



全国中等职业技术学校机械类专业教材

液压元件装试

与

液压传动



中国劳动社会保障出版社

全国中等职业技术学校机械类专业教材

液压元件装试与液压传动

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

孙承辉 主编

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

液压元件装试与液压传动/孙承辉主编. —北京:中国劳动社会保障出版社,2005
全国中等职业技术学校机械类专业教材
ISBN 7-5045-2267-8

I. 液… II. 孙… III. ①液压元件-安装 ②液压元件-调试 ③液压传动
IV. TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 047067 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街1号 邮政编码:100029)

出 版 人:张梦欣

*

新华书店经销

国防工业出版社印刷厂印刷 北京密云青云装订厂装订

787 毫米×1092 毫米 16 开本 7.5 印张 186 千字

2005 年 6 月第 1 版 2005 年 6 月第 1 次印刷

印数:4 000 册

定价:18.00 元(含光盘)

读者服务部电话:010-64929211

发行部电话:010-64911190

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话:010-64911344

前言

随着液压技术的成熟和发展,“机电液一体化”已经是企业不可缺少的技术,但这方面的技术人才比较缺乏。

本书在编写过程中将职业教育与职业技能鉴定紧密结合,依据企业工程中的实际问题展开,着力于激发学生的学习兴趣,内容力求做到少而精,并将文字表述与多媒体演示紧密结合,表现形式图文并茂、通俗易懂。本书的编写完全贯彻国家标准,本书的基本内容有概论、液压传动基础知识、液压元件、液压基本回路、典型液压系统、液压元件装试及液压系统调试和液压系统常见故障分析。

本书有配套光盘,其突出的特点是:

1. 模拟液压泵和液压控制阀的工作原理,模拟液压泵和液压控制阀的拆装以及液压基本回路及液压系统的工作状况,所示图形的动画演示逼真。
2. 液压元件的教学实现多媒体教学模式,脱离传统黑板教学方式。
3. 全中文界面,操作简单,模拟逼真、漂亮,交互性好。
4. 如果采用计算机控制液压综合实验台教学设备,则可以达到计算机仿真与实际相结合的目的,多媒体教学与实际操作可同步进行。

配套光盘内容主要有“液压系统原理演示”;“液压元件原理演示”,包括液压泵和液压控制阀的工作原理;“液压元件装试”,包括叶片泵和先导式溢流阀的拆装;“液压系统模拟操作”包括液压基本回路和典型液压系统的模拟演示。配套光盘中对计算机控制液压综合实验台教学设备进行了简单的介绍。

本书可用于中等职业技术学校机电技术应用、机械制造、数控技术等专业的液压传动课教学,也可用于“液压元件装试工”工种的培训和中、高级技能鉴定的辅导教材,并可用于高职等层次的参考教材。

本书由孙承辉担任主编,张爱军、金镛、宋懿和崔国利参加编写。其中由孙承辉编写第一章~第四章,张爱军编写第六章,金镛编写第七章,宋懿编写第五章第一节、第二节,崔国利编写第五章第三节。本书主审为任级三、于治明。

本书的插图由孙承辉、孙建维、焦如俭、佟萍、管宏等制图,文稿校对由杨延新、侯

滨、侯东亮等完成。

本书配套光盘由孙承辉主编及策划，脚本制作由孙承辉、张爱军完成，软件制作由彭义、张爱军、杨延新完成，美术由杨延新、刘嘉羽完成，测试由彭义、杨延新完成。制作完成单位是沈阳同晟高新技术有限公司。

全书的编写得到了有关院校及企业的支持，特别是沈阳同晟高新技术有限公司、东北大学及沈阳航空工业学院的于金、李成山等的大力支持及帮助，在此表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限、时间紧迫，书中难免会有缺点和错误，请广大读者批评指正。

劳动和社会保障部教材办公室

2005年6月

目 录

第一章 概论	(1)
思考与习题	(3)
第二章 液压传动基础知识	(4)
§ 2—1 液压油	(4)
§ 2—2 流体力学基础	(6)
§ 2—3 液体流动中的压力和流量损失	(9)
§ 2—4 液压冲击和空穴现象	(10)
思考与习题	(11)
第三章 液压元件	(13)
§ 3—1 液压泵	(13)
§ 3—2 液压缸	(21)
§ 3—3 液压控制阀	(26)
§ 3—4 液压系统辅助装置	(39)
思考与习题	(41)
第四章 液压基本回路	(43)
§ 4—1 方向控制回路	(43)
§ 4—2 压力控制回路	(45)
§ 4—3 速度控制回路	(50)
§ 4—4 顺序动作回路	(55)
§ 4—5 同步控制回路	(58)
思考与习题	(60)
第五章 典型液压系统	(62)
§ 5—1 组合机床动力滑台液压系统	(62)
§ 5—2 液压机液压系统	(64)
§ 5—3 数控车床液压系统	(69)
思考与习题	(69)
第六章 液压元件装试和液压系统调试	(71)
§ 6—1 液压元件装试	(71)

§ 6—2 液压系统的调试	(76)
思考与习题	(77)
第七章 液压系统常见故障分析	(78)
思考与习题	(84)
附录 1 《液压气动图形符号》摘录	(85)
附表一 符号要素	(85)
附表二 管路及连接	(87)
附表三 机械控制件、控制方法符号	(87)
附表四 泵、马达、缸	(89)
附表五 A 控制元件	(91)
附表五 B 控制元件	(93)
附表六 辅助元件	(96)
附表七 油箱符号	(96)
附表八 流体调节器	(96)
附表九 检测器或指示器符号	(97)
附录 2 中华人民共和国机械行业标准液压叶片泵试验方法 (摘录)	(98)
附录 3 中华人民共和国国家标准压力控制阀试验方法 (摘录)	(106)

第一章

概 论

随着控制技术、计算机技术、数控机床的发展，液压传动得到了广泛的应用。传动方式有机械传动、电气传动、气压传动和液压传动，目前机床设备及其他大多数机械设备几乎都采用了液压传动。液压传动是以液体作为工作介质来进行能量传递的一种传动形式，它通过能量转换装置（如液压泵）将原动机（如电动机）的机械能转换为液体的压力能，并依靠压力能来实现能量的传递。

本章介绍液压传动原理及其系统组成、液压传动系统的图形符号和液压传动的特点等。

一、液压传动的原理及其组成

图 1—1a 所示是液压系统原理图，工作过程在配套光盘的“液压系统原理图”中有演示。

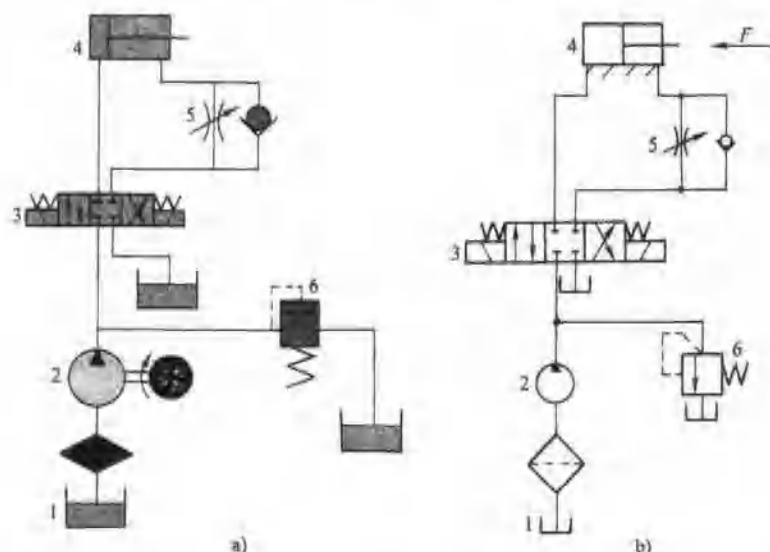


图 1—1 液压系统原理图

由图 1—1 可知，工作时开动液压泵 2，通过滤油器，从油箱 1 中吸油。液压泵 2 输出的压力油，经管路和换向阀 3 的左位进入液压缸 4 的左腔，推动活塞向右运动而作功。液压缸 4 右腔中的油，则经流量控制阀 5、换向阀 3 流回油箱。操纵换向阀 3，使其右位接入工作，则由液压泵输出的压力油可进入液压缸 4 的右腔，推动活塞向左移动。

图 1—1b 所示是用液压元件职能符号画出的液压系统原理图。

1. 液压传动原理的基本要点

- (1) 采用液体作为工作介质；
- (2) 必须在封闭的系统内进行；
- (3) 依靠液体的压力能来传递动力，依靠液压缸或液压马达的容积变化来传递运动。

2. 液压系统的组成

液压系统一般包括五个组成部分。

(1) 动力装置 指液压泵，它将电动机或其他原动机产生的机械能转换成油液的压力能，给液压系统提供压力油液。

(2) 执行装置 指液压缸或液压马达，其作用是将油液的压力势能转换为机械能，传输到工作机构上。

(3) 控制装置 指各类液压控制阀，用以保证执行元件得到所要求的运动方向、速度和压力。

(4) 辅助装置 包括油箱、管路、管接头、蓄能器、滤油器和各种控制仪表等。通过这些元件把系统连接起来，保证系统正常工作。

(5) 工作介质 液压油或其他合成液体。

二、液压传动系统的图形符号

所谓液压系统的图形符号就是液压元件职能符号，是为了便于绘制液压原理图，对各种液压元件不考虑其具体结构形状，不考虑其参数，而由国家标准（GB/T 786.1—93）规定的图形符号。如图 1—1b 中的 3 代表了一个电磁换向阀，这种图形符号表示了该元件的职能和通路连接情况。液压系统的图形符号参见附录 1。

液压系统中规定，液压元件的图形符号以元件静止状态或零位来表示。

三、液压传动的特点及应用

1. 液压传动的特点

液压传动与其他传动形式相比，有以下一些主要特点：

(1) 在相同输出功率的条件下，液压传动装置的质量和体积都比其他传动方式的更小、更轻，惯性小，结构紧凑。液压传动容易获得很大的力或力矩。

(2) 液压传动工作平稳，动作灵敏，能快速启动、制动和换向。液压传动装置的换向频率、回转运动每分钟可达 500 次，往复直线运动每分钟可达 400~1 000 次。

(3) 液压传动能在较大的范围内实现无级调速。

(4) 液压传动装置的操纵简单，与电气传动、PLC 控制、计算机控制等相配合易于实现远距离操纵和自动控制。

(5) 液压传动装置易于实现过载保护，液压元件能自行润滑，所以寿命长。

(6) 液压传动也易于标准化、系列化，便于设计制造。

(7) 液压传动在工作过程中常有较多的能量损失（摩擦损失、泄漏损失等）。

(8) 为防止泄漏，液压元件要求制造精度高。

(9) 油液混入空气会产生噪声、振动和爬行。

(10) 液压传动对油温和负载变化敏感，不宜于在低温和高温下使用。

(11) 液压系统故障分析排除较困难，使用维护的技术水平要求较高。

2. 液压传动的应用和发展

液压传动在国民经济中发挥了巨大的作用，在各行业中得到了广泛的应用。如机床行业中的磨床、铣床、组合机床、数控机床和加工中心；在工程机械中的装载机；汽车工业中的自卸式汽车和平板车；农业机械中的拖拉机悬挂装置；冶金机械中的电炉控制系统和轧钢机控制系统；起重运输机械中的起重机、叉车和液压千斤顶；矿山机械中的开采机、液压支架和采煤机；建筑机械中的打桩机和平地机。液压技术已渗透到各个工业领域，极大地促进了各行业的发展。

随着液压机械自动化程度的不断提高，液压元件数量急剧增加，元件的小型化、系统集成化是必然的发展趋势。特别是近年来，机电技术尤其是数控机床的迅速发展，液压技术与传感技术、微电子技术密切结合，出现了许多新型元件，如电液比例阀、电液伺服阀等元器件，使液压技术向高压、高速、大功率、节能高效、低噪声、长寿命、高集成化等方向发展。同时，液压元件和液压系统的计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助测试（CAT）以及计算机实时控制，也是当前液压技术的发展方向。

思考与习题

1. 液压传动与机械传动相比有哪些优缺点？举例说明。
2. 液压系统的组成部分有哪些？各部分的作用是什么？

第二章

液压传动基础知识

液压传动的工作介质是流体。因此，了解流体的物理性质，掌握必要的流体力学基础，对理解液压传动的基本原理，合理使用液压系统是十分重要的。

本章介绍液压油、流体力学基础、液体流动中的压力和流量损失、液压冲击和空穴现象。

§ 2—1 液压油

液压传动中常用液压油作为工作介质。

一、黏性及黏度

液体在外力作用下流动时，其分子间的内聚力要阻碍分子间的相对运动而呈现出内摩擦阻力，这一特性称为液体的黏性。黏性是液体的重要物理性质。

黏性的大小用黏度来表示。常用的黏度有三种，即动力黏度、运动黏度和相对黏度。动力黏度是指液体流动的液层间单位面积上的内摩擦力；运动黏度是动力黏度与液体密度的比值；相对黏度是采用特定的黏度计测量出来的黏度，我们采用的恩氏黏度是用恩氏黏度计测量的黏度。

液压油的性能指标是黏度，常用运动黏度（单位是 mm^2/s ）的大小，来确定液压油的牌号。例如，液压油 N32 就是指这种液压油在 40°C 时的运动黏度的平均值为 $32 \text{ mm}^2/\text{s}$ 。

影响液压油黏度最显著的因素是温度，黏度随着温度的升高而降低。油液黏度的变化直接影响液压系统的性能和泄漏量。

工作时，液压油的温度不能过高并要定期更换新油。国产液压油的使用寿命一般都可达一年以上，使用一年后可视实际情况考虑是否更换新油。更换新油时，应将油箱和系统管道进行必要的清洗，新油也应在过滤后才可注入油箱。

液压油的密度随着温度的升高而下降，随压力的增高而增大，但当工作油压力在中压（ $2.5 \times 10^6 \text{ Pa}$ ）以下时，一般可以近似地将油液看成是不可压缩的。

二、液压油的选用

液压油的种类较多,合理选择液压油应参考以下几个方面:

- (1) 在正常温度内,黏度随温度的变化越小越好。
- (2) 润滑性能好。
- (3) 化学稳定性好,不易氧化变质。
- (4) 油液中含杂质少。

液压油的种类及性质见表 2—1。

表 2—1 液压油的主要品种及其性质

种类 性能	可燃性液压油			抗燃性液压油			
	矿物油型			合成型		乳化型	
	通用液压油	抗磨液压油	低温液压油	磷酸酯液	水—乙二醇液	油包水液	水包油液
密度/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	850—900			1 100—1 500	1 040—1 100	920—940	1 000
黏度	小—大	小—大	小—大	小—大	小—大	小	小
黏度指数不小于	90	95	130	130—180	140—170	130—150	极高
润滑性	优	优	优	优	良	良	可
防锈蚀性	优	优	优	良	良	良	可
闪点(℃)不低于	170—200	170	150—170	难燃	难燃	难燃	不燃
凝点(℃)不高于	-10	-25	-45—-35	-50—-20	-50	-25	-5

液压油的选择主要是黏度的选择,它取决于液压泵的结构、工作温度、压力及工作特性等。液压油的使用要正确,必须按设备说明书的规定选用合适的液压油。使用时要防止水、乳化液、尘埃及其他杂质的侵入。

液压泵用液压油的黏度见表 2—2。

表 2—2 液压泵用液压油的黏度

液压泵类型		环境温度 5—40℃ 运动黏度, mm^2/s (40℃)	环境温度 40—80℃ 运动黏度, mm^2/s (40℃)
叶片泵	$p < 7 \text{ MPa}$	30—50	40—75
	$p \geq 7 \text{ MPa}$	50—70	55—90
齿轮泵		30—70	95—165
轴向柱塞泵		40—75	70—150
径向柱塞泵		30—80	65—240

§ 2—2

流体力学基础

一、系统中压力的建立和传递

1. 液体的压力

液体的压力是指液体在单位面积上所受的垂直作用力。

(1) 压力 p 设液体的面积为 A ，其上受的作用力为 F ，则液体的压力 p 为：

$$p = F/A \quad (2-1)$$

式中 p ——液体的压力，Pa 或 N/m^2 ；

F ——作用在液体上的外力，N；

A ——液体承受作用力的面积， m^2 。

液体的压力是与受压表面垂直的。这个压力在液压系统中就是用压力表测出的压力。

由公式 (2-1) 可知，压力油作用在平面上的力 F 就等于液压油的压力 p 与承压面积 A 的乘积。

$$F = pA$$

(2) 压力的表示方法及单位 液体的压力分为绝对压力和相对压力两种。绝对压力是以绝对零压力作为基准度量，相对压力是以大气压力为基准度量。那么，

$$\text{绝对压力} = \text{大气压力} + \text{相对压力}$$

我们所用的压力表大多数为相对压力表，因此相对压力又称为表压力。液压技术中的压力值，均为相对压力。当绝对压力低于大气压时，绝对压力不足于大气压力的那一部分压力值，称为真空度。那么，

$$\text{真空度} = \text{大气压力} - \text{绝对压力}$$

压力的单位是 Pa，在工程计算中，常用 Pa 的倍数单位 kPa 和 MPa 表示。它们之间的换算关系是：

$$1 \text{ MPa} = 10^3 \text{ kPa} = 10^6 \text{ Pa}$$

由于在液压系统的管路中，液体所在位置的高度对于压力的影响很小，所以一般都忽略不计。

(3) 压力等级 液压系统和液压元件的压力等级见表 2—3。

表 2—3

液压系统压力等级

MPa

压力等级	低压	中压	中高压	高压	超高压
压力范围	0~2.5	2.5~8	8~16	16~32	>32

厂家生产的液压元件都是按公称压力标准系列设计制造的。公称压力表示的是液压系统和液压元件在额定工作条件下的名义压力。液压元件标牌上标出的压力与公称压力系列相吻

合。标牌上标出的压力又称为额定压力。

2. 压力的传递

在一个充满液体的密闭容器的面积为 A 的塞子上，加一个外力 F （不计液体重力），如图 2—1 所示，则液体受到力 F 的挤压产生压力，其压力值为 $p = F/A$ ，该压力 p 能大小不变地传到容器内的各点上。即在容器内 1、2、3、4、5、6、7 各个点上压力均相同，这就是帕斯卡原理。

帕斯卡原理可以叙述为，一个压力加于密闭容器中的一部分，则这个压力以完全一样的大小向容器中所有各点传递。这也是液压系统中压力传递的基本原理。因此，它又称为静压传递原理。

帕斯卡原理在工程实际中获得了广泛的应用。图 2—2 所示是液压千斤顶的工作原理图。

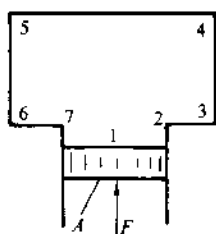


图 2—1 压力的传递

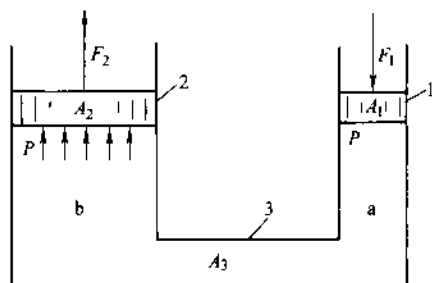


图 2—2 液压千斤顶的工作原理图

在连通器的 a、b 两腔中，分别放置面积为 A_1 、 A_2 的活塞 1 和活塞 2。若在活塞 1 上加一个外力 F_1 ，则由此而引起的压力为 F_1/A_1 ，根据帕斯卡原理，在活塞 2 的底面也将作用有一个同样大小的压力，所以在 b 腔中，作用于活塞 2 平面上的力 F_2 应为，

$$F_2 = (F_1/A_1) \times A_2 = F_1 \times A_2/A_1$$

F_2 即为能够从活塞 2 上输出的力，可见面积 A_2 越大，输出的力就越大。换句话说，只要两活塞的面积差较大，就可以从活塞 1 处输入一个较小的力而从活塞 2 处输出一个较大的力。

3. 液压系统中压力的形成

如图 1—1 所示的液压系统。启动液压泵 2，当把方向控制阀 3 的左位接入液压系统工作时，压力油进入液压缸 4 的左腔，将推动活塞向右运动。活塞要向右运动就必须克服作用于活塞杆上的工作载荷和相对运动表面摩擦力，在液压泵 2 不断供油过程中，液压缸 4 左腔中的油液越积越多，在活塞没有运动情况下，液压缸 4 左腔容积保持不变。容积不变，油液增多，必然造成液压缸 4 左腔中的油液受的挤压加剧，压力升高，当压力升高到产生的总推力足以克服作用于活塞杆上的工作载荷和相对运动表面摩擦力时，活塞向右运动。设作用于活塞杆上的工作载荷和相对运动表面摩擦力构成的外界的总阻力为 F ，液压缸 4 左腔活塞有效面积为 A ，此时液压缸 4 左腔中的压力 p 应为 F/A 。

活塞开始运动后，虽然液压泵 2 仍然在不断供油，但由于此时液压缸 4 左腔容积也在相应增大，其中的油液受的挤压并未加剧，压力因此也不再上升。

可见，液压系统中的压力是由外界负载引起的，外界负载越大，系统压力也就越高。

如图 2—3 所示, 系统中并联了两个液压缸 a 和 b。设两个液压缸活塞的有效面积相同, 均为 A , 而两个缸活塞杆上的负载分别为 F_1 和 F_2 , 且 $F_1 > F_2$, 启动液压泵, 油液分别进入 a、b 缸左腔, 在两个液压缸活塞均未运动时, 液压缸中油液随着挤压加剧压力升高, 当 b 缸中油压达到 F_2/A 时, b 缸活塞向右运动, 此时由于 a 缸所需要的压力大, 活塞 1 尚未移动, 虽然液压泵继续输油, 但因 b 缸左腔容积增大, 压力不能上升, 此时, 两缸中的压力均为 F_2/A 。当活塞 2 运动到顶住挡块不能再右移时, 随着液压泵不断供油, 由于容积不再扩大而压力再次上升, 压力升高到压力值为 F_1/A 时, a 缸活塞运动, 压力又不再上升, 此时两个缸的左腔中的压力均为 F_1/A 。

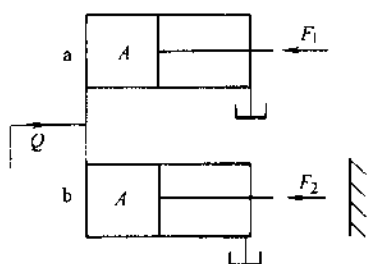


图 2—3 两个并联液压缸

可见, 当系统中并联有几个负载时, 则系统压力取决于克服负载的各个压力值中的最小值。

二、液流的连续性

1. 流量 Q

单位时间内流过管路某一截面的液体体积称为流量。

设管路某一截面的面积为 A , 油液在其中流动的速度为 v , 则通过该截面的流量 Q 为:

$$Q = vA \quad (2-2)$$

式中 Q ——流量, m^3/s ;

v ——流速, m/s ;

A ——截面积, m^2 。

流量的单位也常用 L/min 来表示, 其换算关系是:

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

由公式 (2—2) 可知, 当流量不变时, 通过管内不同截面的液流速度与其截面积的大小成反比。即管路细的地方流速大, 管路粗的地方流速小。液压系统中活塞的运动速度就是液压缸内油液的流速。液压缸加工制造完毕后, 液压缸的有效作用面积固定不变, 此时可通过调节输入液压缸中的流量来调节活塞的运动速度。

液压元件都是按公称流量的标准系列设计制造的。公称流量表示液压元件在额定工作条件下的名义流量。液压元件铭牌上标出的流量与公称流量系列相吻合, 它又称额定流量。

2. 液流连续性原理

液体在管中流动时, 若不计泄漏, 液体在管内既不能增多, 也不会减少, 且不能被压缩, 所以单位时间内流过管子每一个横截面的液体体积一定是相等的。即管内每个截面上的流量是个常数, 这就是液流连续性原理。如图 2—4 所示, 设截面 1—1, 2—2 处的截面积分别为 A_1 和 A_2 , 在这两个截面中, 油液的流速分别为 v_1 和 v_2 , 则:

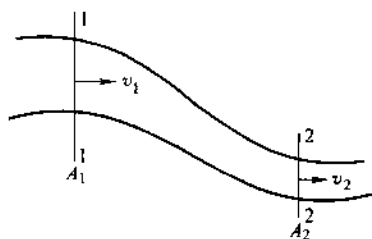


图 2—4 液流连续性原理

$$Q = v_1 A_1 = v_2 A_2 = \text{常数} \quad (2-3)$$

例 2—1 如图 2—2 所示液压千斤顶, 设活塞 1 的有效面积 $A_1 = 1.57 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, 活塞 2 的面积 $A_2 = 9.42 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, 中间底部连通管 3 的面积 $A_3 = 0.157 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, 若活塞 1 下压的速度为 0.2 m/s , 试求活塞 2 上升的速度 v_2 和底部连通管 3 内油液的流速 v_3 。

解: 由于活塞 1 下移而排出的流量 Q 根据式 (2—2) 得:

$$Q_1 = v_1 A_1 = 1.57 \times 10^{-4} \times 0.2 = 3.14 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

根据液流连续性原理可知, 通过截面 A_1 、 A_3 、 A_2 处的流量是相等的, 所以活塞 2 处进入的流量 $Q_2 = Q_1$, 因 $Q_2 = v_2 A_2$, 所以: $v_2 = Q_2 / A_2 = 3.14 \times 10^{-5} / 9.42 \times 10^{-4} = 0.033 \text{ m/s}$

同理, 通过底部连通管截面 A_3 处的流量 $Q_3 = Q_1$, 因 $Q_3 = v_3 A_3$, 所以: $v_3 = Q_3 / A_3 = 3.14 \times 10^{-5} / 0.157 \times 10^{-4} = 2 \text{ m/s}$

可以看出, 由于 A_3 处面积最小, 所以液体流经该处时, 流速最快。

例 2—2 如图 2—5 所示液压装置, 设左、右两液压缸活塞 1、2 的有效面积相同, 缸上腔的面积为 A , 下腔的面积为 A_1 , 若对液压缸 1 上腔输入流量为 Q 的油液, 问通过管路 $abcd$ 进入液压缸 2 上腔的流量 Q' 是多少?

解: 根据式 (2—2) 可知活塞 1 下移的速度为:

$$v_1 = Q / A$$

进入液压缸 2 上腔的油液是被活塞 1 的下移运动排出来的, 根据液流连续性原理, 从液压缸 1 下腔排出来的流量和通过管道 $abcd$ 而进入 2 缸上腔的流量相等, 就是 Q' , 其大小等于活塞 1 的下移速度和活塞 1 在下腔的有效面积之积, 即:

$$Q' = v_1 A_1 = QA_1 / A$$

显然 Q' 不等于 Q 。因为液压缸 1 的上腔和液压缸 1 的下腔被活塞 1 隔开了, 只有从液压缸 1 下腔起, 经过管路 $abcd$ 至液压缸 2 液压缸 1 上腔这一区间才符合液流连续性原理。

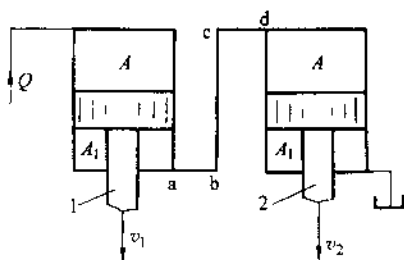


图 2—5 液压装置

§ 2—3

液体流动中的压力和流量损失

下面对液体流动中的压力和流量损失作定性的分析。

一、压力损失

由于液体具有黏性, 在管路中流动时又存在着摩擦力, 所以液体在流动中必然要损耗一部分能量。这部分能量的损耗具体表现为压力损失。

压力损失有沿程压力损失和局部压力损失两种。

1. 沿程压力损失

当液体在直径不变的直管中流过一段距离时, 因摩擦而产生的能量损失称为沿程压力损失。

2. 局部压力损失

由于管路截面形状突然变化、液流方向改变或其他形式的液流阻力而引起的能量损失称为局部压力损失。

3. 总的压力损失

管路中总的压力损失等于沿程压力损失与局部压力损失之和。

由于零件结构的不同、尺寸的偏差与表面粗糙度的不同，要准确地计算出总的压力损失的数值是困难的。但压力损失又是液压传动中一个必须考虑的因素，它关系到确定系统所需的供油压力和系统工作时的温升。生产实践中也希望压力损失尽可能小些。

由于压力损失的存在，液压泵的额定压力必然要略大于系统工作时所需的最大压力。

二、流量损失

在液压系统中，各液压元件都有相对运动的表面，如液压缸内表面和活塞外表面，因为要有相对运动，所以它们之间都有一定的间隙，如果间隙的一边为高压油，另一边为低压油，则高压油就会经间隙流向低压区而造成泄漏。同时由于液压元件密封不完善，一部分油液也会向外部泄漏。这种泄漏造成实际流量有所减少，这就是我们所说的流量损失。

流量损失影响液压执行元件的运动速度，所以在液压系统中泵的额定流量要略大于系统工作时所需的最大流量。

§ 2—4

液压冲击和空穴现象

一、液压冲击

在液压系统中，由于某种原因引起液压油的压力瞬时急剧升高，形成一个很大的压力峰值，这种现象称为液压冲击。

1. 液压冲击产生的原因

造成液压冲击的主要原因是液压速度的急剧变化、高速运动工作部件的惯性力和某些液压元件反应动作不够灵敏。

当管路内的油液以某一速度运动时，若在某一瞬间迅速截断油液流动的通道（如关闭阀门），油液的流速将从某一数值在某一瞬间突然降至零，此时油液流动的动能将转化为油液的压力能，从而使压力急剧升高，造成液压冲击。高速运动的工作部件的惯性力也会引起液压冲击。

当液压缸元件要换向时，换向阀迅速关闭液压缸原来的排油管路，这时油液不再排出，但活塞由于惯性作用仍在运动，从而引起压力急剧上升造成压力冲击。

液压系统中由于某些液压元件动作不灵敏，例如不能及时地开启油路，也会引起压力的迅速升高形成冲击。