国内贸易部部编中等专业学校教材

通风除尘与气力输送

林聚英　主编

中国财政经济出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

编 审 说 明

为适应建立社会主义市场经济新体制的要求，我部于1994年颁发了财经管理类5个专业和理工类7个专业教学计划。1996年初印发了以上12个专业的教学大纲。《通风除尘与气力输送》一书是根据新编粮食、饲料加工与储检专业教学计划和教学大纲的要求，结合我国科技进步和财税、金融等体制改革的情况重新编写的。经审定，现予出版。它是国内贸易部系统中等专业学校必用教材，也可供职业中专、职工中专、电视中专等选用，还可以做为业务岗位培训和广大企业职工自学读物。

本书由安徽省合肥粮校林聚英主编。参加编写的有：湖南省粮食学校文世润（绪论、第一章）；安徽省合肥粮食学校林聚英（第二、三、四、八章及习题集）；四川省粮食学校余鹏彪（第五、六、七章）。本教材由武汉食品工业学院孙武亮主审。

由于编写时间仓促，编者水平有限，书中难免有疏漏之处，敬请广大读者不吝赐教，以便于修订，使之日臻完善。

国内贸易部教育司

1998年3月

目　录

绪　论……（1）

第一章　空气在管道中流动的基本规律……（5）
第一节　空气的基本特性及状态方程……（5）
第二节　空气流动的基本方程……（11）
第三节　空气在管道中流动时的阻力……（22）
第四节　管路中空气的压力、速度和流量的测定……（34）

第二章　风机……（43）
第一节　风机的构造和工作原理……（43）
第二节　离心通风机的性能参数和性能曲线……（49）
第三节　离心通风机比例定律……（59）
第四节　常用离心通风机及其选择……（61）
第五节　通风机的联合工作……（65）
第六节　离心通风机的运转和调节……（67）
第七节　通风机噪声的产生及其控制……（70）
第八节　罗茨鼓风机……（76）
第九节　空气压缩机……（79）

第三章　粉尘及其控制……（83）
第一节　粉尘的基本特性……（83）
第二节　含尘浓度及其测定……（85）
第三节　粉尘爆炸及预防……（88）
第四节　吸尘罩……（89）

第四章　空气的净化和除尘器……（94）
第一节　空气的净化……（94）
第二节　降尘室与吸风分离器……（95）
第三节　离心集尘器……（96）
第四节　袋式过滤器……（103）
第五节　其它除尘器简介……（113）

第六节　除尘器性能评定……（115）

第五章　通风除尘网路设计与计算……（119）
第一节　通风除尘网路的设计原则……（119）
第二节　机器设备的吸风量和阻力……（120）
第三节　通风除尘网路的设计与计算……（121）
第四节　储粮机械通风的设计与应用……（128）

第六章　气力输送装置……（135）
第一节　气力输送的基本原理……（135）
第二节　气力输送装置的形式和特点……（139）
第三节　接料器和供料器……（141）
第四节　输料管……（145）
第五节　卸料器……（147）
第六节　闭风器……（153）

第七章　气力输送网路的设计与计算……（157）
第一节　概述……（157）
第二节　稀相气力输送主要参数的确定……（158）
第三节　压力损失的计算……（160）
第四节　计算举例……（167）

第八章　通风除尘和气力输送装置的调整和操作……（178）
第一节　试车前的准备工作……（178）
第二节　试车和调整……（180）
第三节　风网的测试和分析……（181）
第四节　操作管理和故障分析……（185）

附　录……（192）
附录 1　在标准大气压力下空气的密度 ρ 值……（192）
附录 2　风管阻力计算线算图……（193）
附录 3　除尘风管计算表……（194）
附录 4　管件局部阻力系数表……（197）
附录 5　三通的阻力系数……（200）
附录 6　通风机性能表……（201）
附录 7　离心通风机性能选择曲线……（216）
附录 8　通风机空气动力学略图和无因次特性曲线……（218）
附录 9　通风机性能试验……（222）
附录 10　TLZM 型罗茨鼓风机组性能参数表……（228）

附录 11　除尘器的规格、处理风量和阻力表 …… (230)
附录 12　粮食（饲料）加工厂常用机器设备吸风量及阻力 …… (239)
附录 13　$(H_1/H_0)^{0.225}$值 …… (242)
附录 14　垂直输料管计算用表 …… (243)
附录 15　弯头后水平输料管的 K 值 …… (254)

需要全本请访问 www.ertongbook.com

绪　论

一、通风除尘与气力输送的研究对象、任务和作用

（一）通风除尘与气力输送的研究对象

在工程上，通风除尘与气力输送是两门应用技术。通风除尘就是有效地组织空气流动，采用合适的设备，控制生产过程中产生的粉尘、水汽等，创造良好的生活环境和生产环境，保护大气环境。气力输送就是利用空气输送物料，在粮食（饲料）加工厂中，常简称为“风运”。所以，通风除尘与气力输送都是通过对空气性质及其流动规律的研究，并充分利用其特性来达到控制粉尘和输送物料的目的。

自然界的物质通常有固体、液体、气体三种形态。与固体相比，气体和液体容易流动，这个特性称为流动性。因此，液体和气体统称为流体。通风除尘与气力输送中的空气就是流体，粉尘和物料都是固体。

任何流体都是由大量进行着热运动的分子所组成，分子之间有一定的间隙。因而从微观上看，流体的质量在空间并不是连续分布的。一般来说，如果要从个别分子的运动出发来掌握流体的运动规律，显然是十分困难和复杂的。而且工程技术领域所涉及的装置、设备的尺寸与流体分子的尺寸相比通常是非常大的。因此，在研究流体运动规律时，通常用连续介质作为宏观流体的模型来代替流体的真实结构。这个模型认为，流体是由无间隙而连成一片的连续质点所构成，这种质点与设备尺寸相比充分小，但与分子尺寸相比又足够大，质点中包含着足够数量的分子。这样反映流体运动规律的参数，如密度、压力、速度等都可看成是连续分布的，可以用连续函数来加以描述。

（二）粮食（饲料）加工厂中通风除尘与气力输送的任务和作用

粮食厂仓中粉尘是伴随着整个生产过程产生的。这些粉尘有的是夹杂在原粮中的泥土或砂石，有的是粮粒的表皮和外壳，有的是粮粒本身的粉末颗粒。一个粮食（饲料）加工厂每天散发的这种灰尘，如果不加控制任其飞扬，其数量可达几公斤至几百公斤。这不仅污染车间和周围环境，甚至会造成严重的粉尘爆炸事故；而且在经济上也会造成很大的损失，因为这些粉尘中大都是有价值的，有的本身就是成品，有的是良好的饲料。

另外，在粮、油、饲料加工过程中，往往产生大量的热量，使物料温度升高而影响成品质量。同时因物料温度升高造成水汽蒸发，使机器内部发生水汽凝结而影响正常生产。因此，在粮食（饲料）加工厂中，利用通风来进行除尘、除湿、冷却是生产中必不可少的重要措施。此外，利用空气的力学特性，对粮粒进行风选分级，清除其中的砂石和轻重杂质更是粮食（饲料）加工过程不可缺少的一环。在粮食仓库中，还可利用通风来烘干或冷却粮食、熏杀害虫、降低粮温，从而提高储粮的安全性和稳定性。

归纳起来，通风在粮食厂仓中的作用，主要有以下几个方面：

1. 控制和吸除生产中的粉尘，改善劳动条件。

2. 冷却碾磨物料，保证产品（面粉、大米、饲料、食品等）的品质。

3. 吸除水汽，防止水汽凝结，提高筛理、研磨设备的效率。

4. 对粮粒进行风选分级，分离轻重杂质，提高成品的纯度。

5. 减少粮食在加工过程中的飞散损耗，回收有价值的粉尘，提高经济效益。

6. 改善设备清洁状况，减少磨损，延长使用寿命，防止微生物和害虫的孳生。

7. 防止粉尘爆炸和火害事故。

8. 保证安全、稳定地储藏粮食。

粮食厂仓采用气力输送，除了能起到输送作用外，还可以在输送过程中对物料进行清理、冷却、分级和对机器完成除尘、降温等工艺任务。例如，在大米厂或面粉厂的清理车间中，气力输送可对粮粒起到一定的表面清理作用，并可除去部分轻杂质和灰尘；在米厂的砻碾部分，还可以进一步分离谷壳和糠粞。这样粮食饲料加工厂的某些风选设备和表面处理设备可以少用或不用，简化工艺，节省设备。

在制粉车间，气力输送管道能从磨粉机内吸出大量空气，使磨辊和碾磨后的物料得到冷却，为提高磨粉机的单位产量创造了条件，并保证了面粉的质量；同时因吸除了水汽，提高了平筛的筛理效果。

由于采用输料管代替了笨重的机械输送设备（如提升机等），减少了车间建筑面积，改善了采光和卫生条件；管道内部无残留，减少了虫害。

气力输送的主要缺点是，它与机械输送相比，动力消耗较高，对颗粒物料容易破碎，这些都是在采用气力输送时应考虑的问题。另外气力输送对物料流量要求稳定、均匀，对操作要求高。

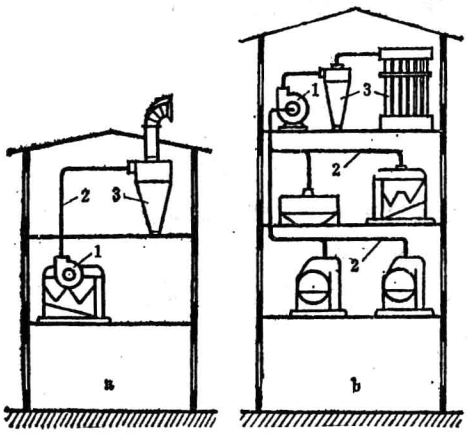
二、通风除尘与气力输送网路的一般形式

（一）通风除尘网路的一般形式

粮食厂仓的通风装置，通常是以局部吸风形式来进行工作的。通风装置主要由吸风罩、通风机、风管、除尘器等四部分组成。如图绪－1所示，当通风机 1 工作时，通过风管 2 从机器的罩壳或风道中吸出空气，使其内部形成负压，阻止灰尘外逸，并根据需要把灰尘、轻杂、热量、水汽等带走。带走灰尘的空气，必须经过除尘器 3 净化，然后排入大气。图绪－1中 a 为独立风网，它是由一台作业机单独用一台通风机吸风的网路。b 为集中风网，它是由两台或两台以上的作业机共用一台通风机进行吸风的网路。

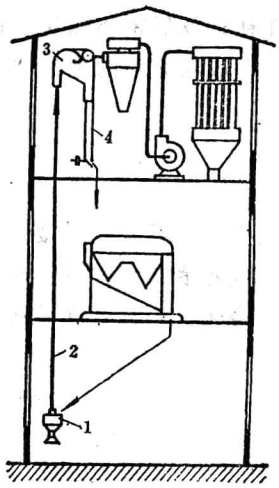
（二）气力输送网路的一般形式

粮食厂仓气力输送装置的基本形式，同通风装置大致相似。大多也是以负压吸风的方式对物料进行输送。它的组成除了有风管、除尘器、通风机外，还有一些专用设备，如接料器、输料管、卸料器和排料装置等。如图绪－2 所示，物料经接料器 1 与空气混合，然后在输料管 2 中提升，再经卸料器 3 和排料装置 4 排出，卸掉物料后的空气则送除尘器净化排空。一根料管单独用一台通风机负担的网路，为单管气力输送网路；多根料管组合在一个网路中，共用一台通风机负担的网路，为多管气力输送网路。



a. 独立风网　　b. 集中风网

图绪－1　通风装置示意图



图绪－2　气力输送装置示意图

三、通风除尘与气力输送技术的应用、发展状况及动向

我国粮食工业的通风除尘与气力输送技术是建国后才得到应用和发展的。解放前，粮食加工厂的厂房简陋狭小、机器破旧，根本谈不上有什么通风设备，工人在灰尘弥漫的环境中劳动，健康受到严重损害。新中国成立后，工人的身体健康受到了党和政府的极大重视和关怀，制定了有关标准，有利地推动了通风技术的发展。

国家每年都要投放相当多的财力和物力来改进粮食厂仓中的通风和风运设备，粮食系统广大干部职工，在多年的实践中创造了一系列经济有效的通风除尘方法。在以“密闭为主，通风为辅，结合清扫”的除尘方针指导下，粮食工业的生产面貌发生了根本的变化。当前粮食厂仓中，普遍采用了各种技术性能稳定、除尘效率高、操作使用方便的除尘设备及高效率的新式风机，为保护工人的身体健康及工厂的内外环境卫生奠定了坚实的基础。今后，粮食厂仓的通风除尘将继续以采用性能更加齐全、操作更为简便的除尘设备和高效低耗的风机作为发展的方向，并逐步实现通风和气力输送的“一风多用”，降低通风除尘的能耗。

在气力输送技术的应用方面，自从1958年在浙江金华建成我国第一座气力输送面粉厂后，改建和新建的气力输送面粉厂如雨后春笋般一个接一个地投入生产，目前全国面粉厂的制粉车间基本都采用了气力输送。近20年来，气力输送的应用范围越来越广泛，在粮食部门，已由面粉厂的制粉车间发展到仓库、码头、米厂、饲料加工厂、油厂等。输送的物料种类层出不穷，诸如小麦、面粉、稻谷、大糠、细糠、麸皮、饲料等。输送距离可由几米至几百米，生产率可由每小时几百公斤至数百吨。

尽管在气力输送技术的应用方面已经取得了巨大的成就，但是气力输送是一门新兴的应用技术，发展是不平衡的。如，一些大米加工厂在应用这门技术时，存在碎米增加、电耗偏高等问题；一些工厂只讲形式，不求实效，操作管理要求不严，气力输送达不到预期的效果。当前的紧迫任务是要大力改进操作技术，提高管理水平；要根据粮食（饲料）加工厂工

艺流程的变化，研究和开发适宜的气力输送装置。如根据面粉配粉的需要，研究和设计合理的压气式气力输送装置等。同时要进一步研究集输送和除尘为一体的设备和装置，降低气力输送的能耗；发展密相输送、栓流输送技术，拓宽气力输送的应用范围；加强气力输送的理论研究，形成较完整的理论体系。

复习思考题

1. 粮食工厂通风的主要任务有哪些？气力输送与机械输送相比有哪些优缺点？
2. 试述粮食工厂“通风和气力输送”网路的主要形式和装置。
3. 社会主义制度的优越性在“通风和气力输送”这门科学上表现在哪些方面？

第一章　空气在管道中流动的基本规律

第一节　空气的基本特性及状态方程

一、空气的物理性质

（一）密度

空气占有一定的空间且具有一定的质量，质量越大，惯性力越大，流体运动的状态越难改变。因此，在讨论流体运动状态时，密度通常是一个重要的物理量。

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（见附录 1）。其表达式为：

$$\rho = m/V \tag{1—1}$$

式中：ρ——空气的密度（kg/m^3）

m——空气的质量（kg）

V——空气的体积（m^3）

在工程单位制中，质量的单位是 $kg \cdot s^2/m$，故密度的工程单位是 $kg \cdot s^2/m^4$。

（二）重度

空气在地心引力的作用下具有重量。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。其表达式为：

$$\gamma = G/V \tag{1—2}$$

式中：γ——空气的重度（N/m^3）

G——空气的重量（N）

V——空气的体积（m^3）

在工程单位制中，重量的单位是公斤，故重度的工程单位是 kg/m^3。

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

$$\gamma = \rho g \tag{1—3}$$

式中：g——当地重力加速度（m/s^2），取 $g = 9.81 m/s^2$。

（三）温度

空气是由不同成分的分子所组成的混合气体，空气中的无数分子不停地进行着无规则的热运动。温度高，空气分子运动速度大，分子平均动能大。因此，空气温度的高低表明了空气分子热运动速度的大小。

在工程技术上，温度通常用摄氏温标来表示。摄氏温标所示的温度叫做摄氏温度，又称相对温度，用字母 t 表示，度数后面用符号°C 作标记。

在理论研究中，以采用热力学温标较为方便。热力学温标所示的温度叫做热力学温度，又称绝对温度，用字母 T 表示，度数后面用符号 K 作标记。

热力学温度与摄氏温度的关系为：

$$T = t + 273°K \tag{1—4}$$

当绝对温度为 0°K 时，摄氏温度为 −273°C。

（四）压力

空气的压力是指空气垂直作用在容器单位面积上的力。通风工程上所说的压力就是物理学上所说的压强，用 P 表示，单位为帕斯卡，用符号 Pa 或 N/m^2 表示。工程单位为公斤每平方米，用符号 kg/m^2 表示。在流体力学上，压力就是表示流体单位体积内所具有的能量。

以毫无一点气体存在的绝对真空为零点起算的压力，称为绝对压力，用 $P_{绝}$ 表示。绝对压力是空气的全部压力，当问题涉及到空气性质时，如进行气体状态变化计算时，必须用绝对压力。

在地球表面包围着一层很厚的空气，即我们常说的大气。大气是有重量的，因此地面上的一切物体都沉浸在大气中，都要受到由大气重量所引起的压力即大气压力的作用，包括空气本身。大气压力用 $P_{大}$ 来表示。大气压力的大小，随各地区海拔高度的增高而略为减小，且还与当地的气候条件如温度、湿度等有关。为了能有一个度量大气压力的统一标准，通常把纬度在 45°、温度为 0°C 的海平面上的大气压力叫做一个标准大气压力，它相当于 760 毫米水银柱高。若转化为水柱表示和帕斯卡表示，则有以下的转换：

1 标准大气压力 $= 760mmHg$

$= 760 \times 13.6$

$= 10336mmH_2O$

$= 10336kg/m^2$

$= 1.0336kg/cm^2$

$= 10336 \times 9.81Pa$

$= 1.0133 \times 10^5Pa$

在工程上为了计算方便，通常把大小为每平方厘米面积上受 1 公斤的力的压力叫做 1 个工业大气压力。即

1 个工业大气压力 $= 1kg/cm^2 = 10000kg/m^2 = 736mmHg$

在通风工程上遇到的压力较小，对于较小的压力常用帕斯卡或毫米水柱作单位。

$1mmH_2O = 1kg/m^2 = 9.81Pa$

以当地大气压力 $P_{大}$ 为零点起算的压力，称为相对压力，用 $P_{相}$ 表示。绝对压力 $P_{绝}$、大气压力 $P_{大}$、相对压力 $P_{相}$ 三者的关系如下：

$$P_{相} = P_{绝} - P_{大} \tag{1—5}$$

在通风工程装置中，由于到处存在着大气压力而相互平衡，所以工程上广泛采用相对压力。绝大多数的测压仪表都是以当时、当地的大气压力为零点，所测出的压力就是相对压力，这种用仪表测出的压力称为表压，用 $P_{表}$ 表示。某处的绝对压力只能是正值，不可能出现负值。但它可以大于大气压力，也可以小于大气压力。因此相对压力可以为正值也可以为

需要全本请访问 www.ertongbook.com

负值。通常把相对压力为正值称为正压力；相对压力为负值称为负压力。负压力的绝对值又称为真空度，用 $P_{真}$ 表示。它的大小表明该处空气绝对压力比当地大气压力小的数值。

以上几种压力之间的关系可以用图 1－1 表示。

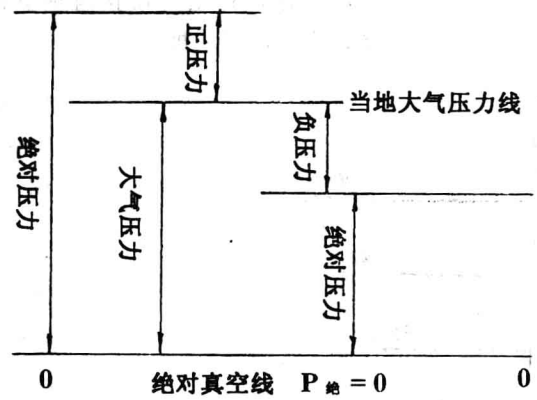


图 1－1　压力的关系

（五）粘性

凡是流体都具有流动性，但各种流体抵抗流动变形的能力有很大差别，流体受到剪切力作用时抵抗变形的特性称为粘滞性，简称为粘性。在日常生活中，人们都知道水和油流动的速度不同，油比水要流得慢，这就说油的粘性大。所以流体的粘性是影响流体流动的一个重要因素，是流体运动产生阻力的根本原因。

实际流体都是有粘性的，可以通过以下实验清楚地看出。如图 1－2，用细线 C 悬挂一圆筒 B，筒内置一个小圆筒 A，使 A、B 两筒的轴线重合。然后使圆筒 A 迅速旋转，此时可以看到，圆筒 B 也会朝着同一方向转动。这一现象可以作如下解释：在圆筒 A 的表面粘附着一层空气，这层空气随着圆筒 A 一起转动，而在这层空气周围的另一层空气因粘性的作用，会紧跟着这层空气转动起来。这样一层一层地带动下去，终于使圆筒 B 也开始转动。这是由于前层空气带动后层空气转动时，受到与它转动方向相反的阻力，这个阻力叫做粘滞阻力，即内摩擦力。

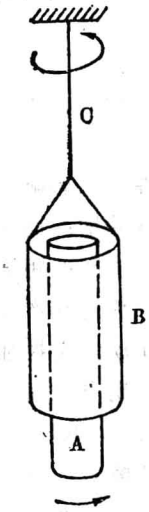


图 1－2　空气粘性的实验

上述这种现象，空气在管道中流动时也同样产生。靠管道壁的一层空气是完全不动的，而越往管子中心空气速度越大。在管壁和管道中心之间空气流动的速度是不相等的，这一事实可以用图解方法明显地表示其形象。如图 1－3 所示，将夹在管壁和管道中心的这部分气流分成相互平行的若干层，以 y 线表示空气在流动时管道的某一横断面，它垂直于空气的流动方向。因各层空气的流速不同，在断面上每点的流动方向上取一线段，线段长度表示该点空气流动速度 v，将它们的末端连接起来得到的曲线图就是空气在管道中流动的速度分布图，速度改变的快慢可以用速度梯度来表示。任意取相邻的 I、Ⅱ、Ⅲ三层空气。设空气层很薄，其厚度为 dy，相邻层速度差为 dv，则 dv/dy 称为速度梯度，即速度梯度是表示速度沿垂直于速度方向 y 的变化率。第 II 层空气的速度比第 I 层的大而比第Ⅲ层的小。速度较大的第 II 层

空气可以带动与它相邻且速度比它慢的第Ⅰ层空气运动；同时第Ⅱ层空气也将阻滞速度比它快的第Ⅲ层空气的运动。这样在层与层接触面之间，便产生了内摩擦力。内摩擦力的大小，可以按牛顿内摩擦定律来计算，即

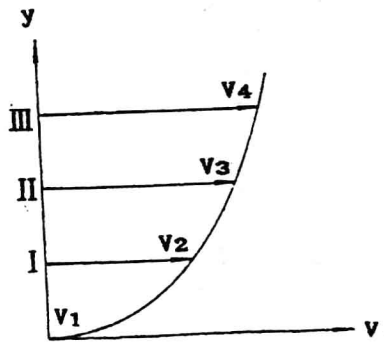


图 1－3　速度分布图

$$f=\mu F\frac{dv}{dy} \tag{1—6}$$

若用 τ 代表单位面积上的内摩擦力，称切应力，则

$$\tau=\frac{f}{F}=\mu\frac{dv}{dy} \tag{1—7}$$

以上两式中：

f——内摩擦力（Pa）；

F——作相对运动的两层空气之间的接触面积（m^2）；

dv/dy——速度梯度（1/s）；

μ——动力粘性系数，单位为 Pa·s。

由式（1—7）可知，当 dv/dy＝1 时，$\mu=\tau$。可见 μ 表示速度梯度为 1 时，单位面积上内摩擦力的大小。μ 值越大流体的粘性也越大。

工程计算中，常出现比值 μ/ρ，所示也常用 ν 表示空气的粘性，其值为

$$\nu=\frac{\mu}{\rho} \tag{1—8}$$

ν 的单位为 m^2/s，在 ν 的因次中没有力的因次，只有运动学要素，故称 ν 为空气的运动粘性系数。

温度对粘性系数影响显著。空气等气体的粘性系数随温度的增高而增大，而水等液体的粘性系数随温度的增高而减小。这是因为液体的粘性主要是由分子间的吸引力所产生的，当增高温度时，分子间的距离加大，分子之间吸引力减小而粘性系数降低；而气体的粘性主要是由分子不规则热运动产生质量和动量交换所产生的，当温度增高时，气体分子不规则热运动加剧，质量和动量交换加强，粘性系数增大。同时，从式（1—6）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，它既与流体的性质有关，而且与速度梯度成正比。当 dv/dy＝0 时，内摩擦力等于零。说明静止的空气或各部分空气层相对静止时，空气的内摩擦力是不存在的。

综上所述，正是由于空气具有粘性，空气在管道中流动才需要消耗一定的能量来克服粘滞阻力，有必要进行阻力的计算。也正是空气具有粘性，才能利用在管道中流动的空气携带物料来达到通风除尘和气力输送的目的。

二、空气的状态变化方程

空气是有压缩性的，当压力和温度变化时，空气的体积和密度也将发生改变。一般情况下，可以把空气当成理想气体（即假设没有粘性），因此表示空气状态的三个物理量，体积 V、压力 P、温度 T 三者之间的关系，依赖于理想气体状态方程。

（一）等温过程

根据波义耳—马略特定律，在温度保持一定时，对于一定质量的气体，其体积与压力成

反比，即

$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{P_2}{P_1}=\cdots\cdots \tag{1—9}$$

$PV=$常数

（二）等压过程

由盖·吕萨克定律，当压力保持不变时，对于一定质量的气体，其体积与绝对温度成正比，即

$$\frac{V_1}{T_1}=\frac{V_2}{T_2}=\cdots\cdots \tag{1—10}$$

$\frac{V}{T}=$常数

（三）理想气体状态方程

综合以上两个定律，可以得到P、V、T三者的关系。假设气体先经等温过程再经等压过程，分两步由初始状态P_1、V_1、T_1变化为终止状态P_2、V_2、T_2。

第一步：T_1不变，当压力由P_1变为P_2时，则体积由V_1变为中间状态V_0。由式(1—9)得：

$$V_0=V_1\frac{P_1}{P_2}$$

第二步：P_2不变，当温度由T_1变为T_2时，体积则由V_0变为V_2。由式（1—10）得：

$$V_0=V_2\frac{T_1}{T_2}$$

由以上二式可得到：

$$V_1\frac{P_1}{P_2}=V_2\frac{T_1}{T_2}$$

即：$\frac{P_1V_1}{T_1}=\frac{P_2V_2}{T_2}$

上式表明，对于一定质量的气体，状态发生变化时，压力、体积二者的乘积和绝对温度的比值始终保持为常数，即理想气体状态方程

$$\frac{P_1V_1}{T_1}=\frac{P_2V_2}{T_2}=\cdots\cdots=\frac{P_nV_n}{T_n}=R=\text{常数} \tag{1—11}$$

或　　$PV=RT$　　(1—12)

必须指出，任何一个物理定律都有它的适应范围，上述定律也有一定的应用范围。对于一般气体来说，当压力不太大（相对于大气压力而言），温度不太低（相对于室温而言）时，其状态变化符合理想气体状态方程。在通风除尘与气力输送工程中，我们所研究的空气，通常压力不是很大，温度是室温，因此其状态变化符合理想气体状态方程。

在理想气体状态方程中，对于1摩尔的任何气体，式中的常数R均相等，称为通用气体常数，它与气体的状态无关，可通过实验测定。R的单位取决于P和V的单位，常用的单位为：N·m/kg·K。对于一定质量的不同气体，由于分子量不同，就有不同的R值。空气的R值还与湿度有关。对于干燥空气，$R=287.33$N·m/kg·K；对于中等湿度（$\psi=50\%$）的空气，$R=288.4$N·m/kg·k。

由于 $V=\frac{m}{\rho}$，则式（1—12）可以写成

$$Pm=\rho RT \tag{1—13}$$

对于单位质量的气体，有

$$\rho=P/RT \tag{1—14}$$

由式（1—14）可知，空气的密度或重度是随压力和温度变化而变化的。

在通风工程中，为了便于研究和计算，将温度为 20°C，绝对压力为 760mmHg，相对湿度为 50%的湿空气称为标准空气。其密度按式（1—14）计算得：

$$\rho=\frac{P}{RT}=\frac{760\times13.6\times9.81}{288\times(273+20)}=1.2\ (kg/m^3)$$

重度为 $\gamma=11.8N/m^3$。其它状态时空气的密度和重度数据可查附录 1。

当压力和温度变化不大时，在工程上可将空气看成标准空气，其密度取 $\rho=1.2kg/m^3$。但当压力和温度变化很大时，如高原和寒冷地区的空气密度则需按式（1—14）计算。同时在通风工程和低浓度比的气力输送中，用离心通风机作为空气机械时，空气的压力和温度变化比较小，可以近似地把空气的密度和重度看成常数，从而认为空气是不可压缩的。但在高浓度比的气力输送中，采用鼓风机或空气压缩机作空气机械时，整个网路压力变化大，空气的密度变化也大，必须考虑密度变化的影响。

（四）等容过程

在气体状态变化过程中，若体积保持不变，称为等容过程。在式（1—12）中，V＝常数，R＝常数，即有：

$$P/T=R/V=\text{常数}$$

或

$$\frac{P_1}{T_1}=\frac{P_2}{T_2}=\cdots\cdots \tag{1—15}$$

（五）绝热过程

当气体状态变化过程中，与外界没有热量变换，称为绝热过程。由热力学可知，绝热过程为：

$$\frac{P}{\rho^k}=\text{常数}$$

故

$$\frac{P_1}{P_2}=\left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)^k \tag{1—16}$$

式中：K——绝热系数，对于空气，k＝1.4。

（六）多变过程

在实际的状态变化过程中，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过程的、更一般化的多变过程方程式来表示。它的形式为：

$$\frac{P}{\rho^n}=\text{常数} \tag{1—17}$$

其中 n 为多变指数，在不同的多变过程中，n 是不同的定值。

第二节　空气流动的基本方程

一、空气流动的原因

（一）空气流动的条件

通风和气力输送的最基本要求是使空气流动。那么怎样才能使空气流动呢？首先我们知道，江河里的水总是从上游流向下游，也就是说总是从水位高的地方向水位低的地方流动。这是因为在水位高、低两处水的势能不同，存在着能量差，即压力差。水之所以能从一处向另一处流动，是因两处的压力不同，即由压力差的存在而引起的。但同时我们也注意到，平放在地面上水桶中的水不会因水位差而自己流出，这是因为水的流动被水桶所限制，没有畅通的流动通道。因此水要流动，必须同时存在压力差和畅通的流动通道两个条件。

空气和水一样都是流体，要使它流动也要求有压力差和畅通的流动通道存在。在通风工程上，若没有压力差，风管中空气就不会流动；但若虽有压力差而风管被堵塞，空气同样也不能流动。

（二）通风的类型

1．自然通风。自然通风是依靠空气自身能量的作用，即依靠自然界的风力所形成的风压，或由于不同地点温差等的作用使空气流动的一种通风方式。

图 1－4 所示为利用风力作用在厂房中造成的自然通风。风由建筑物迎风面的门窗吹入厂房内，同时又把厂房内的污秽空气从背风面的门窗挤出去，形成了一种由风力引起的自然通风。这种方式的通风在日常生活中应用也非常广泛，如教室、卧室等地方都开有窗户，作用之一就是利用自然界风力所形成的压力差，起到通风换气的作用。

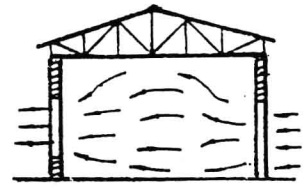


图 1－4　风压作用下的自然通风

利用热压的自然通风如图 1－5 所示。当室内温度高于室外温度时，室内空气的密度小于室外空气的密度，室外冷空气的压力则大于室内热空气的压力。冷空气从厂房底层的门窗进入室内，室内热空气则从上层窗户或房顶排风管排出，这样就形成了由热压差所引起的自然通风。实践经验表明，利用热压所引起的自然通风的强弱不仅与室内外温差的大小有关，还与进风口与排风口的垂直距离即厂房高度有关。高度愈大，促使空气流动的压力差也愈大，通风效果愈好。因此为了利用热压差使车间得到良好的通风效果，应在底层低处开进风口，在顶层高处开排风口，这也是烟囱具有抽风作用的原理。自然通风对于高温车间的散热是行之有效而又较为经济的通风方式，目前应用比较广泛。

粮食（饲料）加工厂中自然通风一般不能起到除尘的作用，它的主要作用是保持车间内的空气新鲜。粮食仓库中正确地利用自然通风，选择在晴朗、空气干燥的时候打开仓库窗户进行空气对流，能降低粮食水分，提高粮食储藏的稳定性。自然通风不需要消耗机械能。

2．机械通风。机械通风是依靠机械的动力作用，即利用通风机产生压力差，使空气以一定速度按指定路线连续流动的一种通风方式。如图1－6，当通风机的叶轮旋转时，迫使

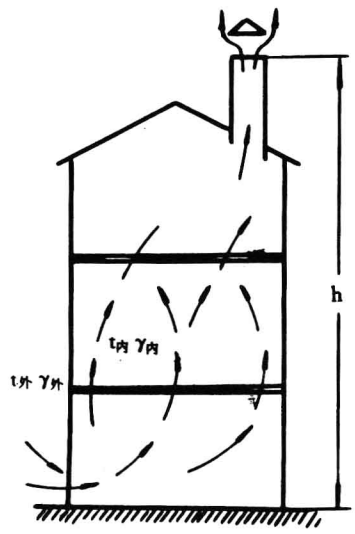


图 1－5　热压作用下的空气流动

蜗壳内的空气沿着压气管道排出，同时使通风机进风口处的空气变得稀薄，压力降低。这时吸气风管外面的空气压力高于通风机进口处的空气压力，空气沿着吸气管道进入风机，形成连续流动。由于机械通风的空气运动有一定的路线，且在吸气风管中空气的相对压力为负，故在粮食（饲料）加工厂中，机械通风可以用来从机器中或局部产尘点把粉尘收集，使含尘空气沿管道运动到指定地点，经除尘器除下空气中的粉尘，净化空气，这种装置就是风网。

在粮食仓库中的流动空气是由通风机来产生的，产生流动空气的系统也是一种形式的机械通风。仓库中的流动空气和保粮业务具有极其密切的关系，一般有如下用途：利用流动的冷空气降低粮温和消除粮食发热，以提高储粮稳定性；利用流动的热空气来烘干粮食；利用流动的冷空气来冷却烘干后的粮食，起到既降水又降温的作用；利用流动空气保管粮食；利用含毒气的流动空气熏杀储粮害虫；利用制冷机产生的冷空气冷却粮食，控制粮食处于低温状态，进行低温储粮等。机械通风需要消耗通风机的机械能。



图 1－6　利用通风机使空气流动

二、空气流动时的压力

无论是静止的空气还是流动的空气，都具有压力。空气在管道中流动时，在同一个断面上，存在的压力有位置压力（位能）、静压力（静能）、动压力（动能）几种形式。而由于空气很轻，风网中位置压力变化相对于另外两种压力的变化很小，为了简便近似把位置压力看作常数。故在通风工程上，认为空气在管道中流动只有静压力和动压力，两者之和称为全压力。

（一）静压力

静压力是由空气分子作不规则热运动所产生的，它表明了空气受压缩的程度，实质上就是一种使空气收缩或膨胀的压力。静压力在通风管道的同一横断面上均相等，在同一点对各个方向起相同的作用。在管壁上开一小孔，用橡胶管和压力计就可以测量静压力。无论是运动的空气还是静止的空气，静压力都存在。与大气压力 $P_{大}$ 相比，当 $P_{静} > P_{大}$ 时称为正静压；当 $P_{静} < P_{大}$ 时称为负静压。在吸气风管上，静压力为负值；在压气风管上，静压力一般为正值。静压力用符号 $H_{静}$ 表示。

（二）动压力

动压力是反映空气流动现象的压力，它只在空气前进方向起作用，实质上是运动空气所

需要全本请访问 www.ertongbook.com