

高等学校教学参考书

金属切削机床液压传动

清华大学精密仪器系液压教材编写组



人民教育出版社

金属切削机床液压传动

清华大学精密仪器系液压教材编写组编

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

*

1977年6月第1版 1978年3月第1次印刷

书号 15012·026 定价 1.90 元

编 者 的 话

1. 遵照伟大领袖和导师毛主席关于“教育要革命”、“教材要彻底改革”的教导,我们在总结了文化大革命以来进行教育革命的实践经验和我国的液压技术新发展的基础上,将1972年所编的《机床液压传动》试用教材作了进一步的改编,希望能更好地满足高等工业院校广大机床专业的学员、“七·二一”工人大学学员和业余大学学员的需要,为无产阶级政治服务,为社会主义经济建设服务。

2. 在编写教材时,我们力求做到以辩证唯物主义思想做指导,批判旧的教材体系,并努力做到理论联系实际,取材立足于我国的实际需要,认真地总结工农兵的实践经验和发明创造,吸收外国的好经验。叙述尽量通俗易懂,便于自学,由浅入深,循序渐进,从实例出发,讲清本专业学员所必要的基础理论问题,并把着眼点放在培养学员分析问题和解决问题的能力上。

3. 高等学校的机床专业的学员毕业后,主要应能在各种机械制造工作中解决设备(机床)的设计、制造和修理等问题。因此,机床液压传动教材主要应以解决利用标准液压元件设计出合理的液压系统为重点内容。但元件是进行液压系统的设计、调试和使用维修的基础,所以对元件的性能、工作原理、结构和使用等问题也应做必要的讲述。按照这种想法,本书共分十三章,包括液压传动基本概念、液压元件、机床液压系统的设计与计算、液压伺服系统和液压系统的使用与维修等内容。

第一章为概述,是学习液压传动的入门。我们通过典型的应用实例分析液压系统的组成,并讲述几个重要的基本概念和计算公式;第二章至第五章为常用的液压元件;第六章至第十章为液压系统的设计与计算。对于设计液压系统较为重要的调速问题单独列为一章。考虑到近来组合机床及其自动线在机床行业中的发展,故把组合机床液压系统也单独列为一章。最后一部分内容主要是介绍液压技术在机床行业中的其他应用,如静压技术、液压离合器和气液泵等内容列为第十一章,液压伺服系统和它的实际应用和计算列为第十二章。在一些重要章节后边,附有小结与思考题。书中所用的名词术语都按国家标准的规定。

本教材编写组由机床教研室液压教学组教师和74届液压进修班学员组成,编写过程中得到很多有关单位热情的帮助,在此,谨向这些有关单位和同志表示深切的感谢。由于我们对毛主席教育革命思想领会不深及业务水平不高,书中肯定有很多缺点和错误,希望得到广大读者批评指正。

清华大学精密仪器系机床教研室
金属切削机床液压教材编写组

1977年5月

目 录

第一章 概 论

§ 1-1 我国液压传动发展简况	1	§ 1-4 液压传动的优缺点	10
§ 1-2 液压传动的一些基本概念	1	§ 1-5 液压系统主要参数的计算	11
一、液体压力的产生及其传递	2	一、液压缸面积 F	11
二、液体压力的特性	3	二、液压泵流量 Q	11
三、液体流动时的主要参数和液流连续性原理	4	三、电机功率 N	12
四、液体流动时的压力及其传递	5	§ 1-6 液压传动采用的液体	13
§ 1-3 液压传动应用实例	6	一、液压传动用油的一些物理性能	13
一、油压千斤顶	6	二、机床液压用油的选择	17
二、油压夹具	7	本章小结与思考题	18
三、车床进给液压系统	8		
四、液压系统的组成	9		

第二章 液压泵

§ 2-1 液压泵的工作原理	20	五、变量叶片泵	34
§ 2-2 齿轮泵	20	§ 2-4 柱塞泵	39
一、CB 系列齿轮泵的结构和工作原理	21	一、径向柱塞泵的工作原理	39
二、齿轮泵的流量、压力和容积效率	22	二、轴向柱塞泵	39
三、齿轮泵的困油现象	24	三、柱塞泵的优缺点及其应用	42
四、齿轮泵的优缺点及其应用	25	§ 2-5 螺杆泵	42
五、其他类型的齿轮泵	26	一、螺杆泵的结构和工作原理	42
§ 2-3 叶片泵	28	二、螺杆泵密封容积的形成	44
一、单作用非卸荷式叶片泵	28	三、螺杆泵吸压油原理	46
二、YB 系列双作用叶片泵的结构和工作原理	28	四、螺杆泵的优缺点	46
三、双作用叶片泵的流量、压力和容积效率	31	本章小结与思考题	47
四、双作用叶片泵的其他组合	32		

第三章 液压缸和液压马达

§ 3-1 液压缸	48	§ 3-2 液压马达	62
一、液压缸的结构形式及分类	48	一、叶片式液压马达	62
二、液压缸的基本计算	53	二、轴向柱塞式液压马达	64
三、液压缸结构设计中的几个问题	55	三、液压马达的应用	68
四、液压缸的材料、技术条件和工艺	57	本章小结与思考题	68
五、液压缸的密封装置	57		

第四章 控制阀

§ 4-1 压力控制阀	70	§ 4-2 方向控制阀	81
一、溢流阀	70	一、单向阀	81
二、减压阀	75	二、电磁换向阀	81
三、顺序阀	77	三、其他类型的换向阀	88
四、压力继电器	79	§ 4-3 流量控制阀	91

一、节流口的流量特性	92	二、电液比例流量阀	99
二、节流阀	95	三、电液比例方向阀	100
三、调速阀	96	四、电液比例阀应用举例	101
§ 4-4 比例阀	98	本章思考题	102
一、电液比例压力阀	99		

第五章 辅助装置

§ 5-1 液压泵的安装及油箱设计	103	一、滤油的必要性, 滤油器的过滤精度	111
§ 5-2 阀类的安装布置及连接	104	二、常见滤油器的类型	111
§ 5-3 油管及管接头	105	三、滤油器的选用	113
一、油管	105	四、滤油器的安装位置	113
二、管接头	107	§ 5-6 压力表和压力表开关	114
§ 5-4 密封	107	§ 5-7 蓄能器	115
一、固定件间的密封	108	一、蓄能器的类型和性能	115
二、直线移动件间的密封	110	二、蓄能器的计算	117
三、相对转动件间的密封	110	三、蓄能器的应用	118
§ 5-5 滤油器	111		

第六章 液压系统中速度的调节

§ 6-1 调速的方法	120	§ 6-5 节流调速系统中速度的稳定	129
§ 6-2 进油路节流调速的工作原理和性能	121	一、回油路节流调速系统中的速度稳定	129
一、工作原理	121	二、速度稳定器——调速阀	129
二、进油路节流调速的一些性能	122	三、溢流节流阀	131
§ 6-3 回油路和旁路节流调速的工作		§ 6-6 容积式调速	132
原理和性能	123	一、变量泵和定量执行元件组成的调速系统	132
一、回油路节流调速	123	二、可变排量液压马达和定量泵组成的调速系统	134
二、旁路节流调速	124	三、同时采用变量泵及可变排量液压马达的	
§ 6-4 三种节流调速方案性能的比较	125	调速系统	135
一、调速公式不能包括的性能	125	本章小结与思考题	136
二、综合比较表	126		

第七章 液压基本回路

§ 7-1 压力控制回路	138	§ 7-4 节省功率回路	145
一、压力保持回路	138	一、双泵节省功率回路	145
二、减压回路	139	二、变量泵节省功率回路	146
三、增压回路	139	§ 7-5 启停、卸荷、换向回路	147
四、平衡回路	140	一、启停回路	147
五、多级压力回路	141	二、卸荷回路	148
§ 7-2 实现“快、慢、快”运动循环回路	141	三、换向回路	149
一、用行程节流阀实现“快、慢、快”的回路	141	§ 7-6 顺序动作控制原则和回路	150
二、用节流阀(或调速阀)和二位二通电磁阀实现		一、用行程控制实现顺序动作的回路	150
“快、慢、快”的回路	141	二、用压力控制实现顺序动作的回路	152
三、用差动液压缸实现“快、慢、快”的回路	143	三、用时间控制实现顺序动作的回路	154
§ 7-3 二次进给回路	143	§ 7-7 缓冲方法及缓冲回路	155
一、调速阀串联的二次进给回路	144	一、用行程减速阀的缓冲回路	155
二、调速阀并联的二次进给回路	144	二、用液动换向阀的缓冲回路	156
三、用行程阀控制的二次进给回路	145	三、用蓄能器的缓冲回路	156

§ 7-8 同步回路	156	四、用分流阀的同步回路	157
一、用串联液压缸的同步回路	156	五、用单独液压泵驱动同步回路	157
二、用并联液压缸的同步回路	157	六、用伺服阀的同步回路	158
三、用机械固接的同步回路	157	本章思考题	158

第八章 典型机床液压系统

§ 8-1 怎样看液压系统图	160	五、B16YT 009 液压操纵箱的特点	175
一、看液压系统图的方法和步骤	160	§ 8-4 M7120A 平面磨床液压系统	175
二、看液压系统图举例	161	一、工作台往复运动	176
§ 8-2 M131W 外圆磨床液压系统	165	二、磨头(砂轮架)的进刀运动	177
一、外圆磨床的运动要求和实现方法	165	三、机床的润滑系统	178
二、GY24-25×50 操纵箱和 M131W 外圆磨床		四、平面磨床液压系统的特点	178
液压系统	167	§ 8-5 B690 型液压牛头刨床	179
三、HYY 21/3P-25T 液压操纵箱	169	一、液压系统的工作原理	179
§ 8-3 MMB1320B 外圆磨床液压系统	170	二、液压系统的特点	181
一、MMB 1320 B 外圆磨床液压系统的组成	171	§ 8-6 B228Y 龙门刨床的液压系统	181
二、工作台往复运动的实现	171	一、液压传动系统的工作原理	182
三、工作台的抖动	172	二、龙门刨床液压系统的特点	183
四、半自动循环	173	本章思考题	183

第九章 组合机床及自动线的液压系统

§ 9-1 容积节流调速	185	二、他驱式动力部件的液压进给系统	195
一、限压式变量叶片泵和调速阀组成的调速系统	185	§ 9-3 组合机床及自动线中辅助装置的	
二、压力反馈式变量柱塞泵和节流阀组成的		液压系统举例	199
调速系统	186	一、回转工作台的液压系统	199
三、压差式变量叶片泵和节流阀组成的调速系统	188	二、定位、夹紧液压系统	202
§ 9-2 组合机床的典型液压进给系统举例	191	三、自动线输送带液压系统	205
一、自驱式液压动力头的进给系统	191	本章思考题	208

第十章 机床液压系统的设计计算

§ 10-1 伯努利方程式	209	一、液压系统设计的内容和步骤	221
§ 10-2 液体流动时压力损失的计算	211	二、液压系统计算的内容和步骤	222
一、液体的两种流动状态——层流与紊流	211	§ 10-4 液压系统的设计计算举例	229
二、压力损失的计算公式	213	本章小结	239
§ 10-3 机床液压系统设计计算	221		

第十一章 液压在机床中的其他应用

§ 11-1 液体静压轴承	241	一、静压导轨的工作原理与特点	263
一、静压轴承的特点	241	二、静压丝杠-螺母副工作原理	265
二、静压轴承的结构、工作原理及分类	242	§ 11-3 液压在机床中的其他应用	266
三、静压轴承的设计计算	250	一、液压虎钳	267
四、静压轴承的供油系统	260	二、液压卡盘	267
五、静压轴承的结构介绍	262	三、液压变速机构	268
§ 11-2 液体静压导轨和液体静压丝杠-螺母		四、气液泵	271
工作原理	263	本章小结与思考题	273

第十二章 液压伺服系统

§ 12-1 液压伺服系统的工作原理	275	一、液压伺服系统的工作原理	275
--------------------------	-----	---------------------	-----

二、液压伺服系统的特点.....277	四、液压扭矩放大器的选用和计算.....296
三、液压伺服系统的基本类型.....277	§ 12-5 液压仿形刀架.....299
§ 12-2 液压伺服系统的应用.....281	一、液压仿形刀架的静特性和稳定判据.....299
一、变量泵手动伺服机构.....281	二、液压仿形刀架的静态误差.....302
二、C7620 型车床的液压仿形刀架.....281	三、影响液压仿形装置工作精度的其他因素和 提高的办法.....303
三、液压扭矩放大器在数字程序控制 机床上的应用.....285	§ 12-6 电液伺服阀.....305
§ 12-3 液压伺服系统的静特性.....288	一、概述.....305
一、静特性几个参数的定义.....288	二、结构及原理.....306
二、液压伺服系统的静态方程式.....290	三、静特性和动特性.....307
§ 12-4 液压伺服系统的稳定性.....293	四、电液伺服阀的一些基本回路和选用举例.....310
一、液压伺服系统的稳定性.....293	五、电液伺服阀的使用和维护.....314
二、影响稳定性的因素.....294	本章小结与思考题.....314
三、液压扭矩放大器的稳定判据.....295	

第十三章 液压系统的使用维护与故障排除

§ 13-1 液压系统的使用维护.....317	一、系统产生噪声和杂音.....319
一、液压系统的安装.....317	二、系统爬行.....319
二、保持液压油的清洁,并定期检查,定期换油.....318	三、快速行程时工作台速度不够.....320
三、随时清除系统中的气体,以防系统爬行 和引起油液变质.....318	四、启动开停阀(开关)工作台不运动.....320
四、系统油温要保持适当,一般液压机械在 35~60°C 合适.....318	五、换向及起动的问题和故障.....321
五、其他.....318	六、齿轮泵的故障及排除.....322
§ 13-2 液压系统和主要元件的故障排除.....318	七、叶片泵的故障及排除.....322
	八、溢流阀的故障及排除.....323
	九、换向阀的故障及排除.....323
附表 1 常用液压系统图图形符号 (GB786-65).....324	
附表 2 中低压液压元件型号说明.....335	

第一章 概 论

§ 1-1 我国液压传动发展简况

液压传动这门技术是劳动人民在长期生产斗争中的创造。虽然它的基本原理早就为人们熟悉并应用于生产了,但是象今天这样广泛地用于实现各种机械(包括机床)的复杂运动和控制,还是近 40~50 年的事情。

解放前我国是一个半封建半殖民地的国家,经济极端落后,液压传动是一个空白点。解放后,我国成为一个伟大的社会主义国家,随着整个国民经济的迅速发展,液压传动技术也从无到有得到了迅速的发展。特别是史无前例的无产阶级文化大革命,批判了刘少奇、林彪及王张江姚“四人帮”的反革命修正主义路线,毛主席的“独立自主、自力更生”、“打破洋框框,走自己工业发展道路”的伟大教导深入人心,广大工人、干部和革命技术人员敢想敢干,意气风发,使我国液压传动技术有了迅速地发展。

从文化大革命开始,我国就着手进行液压元件的系列设计,并逐步组织液压元件厂进行批量生产。各地有关研究所和生产厂也陆续研制成我国自己的新型液压动力头、液压动力滑台和其他高中低压系列的元件。在此期间,我国液压元件产品的数量和品种都得到了大幅度增长,产品质量不断提高,液压技术在机床行业和其他许多行业中得到了普遍应用。例如从 1965 年到 1976 年的十一年间,液压元件的产量增加了二十一倍,平均每年增加 32%,为我国工业的迅速发展提供了大量的液压元件。

当然,目前我国液压元件的生产,在产品数量上、质量上和品种上都还不能满足社会主义建设蓬勃发展的需要。但是,在华主席为首的党中央抓纲治国的战略决策指引下,随着我国社会主义革命和社会主义建设更大高潮的到来,我国的液压传动技术必将沿着毛主席的无产阶级革命路线更快地前进,努力赶超世界先进水平,为实现在本世纪内建成强大的社会主义国家的宏伟目标做出新的更大的贡献。

§ 1-2 液压传动的一些基本概念

我们在工业生产中,经常可以看到由轴、皮带、齿轮等零件组成的机械传动装置。液压传动是和机械传动有原则区别的一种传动装置。它的特点是以液体——油为传动件(介质)。图 1-1 是液压传动装置的原理图。

图中 2 和 4 是两个液压缸,1 和 5 是两个活塞,油管 3 将两液压缸联通。当活塞 1 在 P_1 力作用下向下移动时,缸 2 的体积减小,缸 2 中的油液通过油管 3 被挤入缸 4,这样使活塞 5 向上

运动,完成举起重物 W 的工作。这种在密封容器内,利用受压液体传递压力能,再通过执行机构把压力能转换成机械能而做功的传动方式,称为液压传动。这种液压传动中采用的是容积式液压泵和容积式的液动机,故又称为容积式液压传动。

在生产中还会碰到另一种靠液体流动时的动能来传动的装置(如水轮机等),称为液力传动。液力传动在机床上几乎没有应用,所以本书不作介绍。

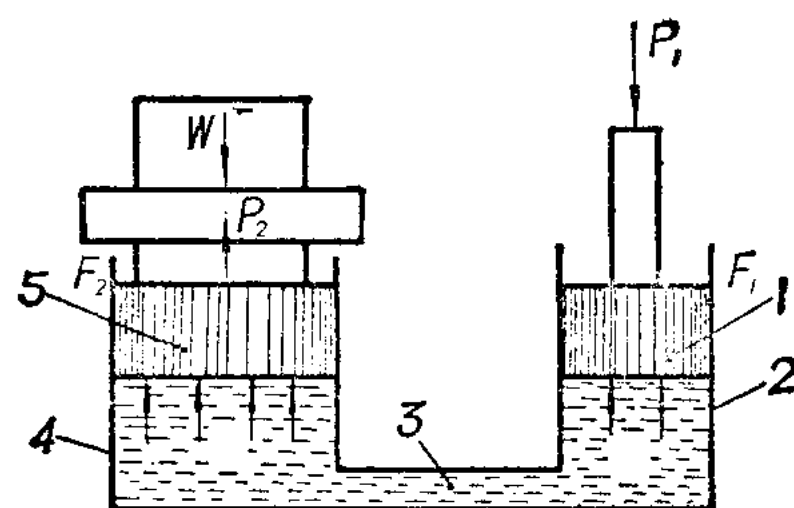


图 1-1 液压传动原理图

一、液体压力的产生及其传递

液体中的静压力,主要由液体自重和液体表面受外力作用而产生。

1. 液体自重所产生的压力

液体自重所产生的压力与离开液面的深度成正比。在离开液面深 h 厘米处取面积为1厘米²的一小块平面,其上所受的液体重力为 $h\gamma$ 公斤力(γ 为液体的重度),则这一小平面上的压力

$$p = \frac{\text{重力}}{\text{面积}} = h\gamma \text{ 公斤力/厘米}^2 \quad (1-1)$$

式中: p ——液体自重产生的压力 (公斤力/厘米²);

γ ——液体重度 (公斤力/厘米³);

h ——液体高度 (厘米)。

〔例〕 已知水的重度 γ 为 1×10^{-3} 公斤力/厘米³,潜水员在水深40米处工作,问受到多大水压力?

解 $p = h\gamma = 40 \times 100 \times 1 \times 10^{-3} = 4$ 公斤力/厘米²

液压传动中所用矿物油的平均重度为 0.9×10^{-3} 公斤力/厘米³,1公斤力/厘米²的压力,相当于油柱高度

$$h = \frac{p}{\gamma} = \frac{1}{0.9 \times 10^{-3}} = 1100 \text{ 厘米} = 11 \text{ 米}$$

时的压力。而一般油柱高度不大,故在液压传动中,液体自重所产生的压力一般可以忽略不计。

2. 液体表面受外力作用所产生的压力

在图1-1液压传动原理图中,外力 P_1 通过活塞1作用在液压缸2内的液体表面上,使缸2中的液体表面每单位面积上承受的压力:

$$p = \frac{P_1}{F_1} \text{ 公斤力/厘米}^2 \quad (1-2)$$

式中: F_1 ——活塞1的面积 (厘米²);

P_1 ——活塞1上的作用力 (公斤力)。

3. 静压传递原理

在密闭的液压系统中,液体压力 p 可以传递到系统中的任意点上而其值不变,这就是静压传递原理,或称“巴斯克”原理。换句话说:相互连通而充满液体的若干容器内,当一处受到压力作

用时,这个压力将通过液体传到各个连通容器内,并且其压力值到处相等。

静压传递原理是液压传动的基本原理。利用这个原理可以计算图 1-1 中力的比例关系。由于压力 p 以同样大小传到缸 4 中,故活塞 5 上产生的力 P_2 应为:

$$P_2 = pF_2$$

或

$$p = \frac{P_1}{F_1} = \frac{P_2}{F_2}$$

即

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{F_1}{F_2} \quad (1-3)$$

式中: F_1 ——活塞 1 的面积 (厘米²)

F_2 ——活塞 5 的面积 (厘米²)

如果 F_2 很大, F_1 很小, 则只需要很小的力 P_1 便能获得很大的力 P_2 推动负载 W , 这就是力的放大机构, 油压千斤顶就是利用这个原理工作的。

在图 1-1 的液压传动图中, 将重物 W 顶起所需要的力量 P_2 就是由 P_1 作用, 经过油管 3 传递, 并在活塞 5 上放大而得到的, 其值利用式(1-3)很容易计算出来。

这里特别要指出的是, 如果活塞 5 上的负载 W (包括物体重力、液压缸阻力等全部外力) 为零, 那么活塞 5 上便没有负载阻力, 故缸 2 的推力也建立不起来 ($P_2=0$), 因此液压缸中也就建立不起压力来 ($p = \frac{P_2}{F_2} = 0$); 或者当活塞 5 运动到底, 压在死挡铁上, 再继续增加活塞 1 的推力, 那么系统中的压力 p 也将很快上升。这种现象表明液压传动系统中常常碰到的一个基本概念: 液压系统中的工作压力决定于负载。

二、液体压力的特性

液压传动是靠压力油传递能量进行工作的。这里, 压力实际上是指液体单位面积上的作用力, 即压力强度, 其常用单位是公斤力/厘米²。

液体静止或者流动速度很低时的压力称静压力, 这里着重讨论液体的静压力, 通称压力。

1. 液体压力的特性

1) 静止液体中, 任何一点所受到的各个方向的压力都相等。如果液体中某点受到各个方向的压力不等, 那么液体就要运动, 破坏了静止的条件。

2) 液体压力垂直于承受压力的面, 其方向与该面的内法线方向相同。如果压力不垂直于承受压力的面, 则液体就要沿着这个面产生相对运动; 又如果压力方向不是与这个面的内法线方向相同, 由于液体不能承受拉力, 液体将离开这个面产生运动; 这些都会破坏液体静止的条件。

3) 与液体接触的物体表面所受的作用力, 根据上述压力的第二个特性, 作用力一定垂直于接触表面, 又根据压力的定义, 其大小为:

$$P = pF \quad (1-4)$$

式中: P ——接触表面上的总作用力 (公斤力);

F ——接触表面的面积 (厘米²);

p ——液体压力 (公斤力/厘米²)。

2. 大气压力、相对压力和绝对压力

空气是有重量的,由空气重力产生的压力,称为大气压力。空气中的任何物体都受到大气压力的作用。根据实验:1个标准大气压力=1.0336 公斤力/厘米²,它相当于760毫米的水银柱高度的压力,为计算方便,工程上取1个工程大气压力=1 公斤力/厘米²。

由于大气中任何物体都受到1个大气压力的作用,上述液压缸内的压力 p 是指超过大气压力的压力。也是一般压力表所示压力(即表压力),称为相对压力,为省略起见,就简称为压力。

计及大气压力的压力称为绝对压力,绝对压力=相对压力+大气压力,参阅图1-2。

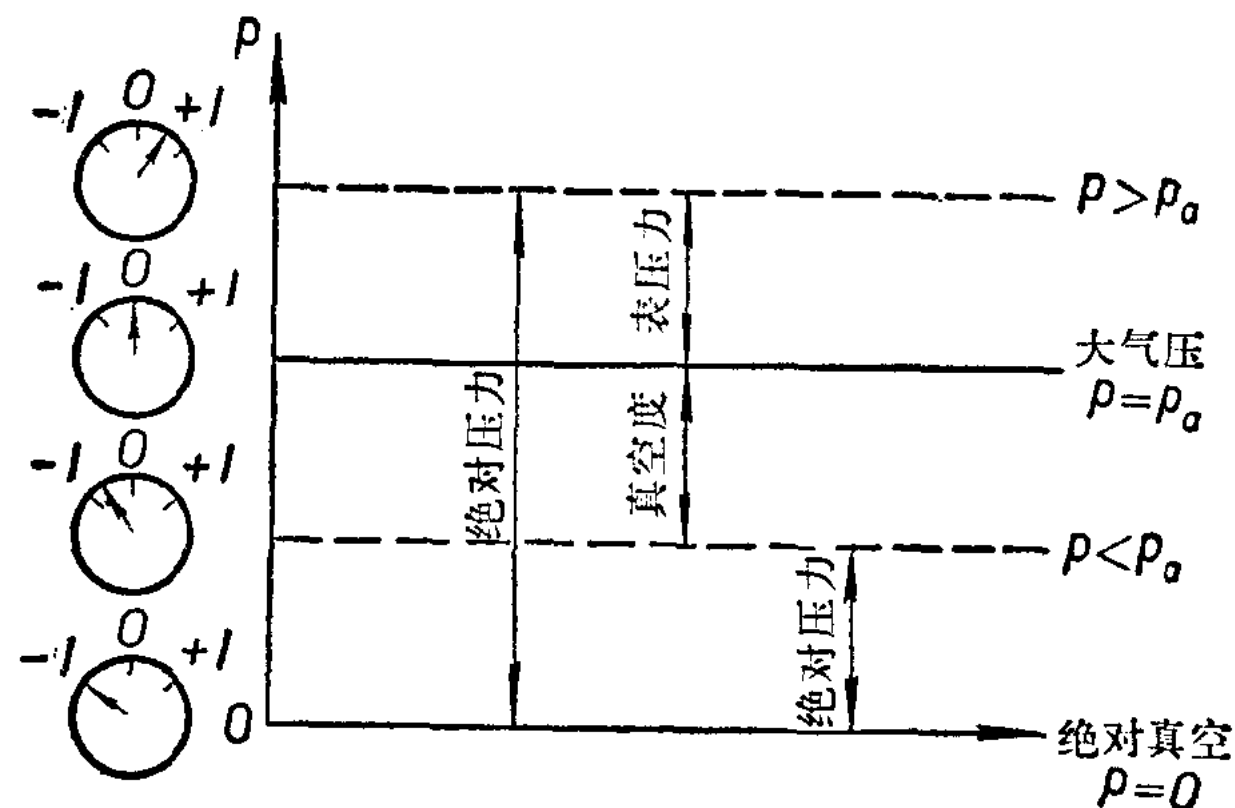


图 1-2 绝对压力、表压力和真空度的关系

相对压力小于零(如液压泵吸油处的压力)时称为真空。故“真空”的地方还有小于1个大气压力的绝对压力。真空度可以用水银柱高度来表示。

三、液体流动时的主要参数和液流连续性原理

液压传动中靠液体来传动,传动时液体在缸及管道中有流动,为此我们要讨论液体流动时的一些特性。

1. 流量和平均流速

液体流动时的主要参数之一是流量和平均流速。

单位时间内进出液压缸或通过管道的液体的体积称为流量(也叫体积流量),流量的常用单位为厘米³/秒或升/分(1升=1000厘米³)等,其符号为 Q 。

液体在管道中流动时的平均流速 $v_{\text{管}}$ 为通过管道的流量除以管道截面积 $f_{\text{管}}$,即

$$v_{\text{管}} = \frac{Q}{f_{\text{管}}} \quad (1-5)$$

$v_{\text{管}}$ 的常用单位为米/秒。

我们在液压传动中主要是讨论稳定流动。所谓稳定流动,是指通过管道的流量或流速不随时间而变化的流动。

2. 流量与液压缸速度的关系

仍以图 1-1 中液压缸 2 为例, 当活塞 1 移动一段距离 L_1 时(图中未注出), 液压缸 2 排出油的体积为 $F_1 L_1$, 如果这一动作在时间 t 内完成, 则液压缸 2 排出的流量

$$Q_1 = \frac{F_1 L_1}{t}$$

由于

$$\frac{L_1}{t} = v_1$$

所以

$$Q_1 = F_1 v_1$$

式中: v_1 ——活塞 1 的运动速度;

F_1 ——液压缸 2 的面积。

同样对于液压缸 4, 有

$$Q_2 = F_2 v_2$$

式中: Q_2 ——进入液压缸 4 的流量;

v_2 ——活塞 5 的运动速度;

F_2 ——液压缸 4 的面积。

概括起来

$$Q = Fv \quad (1-6)$$

式中: Q ——进入液压缸的流量(厘米³/分);

F ——液压缸的面积(厘米²);

v ——液压缸(或活塞)的运动速度(厘米/分)。

即进出液压缸的流量 Q 等于液压缸面积 F 乘以活塞运动速度 v 。所以当液压缸面积一定时, 液压缸(或活塞)的运动速度决定于进入液压缸的流量, 这是液压传动中的又一个重要概念。

3. 液流连续性原理

由于液体基本上不可压缩, 在压力作用下液体中间也不可能有空隙, 所以液体流经管道每一截面的体积(或流量)应相等, 因而进入管道一端和自管道另一端流出的液体的体积(或流量)相等, 这就是液流连续性原理。

利用液流连续性原理, 我们可以计算图 1-1 中的传动速比。由于 $Q_1 = Q_2$, 即 $F_1 v_1 = F_2 v_2$,

则

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{F_2}{F_1} \quad (1-7)$$

四、液体流动时的压力及其传递

1. 液体流动时的动压力

除了静压力外, 液体在流动时还有动压力, 即与液体流速所具有的动能相当的压力。动能所产生的压力

$$p_{\text{动}} = \frac{v^2}{2g} \cdot \gamma \quad (1-8)$$

式中: $p_{\text{动}}$ ——流动液体产生的压力;

v ——液体的流动速度;

g ——重力加速度;

γ ——液体的重度。

这个式子的来源我们将在第十章中讨论。在液压传动系统的压力管道中,一般动压力所占比重很小,可以不计,所以液体流动时,主要考虑静压力。

2. 液体流动时的阻力及压力的传递

液体流经的管道,正象电路中的导线一样,具有一定阻力,液流通过这些管道后,压力要下降一些(压力损失一些)。所以在图 1-1 中,当活塞 1 通过液体使活塞 5 以一定速度运动时,由于管道 3 的阻力,缸 2 中的压力 p_1 应该大于缸 4 中的压力 p_2 (注意:液体静止状态时则 $p_1 = p_2$)

即

$$p_1 = p_2 + \Sigma \Delta p \quad (1-9)$$

式中: $\Sigma \Delta p$ 为管路中的压力损失。

管路中的压力损失 $\Sigma \Delta p$ 包括两种:一种为液体流经直管时,由于液体内摩擦力所造成的压力损失,称为沿程损失,沿程损失与液体粘度及通过管路的流量有关(严格讲与液体在管路中流动的流型有关,详见第十章);另一种是由于液流方向改变、管道截面改变、管路分叉及小孔等所引起的压力损失,称为局部损失,局部损失与流量的平方成正比(详见第十章)。如将管路中的阻力类比成电路的电阻,称为液阻;管路中的流量类比成电路中的电流,管路中的压力降(压力损失)类比成电路中的电位降,则有

$$\Delta p = R_{\text{液}} \cdot Q^\alpha \quad (1-10)$$

式中: Δp ——液阻上压力降;

$R_{\text{液}}$ ——液阻; Q ——流量;

α ——系数。与管路阻力形式及液体流型有关,局部阻力时 $\alpha=2$,沿程阻力时 $\alpha=1\sim 2$ 。

当液阻串联时,流量相同,压力降相加;当液阻并联时,压力降相同,流量按液阻分配,其总流量等于通过各液阻的流量之和。

广义讲,管路中的液阻也是一种负载,这样,“系统中压力决定于负载”这一概念在液体流动时也适用。当负载串联时,如图 1-1,压力 p 决定于外载 W 和管道 3 的阻力之和。当负载并联时,则压力决定于其中最小的负载,如在图 1-1 中管 3 上再接一个缸,而此缸上没有外载,那么系统压力就上不去。

在通过管路的流量不大,液压缸运动速度不高的情况下,管路中的油管本身的液阻可以忽略不计。在以下的章节中分析问题时,为简化起见,除特别指出者外,串联在管路中油管本身的液阻都不予考虑。

§ 1-3 液压传动应用实例

一、油压千斤顶

在上一节中讨论了图 1-1 所示模型的力比和速比,我们只要合理地选择二个缸的面积 F_1 和

F_2 , 就能够达到起重的目的。由于缸 2 行程的限制, 实际使用时系统还需进一步完善。图 1-3 是一般机修时常用的油压千斤顶的原理图。缸 7 的柱塞 8 上加载 W , 缸 2 的活塞 1 由杠杆向下压, 将油压进缸 7, 使柱塞 8 顶载荷 W 上升。在连通缸 2 和缸 7 的油管中增加了一个单向阀 3, 使油只能由缸 2 流向缸 7。在活塞 1 行程终了后又通过杠杆将活塞 1 抬上来, 这时缸 2 下腔体积增加, 油自储油箱 5 通过单向阀 4 吸入, 充满缸 2。再压下活塞 1, 又将油压入缸 7, 又使柱塞 8 带动载荷 W 上升。这样反复拉压活塞 1 就可使载荷不断上升达到起重的目的。将阀门 6 旋转 90° , 在载荷的自重作用下缸 7 内的油排回储油箱 5。比较图 1-1 和图 1-3, 可以看出后者增加了吸油单向阀 4, 排油单向阀 3, 放油阀 6, 及储油箱 5, 这些都是为了使柱塞 8 能够不断上升而

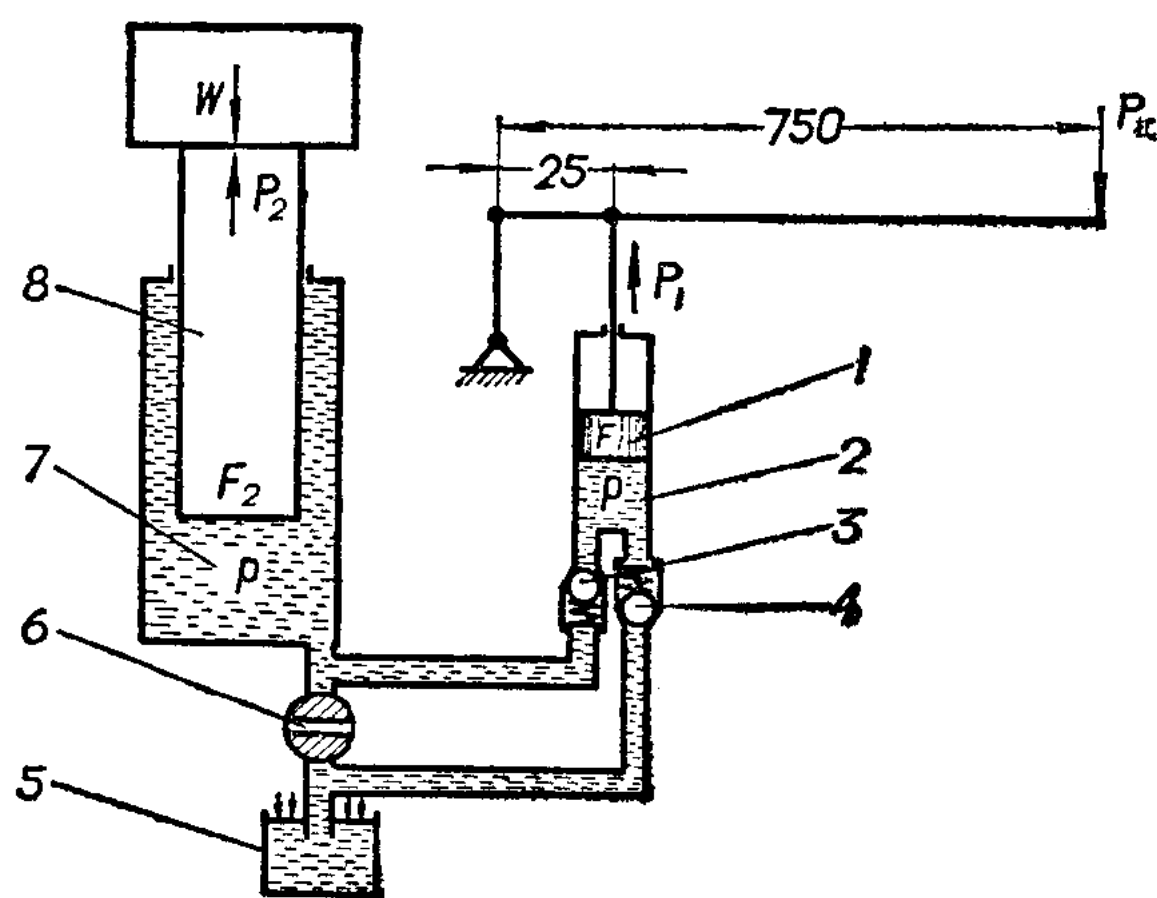


图 1-3 油压千斤顶原理图

设置的。缸 2 及单向阀 3、4 合在一起构成一个手动泵, 它的作用就是不断地给缸 7 供油, 所以我们又可以把油压千斤顶看成主要由一个柱塞缸 7、一个手动泵和一个阀门 6 组成。

〔例〕 图 1-3 中 5 吨油压千斤顶的柱塞 8 直径 $\varnothing 34$ 毫米, 活塞 1 直径 $\varnothing 13$ 毫米, 杠杆长度如图示, 问杠杆端应加多大力才能起重 5 吨重物?

解 $W = 5 \text{ 吨} = 5000 \text{ 公斤力}$

根据压力决定于负载, 柱塞 8 下应有压力为:

$$p = \frac{W}{F_2} = \frac{5000}{\frac{\pi}{4} \times 3.4^2} = \frac{5000}{9.07} \\ = 550 \text{ 公斤力/厘米}^2$$

不考虑管路中的压力损失, 根据静压传递原理, 液压缸 2 内压力也应为 p , 则活塞 1 所承受液体的作用力为:

$$P_1 = p \cdot F_1 = 550 \times \frac{\pi}{4} \times 1.3^2 = 730 \text{ 公斤力}$$

杠杆端需加的力 P_2 :

$$P_2 = \frac{730 \times 25}{750} = 24.3 \text{ 公斤力}$$

二、油压夹具

机械加工时常采用螺钉压板夹紧工件。在大批生产的情况下每天需要夹紧松开次数很多, 操作工人体力劳动强度大, 尤其加工大件时情况更严重, 成年累月的劳动常引起操作工人“腰肌劳损”。无产阶级文化大革命中, 某机床厂大搞技术革命, 广泛使用了油压夹具, 只要轻轻地扳动阀门手柄就能夹紧或松开工件, 从而免除了笨重的体力劳动, 大大地提高了劳动生产率。

图 1-4 就是油压夹具的原理图, 采用液压缸①夹紧工件, 为了减轻体力劳动, 液压泵⑦用电动机带动, 把油不断地从油箱⑥中抽出来, 输送进液压缸。如在图示位置时, 油就通过阀⑤进入液压缸上腔夹紧工件。图中液压泵用职能符号来表示, 机床上常用的泵是齿轮泵和叶片泵, 液压泵的结构和工作原理以后再讲。

由于液压泵不断供油, 故当液压缸充满了油压板③压上工件④后, 缸内油压就不断升高, 如果不加限制, 就会使机件损坏。为此在液压泵出口

管路上, 并联了一个溢流阀⑨。本图中⑨是最简单的溢流阀的结构示意图, 由一个钢珠、一根弹簧及阀体等组成。当压力油的压力升高到超过弹簧的力量时, 油就顶开钢珠, 溢回油箱, 压力就不再升高。调节弹簧的压紧力可以调节溢流的压力。这样, 溢流阀⑨一方面起保护机件的作用, 另一方面维持了液压缸①夹紧工件所需的压力, 所以阀⑨又称为安全阀、定压阀等。

由于液压泵只能一个方向供油, 那么怎么使液压缸换向、工件松开呢? 为此, 在油路中增加了一个手动换向阀⑤。手动换向阀主要由一根阀芯和一个阀体组成。阀芯有三个台肩, 阀体上有五条油沟(沉割槽), 中间油沟 3 与液压泵来的压力油相通, 两边两条油沟 1、5 直接通油箱⑥, 而油沟 2、4 分别与液压缸二腔连接。图示位置 3 与 4 通, 2 与 1 通, 也就是液压缸上腔通压力油, 下腔通回油, 是工件夹紧的位置。如果把阀芯往左推到底, 就变成 3 与 2 通, 4 与 5 通, 压力油进入液压缸下腔, 上腔回油, 工件松开。所以只要扳动换向阀⑤就能夹紧或松开工件。

油路中还有压力表⑧, 用以观察压力。

和油压千斤顶比较可以看到, 夹具的液压系统有以下几个特点: (1)以机动液压泵代替手动泵, 减轻体力劳动; (2)增加了一个溢流阀保护系统并维持夹紧所需的压力; (3)用换向阀代替放油阀。

三、车床进给液压系统

在车、钻、铣、镗等机床中, 常要求刀具(或工件)的进给能按一定的自动循环进行, 例如: 快速进给——工作进给——快速退回——停止等。采用液压传动是很容易实现这个自动循环的。下面介绍某厂技术革新技术革命运动中自制的一台双头车床的液压系统。车床外观见图 1-5。加工对象是空气压缩机拖车上一根轴的两端轴颈。由于零件较长故采用零件固定, 刀具旋转和进给。两个刀具主轴头分别由两个液压缸带动。其液压系统见图 1-6。图中 1、10 是两个进给液压缸, 分别受两个换向阀 4、7 和两个行程节流阀 3、8 的控制。液压泵 6 和溢流阀 5 是公用的(用职能符号表示)。换向阀 4、7 是和图 1-4 中所讲的换向阀类似, 由三节杆和五条沟槽的阀体组成, 不过换向阀不是用手动而是用电磁铁拉动。图示是阀 4 的断电位置, 由弹簧把阀杆顶在左边, 液压泵来的高压油进入阀 4 的中间沟到液压缸 1 的左腔; 液压缸 1 右腔的油经过阀 4 流回油

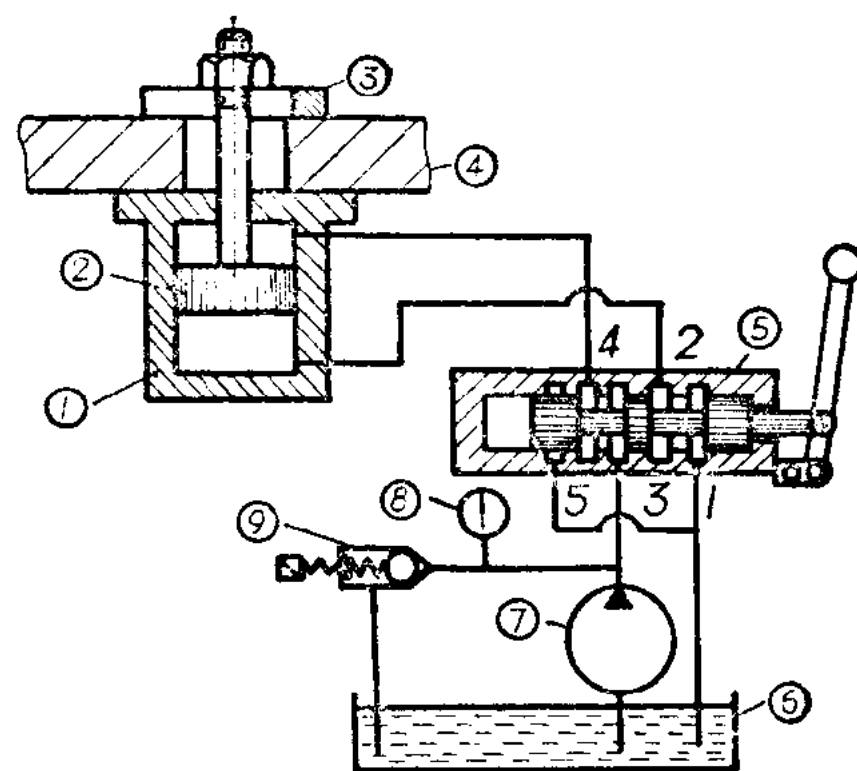


图 1-4 油压夹具原理图

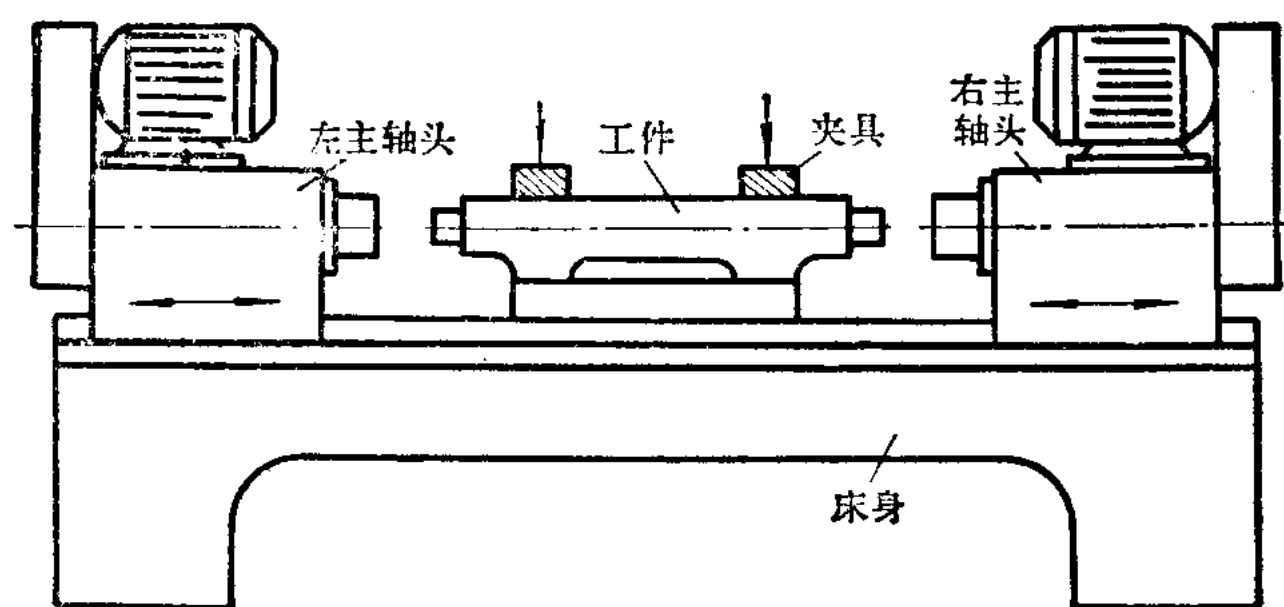


图 1-5 双头车床外形图

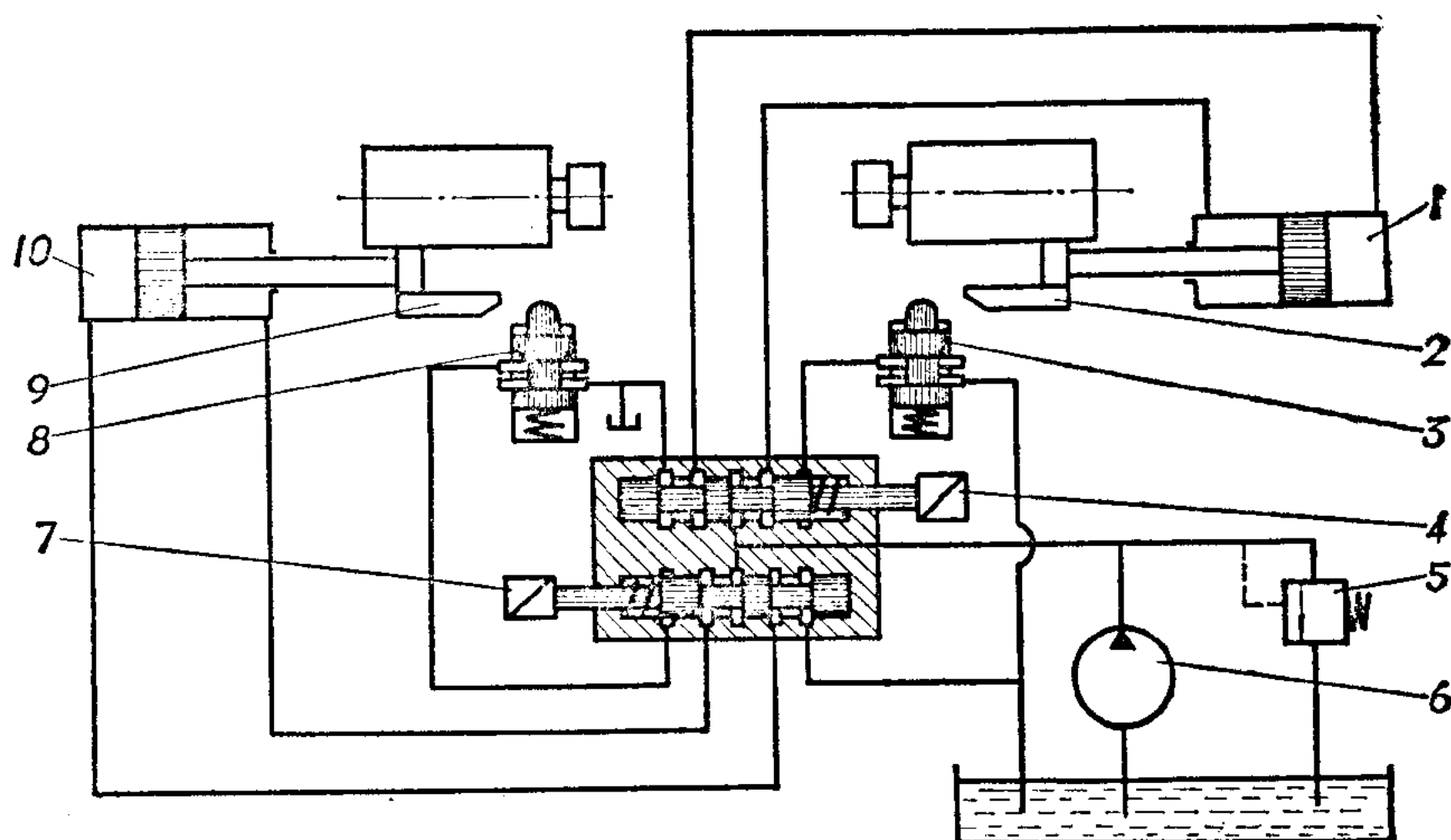


图 1-6 双头车床液压系统图

箱,此时右主轴头后退。当按电钮使电磁铁吸合,阀 4 就被拉到右端。这时压力油通过阀 4 进入液压缸 1 的右腔,缸 1 左腔的油经过阀 4、阀 3 回油,这时液压缸 1 驱动右主轴头向前进给。阀 3 由阀芯及阀体组成,阀体上有二条沟槽,阀芯有二个台肩。图示位置阀 3 被弹簧顶向上端,阀 4 来的油能畅通地经过阀 3 的空刀部分回油,这是快速进给运动。当动力头向前(左)运动一定距离后,行程挡块 2 就压下阀 3 的阀芯,此时阀 4 来的油必须经过阀 3 中阀芯上的小三角槽(图中虚线表示)才能回油,形成了一个液阻,限制了回油的流量,主轴头的速度就慢下来,这是工作进给的状况。阀 3 是一个限制油流量即控制速度的阀,我们叫它节流阀,这个节流阀用行程挡块来控制,所以称之为行程节流阀。与油压夹具系统比较,这个液压系统为了改变运动速度又增加了一个节流的元件,液压缸 10 的液压系统与液压缸 1 完全相同,不再解释。

四、液压系统的组成

通过以上几个实例,我们可以看到任何机床(器)的液压系统都由以下几部分组成:

1. 工作部分或称为执行机构,如液压缸,它带动机床运动;

2. 能源部分, 如液压泵, 它供给压力油;
3. 控制部分, 其中包括:
 - 控制压力的元件, 如溢流阀;
 - 控制流量的元件, 如节流阀;
 - 控制油流方向的元件, 如换向阀;
4. 辅助装置, 如油箱、油管、压力表等;
5. 传动介质, 即油。

除了传动介质(油)外, 液压系统由工作部分、能源部分、控制部分和辅助装置四部分组成, 本书以后的章节将分别讨论这些部分中所包括的元件的结构原理、性能及使用等问题。至于液压系统中的用油问题, 在本章末进一步说明。

§ 1-4 液压传动的优缺点

一、液压传动的优点

1. 可以用液压缸实现无间隙传动, 且传动平稳;
2. 可以很方便地实现频繁的往复运动, 如磨床、刨床工作台的运动;
3. 能在较大的调速范围内较方便地实现无级调速。其结构比一般常用的齿轮变速机构简单;
4. 便于采用电液联合控制实现自动化、过载保护等;
5. 机件在油中工作, 润滑好, 寿命长;
6. 与机械、电力传动方式比较, 液压传动尺寸小、重量轻、动作灵敏;
7. 液压元件大部分是系列化、标准化、通用化的, 因此设计制造液压系统比较方便等。

二、液压传动的缺点

1. 由于油的粘度随温度而改变, 因此油温变化时, 往往调正好的速度会改变, 而且液压系统不宜在高温及低温下工作;
2. 有漏油、压力及机械摩擦三项损失, 传动效率较低, 也不适于远距离传动;
3. 由于油的可压缩性和漏油存在, 所以传动是挠性的, 不宜用于定比传动(如齿轮机床的传动);
4. 液压系统出了故障与机械传动相比, 不容易查找原因;
5. 制造精度要求较高等。

总之, 液压传动的优点较多, 因此在各工业部门得到广泛的应用, 如: 工程机械、压力机等采用液压传动, 主要取其力量大而机构简单的优点; 航空工业采用液压传动主要取其重量轻、体积小的优点; 机床中采用液压传动主要取其便于无级调速、自动化、无间隙传动以及实现频繁往复运动等优点。