



GAODENG XUEXIAO ZHUANYE JIAOCAI

• 高等学校专业教材 •


[高校教材]

通风除尘与气力输送

吴建章 李东森 主编

VENTILATION DUST REMOVING
AND PNEUMATIC CONVEYING



 中国轻工业出版社

高等学校专业教材

通风除尘与气力输送

吴建章 李东森 主编

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

通风除尘与气力输送/吴建章, 李东森主编. —北京:
中国轻工业出版社, 2009. 5
高等学校专业教材
ISBN 978-7-5019-6626-4

I. 通… II. ①吴…②李… III. ①气力输送—高等学校—
教材②气力输送机—高等学校—教材 IV. TU834 TH232

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 145571 号

责任编辑: 马 妍 责任终审: 孟寿萱 封面设计: 锋尚设计
版式设计: 王培燕 责任校对: 吴大鹏 责任监印: 马金路

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 三河市世纪兴源印刷有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2009 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 20.75

字 数: 450 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-6626-4 定价: 38.00 元

读者服务部邮购热线电话: 010-65241695 85111729 传真: 85111730

发行电话: 010-85119845 65128898 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社读者服务部联系调换

80889J1X101ZBW

前 言

粮食工业在进行生产的同时，加工原料的特性、加工产品的性质决定了生产过程中有粉尘产生。粉尘如果不加以控制和治理，势必对生产环境的卫生和安全带来严重影响。而气力输送则是利用空气的流动通过管道来输送散状物料，更是现代物流技术中粉粒状物料输送普遍采用的方法。

本书详细论述了通风除尘与气力输送的基础知识和应用技术。全书共分六章，分别介绍了空气流动的流体力学原理、粉尘控制的基础知识、通风除尘与气力输送主要设备的结构和性能、通风除尘系统的设计计算以及气力输送等内容。本书的编写力求内容全面、先进，叙述简明扼要，突出原理分析，计算数据可靠，并配有思考题与习题和详尽的资料。

本书由河南工业大学粮油食品学院吴建章副教授、李东森副教授担任主编，第一章、第二章由吴建章、刘永德编写，第三章至第五章和附录部分由吴建章编写；第六章由吴建章、田建珍教授编写，实验部分由刘秀芳讲师编写。全书由李东森副教授审稿。

本书在编写过程中，得到了多位专家、教授的支持和帮助，尤其是河南工业大学及粮油食品学院的有关领导对本书的编写给予了大力支持，在此一并致谢。

由于编者水平有限，书中难免有不少缺点、疏漏和错误之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2008年8月

目 录

第一章 空气流动的流体力学原理	1
第一节 空气的性质	1
一、空气的组成	1
二、空气的密度和重度	2
三、空气的温度和湿度	2
四、流体的黏滞性	3
五、空气的压缩性和膨胀性	4
六、空气的压强	5
第二节 空气管流的连续方程	7
一、空气的流动	7
二、流体管流的速度分布	7
三、流量和平均流速	8
四、连续方程	9
第三节 空气管流的能量方程	11
一、流体静力学基本方程	11
二、空气管流的能量方程	12
第四节 流动阻力和能量损失	16
一、沿程摩擦阻力和沿程摩擦能量损失	17
二、局部阻力和局部损失	18
三、管网总阻力	20
四、管网特性曲线	21
第五节 压强、流速和流量的测定	22
一、压强的测定	22
二、流速、流量的测定	25
思考题与习题	26
第二章 粉尘控制基础	28
第一节 粉尘概述	28
一、粉尘及其来源	28
二、粉尘的分类	30
第二节 粉尘的危害	31
一、粉尘对人体健康的危害	31
二、粉尘对生产的影响	32
三、粉尘爆炸	33
四、粉尘对环境的影响	34

第三节 粉尘的特性	35
一、粉尘的物理特性	35
二、粉尘的空气力学特性	41
第四节 粮食工业粉尘的产生及特点	44
一、粮食工业生产的特点	44
二、粮食工业粉尘的爆炸特性	45
三、粮食工业粉尘的产生	47
第五节 粮食工业粉尘控制概述	50
一、粮食工业粉尘控制的方法	50
二、粮食工业通风除尘系统的组成	51
三、粉尘控制的标准	52
思考题与习题	57
第三章 离心式通风机	58
第一节 风机概述	58
一、风机的类型	58
二、通风机	58
三、离心式通风机	59
第二节 离心式通风机的构造和工作原理	60
一、离心式通风机构造	60
二、离心式通风机工作过程	63
三、离心式通风机的工作原理	63
第三节 离心式通风机性能参数	66
一、离心式通风机的主要性能参数	66
二、离心式通风机的相似理论	68
三、离心式通风机的无因次性能参数	71
第四节 离心式通风机的性能曲线和工作点	72
一、离心式通风机的性能曲线	72
二、离心式通风机的工况点	74
三、离心式通风机的工况调节与节能	75
第五节 离心式通风机的选用	78
一、离心式通风机的名称	78
二、离心式通风机的选用	79
第六节 罗茨鼓风机和空气压缩机	80
一、罗茨鼓风机	81
二、空气压缩机	83
思考题与习题	87
第四章 除尘器	88
第一节 除尘器的类型和特点	88
一、除尘器的类型	88

二、除尘器的特点	89
第二节 除尘器的性能	90
一、除尘器的除尘效率	90
二、除尘器阻力	91
三、处理风量	92
四、漏风率	92
五、粉尘防爆措施	92
六、除尘器内部是否积灰	92
七、管理维修	93
八、设备造价和运行费用	93
第三节 重力沉降室和惯性除尘器	94
一、重力沉降室	94
二、惯性除尘器	97
第四节 离心式除尘器	99
一、离心式除尘器的结构和工作原理	100
二、影响离心式除尘器除尘效率的因素	101
三、离心式除尘器的选用	102
第五节 布袋除尘器	105
一、布袋除尘器的除尘机理	105
二、布袋除尘器滤布的清灰	107
三、影响布袋除尘器除尘效率的因素	109
四、布袋除尘器的类型	111
五、布袋除尘器的应用	111
第六节 除尘器排灰装置——闭风器	116
一、除尘器对闭风器的性能要求	116
二、闭风器的类型和结构	116
三、叶轮式闭风器的性能	117
第七节 除尘器的选择	122
一、生产特点	122
二、粉尘的性质	122
三、除尘器的性能参数	122
四、除尘器的投资及运行费用	123
思考题与习题	123
第五章 粉尘的捕捉与通风除尘系统的设计计算	125
第一节 粉尘的捕捉方式	125
一、粉尘的捕捉方式	125
二、被动式粉尘捕捉方式	126
三、主动式粉尘捕捉方式	132
四、湿法抑尘技术	137

第二节 通风除尘系统的设计	138
一、通风除尘系统的类型	138
二、通风除尘系统的设计	139
三、通风除尘系统设计的依据	142
第三节 通风除尘系统的阻力计算与阻力平衡	143
一、通风除尘系统阻力计算的目的	143
二、通风除尘系统的阻力平衡	145
三、通风除尘系统的阻力计算	148
四、通风除尘系统的阻力计算举例	149
第四节 通风除尘系统设计图的绘制	155
一、通风除尘系统设计图绘制的内容和方法	155
二、通风除尘系统设计文件的编制	157
三、工程实例	159
第五节 通风除尘系统的运行管理和测试技术	177
一、通风除尘系统的运行和调整	177
二、通风除尘系统的测试技术	178
第六节 风机的噪声污染及其控制	182
一、噪声及其特点	182
二、噪声的度量和标准	184
三、噪声控制的一般方法	189
四、风机噪声及其控制	195
思考题与习题	198
第六章 气力输送技术	200
第一节 概述	200
一、气力输送的应用与发展	200
二、气力输送特点	201
三、气力输送装置的类型	202
第二节 气力输送的主要设备	206
一、供料器	206
二、输料管	213
三、分离器	215
四、除尘器	216
五、风机	217
第三节 悬浮式气力输送的基本原理	218
一、物料颗粒的空气动力学特性	218
二、物料在管道中的运动	218
三、气力输送系统的主要参数	221
四、气力输送系统输料管压损的理论计算	223
第四节 气力输送系统的压损计算	225

一、低真空气力吸运系统的压损计算	226
二、高真空气力吸运系统的压损计算	230
三、气力压输送系统压损计算	232
第五节 气力输送装置的设计和压损计算举例	234
一、气力输送系统的设计步骤	234
二、气力吸运系统的压损计算举例	235
三、气力压运系统的压损计算举例	245
第六节 空气输送槽	246
思考题与习题	247
实 验	248
实验一 认识风网测定中常用仪器	248
实验二 直长风管压力分布测定	250
实验三 离心式通风机空气动力性能试验	251
实验四 除尘器阻力及阻力系数测定	253
实验五 颗粒状物料悬浮速度的测定	255
实验六 气力输送网路综合测定	256
附 录	259
附录一 除尘风管计算表	259
附录二 局部构件的局部阻力系数表	268
附录三 三通阻力系数表	270
附录四 离心式通风机性能参数	272
附录五 罗茨鼓风机性能表	284
附录六 部分国产空气压缩机性能参数	295
附录七 风机配套常用的 Y 系列电动机规格表	296
附录八 离心式除尘器（卸料器）处理风量和阻力表	299
附录九 脉冲除尘器性能表	301
附录十 叶轮式闭风器（供料器）	304
附录十一 部分尘源设备吸风量和阻力	305
附录十二 气力输送计算表	306
参考文献	313

第一章 空气流动的流体力学原理

在人们的生产活动和生活活动过程中，采用通风的方法以达到空气环境的卫生和安全，是最常用的和最基本的方法；而利用具有一定压强和速度的气流通过管道来输送物料的气力输送技术，更是现代物流技术中粉粒状散料输送普遍采用的方式。

通风除尘和气力输送，都是通过有目的的组织空气流动来实现的，而空气及其流动规律属于流体力学范畴。那么，什么是流体呢？在常温常压下，自然界的物质以三种聚集状态存在：气态、液态和固态，分别称为气体、液体和固体。其中，构成气体和液体的分子，分子间的间距大，分子间相互吸引力小，热运动剧烈，这就决定了气体和液体具有共同的特性：不能保持一定形状，容易变形。气体和液体容易变形的特性称为流动性。因此，通俗地讲，将能够流动的物质称为流体；而从物理学角度，在任何微小的剪切力作用下都能够发生连续变形的物质称作流体。所以，流体是气体和液体的统称。但是，气体和液体也是有区别的。气体没有一定的体积，不存在自由表面，具有显著的压缩性和膨胀性；而液体具有一定的体积，有自由表面，一般情况下不具有压缩性和膨胀性。但是，当气体的流速较低时，可以忽略其压缩性和膨胀性，这时气体和液体具有不可压缩的共同特性。

本章主要学习通风除尘和气力输送中有关空气流动的流体力学基础知识，如空气的性质、空气流动的基本方程、空气流动的阻力和能量损失计算以及空气流动的基本参数测试技术等。

第一节 空气的性质

一、空气的组成

空气和水、小麦、石头等一样，属于一种物质，只是它以气体状态存在。空气是由多种成分组成的混合气体，但主要由干洁空气、水汽和悬浮微粒三部分构成。

1. 干洁空气

干洁空气即干燥清洁空气，不含水汽和悬浮微粒。干洁空气的主要成分为氮气、氧气和氩气，这三部分在空气的总容积中约占 99.97%，其他成分有二氧化碳、氦、氖、氪、氙、臭氧等。干洁空气的组成见表 1-1。

2. 水汽

水汽是空气的一项重要组成部分，其浓度随地理位置和气象条件不同变化范围较大。干燥地区的水汽含量低至 0.02%，暖湿地区含量可达 6%。

3. 悬浮微粒

悬浮微粒主要指因自然因素变化而悬浮在空气中的颗粒物，如火山爆发产生的火山灰，土壤、岩石风化的微细颗粒物以及植物花粉等。

表 1-1

干洁空气的组成

气体名称	含量 (容积百分数) /%	气体名称	含量 (容积百分数) /%
氮 (N ₂)	78.09	氩 (Ar)	0.93
氧 (O ₂)	20.95	二氧化碳 (CO ₂)	0.02 ~ 0.04
氩 (Ar)	0.93	氖 (Ne)	18×10^{-4}
二氧化碳 (CO ₂)	0.02 ~ 0.04	氦 (He)	5.24×10^{-4}
氖 (Ne)	18×10^{-4}	氪 (Kr)	1.0×10^{-4}
氦 (He)	5.24×10^{-4}	氢 (H ₂)	0.5×10^{-4}
		氙 (Xe)	0.08×10^{-4}
		甲烷 (CH ₄)	$(1.0 \sim 12.0) \times 10^{-4}$
		二氧化氮 (NO ₂)	0.02×10^{-4}
		臭氧 (O ₃)	0.01×10^{-4}

一般情况下, 空气中的氮气、氧气和氩气, 以及微量的氖、氦、氪、氙、氡等稀有气体是空气组分的恒定部分; 二氧化碳和水汽是空气的可变组分; 悬浮微粒是空气的不定组分。

干洁空气、水汽和悬浮微粒为空气的自然组成, 又称为空气的本底物质。本底的某个组分在含量上有显著变化时或空气中本来不存在的物质在空气中大量出现时, 即意味着空气受到了污染 (一般水汽含量的变化除外)。

二、空气的密度和重度

密度和重度是空气最基本的物理属性。

1. 密度

单位体积空气所具有的质量称为空气的密度, 用符号“ ρ ”表示, 单位为 kg/m^3 。它表征空气在空间的密集程度。

空气的密度: $\rho_a = 1.2 \text{kg}/\text{m}^3$; 水的密度: $\rho_w = 1000 \text{kg}/\text{m}^3$ 。

2. 重度

单位体积空气所具有的重量称为空气的重度, 用符号“ γ ”表示, 单位为 N/m^3 。

空气的重度: $\gamma_a = 11.77 \text{N}/\text{m}^3$ 。

重度与密度之间的关系:

$$\gamma = \rho g \quad (1-1)$$

式中 g ——重力加速度, m/s^2 , 一般取 $g = 9.81 \text{m}/\text{s}^2$ 。

在工程单位制中, 重量的单位用 kg 表示, 所以重度的工程单位制是 kg/m^3 。空气的重度采用工程单位制表示时, $\gamma_a = 1.2 \text{kg}/\text{m}^3$ 。

三、空气的温度和湿度

1. 温度

温度是表示物体冷热程度的物理量。根据分子运动论, 温度是大量分子运动之动能的结果。空气温度的高低表明了空气分子热运动速度的大小。

在工程上, 温度的表示常采用摄氏温标和绝对温标两种方法。摄氏温标表示的温度即摄氏温度, 单位为 $^{\circ}\text{C}$, 常用小写字母 t 表示。绝对温标为热力学温度单位, 也称绝对温度, 它把分子运动速度为零时的温度定义为 0K , K 为热力学温度的单位, 常用大写字母 T 表示。

热力学温度 (T) 和摄氏温度 (t) 之间的关系为:

$$T = 273 + t \quad (\text{K}) \quad (1-2)$$

2. 湿度

空气中水汽的含量称为空气的湿度。空气的湿度有绝对湿度和相对湿度两种表示方法。

单位质量或单位体积空气中所含水汽的质量即绝对湿度, 单位 kg/kg 或 kg/m^3 。

空气中的水汽含量不是无限的, 有一最高含量, 即饱和值, 饱和含水量主要与空气的温度有关。湿空气中水汽的含量达到在该温度下最大值时的气体状态, 称为饱和状态。在一定条件下, 空气的含水量趋于其饱和含水量的程度, 称为相对湿度。

$$\varphi = \frac{d}{d_H} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 φ ——相对湿度, %;

d ——某温度下, 1m^3 空气的水分含量, kg/m^3 ;

d_H ——同温同压下, 饱和状态时 1m^3 空气的水分含量, kg/m^3 。

空气的相对湿度一般在 30% ~ 80% 之间。当相对湿度的数值高于 80% 时为高湿度空气, 低于 30% 时为异常干燥状态。

在工程上一般采用相对湿度表示空气的含湿量。相对湿度可通过干、湿球温度计读出干、湿温度差, 再通过查表得出相对湿度。

3. 露点温度

含有一定水汽的空气, 随着温度的降低, 就会有一部分水汽冷凝成水滴形成结露现象, 结露时的温度称为露点温度。

露点温度对通风除尘与气力输送装置有着重要的影响, 一般是要尽量避免的。

四、流体的黏滞性

只有在管道两断面间存在压强差或者位置高度差, 流体才会在管道中流动; 飞机在空中的飞行、轮船在水中的航行都需要动力, 这些都是为了克服流体黏滞性所产生的阻力。

流体流动时, 在流体内部质点间会产生内摩擦力来阻止流体的相对运动, 这种性质称为黏滞性。从力学角度看, 空气的黏滞性是气体抵抗剪切变形的特性; 从分子运动论看, 空气的黏滞性是由于空气分子间的吸引力以及空气分子因不规则热运动碰撞之后的动量交换所引起的, 因此空气的黏滞性与温度关系密切, 温度升高, 空气的黏滞性增大。

空气在管道中以一定的速度流动时, 紧贴管道内壁的空气质点, 黏附在内壁上, 流速为零; 而位于管道轴心线上的空气质点, 距内壁最远, 受内壁的影响最小, 因而流速最大。从管道内壁到管道轴心线, 空气质点的速度逐渐增大, 空气质点这样的速度分布, 即为黏滞性的影响。图 1-1 为空气在管道中流动的速度分布特点。

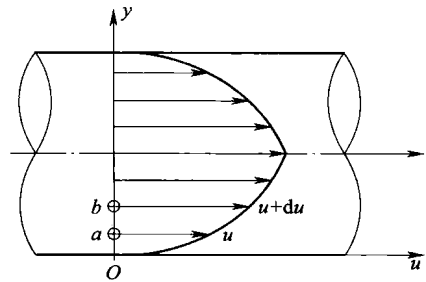


图 1-1 空气在管道中流动的速度分布特点

因为各流层的速度不同，因而流层之间存在相对运动，从而产生内摩擦力以抵抗相对运动。在垂直流动方向上，设有厚度为 dy (m)、速度为 u (m/s)、速度增量为 du (m/s) 的分层，在流动方向上的速度梯度为 du/dy (1/s)，根据牛顿内摩擦定律，流体发生相对运动时流体内部质点间产生的内摩擦力大小为：

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

式中 f ——内摩擦力，N；

μ ——流体的动力黏性系数， $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ；

A ——流层之间接触面面积， m^2 ；

$\frac{du}{dy}$ ——速度梯度，表示某管道断面上，质点速度沿垂直于速度方向 y 上的变化率， $1/\text{s}$ 。

由式 (1-4) 可知，流体内部内摩擦力的大小与流体的性质有关，与质点间的速度梯度成正比。当质点间的速度梯度为零，即流体处于静止或相对静止状态时，内摩擦力为零，表明静止流体没有黏滞性。

因为流体黏性系数 μ 具有力学量纲，故称为动力黏性系数，也称为气体黏度。 μ 值越大，空气的黏性越高。

在工程计算中，经常出现动力黏性系数 μ 与流体密度 ρ 的比值，将其称为流体的运动黏性系数，即

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

式中 ν ——运动黏性系数， m^2/s 。

流体的黏滞性越大，流体流动时需要克服的内摩擦力就越大，表明流体的流动性差，所以，空气的黏滞性是空气流动产生阻力的根本原因。

在流体力学中，无黏滞性的流体称为理想流体，否则称为实际流体。实际空气不同温度、不同相对湿度时的黏性系数和密度见表 1-2。

表 1-2 实际空气不同温度时的黏性系数和密度

温度/ $^{\circ}\text{C}$	运动黏性系数 / (m^2/s)	动力黏性系数 / $\text{Pa} \cdot \text{s}$	相对湿度 50% 时 的密度/ (kg/m^3)	相对湿度 75% 时 的密度/ (kg/m^3)	相对湿度 100% 时 的密度/ (kg/m^3)
-10	12.43×10^{-6}	16.63×10^{-6}	1.341	1.341	1.341
0	13.33×10^{-6}	17.25×10^{-6}	1.292	1.291	1.290
10	14.21×10^{-6}	17.70×10^{-6}	1.244	1.243	1.241
20	15.12×10^{-6}	18.20×10^{-6}	1.200	1.197	1.195
30	16.04×10^{-6}	18.65×10^{-6}	1.156	1.151	1.147
40	16.98×10^{-6}	19.12×10^{-6}	1.112	1.105	1.097
50	17.95×10^{-6}	19.60×10^{-6}	1.067	1.054	1.042

五、空气的压缩性和膨胀性

空气在一定的温度下受到压强作用体积缩小、密度增大的特性称为空气的压缩性；在压强一定时，空气因温度增加而体积增大、密度减小的特性称为空气的膨胀性。

空气在压缩或膨胀的过程中，遵循理想气体状态方程，即

$$p = \rho RT \quad (1-6)$$

式中 p ——空气的绝对压强，Pa；

ρ ——空气的密度， kg/m^3 ；

R ——气体常数，对于空气 $R = 287 \text{N} \cdot \text{m}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ；

T ——绝对温度， $T = 273 + t$ ，K；

t ——空气的摄氏温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

式(1-6)为 1m^3 理想气体的状态方程，也表示 1m^3 理想气体所具有的压力能。

由式(1-6)及式(1-1)得

$$\rho = \frac{p}{RT} \quad (1-7)$$

$$\gamma = \frac{p}{RT} g \quad (1-8)$$

式(1-7)和式(1-8)分别为空气密度和重度的计算表达式。由此可知，影响空气的密度或重度大小的因素为空气的压强 p 和温度 t 。

根据空气的重度或密度是否随压强或温度等因素的变化而变化，空气可划分为可压缩空气和不可压缩空气两种状况。

当空气的重度 $\gamma_a \neq$ 常数时，空气为可压缩气体，具有压缩性和膨胀性。

当空气的重度 $\gamma_a =$ 常数时，空气为不可压缩气体，不具有压缩性和膨胀性。

空气在流动过程中具有压缩性和膨胀性，为了通风计算或通风设备参数的表示有一个统一基准，在通风工程中常取温度 20°C ，绝对压强 760mmHg ，相对湿度 50% 的空气定义为通风工程上的标准空气。

通风工程上的标准空气重度 $\gamma_a = 11.77\text{N}/\text{m}^3$ ，密度 $\rho_a = 1.2\text{kg}/\text{m}^3$ ，动力黏性系数 $\mu = 18.20 \times 10^{-6}\text{Pa} \cdot \text{s}$ ，运动黏性系数 $\nu = 15.12 \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$ 。

可压缩气体和不可压缩气体都是相对而言的，实际工程中要不要考虑压缩性，要视具体情况而定。在通风工程中，如果气流的温度和压强的变化在整个流动过程中变化不大，或当气流的速度比这种气体在当时温度下的声速小得多时，所引起的重度变化可忽略不计，此时可以将气体看作不可压缩气体进行计算。对于一般的通风除尘和气力输送风网，空气的流动均可认为是不可压缩气体；而对于高真空气力输送、气力压运输送风网，空气的流动多看作可压缩气体。

六、空气的压强

空气的压强是指气体垂直作用于容器壁面单位面积上的力。根据气体分子运动学说，空气的压强是由于大量空气分子热运动对容器内壁撞击的宏观表现。无论空气是否流动，是管道内的空气或室内空气，均对其周围壁面产生垂直于该壁面的压强，因此，气体压强也称为气体静压强。气体静压强，具有在同一点上各方向气体静压强均相等的特性。空气的压强可以用下式表示：

$$p = \frac{2}{3}n\left(\frac{1}{2}mv^2\right) \quad (1-9)$$

式中 n ——单位体积内空气分子数；

$\frac{1}{2}mv^2$ ——分子平移运动的平均动能。

1. 压强的表示方法

实际工程中，根据压强计量基准的不同，压强有三种表示方法。

(1) 绝对压强 以没有一点空气存在的绝对真空为基准度量的压强。

(2) 相对压强 以当地大气压为基准度量的压强。

绝对压强、相对压强和大气压之间的关系为：相对压强 = 绝对压强 - 大气压

(3) 真空度 当绝对压强低于大气压时，相对压强为负值，负的相对压强绝对值称为真空度，或者是绝对压强小于大气压的那部分数值，用 p_v 表示。

即真空度 = 大气压 - 绝对压强。

压强可以用压力表测量。压力表所能直接读出的压强数值为测量处气体的压强与外界大气压的差值即相对压强，也称为表压。

绝对压强、相对压强和大气压等之间的关系如图 1-2 所示。

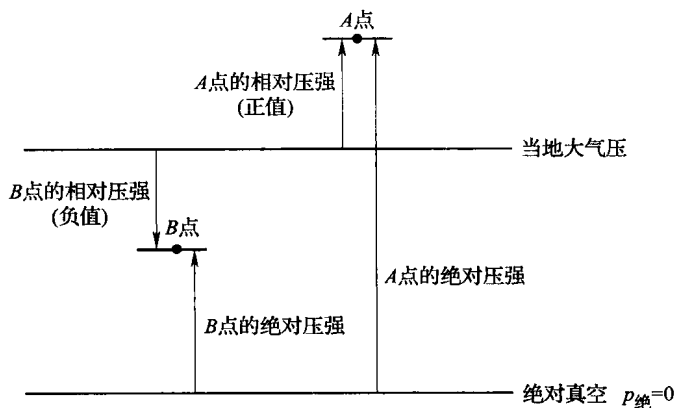


图 1-2 绝对压强、相对压强和大气压之间的关系

2. 压强的单位

(1) 定义单位 以单位面积上的力来度量的压强的大小，即压强的定义单位。压强定义的表达式即

$$p = \frac{F}{A} \quad (1-10)$$

式中 F ——垂直作用于容器内壁的力，N；

A ——力 F 作用的面积， m^2 ；

p ——压强， N/m^2 。

N/m^2 ，即压强的国际单位制。 N/m^2 简称帕，符号 Pa，即 $1N/m^2 = 1Pa$ 。

在通风工程上，压强习惯于用单位 kg/m^2 表示，此单位为压强的工程单位制。压强工程单位制与国际单位制的关系：

$$1kg/m^2 = 9.81Pa$$

(2) 液柱高度 压强的计量单位用液柱高度表示，如毫米汞柱 (mmHg)、毫米水柱 (mmH_2O)。

$$1\text{mmHg} = 13.6\text{mmH}_2\text{O}$$

$$1\text{mmH}_2\text{O} = 1\text{kg/m}^2$$

(3) 大气压 压强的计量单位用大气压表示, 如物理大气压 (atm)、工程大气压 (at)。

$$1\text{atm} = 760\text{mmHg} = 10336\text{mmH}_2\text{O} = 10336\text{kg/m}^2 = 1.0336\text{kg/cm}^2$$

$$1\text{at} = 10000\text{mmH}_2\text{O} = 1\text{kg/cm}^2 = 9.81 \times 10^4\text{Pa} = 736\text{mmHg}$$

其他常用的压强单位及单位换算关系:

$$1\text{兆帕 (MPa)} = 10^6\text{Pa}$$

$$1\text{千帕 (kPa)} = 1000\text{Pa}$$

$$1\text{巴 (bar)} = 10^5\text{Pa}$$

$$1\text{托 (Torr)} = 1\text{mmHg} = 133.322\text{Pa}$$

例 1-1 通风管道某断面上空气的压强为 -100mmHg , 空气的温度为 20°C , 当地大气压为 760mmHg , 求该断面空气的重度。

解: 相对压强 = 绝对压强 - 大气压

-100mmHg 的绝对压强为: $(760 - 100)\text{mmHg}$

$$\gamma = \frac{\rho}{RT} = \frac{(760 - 100) \times 13.6 \times 9.81}{287 \times (273 + 20)} \times 9.81 = 10.27\text{N/m}^3$$

第二节 空气管流的连续方程

一、空气的流动

力是改变物体运动状态的原因, 由于气体压强的不平衡因而引起了空气的流动。

(1) 管流 空气在管道中的流动, 简称为管流。

(2) 射流 空气以一定的速度从管道端头、容器或管道上的条缝、孔口等处流出, 在空气中沿气流运动方向形成一股气流, 这股气流称为通风射流。射流周围没有固体边壁, 四周受到大气压的作用。

(3) 汇流 空气由管流进口吸入时, 进风口附近的空气流向进风口形成汇流。

二、流体管流的速度分布

1. 层流和紊流

流体在管道中的流动状态存在着层流和紊流两种流型。英国物理学家雷诺在 1883 年通过实验, 首先发现了流体管流的两种流型: 层流和紊流, 并在实验的基础上确定了两种流型的判断方法。

流体在管道中以较低的速度流动时, 流体各层之间相互滑动而不混合, 即流体质点只存在轴向速度而无径向速度, 这种流动即为层流, 层流是一种有秩序的流动。

当管道中流体速度较高时, 流体质点在管流的径向上也得到了附加速度, 流动发生了混合, 层流被破坏, 流动状态发展为紊流, 紊流是一种流体质点杂乱无章的流动。

雷诺从实验中得到, 流动状态的转变与流速、管径大小、流体的黏滞性等因素有关。将这些因素按一定规则组成一无因次量, 称为雷诺数, 雷诺数的大小是判断流动类型的准

则数。

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (1-11)$$

式中 Re ——雷诺数；

D ——管道直径，m；

V ——平均流速，m/s；

ν ——流体的运动黏性系数， m^2/s 。

雷诺数 Re 是一个无因次量，一般通风工程上取 $Re = 2320$ 作为判定管道中流动状态的标准，即

$Re < 2320$ ，是层流流型；

$Re = 2320$ ，为临界状态；

$Re > 2320$ ，是紊流流型。

2. 不同流型管流的速度分布规律

流体的流动状态不同，管流断面上质点的速度分布也不同。

层流流型时管流的速度分布如图 1-3 (1) 所示。空气流动在管道断面轴心线上流速最大，管道内壁处速度最小，趋于零，速度分布曲线呈抛物线形状。

紊流流型时的速度分布如图 1-3 (2) 所示。空气流动同样具有在管道断面轴心线上流速最大，在管道内壁处速度为零的特点，速度分布呈对数曲线形状。由于紊流时流体质点存在径向速度，因此速度分布曲线在轴心区域较层流速度分布曲线平坦。

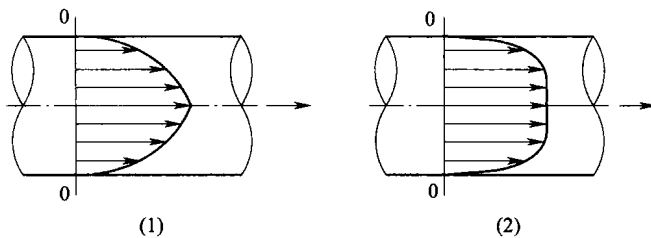


图 1-3 层流和紊流管流断面的速度分布
(1) 层流流型的速度分布 (2) 紊流流型的速度分布

三、流量和平均流速

1. 流量

单位时间内通过某有效断面的流体量称为流量。有效断面指在通风管道中垂直于流动方向的横断面。流体量有体积流量 (Q)、质量流量 (M) 和重量流量 (G) 三种表示方式，它们之间的关系为：

$$M = Q\rho \quad (\text{kg/s}) \quad (1-12)$$

$$Q = \frac{M}{\rho} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (1-13)$$

$$G = Q\gamma \quad (\text{N/s}) \quad (1-14)$$

对于通风管道，常用体积流量表示流量，此时流量即风量。而当空气流动具有压缩性和膨胀性或进行理论计算、公式推导时，常采用质量流量。