

面向21世纪

高职高专系列教材

液压与 气压传动

◎屈 圭 主编

◎姜福祥 审



机械工业出版社
China Machine Press

面向 21 世纪高职高专系列教材

液压与气压传动

屈 圭 主编
姜福祥 审



机械工业出版社

本书分为液压传动和气压传动两部分,第1章至第9章为液压传动,第10章到第14章为气压传动。主要介绍液压与气压传动的基础知识;常用元件、装置与传动系统的工作原理;元件选用与系统设计、调试的基本方法。并且在结构特点和性能分析的基础上,对液压与气压传动系统的读图、使用、维护等实际运用问题进行重点阐述。在内容编排上加强了针对性和实用性,讲解通俗易懂,在章节的安排上便于使用者取舍。所选内容在较大程度上反映了液压与气压传动技术的发展与应用状况。

本书适用于机、电类三年制及初中毕业入校五年制高职高专院校各专业学生。中等专业学校机械类专业的学生也可选用,同时,可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/屈圭主编. —北京:机械工业出版社, 2002.1
面向21世纪高职高专系列教材
ISBN 7-111-08294-X

I. 液… II. 屈… 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. TH13

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第061927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:胡毓坚

责任编辑:王琼先 版式设计:霍永明 责任校对:韩 晶

责任印制:付方敏

三河市宏达印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2002年1月第1版·第1次印刷

1000mm×1400mmB5·8.125印张·367千字

0 001—5000册

定价:23.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

面向 21 世纪高职高专 机电专业系列教材编委会成员名单

顾问	王文斌 陈瑞藻 李 奇 冯炳尧
主任委员	吴家礼
副主任委员	朱家健 任建伟 孙希羚 梁 栋 张 华 帕尔哈提 朱建风
委员	刘靖华 韩满林 丛晓霞 朱旭平 陈永专 吕 汀 刘靖岩 刘桂荣 杨新友 陈剑鹤 张 伟 何彦廷 陶若冰 陈志刚
秘书长	胡毓坚
副秘书长	郝秀凯

出版说明

积极发展高职高专教育，完善职业教育体系，是我国职业教育改革和发展的一项重要任务。为了深化职业教育的改革，推进高职高专教育的发展，培养 21 世纪与我国现代化建设要求相适应的，并在生产、管理、服务第一线从事技术应用、经营管理、高新技术设备操作的高级职业技术应用型人才，尽快组织一批适应高职高专教学特色的教材，已成为各高职高专院校的迫切要求。为此，机械工业出版社与高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会联合组织了全国 40 多所院校的骨干教师，共同研究开发了一批计算机专业、电子技术专业和机电专业的高职高专系列教材。

各编委会确立了“根据高职高专学生的培养目标，强化实践能力和创新意识的培养，反映现代职业教育思想、教育方法和教育手段，造就技术应用型人才为立足点”的编写原则。力求使教材体现“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。

本套系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业、机电专业教材编委会分别会同各院校第一线专业教师针对高职高专计算机、电子技术和机电各专业的教学现状和教材存在的问题开展研讨，尤其针对目前高职高专教学改革的新情况，分别拟定各专业的课程设置计划和教材选题计划。并在此基础上，将教学改革力度比较大、内容新颖、有创新精神、比较适合教学、需要修编的教材以及院校急需、适合社会经济发展的新选题优先列入选题规划。在广泛征集意见并充分讨论后，由各编委会确定每个选题的编写大纲和编审人员，实行主编负责制。编委会通过责任编委和主审对教材进行质量监控。

担任本套教材编写的同志都是来自各高职高专院校教育第一线的教师，他们以高度的责任感和使命感，经过近一年的努力，终于将本套教材呈现在广大读者面前。由于高职高专教育还处于起步阶段，加上我们的水平和经验有限，在教材的选题和编审中可能出现这样或那样的问题，希望使用这套教材的教师和学生提出宝贵的意见和建议，以利我们今后不断改进，为我国的高职高专教育事业的繁荣而共同努力。

高职高专系列教材编委会
机械工业出版社

前 言

本书作为高职高专教育机电类专业教材，是根据教育部制定的高职高专教育液压传动与气压传动教学基本要求，在面向 21 世纪高职高专系列教材编委会组织下，结合高职高专教育的特点与编者的经验编写而成的。在编写中贯彻了加强应用性与实用性的原则，突出了以培养职业技术能力为核心的宗旨。

全书分为 14 章。第 1~9 章为液压传动，第 10~14 章为气压传动。主要介绍液压与气压传动的基础知识；常用元件、装置与传动系统的工作原理；元件选用与系统设计、调试的基本方法；在对实际中使用的典型液压、气压系统的结构特点和性能进行分析的基础上，对液压与气压传动系统的读图、使用、维护等实际运用问题进行重点阐述。

本书可做为高中毕业生与中等职业学校毕业生入校三年制及初中毕业生入校五年制高职高专院校机电类专业学生的教材，中等专业学校机械类专业的学生也可选用，同时可供工程技术人员参考。

本书的授课时数为 60~70 学时，其中液压部分为 40~45 学时，气动部分为 20~25 学时。在学时少的情况下，可对液压马达、基本回路、典型系统等章节的内容作适当取舍。另外可安排 8~12 学时的实验。学完全书后应安排一次以系统组装、调试或检修为主要内容的综合实训。

参加本书编写的有：郑竹林编写第 1、5 章；裴兆迎编写第 2 章；高燕编写第 3 章及附录；屈圭编写绪论及第 4 章；李祥生编写第 6、9、12 章；高飞编写第 7 章；张晓旭编写第 10、11 章；钱群雷编写第 8、13、14 章。全书由屈圭任主编，姜福祥审稿。

本书在编写过程中得到有关工厂、科研院所和兄弟学校的大力支持和帮助，编者在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中不足和错误之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

绪论 1

第 1 章 液压流体力学基础 6

1.1 液压油的物理性质 6

1.1.1 液体的密度 6

1.1.2 液体的可压缩性 6

1.1.3 液体的粘性 7

1.1.4 液压油的品种和选用 8

1.2 液体静力学基础 12

1.2.1 液体的静压力及其特性 12

1.2.2 液体静压力基本方程及其物理
意义 12

1.2.3 压力的表示方法 14

1.2.4 压力的传递 14

1.2.5 液体作用在固体壁上的总
压力 16

1.3 液体动力学 16

1.3.1 基本概念 16

1.3.2 流态和雷诺数 18

1.3.3 连续性方程 19

1.3.4 伯努利方程 20

1.3.5 动量方程 22

1.4 管路压力损失的计算 23

1.4.1 沿程压力损失 23

1.4.2 局部压力损失 24

1.4.3 管路系统的总压力损失 25

1.5 孔口和缝隙的流量特性 26

1.5.1 孔口流量特性 26

1.5.2 缝隙流量特性 28

1.6 液压冲击和气穴现象 29

1.6.1 液压冲击 29

1.6.2 气穴现象 29

1.7 习题 30

第 2 章 液压泵与液压马达 34

2.1 液压泵概述 34

2.1.1 液压泵的工作原理及特点 34

2.1.2 液压泵的主要性能参数 35

2.1.3 功率和效率 35

2.1.4 液压泵的分类 36

2.2 齿轮泵 37

2.2.1 外啮合齿轮泵 37

2.2.2 外啮合齿轮泵存在的几个
问题 39

2.2.3 外啮合齿轮泵优缺点及应用 41

2.3 叶片泵 41

2.3.1 双作用式叶片泵 41

2.3.2 单作用式叶片泵 43

2.4 柱塞泵 45

2.4.1 径向柱塞泵 46

2.4.2 轴向柱塞泵 46

2.4.3 柱塞泵优缺点及应用 49

2.5 其他泵简介 49

2.5.1 螺杆泵 49

2.5.2 内啮合齿轮泵 49

2.5.3 双级泵 50

2.5.4 双联泵 50

2.6 液压马达 51

2.6.1 液压马达分类 51

2.6.2 液压马达的工作原理及应用 51

2.6.3 液压马达的主要性能参数 53

2.6.4 液压马达与液压泵的异同 55

2.7 液压泵与液压马达的选用 56

2.7.1 液压泵的选用 56

2.7.2 液压马达的选用 58

2.8 习题 59

第 3 章 液压缸 62

3.1 液压缸的类型及其特点 62

3.1.1 活塞式液压缸 62

3.1.2 柱塞式液压缸 65

3.1.3 摆动式液压缸 66

3.2 液压缸主要尺寸的确定 67

3.2.1 液压缸内径和活塞杆直径的确定	67	5.3.3 热交换器	123
3.2.2 液压缸缸筒长度 L 的确定	68	5.4 管件与管接头	124
3.3 液压缸的结构及选用	68	5.4.1 油管的种类及特点	124
3.3.1 液压缸的典型结构	68	5.4.2 管接头	125
3.3.2 液压缸的选用	69	5.5 习题	126
3.4 习题	75	第6章 液压系统常用回路	127
第4章 液压控制阀及其应用	76	6.1 速度控制回路	127
4.1 关于液压阀的几个共同性问题	76	6.1.1 容积调速回路	127
4.1.1 液压阀的类型	76	6.1.2 容积节流调速回路	130
4.1.2 液压阀的参数与型号	77	6.1.3 快速运动回路	131
4.2 方向控制阀及其应用	77	6.1.4 速度转换回路	132
4.2.1 单向阀	77	6.2 压力控制回路	133
4.2.2 换向阀	79	6.3 多缸动作回路	135
4.3 压力控制阀及其应用	86	6.3.1 顺序动作回路	135
4.3.1 溢流阀	87	6.3.2 同步运动回路	137
4.3.2 减压阀	91	6.3.3 防干扰回路	137
4.3.3 顺序阀	92	6.4 习题	139
4.3.4 压力继电器	94	第7章 典型液压系统及系统设计	143
4.4 流量控制阀及其应用	96	7.1 动力滑台液压系统	143
4.4.1 节流孔的流量特性公式	96	7.1.1 概述	143
4.4.2 节流阀和调速阀	97	7.1.2 动力滑台液压系统的工作原理	144
4.4.3 流量控制阀的应用	98	7.1.3 动力滑台液压系统的特点	146
4.5 新型液压元件及其应用	99	7.2 注塑机液压系统	147
4.5.1 比例阀	99	7.2.1 概述	147
4.5.2 插装阀	102	7.2.2 SZ—250 型注塑机液压系统的工作原理	147
4.5.3 叠加阀	107	7.2.3 液压系统特点	152
4.5.4 电液数字控制阀	108	7.3 机械手液压系统	152
4.6 习题	109	7.3.1 概述	152
第5章 液压系统中的辅助装置	113	7.3.2 JS01 工业机械手液压系统的工作原理	152
5.1 过滤器	113	7.3.3 液压系统特点	157
5.1.1 过滤器的功用和过滤精度	113	7.4 液压系统设计简介	157
5.1.2 过滤器的类型及性能特点	114	7.4.1 确定对液压系统的要求	157
5.1.3 过滤器的选用与安装	116	7.4.2 拟定液压系统原理图	158
5.2 蓄能器	117	7.4.3 计算和选择液压元件	159
5.2.1 蓄能器的作用	117	7.4.4 对液压系统进行必要的验算	159
5.2.2 蓄能器的种类	118	7.4.5 绘制正式工作图和编制技术文件	160
5.2.3 蓄能器总容积的确定	120	7.5 习题	160
5.3 油箱及其附件	121		
5.3.1 油箱的功用和结构	121		
5.3.2 设计油箱时应注意的问题	122		

第 8 章 液压伺服技术简介	163	11.4.1 高压截止式逻辑元件	210
8.1 液压伺服系统工作原理及应用	163	11.4.2 滑阀式逻辑阀	212
8.1.1 液压伺服系统工作原理	163	11.4.3 逻辑回路	212
8.1.2 液压伺服系统的特点及组成	164	11.5 习题	213
8.1.3 液压伺服系统的分类	165	第 12 章 气压传动常用回路	214
8.1.4 液压伺服系统的基本类型	165	12.1 气液联动回路	214
8.2 电液伺服阀	170	12.1.1 利用气液转换器的控制回路	214
8.2.1 电液伺服阀的结构	170	12.1.2 用气液阻尼缸的控制回路	215
8.2.2 电液伺服阀的工作原理	170	12.2 程序动作回路	216
8.3 习题	171	12.2.1 顺序动作回路	216
第 9 章 液压系统的使用	172	12.2.2 往复动作回路	217
9.1 液压系统的安装、调试与维护	172	12.2.3 延时控制回路	218
9.1.1 液压系统的安装	172	12.2.4 计数回路	218
9.1.2 液压系统的调试	173	12.2.5 同步动作回路	219
9.1.3 液压系统的使用与维护	174	12.3 安全保护回路	220
9.2 液压系统的故障分析与排除	175	12.3.1 双手操作安全回路	220
9.2.1 故障诊断的步骤	175	12.3.2 其他安全保护回路	220
9.2.2 液压系统常见故障产生原因及排除方法	177	12.4 习题	222
9.3 习题	181	第 13 章 气压程序系统与气压传动系统实例	223
第 10 章 气压传动基础知识	182	13.1 障碍信号的判断和排除	223
10.1 空气的主要物理性质及气体状态方程	182	13.2 行程程序回路的设计方法和步骤	223
10.1.1 空气的主要物理性质	182	13.2.1 X-D 状态图法中的规定符号	224
10.1.2 气体状态方程	185	13.2.2 X-D 状态图法介绍	224
10.2 气体流动的基本方程	187	13.3 气动机械手控制系统	226
10.2.1 连续性方程	187	13.3.1 工作程序图	227
10.2.2 伯努利方程	188	13.3.2 X-D 线图	227
10.3 习题	189	13.3.3 逻辑原理图	228
第 11 章 气压传动元件及应用	190	13.3.4 气动回路原理图	228
11.1 气源装置及气动辅助元件	190	13.4 气动钻床气压传动系统	229
11.1.1 空气压缩机	191	13.4.1 工作程序图	229
11.1.2 气动辅助元件	192	13.4.2 X-D 线图	229
11.2 气动执行元件	197	13.4.3 逻辑原理图	229
11.2.1 气缸	197	13.4.4 气动系统原理图	230
11.2.2 气动马达	200	13.5 习题	230
11.3 气动控制阀及其应用	201	第 14 章 气动系统的使用与维护	231
11.3.1 方向控制阀及换向回路	201	14.1 气动系统的安装、调试与维护	231
11.3.2 压力控制阀及压力控制回路	206	14.1.1 管路系统的安装、调试与维护	231
11.3.3 流量控制阀及速度控制回路	209		
11.4 气动逻辑元件及其应用	210		

14.1.2 控制元件的安装、调试与 维护	232	14.3 习题	238
14.2 气动系统的故障分析与排除	233	附录	239
14.2.1 压缩空气中的杂质引起气动 系统的故障	233	附录 A 液压图形符号 (摘至 GB/T 786.1 —1993)	239
14.2.2 气动元件的故障	234	附录 B 液压控制阀型号说明	243
14.2.3 执行元件的故障	236	附录 C 气动图形符号 (摘至 GB/T 786.1 —1993)	245
14.2.4 气动辅件的故障	238	参考文献	247

绪 论

一、液压与气压传动的研究内容

不知读者是否注意过挖掘机、或是机械手，如果注意过，那么，一定会惊叹它巨大的能力和灵便的动作。其实这些机械中都运用了液压或气压传动技术。今后我们会越来越多地看到在工农业生产与生活各个领域中都广泛应用着液压与气压装置，它们是用压力油或加压空气作为传递能量的载体来实现传动与控制的。而实现传动与控制必须要由各类泵、阀、缸及管道等元件组成一个完整的系统。本书的任务就是研究组成系统的各类液压与气动元件的结构、工作原理、应用方法，以及由这些元件组成的各种控制回路的作用和特点。结合所学原理，在熟悉具体设备结构并进行实践的基础上，读者很快就能掌握液压与气压传动设备的安装、调试和维修的技能，并熟练地操纵这些装置。

二、液压与气压传动的工作原理与系统组成

1. 液压传动的工作原理

为了形成一个初步概念，先来看图1所示的液压千斤顶的工作情况。该装置的大活塞4和小活塞7分别可以在大缸体3和小缸体8内上下移动。因活塞与缸体内壁间有良好的密封，所以形成容积可变的密封空间。两缸体由装有单向阀5的管道互连，并与油箱1相连。当人们要举升重物 G 时，先向上提起手柄6，使手柄带动小活塞7向上移动，这时小活塞下部缸体内的空间增大。由于密封作用，外界空气不能补充进来，造成密封容积内压力低于大气压。同时，在单向阀5的作用下，大缸内的油液不能进入小缸。这时油箱内的油液就在大气压的作用下，经管道和单向阀9进入小缸体8内。当压下手柄6时，小活塞下移，密封容积减小，压力升高，油液不能通过单向阀9流回油箱，只能通过单向阀5压入大缸内，推动大活塞将重物升高一定距离。重复以上过程，重物就不断被举升。将放油阀2转动 90° ，可使大缸内油液流向油箱，实现大活塞下移。

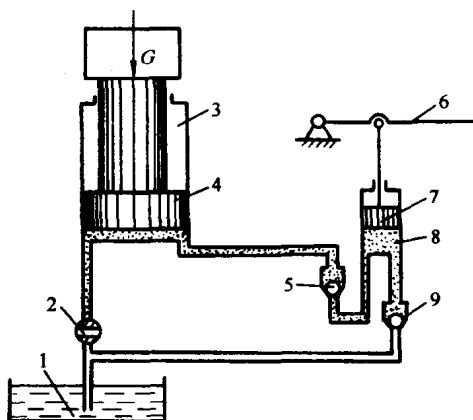


图1 液压千斤顶的工作原理

- 1—油箱 2—放油阀 3—大缸体 4—大活塞
5—单向阀 6—杠杆手柄 7—小活塞
8—小缸体 9—单向阀

2. 气压传动的工作原理

如果将图 1 所示系统中的油液换成空气，因工作介质直接取自大气层，亦可直接排入，所以可以去掉回油管与油箱，再将液压缸改为气缸。那么，上述系统就可视为一个气压传动系统。生活中常用的打气筒，就与上述小活塞缸工作原理完全相同。

将上述装置的工作原理归纳一下可以看出，液压与气压传动是以密封容积中的受压工作介质来传递运动和动力的。它先将机械能转换成压力能，然后通过各种元件组成的控制回路来实现能量的调控，最终再将压力能转换成机械能，使执行机构实现预定的功能，按照预定的程序完成相应的动力与运动输出。

但由于工作介质不同，液压传动与气压传动的理论基础亦不完全相同。液压装置使用的油液为可压缩性较小的流体，其理论基础是流体力学。在分析液压传动的过程时主要考虑的是力的平衡，以液体所表现出的宏观力学特征为依据，分析液体在运动时的质量、能量的迁移及转换的力学平衡问题。而气动装置所用的压缩空气是弹性流体，它的体积、压强和温度三个状态参量之间有互为函数的关系，在气压传动过程中，不仅要考虑力学平衡，而且要考虑热力学的平衡。

3. 液压与气压传动系统的组成

液压与气压传动系统主要由以下几个部分组成。

(1) 动力装置 把机械能转换成流体压力能的装置，如上例中的小活塞缸。一般最常见的是液压泵或空气压缩机。

(2) 执行装置 把流体的压力能转换成机械能的装置，如上例中的大活塞缸。一般指作直线运动的液（气）压缸、作回转运动的液（气）压马达等。

(3) 控制调节装置 对液（气）压系统中流体的压力、流量和流动方向进行控制和调节的装置。如上例中的单向阀。一般是压力阀、流量阀、方向阀、行程阀、逻辑元件等。这些元件的不同组合构成了实现不同功能的液（气）压系统。

(4) 辅助装置 对工作介质起到容纳、净化、润滑、消声和实现元件间连接等作用的装置。如油箱、过滤器、分水滤气器、油雾器、蓄能器、管件等，它们对保证液（气）压系统可靠和稳定地工作是不可缺少的。

(5) 传动介质 传递能量的流体，即液压油或压缩空气。

以上各类装置在液压、气压传动系统中都按国家标准规定，用代表其职能的符号绘出，具体画法在各章元件结构图旁均详细绘出，也可参考附录。随着科学技术的发展，我国各类技术标准在更多地采用国际标准，学习中要注意参阅和掌握。

三、液压与气压传动的特点

1. 传动与控制方式

直到目前，我们所掌握的传动与控制方式可分为机械、电、液压和气压四大类。其

中每大类又可分成若干类别。在学习中需要注意的是，本书提及的流体传动是依靠密封容积中的流体压力能来传递力和运动的，通常称为容积式传动。而不是依靠流体动能来传递力和运动的，这两种传动的原理有很大不同。例如汽车上使用的液压刹车系统，液压方向助力装置属于前者，而液力偶合器与液力变矩器属于后者。后者不在本书讨论范围内。

要注意传动和控制的区别与联系。首先要清楚传动与控制是实现有目的能量传递时不可分割的两个部分。必须是在被控制的状态下，按预定的量值、程序与精确程度来传递力与运动。同时也要清楚传动侧重于讨论如何实现力与运动即能量的传递，而控制则侧重于研究对信号的传递和处理。工作介质既是能量的载体也是信号的载体，但信号可以由其他途径来传递。如电液系统中，控制信号为电信号。本书以讨论传动技术为主，以简单固定程序的开关控制工作系统为研究对象，这样便于学习者进入这一领域，并打好基础。

2. 传动特点比较

液压及气压传动在组成系统时，与机械装置相比，其主要优点是操作方便、省力，系统结构空间的自由度大，易于实现自动化。如与电气控制相配合，可较方便地实现复杂的程序动作和远程控制。此外流体传动还具有传递运动均匀平衡，反应速度快，冲击小，能高速启动、制动和换向，易于实现过载保护，流体控制元件标准化、系列化和通用化程度高，有利于缩短机器的设计、制造周期和降低制造成本。

当然液压和气压传动也有一定的缺点。例如传动介质易泄漏和可压缩性会使传动比不能严格保证；由于能量传递过程中压力损失和泄漏的存在使传动效率低；反应速度慢，不能微型化，不适于遥控，系统安装麻烦；流体传动装置不能在高温或低温下工作；流体控制元件制造精度高，成本较高以及系统工作过程中发生故障不易诊断等。

(1) 液压传动的优点

1) 在同等的体积下，液压装置比电气装置能传递更大的动力，因为液压系统中的压力可以比电枢磁场中的磁力大 30~40 倍。在同等功率的情况下，液压装置的体积小，重量轻，结构紧凑。液压马达的体积和重量只有同等功率电动机的 12% 左右。

2) 液压装置的换向频率高，在实现往复回转运动时可达 500 次/min，实现往复直线运动时可达 1000 次/min。

3) 液压装置能在大范围内实现无级调速（调速范围可达 1:2000），还可以在液压装置运行的过程中进行调速。

4) 液压传动容易实现自动化，因为它是对液体的压力、流量和流动方向进行控制或调节，操纵很方便。

5) 液压元件能自行润滑，因此使用寿命较长。

6) 由于液压元件已实现了标准化、系列化和通用化，液压系统的设计、制造和使用都比较方便。

7) 液压装置比机械装置更容易实现直线运动。

(2) 气压传动的优点

- 1) 空气可以从大气中取之不竭，无介质费用和供应上的困难，可将用过的气体直接排入大气，处理方便。空气泄漏不会严重影响工作，不会污染环境。
- 2) 空气的粘性很小，在管路中的阻力损失远远小于液压传动系统，宜于远程传输及控制。
- 3) 工作压力低，元件的材料和制造精度要求低，成本低。
- 4) 维护简单，使用安全，无油的气动控制系统特别适用于无线电元器件的生产过程，也适用于食品及医药的生产过程。
- 5) 气动元件可以根据不同场合，采用相应材料，使元件能够在易燃、高温、低温、强振动、强冲击、强腐蚀和强辐射等恶劣的环境下正常工作。

(3) 气压传动的弱点

- 1) 气压传动装置的信号传递速度限制在声速（约 340 m/s）范围内，所以它的工作频率和响应速度远不如电子装置，并且信号会产生较大的失真和延滞，也不便于构成较复杂的回路。但对一般工业控制要求是可以满足的。
- 2) 空气的压缩性远大于液压油的压缩性，因此在动作的响应能力、工作速度的平稳性方面不如液压传动。
- 3) 气压传动系统输出力较小，且传动效率低。

四、液压与气压传动在工业领域中的应用

液压与气压传动技术越来越广泛地应用于工业领域的各个方面。

首先是在各类机械产品中广泛应用，以增强产品的自动化程度、可靠性、动力性能，操作灵活、方便、省力，可实现多维度、大幅度的运动，见表 1。

表 1 液压与气压传动在各类机械中的应用

行业名称	应用举例	行业名称	应用举例
工程机械	挖掘机、装载机、推土机	轻工机械	打包机、注塑机
矿山机械	凿岩机、开掘机、提升机、液压支架	灌装机械	食品包装机、真空镀膜机、化肥包装机
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
冶金机械	轧钢机、压力机、步进加热炉	铸造机械	砂型压实机、加料机、压铸机
锻压机械	压力机、模锻机、空气锤	纺织机械	织布、抛砂机、印染机
机械制造	组合机床、冲床、自动线、气动扳手		

其次是在各类企业生产设备中的应用：提高生产设备的效率与自动化水平，提高重复精度与生产质量。如金属切削机床；单机液压自动化设备；各类自动、半自动生产线；焊接、装配、数控设备；加工中心等。

液压与气压传动发展到目前的水平主要是由于液压与气压传动本身鲜明的特点所致。随着工业的发展，液压与气压传动技术必将更加广泛地应用于各个工业领域。同时要清楚，已没有孤立的液压或气动装置，而是与电、机械紧密结合的系统。

五、液压与气压传动技术的发展简况

液压技术自 18 世纪末英国制成世界上第一台水压机算起，已有二三百年的历史了，但其真正的发展只是在第二次世界大战后的 50 余年。战后液压技术迅速转向民用工业，在机床、工程机械、农业机械、汽车等行业中逐步推广。20 世纪 60 年代以来，随着原子能、空间技术、计算机技术的发展，液压技术得到了很大的发展，并渗透到各个工业领域中去。当前液压技术正向高压、高速、大功率、高效、低噪声、经久耐用、高度集成化的方向发展。同时，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）、机电一体化技术、计算机仿真和优化设计技术、可靠性技术，以及污染控制技术等方面也是当前液压传动及控制技术发展和研究的方向。

气压传动技术自 20 世纪 60 年代以来也发展很快，其主要原因是由于气动技术作为一种实现工业自动化的有效手段，引起各国技术人员的普遍重视和应用。许多国家已大量生产标准化的气动元件，在生产中广泛采用气动技术。随着工业的发展，它的应用范围也将日益扩大，同时它的性能也就必须满足气动机械多样化以及与机械电子工业快速发展相适应的要求，处在这样的变革时期，就要以更新的观点去开发气动技术、气动机械和气动系统。一方面要加强气动元件本身的研究，而使之满足多样化的要求，同时要不断提高系统的可靠性，不断降低成本。要进行无给油化、节能化、小型化和轻量化、位置控制的高精度化研究，以及气、电、液相结合的综合控制技术的研究。同时，计算机辅助设计，优化设计，计算机控制也是气动技术开发的发展方向。

第 1 章 液压流体力学基础

液压传动是以油液作为工作介质的，为此必须了解油液的物理性质，研究油液的运动规律。本章主要介绍这两方面的内容，着重介绍液压流体力学的一些基础知识。

1.1 液压油的物理性质

下面要介绍的液压油的物理性质（密度、压缩性、粘性等）都是与液体的力学特性关系很密切的性质。

1.1.1 液体的密度

单位体积液体内所含有的质量称为密度，用符号 ρ 表示，单位为 kg/m^3 。设有一均质液体的体积为 V ，单位为 m^3 ，所含的质量为 m ，单位为 kg ，则其密度为

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

液体的密度随压力的升高而增大，随温度的升高而减小。但是由于压力和温度对密度变化的影响都极小，一般情况下可视液体的密度为一常数。矿物油的密度 $\rho = 850 \sim 960$ (kg/m^3)。

1.1.2 液体的可压缩性

液体受压力作用其体积会减小的性质称为压缩性，液体压缩性的大小用体积压缩系数 κ ，即单位压力变化时液体体积的相对变化量来表示，单位为 m^2/N 。一定体积 V 的液体，当压力增大 $d\rho$ 时，体积减小了 dV ，则体积压缩系数 κ 为

$$\kappa = -\frac{dV}{V} \frac{1}{d\rho} \quad (1-2)$$

式中，负号表示 dV 与 $d\rho$ 的变化相反，即压力增加时体积是减小的。

体积压缩系数的倒数称为体积弹性模量 K ，单位为 Pa ，即 $K = 1/\kappa$ 。

液体的体积压缩系数和体积弹性模量都与温度和压力有关，但它们的变化很小，一般忽略不计。

在常温下，纯石油型液压油的体积弹性模量为 $K = (1.4 \sim 2.0) \times 10^3 \text{MPa}$ ，是钢的 100~150 倍。在一般液压系统中，压力不高，压力变化不大，可认为液压油是不可压缩的。但是，如果油液中混有非溶解性气体时，体积弹性模量会大幅度降低。油液混有 1% 的气体时，其体积弹性模量只是纯油的 30%；如果混入 4% 的气体时，其体积弹性模量仅为纯油的 10%。由于油液中难免混入空气，因此工程上常将油液的体积弹性模量取为 (700~1000) MPa。

1.1.3 液体的粘性

1. 粘性的物理意义

液体在外力作用下流动（或有流动趋势）时，分子间的内聚力要阻止分子相对运动而产生一种内摩擦力。这种阻碍液体分子之间相对运动的性质叫做液体的粘性。粘性使流动液体内部各处的速度不相等，以图 1-1 为例，若两平行平板间充满液体，下平板不动，而上平板以速度 u_0 向右平动。由于液体的粘性，紧靠下平板和上平板的液体层速度分别为零和 u_0 ，而中间各液层的速度则从下到上逐渐递增。当两平行板之间的距离较小时，各液层间的速度呈线性规律变化。

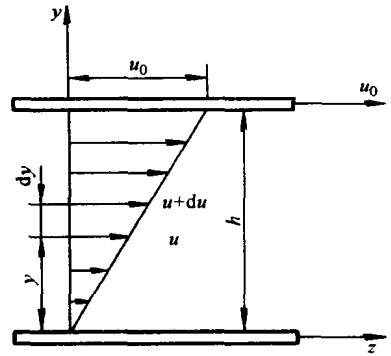


图 1-1 液体粘性示意图

实验测定表明，液体流动时相邻液层间的内摩擦力 F_f 与液层接触面积 A 、液层间的相对速度 du 成正比，与液层间的距离 dy 成反比，即

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

式中 μ ——比例常数，称为粘性系数或粘度；

$\frac{du}{dy}$ ——速度梯度。

若以 τ 表示切应力，即单位面积上的内摩擦力，则得到牛顿液体内摩擦定律

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

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。

2. 粘性的表示方法

(1) 动力粘度 液体粘性的大小用粘度来衡量。由式 (1-4) 可知，液体的粘度 μ 是指它在单位速度梯度下流动时单位面积上产生的内摩擦力。由于 μ 与力有关，所以 μ 又称动力粘度，或绝对粘度。它的法定计量单位为 $\text{Pa}\cdot\text{s}$ 或 $(\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2)$ ，以前沿用的单位为 P （泊， $\text{dyne}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ ）， $1\text{Pa}\cdot\text{s} = 10\text{P} = 10^3\text{cP}$ （厘泊）。

(2) 运动粘度 动力粘度与液体密度的比值，称为液体的运动粘度，以 ν 表示，即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-5)$$

运动粘度没有明确的物理意义，只是在分析和计算中经常用到 μ 与 ρ 的比值，才引入这个物理量，又由于它的量纲只与长度和时间有关，所以称之为运动粘度。运动粘度的法定计量单位为 m^2/s ，以前沿用的单位为 St （斯 [托克斯]）和 cSt （厘斯 [托克斯]）， $1\text{m}^2/\text{s} = 10^4\text{St} = 10^6\text{cSt}$ 。