

职业教育机电类“十二五”规划教材

液压与气动技术

樊薇 曾美华 主编

徐承意 赵昌 副主编

欧阳毅文 主审

- 注重实用，强调能力的培养
- 体现行业新技术、新方法



职业教育机电类“十二五”规划教材

液压与气动技术

樊薇 曾美华 主编
徐承意 赵昌 副主编
欧阳毅文 主审

人民邮电出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

液压与气动技术 / 樊薇, 曾美华主编. -- 北京 :
人民邮电出版社, 2014. 2
职业教育机电类“十二五”规划教材
ISBN 978-7-115-33877-8

I. ①液… II. ①樊… ②曾… III. ①液压传动—职业
教育—教材②气压传动—职业教育—教材 IV.
①TH137②TH138

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第321912号

内 容 提 要

液压与气动技术是一门偏重于理论,但在实际应用中又有一定要求的课程。本书根据职业教育的实际要求,以培养能够适应社会发展和建设需要,服务第一线的技术应用型人才为目标,突出实用性,加强学生对液压与气动技术原理的理解及其实际应用的掌握,理论上以够用为原则,注重培养学生的实际应用能力。

全书共7个项目,27个任务,以液压为主,气动为辅。主要内容有液压与气动的基础知识,液压与气动的动力元件、执行元件、辅助元件、控制元件的结构及原理分析,液压与气动基本回路和典型系统,液压与气动系统的安装、调试、维护、保养等。每个任务都有相应的实践活动和练习与思考来巩固所学知识,每个项目都附有综合训练来强化所学内容。

本书适合各类职业院校机械类、近机类专业学生使用,也可作为企业职工培训教材或自学教材。

-
- ◆ 主 编 樊 薇 曾美华
副 主 编 徐承意 赵 昌
主 审 欧阳毅文
责任编辑 李育民
责任印制 杨林杰
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 14.5 2014年2月第1版
字数: 340千字 2014年2月河北第1次印刷
-

定价: 34.00 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316
反盗版热线: (010)81055315



根据国家大力发展职业教育规划的纲要精神,以培养学生能力为目标,以实际应用为目的,以理论教学与实训一体化的现代职业教育理念为指导,着重体现任务引领的项目式教学设计理念编写本教材。

本书将液压与气动技术的知识分为若干个任务,以完成任务为目标,本着应用为本,够用为度的原则,对较深的理论分析和计算进行适当地删减,着重培养学生对所学理论知识的应用能力,锻炼学生实际解决问题的能力,动手动脑能力。

全书共7个项目。包括液压与气动的基础知识,液压与气压传动的动力元件、执行元件、控制元件,基本回路、典型液压和气压回路,以及液压与气压传动系统的安装、调试、维护、保养和简单故障排除,液压系统的设计等内容。每个独立的任务都配有与基本知识点相对应的实践活动和思考题,项目后都配有综合训练,分别从理论和实践两方面来巩固所学内容。

本书的参考学时为60~72学时(包含实训在内),液压课程设计单独安排1~2周。理论知识和实践内容各学校可根据具体情况进行增减。

学时分配表

项目	课程内容	学时
项目一	液压传动基础	6~8
项目二	液压动力元件	8~10
项目三	液压执行元件及辅助元件	6~8
项目四	液压控制元件与基本回路	20~22
项目五	典型液压系统实例的分析	4~8
项目六	液压系统的设计计算、使用维护和故障处理	4~6
项目七	气压传动	10~12

本书由江西机电职业技术学院樊薇、曾美华任主编;江西现代职业技术学院徐承意、江西工业职业技术学院赵昌任副主编;欧阳毅文主审;樊薇统稿。其中樊薇编写了项目一、项目六、项目七和附录;曾美华编写了项目三、项目四;徐承意编写了项目二;赵昌编写了项目五;江西现代职业技术学院宋细生、江西机电职业技术学院邓群参与了部分章节的编写工作。

本书在编写过程中,参考了大量的文献、教材、手册等资料,得到了有关院校、企业的大力支持和帮助,在此一并致谢。

由于编者水平有限,经验不足和编写时间仓促,书中难免出现错误或不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2013年11月



项目一 液压传动基础1	项目二 液动力元件26
任务一 初识液压系统1	任务一 初识液压泵26
一、液压千斤顶的工作原理.....1	一、液压泵工作原理.....26
二、简单机床液压系统的工作原理.....2	二、液压泵的分类.....27
三、液压系统的组成.....3	三、液压泵的主要性能参数.....28
四、液压系统的图形符号.....4	观察与实践.....30
五、液压传动的特点.....4	思考与练习.....33
观察与实践.....5	任务二 常用液压泵的结构原理分析33
思考与练习.....5	一、齿轮泵.....34
任务二 了解液压油5	二、螺杆泵.....35
一、液压油的用途.....6	三、叶片泵.....36
二、液压油的性质.....6	四、柱塞泵.....37
三、液压油的种类.....9	观察与实践.....39
四、液压油的选用.....9	思考与练习.....40
五、液压油的污染与控制.....10	任务三 液压泵和电动机的选用40
观察与实践.....12	一、液压泵的选用.....40
思考与练习.....12	二、电动机参数的选择.....42
任务三 了解流体力学12	观察与实践.....42
一、液体静力学基础.....12	思考与练习.....43
二、液体动力学基础.....15	综合训练43
观察与实践.....17	
思考与练习.....19	
任务四 了解液体流经小孔的流量及流动时的损失20	
一、小孔流量.....20	
二、液体流动中的压力和流量损失.....21	
三、液压冲击和空穴现象.....22	
观察与实践.....23	
思考与练习.....23	
综合训练23	
	项目三 液压执行元件及辅助元件45
	任务一 认识液压缸45
	一、液压缸的工作原理和类型.....46
	二、液压缸结构.....47
	三、液压缸的组成.....47
	四、液压缸的参数计算.....51
	五、其他液压缸.....54
	观察与实践.....55
	思考与练习.....56

任务二 液压马达的原理结构分析	56	三、多缸工作控制回路	110
一、液压马达的分类及特点	56	观察与实践	115
二、液压马达职能符号	58	思考与练习	115
三、液压马达参数计算	58	综合训练	116
观察与实践	58		
思考与练习	59		
任务三 液压辅助元件的认识	59	项目五 典型液压系统实例分析	124
一、油箱	59	任务一 数控车床液压系统	124
二、滤油器	60	一、阅读液压系统图的步骤	125
三、空气滤清器	63	二、数控车床液压系统概述	125
四、冷却器	63	三、MJ—50型数控车床液压系统的工作原理	126
五、蓄能器	64	四、MJ—50型数控车床液压系统的特点	127
六、油管与管接头	65	观察与实践	127
观察与实践	66	思考与练习	127
思考与练习	66	任务二 起重机液压系统	128
综合训练	66	一、概述	128
项目四 液压控制阀与液压基本回路	69	二、Q2—8型汽车起重机液压系统的工作原理	128
任务一 方向控制阀及方向控制回路	70	三、Q2—8型汽车起重机液压系统的特点	131
一、换向阀与换向回路	71	观察与实践	132
二、单向阀与锁紧回路	78	思考与练习	132
观察与实践	80	任务三 动力滑台液压系统	132
思考与练习	80	一、概述	132
任务二 压力控制阀及压力控制回路	80	二、YT4543型动力滑台液压系统的工作原理	133
一、溢流阀及其应用	81	三、YT4543型动力滑台液压系统特点分析	135
二、顺序阀及其应用	85	四、YT4543型动力滑台液压系统的调整	136
三、减压阀及其应用	88	观察与实践	137
四、压力继电器及其应用	90	思考与练习	137
观察与实践	91	任务四 液压机液压系统	137
思考与练习	94	一、概述	138
任务三 流量控制阀及节流调速回路	95	二、YA32—200型四柱万能液压机液压系统的工作原理	138
一、节流阀	96	三、YA32—200型四柱万能液压机液压系统的特点	141
二、调速阀	97	观察与实践	142
三、节流调速回路	98	思考与练习	142
观察与实践	100	综合训练	142
思考与练习	101		
任务四 其他基本回路的分析	101		
一、其他速度控制回路	101		
二、卸荷回路和保压回路	108		

项目六 液压系统的设计计算、使用	
维护和故障处理	145
任务一 液压系统的设计	145
一、液压系统的设计步骤	146
二、工况分析	146
三、拟定液压系统原理图	149
四、选择液压元件并确定安装连接方式	149
五、液压系统主要性能的验算	151
六、绘制工作图和编制技术文件	154
七、液压系统设计计算举例	154
观察与实践	163
任务二 液压系统的使用维护	164
一、液压系统的安装	164
二、液压系统的调试	166
三、液压系统的使用和维护	167
观察与实践	168
思考与练习	168
任务三 液压系统的故障处理	169
一、液压系统故障诊断方法	169
二、液压系统常见故障及排除	172
观察与实践	176
思考与练习	176
综合训练	176
项目七 气压传动	178
任务一 气压传动的认识	178
一、气压传动的工作原理	179
二、气压传动系统的组成	179
三、压缩空气的性质	180
四、供气管线	182
五、气压传动的特点	184
观察与实践	184
思考与练习	185
任务二 气源装置与气源处理装置的	
原理结构	185
一、空气压缩站	185
二、气源处理装置	188
观察与实践	191
思考与练习	191
任务三 气动执行元件与控制元件	191
一、气动执行元件	191
二、气动控制元件	192
观察与实践	198
思考与练习	198
任务四 气动基本回路分析	198
一、换向回路	198
二、压力控制回路	200
三、速度控制回路	201
四、位置控制回路	202
五、往复及程序动作控制回路	203
六、延时回路	203
观察与实践	204
思考与练习	204
任务五 气动系统实例分析	204
一、数控加工中心的气压传动系统	204
二、VMC750E 型加工中心刀库气压	
传动系统	205
三、数控加工中心气动换刀系统	206
四、门的开闭装置	207
五、气动夹紧系统	209
观察与实践	210
思考与练习	210
任务六 气动系统的使用与维护	210
一、气动系统使用注意事项	211
二、压缩空气的污染及防止方法	211
三、气动系统的噪声	213
四、气动系统密封问题	213
观察与实践	213
思考与练习	213
综合训练	214
附录	215
附录 A 常用液压与气动元件图形符号	215
附录 B 《液压与气动》模拟试卷	221
参考文献	225

项目一

| 液压传动基础 |

液压传动与气压传动统称为流体传动，都是以密闭系统中有压流体（液体或气体）作为工作介质来传递运动、动力或控制信号的一种传动方式。相对于机械传动，它出现得较晚，但由于其优良特性，其在现代化生产中应用越来越广，是现代机、电、液技术的重要组成部分。液压与气动技术是工业技术人员必须掌握的知识。

任务一

初识液压系统

【知识目标】

- (1) 掌握液压传动系统的基本工作原理。
- (2) 知道液压传动系统的组成及每部分的作用。
- (3) 了解液压传动的特点。

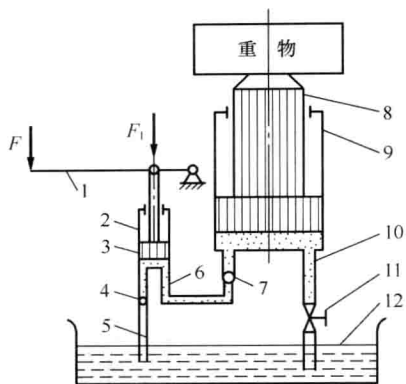
【能力目标】

- (1) 能举出一些应用实例（即了解液压传动的应用场合）。
- (2) 能说出简单液压系统的工作过程、各组成部分的名称和作用。

一、液压千斤顶的工作原理

图 1-1 所示为液压千斤顶的工作原理图。大油缸 9 和大活塞 8 组成举升液压缸。杠杆手柄 1、

小油缸 2、小活塞 3、单向阀 4 和 7 组成手动液压泵。如提起手柄 1 使小活塞 3 向上移动,小活塞 3 下端油腔容积增大,压力下降,形成局部真空,这时单向阀 4 打开,单向阀 7 关闭,通过吸油管 5 从油箱 12 中吸油;用力压下手柄 1,小活塞 3 下移,小活塞 3 下腔变小,压力升高,单向阀 4 关闭,单向阀 7 打开,下腔的油液经管道 6 输入举升油缸 9 的下腔,迫使大活塞 8 向上移动,顶起重物。再次提起手柄 1 吸油时,单向阀 7 自动关闭,使油液不能倒流,从而保证了重物不会自行下落。不断地往复扳动手柄 1,就能不断地把油液压入举升缸的下腔,使重物逐渐地升起。如果打开截止阀 11,举升缸下腔中的油液通过管道 10、截止阀 11 流回油箱,重物就向下移动。这就是液压千斤顶的工作原理。



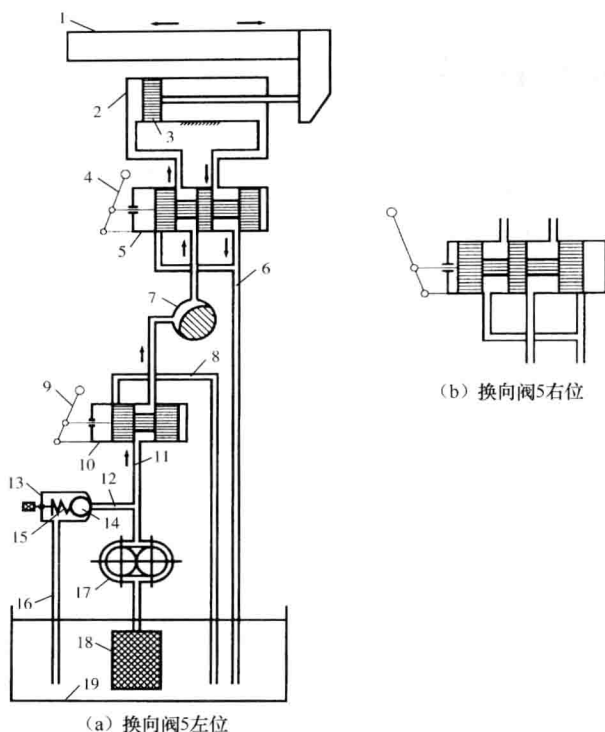
1—杠杆手柄; 2—小油缸; 3—小活塞; 4, 7—单向阀;
5—吸油管; 6, 10—管道; 8—大活塞;
9—大油缸; 11—截止阀; 12—油箱。
图 1-1 液压千斤顶工作原理图

通过对液压千斤顶工作过程的分析,可以初步了解到液压传动的基本工作原理:液压传动是利用压力油液作为介质传递运动和动力的一种传动方式。压下杠杆时,小油缸 2 输出压力油,是将机械能转换成油液的压力能;压力油经过管道 6 及单向阀 7,推动大活塞 8 举起重物,是将油液的压力能又转换成机械能。由此可见,液压传动是一个不同能量间的转换过程。

二、简单机床液压系统的工作原理

图 1-2 (a) 所示为一驱动机床工作台的液压传动系统的工作原理。它由油箱 19、滤油器 18、液压泵 17、溢流阀 13、换向阀 5、节流阀 7、开停阀 10、液压缸 2 以及连接这些元件的油管、管接头等组成。

其工作原理如下:液压泵由电动机驱动后,从油箱中吸油。油液经滤油器进入液压泵,在泵的带动下,从泵腔入口的低压变为泵腔出口的高压。在图 1-2 (a) 所示状态下,开停阀 10 扳到右位,油液通过开停阀 10、节流阀 7、换向阀 5、液压缸 2 左油管进入液压缸 2 的左腔,推动活塞使工作台 1 向右移动。这时,液压缸 2 右腔的油经换向阀 5 和回油管 6 排回油箱。在图 1-2 (b) 所示状态下,换向阀 5 换到左位,油液通过开停阀 10、节流阀 7、换向阀 5、液压缸 2 右油管进入液压缸 2 右腔,推动活塞使工作台 1 向左移动。这时,液压缸 2 左腔的油还是经换向阀 5 和回油管 6 排回油箱。工作台 1 的移动速度是通过节流阀 7 来调节的。当节流阀 7 开大时,进入液压缸 2 的油量增多,工作台 1 的移动速度增大;当节流阀 7 关小时,进入液压缸 2 的油量减小,工作台 1 的移动速度减小。工作台 1 速度减小和停止时,液压泵 17 输出的多余液压油克服溢流阀 13 中弹簧 15 的阻力,顶起钢球 14,经回油管 16 流回油箱。为了克服移动工作台 1 时所受到的各种阻力,液压缸 2 必须产生一个足够大的推力,这个推力是由液压缸中的油液压力所产生的。要克服的阻力越大,缸中的油液压力越高;反之,压力就越低。这种现象正说明了液压传动的一个基本性质——负载决定压力。



1—工作台；2—液压缸；3—活塞；4—换向手柄；5—换向阀；6，8，16—回油管；
7—调速阀；9—开停阀手柄；10—开停阀；11—压力管；12—压力支管；
13—溢流阀；14—钢球；15—弹簧；17—液压泵；18—滤油器；19—油箱。

图1-2 机床工作台液压系统的工作原理图

三、液压系统的组成

通过以上的例子，我们可以看出，液压系统一般由动力元件、执行元件、控制元件和一些辅助元件及工作介质5部分组成。

(1) 动力元件：液压泵，它由电动机带动，向系统提供压力油，是将机械能转换成液体压力能的装置。

(2) 执行元件：是把液压能转换为机械能以驱动工作机构的输出装置。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两类。液压缸使负载作直线运动，液压马达使负载转动。

(3) 控制元件：是液压系统中用于控制方向、压力、流量、工作性能的各种液压阀。在液压系统中，用压力阀来控制力量，用流量阀来控制速度，用方向阀来控制运动方向。

(4) 辅助元件：除了以上几种元件外，还有用来储存液压油的油箱；为了增强液压系统的功能，尚需有去除油内杂质的过滤器，防止油温过高的冷却器，以及测量用的仪表、连接用的油管、密封用的密封件等液压元件，我们称这些元件为辅助元件。

(5) 工作介质：传递能量和运动的流体，即液压油等。

四、液压系统的图形符号

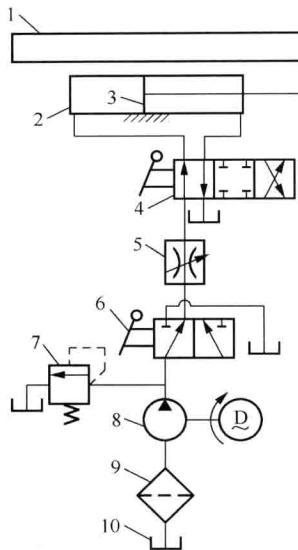
图 1-2 所示为液压系统半结构原理图。它比较直观、容易理解，但图形较复杂，绘制困难。我国已经制定了一种用规定的图形符号来表示液压原理图中各元件和连接管路的国家标准，即《GB786.1—93 液压系统图图形符号》常用元件的图形符号参见附录。在此国标中，对于这些图形符号有以下几条基本规定。

(1) 符号只表示元件的职能、连接系统的通路，不表示元件的具体结构和参数，也不表示元件在机器中的实际安装位置。

(2) 元件符号内的油液流动方向用箭头表示，线段两端都有箭头的，表示流动方向可逆，但有时箭头只表示联通，不一定指流动方向。

(3) 符号均以元件的静止位置或中间零位置表示，当系统的动作另有说明时，可作例外。

图 1-3 为图 1-2 所示的系统改用国标《GB786.1—93 液压系统图图形符号》绘制的工作原理图。通过对比图 1-3 和图 1-2 可以看到，使用这些图形符号可使液压系统图简单明了，且便于绘制。



1—工作台；2—液压缸；3—活塞；4—换向阀；5—调速阀；6—开停阀；7—溢流阀；8—液压泵；9—滤油器；10—油箱。

图1-3 机床工作台液压系统的图形符号图

五、液压传动的特点

1. 优点

(1) 安装方便灵活。由于液压传动是油管连接，所以借助油管的连接可以方便灵活地布置传动机构，对于液压元件的布置也有较大的灵活性，这是比机械传动优越的地方。

(2) 体积小，输出力大。在同等功率情况下，液压传动装置体积小、重量轻、结构紧凑。例如，同样功率的液压马达重量只有电动机的 10%。液压系统一般使用压力都有几 MPa 到十几 MPa，甚至高达 50 MPa 以上。

(3) 过载的危险小。借助于设置溢流阀，当系统压力超过设定压力时，将溢流阀阀芯打开，液压油经溢流阀流回油箱，故系统压力无法超过设定压力。同时，由于各种元件的运动都在油液中，能够自润滑，故元件使用寿命长。

(4) 易于调整输出力。只要调整压力控制阀即可轻易调整液压装置输出力。速度调整也容易实现。借助于流量阀或变量泵、变量电机，可以实现无级调速，调速范围大，可达 1：2000，并可在

液压装置运行的过程中进行调速。

(5) 工作性能好。液压装置工作平稳、反应快、冲击小,能够快速启动、停止、频繁换向。

(6) 易于自动化控制。液压控制阀控制操作简单方便,特别是机、电、液配合使用时,能很容易地实现复杂的自动工作循环。

(7) 液压元件已实现了标准化、系列化和通用化,便于设计、制造和推广使用。

2. 缺点

(1) 液压传动不能保证严格的传动比。这是由于液压油的可压缩性和泄漏造成的。

(2) 密封不良会造成液压油外泄。它除了会污染工作场所外,还有引起火灾的危险。

(3) 液压系统对温度敏感。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,造成速度不稳定。

(4) 系统将电动机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的低很多。

(5) 液压系统大量使用各式控制阀,为了防止内外泄漏损耗,对元件的加工精度要求较高。液压系统还含有大量的接头及管子,使得对安装维护的要求也相对较高。

(6) 液压控制元件的运动、油液的流动基本都在密闭环境内进行,故系统出现故障时难以直观发现,故障诊断较困难,要求维修人员有较强的分析能力。

观察与实践

- (1) 操作使用简单机床液压系统实验台。
- (2) 观察并指出实验台的组成部分及每部分的作用。
- (3) 熟悉实验台的工作原理。

思考与练习

- (1) 什么是液压传动? 液压传动有哪些特点?
- (2) 我们日常生活中见过哪些液压设备和液压装置?

任务二

了解液压油

【知识目标】

- (1) 掌握液压油的基本性质(主要是黏性)。

- (2) 掌握黏度的表示方法、液压油牌号的意义、种类。
- (3) 正确使用液压油。

【能力目标】

- (1) 知道黏度的表示方法，根据液压油牌号能正确判断油的黏度。
- (2) 能正确合理选用和使用液压油。

一、液压油的用途

液压油有以下几种作用。

- (1) 传递运动与动力。液压油是液压系统的工作介质。液压泵将机械能转换成液体的压力能，液压油将压力能传至各处。由于油本身具有黏性，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件都可受到液压油的充分润滑，从而降低元件磨损，提高使用寿命。
- (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量，被油带出。

二、液压油的性质

1. 密度

液体单位体积内的质量称为密度。密度随着温度或压力的变化而变化，但变化不大，通常可以忽略不计。工业液压油系矿物油，密度约为 $0.85\sim 0.95\text{ g/cm}^3$ ；油包水型液压油含油较多，密度约为 $0.92\sim 0.94\text{ g/cm}^3$ ；水包油型液压油含水较多，密度约为 $1.05\sim 1.1\text{ g/cm}^3$ 。

一般计算中，取液压油系矿物油，密度 $\rho=900\text{ kg/m}^3$ 。

2. 黏性

(1) 牛顿内摩擦定律 液体在外力作用下流动时，由于液体分子间的内聚吸引力而产生一种阻碍液体分子之间进行相对运动的内摩擦力。液体流动时分子间产生内摩擦力的性质称为液体的黏性。液体只有在流动时才会呈现黏性。液压油的黏性对机械效率、磨耗、压力损失、容积效率、漏油及泵的吸入性影响很大。在图 1-4 液体的黏性示意图上，以平行平板间的流动情况为例，设上平板以速度 u_0 向右运动，下平板固定不动。紧贴于上平板上的流体黏附于上平板上，其速度与上平板相同。紧贴于下平板上的流体黏附于下平板上，其速度为零。中间流体的速度按线性分布。我们把这种流动看成是许多无限薄的流体层在运动，当运动较快的流体层在运动较慢的流体层上滑过时，两层间由于黏性就产生内摩擦力的作用。

根据实际测定的数据可知，流体层间的内摩擦力 F 与流体层的接触面积 A 及流体层的相对流速 du 成正比，而与此二流体层间的距离 dy 成反比，即：

$$F = \mu A du / dy \quad (1-1)$$

以 $\tau=F/A$ 表示内摩擦切应力，则有：

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-2)$$

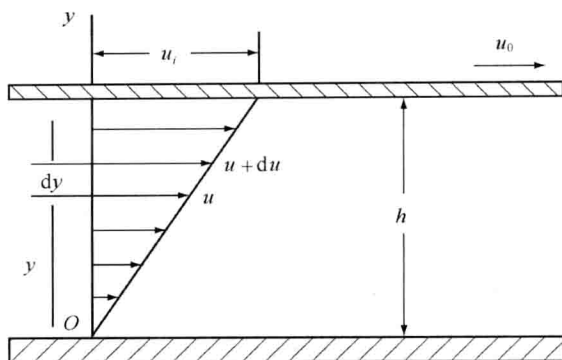


图1-4 液体的黏性示意图

这就是牛顿内摩擦定律。式中， μ 为比例常数，又称为黏性系数或动力黏度。

(2) 黏度 液体黏性的大小用黏度来表示，常用的黏度有 3 种：动力黏度、运动黏度和相对黏度。

① 动力黏度 表征流体黏性的内摩擦系数，也称为绝对黏度，用 μ 表示，单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ （帕·秒）。

② 运动黏度 动力黏度与液体密度的比值，称为运动黏度，用 ν 表示，单位为 m^2/s ，常用单位为 St （斯）、 cSt （厘斯），其换算关系为 $1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ cm}^2/\text{s}(\text{St}) = 10^6 \text{ mm}^2/\text{s}(\text{cSt})$ 如表 1-1 所示为常用液压油的牌号和运动。

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-3)$$

表 1-1 常用液压油的牌号和运动黏度

ISO 3448-92 黏度等级	40℃时运动黏度 (mm^2/s)	现牌号 (GB/T3141—94)	过渡牌号 (1983—1990 年)	旧牌号 (1982 年以前)
ISO VG15	13.5~16.5	15	N15	10
ISO VG22	19.8~24.2	22	N22	15
ISO VG32	28.8~35.2	32	N32	20
ISO VG46	41.4~50.6	46	N46	30
ISO VG68	61.2~74.8	68	N68	40
ISO VG100	90~110	100	N100	60

黏度是液压油的主要性能指标。习惯上使用运动黏度标定液体的黏度。例如，机械油牌号的数值就是其在 40℃ 时的平均运动黏度的数值（单位为 cSt ）。

液压油牌号的编制方法和详细意义可查阅有关的液压手册。

③ 相对黏度 又称为条件黏度，它是采用特定的黏度计在规定条件下测出的液体黏度。我国和

德国等国家采用恩氏黏度 $^{\circ}E$ ，美国采用赛氏黏度，英国采用雷氏黏度。恩氏黏度 $^{\circ}E$ 采用恩氏黏度计测定。将 200mL 的被测液体装入黏度计的容器内，均匀加热到某一温度 t ，液体自底部 $\phi 2.8\text{mm}$ 的小孔流尽所需时间为 t_1 ，再测出同一体积的蒸馏水在 20°C 时流过同一小孔所需时间为 t_2 ， t_1 与 t_2 的比值即为被测液体在这一温度 t 时的恩氏黏度 $^{\circ}E_t$ 。

$$^{\circ}E_t = \frac{t_1}{t_2} \quad (1-4)$$

(3) 黏度与压力的关系 液体所受压力增加时，其分子间的距离减小，内聚力增加，黏度也随之略有增大。液压油在中低压系统内，压力变化很小，压力对黏度的影响可以忽略不计。当压力较高（大于 10 MPa）或压力变化较大时，则需要考虑压力对黏度的影响。

(4) 压力与温度的关系 液压油对温度的变化很敏感，温度上升，黏度降低；温度下降，黏度增加。这种油的黏度随温度变化的性质称为黏温特性。图 1-5 所示为几种常用国产液压油的黏度—温度曲线。黏度降低，造成泄漏增加、磨损增加、效率降低等问题；黏度增加，造成流动困难及泵转动不易等问题。如工作时油液温度超过 60°C ，就必须加装冷却器，因为油温在 60°C 以上时，每超过 10°C ，油的劣化速度就会加倍。我们希望液压油的黏温特性好，即黏度随温度的变化越小越好。

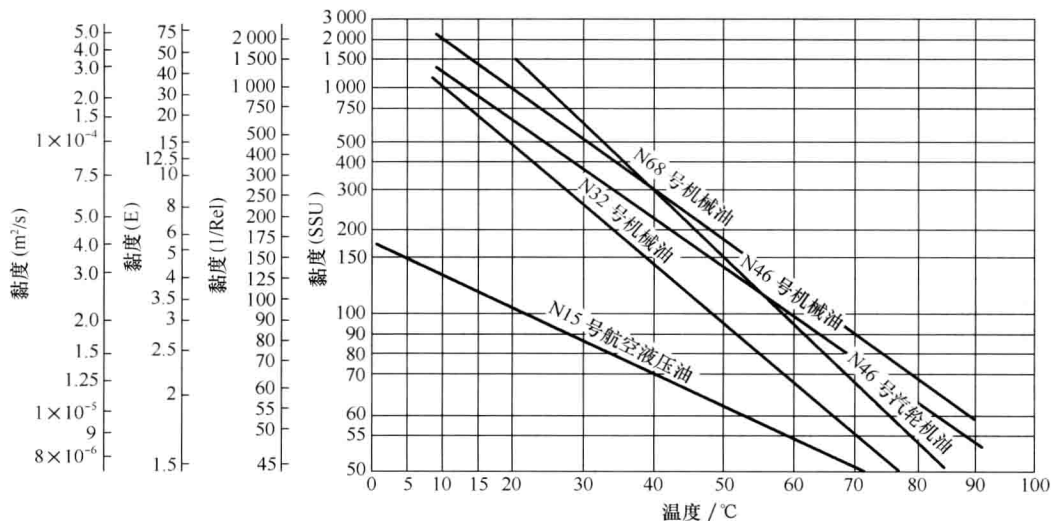


图1-5 几种国产液压油的黏度—温度曲线

3. 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。液压油的可压缩性是钢的 100~150 倍，即与木材的压缩性相当。压缩性会降低运动的精度，增大压力损失，而使油温上升，在压力信号传递时，会有时间延迟，响应不良等现象。

液压油还有其他一些性质，如稳定性、抗泡沫性、抗乳化性、抗燃性、防锈性、润滑性以及相容性等。这些性质是通过在液压油中加入各种添加剂来实现的。

三、液压油的种类

液压油主要有矿物油型、乳化型、合成型 3 大类。

1. 矿物油型液压油

矿物油型液压油主要由石油炼制而成，并添加了抗氧化剂和防锈剂等添加剂，是用途最广的一种液压油。其缺点是耐火性差，不能用在高温、易燃、易爆的场合。

2. 乳化型液压油

乳化型液压油抗燃性好，主要用于有起火危险的场合及大容量系统。其包含水包油型和油包水型两种类型。水包油型的价格便宜，但润滑性差，会侵蚀油封和金属；油包水型抗磨防锈性好，又具有抗燃性，但稳定性较差。

3. 合成型液压油

合成型液压油是一种化学合成溶剂。其性能良好，具有以上两种类型的优点。

四、液压油的选用

液压油有很多种类，可根据不同的使用场合选用合适的类型。在类型确定的情况下，最主要考虑的是所选油液的黏度。选择液压油时应主要考虑如下因素。

1. 系统的工作压力

选择液压油时，应根据液压系统工作压力的大小选用。通常，当工作压力较高时，宜选用黏度较高的油，以免系统泄漏过多，效率过低；工作压力较低时，可以用黏度较低的油，这样可以减少压力损失。例如，当压力 $p=7\sim 20$ MPa 时，可选用 N46~N100 的液压油；当压力 $p < 7$ MPa 时，可选用 N32~N68 的液压油。

凡在中、高压系统中使用的液压油还应具有良好的抗磨性。

2. 执行元件的运动速度

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。反之采用较高黏度的液压油。

3. 工作环境温度

工作环境温度高时，为了减少泄漏，宜选用黏度较高的液压油。环境温度低时，宜选用黏度较低的液压油。

4. 液压泵的类型

液压泵是液压系统的重要元件，在系统中它的运动速度、压力和温升都较高，工作时间又长，因而对黏度要求较严格。所以选择黏度时应首先考虑到液压泵。否则，会造成泵磨损快，容积效率降低，甚至可能破坏泵的吸油条件。在一般情况下，可将液压泵对液压油黏度的要求作为选择液压油的基准。液压泵所用金属材料对液压油的抗氧化性、抗磨性、水解安定性也有一定要求。按液压泵的要求确定液压油的标准，可参见表 1-2。

表 1-2 各类液压泵推荐用油

名称	黏度范围 (mm ² /s)		工作压力 (MPa)	工作温度 (°C)	推荐用油		
	允许	最佳					
叶片泵 (1200r/min)	16~220	26~54	7	5~40	L-HM 液压油 32, 46, 68		
				40~80			
7 以上			5~40	L-HM 液压油 46, 68, 100			
			40~80				
齿轮泵	4~220	25~54	12 以下	5~40	L-HL 液压油 32, 46, 68		
				40~80			
			12 以上	5~40	L-HM 液压油 46, 68, 100, 150		
				40~80			
柱 塞 泵	径向	10~65	14~35	5~40	L-HM 液压油 32, 46, 68, 100, 150		
				40~80			
	轴向		4~76	16~47	35 以上	5~40	L-HM 液压油 32, 46, 68, 100, 150
						40~80	
螺杆泵	19~49		10.5 以上	5~40	L-HL 液压油 32, 46, 68		
				40~80			

注：液压油牌号 L-HM32 的含义是，L 表示润滑剂，H 表示液压油，M 表示抗磨型，黏度等级为 VG32。

五、液压油的污染与控制

液压油的污染是液压系统发生故障的主要原因。液压系统所有故障中 80% 以上是由液压油的污染造成的。即使是新油往往也含有许多污染物颗粒，甚至可能会比高性能液压系统允许的多 10 倍。因此正确使用液压油，做好液压油的管理和防污染工作是保证液压系统工作可靠性，延长液压元件使用寿命的重要手段。

1. 污染的主要原因

污染物的来源是多方面的，总体来说可分为系统内部残留、内部生成和外部侵入 3 种。造成油液污染的主要原因有以下几点。

(1) 液压油虽然是在比较清洁的条件下精炼和调制成的，但在油液运输和储存过程中会受到管道、油桶、油罐的污染。

(2) 液压系统和液压元件在加工、运输、存储、装配过程中灰尘、焊渣、型砂、切屑、磨料等残留物造成污染。

(3) 液压系统运行中由于油箱密封不完善以及元件密封装置损坏、不良而由系统外部侵入的灰尘、砂土、水分等污染物造成污染。

(4) 液压系统运行过程中产生污染物。金属及密封件因磨损而产生的颗粒、通过活塞杆等处进入系统的外界杂质、油液氧化变质的生成物也都会造成油液的污染。