

安全工程技术丛书

工业通风与防尘

◎ 马中飞 编著



化学工业出版社

安全工程技术丛书

工业通风与防尘

马中飞 编著



化学工业出版社

·北京·

本书共分七章,较为系统地论述了适用于各行业通风防尘的通用基本理论、基础与方法,主要内容涉及作业场所有害气体和粉尘的性质及其危害,风流流动基本原理,通风机械与通风设施的构造原理及其运行调节,各类除尘器的除尘理论基础、工作原理、影响因素、结构性能及其选择,典型场所通风系统选择、设计与调节,粉尘综合控制方法及其原理,以及通风与粉尘的相关技术参数测定等。

本书可作为高等院校安全工程、环境工程、采矿工程等专业的教材或教学参考书,也可供从事通风防尘工作的工程技术及管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工业通风与防尘/马中飞编著. —北京:化学工业出版社, 2006.12
(安全工程技术丛书)
ISBN 978-7-5025-9764-1

I. 工… II. 马… III. ①工业生产-通风②工业尘-除尘 IV. X96

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 151154 号

责任编辑:程树珍

文字编辑:余纪军

责任校对:周梦华

封面设计:于兵

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京市彩桥印刷有限责任公司

装订:三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张16¼ 字数426千字 2007年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:29.80元

版权所有 违者必究

安全工程技术丛书编写委员会

主任委员 高金吉 (北京化工大学 教授 中国工程院院士)

副主任委员 丁信伟 (大连理工大学 教授)

委 员 (按拼音字母排序)

毕明树 (大连理工大学 教授)

陈 旭 (天津大学 教授)

戴 光 (大庆石油大学 教授)

高增梁 (浙江工业大学 教授)

黄卫星 (四川大学 教授)

涂善东 (华东理工大学 教授)

魏新利 (郑州大学 教授)

张建伟 (沈阳化工学院 教授)

郑津洋 (浙江大学 教授)

本书编著人 马中飞 (江苏大学 教授)

前 言

工业生产过程产生的粉尘不仅危害作业人员的身体健康,引起肺尘埃沉着病,有的粉尘在一定条件下可以爆炸,导致人身伤亡、财产损失,而且对大气造成污染,影响人类的生存,既危害公民健康,又损坏树木或农作物的生长。工业通风不仅可以稀释或排除生产过程产生的毒害、爆炸气体及其粉尘,给作业场所送入足够数量和质量的空气,而且可以调节作业场所的温度、湿度等气象条件,为作业人员提供舒适的作业环境。因此,工业通风与防尘的知识内容既是安全工程专业的主干专业课程之一,又是环境工程、采矿工程专业的重要专业课程之一。

各行各业的生产条件及工艺是不同的,进行通风防尘的具体方法也有所差异,但其基本理论、方法是相同的。根据 21 世纪高等学校学生的“厚基础、宽口径、富有创新能力”培养要求,本书力图系统地阐述适用于各行业通风防尘的通用基本理论、方法,同时,也适当介绍各行业通风防尘的特殊方法、设计及前沿动态。

本书共分七章,主要内容包括有:作业场所有害气体和粉尘的性质及其危害;风流流动基本原理;通风机械与通风设施的构造原理及其运行调节;各类除尘器的除尘作用理论基础、工作原理、影响因素、结构性能及其选择;典型场所通风系统选择、设计与调节;粉尘综合控制方法及其原理;通风与粉尘的相关技术参数测定等。

在本书的编写过程中,引用了许多文献资料,谨向相关作者表示感谢,研究生赵峰、贾勇、葛志林等做了很多工作,在此表示衷心感谢。

由于水平有限,时间仓促,错误和不当之处在所难免,恳请专家和读者批评指正。

编著者

2006 年 12 月

目 录

第一章 工业空气与粉尘	1
第一节 空气主要物理参数.....	1
第二节 作业场所空气及其有害气体.....	5
第三节 作业场所粉尘及其危害.....	9
第四节 作业场所卫生与环境排放标准.....	21
第五节 工业通风作用及其方法.....	23
第二章 空气流动基本原理	25
第一节 风流压力.....	25
第二节 风流流动基本方程.....	28
第三节 通风阻力.....	32
第四节 通风网络中风流的基本定律.....	41
第五节 简单通风网路特性.....	43
第六节 自然通风及火灾烟气流动原理.....	46
第七节 风道通风压力(能量)分布及分析.....	51
第八节 局部通风进出口气流运动规律与均匀送风原理.....	54
第九节 置换通风原理与特征.....	58
第三章 通风机械和通风设施	61
第一节 通风机械类型及构造.....	61
第二节 通风机实际特性曲线.....	68
第三节 通风机运行与调节.....	73
第四节 通风机附属装置.....	77
第五节 集气罩.....	81
第六节 风筒及其连接件.....	87
第七节 全面通风设施.....	91
第四章 除尘器	95
第一节 除尘器的捕尘理论基础.....	95
第二节 除尘器分类与性能指标.....	101
第三节 机械式除尘器.....	104
第四节 过滤式除尘器.....	113
第五节 湿式除尘器.....	121
第六节 电除尘器.....	128
第七节 其他形式除尘器.....	135

第八节	除尘器的选择	135
第五章	通风设计与调节	139
第一节	工业通风设计的要求和步骤	139
第二节	典型场所通风系统类型及其选择	139
第三节	工业通风需要风量计算	147
第四节	管道通风系统设计	153
第五节	防排烟通风设计	160
第六节	置换通风和厂房自然通风设计	164
第七节	矿井通风设计相关问题	168
第八节	通风风量调节	170
第六章	粉尘综合控制	174
第一节	生产布局和工艺减少产尘	174
第二节	物料预先湿润黏结与湿式作业	175
第三节	喷雾降尘	180
第四节	物理化学减尘降尘	185
第五节	通风排尘及个体防护	193
第六节	防止落尘再次飞扬	196
第七节	粉尘爆炸的防止与隔绝	200
第七章	通风与粉尘测定	204
第一节	空气温度与湿度测定	204
第二节	空气压力测定	207
第三节	风道风量测定	213
第四节	通风机性能测定	219
第五节	通风阻力测定	222
第六节	粉尘主要物理性能测定	225
第七节	粉尘浓度测定	231
附录		240
附录 1	饱和水蒸气参数表	240
附录 2	由干湿温度计读值查相对湿度表	241
附录 3	作业场所空气中粉尘允许浓度	241
附录 4	通风压力单位换算表	243
附录 5	作业场所空气中有毒物质最高允许浓度	243
附录 6	各种粉尘的爆炸浓度下限	245
附录 7	大气污染物排放限值	246
附录 8	局部阻力系数表	246

附录 9 通风管道同一规格表	254
附录 10 地下风道摩擦阻力系数表	255
附录 11 气体和蒸气的爆炸极限浓度	257
附录 12 几种典型通风机性能范围	258
参考文献	259

第一章 工业空气与粉尘

工业通风的主要任务之一就是为作业场所提供足够数量和质量的空气，稀释或排除生产过程产生的毒害、爆炸气体及其粉尘，调节作业场所的环境参数，保证安全生产。为此，本章着重介绍空气主要物理参数、作业场所空气及其有害气体的基本特征、粉尘及其危害、卫生与环境排放标准。

第一节 空气主要物理参数

空气主要物理参数包括空气的密度与比体积、温度、湿度、黏性、比热容、焓等，现分述如下。

一、空气密度和比体积

单位体积空气所具有的质量称为空气的密度，一般用符号 ρ 表示。一般认为空气是均质流体，所以，空气的密度公式为

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

式中 M ——空气的质量，kg；
 V ——空气的体积， m^3 ；
 ρ ——空气的密度， kg/m^3 。

一般来说，当空气的温度和压力发生变化时，其体积会发生变化。所以，空气的密度是随着温度、压力而变化的，从而可以得出空气的密度是空间点坐标和时间的函数。

湿空气的密度是 $1m^3$ 空气中所含干空气质量和水蒸气质量之和。

$$\rho = \rho_d + \rho_v \quad (1-1-2)$$

式中 ρ_d ——为 $1m^3$ 空气中干空气的质量，kg；
 ρ_v ——为 $1m^3$ 空气中水蒸气的质量，kg。

由气体状态方程和道尔顿分压定律可以得出湿空气的密度计算公式

$$\rho = 0.003484 \frac{p}{273+t} \left(1 - \frac{0.378\varphi p_s}{p} \right) \quad (1-1-3)$$

式中 p ——空气的压力，Pa；
 φ ——空气的相对湿度，用小数表示；
 p_s ——温度为 t 时的饱和水蒸气分压，Pa；
 t ——空气温度， $^{\circ}C$ 。

空气的比体积是指单位质量空气所占有的体积，用符号 $v(\text{m}^3/\text{kg})$ 表示，比体积和密度互为倒数，它们是一个状态参数的两种表达方式。则

$$v = \frac{V}{M} = \frac{1}{\rho} \quad (1-1-4)$$

在工业通风中，空气流经复杂的通风网络时，其温度和压力将会发生一系列的变化，这些变化都将引起空气密度的变化。在不同的作业场所，其变化规律是不同的。在实际应用中，应考虑什么情况下可以忽略密度的这种变化，而在什么条件下又是不可忽略的。

二、空气的温度

温度是描述物体冷热状态的物理量，是作业场所表征气象条件的主要参数之一。测量温度的标尺简称温标。热力学绝对温标的单位为 K(Kelvin)，用符号 T 表示。热力学温标规定纯水三态点温度（即汽、液、固三相平衡态时的温度）为基本定点，定义为 273.15K，每 1K 为三相点温度的 $1/273.15$ 。

国际单位制还规定摄氏温标为实用温标，用 t 表示，单位为摄氏度，代号为 $^{\circ}\text{C}$ 。摄氏温标的每 1°C 与热力学温标的每 1K 完全相同。它们之间的关系为

$$T = 273.15 + t \quad (1-1-5)$$

三、空气黏性

当流体层间发生相对运动时，在流体内部两个流体层的接触面上，便产生黏性阻力（内摩擦力）以阻止相对运动，流体具有的这一性质，称作流体的黏性。例如，空气在管道内作层流流动时，管壁附近的流速较小，向管道轴线方向流速逐渐增大。在垂流方向上，设有厚度为 $dy(\text{m})$ ，速度为 $u(\text{m}/\text{s})$ ，速度增量为 $du(\text{m}/\text{s})$ 的分层，在流动方向上的速度梯度为 $du/dy(1/\text{s})$ ，由牛顿内摩擦定律得

$$F = \mu S \frac{du}{dy} \quad (1-1-6)$$

式中 F ——内摩擦力，N；

μ ——动力黏度（或绝对黏度）， $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ；

S ——流层之间的接触面积， m^2 。

由上式可知，当流体处于静止状态或流层间无相对运动时， $du/dy=0$ ， $F=0$ 。

在工业通风中还常用运动黏度，用符号 $\nu(\text{m}^2/\text{s})$ 表示。

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-1-7)$$

表 1-1-1 为几种气体在标准状态下的黏度。

表 1-1-1 几种气体的黏度 (0.1MPa, $t=20^{\circ}\text{C}$)

流体名称	动力黏度 $\mu/\text{Pa} \cdot \text{s}$	运动黏度 $\nu/(\text{m}^2/\text{s})$	流体名称	动力黏度 $\mu/\text{Pa} \cdot \text{s}$	运动黏度 $\nu/(\text{m}^2/\text{s})$
空气	1.808×10^{-5}	1.501×10^{-5}	甲烷(CH_4)	1.08×10^{-5}	1.52×10^{-5}
氮气(N_2)	1.76×10^{-5}	1.41×10^{-5}	水	1.005×10^{-3}	1.007×10^{-6}
氧气(O_2)	2.04×10^{-5}	1.43×10^{-5}			

温度是影响流体黏性的主要因素之一，但对气体和液体的影响不同。气体的黏性随温度的升高而增大；液体的黏性随温度的升高而减小。一般实际应用中，压力对黏性的影响可以

忽略不计，在考虑流体的可压缩性时常采用动力黏度而不用运动黏度。

四、空气压力

空气的压力是压强在工业通风中的体现，也称为空气的静压，它是空气分子热运动对器壁碰撞的宏观表现，用符号 p 表示。根据物理学的分子运动理论，空气的压力可用下式表示

$$p = \frac{2}{3} n \left(\frac{1}{2} m v^2 \right) \quad (1-1-8)$$

式中 n ——单位体积内的空气分子数；

$\frac{1}{2} m v^2$ ——分子平移运动的平均动能。

由上式可知，空气的压力是单位体积内空气分子不规则热运动产生的总动能的三分之二转化为能对外做功的机械能。因此，空气压力的大小可以用仪表测定。

在地球引力场中的大气由于受分子热运动和地球重力场引力的综合作用，其大小取决于在重力场中的位置（相对高度）、空气温度、湿度（相对湿度）和气体成分等参数。空气的压力在不同标高处其大小是不同的；也就是说空气压力还是位置的函数，它服从玻耳兹曼分布规律

$$p = p_0 \exp \left(- \frac{\mu g z}{R_0 T} \right) \quad (1-1-9)$$

式中 μ ——空气的摩尔质量，28.97 kg/kmol；

g ——重力加速度，m/s²；

z ——海拔高度，m，海平面以上为正，反之为负；

R_0 ——通用气体常数；

T ——空气的绝对温度，K；

p_0 ——海平面处的大气压，Pa。

在同一水平面、不大的范围内，可以认为空气压力是相同的；但空气压力与气象条件等因素也有关（主要是温度）。

压力的单位为 Pa（帕斯卡，1 Pa = 1 N/m²），压力较大时可采用 kPa（1 kPa = 10³ Pa）、MPa（1 MPa = 10³ kPa = 10⁶ Pa）。

五、空气湿度

表示空气湿度的方法有绝对湿度、相对湿度和含湿量三种。

1. 绝对湿度

单位体积空气中所含水蒸气的质量叫空气的绝对湿度。其单位与密度单位相同，用符号 ρ_v 表示

$$\rho_v = \frac{M_v}{V} \quad (1-1-10)$$

式中 M_v ——水蒸气的质量，kg；

V ——空气的体积，m³。

在一定的温度和压力下，单位体积空气所能容纳的水蒸气量是有极限的，超过这一极限值，多余的水蒸气就会凝结出来。这种含有极限值水蒸气的湿空气叫饱和空气，其所含的水蒸气量叫饱和湿度，用 ρ_s 表示。此时的水蒸气分压叫饱和水蒸气压，用 p_s 表示。

2. 相对湿度

单位体积空气中实际含有的水蒸气量 (ρ_v) 与其同温度下的饱和水蒸气含量 (ρ_s) 之比

称为空气的相对湿度，可用下式表示

$$\varphi = \frac{\rho_v}{\rho_s} \quad (1-1-11)$$

φ 值可以用小数表示，也可以用百分数表示，也称之为饱和度。 φ 值小表示空气干燥，吸收水分的能力强；反之， φ 值大则空气潮湿，吸收水分能力弱。水分向空气中蒸发的快慢和相对湿度直接有关。

不饱和空气随温度的下降其相对湿度逐渐增大。冷却达到 $\varphi=1$ 时的温度称为露点。再继续冷却，空气中的水蒸气就会因过饱和而凝结成水珠。反之，当空气温度升高时，空气的相对湿度将会减小。

3. 含湿量

含有 1kg 干空气的湿空气中所含水蒸气的质量 (kg) 称为空气的含湿量 d ，可用下式计算

$$d = 0.622 \frac{\varphi p_s}{P - \varphi p_s} \quad (1-1-12)$$

式中符号的意义和前面一致。

六、空气比热容

单位物量的物质在准平衡过程中，单位温度变化时所吸收或放出的热量称为比热容。比热容的单位取决于热量单位和物量单位。表示物量的单位不同，比热容的单位也不同。通常采用的物量单位：质量 (kg)、标准容积 (m^3) 和千摩尔 (kmol)。因此，相应的就有质量比热容、容积比热容和摩尔比热容之分。

质量比热容的符号 c ，表示 1kg 质量的物质升高或降低 1K 时所吸收或放出的热量，单位是 $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。容积比热容的符号是 c' ，表示 1m^3 体积的物质升高或降低 1K 时所吸收或放出的热量，单位是 $\text{J}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$ 。摩尔比热容的符号是 C 或 MC ，表示 1kmol 物质升高或降低 1K 时所吸收或放出的热量，单位是 $\text{J}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$ 。

三种比热容的换算关系是

$$c' = \frac{MC}{22.4} = c\rho_0 \quad (1-1-13)$$

式中 M ——气体的分子量；

ρ_0 ——气体在标准状态下的密度。

七、空气的焓

焓是一个复合的状态参数，它是内能和压力功之和，焓也称热焓；湿空气的焓是以 1kg 干空气作为基础而表示的，它是单位质量干空气的焓和 d kg 水蒸气的焓的总和，用符号 i 表示，单位为 kJ/kg ，即

$$i = i_d + di_v \quad (1-1-14)$$

式中 i_d ——单位质量干空气的焓，也称空气的显热， $i_d = 1.0045t$ (kJ/kg)，1.0045 是干空气的平均质量比定压热容 $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ；

t ——空气的温度 ($^{\circ}\text{C}$)；

i_v ——1kg 水蒸气的焓， $i_v = 2501 + 1.85t$ (kJ/kg)，2501 是水蒸气的汽化潜热 (kJ/kg)，1.85 是常温下水蒸气的平均质量比定压热容 $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。

将干空气和水蒸气的焓值代入式(1-1-14), 可得湿空气的焓为

$$i=1.0045t+d(2501+1.85t) \quad (1-1-15)$$

在实际的应用中, 为了简化计算, 可使用焓湿图直接查阅。

第二节 作业场所空气及其有害气体

一、大气主要成分及其基本性质

大气是由干空气和水蒸气组成的混合气体, 通常也将这种组成的空气称为湿空气。干空气是指完全不含水蒸气的空气。干空气是由氧气、氮气、二氧化碳、氩、氖和其他一些微量气体所组成的混合气体。干空气的组成成分是比较稳定的, 主要成分如下: 氧气的体积含量 20.96%, 质量含量 23.23%; 氮气体积含量 79.00%, 质量含量 76.71%; 二氧化碳体积含量 0.04%, 质量含量 0.06%。湿空气中只含有少量的水蒸气, 但是水蒸气的含量的变化对湿空气的物理性质和状态的影响是非常显著的。

各主要成分的基本性质如下。

1. 氧气 (O_2)

氧气是维持人体正常生理机能所需要的气体。人类在生命活动过程中, 必须不断吸入氧气, 呼出二氧化碳。人体维持正常生命过程所需的氧气量, 取决于人的体质、精神状态和劳动强度等。

当空气中的氧浓度降低时, 人体就可能产生不良的生理反应, 出现种种不舒适的症状, 严重时可能导致缺氧死亡。人体缺氧症状与空气中氧浓度的关系如表 1-2-1 所示。

表 1-2-1 人体缺氧症状与空气中氧浓度的关系

氧浓度(体积)/%	主要症状
17	静止时无影响, 工作时能引起喘息和呼吸困难
15	呼吸及心跳急促, 耳鸣目眩, 感觉和判断能力降低, 失去劳动能力
10~12	失去理智, 时间稍长有生命危险
6~9	失去知觉, 呼吸停止, 如不及时抢救几分钟内可能导致死亡

2. 氮气 (N_2)

氮气是一种惰性气体, 是新鲜空气中的主要成分。它无色、无味、无臭, 相对密度 0.97, 不助燃, 也不能供人呼吸。在正常情况下, 氮对人体无害, 积存大量的氮气, 氧浓度相对减少, 也可使人因缺氧而窒息。利用氮气的惰性, 可用于防火、灭火和防止气体及粉尘爆炸。

3. 二氧化碳 (CO_2)

二氧化碳是无色, 略带酸臭味的气体, 相对密度为 1.52, 是一种较重的气体, 很难与空气均匀混合, 故常积存在作业场所的底部, 在静止的空气中明显的分界。二氧化碳不助燃也不能供人呼吸, 易溶于水, 生成碳酸, 使水溶液成弱酸性, 对眼、鼻、喉黏膜有刺激作用。在新鲜空气中含有微量的二氧化碳对人体是无害的, 但如果空气中完全不含有二氧化碳, 则人体的正常呼吸功能就不能维持。所以在抢救遇难者进行人工输氧时, 往往要在氧气中加入 5% 的二氧化碳, 以刺激遇难者的呼吸机能。但当空气中二氧化碳的浓度过高时, 也将使空气中的氧浓度相对降低, 轻则使人呼吸加快, 呼吸量增加, 严重时也可能造成人员中

毒或窒息。空气中二氧化碳对人体的危害程度与浓度的关系如表 1-2-2 所示。

表 1-2-2 二氧化碳中毒症状与浓度的关系

二氧化碳浓度/%	主要症状	二氧化碳浓度/%	主要症状
1	呼吸加深,但对工作效率无明显影响	6	严重喘息,极度虚弱无力
3	呼吸急促,心跳加快,头痛,人体很快疲劳	7~9	动作不协调,大约 10min 可发生昏迷
5	呼吸困难,头痛,恶心,呕吐,耳鸣	9~11	几分钟内可导致死亡

二、作业场所主要空气成分

在作业场所中,由于受到污染,其成分和性质要发生一系列的变化。如氧浓度降低,二氧化碳浓度增加;混入各种有毒、有害气体和矿尘;空气的状态参数(温度、湿度、压力等)发生改变等。

尽管作业场所与大气相比,在性质上存在许多差异,但在新鲜空气中其主要成分仍然是氧气、氮气和二氧化碳。

三、作业场所气象条件及其对人体生理的影响

作业场所气象是指作业场所空气的温度、湿度和流速这三个参数的综合作用状态,这三个参数的不同组合,便构成了不同的作业场所气象条件。作业场所气象条件对作业人员的身体健康和安全有重要的影响。

人体控制体温有两种途径,其一,人体通过控制新陈代谢获得热量的多少来控制体温;其二,通过改变皮肤表面的血液循环量以控制人体向周围的散热量来控制体温。人体活动量大则向外散热量大,新陈代谢率高,因而体内产热量也大,一方面向外界做功,另一方面增加向外散热量。当然,人体新陈代谢率的大小还取决于年龄、性别、活动量、体质等条件。而人体向外散热量又受衣着条件、空气环境条件(温度、湿度、风速、周围物体的表面温度等)的影响而有所不同。通常,人体依靠以上两种正常的调节手段可以保持得热和失热相等,此时体温基本稳定在 $36.5\sim 37^{\circ}\text{C}$ 。如果由于气象条件不合适,使得人体散热和得热不相等,人体则会感觉不舒适甚至发生疾病。

1. 人体与周围环境的热交换

人体与环境的热交换方式主要有对流、辐射、蒸发三种方式,这三种方式的换热主要取决于空气温度、湿度、流速及环境温度等因素及其组合情况。

根据传热学原理,对流换热主要取决于皮肤温度和周围空气温度与速度。当周围空气温度低于人体皮肤表面温度时,人体会向周围散热,且空气速度越快,对流换热越强,人体感觉凉爽(冷);反之,当周围空气温度高于人体皮肤表面温度时,人体得热,且此时空气速度越快,人体会感觉越热(暖)。当人体皮肤表面温度等于空气温度时,人体与空气之间没有对流换热。

因为空气是辐射透过体,因此人体与周围的辐射换热主要取决于周围固体表面温度和人体皮肤表面温度,而与周围的空气温度无关。当周围固体表面温度高于人体皮肤表面温度时,人体接受热辐射,反之人体接受冷辐射。

蒸发散热主要取决于空气的流速和相对湿度。当温度一定时,相对湿度越小,空气流速越大,汗液的蒸发量会越大;反之相对湿度越大,流速越小,蒸发量越小。在中国南方地区的夏天,人体对流换热对人体散热非常不利,加之此时人体又不能通过蒸发散热,因而造成

非常闷热的气候，严重时会导致中暑。

总之，人体的舒适感与气象条件直接相关，如果空气温度过高，人体主要依靠汗液的蒸发来维持热平衡，出汗过多使人体脱水和缺盐，引起疾病。所以，人们不但要消除粉尘和有害气体以保证一定的空气清洁度，同时还要消除余热和余湿，保证一定的空气流速、温度和相对湿度。

2. 影响作业场所气象条件的基本参数

(1) 空气温度 气象中最重要的因素是空气温度。人体对温度较为敏感，且热感觉比冷感觉要相对滞后。人体对温度的生理调节很有限，如果体温调节系统长期处于紧张工作状态，会影响人的神经、消化、呼吸和循环等多系统的稳定，降低抵抗力，增高患病率。空气温度在 25℃ 时的工作效率为 100%，则 35℃ 时只有 35%。对夏热冬冷地区的调查表明，夏季空气温度不超过 28℃ 时，人们对热环境均表示满意；28~30℃ 时，约 30% 的人感到热，但很少有人感到热得难以忍受；30~34℃ 时，84% 的人感到热，14.5% 的人感到热得难以忍受，无法在室内居住；超过 34℃ 时，100% 的人感到热，42% 的人感到热得难以忍受。此外，卫生医学研究表明，气温在 30~40℃ 时，胃酸分泌减少，胃肠蠕动减慢，食欲下降。

冬季室内空气温度为 18℃ 时 50% 的人感到冷；温度低于 12℃ 时，80% 的人坐着感到冷，而且有人冷得难以忍受，不能坚持久坐，活动着的人也有 20% 以上的人感到冷，因此卫生学将 12℃ 作为建筑热环境的下限。

(2) 空气湿度 作业场所湿度过高，会阻碍汗液蒸发，影响散热和皮肤表面温度，从而影响人的舒适感。最宜人的湿度与温度相关联：冬天温度为 18~25℃，湿度为 30%~80%；夏天温度一般为 23~28℃，湿度为 30%~60%。

(3) 空气流速 空气的流动对人体有着不同的影响。夏季空气流动可以促进人体散热，冬季空气流速过大会使人体感到寒冷。当空气流动性较差得不到有效换气时，各种有害化学物质不能及时排出，造成作业场所空气品质恶化；由于作业场所气流流动速度小、气流组织形式不理想，人们在作业场所作业中所排出的有害物聚集，致使作业场所空气质量进一步恶化，足见保持作业场所一定的空气流速的重要性，一般来说，作业场所空气流速一般不低于 0.2~0.3m/s 左右为宜。

(4) 新风量 一般而言，新风量越多，对健康越有利。新鲜空气可以改善人体新陈代谢、调节温度、除去过量的湿气，并可稀释作业场所污染物。一般来说，保证每人每小时有 30m³ 的新鲜空气，则作业场所二氧化碳的含量可控制在 0.1% 左右。

(5) 其他因素 影响气候条件还有许多其他因素，如热辐射、气流组织的均匀程度、吹风感、着衣程度、活动量等。另外，最新的研究表明气流的脉动频率也可能造成人体不适，气流脉动频率在 0.2~0.3s⁻¹ 范围内波动时，冷气流对人体造成的不舒适度最大。

以上分析了作业场所气候条件单个参数对人体的影响。应该指出，从人体的热交换原理可知，各种因素的组合值对人体的影响会有不同的影响，需要对这些因素组合进行综合分析。

四、作业场所主要有毒气体

根据气体（蒸气）类有害物对人体危害的性质，大致可分为麻醉性、窒息性、刺激性、腐蚀性四类。下面分别列举几种常见气体（蒸气）对人体的危害。

1. 一氧化碳 (CO)

一氧化碳是一种无色、无味、无臭的气体，相对密度为 0.97，微溶于水，能与空气均匀地混合。一氧化碳能燃烧，当空气中一氧化碳浓度在 13%~75% 时有爆炸的危险；浓度

达 0.4% 时，在很短时间内人就会失去知觉，抢救不及时就会中毒死亡。一氧化碳与人体血液中血红蛋白的亲合力比氧大 150~300 倍（血红蛋白是人体血液中携带氧气和排出二氧化碳的细胞）。一旦一氧化碳进入人体后，首先就与血液中的血红蛋白相结合，因而减少了血红蛋白与氧结合的机会，使血红蛋白失去输氧的功能，从而造成人体血液“窒息”。所以，医学上又将一氧化碳称为血液窒息性气体。由于一氧化碳与血红蛋白结合后，生成鲜红色的碳氧血红蛋白，故一氧化碳中毒最显著的特征是中毒者黏膜和皮肤均呈樱桃红色。中枢神经系统对缺氧最敏感。缺氧引起水肿、颅内压增高，同时造成脑血液循环障碍，部分重症 CO 中毒患者，在昏迷苏醒后，经过 2 天至 2 月的假愈期，出现一系列神经-精神障碍等迟发性脑病。

CO 多数来源于燃烧、爆炸时的产物，或来自煤气的渗漏。

2. 二氧化硫 (SO₂)

二氧化硫是一种无色、有强烈硫黄味的气体，易溶于水，在风速较小时，易积聚于作业场所的底部，对眼睛有强烈刺激作用。二氧化硫遇水后生成硫酸，对眼睛和呼吸器官有腐蚀作用，使喉咙和支气管发炎，呼吸麻痹，严重时引起肺病水肿，当空气中含有二氧化硫为 0.0005% 时，嗅觉器官能闻到刺激味；空气中含有二氧化硫为 0.002% 时，有强烈的刺激，可引起头痛和喉痛；空气中含有二氧化硫为 0.05% 时，引起急性支气管炎和肺水肿，短期间内即死亡。SO₂ 主要来自含硫矿物氧化、燃烧、金属矿物的焙烧、毛和丝的漂白、化学纸浆和制酸等生产过程，含硫矿层也会涌出 SO₂。

3. 硫化氢 (H₂S)

硫化氢无色、微甜、有浓烈的臭鸡蛋味，当空气中浓度达到 0.0001% 即可嗅到，但当浓度较高时，因嗅觉神经中毒麻痹，反而嗅不到。硫化氢相对密度为 1.19，易溶于水，在常温、常压下一个体积的水可溶解 2.5 个体积的硫化氢。硫化氢能燃烧，空气中硫化氢浓度为 4.3%~45.5% 时有爆炸危险。硫化氢剧毒，有强烈的刺激作用，不但能引起鼻炎、气管炎和肺水肿，而且还能阻碍生物的氧化过程，使人体缺氧。当空气中硫化氢浓度较低时主要以腐蚀刺激作用为主；浓度较高时能引起人体迅速昏迷或死亡，腐蚀刺激作用往往不明显。硫化氢对人体的基本过程是，进入体内的 H₂S 在肺泡内很快就被血液吸收，氧化成无毒的硫酸盐，但未被氧化的 H₂S 则发生毒害作用。H₂S 也很容易溶于黏膜表面的水分中，与钠离子结合成硫化钠，对黏膜有强烈的刺激作用，可引起眼炎及呼吸道炎症，甚至肺水肿。H₂S 对人体全身的致毒作用在于它和氧化型细胞色素酶的三价铁结合，使酶失去活性，影响细胞氧化，造成人体组织缺氧。空气中 H₂S 浓度过高（900mg/m³ 以上）可直接抑制呼吸中枢，引起窒息而迅速死亡。急性中毒后遗症是头痛与智力下降，慢性中毒症状是眼球酸痛，有灼伤感，肿胀畏光，并引起气管炎和头痛。

4. 氮氧化物 (NO_x)

氮氧化物主要是指 NO 和 NO₂，来源于燃料的燃烧及化工、电镀等生产过程。二氧化氮是一种褐红色的气体，有强烈的刺激气味，相对密度为 1.59，易溶于水。二氧化氮溶于水后生成腐蚀性很强的硝酸，对眼睛、呼吸道黏膜和肺部组织有强烈的刺激及腐蚀作用，严重时可引起肺水肿。二氧化氮中毒有潜伏期，有的在严重中毒时尚无明显感觉，还可坚持工作。但经过 6~24h 后发作，中毒者指头出现黄色斑点，并出现严重的咳嗽、头痛、呕吐甚至死亡。NO₂ 含量在 (1~3)×10⁻⁶ 时，可闻到臭味；含量为 13×10⁻⁶ 时，眼鼻有急性刺激感及胸部不适；含量在 (25~75)×10⁻⁶ 时，肺部绞痛；300×10⁻⁶ 以上时，发生支气管炎及肺水肿死亡。NO 对人体的生理影响还不十分清楚，它与血红蛋白的亲合力比 CO 还要大几百倍。如果动物与高浓度的 NO 相接触，可出现中枢神经病变。

5. 甲烷 (CH₄)

甲烷为无色、无味、无臭的气体，对空气的相对密度为 0.55，难溶于水，扩散性较空气高 1.6 倍。虽然无毒，但当浓度较高时，会引起窒息。不助燃，但在空气中具有一定浓度并遇到高温 (650~700℃) 能引起爆炸，煤矿中经常发生的瓦斯爆炸事故，其爆炸气体中的主要成分就是甲烷。

6. 甲醛 (HCHO)

甲醛是无色有强烈刺激性气味的气体，对空气的相对密度为 1.06，略重于空气。几乎所有的人造板材、某些装饰布、装饰纸、涂料和许多新家具都可释放出甲醛，因此它和苯是现代房屋装修中经常出现的有害气体。空气中的甲醛对人的皮肤、眼结膜、呼吸道黏膜等有刺激作用，它也可经呼吸道吸收。甲醛在体内可转变为甲酸，有一定的麻醉作用。甲醛浓度高的居室中有明显的刺激性气味，可导致流泪、头晕、头痛、乏力、视物模糊等症状，检查可见结膜、咽部明显充血，部分患者呼吸音粗糙。较重者可有持续咳嗽、声音嘶哑、胸痛、呼吸困难等症状。

7. 汞蒸气 (Hg)

汞是一种液态金属，但在常温下非常容易挥发成汞蒸气，是一种剧毒物质。它通过呼吸道或胃肠道进入人体后便发生中毒反应。急性汞中毒主要表现在消化器官和肾脏，慢性中毒则表现在神经系统，产生易怒、头痛、记忆力减退等病症，或造成营养不良、贫血和体重减轻等状况。

8. 铅蒸气 (Pb)

铅是一种有毒的金属，温度达 400~500℃ 时会产生大量蒸气。铅蒸气在空气中可以迅速氧化和凝聚成氧化铅微粒。铅不是人体必须的元素，铅及其化合物通过呼吸道及消化道进入人体后，再由血液输送到脑、骨骼及骨髓各个器官，损害骨髓造血系统导致贫血。铅对神经系统也将造成损害，引起末梢神经炎，出现运动和感觉异常。儿童经常吸入或摄入低浓度的铅，会影响儿童智力发育和产生行为异常。

9. 苯 (C₆H₆)

苯属芳香烃类化合物，在常温下为带特殊芳香味的无色液体，极易挥发。苯在工业上用途很广，作为原料用于燃料工业和农药生产，作为溶剂和黏合剂用于造漆、喷漆、制药、制鞋及苯加工业、家具制造业等。苯蒸气主要产生于焦炉煤气及上述行业的生产过程。苯进入人体的途径是从呼吸道或从皮肤表面渗入。短时间内吸入大量苯蒸气可引起急性中毒。急性苯中毒主要表现为中枢神经系统的麻醉作用，轻者表现为兴奋、愉快感，步态不稳，以及头昏、头痛、恶心、呕吐等，重者可出现意识模糊，由浅昏迷进入深昏迷或出现抽搐，甚至导致呼吸、心跳停止。长期接触低浓度的苯可引起慢性中毒，主要是对神经系统和造血系统的损害，表现为头痛、头昏、失眠，白血球持续减少、血小板减少而出现出血倾向。

第三节 作业场所粉尘及其危害

一、粉尘的概念及分类

1. 粉尘的概念及来源

粉尘泛指因机械过程（如破碎、筛分、运输等）和物理化学过程（如冶炼、燃烧、金属焊接）而产生的，粒径一般在 1mm 以下的微细固体颗粒的总称。其中，因物理化学过程而