

四川省示范性高职院校建设项目成果  
校企合作共同编写，与企业对接，实用性强

# 液压与气动技术

主 编 章 鸿

副主编 熊征伟 邓 陶 何 为 张永娟

主 审 杨华明

西南交通大学出版社

·成都·

## 内容简介

本书主要介绍了液压传动与气压传动两部分内容。全书采用模块化设计，共分为4个模块：模块1 液压传动基础，包括单元1 液压系统概述、单元2 液压传动基本理论；模块2 液压元件，包括单元3 液压泵、单元4 液压缸与液压马达、单元5 液压阀、单元6 液压辅助元件；模块3 液压回路，包括单元7 液压基本回路、单元8 典型液压系统；模块4 气压传动，包括单元9 气压传动概述、单元10 气动元件、单元11 气动回路及应用实例。

针对高职高专学生特点，本书每个单元后附有思考题；另外附录中列出了常用液压与气动元件图形符号，以供参考。

本书可作为高职高专机电类与近机类专业教材，同时也适用于各类函授、培训机构使用，还可作为从事液压与气动技术工作一线工人的学习参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

液压与气动技术 / 章鸿主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2015.10  
ISBN 978-7-5643-4315-6

I. ①液… II. ①章… III. ①液压传动 - 高等职业教育 - 教材②气压传动 - 高等职业教育 - 教材 IV.  
①TH137②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 228200 号

---

## 液压与气动技术

主编 章 鸿

责任编辑 李 伟  
特邀编辑 张芬红  
封面设计 米迦设计工作室

---

出版发行 西南交通大学出版社  
(四川省成都市金牛区交大路 146 号)  
发行部电话 028-87600564 028-87600533  
邮政编码 610031  
网 址 <http://www.xnjdcbs.com>

---

印 刷 四川森林印务有限责任公司  
成品尺寸 185 mm × 260 mm  
印 张 13.75  
字 数 342 千  
版 次 2015 年 10 月第 1 版  
印 次 2015 年 10 月第 1 次  
书 号 ISBN 978-7-5643-4315-6  
定 价 32.00 元

---

课件咨询电话: 028-8700533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

# 序

2014年6月23至24日，全国第七次职业教育工作会议在北京召开，中共中央总书记、国家主席、中央军委主席习近平就加快职业教育发展作出重要指示。他强调，职业教育是国民教育体系和人力资源开发的重要组成部分，是广大青年打开通往成功成才大门的重要途径，肩负着培养多样化人才、传承技术技能、促进就业创业的重要职责，必须高度重视、加快发展。

在国家大力发展职业教育、创新人才培养模式的新形势下，加强高职院校教材建设及课程资源建设，是深化教育教学改革和全面培养技术技能人才的前提和基础。

近年来，四川信息职业技术学院坚持走“根植信息产业、服务信息社会”的特色发展之路，始终致力于打造西部电子信息高端技术技能人才培养高地，立志为电子信息产业和区域经济社会发展培养技术技能人才。在省级示范性高等职业院校建设过程中，学院通过联合企业全程参与教材开发与课程建设，组织编写了涉及应用电子技术、软件技术、计算机网络技术、数控技术四个示范建设专业的具有较强指导作用和较高现实价值的系列教材。

在编著过程中，编著者基于“理实一体”“教学做一体化”的基本要求，秉承新颖性、实用性、开放性的基本原则，以校企联合为依托，基于工作过程系统化课程开发理念，精心选取教学内容、优化设计学习情境，最终形成了这套示范系列教材。本套教材充分体现了“企业全程参与教材开发、课程内容与职业标准对接、教学过程与生产过程对接”的基本特点，具体表现在：

一是编写队伍体现了“校企联合、专兼结合”。教材以适应技术技能人才培养为需求，联合四川军工集团零八一电子集团、联想集团、四川长征机床集团有限公司、宝鸡机床集团有限公司等知名企业全程参与教材开发，编写队伍既有企业一线技术工程师，又有学校的教授、副教授，专兼搭配。他们既熟悉国家职业教育形势和政策，又了解社会和行业需求；既懂得教育教学规律，又深谙学生心理。

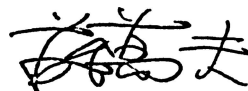
二是内容选取体现了“对接标准，立足岗位”。教材编写以国家职业标准、行业标准为指南，有机融入了电子信息产业链上的生产制造类企业、系统集成企业、应用维护企业或单位的相关技术岗位的知识技能要求，使课程内容与国家职业标准和行业企业标准有机融合，学生通过学习和实践，能实现从学习者向从业者能力的递进。突出了课程内容与职业标准对接，使教材既可以作为学校教学使用，也可作为企业员工培训使用。

三是内容组织体现了“项目导向、任务驱动”。教材基于工作过程系统化理念开发，采用“项目导向、任务驱动”方式组织内容，以完成实际工作中的真实项目或教学迁移项目为目标，通过核心任务驱动教学。教学内容融基础理论、实验、实训于一体，注重培养学生安全意识、团队意识、创新意识和成本意识，做到了素质并重，能让学生在模拟真实的工作环境中学习和实践，突出了教学过程与生产过程对接。

四是配套资源体现了“丰富多样、自主学习”。本套教材建设有配套的精品资源共享课程（见 <http://www.scitc.com.cn/>），配置教学文档库、课件库、素材库、习题及试题库、技术资料库、工程案例库，形成了立体化、资源化、网络化的开放式学习平台。

尽管本套教材在探索创新中还存在有待进一步提升之处，但仍不失为一套针对高职电子信息类专业的好教材，值得推广使用。

此为序。



四川省高职高专院校  
人才培养工作委员会主任

# 前 言

“液压与气动技术”是工科高职高专机械类与近机类专业开设的一门必修课程，无论对学生的思维素质、创新能力、科学精神以及在工作中解决实际问题的能力的培养，还是对后继课程的学习，都具有十分重要的作用。

本书是精品资源开放课程“液压与气动技术”的配套教材，在编写过程中充分考虑了教材的科学性与实用性，主要突出以下特点：

(1) 在内容编排上，注重理论联系实际，注意引用新技术成果，突出高职高专教育特点，以高职学生“必须、够用、实用”为度，力求做到少而精。

(2) 采用大量的图示和表格来说明问题，清晰明了、通俗易懂。

(3) 着眼于学生在应用能力方面的培养，强化了液压系统安装与维护方面的知识，弱化了复杂的设计计算。

(4) 全面贯彻国家标准，液压与气动的图形符号严格执行现行最新的国家标准(GB/T 786.1—2009)。

(5) 本书配有全套的教学资源，包括动画、视频、电子教案、考核题库、案例库等。

本书由学校骨干教师及企业技术骨干组成的团队共同编写；由四川信息职业技术学院章鸿担任主编，四川信息职业技术学院熊征伟、邓陶、何为、张永娟担任副主编。单元1、2、3由四川信息职业技术学院熊征伟及中航工业凯天电子股份有限公司周春江共同编写，单元4由四川信息职业技术学院张永娟及宜宾普什集团有限公司聂剑共同编写，单元5、6由四川信息职业技术学院何为及宜宾普什集团有限公司聂剑共同编写，单元7、8由四川信息职业技术学院邓陶及浙江天煌科技实业有限公司杜迎春共同编写，单元9、10、11由四川信息职业技术学院章鸿及浙江天煌科技实业有限公司郭存宝共同编写。全书由章鸿负责统稿，由四川信息职业技术学院杨华明负责主审。

由于编者水平有限，编写时间仓促，书中难免有疏漏之处，敬请使用本书的教师和广大读者批评指正。

编 者

2015年7月

## 目 录

模块 1 液压传动基础	1
单元 1 液压系统概述	1
1.1 液压传动的工作原理及组成	1
1.2 液压传动的优缺点及应用和发展	4
1.3 液压油	7
单元 2 液压传动基本理论	14
2.1 液体静力学基础	14
2.2 液体动力学基础	17
2.3 液流的压力损失	20
2.4 小孔和缝隙的流量	23
2.5 气穴现象和液压冲击	26
模块 2 液压元件	28
单元 3 液压泵	28
3.1 液压泵概论	28
3.2 齿轮泵	32
3.3 叶片泵	36
3.4 柱塞泵	42
3.5 液压泵的选用与维护	46
单元 4 液压缸与液压马达	49
4.1 液压缸的类型与结构	49
4.2 液压缸的设计	55
4.3 液压马达	63
4.4 液压缸、液压马达的使用与维护	67
单元 5 液压阀	71
5.1 液压阀概述	71
5.2 方向控制阀	72
5.3 压力控制阀	81
5.4 流量控制阀	88
5.5 液压阀的使用与维护	93
单元 6 液压辅助元件	100
6.1 过滤器	100
6.2 蓄能器	104
6.3 油 箱	106
6.4 热交换器	108
6.5 连接件	110
6.6 密封装置	113
模块 3 液压基本回路	117
单元 7 液压基本回路概述	117

7.1 方向控制回路	117
7.2 压力控制回路	120
7.3 速度控制回路	128
7.4 多缸工作控制回路	140
单元 8 典型液压回路	146
8.1 液压系统图的阅读和分析方法	146
8.2 组合机床动力滑台液压系统	147
8.3 SZ-250 塑料注射成型机液压传动系统	150
模块 4 气压传动	158
单元 9 气压传动概述	158
9.1 气压传动系统的工作原理及组成	158
9.2 气压传动的特点	160
9.3 气动技术的应用与发展趋势	161
单元 10 气动元件	165
10.1 气源装置	165
10.2 气动执行元件	172
10.3 气动控制元件	177
10.4 气动逻辑元件	186
单元 11 气动回路及应用实例	190
11.1 气动基本回路	190
11.2 工件夹紧气压传动系统	195
11.3 数控加工中心气动换刀系统	197
参考文献	199
附录 常用液压与气动元件图形符号 (摘自 GB/T 786.1—2009)	200



# 模块 1 液压传动基础

## 单元 1 液压系统概述

### 1.1 液压传动的工作原理及组成

流体传动是以流体为工作介质进行能量转换、传递和控制传动。它包括液压传动、液力传动和气压传动。液压传动和液力传动均是以液体作为工作介质来进行能量传递的传动方式。

#### 1.1.1 液压传动的工作原理

简单机床液压传动系统的工作过程，就是液压传动系统传动工作原理的真实写照。下面以液压千斤顶和机床液压传动系统为例来说明液压传动的工作原理。

#### 1. 液压千斤顶

液压千斤顶工作原理图如图 1-1 所示，大液压缸 9 和大活塞 8 组成举升液压缸；杠杆 1、小液压缸 2、小活塞 3、单向阀 4 和 7 组成手动液压泵。

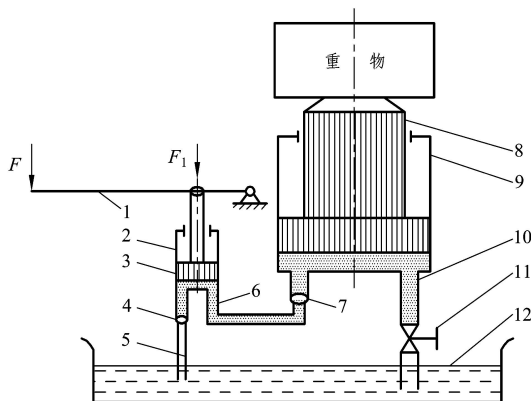


图 1-1 液压千斤顶工作原理图

1—杠杆；2—小液压缸；3—小活塞；4，7—单向阀；5—吸油管；6，10—管道；  
8—大活塞；9—大液压缸；11—截止阀；12—油箱

其工作原理如下：

(1) 如提起手柄使小活塞向上移动，小活塞下端油腔容积增大，形成局部真空，这时单向阀 4 打开，通过吸油管 5 从油箱 12 中吸油。

(2) 用力压下杠杆手柄，小活塞下移，小缸体下腔的压力升高，单向阀 4 关闭，单向阀 7 打开，小缸体下腔的油液经管道 6 输入大缸体 9 的下腔，迫使大活塞 8 向上移动，顶起重物。

(3) 再次提起手柄吸油时，举升缸下腔的压力油将试图倒流入手动泵内，但此时单向阀 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，就能不断地把油液压入举升缸的下腔，使重物逐渐升起。

(4) 如果打开截止阀 11，举升缸下腔的油液通过管道 10、截止阀 11 流回油箱，大活塞在重物和自重作用下向下移动，回到原始位置。

对液压千斤顶的液压传动工作过程进行分析得出以下结论：

(1) 力的传递遵循帕斯卡原理，运动的传递遵照容积变化相等的原则，压力和流量是液压传动中的两个最基本的参数。

(2) 液压传动系统的工作压力取决于负载。

(3) 液压缸的运动速度取决于流量。

(4) 传动必须在密封容器内进行，而且容积要发生变化。

(5) 传动过程中必须经过两次能量转换。

## 2. 机床工作台

图 1-2 所示为一台简化的机床工作台液压传动系统，通过它可以进一步了解一般的液压传动系统应具备的基本性能和组成。

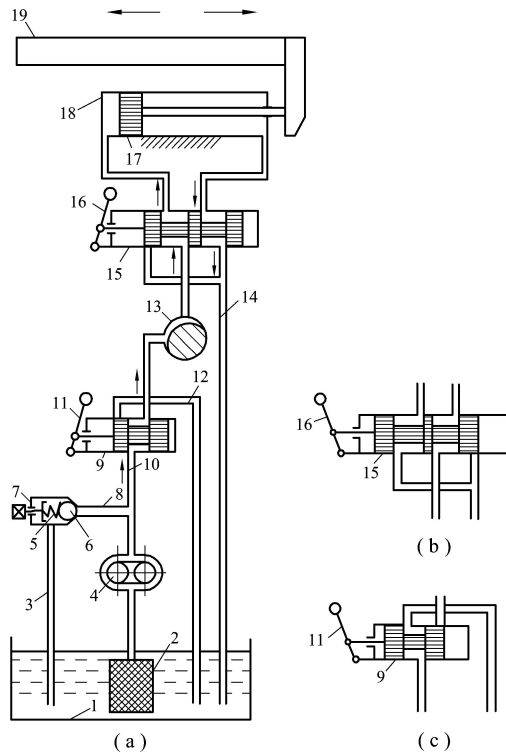


图 1-2 机床工作台液压传动系统

1—油箱；2—过滤器；3, 12, 14—回油管；4—液压泵；5—弹簧；6—钢球；7—溢流阀；

8, 10—压力油管; 9—手动换向阀; 11, 16—换向手柄; 13—节流阀;  
15—换向阀; 17—活塞; 18—液压缸; 19—工作台

(1) 液压泵 4 在电动机 (图中未画出) 的带动下旋转, 油液由油箱 1 经过滤器 2 被吸入液压泵, 而液压泵输入的压力油通过手动换向阀 9、节流阀 13、换向阀 15 进入液压缸 18 的左腔, 推动活塞 17 和工作台 19 向右移动, 液压缸 18 右腔的油液经换向阀 15 排回油箱。以上是换向阀 15 转换成如图 1-2 (a) 所示的位置。

(2) 如果将换向阀 15 转换成如图 1-2 (b) 所示的位置, 则压力油进入液压缸 18 的右腔, 推动活塞 17 和工作台 19 向左移动, 液压缸 18 左腔的油液经换向阀 15 排回油箱。工作台 19 的移动速度由节流阀 13 来调节。当节流阀开大时, 进入液压缸 18 的油液增多, 工作台的移动速度增大; 当节流阀关小时, 工作台的移动速度减小。液压泵 4 输出的压力油除了进入节流阀 13 以外, 其余的经过溢流阀 7 流回油箱。

(3) 手动换向阀 9 处于图 1-2 (c) 所示的状态, 液压泵输出的油液经手动换向阀 9 流回油箱, 这时工作台停止运动, 液压系统处于卸荷状态。

对机床工作台的液压传动工作过程进行分析得出以下结论:

(1) 液压传动是以液体作为工作介质来进行能量传递的一种传动形式, 通过能量转换装置 (液压泵), 将原动机的机械能转变为液体的压力能, 然后通过封闭管道、控制元件等, 由另一能量装置 (液压缸、液压马达) 将液体的压力能转变为机械能, 驱动负载实现执行机构的直线或旋转运动。

(2) 工作介质是在受控制、受调节的状态下工作的, 传动和控制难以分开。

(3) 液压系统的压力是靠液压泵对液压油的推动与负载对油的阻尼所产生的。

(4) 工作台运动方向由换向阀控制, 工作台的速度大小由节流阀控制。

(5) 泵输出的多余油液经溢流阀流回油箱, 因此泵出口压力是由溢流阀决定的, 液压传动过程中经过两次能量转换。

## 1.1.2 液压传动的系统组成

从以上两个液压系统可以看到, 液压传动系统的组成部分有以下 5 个方面, 如图 1-3 所示, 其关系及各部分的功用如下:

### 1. 动力元件

动力元件将机械能转变成油液的压力能, 是液压系统的核心。最常见的动力元件是液压泵, 它给液压系统提供压力油, 使整个系统能够动作起来。

### 2. 执行元件

执行元件将油液的压力能转变成机械能, 并对外做功, 如液压缸、液压马达。

### 3. 控制元件

控制元件是控制和调节液压系统中油液的压力、流量和流动方向的装置, 如换向阀、节流阀、溢流阀等。

#### 4. 辅助元件

辅助元件是除上述三项以外的其他装置，如过滤器、油管、油箱、接头等。辅助元件保证系统稳定持久地工作。

#### 5. 工作介质

工作介质是液压油或其他合成液体，是传递能量的媒介。

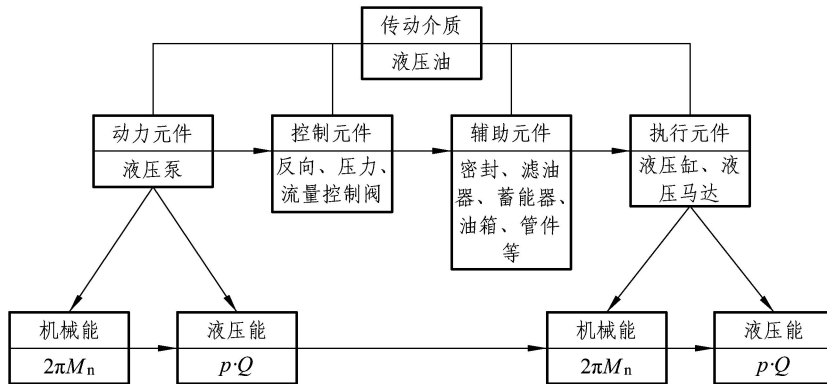


图 1-3 液压系统的组成及功能分析图

### 1.1.3 液压传动系统的图形符号

图 1-2 所示的液压系统图是一种半结构式的工作原理图。它直观性强，容易理解，但难于绘制。在实际工作中，除少数特殊情况外，一般都采用 GB/T 786.1—2009 所规定的液压与气动图形符号（参见附录）来绘制，如图 1-4 所示。使用图形符号既便于绘制，又可使液压系统简单明了。

说明：

(1) 图形符号表示元件的功能。

(2) 图形符号不表示元件的具体结构和参数。

(3) 图形符号反映各元件在油路连接上的相互关系，不反映其空间安装位置。

(4) 图形符号只反映静止位置或初始位置的工作状态，不反映其过渡过程。

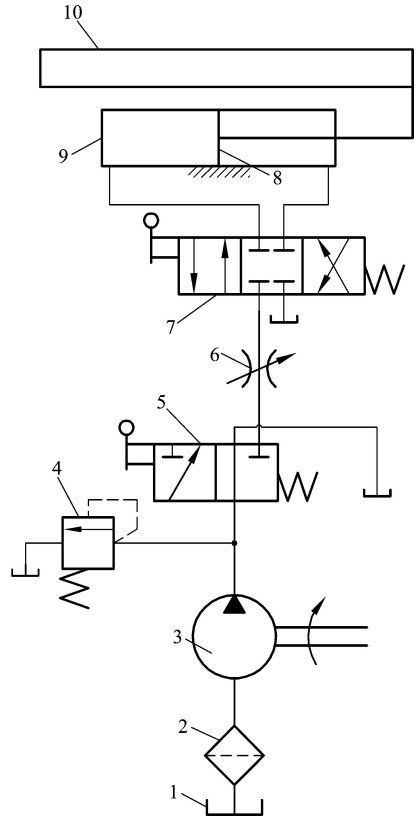


图 1-4 机床工作液压系统的图形符号

1—油箱；2—过滤器；3—液压泵；4—溢流阀；  
5—手动换向阀；6—节流阀；7—换向阀；  
8—活塞；9—液压缸；10—工作台

## 1.2 液压传动的优缺点及应用和发展

### 1.2.1 液压传动的优缺点

液压传动与机械传动、电气传动、气压传动等相比较，具有以下优缺点：

#### 1. 液压传动的优点

(1) 在同等功率情况下，液压执行元件体积小、质量轻、结构紧凑。例如，同功率液压马达的质量只有电动机的 1/6 左右。

(2) 液压传动的各种元件，可根据需要方便、灵活地来布置。

(3) 液压装置工作比较平稳，由于质量轻、惯性小、反应快，液压装置易于实现快速启动、制动和频繁换向。

(4) 操纵控制方便，可实现大范围的无级调速（调速范围达 2 000 : 1），它还可以在运行的过程中进行调速。

(5) 一般采用矿物油为工作介质，相对运动面可自行润滑，使用寿命长。

(6) 容易实现直线运动、回转运动。

(7) 既易实现机械的自动化，又易实现过载保护，当采用电液联合控制甚至计算机控制后，可实现大负载、高精度、远程自动控制。

(8) 液压元件实现了标准化、系列化、通用化，便于设计、制造和使用。

## 2. 液压传动的缺点

(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) 工作性能易受温度变化的影响，因此不宜在很高或很低的温度条件下工作。

(3) 由于流体流动的阻力损失和泄漏较大，所以效率较低。如果处理不当，泄漏不仅污染场地，而且可能引起火灾和爆炸事故。

(4) 为了减少泄漏，液压元件在制造精度上要求较高，因此它的造价高，且对油液的污染比较敏感。

(5) 液压传动需要有单独的能源（如液压泵站），液压能不能像电能那样从远处传来。

(6) 液压传动装置出现故障时不易追查原因，不易迅速排除。

总的来说，液压传动的优点突出，它的一些缺点现已大为改善，有的将随着科学技术的发展而进一步得到克服。

### 1.2.2 液压传动技术的发展概况

相对于机械传动来说，液压传动是一门新学科。从 17 世纪中叶帕斯卡提出静压传动原理，18 世纪末英国制成第一台水压机算起，液压传动技术已有几百年的历史。只是由于早期技术水平和生产需求的不足，液压传动技术没有得到普遍应用。随着科学技术的不断发展，对传动技术的要求越来越高，液压传动技术得到了不断发展。特别是在第二次世界大战期间及战后，由于军事及建设需求的刺激，液压传动技术日趋成熟。

第二次世界大战成功地将液压传动装置用于舰艇炮塔转向器，其后出现了液压六角车床和磨床。第二次世界大战期间，随着功率大、反应快、动作准的液压传动和控制装置在兵器上的广泛应用，兵器的性能得到了很大的提高，同时也大大促进了液压技术的发展。第二次世界大战后，液压技术迅速转向民用，并随着各种标准的不断制定和完善及各类元件的标准化、规格化、系列化，使其在机械制造，工程机械、农业机械和汽车制造等行业中推广开来。近 30 年来，原子能技术、航空航天技术、控制技术、材料科学和微电子技术等学科的发展，再次使液压技术得到进一步发展，使它发展成为包括传动、控制、检测在内的一门完整的自动化技术，在国民经济的各个部门都得到了应用。如今采用液压传动的程度已成为衡量一个国家工业化程度的重要标志之一。

### 1.2.3 液压传动的应用及发展方向

#### 1. 液压传动的广泛应用

在工业生产的各个部门应用液压传动技术的出发点不尽相同。例如，工程机械、矿山机械、压力机械和航空工业中采用液压传动的主要原因是其结构简单、体积小、质量轻、输出功率大；机床上采用液压传动是取其能在工作过程中方便地实现无级调速，易于实现频繁换向，易于实现自动化。表 1-1 是液压传动在各行业中的应用实例。

表 1-1 液压传动在各行业中的应用

行业名称	应用场合举例
机床工业	磨床、铣床、刨床、拉床、压力机、自动机床、组合机床、数控机床、加工中心等
工程机械	挖掘机、装载机、推土机等
汽车工业	自卸式汽车、平板车、高空作业车等
农业机械	联合收割机的控制系统、拖拉机的悬挂系统等
轻工机械	打包机、注塑机、校直机、橡胶硫化机、造纸机等
冶金机械	电炉控制系统、轧钢机控制系统等
起重运输机械	起重机、叉车、装卸机械、液压千斤顶等
矿山机械	开采机、提升机、液压支架、采煤机等
建筑机械	打桩机、平地机等
船舶港口机械	起货机、锚机、舵机等
铸造机械	砂型压实机、加料机、压铸机等

## 2. 液压传动的发展方向

(1) 液压传动正向着高压、高速、大功率、高效、低噪声、经久耐用、高度集成化的方向发展。

(2) 与计算机科学相结合。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)、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相结合。

(3) 与其他相关科学结合。如污染控制技术和可靠性技术等方面也是当前液压技术发展和研究的方向。

(4) 开辟新的应用领域。

## 1.3 液压油

液压油是液压传动系统中的传动介质，而且还对液压装置的机构、零件起润滑、冷却和防锈作用。液压传动系统的压力、温度和流速在很大范围内变化，因此液压油的质量优劣直接影响液压系统的工作性能。因此，合理地选用液压油也是很重要的。

### 1.3.1 液压油的性质

#### 1. 密度

单位体积液体的质量称为该液体的密度，用  $\rho$  表示，即

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

液体的密度随温度的升高而下降，随压力的增加而增大。对于液压传动中常用的液压油（矿物油）来说，在常用的温度和压力范围内，密度变化很小，可视为常数。在计算时，常取 15 °C 时的液压油密度  $\rho=900 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

## 2. 可压缩性

液体受压力作用而发生体积减小的特性称为液体的可压缩性。一般中、低压液压系统，其液体的可压缩性很小，可认为液体是不可压缩的。只有在研究液压系统的动态特性和高压情况下，才考虑油液的可压缩性。但是，若液压油中混入空气，其可压缩性将显著增加，并将严重影响液压系统的工作性能，故在液压系统中应尽量减少油液中的空气含量。

## 3. 黏 性

### (1) 黏性的意义。

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进行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黏性。由于液体具有黏性，当流体发生剪切变形时，流体内就产生阻滞变形的内摩擦力，由此可见，黏性表征了流体抵抗剪切变形的能力。处于相对静止状态的流体中不存在剪切变形，因而也不存在变形的抵抗，只有当运动流体流层间发生相对运动时，流体对剪切变形的抵抗，也就是黏性才表现出来。黏性所起的作用为阻滞流体内部的相互滑动，在任何情况下它都只能延缓滑动的过程而不能消除这种滑动。液体的黏性示意图如图 1-5 所示。

内摩擦力表达式如下：

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

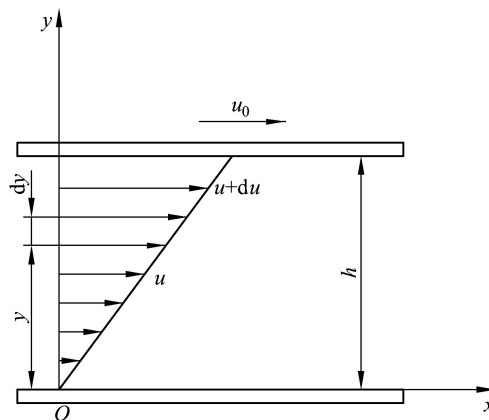


图 1-5 液体黏性示意图

牛顿液体内摩擦定律：液层间的内摩擦力  $F$  与液层接触面积  $A$  及液层之间的相对运动速度  $du$  成正比，而与液层间的距离  $dy$  成反比。 $\mu$  是比例系数，也称为液体的黏性系数或动力



黏度。

因为液体静止时， $\frac{du}{dy} = 0$ ，所以液体在静止状态时不呈现黏性。

黏性的大小用黏度表示。黏度可分为绝对黏度和相对黏度，绝对黏度包括动力黏度和运动黏度。

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-3)$$

$$\mu = \tau \frac{dy}{du} (\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2) \quad (1-4)$$

动力黏度是液体在单位速度梯度下流动时，接触液层间单位面积上的内摩擦力。

动力黏度单位，在国际单位（SI制）中为帕秒（Pa·s）或牛顿秒每平方米（N·s/m<sup>2</sup>）。

（2）运动黏度。

动力黏度  $\mu$  与液体密度  $\rho$  的比值叫作运动黏度，用  $\nu$  表示。

运动黏度没有明确的物理意义，其单位中只有长度和时间的量纲（m<sup>2</sup>/s），类似于运动学的量，故称为运动黏度。工程中常用运动黏度（ $\nu$ ）作为液体黏度的标志。液压油的牌号就是用液压油在 40 °C 时的运动黏度平均值来表示的。

运动黏度的法定计量单位（IS制）为 m<sup>2</sup>/s；以前沿用的非法定计量单位（CGS制）为 St（斯）、cSt（厘斯）。它们之间的换算关系为

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

例如，牌号为 L-HL32 的液压油，指这种油在 40 °C 时的运动黏度平均值为 32 mm<sup>2</sup>/s。

（3）黏温特性和黏压特性。

黏度随着压力的变化而变化的特性叫作黏压特性。液体的压力增大时，分子间的距离缩小，内聚力增大，其黏度值也随之增大。在一般情况下，压力对黏度的影响较小，可以不考虑。

黏度随着温度的变化而变化的特性叫作黏温特性。液体随温度升高时，分子间的内聚力减小，黏度就随之降低。液压油的黏度对温度的变化比较敏感，不同种类的液压油有不同的黏温特性，图 1-6 为典型液压油的黏温特性曲线。

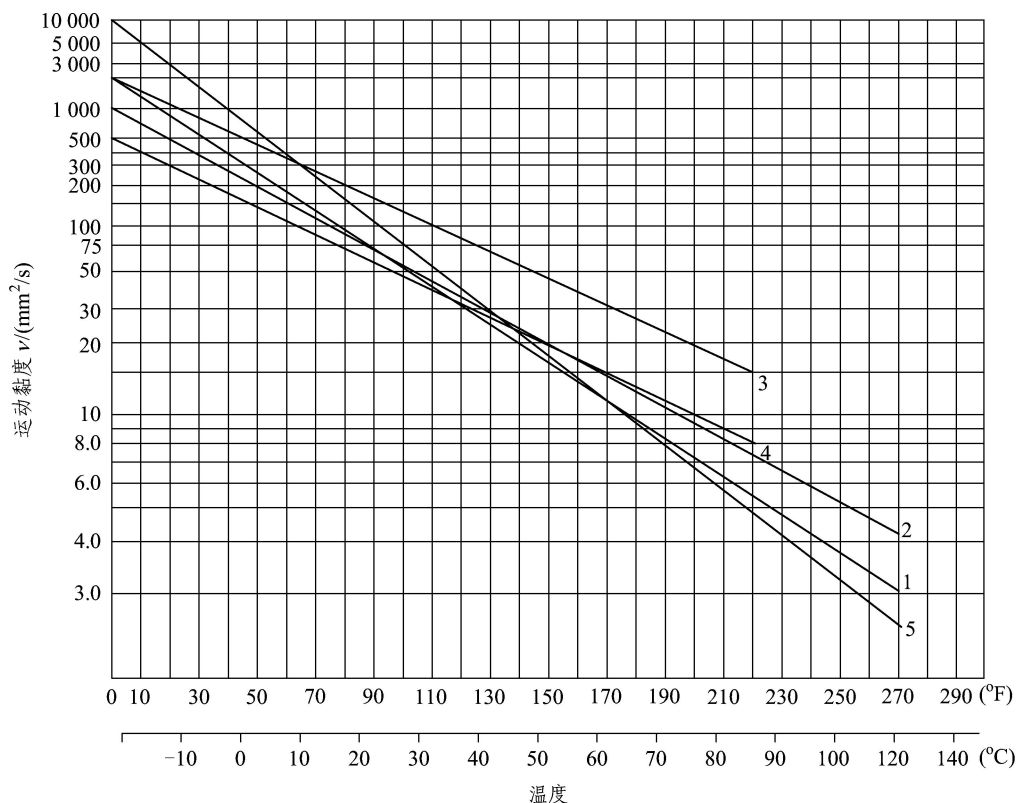


图 1-6 典型液压油的黏温特性曲线

1—矿油型通用液压油；2—矿油型高黏度指数液压油；3—水包油乳化液；  
4—水-乙二醇液；5—磷酸酯液

#### (4) 可压缩性。

液体的可压缩性是指液体受压力作用而发生体积缩小的性质。体积为  $V_0$  的液体，当压力增大  $\Delta p$  时，体积减小  $\Delta V$ ，液体在单位压力变化下的体积相对变化量，称为液体的压缩系数  $k$ ，则  $k = -\frac{1}{\Delta p} \frac{\Delta V}{V_0}$ 。

液体压缩系数  $k$  的倒数  $K$ ，称为液体的体积模量，即  $K = \frac{1}{k}$ 。

一般认为油液不可压缩(因压缩性很小)，若分析动态特性或压力变化很大的高压系统时，则必须考虑可压缩性的影响。

#### (5) 其他性质。

液压油的物理性质：润滑性（在金属摩擦表面形成牢固油膜的能力）、抗燃性、抗凝性、抗泡沫性、抗乳化性、凝点、闪点（明火能使油面上的油蒸气闪燃，但油本身不燃烧的温度）和燃点（使油液能自行燃烧的温度）等。

液压油的化学性质：热稳定性、氧化稳定性、水解稳定性、相容性（对密封材料、涂料等非金属材料的化学作用程度，如不起作用或很少起作用则表示相容性好）和毒性等。

### 1.3.2 液压油的种类

国际标准化组织于 1999 年按照液压油的组成和主要特性编制了 ISO 6743-4—1999《润滑剂、工业润滑油和有关产品（L 类）的分类——第 4 部分：H 组（液压系统）》。我国于 2003 年等效采用上述标准制定了国家标准 GB/T 7631.2—2003。液压油的牌号部分含义如图 1-7 所示。

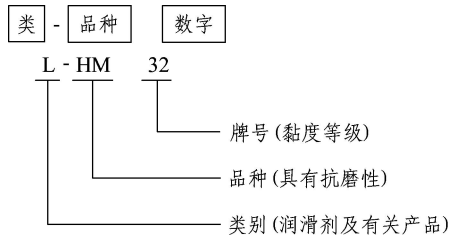


图 1-7 液压油的牌号含义

液压油一般有矿油型、合成型和乳化型三大类，其主要类型及其特性和用途如表 1-2 所示。

表 1-2 液压油的主要类型及其特性和用途

类型	名称	ISO 代号	特性和用途
矿油型	通用液压油	L-HL	精制矿油加添加剂，提高抗氧化和防锈性能，适用于室内一般设备的中低压系统
	抗磨型液压油	L-HM	L-HL 油加添加剂，改善抗磨性能，适用于工程机械、车辆液压系统
	低温液压油	L-HV	L-HV 可用于环境温度为 -40 ~ -20 °C 的高压系统
	高黏度指数液压油	L-HR	L-HL 油加添加剂，改善黏温特性，VI 值达 175 以上，适用于对黏温特性有特殊要求的低压系统，如数控机床液压系统
	液压导轨油	H-HG	L-HM 油加添加剂，改善黏温特性，适用于机床中液压和导轨润滑合用的系统
	全耗系统用油	H-HH	浅度精制矿油，抗氧化性、抗泡沫性较差，主要用于机械润滑，可作液压代用油，用于要求不高的低压系统
	汽轮机油	L-TSA	深度精制矿油加添加剂，改善抗氧化性、抗泡沫性能，为汽轮机专用油，可作液压代用油，用于一般液压系统
乳化型	水包油乳化液	L-HFA	难燃，黏温特性好，有一定的防锈能力，润滑性差，易滑性差，易泄漏，适用于有抗燃要求的中压系统

续表

类型	名称	ISO 代号	特性和用途
乳化型	油包水乳化液	L-HFB	既具有矿油型油的抗磨、防锈性能，又具抗燃性，适用

			于有抗燃的中压系统
合成型	水-乙二醇液	L-HFC	难燃，黏温特性和抗腐蚀性好，能在 - 30 ~ - 60 °C 温度下使用，适用于有抗燃要求的中低压系统
	磷酸酯液	L-HFDR	难燃，润滑抗磨性能和抗氧化性能良好，能在 - 54 ~ - 135 °C 温度下使用，缺点是有毒，适用于有抗燃要求的高压精密系统

### 1.3.3 液压油的使用

液压系统对液压油的要求如下：

- (1) 合适的黏度和良好的黏温特性。一般液压系统所选用的液压油，其运动黏度大多为 13~68 mm<sup>2</sup>/s (40 °C 温度下)。
- (2) 良好的化学稳定性，使用寿命长。
- (3) 良好的润滑性能，以减小元件中相对运动表面的磨损。
- (4) 质地纯净，不含或含有极少量的杂质、水分和水溶性酸碱等。
- (5) 对金属和密封件有良好的相容性。
- (6) 抗泡沫性好，抗乳化性好，腐蚀性小，抗锈性好。
- (7) 体积膨胀系数低，比热容高。
- (8) 凝点和流动点低，闪点和燃点高。
- (9) 对人体无害，对环境污染小，成本低。

### 1. 液压油的选择原则

选择液压油时，首先考虑其黏度是否满足要求，同时兼顾其他方面。选择时应考虑如下因素：

- (1) 液压泵的类型。
- (2) 液压系统的工作压力。
- (3) 运动速度。
- (4) 环境条件 (包括温度、室内、露天、水下等)。
- (5) 防污染的要求。
- (6) 技术经济性 (包括价格、使用寿命、维护保养的难易程度等)。

总之，选择液压油时，一是考虑液压油的品种，二是考虑液压油的黏度。

### 2. 品种和黏度的选用

首先根据工作条件 (工作部件运动速度、工作压力、环境温度) 和液压泵的类型选择液压油品种，然后选择液压油的黏度等级。一般来说，工作部件运动速度慢、工作压力高、环境温度高，宜用黏度较高的液压油 (以降低泄漏)；工作部件运动速度快、工作压力低、环境温度低，宜用黏度较低的液压油 (以降低功率损失)。通常根据液压泵的要求来确定液压油的黏度。表 1-3 列出了各种液压泵合适的用油黏度范围及推荐用油牌号。

表 1-3 液压泵用油的黏度范围及推荐牌号

名称	运动黏度/ ( mm <sup>2</sup> /s )		工作压力/MPa	工作温度/°C	推荐用油
	允许	最佳			
叶片泵	16 ~ 220	26 ~ 54	7	5 ~ 40	L-HH32 , L-HH46
				40 ~ 80	L-HH46 , L-HH68
			>14	5 ~ 40	L-HH32 , L-HH46
				40 ~ 80	L-HH46 , L-HH68
齿轮泵	4 ~ 220	25 ~ 54	<12.5	5 ~ 40	L-HH32 , L-HH46
				40 ~ 80	L-HH46 , L-HH68
			10 ~ 20	5 ~ 40	
				40 ~ 80	L-HM46 , L-HM68
			16 ~ 32	5 ~ 40	
				40 ~ 80	L-HM46 , L-HM68
径向柱塞泵	10 ~ 65	16 ~ 48	14 ~ 35	5 ~ 40	L-HH32 , L-HM68
				40 ~ 80	L-HH46 , L-HM68
轴向柱塞泵	4 ~ 76	16 ~ 47	>35	5 ~ 40	L-HH32 , L-HM68
				40 ~ 80	L-HM68 , L-HM100

### 3 . 使 用

除了合理地选择液压油外，使用中还应注意以下问题：

- (1) 对长期使用的液压油，应使其长期处于低于它开始氧化的温度下工作。
- (2) 在储存、搬运及加注过程中，应防止液压油被污染。
- (3) 对液压油定期抽样检验，并建立定期换油制度。
- (4) 油箱的储油量应充分，以利于液压系统的散热。
- (5) 保持液压系统的密封良好，一旦有泄漏应立即排除。

### 4 . 液压油的污染及其控制

液压油中的污染物来源包括液压装置组装时残留下来的污染物（如切屑、毛刺、型砂、磨粒、焊渣、铁锈等）、从周围环境混入的污染物（如空气、尘埃、水滴等）、在工作过程中产生的污染物（如金属微粒、锈斑、涂料剥离片、密封材料剥离片、水分、气泡以及液压油变质后的胶状生成物等）。

固体颗粒使元件加速磨损，寿命缩短，使泵性能下降，甚至使阀芯卡死，滤油器堵塞；水的浸入不仅会产生气蚀，而且还将加速液压油的氧化，并与添加剂起作用产生黏性胶质，堵塞滤油器；空气的混入将导致泵气蚀及执行元件低速爬行。

为了减少液压油的污染，可采取以下措施：

- (1) 液压元件在加工的每道工序后都应净化，装配后严格清洗。系统在组装前，油箱和管道必须清洗。用机械方法除去残渣和表面氧化物，然后进行酸洗。系统在组装后，用系统

工作时使用的液压油（加热后）进行全面清洗并将清洗后的介质换掉。系统在冲洗时，应设置高效滤油器，并启动系统使元件动作，用铜锤敲打焊口和连接部位。

（2）在油箱呼吸孔上装设高效空气滤清器或采用隔离式油箱，防止尘土、磨料和冷却水的侵入。液压油必须通过滤油器注入系统。

（3）系统应设置过滤器，其过滤精度应根据系统的不同情况来选定。

（4）系统工作时，一般应将液压油的温度控制在  $65^{\circ}\text{C}$  以下。液压油温度过高会加速氧化，产生各种生成物。

（5）系统中的液压油应定期检查和更换，在注入新的液压油前，整个系统必须先清洗一次。

### 思考题

1. 何谓液压传动？液压传动的基本原理是什么？
2. 液压传动由哪几部分组成？各部分的作用是什么？
3. 液压传动的特点及应用是什么？
4. 什么是液体的黏性？液体黏度的主要分类有哪些？