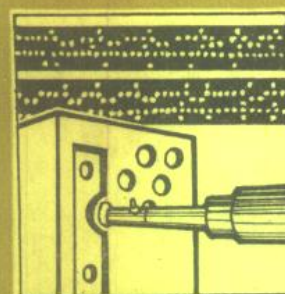


高等学校试用教材



气压传动

东北工学院郑洪生 主编



机械工业出版社

高等学校试用教材

气 压 传 动

东北工学院郑洪生 主编

机械工业出版社

气 压 传 动

东北工学院郑洪生 主编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $13 \frac{1}{2}$ · 字数 328 千字

1981 年 7 月北京第一版 · 1981 年 7 月北京第一次印刷

印数 00,001—11,000 · 定价 1.40 元

*

统一书号: 15033 · 5039

前 言

本教材是根据一九七八年四月高等学校一机部对口专业座谈会的精神及同年九月全国液压专业会议所制订的“气压传动”教材编写大纲进行编写的。本书可作为高等院校液压专业气压传动课程的教材。也可供有关工程技术人员参考。

本书共分七章。第一章阐明气压传动的特点及常用概念、基本计算；第二章介绍气缸、气马达的工作原理、性能、选择、设计；第三章介绍各种控制阀的工作原理、性能及选择；第四章讲述气动逻辑元件、射流元件的工作原理、性能及选用；第五章对气源装置及气动辅件作了必要的介绍；第六章介绍气动基本回路和常用回路；第七章是本书的重点、阐述系统的设计方法并分析几个典型的应用实例。

本教材具有以下几个特点：

1. 加强理论基础，重视讲清基本概念。
2. 内容力求新颖，并反应国内外有关气压传动的新技术。
3. 书中配有例题，便于学习复习巩固及培养学生的设计、计算能力。
4. 采用国际单位制及新的图形符号。

“气压传动”教材由东北工学院流体传动与控制教研室郑洪生同志主编，参加编写的有李绍荣同志。第一、三、六、七章由郑洪生同志编写；第二、四、五章由李绍荣同志编写。华中工学院液压教研室何存兴同志为本书的主审，一机部教编室朱骥北同志对本书进行了复审，认真而全面地进行了审查，提出了许多宝贵意见。

在编写本书过程中曾得到上海工业大学、清华大学、山东工学院、一机部机床研究所、一机部自动化研究所和济南铸锻所等单位的热情支持。还有东北工学院流体传动与控制教研室周士昌、曹鑫铭、徐德民、周知承等同志、上海工业大学陈银庆、徐炳辉等同志对本书也分别提出许多宝贵意见，在此一并致以谢意。

由于编者水平有限，书中难免有缺点和错误，欢迎读者提出批评指正。

本书常用符号表

A ——管道断面积 米 ²	Q_i ——气缸理论用气量 米 ³ /秒
C ——流量系数; 弹簧刚度 牛顿/毫米	R ——气体常数 牛顿·米/千克·开
C_v ——流量系数	Re ——雷诺数
D ——气缸内径 米	R_s ——水蒸汽气体常数 牛顿·米/千克·开
d ——含湿量 克/千克; 直径 米	S ——有效截面积 毫米 ² ; 安全系数
E ——能量 焦耳	s ——行程 米
F ——力 牛顿	T ——绝对温度 K (开)
G ——重量 牛顿	t ——温度 °C
g ——重力加速度 米/秒 ²	V ——容积 米 ³
l ——长度 米	v ——流速 米/秒; 比容 米 ³ /千克
M ——扭矩 牛顿·米	W ——功 牛顿·米
m ——质量 千克	X ——系数
N ——功率 瓦	x ——绝对湿度 千克/米 ³
n ——转数 转/分; 多变指数	x_b ——饱和绝对湿度 千克/米 ³
p_a ——大气压力 巴 (牛顿/米 ² ; 毫米汞高)	α ——角度; 断面收缩系数
p_b ——饱和水蒸汽的分压力 巴 (毫米汞高)	γ ——重度 牛顿/米 ³
p_B ——安全阀关闭时的压力 巴	ζ ——局部阻力系数
p_c ——临界压力 巴	η ——效率
p_g ——干空气的分压力 巴	k ——绝热指数
p_o ——安全阀开启后的压力 巴	λ ——沿程阻力系数
p_s ——气源压力 巴; 水蒸汽的分压力 巴 (牛顿/米 ²)	ν ——运动粘度 米 ² /秒
Δp ——压力损失 巴	ρ ——密度 千克/米 ³
Q ——流量 米 ³ /秒 (升/分)	ϕ ——相对湿度
Q_z ——气缸消耗自由空气流量 米 ³ /秒	ψ ——设备利用系数
	τ ——时间常数 秒

目 录

前言

第一章 概述 1

§ 1-1 气压传动的特点和分类 1

一、气压传动系统的组成 1

二、气压传动的优点 1

三、气压传动的缺点 2

四、气压传动系统的分类 2

§ 1-2 空气的性质及基本计算 2

一、空气的性质 2

二、气压传动的基本计算 4

§ 1-3 充气、放气温度与时间的计算 11

一、充气温度与时间的计算 11

二、放气温度与时间的计算 12

第二章 气缸与气马达 15

§ 2-1 气缸的工作原理及用途 15

一、气缸的分类 15

二、几种常见气缸的工作原理和用途 18

§ 2-2 常用气缸的设计计算 27

一、气缸设计计算步骤及基本参数 27

二、活塞杆上输出力和缸径的计算 27

三、缸筒壁厚的计算 30

四、活塞杆的计算 31

五、缓冲计算 33

六、耗气量的计算 34

§ 2-3 冲击气缸的设计与计算 35

一、非快排型冲击气缸 35

二、快排型冲击气缸 37

三、快排型冲击气缸冲击功和冲击速度的计算 39

§ 2-4 气缸的主要零件及标准气缸 41

一、气缸的主要零件 41

二、标准气缸 43

§ 2-5 气缸的特性 47

一、气缸的静特性 47

二、气缸的动特性 47

§ 2-6 气缸的选择及使用要求 50

一、气缸的选择要点 50

二、气缸的使用要求 50

§ 2-7 气马达 51

一、气马达的分类 51

二、气马达的工作原理 51

三、气马达的特点 53

四、气马达的选择、应用及润滑 55

第三章 控制阀 56

§ 3-1 压力控制阀 56

一、压力控制阀的功用与分类 56

二、减压阀（调压阀） 56

三、顺序阀与单向顺序阀 65

四、安全阀（溢流阀） 66

§ 3-2 流量控制阀 69

一、节流阀 69

二、单向节流阀 71

三、排气节流阀 72

§ 3-3 方向控制阀 73

一、方向控制阀的分类 73

二、气压控制换向阀 75

三、电磁控制（电控）换向阀 81

四、机械控制换向阀 84

五、人力控制换向阀 88

六、单向型控制阀 89

七、时间控制换向阀 92

§ 3-4 控制阀的选择 93

第四章 气动逻辑元件及射流元件 94

§ 4-1 概述 94

一、气动逻辑元件 94

二、气动射流元件 94

三、基本逻辑单元简介 95

§ 4-2 高压截止式逻辑元件 97

一、高压截止式逻辑元件的特点及技术规格 97

二、高压截止式逻辑元件的工作原理及结构 97

§ 4-3 高压膜片式逻辑元件	107	三、管道的计算	147
一、工作原理及特点	107	第六章 基本回路和常用回路	148
二、元件的结构、动作及功能	107	§ 6-1 基本回路	148
§ 4-4 射流元件	115	一、压力与力控制回路	148
一、射流及射流的几种效应	115	二、换向回路	150
二、常用的几种射流元件	116	三、速度控制回路	151
三、射流元件的性能及选择	119	四、位置控制回路	153
第五章 气源装置及气动辅件	122	五、气动基本逻辑回路	157
§ 5-1 气源装置	122	§ 6-2 常用回路	157
一、对压缩空气的要求及其净化	122	一、安全保护回路	157
二、压缩空气站的设备	122	二、同步动作控制回路	158
§ 5-2 过滤器	128	三、往复动作回路	159
一、一次过滤器	128	四、计数回路	159
二、分水滤气器	128	五、气动膜片逻辑元件常用回路	161
三、自动排水式分水滤气器	130	第七章 气动系统设计	164
§ 5-3 油雾器	132	§ 7-1 气动行程程序回路的设计方法	164
一、油雾器工作所依据的原理	132	一、概述	164
二、一次油雾器	133	二、气动行程程序回路的设计	165
三、二次油雾器	135	§ 7-2 多缸多往复系统回路的设计	174
§ 5-4 消声器	135	一、多缸多往复系统 $X-D$ 线图的绘制	175
一、消声器的种类	135	二、分析并排除障碍信号	176
二、吸收型消声器的结构及原理	136	三、绘制逻辑原理图及回路原理图	180
三、消声器的选择	136	§ 7-3 气动系统设计的主要内容及 设计程序	180
§ 5-5 转换器	136	一、明确工作要求	180
一、气电转换器	137	二、设计气控回路	180
二、电气转换器	137	三、选择、设计执行元件	180
三、气液转换器	138	四、选择控制元件	180
§ 5-6 气动延时器	139	五、选择气动辅件	181
一、延时器的原理及结构	139	六、确定管道直径、计算压力损失	181
二、延时器基本环节的分析	140	七、选择空压机	182
§ 5-7 放大器	141	§ 7-4 气压传动应用实例分析	190
§ 5-8 程序器	142	一、化肥包装机的气控回路	190
一、时间程序器	142	二、六角车床气控回路	192
二、行程程序器	143	三、半自动钻床的气控回路	195
§ 5-9 系统的管道设计	144	四、双水泵交替工作控制回路	198
一、一般供气系统确定的原则	144	五、硬质合金刀片磨床的气液回路	200
二、管道的布置	146		

第一章 概 述

§ 1-1 气压传动的特点和分类

一、气压传动系统的组成

气压传动是以压缩空气为工作介质传递动力和控制信号的系统。典型的气压传动系统(图1-1)由以下四部分组成:

1. 气压发生装置 是获得压缩空气的装置。其主体部分是空气压缩机。它将原动机供给的机械能转变为气体的压力能,应用气动设备较多的厂矿,常将压缩空气集中在压缩空气站内,再由压缩站统一向各用气点分配压缩空气。

2. 执行元件 是以压缩空气为工作介质产生机械运动,并将气体的压力能转变为机械能的能量转换装置。直接作直线运动的是缸、作回转运动的为摆动缸、气马达等。

3. 控制元件 是用来控制压缩空气的压力、流量和流动方向,以便使执行机构完成预定运动规律的元件。如各种压力阀、流量阀、方向阀、逻辑元件(逻辑阀、射流元件)和行程阀等。

4. 辅助元件 是使压缩空气净化、润滑、消声以及从事元件间连接所需要的一些装置。如过滤器、油雾器及管件等。

气压传动目前在许多部门中得到广泛应用。从机械制造、冶金工业、轻工业到矿山生产等发挥了很大的作用。

目前我国气动元件、辅件已逐步标准化,特别随着逻辑元件的迅速发展,它和液压、机、电等技术一样,已成为实现生产过程自动化不可缺少的一个重要手段。

二、气压传动的优点

1. 以空气为工作介质,工作压力较低(一般在3~8巴),工作介质来得比较容易,用后的空气排到大气中,处理方便,与液压传动相比不必设置回收油的油箱和管道。

2. 因空气的粘度很小,其损失也很小(一般损失仅为油路的千分之一),所以便于集中供应、远距离输送。外泄漏不会像液压传动那样,使压力降低明显、污染严重。

3. 相对液压传动来说,气动动作迅速,反应快、维护简单、工作介质清洁、管道不易堵塞、不存在介质变质及补充等问题。

4. 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,比液压、电子、电气控制优越。

5. 成本低、过载能自动保护。

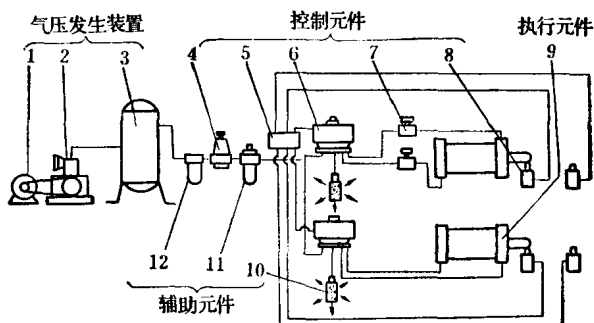


图1-1 气压传动系统的组成示意图

- 1—电动机 2—空气压缩机 3—气罐 4—压力控制阀
5—逻辑元件 6—方向控制阀 7—流量控制阀 8—行程阀
9—气缸 10—消声器 11—油雾器 12—减压阀

三、气压传动的缺点

1. 由于空气具有可压缩性, 因此工作速度的稳定性稍差。但采用气液联动装置会得到满意的效果。

2. 因为工作压力低, 又因结构尺寸不宜过大, 因而气动装置总输出力不会很大。

3. 气动装置中的气信号传递速度比电子及光速慢。(仅限于声速以内), 因此, 气信号传递不适用于高速传递复杂的回路。

气动控制与其它控制的性能比较见表 1-1。

表1-1 几种控制方式性能比较表

比较项目		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
控制方式											
气 压 控 制		中等	较快	适应性好	简单	较大	中距离	较好	长	一般	便宜
液 压 控 制		最大 (可达几十吨)	较慢	不怕振动	复杂	有一些	短距离	良好	一般	要求高	稍贵
电控制	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 控 制		较大	一般	一般	一般	没有	短距离	较困难	一般	简单	一般

四、气压传动系统的分类

按对控制元件的选用, 气压传动系统有如图 1-2 的分类。

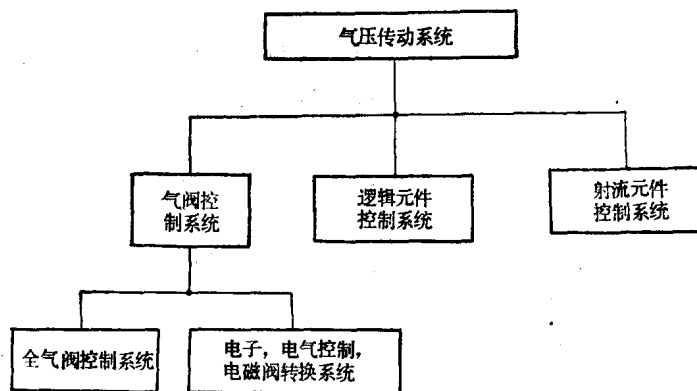


图1-2 气压传动系统的分类

§ 1-2 空气的性质及基本计算

要了解和正确设计气动系统, 首先必须了解空气的性质、掌握气动的基本概念及计算。

一、空气的性质

(一) 空气的组成

空气是由若干气体混合组成, 其主要成分是氮 (N_2) 与氧 (O_2), 其它气体占的极少。此外, 空气中常含有一定量的水蒸汽。我们把不含有水蒸汽的空气称之为干空气。标准状态下 (即温度 $t = 0^\circ\text{C}$, 压力 = 760 毫米汞高) 时干空气的组成如表 1-2 所示。

表1-2 干空气的组成

成 分	氮 N ₂	氧 O ₂	氩 Ar	二氧化碳 CO ₂	其 它 气 体
体 积 (%)	78.03	20.93	0.932	0.03	0.078
重 量 (%)	75.50	23.10	1.28	0.045	0.075

(二) 空气的重度与密度

1. 重度 是单位体积内空气的重量, 用 γ 表示, 则

$$\gamma = \gamma_0 \frac{273}{273 + t} \times \frac{p}{1.013} \quad \text{牛顿/米}^3 \quad (1-1)$$

式中 γ ——某温度 t °C 与压力 p 情况下干空气的重度 牛顿/米³;

γ_0 ——0°C 压力为 1.013 巴情况下干空气的重度;

$$\gamma_0 = 12.68 \text{ 牛顿/米}^3$$

p ——绝对压力 巴;

T ——绝对温度 K。

$$T = t \text{ °C} + 273$$

式 (1-1) 是对干空气重度的计算式, 对湿空气的重度用下式计算:

$$\gamma' = \gamma_0 \frac{273}{273 + t} \times \frac{p - 0.378 \phi p_b}{1.013} \quad \text{牛顿/米}^3 \quad (1-2)$$

式中 p_b ——某一温度 t °C 时饱和空气中水蒸汽的分压力 巴 (见表 1-4);

ϕ ——空气的相对湿度 (%)。

2. 密度 是单位体积内空气的质量, 用 ρ 表示

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{\gamma}{g} \quad \text{千克/米}^3 \quad (1-3)$$

式中 ρ ——空气的密度 千克/米³;

γ ——空气的重度 牛顿/米³;

g ——重力加速度 米/秒²。

例1-1 压力为 6 个大气压 (表压), 温度为 40°C 的空气, 求其重度和密度。

解 根据式 1-1, 重度

$$\gamma = \gamma_0 \frac{273}{273 + t} \times \frac{p}{1.013}$$

式中 $\gamma_0 = 12.68$ 牛顿/米³。

将给的 6 个大气压变成绝对压力, 并查表 1-6 变成“巴”的单位,

$$p = (6 + 1) \times 1.013 \quad \text{巴}$$

则

$$\gamma = 12.68 \frac{273}{273 + 40} \times \frac{(6 + 1) \times 1.013}{1.013} = 77.3 \quad \text{牛顿/米}^3$$

根据式 1-3, 密度计算如下:

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{77.3}{9.81} = 7.88 \quad \text{千克/米}^3$$

3. 粘度

空气的粘度是空气质点相对运动时产生阻力的性质。

空气的粘度变化只受温度变化的影响，而压力变化对其影响很小可忽略不计。空气的粘度随温度的变化如表 1-3 所示。

表1-3 空气的运动粘度与温度的关系（压力 1 巴）

$t/^{\circ}\text{C}$	0	5	10	20	30	40	60	80	100
ν 米 ² /秒	0.133×10^{-4}	0.142×10^{-4}	0.147×10^{-4}	0.157×10^{-4}	0.166×10^{-4}	0.176×10^{-4}	0.196×10^{-4}	0.21×10^{-4}	0.238×10^{-4}
厘米 ² /秒	0.133	0.142	0.147	0.157	0.166	0.176	0.196	0.20	0.238

二、气压传动的基本计算

（一）湿度与含湿量

空气中含有水分的多少对系统的稳定性有直接影响，因此不仅各种元件对含水量有明确的规定，并且常采取一些措施防止水分被带入。

含有水蒸汽的空气称为湿空气，其所含水分的程度用湿度和含湿量来表示。湿度的表示方法有绝对湿度和相对湿度之分。

1. 绝对湿度 每一立方米的湿空气中所含水蒸汽的质量称为湿空气的绝对湿度，常用 x 表示，即

$$x = \frac{m_s}{V} \quad \text{千克/米}^3 \quad (1-4)$$

或由表 1-5 气态方程导出

$$x = \rho_s = \frac{p_s}{R_s T} \quad \text{千克/米}^3 \quad (1-5)$$

式中 m_s ——水蒸汽的质量 千克；

V ——湿空气的体积 米³；

p_s ——水蒸汽的分压力 牛顿/米²；

ρ_s ——水蒸汽的密度 千克/米³；

R_s ——水蒸汽的气体常数 牛顿·米/千克·开。

2. 饱和绝对湿度 若湿空气中水蒸汽的分压力达到该温度下蒸汽的饱和压力，则此时的绝对湿度为饱和绝对湿度，并常用 x_b 表示。

$$x_b = \frac{p_b}{R_s T} \quad \text{千克/米}^3 \quad (1-6)$$

式中 p_b ——饱和空气中水蒸汽的分压力 牛顿/米²。

3. 相对湿度 在某温度和总压力下，其绝对湿度与饱和绝对湿度之比称为该温度下的相对湿度，用 ϕ 表示，

$$\phi = \frac{x}{x_b} \approx \frac{p_s}{p_b} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中 x, x_b ——分别为绝对湿度与饱和绝对湿度 千克/米³；

p_s, p_b ——分别为水蒸汽的分压力与饱和水蒸汽的分压力 毫米汞高。

当空气为绝对干燥时： $p_s = 0$ 则 $\phi = 0$

当空气达到饱和时: $p_s = p_b$ 则 $\phi = 100\%$

一般湿空气的 ϕ 值在 $0 \sim 100\%$ 之间变化。通常情况下, 空气的相对湿度在 $(60 \sim 70)\%$ 范围内人体感觉舒适。气动技术条件中规定各种阀的相对湿度不得大于 95% 。

4. 含湿量 指一千克质量的干空气中所混合的水蒸汽的质量。用 d 表示,

$$\left. \begin{aligned} d &= \frac{m_s}{m_g} \quad \text{克/千克} \\ \text{或} \quad d &= 622 \frac{p_s}{p_g} = 622 \frac{\phi p_b}{p - \phi p_b} \quad \text{克/千克} \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

式中 m_s ——水蒸汽的质量 克;

m_g ——干空气的质量 千克;

p_s ——水蒸汽的分压力 巴;

p_g ——干空气的分压力 巴;

p ——湿空气的压力 巴;

$$(p = p_s + p_g)$$

ϕ ——空气的相对湿度 $(\%)$ 。

含湿量也常用和单位体积干空气混合的水蒸汽的质量来表示, 称之为容积含湿量, 以 d' 表示, 则

$$d' = d\rho \quad \text{克/米}^3 \quad (1-9)$$

式中 ρ ——干空气的密度 千克/米³。

表 1-4 为在大气压力 1.013 巴 (760 毫米汞高) 下, 饱和空气中水蒸汽的含湿量与温度的关系。

由表 1-4 可以看出, 当气温下降时空气中水蒸汽的含量是降低的, 所以从减少空气中所含水分角度要求, 降低进入空气设备的空气温度是有利的。

表 1-4 饱和空气中水蒸汽的含湿量与温度的关系

温度 °C	饱和水蒸汽分压力 p_b		容积含湿量 d' 克/米 ³	温度 °C	饱和水蒸汽分压力 p_b		容积含湿量 d' 克/米 ³	温度 °C	饱和水蒸汽分压力 p_b		容积含湿量 d' 克/米 ³
	巴	毫米汞高			巴	毫米汞高			巴	毫米汞高	
100	1.013	760.1	597.0	29	0.040	30.04	28.7	13	0.015	11.23	11.4
80	0.473	355.1	292.9	28	0.038	28.35	27.2	12	0.014	10.52	10.7
70	0.312	233.7	197.9	27	0.036	26.74	25.8	11	0.013	9.84	10.0
60	0.199	149.4	130.1	26	0.034	25.21	24.4	10	0.012	9.21	9.4
50	0.123	92.5	83.2	25	0.032	23.76	23.0	8	0.011	8.05	8.3
40	0.074	55.32	51.2	24	0.030	22.38	21.8	6	0.009	7.01	7.3
39	0.070	52.44	48.8	23	0.028	21.07	20.6	4	0.008	6.10	6.4
38	0.066	49.7	46.3	22	0.026	19.83	19.4	2	0.007	5.29	5.6
37	0.063	47.07	44.0	21	0.025	18.65	18.3	0	0.006	4.58	4.8
36	0.059	44.56	41.8	20	0.023	17.54	17.3	-2	0.005	3.88	4.2
35	0.056	42.18	39.6	19	0.022	16.48	16.3	-4	0.004	3.28	3.5
34	0.053	39.90	37.6	18	0.021	15.48	15.4	-6	0.0037	2.76	3.0
33	0.050	37.73	35.7	17	0.019	14.53	14.5	-8	0.003	2.32	2.6
32	0.048	35.66	33.8	16	0.018	13.63	13.7	-10	0.0026	1.95	2.2
31	0.045	33.70	32.0	15	0.017	12.79	12.8	-16	0.0015	1.13	1.3
30	0.042	31.82	30.4	14	0.016	11.99	12.1	-20	0.001	0.77	0.9

例1-2 已知湿空气的压力为1巴, 温度为20°C, 相对湿度是75%, 问湿空气的绝对湿度及含湿量各为若干?

解 根据表1-4可查得20°C时饱和水蒸汽的分压力 $p_b = 17.54$ 毫米汞高 或 $p_b = 0.023$ 巴, 由公式1-7

$$\phi = \frac{x}{x_b} \approx \frac{p_s}{p_b}$$

可求得绝对湿度

$$x = \phi x_b \approx \phi p_b = 75\% \times 17.54 = 13.165 \text{ 克/米}^3$$

再由公式1-8,

$$d = 622 \frac{\phi p_b}{p - \phi p_b} = 622 \frac{0.75 \times 0.023}{1 - 0.75 \times 0.023} = 10.9 \text{ 克/千克}$$

(二) 流通能力

一般所说阀、管路等的流通能力, 是指单位时间内通过阀、管路等的流体体积或重量。目前表示流通能力大致有以下几种方法: 有效截面积 S 值, 流量系数 C 值、 C_v 值以及流量 Q 等。

1. 有效截面积 S

气体流过节流孔(如孔口)时, 其流束的收缩比节流孔实际截面积还小, 此最小截面积称为有效截面积, 它就代表了节流孔的流通能力, 常以 S 来表示。节流孔的有效截面积与实际截面积的比值称为收缩系数 α 。

(1) 有效截面的测试法

电磁阀的有效截面积可用如图1-3的测试装置, 由容器放气特性测定放气时间, 算出 S 值。

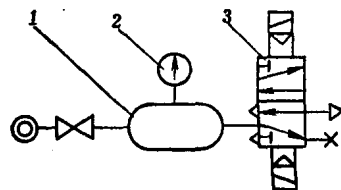


图1-3 电磁阀有效截面积 S 值的测试

1—容器 2—压力表 3—被测阀

$$S = \left(12.9V \frac{1}{t} \lg \frac{p_1 + 1.013}{p_2 + 1.033} \right) \sqrt{\frac{273}{T}} \text{ 毫米}^2 \quad (1-10)$$

式中 V ——容器的容积 升;

p_1 ——容器内初始压力 巴;

p_2 ——放气后容器内剩余压力 巴;

t ——放气时间 秒;

T ——以绝对温度表示的室温 K。

(2) 有效截面积的简化计算

1) 对于节流阀、气阀等(图1-4)

$$S = \alpha \frac{\pi d^2}{4} \quad (1-11)$$

式中 α ——收缩系数, 在确定节流孔直径 d 对节流孔上端直径 D 的比值二次方 $\beta = \left(\frac{d}{D}\right)^2$ 之后, 可根据图1-5查出 α 。

2) 对于管路

$$S = \alpha' S_0 \text{ 毫米}^2 \quad (1-12)$$

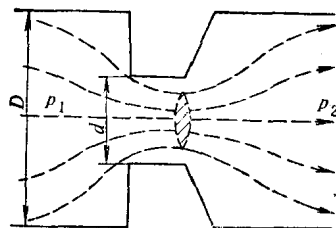


图1-4 节流阀的有效断面

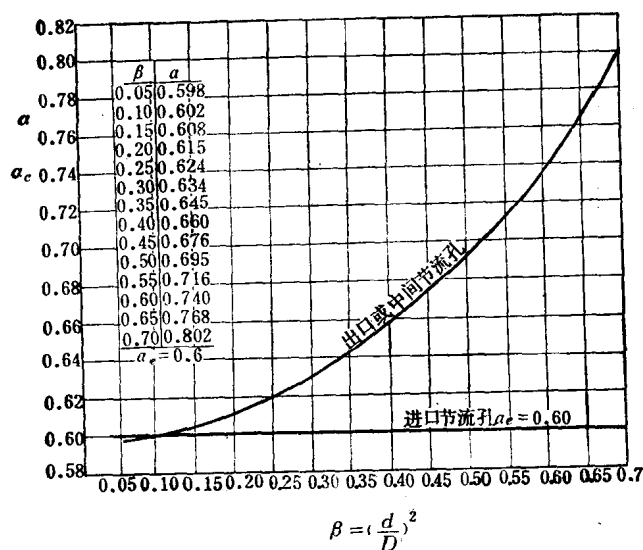


图1-5 节流孔的收缩系数

式中 α' ——系数由图 1-5 查出；

S_0 ——管子实际截面积 毫米²；

$$S_0 = \frac{\pi d^2}{4}$$

l ——管路长度 毫米；

d ——管路内径 毫米。

系统中若干元件并联连接合成有效截面积 S_R ：

$$S_R = S_1 + S_2 + \dots + S_n = \sum_{i=1}^n S_i \text{ 毫米}^2 \quad (1-13)$$

系统中若干元件串联连接合成有效截面积 S_r 可用下式计算：

$$\frac{1}{S_r^2} = \frac{1}{S_1^2} + \frac{1}{S_2^2} + \dots = \sum_{i=1}^n \frac{1}{S_i^2} \quad (1-14)$$

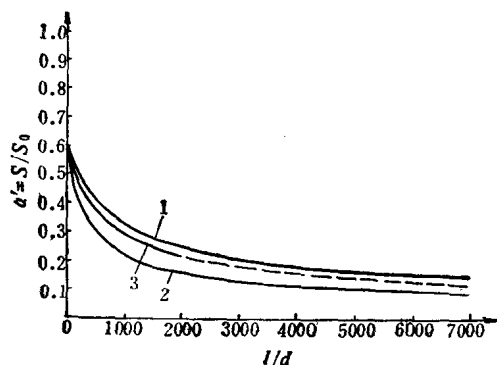
式中 S_r ——合成有效截面积；

$S_1, S_2, \dots, S_n$ ——各元件相应的有效截面积 毫米²。

2. 流量系数 C 、 C_v

(1) 流量系数 C 是当阀全开时，阀两端压差为 1 巴，用重度为 9810 牛顿/米³ 的水介质实验时，通过阀的流量值 (米³/小时)。

$$C = Q / \sqrt{\frac{\Delta P}{\gamma}} \quad (1-15)$$

图1-6 管长 l 与有效截面积的关系曲线

1— $d = 11.6$ 毫米的具有涤纶编织物的乙烯软管

2— $d = 2.52$ 毫米的尼龙管 3— $d = \frac{1}{4} \sim 1$ 英寸的

瓦斯管

式中 Q ——实测水的流量 米³/小时;

Δp ——被测阀前后的压差 巴;

γ ——4℃时水的重度, $\gamma = 9810$ 牛顿/米³。

其测试装置如图 1-7 所示。用测阀前后的压差, 由量液筒和秒表测流量而算出 C 值

(2) 流量系数 C_v 是当阀全开时, 阀两端压差为 1 磅/时, 以 (美) 加仑/分为单位所能流过水的流量值[1 (美) 加仑/分 ≈ 3.785 升/分]。

C_v 值的测试装置如图 1-8 所示。

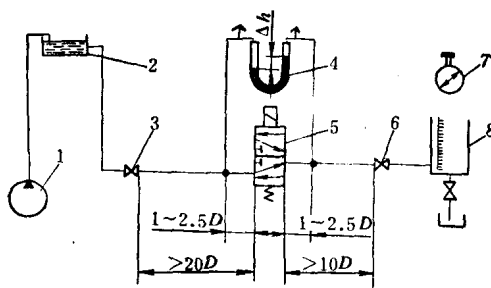


图1-7 C 值的测试装置

1—水泵 2—贮水槽 3、6—手动截门 4—U型
管水银压差计 5—被测阀 7—秒表 8—量液筒

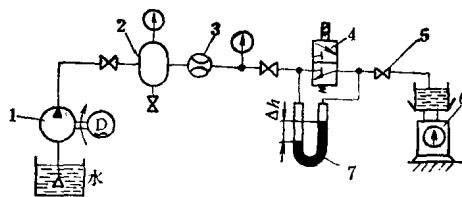


图1-8 C_v 值的测试装置

1—涡轮泵 2—容器 3—电磁流量计 4—被测阀
5—旋塞阀 6—台秤 7—压差计

除以上介绍的有效截面 S 及流量系数 C 、 C_v 外, 国外还有用其它流量系数表示阀的流通能力, 这里就不一一列举了。

国内用 C 值, 国外有的用 C_v 值, 但因测 C 、 C_v 是用水对阀作的试验, 不如测 S 值方便, 因此都不如 S 用的多。

S 、 C 和 C_v 的换算关系是:

$$\left. \begin{aligned} C_v &= 1.167 C \\ S &= 16.98 C_v \approx 17 C_v \end{aligned} \right\} \quad (1-16)$$

3. 流量 Q 。

当气流通过气动元件时, 使元件进口压力 p_1 保持不变, 使出口压力 p_2 降低, 如果降低到 $\frac{p_2}{p_1} = 0.528$ 或 $p_1 = 1.893 p_2$ 时, 则气流达到声速, 或 $\frac{p_2}{p_1} = 0.528 \sim 1$ 时在亚声速区。流量分别按下式计算:

(1) 当 $p_1 > 1.893 p_2$ 在声速区时

$$Q_s = 11.1 S (p_1 + 1.013) \sqrt{\frac{273}{T_1}} \quad \text{升/分} \quad (1-17)$$

(2) 当 $p_1 = (1 \sim 1.893) p_2$ 在亚声速区时

$$Q_s = 22.2 S \sqrt{\Delta p (p_2 + 1.013)} \sqrt{\frac{273}{T_1}} \quad \text{升/分} \quad (1-18)$$

式中 p_1 ——进口压力 巴;

p_2 ——出口压力 巴;

Δp ——压力降 $\Delta p = p_1 - p_2$ 巴;

S ——有效截面积 毫米²;

T_1 ——进口气体温度 K;

Q_z ——换算成自由状态后的空气流量 升/分。

例1-3 如图 1-9 所示的管路系统, 管道内径为 10 毫米。求从储气罐到气缸进气端的合成有效截面积。

解 因管道总长为 10 米, 其内径为 10 毫米, 所以 $l/d = 10000/10 = 1000$ 。

由图 1-6 曲线 3 查到 $S/S_0 \approx 0.28$, 则管道的折合有效截面积为:

$$\begin{aligned} S &= \frac{\pi d^2}{4} \times 0.28 \\ &= \frac{3.14 \times 10^2}{4} \times 0.28 \approx 22 \text{ 毫米}^2 \\ \frac{1}{S_r^2} &= \frac{1}{60^2} + \frac{1}{60^2} + \frac{1}{40^2} + \frac{1}{22^2} \\ S_r &= 17.55 \text{ 毫米}^2 \end{aligned}$$

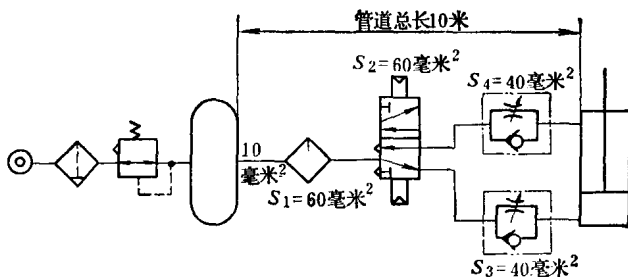


图1-9 管道系统的计算举例

例1-4 已知通径为 6 毫米的气控阀在环境温度 20°C、气源压力为 5 巴的条件下进行实验, 测得阀进出口压降 $\Delta p = 0.2$ 巴, 额定流量 $Q = 2.5 \text{ 米}^3/\text{小时}$, 试计算该阀的有效截面积 S 值。

解 按表 1-7 中公式求自由空气流量

$$\begin{aligned} Q_z &= Q \frac{p + 1.013}{1.013} \\ &= \frac{2.5 \times 1000}{60} \times \frac{5 + 1.013}{1.013} \\ &= 247 \text{ 升/分} \end{aligned}$$

出口压力:

$$p_2 = p_1 - \Delta p = 5 - 0.2 = 4.8 \text{ 巴};$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{4.8}{5} = 0.96$$

或 $p_1 = 1.04 p_2$, 即 $p_1 = (1 \sim 1.893) p_2$, 可按公式 1-18 求 S 值:

$$\begin{aligned} S &= \frac{Q_z}{22.2 \sqrt{\Delta p (p_2 + 1.013)}} \sqrt{\frac{T_1}{273}} \\ &= \frac{247}{22.2 \times \sqrt{0.2 \times (4.8 + 1.013)}} \sqrt{\frac{273 + 20}{273}} \\ &= 10.7 \text{ 毫米}^2 \end{aligned}$$

(三) 理想气体状态方程

理想气体状态变化的计算可用表 1-5 中的公式计算

表1-5 理想气体状态变化计算公式

名 称	条 件	公 式	说 明
理想气体状态方程式	对变化过程的某瞬时	$\frac{pV}{T} = \text{常数}$ $pv = RT$ $\frac{p}{\rho} = RT$	一定质量的气体状态方程式，压力和体积的乘积与其绝对温度之比稳定后在一瞬时不变，其中： p —绝对压力 牛顿/米 ² ； V —气体容积 米 ³ ； v —比容 米 ³ /千克； ρ —气体密度 千克/米 ³ ； T —绝对温度 K； R —气体常数。 干燥空气 $R_{\text{①}} = 287.1$ 牛顿·米/千克·开 水蒸汽 $R_{\text{①}} = 462.05$ 牛顿·米/千克·开
等温过程（波义耳定律）	温度不变	$pV = \text{常数}$ $p_1V_1 = p_2V_2$	在温度不变的条件下，气体状态变化时其压力 p 与体积 V 成反比
等压过程（盖吕萨克定律）	压力不变	$\frac{V}{T} = \text{常数}$ $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$	在压力不变的条件下，气体状态变化时，其体积 V 与绝对温度 T 成正比
等容过程（查理定律）	容积不变	$\frac{p}{T} = \text{常数}$ $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$	在容积不变的条件下，气体状态变化时，其压力 p 与绝对温度 T 成正比
绝热过程	与外界无热交换	$\frac{p_1}{\rho^k} = \text{常数}$ $\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right)^k$ $\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{k}{k-1}}$ $\frac{\rho_1}{\rho_2} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{1}{k-1}}$	气体状态变化与外界无热量交换 k —绝热指数 对干空气 $k = 1.4$ 对饱和蒸汽 $k = 1.3$
多变过程	气体按其中间过程变化	$\frac{p}{\rho^n} = \text{常数}$ $\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{n}{n-1}}$ $\frac{\rho_1}{\rho_2} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{1}{n-1}}$	n —多变指数 绝热过程时 $n = k$ 等温过程时 $n = 1$ 等压过程时 $n = 0$ 等容过程时 $n = \infty$

① 旧单位制中：干燥空气 $R = 29.27$ 公斤力·米/公斤力·开
 水蒸汽 $R_{\text{①}} = 47.1$ 公斤力·米/公斤力·开