

620755

高等财经院校试用教材

951

88513

# 通风除尘 与气力输送

中国商业出版社

TONG FENG  
CHU CHEN  
YU QI LI  
SHU SONG

高等财经院校试用教材

# 通风除尘与气力输送

无锡轻工业学院 武汉粮食工业学院 编  
南京粮食经济学院 郑州粮食学院

中国商业出版社

高等财经院校试用教材

通风除尘与气力输送

无锡轻工业学院 武汉粮食工业学院 编  
南京粮食经济学院 郑州粮食学院

中国商业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

一〇二工厂印刷

787×1092毫米 32开 14.5印张 326千字

1986年3月第1版 1987年3月北京第2次印刷

印数：10,001—13,000册

统一书号：13237·032 定价2.40元

## 內 容 簡 介

本书是根据高等学校粮食工程专业教学要求编写的教材。内容包括流体力学基础、通风机、粉尘控制、除尘器、通风与气力输送网路的设计与计算等。本书也可供粮食院校其他相近专业及有关工程技术人员参考。

## 编写说明

本书是在商业部教育司的组织下，根据高等粮食院校教材编写出版规划，为粮食加工工程专业编写的试用教材。也可供从事粮食工厂设计的工程技术人员、中等粮食学校教师学习参考。

参加本书编写的有：无锡轻工业学院郭贯新（第一、二章），武汉粮食工业学院孙武亮、阮贞友（第三、四章），南京粮食经济学院周诚（第五、六、七、八、九章），郑州粮食学院朱凤德（第十、十一、十二、十三章）。孙武亮同志任主编，上海石化总厂刘宗英同志任主审。本书于一九八二年完成初稿后，曾在部分院校试用，根据教学中遇到的问题，又作了进一步的修改和补充。本书在编写过程中，力求阐明基本理论，并结合粮食工厂实际，着重讨论设计和计算方法。

由于编者水平有限，缺点和错误在所难免。恳切希望读者提出批评指正。

编者

1984年8月

# 目 录

<b>第一章</b>	<b>空气的性质和空气管流的基本方程</b> .....	( 1 )
§ 1	空气的物理性质 .....	( 1 )
§ 2	空气流动的有关概念 .....	( 10 )
§ 3	连续性方程 .....	( 19 )
§ 4	能量方程 .....	( 23 )
<b>第二章</b>	<b>流动阻力和能量损失</b> .....	( 43 )
§ 1	能量损失的两种形式 .....	( 43 )
§ 2	层流、紊流和雷诺实验 .....	( 46 )
§ 3	管中层流运动规律 .....	( 54 )
§ 4	圆管中紊流的速度分布 .....	( 58 )
§ 5	尼古拉兹实验和系数 $\lambda$ 公式 .....	( 65 )
§ 6	局部损失 .....	( 76 )
<b>第三章</b>	<b>离心通风机</b> .....	( 83 )
§ 1	概述 .....	( 83 )
§ 2	离心通风机的基本理论 .....	( 84 )
§ 3	离心通风机的性能 .....	( 97 )
§ 4	通风机在管网中的运行和工况调节 .....	( 119 )
§ 5	离心通风机的选用 .....	( 125 )
<b>第四章</b>	<b>容积式空气机械</b> .....	( 139 )
§ 1	罗茨鼓风机的构造和工作原理 .....	( 139 )
§ 2	罗茨鼓风机的性能和选用 .....	( 142 )
§ 3	空气压缩机 .....	( 148 )

§ 4	风机噪声及治理 .....	(153)
<b>第五章</b>	<b>通风和粉尘控制 .....</b>	<b>(177)</b>
§ 1	概述 .....	(177)
§ 2	粉尘的分类、形成及扩散 .....	(179)
§ 3	含尘浓度、卫生标准和排放标准 .....	(184)
§ 4	粮食厂仓控制粉尘的通风方法 .....	(186)
§ 5	吸风罩的型式 .....	(189)
§ 6	粮食厂仓中机器设备的通风除尘装置 .....	(193)
§ 7	机器设备的吸风量和压力损失 .....	(200)
<b>第六章</b>	<b>粉尘和物料的性质 .....</b>	<b>(202)</b>
§ 1	粉尘和物料的密度、粒径、分散度、摩擦 角和粘附性 .....	(202)
§ 2	粉尘的凝聚性、吸水性和比电阻 .....	(207)
§ 3	粉尘的燃烧和爆炸性 .....	(208)
§ 4	粉尘和物料的空气动力特性 .....	(210)
<b>第七章</b>	<b>含尘空气的净化和除尘器 .....</b>	<b>(222)</b>
§ 1	除尘器的评价、分类和一般性能 .....	(223)
§ 2	重力沉降室和惯性除尘器 .....	(231)
§ 3	离心除尘器的构造和气流运动情况 .....	(237)
§ 4	离心除尘器的性能和影响因素 .....	(241)
§ 5	离心除尘器各部分尺寸比的确定 .....	(254)
§ 6	离心除尘器的使用 .....	(258)
§ 7	袋式除尘器的除尘机理和构造 .....	(261)
§ 8	袋式除尘器的织物选择和性能 .....	(272)
§ 9	袋式除尘器的设计、选择和运行、维护 .....	(275)
§ 10	湿式除尘器和电除尘器 .....	(278)
§ 11	除尘器的选择 .....	(281)

§ 12	有害气体的高空排放 .....	(283)
<b>第八章</b>	<b>通风除尘网路的设计和计算 .....</b>	<b>(287)</b>
§ 1	通风除尘网路的设计原则 .....	(287)
§ 2	通风管道内空气流动的压力损失 .....	(288)
§ 3	通风除尘网路中空气压力的分布 .....	(297)
§ 4	通风除尘网路的水力计算 .....	(299)
<b>第九章</b>	<b>通风除尘网路的测定调整和管理 .....</b>	<b>(308)</b>
§ 1	测量风速、风压的仪器 .....	(308)
§ 2	风压和风速的测定 .....	(311)
§ 3	室内空气含尘浓度的测定 .....	(315)
§ 4	风管中空气含尘浓度的测定 .....	(317)
§ 5	除尘器性能的测定 .....	(320)
§ 6	测定中发现问题的分析 .....	(322)
§ 7	通风除尘网路的维护管理 .....	(323)
<b>第十章</b>	<b>气力输送原理 .....</b>	<b>(325)</b>
§ 1	气力输送技术在工程中的应用 .....	(325)
§ 2	物料在管道中的运动 .....	(332)
§ 3	气力输送网路的压力损失 .....	(350)
<b>第十一章</b>	<b>气力输送装置的主要设备 .....</b>	<b>(371)</b>
§ 1	接料器 .....	(371)
§ 2	输料管道和管件 .....	(387)
§ 3	卸料器 .....	(390)
§ 4	闭风器 .....	(399)
<b>第十二章</b>	<b>气力输送网路的设计与计算 .....</b>	<b>(401)</b>
§ 1	设计依据和主要参数的确定 .....	(401)
§ 2	面粉厂清理车间气力输送网路计算举例 .....	(405)
§ 3	面粉厂制粉车间气力输送网路计算举例 .....	(409)



§ 4	米厂气力输送网络计算举例 .....	(412)
§ 5	码头吸粮机网络计算举例 .....	(416)
<b>第十三章</b>	<b>空气槽和栓流气力输送 .....</b>	<b>(421)</b>
§ 1	空气槽气力输送 .....	(421)
§ 2	栓流气力输送 .....	(425)
附录一	空气的 $\rho$ 、 $\mu$ 、 $\nu$ 与温度 $t$ 和湿度 $\varphi$ 的关系值 (标准大气压下).....	(438)
附录二	吸风量和压力损失 .....	(440)
附录三	除尘风管计算表 .....	(444页后)
附录四	局部管件的压损系数表 .....	(445)
附录五	垂直气力输送管计算表 .....	(454页后)
<b>主要参考书</b>	.....	<b>(455)</b>

# 第一章 空气的性质和空气 管流的基本方程

在粮食加工过程中，无论是车间的通风换气，设备的吸风除尘，以及物料的气力输送等，都是通过有效的组织和控制空气的流动来实现的。因此，了解掌握空气的物理性质和管流的基本规律，是十分必要的。

## §1 空气的物理性质

### 一、概述

气体和液体统称为流体。空气的抗剪切和抗张能力都很小，极易流动，表现出与固体物质不同的特点。这是因为空气分子之间的距离较大，分子间的相互吸引力很微弱，分子热运动起着决定性作用的缘故。所以空气总是充满着整个装盛它的容器，即空气可在容器所限制的范围内无限扩散。因此，空气既没有一定的形状，也没有一定的体积，不可能形成自由表面。

从物理学观点看，空气和其它物质一样，都是由分子所组成。显然分子之间存在着空隙，因而空气实际上是一种不连续介质。但是在通风和气力输送工程中，只研究由大量分子组成的宏观的空气流动规律，而不需要研究空气内部各个分子的微观运动。因此，通常用连续介质的模型来代替真实

空气的分子结构，也就是把空气看成是由无穷多的一个紧挨着一个的连续质点所构成的连续介质。于是反映空气特性及运动规律的参数如压力、密度、速度等都可看作是连续分布的，可用连续函数来加以描述和分析。科学实验证明，利用连续介质假定所求得的空气运动规律和基本理论同客观实际是十分相符的。

## 二、空气的密度、比容和重度

1. 密度 单位体积的空气所具有的质量称为密度，用  $\rho$  表示。对于均质气体，密度等于气体的质量与其体积的比值，即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

式中  $\rho$ ——空气的密度(公斤/米<sup>3</sup>)，

$m$ ——空气的质量(公斤)；

$V$ ——空气的体积(米<sup>3</sup>)。

在气体动力学中，气体的体积常用单位质量气体所具有的体积来量度，称为比容，以  $v$  表示为

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} \quad (\text{米}^3/\text{公斤}) \quad (1-2)$$

2. 重度 单位体积的空气所具有的重量称为空气的重度，用  $\gamma$  表示。对于均质气体，重度应等于气体重量与其体积的比值，即

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1-3)$$

式中  $\gamma$ ——空气的重度(牛/米<sup>3</sup>)，

$G$ ——空气的重量(牛)。

3. 密度、比容和重度之间的关系 由牛顿第二定律可

知，重量等于质量与重力加速度的乘积，即

$$G = mg$$

两边均以体积  $V$  除之，得

$$\gamma = \rho \cdot g = g/v \quad (1-4)$$

式中  $g$ ——当地重力加速度 (米/秒<sup>2</sup>)，一般取  $g = 9.81$  米/秒<sup>2</sup>

### 三、空气的压缩性

1. 理想气体状态方程 空气在压力或温度改变时能改变自身的体积，具有显著的压缩性和膨胀性，因此，当温度或压力变化时，气体的密度也随之变化。它们之间的关系，服从于理想气体状态方程式，即

$$Pv = RT \text{ 或 } P/\rho = RT \quad (1-5)$$

式中  $P$ ——绝对压力 (牛/米<sup>2</sup>)，

$v$ ——比容 (米<sup>3</sup>/公斤)

$T$ ——热力学温度 (K——开尔文)

$$T = T_0 + t^\circ\text{C}, \quad T_0 = 273\text{K},$$

$R$ ——气体常数 (牛·米/公斤·开)，对于空气  $R = 287$  牛·米/公斤·开。

2. 等容过程 在气体状态变化过程中，如果容积保持不变，称为等容过程，即

$$V = \text{常数}, \quad dV = 0$$

$$\rho = \text{常数}, \quad d\rho = 0$$

由理想气体状态方程可得

$$P/T = \rho R = \text{常数} \quad (1-6)$$

$$\text{或 } P_1/T_1 = P_2/T_2, \quad P_1/P_2 = T_1/T_2 \quad (1-7)$$

3. 等压过程 当气体状态变化过程中压力保持不变时，称为等压过程，即

$$P = \text{常数}, dp = 0$$

由理想状态方程可得

$$T\rho = P/R = \text{常数} \quad (1-8)$$

$$\text{故 } T_1\rho_1 = T_2\rho_2 \quad \text{或} \quad \frac{T_1}{T_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \quad (1-9)$$

4. 等温过程 当气体状态变化过程中温度保持不变时, 称为等温过程, 即

$$T = \text{常数}, dT = 0$$

由理想状态方程可得

$$P/\rho = RT = \text{常数} \quad (1-10)$$

$$\text{故 } \frac{P_1}{\rho_1} = \frac{P_2}{\rho_2} \quad \text{或} \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \quad (1-11)$$

5. 绝热过程 当气体状态变化过程中, 与外界没有热量交换, 称为绝热过程。由热力学可知, 绝热方程为

$$\frac{P}{\rho^k} = \text{常数} \quad (1-12)$$

$$\text{故 } \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)^k \quad \text{或} \quad \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1}{k}} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \quad (1-13)$$

式中  $K$ ——绝热指数, 是定压比热和定容比热的比值, 对于空气,  $K = 1.4$ 。

6. 多变过程 实际的过程, 气体的所有状态参数往往都是变化的, 而且也不可能完全绝热。在热力学中, 常采用一个能概括以上诸热力过程的、更一般化的多变过程方程式来表示。它的型式为

$$\frac{P}{\rho^n} = \text{常数} \quad (1-14)$$

其中  $n$  为多变指数, 在不同的多变过程中,  $n$  是不同的定值。

如当气体在半水冷的活塞式压缩机中作不完全冷却的压缩时，过程将处于等温和绝热压缩之间，多变指数  $n$  应为  $1 < n < k$  之间的某个定值；如果在无级间冷却的鼓风机或离心式压缩机中压缩时， $n$  值则将大于  $k$ 。

上式也可表示为

$$\frac{P_1}{P_2} = \left( \frac{\rho_1}{\rho_2} \right)^n \quad \text{或} \quad \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1}{n}} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \quad (1-15)$$

从上述可知，空气的密度和重度总是要随压力和温度的改变而变化的，在通风工程中，由于这种变化比较小，也可以近似地把它们看作是不变的常数，从而认为空气是不可压缩的。

#### 四、空气的粘性

空气在其内部质点间作相对运动时会产生内摩擦力以反抗相对运动，这种性质称为粘性。空气运动时，粘性是产生阻力的根本原因。在研究空气管流的运动规律中，粘性是一个十分重要的因素。

为了说明空气的粘性，现以空气管流为例（图1-1）。当空气以某一速度沿管轴方向缓慢流动时，紧贴管壁的空气质点，粘附在管壁上，流速为零。位于管轴上的空气质点，离管壁最远，受管壁的影响最小，因而流速最大。介于管壁和管轴之间的各空气质点，将以不同的速度流动。（图1-1-a）就是粘性气体在管中缓慢流动时，流速  $u$  沿垂直于流速方向  $y$  而变化的函数关系图，即  $u = f(y)$  的函数关系曲线，称为流

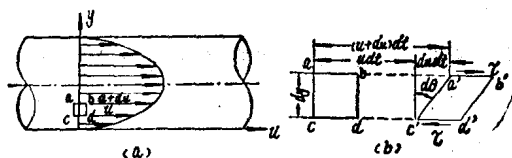


图 1-1 空气质点的相对运动

速分布图。

由于各流层的速度不同，便产生相对运动，从而产生内摩擦力以抗拒相对运动。内摩擦力  $T$ （或切力）的大小，可按牛顿内摩擦定律计算，即

$$T = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1-16)$$

若以  $\tau$  代表单位面积上的内摩擦力，称切应力，则

$$\tau = \frac{T}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-17)$$

在上式中：

(1)  $\frac{du}{dy}$  —— 称为速度梯度，表示速度沿垂直于速度

方向  $y$  的变化率，单位为  $1/\text{秒}$ 。为了理解速度梯度的意义，在（图1-1-a）中垂直于速度方向的  $y$  轴上，任取一边长为  $dy$  的微元体  $abcd$ ，并将它放大成（图1-1-b）。由于小方块下表面即靠近管壁一侧的速度  $u$  小于上表面的速度  $(u + du)$ ，经过  $dt$  时间后，下表面所移动的距离  $udt$  将小于上表面所移动的距离  $(u + du)dt$ ，因而小方块  $abcd$  将变形为  $a'b'c'd'$ 。也就是说，两流层之间的垂直连接线  $ac$  及  $bd$ ，在  $dt$  时间内变化了角度  $d\theta$ 。由于  $dt$  很小，因此， $d\theta$  也很小。所以

$$d\theta \approx \operatorname{tg} d\theta = \frac{du dt}{dy}$$

$$\text{即 } \frac{du}{dy} = \frac{d\theta}{dt}$$

可见，速度梯度就是角变形速度。这个角变形速度是在切应力的作用下发生的，所以亦称为剪切变形角速度。切应力的大小与剪切变形角速度成正比。

(2)  $\tau$  —— 切应力，常用单位为牛/米<sup>2</sup>，简称帕。切

应力 $\tau$ 不仅有大小，还有方向：当所研究的面是慢层时，由于慢层是在快层带动下向前运动的，故 $\tau$ 的方向与运动方向相同；如果所研究的面是快层，则慢层阻滞快层向前运动，则 $\tau$ 的方向与运动方向相反。显然对于两个相接触的流层来讲，作用在不同流层上的切应力，必定是大小相等、方向相反的。

(3)  $\mu$ ——粘性系数，单位为帕·秒。由式(1-17)，当 $\frac{du}{dy} = 1$ 时， $\tau = \mu$ 。可见 $\mu$ 表示速度梯度为1时，单位面积上摩擦力的大小。 $\mu$ 值愈大，空气的粘性也愈大。

在工程计算中，因为经常出现 $\frac{\mu}{\rho}$ 的比值，所以也常用 $\nu$ 表示空气的粘性，其值为

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-18)$$

$\nu$ 的单位为米<sup>2</sup>/秒，在 $\nu$ 的因次中没有力的因次，只具有运动学要素，故称 $\nu$ 为运动粘性系数。

温度对粘性系数的影响比较显著。空气的粘性随温度的增高而增大，这是因为构成气体粘性的主要原因是气体内部分子不规则的热运动，使速度不同的相邻气体层之间发生质量和动量交换的结果，当温度升高时，这一过程将随之加剧，所以气体的粘性将增大。

实验证明，只要压力不很高时，压力对 $\mu$ 的影响很小，因此一般只考虑温度对 $\mu$ 的影响。而运动粘性系数 $\nu$ 则不然，因为它与密度 $\rho$ 有关，所以对于可压缩气体来说， $\nu$ 与压力是密切相关的。在考虑到压缩性时，一般用 $\mu$ 而不用 $\nu$ 。

从牛顿内摩擦定律可见，发生在空气流层之间的摩擦力



表现出与固体间摩擦力极为不同的特性，它既与空气的性质有关，而且与速度梯度成正比。当  $\frac{du}{dy} = 0$  时， $\tau = 0$ ，说明当空气静止或各部分之间没有相对运动时，内摩擦力是不存在的。

### 五、空气的组成和干湿度

地面上干燥空气的组成如（表1-1）所示。在工程技术计算时，可按四容积的氮气与一容积的氧气的混合气体考虑。

表1-1 空气的组成

气 体 成 分	按容积计算 (ppm)	按重量计算 (ppm)
氮N <sub>2</sub>	780900	755100
氧O <sub>2</sub>	209500	231500
氩Ar	9300	12800
二氧化碳CO <sub>2</sub>	300	460
氖Ne	18.0	12.5
氦He	5.2	0.72
甲烷CH <sub>4</sub>	2.2	1.2
氪Kr	1.0	2.9
氧化氮N <sub>2</sub> O	1.0	1.5
氢H <sub>2</sub>	0.5	0.03
氙Xe	0.08	0.36
臭氧O <sub>3</sub>	0.01	
氡Rn	$6 \times 10^{-14}$	

完全没有水蒸汽的空气称为干燥空气。在标准状态即 0℃，大气压力为760毫米汞柱 (mmHg) 时，干燥空气的密度  $\rho_{干} = 1.293$  公斤/米<sup>3</sup>。干燥空气的密度也可按下式计算