

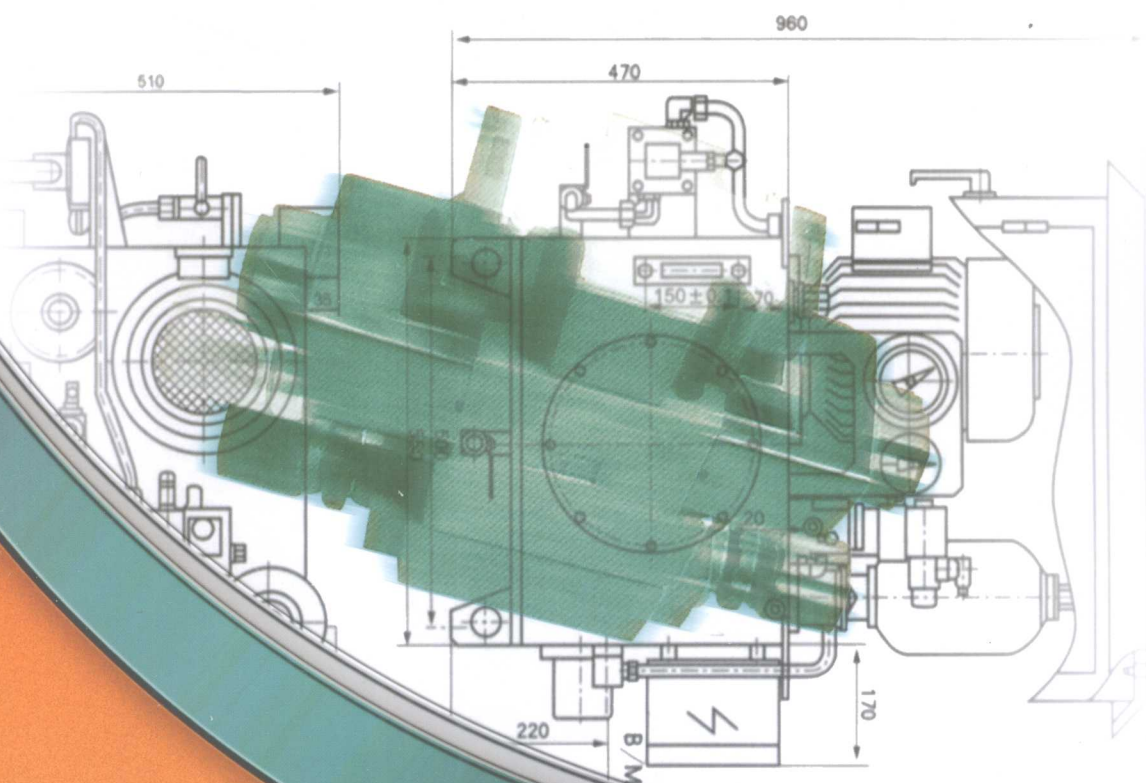


21世纪高职高专规划教材·数控系列

液压与气动

主编 唐建生

主审 刘红普



中国人民大学出版社



中国机械工程学会流体传动与控制分会 学术刊物

液压与气动

主编 周祖德

执行主编 周祖德



中国机械工程学会流体传动与控制分会 学术刊物

21 世纪高职高专规划教材·数控系列

液压与气动

主 编 唐建生
副主编 张成光 黄建娜
主 审 刘红普

中国人民大学出版社
· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

液压与气动 / 唐建生主编

北京: 中国人民大学出版社, 2008

21 世纪高职高专规划教材·数控系列

ISBN 978-7-300-09945-3

I. 液…

II. 唐…

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 175540 号

21 世纪高职高专规划教材·数控系列

液压与气动

主 编 唐建生

副主编 张成光 黄建娜

主 审 刘红普

出版发行 中国人民大学出版社

社 址 北京中关村大街 31 号

电 话 010-62511242 (总编室)

010-82501766 (邮购部)

010-62515195 (发行公司)

网 址 <http://www.crup.com.cn>

<http://www.ttrnet.com> (人大教研网)

经 销 新华书店

印 刷 北京东君印刷有限公司

规 格 185 mm × 260 mm 16 开本

印 张 11

字 数 262 000

邮政编码 100080

010-62511398 (质管部)

010-62514148 (门市部)

010-62515275 (盗版举报)

版 次 2008 年 11 月第 1 版

印 次 2008 年 11 月第 1 次印刷

定 价 22.00 元

版权所有 侵权必究 印装差错 负责调换

出版说明

21 世纪制造业的竞争, 其实是数控技术的竞争。随着数控技术、电气自动化技术的迅速发展及数控加工设备数量的急剧增长, 我国制造类企业急需大批数控编程、操作、维修人才及电气自动化技术人才, 而目前劳动力市场这种高等技术应用性人才严重短缺。为此, 教育部会同劳动和社会保障部、国防科工委、信息产业部、交通部、卫生部等联合启动了“职业院校制造业和现代服务业技能紧缺人才培养培训工程”, 明确了高等职业教育的根本任务就是要从劳动力市场的实际需要出发, 坚持以就业为导向, 以全面素质为基础, 以能力为本位, 努力造就数以千万计的制造业和现代服务业一线迫切需要的高素质技能型人才。

大量培养高技能型人才中的一个重要基础问题就是教材建设。为了适应机电类高职教育迅速发展的形势, 中国人民大学出版社依托教育部高等职业教育机电类专业的专家指导, 进行了广泛的调研, 期望探索出建设符合高职教育教学模式、教学方式、教学改革的教材的新路子。中国人民大学出版社先后组织全国 20 多所高职院校的院系领导及骨干教师召开了多次教材建设研讨会, 对机电类具有工学结合特色的高职教材的编写指导思想, 以及教材的定位、特色、名称、内容、篇幅进行了充分的论证, 成立了中国人民大学出版社机电类专业规划教材编委会以及机电类教材建设专家指导委员会, 组织出版高等职业教育机电类专业系列教材。

根据高等技术应用性人才培养目标, 本套教材既具有高等教育的知识内涵, 又具有职业教育的职业能力内涵, 主要体现了以下特色:

1. 以综合素质为基础, 以能力为本位。本套教材把提高学生能力放在突出的位置, 符合教育部机电类专业教学基本要求和人才培养目标, 注重创新能力和综合素质培养。
2. 以社会需求为基本依据, 以就业为导向。本套教材以机电类企业的生产需求为依据, 体现工学结合的特色, 明确职业岗位对职业核心能力的要求, 重点培养学生的技术运用能力和岗位工作能力。
3. 反映了机电领域的新知识、新技术、新工艺、新方法。本套教材注意克服以往专业教材中存在的陈旧、更新缓慢的弊端, 选择了目前最新的控制系统为典型实例, 采用了最新的国家标准及相关技术标准。
4. 贯彻学历教育与职业资格证书、技能证考试相结合的精神。本套教材把职业资格证书、技能证考证的知识点与教材内容相结合, 将实践教学体系与国家职业技能鉴定标准实行对接, 使学生在学校学习的同时, 也能顺利地获得职业资格证书。
5. 教材体系立体化。为了方便教师教学和学生自主学习, 本套教材配备了电子课件、电子教案、教学指导、题库、案例素材等教学资源, 并将配备相应的教学支持服务平台。

在本套教材的研发与编写过程中, 要感谢诸多专家、领导, 感谢他们对机电类专业

业规划教材研发所投入的大量精力，同时要感谢关注高等职业教育、参加本套教材研发与编写的各位老师，我们希望能够得到大家一如既往的支持，为我国的高等职业教育发展作出更大的贡献。

中国人民大学出版社

2008年1月

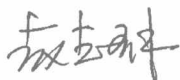
总 序

制造业在国民经济中占有举足轻重的地位，世界上具有重要影响力的国家无一不是制造业强国。制造业的持续发展是我国实现新型工业化的重要组成部分，是今后很长时期带动我国国民经济发展的火车头。中国要想成为制造业强国，目前还面临很多困难，其中很重要的一个就是缺乏高素质专业人才，包括相对稳定的、掌握先进生产技术的技能型人才，而以精益生产为代表的先进制造模式，是将柔性制造技术、高素质劳动者以及企业内部和企业之间的灵活管理方式集成在一起，对技能型人才的工作能力又提出了新的要求。

近年来，我国加工制造类职业教育取得了较大发展，中、高等职业院校加工制造类专业学生总数不仅逐年增加，而且占学生总数的比例也在增加。制造类职业教育取得的进步，特别是数量上的发展，为我国实现走向制造业大国的阶段性战略目标奠定了基础。然而，制造类职业教育还存在着很多问题，特别是在教育质量方面，主要表现在课程设置、教学内容选择、教学设计以及教材建设上没有充分考虑企业需求和学生的职业发展规律；教学不能满足企业技术进步和劳动组织发展需要等方面，这已经成为困扰职业教育教学质量提高的瓶颈。因此，加强课程和教材建设，已经成为众多职业院校教育教学工作的重要内容。

职业院校以市场和需求为导向的课程和教材建设，应当从专业所面向的职业工作任务和岗位要求出发，明确培养规格和关键能力要求，从而为学生的职业生涯发展奠定良好的基础，这不论是在理论上还是实践上都面临着巨大的挑战。这里不仅要引入先进的职业教育理念，需要丰富的专业实践经验，而且需要把先进、实用的技术有针对性地与职业院校的教学工作有机结合起来。在此，这套由中国人民大学出版社组织编写的针对机械制造、数控、自动化等专业的“21世纪高职高专规划教材”都进行了有益的探索。希望这套教材的出版不但能帮助职业院校更快、更好、更容易地培养出社会所紧缺的技能型人才，而且也能为我国职业教育的教学改革提供有价值的经验。

北京师范大学 技术与职业教育研究所所长



2008年2月27日

前 言

本书在编写时,立足高职学生培养的特点,注重贯彻理论知识适度够用的原则,注重突出知识的应用性,注重分析与解决工程实际问题能力的培养。

本书的编者在多年高职教学和科研工作的基础上,汲取同类教材的经验,结合高职教学改革的需要,对液压与气动技术的内容进行了认真整合与编排,在编写架构和内容选取上有所创新。

全书共9章。第1章介绍了液压与气动系统的组成和基本工作原理;第2章介绍了液压流体力学的基础知识;第3章介绍了液压系统最常用的几种液压泵的结构和工作原理;第4章介绍了液压缸与液压马达;第5章介绍了常用液压元件;第6章介绍了液压系统常用基本回路;第7章介绍了典型液压系统的应用;第8章介绍了气压传动工作介质与气动元件;第9章介绍了气动系统常用基本回路。每章之后附有习题,附录部分列出了液压与气动元件的职能符号、液压与气压系统常见故障及排除方法。

本书由河南工业职业技术学院唐建生主编,张成光、黄建娜担任副主编。其中,唐建生编写了第1~6章以及第8章;黄建娜编写了第7章;张成光编写了第9章和附录。

本书由刘红普副教授担任主审。本书在编写过程中参阅了国内同行的教材、资料与文献,在此谨致谢意。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2008年9月

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 液压与气压传动的工作原理与系统组成	1
1.2 液压与气压传动的特点	3
1.3 液压与气压传动技术的发展概况	3
第2章 液压流体力学基础	5
2.1 液压油的物理性质	5
2.2 液体静力学基础	8
2.3 液体动力学基础	12
2.4 液压管路的压力损失	17
2.5 孔口的流量与压力特性	18
2.6 液压冲击和空穴现象	19
习题	20
第3章 液压泵	22
3.1 液压泵概述	22
3.2 齿轮泵	25
3.3 叶片泵	27
3.4 柱塞泵	30
3.5 双级泵与双联泵	33
3.6 液压泵的选用	34
习题	36
第4章 液压缸与液压马达	37
4.1 活塞式液压缸	37
4.2 其他种类液压缸	40
4.3 活塞式液压缸主要尺寸的确定	42
4.4 液压缸的结构	43
4.5 液压马达	46
习题	49
第5章 液压控制和辅助元件	50
5.1 方向控制阀	50
5.2 压力控制阀	60
5.3 流量控制阀	69
5.4 电液比例控制阀	71
5.5 液压辅助元件	73

习题	80
第6章 液压系统常用基本回路	83
6.1 压力控制回路	83
6.2 调速回路	85
6.3 快速运动回路	89
6.4 速度换接回路	90
6.5 多缸动作回路	92
习题	97
第7章 典型液压系统	100
7.1 动力滑台液压系统	100
7.2 注塑机液压系统	103
7.3 液压机液压系统	108
7.4 机械手液压系统	111
7.5 多轴钻床液压系统	115
习题	118
第8章 气压传动热力学基础和工作元件	120
8.1 气压传动热力学基础	120
8.2 气源装置及其辅助元件	123
8.3 气动执行元件	130
8.4 气动控制元件	132
8.5 气动逻辑元件	138
习题	140
第9章 气动系统常用基本回路	141
9.1 气动基本控制回路	141
9.2 气液联动回路	144
9.3 常用程序动作回路	147
9.4 安全保护回路	149
习题	151
附 录	152
参考文献	162

第1章 绪 论

液压与气动装置在工农业生产与生活各个领域中都有着广泛的应用,它们采用压力油或压缩空气作为传递能量的介质来实现传动与控制。液压与气动系统由各类泵源、阀、缸及管道等元件组成。本书的目的就是研究各类液压与气动元件的结构、工作原理和应用,分析液压与气动装置中常用的各种控制回路的作用和特点,在此基础上分析液压与气压传动设备的工作原理,掌握液压与气压传动设备的安装、调试、操作和维修的技能。

1.1 液压与气压传动的工作原理与系统组成

1.1.1 液压与气压传动的工作原理

在我们对液压传动系统还缺乏认识的情况下,先以液压千斤顶为例进行说明。液压千斤顶是一个常用的维修工具,它是一个较为完整的液压传动装置。

液压千斤顶的工作原理如图1—1所示。液压千斤顶的大活塞4和小活塞7分别可以在大缸体3和小缸体8内上下移动。因活塞与缸体内壁间有良好的密封,所以形成容积可变的密封空间。两缸体由装有单向阀5的管道互连,并与油箱1相连。当要举升重物 G 时,先向上提起手柄6,使手柄带动小活塞7向上移动,这时小活塞下部缸体内的空间增大。由于密封作用,外界空气不能补充进来,造成密封容积内压力低于大气压。同时,在单向阀5的作用下,大缸内的油液不能进入小缸。这时油箱内的油液就在大气压的作用下,经管道和单向阀9进入小缸体8内。当压下手柄6时,小活塞下移,密封容积减小,压力升高,油液不能通过单向阀9流回油箱,只能通过单向阀5压入大缸内,推动大活塞将重物升高一定距离。重复以上过程,重物就不断被举升。举升重物的过程完成后,将放油阀2转动 90° ,可使大缸内油液流回油箱,实现大活塞下移复位。

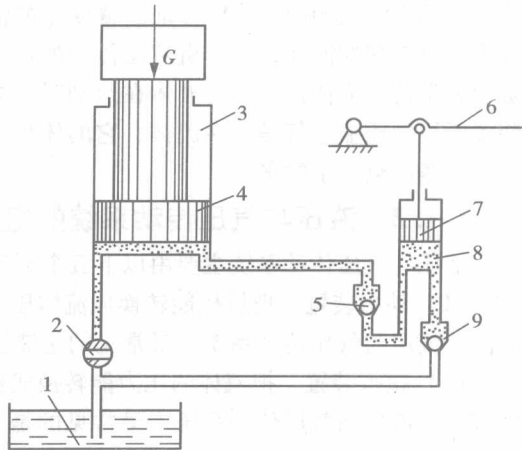


图1—1 液压千斤顶的工作原理

- 1—油箱; 2—放油阀; 3—大缸体; 4—大活塞;
5—单向阀; 6—杠杆手柄; 7—小活塞;
8—小缸体; 9—单向阀

图1—1是手动液压千斤顶的工作原理图,实际应用中,千斤顶的产品设计形式是多种多样的,以满足不同场合下的应用。在较小吨位时常用的有立式手动千斤顶,如图1—2(a)所示,卧式手动千斤顶,如图1—2(b)所示,在较大吨位时一般采用电动千斤顶,如图1—2(c)所示。



图 1—2 液压千斤顶产品样

如果将图 1—1 所示系统中的油液介质换成空气介质，因空气介质直接取自大气，并直接排入大气，不需要图示中的回油管与油箱装置，其他元件的结构与原理类似，则图示系统就可视为一个气压传动系统。例如生活中常用的打气筒，就与上述小活塞缸的工作原理完全相同。

从液压千斤顶的工作原理可以看出，液压与气压传动是以密封容积中的受压工作介质来传递运动和动力的，先将机械能转换成压力能，然后通过各种元件组成的控制回路来实现能量的调控，再将压力能转换成机械能，使执行机构实现预定的动作。

由于工作介质不同，液压传动与气压传动在结构和工作原理上虽有极为相似之处，但理论基础并不完全相同。液压传动装置使用的油液为可压缩性较小的流体，工程应用中一般可视为不可压缩的液体，在分析液压传动的过程时主要考虑的是力的平衡，以液体所表现出的宏观力学特征为依据，分析液体在运动时的质量、能量的迁移及转换的力学平衡问题。气动装置所用的压缩空气是弹性流体，它的体积、压强和温度三个状态参量之间有互为函数的关系，要考虑热力学的平衡。

1.1.2 液压与气压传动系统的组成

液压与气压传动系统主要由以下五个部分组成。

(1) 动力装置。把机械能转换成流体压力能的装置。如图 1—1 所示液压千斤顶中的小活塞缸。液压与气压传动系统中最常见的是液压泵和空气压缩机。

(2) 执行装置。把流体的压力能转换成机械能的装置，如图 1—1 所示液压千斤顶中的大活塞缸。液压与气压传动系统中最常见的是作直线运动的液压缸、气缸，作回转运动的液压马达、气动马达等。

(3) 控制调节装置。对压力、流量和方向进行控制和调节的元件。如图 1—1 所示液压千斤顶中的两个单向阀。控制元件品种多，组合灵活，包括压力阀、流量阀、方向阀、行程阀、逻辑元件等，是学习和掌握液压与气压传动系统工作原理的主要内容。

(4) 辅助装置。如油箱、过滤器、分水滤气器、油雾器、蓄能器、管件等辅助元件，它们是保证液压与气压传动系统可靠和稳定地工作所不可缺少的。

(5) 工作介质。液压油和压缩空气等传递能量的流体。

在绘制液压与气压传动系统工作原理图时，各类装置和元件都按国家标准规定的职能符号绘出，可参看本书的附录。在学习每个液压与气动元件的结构和工作原理时，一定要注意掌握其对应的职能符号。

1.2 液压与气压传动的特点

液压与气压传动也统称为流体传动。与机械装置相比,流体传动装置的主要优点是操作方便、省力,系统结构空间的自由度大,易于实现自动化。流体传动与电气控制相配合,可较方便地实现复杂的程序动作和远程控制。

1.2.1 液压传动的优点

(1) 在同等功率的情况下,液压装置的体积小,重量轻,结构紧凑。液压马达的体积和重量只有同等功率电动机的12%左右。

(2) 液压装置的换向频率高,在实现往复回转运动时可达500次/min,实现往复直线运动时可达1000次/min。

(3) 液压装置能在大范围内实现无级调速(调速范围可达1:2000),还可以在液压装置运行的过程中进行调速。

(4) 液压传动容易实现自动化,因为它是对液体的压力、流量和流动方向进行控制或调节,操纵方便。

(5) 液压元件能自行润滑,使用寿命较长。

1.2.2 气压传动的优点

(1) 空气介质来自于大气,可将用过的气体直接排入大气,处理方便。空气泄漏不会污染环境。

(2) 空气的粘性很小,在管路中的阻力损失远远小于液压传动系统,宜于远程传输及控制。

(3) 工作压力低,元件的材料和制造精度要求低,成本低。

(4) 维护简单,使用安全卫生,无油的气动控制系统特别适用于无线电元器件的生产过程,也适用于食品及医药的生产过程。

(5) 可以根据不同场合,采用相应材料,使气动元件能够在易燃、高温、低温、强振动、强冲击、强腐蚀和强辐射等恶劣的环境下正常工作。

1.2.3 液压与气压传动的缺点

传动介质的泄漏和可压缩性不能严格保证传动比;由于能量传递过程中的压力损失和泄漏会造成传动效率偏低,特别是会造成气压传动系统的输出力较小。

液压传动系统的工作压力较高,控制元件制造精度高,系统成本较高,系统工作过程中发生故障不易诊断,特别是泄漏故障较多。

空气的压缩性远大于液压油的压缩性,因此在动作的响应能力、工作速度的平稳性方面气压传动不如液压传动。

1.3 液压与气压传动技术的发展概况

液压与气压传动在各类机械产品中有着广泛的应用,如机床设备、工程机械、矿山机械,

各类自动、半自动生产线,焊接、装配、数控设备和加工中心等。随着工业的发展,液压与气压传动技术必将更加广泛地应用于各个工业领域。

自18世纪末英国制成世界上第一台水压机算起,液压技术已有二百多年的历史了,但其真正的发展是在第二次世界大战后的60余年里。战后液压技术迅速向民用工业转移,在机床、工程机械、农业机械、汽车等行业中逐步得到了推广。20世纪60年代以来,随着原子能、空间技术、计算机技术的发展,液压技术得到了很大的发展,并渗透到了各个工业领域中。当前液压技术正向高压、高速、大功率、高效、低噪声、经久耐用、高度集成化的方向发展。同时,新型液压元件和液压系统的计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助测试(CAT)、计算机直接控制(CDC)、机电一体化技术、计算机仿真和优化设计技术、可靠性技术以及污染控制技术等也是当前液压传动及控制技术的发展和研究方向。

气压传动技术自20世纪60年代以来也发展很快,主要是由于气动技术作为一种实现工业自动化的有效手段,引起了各国技术人员的普遍重视和应用。许多国家已大量生产标准化的气动元件,在生产中广泛采用气动技术。随着工业的发展,它的应用范围也将日益扩大,同时它的性能也就必须满足气动机械多样化以及与机械电子工业快速发展相适应的要求。处在这样的变革时期,就要以创新的观点去开发气动技术、气动机械和气动系统,要加强气动元件本身的研究,使之满足多样化的要求;要不断提高系统的可靠性,不断降低成本;要进行无给油化、节能化、小型化和轻量化、位置控制的高精度化研究,以及气、电、液相结合的综合控制技术的研究。

第2章 液压流体力学基础

液压传动系统是以油液作为工作介质的。本章主要以液压油的物理性质和流体力学的基础知识为介绍对象,为读者提供液压传动系统学习与分析的基本的理论知识。

2.1 液压油的物理性质

2.1.1 液体的密度

单位体积液体的质量称为密度,用符号 ρ 表示,单位为 kg/m^3 。设一均质液体的体积为 V (单位: m^3),所含的质量为 m (单位: kg),则其密度为:

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

液体的密度随压力的升高而增大,随温度的升高而减小。但是由于压力和温度对密度变化的影响都极小,一般情况下可视液体的密度为常数。水的密度 $\rho = 1\,000\text{ kg}/\text{m}^3$,矿物油的密度 $\rho = 850 \sim 960\text{ kg}/\text{m}^3$ 。

2.1.2 液体的可压缩性

液体受压力作用后体积会减小的性质称为可压缩性,液体可压缩性的大小,用单位压力变化时液体体积的相对变化量来表示,即体积压缩系数 κ ,单位为 m^2/N 。一定体积 V 的液体,当压力增大 $d p$ 时,体积减小了 $d V$,则体积压缩系数 κ 为:

$$\kappa = -\frac{dV}{V} \frac{1}{dp} \quad (2-2)$$

压力增加时体积是减少的,式中负号表示 dV 与 $d p$ 的变化相反,使体积压缩系数 κ 为正值。

工程上常用体积弹性模量 K 来表示液体的可压缩性。体积压缩系数的倒数称为体积弹性模量 K ,即 $K = 1/\kappa$,单位为 N/m^2 ,也称为 Pa 。

液体的体积弹性模量与温度和压力有关,但变化很小,在工程应用中一般忽略不计。

在常温下,矿物油型液压油的体积弹性模量 $K = (1.4 \sim 2.0) \times 10^3\text{ MPa}$ 。在一般液压系统中,压力不高,压力变化不大,可认为液压油是不可压缩的。但是,如果油液中混有非溶解性气体,体积弹性模量会大幅度降低。

2.1.3 液体的粘性

1. 粘性的定义

液体在流动时,分子间的内聚力要阻止分子相对运动而产生一种内摩擦力,这种阻碍液体分子之间相对运动而产生内摩擦力的性质,称为液体的粘性。液压油粘性对机械效率、压力损失、容积效率、泄漏以及泵的吸入性有很大影响,是液压油最重要的一个物理性质。

如图 2—1 所示为液体粘性示意。两平行平板间充满液体，下平板固定不动，上平板以速度 u_0 向右移动。由于液体的粘性，黏附于下平板的液层速度为 0，黏附于上平板的液层速度为 u_0 ，中间各液层的速度则从下到上逐渐递增。由图示可知各液层间的速度呈线性变化。

经实验测定，液体流动时相邻液层间的内摩擦力与液层接触面积、液层间的相对速度 du 成正比，与液层间的距离 dy 成反比。若以 τ 表示切应力，即单位面积上的内摩擦力，则得到牛顿液体内摩擦定律，即：

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

式中： μ ——比例常数，称为粘性系数或粘度；

$\frac{du}{dy}$ ——速度梯度。

在静止液体中速度梯度 $du/dy = 0$ ，即内摩擦力为零。

2. 粘性的表示方法

液体粘性的大小用粘度来衡量。常用有三种粘度表示形式，即动力粘度 μ 、运动粘度 ν 和相对粘度。在工程中，运动粘度 ν 最为常用。

(1) 动力粘度。

在式 (2—3) 中，比例常数 μ 被称为动力粘度或绝对粘度。它的法定计量单位为 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 或 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ，由于其计量单位中恰好涉及动力学研究的三个量（力/N、时间/s 和位移/m），因此形象地称之为“动力”粘度。

(2) 运动粘度。

在流体力学计算中，常遇到动力粘度 μ 与液体密度 ρ 的比值，就用 ν 表示该比值，即：

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-4)$$

将 ν 称之为运动粘度，但显然 ν 没有明确的物理意义。由于推导出它的量纲单位为 m^2/s ，量纲中恰好涉及运动学研究两个量（时间/s 和位移/m），因此形象地称之为“运动”粘度。

运动粘度最为常用，其法定计量单位为 m^2/s 。工程上常用 cm^2/s 为单位，也称为 St（斯）；或以 mm^2/s 为单位，称为 cSt（厘斯）。 $1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St} = 10^6 \text{ cSt}$ 。

液压油及润滑油的粘度分级标准，就是采用 40℃ 时油液的运动粘度 ν 的某一中心值（cSt 单位）作为牌号，共分为 10、15、22、32、46、68、100、150 等 8 个粘度等级。

(3) 相对粘度。

相对粘度又称条件粘度，它是按一定的测量条件来测定的。动力粘度或运动粘度不能直接测量获得，按一定的测量条件测量出液体的相对粘度，再根据理论换算得出动力粘度或运动粘度。

各国采用的测量条件是不同的，具体的相对粘度名称也不相同，例如赛氏通用粘度和恩氏粘度。我国采用恩氏粘度（°E）。恩氏粘度计是一个容积为 200 mL、底部有直径为 $\Phi = 2.8 \text{ mm}$ 小孔的容器。

将温度为 t ℃ 的被测液体 200 mL 装入恩氏粘度计，测出液体在自重作用下流尽所需的时间 t_1 （s）；再测出 200 mL、温度为 20℃ 的蒸馏水在同一小孔中流尽所需的时间 t_2 （s）。这两

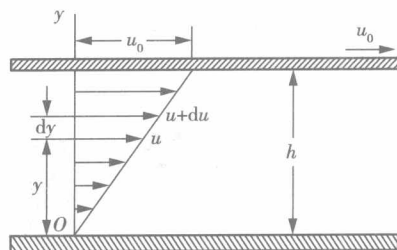


图 2—1 液体粘性示意

个时间的比值即为被测液体在 t °C 下的恩氏粘度：

$$^{\circ}\text{E} = \frac{t_1}{t_2} \quad (2-5)$$

3. 温度和压力对粘性的影响

在液压系统中，压力增大时，液压油的粘度会增大。但在一般液压系统使用的压力范围内，粘度增大的数值很小，压力对粘度的影响可以忽略不计。

液压油粘度对温度的变化十分敏感，不可忽略。如图 2—2 所示为几种国产液压油（机油）的粘度—温度关系曲线，可见温度升高，粘度快速下降。

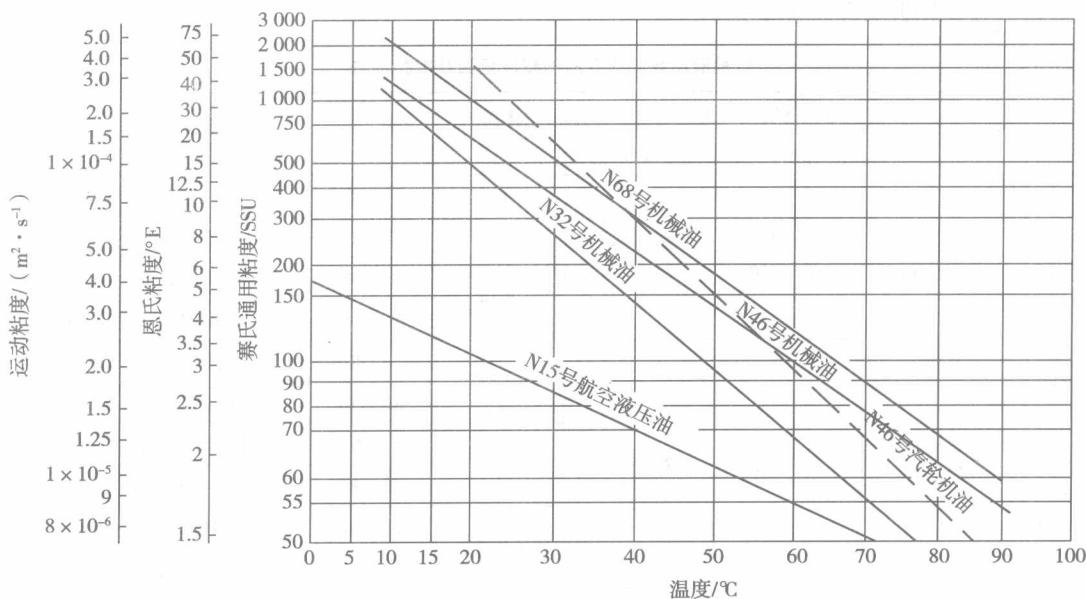


图 2—2 几种国产液压油的粘度—温度关系

例如，某机床液压系统，在机床刚开始工作时无泄漏现象，机床工作约一个小时后开始出现漏油。分析其原因发现，在管路接头处有松动，机床刚开始工作时液压油的温度较低，粘度较大，该松动间隙不足以产生泄漏；液压系统工作一段时间后，油液温度显著升高，粘度下降，该松动间隙出现漏油。由此可见，液压油的粘度对液压系统的密封影响较大，粘度对温度的敏感变化不可忽略。

2.1.4 液压油的品种和选用

合理地选择液压油，对提高液压传动性能，延长液压元件和液压油的使用寿命，都有重要的意义。

矿油型液压油是以石油的精炼物为基础，加入各种添加剂调制而成。在 ISO 6743-4:1999 (GB/T 7631.2—2003) 分类中的 HH、HL、HM、HR、HV、HG 型液压油均属矿物油型液压油，这类油的品种多，成本较低，需要量大，使用范围广，目前约占液压介质总量的 85% 左右。

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粘度，其选择主要考虑如下因素。