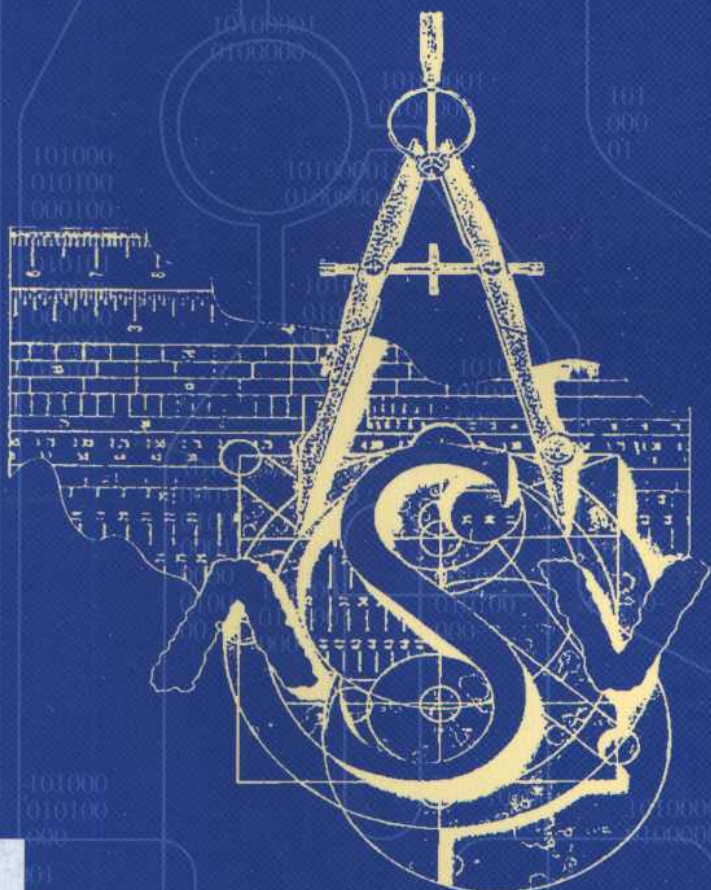


高职高专机电类系列教材

液压与气动

GAOZHIGAOZHUANJIDIANLEI
XILIEJIAOCAI

姚新 刘民钢 主编



中国
人民
大
学
出
版
社

高职高专机电类系列教材

液压与气动

姚 新 刘民钢 主编

中国人民大学出版社

前 言

为了贯彻落实第三次全国教育工作会议精神,推出一大批具有我国高等职业技术教育特色、面向 21 世纪的优秀教材,以适应高职教育不断发展的需要,华中科技大学、北京理工大学、武汉船舶职业技术学院、成都航空职业技术学院等二十余所院校和中国人民大学出版社于 1999 年组织制定了高职高专教育机电类专业教材编写规划。

本书是根据该规划,并综合各院校的教学计划和教学大纲,以及多年来的教学经验编写的。

本书分四篇,第一篇为液压与气动的基础知识,内容有液压与气动的工作流体、流体力学基础、实际流体在管路系统中的流动等;第二篇为液压传动,内容有液压动力装置、执行机构、控制元件及回路、系统实例等;第三篇为气压传动,内容有气源装置、气动执行机构、控制元件与回路、系统实例等;第四篇为液压与气动的综合应用与设计,内容有系统设计、气液联动、流体静压支承、超高压技术、系统的安装调试和故障分析等。

全书共十四章,章前有导读,章后有小结,书后附习题参考答案和提示;以“*”号区别选修内容,便于学生自学和教师取舍。

本书为高职高专院校机电类、机械类和近机类专业教材,还可作为各类成人高校相关专业的教学用书,有关工程技术人员也可参考阅读。

本书编写特点可归纳为:

(1) 根据高职高专机电类专业的培养目标,以职业岗位技能要求为出发点,归纳出液压与气动技术的共性与个性。以液压为主线,使液压与气动有机结合,共性问题触类旁通,避免重复讲述,科学处理当前课时压缩与内容扩展的矛盾。既保证高等教育的规格要求,又立异创新,体现高职特色。

(2) 本书清晰地阐述了基本理论、基本内容和基本方法,并提供了相关的背景资料。着重反映基本原理在现代工业技术上的应用,以典型的数控机床等机电设备为系统实例,配以相关综合训练题,突出应用能力的培养,激发学生的创新意识。

(3) 本书第一篇为共性的基础,其余各篇相对独立,并以“*”区别选修内容,便于取舍。减少文字,增加图表,加强直观性。章前导读,章后小结,书后附习题参考答案与提示,便于学生自学。全书严格执行新的国家标准。

本书由武汉船舶职业技术学院姚新、刘民钢主编,株洲职业技术学院胡黄卿主审。第一、二、十、十一、十二、十三章由姚新、刘民钢编写;第三章由湖南工业职业技术学院邵建华编写;第四、五章由湖南工业职业技术学院周晓宏编写;第六、七章由胡黄

卿、姚新编写；第八、九章由武汉船舶职业技术学院王伟编写；第十四章和“流体静压支承技术”部分由武汉船舶职业技术学院陈少艾编写；各章导读、小结和附习题参考答案由姚新编写。

本书编写过程中得到了中国第二汽车制造厂柴油发动机厂罗军民厂长和徐洁工程师等有关人士的热情帮助，王伟、陈少艾等老师审阅了全书，武汉船院教务处郭江平处长对本书给予了大力支持，谨此表示衷心的感谢。

由于编者学术水平有限，加之编写时间仓促，书中缺点和不妥之处在所难免，恳请广大读者不吝指正。

编 者

2000 年 5 月

第一篇 液压与气压传动基础

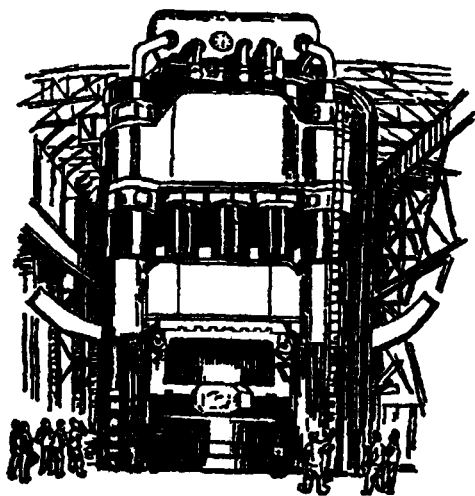
第一章 概 论

【导读】17世纪中叶,帕斯卡(Pascal)提出静压传递原理;英国人布拉默(Joseph Bramah)第一个利用这一原理制造出水压机,用于压紧羊毛和榨取植物油等。早在公元前,埃及人就开始利用风箱产生压缩空气用于助燃……

液压与气动技术历史悠久。如今,它仍然是工业技术中发展最快的技术之一。

液压传动与气压传动及其控制技术(简称液压与气动)是以流体作为工作介质进行能量转换、传递及控制的学科。本书以液压传动为主,气压传动为辅,并简要介绍其他液压与气动技术。

本章从三个实例入手,介绍液压与气动的工作原理、系统组成、图形符号及其优点和应用与发展情况。



第一节 液压与气压传动的工作原理

一、液压传动的工作原理

为了对液压传动有一个初步了解,现以液压千斤顶为例,介绍其工作原理。由图1—1中可以看到,千斤顶的结构中有两只液压缸(简称油缸),小油缸完成吸压油动作,大油缸则在油液压力的作用下,把重物顶起。千斤顶的动作过程是这样的:用手向上扳动手柄,小油缸



中的小活塞向上移动，产生抽吸作用。油从油箱经过管道 1、单向阀 1（只准油液单方向流动的阀门）进入油缸下腔。当撤下手柄，小活塞下移时，就将吸入小油缸下腔的油，经管道 2、单向阀 2 压入大油缸下腔。此时左面单向阀不通，迫使大活塞向上移动，顶起重物。这样不断地上下掀动手柄就能将油间歇地压入大油缸下腔，使重物缓慢上升。而且由于油液的不可压缩性，可以随时保持重物的上升位置。工作完毕，若要取出千斤顶，则可拧开放油塞，大油缸的油就可经管道流回油箱，大活塞下移，千斤顶也就取出来了。

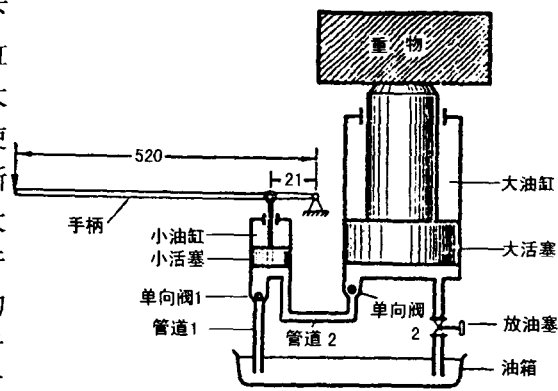


图 1—1 液压千斤顶

一只小小的千斤顶，可以把力放大许多倍，像上面介绍的这只千斤顶，它的小油缸直径 $d = 12 \text{ mm}$ ，大油缸直径 $D = 35 \text{ mm}$ 。当在手柄上施加 320 N 力时，就能顶起 $50\,000 \text{ N}$ 的重物。它居然把力放大了 156 倍！

下面分析一个简化了的钻孔专用机床的液压系统，由图 1—2 (a) 中可以看出，该

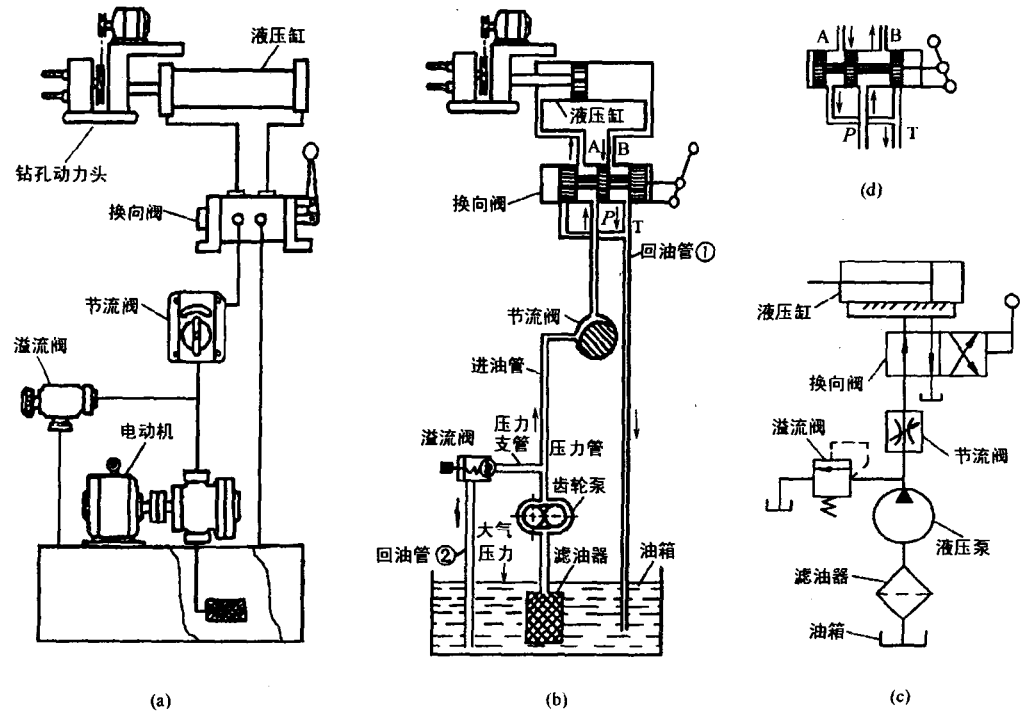


图 1—2 简化的钻孔专用机床液压系统图

(a) 外形示意图；(b) 结构原理图；(c) 图形符号图；(d) 换向阀左位

系统主要由油箱、电机、液压泵和三个阀、一个液压缸构成，搬动换向阀手柄可实现钻孔动力头（钻头）的进退。当手柄处于图 1—2 (b) 位时，由泵来的油液由 P 口进入换向阀，从 A 口出来进入液压缸左腔，推动活塞和钻孔动力头后退，右腔的油经换向阀 B 口和 T 口流回油箱，当手柄处于图 1—2 (d) 位时，钻头前进。图中的节流阀手柄可调节油缸运动速度（钻头进给速度），溢流阀手柄可调节系统工作压力以适应相应钻削力。多余油液由溢流阀溢流。

二、气压传动的工作原理

气压传动是以压缩空气为工作介质进行能量传递的一种传动方式。

图 1—3(a) 是气动剪切机的结构原理图。工料由上料装置(图中未画出)送到规定位置(图示位置)，将行程阀的触头压入后，行程阀的阀芯将其排气通道封死，压缩空气进入换向阀上腔，使换向阀的阀芯下移，压缩空气经换向阀 P 口到 A 口进入气缸的下腔，使气缸活塞上移，气缸上腔的气体经换向阀 B 到 T 口排向大气中，此时剪刀处于剪切状态。当工料剪下后，行程阀复位，换向阀上腔气体通过行程阀排向大气，换向阀在弹簧力的作用下上移，压缩空气进入气缸上腔，气缸活塞下移，下腔气体经换向阀排向大气，剪刀退回。

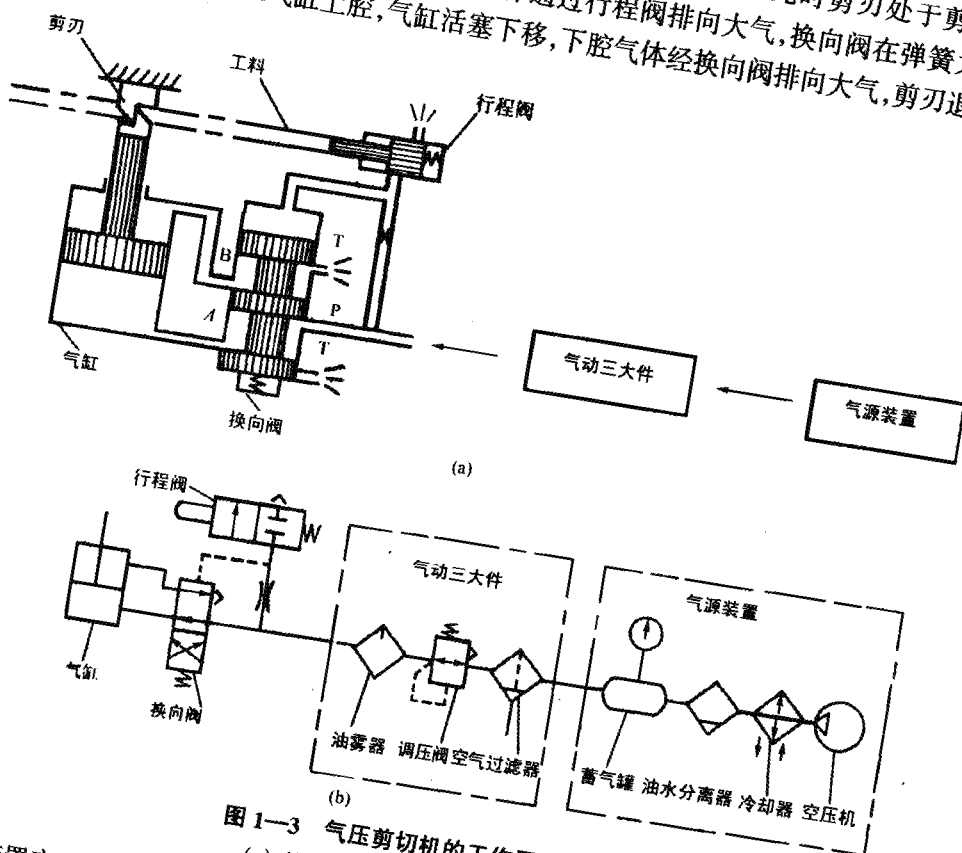


图 1—3 气压剪切机的工作原理图
(a) 结构原理图；(b) 图形符号图

气源装置产生压缩空气并进行初次净化处理，气动三大件对压缩空气进一步净化和减压。

从上述三例可以看出,液压和气压传动都是以流体的压力能来传递动力的一种传动方式,它与利用流体动能传动的方式(液力传动)是不相同的。

第二节 液压与气动系统的组成和图形符号

一、液压与气动系统的组成

从上面三个例子中可以看出,液压与气压传动系统,都是由表 1—1 所列的五个部分组成的。

表 1—1 液压与气动系统的组成

系统组成	作 用	液压传动	气压传动
动力装置	将原动机(如电动机)供给的机械能转换为净化流体的压力能	液压泵、泵站	气源装置,主体是空气压缩机
执行机构	将流体的压力能转化为机械能	液压缸、液压马达	气缸、气马达
控制元件	用以控制和调节流体的压力、流量、流动方向及系统执行机构的动作程序	压力阀、流量阀、方向阀等	压力阀、流量阀、方向阀和逻辑元件等
辅助元件	除上述三类机构和元件之外的把系统联接起来的其他元件	管件、压力表、滤油器、油箱等	管件、压力表、过滤器、油雾器等
工作介质	用以传递能量或信息	液压油、工作液	压缩空气

二、液压与气动图形符号

在图 1—1、图 1—2(a)和图 1—3(a)中所示的液压与气动系统,都是用结构示意图表示的,其图形画起来较复杂,无规范。为此,目前国内外都广泛采用元件的图形符号来绘制液压与气动的系统图。液压与气动图形符号脱离元件的具体结构,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—2(c)和图 1—3(b)即为用图形符号绘制的系统原理图。

附录中摘录了我国目前采用的常用液压与气动元件图形符号(GB786.1—93)。

第三节 液压与气动的优缺点

一、液压与气动共同的优缺点

(一)优点

液压与气动均属流体传动与控制,它们有以下共同的优点:

- (1)其各种元件,可根据需要方便、灵活地布置。
- (2)操纵控制方便,可实现大范围的无级调速。
- (3)容易实现自动化。
- (4)可实现过载保护。
- (5)其各种元件易于实现系列化、标准化和通用化,便于系统设计、制造。
- (6)可以减少振动与冲击,能高速启动、制动和换向。
- (7)很容易实现直线运动。

(二)缺点

它们也有以下一些共同的缺点:

- (1)由于泄漏和流体的可压缩性,无法保证严格的传动比,气动尤为显著。
- (2)系统传动效率不高。
- (3)元件制造精度高,液压元件尤为如此,系统故障不易诊断排除。

二、液压与气动的各自特点

由于液体与气体的来源不同,可压缩性也相差甚远,故液压与气动又各自有以下特点:

(一) 液压传动

(1) 同样功率时, 液压系统质量小, 结构紧凑。(功率—质量比, 液压马达可达 $1\ 650\ \text{W/kg}$, 电动机仅为 $165\ \text{W/kg}$ 左右)。同样体积下, 液压系统能产生更大的动力, 体积小。

(2) 运动平稳, 反应快。

但液压传动有油液污染; 液体流动能量损失大, 不能远程输送; 对温度变化较敏感等问题。

(二) 气压传动

(1) 空气取自大气, 排向大气, 无成本费用, 无污染。

(2) 气体流动阻力损失远小于液体, 流速快, 反应灵敏, 可以远程传输和控制。

(3) 可用于食品、医药和其他有特殊要求的工况(如强振动、强冲击、强腐蚀和强辐射等)。

但气压传动压力低、输出力小、运动不够平稳。

总的来说, 液压与气动的优点是主要的, 它的缺点随着生产水平的提高正在被逐步克服。液压与气动技术在现代化生产中有着广阔的发展前景。

第四节 液压与气动技术的应用和发展

尽管液压与气动技术已有 200 多年的历史, 但它真正被推广使用还只是近 50 年的事。液压技术在 1905 年以前的 100 多年中的发展几乎停滞不前, 自发明使用油液作为工作介质后, 方得以改观。其后产生了径向柱塞泵、斜轴式轴向柱塞泵等一系列液压装置和元件。1936 年美国威格士 (Harry Vickers) 发明的先导式液压阀, 1958 年美国麻省理工学院布莱克本、李 (Blackburn、Lee) 等学者在电液伺服阀方面取得的研究成果, 至今仍为全世界所采用。

气动技术的广泛应用也仅是近几十年的事。

随着电子技术和计算机技术进入液压气动技术领域, 使它更得到蓬勃发展。当前它的发展趋势是, 高压、大功率、低能耗、低噪声、长寿命、集成化、数字化、机电液一体化, 对于气动技术, 还有无给油化、节能化、小型化、电一气一体化等。

液压与气动技术的应用与发展已经进入了一个崭新的历史阶段。

液压与气动工业已经成为全球性的工业, 其生产与销售是国际性的, 世界上最大的液压元件制造商: 美国的 Vickers System 公司和 Parker Hannifin 公司, 德国的 Mannesmann Rexroth 公司, 号称液压界的三巨头, 形成威格士 (Vickers)、力士乐 (Rexroth) 等著名品牌。

液压与气动工业的增长速度, 虽然不能与计算机等工业相比, 但却明显地快于整个机械工业的发展速度, 特别是与微电子、计算机技术相结合之后, 其发展势头更趋强劲。

由于技术的日益复杂, 传统的外购元件自行设计装配系统的做法, 已逐步被液压与气动制造商供应成套系统的方式所取代, 系统设计任务也逐步向制造商转移。

我国液压与气动工业是在建国初期, 从仿制原苏联产品起步, 附属于机床制造等主机行业, 而逐步发展起来的。1965 年从日本油研工业公司和纺锭公司引进技术, 建立了液压元件专业生产厂——榆次液压件厂, 同时购进国外样机, 测绘仿制。从引进消化到逐步自行设计制造, 形成榆次液压件厂系列 (中、高压阀), 广州机床研究所系列 (中、低压阀), 原一机部联合设计系列 (高压阀)。我国在 20 世纪 60 年代中期开始建立气动元件厂, 1984 年组建了行业技术归口所——无锡气动技术研究所。

随着我国改革开放的形势发展, 大量引进了美国和德国等国家的先进技术, 进一步

推动了液压与气动技术的发展。尽管我国的液压与气动技术发展相当迅猛,但其技术水平与国外相比差距还很大。为了能尽快赶上世界先进水平,振兴我国的液压与气动行业,应坚定不移地走引进先进技术与国内独立研制相结合的道路,积极开展科技新产品的研究和开发。可以预见,随着我国社会主义现代化建设的发展,液压与气动技术将会有新的飞跃,它在各个工业部门的应用也将会越来越广泛。液压与气动技术在各行各业中的应用情况见表 1—2。

表 1—2 液压与气动技术各个领域中的应用

应用领域	应用举例
机械制造	磨床, 组合机床, 数控车床, 加工中心, 压铸机, 压力机, 空气锤
农林机械	联合收割机, 木材采运机械
起重运输、 工程机械	叉车, 自卸车, 汽车起重机, 高空作业车, 挖土机, 推土机, 打桩机
轻纺化工、 能源冶金	注塑机, 织布机, 造纸机, 凿岩机, 石油钻井平台, 矿山开采机, 轧钢机, 食品包装机、灌装机
电子及家电	无线电元器件生产线, 家用电器装配线
交通运输	船舶舵机、锚机, 车辆转向、制动、变速、开关车门等机构, 飞机舵机、起落架
军事武器、 航天工业	舰艇减摇鳍, 火炮, 雷达, 坦克, 鱼雷, 导弹, 人造卫星, 航天飞机, 运载火箭
其他应用	液压切割机、风动扳手等液压气动工具, 液压电梯, 家用充气筒, 自动开闭拉门, 医用研磨机, 人工呼吸器, 人工心脏等

小结

(1) 液压与气压传动是以流体(液体或气体)的压力能来传递运动和动力的, 这有别于液力传动等流体传动方式。

(2) 液压与气动系统的组成与能量传递见流程图(图1—4)。

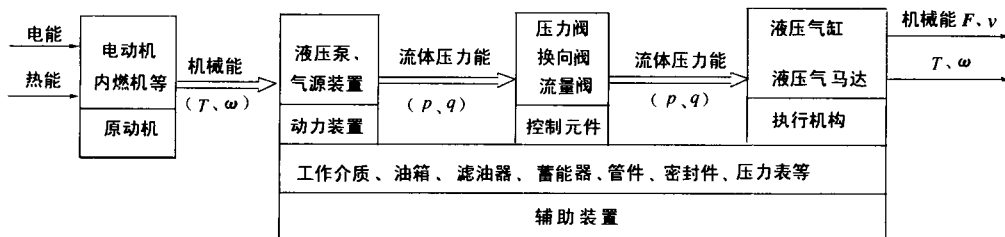


图 1—4 液气与气动系统的组成和能量传递

(3) 液压与气动的元件和系统原理图按 GB786. 1—93 绘制, 系统中元件符号均连接于静态 (或零工位) 位置。

(4) 液压与气动同为流体传动与控制, 具有共性, 但气体和液体来源和可压缩性不

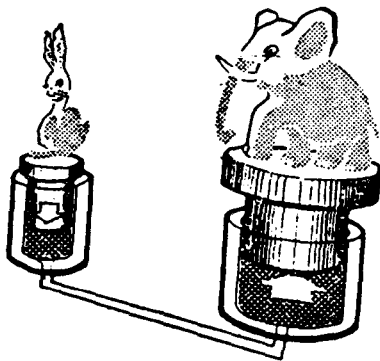
同，因而各有个性。

练习与思考题一

- 1-1 什么叫液压传动？什么叫气压传动？简述它们的工作原理。
- 1-2 液压与气动系统都由哪几部分组成？试说明各部分的作用。
- 1-3 请各绘制几个液压与气动的执行元件、控制阀、泵和辅助元件图形符号。
- 1-4 简述液压、气动优缺点。

第二章 液压与气压传动的基本理论

【导读】 在一定的外界条件下，由于组成物质的分子间的距离和相互作用的强弱不同，物质的存在状态可分气态、液态和固态。在标准状态下，气态物质分子间平均距离很大，分子间的相互作用微弱，不能保持一定的体积和形状；液态物质分子间平均距离较小，分子间相互作用较大，通常可以保持其固有体积，但不能保持其形状；固态物质具有固定的形状和体积。



从物质受力和运动的特性来看，物质又可分为固体和流体两大类：流体不能抵抗切向力，在切向力的作用下可以无限变形，这种变形称为流动，气体和液体都属于流体；固体物质能承受一定的切应力。

液压与气压传动及其控制技术均采用流体作为工作介质，为此，我们首先要掌握流体的基本物理性能及其静力学、运动学和动力学特性，以及实际工作流体在管路系统中的流动情况。

第一节 流体的物理性质

一、流体的密度

单位容积中流体的质量称为流体的密度，用 ρ 表示：

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg/m}^3 \text{ 或 } \text{kg/cm}^3)$$

式中， m ——液体的质量 (kg)；

V ——流体的容积 (m^3 或 cm^3)。

对于液压系统用的矿物油，在一般使用的温度与压力范围内，其密度 $\rho \approx 900 \text{ kg/m}^3$ 。

空气的密度随温度及压力变化。在标准状态（干燥空气，温度为 0°C ，绝对压力为 0.1013 MPa ）下空气的密度为 12.93 kg/m^3 。因此，利用气体的状态方程，可给出空

气在不同温度和不同压力时的密度计算公式：

$$\rho = 12.93 \times \frac{273}{273 + t} \times \frac{p}{0.1013} \quad (\text{kg/m}^3)$$

式中， p ——空气的绝对压力 (MPa)；

t ——空气的温度 (°C)。

二、流体的压力和粘度

(一) 作用在流体上的力

在图 2—1 (a) 所示的系统管路流体中，任意取出一流体块 S ，其体积为 V ，界面为 S (图 2—1 (b))。作用在这块流体上的力可分为两大类：表面力和质量力。

质量力是直接作用在流体块中各质点上的非接触力，例如重力、惯性力等。质量力与受力流体的质量成比例。

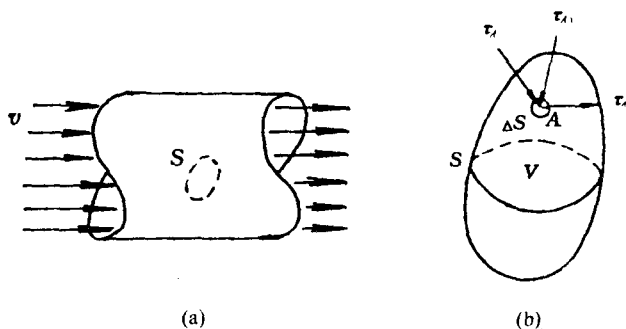


图 2—1 作用在流体上的力

表面力是流体块界面 S 上受到的力，根据 S 面的具体情况，表面力可以是 S 面所分隔的同质流体或者其他种类流体作用在流体块上的，也可能是容器壁面或者其他固体作用在流体块上的。如图 2—1 (b) 所示，设 A 为界面 S 上的点， ΔS 为包含 A 点的微元面积，作用其上的表面力为 ΔP ，则 ΔS 收缩到 A 时的极限：

$$\tau_A = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta S}$$

称为 S 面上 A 点处的表面应力。表面应力可分解为两个力，一个是沿表面切线方向作用的切向应力 τ_{At} ，它将反映出流体流动时的粘滞特性，关于粘性将在下面专门讲述；另一个是沿表面法线方向作用的法向应力 τ_{An} 。由于流体质点间的内聚力非常小，不能受拉，所以这个法向力总是向着流体表面的内法线方向上作用，习惯上称它为压力，用 p 表示。

当流体静止时，流体质点间没有相对运动，不存在内摩擦力，不呈现粘性。所以静止流体表面力只有法向应力 τ_{An} ，称之为流体静压力或静压力。此时，流体内任何一点的压力在所有的方向上都相等，静压力相等地作用于一切方向上。关于静压力，将在流体静力学中讲述。

在液压与气压传动中，流体的压力和粘性力的作用是主要的，惯性力和重力的影响实际上是很小的，经常可以忽略不计。

(二) 流体的压力

1. 压力的定义及单位

流体的压力实际上就是上面谈到的 τ_{An} ，它是指流体单位面积上所受到的法向力的大小，即物理学中的压强。在液压缸或气缸中，设活塞面积为 A (m^2)，推力为 F (N)。不计流体的重力作用，则流体中的压力为：

$$p = F/A \text{ (Pa)}$$

在国际单位制 (SI) 中压力的单位为 N/m^2 (牛/米²)，即 Pa (帕斯卡)。由于 Pa 单位太小，在工程中使用不便，因而常采用 kPa (千帕) 和 MPa (兆帕)。

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

我国过去曾采用过的压力单位有巴 (bar) 和 (kgf/cm^2)，它们的换算关系为

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

各种压力单位之间的换算关系见表 2—1。

表 2—1 流体压力的各种单位

巴 bar	帕 Pa	标准大气压 atm	工程大气压 kgf/cm^2	毫米汞柱 ^① mmHg	米水柱 ^② mH ₂ O
1	1×10^5	0.987	1.02	750	10.2

①② 以液柱高度表示压力的方法，在流体静力学中讲述。

2. 压力的测量与表示方法

首先做一个如图 2—2 所示的小实验，请分析杯子倒置时水不流出的原因。

通常工程上用压力表测得的压力是以大气压力为基准的压力测量值，称为相对压力或表压力（关于压力表在第六章辅助装置中讲述）。而以绝对零压（绝对真空）作为基准进行度量的压力，称为绝对压力。显然：绝对压力 = 大气压力 + 相对压力。

在工程计算时，取一个标准大气压 (atm) = 101 325 Pa。

当绝对压力小于大气压力时，比大气压力小的那部分数值称为真空度，它是负的相对压力，即：

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

绝对压力、相对压力和真空度的相对关系见图 2—3。

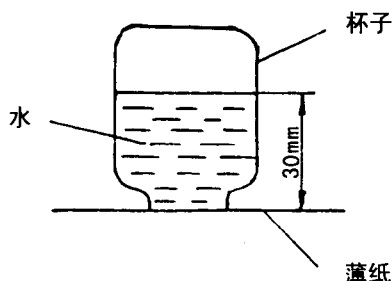


图 2—2 倒置水杯小实验

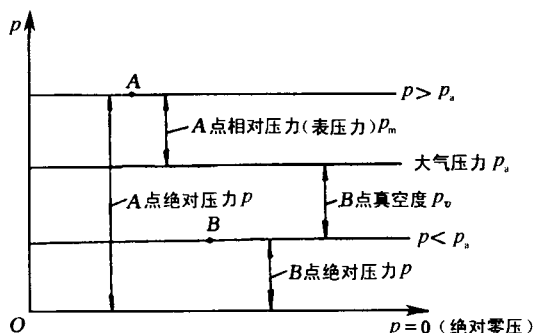


图 2—3 绝对压力、相对压力和真空度之间的关系

在地球表面上,大气压力处处存在,因而在液压与气动的分析与计算中,往往只考虑相对压力。

(三) 流体的粘性

流体流动时,在流体上的切向应力 τ_{At} (图 2—1) 作用下,流体会连续不断地变形。但不同的流体在相同的剪切力作用下其变形的速度是不同的,也就是不同的流体抵抗剪切力的能力不同,这种能力称为流体的粘性。粘性是流体的一种属性。流体的内摩擦力只能使流体流动的速度减慢而不能最终阻止其流动,这点和固体间的摩擦力不同。

1. 牛顿内摩擦定律

17 世纪牛顿在其名著《自然哲学的数学原理》中研究了流体的粘性。设有两块相距很近的平板,平板之间充满流体(图 2—4)。下平板固定不动,上平板在牵引力的作用下以平均速度 u 运动,与平板接触的流体附着于平板的表面,带动两板之间的流体作相对运动,使流体内部层层之间出现成对的切力,称为内摩擦力。

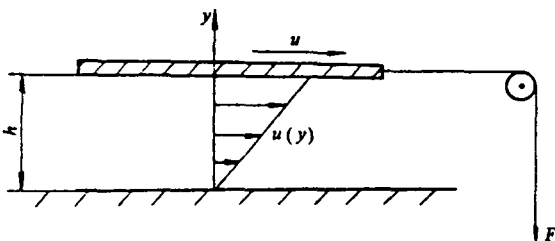


图 2—4 平行平板间的粘性流动

在平板间距离 h 和速度 u 不大的情况下,两板之间流体的速度呈线性分布。即:

$$u(y) = \frac{u}{h}y$$

经实验验证和后来的分子运动理论表明,内摩擦力(切力) F 的大小与流体的性质有关,与流速梯度 $\frac{du}{dy}$ 和接面积 A 成正比,而与接触面上的压力无关。

即: $F = \mu A \frac{du}{dy}$

设 τ 为单位面积上的内摩擦力,即粘滞切应力,则:

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{u}{h} \frac{du}{dy}$$

此公式称为牛顿粘性公式,也称牛顿内摩擦定律。

2. 流体的粘度

上式中的比例系数 μ 表征了流体抵抗变形的能力,即流体粘性的大小,称为流体的动力粘度。其单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (帕·秒),它与以前沿用的非法定计量单位 P (泊, $\text{dyn} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$) 之间的关系是 $1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 10 \text{ P}$ 。工程中还常用动力粘度 μ 和流体密度 ρ 的比值来表示粘度,称为流体的运动粘度 ν :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

在实际应用中,常用运动粘度来表示流体的粘度,在 SI 单位制中的单位是 m^2/s ,它与已淘汰的单位斯托克斯(又称为“施”,单位符号 St , $1 \text{ St} = \text{cm}^2/\text{s}$) 之间的关系是^①

^① 运动粘度的 CGS 制单位为斯托克斯 (St), 又称“施”, 此字已淘汰。

$$1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ cm}^2/\text{s} = 10^6 \text{ mm}^2/\text{s} = 1 \text{ St}$$

液压油的牌号, 采用它在 40°C 温度下运动粘度平均 cSt (厘沲) 值来标号, 我国的液压油旧牌号则是采用按 50°C 时运动粘度的平均值表示的。液压油新旧牌照对照见表 2—2。

表 2—2 液压油新牌号 (40°C 运动粘度等级) 与旧牌号 (50°C 运动粘度等级) 对照表

新牌号	N7	N10	N15	N22	N32	N46	N68	N100	N150
旧牌号	5	7	10	15	20	30	40	60	80

在实际测量中常用的粘度表示方法是相对粘度 (又称条件粘度)。由于测量仪器和条件不同, 各国相对粘度的含义不同, 如美国采用赛氏粘度 (SSU); 英国采用的是雷氏粘度 (R); 而我国, 德国和前苏联则采用恩氏粘度 $^\circ\text{E}$ 。

恩氏粘度 $^\circ\text{E}$ 用恩氏粘度计测定, 即将 200ml 被测液体装入粘度计的容器内, 容器周围充水, 电热器通过水使液体均匀升温到温度 t 。液体由容器底部的小孔流尽所需要的时间 t_1 和同体积蒸馏水在 20°C 时通过同一小孔所需时间 t_2 (通常平均值 $t_2 = 51\text{s}$) 的比值, 称为被测液体在这一温度 t 时的恩氏粘度 $^\circ\text{E}$, 即:

$$^\circ\text{E} = \frac{t_1}{t_2}$$

恩氏粘度与运动粘度 (m^2/s) 的换算关系为:

$$\nu = 0.0731 \text{ } ^\circ\text{E} - \frac{0.0631}{^\circ\text{E}} \quad (\text{cm}^2/\text{s})$$

3. 影响粘度的因素

粘度是流体的重要属性, 它是流体温度和压力的函数。在液压与气动常用温度和压力范围内, 粘度主要依温度而定, 压力的影响不大, 因而通常压力对粘度的影响忽略不计。例如: 液压油粘度对温度的变化十分敏感, 温度升高, 粘度下降。它影响液压系统的性能和泄漏量, 因此希望粘度随温度的变化越小越好。

在气压传动中, 空气的粘度随温度的升高而增大, 这是由于温度升高后, 空气内分子运动加剧, 使分子之间碰撞增多的缘故。

粘度随温度变化的性质称为粘温特性。

图 2—5 为空气和水的粘温特性曲线。

【例 2—1】 如图 2—6 所示, 面积为 64 cm^2 , 质量为 0.8 kg 的平板, 在与水平面倾

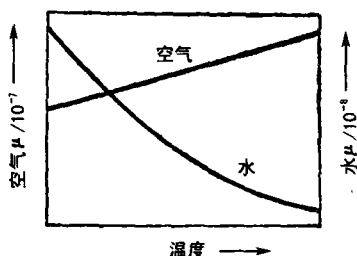


图 2—5 空气和水的粘温曲线

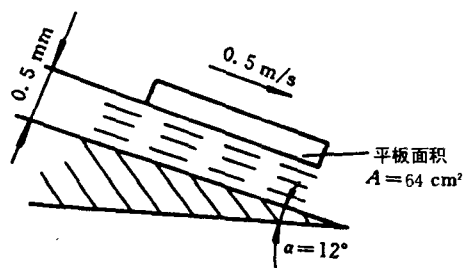


图 2—6 例 2—1 图