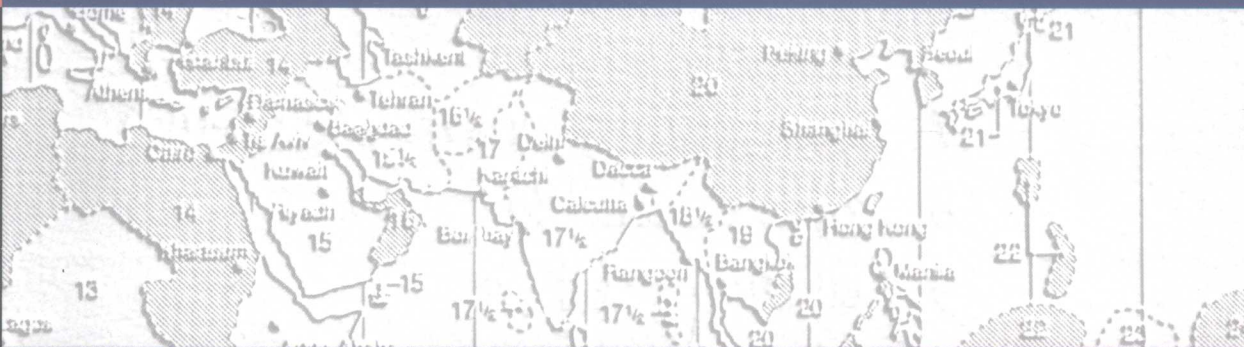




卓越系列·国家示范性高等职业院校特色教材



液 压 与 气 动

HYDRAULIC AND PNEUMATIC TECHNOLOGY

刘德成 主 编
王宗霞

内 容 简 介

本书主要包括液压传动和气压传动两个部分,液压传动部分包括认识液压系统、液压动力元件、液压执行元件、方向控制阀、压力控制阀、流量控制阀、液压辅助元件、组合机床液压系统、外圆磨床液压系统;气压传动部分包括认识气动系统,气源装置及气动辅助元件,气动执行元件,气动控制元件,气动系统,气动系统安装、调试、使用与维护。

本书为高等职业技术学院机械设计制造类专业教材,也可作为成人高校、本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校的教材或设计制造类专业教材,或作为自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气动/刘德成,王宗霞主编. —天津:天津大学出版社,2009.9

ISBN 978-7-5618-3133-5

I. 液… II. ①刘…②王… III. ①液压传动②气压传动 IV. TH137 TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 149855 号

出版发行 天津大学出版社
出 版 人 杨欢
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742
网 址 www.tjup.com
印 刷 迁安万隆印刷有限公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 169mm×239mm
印 张 10
字 数 214 千
版 次 2009 年 9 月第 1 版
印 次 2009 年 9 月第 1 次
印 数 1-3000
定 价 22.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

为将理论知识更好地与实践相结合,实现教学内容与工作岗位需要的紧密联系,教材的编写从职业(岗位)分析入手,采用任务为载体,将知识点及技能点串接在一起。与行业企业合作,以典型知识技能为主线、相关知识为支撑,较好地处理了理论教学与技能训练的关系,切实落实“管用、够用、适用”的教学指导思想;突出教材的先进性,较多地编入新技术、新设备、新材料、新工艺的内容,以期缩短学校教育与企业需要的距离,更好地满足企业用人的需要;以实际案例为切入点,并尽量采用以图代文的编写形式,降低学习难度,提高学生的学习兴趣。

本书由刘德成编写第一篇的单元四、单元九,王宗霞编写第一篇的单元二、单元八,蔡艳辉编写第一篇的单元五、单元六,谷青松编写第二篇的单元一、单元二、单元三、单元四,马红荣编写第二篇的单元五,范玉成编写第一篇的单元七,鞠鸿雁编写第一篇的单元三,马述秀编写第一篇的单元一,王晓杰编写第二篇的单元六,全书由刘德成统稿。刘德成、王宗霞任主编,蔡艳辉、谷青松任副主编。

在本教材的编写过程中,我们得到了有关部门的大力支持,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,本教材的编写还有待于进一步完善,恳切希望广大读者提出宝贵的意见和建议,以便修订。

编 者

2009年05月

目 录

第一篇 液压传动	1
单元一 认识液压系统.....	3
单元二 液压动力元件	20
单元三 液压执行元件	39
单元四 方向控制阀	55
单元五 压力控制阀	66
单元六 流量控制阀	80
单元七 液压辅助元件	92
单元八 组合机床液压系统	98
单元九 外圆磨床液压系统.....	105
第二篇 气压传动	111
单元一 认识气动系统.....	113
单元二 气源装置及气动辅助元件.....	117
单元三 气动执行元件.....	128
单元四 气动控制元件.....	134
单元五 气动系统.....	141
单元六 气动系统安装、调试、使用与维护.....	149

第一篇 液压传动

单元一 认识液压系统

知识点

- 液压传动系统的工作原理
- 液压传动系统的组成及各部分的作用

技能点

- 正确拆装液压系统,区分各组成部分



一、任务引入

日常生活中见到的自行车轮转动、录音磁带转动、手动抽水机井等属于哪种传动? 推土机、挖掘机(图 1-1)、翻斗车靠什么带动完成工作?



图 1-1 挖掘机

二、任务分析

传动一般分为 4 种:机械传动是靠机件间的摩擦力或相互啮合传递运动或动力;电力传动是利用电动机将电能变为机械能,以驱动机器工作的传动;液压与气压传动是以液体或压缩空气作为传递能量的载体,实现各种传动和控制。有时可以看到推土机、挖掘机、翻斗车工作时有一个柱体伸缩,它是靠液压传动系统带动伸缩完成工作的。要全面了解液压传动系统,就要掌握系统的工作原理,熟悉组成系统的各类液压元件的结构以及由这些元件组成的各种控制回路的特点及应用、传动介质的基本特性等,掌握液压传动装置的安装、调试、故障分析与排除方法,并在此基础上进行液

压传动系统的分析与设计。

三、相关知识

液压传动系统的工作原理

现以液压千斤顶为例,简述液压传动的工作原理。

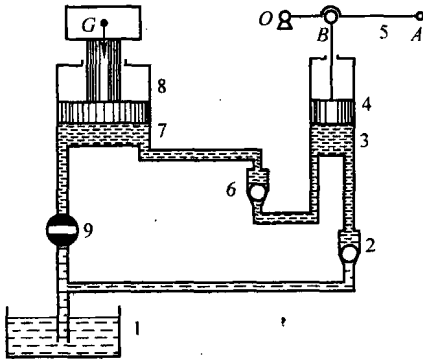


图 1-2 液压千斤顶工作原理

1—油箱 2,6—单向阀 3—小油缸 4—小活塞
5—手动提压杆 7—大油缸 8—大活塞 9—放油阀

迫使大活塞上移,顶起重物 G 。再次提起手柄,大缸体内压力油使单向阀 6 自动关闭,小缸体下腔继续从油箱吸油。不断往复提压手柄,就能不断把油液压入大缸体下腔,使重物逐渐升起。如果将放油阀 9 转过 90° ,油液流回油箱,大活塞下移,重物回落。可见手柄、小缸体、小活塞、2 个单向阀组成了手动液压泵。

综上所述,液压传动是以油液作为工作介质,依靠密封容积的变化传递运动,依靠介质内压力传递动力的。其实质是能量转换,先将机械能转换成压力能,通过各种元件组成的控制回路实现能量控制,再将压力能转换成机械能。

四、任务实施

(一) 液压系统的组成

图 1-3 为机床工作台的液压传动系统,其工作原理是电动机带动液压泵 2 从油箱中吸油,油液经过过滤器进入液压泵,在液压泵出口向系统输出一定压力和流量的液压油,通过节流阀 4、换向阀 5 进入液压缸 6 的右腔,推动活塞带动工作台左移,液压缸左腔里的油液经换向阀流回油箱。如果换向阀手柄扳向右位,可

如图 1-2 所示,活塞与缸体内壁间有着良好的密封,大小活塞可以分别在大小缸体内上下移动,形成一个容积可变的密封空间,当提起手柄,小活塞在小缸体内上移,其下部缸体内容积增大,形成局部真空,这时大活塞上的重物使大缸内的液压油作用在单向阀 6 上,单向阀 6 关闭,而油箱内的液压油在大气压作用下,打开单向阀 2 进入小缸体,完成吸油;用力压下手柄,小活塞下移,其下腔内压力升高,单向阀 2 关闭,液压油打开单向阀 6 进入大缸体,

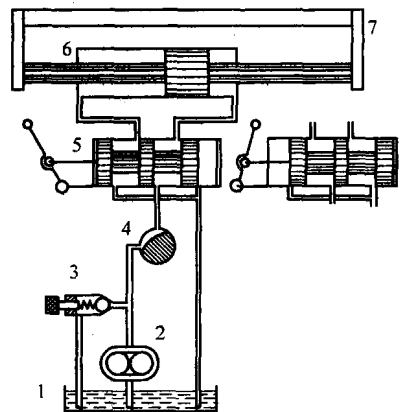


图 1-3 机床工作台液压传动系统

1—油箱 2—液压泵 3—溢流阀
4—节流阀 5—换向阀
6—液压缸 7—工作台

以实现液压缸左腔进油,右腔回油,工作台向右移动。可见换向阀用于控制液压缸工作台的运动方向。而工作台的运动速度可以通过节流阀 4 来调节,当节流阀口开大时,进入缸内的油液流量增大,工作台运动速度就快。

工作台运动时必须克服各种阻力,如切削力和摩擦力等,要求液压缸必须产生足够大的推力,而推力的大小由液压缸内油液压力保证,因此液压油的压力应根据克服负载的大小进行调节,这主要由溢流阀 3 调定,同时,当节流阀口一定时,多余的油液需经溢流阀流回油箱。

综上所述,液压传动系统主要由以下 5 部分组成。

- 1) 动力装置。把机械能转换成压力能的装置,如液压泵、空气压缩机。
- 2) 执行装置。把压力能转换成机械能的装置,如液压缸、液压马达、气压缸、气压马达。
- 3) 控制调节装置。对液压与气压系统中流体的压力、流量和流动方向进行控制和调节的装置。如单向阀、换向阀、节流阀、溢流阀等。
- 4) 辅助装置。包括油箱、过滤器、蓄能器、管件等。
- 5) 工作介质。传递能量的载体,即液压油。

(二) 液压传动的优缺点

传动与控制方式可分为机械传动、电力传动、液压和气压传动。与机械传动、电力传动相比,液压传动有如下特点。

液压传动的优点为:

- 1) 在相同功率的情况下,液压传动体积小,质量轻;
- 2) 液压传动可以实现无级调速,调速范围广(可达 1 : 2 000);
- 3) 液压传动工作平稳,换向冲击小,反应速度快,宜于实现频繁的换向;
- 4) 液压传动便于实现过载保护,液压油使元件自润滑,使用寿命长;
- 5) 液压传动对液体的压力、流量和流向进行控制和调节,容易实现自动化,操纵方便;
- 6) 液压元件已标准化、系列化、通用化。

液压传动的缺点为:

- 1) 液压传动存在泄漏及液体被压缩的情况,使传动不准确;
- 2) 液压传动中存在流量损失、压力损失及摩擦损失,传动效率不高,且不宜远距离传动;
- 3) 液压传动对油温、油污比较敏感。不能在高温和低温下工作,对油液质量要求较高。

五、拓展知识

(一) 液压传动工作介质

液压油作为液压传动的工作介质,在液压系统中起着能量传递、润滑、防腐、防

锈、冷却等作用。了解液压油的种类、物理性质,掌握液体的静力学特征、运动学和动力学规律,对于理解液压传动工作原理、合理选用液压元件和正确使用液压系统是非常有必要的。

1. 液压油的种类

液压系统常用液压油主要有 3 大类:矿油型、乳化型和合成型。矿油型液压油是提炼后的石油制品加入各种添加剂精制而成,具有品种多、润滑性好、腐蚀性小、化学稳定性好、成本低、使用范围广的优点,为大多数液压系统所采用。矿油型液压油的主要缺点是易燃。在高温、易燃、易爆的工作环境中应使用难燃的液体,如水包油、油包水乳化液或水-乙二醇液、磷酸酯合成液。

液压油的详细分类、代号和用途如表 1-1 所示。

表 1-1 液压系统常用液压油分类(GB 11118—1989)

分类	名称	代号	组成和特性	应 用
矿油型	精制矿物油	L-HH	浅度精制矿物油,不含添加剂,稳定性差,易氧化,易起泡,易生成胶块,阻塞元件小孔	主要用于润滑要求不高的低压系统,液压代用油
	普通液压油	L-HL	精制矿物油加抗氧化、防锈添加剂,提高了抗氧化、防锈性能	一般设备的中低压系统
	耐磨液压油	L-HM	L-HL 加耐磨剂、金属钝化剂、消泡剂,改善耐磨性	适用于工程机械、车辆液压系统
	低温液压油	L-HV	L-HM 加添加剂,改善黏温特性	适用于 $-40\sim-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高压系统
	高黏度指数液压油	L-HR	L-HL 加黏度指数添加剂,改善黏温特性,黏度指数达 175 以上	适用于环境温度变化较大的低压系统、数控机床液压系统
	液压导轨油	L-HG	L-HM 加抗黏滑剂,良好的防锈、抗氧化、耐磨性,改善黏滑性能,低速下防爬行	机床中液压和导轨润滑用的系统
	其他液压油			
乳化型	水包油乳化液	L-HFAE	高水基液,难燃,黏温特性好,但润滑性差,易泄漏	用于有抗燃要求、用量较大的液压系统
	油包水乳化液	L-HFB	耐磨、防锈、抗燃性能好	有抗燃要求的中压系统
合成型	水-乙二醇液	L-HFC	难燃,黏温特性的抗蚀性好,能在 $-30\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下使用	有抗燃要求的中低压系统
	磷酸酯液	L-HFDR	难燃,良好的润滑性、耐磨性和抗氧化性,能在 $-54\sim 135\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度范围内使用,但有毒	适用于有抗燃要求的高压精密液压系统

2. 液压油的性质

(1) 密度

单位体积液体的质量称为液体的密度,用 ρ 表示,单位为 kg/m^3 。设液体体积为 V ,单位为 m^3 ,质量为 m ,单位为 kg ,则该液体密度为:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

液体密度随温度的升高而减小,随压力的升高而增大。但是,由于温度和压力对密度的影响都很小,一般情况下可视液体密度为常数。矿油型液压油密度 $\rho = 850 \sim 900 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

(2) 可压缩性

液体受压力作用其体积减小的性质称为液体的可压缩性。对于一般液压系统可认为液压油是不可压缩的。但是,如果油液中混有游离空气,液体可压缩性将明显增大,严重影响液压系统的工作性能。因此,在液压系统中必须尽量减少油液中的空气含量。

(3) 黏性

液体在外力作用下流动时,分子间的内聚力阻碍其相对运动而产生内摩擦力,这一性质称为液体的黏性。

由于液体内部黏性以及液体与固体壁面间附着力使液体内部各处的速度不相等。如图 1-4 所示,设两平行平板间充满液体,下平板不动,上平板以速度 u_0 向右平移。由于液体的黏性,紧靠下平板的液层速度为 0,紧贴上平板的液层速度为 u_0 ,而中间各液层的速度从下到上呈线性递增。

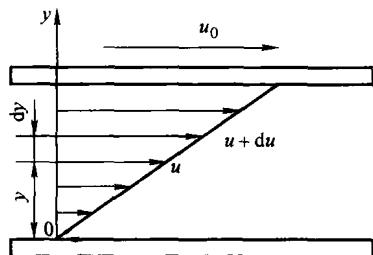


图 1-4 液体黏性示意图

试验表明,液体流动时相邻液层间的内摩擦力 F 与液层接触面积 A 、液层间相对速度 du 成正比,与液层间距离 dy 成反比,即:

$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1-2)$$

式中: μ ——比例常数,黏性系数或动力黏度。

$\frac{du}{dy}$ ——速度梯度。

在静止液体中,由于速度梯度为 0,内摩擦力为 0,所以静止液体不呈现黏性。液体黏性的大小用黏度表示,常用的黏度有动力黏度、运动黏度和相对黏度 3 种。

1) 动力黏度。又称绝对黏度。动力黏度 μ 是指单位速度梯度下流动时,单位面积上产生的内摩擦力。动力黏度的国际单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 或 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 。

2) 运动黏度。动力黏度 μ 与液体密度 ρ 的比值称为液体的运动黏度,用 ν 表示,即:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-3)$$

运动黏度没有明确的物理意义,由于它的量纲只与长度和时间有关,所以称为运动黏度。运动黏度的国际单位为 m^2/s ,工程中常用 mm^2/s 。

国际标准化组织 ISO 规定统一采用运动黏度表示液压油的黏度等级。我国生产的液压油采用 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的运动黏度(mm^2/s)为黏度等级标号。如牌号为 L-HL22 表示普通液压油在 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的运动黏度平均值为 $22\text{ mm}^2/\text{s}$ 。

3) 相对黏度。又称条件黏度。相对黏度是在一定测量条件下测定的,中国、德国等都采用恩氏黏度 $^{\circ}\text{E}$,美国用赛氏黏度 SSU,英国用雷氏黏度 R。

恩氏黏度用恩氏黏度计测定,将 200 mL 温度为 t 的被测液体装入黏度计,在液体自身重力作用下流过黏度计下部直径为 2.8 mm 的小孔,测出液体流尽所需时间 t_1 ,与温度为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的 200 mL 蒸馏水在同一黏度计中流尽所需时间 t_0 标定值之比,称为恩氏黏度。即:

$$^{\circ}\text{E}_t = \frac{t_1}{t_0} \quad (1-4)$$

一般以 20 、 50 、 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 作为测定液体黏度的标准温度。

恩氏黏度与运动黏度间的换算关系为:

$$\nu = 7.31^{\circ}\text{E}_t - \frac{6.31}{^{\circ}\text{E}_t} \times 10^{-6} \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad (1-5)$$

4) 影响黏度的因素。油液对温度的变化十分敏感,温度升高,黏度降低。液体所受压力增大,黏度增大。但对于一般液压系统,当压力低于 32 MPa 时,压力对黏度影响不大,可以忽略不计。

3. 液压油的选用

(1) 液压油的使用要求

- 1) 黏度适当,黏温特性好。
- 2) 润滑性能好,防锈能力强。
- 3) 抗氧化稳定性好,不易变质。
- 4) 热膨胀系数小,比热容大。
- 5) 燃点高,凝点低。
- 6) 抗泡沫性、抗乳化性好。

(2) 液压油的选用

根据液压系统对工作介质的要求选用合适的液压油品种,见表 1-1。当液压油品种确定后主要考虑液压油的黏度,进而选择油液的黏度等级及牌号。

选择黏度时主要考虑以下几种情况:

- 1) 工作压力。为减少泄漏,工作压力较高的液压系统应选择黏度较大的液压油。
- 2) 运动速度。为减小摩擦损失,工作部件运动速度较高时,宜选用黏度较小的液压油。

3)环境温度。为减少泄漏,环境温度较高时,宜选用黏度较大的液压油。

在液压系统所有元件中,以液压泵的转速最高,承受压力最大,工作时间最长,且温升高,因此,常根据液压泵的类型及其要求来选择液压油黏度。各类液压泵适用的黏度范围如表 1-2 所示。

表 1-2 各种液压泵工作介质的黏度范围及推荐用油

液压泵 类型	压力	运动黏度(mm^2/s)		适用品种和黏度等级
		5~40 °C	40~80 °C	
叶片泵	7 MPa 以下	30~50	40~75	HM 油, 32, 46, 68
	7 MPa 以上	50~70	55~90	HM 油, 46, 68, 100
螺杆泵		30~50	40~80	HL 油, 32, 46, 68
齿轮泵		30~70	95~165	HL 油(中高压用 HM), 32, 46, 68, 100, 150
径向柱塞泵		30~50	65~240	HL 油(高压用 HM), 32, 46, 68, 100, 150
轴向柱塞泵		40	70~150	HL 油(高压用 HM), 32, 46, 68, 100, 150

4. 液压油的污染及控制

液压油的污染是液压系统发生故障的主要原因。液压油污染严重影响液压系统的可靠性及液压元件的寿命。因此,对液压油的正确使用及污染控制是提高液压系统综合性能的重要手段。

(1) 污染的原因

1)残留污染。液压元件和液压系统装配中的残留物。如毛刺、切屑、型砂、棉纱等。

2)侵入污染。液压系统运行中,由于密封不完善,由系统外部侵入的污染物。如灰尘、水分等。

3)生成污染。液压系统运行中本身生成的污染物。如腐蚀剥落的金属颗粒、油液老化后的胶状生成物等。

(2) 污染的危害

1)固体颗粒及胶状物。造成缝隙堵塞,过滤器失效,泵运转困难,阀动作失灵,产生噪声。

2)微小颗粒。加速零件磨损,擦伤密封件,泄漏增加。

3)水分和空气。降低油液润滑能力,加快油液氧化变质,在元件表面产生气蚀,系统出现振动和爬行现象。

(3) 污染度等级

液压油的污染度是指单位容积液体中固体颗粒污染物的含量。目前,常用的污染度等级标准有 2 个:一个是国际标准 ISO 4406,一个是美国标准 NAS 1638。

国际标准 ISO 4406 用 2 个代号表示油液的污染度,如等级代号为 19/16 的液压油,前面的代号 19 表示 1 mL 油液中尺寸大于 $5\ \mu\text{m}$ 颗粒数的等级,颗粒数在

2 500~5 000 之间,后面的代号 16 表示 1 mL 油液中尺寸大于 15 μm 颗粒数的等级,颗粒数在 320~640 之间。污染度等级代号的含义如表 1-3 所示。

表 1-3 ISO 4406 污染度等级标准

1 mL 油液中的颗粒数	等级代号	1 mL 油液中的颗粒数	等级代号
5 000 000	30	80~160	14
2 500 000~5 000 000	29	40~80	13
1 300 000~2 500 000	28	20~40	12
640 000~1 300 000	27	10~20	11
320 000~640 000	26	5~10	10
160 000~320 000	25	2.5~5	9
80 000~160 000	24	1.3~2.5	8
40 000~80 000	23	0.64~1.3	7
20 000~40 000	22	0.32~0.64	6
10 000~20 000	21	0.16~0.32	5
5 000~10 000	20	0.08~0.16	4
2 500~5 000	19	0.04~0.08	3
1 300~2 500	18	0.02~0.04	2
640~1 300	17	0.01~0.02	1
320~640	16	≤ 0.01	0
160~320	15		

(4) 污染的控制

为防止油液污染,在实际工作中应采取如下措施。

- 1) 液压系统在装配后、运转前必须用系统工作中使用的油液进行彻底清洗。
- 2) 液压油在工作中保持清洁,尽量防止工作中空气、水分和灰尘的侵入。
- 3) 采用合适的滤油器,并要定期检查和清洗滤油器和油箱。
- 4) 定期更换液压油。
- 5) 控制液压油的工作温度。一般液压系统的工作温度最好控制在 65 $^{\circ}\text{C}$ 以下,机床液压系统则应控制在 55 $^{\circ}\text{C}$ 以下。

(二) 液体静力学

液体静力学主要是讨论液体静止时的受力平衡规律以及这些规律的应用。所谓静止,是指液体内部各质点间没有相对位移,也就是不呈现黏性,因此没有剪应力,只有静压力。

1. 液体静压力及其性质

(1) 静压力

作用在液体上的力有 2 种:质量力和表面力。质量力即液体自身重力;表面

力可以是其他物体作用于液体上的力,也可以是一部分液体对另一部分液体的作用力。表面力又有法向力和切向力,当液体静止时,液体各质点间没有相对位移,没有切向力,只有法向力。静止液体内某处单位面积上所受的力称为静压力,即:

$$p = \frac{F}{A} \quad (1-6)$$

压力的国际单位是:Pa(帕)或 N/m^2 ,工程上常用 MPa, bar, kgf/cm^2 。

$$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa} \quad 1 \text{ bar} = 1.02 \text{ kgf/cm}^2 = 0.1 \text{ MPa}$$

(2) 静压力的特性

- 1) 液体静压力垂直于受压面,方向与该面的内法线方向一致。
- 2) 静止液体内任一点所受的静压力在各方向上都相等。

(3) 液体静力学基本方程

如图 1-5 所示,静止液体表面受压力 p_0 ,自液面向下取高度为 h 的微小圆柱体,底面积为 A ,对该圆柱体进行受力分析:上表面受力 $p_0 A$ 、自身重力 $\rho g h A$ 、下表面受力 $p A$ 、侧面力,各力使圆柱体处于力学平衡状态,在垂直方向列出受力平衡方程式,则简化后

$$p A = p_0 A + \rho g h A \quad (1-7)$$

可见,静止液体的压力具有以下特征:

- 1) 静止液体内任一点处压力都由两部分组成。
- 2) 静止液体内压力随深度呈线性规律分布。
- 3) 深度相同的各点组成一水平等压面。

静止液体的压力有 2 种表示方法:一种是以绝对真空为基准所表示的压力,称为绝对压力;一种是以大气压作为基准所表示的压力,称为相对压力。由于大多数测压仪表测得的压力都是相对压力,所以相对压力又称为表压力。

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

如果液体中某处绝对压力小于大气压,这时绝对压力比大气压小的那部分数值叫真空度,即:

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

绝对压力、大气压、真空度之间的关系,如图 1-6 所示。

2. 液体静压传递原理

如图 1-7 所示,密闭容器内油液表面的外力变化时,引起作用在表面的压力 p_0 随之发生变化,只要液体仍保持静止状态,液体中的任一点压力也将发生同样大小的变化。所以,施加于密闭容器内静止液体上的压力以等值传递到液体各点。这就是静压传递原理,或帕斯卡原理。

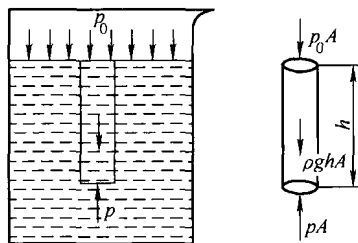


图 1-5 重力作用下压力分布

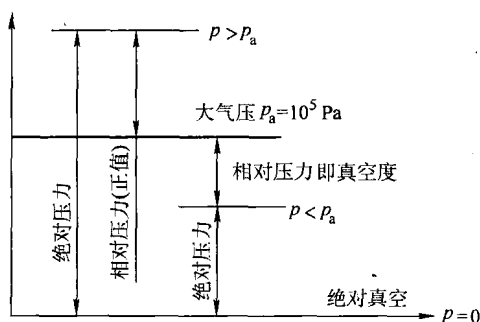


图 1-6 绝对压力、相对压力、真空度

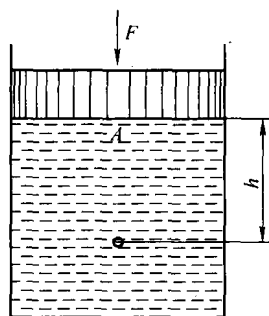


图 1-7 静压传递原理

【例 1-1】如图 1-7 所示，容器内盛有油液。已知油的密度 $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$ ，作用在活塞上的力 $F = 2000 \text{ N}$ ，活塞面积 $A = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ 。不计活塞质量，问活塞下 $h = 0.8 \text{ m}$ 处的压力是多少？

解：外力 F 作用在液体表面的压力

$$p_0 = \frac{F}{A} = 2 \times 10^6 \text{ Pa}$$

深度为 h 处的液体压力为

$$p = p_0 + \rho gh = 2 \times 10^6 + 900 \times 9.8 \times 0.8 = 2.007056 \times 10^6 \text{ Pa} \approx 2.0 \times 10^6 \text{ Pa}$$

由此表明，液体在受外界压力作用下，由液体自身质量所产生的压力 ρgh 相对很少，在液压系统中可以忽略不计，近似认为整个液体内部的压力是相等的，等于液体表面的压力。根据帕斯卡原理，液体内的压力是由外界负载作用形成的，即压力取决于负载，这是液压传动中一个重要的概念。

【例 1-2】如图 1-2 所示，作用在手柄上 A 点的力 $T = 200 \text{ N}$ ， $AO = 50 \text{ cm}$ ， $BO = 10 \text{ cm}$ ，小活塞面积 $A_1 = 5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ ，大活塞面积 $A_2 = 100 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ ，不计活塞质量，问大活塞能顶起质量为多大的物体？

解：由杠杆原理，作用在小活塞上的力 F_1 ：

$$F_1 = \frac{AO}{BO} \times T = 5 \times 200 = 1000 \text{ N}$$

通过小活塞作用在小缸内液体表面的压力 p ：

$$p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{1000}{5 \times 10^{-4}} = 2 \times 10^6 \text{ Pa}$$

不计油液自身质量产生压力，由静压传递原理，作用在大活塞底部油液作用力 F_2 与物体重力 G 相平衡，即：

$$G = F_2 = p A_2 = 2 \times 10^6 \times 100 \times 10^{-4} = 20000 \text{ N}$$

这就是液压千斤顶等液压机械的工作原理。

3. 液体作用于固体壁面上的力

忽略液体自身质量产生的压力，则作用在固体壁面上的压力是均匀分布的，液体

作用在固体壁面的力为静压作用力的总和。

如果固体壁面为一平面,液体在该平面的作用力 F 为液体压力 p 与该平面面积 A 的乘积:

$$F = pA$$

如果固体壁面为一曲面,液体在该曲面某一方向 x 上作用力 F_x 等于液体压力 p 与曲面在该方向上投影面积 A_x 的乘积:

$$F_x = pA_x$$

(三) 液体动力学

液体动力学主要讨论液体的流动状态、运动规律、能量转换以及流动液体与壁面的作用力等问题,这是液压技术中分析问题和设计计算的理论依据。

1. 理想液体和稳定流动

研究液体流动必须考虑黏性和压缩性的影响,但由于问题复杂,可以假设液体是没有黏性和不可压缩的,然后通过实验验证的方法在理想结论的基础上进行修正。这种假设液体称为理想液体。

液体流动时,若液体中任一点处压力、速度、密度都不随时间而变化,这种流动称为稳定流动。反之,只要压力、速度、密度有一个随时间变化就称为非稳定流动。稳定流动和非稳定流动如图 1-8 所示。

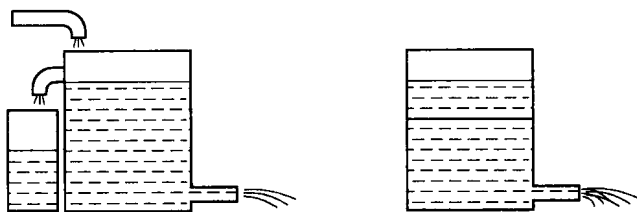


图 1-8 稳定流动和非稳定流动

2. 流量、过流断面和平均流速

过流断面:液体在管道内流动,垂直于液流方向的截面。

流量:单位时间内流过某一过流断面的液体体积。用 q_v 表示,单位为 m^3/s 或 L/min 。

假设理想液体在一直管内作稳定流动,管道截面积为 A ,在过流断面上各质点流速 v 相等,则时间 t 内流过某一过流断面的液体体积 $V = Avt$,所以流量为:

$$q_v = \frac{V}{t} = \frac{Avt}{t} = Av \quad (1-8)$$

对于实际液体流动,如图 1-9 所示,液流在微小过流断面 dA 上,各点流速认为是相等的。所以流过该微小断面的微小流量为:

$$dq = v dA$$