

21 世纪高等职业技术教育规划教材
国家示范性高等职业院校规划教材
——机械工程类

YEYA YU QIYA CHUANDONG

液压与气压传动

主 编 袁晓东
副主编 陈 春
主 审 蒋祖信



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

21 世纪高等职业技术教育规划教材——机械工程类

国家示范性高等职业院校规划教材

液压与气压传动

主 编 袁晓东

副主编 陈 春

主 审 蒋祖信

江苏工业学院图书馆
藏书章

西南交通大学出版社

• 成 都 •

图书在版编目 (CIP) 数据

特经财财财财业经经高经世示案国

液压与气压传动 / 袁晓东主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2008.8

21 世纪高等职业技术教育规划教材. 机械工程类. 国家示范性高等职业院校规划教材

ISBN 978-7-81104-971-8

I. 液… II. 袁… 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. TH137 TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 126853 号

21 世纪高等职业技术教育规划教材——机械工程类
国家示范性高等职业院校规划教材

液压与气压传动

主编 袁晓东

责任编辑	李 涛
特邀编辑	李 鹏
封面设计	本格设计
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 87600533
邮 编	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	成都蓉军广告印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	15.125
字 数	376 千字
印 数	1—3 000 册
版 次	2008 年 8 月第 1 版
印 次	2008 年 8 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 978-7-81104-971-8
定 价	25.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本书是根据高职院校为培养生产第一线技术人才的知识结构及培养目标要求,为适应高职高专机械类专业的教学需要,结合教学实践编制而成。

在“实用、够用”的原则上,突出高职院校的特点,强调应用能力的培养。在基本理论的论述中,避免了过深的理论阐述,以“够用”为原则,并注重创新,编入了一些新元件、新技术和新系统,更好地反映了液压技术研究和发展的新成果。

在内容上贯彻少而精、理论联系实际的原则,注重理论教学与实践教学的密切结合,强调“项目驱动”、“理论与实践一体化”教学的思想,结合教学内容,编入了较多的实验实训项目。针对高职高专学生基础理论较薄弱并且差异较大等特点,适当增加了选学内容。为使读者能更好地理解和掌握所学知识,培养分析问题和解决问题的能力,书中编入了大量的液、气压元件和典型结构的结构原理简化图,并在各章均附有思考题与习题。

本书贯彻了国家最新标准,内容新颖、简明扼要,阐述清晰易懂,并附有大量实例。

本书由四川机电职业技术学院袁晓东担任主编,陈春担任副主编。第一章、第二章及第八章的第五节和第十一章的第三节由袁晓东编写,攀枝花学院的陈新德老师编写了第三章、第四章,龚建春老师编写了第六章、第八章,四川机电职业技术学院的张成祥老师编写了第五章、第七章,陈春老师编写了第九章、第十章,李世蓉老师编写了第十一章的第一节、第二节,各章的实验实训项目由杨莉华老师编制。本书由蒋祖信担任主审。

由于水平所限,编写时间紧迫,书中难免有不少欠妥之处,恳请读者批评指正。

编 者
2008年7月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 液压传动的工作原理	1
第二节 液压传动系统的组成	3
第三节 液压传动的优缺点	3
思考题与习题	4
第二章 液压传动的基础知识	5
第一节 液压油	5
第二节 液体力学基础	8
思考题与习题	18
第三章 液压泵	21
第一节 液压泵概述	21
第二节 齿轮泵	24
第三节 叶片泵	28
第四节 柱塞泵	34
第五节 液压泵选用	38
第六节 实验实训	39
思考题与习题	42
第四章 液压执行元件	44
第一节 液压缸的类型及特点	44
第二节 液压缸的结构	48
第三节 液压缸的设计与计算	54
第四节 液压马达简介	56
思考题和习题	59
第五章 液压控制元件	61
第一节 概 述	61
第二节 方向控制阀	62
第三节 压力控制阀	73

第四节 流量控制阀	82
第五节 叠加阀和插装阀	85
第六节 实验实训	89
思考题与习题	93
第六章 液压辅助元件	96
第一节 油箱	96
第二节 滤油器	98
第三节 管 件	103
第四节 蓄能器	105
第五节 热交换器	107
第六节 压力计及压力计开关	109
第七节 密封装置	109
思考题与习题	113
第七章 液压基本回路	114
第一节 方向控制回路	114
第二节 压力控制回路	115
第三节 速度控制回路	122
第四节 多缸工作控制回路	132
第五节 实验实训	136
思考题与习题	147
第八章 液压传动系统及故障分析	150
第一节 组合机床液压系统	150
第二节 M1432A 型万能外圆磨床液压系统	153
第三节 180 t 板金冲床液压系统	158
第四节 机械手液压传动系统	160
第五节 液压系统的安装、使用及维修	163
思考题与习题	169
第九章 液压系统的设计计算	170
第一节 液压系统的设计步骤	170
第二节 工况分析及执行元件参数确定	170
第三节 拟定液压系统原理图	173
第四节 计算和选择液压元件	174
第五节 验算液压系统主要性能	176
第六节 绘制工作图、编写技术文件	178
第七节 液压系统设计举例	178

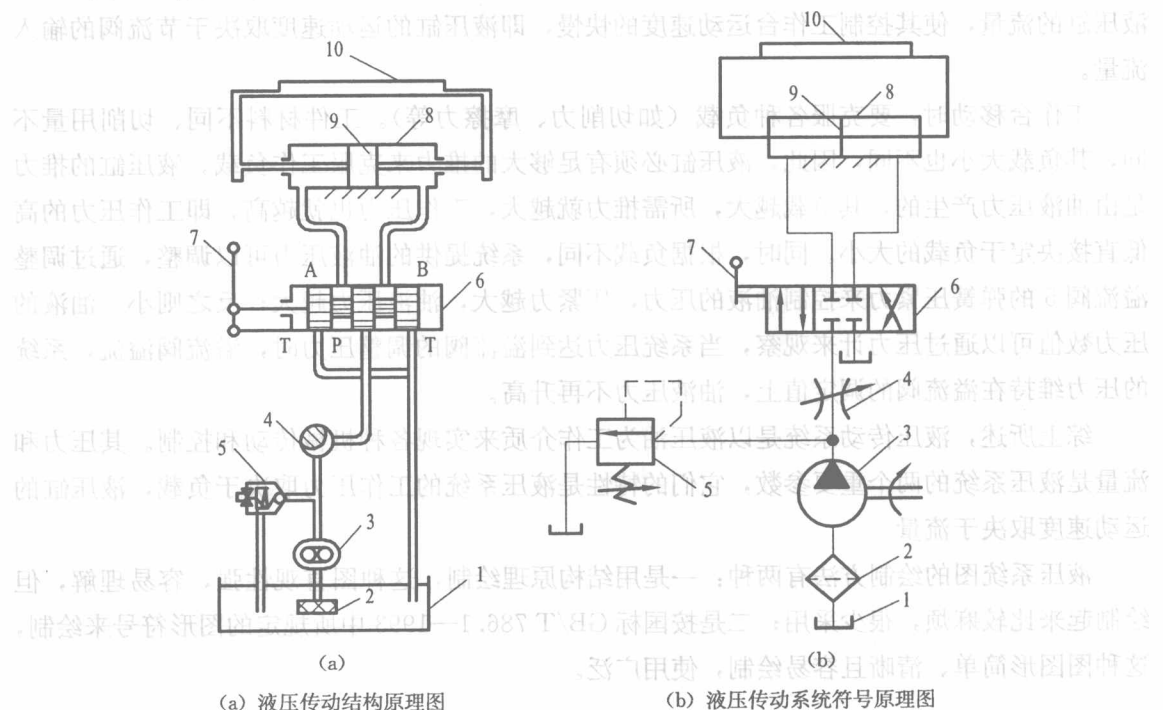
思考题与习题	188
第十章 液压伺服系统	190
第一节 液压伺服系统的工作原理和特点	190
第二节 液压伺服系统的类型	192
第三节 典型液压伺服系统介绍	197
思考题与习题	199
第十一章 气压传动	200
第一节 气压传动基础知识	200
第二节 气压元件	201
第三节 气动基本回路	221
第四节 实验实训	226
思考题和习题	233
参考文献	234

第一章 绪 论

液压传动是以液体作为工作介质，以液体的压力进行运动和动力传递的一种传动方式。它先通过能量转换装置（液压泵），将原动机（电动机）的机械能转化为液体的压力能，再通过封闭管道、液压控制元件等，经另一能量转换装置（液压缸、液压马达）将液体的压力能转变为机械能，以驱动负载，实现执行机构所需的直线或旋转运动。与机械传动相比，液压传动具有许多优点，因此在机械工程中应用广泛。

第一节 液压传动的工作原理

以实现工作台往复运动的简单液压系统为例进行分析。图 1-1 所示为一磨床工作台的液



- 1—油箱；2—过滤器；3—液压泵；4—节流阀；5—溢流阀；6—换向阀；
7—手柄；8—液压缸；9—活塞；10—工作台，P、A、B、T—各油口

图 1-1 磨床工作台液压系统原理图

压传动系统。该液压传动系统的功能是推动磨床工作台实现往复直线运动，其工作过程如下：

① 工作台向右直线运动：电动机（图中未画出）带动液压泵 3 工作，从油箱 1 中吸入压力油，经过过滤器 2 进入油管，由节流阀 4 进入换向阀 6，当手柄 7 向右推时，阀芯向右移，使油液进入油缸 8 的左腔，推动活塞 9 向右移动，同时带动工作台 10 向右直线运动。系统中油液流动情况为：

进油路：油箱 1→过滤器 2→液压泵 3→节流阀 4→手动换向阀 6 (P→A)→液压缸 8 左腔。

回油路：液压缸 8 右腔→手动换向阀 6 (B→T)→油箱 1。

② 工作台向左直线运动：由于工作台运动方向需要变化，当手柄 7 向左拉时，换向阀 6 的阀芯相对于阀体位置改变，油液通道发生变化，于是液压泵 3 从油箱 1 中吸入的液压油，经进油路进入液压缸 8 的右腔，推动活塞 9 向左移动，带动工作台 10 向左直线运动。系统中油液流动情况为：

进油路：油箱 1→过滤器 2→液压泵 3→节流阀 4→手动换向阀 6 (P→B)→液压缸 8 右腔。

回油路：液压缸 8 左腔→手动换向阀 6 (A→T)→油箱 1。

③ 工作台处于停止状态：当换向阀 6 阀芯相对于阀体处于中位时，如图 1-1 (a) 所示位置，这时由液压泵 3 输出的压力油经溢流阀 5，沿回油管直接流回油箱 1。

磨床工作时，除了要求工作台能够往复运动，还要根据不同的加工要求，工作台的往复运动速度能够调节。通过改变节流阀 4 的开口大小来控制通过节流阀的流量，从而控制进入液压缸的流量，使其控制工作台运动速度的快慢，即液压缸的运动速度取决于节流阀的输入流量。

工作台移动时，要克服各种负载（如切削力、摩擦力等）。工件材料不同、切削用量不同，其负载大小也不同，因此，液压缸必须有足够大的推力来克服工作负载。液压缸的推力是由油液压力产生的，其负载越大，所需推力就越大，工作压力也就越高，即工作压力的高低直接决定于负载的大小。同时，根据负载不同，系统提供的油液压力可以调整，通过调整溢流阀 5 的弹簧压紧力来控制油液的压力，压紧力越大，油液压力越大；反之则小。油液的压力数值可以通过压力计来观察，当系统压力达到溢流阀的调整压力时，溢流阀溢流，系统的压力维持在溢流阀的调定值上，油液压力不再升高。

综上所述，液压传动系统是以液压油为工作介质来实现各种机械传动和控制。其压力和流量是液压系统的两个重要参数，它们的特性是液压系统的工作压力取决于负载，液压缸的运动速度取决于流量。

液压系统图的绘制方法有两种：一是用结构原理绘制，这种图直观性强，容易理解，但绘制起来比较麻烦，很少采用；二是按国标 GB/T 786.1—1993 中所规定的图形符号来绘制，这种图图形简单、清晰且容易绘制，使用广泛。

图 1-1 (a) 所示为图 1-1 (a) 所示

图 1-1 (b) 所示为图 1-1 (b) 所示

图 1-1 (c) 所示为图 1-1 (c) 所示

图 1-1 (d) 所示为图 1-1 (d) 所示

图 1-1 (e) 所示为图 1-1 (e) 所示

第二节 液压传动系统的组成

液压传动系统一般由液压泵、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。

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还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。

第三节 液压传动的优缺点

液压传动与机械传动、电气传动相比有如下特点。

1. 优点

① 体积小，输出力大。通过液压泵很容易得到 20~30 MPa 的液压油，把液压油送入液压缸后即可产生很大的输出力。

② 不会有过负载的危险。液压系统中溢流阀本身的特性很容易实现过载保护，能够自动防止事故的发生。

③ 输出力调整容易。

④ 速度调整容易。通过使用流量调节阀来调节流量，就可以实现对运动部件的无级调速。

⑤ 易于实现自动化。液压系统中液体的压力、流量和方向容易控制，可通过电气装置方便地实现复杂的自动工作过程控制和远程控制。

2. 缺点

① 接管不良时容易造成液压油外泄，污染工作场所，还有引起火灾的危险。

② 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，从而造成速度不稳定。

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，对元件的加工精度要求较高。

思考与练习题

思考与练习题

1. 什么是液压传动？液压传动有哪两个工作特性？
2. 液压传动系统有哪些主要组成部分？各部分的功能是什么？
3. 液压传动与机械传动、电气传动相比有哪些优缺点？

思考与练习题

1. 什么是液压传动？液压传动有哪两个工作特性？
2. 液压传动系统有哪些主要组成部分？各部分的功能是什么？
3. 液压传动与机械传动、电气传动相比有哪些优缺点？

(1.5)

$$\frac{m}{V} = \rho$$

量纲符号为 m ，质量符号为 V ，中失
 量纲符号为 m ，质量符号为 V ，中失
 量纲符号为 m ，质量符号为 V ，中失

第二章 液压传动的基础知识

油液是液压传动与控制系统中用来传递能量的工作介质。此外，它还起着传递信号、润滑、冷却、防锈和减振等作用。为了更好地掌握液压传动原理、液压元件的结构及性能，正确使用和维护液压系统，就必须了解液压油的基本性质，掌握液压油的主要力学特性。液压油直接影响液压系统的工作性能，因此必须合理的选择和使用。

第一节 液压油

(3.5)

$$\frac{ab}{x^2} = \frac{1}{x}$$

一、液压油的用途

- ① 传递运动与动力。将泵的机械能转换成液体的压力能并传至各处，由于油本身具有黏度，因此，在传递过程中会产生一定的能量损失。
- ② 润滑。液压元件内各移动部位都可受到液压油充分润滑，从而降低元件磨耗。
- ③ 密封。油本身的黏性对细小的间隙有密封的作用。
- ④ 冷却。系统损失的能量会变成热能，被油带出。

二、液压油的种类

(1) 矿物油系液压油

矿物油系液压油主要由石蜡基 (Paraffinbase) 的原油精制而成，再加入抗氧化剂和防锈剂，为用途最广的一种。其缺点是耐火性差。

(2) 耐火性液压油

耐火性液压油是专用于防止有引起火灾危险的乳化型液压油，有水中油滴型 (O/W) 和油中水滴型 (W/O) 两种。水中油滴型 (O/W) 的润滑性较差，会侵蚀油封和金属；油中水滴型 (W/O) 的化学稳定性很差。

三、液压油的性质

1. 密度 液体的密度是指单位体积液体所具有的质量，用符号 ρ 表示，单位为 kg/m^3 ，计算式为：

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

式中, V 为液体的体积; m 为液体的质量。

液压油的密度随压力的升高而增大, 随着温度的升高而减小。但在通常使用的压力和温度范围内对液压油的密度影响都极小, 一般情况下, 可视液压油的密度为常数, 其密度值为 900 kg/m^3 。

2. 闪火点

油温升高时, 部分油会蒸发而与空气混合成油气, 此油气所能点火的最低温度称为闪火点, 如继续加热, 则会连续燃烧, 此温度称为燃烧点。

3. 黏度

流体流动沿其边界面会产生一种阻止其运动的流体摩擦的作用, 这种产生内摩擦力的性质称为黏性。液压油黏性对机械效率、磨损、压力损失、容积效率、漏油及泵的吸入性影响很大。

黏性可分为动力黏度和运动黏度两种。动力黏度表示如图 2-1 所示, 其数学表达式为

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (2.2)$$

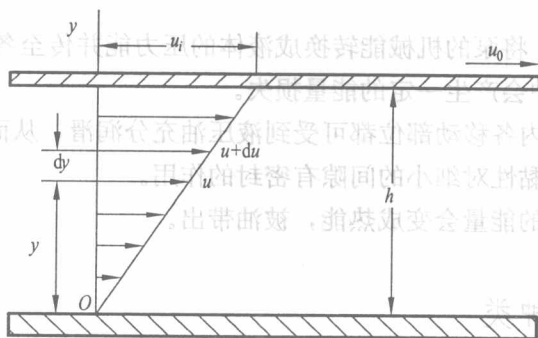


图 2-1 液体的黏性示意图

式中: τ 为剪应力 (g/cm^2); μ 为动力黏度 (Poise、Centi-Poise; 一般用 P、CP 来表示)。

运动黏度的数学表达式为

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.3)$$

式中, ν 表示运动黏度 (Stoke、Centi-Stoke; 一般用 St、CSt 来表示, $1 \text{ CSt} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$); ρ 表示密度 (g/cm^3)。

黏度是液压油的性能指标。习惯上使用运动黏度表示液体的黏度, 如机械油的牌号就是用其在 40°C 时的平均运动黏度 (m^2/s)。

油的黏性易受温度影响, 温度上升, 黏度降低, 造成泄漏、磨损增加、效率降低等问题; 温度下降, 黏度增加, 造成流动困难及泵转动不易等问题。如运转时油液温度超过 60°C , 就必须加装冷却器, 因油温在 60°C 以上时, 每超过 10°C , 油的劣化速度就会增加 1

倍。图 2-2 所示是几种国产液压油的黏度-温度曲线。

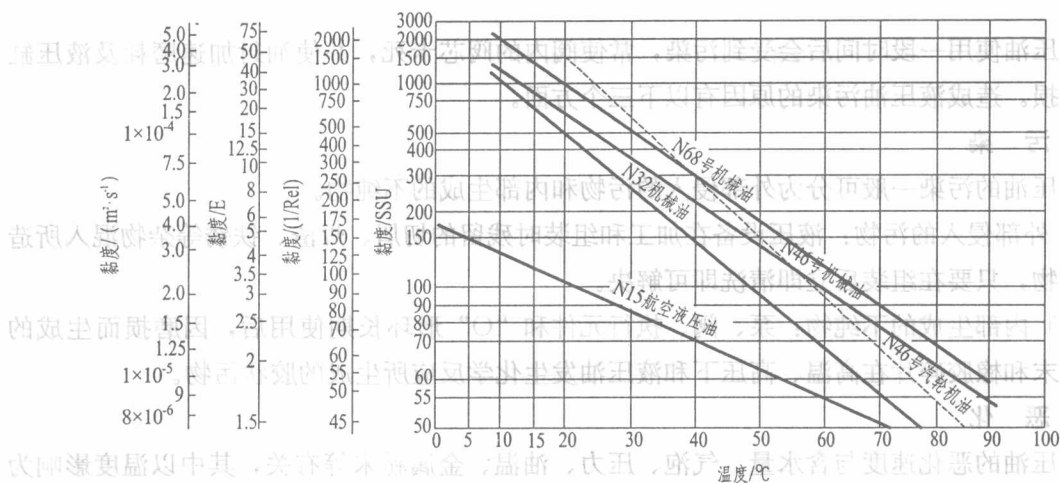


图 2-2 几种国产液压油的黏度-温度曲线

4. 压缩性

液压油在低、中压时可视为非压缩性液体，但在高压时压缩性就不可忽视了，纯油的可压缩性是钢的 100~150 倍。压缩性会降低运动的精度，增大压力损失而使油温上升，压力信号传递时，会有时间延迟、响应不良的现象。

液压油还有其他一些性质，如稳定性、抗泡沫性、抗乳化性、防锈性、润滑性以及相容性等。

四、液压油的选用

液压油有很多品种，可根据不同的使用场合选用合适的品种，在品种确定的情况下，最主要考虑的是油液的黏度，其选择主要考虑如下因素。

1. 液压系统的工作压力

工作压力较高的系统宜选用黏度较高的液压油，以减少泄漏；反之便选用黏度较低的油。

例如，当压力 $p=7.0\sim20.0$ MPa 时，宜选用 N46~N100 的液压油；当压力 $p<7.0$ MPa 时，宜选用 N32~N68 的液压油。

2. 运动速度

执行机构运动速度较高时，为了减小液流的功率损失，宜选用黏度较低的液压油。

3. 液压泵的类型

在液压系统中，对液压泵的润滑要求苛刻，不同类型的泵对油的黏度有不同的要求，具体可参见有关资料。

五、液压油的污染与保养

液压油使用一段时间后会受到污染,常使阀内的阀芯卡死,并使油封加速磨损及液压缸内壁磨损。造成液压油污染的原因有以下三个方面。

1. 污 染

液压油的污染一般可分为外部侵入的污物和内部生成的不纯物。

① 外部侵入的污物:液压设备在加工和组装时残留的切屑、焊渣、铁锈等杂物混入所造成的污物,只要在组装后立即清洗即可解决。

(2) 内部生成的不纯物:泵、阀、执行元件和“O”形环长期使用后,因磨损而生成的金属粉末和橡胶碎片在高温、高压下和液压油发生化学反应所生成的胶状污物。

2. 恶 化

液压油的恶化速度与含水量、气泡、压力、油温、金属粉末等有关,其中以温度影响为最大,故液压设备运转时,要特别注意油温的变化。

3. 泄 漏

液压设备配管不良、油封破损是造成泄漏的主要原因,泄漏发生时,空气、水、尘埃便可轻易地侵入油中,故当泄漏发生时,必须立即加以排除。

液压油经长期使用后,油质会恶化。一般采用目视法判定油质是否恶化,当油的颜色混浊并有异味时,必须立即更换。液压油的保养方法有两种:一种是定期更换(约为5 000~20 000 h);另一种是使用过滤器定期过滤。

第二节 液体力学基础

一、液体静力学基础

液体静力学主要研究静止液体所具有的力学规律。所谓静止液体是指液体内部质点与质点之间没有相对运动,而液体整体则完全可以随同容器一起作各种匀速运动。

1. 静止液体的压力及其性质

作用于液体上的力可分为质量力和表面力。质量力作用于液体的所有质点上,如重力、惯性力等;表面力作用于液体表面上,表面力可以是其他物体(如容器壁面)作用于液体表面上的力,也可以是一部分液体作用于另一部分液体表面上的力。对于静止液体,由于质点之间没有相对运动而不存在切向力,由于液体只能受压而不能受拉,所以作用于液体上的法向表面力只有压力。

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:

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

若法向作用力 F 均匀地作用在面积 A 上, 则压力可表示为

$$p = \frac{F}{A} \quad (2.4)$$

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 $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa} = 10 \text{ bar}$ 。

液体静压力有以下两个重要特性:

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。这是因为液体质点间的内聚力很小, 不能受拉只能受压。

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, 这就违背了静止液体的条件。

2. 液体静压力的基本方程

现在我们假设静止不动的液体中如图 2-3 所示, 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。因为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, 故我们可把其在垂直方向上的力平衡关系表示为

$$p \Delta A = p_0 \Delta A + \rho g h \Delta A$$

式中, $\rho g h \Delta A$ 为小液柱的重力; ρ 为液体的密度。上式化简后得

$$p = p_0 + \rho g h \quad (2.5)$$

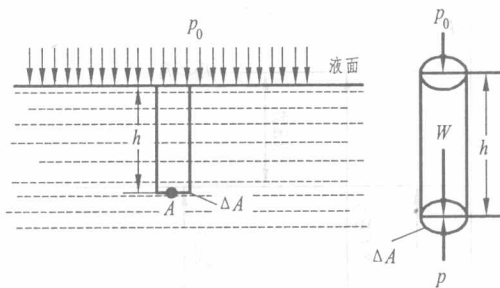


图 2-3 离液面 h 深处的压力

式 (2.5) 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 $\rho g h$ 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。

【例 2-1】如图 2-4 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 $F = 1\,000 \text{ N}$, 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

$$p_0 = \frac{F}{A} = \frac{100 \text{ N}}{1 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 10^6 \text{ N/m}^2$$

根据静压力的基本方程式 (2.5)，深度为 h 处的液体压力为

$$\begin{aligned} p &= p_A + pgh = 104 + 900 \times 9.8 \times 0.5 \\ &= 1.0044 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \approx 10^6 \text{ Pa} \end{aligned}$$

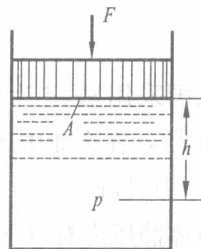


图 2-4 静止液体内的压力

从上例可以看出，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 pgh 相对较小，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

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

$$\text{真空度} = \text{大气压力} - \text{绝对压力} \quad (2.6)$$

有关表压力、绝对压力和真空度的关系如图 2-5 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。

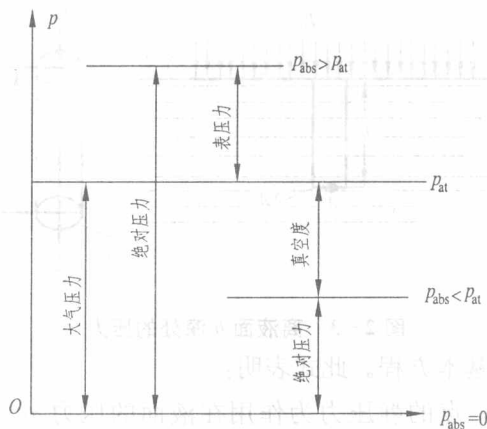


图 2-5 绝对压力、表压力和真空度的关系

【例 2-2】如图 2-6 所示为装有水银（汞）的 U 形管测压计，左端与装水的容器相连，右端与大气相通。汞的密度为 $\rho_{\text{汞}} = 13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，标准大气压 $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$ 。(1) 如图 2-6 (a) 所示，已知 $h = 20 \text{ cm}$ ， $h_1 = 30 \text{ cm}$ ，试计算 A 点的相对压力和绝对压力。(2) 如图 2-6 (b) 所示，已知 $h_1 = 15 \text{ cm}$ ， $h_2 = 30 \text{ cm}$ ，试计算 A 点的真空度和绝对压力。