中等职业教育特色精品课程规划教材
中等职业教育课程改革项目研究成果

设备控制基础

shebei kongzhi jichu

主编 梁玉波 吴 凯



北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

需要全本请访问 www.ertongbook.com

21世纪中等职业教育特色精品课程规划教材
中等职业教育课程改革项目研究成果

设备控制基础

主编 吴凯

北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书是根据教育部面向21世纪中等职业教育“机械设备控制技术”教学大纲编写的。根据新大纲的要求及现代中等职业教育的特点，本书主要突出以下特色：

（1）在内容上以设备控制技术为主线，从应用的角度综述了电气控制技术、液压技术、气动技术和PLC应用技术；以成熟实用的技术为出发点，注重理论与实际应用的紧密结合，以培养和提高学生的应用能力为目标，进行详尽而实用的阐述。

（2）在章节的编排上，力求线索明晰、简明扼要、言简意赅，并配备了大量图表，使教材图文并茂，便于记忆和理解。

（3）本书所使用的图形符号及文字符号均采用最新国家标准。

（4）本书在每一章后面都附有思考题。思考题只是对本章重要内容的一种提示，希望引起读者的注意。

全书共八章。第一、二、三章，主要介绍了设备控制技术的总论、液压与气压传动基本知识、液压元件；第四章，主要介绍了液压基本回路；第五、六、七、八章，主要介绍了气压传动控制、常用低压电器、电器控制线路的基本环节、可编程序控制器及其应用等。

版权专用　侵权必究

图书在版编目（CIP）数据

设备控制基础/吴凯主编. —北京：北京理工大学出版社，2009. 8

ISBN 978-7-5640-2583-0

Ⅰ. 设… Ⅱ. 吴… Ⅲ. 机械设备-控制系统-专业学校-教材 Ⅳ. TP273

中国版本图书馆CIP数据核字（2009）第137379号

出版发行／北京理工大学出版社

社　　址／北京市海淀区中关村南大街5号

邮　　编／100081

电　　话／（010）68914775（办公室）　68944990（批销中心）　68911084（读者服务部）

网　　址／http：//www. bitpress. com. cn

经　　销／全国各地新华书店

印　　刷／北京通县华龙印刷厂

开　　本／787毫米×1092毫米　1/16

印　　张／10

字　　数／256千字

版　　次／2009年8月第1版　2009年8月第1次印刷　　责任校对/陈玉梅

定　　价／16.00元　　责任印制/母长新

图书出现印装质量问题，本社负责调换

出版说明

中等职业教育是以培养具有较强实践能力，面向生产、面向服务和管理第一线职业岗位的实用型、技能型专门人才为目的的职业技术教育，是职业技术教育的初级阶段。目前，中等职业教育教学改革已经从专业建设、课程建设延伸到了教材建设层面。根据教育部关于要求发展中等职业技术教育，培养职业技术人才的大纲要求，北京理工大学出版社组织编写了《21世纪中等职业教育特色精品课程规划教材》。该系列教材是中等职业教育课程改革项目研究成果。坚持以能力为本位，以就业为导向，以服务学生职业生涯发展为目标的指导思想。主要从以下三个角度切入：

1. 从专业建设角度

该系列教材摒弃了传统普通高等教育和传统职业教育“学科性专业”的束缚，致力于中等职业教育“技术性专业”。主体内容由与一线技术工作相关联的岗位有关知识所构成，充分体现职业技术岗位的有效性、综合性和发展性，使得该系列教材不但追求学科上的完整性、系统性和逻辑性，而且突出知识的实用性、综合性，把职业岗位所需要的知识和实践能力的培养融于一炉。

2. 从课程建设角度

该系列教材规避了现有的中等职业教育教材内容上的“重理论轻实践”、“重原理轻案例”，教学方法上的“重传授轻参与”、“重课堂轻现场”，考核评价上的“重知识的记忆轻能力的掌握”、“重终结性的考试轻形成性考核”的倾向，力求在整体教材内容体系以及具体教学方法指导、练习与思考等栏目中融入足够的实训内容，加强实践性教学环节，注重案例教学和能力的培养，使职业能力的提升贯穿于教学的全过程。

3. 从人才培养模式角度

该系列教材为了切合中等职业教育人才培养的产学结合、工学交替培养模式，注重有学就有练、学完就能练、边学边练的同步教学，吸纳新技术引用、生产案例等情景来激活课堂。同时，为了结合学生将来因为岗位或职业的变动而需要不断学习的实际，注重对新知识、新工艺、新方法、新标准引入，在培养学生创造能力和自我学习能力的培养基础上，力争实现学生毕业与就业上岗的零距离。

为了贯彻和落实上述指导思想，在本系列教材的内容编写上，我们坚持以下一些原则：

1. 适应性原则

在进行广泛的社会调查基础上，根据当今国家的政策法规、经济体制、产业结

构、技术进步和管理水平对人才的结构需求来确定教材内容。依靠专业自身基础条件和发展的可行性，以相关行业和区域经济状况为依托，特别强调面向岗位群体的指向性，淡化行业界限、看重市场选择的用人趋势，保证学生的岗位适应能力得到训练，使其有较强的择业能力，从而使教材有活力、有质量。

2. 特色性原则

在调整原有专业内容和设置专业新兴内容时，注意保留和优化原有的、至今仍适应社会需求的内容，但随着社会发展和科技进步，及时充实和重点落实与专业相关的新内容。“特色”主要是体现为“人无我有”，“人有我精”或“众有我新”，科学预测人才需求远景和人才培养的周期性，以适当超前性专业技术来引领教材的时代性。结合一些一线工作的实际需要和一些地方用人单位的区域资源优势、支柱产业及其发展方向，参考发达地区的发展历程，力争做到专业课内容的成熟期与人才需求的高峰期相一致。

3. 宽口径性原则

拓宽教材基础是提高专业适应性的重要保证之一。市场体制下的人才结构变化加快，科技迅猛发展引起技术手段不断更新，用人机制的改革使人才转岗频繁，由此要求大部分专门人才应是“复合型”的。具体课程内容应是当宽则宽，当窄则窄。在紧扣本专业课内容基础上延伸或派生出一些适应需求的与其他专业课相关的综合技能。既满足了社会需求又充分锻炼学生的综合能力，挖掘了其潜力。

4. 稳定性和灵活性原则

中职职业教育的专业课程都有其内核的稳定性，这种内核主要是体现在其基本理论，基础知识等方面。通过稳定性形成专业课程教材的专业性特点，但同时以灵活的手段结合目标教学和任务教学的形式，设置与生产实践相切合的项目，推进教材教学与实际工作岗位对接。

为了更好地落实本教材的指导思想和编写原则，教材的编写者都是既有一定的教学经验、懂得教学规律，又有较强实践技能的专家，他们分别是：相关学科领域的专家；中等职业教育科研带头人；教学一线的高级教师。同时邀请众多行业协会合作参与编写，将理论性与实践性高度统一，打造精品教材。另外，还聘请生产一线的技术专家来审读修订稿件，以确保教材的实用性、先进性、技术性。

总之，该系列教材是所有参与编写者辛勤劳作和不懈努力的成果，希望本系列教材能为职业教育的提高和发展作出贡献。

北京理工大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

前言



本书是根据教育部面向21世纪中等职业教育“机械设备控制技术”教学大纲编写的。根据新大纲的要求及现代中等职业教育的特点，本书主要突出以下特色：

（1）在内容上以设备控制技术为主线，从应用的角度综述了电气控制技术、液压技术、气动技术和PLC应用技术；以成熟实用的技术为出发点，注重理论与实际应用的紧密结合，以培养和提高学生的应用能力为目标，进行详尽而实用的阐述。

（2）在章节的编排上，力求线索明晰、简明扼要、言简意赅，并配备了大量图表，使教材图文并茂，便于记忆和理解。

（3）本书所使用的图形符号及文字符号均采用最新国家标准。

（4）本书在每一章后面都附有思考题。思考题只是对本章重要内容的一种提示，希望引起读者的注意。

全书共八章。第一、二、三章，主要介绍了设备控制技术的总论、液压与气压传动基本知识、液压元件；第四章，主要介绍了液压基本回路；第五、六、七、八章，主要介绍了气压传动控制、常用低压电器、电器控制线路的基本环节、可编程序控制器及其应用等。

由于编者水平有限，错误与不足之处在所难免，希望同行专家及广大读者不吝赐教。

编者

目 录

第一章 设备控制技术的总论 …… 1

第一节 液压传动应用的优点和缺点 …… 1
第二节 机床电气传动控制的优点和缺点 …… 2

第二章 液压与气压传动基本知识 …… 4

第一节 液压与气压传动的组成及工作原理 …… 4
第二节 流体静力学基础 …… 7
第三节 流体动力学基础 …… 10
第四节 孔口和缝隙流动 …… 12
第五节 液压冲击与气蚀现象 …… 13

第三章 液压元件 …… 15

第一节 液压泵 …… 15
第二节 液压电动机 …… 23
第三节 液压缸 …… 26
第四节 液压控制阀 …… 33
第五节 新型液压元件及应用 …… 44
第六节 液压辅助装置 …… 50

第四章 液压基本回路 …… 57

第一节 方向控制回路 …… 57
第二节 压力控制回路 …… 58
第三节 速度控制回路 …… 62
第四节 多缸动作控制回路 …… 69

第五章　气压传动控制 …… 73

第一节　气源装置各部件介绍 …… 73
第二节　气动执行元件 …… 77
第三节　气动控制元件 …… 80
第四节　气压传动基本回路 …… 86

第六章　常用低压电器 …… 94

第一节　低压电子电器概述 …… 94
第二节　开关与主令电器 …… 95
第三节　接触器 …… 98
第四节　继电器 …… 99
第五节　熔断器 …… 103

第七章　电气控制线路的基本环节 …… 105

第一节　电气控制系统图 …… 105
第二节　三相笼型异步电动机直接启动控制电路 …… 107
第三节　三相笼型异步电动机降压启动控制电路 …… 113
第四节　组合机床控制电路的基本环节 …… 115
第五节　三相笼型异步电动机制动控制电路 …… 117

第八章　可编程序控制器及其应用 …… 121

第一节　可编程序控制器概述 …… 121
第二节　可编程序控制器的工作原理 …… 126
第三节　FX2 系列可编程序控制器简介 …… 128
第四节　FX2 系列 PLC 指令系统及应用 …… 130
第五节　可编程序控制器的程序设计 …… 141
第六节　PLC 控制系统设计的步骤和内容 …… 150

第一章 设备控制技术的总论



设备控制技术是对生产现场中所使用的各种设备进行控制，使设备按照规定的加工与制造工艺的要求完成相应动作的技术。它包括机械传动、液压传动、气压传动和电气传动与控制等实用技术。这些技术的集成使用，可以大大提高生产设备的制造能力、技术水平和控制的自动化程度，有效地保证产品质量，提高经济效益。因此，设备控制技术在生产过程及其他领域中应用十分广泛。本教材只研究设备控制技术中的液压传动和电气传动与控制部分。



1. 了解设备控制技术的应用、特点及发展趋势。
2. 了解本课程的相关任务。

* * * * * * * * * *

第一节 液压传动应用的优点和缺点

液压传动在工程机械、交通运输机械、起重机械、矿山机械、建筑机械、钢铁冶炼与轧制机械、钻探机械、农业机械、各种加工机床、轻工业机械、机械手与机器人、飞行器、舰艇等装备和行业中都有广泛的应用。

液压传动之所以能获得广泛的应用，是因为它具有如下的特点：

一、液压传动的优点

- 液压传动装置工作平稳，反应速度快，冲击小，能快速启动、制动和频繁换向。
- 在输出功率相同的条件下，液压传动装置的体积小、重量轻、结构紧凑、运动惯性小。
- 易于实现直线往复运动、旋转运动和摆动。
- 液压传动装置可方便地实现无级调速，调速范围最大可达 1:2000（一般为 1:100）。
- 液压传动装置的控制、调节比较简单，操纵方便、省力，易于实现自动化。如与电气联合控制时，能实现复杂的自动工作循环和远距离控制。
- 液压系统易于实现过载保护。又由于采用油液作为传动介质，液压元件能自行润滑，

故元件使用寿命长。

● 液压元件易于实现标准化、系列化、通用化，便于设计、制造和选用。

二、液压传动的缺点

● 液压系统中油液的泄漏和可压缩性使得液压系统无法实现严格的定比传动。

● 液压油的黏度随油温而变化，使液压系统在高温和低温条件下工作都有困难。一般工作温度在 -15℃ ~60℃范围内较合适。

● 液压元件的制造工艺和维修工艺要求比较高。

● 对油液的污染比较敏感，系统出现故障时也不易查找原因。

● 液压传动中的能量需要两次转换（机械能—压力能—机械能），系统总效率较低。当管路长和流速大时，压力能损失增大，故液压传动不适宜进行单独的远距离传动。

总的来说，液压传动的优点是主要的。随着计算机技术的发展，液压技术得到了很大的发展，并渗透各个工业领域中。液压技术开始向高压、高速、大功率、高效率、低噪声、低能耗、经久耐用、高度集成化等方向发展。同时，新型液压元件和液压系统计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助测试（CAT）、计算机辅助直接控制（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。

第二节　机床电气传动控制的优点和缺点

机床电气控制主要应用在各种机床设备中。机床因其组成部件的运动情况和生产工艺有所不同，其电气控制也显现出不同的特点。总的看来，传统的继电器—接触器式的机床电气控制的特点是：

1. 机床电气控制的优点

● 控制器件结构简单，制造方便，价格低廉，维护方便，抗干扰能力强。

● 控制方式直接，操作方便、简单。

● 可以方便地使机床实现生产过程自动化，还可实现集中控制和远距离控制。

● 产品已标准化、系列化。

● 无须高级技术，系统设计简单。

2. 机床电气控制的缺点

● 因触点动作寿命的限制，可靠性差，维修不易。

● 设备体积庞大，耗电量和噪声较大。

● 控制输入输出的能力范围较窄。

● 控制接线固定，灵活性差，难以适应复杂和程序可变的控制对象的需要。

● 在易燃、易爆场合必须设置保护装置，避免因打火导致事故发生。

● 控制方式不能连续、准确地反应信号，达不到机床对高精度加工的要求。

随着大规模集成电路及微型计算机技术的发展，给机床电气控制技术开辟了新的前景。微型计算机体积小、重量轻、耗电省、可靠性高且维护方便的特点，使其广泛应用于机床的局部控制或整机控制，减少了机械部件，提高了生产效率，减轻了工人的劳动强度，成为机

床电气控制系统的发展方向之一。数控机床的控制系统就是应用的典型例子。



液压、气压、电气及机械传动与控制的性能比较

比较项目 / 传动方式		操作力	动作快慢	环境要求	构造	负载变化影响	操纵距离	无级调速	工作寿命	维护	价格
液压传动		最大	较慢	不怕振动	复杂	有一些	短距离	良好	一般	要求高	稍贵
气压传动		中等	较快	适应性好	简单	较大	中距离	较好	长	一般	便宜
电气传动	电气	中等	快	要求高	稍复杂	几乎没有	远距离	良好	较短	要求较高	稍贵
	电子	最小	最快	要求特高	最复杂	没有	远距离	良好	短	要求更高	最贵
机械传动		较大	一般	一般	一般	没有	短距离	较困难	一般	简单	一般

总之，设备控制技术正在向机、电、液、气技术相结合的方向发展，充分发挥每一种控制方式的优点，在尽可能降低制造成本和维护方便的基础上，满足不同的控制要求，不断提高设备控制的自动化程度。



本课程的性质、任务和基本要求

“设备控制技术”是机械加工技术专业的一门主干课。本课程主要以液压传动和机床电气控制为研究对象，介绍液压和机床电气控制的基本原理、实际控制线路及常见故障与排除方法，以控制元件的基本结构、作用、主要技术参数、应用范围、选用为基础，从应用角度出发，讲授上述几方面的内容，培养学生对设备控制系统进行日常维护、分析排除常见故障及正确选用常用元器件的基本能力。

本课程的主要任务是使学生具备机械加工高素质操作者所必备的设备控制技术的基本知识和基本技能，为学生毕业后胜任岗位工作，增强适应职业变化能力和继续学习打下一定的基础。本课程内容涉及面较广，实践性很强，只有通过理论联系实际的学习和训练，才能对所学知识理解得深入透彻，并达到下列基本要求：

了解液压传动和机床电气控制及可编程序控制器的基本知识；了解常用液压元件的基本结构、工作原理和液压基本回路；了解常用低压控制电器元件的基本结构、工作原理和电气控制基本电路；掌握常用液压元件和低压控制电器元件的用途、图文符号及适用场合；了解可编程序控制器的基本指令和原理及其在工业控制中的应用；同时就到达具有阅读简单液压系统图和电气控制线路图的能力；具有可编程序控制器简单程序编制的能力；具有常用设备控制系统的维护能力等目标。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第一章 液压与气压传动基本知识



液压与气压传动是利用密闭系统中的受压流体来传递运动和动力的一种方式，它是研究以流体作为工作介质，利用压力进行能量传递和自动控制的一门技术。这种技术具有许多优点，被广泛地应用于机械制造、工程建筑等各个领域。特别是近年来，随着机电一体化技术的发展，与微电子、计算机技术互相结合，该技术的发展进入了一个崭新的阶段。



1. 掌握液压与气压传动的组成及工作原理。
2. 掌握流体静力学和动力学基础知识。
3. 熟悉孔口和缝隙流动的流量。
4. 了解液压冲击与气蚀现象。

* * * * * * * * * *

第一节 液压与气压传动的组成及工作原理

一、液压与气压传动系统的组成

液压与气压传动系统除工作介质（液压油与空气）外，一般由以下五部分组成：

1. 动力元件

它们是为液压与气动系统提供一定流量与压力的流体装置，它将原动机输入的机械能转换为流体的压力能，主要有液压泵、空气压缩机等。

2. 执行元件

它们是将流体压力能转换为机械能的装置。主要有：实现直线运动的执行元件液压缸或气缸，它输出力和速度；实现旋转运动的液压电动机或气电动机，它输出转矩和转速。

3. 控制元件

即各种液压控制阀。它们是对液压、气压系统中流体的压力、流量和方向进行控制的装置，如溢流阀、节流阀、换向阀和逻辑元件等。

4. 辅助装置

它们是起连接、储油、过滤、密封等作用的装置或部件，主要包括各种管件、油箱、过滤器、蓄能器、仪表和密封装置等。

5. 工作介质

如液压油。其作用是实现运动和动力的传递。

二、液压与气压传动的工作原理

为了对液压与气压传动有一个初步了解，下面以液压千斤顶为例，介绍其工作原理与组成。

图 2-1 所示为液压千斤顶工作原理图，首先关闭截止阀 11，上提手柄 1，小活塞 3 被带动上升使小活塞 3 下腔的容积增大，此时单向阀 7 因受上腔油液压力作用而关闭，使小活塞 3 下腔形成局部真空，油箱 12 中的油液在大气压力的作用下，推开吸油阀 4 进入小活塞 3 的下腔。当下压手柄 1 时，小活塞 3 下移，小活塞 3 下腔的容积减小，油液受外力挤压作用而产生压力，迫使吸油阀 4 关闭，液体通过管道 6 打开单向阀 7，进入液压缸 9 的下腔，推动大活塞 8 连同重物 W 一起向上移动。如果反复上提、下压手柄 1，液体就会不断地被送入大活塞下腔，推动大活塞及负载（重物）上升。如果打开截止阀 11，可以控制液压缸 9 下腔的油液通过管道 10 流回油箱，大活塞 8 在重物的作用下向下移动并回到原始位置。

由此可见液压传动是依靠密封容积的变化来传递运动、依靠油液的压力来传递动力的。

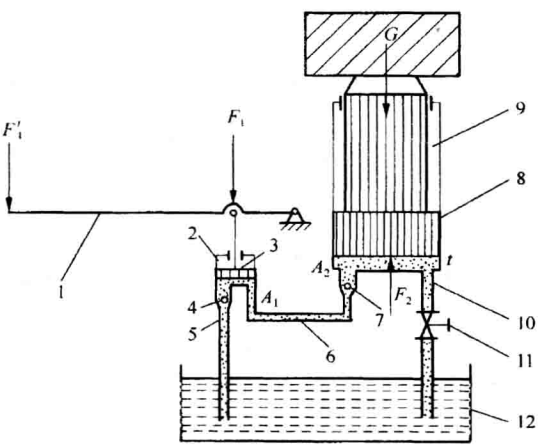


图 2-1 液压千斤顶工作原理图

气压传动与液压传动的工作原理极为相似，只不过液压系统是以液体作为其工作介质，而气动系统是以气体作为其工作介质的，两种工作介质的不同之处在于：液体几乎是不可压缩的，而气体却具有较大的可压缩性。

图 2-1 中所示的液压传动系统是用结构示意图来表示的，它直观性强，容易理解，但绘制较复杂、无规范，为此，目前国内外都广泛采用元件的图形符号来绘制液压与气压的系统图。我国根据国际标准化组织（ISO）制定的液压与气动图形符号标准，也制定了相应的标准 GB/T 768. 1—1993。

液压与气压图形符号脱离元件的具体结构，只表示元件的功能，使系统简化，原理简单

明了，便于阅读、分析、设计和绘制。



液压与气压传动工作介质

液压传动的工作介质主要有：石油基液压油、抗燃液压液和水等。气压传动的工作介质是空气。

由于液压传动中的工作介质是传递运动和动力的，它的性能如何，直接影响液压系统工作的好坏。而气压传动的工作介质是空气，取自大自然，无须选择。因此本节只介绍液压传动工作介质使用最多的液压油的选择。

1. 液压油的使用要求

液压传动系统用的液压油一般应满足以下要求：对人体无害且成本低廉；黏度适当，黏度随温度的变化小；润滑性能好；防锈能力强；质地纯净、杂质少；对金属和密封件的相容性好；氧化稳定性好，不变质；抗泡沫性和抗乳化性好；体积膨胀系数小；燃点高、凝点低等。对于不同的液压系统，则需根据具体情况突出某些方面的使用性能要求。

2. 液压油的选用

液压油的品种由代号和后面的数字组成，代号中L是石油产品的总分类号，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黏度等级。石油型液压油是最常用的液压系统工作介质。表2-1是石油型液压油及使用范围。

表2-1　石油型液压油及使用范围

名称	代号	应用
精制矿物油	L—HH	循环润滑油，用于要求不高的低压系统
普通液压油	L—HL	适用于室内一般设备的中低压系统
抗磨液压油	L—HM	低、中、高压液压系统，特别适合于工程机械、车辆液压系统
低温液压油	L—HV	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
高黏度指数液压油	L—HR	黏温特性优于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	适用于导轨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

选择液压油的牌号，主要根据工作条件选用适宜的黏度。应主要考虑以下几个方面：

- 工作压力为了减少泄漏，工作压力高的液压系统宜选用黏度较高的液压油，工作压力较低时，宜用黏度较低的液压油。
- 环境温度液压系统温度高时应选用黏度较高的液压油，低温时应选黏度较低的液压油。

●运动速度为了减少液流的摩擦损失，工作部件运动速度较高时，宜选用黏度较低的液压油。反之，则选用黏度较高的液压油。

此外，也可根据液压泵类型及工作情况选择液压油黏度。表2-2为按各类液压泵适用的黏度范围，供选择液压油时参考。

表2-2 各类液压泵适用的黏度范围

液压泵类型		工作介质黏度 γ_{40}/（$mm^2 \cdot s^{-1}$）	
		环境温度5℃～40℃	环境温度40℃～80℃
齿轮泵		30～70	65～165
叶片泵	$P<7.0$ MPa	30～50	40～75
	$P\geqslant 7.0$ MPa	50～70	55～90
径向柱塞泵		30～80	65～240
轴向柱塞泵		40～75	70～150

第二节 流体静力学基础

一、流体的物理性质

1. 流体的可压缩性和膨胀性

流体体积随压力变化而变化。在一定温度下，液体体积相对压力变化的属性，称为液体的可压缩性。

流体的体积也随温度的变化而变化，通常温度升高，流体的体积增大，流体的这种属性称为膨胀性。

对于液压系统用矿物油，在一般使用温度与压力范围内，其体积随压力和温度的变化小，但对气体的影响极大。气体体积随温度和压力的变化规律遵循气体状态方程。

2. 流体的密度

单位体积中流体的质量称为流体的密度，用ρ表示：

$$\rho = \frac{m}{V}$$

式中 m——流体的质量（kg）；

V——流体的体积（m^3）。

流体的密度是随温度和压力而变化的，对于液压系统用矿物油，在一般使用与压力范围内，其密度变化小，可近似认为不变。其密度$\rho \approx 900 kg/m^3$，空气的密度在标准状态下为$12.93 kg/m^3$。



气体状态方程

不计黏性的气体为理想气体，在平衡状态下，气体的三个基本状态参数：压力、温度和体积之间的关系为

$$\frac{pV}{T}=常数$$

式中 p——绝对压力（Pa）；

V——气体的体积（m^3）；

T——热力学温度（K）。

此式称为理想气体方程式。理想气体实际上是不存在的，在气动技术中，气体的工作压力一般在2.0 MPa以下，可以近似当作理想气体来处理。

3. 流体的黏性

流体在外力的作用下流动时，分子间的内聚力阻止其相对运动而产生内摩擦力的性质称为黏性。摩擦阻力是流体黏性的表现形式，只有在运动时才呈现出黏性，静止时不呈现黏性。黏性是流体的基本属性，对元件的性能和系统的工作特性有极大影响。流体黏性的大小用黏度来表示，它是选择工作介质的重要依据。

常用的黏度有运动黏度、动力黏度和相对黏度。

（1）运动黏度　动力黏度与其密度 ρ 的比值，即 $\gamma=\mu/\rho$，单位为m^2/s。运动黏度没有明确的物理意义，因为在其单位中只有长度和时间量纲，所以称为运动黏度。在工程上习惯用运动黏度来标志液体黏度。液压油的牌号就是采用温度为40℃时运动黏度（单位为mm^2/s）的平均值来表示的。例如L——H32号液压油，是指这种油在40℃时的运动黏度的平均值为$32mm^2/s$。

（2）动力黏度　表征液体黏性的内摩擦系数（又称绝对黏度），用 μ 表示，其单位为$N\cdot s/m^2$或Pa·s（帕·秒）。

（3）相对黏度　（又称条件黏度）相对黏度是使用特定的黏度计在规定条件下直接测量的黏度。我国常用的相对黏度为恩氏黏度°E。即将200mL的液体从恩氏黏度计流出所需时间 t_1 与同体积20℃下的蒸馏水从该恩氏黏度计中流出所需时间 t_2 之比称为恩氏黏度。即

$$°E=t_1/t_2$$

液压油黏性对温度变化十分敏感。当温度升高时，黏性下降，这种影响在低温时尤为突出。

在气压传动中，空气的黏度随温度的升高而增大，这是由于温度升高后，空气内分子运动加剧，使分子之间碰撞增多的缘故。

二、流体静力学基础

讨论静止流体的平衡规律以及这些规律的应用是流体力学的基础。

静止系指流体之间没有相对运动，对于液体而言一般可视为不可压缩，静止液体不呈现黏性。

1. 流体静压力

作用在流体上的力可归纳为两类：质量力和表面力。作用在流体内部所有质点上的力，其大小与受作用的流体质量成正比，这种力称为质量力；作用在所研究的流体外表面上并与流体表面积成正比的力称为表面力。静止流体中所受表面力只有法向力而无切向力，流体单位面积上所受的法向力，即流体静压力，以 p 表示。

$$p=\frac{F}{A}$$

式中 p——流体静压力（Pa）；

A——作用的面积（m^2）；

F——面积 A 上所受的法向力（N）。



流体静压力两个基本特性

（1）静压力的方向总是沿着液体作用面的内法线方向，压力总是垂直于受压面；

（2）液体中任一点压力大小与作用面的方位无关。

2. 压力表示法

压力的表示方法有两种，即绝对压力和相对压力。以绝对零值为基准测得的压力称为绝对压力，以当地大气压为基准测得的压力称为相对压力。如果流体的绝对压力低于大气压，则习惯上称为真空，并以真空度来表示。绝对压力、相对压力和真空度的关系见图 2-2 所示。由常用液压测试仪表所测得的压力均为相对压力，又称表压力。

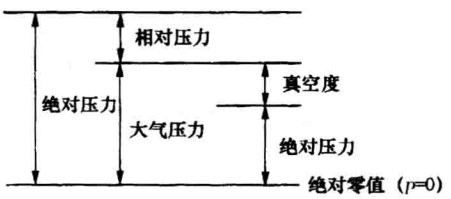


图 2-2 绝对压力、相对压力与真空度之间的关系

压力单位常采用下面三种形式：

- 单位面积上的作用力，采用国际单位：帕（Pa = N/m^2），千帕（kPa）或兆帕（MPa），它们的换算关系为

$1MPa=10^6Pa=10^3kPa$

- 工程大气压（at）；
- 液柱高，如米水柱（mH_2O）、毫米汞柱（mmHg）等。

以上三种形式的压力单位换算关系为

$1at=10^5\ Pa=0.1MPa=10\ mH_2O=735.5\ mmHg$

3. 压力的传递——帕斯卡原理

在流体传动中，由外力所引起的压力要比重力引起的压力大很多，因此后者可略去不计。这就是说，在密封容器内，施加在静止液体边界上的压力可以等值地向液体内所有方向传递，这就是帕斯卡原理。依据此原理，结合静压力特征，可以得出液体不仅能传力，而且还能放大或缩小力，并能获得任意方向的力。

如图 2-1 所示的液压千斤顶就是帕斯卡原理的具体应用。

设其大、小活塞的面积为 A_2、A_1，当作用在大活塞上负载和作用的小活塞上的作用力

需要全本请访问 www.ertongbook.com