



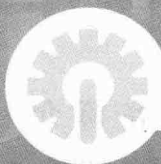
全国高职高专机电系列规划教材

液压技术

陆全龙 ○ 主编

王 洪 ○ 主审

清华大学出版社



全国高职高专机电系列规划教材

液压技术

陆全龙 主编

王 洪 主审

常州大学图书馆藏
常黄耀字邓成农樊西峰 参编

藏书章

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书共分为 16 章,第 1 章讲述液压技术的原理、组成、特点及发展方向;第 2 章分析液压介质的参数;第 3~6 章介绍液压泵、缸、阀及液压辅件元件的型号、使用及故障排除;第 7、8 章讲解液压回路的拆装、怎样阅读及设计液压系统;第 9 章介绍液压系统的维护管理技术;第 10 章讲解泄漏的诊断与防治技术;第 11 章介绍液压油样分析与污染控制技术;第 12 章介绍液压系统常见故障的分析、排除及实例剖析;第 13 章讲解气动技术的原理及安装调试;第 14~16 章讲解比例液压控制技术、伺服液压控制技术和新型液压元件的相关知识。每章都附有本章重点和要求以及习题。

本书注重实际,与工作过程紧密结合,既保留了传统的液压与气动技术课程体系,又创新设计了 4 个工作情景,含 15 个基于工作过程的课题,增加了液压系统常见故障的分析、排除及实例剖析、比例和伺服液压控制新技术及斜轴泵、液压马达、插装阀、数字阀等新液压元件等内容,讲解了最新的机电、汽车、数控等方面的典型液压、气动系统,与专业结合紧密。

本书可作为大专院校机电类各专业的教学用书,也可供从事流体传动及控制技术或机电技术的工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

液压技术/陆全龙主编. —北京:清华大学出版社,2011.9

(全国高职高专机电系列规划教材)

ISBN 978-7-302-26198-8

I. ①液… II. ①陆… III. ①液压技术-高等职业教育-教材 IV. ①TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 137131 号

责任编辑:李昱颀

封面设计:刘超

版式设计:文森时代

责任校对:姜彦

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京四季青印刷厂

装 订 者:三河市兴旺装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:17 插 页:2 字 数:390 千字

版 次:2011 年 9 月第 1 版 印 次:2011 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:33.00 元

产品编号:040751-01

前言

二元制教育，造就了德国经济的腾飞。意大利著名心理学家安东尼奥指出：人具有一种天生的智慧，由于历史和社会的原因，天生的智慧和直觉很大一部分都丧失掉了，如果找回失去的部分，人就可能获得成功。

如何找回“失去的部分”，美国哈佛大学加德纳教授认为：人类智能是多元的，个体身上存在着七种智能，可分为抽象思维（研究型）和形象思维（技能型）两大类。教育的根本任务就在于根据人的智能结构和类型，采取适合的培养模式，来发现人的价值、发掘人的潜能、发展人的个性。

姜大源指出，广义的工作过程指实现确定目标的生产活动和服务活动的顺序。课程内容的开发包括“是什么”、“为什么”的学科体系和“怎样做”、“做得更好”的行动体系。

学好液压技术，需要抽象和形象两种思维方式。液压技术在 20 世纪 60 年代以来不断得到发展，是一门高新专业技术，也是机电一体化、汽车检测与维修、机械制造与自动化、工程机械、模具、数控等机电类专业的一门必修的专业基础课。

作为创新的实用教材，本书设计了基于工作过程的 15 个课题，可作为基于工作过程的教材使用，各学校可根据实际情况来选择。

要完成液压气动技术的各个课题项目，必须满足以下条件：

- (1) 可容纳一个班学生（40 人）的实训场地和专用工作桌。
- (2) 足够的实训设备及工具（最好每人一套，至少两人一套）。
- (3) 足够的液压气动技术资料。
- (4) 配备多媒体教学设备。
- (5) 不断完善的基于工作过程的项目课题。

本书有以下特色和创新：

- (1) 可用于基于工作过程的教学，同时保留了液压气动技术的课程体系。
- (2) 内容创新，包括液压传动、气压传动、液压控制和液压故障维修等内容。
- (3) 介绍了最新的机电等方面的多种典型液压系统、气动系统，与专业结合紧密。详细叙述了液压技术的发展史和具体应用。
- (4) 详细介绍了比例阀、伺服阀液压自动控制系统。
- (5) 介绍了斜轴泵、液压马达、插装阀和数字阀等新型液压元件。

本书由武汉工程职业技术学院陆全龙主编，武钢钢铁股份公司炼铁总厂主任高工黄耀、邓成农编写了第 9、10 章，樊西峰编写了第 11 章，其他章节由陆全龙编写。

在本书的编写过程中，得到中国机械工程学会（鄂）、中国液压技术中心、ATOS、REXROTH、华德、敏泰、朝田、榆次等液压公司以及武钢、三一重机等公司的大力帮助，

在此深表谢意。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏之处，敬请读者斧正。

编 者
2011 年 1 月

目 录

第 1 章 液压技术概述.....	1
1.1 液压技术及其发展动向.....	1
1.2 液压传动的原理及组成.....	2
1.3 液压技术的特点及应用.....	4
习题.....	5
第 2 章 液压介质的参数.....	6
2.1 液体的性质.....	6
2.2 液体的压力.....	9
2.3 液体的流量.....	14
课题 1 液体粘度或压力、流量、流态的测量.....	19
习题.....	20
第 3 章 液压泵的型号及常见故障分析.....	23
3.1 液压泵的选用及工作原理——课题 2.....	23
3.2 齿轮泵的工作原理和结构.....	27
3.3 叶片泵的工作原理和结构.....	31
3.4 柱塞泵的工作原理和结构.....	37
3.5 液压泵的型号及常见故障分析.....	42
3.6 液压泵使用中的注意事项.....	49
课题 3 齿轮泵、叶片泵、柱塞泵的拆装和清洗.....	49
习题.....	53
第 4 章 液压缸的型号及典型故障分析.....	54
4.1 液压缸的结构.....	54
4.2 液压缸的设计选用——课题 4.....	55
4.3 液压缸的型号及常见故障分析.....	61
课题 5 液压缸的拆装和清洗.....	65
习题.....	66
第 5 章 液压阀的型号及典型故障分析.....	67
5.1 液压阀的选用——课题 6.....	67
5.2 方向控制阀.....	69
5.3 压力控制阀.....	76

5.4	流量控制阀	85
5.5	液压阀的型号及常见故障分析	88
课题 7	液压阀的拆装、清洗	96
	习题	98
第 6 章	液压辅件的使用及故障排除	99
6.1	油箱的设计——课题 8	99
6.2	蓄能器的使用	101
6.3	管道、管接头的选用——课题 9	103
6.4	其他辅件	105
	习题	108
第 7 章	液压回路的拆装	109
7.1	方向控制回路	109
7.2	压力控制回路	112
7.3	速度控制回路	115
7.4	多缸动作回路	124
课题 10	拆装、调试几个液压基本回路	129
	习题	130
第 8 章	阅读液压系统图及设计液压系统	132
8.1	阅读液压系统图的步骤与技巧	132
8.2	YT4543 组合机床滑台液压系统	133
8.3	数控车床液压系统	135
8.4	汽车起重机液压系统	137
8.5	液压系统的设计步骤与技巧	141
课题 11	阅读及画出液压系统图	143
课题 12	设计铣床液压系统	144
	习题	144
第 9 章	液压系统的维护管理技术	145
9.1	液压设备的安装技术	145
9.2	液压系统的清洗技术	146
9.3	液压系统的调试技术	150
9.4	液压系统的点检及 SRCM 管理技术	150
9.5	液压系统的合理使用	152
9.6	液压系统的维护技术	153
	习题	154
第 10 章	泄露的诊断与密封技术	155
10.1	液压系统的泄露及防治	155

10.2	密封失效机理分析	156
10.3	泄漏的危害及密封件的著名品牌	158
10.4	密封的形式、特点及应用	158
10.5	消除泄露的改进措施	161
	习题	163
第 11 章	液压油样分析与污染控制技术	164
11.1	工作介质的种类、选用、储存与管理——课题 13	164
11.2	液压系统污染的原因及危害	166
11.3	工作介质的污染度测定、换油方式	167
11.4	预防和控制液压系统污染的措施——课题 14	169
	习题	173
第 12 章	液压系统常见故障的排除及实例剖析	174
12.1	液压故障的特性、分类及规律	174
12.2	压力失控问题的诊断与排除	176
12.3	速度失控问题的诊断与排除	177
12.4	动作失控问题的诊断与排除	178
12.5	液压系统异常振动与噪声的诊断与排除	180
12.6	平板轮辂刨渣机液压系统故障的诊断与排除	183
12.7	弯管机液压系统故障的诊断与排除	184
12.8	双立柱带锯机液压系统故障的诊断与排除	185
12.9	挖掘机液压系统故障的诊断与排除	187
12.10	混凝土泵车液压系统故障的诊断与排除	188
	习题	190
第 13 章	气动技术的原理及安装调试	191
13.1	气源装置	193
13.2	气动辅件	199
13.3	气动控制元件	201
13.4	气动执行元件	208
13.5	气动回路安装调试	211
13.6	气动系统应用实例	215
课题 15	设计并安装调试气动回路	218
	习题	219
第 14 章	比例液压控制技术	221
14.1	比例阀的结构原理	222
14.2	比例控制系统实例分析	225
	习题	227

第 15 章 液压伺服控制技术	228
15.1 液压伺服系统概述	228
15.2 电液伺服阀的结构原理	231
15.3 电液伺服阀常见故障与排除	233
15.4 伺服控制系统实例分析	233
习题	235
第 16 章 新型液压元件	237
16.1 斜轴柱塞泵的型号及原理	237
16.2 液压马达的结构原理及型号	239
16.3 叠加阀的结构原理及型号	242
16.4 插装阀的结构原理	244
16.5 数字阀的结构原理	249
习题	251
附录 1 液压技术发展简史	252
附录 2 常用液压图形符号 (GB/T786.1—1993)	255
附录 3 课题 12 参考答案	260
附录 4 基于工作过程课题索引	262
参考文献	263

第 1 章

液压技术概述

本章重点和要求

- 了解液压技术及其发展动向。
- 熟悉液压传动的工作原理和组成。
- 熟悉液压技术的特点和应用。

1.1 液压技术及其发展动向

人类的发展离不开机器，而一部完整的机器由原动机、传动控制机构和工作机等组成，原动机主要指电动机和内燃机；工作机指机器直接的工作机构部分，如挖掘机的挖斗、轧机的轧辊等；常用的传动控制方式有机械、电气、液压、气压和液力传动。下面主要介绍液压传动和气压传动。

液压传动是以液体为工作介质，利用液体的压力能来转换、传递和控制运动动力的一种传动方式。气压传动是以气体为工作介质，利用气体的压力能来转换、传递和控制运动动力的一种传动方式。

液压技术可分为液压传动技术和液压控制技术两个方面，具有以下特点：

- 液压技术是一门新兴进口的技术。一般液压技术产生于 1795 年，英国伦敦的约瑟夫·布拉默（Joseph Bramah, 1749—1814）利用牛皮材质的碗形密封件，并根据帕斯卡原理，制造了世界上第一台实用水压机——棉花、羊毛液压打包机。
- 液压技术是一门功率大的技术。
- 液压技术是一门充满战争血泪史的技术。二战期间，液压技术装备在飞机、坦克、火炮和军舰上，发展了高压元件和电液伺服阀。
- 液压技术是一门造福于民的、应用广泛的技术。如今，液压技术已应用在各行各业。

- ✎ 液压技术是一门衡量一个国家自动化水平高低的技术。如发达国家生产的 95% 的工程机械、90% 的数控加工中心、95% 以上的自动线都采用了液压传动技术。
- ✎ 液压技术是一门综合技术。它涉及机械制图、流体力学、工程材料、机械设计、机械制造、自动控制技术、电气及 PLC 控制、计算机等。

1. 液压产品的发展方向

液压产品的发展方向有：

- (1) 节省能耗，提高效率。
- (2) 用 AC 电机或变频电机驱动定量泵。
- (3) 大力发展机电一体化元件和系统，适应主机机电一体化的需要。
- (4) 发展具有比例阀的耐污染性和伺服阀高精度、高频响特点的直动型电液控制阀。
- (5) 发展内置电子系统的电液伺服比例元件、电磁阀和液压定位油缸等。
- (6) 重视环保。环保型产品将具竞争优势，随着人们环保意识的加强，开发环保型液压产品，将成为今后国内液压技术的主流。
- (7) 发展水压系统和元件，扩大其应用领域。
- (8) 应用现代控制技术，提高电液压力自动控制系统的性能。

2. 液压技术的主要发展动向

目前，液压技术正向着小型化、超高压、高速、大功率、高效率、高水基、低噪声、经久耐用、高可靠性、高集成化（如汽车管路集成阀体的印刷电路化）和光、机、电、液、气、计（计算机）一体化的方向发展。

最近几年，新型液压元件及液压系统的计算机辅助设计 CAD、计算机辅助制造 CAM、计算机辅助测试 CAT、计算机直接控制（CDC）、计算机实时控制技术、机电一体化技术、计算机仿真技术和优化技术等得到了发展和应用。

液压技术与其他相关科学的结合也将更加紧密，如数控柔性制造技术 FMS、低污染控制技术和高可靠性技术等方面。

1.2 液压传动的原理及组成

1. 液压传动的工作原理

如图 1-1 所示为一台简化了的磨床工作台液压传动系统。

图 1-1 (a) 为结构原理图，其直观性好、容易理解，但绘制麻烦；图 1-1 (c) 为职能符号图，即用来表示元件的功能、连接关系以及原始位置的图形符号，工程上一般都采用 GB/T786.1—1993（详见附录 2）标准，职能符号图绘制和阅读方便，简单明了，但初学者不易理解，且不反映元件具体结构、安装位置和非原始位置。

液压泵 3 由电动机带动旋转，从油箱 1 中吸油，油液经过滤器 2 流往液压泵 3，再向系统输送，然后经节流阀 5 和换向阀 6 进入液压缸 7 的左腔，推动活塞连同工作台 8 向右移动。同时，液压缸右腔的油液通过换向阀经回油管排回油箱。

如果换向阀 6 的手柄换向成图 1-1 (b) 所示的位置, 则油液经节流阀 5 和换向阀 6 进入液压缸 7 的右腔, 推动活塞连同工作台向左移动。液压缸左腔的油液经换向阀、回油管排回油箱。

调节溢流阀 4 (调压阀) 的调定压力, 就可以调节活塞及工作台的输出动力的大小, 调节节流阀 5 的大小, 就可以调节工作台的移动速度。这样, 就满足了工作机对方向、速度和动力等方面的要求。

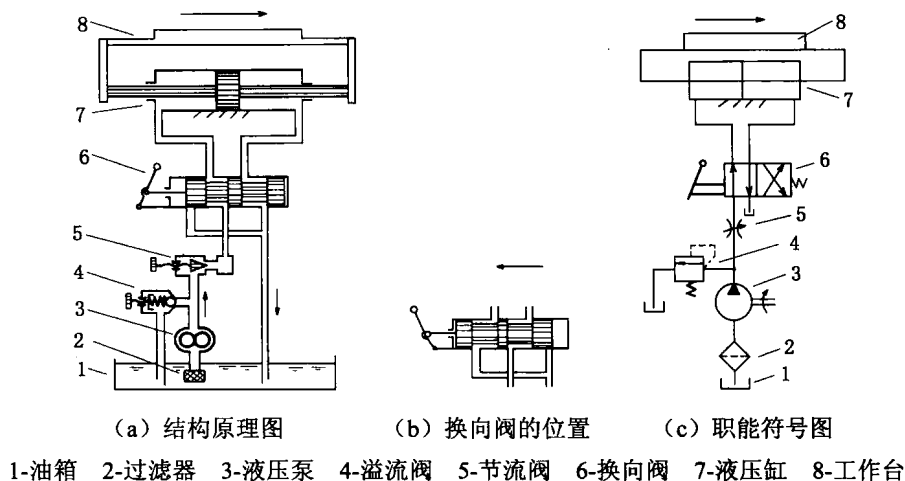


图1-1 液压传动系统

2. 液压传动特性

液压传动具有以下 3 个特性:

- (1) 在液压传动中, 工作压力 p 取决于负载 F 的大小, 而与流入的液体体积 V 无关。
- (2) 活塞移动速度 v 正比于流入液压缸中油液的流量 q , 与负载 F 无关。液压传动可以实现无级调速。
- (3) 液压系统的能量发生两次转化传递: 从机械能转化为液压能, 再转化为机械能。

3. 液压传动的组成

液压系统不管多么简单或复杂, 都可分为传动介质、动力元件、执行元件、控制元件和辅助元件 5 部分。液压系统组成一览表如表 1-1 所示。

表 1-1 液压系统组成一览表

序 号	组 成	元 件	作 用
1	传动介质	液体	传递运动和动力
2	动力元件	液压泵	将机械能转化为液体压力能
3	执行元件	油缸、油马达	将液体压力能转化为机械能
4	控制元件	各类控制阀	控制液压系统的方向、压力、流量和性能, 完成不同功能
5	辅助元件	油管、油箱、过滤器等	起连接、输油、储油、过滤、储存压力能和测量等各种辅助作用

1.3 液压技术的特点及应用

1. 液压传动的特点

液压传动的主要优点有:

(1) 输出功率大

单位输出功率重量轻、体积小、运动惯性小。如直径为 10cm 的液压缸,当压力为 30MPa 时,输出力高达 23.5t;飞机上的液压泵单位 kW 的重量是 0.2kg,而用电动机单位 kW 的重量是 2kg。

(2) 易实现大范围的无级调速

节流阀调节流量可从 0.02L/min~100L/min,调速比达 5000:1;液压马达最低稳定转速可达 8r/min。

(3) 工作平稳、反应速度快

液压元件布置方便、灵活,变速、变向操纵控制方便,易实现直线往复运动。液压缸可实现 1mm/min 的稳定的无爬行工作进给,执行机械响应时间可达 0.1s 以下。

(4) 使用寿命长

一般采用矿物油为工作介质,液压件可自行润滑。

(5) 易实现自动化

采用电、液联合控制,可实现高度的自动控制,而且可以实现遥控、自动过载保护。

(6) 可实现远程控制

比例、伺服、数字液压控制技术与计算机科学、微电子等新技术相结合,可实现办公室远程数字化控制,且应用越来越多。

(7) 液压元件已标准化、系列化、通用化

液压传动的主要缺点有:

(1) 工作性能易受温度变化的限制。

(2) 效率较低,可能产生泄漏,污染现场。

(3) 造价较高,这是因为液压元件的压力和制造精度较高。

(4) 液压故障诊断技术要求高,液体介质污染控制较复杂。

(5) 不能得到严格的传动比。这是液体介质的可压缩性及泄漏造成的。

2. 液压技术的应用

1952 年,我国上海机床厂制造出了第一种液压元件,开始了液压技术的快速发展。

目前,液压技术渗透到很多领域,在民用工业、机床、工程机械、冶金机械、塑料机械、农林机械、汽车、船舶等行业得到了广泛的应用和发展,成为包括传动、控制和检测在内的一门完整的自动化技术。特别是在工程机械、冶金设备等领域,液压技术的应用占 90%以上,实现了全液压驱动,如表 1-2 所示。

表 1-2 液压技术的应用

领 域	应 用 实 例
工程机械	起重机、液压挖掘机、推土机、装载机、筑路机、压路机、打桩机、混凝土泵车、叉车、消防车、撒盐车
普通机床	磨床、组合机床、车床、铣床、加工中心
数控机床	卡盘松紧、刀架回转、尾架套筒的伸缩、主轴变速、机械手液压系统
冶金设备	高炉炉顶、泥炮、连铸设备、步进式加热炉、轧机厚度控制、跑偏控制、液压压下、带钢恒张力液压控制
汽车装备	汽车助力转向、液压 ABS、悬挂装置、液力自动变速
智能机械	注塑机、机器人、机械手、各种大型游戏机
军工机械	坦克火炮稳定、高炮定位瞄准液压系统
航空机械	飞机起落架、恒速、地面试验设备、燃油供油量液压控制
船舶机械	液压舵机、消摆装置、海船主甲板舱口盖液压传动
农业机械	拖拉机农具悬挂、联合收割机机身驱动、烟草预压机
石油机械	钻机、自升式海洋石油钻井平台、顶部驱动钻井液压系统
轻纺造纸	纺织整经机、浆纱机、卷纸张力控制、造纸机升降液压系统
建筑电力	影院乐池升降、立体停车场、汽轮发电机水轮机调速控制

习 题

- 1-1 什么是液压传动、液压技术？
- 1-2 液压传动由哪 5 部分组成？各部分的作用是什么？
- 1-3 液压传动的优点是什么？
- 1-4 简述常见液压传动系统的应用。

第 2 章

液压介质的参数

本章重点和要求

- 了解液体的粘性、粘度及其计算测量。
- 熟悉液体的压力并进行计算测量。
- 熟悉液体的流量并进行计算测量。

本章介绍液体的性质，熟悉液体的压力和流量，对学习液压原理和计算非常重要，是液压流体力学（研究流体平衡及其运动规律的学科）的一部分。

液压介质要完成的功能有：传递能量和信号、润滑液压元件、减少摩擦和磨损、散热、防止锈蚀、密封液压元件对偶摩擦副中的间隙及传输、分离和沉淀非可溶性污染物、为故障提供诊断信息等。

2.1 液体的性质

1. 密度

液体单位体积 V 的质量 m 称为液体的密度 ρ ，即

$$\rho = m/V \quad (2-1)$$

液压油的密度随压力的增加而增大，随温度的升高而减少，但变动值很小，可以忽略不计。一般液压油的密度是 900 kg/m^3 ，水的密度是 1000 kg/m^3 。

2. 可压缩性

液体受压力作用而发生体积变化的性质称为液体的可压缩性，可用体积压缩系数 κ 表示，即

$$\kappa = -\frac{1}{V_0} \frac{\Delta V}{\Delta p} \quad (2-2)$$

体积压缩系数 κ 的倒数, 称为液体的体积弹性模量, 以 K 表示, 即

$$K = 1/\kappa$$

液压油的体积弹性模量 K 值反映液体抵抗压缩能力的大小, 与温度、压力以及油液中的空气含量有关, 若要增大 K 值, 就要减少含气量。

20℃下, 液压工作介质的体积弹性模量 $K=(1.4\sim 3.45)\times 10^9\text{Pa}$, 可压缩性是钢的 100~170 倍 (钢的体积弹性模量 $K=2.1\times 10^{11}\text{Pa}$), 因数值很大, 一般情况下, 可以认为液体是不可压缩的。但是, 在高压、受压体积较大或对液压系统进行动态分析时, 就需要考虑液体可压缩性的影响。因含有空气和水, 一般石油基液液 K 取 $(0.7\sim 1.4)\times 10^9\text{Pa}$ 。

3. 粘性

液体在外力作用下流动时, 分子间的内聚力要阻止分子间的相对运动而产生一种内摩擦力, 这种特性称为液体的粘性。

液体只有在流动 (或有流动趋势) 时才会呈现出粘性, 静止液体是不呈现粘性的。如图 2-1 所示, 在两平板间充满流动的液体, 下平板固定不动, 上平板以匀速 v 运动, 由于液体的粘性, 紧贴下平板的液体层速度为零, 紧贴上平板的液体层速度为 v , 中间各液层的速度呈近似线形分布。

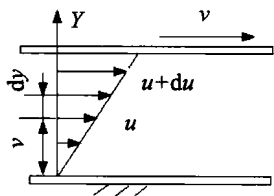


图 2-1 液体的粘性

牛顿在实验中总结出, 液体流动时, 相邻液层间的内摩擦力 F 与液层间接触面积 A 、速度梯度 du/dy 成正比, 数学公式为

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

其中, μ 为比例常数, 称为粘性系数或动力粘度。以 τ 表示切应力, 即单位面积上的内摩擦力, 则

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

式 (2-4) 就是牛顿的液体内摩擦定律。

粘性表征了液体抵抗剪切变形的能力, 液体的粘性大小用粘度来表示。粘度的表示方法有动力粘度 μ 、运动粘度 ν 和相对粘度。

1) 动力粘度 μ

式 (2-4) 中, μ 为表征液体粘性的内摩擦系数, 它是由液体种类和温度决定的比例系数; 系数 μ 表示液体粘度的大小, 称为动力粘度, 或称绝对粘度。

动力粘度 μ 的物理意义是液体在单位速度梯度下流动时, 单位面积上产生的内摩擦力, 其单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (帕·秒, $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$)。CGS 中, μ 的单位为 P (泊, $\text{dyne} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$), 换算关系为

$$1\text{Pa} \cdot \text{s} = 10\text{P} = 1000\text{cP}$$

2) 运动粘度 ν

液体的动力粘度 μ 与其密度 ρ 的比值, 称为液体的运动粘度 ν , 即

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

运动粘度的单位为 m^2/s ，CGS 中的单位为 St（斯）。换算关系为

$$1\text{m}^2/\text{s} = 10^4\text{St（斯）} = 10^6\text{cSt（厘斯）}$$

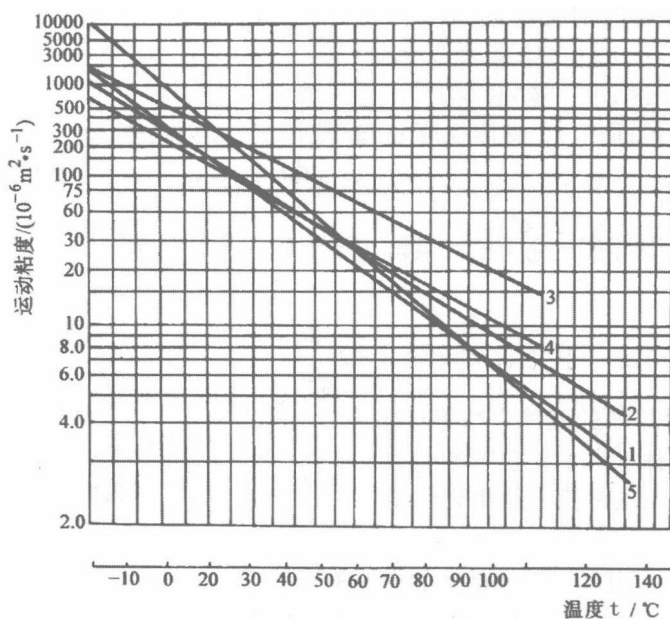
ν 无物理意义，习惯上用它来标志液体粘度，国际标准化组织 ISO 规定，统一采用运动粘度来表示油液的粘度等级。我国按 GB/T3141—1994 规定，牌号是以 40°C 时液压油运动粘度中心值（以 mm^2/s 计）为粘度等级来表示。例如，牌号为 L-HL32 的普通液压油在 40°C 时运动粘度的中心值为 $32\text{mm}^2/\text{s}$ 。

3) 相对粘度

相对粘度又称条件粘度，是按一定的测量条件制定的。根据测量的方法不同，可分为恩氏粘度 $^\circ\text{E}$ 、赛氏粘度 SSU 和雷氏粘度 Re 等。我国和德国等国家采用恩氏粘度。

4. 其他性质

(1) 粘温特性。液体的粘度随液体温度和压力的变化而变化。液压油的粘度对温度的变化十分敏感。温度升高时，粘度成比例下降，如图 2-2 所示。在液压技术中，希望工作液体的粘度随温度的变化越小越好。粘度随温度变化的特性，可以用粘度-温度曲线表示，即粘温特性。



1-普通液压油（石油基） 2-高粘度指数液压油（石油基）
3-水包油乳化液 4-水-乙二醇液 5-磷酸酯液

图 2-2 粘度与温度的关系

(2) 液压油压力增大时，粘度增大，但影响很小，通常忽略不计。

(3) 液体的物理性质还有比热容（单位质量的物质做单位温度变化时所需要的热