



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
中等职业学校教学用书（数控技术应用专业）

气压与液压控制 技术基础

◎ 梅荣娣 主编



本书配有电子教学参考资料包



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

技能型紧缺人才培养

教育部职业教育与成人教育司推荐教材
中等职业学校教学用书（数控技术应用专业）

气压与液压控制技术基础 (第2版)

梅荣娣 主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本教材以就业为导向、能力为本位,采用理论实践一体化训练法优化教材内容。

教材分气压传动和液压传动两个模块,每个模块包括:元件的基础知识和相关训练;基本回路的组成、应用和训练;围绕数控车、铣的中级工技能等级中有关气压、液压的基本要求,结合实际应用选取数控机床中典型的气压和液压系统的实例及故障分析。

为了进一步拓展学生的知识和能力,选取了一些其他机械设备中的气动和液压系统分析等内容。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

气压与液压控制技术基础/梅荣娣主编. —2版. —北京:电子工业出版社,2008.6
教育部职业教育与成人教育司推荐教材. 中等职业学校教学用书. 数控技术应用专业
ISBN 978-7-121-06770-9

I. 气… II. 梅… III. ①气压传动—专业学校—教材②液压传动—专业学校—教材 IV. TH13

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第074940号

策划编辑:白楠

责任编辑:白楠 徐玲

印刷:北京牛山世兴印刷厂

装订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开本:787×1092 1/16 印张:10 字数:251.2千字

印次:2008年6月第1次印刷

印数:4000册 定价:15.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

中等职业学校教材工作领导小组

主任委员：陈 伟 信息产业部信息化推进司司长

副主任委员：辛宝忠 黑龙江省教育厅副厅长

李雅玲 信息产业部人事司处长

尚志平 山东省教学研究室副主任

马 斌 江苏省教育厅职社处处长

黄才华 河南省职业技术教育教学研究室主任

苏渭昌 教育部职业技术教育中心研究所主任

王传臣 电子工业出版社副社长

委 员：（排名不分先后）

唐国庆 湖南省教科院

张志强 黑龙江省教育厅职成教处

李 刚 天津市教委职成教处

王润拽 内蒙古自治区教育厅职成教处

常晓宝 山西省教育厅职成教处

刘 晶 河北省教育厅职成教处

王社光 陕西省教育科学研究所

吴 蕊 四川省教育厅职成教处

左其琨 安徽省教育厅职成教处

陈观诚 福建省职业技术教育中心

邓 弘 江西省教育厅职成教处

姜昭慧 湖北省职业技术教育研究中心

李栋学 广西壮族自治区教育厅职成教处

杜德昌 山东省教学研究室

谢宝善 辽宁省基础教育教研培训中心职教部

安尼瓦尔·吾斯曼 新疆维吾尔自治区教育厅职成教处

秘 书 长：李 影 电子工业出版社

副 秘 书 长：柴 灿 电子工业出版社

第1版前言



2003年12月,教育部提出职业教育必须坚持以就业为导向,以全面素质为基础,以能力为本位,努力造就制造业迫切需要的高素质技能型人才。同时,将数控技术应用专业优先确定为技能型紧缺人才培养培训的四个专业领域之一。培养数控技术技能型紧缺人才要把提高学生的职业能力放在突出的位置,加强实践性教学环节,使学生成为企业生产服务一线迫切需要的高素质劳动者。

本教材以就业为导向、能力为本位,紧扣数控专业的特点,采用理论实践一体化训练法,优化教材内容,增强了实用性,实现理论知识与技能训练的统一。具体体现在如下几个方面:

① 围绕数控专业技能型紧缺人才的职业技能要求,去除烦琐深奥的理论知识,简化气、液压元件的工作原理,降低理论难度,突出元器件的识别方法及性能特点,突出基本回路的连接、调试及简单气、液压系统常见故障的分析方法。

② 便于理论实践一体化教学法的应用。在气、液压基本元件的介绍中,按宏观认识→拆装结构→工作过程分析→故障分析的顺序进行。这样,使理论教学与动手操作有机结合,提高了教学效率,激发了学生的学习兴趣。

③ 与企业生产密切联系。本教材在内容的选择上,围绕数控车、铣的中级工技能等级中有关液压、气动的基本要求,结合实际应用,选取数控机床中典型的气动换刀系统,以及液压卡盘的夹紧、松开等操作为实例,达到学以致用效果。

④ 打破原有学科体系框架,采用模块化进行整合。本教材分气压、液压两个模块,每个模块的构建又以各基本回路为小模块。例如液压部分,由方向控制、压力控制和速度控制等小模块构成,这不仅便于理论的有效讲解,而且便于项目训练的实施,达到理论知识和技能训练内容相统一。

⑤ 合理选取训练课题,以项目训练为主线索,并结合传统学科教学的长处,体现了教育部《指导方案》提出的一种作为过渡模式的“整合”。例如,在液压传动中压力和流量的基本概念、连续性和静压传递基本原理等属于基础知识范畴的教学内容的选取和安排上,继承了原来学科体系教学内容中的长处,即结合学生原有的知识和能力,由浅入深,循序渐进,符合学生的认知规律;在气、液压元件及回路等涉及应用性较强的教学内容上,采用训练项目,每个训练项目按系统→各组成模块→连接的顺序,由粗到细、由表及里进行分解。

江苏常州刘国钧职业教育中心梅荣娣担任本书主编并编写了第1~3章、第4章的4.1节、第5章和第6章的操作训练;第4章的4.2节和4.3节、第7章由盐城一职中胡剑编写;第

6章由济南电子机械工程学院赵庆华编写。镇江职业教育中心徐冬元担任本书主审。

本书在编写过程中,得到了相关学校和有关同志特别是王猛的热情支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

本书由江苏常州刘国钧职教中心王猛和江苏无锡职业教育中心校葛金印主审,经过教育部审批,列为教育部职业教育与成人教育司推荐教材。

限于编者水平,书中缺点和错误在所难免,恳请广大读者提出宝贵意见,以便修正。

为了方便教师教学,本书还配有电子教学参考资料包,内容包括电子教案、教学指南及习题答案,请有此需要的教师登录华信教育资源网(www.hxedu.com.cn)下载,或与电子工业出版社联系,我们将免费提供。E-mail:ve@phei.com.cn

编 者

2005年4月



再 版 前 言

《气压与液压控制技术基础》是中等职业学校数控技术技能型紧缺人才培养培训系列教材之一。

本教材以就业为导向、能力为本位,紧扣数控专业的特点,采用理论实践一体化训练法,优化教材内容,增强了实用性,实现理论知识与技能训练的统一。

本教材在第一版的基础上,经过几轮的教学实践,在广泛汇集相关教学单位的意见和建议的基础上,作了一些具有创新意义的改进。在保留第一版特色的基础上力求再突出以下特点:

① 更贴近中职教育的培养目标,在教学内容上作适当调整,突出基本回路的连接,调试及简单气、液压系统常见故障的分析方法;增加部分工程实际中常用的气压与液压系统,培养学生工程意识,突出培养动手能力和技术应用能力;

② 教材以回路的项目训练为主线,便于理论与实践一体化教学法的运用,更具实用性;在知识范畴的教学内容上继承传统理论教学由浅入深、循序渐进的认知规律,在掌握专业知识与技能过程中让学生提高学习能力;

③ 为方便学生的自主学习,增加了例题解析和多层次的习题;

④ 本教材中的气动与液压图形符号严格执行最新的国家标准;

⑤ 教材配备的含教学指南、习题答案、电子教案的教学资料包为教学提供了更有效的教学资源。

江苏常州刘国钧高等职业技术学校梅荣娣担任本书主编并编写了第1~3章、第4章的4.1节、第5章和第6章的操作训练;第4章的4.2节和4.3节、第7章由盐城一职中胡剑编写;第6章由济南电子机械工程学校赵庆华编写。镇江职业教育中心徐冬元担任本书主审。

本书在编写过程中,得到了相关学校、工厂、研究所有关同志特别是王猛的大力支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

本书由江苏常州刘国钧高等职业技术学校王猛和江苏无锡职业技术学院葛金印主审,经过教育部审批,列为教育部职业教育与成人教育司推荐教材。

限于编者水平,书中缺点和错误在所难免,恳请广大读者提出宝贵意见,以便修正。

为了方便教师教学,本书还配有电子教学参考资料包,内容包括电子教案、教学指南及习题答案,请有此需要的教师登录华信教育资源网(www.hxedu.com.cn、www.huaxin.edu.cn)下载,或与电子工业出版社联系,我们将免费提供。E-mail:hxedu@phei.com.cn

编 者

2008年3月





第1章 气压与液压传动的基础知识	1
1.1 工作介质的主要物理性质	1
1.1.1 密度	1
1.1.2 黏性	2
1.1.3 可压缩性	2
1.1.4 空气的湿度	2
1.2 气压与液压传动的基本概念	4
1.2.1 气压与液压传动的两个基本参数	4
1.2.2 压力损失和流量损失	6
1.2.3 理想气体的状态方程	7
1.3 液压油的选用	8
1.4 气压与液压传动的发展	9
习题1	11
第2章 气压元件的基础知识	12
2.1 气压传动概述	12
2.2 气源设备	13
2.2.1 空气压缩机	14
2.2.2 气源净化装置	17
2.2.3 气源系统中的其他必备元件	21
2.3 气源其他辅助元件	24
2.3.1 油雾器	24
2.3.2 消声器	24
2.3.3 气源设备的配置图	25
2.4 气缸与气压马达	26
2.4.1 气缸	26
2.4.2 气压马达	32
2.5 操作训练	35
2.5.1 训练项目	35
2.5.2 训练目的	36
2.5.3 原理说明	36
2.5.4 操作参考步骤	36

2.5.5	操作结果记录	37
2.5.6	分析与思考	37
习题 2		37
第 3 章	气动基本回路和控制阀	39
3.1	气动基本回路概述	39
3.1.1	实验步骤	39
3.1.2	实验分析	39
3.2	气动换向回路和换向阀	40
3.2.1	换向阀	40
3.2.2	换向回路	42
3.3	速度控制回路和流量控制阀	46
3.3.1	流量控制阀	47
3.3.2	速度控制回路	48
3.4	压力控制回路和压力控制阀	52
3.4.1	压力控制阀	52
3.4.2	压力控制回路	53
3.5	气动逻辑回路	54
3.5.1	各种逻辑回路	54
3.5.2	逻辑回路的应用实例	55
3.6	其他常用基本回路	56
3.6.1	安全保护回路	56
3.6.2	延时控制回路	57
3.6.3	顺序动作回路	58
3.7	操作训练	60
3.7.1	二位五通气控换向阀和手动二位三通换向阀控制的换向回路	60
3.7.2	双气控二位五通换向阀控制的换向回路	60
3.7.3	双压阀回路	60
3.7.4	快速排气阀回路	60
3.7.5	双速驱动回路	61
3.7.6	气液联用缸速度控制回路	61
3.7.7	双手同时操作回路	61
3.7.8	延时控制回路	61
习题 3		61
第 4 章	数控机床上的气压系统	63
4.1	数控加工中心气动换刀系统	63
4.2	数控铣床气动系统	65
4.2.1	卸刀	65
4.2.2	装刀	66
4.2.3	主轴制动	66
4.3	气动系统常见故障及其排除方法	66

4.4	操作训练	68
4.4.1	训练项目	68
4.4.2	训练目的	68
4.5	气压传动系统的其他应用实例	68
4.5.1	气液动力滑台气压传动系统	68
4.5.2	汽车车门的安全操作系统	69
	习题 4	70
第 5 章	液压元件的基础知识	72
5.1	液压传动概述	72
5.2	液压泵	73
5.2.1	液压泵的工作原理和性能参数	73
5.2.2	常用液压泵的工作原理和应用	75
5.2.3	液压泵的选用	82
5.3	液压缸和液压马达	83
5.3.1	液压缸的类型和特点	83
5.3.2	液压缸的密封、缓冲和排气	88
5.3.3	液压马达	90
5.4	液压辅助元件	92
5.4.1	油箱	92
5.4.2	过滤器	93
5.4.3	油管 and 管接头	95
5.4.4	蓄能器	96
5.5	操作训练	97
5.5.1	拆装齿轮泵	97
5.5.2	液压缸的拆装	98
	习题 5	98
第 6 章	液压基本回路和控制阀	99
6.1	液压回路概述	99
6.1.1	实验操作步骤	99
6.1.2	实验结果分析	100
6.2	方向控制回路和方向控制阀	100
6.3	压力控制回路和压力控制阀	105
6.3.1	调压回路与溢流阀	106
6.3.2	减压回路与减压阀	108
6.3.3	卸荷回路	109
6.3.4	平衡回路	110
6.4	速度控制回路和流量控制阀	111
6.4.1	调速回路	111
6.4.2	快速运动回路	114
6.4.3	速度换接回路	115

6.5	顺序动作回路	117
6.5.1	压力控制的顺序动作回路	117
6.5.2	行程控制的顺序动作回路	118
6.6	操作训练	120
6.6.1	采用 M 型中位机能的手动换向阀的换向回路	120
6.6.2	调压回路	122
6.6.3	节流调速回路	123
6.6.4	顺序动作回路	124
习题 6		126
第 7 章	典型液压系统	128
7.1	机械手液压系统	128
7.1.1	手臂回转	129
7.1.2	手臂上下运动	130
7.1.3	手臂伸缩	130
7.1.4	手腕回转	130
7.1.5	手指夹紧与松开	131
7.2	数控车床液压系统	131
7.2.1	卡盘的夹紧与松开	132
7.2.2	回转刀架动作	132
7.2.3	尾座套筒的伸缩动作	133
7.3	液压系统常见故障及其排除方法	133
7.4	操作训练	134
7.4.1	训练项目	134
7.4.2	训练目的	134
7.5	液压传动系统的其他应用实例	135
7.5.1	组合机床动力滑台液压系统	135
7.5.2	液压压力机液压系统	137
习题 7		140
附录 A	常用液压与气动图形符号 (摘自 GB/T 786.1—1993)	142
参考文献		146

第1章 气压与液压传动的 基础知识



气压与液压传动是以流体（压缩空气或液压油）为工作介质进行能量传递和控制的一种传动形式。工作介质的质量直接影响传动系统的工作性能，因此必须合理地选择和使用。

本章主要讲述工作介质的主要物理性质、气压与液压传动系统对工作介质的要求及其选用方法、气压与液压传动的基本原理及气体与液体流动时的能量损失等气压与液压传动的基础知识。

本章重点：

- (1) 工作介质的主要物理性质；
- (2) 气压与液压传动的基本原理，即静压传递原理、连续性原理、伯努利方程等；
- (3) 理想气体的状态方程；
- (4) 液压油的选用。

1.1 工作介质的主要物理性质

1.1.1 密度

单位体积内物体的质量称为密度，用 ρ 表示，单位为 kg/m^3 。

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

式中 m ——物体的质量（kg）；

V ——物体的体积（ m^3 ）。

空气在不同的温度、压力和湿度条件下可分为三类：自由空气、正常状态空气及标准状态空气。自由空气即地球上的空气，它随着气压、温度、位置、时间的改变而发生变化，不属于气压传动的空气来源。正常状态空气是指在温度为 0°C 、绝对压力为 $1.013\ 25 \times 10^5 \text{Pa}$ （760mmHg）状态下的干燥空气，其密度为 1.3kg/m^3 。标准状态空气是指在温度为 20°C 、绝对压力为 $1.013\ 25 \times 10^5 \text{Pa}$ （760mmHg）、相对湿度为75%状态下的空气，其密度为 1.2kg/m^3 。正常状态下的空气是确定空气压缩机容量、效率、性能的基本依据，即气压控制所使用的空气体积均指在“正常状态”下的空气体积。

大气中除了氧、氮及微量的二氧化碳、氢、氩、氦及氙之外，还含有水蒸气和其他微量气体、尘埃及浮游微生物等。正常状态空气的组成见表1-1。



表 1-1 正常状态空气的组成

成分	N ₂	O ₂	Ar	CO ₂	Ne 及其他
体积/%	78.09	20.95	0.93	0.03	0.06

矿物油型液压油的密度随温度的上升而有所减小, 随温度的下降而有所增加, 但变动很小, 可忽略不计。我国以温度为 20℃ 时液压油的密度为标准密度, 一般液压油的密度为 900 kg/m³。

1.1.2 黏性

当气体与液体在外力作用下流动 (或有流动趋势) 时, 由分子间的内聚力阻止分子相对运动而产生一种内摩擦力, 这种性质叫做气体或液体的黏性。气体和液体只有在流动 (或有流动趋势) 时才会呈现黏性, 静止的气体 and 液体是不呈现黏性的。正是由于气体和液体具有黏性才导致在它们流动时能量损失。

气体和液体的黏性可用动力黏度 μ 来表示, 其单位是 Pa·s。温度对空气黏度的影响不大, 气体比液体的动力黏度也小得多。例如, 在 20℃ 时, 空气的动力黏度 $\mu = 1.81 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, 而某液压油的动力黏度 $\mu = 5 \times 10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, 因此在管道内流动速度相同的条件下, 液压油的流动损失比空气的流动损失大得多。

在实际工程中, 常用运动黏度 ν 作为液体黏度的标志。运动黏度是动力黏度 μ 与液体密度 ρ 的比值, 其单位为 m²/s 或 mm²/s。液压油的黏度等级是以其在温度为 40℃ 时运动黏度的平均值来表示。例如 L—HM32 液压油的黏度等级为 32, 表示其在温度为 40℃ 时运动黏度的平均值为 32 mm²/s。

温度对液压油的黏度的变化极为敏感, 温度升高, 黏度下降。不同种类的液压油的黏度随温度变化的程度各不相同。除温度对黏度有影响外, 压力对黏度也有影响。液体所受压力增大时, 其内聚力增大, 黏度也随之增大, 但对于一般的液压系统, 当压力在 32MPa 以下时, 压力对黏度的影响不大, 可以忽略不计。当压力较高时或压力变化较大时, 黏度的变化则不容忽视。

1.1.3 可压缩性

气体与液体受压力作用后发生体积变化的性质称为可压缩性。对于一般的液压系统, 当压力不大时, 液体的可压缩性很小, 因此可认为液体是不可压缩的; 而在压力变化很大的高压系统中, 就必须考虑对液体可压缩性的影响, 因为在液压系统的实际工作中油液里常常存在游离气泡, 而气体的可压缩性比液体大得多, 所以当受压体积较大、工作压力过高时, 液体的可压缩性显著提高, 将严重影响液压系统的工作性能。因此, 在液压系统中应使油液中的空气含量减少到最低。

空气的体积受温度和压力的影响较大, 有明显的可压缩性。温度越高, 压力越大, 空气的体积变化越大, 可压缩性越大。只有在特定的条件下, 才能把空气看做是不可压缩的。空气容易压缩, 有利于贮存, 但难以实现气缸的平稳运动和低速运动。

1.1.4 空气的湿度

不含水蒸气的空气称为干空气, 含有水蒸气的空气称为湿空气。空气作为传动介质,



其干湿程度对传动系统的稳定性和使用寿命都有直接影响。若空气中含有的水蒸气量较大,则此湿空气在一定的温度和压力条件下,会在气动系统的局部管道、气动元件中凝结成水滴,使气动元件和管道腐蚀、生锈,缩短使用寿命,甚至造成系统失灵。因此,气动系统对空气的含水量有明确的规定,并采取必要的措施防止水分进入系统。

湿空气含水分的程度用湿度和含湿量表示。湿度的表示方法有绝对湿度和相对湿度。

绝对湿度是指每立方米湿空气中含有的水蒸气的质量,常用 x 表示,单位为 kg/m^3 。

$$x = \frac{m_s}{V}$$

式中 m_s ——水蒸气的质量 (kg);

V ——湿空气的体积 (m^3)。

湿空气中水蒸气的含量是有限的,在一定温度下,当湿空气中所含水蒸气的量达到最大限度时的绝对湿度叫饱和绝对湿度,用 x_b 表示。

绝对湿度只能说明湿空气中所含水蒸气的多少,但不能说明空气所具有的吸收水蒸气的能力,所以常用相对湿度来表达这种能力。

相对湿度是指在某温度和总压力不变的条件下,绝对湿度与饱和绝对湿度的比值,用 φ 表示。

$$\varphi = \frac{x}{x_b} \times 100\%$$

对于干空气, $\varphi = 0$ 。当湿空气达到饱和时, $\varphi = 100\%$ 。 φ 表示湿空气吸收水蒸气的能力, φ 值越大,表示湿空气吸收水蒸气的能力越弱。

当气压下降时,空气含湿量减少,减少空气中所含水分,对于降低进入气压设备的空气湿度是十分有利的。当温度下降时,空气中的水蒸气含量也会降低。气压传动系统中也常采用降温法来消除湿空气中的水分。

通常情况下,空气的相对湿度在 $60\% \sim 70\%$ 的范围内,人体感觉舒适。在气压传动技术条件中,规定各种阀的工作介质相对湿度不得大于 90% 。

含湿量是指每千克质量的干空气中所含有的水蒸气的质量,用 d 表示。

$$d = \frac{m_s}{m_g} = \frac{\rho_s}{\rho_g}$$

式中 m_s ——水蒸气的质量;

m_g ——干空气的质量;

ρ_s ——水蒸气的密度;

ρ_g ——干空气的密度。

例如,温度为 30°C 、相对湿度 80% 的大气的含湿量为 21.34g/kg ,若用空气输出量为 800L/min 的空压机吸入温度为 30°C 、相对湿度为 80% 的大气,将其压缩到绝对压力 0.7MPa ,然后用后冷却器冷却到 35°C ,则后冷却器内的空气含湿量为 5.02g/kg ,后冷却器每分钟将产生冷凝水 $(21.34 - 5.02)\text{g/kg} \times 0.8\text{m}^3/\text{min} \times 1.3\text{kg/m}^3 = 16.97\text{g/min}$,即后冷却器每分钟将产生冷凝水 17mL 。



1.2 气压与液压传动的基本概念

1.2.1 气压与液压传动的两个基本参数

1. 压力

(1) 压力的概念

压力是由于气体或液体分子由于热运动相互碰撞, 在容器的单位面积上产生的力, 相当于物理学中的压强, 用 p 表示。

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

式中 p ——压强 (N/m^2 或 Pa)。

工程中也常用 kPa (千帕)、 MPa (兆帕)、 kgf/cm^2 。 1kgf/cm^2 称为一个工程大气压。

(2) 压力的表示方法

压力可用绝对压力、相对压力及真空度等方法来度量。绝对压力是指以绝对真空作为基准所表示的压力。相对压力是指以大气压力作为基准所表示的压力。由压力表测得的压力都是相对压力, 所以相对压力也称表压力。当绝对压力低于大气压时, 习惯上称为出现真空。因此真空度是指比大气压力小的那部分数值。

$$\text{真空度} = \text{大气压力} - \text{绝对压力}$$

绝对压力、相对压力和真空度的相互关系如图 1-1 所示。

(3) 压力的传递

静止的气体 and 液体具有下列特性。

- ① 静止的气体和液体的压力, 垂直作用于气体和液体接触的表面。
- ② 静止的气体和液体中, 任一点的各个方向的压力均相等。
- ③ 密闭容器中的气体和液体, 当一处受到压力作用时, 这个压力会传到气体和液体的各个部分, 且压力处处相等。

加在静止气体或液体上的压力, 以同样大小向所有方向传递, 这就是帕斯卡定理。下面是帕斯卡定理的几个应用实例。

在如图 1-2 所示的气缸内, 充以压力为 p 的压缩空气, 则压力将作用在气缸的所有面上, 若活塞面积为 A , 则气缸的理论输出力 $F = p \times A$ 。其中, p 为表压力。

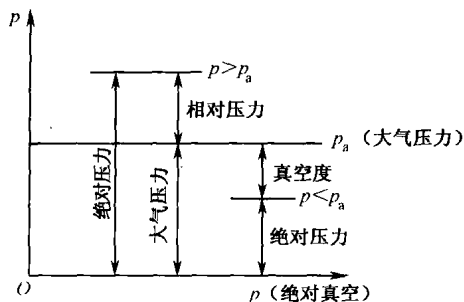


图 1-1 绝对压力、相对压力和真空度的相互关系

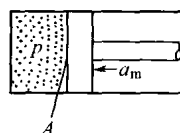


图 1-2 气缸输出力



水压力机的工作原理图如图 1-3 所示。已知水压力机中水的压力为 p ，柱塞断面积为 A ，水压力机输出力为 F ，忽略高度及摩擦损失的影响，根据帕斯卡定理及力的平衡可得

$$F_1 = p_1 A_1, p_1 = p_2, p_2 A_2 = p_3 A_3$$

所以

$$F_1 = \frac{A_1 A_3}{A_2} \times p_3$$

气压计工作原理图如图 1-4 所示。容器侧向有一个竖直管，在容器及管内充以水银，竖直管顶部抽成真空。读出竖直管内水银高度即为当地大气压力 p 的大小， $p = \rho_{\text{水银}} gh$ 。式中， g 为重力加速度； h 为水银柱高度，与当地大气压力 p 是一一对应的。

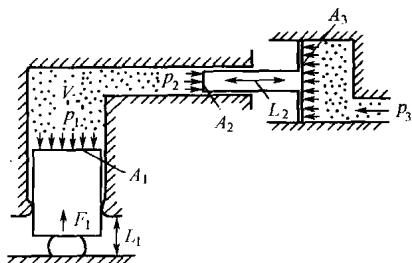


图 1-3 水压力机的工作原理图

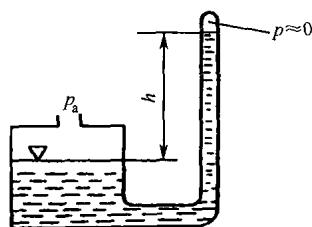


图 1-4 气压计的工作原理图

2. 流量

(1) 概念

① 通流截面——垂直于液体或气体流动方向的截面，常用 A 表示，单位为 m^2 。

② 流量——单位时间内流过通流截面的液体或气体的体积，常用 q_v 表示，单位为 m^3/s 或 L/min ，换算关系为 $1 \text{ m}^3/\text{s} = 6 \times 10^4 \text{ L}/\text{min}$ 。

③ 平均流速——液体或气体在管道中流动时，由于其具有黏性，所以液体或气体与管道之间存在摩擦力，液体内存在的内摩擦力，造成液体或气体通过通流截面上各点的速度各不相等，管子中心的速度最大，管壁处的速度最小，为计算和分析简便，假设液体或气体通过通流截面的流速分布是均匀的，其流速称为平均流速，用 v 表示，单位为 m/s 。

$$q_v = vA \quad \text{或} \quad v = \frac{q_v}{A}$$

(2) 连续性原理

液体或气体在无分支管道内作不可压缩恒定流动时，每一个通流截面上所通过的质量相等。液体在如图 1-5 所示的管道中作恒定流动时，若任取 1 和 2 两个通流截面的面积分别为 A_1 和 A_2 ，并且在这两个通流截面处的液体密度和平均流速分别为 ρ_1 、 v_1 和 ρ_2 、 v_2 ，则 $\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2$ 。

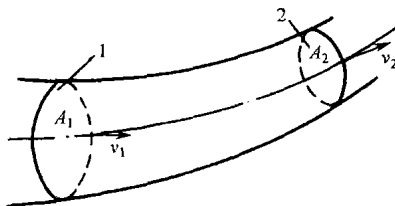


图 1-5 液流连续性原理示意图

当忽略液体的可压缩性时, $\rho_1 = \rho_2$, 则

$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$

即通过每一个通流截面的流量相等, 这就叫做连续性原理, 上式称为连续性方程。由此可见, 在流量不变的条件下, 通过某通流截面的流速与通流截面的大小成反比, 即通流截面积大处流速慢, 通流截面积小处流速快。

(3) 伯努利方程

伯努利方程如图 1-6 所示, 无黏性的气体和液体在管道内作恒定流动时, 用伯努利方程表示压力与流速的关系如下

$$\frac{p_1}{\rho_1} + gh_1 + \frac{v_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho_2} + gh_2 + \frac{v_2^2}{2}$$

式中 p_1, ρ_1, v_1, h_1 ——截面 1 处的压力、密度、流速、高度;

p_2, ρ_2, v_2, h_2 ——截面 2 处的压力、密度、流速、高度。

对于同一水平的两截面, $h_1 = h_2$, 所以上式简化为

$$\frac{p_1}{\rho_1} + \frac{v_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2}$$

而对于不可压缩的液体和气体, 有 $\rho_1 = \rho_2$, 所以

$$v_2 = \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_1 - p_2) + v_1^2}$$

由上式可知, 当流速 v 越快, 则压力 p 越小。

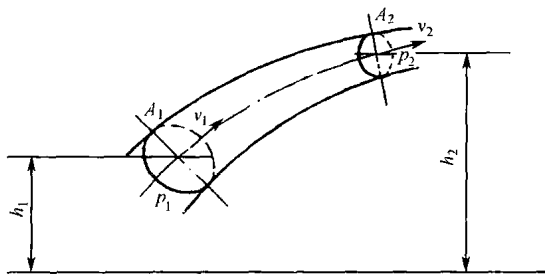


图 1-6 伯努利方程示意图

1.2.2 压力损失和流量损失

1. 压力损失

由于气体和液体有黏性, 它们在管内流动时存在压力损失。压力损失可分成沿程压力损失和局部压力损失。在等截面长直管内流动时引起沿程压力损失, 在弯管、阀门内等截面变化处流动时引起局部压力损失。

传动中的压力损失会造成功率的损耗, 所以应尽量减少压力损失。通过提高管道内壁的加工质量, 尽量缩短管道长度, 减少管道截面的突变及弯曲, 就能使压力损失控制在较小的范围内。