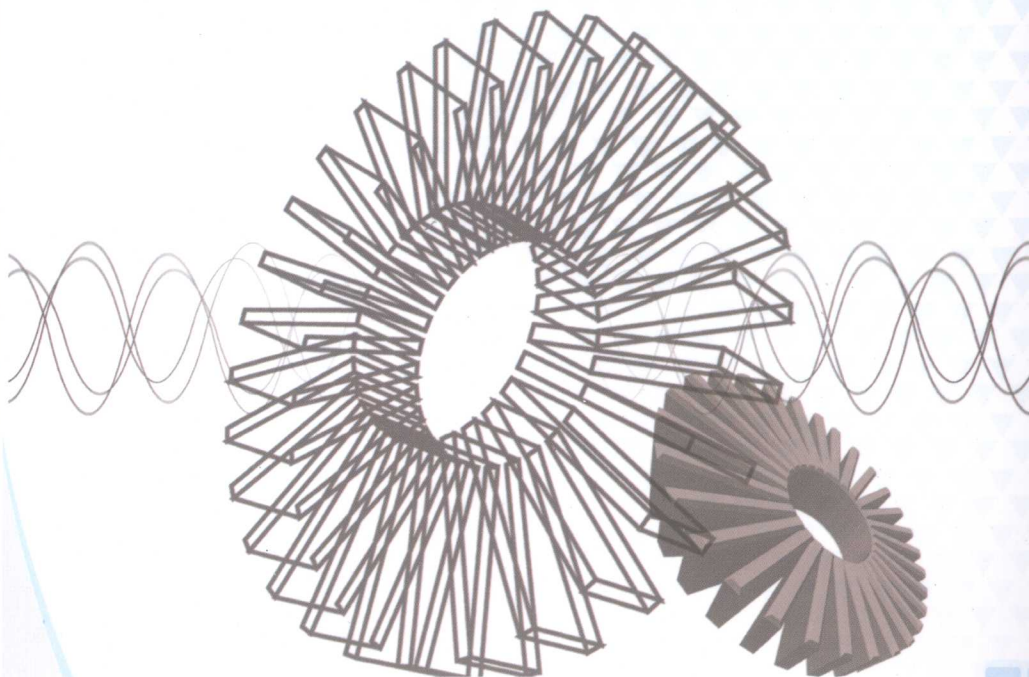




高职高专“十一五”机电一体化专业规划教材

液压与 气压传动

宋新萍 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



本书为高职高专“十一五”机电一体化专业规划教材之一。

本书主要包括：液压传动篇，主要讲述液压传动的基础知识，液压元件的工作原理和基本结构，液压基本回路及其工业应用、常见故障分析；气压传动篇，主要讲述气压传动的基础知识、气压元件的工作原理和基本结构、气压基本回路及其工业应用；机电液气联动篇，通过实例介绍机电液气联动的工业应用。

本书液压传动篇、气压传动篇、机电液气联动篇三篇的内容既有联系，又相互独立，各校可根据需要选用。

本书可作为高等职业技术学院、高等专科学校、成人教育学院等机电类及机械类专业的教学用书，也可供其他相关专业学生及工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

液压与气压传动/宋新萍主编. —北京：机械工业出版社，2008.2

高职高专“十一五”机电一体化专业规划教材

ISBN 978 - 7 - 111 - 23459 - 3

I. 液… II. 宋… 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 017959 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：王海峰 责任编辑：张双国 版式设计：冉晓华

责任校对：魏俊云 封面设计：马精明 责任印制：邓 博

北京京丰印刷厂印刷

2008 年 4 月第 1 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 15 印张 · 370 千字

0 001—4 000 册

标准书号：ISBN 978 - 7 - 111 - 23459 - 3

定价：24.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

销售服务热线电话（010）68326294

购书热线电话：（010）88379639 88379641 88379643

编辑热线电话：（010）88379171

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是高职高专教材,其主要任务是要培养高技能应用型“银领”人才,既要培养学生的动脑能力,更要培养动手能力;既有别于设计型的“白领”,又要有别于生产加工的“蓝领”。

本书分三篇,共九章,除了传统教材包含的液压传动篇、气压传动篇外,还增加了机电液气联动篇。液压传动篇主要讲述液压传动的基础知识、液压元件的工作原理和基本结构、液压基本回路、工业应用及常见故障分析;气压传动篇主要讲述气压传动的基础知识、气压元件的工作原理和基本结构、气压基本回路及其工业应用;机电液气联动篇则通过实例介绍机电液气联动的工业应用。

本书在内容取舍上按照少而精、理论联系实际的原则,为充分体现高职高专教育的特点,基础知识部分以必需、够用为度;避免选用繁琐的理论推导和设计原理内容,注重使用与维护方面的内容,使内容更简洁、实用。应用部分加强针对性和实用性,注意理论教学与实训教学的密切结合,注重学生在应用技术方面的能力的培养;在内容编排上与生产实际紧密联系,选用较为先进、典型的线路和实例,使学生获得实用的技术知识。为便于阅读和理解,介绍元件工作原理时都配以简明的原理图,典型结构图配以新型的结构图;各章节末均附习题,以便于学生课后对学习内容进行巩固。

本书可作为高等职业技术学院、高等专科学校、成人教育学院、职工大学、夜大学、函授大学等大专层次的机电类及机械类专业的教学用书,也可供其他有关专科学校学生、工程技术人员参考。本书液压传动篇、气压传动篇、机电液气联动篇三篇的内容既有联系,又相互独立,各校可根据需要选用。

本书上海工程技术大学由宋新萍任主编,无锡职业技术学院李晓会、李坤任副主编,参加编写工作的还有无锡职业技术学院马俊峰、张豪,无锡柴油机股份有限公司叶艳红。其中,绪论、第一章、第二章、第三章、第五章由宋新萍编写,第四章第一节由李坤编写,第四章第二节由李晓会编写,第六章、第七章、第八章由马俊峰编写,第九章由张豪编写,书内插图由无锡柴油机股份有限公司叶艳红提供。全书由宋新萍统稿。

本书由太原理工大学权龙教授主审,对全稿进行了细致的审阅;无锡柴油机股份有限公司孙腊元对本书的编写大纲、图例选用等都提出了十分宝贵的建议,提出许多修改意见,编者在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,加之时间仓促,本书中难免存在缺点和不足之处,恳切希望同仁和广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

绪论	1
----------	---

液压传动篇

第一章 液压传动基础知识	6	习题	81
第一节 液压传动的工作介质	6	第三章 液压基本回路	82
第二节 液体静力学	12	第一节 压力控制回路	82
第三节 液体动力学	14	第二节 方向控制回路	86
第四节 液体流动时的压力损失	16	第三节 速度控制回路	87
第五节 小孔和缝隙的流量	17	第四节 多缸工作控制回路	96
第六节 液压冲击和气穴现象	18	习题	99
习题	19	第四章 液压系统的工业应用、安装调试及故障分析与排除	101
第二章 液压元件	21	第一节 液压系统的工业应用	101
第一节 液压动力元件	21	第二节 液压系统的安装调试、故障分析与排除	112
第二节 液压执行元件	37	习题	127
第三节 液压控制元件	46		
第四节 液压辅助元件	73		

气压传动篇

第五章 气压传动基础知识	129	第二节 方向控制回路	179
第一节 气压传动的工作介质	129	第三节 速度控制回路	180
第二节 气体状态方程及流动规律	130	第四节 位置控制回路	184
习题	131	第五节 增压、延时控制回路	187
第六章 气动元件	132	第六节 安全启动回路	188
第一节 气源装置	132	第七节 安全保护回路	190
第二节 气动执行元件	139	习题	192
第三节 气动控制元件	145	第八章 气动系统的工业应用	193
第四节 气动辅助元件	164	第一节 气动夹紧系统	193
第五节 真空元件	169	第二节 拉门自动开闭系统	194
习题	177	第三节 液位的气动控制系统	195
第七章 气动基本回路	178	习题	196
第一节 压力控制回路	178		

机电液气一体化篇

第九章 机电液气联动传动系统	197	第一节 电气控制的基础知识	197
-----------------------------	-----	---------------------	-----

第二节 PLC 控制基础	206	附录 A 液压与气动图形符号	
第三节 机电液气联动传动系统		(GB/T 786.1—1993 摘录)	224
应用实例	217	附录 B 液压件生产厂名录表	230
习题	223	参考文献	234
附录	224		

绪 论

一部机器通常由三部分组成，即原动机→传动装置→工作机构。原动机的作用是把各种形态的能量转变为机械能，是机器的动力源；工作机构是利用机械能对外做功，来改变材料或工件的性质、状态或位置，以进行生产或达到其他预定目的的工作装置；传动装置设于原动机和工作机构之间，起传递动力和进行控制的作用。

传动装置的传动类型有：单一传动方式、复合传动方式。

单一传动方式中按照传动所采用的机件或工作介质的不同可分为：机械传动、电力传动、液压传动、气压传动。每种传动方式各有其不同特点、用途和适用范围。

机械传动是通过齿轮、齿条、传动带、链条等机件传递动力和进行控制的一种传动方式，它是发展最早且应用最为普遍的传动形式。其优点是传动准确可靠，制造容易，操作简单，维护简单和传动效率高等。其缺点是一般不能进行无级调速，远距离传动较困难，结构比较复杂等。

电力传动是利用电力设备并调节电参数来传递动力和进行控制的一种传动方式。其主要优点是能量传递方便，信号传递迅速，标准化程度高，易于实现自动化等。缺点是运动平稳性差，易受外界负载的影响，惯性大，起动及换向慢，成本较高，受温度、湿度、振动、腐蚀等环境因素影响较大。为了改善其传动性能，往往与机械、液压或气压传动结合使用。

液压传动是以压缩液体为工作介质，靠液体的压力能通过各种液压元件进行能量转换、传递和控制的一种传动方式。

气压传动是以压缩空气为工作介质进行能量转换、传递和控制的一种传动方式。

复合传动方式有机电复合传动、机液复合传动、电液复合传动、气液复合传动、机电液气复合传动等方式。

本书主要介绍的是液压与气压传动的的基本知识和应用特点，为学生今后更好地掌握和运用传动技术打好基础。

一、液压与气压传动的工作原理和基本特征

帕斯卡原理：在密闭的容器内，施加于静止液体中任一点的压力变化将以等值传递到液体的各点。

对帕斯卡原理，必须注意以下几个方面：

1) 所谓的压力，是指液体中单位面积上的力，即应力，与中学物理所学的压强相似。两者的不同之处在于压强主要考虑的是量值的大小，而压力则是矢量，考虑量值的同时还要考虑方向性。

2) 所谓的密闭容器是指容器中的液体与外界大气完全隔绝。

3) 所谓的任一点的压力变化将以等值传递到液体的各点，强调的是压力的变化量。由于重力的作用等原因，液体中各点的初始压力大小与方向可能各不相同，但外力作用造成任一点的压力变化，将会引起液体中各点都产生同样大小的压力的变化。

4) 所谓的静止液体是指液体在压力变化前后均为静止状态，这是帕斯卡原理成立的一

个重要条件。强调液体静止是为了排除液体流动引起的动能变化的影响。实际生产中的液压系统中的液体并不完全是静止状态的，但实际液压系统中即使液体处于流动状态，当其动能的影响足够小时，仍可使用帕斯卡原理。

帕斯卡原理最经典的应用是用较小的力可以推举较重的物体，即所谓的单位体积输出功率较大。现实生活中常见的液压千斤顶就是这种应用的一种具体形式。

图 0-1 所示为液压千斤顶的工作原理图。当向上提起手动泵杠杆时，杠杆带动活塞向上运动，使活塞下腔容积增大形成局部真空，油箱内的油液在大气压作用下，经吸油管顶开吸油单向阀进入手动泵中；用力压下手动泵杠杆时，手动泵中的油液压力升高，经单向阀压入顶升缸中，再次抬起杠杆时，单向阀自动关闭，使油液不能倒流，在截止阀的共同作用下，顶升缸活塞连同重物一起被锁住不动，停止在举升位置。如此不断地往复扳动杠杆，即可不断地将压力油压入顶升缸下腔，使重物逐渐升起达到要求的工况位置上。按帕斯卡定理解释液压千斤顶的工作原理：在手动泵杠杆上施加一定的作用力，将使手动泵中的油压升高，则顶升缸中的油压也将产生同样大小的压力变化，由于手动泵面积小而顶升缸面积大，顶升缸就可以顶起较重的物体。当重物升到工况位置完成作业后，打开截止阀，顶升缸在重物和自重作用下下移，将顶升缸中的油液通过管道压回油箱，重物回到原始位置。

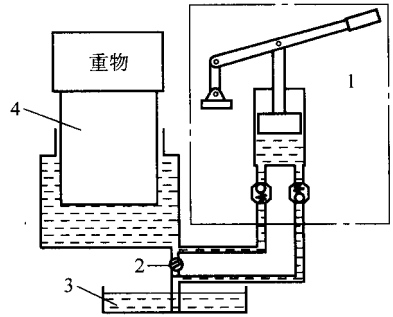


图 0-1 液压千斤顶的工作原理图

1—手动泵（含出油阀、吸油阀）
2—截止阀 3—油箱 4—顶升缸

液压与气压传动的工作原理和基本特征是相似的，是以液体或气体为工作介质，把原动机的机械能先转化成为液体和气体的压力能，再将工作介质的压力能转变为工作机构推动负载运动所需的机械运动和动力。

液压与气压传动是实现能量的转换、传递、分配与运动控制的一种传动技术。

二、液压与气压传动系统的组成

从液压千斤顶这个简单液压工作系统中，可以看出一个正常工作的液（气）压系统主要由以下五个主要部分组成：

（1）动力元件 将原动机输出的机械能转换成工作流体的压力能的装置，一般为液压泵或空气压缩机。如液压千斤顶中的手动泵负责向液压系统提供压力油。

（2）执行元件 将工作流体的压力能重新转变为机械能，推动负载往复直线运动或回转运动的装置，一般为液（气）压缸、液（气）压马达等。如液压千斤顶中的顶升缸负责顶举外部负载。

（3）控制元件 调控液（气）压系统中工作流体的压力、流量、方向的装置，不做能量的转换。这些元件的不同组合能够组成不同功能的液（气）压系统的工作循环，一般为节流阀、换向阀、截止阀等。如液压千斤顶中的截止阀。

（4）辅助元件 上述三种元件之外，保证系统正常工作必不可少的其他元件，在系统中起到输送、贮存、加热、冷却、过滤和测量等作用，它们对保证液（气）压系统工作的可靠、稳定起着重大的作用。一般为油箱、过滤器、油雾器、管路、管接头等。

（5）工作介质 传递能量的流体，即液压油和压缩气体。一个再好的液（气）压系统如

果没有流体，是无法工作的，流体传递了能量，称为工作介质。

液压与气压传动系统的组成如图 0-2 所示。

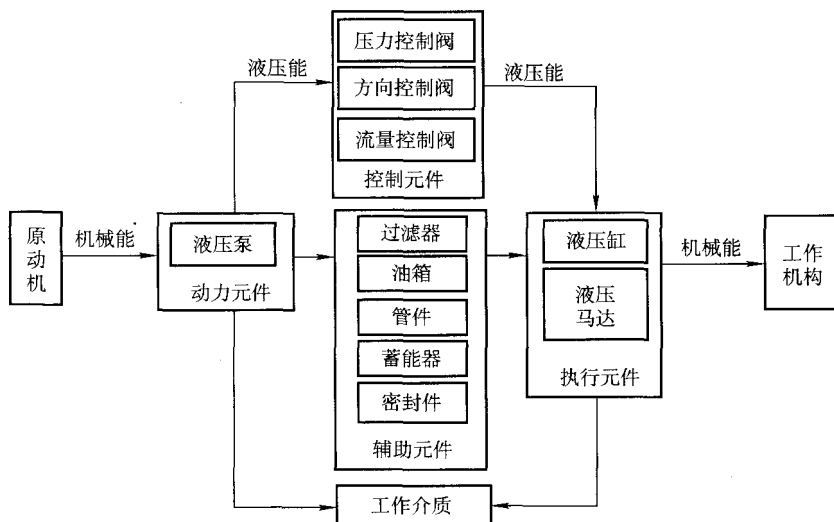


图 0-2 液压与气压传动系统的组成

三、液(气)压系统的标准图形符号

在液压与气动系统图中，其中的元件用结构(或半结构)式的图形来表示的示意图，称之为结构原理图。它直观，容易理解、接受，图 0-1 所示的液压千斤顶的工作原理图即为结构原理图。

实际生产应用中的液压与气动系统图的图形较复杂、绘制较困难。为了简化液(气)压系统的表示方法，往往将结构(或半结构)式的图形简化，采用标准图形符号来绘制液(气)压系统工作原理图。标准图形符号脱离了元件的具体结构，只表示元件的功能、控制方法及外部连接，方便阅读、分析、设计和绘制。我国制订了液压与气动图形符号标准 GB/T 786.1—1993。图 0-3 所示为用国家标准规定的图形符号绘制的液压千斤顶的工作原理图。

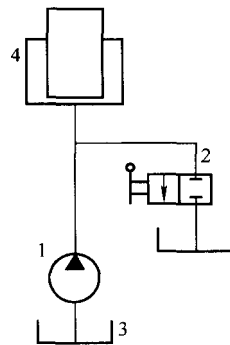


图 0-3 液压千斤顶的工作原理图（图形符号）

1—液压泵 2—换向阀 3—油箱 4—柱塞缸

当有些特殊或专用的元件无法用标准图形表达时，仍可使用结构示意图。

四、液(气)压传动的优、缺点及应用

液压与气压传动与其他形式的传动系统相比，有许多显著的特点。

1. 液压传动的优、缺点

(1) 液压传动的优点

1) 功率—质量比大，即在输出同等功率的条件下，相对于其他传动方式，液压系统的体积小、重量轻、惯性小，结构紧凑。通俗地讲，就是在同样体积时，液压系统出力大。

2) 液压传动系统能方便地在大范围内进行无级调速。机械无级调速较为困难，只适用于小功率系统；电气无级调速较为方便，但低速时输出转矩小，速度稳定性差。液压传动则可以较容易地在大范围内实现无级调速，这是机械和电气传动所无法比拟的。

3) 液压传动系统的控制、调节比较简单，操纵较方便、省力，易于实现自动化。

4) 液压传动系统易于实现过载保护，油液有润滑作用，液压元件使用寿命较长。

5) 液压传动系统工作平稳、冲击小。

6) 液压元件已实现标准化、系列化、通用化，便于设计、制造和使用。

(2) 液压传动的缺点

1) 液压传动系统不可避免地有泄漏，在工作过程中常有能量损失。

2) 液压传动系统的液压油会有油温的限制：油温过高，会产生气化；油温过低，则会凝固，润滑效果不好。

3) 液压传动元件成本比一般机械传动元件的成本高。这是因为为防止泄漏和保证传动精度，导致液压元件的制造成本提高了。

4) 液压传动系统容易造成环境污染。液压油的泄漏，污染工作环境，同时，废油排放与处理不当，也会造成环境污染。

5) 液压传动系统故障诊断较困难，需要适当的理论知识和实践经验。

2. 气压传动的优、缺点

气压传动与液压传动的特点相似，但由于液压传动所用的工作介质为液压油或其他合成液体，气压传动所用的工作介质为空气，这两种流体的性质不同，所以气压传动又有其特点。

1) 气压传动的工作介质为空气，取用方便、成本低。

2) 可直接排入大气而无有形污染，无需设专门的回气装置，但排气噪声较大。

3) 工作压力较低，一般为 0.4 ~ 0.8 MPa，出力较液压传动小。

4) 空气粘度小，流动压力损失小，节能、高效，可集中供气 and 远距离输送供气。

5) 工作环境适应性好，可适用于易燃、易爆、多尘、潮湿的工作环境。

6) 气动速度迅速、反应快，调节方便，维护简单。

7) 空气无润滑性能，应设油浴(气)润滑装置。

8) 可远距离控制。

五、液(气)压传动的应用与发展

在实际应用中，采用液压或气压传动技术的出发点是不同的。在机械、矿山机械、压力机械和航空工业中采用液压传动是因其体积小、结构简单、重量轻、输出力大；在机床控制上采用液压传动是因其能方便地实现无级调速、易于实现频繁自动换向、易于实现自动化；在电子工业、包装机械、印染机械、食品机械等方面采用气压传动是因其操作方便、无油、无污染等特点。表 0-1 是液压与气压传动技术在现实工业生产中的应用举例。

表 0-1 液压与气压传动的应用领域

应用领域	应用举例	应用领域	应用举例
工程机械	挖掘机，装载机，推土机	纺织机械	织布机，抛砂机，印染机
矿山机械	开掘机，提升机，凿石机，液压支架	铸造机械	砂型压实机，加料机，压铸机
机械制造	气动扳手，组合机床，冲床，自动线	灌装机械	食品包装机，真空镀膜机
锻压机械	压力机，模锻机，空气锤	冶金机械	轧钢机械，压力机，步进加热炉
轻工机械	打包机，注射机	建筑机械	打桩机，液压千斤顶，平地机
汽车工业	高空作业车，自卸式汽车，汽车起重机		

自 1795 年英国制成世界上第一台水压机至今, 液压技术已有 300 多年的历史。随着原子能技术、空间技术、计算机技术的高速发展, 液(气)压传动技术得到了很大的发展, 并渗透到了各个工业领域。随着计算机辅助设计(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、计算机仿真和优化设计技术、可靠性技术、污染控制技术等的快速发展, 研究和开发系统控制技术和机、电、液、气综合控制技术成为各种传动技术发展的必然趋势。

习 题

1. 液压/气压的传动原理是什么?
2. 液压/气压传动系统由哪些部分组成? 各部分的功用是什么?

液压传动篇

第一章 液压传动基础知识

液压传动是依靠工作介质传递动力和信号的，其工作介质是液体。工作介质的污染是系统故障的重要诱因，学好工作介质的物理性质及其力学规律有助于正确理解和掌握液压传动的基本理论和规律，为分析、使用以及维护液压传动系统做好知识准备。

第一节 液压传动的工作介质

液压传动最常用的工作介质是液压油，此外，还有乳化型传动液和合成型传动液体。液压油不仅传递能量，还起润滑、冷却和防锈的作用。所用液压油质量的优劣及是否正确选用液压油直接影响液压系统的工作性能。

一、液压传动工作介质的主要物理性质

1. 液体的密度

单位体积内液体的质量，称为液体的密度。体积为 V 、质量为 m 的液体的密度 ρ 为：

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

我国采用 20℃ 时的油液密度为油液的标准密度，以 ρ_{20} 表示。

油液的密度随温度升高而有所减小，随压力增大而有所增加，但在通常使用的压力和温度范围内，这种变化很小，可将其视为常数。

一般情况下，常用液压油的密度为 900kg/m^3 。

2. 液体的可压缩性

液体是可以被压缩的，设流体初始的体积为 V ，当压力增大 Δp 时，体积会缩小 ΔV ，则该液体的体积压缩系数 k 为：

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

压缩系数 k 定义为单位压力所引起的液体单位体积的变化。由于压力增大时液体的体积减小，上式的右边须加负号，以使 k 为正值。常用液压油的压缩系数 $k = (5 \sim 7) \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{N}$ 。

另一种常用于描述流体可压缩性的指标是体积弹性模数，用 K 表示。其定义为 $1/k$ ，反映介质抵抗压力变化引起体积变化的能力。 K 值越大，表示越不容易被压缩。

$$K = \frac{1}{k} = -\frac{\Delta p}{\Delta V} V \quad (1-3)$$

在实际应用中,常用 K 值说明液体抵抗压缩能力的大小。常温下,液压油的体积弹性模数为 $(1.4 \sim 2) \times 10^3 \text{ MPa}$, 数值很大,故一般可认为油液是不可压缩的。

3. 液体的粘性

在日常生活中,我们都能体会到液体有粘性。将杯中的水倒干净非常容易,但如果要将杯中的油液倒干净则不像倒水那么简单了,这是因为油液的粘性比水的粘性大。

在外力作用下液体在管道中流动时,各流层的运动速度不相等,越接近管壁的流层速度越小,管子中心的流层速度最大。这是由于液体与管壁之间的附着力和液体分子间的内聚力造成的,其流动受到牵制,阻碍流层间的相对滑动,在相邻流层之间便产生了内摩擦力。液体流动时的这种内摩擦阻力称为液体的粘性。图 1-1 所示为液体粘性示意图。

如图 1-1 所示,假设两平行平板间存满液体,当上板以 u_0 的速度向右运动,下平板固定不动时,液体在附着力的作用下,紧贴上平板的一层液体也以相同的速度 u_0 向右运动,而紧贴下平板的一层液体仍保持不动,其中间各层液体间在内聚力的作用下相互牵制,运动快的一层液体带动运动慢的一层液体向右运动,而运动慢的液体对运动快的液体起阻滞作用。不难看出,液体从上到下按递减的速度向右运动。当平板间的距离很小时,各流层的速度呈线性规律分布。

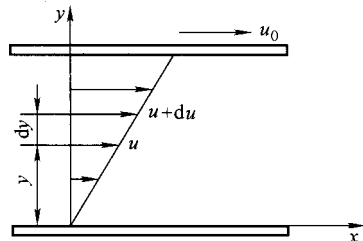


图 1-1 液体粘性示意图

根据牛顿的液体内摩擦定律,液体流动时两液层之间的内摩擦力 F 与液层间接触面积 A 和液层间相对速度 du 成正比,而与液层间距离 dy 成反比,即

$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1-4)$$

式中 μ ——比例系数,称为粘性系数或动力粘度;

du/dy ——速度梯度,即液层间相对速度对液层距离的变化率。若 $du/dy = 0$,说明液体处于静止状态,根据公式计算,则内摩擦力 $F = 0$,因此静止液体不显示粘性。

液体的粘度是指它在单位速度下流动时单位面积上产生的内摩擦力,是衡量液体粘性大小的物理量,也是液压系统选择液压油的重要依据。液体粘度大小直接影响液压系统的正常工作、工作效率和灵敏度。

用 τ 表示切应力,则单位面积上的内摩擦力为:

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-5)$$

粘度 μ 称为动力粘度,法定计量单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。它的物理意义是面积各为 1 cm^2 、相距为 1 cm 的两层液体,以 1 cm/s 的速度相对运动时所产生的内摩擦力。

液体的动力粘度与它的密度 ρ 之比,称为运动粘度,用 γ 表示,即 $\gamma = \mu/\rho$,其法定计量单位是 m^2/s 或 mm^2/s 。

工程上,常用运动粘度表示油的牌号。液压油的牌号用它在 40°C 的温度下的运动粘度平均值来表示。例如,某一牌号 L-HI22 普通液压油就是指这种油在 40°C 时的运动粘度的平

均值为 $22\text{mm}^2/\text{s}$ 。

液体的粘度随液体的压力和温度而变化。

(1) 粘度和温度的关系 油液的粘度对温度的变化极为敏感，温度升高，油的粘度下降，这是油液的粘温特性。

不同种类的液压油有不同的粘温特性。粘温特性较好的液压油，粘度随温度的变化较小，从而温度变化对液压系统性能的影响较小。

(2) 粘度和压力的关系 液体所受的压力增大时，其分子间的距离减小，内聚力增大，粘度亦随之增大。

一般的液压系统中，当压力小于 32MPa 时，压力对粘度的影响不大，可忽略不计；当压力较高或压力变化较大时，粘度的变化则不容忽视。

液体的粘性是液压系统工作介质最重要的性质。适当的粘度有利于改善润滑性能和减少泄漏，但粘度过大会造成过大的压力与能量损失。粘温特性是液压介质选用的重要指标，好的粘温特性有利于保持液压系统工作过程中的性能的稳定性。

4. 空气分离压和饱和蒸气压

液压油中含有一定量的空气，这些空气会以气泡的形式混合在液压油中或溶解在液压油中。液压油中所含空气体积的百分比称为它的含气量。如矿油型液压油常温时在一个大气压下约含有 $6\% \sim 12\%$ 的溶解空气。

在一定温度下，当液压油压力降低到一定程度时，溶解在液压油中的过饱和空气将会因压力的降低迅速从油中分离逸出，产生大量的气泡，此时的压力称为液压油在该温度下的空气分离压。

在一定温度下，当液压油压力降低到一定程度时，油液本身迅速汽化，产生大量气泡，此时的压力称为液压油在该温度下的饱和蒸气压。

一般情况下，空气分离压比饱和蒸气压要高一些。

液压油中溶解的空气量与其绝对压力成正比，以溶解形式存在于液压油中的空气对液压油的压缩影响不大，但以气泡形式混存在液压油中的空气则会对液压油的压缩性有较为明显的影响。在使用过程中，应保证液压油的压力不低于空气分离压，以防形成气泡、气蚀等现象，使系统性能受到不良影响。

5. 其他性质

液压油还有一些其他物理、化学性质，如抗燃性、抗凝性、抗氧化性、抗泡沫性、抗乳化性、防锈性、润滑性、导热性、相容性以及纯净性等，这些性质虽然不如压缩性、粘性那样得到广泛关注，但都对液压系统工作性能有重要影响。

对于不同品种的液压油，这些性质的指标也有所不同，具体可以查看相关的油类产品手册。

二、液压油的分类、基本要求和选用

1. 液压油的分类

液压系统工作介质的名称由代号和后面的数字组成。

代号中 L 表示石油产品的总分类号“润滑剂和有关产品”，H 表示液压系统用的工作介质；数字表示该工作介质的某个粘度等级。石油型液压油是常用的液压系统工作介质，其粘度等级有自 15 至 150 等多种规格，见表 1-1。

表 1-1 液压系统工作介质分类（GB/T 11118.1—1994）

分类	名称	代号	组成和特性	应用
石油型	精制矿物油	L—HH	无抗氧剂	循环润滑油，低压液压系统
	普通液压油	L—HL	HH 油，改善其防锈和抗氧化	一般液压系统
	抗磨液压油	L—HM	HL 油，改善其抗氧化	低、中、高压液压系统，特别适合于有防磨要求带叶片泵的液压各级组织
	低温液压油	L—HV	HM 油，改善其粘温特性	能在 -40 ~ -20℃ 的低温环境中工作，用于户外工作的工程机械和船用设备的液压系统
	高粘度指数液压油	L—HR	HL 油，改善其粘温特性	粘温特性优于 L—HV 油，用于数控机床液压系统和伺服系统
	液压导轨油	L—HG	HM 油，具有粘—滑特性	适用于导轨和液压系统共用一种油品的机床，对导轨有良好的润滑性和防爬性
	其他液压油		加入多种添加剂	适用于高品质的专用液压系统
乳化型	水包油乳化型	L—HFAE	需要难燃液的情况	系统压力不高于 7MPa，适用于液压支架及用量特别大的液压系统
	油包水乳化型	L—HFB		性能接近液压油，使用油温不得高于 65℃
合成型	水—乙二醇液	L—HFC		系统压力低于 14MPa，工作温度为 -20 ~ 50℃，适用于飞机液压系统
	磷酸酯液	L—HFDR		适用于冶金设备、汽轮机等高温、高压系统和大型民航客机的液压系统

乳化型工作介质简称乳化液，由两种互不相容的液体（如水和油）构成。液压系统乳化液分为两大类：一类是少量油（5% ~ 10%）分散在大量水中，即水包油乳化型（O/W 高水基液），一类是水分散在油（60%）中，即油包水乳化型（W/O）。

2. 对液压油的基本要求

- 1) 具有较好的粘温性能。在使用的温度范围内，油液粘度随温度的变化要比较小。
- 2) 具有良好的润滑性能。工作油液不仅是传递能量的介质，也是相对运动零件之间的润滑剂，油液应能在零件的滑动表面上形成强度较高的油膜，以便形成液体润滑，避免干摩擦。
- 3) 质地纯净，不含有其他杂质。如果含有酸、碱，会使机件和密封装置受腐蚀；如果含有机机械杂质，容易使油路堵塞；如果含有挥发性物质，在长期使用后，就会使油液变稠，同时，容易在油液中产生气泡。
- 4) 不易被氧化。油液在使用过程中，由于温度升高可能氧化而产生胶质和沥青质，使油液变质，同时，这些物质容易使油路堵塞或附着在相对运动机体表面上而影响工作。
- 5) 具有合适的沸、凝点。在需要防火的条件下工作时，油的沸点要高；在气候寒冷的条件工作时，凝固点要低。
- 6) 具有良好的抗乳化性和抗泡沫性。在油液中混入水分会使油液乳化，降低油的润滑性能、增加油的酸值、缩短油的使用寿命。油液在使用中产生泡沫，会在系统中引起断油或空穴现象，影响系统的正常工作。
- 7) 具有较好的相容性。对密封件、软管和涂料等无溶解等有害影响。
- 8) 对人体无害，成本低。

上述各项，根据液压系统的实际情况，应突出某些方面，重点保证，兼顾其他。

3. 选用液压油的原则

粘度是液压油最重要的使用性能指标之一。它的选择是否合理，对液压系统的正常工作、运动平稳性、工作可靠性与灵敏性、系统效率、功率损耗、气蚀现象、温升和磨损等都有显著影响。选用液压油时，要根据具体情况或系统要求选择合适的粘度和适当的油液品种，通常按以下几方面进行选用。

(1) 按工作机械的不同要求选用 精密机械与一般机械对粘度要求不同。为了避免温度升高而引起机件变形，影响工作精度，精密机械宜采用较低粘度的液压油。机床液压伺服系统中，为保证伺服机构动作灵敏性，也宜采用粘度较低的油。

(2) 按液压泵的类型选用 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，因而对粘度要求较严格，所以选择粘度时应先考虑液压泵。否则，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，可将液压泵所要求的液压油的粘度作为选择液压油的基准。按液压泵类型推荐用油粘度见表 1-2。

表 1-2 按液压泵类型推荐用油粘度 (单位: mm²/s)

条件 液压泵类型		环境温度 (5 ~ 40)℃ 时 液压油粘度 (40℃)	环境温度 (40 ~ 80)℃ 时 液压油粘度 (40℃)
叶片泵	7MPa 以下	30 ~ 50	40 ~ 75
	7MPa 以上	50 ~ 70	55 ~ 90
齿轮泵		30 ~ 70	65 ~ 165
柱塞泵		70 ~ 80	65 ~ 240

(3) 按液压系统工作压力选用 通常，当工作压力较高时，宜选用粘度较高的液压油，以免系统泄漏过多，效率过低；工作压力较低时，宜选用粘度较低的液压油。

(4) 考虑液压系统的环境温度 矿物油的粘度受温度的影响很大。当环境温度高时，宜采用粘度较高的油液；当环境温度较低时，宜采用粘度较低的油液。

(5) 考虑液压系统的运动速度 速度高，油液流速高，液压损失大，泄漏少，采用粘度低的油液；反之亦然。

(6) 综合经济分析 选择工作介质时，还要通盘考虑价格和使用寿命等成本问题。

正确而合理地选用液压油是保证液压系统正常和高效率工作的条件。

三、使用液压油的注意事项及识别油品品种的简易方法

1. 使用液压油的注意事项

1) 应保持液压油的清洁，防止金属屑和纤维等杂物进入油中。换油时要彻底清洗油箱，注入新油时必须过滤。

2) 油箱内壁一般不允许涂刷油漆，以免油中产生沉淀物质。在液压系统合适部位设置合适的过滤器，并定期检查、清洗或更换。

3) 为防止空气进入系统，回油管口应在油箱液面以下，并将管口切成斜面；液压泵和吸油管路应严格密封；液压泵和油管安装高度应尽量小些，以减少液压泵吸油阻力；必要时在系统的最高处设置放气阀。

4) 定期检查油液质量和油面高度。

5) 应保证油箱的温升不超过液压油允许的范围，通常不超过 70℃，否则应进行冷却调节。

2. 识别油品品种的简易方法

在化验条件不具备的情况下，生产现场常常采用“看(色)、嗅(酸、香、酒精等)、摇(粘度)、摸(精制程度)”的简易鉴别法(见表 1-3)。识别工作介质的品种，可以有效地防止油品的错收、错发、错用、混装等事故的发生。

(1) 看 由于不同种类的油品具有不同的颜色，有经验的管理人员用肉眼即可鉴别出品种。通常，浅色的是蒸馏出的油及精制程度深的油；深色的是残渣油及精制程度浅的油。

(2) 嗅 工作介质的气味，一般分为酸味、香味、醚味及酒精味等。一般来说，普通液压油有酸味，合成磷酯有醚味，蓖麻油型制动液有酒精味。

(3) 摇 摇动装有油液的无色玻璃瓶，根据油膜挂瓶状况及气泡的状态，可判定油液粘度。油膜挂瓶薄，气泡多、直径小、上升快及消失快等特征都表明油品粘度小。

(4) 摸 通过摸的感觉可以区别矿物油型油品的精制程度。通常，精制程度高的油液，其光滑感强。

表 1-3 常用的液压油的“看、嗅、摇、摸”的简易鉴别法

方 法 鉴 别 油 品	看	嗅	摇	摸
N32 ~ N68 号机械油	黄褐到棕黄，有不明显的蓝荧光		泡沫多而消失慢，挂瓶呈黄色	
普通液压油	浅到深黄，发蓝光	酸味	气泡消失快，稍挂瓶	
汽轮机油	浅到深黄		气泡多、大、消失快，无色	沾水捻不乳化
抗磨液压油	橙红透明		气泡多、消失较快，稍挂瓶	
低凝液压油	深红			
水乙二醇液压油	浅黄	无味		光滑，热
磷酸酯液压油	浅黄			
油包水型乳化液	乳白		浓稠	
水包油型乳化液		无味	清淡	
蓖麻油制动液	淡黄透明	强烈酒精味		光滑，凉
矿物油型制动液	淡红			
合成制动液	苹果绿	醚味		

四、液压油的污染及控制

液压油受到污染常常导致系统发生故障，因此，控制液压油的污染非常重要。

1. 液压油污染的危害

液压系统中的污染物主要有固体颗粒、水、空气、化学物质、微生物等杂物，其中固体颗粒性污垢是引起污染危害的主要原因。

1) 固体颗粒会使泵的滑动部分(如叶片泵中的叶片和叶片槽、转子端面和配油盘)磨损加剧，缩短泵的使用寿命；对于阀类元件，污垢颗粒会加速阀芯和阀体的磨损，使阀芯卡紧，把节流孔和阻尼孔堵塞，从而使阀的性能下降、变坏、甚至动作失灵；对于液压缸，污垢颗粒会加速密封件的磨损，使泄漏增大；当油液中的污垢堵塞过滤器的滤孔时，会使泵吸

油困难、回油不畅，产生气蚀、振动和噪声。固体颗粒污垢对液压系统危害极大。

- 2) 水的侵入会加速油液的氧化，并和添加剂起作用，产生粘性胶质，使滤芯堵塞。
- 3) 空气的混入能降低油液的体积模量，引起气蚀，降低其润滑性能。
- 4) 微生物的生成使油液变质，降低润滑性能、加速元件腐蚀。

此外，不正当的热能、静电能、磁场能及放射能也会对油液产生污染，有的会使油温超过规定限度，导致油液变质，有的易招致火灾。

由于液压油污染带来的危害是多方面的，并且有些专家认为，液压系统中的故障有70%是由于液压油受污染而引起的，所以目前世界各国对液压油的正确选用和防止污染问题都很重视。

2. 液压油污染的控制

控制液压油质量的变化，可采取下列措施：

- 1) 降低温度，减小温差，延缓氧化速度，减少蒸发及氧化损失。
- 2) 对于盛装容器，除根据气温变化留出必要的膨胀空间外，应尽量装满达到安全容量，以减少液压油蒸发及降低液压油氧化速度。盛装同品种液压油的两个或多个容器未装满时，要及时合并。零星发放使用液压油时，待一个容器的液压油发完后，再动用另一个容器中的液压油。
- 3) 容器孔口应密封，防止液压油蒸发和被污染。
- 4) 注意容器清洗，尽可能做到容器专用。
- 5) 加强质量监督，不合格液压油不出库。做到“存新发旧、优质后用”，易变质和变质的液压油先出库。
- 6) 液压油使用一定时间后，因其老化变质，性能就会下降。为保证液压系统能正常工作，应更换新油。

目前，我国更换液压油普遍采用的方法有三种。

①固定周期换油法 根据不同的设备、不同的工况、不同的液压油类型，规定其使用时间，到期后即更换新液压油。

②现场鉴定换油法 用试管装入新油和旧油，然后进行外观对比检查，通过感官进行判断其污染程度。例如，若发现旧油色暗、有恶臭时，说明油已变质，需要更换；若油的色相虽属正常，但已呈现浑浊，表明已含有水分，需要排除水分，并应掺入新液压油，以调整其粘度；取一滴油滴于250℃的钢板上，若出现“泼泼”的溅出声时，证明油中含有水分，若没有溅出声，只出现燃烧状，则表明不含水分。在现场也可用pH试纸进行硝酸浸蚀试验，即把一滴油滴在滤纸上，放置30min到1h，观察油液的浸润情况，以此判定液压油的污染程度，如在油浸润的中心部分出现透明的浓圆点即灰尘的磨耗粉末，表明油已变质。

③综合分析换油法 即定期取样化验，测定必要的物理化学性能，以便连续监视液压油劣化、变质情况，再根据实际情况决定是否更换油液。这种方法需要一定的设备和化验仪器，操作方法也比较复杂，但有科学依据，准确、可靠。

第二节 液体静力学

液体静力学所研究的是静止液体的力学性质。所谓的静止是指液体内部质点之间没有相