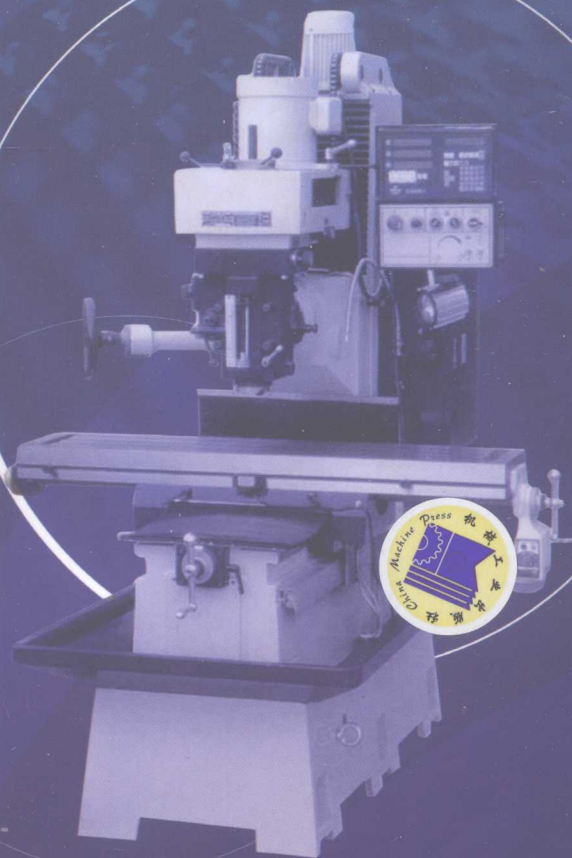
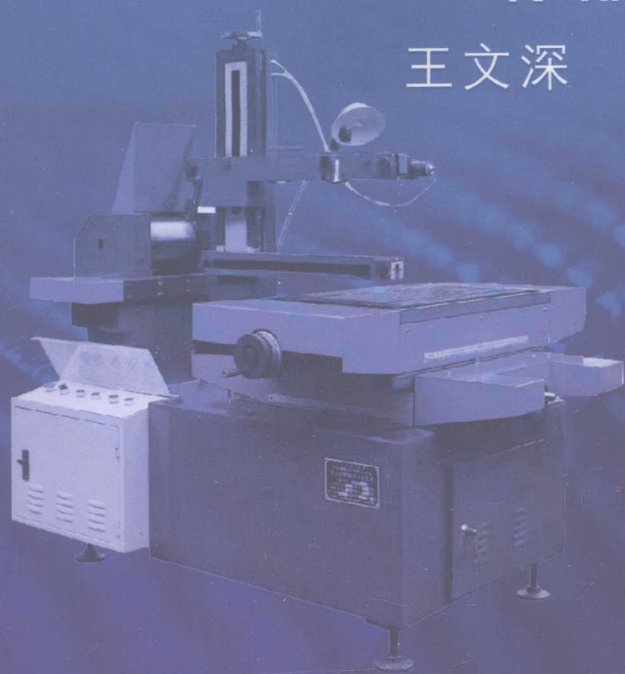


职业教育院校重点专业规划教材
数控技术应用专业教学用书

液压与气动

YE YA YU QI DONG

王文深 王保铭 主编



职业教育院校重点专业规划教材
数控技术应用专业教学用书

液 压 与 气 动

主 编 王文深 王保铭
参 编 周章添 谭小红 韦志刚
毛 文 孙承辉



机械工业出版社

本书包括液压传动和气压传动两部分，共十四章。主要包括概述，流体力学基础，液压动力元件，液压执行元件，液压控制阀，液压辅助元件，液压基本回路，典型液压传动系统及系统设计，液压传动系统的安装、调试及故障分析，气源装置及气动辅助元件，气动执行元件，气动控制元件及基本回路，气压传动系统实例和气压传动系统的安装调试、使用及维护。

本书在注重基本概念与工作原理阐述的同时，突出其应用，旨在培养学生的工程应用与实践能力。

本书可作为高职高专机电类、机械类专业教材，还可供各类成人高校、自学考试机电类专业学生及工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

液压与气动/王文深，王保铭主编. —北京：机械工业出版社，
2009.8

职业教育院校重点专业规划教材. 数控技术应用专业
教学用书

ISBN 978 - 7 - 111 - 27441 - 4

I. 液… II. ①王…②王… 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（2009）第 117903 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：汪光灿 责任编辑：张云鹏

版式设计：霍永明 责任校对：魏俊云

封面设计：陈 沛 责任印制：乔 宇

北京京丰印刷厂印刷

2009 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm × 260mm · 11.25 印张 · 262 千字

0 001—3 000 册

标准书号：ISBN 978 - 7 - 111 - 27441 - 4

定价：20.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

销售服务热线电话：（010）68326294

购书热线电话：（010）88379639 88379641 88379643

编辑热线电话：（010）88379193

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是根据教育部现阶段技能型人才的培养培训方案的指导思想和最新的专业教学计划,结合编者多年教学改革的实践,在广泛吸收借鉴多所院校教学改革成果和教学经验的基础上编写的。本书在较全面地阐述液压与气压传动基本概念与工作原理的基础上,对理论内容坚持“理论够用为度”和“理论联系实际”的原则,重点突出对学生工程应用能力和综合素质的培养。

本书以液压传动技术为主线,精简了相关流体传动基础理论的内容,着重阐述了液压与气压元件及基本回路的工作原理及应用,但不过多涉及元件的具体结构。

本书由王文深、王保铭主编,参加编写工作的还有周章添、谭小红、韦志刚、毛文、孙承辉等。

本书可作为高职高专机电类、机械类专业教材,也可作为各类成人高校、函授大学、电视大学及中等职业学校相关专业的教学用书,并可供机械类工程技术人员和工人参考。

由于编者水平有限,书中错误和遗漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 液压与气动的基本原理	1
第二节 液压与气动系统的组成 及图形符号	3
第三节 液压与气动的特点	3
第四节 液压与气动的发展及应用	4
思考和练习	5
第二章 流体力学基础	6
第一节 工作介质	6
第二节 液体静力学基础	9
第三节 液体动力学基础	11
第四节 液体流动时的压力损失	14
第五节 小孔及缝隙流量	16
第六节 液压冲击和空穴现象	18
思考和练习	19
第三章 液压泵	21
第一节 液压泵概述	21
第二节 齿轮泵	23
第三节 叶片泵	26
第四节 柱塞泵	29
第五节 螺杆泵	32
第六节 液压泵的选用	32
思考和练习	33
第四章 液压执行元件	34
第一节 液压马达	34
第二节 液压缸	37
思考和练习	45
第五章 液压控制阀	47
第一节 概述	47
第二节 方向控制阀	48
第三节 压力控制阀	55
第四节 流量控制阀	62
第五节 其他液压控制阀	65

思考和练习	70
-------------	----

第六章 液压辅助元件	72
第一节 蓄能器	72
第二节 过滤器	73
第三节 密封装置	76
第四节 油箱	78
第五节 压力计与压力计开关	79
第六节 油管与管接头	80
思考和练习	83
第七章 液压基本回路	84
第一节 方向控制回路	84
第二节 压力控制回路	85
第三节 速度控制回路	89
第四节 多缸工作控制回路	99
思考和练习	103
第八章 典型液压传动系统及 系统设计	106
第一节 组合机床动力滑台液压系统	106
第二节 数控机床液压系统	109
第三节 液压传动系统的设计	111
第四节 液压 CAD 技术简介	117
思考和练习	118
第九章 液压传动系统的安装、 调试及故障分析	121
第一节 液压传动系统的安装与调试	121
第二节 液压传动系统的故障分析 与排除	124
思考和练习	130
第十章 气源装置及气动辅助元件	131
第一节 气源装置	131
第二节 其他辅助元件	135
思考和练习	136
第十一章 气动执行元件	137
第一节 气缸	137

第二节 气马达	139	第二节 数控加工中心气动换刀系统	158
思考和练习	140	第三节 汽车车门气动安全操纵系统	160
第十二章 气动控制元件及		思考和练习	161
基本回路	142	第十四章 气压传动系统的安装	
第一节 方向控制阀及方向控制回路	142	调试、使用及维护	162
第二节 压力控制阀及压力控制回路	147	第一节 气动系统的安装与调试	162
第三节 流量控制阀及速度控制回路	150	第二节 气动系统的使用与维护	162
第四节 其他常用控制回路	153	思考和练习	168
思考和练习	156	附录	169
第十三章 气压传动系统实例	157	常用液压与气动元（辅）件图形符号	169
第一节 气动机械手气压传动系统	157	参考文献	174

第一章 概 述

一部功能完整的机器设备一般由动力装置、传动装置、执行装置和控制装置组成。传动装置有机械传动、电力传动、液体传动(液压传动和液力传动)和气压传动等形式。液压与气动是以流体(液体和气体统称为流体)作为工作介质,利用压力能进行能量传递和控制的传动技术。

第一节 液压与气动的基本原理

液压系统以液体为工作介质,而气动系统是以气体作为工作介质。两种工作介质的不同在于液体几乎不可压缩,而气体却具有明显的可压缩性。液压与气压传动在基本工作原理、元件的结构及回路的组成等方面是极为相似的。现以图 1-1 所示的液压千斤顶为例来介绍液压传动的工作原理。

液压缸 6 和 3 的活塞和缸体之间保持良好的配合关系,不仅活塞能在缸内滑动,而且配合面之间又能实现可靠的密封。当向上抬起杠杆 1 时,小活塞 2 向上运动,小缸 3 下腔容积增大,形成局部真空,此时单向阀 5 关闭,油箱 10 中的油液在大气压的作用下通过单向阀 4 进入小液压缸的下腔,完成一次吸油过程。接着,压下杠杆 1,小活塞 2 向下移动,小缸下腔容积减小,腔内压力升高,这时单向阀 4 关闭,小缸下腔的压力油就打开单向阀 5 挤入到大缸 6 的下腔,推动大活塞将重物 8 向上顶起一段距离,如此反复地提压杠杆 1,就可以使重物不断上升,达到起重的目的。如果打开截止阀 9,大缸下腔通油箱,大活塞在自重作用下向下移动,迅速下降到原位。

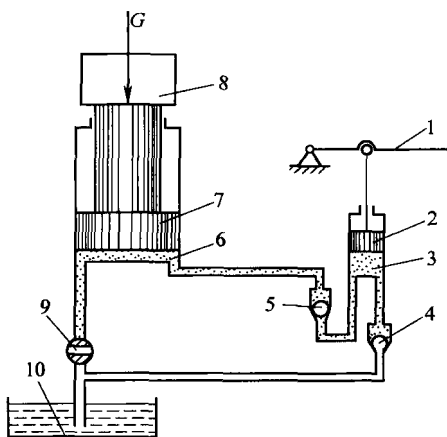


图 1-1 液压千斤顶

- 1—杠杆 2—小活塞 3、6—液压缸 4、5—单向阀
7—大活塞 8—重物 9—截止阀 10—油箱

通过对图 1-1 所示液压千斤顶工作过程的分析,可知液压传动是依靠液体在密封容积变化中的压力能实现运动和动力传递的。液压传动装置本质是一种能量转换装置,它先将机械能(压下杠杆)转换为容易输送的压力能,后又将压力能转换为机械能(重物上升)做功。由此可见,液压传动实际上是一个不同形式的能量转换过程。

图 1-2 所示为磨床液压系统工作原理图。要求该液压系统能实现磨床工作台往复直线运动、变速与推力的控制。

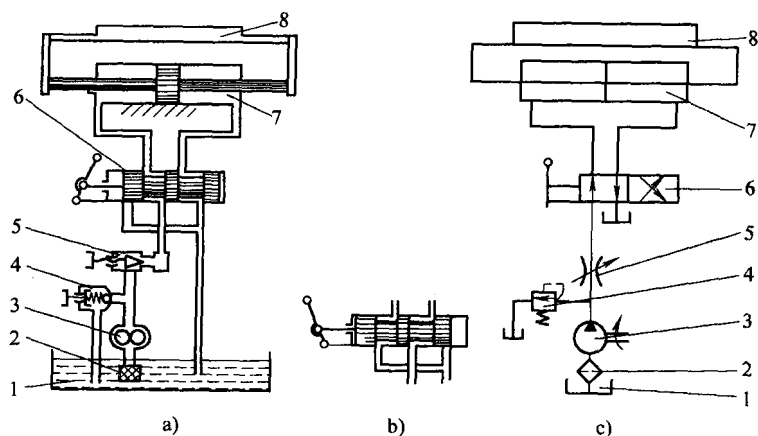


图 1-2 磨床工作台液压系统

a) 结构原理图 b) 换向阀 c) 符号原理图

1—油箱 2—滤油器 3—液压泵 4—溢流阀 5—节流阀 6—换向阀 7—液压缸 8—工作台

液压泵 3 由电动机带动旋转，从油箱 1 经过滤油器 2 吸油，液压泵输出的压力油经节流阀 5 和换向阀 6 (图 1-2a 中换向阀手柄向右扳动) 进入液压缸 7 的左腔，推动活塞和工作台向右运动，而液压缸右腔的油液经换向阀和回油管排回油箱。

若将换向阀 6 手柄扳到左边位置，使换向阀处于图 1-2b 所示的状态，则压力油经换向阀进入液压缸的右腔，推动活塞与工作台反向运动；并使液压缸左腔的油液经换向阀和回油管排回油箱。

若改变节流阀 5 的开口大小，可以改变进入液压缸的流量，从而控制液压缸活塞的运动速度，此时液压泵输出的多余油液经溢流阀 4 和回油管排回油箱。系统工作时，液压缸工作压力的大小取决于磨削工件时切削阻力的大小。液压泵的最高压力由溢流阀调定。

图 1-3 所示为典型气动系统的组成。其控制装置是由若干个气动元件组成的气动逻辑回路，它可以根据气缸活塞杆的始末位置，由行程开关等传递信号，系统在进行逻辑判断后指示气缸下一步的动作，从而可实现规定的自动工作循环。

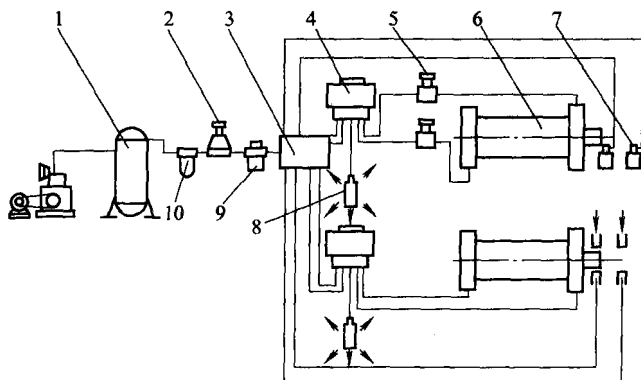


图 1-3 气压传动系统的组成

1—气源装置 2—压力阀 3—逻辑元件 4—方向阀 5—流量阀 6—气缸
7—行程开关 8—消声器 9—油雾器 10—空气过滤器

第二节 液压与气动系统的组成及图形符号

一、传动系统的组成

液压、气动系统除工作介质(液压油或压缩空气)外,主要由动力元件、执行元件、控制调节元件和辅助元件四部分组成。

(1) 动力元件 动力元件即将机械能转换成流体的压力能的元件。通常指液压泵和空气压缩机,其作用是向系统提供压力油和压缩空气。

(2) 执行元件 执行元件即将流体的压力能转换成机械能的元件。它可以是作直线运动的液压缸或气缸,也可以是作回转运动的液压马达或气马达。

(3) 控制调节元件 控制调节元件即对系统中流体的压力、流量和流动方向进行控制和调节的元件,以及进行信号转换、逻辑运算和放大等功能的信号控制元件,如溢流阀、节流阀、换向阀等。

(4) 辅助元件 辅助元件是保证系统正常工作所需的且上述三种以外的元件,如油箱、过滤器、蓄能器、油雾器、消声器等。

二、传动系统的图形符号表示

图 1-2a 所示的液压系统是一种半结构式的工作原理图,它有直观性强、容易理解的优点,但图形比较复杂,绘制比较麻烦。

图 1-2c 所示是图 1-2a 所示的液压系统用液压系统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,易于绘制。

第三节 液压与气动的特点

一、液压传动的特点

(1) 液压传动的优点

- 1) 液压传动能在较大范围内实现无级调速(调速范围可达 2000r)。
- 2) 在同等功率下,液压装置体积小,质量小。例如,液压马达的体积和质量只有同等功率电动机的 12% 左右。
- 3) 工作平稳,换向冲击小,便于实现快速起动、制动和频繁的换向。
- 4) 易于实现过载保护,安全性好,采用矿物油作为工作介质,自润滑性好。
- 5) 操纵控制方便,便于实现自动化。特别是和电气控制结合时,易于实现复杂的自动工作循环。
- 6) 由于液压元件已实现标准化、系列化和通用化,液压系统的设计、制造和使用都比较方便。

(2) 液压传动的缺点

- 1) 液压传动系统中存在的泄漏和油液的可压缩性,影响了传动的准确性,故不宜用于要求具有精确传动比的场合。

2) 液压传动系统工作过程中有较多的能量损失(如泄漏损失、摩擦损失等),因此,液压传动效率不高,不宜作远距离传动。

3) 液压传动对油温的变化比较敏感,不宜在很高和很低的温度下工作。

二、气动特点

(1) 气动的优点

1) 以空气为工作介质,来源方便,使用后可以直接排入大气,处理简单,不污染环境。

2) 空气的粘度很小,在管道中的压力损失较小,因此,压缩空气便于集中供应(空压站)和远距离输送。

3) 压缩空气的工作压力一般较低,因此,对气动元件的材料和制造精度要求较低。

4) 工作环境适应性好,特别是在易燃易爆、多尘埃、强辐射、振动等恶劣环境下工作,比液压、电子、电气控制优越。

5) 维护简单,使用安全可靠,能够实现过载保护。

(2) 气动的缺点

1) 由于空气的可压缩性大,所以气压传动工作速度的稳定性较差,易受负载变化的影响。

2) 工作压力较低(一般为 $0.4 \sim 0.8 \text{ MPa}$),系统输出力较小,传动效率较低。

3) 排气噪声较大,在高速排气时需安装消声器。

第四节 液压与气动的发展及应用

17 世纪中叶,法国物理学家帕斯卡提出静压传动原理,即帕斯卡原理,成为液压气动技术的理论基础。17 世纪末期,英国著名科学家牛顿对液体粘度及其阻力研究的成果,是现代流体动力润滑理论的基础。18 世纪中叶,瑞士科学家伯努利提出了理想液体常态运动方程,即伯努利方程。18 世纪末期,英国制造出世界上第一台水压机。但液压与气压传动在工业上的广泛采用和较快的发展,却是 20 世纪中期以后的事情。

第二次世界大战期间,军事工业的需要促使液压技术迅速发展,液压技术相继在飞机、坦克、舰艇等武器装备上推广使用。战后,液压技术很快转入民用工业,在机床、工程机械、冶金机械、塑料机械、农业机械、汽车、船舶等行业得到了广泛的应用和发展。20 世纪 60 年代以来,随着原子能技术、空间技术、计算机技术的发展,液压技术得到了很大的发展,并渗透到各个工业领域中去。当前,液压技术正向高压、高速、大功率、高效率、低噪声、经久耐用、高度集成化等方向发展。同时,新型液压元件的应用,液压系统的计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助测试(CAT)、计算机实时控制、节能技术及污染控制技术等方向也是当前液压传动及控制技术发展和研究的方向。

气动技术是以压缩空气为工作介质进行能量传递或信号传递的工程技术,是实现各种生产控制、自动控制的重要手段之一。

1880 年,人们第一次利用气缸做成气动制动装置,并将其用到火车的制动上。20 世纪

30 年代, 气动技术成功用于车辆自动门的开启。尤其是 20 世纪 70 年代初, 随着工业机械化和自动化的发展, 气动技术广泛应用于生产自动化的各个领域。近年来气动技术应用领域已从机械、采矿、汽车、钢铁等重工业迅速扩展到化工、轻工和食品等行业。当前, 气动技术正向高质量、高精度、高速度、小型化、轻量化、复合集成化及节能环保等的方向快速发展。

思考和练习

- 1-1 什么是液压传动? 液压传动的基本工作原理是怎样的?
- 1-2 液压传动系统由哪些部分组成? 各部分的作用是什么?
- 1-3 液压传动与其他传动相比有哪些优缺点?
- 1-4 气动与液压传动有什么不同?

第二章 流体力学基础

工作介质在液压传动中起到传递能量和信号的作用，同时还起到润滑、冷却和防锈的作用。因此在掌握液压系统之前，必须对工作介质的物理性质和如何选用作必要的了解。

第一节 工作介质

液体是液压传动的工作介质。最常用的工作介质是液压油，此外还有乳化液和合成液及液态水。

一、工作介质的物理特性

1. 液体的密度

单位体积液体的质量称为液体的密度，用 ρ 表示，即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-1)$$

式中 V ——体积(m^3)；

m ——质量(kg)。

液压油的密度一般为 $900\text{kg}/\text{m}^3$ ，通常情况下，液体的密度随温度或压力的变化可以忽略不计。

2. 液体的可压缩性

液体在压力作用下体积减小的现象称为液体的可压缩性。在常温下，一般认为油液是不可压缩的。但当液压油中混有空气时，其抗压缩能力显著降低，此时其可压缩性对液压系统的动态性能影响较大。

3. 液体的粘性

(1) 粘性的物理本质 液体在外力作用下流动时，由于液体分子间的内聚力而产生一种阻碍液体分子之间相对运动的内摩擦力，液体的这种产生内摩擦力的性质称为液体的粘性。液体只有在流动(或有流动趋势)时，才显示出液体的粘性，而静止液体是不显示粘性的。

(2) 牛顿内摩擦力定律 如图 2-1 所示，两平行平板间充满液体，上平板以速度 u_0 向右滑动，下平板固定不动。粘性使液体内部各处的速度不相等，紧贴于上平板液层的速度与上平板相同，紧贴于下平板液层的速度为零，而中间各层液体的流速从上到下近似呈线性规律分布。其中速度快的液层带动速度慢的，而速度慢的液层对速度快的液层起阻滞作用。

实验测定表明，液体流动时相邻液层间的内摩擦力 F 与液层接触面积 A 、液层间的速度梯度 du/dy 成正比，

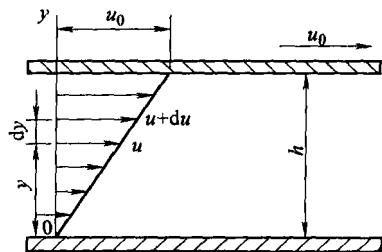


图 2-1 液体的粘性示意图

即

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

μ 是比例系数, 称为动力粘度。

若以 τ 表示液层间的切应力, 即

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (2-3)$$

这就是牛顿内摩擦定律。

(3) 粘度 液体的粘性大小用粘度表示。常用的粘度有以下两种:

1) 动力粘度。动力粘度又称绝对粘度, 由式(2-2)可得

$$\mu = \frac{F}{A \frac{du}{dy}} \quad (2-4)$$

动力粘度的单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ($\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$)。

2) 运动粘度。动力粘度与该液体密度的比值称为运动粘度, 以 ν 表示

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-5)$$

运动粘度的单位为 m^2/s 。

就物理意义上讲, ν 不是一个粘度的量, 但工程实际中常用它标志液体的粘度。液压传动工作介质的粘度等级是以 40°C 时运动粘度 (mm^2/s) 的中心值来划分的, 如牌号为 L-HL32 的液压油, 就是指这种油在 40°C 时的运动粘度平均值为 $32\text{mm}^2/\text{s}$ 。

(4) 粘温特性 油液的粘度随温度变化的性质称为粘温特性。温度对油液粘度的影响很大, 温度升高, 粘度显著下降。油液粘度变化直接影响液压系统的性能和泄漏量, 因此希望油液粘度随温度的变化越小越好。

不同种类的液压油有不同的粘温特性。图 2-2 所示为几种典型液压油的粘温特性曲线图。

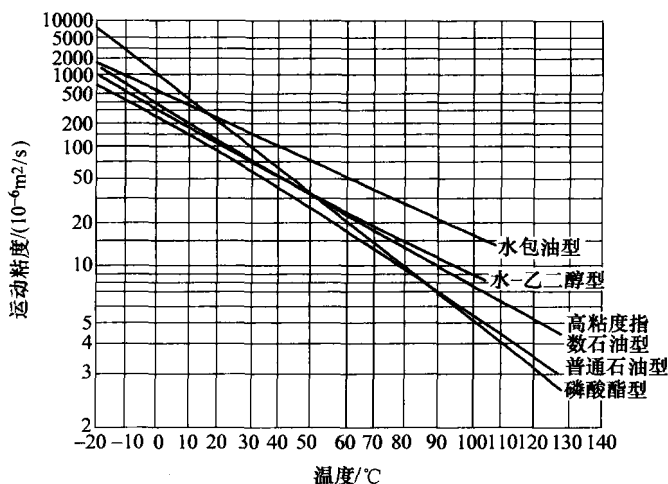


图 2-2 典型液压油的粘温特性曲线

油液的其他物理及化学性质包括抗燃性、抗凝性、抗氧化性、抗泡沫性、抗乳化性、缓蚀性、润滑性、导热性、相容性及纯净性等，都对液压系统工作性能有重要影响。

二、液压油的选用

1. 液压油的使用要求

液压传动系统用油一般应满足的要求有粘度适当，粘温特性好；润滑性好，防锈性好；质地纯净，杂质少；对金属和密封件有良好的相容性；氧化稳定性好，不易变质；抗泡沫性和抗乳化性好；燃点高，凝点低；对人体无害，成本低等。

对具体的液压传动系统，则需根据情况突出某些方面的使用性能要求。

2. 液压油的品种

液压油的品种很多，主要分为三大类型，即矿油型、乳化型、合成型。矿油型液压油润滑性好和防锈性好，粘度等级范围也较宽，因而在液压系统中应用很广。矿油型液压油具有可燃性，为了安全起见，在一些高温、易燃、易爆的工作环境，常用水包油、油包水乳化液或水-乙二醇、磷酸脂等合成液。

三、液压油的选择

1. 油液品种的选择

选择液压油的品种，可根据是否液压专用、有无起火危险、工作压力及工作温度等因素综合考虑。

2. 粘度等级的选择

确定好液压油的品种后，就要选择液压油的粘度等级。粘度对液压系统工作的稳定性、可靠性、效率、温升及磨损都有显著的影响。在选择粘度时应注意液压系统在以下几方面的情况：

1) 工作压力。工作压力较高的液压系统宜选用粘度较大的液压油，以减少泄漏。

2) 运动速度。当液压系统的工作部件运动速度较高时，宜选用粘度较小的液压油，以减小液流的摩擦损失。

3) 环境温度。环境温度较高时宜选用粘度较大的液压油。

在液压系统的所有元件中，以液压泵对油液的性能最为敏感。因为泵内零件的运动速度最高，工作压力也最高，且承压时间长，温升高。因此，常根据液压泵的类型及其要求来选择液压油的粘度。

各类液压泵适用的粘度范围见表 2-1。

表 2-1 各类液压泵适用的粘度范围

液压泵类型		环境温度 5 ~ 40℃ $\nu / (\text{mm}^2/\text{s})$	环境温度 40 ~ 80℃ $\nu / (\text{mm}^2/\text{s})$
叶片泵	$p < 7\text{MPa}$	30 ~ 50	40 ~ 75
	$p \geq 7\text{MPa}$	50 ~ 70	55 ~ 90
齿轮泵		30 ~ 70	95 ~ 165
轴向柱塞泵		45 ~ 75	70 ~ 150
径向柱塞泵		30 ~ 80	65 ~ 240

第二节 液体静力学基础

液体静力学所研究的是静止液体的力学规律以及这些规律的应用。这里所说的静止，是指液体内部质点之间没有相对运动，至于液体整体，完全可以像刚体一样作各种运动。

一、液体的压力

液体单位面积上所受的法向力称为压力。这一定义在物理学中称为压强，但在液压技术中习惯称为压力。若在液体内部某点处微小面积 ΔA 上作用有法向力 ΔF_n ，则该点的静压力 p 为

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_n}{\Delta A} \quad (2-6)$$

静止液体只能处于受压状态，不能受拉，并且其内部的任何质点都承受来自各个方向的压力而处于平衡状态。因此液体的静压力有如下两个重要特性：

- 1) 液体的静压力沿着内法线方向作用于承压面。
- 2) 静止液体内部任意一点的静压力在各个方向上都相等。

二、重力作用下静止液体中的压力分布

如图 2-3a 所示，密度为 ρ 的液体在容器内处于静止状态。为求任意深度 h 处的压力 p ，可以假想从液面往下切取一个垂直小液柱作为研究对象，设液柱的底面积为 ΔA ，高为 h ，如图 2-3b 所示。由于液柱处于平衡状态，于是有

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

$$\text{因此得} \quad p = p_0 + \rho gh \quad (2-7)$$

式(2-7)称为液体静力学基本方程式。由式(2-7)可知：

- 1) 静止液体内部任一点处的压力都由两部分组成，一部分是液面上的压力 p_0 ，另一部分是由该点以上液体质量所形成的压力。当液面上只受大气压力 p_a 作用时(如敞口容器内的液体)，则液体内部任一点的压力为

$$p = p_a + \rho gh \quad (2-8)$$

- 2) 静止液体内的压力随液体深度呈线性规律分布。

- 3) 离液面深度相同的各点压力相等，形成一个等压面(为水平面)。

需要注意的是，在分析液压系统的压力时，由液体质量所形成的那部分压力 ρgh 相对于外界压力非常小，因此常常可以忽略不计。

三、压力的表示和单位

根据度量基准的不同，液体压力分为绝对压力和相对压力两种。以绝对真空为基准度量的压力，叫做绝对压力；而以大气压力为基准来度量的压力则是相对压力。

在地球的表面上，一切受大气笼罩的物体，大气压力的作用都是自相平衡的，一般压力仪器在大气中的读数为零，因此用压力计(又称压力表)测得的压力显然是相对压力。相对

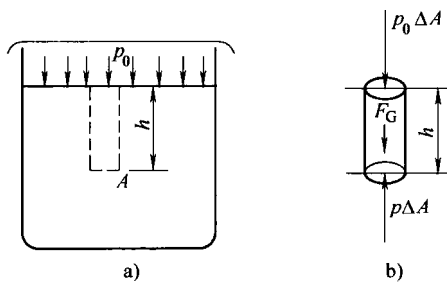


图 2-3 重力作用下的静止液体

压力又叫表压力, 液压技术中的压力一般也都是相对压力。

如果液体中某点的绝对压力小于大气压力, 这时, 比大气压力小的那部分数值叫做真空度。绝对压力、相对压力和真空度之间的关系如图 2-4 所示。

压力的法定计量单位是 Pa(帕), 还有沿用的一些单位, 如 bar(巴)、工程大气压 at(即 kgf/cm^2)、标准大气压 atm、水柱高 mH_2O 或汞柱高 mmHg 等。各压力单位之间的换算关系如下:

$$1\text{bar} = 1 \times 10^5 \text{Pa}$$

$$1\text{at} = 1\text{kgf}/\text{cm}^2 = 0.098\text{MPa}$$

$$1\text{atm} = 1.013 \times 10^5 \text{Pa}$$

$$1\text{mH}_2\text{O} = 9800\text{Pa}$$

$$1\text{mmHg} = 133\text{Pa}$$

四、帕斯卡原理

如图 2-5 所示的密封容器内的液体, 当外力 F 变化引起液面压力 p_0 发生变化时, 只要液体仍保持原来的静止状态不变, 则液体任一点的的压力均发生同样大小的变化。也就是说, 在密封容器内施加于静止液体上的压力将以等值传递到液体中所有各点。这就是帕斯卡原理或静压传递原理。

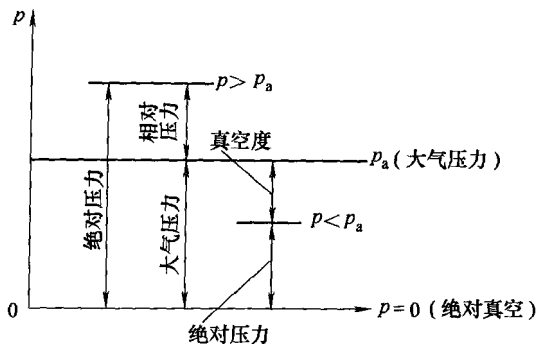


图 2-4 绝对压力、相对压力和真空度

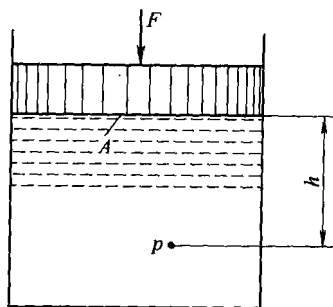


图 2-5 静止液体内的压力

我们知道, 在液压传动中, 由液体自重所产生的压力很小, 因此可把式 2-7 中的 ρgh 项略去, 而认为静止液体内部各点的压力处处相等。

在图 2-5 中, 外加负载 F 作用在横截面积为 A 的活塞上, 根据帕斯卡原理, 容器内液体的压力与负载之间总是保持着正比关系为

$$p = \frac{F}{A} \quad (2-9)$$

由此可见, 液体内部的压力是由外界负载作用所形成的, 即压力取决于负载, 这是液压传动中一个重要的基本概念。

五、液体对固体壁面的作用力

静止液体与固体壁面相接触时, 固体壁面将受到液体压力的作用。

当固体壁面为一平面时, 液体压力对该平面的总作用力 F 等于液体压力 p 与该平面面积 A 的乘积, 其作用方向与该平面垂直, 即

$$F = pA \quad (2-10)$$

对于液压缸, 如图 2-6a 所示, 在无杆腔活塞(活塞直径为 D , 面积为 A)左侧所受的液体作用力 F 为

$$F = pA = p \frac{\pi D^2}{4}$$

当固体壁面为一曲面时, 液体压力在该曲面某方向 x 上的总作用力 F_x 等于液体压力与曲面在该方向投影面积 A_x 的乘积, 即

$$F_x = pA_x \quad (2-11)$$

图 2-6b 所示的球面和图 2-6c 所示的圆锥体面, 要计算液体沿垂直方向作用在球面和锥面上的力, 就等于压力 p 与该部分曲面在垂直方向的投影面积 A_x 乘积, 其作用点通过投影圆的圆心, 方向垂直向上, 即

$$F_x = pA_x = p \frac{\pi d^2}{4}$$

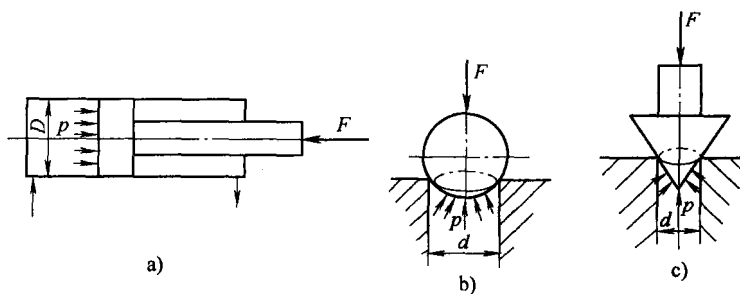


图 2-6 液体作用在固体壁面上的力

a) 液压缸 b) 球面体 c) 圆锥面体

第三节 液体动力学基础

由于液压系统工作时油液总是在不断地流动, 因此必须研究液体在外力作用下流动时的运动规律, 即研究液体流动时的流速和压力的变化规律。

一、基本概念

1. 理想液体与恒定流动

液体具有粘性, 并在流动时表现出来, 因此研究流动液体时就要考虑其粘性。但液体粘性是一个很复杂的问题, 所以可先假设液体没有粘性, 然后再考虑粘性的影响并通过实验验证的方法对所得的结论进行补充和修正。这种方法同样也可以处理液体的可压缩性问题。我们把既无粘性又无可压缩性的假想液体称为理想液体。

液体流动时, 若液体内部任何一点的压力、速度和密度都不随时间而变化, 则称这种流动为恒定流动(亦称定常流动); 反之, 只要压力、速度和密度有一个随时间而变化, 则称