

 面向21世纪高等院校应用型精品规划教材

液压与气动技术

主 编 欧阳毅文 文红民
副主编 曾 虎



天津科学技术出版社

面向 21 世纪高等院校应用型精品规划教材

液压与气动技术

主 编 欧阳毅文

文红民

副主编 曾 虎

 天津科学技术出版社

世界图书出版公司

液压与气动技术

文红梅 主编

天津

天津科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

液压与气动技术/文红梅主编. —天津:

天津科学技术出版社, 2008.9

ISBN 978-7-5308-4624-7

I. 液… II. ①欧…②文… III. ①液压传动-高等学校;
技术学校-教材 ②气动技术-高等学校;技术学校-教
材 IV. TH137 TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 127302 号

责任编辑:张华新

责任印制:王莹

天津科学技术出版社出版

出版人:胡振泰

天津市西康路 35 号 邮编 300051

电话:(022)23332396(编辑室) (022)23332393(发行部)

网址: www.tjkjcs.com.cn

新华书店经销

天津新华印刷三厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 14.25 字数 319 000 天津新华印刷三厂印刷

2008 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

定价: 33.00 元

前言

本书是根据高职高专“液压与气压传动”教学大纲编写的。

全书共十一章,主要包括液压和气压传动基础知识,液压和气压动力元件、执行元件、控制元件,液压和气压基本回路,液压和气压系统的安装、使用,典型液压和气压系统的工作原理及调试,液压系统设计等。

本书结合编者多年教学经验,充分考虑职业教育的特色,从分析职业岗位技能要求入手,以实际应用为主线,力求理论联系实际,着重基本概念和原理的阐述,突出理论知识的针对性和实用性。在讲清液压传动与气压传动基本知识的基础上,着重分析了各类元件的工作原理,对其回路组合、应用进行了详细的阐述。以典型的组合机床、数控机床、工程机械等机电设备为实例,着重反映液压技术在现代工业技术上的应用。为了便于读者加深理解和巩固所学的内容,每章均附有学习指导和课后练习题,其中习题包含填空、选择、问答和分析计算题等。

本书由欧阳毅文、文红民主编,曾虎副主编。编写分工为:欧阳毅文编写第5、6、8、11、12章及附录,文红民编写第1、2、3、4章,曾虎编写第7、9、10章及部分习题。

本书为机电类专业教材,适用于高等职业院校、高等专科学校和成人高等学校机制类专业及机电专业使用,也可作为中专机械类专业教学用书。教学参考课时为60~80学时,考虑到各个学校课程设置的不同,可以根据具体教学需要进行调整,如典型液压系统一章就可选讲相关设备。

高等职业教育正处于改革之中,限于编者水平,教材中难免存在一些错误和不妥之处,敬请读者批评指正,以便下次修订时改进。

编 者

2008年6月

内 容 简 介

本书共十二章,以液压为主,气动为辅。主要内容包括液压和气压传动基础知识,液压和气压动力元件、执行元件、控制元件,液压和气压基本回路,液压和气压系统的安装、使用,典型液压和气压系统的工作原理及调试,液压系统设计等。每章均附有学习指导和课后练习题。

本书为机电类专业教材,适用于高等职业院校、高等专科学校和成人高等学校机制类专业及机电专业使用,也可作为中专机械类专业教学用书。

目 录

第 1 章 液压传动基础	1
1.1 液压传动的工作原理	1
1.2 液压系统的组成	3
1.3 液压系统的图形符号	4
1.4 液压传动的特点	5
1.5 液压传动基本理论	6
1.6 液压油	13
习题	19
第 2 章 液压动力元件	21
2.1 液压泵的工作原理	21
2.2 液压泵的主要性能和参数	22
2.3 液压泵的结构	24
2.4 液压泵与电动机参数的选用	32
习题	33
第 3 章 液压执行元件	35
3.1 液压缸	35
3.2 液压马达	44
习题	46
第 4 章 液压辅助元件	47
4.1 油箱	47
4.2 滤油器	49
4.3 空气滤清器	52
4.4 油冷却器	53
4.5 蓄能器	56
4.6 油管与管接头	57
习题	58
第 5 章 液压控制阀和液压基本回路	59
5.1 概述	60
5.2 方向控制阀和方向控制回路	62
5.3 压力控制阀和压力控制回路	72

5.4	流量控制阀和节流调速回路	84
5.5	其他速度控制回路	90
5.6	其他控制回路	96
	习题	103
第6章	液压传动系统实例分析	113
6.1	数控车床液压系统	114
6.2	汽车起重机液压系统	116
6.3	动力滑台液压系统	120
6.4	液压机液压系统	125
6.5	塑料注射成型机液压系统	129
	习题	136
第7章	液压传动系统的设计与计算	139
7.1	液压系统的设计步骤	139
7.2	工况分析	140
7.3	拟定液压系统原理图	143
7.4	选择液压元件并确定安装连接方式	144
7.5	液压系统主要性能的验算	146
7.6	绘制工作图和编制技术文件	149
7.7	液压系统设计计算举例	149
	习题	159
第8章	液压系统的使用、维护与故障处理	162
8.1	液压系统的安装	162
8.2	液压系统的调试	164
8.3	液压系统的使用和维护	165
8.4	液压系统故障诊断方法	167
8.5	液压系统常见故障及排除	170
	习题	174
第9章	气压传动基础	176
9.1	气压传动工作原理	176
9.2	气压传动系统的组成	177
9.3	压缩空气性质	178
9.4	供气管线	180
9.5	气压传动的特点	182
	习题	183
第10章	气动元件	184
10.1	气源装置与辅助元件	184

10.2	气动执行元件	190
10.3	气动控制元件	192
	习题	198
第 11 章	气动基本回路	199
11.1	换向回路	199
11.2	压力控制回路	201
11.3	速度控制回路	202
11.4	位置控制回路	203
11.5	往复及程序动作控制回路	204
11.6	延时回路	204
	习题	206
第 12 章	气动系统实例	207
12.1	数控加工中心的气压传动系统	207
12.2	VMC750E 加工中心刀库气压传动系统	209
12.3	数控加工中心气动换刀系统	210
12.4	门户开闭装置	211
12.5	气动夹紧系统	212
12.6	气动系统的使用与维护	213
	习题	216
附录 I	常用液压与气动元件图形符号	217
附录 II	《液压与气动》模拟试卷	223
	参考文献	227

第1章

液压传动基础

【本章提要】

1. 液压与气动技术的基本原理;
2. 液压系统的组成元件;
3. 我国制定的表示液压原理图中的各元件和连接管路的图形符号标准,掌握对于这些图形符号的基本规定;
4. 液压传动的优点、缺点以及用途;
5. 液体静压力的基本方程以及帕斯卡原理、连续定理、伯努利定理;
6. 节流阀原理;
7. 液体流动中压力和流量的损失;
8. 液压冲击和空穴现象;
9. 液压油的用途和种类;
10. 液压油相关性质的计算和选用;
11. 液压油的污染原因、危害以及控制措施。

【学习要求】

1. 掌握液压传动的基本概念;
2. 熟悉液压传动的工作原理、组成和特点;
3. 了解静力学、动力学的基础知识;
4. 了解液压油的使用知识。

液压传动与气压传动统称为流体传动,都是利用有压流体(液体或气体)作为工作介质来传递运动、动力或控制信号的一种传动方式。

1.1 液压传动的工作原理

液压传动的工作原理,可以用一个液压千斤顶的工作原理来说明。

图1-1是液压千斤顶的工作原理图。大油缸9和大活塞8组成举升液压缸。杠杆手

柄 1、小油缸 2、小活塞 3、单向阀 4 和 7 组成手动液压泵。如提起手柄使小活塞向上移动,小活塞下端油腔容积增大,形成局部真空,这时单向阀 4 打开,通过吸油管 5 从油箱 12 中吸油;用力压下手柄,小活塞下移,此时小活塞下腔压力升高,单向阀 4 关闭,单向阀 7 打开,下腔的油液经管道 6 输入举升油缸 9 的下腔,迫使大活塞 8 向上移动,顶起重物。再次提起手柄吸油时,单向阀 7 自动关闭,使油液不能倒流,从而保证了重物不会自行下落。不断地往复扳动手柄,就能不断地把油液压入举升缸下腔,使重物逐渐地升起。如果打开截止阀 11,举升缸下腔的油液通过管道 10、截止阀 11 流回油箱,重物就向下移动。这就是液压千斤顶的工作原理。

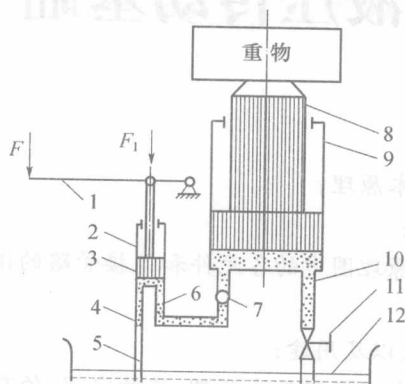


图 1-1 液压千斤顶工作原理图

1—杠杆手柄;2—小油缸;3—小活塞;4、7—单向阀;5—吸油管;6、10—管道;
8—大活塞;9—大油缸;11—截止阀;12—油箱

通过对上面液压千斤顶工作过程的分析,可以初步了解到液压传动的基本工作原理:液压传动是利用压力油液作为介质传递运动和动力的一种传动方式。压下杠杆时,小油缸 2 输出压力油,这是将机械能转换成油液的压力能。压力油经过管道 6 及单向阀 7,推动大活塞 8 举起重物,这是将油液的压力能又转换成机械能。大活塞 8 举升的速度取决于单位时间内流入大油缸 9 中油容积的多少。由此可见,液压传动是一个不同能量的转换过程。

其工作原理如下:液压泵由电动机驱动后,从油箱中吸油。油液经滤油器进入液压泵,油液在泵腔中从入口低压到泵出口高压,在图 1-2(a)所示状态下,通过开停阀、节流阀、换向阀进入液压缸左腔,推动活塞使工作台向右移动。这时,液压缸右腔的油经换向阀和回油管 6 排回油箱。

图 1-2(a)所示为一驱动机床工作台的液压传动系统,它由油箱 19、滤油器 18、液压泵 17、溢流阀 13、换向阀 4、节流阀 7、开停阀 10、液压缸 2 以及连接这些元件的油管、管接头等组成。

工作台的移动速度是通过节流阀来调节的。当节流阀开大时,进入液压缸的油量增多,工作台的移动速度增大;当节流阀关小时,进入液压缸的油量减小,工作台的移动速度减小。为了克服移动工作台时所受到的各种阻力,液压缸必须产生一个足够大的推力,这个推力是

由液压缸中的油液压力所产生的。要克服的阻力越大,缸中的油液压力就越高;反之压力就越低。这种现象正说明了液压传动的一个基本原理——压力决定于负载。

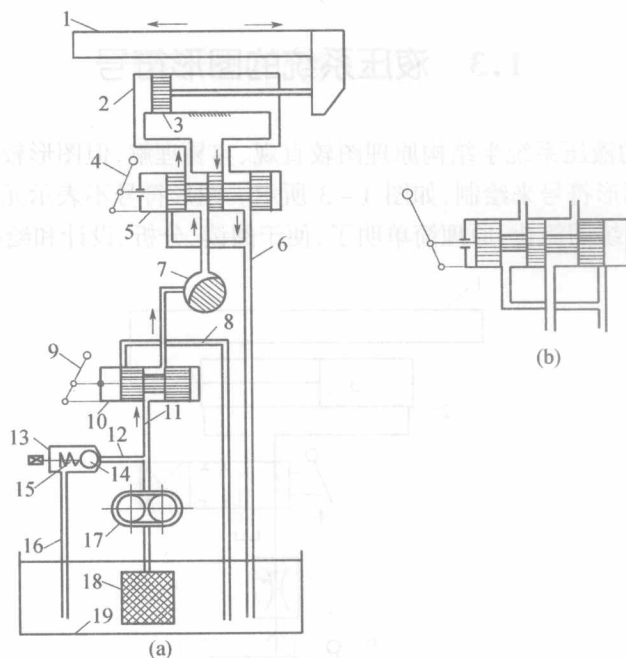


图 1-2 机床工作台液压系统的工作原理图

1—工作台;2—液压缸;3—活塞;4—换向手柄;5—换向阀;6、8、16—回油管;
7—节流阀;9—开停手柄;10—开停阀;11—压力管;12—压力支管;
13—溢流阀;14—钢球;15—弹簧;17—液压泵;18—滤油器;19—油箱

1.2 液压系统的组成

液压系统一般由液压泵、执行元件、控制元件和一些辅助元件及工作介质组成。

1. 动力元件:它由电动机带动,供给系统压力油,是将机械能转换成液体压力能的装置。最常见的形式是液压泵。

2. 执行元件:它是把液压能转换为机械能以驱动工作机构的装置。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,以及测量用的仪表、连接用

的油管等液压元件,我们称这些元件为辅助元件。

5. 工作介质:传递能量的流体,即液压油等。

1.3 液压系统的图形符号

图 1-2 所示的液压系统半结构原理图较直观、容易理解,但图形较复杂,难以绘制。在实际工作中,常用图形符号来绘制,如图 1-3 所示。图形符号不表示元件的具体结构,只表示元件的功能,使系统图简化,原理简单明了,便于阅读、分析、设计和绘制。

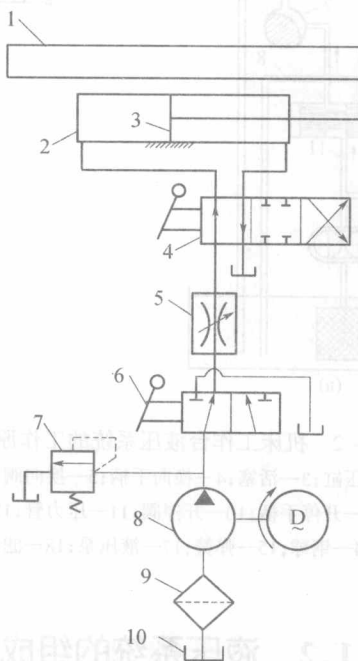


图 1-3 机床工作台液压系统的图形符号图

1—工作台;2—液压缸;3—油塞;4—换向阀;5—节流阀;

6—开停阀;7—溢流阀;8—液压泵;9—滤油器;10—油箱

我国已经制定了一种用规定的图形符号来表示液压原理图中的各元件和连接管路的国家标准,即液压系统图图形符号(GB786.1—1993)。我国制订的液压系统图图形符号(GB786.1—1993)中,对于这些图形符号有以下几条基本规定。

1. 符号只表示元件的职能,连接系统的通路,不表示元件的具体结构和参数,也不表示元件在机器中的实际安装位置。

2. 元件符号内油液流动方向用箭头表示,线段两端都有箭头的,表示流动方向可逆。

3. 符号均以元件静止位置或中间零位置表示,当系统的动作另有说明时,可作例外。

图 1-3 所示为图 1-2(a)系统用国家标准 GB786—1976《液压系统图图形符号》绘制的

工作原理图。使用这些图形符号可使液压系统图简单明了,且便于绘图。

1.4 液压传动的特点

液压传动有如下特点。

1. 优点

(1) 安装方便灵活。由于液压传动是油管连接来完成,所以借助油管的连接可以方便灵活地布置传动机构,这是比机械传动优越的地方。

(2) 体积小,输出力大。在同等功率情况下,液压传动装置体积小、重量轻、结构紧凑。例如,同功率液压马达的重量只有电动机的 10%。系统一般使用压力为 7MPa,也可高达 50MPa。

(3) 不会有过负载的危险。借助于设置溢流阀,当系统压力超过设定压力时,溢流阀阀芯打开,液压油经溢流阀流回油箱,故系统压力永远无法超过设定压力。

(4) 输出力调整容易。只要调整压力控制阀即可轻易调整液压装置输出力。

(5) 速度调整容易。借助阀或变量泵、变量马达,可以实现无级调速,调速范围可以达到 1:2000,并可在液压装置运行的过程中进行调速。

(6) 易于自动化。液压设备各种控制阀,特别是采用液压控制和电气控制结合使用时,能很容易地实现复杂的自动工作循环,而且可以实现遥控。

(7) 液压元件已实现了标准化、系列化和通用化,便于设计、制造和推广使用。

2. 缺点

(1) 液压传动不能保护严格的传动比,这是由液压油的可压缩性和泄漏造成。

(2) 接管不良造成液压油外泄,它除了会污染工作场所外,还会引起火灾。

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

(4) 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。

(5) 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。

3. 用途

液压传动的优点是主要的,随着设计制造和使用水平的不断提高,有些缺点正在逐步加以克服。液压传动有着广泛的发展前景。

不论液压传动还是气压传动,相对于机械传动来说,都是一门新兴的技术。若从 17 世纪中叶,帕斯卡提出静压传递原理、18 世纪末英国制成第一台水压机开始算起,液压传动已有二、三百年的历史,但只是在第二次世界大战后的 60 年间这项技术才得到真正的发展。战后,随着现代科学技术的迅速发展和制造工艺水平的提高,各种液压元件的性能日益完善,液压技术迅速转向民用工业,在机床、工程机械、农业机械、运输机械、冶金机械等许多机

械装置特别是重型机械设备中得到非常广泛的应用,并渗透工业的其他各个领域,成为工业领域中一门非常重要的控制和传动技术。特别是出现了高精度、响应速度快的伺服阀后,液压技术的应用更是飞速发展,在 20 世纪 70 年代末至 80 年代末,由于电子计算机的迅速发展,促使液压技术进入了数控液压伺服技术的时期。目前普遍认为:电子技术和液压技术相结合是液压系统实现自动控制的发展方向。

1.5 液压传动基本理论

1. 液体静压力

静止液体在单位面积上所受的垂直力称为静压力。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 上作用有垂直力 ΔF , 则该点的压力定义为:

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

若垂直作用力 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 $\text{MPa}(\text{N/mm}^2)$, 在企业中还习惯使用 $\text{bar}(\text{kgf/cm}^2)$ 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。

2. 液体静压力的基本方程

现在我们想象在静止不动的液体中有如图 1-4 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。

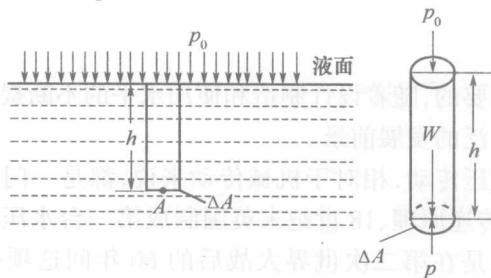


图 1-4 静压力的分布规律

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) 静止液体内任意点的压力由两部分组成,即液面外压力 p_0 和液体自重对该点的压力 ρgh 。
- (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。

【例 1-1】如图 1-5 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 $F = 1\text{kN}$,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 $h = 0.4\text{m}$ 处的压力等于多少?

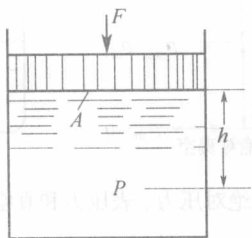


图 1-5 静止液体内的压力

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:

$$\begin{aligned} P &= P_A + \rho gh = 104 + 900 \times 9.8 \times 0.4 \\ &= 1.004329 \times 10^6 (\text{N/m}^2) \approx 10^6\text{Pa} \end{aligned}$$

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。

3. 绝对压力、表压力及真空度

液压系统中的压力就是指压强,液体压力通常有绝对压力、相对压力(表压力)、真空度三种表示方法。因为在地球表面上,一切物体都受大气压力的作用,儿且是自成平衡的,即大多数测压仪表在大气压下并不动作,这时它所表示的压力值为零,因此,它们测出的压力

是高于大气压力的那部分压力。也就是说,它是相对于大气压(即以大气压为基准零值时)所测量到的一种压力,因此称它为相对压力或表压力。另一种是以绝对真空为基准零值时所测得的压力,我们称它为绝对压力。当绝对压力低于大气压时,习惯上称为出现真空。因此,某点的绝对压力比大气压小的那部分数值叫做该点的真空度。如某点的绝对压力为 $4.052 \times 10^4 \text{Pa}$ (0.4 大气压),则该点的真空度为 $0.6078 \times 10^4 \text{Pa}$ (0.6 大气压)。

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 1-6 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。

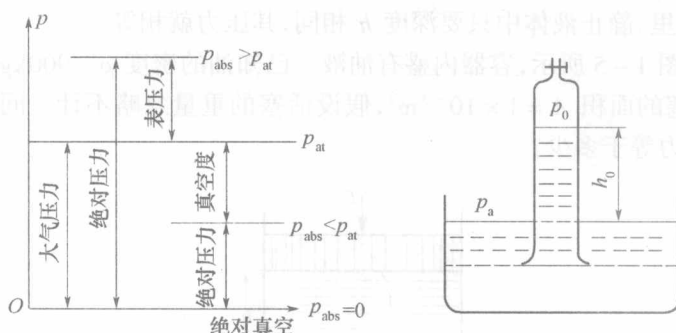


图 1-6 绝对压力、表压力和真空度的关系

4. 帕斯卡原理

密封容器内的静止液体,当边界上的压力 p_0 发生变化时,例如增加 Δp ,则容器内任意一点的压力将增加同一数值 Δp_0 ,也就是说在密封容器内施加于静止液体任一点的压力将以等值传到液体各点,这就是帕斯卡原理或静压传递原理。根据帕斯卡原理和静压力的特性,液压传动不仅可以进行力的传递,而且还能将力放大和改变力的方向。

如图 1-7 所示(容器内压力方向垂直于内表面),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,如果垂直液压缸的大活塞上没有负载,即 $W = 0$,则当略去活塞重量及其他阻力时,不论怎样推动小活塞也不能在液体中形成压力。

即在液压传动中工作的压力取决于负载,而与流入的液体多少无关。

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。

质量守恒是自然界的客观规律,不可压缩液体的流动过程也遵守能量守恒定律。

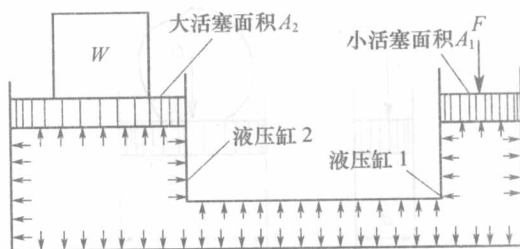


图 1-7 帕斯卡原理

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 1-8 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:

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

式中, v_1, v_2 分别是流管流通截面 A_1 及 A_2 上的平均流速。

流量的单位通常用 L/min 表示,与 m^3/s 换算式如下:

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

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

式(1-6)即为连续定理,此式还得出以下几个重要的基本概念,即:

- (1) 任一通流截面上的流量相等;
- (2) 当流量一定时,任一通流截面上的通流面积与流速成反比;
- (3) 任一通流断面上的平均流速为: $v_i = q/A_i$ 。

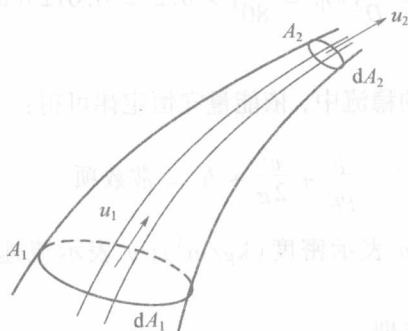


图 1-8 变截面管路中液体的流量与流速

【例 1-2】图 1-9 所示为相互连通的两个液压缸,已知大缸内径 $D = 80\text{mm}$,小缸内径 $d = 20\text{mm}$,大活塞上放一质量为 5000kg 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 0.2m/s ,大活塞上升速度是多少?