



面向
21世纪
高级应用型人才

中国高等职业技术教育研究会推荐
高职高专系列教材

液压与气动技术

朱梅 朱光力 编著

西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

中国高等职业技术教育研究会推荐

高职高专系列教材

液压与气动技术

朱梅 朱光力 编著

西安电子科技大学出版社

2004

内 容 简 介

本书是根据高等职业技术教育和高等专科教育要求编写的。全书包括液压传动和气动技术两部分内容,共分为15章,第1~7章为液压传动,第8~15章为气动技术。本书主要论述了液压与气动的流体力学基础知识;液压、气动元件的工作原理和结构特点及其选用方法;液压、气动基本回路和典型系统的组成与分析;液压、气动程序控制回路和电气控制液压与气动回路的设计方法;可编程控制器的应用等。

本书在编写过程中,突出理论联系实际,加强针对性和实用性,注重引入新的技术内容,且在编写理念上力求章节层次清楚,内容简洁明了、通俗易懂。全书配有大量工业应用图例,有利于学生自学。

★ 本书配有电子教案,需要者可与西安电子科技大学出版社联系,免费提供。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气动技术/朱梅,朱光力编著. —西安:西安电子科技大学出版社,2004.5
(高职高专系列教材)

ISBN 7 - 5606 - 1378 - 0

I. 液… II. ①朱… ②朱… III. ① 液压传动—高等学校:技术学校—教材
② 气压传动—高等学校:技术学校—教材 IV. ① TH137 ② TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 021485 号

策 划 马乐惠

责任编辑 宁殿艳

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安兰翔印刷厂

版 次 2004年6月第1版 2004年6月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 17.75

字 数 415千字

印 数 1~4 000册

定 价 19.00元

ISBN 7 - 5606 - 1378 - 0/TH • 0034(课)

XDUP 1649001 - 1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

培养实用型和技能型人才已成为目前我国高等职业技术教育和高等专科教育的发展方向,因此,对相关教材的实用性和新颖性就提出了较高的要求,即教材的内容要易懂、实用,能反映当今先进企业的生产和技术应用状况及发展脉络,要有利于对学生应用技能的培养。本书正是基于这种理念编写的。

本书作者长期在企业及高等院校从事液压与气动技术的实际应用工作和教学科研工作,先后在意大利、新加坡、台湾等国家和地区的公司、职业技术培训机构、院校进行过长期的学习与技术交流,曾在深圳外资企业从事自动生产线技术改造工作多年,并作为职业技术教师从教近 10 年,熟知工业发达国家和地区的职业技术教育状况和当今企业液压与气动技术的应用情况及企业的实际需求。本书就是作者根据自己在企业的实际工作经验及教学体验并综合国内、外职业技术教育的需求及著名专业厂商的资料编写的。

全书包括液压传动和气动技术两部分内容,共分为 15 章,第 1~7 章为液压传动,第 8~15 章为气动技术。本书主要论述了液压与气动的流体力学基础知识;液压、气动元件的工作原理和结构特点及其选用方法;液压、气动基本回路和典型系统的组成与分析;液压、气动程序控制回路和电气控制液压与气动回路的设计方法以及可编程控制器的应用等内容。

本书有如下特点:

(1) 内容新颖。本书以当前广泛应用并代表发展趋势的液压与气动新技术为背景,取材新颖实用,在综合总结当今国外职业技术教育经验的前提下,力求符合我国高等职业技术教育的教学特点。

(2) 内容适度、易懂。在内容取舍上,基础理论以必需和够用为度,力求简单实用。全书配有大量工业应用图例,有一些为立体图形,学生易学、易懂。

(3) 应用性强。为加强学生实际应用技能的培养,本书着重强调元件的应用及回路的设计方法,一些举例为作者在外资企业工作的实例,符合当今沿海外资企业生产自动线、专用设备上所使用的液压与气动的实际情况。

(4) 编写体系新。为适应企业界对机电一体化人才的需求情况,根据当今自动化技术发展的现状,本书在气动技术部分投入了较大篇幅,并增加了液压、气动回路的电气控制设计和可编程控制器的应用及各系统的接口部分,从而较好地体现了当今自动化技术的系统工程理念。

本书可作为高等职业技术学院、高等专科院校、职工大学、成人教育学院、夜大、函授大学等大专层次的机电类及机械类专业的教学用书,同时可供工程技术人员参考。

全书由深圳职业技术学院教师朱梅、朱光力编著。其中第一篇(第 1~7 章)由朱光力编

著，第二篇(第8~15章)由朱梅编著。全书的校对工作由深圳职业技术学院教师钟健、刘小平完成。

本书在编写过程中，德国 FESTO 中国有限公司提出了一些编写建议和技术资料，在此深表感谢！

由于编者水平有限，书中不足和错误之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

2004 年 3 月于深圳

目 录

第一篇 液 压 传 动

第 1 章 液压传动基础	3	2.3.5 液压泵的职能符号	22
1.1 液压传动的基本概念	3	2.3.6 常用泵的性能	23
1.2 液压装置的组成	4	2.4 液压泵与电动机参数的选用	23
1.3 液压传动的优缺点	4	2.4.1 液压泵大小的选用	23
1.4 液压传动基本理论	5	2.4.2 电动机参数的选择	24
1.4.1 液体静压力	5	2.4.3 计算举例	24
1.4.2 液体静压力的基本方程	5	思考题与习题	25
1.4.3 绝对压力、表压力及真空度	6	第 3 章 液压执行元件及辅助元件	27
1.4.4 帕斯卡原理	7	3.1 液压缸	27
1.4.5 连续定理	7	3.1.1 液压缸分类	27
1.4.6 伯努利定理	8	3.1.2 液压缸结构	27
1.4.7 孔口与节流管	9	3.1.3 液压缸的参数计算	28
1.4.8 液体流动中的压力和 流量的损失	9	3.1.4 其他液压缸	30
1.4.9 液压冲击和空穴现象	10	3.2 液压马达	32
1.5 液压油	11	3.2.1 液压马达分类及特点	32
1.5.1 液压油的用途	11	3.2.2 液压马达职能符号	33
1.5.2 液压油的种类	11	3.2.3 液压马达参数计算	33
1.5.3 液压油的性质	11	3.3 液压辅助元件	33
1.5.4 液压油的选用	13	3.3.1 油箱	34
1.5.5 液压油的污染与保养	13	3.3.2 滤油器	35
思考题与习题	14	3.3.3 空气滤清器	37
第 2 章 液压动力元件	16	3.3.4 油冷却器	38
2.1 液压泵的工作原理	16	3.3.5 蓄能器	40
2.2 液压泵的主要性能和参数	16	3.3.6 油管与管接头	42
2.3 液压泵的结构	18	思考题与习题	43
2.3.1 齿轮泵	18	第 4 章 液压控制元件	45
2.3.2 螺杆泵	19	4.1 方向控制阀	45
2.3.3 叶片泵	20	4.1.1 单向阀	45
2.3.4 柱塞泵	21	4.1.2 换向阀	45

4.2 压力控制阀及其应用	51	5.3 多缸工作控制回路	89
4.2.1 溢流阀及其应用	52	5.3.1 同步回路	89
4.2.2 减压阀及其应用	54	5.3.2 顺序动作回路	91
4.2.3 顺序阀及其应用	57	5.4 其他回路	92
4.2.4 增压器及其应用	58	思考题与习题	94
4.2.5 压力继电器	58		
4.2.6 比例式压力阀	59		
4.3 流量控制阀及其应用	60	第6章 典型液压系统	97
4.3.1 速度控制的概念	60	6.1 组合机床动力滑台液压系统	97
4.3.2 节流阀	61	6.1.1 概述	97
4.3.3 调速阀	62	6.1.2 YT4543型动力滑台液压 系统的工作原理	98
4.3.4 基本的速度控制回路	63	6.1.3 YT4543型动力滑台液压 系统的特点	99
4.3.5 行程减速阀及其应用	64	6.2 180吨板金冲床液压系统	100
4.3.6 比例式流量阀	65	6.2.1 概述	100
4.4 叠加阀	66	6.2.2 180吨板金冲床液压系统的 工作原理	101
4.4.1 叠加阀的构造	66	6.2.3 180吨板金冲床液压回路图的 特点	102
4.4.2 叠加阀用基座板的构造	69	6.3 多轴钻床液压系统	102
4.4.3 叠加阀的回路	70	6.4 塑料注塑成型机液压系统	105
4.5 插装阀	71	6.4.1 概述	105
4.5.1 插装阀的结构	72	6.4.2 SZ-250A型注塑机液压 系统工作原理	106
4.5.2 插装阀的动作原理	73	6.4.3 液压系统特点	109
4.5.3 插装阀用作方向控制阀	74		
4.5.4 插装阀用作方向和流量 控制阀	76		
4.5.5 插装阀用作压力控制阀	76		
思考题与习题	77		
第5章 液压基本回路	81	第7章 液压回路及系统设计	110
5.1 压力控制回路	81	7.1 液压顺序动作控制回路的设计	110
5.1.1 调压回路	81	7.1.1 电气控制液压回路的 设计步骤	110
5.1.2 减压回路	82	7.1.2 单缸液压电气控制 回路设计	110
5.1.3 卸荷回路	82	7.1.3 多缸液压电气控制 回路设计	114
5.1.4 增压回路	84	7.2 液压系统设计	122
5.1.5 保压回路	85	思考题与习题	128
5.1.6 平衡回路	86		
5.2 速度控制回路	86		
5.2.1 快速运动回路	86		
5.2.2 速度换接回路	88		

第二篇 气动技术

第8章 气动技术概述	131	8.1 气动系统	131
-------------------------	------------	----------------	-----

8.2 气动技术的应用	131	11.1.4 方向控制阀的选用	188
8.3 气动技术的特点和应用准则	132	11.2 流量控制阀(Flow control valves)	189
8.4 气动技术的发展趋势	135	11.3 压力控制阀	191
		思考题与习题	193
第9章 气源装置及压缩空气 净化系统	136	第12章 真空元件	195
9.1 压缩空气	136	12.1 真空发生器	195
9.1.1 空气的物理性质	136	12.2 真空吸盘	196
9.1.2 气体状态方程	138	12.3 真空顺序阀	196
9.2 气源系统及空气净化处理 装置	139	12.4 真空开关	197
9.2.1 空气压缩机(Air compressor)	140	12.5 真空回路	198
9.2.2 储气罐(Reservoir)	144	思考题与习题	198
9.2.3 压缩空气净化处理装置	144	第13章 气动程序控制系统	199
9.3 压缩空气的输送	153	13.1 气动基本回路	199
9.3.1 管路的分类	153	13.1.1 气动回路的符号表示法	199
9.3.2 主管路配管方式	153	13.1.2 回路图内元件的命名	200
思考题与习题	155	13.1.3 各种元件的表示方法	201
		13.1.4 管路的表示	201
第10章 气动执行元件	156	13.1.5 气动常用回路	202
10.1 气缸	156	13.2 气动程序控制回路	207
10.1.1 气缸的分类	156	13.2.1 动作顺序及发信开关作用 状况的表示方法	208
10.1.2 普通气缸	157	13.2.2 障碍信号的消除方法	209
10.1.3 标准气缸	161	13.2.3 直觉法	210
10.1.4 气缸的规格	161	13.2.4 串联法	215
10.1.5 普通气缸的设计计算	163	思考题与习题	223
10.1.6 无杆气缸	166	第14章 电气气动控制系统	224
10.1.7 磁感应气缸	166	14.1 电气控制的基本知识	224
10.1.8 带磁性开关的气缸	167	14.2 电气回路图绘图原则	225
10.1.9 摆动气缸	168	14.3 基本电气回路	226
10.1.10 气爪(手指气缸)	169	14.4 电气气动程序回路设计	228
10.1.11 气、液阻尼缸	170	思考题与习题	241
10.2 气动马达	171	第15章 可编程控制器的应用	243
10.3 气缸的选择和使用要求	172	15.1 可编程控制器概述	243
思考题与习题	173	15.1.1 可编程控制器的一般 概念	243
第11章 气动控制元件	174	15.1.2 可编程控制器的特点	244
11.1 方向控制阀	174	15.1.3 可编程控制器的发展 趋势	244
11.1.1 分类	174		
11.1.2 换向阀的结构特点及 工作原理	178		
11.1.3 单向型方向阀	185		

15.1.4	可编程控制器在气动控制中的应用	244	15.2.5	三菱微型可编程控制器 FX _{2N} 系列的编程语言	253
15.2	可编程控制器的组成及工作原理	245	15.3	可编程控制系统设计步骤	264
15.2.1	可编程控制器的组成	245	15.4	气动自动控制系统设计举例	264
15.2.2	可编程控制器的结构	247		思考题与习题	266
15.2.3	可编程控制器的工作原理	248	附录	常用液压与气动元件图形符号 (GB/T 786.1 - 93)	267
15.2.4	可编程控制器的主要技术指标	249		参考文献	273

第一篇

液 压 传 动

液压传动是以流体作为工作介质对能量进行传动和控制的一种传动形式。相对于电力拖动和机械传动而言，液压传动具有输出力大，重量轻，惯性小，调速方便以及易于控制等优点，因而，广泛应用于工程机械、建筑机械和机床等设备上。近几十年来，随着微电子技术的迅速发展，液压传动因其具有诸多突出优点而广泛应用于各个工业部门。本篇主要介绍液压传动的基本理论、常用的液压元件、基本液压回路、典型液压系统及液压回路的设计。

第 1 章 液压传动基础

1.1 液压传动的基本概念

所谓液压传动，是指利用高压的液体经由一些机件控制之后来传递运动和动力。图 1-1(a)所示为一驱动机床工作台的液压传动系统，它由油箱 1、滤油器 2、液压泵 3、溢流阀 4、换向阀 5、节流阀 6、换向阀 7、液压缸 8 以及连接这些元件的油管、管接头等组成。液压传动系统的工作原理是：液压泵由电机带动旋转后，从油箱吸油，油液经滤油器进入压力油路后，在图示状态下，通过换向阀 5、节流阀 6，经换向阀 7 进入液压缸左腔，此时液压缸右腔的油液经换向阀 7 和回油管排回油箱，液压缸中的活塞推动工作台 9 向右移动；若将换向阀 7 的手柄往左扳，则换向阀状态如图 1-1(b)所示，此时液压缸的活塞推动工作台向左移动；若换向阀 5 处于图 1-1(c)所示的状态，则液压泵输出的压力油将经换向阀 5 直接回油箱，而不能进入液压缸；工作台的移动速度是通过调节节流阀 6 的开口大小来控制的。

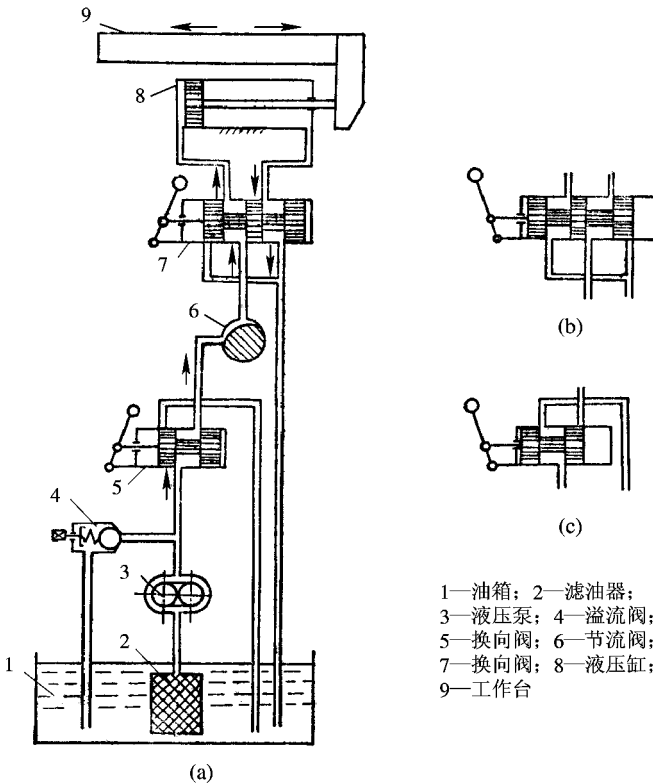


图 1-1 机床工作台液压系统的工作原理图

由上图可知，液压传动系统由液压泵、控制阀、执行元件和油箱等一些辅助元件组成。

1.2 液压装置的组成

液压装置一般由液压泵、执行元件、控制元件和一些辅助元件组成。

(1) 液压泵。它由电动机带动，是将机械能转换成液体压力能的装置。由于液体只有在密封的状态下才可加压，因此泵是利用大气压力差(油箱与泵的入口)使液体从一端进入，从另一端排出；泵的最高压力设定由压力控制阀来调整。

(2) 执行元件。液压系统最终目的是要推动负载运动，一般执行元件可分为液压缸与液压马达(或摆动缸)两类；液压缸使负载作直线运动，液压马达(或摆动缸)使负载转动(或摆动)。

(3) 控制元件。液压系统除了让负载运动以外，还要完全控制负载的整个运动过程。在液压系统中，用压力阀来控制力量，流量阀来控制速度，方向阀来控制运动方向。

(4) 辅助元件。除了以上几种元件外，还有用来储存液压油的油箱，为了增强液压系统的功能尚需有去除油内杂质的过滤器，防止油温过高的冷却器及蓄能器等液压元件，我们称这些元件为辅助元件。

1.3 液压传动的优缺点

液压传动有如下特点。

1. 优点

(1) 体积小，输出力大。液压传动一般使用的压力在 7 MPa 左右，也可高达 50 MPa。而液压装置的体积比同样输出压力的电机及机械传动装置的体积小得多。

(2) 不会有过负载的危险。液压系统中装有溢流阀，当压力超过设定压力时，阀门开启，液压油经由溢流阀流回油箱，此时液压油不处在密闭状态，故系统压力永远无法超过设定压力。

(3) 输出力调整容易。液压装置输出力调整非常简单，只要调整压力控制阀即可轻易达到。

(4) 速度调整容易。液压装置速度调整非常简单，只要调整流量控制阀即可轻易达到，且可实行无级调速。

(5) 易于自动化。液压设备配上电磁阀、电气元件、可编程控制器和计算机等，可装配成各式自动化机械。

2. 缺点

(1) 接管不良造成液压油外泄，它除了会污染工作场所外，还有引起火灾的危险。

(2) 油温上升时，粘度降低；油温下降时，粘度升高。油的粘度发生变化时，流量也会跟着改变，造成速度不稳定。

(3) 系统将马达的机械能转换成液体压力能，再把液体压力能转换成机械能来做功，能量经两次转换损失较大，能源使用效率比传统机械的低。

(4) 液压系统大量使用各式控制阀、接头及管子，为了防止泄漏损耗，元件的加工精度要求较高。

1.4 液压传动基本理论

1.4.1 液体静压力

静止液体在单位面积上所受的力称为静压力。静压力在液压传动中简称压力，在物理学中则称为压强。

静止液体中某点处微小面积 ΔA 上作用有法向力 ΔF ，则该点的压力定义为

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (1-1)$$

若法向作用力 F 均匀地作用在面积 A 上，则压力可表示为

$$p = \frac{F}{A} \quad (1-2)$$

我国采用法定计量单位 Pa 来计量压力， $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ ，液压技术中习惯用 MPa (N/mm^2)，在企业中还习惯使用 bar (kgf/cm^2) 作为压力单位，各单位关系为 $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa} = 10 \text{ bar}$ 。

液体静压力有如下两个重要特性：

(1) 液体静压力垂直于承压面，其方向和该面的内法线方向一致。这是由于液体质点间的内聚力很小，不能受拉只能受压所致。

(2) 静止液体内任一点所受到的压力在各个方向上都相等。如果某点受到的压力在某个方向上不相等，那么液体就会流动，这就违背了液体静止的条件。

1.4.2 液体静压力的基本方程

现在我们想像在静止不动的液体中有如图 1-2 所示的一个高度为 h ，底面积为 ΔA 的假想微小液柱。表面上的压力为 p_0 ，求其在 A 点的压力。因这个小液柱在重力及周围液体的压力作用下处于平衡状态，现我们可把其在垂直方向上的力平衡关系表示为

$$p\Delta A = p_0\Delta A + \rho gh\Delta A$$

式中， $\rho gh\Delta A$ 为小液柱的重力， ρ 为液体的密度。

上式化简后得

$$p = p_0 + \rho gh \quad (1-3)$$

式(1-3)为静压力的基本方程。此式表明：

(1) 静止液体中任何一点的静压力为作用在液面的压力 p_0 和液体重力所产生的压力 ρgh 之和。

(2) 液体中的静压力随着深度 h 的增加而线性增加。

(3) 在连通器里，静止液体中只要深度 h 相同，其压力就相等。

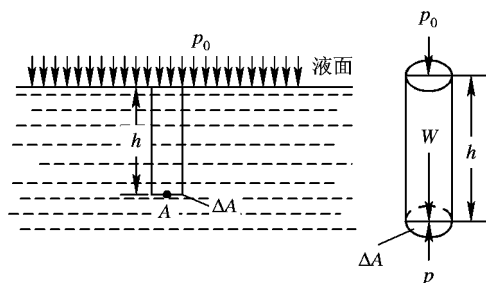
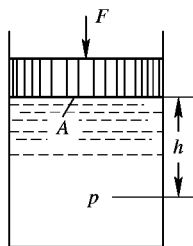


图 1-2 离液面 h 深处的压力

【例 1-1】 如图 1-3 所示, 容器内盛有油液。已知油的密度 $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$, 活塞上的作用力 $F = 1000 \text{ N}$, 活塞的面积 $A = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^2$, 假设活塞的重量忽略不计。问活塞下方深度为 $h = 0.5 \text{ m}$ 处的压力等于多少?



解 活塞与液体接触面上的压力均匀分布, 有

$$p_0 = \frac{F}{A} = \frac{1000 \text{ N}}{1 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 10^6 \text{ N/m}^2$$

根据静压力的基本方程式(1-3), 深度为 h 处的液体压力为

图 1-3 静止液体内的压力

$$\begin{aligned} p &= p_A + \rho gh = 10^6 + 900 \times 9.8 \times 0.5 \\ &= 1.0044 \times 10^6 \text{ (N/m}^2) \approx 10^6 \text{ (Pa)} \end{aligned}$$

从本例可以看出, 液体在受外界压力作用的情况下, 液体自重所形成的那部分压力 ρgh 相对甚小, 在液压系统中常可忽略不计, 因而可近似认为整个液体内部的压力是相等的。以后我们在分析液压系统的压力时, 一般都采用这一结论。

1.4.3 绝对压力、表压力及真空度

根据度量方法的不同, 有表压力(又称相对压力) p (gauge pressure) 和绝对压力 p_{abs} (absolute pressure) 之分。以当地大气压力 p_{at} (atmosphere) 为基准所表示的压力称为表压力; 以绝对零压力作为基准所表示的压力称为绝对压力。

若液体中某点处的绝对压力小于大气压力, 则此时该点的绝对压力比大气压力小的那部分压力值, 称为真空度。所以有

$$\text{真空度} = \text{大气压力} - \text{绝对压力} \quad (1-4)$$

有关表压力、绝对压力和真空度的关系如图 1-4 所示。

注意: 如不特别指明, 液、气压传动中所提到的压力均为表压力。

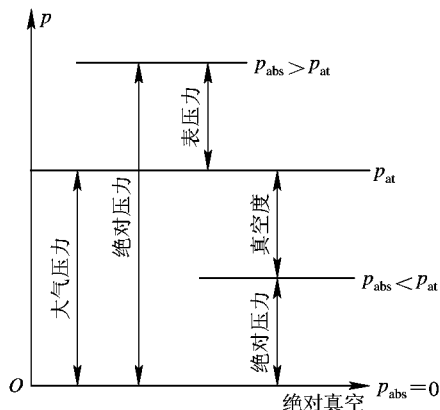


图 1-4 绝对压力、表压力和真空度的关系

1.4.4 帕斯卡原理

在密封容器内，施加于静止液体上的各点压力将以等值同时传递到液体内各点，容器内压力方向垂直于内表面，如图 1-5 所示。

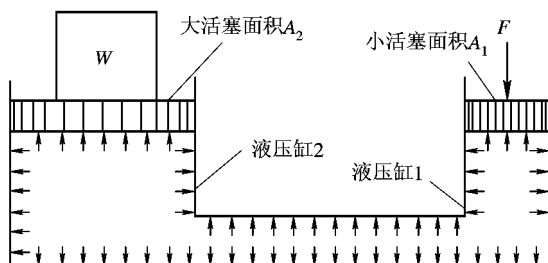


图 1-5 帕斯卡原理

容器内的液体各点压力为

$$p = \frac{W}{A_2} = \frac{F}{A_1} \quad (1-5)$$

式(1-5)建立了一个很重要的概念，即在液压传动中工作的压力取决于负载，而与流入的流体多少无关。

1.4.5 连续定理

液体在流动时，通过任一通流横截面的速度、压力和密度不随时间改变的流动称为稳流；反之，速度、压力和密度其中一项随时间改变的，就称为非稳流。

对稳流而言，液体以稳流流动通过管内任一截面的液体质量必然相等。如图 1-6 所示管内两个流通截面面积为 A_1 和 A_2 ，流速分别为 v_1 和 v_2 ，则通过任一截面的流量 Q 为

$$Q = Av = A_1 v_1 = A_2 v_2 = \text{常数} \quad (1-6)$$

流量的单位通常用 L/min 表示，与 m^3/s 换算式子如下：

$$1 \text{ L} = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

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

式(1-6)即为连续定理，此式还得出另一个重要的基本概念，即运动速度取决于流量，而与流体的压力无关。

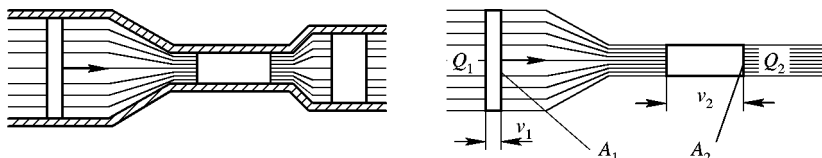


图 1-6 管路中液体的流量对各截面而言皆相等

【例 1-2】 图 1-7 所示为相互连通的两个液压缸，已知大缸内径 $D=100 \text{ mm}$ ，小缸内径 $d=20 \text{ mm}$ ，大活塞上放一质量为 5000 kg 的物体 G 。问：

(1) 在小活塞上所加的力 F 有多大才能使大活塞顶起重物？

(2) 若小活塞下压速度为 0.2 m/s ，大活塞上升速度是多少？

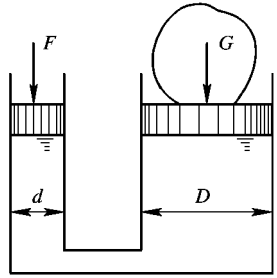


图 1-7 帕斯卡原理应用实例

解 (1) 物体的重力为

$$\begin{aligned} G &= mg = 5000 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \\ &= 49\,000 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 49\,000 \text{ N} \end{aligned}$$

根据帕斯卡原理，因为外力产生的压力在两缸中均相等，即

$$\frac{F}{\pi d^2/4} = \frac{G}{\pi D^2/4}$$

所以，为了顶起重物，应在小活塞上加力为

$$F = \frac{d^2}{D^2} G = \frac{20^2 \text{ mm}^2}{100^2 \text{ mm}^2} \times 49\,000 \text{ N} = 1960 \text{ N}$$

(2) 由连续定理

$$Q = Av = \text{常数}$$

得

$$\frac{\pi d^2}{4} v_{\text{小}} = \frac{\pi D^2}{4} v_{\text{大}}$$

故大活塞上升速度为

$$v_{\text{大}} = \frac{d^2}{D^2} v_{\text{小}} = \frac{20^2}{100^2} \times 0.2 = 0.008 \text{ (m/s)}$$

本例说明了液压千斤顶等液压起重机械的工作原理，体现了液压装置的力的放大作用。

1.4.6 伯努利定理

在没有粘性和不可压缩的稳流中，依能量守恒定律可得

$$\frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + h = \text{常数} \quad (1-7)$$

式中， p 表示压力 (Pa)； ρ 表示密度 (kg/m^3)； v 表示流速 (m/s)； g 表示重力加速度 (m/s^2)； h 表示水位高度 (m)。

我们称式(1-7)为伯努利定理。

如图 1-8 所示，在有粘性和不可压缩的稳流中，依能量守恒定律得

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2 + \sum H_v \quad (1-8)$$

式中， $\sum H_v$ 表示因粘性而产生的能量损失 (m)。

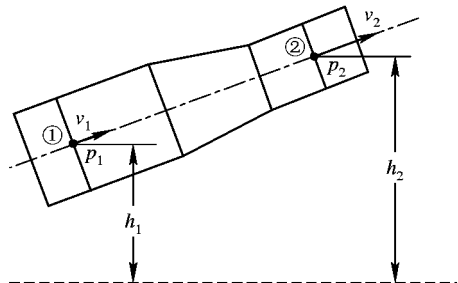


图 1-8 点①和点②截面的能量相等

1.4.7 孔口与阻流管

液体流动时,改变流通截面面积可改变流体的压力和流量,这就是节流阀的工作原理。

1. 孔口

如图 1-9 所示,当 $l/d \leq 0.5$ 时称为孔口,其流量 Q 为

$$Q = \alpha A \sqrt{\frac{2g(p_1 - p_2)}{\rho}} \quad (1-9)$$

式中, α 表示流量系数,通常取 $0.62 \sim 0.63$ 。

2. 阻流管

如图 1-10 所示,此时, $l/d > 4$ 称为阻流管,流量 Q 为

$$Q = \frac{\pi d^2 g (p_1 - p_2)}{128 \rho \nu l} \quad (1-10)$$

式中, ν 表示运动粘度 ($\text{St}, \text{cm}^2/\text{s}$)。

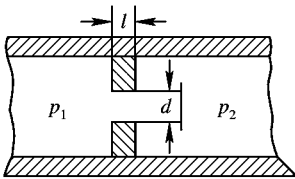


图 1-9 孔口

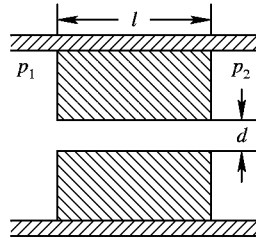


图 1-10 阻流管

1.4.8 液体流动中的压力和流量的损失

1. 压力损失

由于液体具有粘性,在管路中流动时又不可避免地存在着摩擦力,因此液体在流动过程中必然要损耗一部分能量。这部分能量损耗主要表现为压力损失。

压力损失有沿程损失和局部损失两种。沿程损失是当液体在直径不变的直管中流过一段距离时,因摩擦而产生的压力损失。局部损失是由于管子截面形状突然变化、液流方向改变或其他形式的液流阻力而引起的压力损失。总的压力损失等于沿程损失与局部损失之和。

由于零件结构不同(尺寸的偏差与表面粗糙度的不同),因此,要准确地计算出总的压力损失的数值是比较困难的,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,所以,生产实践中也希望压力损失尽可能小些。

由于压力损失的必然存在性,因此,泵的额定压力要略大于系统工作时所需的最大工作压力。一般可将系统工作所需的最大工作压力乘以一个 $1.3 \sim 1.5$ 的系数来估算。

2. 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。因此