，压力表上可以看到指针的偏转角亦随之增大。表明油的压力是外加载荷作用的结果，并随载荷 P 的增加而增加。

如果油缸活塞的面积是 100厘米^2 ，当 P 增加到 1000 公斤时，压力表上指示的数值是 10公斤/厘米^2 ，这说明此时油液的压力是 10公斤/厘米^2 ，而此值正好是与活塞相接触的油面单位面积上所受的作用力。

$$p = \frac{1000 \text{ 公斤}}{100 \text{ 厘米}^2} = 10 \text{ 公斤/厘米}^2$$

通常称单位面积上所受的作用力为压力，它的单位是公斤/厘米²。上述实践使我们知道当外载荷通过活塞作用在油液上10公斤/厘米²的压力时，油缸内的油液也必然地以同样的压力反作用于活塞，油之所以可以作为介质来传递动力的道理亦在于此。

上述实践中，负载通过活塞的作用使油缸内的油液产生了压力，但这个压力在油液内是否到处相等呢？显然由活塞作用到与其接触油面上的压力是均匀地传递到各个地方的。不然的话，由液体易于流动的特性决定了油液必然会发生从压力高处向压力低处的流动，而不再是平衡的静止状态。同样，由于存在着这种平衡的静止状态，不难看出油压力的作用方向一定是垂直于作用面的（如油缸壁）。所以在密封的静止液体中，压力处处相等，压力作用方向总是垂直于容器的表面。

至于油液作用于某一接触面的总的合力，由上所述必然是油液的压力 p 与接触面面积 F 的乘积即：

$$P = p \times F \quad (1-1)$$

亦就是在相同压力条件下，作用面积愈大则总合力 P 就愈大。前述千斤顶中就是因为大油缸的面积大，所以虽然其油压与小油缸相同，但它的总合力 P 却很大，从而将手的作用力“放大”到足以顶起5吨重物。这亦就是液压系统能产生很大力或实现省力的原理。

2. 液压系统压力的建立

以图1~5这样的仅由泵与油缸组成的不完全系统为例，假设油缸活塞的面积为 F ，阻力负载为 P ，油泵从油箱吸油，经油管压入油缸左腔，由于阻力负载 P 的存在它起着阻碍油缸左腔容积增大的趋势，而油泵供油进入左腔则起着使油缸左腔容积不断增大的趋势，这两种相反的作用就形成了一对矛盾。“矛盾着的各方面，不能孤立地存在，假如没有和它作对的矛盾的一方，它自己这一方就失去了存在的条件”。在图示情况下，由于负载阻力 P 的存在阻碍着油缸左腔这个密封容积的增加，从而使油液受到压缩。但油是不可压缩的，对使它受压缩之作用力抵抗极大，一受压缩作用就产生压力的反作用，随着油泵的不断供油使这种压缩作用加剧，矛盾加剧，油压不断上升，当压力升高到能克服活塞所受的负载时，活塞便被推动。这时

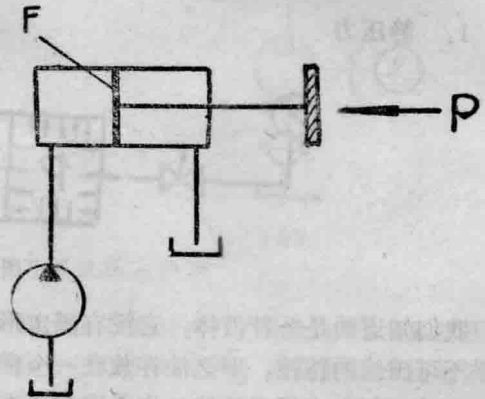


图 1~5

的油压力显然是 $p = \frac{P}{F}$ 。由于活塞的移动使油缸左腔增大以容纳油泵供油所造成的新增容积，使矛盾得到了暂时的解决。但是随着油泵的不断供油，而阻力负载 P 又始终存在，因此上述矛盾的过程就不断地出现，“矛盾是简单的运动形式（例如机械性的运动）的基础，

更是复杂的运动形式的基础。”随着上述矛盾的不断产生和解决，活塞克服负载 P 不断向前，油缸左腔的容积不断增加，并为油泵的供油所占据，而油液的压力亦始终保持为 $p = \frac{P}{F}$ 。

因此，系统中压力的建立是由于系统中的油液处于前受阻力负载的阻止，后受油泵的不停推动，即所谓“前阻后推”这样一种运动状态之中而产生的，而活塞的不断向前运动是依赖于油缸左腔这一密封容积的不断变化运动。

那么系统中的压力又如何来确定呢？是否就是泵的额定工作压力呢？

在图 1~5 的例子中，如果 $F = 100$ 厘米²， $P = 1000$ 公斤，而泵的额定压力为 $p_{\text{泵}} = 25$ 公斤/厘米² 时，系统中之压力又将是多少呢？从上面的分析不难知道这时的 $p = \frac{P}{F} = \frac{1000}{100} = 10$ 公斤/厘米²，而决不是泵的额定工作压力 25 公斤/厘米²。因为当 $p = 10$ 公斤/厘米² 时，就能克服负载推动活塞前进，使左腔容积不断增加而容纳油泵的供油，此时油液不会受到更大的压缩，因此压力亦就不会继续上升。同样，如果其余条件不变，而 P 增大到 2500 公斤时，系统中之油压亦必然增加到 $p = \frac{P}{F} = \frac{2500}{100} = 25$ 公斤/厘米²。

那么在图 1~6 的两种状态下，系统的压力又是多少呢？

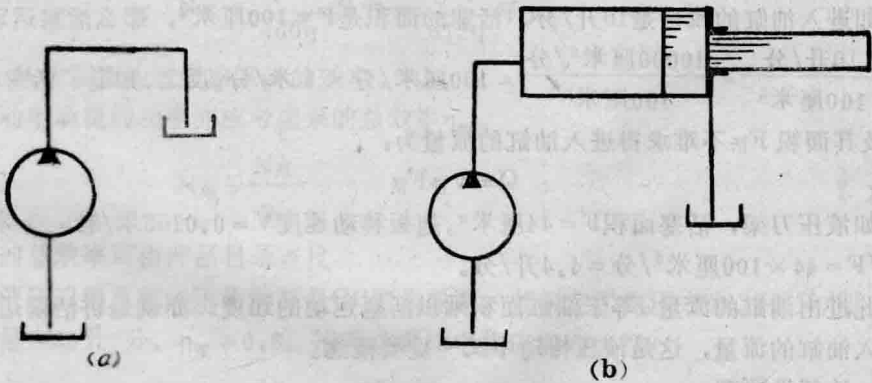


图 1~6

显然，在 (a) 这种情况下，如果不计管道阻力的话，油泵输出的压力 $p_{\text{泵}} = 0$ ，因为此时没有阻力负载，亦就不存在“前阻后推”的矛盾运动，当然压力亦就建立不起来。生产实践中，将泵的这种工作状态称为卸荷状态。

在 (b) 这种情况下，由于油泵仍不断供油，但油缸左腔的容积却无法继续增加，使处于该密封容积中的油液受到急剧的压缩，而系统的压力亦随之急剧增高，甚至能引起油管破裂、油泵破坏、电机烧毁等重大事故。由此可见液压系统的压力大小是决定于外界负

载，而油泵必须在额定工作压力以下工作。

通过上述分析，我们对液压传动的原理有了进一步的认识，对于液压系统为什么能以油为工作介质传递动力和运动，明确的回答为：动力的传递是依靠油液的压力，而运动的传递则依赖于密封容积的不断变化。因此液压传动亦称为容积式液压传动。今后我们亦只限于讨论这一类传动系统。

二、流 量

1. 流速与流量

从液压刀架例子中知道，油液推动刀架移动，那么油管和油缸内的油液必然要流动。油液在油管或油缸中流动的快慢以流速 V 表示，其单位是米/秒。显然油缸中油的流速等于活塞移动的速度。由于流动油液在管截面上的每一点的速度并不完全相等，因此我们所指的流速都是平均流速。

单位时间内进出油缸或通过管道的油液体积称为流量，流量常用单位是厘米³/秒及升/分（1升=1000厘米³），符号为 Q 。

按上述定义，油液在管道中的流速为通过管道的流量除以管道的截面积 $F_{管}$ 即：

$$V_{管} = \frac{Q}{F_{管}} \quad (1-2)$$

图1~5所示油缸活塞的移动速度则是进入油缸的流量除以活塞的面积 $F_{活}$ ：

$$V_{活} = \frac{Q}{F_{活}} \quad (1-3)$$

例如进入油缸的流量是10升/分，活塞的面积是 $F = 100$ 厘米²，那么活塞运动的速度 $V_{活} = \frac{10 \text{升/分}}{100 \text{厘米}^2} = \frac{10000 \text{厘米}^3/\text{分}}{100 \text{厘米}^2} = 100 \text{厘米/分} = 1 \text{米/分}$ 。反之，知道了活塞移动的速度 $V_{活}$ 及其面积 $F_{活}$ 不难求得进入油缸的流量为：

$$Q = V_{活} F_{活} \quad (1-4)$$

例如液压刀架，活塞面积 $F = 44$ 厘米²，拖板移动速度 $V = 0.0166$ 米/秒 = 1米/分，则流量 $Q = VF = 44 \times 100$ 厘米³/分 = 4.4升/分。

因此进出油缸的流量 Q 等于油缸面积乘以活塞运动的速度。亦就是讲活塞运动速度决定于进入油缸的流量，这是液压传动中又一重要概念。

2、连续性原理

在图1~5这种系统中，油缸内的油液是从油泵打出经过油管流入的，如果不计泄漏，根据物质不灭定理，显然流经油管的流量和进入油缸的流量是相同的，即：

$$Q = F_{管} V_{管} = F_{活} V_{活} \quad (1-5)$$

同样、流经一个变截面油管的各截面的流量也是相等的（例如变径管接头），若以 F_1 、 F_2 表示两个不同截面的截面积。 V_1 、 V_2 为相应截面的流速则：

$$Q = V_1 F_1 = V_2 F_2$$

这就是连续性原理。它说明在同一通道的任一截面上流量均相同，而各截面上的流速

与截面积成反比。

三、功 率

功率就是单位时间内所做的功。符号为 N ，单位为马力（1 马力 = 75 公斤·米/秒）或千瓦（1 千瓦 = 102 公斤·米/秒）。

通常功率等于力与速度之乘积，因此油缸输出的功率就应该是油缸克服之负载阻力 P （即总推力）和活塞运动速度 V 之乘积。

$$N = PV \quad (1-6)$$

但 $P = pF$ ， $V = \frac{Q}{F}$ 代入 (1-6) 则

$$N = pF \cdot \frac{Q}{F} = pQ \quad (1-7)$$

亦就是油缸输出功率是进入油缸的压力和流量的乘积。上述功率计算式可用来计算各种情况下液体压力所做的功率。

由于功率常用单位是千瓦或马力，而压力的单位是公斤/厘米²，流量的单位是升/分。所以必须进行单位换算，经过换算我们得到：

$$N = \frac{pQ}{612} \text{ 千瓦} = \frac{pQ}{450} \text{ 马力} \quad (1-8)$$

由于油液流经管道必然有能量损失，因此油泵输出功率应为：

$$N_{\text{泵}} = \frac{pQ}{450\eta} \text{ 马力} = \frac{pQ}{612\eta} \text{ 千瓦} \quad (1-9)$$

η ——从油泵到油缸管路系统的效率。

而驱动电动机的功率亦应考虑泵的总效率 $\eta_{\text{泵}}$ 。

$$N_{\text{电}} = \frac{N_{\text{泵}}}{\eta_{\text{泵}}} \quad (1-10)$$

油泵的总效率可由产品目录查找。

例：前述液压刀架系统，采用的泵是CB型齿轮泵，其额定工作压力为 25 公斤/厘米²，额定工作流量为 20 升/分， $\eta_{\text{泵}} = 0.8$ ，拖动该泵的电机应如何选呢？

$$N = \frac{pQ}{612\eta} = \frac{25 \times 20}{612 \times 0.8} = 1.02 \text{ 瓩}$$

故选用 $N = 1.1$ 瓩， $n = 1450$ 转/分之电机。

四、效 率

从功率的计算不难看出，一个液压系统在工作时总是存在着一定的能量损失，亦就是油泵输出之能量并不能完全地输送到油缸等执行机构，而必须打一个 η 大小的折扣。是什么原因造成这些损失？这些损失又将带来什么结果？用什么方法来减少这种损失？回答并