

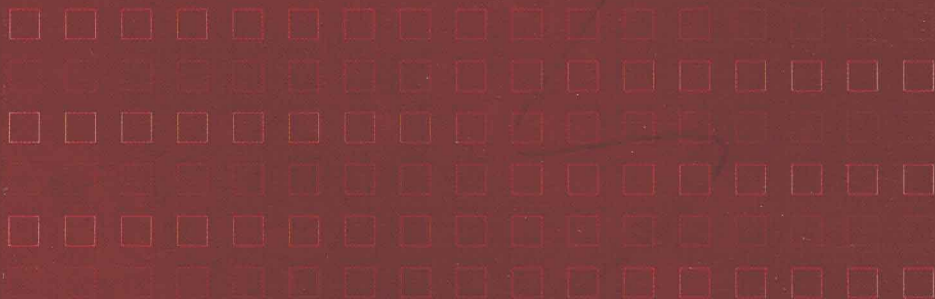


普通高等教育“十二五”规划教材

QIYE CHUANDONG
KONGZHI JISHU

气液传动 控制技术

王增娣 王为民 主编
黄 志 主审



国防工业出版社

National Defense Industry Press

气液传动控制技术

王增娣 王为民 主 编
黄 志 主 审

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书以气压与液压传动的基本知识、基本理论为主线,以应用为目的,在保证科学性的前提下,删繁就简,使元件工作原理分析重点突出、概念清楚、实用性强。将元件工作原理的讲授、回路工作过程的介绍、典型实例的分析与常见故障的维修有机地结合。本书主要包括气源装置与辅助元件、气动执行元件、气动基本回路及控制元件、典型气动系统、液压传动基础、液压动力元件、液压执行元件、液压基本回路及液压控制元件的选用、液压辅助元件、典型液压传动系统及故障分析、FluidSIM 软件简介。

本书可作为高职高专院校机电一体化、数控、机械类专业的气压与液压传动教材,也可作为相关工程技术人员自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

气液传动控制技术/王增娣,王为民主编. —北京:国防工业出版社,2012.3

ISBN 978-7-118-07935-7

I. ①气... II. ①王... ②王... III. ①液压传动装置—液压控制 IV. ①TH137.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 033016 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 16¼ 字数 369 千字

2012 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 29.50 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

本书为高职高专机电类专业教材。是根据教育部制定的高职高专“液压与气压传动”教学要求,针对高职教育的特点,高职类教材在实用性、新颖性和通用性方面应有更特殊的要求,即教材的内容要易懂、实用,能反映当今先进企业的生产和技术应用状况及发展趋势,要有利于对学生技能的培养。本书正是基于这种理念编写的。

本教材的参考学时数为 170 学时,其中理论学时为 110 学时,全书包括气压传动和液压传动两部分内容,共分为 11 章。第 1 章~第 4 章为气压传动部分,内容分别为气源装置与辅助元件、气动执行元件、气动基本回路及控制元件、典型气动系统、液压传动基础。第 5 章~第 10 章为液压传动部分,内容分别为液压动力元件、液压执行元件、液压基本回路与液压控制元件的选用、液压辅助元件、典型液压传动系统及故障分析。第 11 章为 FluidSIM 软件简介。

本书由广东省技师学院王增娣、王为民老师任主编,张秋妍、张志芳老师任副主编,刘小嫻、王汉斌老师共同参与编写。

全书由广东省技师学院院长黄志审稿,他对本书进行了认真审阅,提出了很多好的意见和建议,作者在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免还存在一些不足和错漏之处,殷切希望广大读者批评指正。

编著者
2011.11

目 录

| | |
|--------------------------|----|
| 第 1 章 气源装置与辅助元件 | 1 |
| 1.1 气压传动概述 | 1 |
| 1.1.1 气动技术的应用范围 | 1 |
| 1.1.2 气压传动的优点 | 2 |
| 1.1.3 气压传动的缺点 | 2 |
| 1.2 气压传动的基础知识 | 3 |
| 1.2.1 空气的物理性质 | 3 |
| 1.2.2 理想气体状态方程 | 4 |
| 1.2.3 气体流动的基本方程 | 6 |
| 1.2.4 流通能力 | 7 |
| 1.2.5 压力的表示方法 | 9 |
| 1.2.6 充、排气温度与时间的计算 | 10 |
| 1.3 气源装置 | 12 |
| 1.3.1 空气压缩机 | 13 |
| 1.3.2 空气净化装置 | 15 |
| 1.4 辅助元件 | 17 |
| 1.4.1 气动三联件 | 17 |
| 1.4.2 其他辅助元件 | 21 |
| 习题 | 24 |
| 第 2 章 气动执行元件 | 26 |
| 2.1 汽缸 | 26 |
| 2.1.1 汽缸的分类、原理和特点 | 26 |
| 2.1.2 汽缸的设计计算 | 30 |
| 2.2 气压马达 | 36 |
| 2.2.1 气压马达的特点与分类 | 36 |
| 2.2.2 气压马达的工作原理 | 36 |

| | |
|--------------------------------|-----------|
| 2.2.3 气压马达的选择和使用要求 | 37 |
| 习题 | 38 |
| 第3章 气动基本回路及控制元件 | 40 |
| 3.1 气动换向回路和方向控制阀 | 40 |
| 3.1.1 气动换向控制阀 | 40 |
| 3.1.2 方向控制阀 | 47 |
| 3.1.3 换向回路 | 49 |
| 3.2 气动压力控制阀和压力控制回路 | 51 |
| 3.3 流量控制阀及其速度回路 | 56 |
| 3.3.1 流量控制阀 | 56 |
| 3.3.2 速度控制回路 | 61 |
| 3.4 逻辑元件及逻辑电路 | 63 |
| 3.4.1 逻辑元件 | 63 |
| 3.4.2 逻辑回路 | 66 |
| 3.5 其他常见回路 | 67 |
| 3.5.1 气液联动回路 | 67 |
| 3.5.2 同步回路 | 70 |
| 3.5.3 安全保护回路 | 70 |
| 3.5.4 往复动作回路 | 71 |
| 习题 | 73 |
| 第4章 典型气动系统 | 76 |
| 4.1 气液动力滑台气压传动系统 | 76 |
| 4.1.1 快进→慢进(工进)→快退→停止 | 76 |
| 4.1.2 快进→慢进(工进)→慢退→快退→停止 | 77 |
| 4.2 零件使用寿命检测装置 | 77 |
| 4.2.1 工作过程 | 77 |
| 4.2.2 气动控制回路 | 77 |
| 4.3 气动机械手 | 79 |
| 4.4 工作夹紧气压传动系统 | 81 |
| 4.5 数控加工中心气动换刀系统 | 81 |
| 4.6 气动系统的安装与调试、使用及维护 | 82 |
| 4.6.1 气动的安装与调试 | 82 |
| 4.6.2 气动系统的调试 | 83 |
| 4.6.3 气动系统的使用时的注意事项 | 83 |
| 4.6.4 压缩空气的污染及防止方法 | 83 |
| 4.6.5 气动系统的日常维护 | 84 |

| | |
|-------------------------------|------------|
| 4.6.6 气动系统的定期检修 | 84 |
| 4.7 气动系统主要元件常见的故障及其排除方法 | 85 |
| 习题 | 88 |
| 第5章 液压传动基础 | 90 |
| 5.1 液压油 | 90 |
| 5.1.1 液压油的主要性能 | 90 |
| 5.1.2 液压油的要求 | 93 |
| 5.1.3 液压油的种类 | 94 |
| 5.1.4 液压油的选用 | 94 |
| 5.1.5 液压油的污染和防治措施 | 95 |
| 5.2 液体静力学基础 | 96 |
| 5.2.1 液体静压力及其特性 | 96 |
| 5.2.2 液体静力学基本方程式 | 96 |
| 5.2.3 压力的表示方法 | 97 |
| 5.2.4 帕斯卡原理 | 97 |
| 5.2.5 液体静压力作用在固体壁面上的力 | 98 |
| 5.3 液体动力学基础 | 99 |
| 5.3.1 基本概念 | 99 |
| 5.3.2 流量连续性方程 | 102 |
| 5.3.3 流量伯努利方程 | 102 |
| 5.4 液体流动时的压力损失 | 104 |
| 5.4.1 沿程压力损失 | 104 |
| 5.4.2 局部压力损失 | 105 |
| 5.4.3 管路系统的总压力损失 | 105 |
| 5.5 孔口的流量 | 105 |
| 5.5.1 液体流经薄壁小孔的流量 | 106 |
| 5.5.2 液体流经细长孔的流量 | 106 |
| 5.6 液压冲击和气穴现象 | 107 |
| 5.6.1 液压冲击 | 107 |
| 5.6.2 气穴现象 | 108 |
| 习题 | 109 |
| 第6章 液压动力元件 | 111 |
| 6.1 液压泵的工作原理及性能参数 | 111 |
| 6.1.1 液压泵的基本工作原理及其分类 | 111 |
| 6.1.2 液压泵的主要性能参数 | 112 |
| 6.2 液压泵 | 114 |

| | | |
|------------|-------------------------------|------------|
| 6.2.1 | 齿轮泵 | 114 |
| 6.2.2 | 叶片泵 | 118 |
| 6.2.3 | 柱塞泵 | 122 |
| 6.2.4 | 液压泵的选用 | 126 |
| 6.3 | 液压泵的常见故障及其排除方法 | 127 |
| 习题 | | 128 |
| 第7章 | 液压执行元件 | 131 |
| 7.1 | 液压缸的分类和特点 | 131 |
| 7.1.1 | 活塞式液压缸 | 131 |
| 7.2 | 液压缸结构参数的计算与选择 | 137 |
| 7.2.1 | 液压缸结构参数的确定 | 137 |
| 7.2.2 | 液压缸的强度计算与校核 | 139 |
| 7.3 | 液压马达 | 140 |
| 7.3.1 | 液压马达的结构特点、分类和性能参数 | 140 |
| 7.3.2 | 高速小扭矩液压马达 | 142 |
| 7.3.3 | 低速大扭矩液压马达 | 144 |
| 7.4 | 故障排除 | 146 |
| 7.4.1 | 叶片式液压马达常见故障分析及排除 | 146 |
| 7.4.2 | 液压马达的选用 | 148 |
| 习题 | | 149 |
| 第8章 | 液压基本回路与液压控制元件的选用 | 151 |
| 8.1 | 方向控制回路与方向控制阀 | 151 |
| 8.1.1 | 方向控制阀 | 151 |
| 8.1.2 | 方向控制回路 | 161 |
| 8.2 | 压力控制回路与压力控制阀 | 162 |
| 8.2.1 | 压力控制阀 | 162 |
| 8.2.2 | 压力控制回路 | 169 |
| 8.3 | 速度控制回路与流量控制阀 | 176 |
| 8.3.1 | 流量控制阀 | 176 |
| 8.3.2 | 速度控制回路 | 178 |
| 8.4 | 多缸工作控制回路 | 188 |
| 8.4.1 | 顺序动作回路 | 188 |
| 8.4.2 | 同步回路 | 189 |
| 8.4.3 | 互不干扰回路 | 191 |
| 习题 | | 192 |

| | |
|---------------------------------|-----|
| 第9章 液压辅助元件 | 198 |
| 9.1 蓄能器 | 198 |
| 9.1.1 蓄能器的类型 | 198 |
| 9.1.2 蓄能器的用途 | 198 |
| 9.1.3 蓄能器的安装 | 200 |
| 9.2 油箱 | 200 |
| 9.2.1 油箱的类型 | 200 |
| 9.2.2 油箱的典型结构 | 201 |
| 9.3 过滤器 | 203 |
| 9.3.1 过滤器的要求 | 203 |
| 9.3.2 过滤器的工作原理 | 203 |
| 9.3.3 过滤器的安装和选用 | 204 |
| 9.4 热交换器与压力表开关 | 205 |
| 9.4.1 冷却器 | 205 |
| 9.4.2 加热器 | 206 |
| 9.4.3 压力表及压力表开关 | 206 |
| 9.5 管系元件 | 208 |
| 9.5.1 油管 | 208 |
| 9.5.2 管接头 | 209 |
| 9.5.3 密封元件 | 210 |
| 习题 | 213 |
| 第10章 典型液压传动系统及故障分析 | 215 |
| 10.1 机械手液压系统 | 215 |
| 10.1.1 概述 | 215 |
| 10.1.2 工作原理 | 217 |
| 10.1.3 系统特点 | 218 |
| 10.2 组合机床动力滑台液压系统 | 218 |
| 10.2.1 概述 | 218 |
| 10.2.2 液压系统的工作原理 | 218 |
| 10.2.3 液压系统的特点 | 221 |
| 10.3 数控车床液压系统 | 221 |
| 10.3.1 概述 | 221 |
| 10.3.2 液压系统工作原理 | 222 |
| 10.3.3 液压系统的特点 | 223 |
| 10.4 液压系统故障诊断与分析 | 223 |
| 10.4.1 液压系统故障的诊断方法 | 223 |

| | |
|-----------------------------------|------------|
| 10.4.2 液压系统故障分析 | 225 |
| 10.4.3 液压系统常见的故障分析与排除 | 226 |
| 习题 | 229 |
| 第 11 章 FluidSIM 软件简介 | 231 |
| 习题答案 | 240 |
| 参考文献 | 249 |

第1章 气源装置与辅助元件

本章重点

- (1) 空气的物理性质。
- (2) 理想气体状态方程。
- (3) 气体流动的基本方程。
- (4) 压力的表示方法。
- (5) 空气压缩机的工作原理。
- (6) 各种空气净化装置的功用。
- (7) 气动三联件的功用。

本章难点

- (1) 理想气体状态方程的应用。
- (2) 各类辅助元件的工作原理及选用场合。

1.1 气压传动概述

1.1.1 气动技术的应用范围

气动技术是机电一体化的重要内容。气动系统对恶劣环境的适应性及控制方式的灵活多样性,使得气动技术在需要防火、防静电的场合,在各种自动化的工业生产中得到广泛应用。

在日常工作和生活中经常见到各种机器,如汽车、电梯、机床等通常都是由原动机、传动装置和工作机构3部分组成。其中,传动装置最常见的类型有机械传动、电力传动和流体传动。流体传动是以受压的流体为工作介质对能量进行转换、传递、控制和分配的。它可以分为利用气体压力能的气压传动、利用液体压力能的液压传动和利用液体动能的液力传动。

气压传动技术简称气动技术,是一门涉及压缩空气的现象及流动规律的科学技术。气动技术不仅被用于完成简单的机械动作,而且在促进自动化的发展中起着极为重要的作用。

气动技术不仅被用于做功,而且已发展到检测 and 数据处理等多个领域。伴随着微电子技术、传感器技术、通信技术和自动控制技术的发展,以及各种气动组件的性价比进一步提高,气动技术也在不断创新,气动控制系统的先进性与复杂性进一步发展,在自动控制领域起着越来越重要的作用。

气动技术可使气动执行组件依工作需要做直线运动、摆动和旋转运动。气动系统的工作介质是压缩空气。压缩空气的用途极其广泛,从用低压空气来测量人体眼球内部的液体压力、气动机械手焊接到气动压力机和使混凝土粉碎的气钻等,几乎遍及各个领域。在工业中的典型应用见表 1-1。

表 1-1 气压传动在各工业领域中的应用

| 工业领域 | 应 用 |
|------|--------------------------------|
| 机械工业 | 自动生产线、各类机床、工业机械手和机器人、零件加工及检测装置 |
| 轻工业 | 气动上下料装置、食品包装生产线、气动罐装装置、制革生产线 |
| 化工 | 化工原料输送装置、石油钻采装置、射流负压采样器等 |
| 冶金工业 | 冷轧、热轧装置气动系统、金属冶炼装置气动系统、水压机气动系统 |
| 电子工业 | 印制电路板生产线、家用电器生产线、显像管转运机械手气动装置 |

1.1.2 气压传动的优点

(1) 空气随处可取,取之不尽,节省了购买、储存、运输介质的费用和麻烦;用后的空气直接排入大气,对环境无污染,处理方便,不必设置回收管路,因而也不存在介质变质、补充和更换等问题。

(2) 因空气黏度小(约为液压油的万分之一),在管内流动阻力小,压力损失小,便于集中供气 and 远距离输送。即使有泄漏,也不会像液压油一样污染环境。

(3) 与液压相比,气动反应快,动作迅速,维护简单,管路不易堵塞。

(4) 气动元件结构简单,制造容易,适于标准化、系列化、通用化。

(5) 气动系统对工作环境适应性好,特别在易燃、易爆、多尘埃、强磁、辐射、振动等恶劣工作环境中工作时,安全可靠性能优于液压、电子和电气系统。

(6) 空气具有可压缩性,使气动系统能够实现过载自动保护,也便于储气罐储存能量,以备急需。

(7) 排气时气体因膨胀而温度降低,因而气动设备可以自动降温,长期运行也不会发生过热现象。

1.1.3 气压传动的缺点

(1) 空气具有可压缩性,当载荷变化时,气动系统的动作稳定性差,但可以采用气液联动装置解决此问题。

(2) 工作压力较低(一般为 0.4MPa ~ 0.8MPa),又因结构尺寸不宜过大,因而输出功率较小。

(3) 气信号传递的速度比光、电子速度慢,故不宜用于要求高传递速度的复杂回路中,但对一般机械设备,气功信号的传递速度是能够满足要求的。

(4) 排气噪声大,需加消声器。

气动与其他几种传动控制方式的性能比较见表 1-2。

表 1-2 几种传动控制方式性能比较

| 性能 | | 操作力 | 动作快慢 | 环境要求 | 构造 | 负载变化影响 | 远距离操纵 | 无级调速 | 工作寿命 | 维护 | 价格 |
|----|----|-----|------|------|-----|--------|-------|------|------|------|----|
| 流体 | 气动 | 中等 | 较快 | 适应性好 | 简单 | 较大 | 中距离 | 较好 | 长 | 一般 | 便宜 |
| | 液压 | 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 |
| 电 | 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 | 很贵 |
| 机械 | | 较大 | 一般 | 一般 | 一般 | 没有 | 短距离 | 较困难 | 一般 | 简单 | 一般 |

1.2 气压传动的基础知识

1.2.1 空气的物理性质

空气由多种气体混合而成。其主要成分是氮(N₂)和氧(O₂),其次是氩(Ar)和少量的二氧化碳(CO₂)及其他气体。空气可分为干空气和湿空气两种形态,以是否含水蒸气作为区分标志;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。

1. 空气的密度

单位体积内空气的质量,称为空气的密度,以 ρ 表示,即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg/m}^3, \text{N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4)$$

式中 m ——气体质量(kg, N·s²/m);

V ——气体体积(m³)。

对于空气,有

$$\rho = \rho_0 \frac{273}{273 + t} \cdot \frac{p}{0.1013} \quad (\text{kg/m}^3)$$

式中 p ——绝对压力(MPa);

ρ_0 ——温度在 0℃,压力在 0.1013MPa 时干空气的密度, $\rho_0 = 1.293 \text{ (kg/m}^3, \text{N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4)$; $273 + t (= T)$ 为热力学温度(K)。

对湿空气,有

$$\rho' = \rho_0 \frac{273}{273 + t} \cdot \frac{p - 3.78\phi p_t}{0.1013} \quad (\text{kg/m}^3)$$

式中 p ——湿空气的全压力(MPa);

p_t ——温度在 t (℃)时饱和空气中水蒸气的分压力(MPa);

ϕ ——空气的相对湿度(%)。

2. 空气的重度

单位体积内空气的重量,称为空气的重度,以 γ 表示,即

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g \text{ (N/m}^3\text{)}$$

式中 G ——空气的重量(N);

g ——重力加速度($g=9.81\text{m/s}^2$)。

3. 空气的黏性

黏性是由于分子之间的内聚力,在分子间相对运动时产生的内摩擦力,而阻碍其运动时的性质。与液体相比,气体的黏性要小得多。空气的黏性主要受温度变化的影响,且随温度的升高而增大,其与温度的关系见表 1-3。

表 1-3 空气的运动黏性与温度的关系 (压力为 0.1013MPa)

| $t/^\circ\text{C}$ | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 60 | 80 | 100 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| $\nu/(\times 10^{-4}\text{m}^2/\text{s})$ | 0.133 | 0.142 | 0.147 | 0.157 | 0.166 | 0.176 | 0.196 | 0.21 | 0.238 |

没有黏性的气体称为理想气体。在自然界中,理想气体是不存在的。当气体的黏性较小,沿气体流动方向的法线力向的速度变化不大时,出于黏性产生的黏性力与气体所受的其他作用力相比可以忽略,这时的气体使可当作理想气体。理想气体具有重要的实用价值,可以使问题的分析大为简化。

4. 湿空气

空气中的水蒸气在一定条件下会凝结成水滴,水滴不仅会腐蚀元件,而且会对系统工作的稳定性带来不良影响,因此不仅各种气动元器件对空气含水量有明确规定,而且常需要采取一些措施防止水分进入系统。

湿空气中所含水蒸气的程度用温度和含湿量来表示,而湿度的表示方法有绝对湿度和相对湿度之分。

(1) 绝对湿度: 1m^3 湿空气中所含水蒸气的质量称为绝对湿度,也就是湿空气中水蒸气的密度。

空气中水蒸气的含量是有极限的。在一定的温度和压力下,空气中所含水蒸气达到最大极限时,这时的湿空气称为饱和湿空气。 1m^3 的饱和湿空气中,所含水蒸气的质量称为饱和湿空气的绝对湿度。

(2) 相对湿度:在相同温度、相同压力下,绝对湿度与饱和绝对湿度之比称为该温度下的相对湿度。一般湿空气的相对湿度值在 0~100% 之间变化,通常情况下,空气的相对湿度在 60%~70% 范围内人体感觉舒适,气动技术中规定各种阀的相对湿度应小于 95%。

(3) 含湿量:空气中的含湿量指 1kg 的干空气中所混合的水蒸气的质量。

(4) 露点:保持水蒸气压力不变而降低未饱和湿空气的温度,使之达到饱和状态时的温度称为露点。温度降到露点温度以下,湿空气便有水滴析出,冷冻干燥法去除湿空气中的水分,就是利用了这个原理。

1.2.2 理想气体状态方程

没有黏性的气体称为理想气体,理想气体的状态见表 1-4。

表 1-4 理想气体状态表

| 名称 | 适用条件 | 数学表达式 | 说明 |
|----------|---|--|--|
| 理想气体状态方程 | 一定质量的理想气体在状态变化的某一稳定瞬时,压力和体积的乘积与其热力学温度之比不变 | $\frac{pV}{T} = \text{常数}$ $pv = RT$ $\frac{p}{\rho} = RT$ | p 为绝对压力(N/m ²) V 为气体体积(m ³) v 为质量体积(m ³ /kg) T 为热力学温度(K) R 为气体常数 干空气 $R = 287.1 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ |
| 等容过程 | 容积不变 | $\frac{p}{T} = \text{常数}$ $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$ | 气体状态变化是,其压力 p 与热力学温度 T 成正比 |
| 等压过程 | 压力不变 | $\frac{V}{T} = \text{常数}$ $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ | 气体状态变化是,其体积 V 与热力学温度 T 成正比 |
| 等温过程 | 温度不变 | $pV = \text{常数}$ $p_1 V_1 = p_2 V_2$ | 气体状态变化是,其压力 p 与体积 V 成正比 |
| 绝热过程 | 与外界无热交换,如快速冲、排气过程 | $p_1 v_1^k = p_2 v_2^k$ $\frac{p_2}{p_1} = \left[\frac{T_2}{T_1} \right]^{\frac{k}{k-1}}$ | k 为绝热指数,对于干空气 $k = 1.4$,对于饱和蒸汽 $k = 1.3$ |
| 多变过程 | 气体按其中间过程变化 | $p_1 v_1^n = p_2 v_2^n$ | n 为多变指数 等温过程 $n = 1$ 等压过程 $n = 0$ 等容过程 $n = \infty$ 绝热过程 $n = k$ (k 为绝热指数) |

例 1-1 把绝对压力 $p = 0.1 \text{ MPa}$, 温度为 10°C 的某容积 V 干空气压缩到 $0.2V$, 计算等温过程中压缩后的压力。

解:由题意可知, $V_2 = 0.2V_1$, 且等温过程 $p_1 V_1 = p_2 V_2$, 即 $0.1 V_1 = p_2 V_2$, 得

$$p_2 = \frac{p_1 V_1}{V_2} = \frac{0.1 \times V_1}{0.2 V_1} = 0.5 \text{ (MPa)}$$

压缩后的压力为绝对压力的 0.5 MPa 。

例 1-2 由空气压缩机向储气罐内充入压缩空气, 使罐内压力由 0.1 MPa (绝对) 升到 0.25 MPa (绝对), 气罐温度从室温 20°C 升到 t_0 充气结束后, 气罐温度又逐渐降至室温, 此时罐内压力为 p , 求 p 和 t 各为多少?

解:此过程是一个复杂的充气过程, 可看成是简单的绝热充气过程。

已知: $p_1 = 0.1 \text{ MPa}$, $p_2 = 0.25 \text{ MPa}$, $T_1 = (20 + 273) \text{ K} = 293 \text{ K}$ 。由绝热过程的数学表达式, 可得

$$T_2 = T_1 \cdot \left[\frac{p_2}{p_1} \right]^{\frac{k-1}{k}} = 293 \times \left[\frac{0.25}{0.1} \right]^{\frac{1.4-1}{1.4}} = 380.7 \text{ (K)}$$

则有

$$t = T - 273 = 380.7 - 273 = 107.7(\text{K})$$

充气结束后为等容过程,得

$$p_1 = \frac{T_1}{T_2} p_2 = \frac{293}{380.7} \times 0.25 = 0.192(\text{MPa})$$

1.2.3 气体流动的基本方程

1. 连续性方程

连续性方程又称质量守恒定律,根据质量守恒定律,气体在管道内做定常流动时,通过管道内任意截面的气体质量流量都相等,即

$$Q_m = \rho Av = \text{常数} (\text{kg/s})$$

式中 ρ ——气体密度(kg/m^3);

v ——气体运动速度(m/s);

A ——流管的截面积(m^2)。

2. 伯努利方程

伯努利方程又称能量守恒定律。如图 1-1 所示,流体流过管径不同的管道时,在点 a 和点 b 的总能量应相同,可用下列伯努利方程表示:

$$p + \rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{常数}$$

式中 p ——单位体积流体的压力能;

ρgh ——单位体积流体位能;

$\frac{1}{2} \rho v^2$ ——单位体积流体的动能。

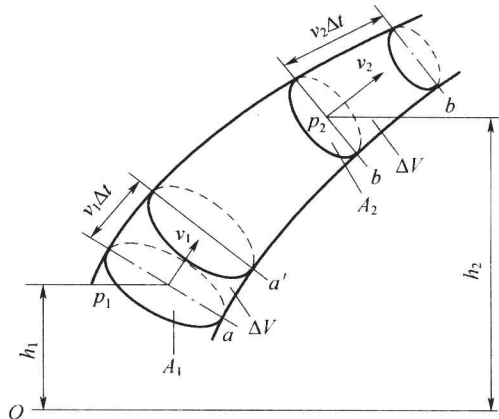


图 1-1 理想流体伯努利方程

因此,上述伯努利方程的物理意义:在密闭管道内做恒定流动的理想流体具有 3 种形式的能量,即压力能、位能和动能。在流动过程中,3 种能量可以相互转化,但各个过流断面上 3 种能量之和恒为定值。当流体速度越快,其压力越低;反之速度越低,压力越高。

1.2.4 流通能力

气动元件和管路的流通能力可用有效断面积 S_e 和流量 Q_v 来描述。

1. 气阻及有效断面积 S_e

在气动系统中,阻碍气体流动、产生压降的机构、管道和元件,都可称为气阻。在气压传动中,可利用气阻和气容的调整,对执行元件进行控制。但由于气阻难于测量,因此,一般都使用有效断面积来描述元件、管道的流通能力。

图 1-2 所示为节流孔,设孔口面积为 A_0 ,由于孔口具有尖锐边缘,而流线又不可能

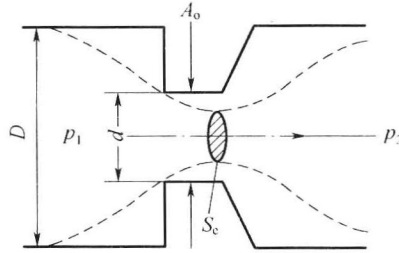


图 1-2 节流孔的有效截面积

突然转折,经孔口后流束发生收缩,其最小收缩截面称为有效断面积,以 S_e 表示,单位为 mm^2 。它代表了节流孔的通流能力。节流孔的有效断面积 S_e 与孔口实际截面积 A_0 之比,称为收缩系数,以 α 表示,即

$$\alpha = \frac{A_0}{S_e}$$

对于图 1-2 所示的圆形节流孔,设节流孔直径为 d ,节流孔上游直径为 D ,节流孔口面积 $A_0 = \pi d^2/4$ 。令 $\beta = (d/D)^2$,根据 $\alpha - \beta$ 曲线(图 1-3)得出收缩系数 α 的数值,便可计算出有效断面积 S_e 。

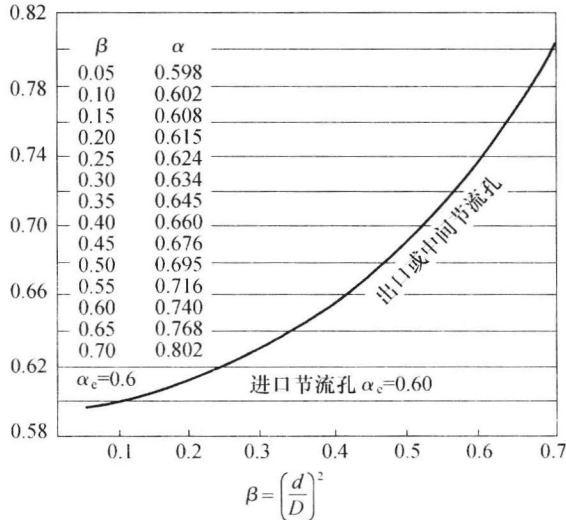


图 1-3 节流孔的收缩系数 α