

液压传动

薛祖德主编

中央广播电视大学出版社

液 压 传 动

薛祖德 主编

*

中央广播电视大学出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 22 千字 493

1986年6月第1版 1986年9月第1次印刷

印数 1—47,000

书号: 15300·43 定价: 3.60 元

前 言

本教材是根据中央广播电视大学液压传动课程教学大纲编写的。作为电视大学的教材,它应适应远距离教学以及学生来源面广的特点,应做到便于自学,本书在编写过程中力求达到这一要求。对于本教材作以下几点说明:

一、教材的章节安排以及内容的叙述尽可能与讲课紧密配合,而教材比讲课内容更详细;
二、每一章的正文前都有提要,指出本章的学习重点,有时还提出一些学习方法。章末均有小结,简明地对本章主要内容作一归纳;

三、除个别章外,每章有自我检查题和习题,以检查学生对本章重要概念的理解程度,培养学生解决实际问题的能力。在解题过程中,希望学生坚持独立思考,不要忙于看解答;

四、考虑到电大学生来自各行各业,因此教材中所列举的元件、回路和典型系统的类型较多;

五、教材中还包含部分超出教学大纲基本要求的内容以及本门学科的某些新发展、新成果等。各地电大可利用函授学时,选择其中某些内容作为本课程的附加要求。

本教材在章节的安排和某些内容的阐述等方面与传统教科书有所不同。是否恰当以及能否达到预期的效果还有待实践的检验。由于编者学识水平的限制,教材中可能还存在不少错误和缺点,恳切地希望得到国内同行和广大读者的批评指正。

参加本书编写的有:薛祖德(上海第二工业大学,第一、三、十三、十四章)、徐丰仁(清华大学,第九、十二、十五章)、张宝烽(上海第二工业大学,第二、七、八章)、潘龙法(清华大学,第六、十、十一章)和梁曼(中央广播电视大学,第四、五章)。由薛祖德任主编。

本教材由大连工学院刘能宏教授主审。

编 者

1985年12月

目 录

前言

第一章 绪论

§ 1-1 液压传动的工作原理	1
一、简化的模型	1
二、力比和速比	1
三、两个重要概念	2
四、容积式液压传动	3
§ 1-2 液压传动系统实例及液压系统的组成	4
一、液压千斤顶	4
二、磨床工作台液压系统	6
三、液压系统的组成	7
§ 1-3 液压传动的优缺点	8
§ 1-4 液压传动采用的油液及其主要性能	9
一、液压油的某些物理性质	9
二、液压油的选用	14
小结	15
自我检查题解答	15
习题	17

第二章 液压传动的流体力学基础

§ 2-1 液体静力学基础	18
一、液体静压力及其特性	18
二、液体静压力基本方程式及其物理意义	19
三、压力对固体壁面的总作用力	22
§ 2-2 液体动力学基础	24
一、几个基本概念	24
二、液体流动的连续性方程	24
三、伯努利方程	25
四、液体稳定流动时的动量方程	29
§ 2-3 管路压力损失计算	31
一、液体的流态	32
二、沿程压力损失	33
三、局部压力损失	36
四、管路系统总压力损失	36
§ 2-4 液流流经孔口及隙缝的特性	37
一、孔口液流特性	37

二、液流流经隙缝的流量	38
§ 2-5 液压冲击	42
一、液流通道迅速关闭时的液压冲击(水锤现象)	42
二、运动部件制动时产生的液压冲击	43
小结	44
自我检查题解答	45
习题	48

第三章 液压泵和液压马达

§ 3-1 液压泵和液压马达的基本原理及性能	52
一、液压泵的基本工作原理	52
二、液压泵的主要性能参数	53
三、液压马达的主要性能参数	55
四、液压泵和液压马达的类型	57
§ 3-2 柱塞泵和柱塞式液压马达	57
一、轴向柱塞泵	57
二、轴向柱塞式液压马达	68
三、径向柱塞泵和马达	70
§ 3-3 叶片泵和叶片式液压马达	73
一、双作用叶片泵	73
二、双作用叶片式液压马达	78
三、单作用叶片泵	79
§ 3-4 齿轮泵和齿轮式液压马达	81
一、概述	81
二、外啮合齿轮泵工作原理	83
三、外啮合齿轮泵的几个问题	84
小结	86
自我检查题解答	88
习题	90

第四章 液压缸

§ 4-1 液压缸的类型和工作原理	91
一、活塞式液压缸	91
二、柱塞式液压缸	94
三、伸缩式液压缸	95
四、摆动式液压缸	95
§ 4-2 液压缸的密封	97
一、间隙密封	97
二、O形密封圈	98
三、Y形密封圈	99
四、V形密封圈	101
五、密封圈的摩擦阻力	101
§ 4-3 液压缸的结构	101

一、缸筒与缸盖的联接	102
二、活塞结构	102
三、液压缸安装定位	103
四、排气装置	103
五、缓冲装置	104
§ 4-4 液压缸的设计计算	105
一、液压缸主要尺寸的计算	105
二、液压缸强度和刚度校核	106
三、螺纹联接强度的校核	107
小结	109
自我检查题解答	109
习题	110

第五章 液压辅件

§ 5-1 滤油器	112
一、滤油器的作用和过滤精度	112
二、滤油器的典型结构	113
三、滤油器的选用	115
四、滤油器的安装位置	115
§ 5-2 蓄能器	116
一、蓄能器的类型	116
二、蓄能器的功用	118
三、充气式蓄能器的选用	119
§ 5-3 油箱及热交换器	121
一、油箱	121
二、热交换器	122
§ 5-4 其它辅件	124
一、管道	124
二、管接头	127
三、压力表	128
四、压力表开关	128
自我检查题解答	128
习题	129

第六章 方向阀和方向控制回路

§ 6-1 单向阀和液控单向阀	130
一、单向阀	130
二、液控单向阀	131
三、双向液压锁	132
§ 6-2 换向阀	132
一、滑阀式换向阀的换向原理和图形符号	133
二、滑阀式换向阀的结构形式	135
三、滑阀机能	136

四、液压卡紧现象	138
五、操纵方式	139
六、其它结构形式的换向阀	144
§ 6-3 方向控制回路	148
一、启停回路	148
二、换向回路	148
三、锁紧回路	150
小结	151
自我检查题解答	152
习题	153

第七章 压力阀和压力控制回路

§ 7-1 溢流阀和调压回路	155
一、溢流阀的结构和工作原理	155
二、溢流阀的主要性能	160
三、溢流阀的应用和调压回路	163
§ 7-2 减压阀和减压回路	165
一、减压阀的结构和工作原理	165
二、减压回路	167
§ 7-3 顺序阀	169
一、顺序阀的结构和工作原理	169
二、顺序阀的应用	170
§ 7-4 压力继电器	172
一、压力继电器的结构和工作原理	172
二、压力继电器的应用举例	173
§ 7-5 平衡回路	174
一、用单向顺序阀的平衡回路	174
二、用液控顺序阀的平衡回路	175
§ 7-6 卸荷回路	176
一、执行元件不需要保压的卸荷回路	176
二、执行元件需要保压的卸荷回路	178
小结	178
自我检查题解答	180
习题	180

第八章 流量阀和节流调速回路

§ 8-1 调速方法概述	183
§ 8-2 节流阀	184
一、节流阀的作用	184
二、节流阀的特性	184
三、节流口的形式和节流阀的典型结构	185
§ 8-3 采用节流阀的节流调速回路	188
一、进油路节流调速回路	188

二、回油路节流调速回路	192
三、进、回油路节流调速回路比较	193
四、旁油路节流调速回路	194
§ 8-4 节流调速的速度稳定	196
一、调速阀	196
二、溢流节流阀	199
三、调速阀与溢流节流阀的比较	201
小结	201
自我检查题解答	203
习题	204

第九章 容积调速回路

§ 9-1 容积调速回路	208
一、变量泵和定量执行元件组成的调速回路	208
二、定量泵和变量液压马达组成的调速回路	211
三、变量泵和变量液压马达组成的调速回路	212
§ 9-2 容积节流调速回路	214
一、采用限压式变量泵的容积节流调速回路	214
二、压差式变量泵和节流阀组成的容积节流调速回路	215
小结	216
自我检查题解答	217
习题	218

第十章 其它基本回路

§ 10-1 快速运动回路	220
一、液压缸差动连接	220
二、辅助缸	221
三、双泵供油	221
§ 10-2 顺序动作回路	222
一、行程控制	222
二、压力控制	223
三、时间控制	224
§ 10-3 速度切换回路	225
一、用行程阀或行程开关切换执行元件的速度和方向	225
二、用工作压力变化切换速度	226
三、用双活塞液压缸切换速度	226
四、两种工作速度的切换回路	227
§ 10-4 同步回路	228
一、用机械联结实现同步	228
二、用调速阀的同步回路	229
三、用分流阀的同步回路	229
四、用串联液压缸的同步回路	230
五、用同步缸或同步液压马达的同步回路	231

六、用伺服系统的同步回路	231
§ 10-5 液压马达回路	231
一、液压马达串并联回路	232
二、液压马达制动回路	232
§ 10-6 互锁回路	233
一、并联互锁回路	233
二、串联互锁回路	234
§ 10-7 防干扰回路	234
一、双泵供油的多缸快慢速互不干扰回路	234
二、蓄能器防干扰回路	234
自我检查题解答	236
习题	237
第十一章 典型液压系统	
§ 11-1 组合机床液压系统	240
一、概述	240
二、YT4543 型动力滑台液压系统工作原理	240
三、YT4543 型动力滑台液压系统特点	243
§ 11-2 M1432A 型万能外圆磨床液压系统原理	244
一、概述	244
二、工作台往复运动液压操纵箱	244
三、M1432A 型万能外圆磨床液压系统原理	248
§ 11-3 YA32-200 型四柱万能液压机液压系统	249
一、概述	249
二、YA32-200 型四柱万能液压机液压系统原理	250
三、YA32-200 型四柱万能液压机液压系统特点	252
§ 11-4 Q2-8 型汽车起重机液压系统	253
一、概述	253
二、Q2-8 型汽车起重机液压系统原理	253
§ 11-5 SZ-250A 型塑料注射成型机液压系统	256
一、概述	256
二、SZ-250A 型注塑机液压系统原理	258
习题	261
第十二章 液压系统的设计计算	
§ 12-1 明确设计要求,进行工况分析	266
一、明确设计要求	266
二、工况分析	267
§ 12-2 拟定液压系统原理图	271
一、执行元件的类型	271
二、调速方案	271
三、控制方式	272
四、系统安全可靠	272

五、节约能量	273
六、其它	273
§ 12-3 计算和选择液压元件	273
一、选择液压泵	273
二、选择控制阀	275
三、选择液压辅件	275
§ 12-4 绘制工作图,编写技术文件	275
一、绘制工作图	275
二、编写技术文件	276
§ 12-5 液压系统设计计算举例	276
一、题目	276
二、分析工况	276
三、拟定液压系统图	280
四、计算及选择液压元件和电动机	281
习题	282
第十三章 液压伺服系统	
§ 13-1 液压伺服系统的工作原理	284
一、机液位置控制系统	284
二、电液位置控制系统	286
三、液压伺服系统的特点和组成	287
四、液压伺服系统的类型	288
§ 13-2 液压伺服系统的应用	288
一、液压仿形装置	288
二、液压助力器	291
三、钢带张力控制系统	292
四、实现同步运动	292
§ 13-3 机液阀控液压缸系统分析	293
一、阀控液压缸的开环静态特性	293
二、阀控液压缸(闭环)运动微分方程	296
三、阀控液压缸系统分析	298
§ 13-4 电液伺服阀	300
一、动圈式电液伺服阀	301
二、喷嘴挡板式电液伺服阀	302
三、电液伺服阀的一些性能	304
小结	306
自我检查题解答	306
习题	307
第十四章 比例阀和插装阀	
§ 14-1 电液比例阀	309
一、比例电磁铁	309
二、比例压力阀	311

三、比例流量阀.....	313
四、比例方向阀和比例复合阀.....	316
五、电液比例阀的特性.....	317
六、采用比例阀的液压系统实例.....	318
§ 14-2 插装阀.....	318
一、概述.....	318
二、结构和工作原理.....	319
三、插装阀用作方向控制阀.....	320
四、插装阀用作压力控制阀.....	324
五、插装式流量控制阀.....	225
六、插装阀集成块.....	325
自我检查题解答.....	326
习题.....	327
第十五章 液压系统的使用与维护	
§ 15-1 油液的污染及其控制.....	328
一、污染的途径.....	328
二、污染的危害性.....	328
三、油液的清洁度.....	329
四、油液污染的控制及管理.....	329
§ 15-2 液压系统的使用与维护.....	332
一、建立严格的维护保养制度.....	332
二、液压系统的故障及其排除.....	332
主要参考文献.....	334
附录 常用液压系统图形符号(GB786-76)	335

第一章 绪 论

本章叙述液压传动的基本原理和液压传动所采用介质(液体)的性能。通过本章学习,在液压传动基本原理方面要求掌握:(1) 液压传动中,液体是在什么条件下,利用流体力学的哪些规律来传递力和运动的;(2) 液压传动的基本参数以及它们和机械运动参数间的关系;(3) 与压力、流量有关的两个重要概念;(4) 液压传动系统的基本组成。在传动介质的性能方面则要求掌握液体粘性的物理意义、度量单位以及影响液体粘性的主要因素;液体可压缩性的定义及其数量级;认识到正确选用液压传动用油的品种和牌号的重要意义。

§ 1-1 液压传动的工作原理

一、简化的模型

在机械传动中,人们利用各种机械构件来传递力和运动,如杠杆、凸轮、轴、齿轮和皮带等等。在液压传动中,人们则利用没有固定形状但具有确定体积的液体来传递力和运动。图 1-1(a) 是一个经过简化的液压传动模型。图中有两个直径不同的液压缸 2 和 4,缸内各有一个与内壁紧密配合的活塞 1 和 5。假设活塞能在缸内自由(无摩擦力)滑动而液体又不会通过配合处产生泄漏。缸 2、4 的下腔用一管道 3 连通,其中都充满液体。这些液体是和外界隔离的,或者说是在密封容积内的。如果活塞 5 上有重物 W ,则当活塞 1 上施加的 F 力达到一定大小时,就能阻止重物 W 下降。也就是说密封容积中的液体可传递力。当活塞 1 在 F 力作用下向下运动时,重物 W 将随之向上运动。所以,密封容积中的液体不但可传递力,还可传递运动。但是要强调指出,液体必须在密封容积中才能起传动介质的作用。

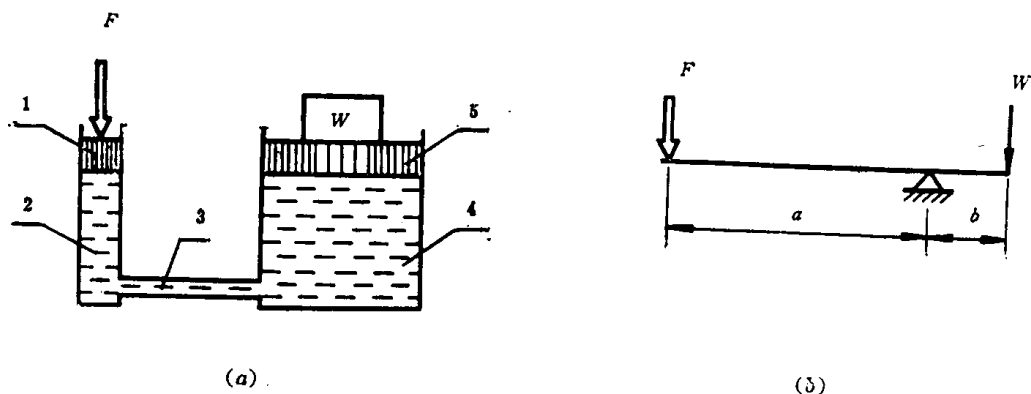


图 1-1 简化的液压传动模型

二、力比和速比

下面我们进一步考察上述模型中的力比和速比。在传动过程中密封容积内的液体受到挤压,产生一定压力,液体压力又作用在活塞上。活塞 1 单位面积上受到的压力(以下简称压力)为

$$p_1 = \frac{F}{A_1}$$

活塞 5 受到的液体压力为

$$p_2 = \frac{W}{A_2}$$

式中 A_1 、 A_2 分别为活塞 1、5 的面积。

根据流体力学中的帕斯卡定律“平衡液体中某一点的液体压力等值地传递到液体各处”，则有

$$p_1 = p_2 = p = \frac{F}{A_1} = \frac{W}{A_2} \quad (1-1)$$

或

$$\frac{W}{F} = \frac{A_2}{A_1} \quad (1-2)$$

也就是说输出端的力和输入端的力之比等于二活塞面积之比。

如果活塞 1 向下移动了一段距离 L_1 ，则液压缸 2 内被挤出的液体体积为 $A_1 L_1$ 。这部分液体进入液压缸 4，使活塞 5 上升 L_2 ，其让出的体积为 $A_2 L_2$ 。不考虑泄漏和液体的可压缩性，二体积应相等，即

$$A_1 L_1 = A_2 L_2$$

或

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{A_1}{A_2} \quad (1-3)$$

进一步认为这些动作是在时间 t 秒内完成，活塞 1 的速度 $v_1 = \frac{L_1}{t}$ ；活塞 5 的速度 $v_2 = \frac{L_2}{t}$ ，则有

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{A_1}{A_2} \quad (1-4)$$

式(1-3)和(1-4)说明输出、输入的位移和速度都与二活塞面积成反比。式(1-4)可写成

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (1-5)$$

这在流体力学中称为液流连续性原理，它反映了物理学中质量(当密度不变时，即为液体体积)守恒这一事实。或者说液压传动中传递运动时其速比是依靠密封容积中液体体积守恒这一规律来保证的。

将式(1-2)和(1-4)相乘，得

$$W v_2 = F v_1 \quad (1-6)$$

式左边和右边分别代表输出和输入的功率，这说明能量守恒也适用于液压传动。

通过以上分析可以看到，上述模型中两个不同面积的活塞和液压缸相当于机械传动中的杠杆，其面积比相当于杠杆比，即 $\frac{A_1}{A_2} = \frac{b}{a}$ [图 1-1(b)]。因之采用液压传动可以达到传递动力，增力，改变速比等目的，并在不考虑损失的情况下保持功率不变。

三、两个重要概念

上述模型中，只有活塞 5 上有了重物 W (负载)，活塞 1 上才能施加作用力 F 。而有了负载和作用力，才产生液体压力。所以就负载和液体压力二者来说，负载是第一性的，压力是第二性

的。即有了负载,液体才会有压力,并且压力大小决定于负载。简单地说,液压传动中液体压力决定于负载。这是一个很重要的概念,今后在分析液压传动中元件和系统的工作原理时经常要用到它。实际上,液压传动中液体的压力相当于机械传动中机械构件的应力。机械构件应力是决定于负载的,同样液体的压力也是决定于负载的。但是机械构件在传动时可以承受拉、压、弯、剪等各种应力,而液压传动中液体只能承受压力,这是二者的重要区别。

令式(1-5)中 $Q = A_1 v_1$, 其中 Q 表示活塞 1 以速度 v_1 运动时, 单位时间内从液压缸 2 中排出液体的体积, 称为流量。流量 Q 进入液压缸 4 时, 活塞 5 的运动速度为

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} \quad (1-7)$$

即从动活塞 5 的运动速度决定于进入液压缸的流量。简单地说, 速度决定于流量。这是和压力决定于负载同样重要的一个概念。

利用式(1-1)、(1-6)和(1-7)可得

$$W v_2 = p A_2 \cdot \frac{Q}{A_2} = p Q \quad (1-8)$$

式(1-8)左边是输出功率, 右边压力 p 和流量 Q 的乘积也代表功率。所以压力 p 和流量 Q 是液压传动中最重要的参数, 前者代表力, 后者代表速度, 而二者的乘积则是功率。

自我检查题 1-1 图 1-2 是两个水平放置的液压缸, 其它情况和图 1-1 相似。活塞 5 用以推动一个工作台, 工作台上运动阻力为 F_R 。活塞 1 上施加作用力 F 。液压缸 2 的缸径为 20mm, 而液压缸 4 的缸径为 50mm。 F_R 为 1960N。在以下几种情况下, 计算密封容积中液体压力并分析两活塞的运动。

- (a) 当活塞 1 上作用力 F 为 314N;
- (b) 当 F 为 157N;
- (c) 当 F 为 628N。

(不考虑活塞与液压缸之间的摩擦力以及液体通过间隙的泄漏)。

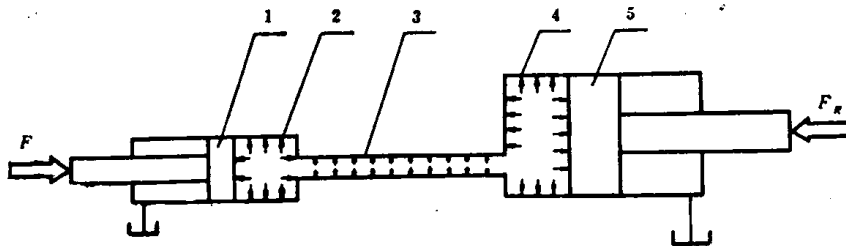


图 1-2 两个水平放置的液压缸

四、容积式液压传动

前文已分析过, 图 1-1 中主动活塞运动后使一定体积的液体挤出, 这些液体进入从动液压缸, 使从动活塞产生运动, 而二者间的运动关系是依靠主动件(活塞1)挤出的液体体积与从动件(液压缸4)所得到的液体体积相等来保证的。这种传动称为容积式液压传动。另一方面, 在传动过程中力的传递是依靠密封容积中液体静压力来实现的, 所以又称为静压传动。液体无固定形

状而只有一定体积,不能承受拉力。与机械传动相比,液压传动具有很多特点,其主要原因就是上述液体性质引起的,在学习本门课程时应予注意。

工业上另外有一种依靠液体的动能及其转换来实现力和运动的传递的方法,称为动力式液力传动。如离心式水泵、水轮机、液力耦合器和液力变矩器等。这种传动和静压传动的原理完全不同,是另一专门学科,不属本课程的范围。

自我检查题1-2 自我检查题 1-1 中,其它条件不变,只是使活塞 1 上的作用力 F 反向(即拉活塞1),问活塞 5 能否产生运动?为什么?如果工作台上运动阻力 F_R 为零,则又将怎样?

§ 1-2 液压传动系统实例及液压系统的组成

一、液压千斤顶

液压千斤顶原理见图 1-3, 这是在图 1-1 模型的基础上进一步完善而成。当向下压杠杆 1 时,小活塞 3 使缸 2 内的液体经管道 6、阀 7 进入大缸 9,并使活塞 8 上升,顶起重物 W 。适当地选择大、小活塞面积和杠杆比,就可以人力升起很重的负载 W 。但是作为千斤顶还存在两个问题:(1) 小活塞向下走完全行程,大活塞只能上升很小的距离;(2) 必须在小活塞上(即杠杆上)保持作用力,才能维持重物 W 不下降。这两个问题不解决,千斤顶就无法付诸实用。为此增加了单向阀 4 和 7,单向阀只允许液流单向流动。在用杠杆提升小活塞时,由于单向阀 7 只容许液流由小缸流入大缸,而不容许大缸向小缸倒流,所以大活塞保持不动。与此同时,油箱 12 内的油液则经吸

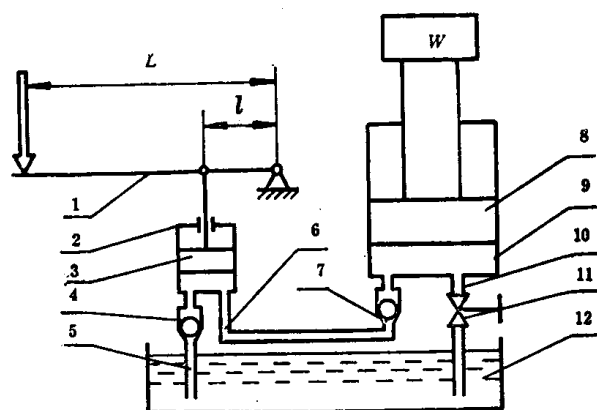


图 1-3 液压千斤顶原理图

1—杠杆 2—小液压缸 3—小活塞 4、7—单向阀
5、6、10—管道 8—大活塞 9—大液压缸 11—放油螺塞 12—油箱

油管 5 和单向阀 4 被吸入小缸。再次向下压小活塞时,单向阀 4 关闭,油液经单向阀 7 进入大缸,使大活塞又上升一段距离。反复使小活塞上下运动,大活塞便不断上升,其上升的距离只受大液压缸最大行程的限制。这样,上述两个问题就得到解决。图 1-3 与图 1-1 简化模型相比,还有一个差别:前者密封容积中的液体量不是固定不变的,而后者油液不断从油箱中吸出并压入密封容积。其目的是使大活塞(从动件)行程不受小活塞(主动件)行程限制。但如果只考察小活塞向下

运动的过程,则密封容积及其中液体的体积仍是固定的,因此这并不影响其基本工作原理。图中11是一个放油节门(螺塞),当千斤顶工作时它是关闭的。打开放油螺塞,大缸下部的油液在大活塞和液体自重的作用下便流回油箱,以实现大活塞的回程。

小缸、小活塞以及单向阀4、7组合在一起,就可以不断从油箱吸油和不断将油液压入大缸,我们把这个组合体称为液压泵。液压泵的作用是提供一定流量的压力油液。泵的压力决定于重物 W 的重量(负载),而其流量 Q 等于小活塞面积 A_1 、行程 L_1 和单位时间内的往复次数 n 三者之乘积,即

$$Q = A_1 L_1 n \quad (1-9)$$

大活塞和大缸用以带动负载,使之获得所需要的运动,所以称为执行元件。实际上它是一个实现直线运动的液动机,它的运动速度由进入液压缸的流量决定,可按式(1-7)计算。打开放油螺塞11可使大活塞回程,所以它是一个控制执行元件运动方向的控制阀。

图1-4为液压千斤顶的实际结构图。

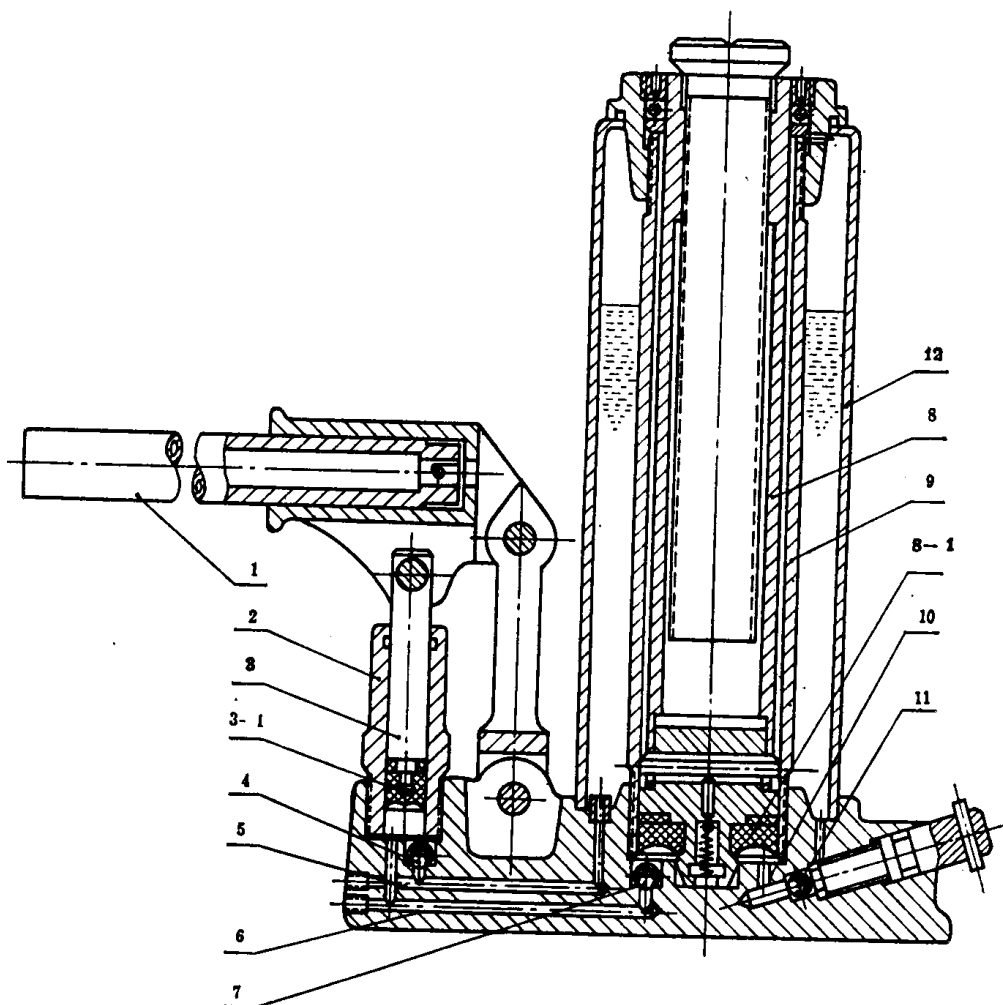


图1-4 液压千斤顶结构图

- | | | |
|---------|-----------|-------------|
| 1—杠杆 | 2—小液压缸 | 3—小活塞 |
| 4、7—单向阀 | 5、6、10—管道 | 8—大活塞 9—大缸 |
| 11—放油螺塞 | 12—油箱 | 3-1、8-1—密封圈 |

二、磨床工作台液压系统

图 1-5 所示是一个用以实现平面磨床工作台往复运动的液压系统。图中 4 是一个齿轮泵。虽然它的结构和图 1-3 千斤顶中的泵截然不同,并且不是手动而是用电动机带动的,但其作用还是一样,即用以提供一定流量的压力油液。在图 1-5(a)所示位置,压力油液经阀 11、13 和 15 进入液压缸 19(执行元件)左腔,而液压缸右腔则又经阀 15 和管道 29 等与油箱相通。活塞 25 在压力油液作用下带动工作台向右运动。此处液压缸 19 和图 1-3 千斤顶中的液压缸 9 有所不同。千斤顶中缸 9 只有一个进出油口,当此口与压力油液相通时活塞上升;当此口与油箱相通时,活塞在其自重作用下下降。而在图 1-5 中,液压缸 19 的两腔各有一个出入口。在图(a)位置时,活塞向右运动,直至工作台上的挡块 21 碰撞杠杆 17,从而使阀 15 的阀芯 28 向左移动至图(b)所示位置。此时液压缸两腔与进油和回油的连通状态改变,即右腔进油,左腔回油,所以活塞及工作台

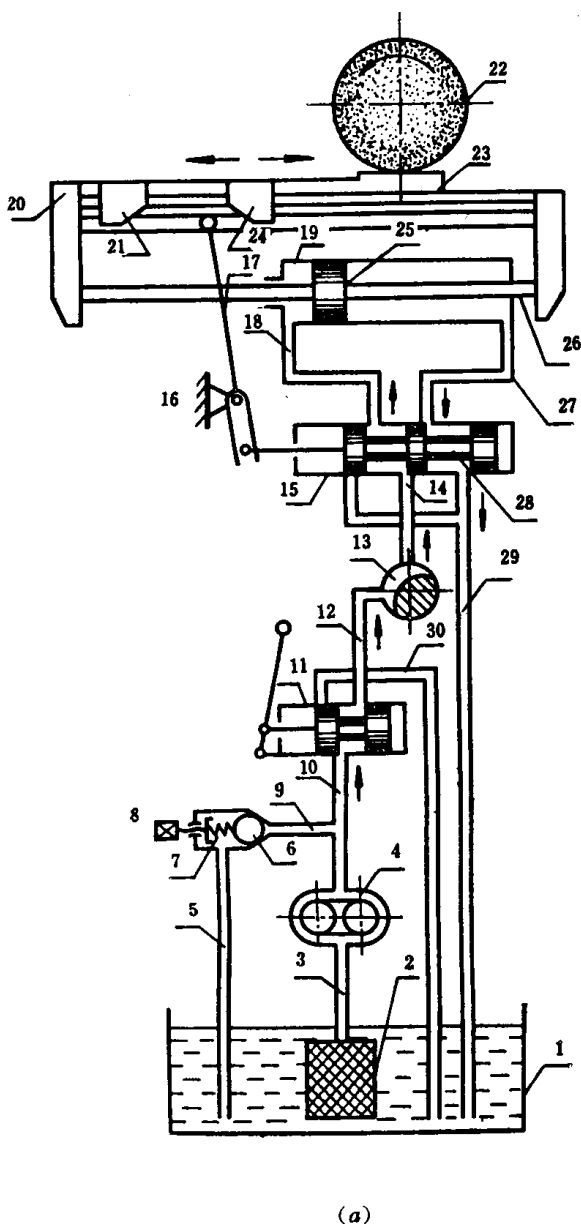


图 1-5 磨床工作台液压系统原理图

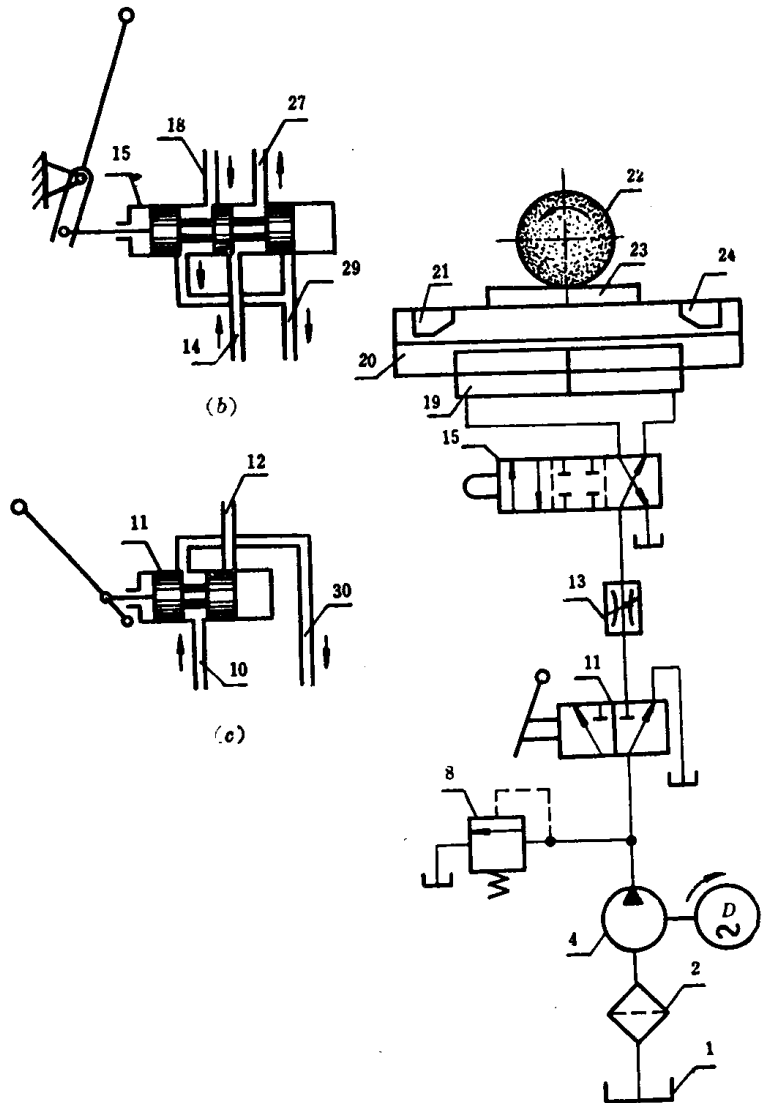


图 1-6 用图形符号表示的磨床工作台液压系统原理图