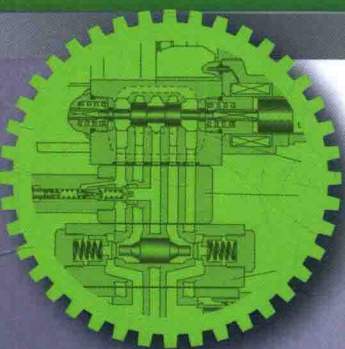


李鄂民 编著

实用液压技术 一本通

· 第二版 ·

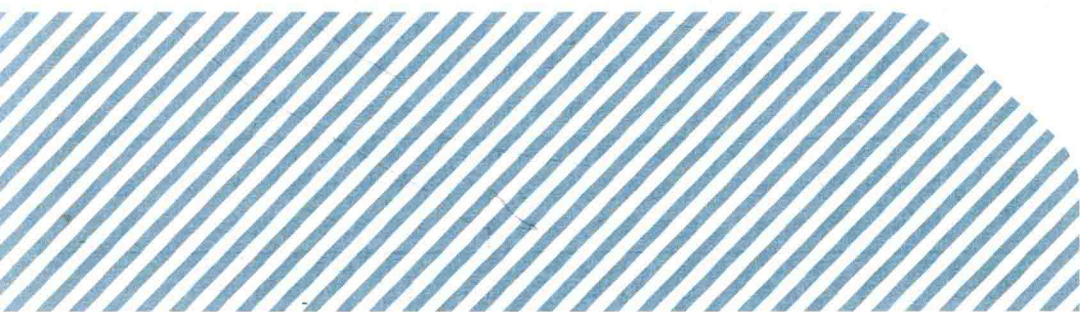


化学工业出版社

实用液压技术 一本通

· 第二版 ·

李鄂民 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书内容主要包括液压传动的流体力学基础知识, 液压元件的工作原理和结构特点, 液压传动与控制基本回路和典型液压系统的组成与分析, 液压系统的安装、调试和维护要点以及常见故障的分析与排除方法。

本书编写着重基本概念和原理的阐述, 突出理论联系实际, 加强针对性和实用性; 内容上深入浅出, 图文并茂, 注意引入新的技术内容, 扩大适用面, 旨在培养机械、机电类工程技术人员对液压传动与控制技术的全面了解和实际应用能力。

本书主要作为机械、机电类工程技术人员学习和掌握液压技术的参考书, 可作为企业工程技术人员和高级技工的技术培训教材以及工科院校机械类和机电类专业师生的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

实用液压技术一本通/李鄂民编著. —2 版. —北京:
化学工业出版社, 2016. 4

ISBN 978-7-122-26068-0

I. ①实… II. ①李… III. ①液压技术-基础知识
IV. ①TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 011573 号

责任编辑: 黄 滢

装帧设计: 王晓宇

责任校对: 吴 静

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张 13 字数 269 千字 2016 年 3 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 39.00 元

版权所有 违者必究

第二版前言

随着世界工业的快速发展, 液压传动与控制已经成为服务于各行各业技术装备的集传动、控制和检测于一体的综合自动化技术。特别是随着新材料、新工艺和加工手段的日臻完善, 液压元件的性能、可靠性以及使用寿命得到了显著提高, 促使液压传动与控制技术的应用更加宽泛和普及。学习和掌握液压传动与控制技术已是当今机械、机电类工程技术人员的必需, 本书正是应这种迫切要求而编写的实用型专业技术用书。

全书内容共 8 章, 主要涉及液压传动的流体力学基础知识, 液压元件的工作原理和结构特点, 液压基本回路的组成和典型系统分析, 液压系统设计简介和安装、调试、维护保养要点, 并对液压系统常见故障的分析与排除方法作了适当的介绍。

笔者长期从事流体传动与控制专业的教学工作, 为企业做过液压技术讲座和液压技术培训, 主持和参与多项科研与工程项目, 为编写这本实用型技术用书积累了较丰富的经验和专业素材。

本书继续保持第一版的编写风格, 在内容取舍上贯彻少而精、理论联系实际的基本原则。为体现实用的特点, 流体力学基础知识部分以必需、够用为度, 对第一版的内容进行了整改、合并和更新。液压元件、基本回路和典型液压系统专业知识部分加强针对性和实用性, 注重理论与实践的紧密结合, 并在一定程度上反映了国内外液压传动与控制领域比较成熟的新技术和新成果。为方便广大读者朋友阅读和理解, 本书在介绍液压元件工作原理时均配以简明易懂的结构原理图, 对典型结构示例还配以常用新型的实际结构图。附录中更新了标准资料, 对所涉及的液压图形符号摘录了国家标准 GB/T 786. 1—2009。

本书主要作为机械、机电类工程技术人员学习和掌握液压技术的专业用书; 可作为企业工程技术人员和高级技工的技术培训教材; 也可作为高等工科院校、高等职业技术学院、高等专科学校、成人教育学院、夜大、函授大学的机械、机电类专业的教学参考用书。

本书由兰州理工大学李鄂民编著。

由于笔者水平有限, 书中难免存在不妥之处, 恳切希望同仁和广大读者批评指正。

编著者

目录

CONTENTS



第1章 液压传动基础知识	001
1.1 液压传动的工作原理	001
1.2 液压传动系统的组成及类型	003
1.3 液压传动的优缺点	004
1.4 液体的性质	005
1.4.1 液体的密度	005
1.4.2 液体的可压缩性	005
1.4.3 液体的黏性	006
1.4.4 液压油（液）的选用	008
1.5 液体静力学基础	010
1.5.1 液体的静压力及其性质	010
1.5.2 液体静力学的基本方程	011
1.5.3 压力的传递	012
1.5.4 绝对压力、相对压力、真空度	013
1.5.5 液体作用在固体壁面上的力	013
1.6 液体动力学基础	014
1.6.1 基本概念	014
1.6.2 连续性方程	015
1.6.3 能量方程	016
1.6.4 动量方程	019
1.7 管道内的压力损失	020
1.7.1 层流、紊流和雷诺数	021
1.7.2 沿程压力损失	022
1.7.3 局部压力损失	024
1.7.4 管道系统中的总压力损失	024
1.8 液体流经小孔和间隙的流量	024

1.8.1	液体流经小孔的流量	024
1.8.2	液体流经间隙的流量	026
1.9	气穴现象和液压冲击	029
1.9.1	气穴现象	029
1.9.2	液压冲击	030
第2章	液压动力元件	031
2.1	液压泵基础知识	031
2.1.1	液压泵的工作原理和类型	031
2.1.2	液压泵的基本性能参数	032
2.2	齿轮泵	034
2.2.1	外啮合齿轮泵	035
2.2.2	内啮合齿轮泵	037
2.3	叶片泵	038
2.3.1	单作用叶片泵	038
2.3.2	双作用叶片泵	040
2.3.3	变量叶片泵	042
2.4	柱塞泵	043
2.4.1	斜盘式轴向柱塞泵	044
2.4.2	斜轴式轴向柱塞泵	047
2.4.3	径向柱塞泵	049
2.5	液压泵的选择和使用	051
2.5.1	液压泵的工作特点	051
2.5.2	液压泵的主要性能和选用	051
2.5.3	液压泵常见故障的分析和排除方法	052
第3章	液压执行元件	054
3.1	液压马达	054
3.1.1	液压马达的特点与分类	054
3.1.2	液压马达的主要性能参数	055
3.1.3	高速马达	056
3.1.4	低速马达	059
3.2	液压缸	064
3.2.1	液压缸的类型和特点	064
3.2.2	液压缸的结构形式及安装方式	069

3.2.3 液压缸常见故障的分析和排除方法	072
-----------------------------	-----

第4章 液压控制元件 073

4.1 液压阀基础知识	073
4.1.1 液压阀的分类	073
4.1.2 液压阀的共性问题	074
4.1.3 液压阀的基本参数	076
4.2 压力控制阀	077
4.2.1 溢流阀	077
4.2.2 减压阀	082
4.2.3 顺序阀	084
4.2.4 压力继电器	086
4.3 流量控制阀	087
4.3.1 节流口的形式和流量特性	087
4.3.2 节流阀	089
4.3.3 调速阀	089
4.3.4 溢流节流阀	091
4.4 方向控制阀	093
4.4.1 单向阀	093
4.4.2 换向阀	094
4.5 叠加阀、插装阀	102
4.5.1 叠加阀	102
4.5.2 二通插装阀	104
4.6 电液比例控制阀	108
4.6.1 比例电磁铁	108
4.6.2 比例压力控制阀	110
4.6.3 比例流量控制阀	111
4.6.4 比例方向控制阀	111
4.6.5 比例控制阀的主要性能指标	112
4.7 液压阀的选择与使用	115
4.7.1 液压阀的选择	115
4.7.2 液压阀的安装	115
4.7.3 液压阀常见故障的分析和排除方法	115

第5章 液压辅助元件 119

5.1 蓄能器	119
---------------	-----

5.1.1	蓄能器的类型、结构和工作原理	119
5.1.2	蓄能器的功用	120
5.1.3	蓄能器的安装和使用	121
5.2	过滤器	121
5.2.1	过滤器的主要性能指标	121
5.2.2	过滤器的种类和结构特点	122
5.2.3	过滤器的选用	124
5.2.4	过滤器的安装	124
5.3	油箱	125
5.3.1	油箱的结构	125
5.3.2	油箱的设计要点	125
5.4	管道及管接头	127
5.4.1	管道的种类和材料	127
5.4.2	管道的尺寸	128
5.4.3	管接头	129
5.5	密封件	131
5.5.1	对密封件的要求	132
5.5.2	密封件的材料	132
5.5.3	密封件的种类及特点	132

第6章 液压基本回路 136

6.1	压力控制回路	136
6.1.1	调压回路	136
6.1.2	减压回路	138
6.1.3	增压回路	138
6.1.4	卸荷回路	139
6.1.5	平衡回路	141
6.2	速度控制回路	142
6.2.1	调速回路	142
6.2.2	速度变换回路	153
6.3	方向控制回路	156
6.3.1	换向回路	156
6.3.2	锁紧回路	156
6.3.3	浮动回路	157
6.4	多执行元件动作控制回路	157

6.4.1	顺序动作回路	157
6.4.2	同步控制回路	159
第 7 章	液压传动系统	162
7.1	典型液压传动系统分析	162
7.1.1	压力机液压系统	162
7.1.2	组合机床动力滑台液压系统	165
7.1.3	塑料注射成型机液压系统	168
7.1.4	挖掘机液压系统	172
7.2	液压传动系统的设计简介	175
7.3	液压系统的安装和调试	176
7.3.1	液压系统的安装	176
7.3.2	液压系统的调试	178
7.4	液压系统的使用与维护	179
7.4.1	液压系统的使用要求	179
7.4.2	液压设备的维护和保养	179
7.5	液压系统常见故障的分析和排除方法	180
7.5.1	液压系统发生故障的规律	180
7.5.2	液压系统常见故障的分析和排除方法	181
第 8 章	液压伺服控制系统	183
8.1	概述	183
8.1.1	液压伺服控制系统的工作原理	183
8.1.2	液压伺服控制系统的组成和分类	184
8.2	液压伺服阀的基本类型	185
8.2.1	滑阀	185
8.2.2	喷嘴挡板阀	187
8.2.3	射流管阀	187
8.3	电液伺服阀	188
8.4	液压伺服控制系统举例	189
8.4.1	机液伺服系统	189
8.4.2	电液伺服控制系统	190
附录	常用液压图形符号 (摘自 GB/T 786.1—2009)	193



液压传动基础知识

④ 液压传动及控制是研究以有压流体为传动介质来实现各种机械的传动和控制的学科。液压传动是基于流体力学的帕斯卡原理，主要利用液体的压力能来进行能量传递和控制的传动方式，利用各种元件组成具有所需功能的基本回路，再由若干基本回路有机组合成传动和控制系统，从而实现能量的转换、传递和控制。因此，了解传动介质的基本物理性质及其力学特性，研究各类元件的结构、工作原理和性能，研究各种基本回路的性能和特点，并在此基础上形成对传动及控制系统的分析、设计和使用，这就是本学科的研究对象。

1.1 液压传动的工作原理

以图 1-1 所示的手动液压千斤顶为例，说明液压传动的工作原理。由大缸体 5 和大活塞 6 组成举升液压缸；由手动杠杆 4、小缸体 3、小活塞 2、进油单向阀 1 和排油单向阀 7 组成手动液压泵。

当手动杠杆摆动时，小活塞做上下往复运动。小活塞上移，泵腔内的容积扩大而形成真空，油箱中的油液在大气压力的作用下，经进油单向阀 1 进入泵腔内；小活塞下移，泵腔内的油液顶开排油单向阀 7 进入液压缸内使大活塞带动重物一起上升。反复上下扳动杠杆，重物就会逐步升起。手动泵停止工作，大活塞停止运动；打开截止阀 8，油液在重力的作用下排回油箱，大活塞落回原位。这就是液压千斤顶的工作原理。

下面以图 1-1 所示为例，分析两活塞之间的力关系、运动关系和功率关系，说明液压传动的基本特征。

(1) 力的关系

当大活塞上有重物负载时，其下腔的油液将产生一定的液体压力 p ，即

$$p = G/A_2 \quad (1-1)$$

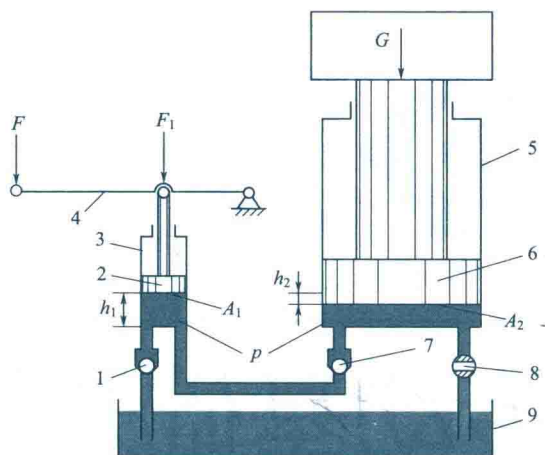


图 1-1 液压千斤顶工作原理

1—进油单向阀；2—小活塞；3—小缸体；4—手动杠杆；5—大缸体；
6—大活塞；7—排油单向阀；8—截止阀；9—油箱

在千斤顶工作中，从小活塞到大活塞之间形成了密封的工作容积，依帕斯卡原理“在密闭容器内，施加于静止液体上的压力将以等值同时传到液体各点”，因此要顶起重物，在小活塞下腔就必须产生一个等值的压力 p ，即小活塞上施加的力为

$$F_1 = pA_1 = \frac{A_1}{A_2}G \quad (1-2)$$

可见在活塞面积 A_1 、 A_2 一定的情况下，液体压力 p 取决于举升的重物负载，而手动泵上的作用力 F_1 则取决于压力 p 。所以，被举升的重物负载越大，液体压力 p 越高，手动泵上所需的作用力 F_1 也就越大；反之，如果空载工作，且不计摩擦力，则液体压力 p 和手动泵上的作用力 F_1 都为零。液压传动的这一特征，可以简略地表述为“压力取决于负载”。

(2) 运动关系

由于小活塞到大活塞之间为密封的工作容积，小活塞向下压出油液的体积必然等于大活塞向上升起缸体内扩大的体积，即 $A_1h_1 = A_2h_2$ ，两端同除以活塞移动时间 t 得

$$v_1A_1 = v_2A_2 \quad (1-3)$$

或

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2}v_1 = \frac{q}{A_2} \quad (1-4)$$

其中 $q = v_1A_1 = v_2A_2$ ，表示单位时间内液体流过某截面的体积。由于活塞面积 A_1 、 A_2 已定，所以大活塞的移动速度 v_2 只取决于进入液压缸的流量 q 。这样，进入液压缸的流量越多，大活塞的移动速度 v_2 也就越高。液压传动的这一特征，可以简略地表述为“速度取决于流量”。

这里需要着重指出，以上两个特征是独立存在的，互不影响。不管液压千斤顶

的负载如何变化,只要供给的流量一定,活塞推动负载上升的运动速度就一定;同样,不管液压缸的活塞移动速度怎样,只要负载一定,推动负载所需的液体压力就确定不变。

(3) 功率关系

若不考虑各种能量损失,手动泵的输入功率等于液压缸的输出功率,即

$$F_1 v_1 = W v_2$$

或

$$P = p A_1 v_1 = p A_2 v_2 = p q \quad (1-5)$$

式中, $W = G$, 为液压缸的推力。

可见,液压传动的功率 P 可以用液体压力 p 和流量 q 的乘积来表示,压力 p 和流量 q 是液压传动中最基本、最重要的两个参数。

上述千斤顶的工作过程,就是将手动机械能转换为液体压力能,又将液体压力能转换为机械能输出的过程。

综上所述,可归纳出:

! 液压传动的基本特征是以液体为工作介质,依靠处于密封工作容积内的液体压力能来传递能量;压力的高低取决于负载;负载速度的传递是按容积变化相等的原则进行的,速度的大小取决于流量;压力和流量是液压传动中最基本、最重要的两个参数。

1.2 液压传动系统的组成及类型

图 1-2 所示为一机床工作台的液压传动系统,它由液压泵、溢流阀、节流阀、换向阀、液压缸、油箱以及连接管道等组成。

其工作原理是液压泵 3 由电动机带动旋转,从油箱 1 经过滤器 2 吸油,液压泵排出的压力油先经节流阀 4 再经换向阀 6 (设换向阀手柄向右扳动,阀芯处于右端位置) 进入液压缸 7 的左腔,推动活塞和工作台 8 向右运动。液压缸右腔的油液经换向阀 6 和回油管道返回油箱。若换向阀的阀芯处于左端位置 (手柄向左扳动) 时,活塞及工作台反向运动。改变节流阀 4 的开口大小,可以改变进入液压缸的流量实现工作台运动速度的调节,多余的流量经溢流阀 5 和溢流管道排回油箱。液压缸的工作压力由活塞运动所克服的负载决定。液压泵的工作压力由溢流阀调定,其值略高于液压缸的工作压力。由于系统的最高工作压力不会超过溢流阀的调定值,所以溢流阀还对系统起到过载保护的作用。

图 1-2(a) 所示的液压系统工作原理图是半结构式的,其直观性强,易于理解,但绘制起来比较繁杂。图 1-2(b) 所示是用液压图形符号绘制成的工作原理图,其简单明了,便于绘制,图中的符号可参见液压气动图形符号标准 (GB/T 786.1—2009)。

由上例可见,液压传动系统由以下四部分组成。

① 动力元件,即液压泵,其功能是将原动机输出的机械能转换成液体的压力

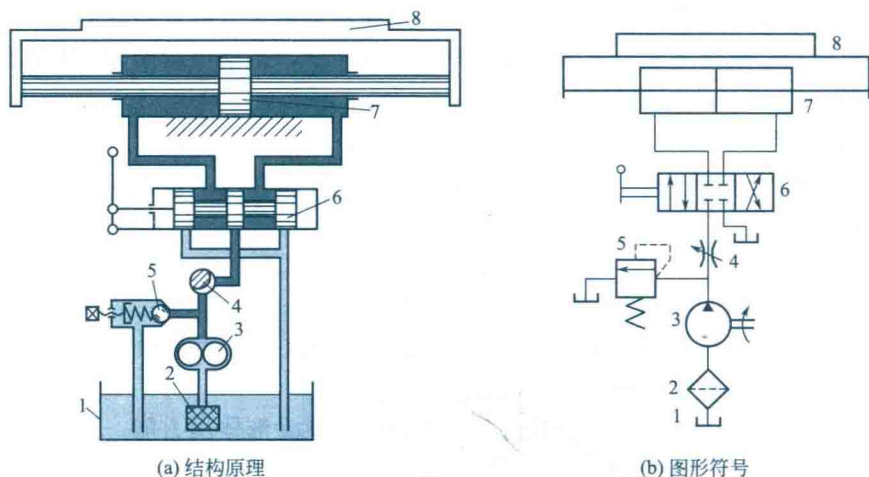


图 1-2 机床工作台液压系统的工作原理

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

能，为系统提供动力。

② 执行元件，即液压缸、液压马达，它们的功能是将液体的压力能转换成机械能，以带动负载进行直线运动或旋转运动。

③ 控制元件，即压力、流量和方向控制阀，它们的作用是控制和调节系统中液体的压力、流量和流动方向，以保证执行元件达到所要求的输出力（或力矩）、运动速度和运动方向。

④ 辅助元件，保证系统正常工作所需要的各种辅助装置。包括管道、管接头、油箱、过滤器和指示仪表等。

1.3 液压传动的优缺点

液压传动主要有以下优点。

① 体积小、重量轻，单位重量输出的功率大。这是由于液压传动可以采用很高的压力（一般可达 32MPa，个别场合更高），因此具有体积小、重量轻的特点。如在同等功率下，液压马达的外形尺寸和重量为电动机的 12% 左右。在中、大功率以及实现直线往复运动时，这一优点尤为突出。

② 可在大范围内实现无级调速，且调节方便。调速范围一般可达 100 : 1，甚至高达 2000 : 1。

③ 操纵控制方便，与电子技术结合更易于实现各种自动控制和远距离操纵。

④ 由于体积小、重量轻，因而惯性小，响应速度快，启动、制动和换向迅速。如一个中等功率的电动机启动需要几秒钟，而液压马达只需 0.1s。

⑤ 因执行元件的多样性（如液压缸、液压马达等）和各元件之间仅靠管路连接，采用液压传动使得机器的结构简化，布置灵活方便。

⑥ 易于实现过载保护，安全性好；采用矿物油为工作介质，自润滑性好。

液压传动的主要缺点如下。

① 液压传动系统中存在的泄漏和油液的压缩性，影响了传动的准确性，不易实现定比传动。

② 由于油液的黏度随温度变化而变化，容易引起工作性能的变化，所以液压传动不宜在温度变化范围很大的场合工作。

③ 由于受液体流动阻力和泄漏的影响，液压传动的效率还不高。

④ 液压传动系统对油液的污染比较敏感，必须有良好的防护和过滤措施。

液压传动的优点是主要的，液压元件已标准化、系列化和通用化，便于系统的设计、制造和推广应用。因此液压传动在现代化的生产中有着广阔的发展前途和应用前景。

1.4 液体的性质

液压传动是以液体作为工作介质来进行能量传递的。因此，了解液体的基本物理、化学性质以及研究液体平衡和运动的力学规律，将有助于对液压传动基本原理的正确理解，同时这些内容也是液压系统设计、计算和合理使用的理论基础。

1.4.1 液体的密度

物体维持原有运动（或相对静止）状态的性质叫作惯性，表征惯性的物理量是质量，液体单位体积内的质量称为密度，以 ρ 表示

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (1-6)$$

式中 m ——液体的质量，kg；

V ——液体的体积， m^3 。

液体的密度随压力和温度的变化而变化，即随压力的增加而加大，随温度的升高而减少。在一般情况下，由压力和温度引起的变化都比较小，在实用中油液的密度可近似地视为常数。

石油型液压油液的密度在 900kg/m^3 左右。

1.4.2 液体的可压缩性

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。液体压缩性的大小通常以体积压缩率 κ 来度量。它表示当温度不变时，在单位压强变化下液体体积的相对变化量，即

$$\kappa = -\frac{1}{\Delta p} \times \frac{\Delta V}{V} \quad (\text{m}^2/\text{N}) \quad (1-7)$$

式中 V ——液体加压前的体积， m^3 ；

ΔV ——加压后液体体积变化量， m^3 ；

Δp ——液体压强变化量， N/m^2 。

当压强增大时,液体体积总是减小,所以上式中冠一负号以使压缩系数为正值。液体的压缩率 κ 的倒数称为液体的体积弹性模量,以 K 表示,其值为

$$K = \frac{1}{\kappa} \quad (\text{N/m}^2) \quad (1-8)$$

液压油的体积弹性模量为 $(1.4 \sim 1.9) \times 10^9 \text{ N/m}^2$ 。

对液压系统来讲,由于压力变化引起的液体体积变化很小,故一般可认为液体是不可压缩的。但在液体中混有空气时,其压缩性显著增加,并将影响系统的工作性能。在有动态特性要求或压力变化范围很大的高压系统中,应考虑液体压缩性的影响,并应严格排除液体中混入的气体。实际计算时液压油的体积弹性模量常选用 $(0.7 \sim 1.4) \times 10^9 \text{ N/m}^2$ 。

1.4.3 液体的黏性

(1) 黏性的意义

液体在外力作用下流动(或有流动趋势)时,液体分子间的内聚力要阻止分子间的相对运动而产生内摩擦力,液体的这种性质称为液体的黏性,它是液体的重要物理性质。液体只在流动(或有流动趋势)时才会呈现黏性,静止液体不呈现黏性。

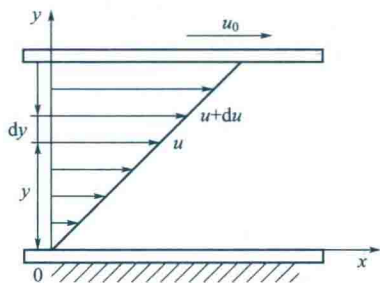


图 1-3 液体的黏性示意图

以图 1-3 所示为例,若两平行平板间充满液体,下平板固定,而上平板以 u_0 速度向右平动,由于液体的黏性作用,紧靠着下平板的液层速度为零,紧靠着上平板的液层速度为 u_0 ,而中间各液层速度则从上到下按递减规律呈线性分布。

实验测定指出,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 和液层间相对运动速度梯度 du/dy 成正比,即

$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1-9)$$

式中 μ ——比例常数,称为动力黏度。

在静止液体中,由于速度梯度 $du/dy = 0$,内摩擦力为零,因此液体在静止状态时不呈现黏性。

上式称为牛顿的液体内摩擦定律。若以 τ 表示单位面积上的内摩擦力(即切应力)则式(1-9)可写为

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-10)$$

(2) 液体的黏度

液体黏性的大小用黏度来表示。常用的黏度有三种,即动力黏度、运动黏度和相对黏度。

① 动力黏度 动力黏度又称绝对黏度,用 μ 表示,由式(1-9)、式(1-10)

可得

$$\mu = \frac{F}{A \frac{du}{dy}} = \frac{\tau}{\frac{du}{dy}} \quad (1-11)$$

由此可知动力黏度 μ 的物理意义是, 当速度梯度 du/dy 等于 1 (即单位速度梯度) 时, 流动液体内接触液层间单位面积上产生的内摩擦力。其法定计量单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

② 运动黏度 动力黏度 μ 与密度 ρ 的比值, 称为运动黏度, 用 ν 表示, 即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-12)$$

运动黏度无明确的物理意义, 它是液体力学分析和计算中常遇到的一个物理量。因其单位中只有长度与时间的量纲, 故称为运动黏度。运动黏度的法定计量单位是 m^2/s , 它与以前常用单位 cSt (厘斯) 之间的关系是, $1\text{m}^2/\text{s} = 10^6\text{cSt} = 10^6\text{mm}^2/\text{s}$ 。在工程中液体的黏度常用运动黏度来表示。

③ 相对黏度 相对黏度又称条件黏度, 它是采用特定的黏度计在规定的条件下测量出来的液体黏度。根据测量仪器和条件不同, 各国采用的相对黏度的单位也不同, 如美国采用赛氏黏度 (SSU); 英国采用雷氏黏度 (R); 而我国和其他欧洲国家采用恩氏黏度 ($^{\circ}\text{E}$)。

恩氏黏度用恩氏黏度计测定。将 200mL 温度为 $t(^{\circ}\text{C})$ 的被测液体装入黏度计内, 使之由下部直径为 2.8mm 的小孔流出, 测出液体流尽所需的时间 t_1 ; 再测出 200mL 温度为 20°C 的蒸馏水在同一黏度计中流尽所需的时间 t_2 。这两个时间的比值即为被测液体在 $t^{\circ}\text{C}$ 时的恩氏黏度, 即

$$^{\circ}\text{E}_t = \frac{t_1}{t_2} \quad (1-13)$$

恩氏黏度与运动黏度的换算关系为

$$\text{当 } 1.35 < ^{\circ}\text{E}_t \leq 3.2 \text{ 时 } \nu = 8.0^{\circ}\text{E} - \frac{8.64}{^{\circ}\text{E}} \quad (\text{mm}^2/\text{s}) \quad (1-14)$$

$$\text{当 } ^{\circ}\text{E}_t > 3.2 \text{ 时 } \nu = 7.6^{\circ}\text{E} - \frac{4.0}{^{\circ}\text{E}} \quad (\text{mm}^2/\text{s}) \quad (1-15)$$

液体的黏度随其压力的变化而变化。对常用的液压油而言, 压力增大时, 黏度增大, 但在一般液压系统使用的压力范围内, 压力对黏度影响很小, 可以忽略不计。当压力变化较大时, 则需要考虑压力对黏度的影响。液体的黏度与压力的关系式为

$$\nu_p = \nu_a(1 + 0.003p) \quad (1-16)$$

式中 ν_p ——压力为 p 时液体的运动黏度;

ν_a ——压力为 1 个大气压时液体的运动黏度。

液体的黏度随其温度升高而降低。这种黏度随温度变化的特性称为黏温特性。不同的液体, 黏温特性也不同。在液压传动中, 希望工作液体的黏度随温度变化越小越好, 因为黏度随温度的变化越小, 对液压系统的性能影响也越小。液压油的黏

度与温度间的关系可以用经验公式计算，也可以从图表中直接查出。图 1-4 为普通液压油的黏温特性曲线。

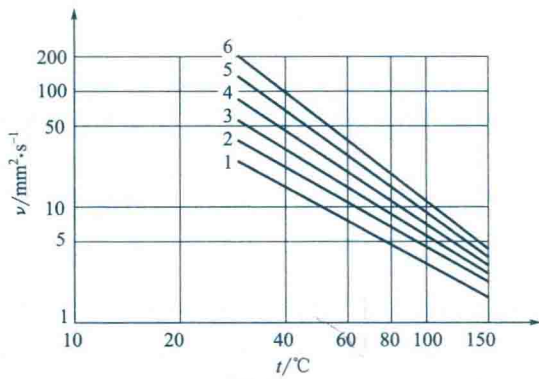


图 1-4 普通液压油黏温特性曲线
1—L-HL15；2—L-HL22；3—L-HL32；
4—L-HL46；5—L-HL68；6—L-HL100

1.4.4 液压油（液）的选用

(1) 液压油（液）的品种及牌号

液压油（液）的品种很多，主要可分为两种，即矿物油型液压油和难燃型液压油。另外还有一些专用液压油。表 1-1 是我国液压油（液）品种分类。

表 1-1 液压油（液）品种分类

类别代号	L(润滑剂类)											
类型	矿物油型液压油							难燃型液压油				
品种代号	HH	HL	HM	HG	HR	HV	HS	HFAE	HFAS	HFB	HFC	HFDR
组成和特性	无抗氧剂的精制矿物油	精制矿物油并改善其防锈和抗氧化性	HL油并改善其抗磨性	HM油并具有黏滑性	HL油并改善其黏温性	HM油并改善其黏温性	无特定难燃性的合成液	水包油乳化液	水的化学溶液	油包水乳化液	含聚合物水溶液	磷酸酯无水合成液

液压油（液）牌号是以黏度的大小来划分的。标称黏度等级是用 40℃时的运动黏度中心值的近似值表示，单位为 mm²/s。我国已完成液压油（液）从旧牌号到新牌号的过渡，与国际标称牌号完全一致，液压油（液）新旧牌号对照见表 1-2。

液压油（液）常用的黏度等级（或称牌号）为 10~100 号，主要集中在 15~68 号。