

高等学校试用教材

工业通风

(第三版)

孙一坚 主编



中国建筑工业出版社

高等学校试用教材

工业通风

(第三版)

孙一坚 主编

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

书 目 录

本书是在1985年版的《工业通风》教材基础上修订而成。此次修订以阐明工业通风的基本理论和基本规律为主要目的,全书内容有较多更新。

本书系统地阐述了工业通风的原理、设计和计算方法,其中对各种局部排风罩的工作原理、常用除尘器的除尘机理及有害气体吸收和吸附的机理作了较为详细的介绍。

本书是高等学校供热通风及空气调节专业工业通风课的全国统编教材,也可供从事工业通风或环境保护工作的专业工作者学习参考。

高等学校试用教材

工 业 通 风

(第 三 版)

孙一坚 主编

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 15 $\frac{1}{2}$ 字数: 377 千字

1994年11月第三版 1994年11月第八次印刷

印数: 80,041—89,440册 定价: 8.85元

ISBN 7-112-02338-6/TU·1805

(7366)

第三版说明

根据供热通风、空调及燃气工程学科专业指导委员会的审定，由我们负责对1985年版的《工业通风》教材进行修订和改编。在修订过程中，我们力求继承传统，发扬优点，克服不足之处。本教材以阐明工业通风的基本原理和基本规律为主，同时尽量注意理论联系实际，反映近年来在本学科领域国内外的最新成果。

目前计算机的运用日益普及，为提高学生运用计算机解决本门学科问题的能力，在第三、六章相应增加了有关内容，各校可根据本校实际情况自行处理。这部分内容可作为学生上机时的参考。

本书由湖南大学孙一坚主编，第一、二、三、五、七章由孙一坚、陈在康编写，第四、八章由谭天祐编写。本书由西安冶金建筑学院叶龙教授主审。

本书在编写过程中得到学科专业指导委员会的支持和帮助，谨致谢意。

敬请读者对本书的不足之处，提出批评指正。

编 者

1994年1月

目 录

第一章 工业有害物及其防治的综合措施	1
第一节 粉尘、有害气体的来源及危害	1
第二节 工业有害物在车间内的传播机理	5
第三节 气象条件对人体生理的影响	7
第四节 有害物浓度、卫生标准和排放标准	8
第五节 防治工业有害物的综合措施	9
习题	10
参考文献	11
第二章 控制工业有害物的通风方法	12
第一节 局部通风	12
第二节 全面通风	13
第三节 事故通风	23
习题	23
参考文献	25
第三章 局部排风罩	26
第一节 概述	26
第二节 密闭罩	26
第三节 柜式排风罩	30
第四节 外部吸气罩	33
第五节 热源上部接受式排风罩	43
第六节 槽边排风罩	46
第七节 大门空气幕	48
第八节 吹吸式排风罩	53
习题	60
参考文献	61
第四章 通风排气中粉尘的净化	62
第一节 粉尘的特性	62
第二节 除尘器效率和除尘机理	67
第三节 重力沉降室和惯性除尘器	72
第四节 旋风除尘器	74
第五节 过滤式除尘器	80
第六节 湿式除尘器	87
第七节 电除尘器	92
第八节 进气净化用空气过滤器	105
第九节 除尘器的选择	108
习题	110

参考文献	112
第五章 通风排气中有害气体的净化	113
第一节 概述	113
第二节 吸收过程的理论基础	114
第三节 吸收过程的机理	119
第四节 吸收设备	123
第五节 吸收过程的物料平衡及操作线方程式	126
第六节 吸收设备的计算	127
第七节 吸收装置设计	131
第八节 吸附法	134
第九节 有害气体的高空排放	138
习题	141
参考文献	142
第六章 通风管道的设计计算	144
第一节 风管内空气流动的阻力	144
第二节 风管内的压力分布	149
第三节 通风管道的水力计算	152
第四节 均匀送风管道设计计算	159
第五节 通风管道设计中的有关问题	162
第六节 气力输送系统的管道计算	168
第七节 通风除尘系统运行特性的计算分析	172
习题	175
参考文献	177
第七章 自然通风与局部送风	178
第一节 自然通风的作用原理	178
第二节 自然通风的计算	183
第三节 避风天窗及风帽	188
第四节 自然通风与工艺、建筑设计的配合	190
第五节 局部送风	192
习题	196
参考文献	197
第八章 通风系统的测试	198
第一节 通风系统风压、风速、风量的测定	198
第二节 局部排风罩风量的测定	203
第三节 粉尘性质的测定	204
第四节 车间工作区空气含尘浓度的测定	209
第五节 高温烟气含尘浓度的测定	212
第六节 除尘器性能的测定	219
习题	221
参考文献	222
附录1 单位名称、符号、工程单位和国际单位的换算	223
附录2 居住区大气中有害物质的最高容许浓度(摘录)	224

附录 3 车间空气中有害物质的最高容许浓度（摘录）224

附录 4 十三类有害物质的排放标准226

附录 5 镀槽边缘控制点的吸入速度 v_s 228

附录 6 通风管道单位长度摩擦阻力线算图229

附录 7 局部阻力系数230

附录 8 通风管道统一规格239

附录 9 各种粉尘的爆炸浓度下限241

附录10 气体和蒸气的爆炸极限浓度241

第一章 工业有害物及其防治的综合措施

在工业生产过程中散发的各种有害物（粉尘、有害蒸气和气体）以及余热和余湿，如果不加控制，会使室内、外空气环境受到污染和破坏，危害人类的健康、动植物生长，影响生产过程的正常运行。因此，控制工业有害物对室内外空气环境的影响和破坏，是当前急需解决的问题。工业通风就是研究这方面问题的一门技术。为了控制工业有害物的产生和散发，改善车间空气环境和防止大气污染，必须：

1. 了解工业有害物产生的原因和散发的机理；
2. 认识各种工业有害物对人体及工农业生产的危害；
3. 明确室内外环境要求达到的控制目标（卫生标准和排放标准）；
4. 阐明改善空气环境的正确途径（综合措施）。

本章将对上述四方面的问题进行概括的分析介绍。

第一节 粉尘、有害气体的来源及危害

一、粉尘的来源及其对人体的危害

（一）粉尘的来源

粉尘是指能在空气中浮游的固体微粒。在冶金、机械、建材、轻工、电力等许多工业部门的生产中均产生大量粉尘。粉尘的来源主要有以下几个方面：

1. 固体物料的机械粉碎和研磨，例如选矿、耐火材料车间的矿石破碎过程和各種研磨加工过程；
2. 粉状物料的混合、筛分、包装及运输，例如水泥、面粉等的生产和运输过程；
3. 物质的燃烧，例如煤燃烧时产生的烟尘量，占燃煤量的10%以上；
4. 物质被加热时产生的蒸气在空气中的氧化和凝结，例如矿石烧结、金属冶炼等过程中产生的锌蒸气，在空气中冷却时，会凝结、氧化成氧化锌固体微粒。

当一种物质的微粒分散在另一种物质之中，就构成了一个分散系统，人们把固体或液体微粒分散在气体介质中而构成的分散系统称为气溶胶。当分散在气体中的微粒为固体时，通称为粉尘；当分散在气体中的微粒为液体时，通称为雾。按照气溶胶的来源及物理性质，又可细分为：

1. 灰尘(dust) 包括所有固态分散性微粒。粒径上限约为 $200\mu\text{m}$ ；较大的微粒沉降速度快，经过一定时间后不可能仍处于浮游状态。粒径在 $10\mu\text{m}$ 以上的称为“降尘”，粒径在 $10\mu\text{m}$ 以下的称为“飘尘”。在大气中浮游数量最多的微粒粒径为 $0.1\sim 10\mu\text{m}$ 。

2. 烟(smoke) 包括所有凝聚性固态微粒，以及液态粒子和固态粒子因凝集作用而生成的微粒，通常是高温下生成的产物。粒径范围约为 $0.01\sim 1\mu\text{m}$ ，一般在 $0.5\mu\text{m}$ 以下。如铅金属蒸气氧化生成的 PbO ，木材、煤、焦油燃烧生成的烟就是属于这一类。它们在空气

中沉降得很慢，呈强烈的布朗运动，有较强的扩散能力。

3.雾 (mist) 包括所有液态分散性微粒的液态凝集性微粒，如很小的水滴、油雾、漆雾和硫酸雾等，粒径在 $0.1\sim 10\mu\text{m}$ 之间。

4.烟雾(smog) 烟雾原指大气中形成的自然雾与人为排出的烟气(煤粉尘、二氧化硫等)的混合物、如伦敦烟雾。其粒径从十分之几到几十微米。还有一种光化学烟雾，是工厂和汽车排烟中的氮氧化物和碳氢化物经太阳紫外线照射而生成的二次污染物，是一种浅蓝色的有毒的烟雾，亦称洛杉矶烟雾。

(二) 粉尘对人体的危害

工业有害物危害人体的途径有三个。在生产过程中最主要的途径是经呼吸道进入人体，其次是经皮肤进入人体，通过消化道进入人体的情况较少。

粉尘对人体健康的危害同粉尘的性质、粒径大小和进入人体的粉尘量有关。

粉尘的化学性质是危害人体的主要因素。因为化学性质决定它在体内参与和干扰生化过程的程度和速度，从而决定危害的性质和大小。有些毒性强的金属粉尘(铬、锰、镉、铅、镍等)进入人体后，会引起中毒以至死亡。例如铅使人贫血，损害大脑；锰、镉损坏人的神经、肾脏；镍可以致癌；铬会引起鼻中隔溃疡和穿孔，以及肺癌发病率增加。此外，它们都能直接对肺部产生危害。如吸入锰尘会引起中毒性肺炎；吸入镉尘会引起心肺机能不全等。粉尘中的一些重金属元素对人体的危害很大。

一般粉尘进入人体肺部后，可能引起各种尘肺病。有些非金属粉尘如硅、石棉、炭黑等，由于吸入人体后不能排除，将变成矽肺、石棉肺或尘肺。例如含有游离二氧化硅成分的粉尘，在肺泡内沉积会引起纤维性病变，使肺组织硬化而丧失呼吸功能，发生“矽(硅)肺”病。

粉尘粒径的大小是危害人体的另一个重要因素。它主要表现在以下两个方面：

粉尘粒径小，粒子在空气中不易沉降，也难于被捕集，造成长期空气污染，同时易于随空气吸入人的呼吸道深部。从图1-1可以看出，粒径大于 $5\mu\text{m}$ 的粒子容易被呼吸道阻留，一部分阻留在口、鼻中，一部分阻留在气管和支气管中。支气管具有长着纤毛的上皮细胞，这些纤毛把粘附有粉尘的粘液送到咽喉，然后被人咳出去或者咽到胃里。

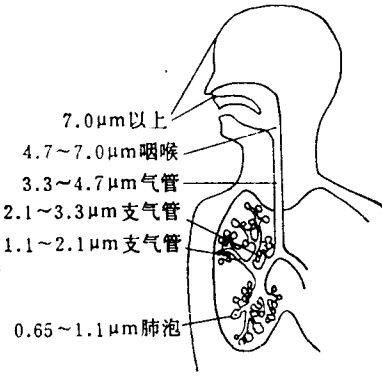


图 1-1 吸入呼吸器官的气溶胶粒子

粒径为 $2\sim 5\mu\text{m}$ 的微粒大都阻留在气管和支气管；粒径小于 $2\mu\text{m}$ 的微粒能进入人体的肺泡，如果在肺泡沉淀下来，由于肺泡壁板薄、总表面积大，有含碳酸液体的润湿，再加上周围毛细血管很多，使其成为吸收有害物的主要地点。粒径小的尘粒较易溶解，肺泡吸收也较快。因为尘粒通过肺泡的吸收速度快，而且被肺泡吸收后，不经肝脏的解毒作用，直接被血液和淋巴液输送至全身，对人体有很大的危害性。

从上述分析可以看出， $2\mu\text{m}$ 以下的粉尘对人体危害较大。据实测，生产车间产尘点空气中的粉尘粒径大多在 $10\mu\text{m}$ 以下，而且 $2\mu\text{m}$ 以下者约占40%~90%。

粉尘粒径小，其化学活性增大，表面活性也增大(由于单位质量的表面积增大)，加

剧了人体生理效应的发生与发展。例如锌和一些金属本身并无毒，但将其加热后形成烟状氧化物时，可与体内蛋白质作用而引起发烧，发生所谓铸造热病。

再有，粉尘的表面可以吸附空气中的有害气体、液体以及细菌病毒等微生物，它是污染物质的媒介物，还会和空气中的二氧化硫联合作用，加剧对人体的危害。

粉尘还能大量吸收太阳紫外线短波部分，严重影响儿童的生长发育。

二、有害蒸气和气体的来源及其对人体的危害

在化工、造纸、纺织物漂白、金属冶炼、浇铸、电镀、酸洗、喷漆等过程中，均产生大量的有害蒸气和气体。

有害蒸气和气体既能通过人的呼吸进入人体内部危害人体，又能通过人体外部器官的接触伤害人体，对人体健康有极大的危害和影响。下面介绍几种常见的有害蒸气和气体，说明它们对人体的危害。

1. 汞蒸气 汞蒸气一般产生于汞矿石的冶炼和用汞的生产过程，是一种剧毒物质。汞即使在常温或 0°C 以下，也会大量蒸发，对人体造成很大的危害。汞蒸气通过呼吸道或胃肠道进入人体后便发生中毒反应。汞的急性中毒症状主要表现在消化器官和肾脏，慢性中毒则表现在神经系统（易怒、头疼、记忆力减退等），以及伴随而来的营养不良、贫血和体重减轻等症状。

2. 铅 在有色金属冶炼、红丹、蓄电池、橡胶等生产过程中有铅蒸气产生，它在空气中可以迅速氧化和凝聚成氧化铅微粒。铅及其化合物通过呼吸道进入人体后，一部分在体内积累，损害消化道、造血器官和神经系统。铅的急性中毒表现为口中略有甜味、流涎、恶心及胃痛等，慢性中毒开始时有神经衰弱、食欲不振症状，严重时可出现中毒性脑病。

3. 苯 苯是一种挥发性较强的液体，苯蒸气是一种具有芳香味、易燃和麻醉性的气体。它主要产生于焦炉煤气和以苯为原料和溶剂的生产过程。苯进入人体的途径是吸入蒸气或从皮肤表面渗入。苯中毒能危及血液和造血器官，对妇女影响较大。

4. 一氧化碳 一氧化碳多数属于工业炉、内燃机等设备不完全燃烧时的产物，也有来自煤气设备的渗漏。由于人体内红血球中所含血色素对一氧化碳的亲合力远大于对氧的亲合力，所以吸入一氧化碳后会阻止血色素与氧气之间的亲和，使人体发生缺氧现象，引起窒息性中毒。一氧化碳是无色无味气体，能均匀地和空气混合，不易被人发觉，因此必须注意防备。

5. 二氧化硫 二氧化硫主要来自含硫矿物燃料（煤和石油）的燃烧产物，在金属矿物的焙烧、毛和丝的漂白、化学纸浆和制酸等生产过程亦有含二氧化硫的废气排出。二氧化硫是无色、有硫酸味的强刺激性气体，是一种活性毒物，在空气中可以氧化成三氧化硫，形成硫酸烟雾，其毒性要比二氧化硫大10倍。它对呼吸器官有强烈的腐蚀作用，使鼻、咽喉和支气管发炎。

6. 氮氧化物(NO_x) 氮氧化物主要来源于燃料的燃烧及化工、电镀等生产过程。 NO_2 是棕红色气体，对呼吸器官有强烈刺激，能引起急性哮喘病。实验证明， NO_2 会迅速破坏肺细胞，可能是肺气肿和肺癌的病因之一。 NO_2 浓度在 $1\sim 3\text{ppm}$ 时，可闻到臭味；浓度为 13ppm 时，眼鼻有急性刺激感；浓度在 16.9ppm 条件下，呼吸 10min ，会使肺活量减少，肺部气流阻力提高。

根据有害蒸气和气体对人体危害的性质，可将它们概括为麻醉性的、窒息性的、刺激

性的和腐蚀性的几类。

综上所述，工业有害物对人体的危害程度取决于下列因素：

1.有害物本身的物理、化学性质对人体产生有害作用的程度，即毒性的大小。

有害物与人体组织发生化学或物理化学作用，在一定条件下破坏正常生理机能，引起某些器官和系统发生暂时性或永久性病变，称为中毒。不同的有害物，其毒性有大有小。在生产环境中，往往同时存在两种以上的有害物，它们有的表现为单独作用，有的表现为相加作用或相乘作用（毒性大于相加的总和），这些也都与有害物的性质有关。

2.有害物在空气中的含量，即浓度的大小。

3.有害物与人体持续接触的时间。

进入机体内的有害物质在其未失去活性之前，毒性作用可表示为：

$$k = ct^{(1)} \quad (1-1)$$

式中， k 是某种可观察到的毒性作用， c 、 t 分别为有害物浓度及其对机体的作用时间。浓度的大小和接触时间的长短，反映有害物进入机体的数量。如果进入人体的有害物量不足，则毒性高的物质也不会引起中毒。

另外，还常常存在一个最低浓度 a ，有害物在这最低浓度以下，即使长时间作用，对人体也不会产生危害或仅有一些轻微反应。因为这种浓度的有害物，或者不被吸收，或者被人体的保护性反应所分解（毒性减弱或变为无害），或者可使其从体内排出，这时上式变为：

$$k = (c - a) t^{(1)} \quad (1-2)$$

4.车间的气象条件以及人的劳动强度、年龄、性别和体质情况等。

在空气干燥和潮湿或温度高低的不同条件下，一定浓度的有害物可能产生不同的危害作用。潮湿时会促使某些有害物的毒性增大；高温时使人体皮肤毛细血管扩张，出汗增多，血液循环及呼吸加快，从而增加吸收有害物的速度。

劳动强度对有害物的吸收及危害作用等有明显的影响。重体力劳动时对某些有害物所致的缺氧更为敏感。

在同样条件下接触有害物时，有些人可能没有任何受害症状，有些人中毒，并且致病的程度也往往各不相同。这与各人的年龄、性别和体质等有关。

三、粉尘、有害蒸气和气体对生产的影响

粉尘对生产的影响主要是降低产品质量和机器工作精度。如感光胶片、集成电路、化学试剂、精密仪表和微型电机等产品，要是被粉尘沾污或其转动部件被磨损、卡住，就会降低质量甚至报废。有些工厂曾经由于对生产环境的粉尘控制不严而受到许多损失。

粉尘还使光照度和能见度降低，影响室内作业的视野。

有些粉尘如煤尘、铝尘和谷物粉尘在一定条件下会发生爆炸，造成经济损失和人员伤亡。

有害蒸气和气体对工农业生产也有很大危害。例如二氧化硫、三氧化硫、氟化氢和氯化氢等气体遇到水蒸汽时，会对金属材料、油漆涂层产生腐蚀作用，缩短其使用寿命。

有害气体对农作物的危害表现为三种情况：

1.在高浓度有害气体影响下，产生急性危害，使植物叶表面产生伤斑或者直接使植物叶片枯萎脱落；

2.在低浓度有害气体长期影响下,产生慢性危害使植物叶片退绿;

3.在低浓度有害气体影响下产生所谓看不见的危害,即植物外表不出现症状,但生理机能受影响,造成产量下降,品质变坏。

对农作物危害较普遍的有害气体有:二氧化硫、氟化氢、二氧化氮和臭氧等。

四、工业有害物对大气的污染

工业有害物不仅会危害室内空气环境,如不加控制地排入大气,会造成大气污染,在更广阔的范围内破坏大气环境。工业化国家大气污染的发展和演变,大致可分三个阶段。第一阶段的大气污染主要是燃煤引起的,即所谓“煤烟型”污染,主要的污染物是烟尘和 SO_2 。在第二阶段,随工业的发展,石油代替煤作为主要燃料,同时汽车数量倍增,这时大气污染已不再限于城市和工矿区,而是呈现广域污染。主要污染物是 SO_2 与含有重金属的飘尘、硫酸烟雾、光化学烟雾等共同作用的产物,属于复合污染。在第三阶段,即70年代以来,各国都重视环境保护,经过严格控制、综合治理,环境污染已基本得到控制,环境质量明显改善。

我国是大气污染比较严重的国家,由于以煤作为主要燃料,主要的大气污染物是烟尘和 SO_2 ,相当于工业化国家的第一阶段。今后随国民经济的高速发展,环境保护的任务十分艰巨,需引起各方面的重视和注意。

第二节 工业有害物在车间内的传播机理

粉尘,有害气体都要经过一定的传播过程,扩散到周围空气中,再与人体相接触。使尘粒从静止状态变成悬浮于周围空气中的作用,称为“尘化”作用。常见的几种尘化作用有:

1.剪切压缩造成的尘化作用

筛分物料用的振动筛上下往复振动时,使疏松的物料不断受到挤压,因而会把物料间隙中的空气猛烈挤压出来。当这些气流向外高速运动时,由于气流和粉尘的剪切压缩作用,带动粉尘一起逸出,如图1-2所示。

2.诱导空气造成的尘化作用

物体或块、粒状物料在空气中高速运动时,能带动周围空气随其流动,这部分空气称为诱导空气,如图1-3所示。

图1-4是诱导空气造成尘化的一个实例,用砂轮磨光金属时,在砂轮高速旋转下甩出的金属屑会产生诱导空气,使磨削下来的细粉尘随其扩散。又如钢凿冲击石块时,石块的碎粒四处飞溅所产生的诱导空气也会造成尘化。

3.综合性的尘化作用

如图1-5所示,皮带输送机输送的粉料从高处下落到地面时,由于气流和粉尘的剪切作用,被物料挤压出来的高速气流会带着粉尘向四周飞溅。另外,粉料在下落过程中,由于剪切和诱导空气的作用,高速气流也会使部分物料飞扬。

4.热气流上升造成的尘化作用

当炼钢电炉、加热炉以及金属浇铸等热产尘设备表面的空气被加热上升时,会带着粉尘一起运动。

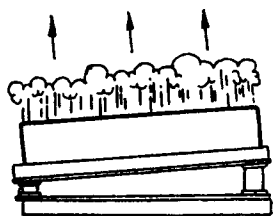


图 1-2 剪切压缩造成的尘化作用

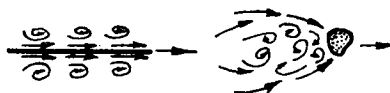


图 1-3 诱导空气造成的尘化作用
(块、粒状物料运动时)

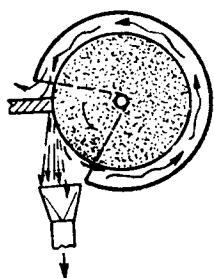


图 1-4 诱导空气造成的尘化作用(砂轮转动时)

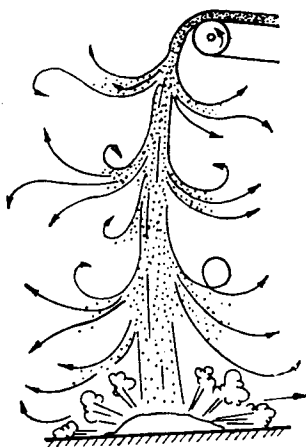


图 1-5 综合性的尘化作用

通常,把上述各种使尘粒由静止状态进入空气中浮游的尘化作用称为一次尘化作用,引起一次尘化作用的气流称为尘化气流。一次尘化作用造成了局部地点的空气污染,这些浮游的尘粒又怎样在车间内传播呢?这是我们下面要进一步讨论的问题。

首先,我们根据尘粒所受的力,分析一个直径为 $10\mu\text{m}$ 、密度为 2700kg/m^3 的尘粒在空气中的运动情况。尘粒所受的力,主要有重力、机械力(惯性力)、分子扩散力和气流带动尘粒运动的力。当尘粒在重力作用下自由降落时,其最大降落速度为 0.008m/s ,与一般车间具有的空气流动速度($0.2\sim 0.3\text{m/s}$)相比是很小的。这说明,粉尘的运动主要受室内气流的支配。当尘粒受到作布朗运动的空气分子的撞击而扩散运动时,由于尘粒的质量比分子大得多,尘粒依靠扩散在1秒钟内运动的距离只有 $1.2\times 10^{-6}\text{m}$,与室内气流速度相比,分子扩散力的作用完全可以忽略不计。当尘粒受机械力作用以初速度 v_0 作水平运动时,由于空气的阻力,尘粒呈减速运动,可用下式表达尘粒运动的规律:

尘粒运动的末速度为

$$v = v_0 e^{-t/\tau} \quad (1-3)$$

尘粒在时间 t 内运动的距离为

$$S = \int_0^t v dt = \int_0^t v_0 e^{-t/\tau} dt = \tau v_0 (1 - e^{-t/\tau}) \quad (1-4)$$

式中 $\tau = \frac{d_c^2 \rho_c}{18\mu}$

d_c ——尘粒的直径, m ;

ρ_c ——尘粒的密度, kg/m^3 ;

μ ——空气的动力粘度, $\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。

设上述尘粒以初速度 $v_0 = 10\text{m/s}$ 作水平运动,经过0.01秒钟后,尘粒的速度迅速降到

$5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$, 很快失去功能; 尘粒运动的最大距离只有 $8 \times 10^{-3} \text{ m}$ 。这表明, 即使在机械力作用下, 尘粒也不可能单独在车间内传播。

由此可知, 细小的粉尘本身没有独立运动能力, 一次尘化作用给予粉尘的能量是不足以使粉尘扩散飞扬的, 它只造成局部地点的空气污染。造成粉尘进一步扩散, 污染车间空气环境的主要原因是二次气流, 即由于通风或冷热气流对流所形成的室内气流。二次气流带着局部地点的含尘空气在整个车间内流动, 使粉尘散布到整个车间。二次气流速度越大, 作用越明显, 如图1-6所示。

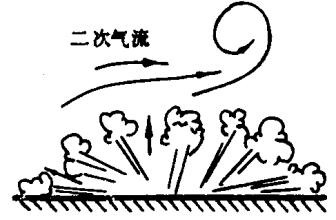


图 1-6 二次气流对粉尘扩散的影响

通过以上分析可以看出, 粉尘是依附于气流而运动的, 只要控制室内气流的流动, 就可以控制粉尘在室内的扩散, 改善车间空气环境。这就是采用通风方法控制工业有害物, 必须合理组织车间内气流的原因。我们进行除尘系统设计时, 应尽量采用密闭装置, 使一次尘化气流和二次尘化气流隔开, 避免粉尘传播。

有害气体和蒸气散发到空气中, 通过分子扩散和周围空气分子混合形成混合气体。由于有害气体和蒸气自身的扩散能力有限, 因此它们和粉尘一样, 是随室内气流运动在室内传播。

第三节 气象条件对人体生理的影响

随着生活水平的提高, 人们对与自身健康、舒适直接相关的周围空气环境也有了更高的要求。前面我们分析了粉尘、有害气体对人体的影响, 下面将分析直接受室内余热、余湿影响的室内气象条件(即空气的温度、相对湿度和流速)以及周围物体表面温度对人体生理的影响。

人体在新陈代谢过程中要向外界散热。人体内有两个控制体温的机理: 一是体内的新陈代谢过程所产生的能量会增加或减少; 二是通过改变皮肤表面的血液循环, 控制人体散热量。显然, 人的活动强度大, 新陈代谢率高, 人体的散热量相应增大。在正常情况下, 人体依靠自身的调节机能使自身的得热和散热保持平衡。因此, 人的体温是稳定的($36.5 \sim 37^\circ\text{C}$)。

人的冷热感觉与空气的温度、相对湿度、流速和周围物体表面温度等因素有关。人体散热主要通过皮肤与外界的对流、辐射和表面汗分蒸发三种形式进行, 呼吸和排泄只排出少部分热量。

对流换热取决于空气的温度和流速。空气温度低于体温时, 温差愈大人体对流散热愈多, 空气流速增大对流散热也增大; 空气温度等于体温时, 对流换热完全停止; 空气温度高于体温时, 人体不仅不能散热, 反而得热。空气流速愈大, 得热愈多。

辐射散热与空气的温度无关, 只取决于周围物体(墙壁、炉子、机器等)表面的温度。当物体表面温度高于人体表面温度时, 人体得到辐射热; 相反, 则人体散失辐射热。

蒸发散热主要取决于空气的相对湿度和流速。当空气温度高于体温, 又有辐射热源时, 人体已不能通过对流和辐射散出热量, 但是只要空气的相对湿度较低(水蒸气分压力

较小)，气流速度较大，可以依靠汗液的蒸发散热；如果空气的相对湿度较高，气流速度较小，则蒸发散热很少，人体会感到闷热。相对湿度愈低，空气流速愈大，则汗分愈容易蒸发。

由此可见，对人体最适宜的空气环境，除了要求一定的清洁度外，还要求空气具有一定的温度、相对湿度和流动速度，人体的舒适感是三者综合影响的结果。因此，在生产车间内必须防止和排除生产中大量散发的热和水蒸气，并使室内空气具有适当的流动速度。

在某些散发大量热量的高温车间，如铸造、锻造、轧钢、炼焦、冶炼车间都具有辐射强度大、空气温度高和相对湿度低的特征。根据卫生标准规定，一般车间内工作地点的夏季空气温度，应按车间内外温差计算，不得超过表1-1的规定。

某些企业或车间（如炼焦、平炉、轧钢等）的工作地点温度确受条件限制，在采用一般降温措施后仍不能达到表1-1要求时，可再适当放宽，但不得超过2℃。同时应在工作地点附近设置工人休息室，休息室的温度一般不得超过室外温度。

车间内工作地点的夏季空气温度 表 1-1

夏季通风室外计算温度(℃)	22及以下	23	24	25	26	27	28	29~32	33及以上
工作地点与室外温差(℃)	10	9	8	7	6	5	4	3	2

第四节 有害物浓度、卫生标准和排放标准

一、有害物浓度

有害物对人体的危害，不但取决于有害物的性质，还取决于有害物在空气中的含量。单位体积空气中的有害物含量称为浓度。一般地说，浓度愈大，危害也愈大。

有害蒸气或气体的浓度有两种表示方法，一种是质量浓度，另一种是体积浓度。质量浓度即每立方米空气中所含有害蒸气或气体的毫克数，以mg/m³表示。体积浓度即每立方米空气中所含有害蒸气或气体的毫升数，以mL/m³表示。因为1m³=10³mL，常采用百万分率符号ppm表示，即1mL/m³=1ppm。1ppm表示空气中某种有害蒸气或气体的体积浓度为百万分之一。例如通风系统的排气中，若二氧化硫的浓度为10ppm，就相当于每立方米空气中含有二氧化硫10mL。

在标准状态下，质量浓度和体积浓度可按下式进行换算：

$$Y = \frac{M \times 10^3}{22.4 \times 10^3} C = \frac{M}{22.4} C \quad \text{mg/m}^3 \tag{1-5}$$

式中 Y——有害气体的质量浓度，mg/m³；
M——有害气体的摩尔质量，g/mol；
C——有害气体的体积浓度，ppm或mL/m³。

【例 1-1】 在标准状态下，10ppm的二氧化硫相当于多少mg/m³？

二氧化硫的摩尔质量M=64g/mol，所以

$$Y = \frac{64}{22.4} \times 10 = 28.5 \text{mg/m}^3$$

粒尘在空气中的含量，即含尘浓度也有两种表示方法。一种是质量浓度；另一种是颗粒浓度，即每立方米空气中所含粉尘的颗粒数。在工业通风技术中一般采用质量浓度，颗粒浓度主要用于洁净车间。

二、卫生标准

为了使工业企业的设计符合卫生要求，保护工人、居民的安全和健康，我国于1962年颁布了《工业企业设计卫生标准》，后来又作了修订，颁发《工业企业设计卫生标准》（TJ36—79）作为全国通用设计卫生标准，从1979年11月1日起实行。卫生标准对车间空气中有害物质的最高容许浓度、空气的温度、相对湿度和流速，对居住区大气中有害物质的最高容许浓度等都作了规定，它是工业通风设计和检查其效果的重要依据。例如卫生标准规定，车间空气中一般粉尘的最高容许浓度为 $10\text{mg}/\text{m}^3$ ，含有10%以上游离二氧化硅的粉尘则为 $2\text{mg}/\text{m}^3$ ，危害性大的物质其容许浓度低；在车间空气中一氧化碳的最高容许浓度为 $30\text{mg}/\text{m}^3$ ，而居住区大气中则为 $1\text{mg}/\text{m}^3$ （日平均），居住区的卫生要求比生产车间高。卫生标准中关于居住区大气中及车间空气中有害物质的最高容许浓度见附录2和附录3。

卫生标准中规定的车间空气中有害物质的最高容许浓度，是从工人在此浓度下长期进行生产劳动而不会引起急性或慢性职业病为基础制订的。居住区大气中有害物质的一次最高容许浓度，一般是根据不引起粘膜刺激和恶臭而制订的；日平均最高容许浓度，主要是根据防止有害物质的慢性中毒而制订的。制订最高容许浓度还考虑了国家的经济和技术水平。

三、排放标准

1973年我国颁发了《工业“三废”排放试行标准》（GBJ4—73），规定从1974年起试行。这是为了保护环境，防止工业废水、废气、废渣（简称“三废”）对大气、水源和土壤的污染，保障人民身体健康，促进工农业生产的发展而制定的。排放标准是在卫生标准的基础上制定的，对十三类有害物质的排放量或排放浓度作了规定（见附录4）。工业通风排入大气的有害物量（或浓度）应该符合排放标准的规定。

随着我国环境保护事业的发展，1982年制订了《大气环境质量标准》（GB3095—82）。同时，不同行业还根据自身的行业特点，制订了相应的标准，如《水泥工业污染物排放标准》（GB4915—85）、《钢铁工业污染物排放标准》（GB4911—4913—85）等，详见文献[10]。在《水泥工业污染物排放标准》中规定，含游离 SiO_2 小于10%的粉尘，其允许的排放浓度为 $100\text{g}/\text{m}^3$ ；含游离 SiO_2 大于10%的粉尘，其允许的排放浓度为 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 。上述要求比《工业“三废”试行排放标准》中的规定更为严格。因此，对已制订行业标准的生产部门，应以行业标准为准。

必须指出，在工业企业密集的地区，有时虽然对具体单位来说都达到了排放标准，但该地区的大气污染程度会比工业企业分散的地区严重，甚至可能超过大气质量标准中的规定。因此，目前有些城市已提出采取大气排放总量控制，即根据城市的大气容量对不同的地区和不同的生产单位分配其最大的排放量。这样，不同的地区会有不同的排放要求，在工业密集的地区应降低其排放浓度。

第五节 防治工业有害物的综合措施

我国多年来防尘、防毒的实践证明，在多数情况下，单靠通风方法去防治工业有害物，