

工业通风

G O N G Y E T O N G F E N

茅清希 编著



同济大学出版社

TU834

M41

451453

工业通风

茅清希 编著

5

同济大学出版社

内 容 提 要

本书系高等学校供热通风与空调工程专业“工业通风”课程的函授教材。全书共分九章，较系统地论述了工业通风的原理、设计基础和计算方法。其中，对各种排风罩的结构与工作原理、除尘器的类型、性能与除尘机理以及气态污染物的净化方法作了较为深入的介绍，同时充分反映了国内外先进的科技成果。本书具有适合函授教学和自学的特点，对重点内容的阐述力求详尽，并配以较多的图表和例题；每章开头有对学习的基本要求，末尾有学习小结、复习思考题、习题或测验作业题。此外，书末还附有工业通风常用数据、图表和有关标准、法规的摘要等。

本书也可供从事工业通风、劳动保护和环境保护等工作的工程技术人员以及大专院校有关专业的师生参考。

DYBZ/2814

责任编辑 吴味隆

封面设计 李志云

工业通风

茅清希 编著

同济大学出版社出版

(上海四平路 1239 号 邮编 200092)

新华书店上海发行所发行

同济大学印刷厂印刷

开本: 787 × 1092 1/16 印张: 24.5 字数: 620 千字

1998 年 3 月第 1 版 1998 年 3 月第 1 次印刷

印数: 1—3000 定价: 20.00

ISBN-5608-1612-6/TB·28

前 言

“工业通风”是高等工业院校“供热通风与空调工程”专业的一门主要专业课程。

通风工程对于改善生产车间和其他构筑物的空气环境、保护人们健康、提高劳动生产率起着重要作用。在许多工业部门，通风工程又是保证生产正常进行、提高产品质量必不可少的条件。对一些特殊建筑（例如地下厂房），通风工程则是维持人生存的必须设施。

工业通风是通风工程中的一个重要领域。工业通风的主要任务是控制生产过程和其他过程中产生的粉尘、有害气体和蒸气、高温、高湿对空气环境的污染和影响，使生产环境的空气保持一定的品质，保护大气环境。

生产的发展，人民生活水平的提高，对通风的要求愈来愈高，对本专业学生的培养要求也更为迫切。

本教材是结合我校长期以来进行“工业通风”课程教学的实践，并且参考了试用教材“工业通风”编写的。编写时力求系统地阐明基本原理和基本规律，努力做到联系实际，反映本学科的新理论、新技术和新发展，着重培养学生分析和解决实际问题的能力。

本课程的重点是在阐述通风换气的原理和方法，通风排气中粉尘及有害气体的净化。进气系统及进气处理方法在“空气调节”中已有叙述，本书不再重复介绍。

考虑到我国治理粉尘污染的重要性和紧迫性，超细粉尘的净化要求也日益迫切，本书将粉尘的特性和净化机理单独设章（第四章）。作者期望，这对读者掌握除尘设备的工作原理从而改进和完善粉尘净化设备、研制和开发新型空气过滤器和除尘器、提高设备的技术经济性能有所裨益。

由于清华大学、同济大学等四校合编的《空气调节》一书中没有专门叙述通风管道，本书对一般通风管道的设计计算原理和方法作了比较深入而全面的叙述。此外，还介绍了应用较广的均匀送风管道以及气力输送管道的设计计算方法。对通风机在管网中的运行也有一定的介绍。

考虑到室内外空气污染治理中通风除尘设备检测技术具有的重要性，本书在第九章扼要介绍了通风系统的测试原理、方法和操作要点，同时还介绍了系统的调整知识。

作者在编写本书时，既充分考虑到高等工业院校“供热通风与空气调节工程”专业学生的教学要求，又要充分考虑函授教学特点。本书每章开始均有学习基本要求，每章后面则有小结，并有相当数量的习题和复习思考题，此外还有测验作业题，这对于读者的自学和检测会有帮助。

在编写过程中，得到了同济大学继续教育学院、同济大学供热通风与空调工程教研室的热情支持、关心和长期从事“工业通风”课程函授教学的张澄、王焕棠以及方怀德等有关同志的帮助，在此一并深表谢意。

上海凌桥环保设备厂黄斌香同志编写了第五章第五节“过滤式除尘器”中有关滤料和反吹袋式除尘器部分的内容，同时提供了有关资料，对此表示谢忱。

限于水平，本书难免存在有不足和疏漏之处，热忱欢迎读者和专家批评指正。

编著者

目 录

第一章 概论	
第一节 工业有害物的来源与危害	(1)
第二节 气象条件对人的生理影响	(4)
第三节 粉尘的扩散与传播	(5)
第四节 卫生标准和排放标准	(6)
第五节 防治工业有害物的综合措施	(8)
第二章 通风方法与全面通风量	(10)
第一节 房间通风的主要方法	(10)
第二节 全面通风换气量的确定	(12)
第三节 全面通风的气流组织	(17)
第四节 空气平衡和热平衡	(19)
第三章 排风罩	(25)
第一节 防尘密闭罩	(25)
第二节 外部吸气罩	(29)
第三节 热过程排风罩	(41)
第四节 槽边排风罩	(44)
第五节 通风柜	(47)
第六节 空气幕	(49)
第七节 吹吸式排风罩	(56)
第四章 粉尘的特性和净化机理	(70)
第一节 粉尘的特性	(70)
第二节 粉尘的净化机理	(76)
第五章 粉尘的净化装置	(93)
第一节 除尘器的性能和分类	(93)
第二节 重力沉降室	(100)
第三节 惯性除尘器	(104)
第四节 旋风除尘器	(106)
第五节 过滤式除尘器	(121)
第六节 湿式除尘器	(142)
第七节 电除尘器	(152)
第八节 除尘器的选择和应用	(172)
第六章 气态污染物的净化	(178)
第一节 气态污染物的种类和净化方法	(178)
第二节 气液系统的相平衡关系	(183)
第三节 吸收机理及吸收速率方程式	(190)
第四节 吸收剂和吸收设备	(196)
第五节 吸收设备的设计计算	(201)

第六节	吸附法	(211)
第七节	有害气体净化实例	(219)
第八节	有害气体的高空排放	(222)
第七章	通风管道	(231)
第一节	风管内空气流动的阻力	(231)
第二节	风管内的压力分布	(241)
第三节	通风管道的水力计算	(245)
第四节	均匀送风管道设计计算	(259)
第五节	通风管道设计中的注意事项	(267)
第六节	气力输送系统的管道设计	(271)
第八章	自然通风与降温	(290)
第一节	自然通风的作用原理	(290)
第二节	自然通风的计算	(294)
第三节	自然通风设计中的有关问题	(301)
第四节	局部送风	(306)
第九章	通风系统的测试调整与维护管理	(314)
第一节	通风系统风速、风量和风压的测定	(314)
第二节	局部排风罩的性能测定	(322)
第三节	粉尘主要物理性质的测定	(324)
第四节	空气中粉尘浓度的测定	(336)
第五节	高温烟气含尘浓度的测定	(345)
第六节	除尘器性能的测定	(349)
第七节	通风系统的调整和维护管理	(350)
附录	(355)
表 1	常用常数	(355)
表 2	单位换算表	(355)
表 3	车间空气中有害物质的最高容许浓度	(356)
表 4	居住区大气中有害物质的最高容许浓度	(358)
表 5	十三类有害物质的排放标准	(360)
表 6	大气环境质量标准	(361)
表 7	极限流量比 K_L 的若干计算公式	(364)
表 8	槽边缘控制点的吸入速度	(365)
表 9	通风柜操作口截面的排风速度	(368)
表 10	各种粉尘的爆炸浓度下限	(369)
表 11	风管当量直径线算图表	(371)
表 12	局部阻力系数	(371)
表 13	通风管道统一规格	(372)
表 14	气体和蒸气的爆炸极限浓度	(380)
表 15	通风机性能范围和主要用途	(382)
参考文献	(383)

第一章 概 论

人们需要适合于劳动、工作和生活的空气环境。除了要求它符合一定的温度、湿度和风速外，还要求空气具有一定的清洁度。但是，在工业生产中散发的各种粉尘、有害气体和蒸气等有害物使空气环境受到污染，对人的健康、工业生产过程本身以及生态造成危害。随着工业生产的发展和社会的进步，控制有害物对室内外空气的污染，满足人们的要求和生产的需要，成为愈来愈迫切需要解决的问题。工业通风就是研究和解决这一问题的关键技术。

本章首先分析工业通风的控制对象即工业有害物的来源、性质和危害、传播机理，然后介绍控制有害物的标准，包括《工业企业设计卫生标准》(TJ36-79)(以下简称卫生标准)、《工业“三废”排放试行标准》(GBJ₄-73) (以下简称排放标准) 以及关于有害物的综合防治措施。

基 本 要 求

1. 熟悉主要有害物的性质和对人体的危害。
2. 掌握粉尘的传播机理。
3. 熟悉卫生标准和排放标准及其制订根据。
4. 熟悉通风方法。
5. 熟悉改善空气环境的正确途径(综合措施)。

第一节 工业有害物的来源与危害

工业有害物指的主要是工业生产中散发的粉尘、有害气体及蒸气、余热和余湿。

一、工业有害物的来源

(一) 粉尘

粉尘是指悬浮在气体中的固体微粒。它来源于机械、冶金、建材、电力等工业部门的生产过程，主要有：

(1) 粉粒状物料的筛分、混合、装卸、运输过程，例如煤粉、面粉、水泥的生产和运输，铸造车间的混砂和落砂工艺；

(2) 固体物料的破碎、碾磨和加工，例如耐火材料、建材车间的原材料破碎和碾磨，金属件的切削加工过程；

(3) 燃烧过程，例如燃煤产生的大量烟尘；

(4) 物质加热过程中形成的蒸气在空气中氧化、凝结，例如冶炼过程中产生的锌蒸气，在空气中冷凝成氧化锌微粒。

在通风与除尘技术中，常将悬浮在气体（主要是空气）中的固体或液体微粒所组成的分散体系，称为气溶胶。它是两相系统。把分散在气相中的微粒为固相的称为粉尘，微粒

为液相的称为雾。根据气溶胶微粒的不同成因，还可将微粒分为分散性和凝聚性两种，前者为粉尘，后者为烟，有时统称为烟尘。

粉尘包括所有的固态分散性微粒，其尺寸范围从亚微米到数百微米。其中粒径在 $10\mu\text{m}$ 以上的称为“降尘”，粒径在 $10\mu\text{m}$ 以下的称为“飘尘”。飘尘是除尘技术研究的主要对象。烟则包括所有凝聚性固态物质微粒和液态、固态微粒因凝聚作用的生成物。通常它是燃烧过程或其他化学高温过程的产物，粒径范围约为 $0.01\sim 1\mu\text{m}$ ，如铅蒸气氧化成的氧化铅，煤、炭燃烧生成的烟就属此类。

随着对空气污染控制的要求日益严格，新近又提出了“超细粉尘”这一名词，一般是指 $3\mu\text{m}$ 以下的粉尘。

(二) 有害气体和蒸气

在化工、造纸、油漆、金属冶炼、铸造、金属表面处理过程中，均会产生大量的有害气体和蒸气。例如，在汞矿石冶炼和用汞的生产工艺过程中会散发出汞蒸气；在有色金属冶炼和红丹、橡胶、蓄电池等生产过程中会产生铅蒸气；在焦炉煤气制造和以苯为原料和溶剂的生产过程中挥发出苯蒸气。此外在燃烧过程和一些化工过程中产生 CO ， NO_x 和硫氧化物。

二、工业有害物的危害

有害物的危害是多方面的，首先是对人体的危害。此外，对生产过程和产品质量、建筑物、动植物都有危害。

(一) 有害物对人体的危害

有害物对人体的危害是经呼吸道进入、皮肤进入和消化道进入等三个途径造成的，其中以呼吸道进入最为主要和最为危险。

有害物在进入人体以后，与人体组织发生化学、物理化学作用后，在一定条件下会影响甚至破坏人体正常的生理机能，引起某些器官和系统的暂时或永久性病变，这在医学上称之为中毒。不同的有害物对人体的毒害是不同的。

1. 粉尘对人体的危害

粉尘对人体的危害程度取决于粉尘的性质、粒径大小和进入人体的粉尘量。

粉尘对人体的危害与其化学性质有密切关系。粉尘的化学性质决定着它在人体内参与和干扰生化过程进行的程度和速度，从而决定了危害的程度。一些强毒性的金属粉尘，会引起中毒直至死亡。如铅会使人贫血，损害大脑；镍、铬会使人肺癌发病率增加。一般的非金属粉尘对人体的危害也是明显的。铸工长期吸入矽尘会引起“矽肺”病。长期吸入石棉尘，会引起“石棉肺”病并可能并发肺癌。

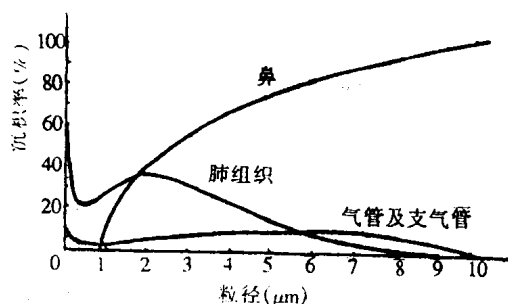


图 1-1 不同粒径粉尘在各部位的沉积率

粉尘对人体的危害程度与粉尘粒径有密切关系。不同大小粒径的粉尘在呼吸系统各部位的沉积情况并不相同。图 1-1 表示不同粒径的粉尘在鼻部、气管和肺组织的不同沉积量大小。与较粗的粉尘 ($> 5\mu\text{m}$) 不同，细粉尘 ($< 5\mu\text{m}$) 会深入到并滞留在肺泡造成危害。矽肺死者肺中的粉尘直径在 $1.6\mu\text{m}$ 以下的占 86%， $3.2\mu\text{m}$ 以下的为 100%。一般认为小于 $0.4\mu\text{m}$ 的粉尘在人

呼吸时会排出体外。

细粉尘在空气中能停留的时间长，因此被人吸入的机会多。此外，对于细粉尘而言，其比表面积（单位质量粉尘的总表面积， m^2/g ）大，在人体内的化学活性增强，加剧了人体内生理效应的发生与发展。例如锌等一些金属本身无毒，但在其受热后形成烟状氧化物时，会和人体内的蛋白质作用而引起发烧，即所谓铸造热病。

最后还要指出，细粉尘通常都具有很强的吸附能力，有害气体、液珠、细菌和病毒会吸附在细粉尘上，被人吸入到肺部深处后，促成慢性和急性病症。

从以上分析看出，粒径小于 $5\mu m$ 的粉尘对人体健康危害严重。这部分粉尘也称为“呼吸性粉尘”或“吸入性粉尘”。

2. 有害气体和蒸气对人体的危害

有害气体和蒸气对人体的毒害可以分为刺激性、麻醉性、腐蚀性和窒息性几种。

(1) 铅 铅及其氧化物经呼吸道进入人体，对造血器官、神经系统造成损害。

(2) 汞 汞在常温下即能大量蒸发，对人体的消化器官、肾脏、神经系统造成危害。

(3) 苯 易挥发，其蒸气是一种具有芳香味的麻醉性气体，危害血液和造血器官，对女性危害尤大。

(4) 一氧化碳 一氧化碳吸入人体后将会阻止血色素和氧气之间的亲和，产生缺氧现象，严重时引起窒息性中毒直至死亡。

(5) 二氧化硫 具有强烈的刺激性，是一种活性毒物，在空气中氧化成三氧化硫后，毒性变得更大。危害人体的呼吸器官，造成鼻、咽喉和支气管发炎。

综上所述，各种工业有害物对人体的危害程度取决于以下四方面的因素：

(1) 有害物本身的物理和化学性质 不同有害物的物理性质和化学性质不同，它们对人体的危害作用程度，即毒性的大小程度是不一样的。还要指出，在两种及以上有害物同时作用于人体时，由于毒性不同，有的是表现为单独作用，有的则表现为叠加作用，有时甚至表现为相乘的作用。

(2) 有害物的浓度 浓度大，有害物对人体的危害作用大。

(3) 人体与有害物持续接触和作用的时间 时间长，有害物对人体危害作用大。

除了上述三个因素外，有害物对人体的危害还与作业环境的气象条件（温度、湿度、风速等）、人的劳动强度、性别和年龄等因素有关。

根据上述简单的分析，不难得出有害物进入人体形成的毒性作用的表达式为

$$k = (c - a)t \quad (1-1)$$

式中， k 为可以观察到的毒性作用； c 为有害物浓度； t 为有害物对人体作用时间； a 为有害物不会对人体产生危害的最低浓度。 a 值大小在制订工业卫生标准时具有重要意义。当 $c = a$ 时， $k = 0$ ，即有害物对人体无毒性作用，这是因为，这时的有害物能够被人体的保护性反应所分解而使毒性显著减弱或变为无害，或者可从体内排出。因此，在制订车间的有害物容许浓度即卫生标准时，没有必要取 a 值为零。

(二) 有害物对生产的影响

粉尘会降低产品的质量和机器设备的工作精度。例如，在集成电路、化学试剂、医药、感光胶片、精密仪表等生产部门，粉尘的危害不仅使产品质量降低，甚至还会导致报废。

有些粉尘如谷物、煤、铝、织物纤维等粉尘，在一定条件下会发生爆炸，造成人员伤亡和经济损失。粉尘还会使作业环境的能见度和光照度降低，影响作业环境中人员的视野，间接影响生产。

有害气体和蒸气如氟化氢、氯化氢、二氧化硫和三氧化硫等，对金属材料有严重的腐蚀作用，会引起植物落叶和枯萎，并使动物和人类受到间接危害。

(三) 工业有害物污染大气

粉尘、有害气体和蒸气对大气造成污染，影响人类的生存。大气污染对建筑物、自然景观、生态都造成危害。国外大气污染的发展和治理大致分为煤烟、二氧化硫和光化学烟雾等三代。现在一些国家基本控制了第一代大气污染，把重点转向第二代和第三代污染的控制。我国也面临有效地控制大气污染，保护大气环境这一紧迫而严峻的重要问题。

第二节 气象条件对人的生理影响

人们要求有一个良好而舒适的空气环境。人的舒适感主要取决于影响人体热平衡的气象条件。

人体通过新陈代谢从摄取的食物中获取能量，同时向外界散发热量。人体与环境之间的换热量应当是平衡的。如果得热量大于向环境的散热量，将引起热感觉；反之，将引起冷感觉。所以，维持人体与环境之间的热平衡对人体的舒适和健康是十分重要的。

人体散热是通过导热、对流、辐射、汗液蒸发和肺表面的水分蒸发等形式进行的，其中主要的是对流、辐射和汗液蒸发三种形式。

对流换热量与空气的温度和流速有关。空气与人体间的温差和空气流速愈大，对流换热量愈大；反之愈小。在空气温度低于人体温度时，人体散热；反之人体得到热量。

辐射换热与空气温度无关，仅取决于周围物体（墙壁、机器设备、加工件及成品、炉子等）的表面温度及其表面特征。当物体表面温度高于人体表面温度时，人体得到辐射热；反之，人体散失辐射热。

根据传热理论，蒸发散热主要与空气流速和相对湿度有关。当空气温度高于人体温度，又有辐射热源存在时，人体无法通过对流和辐射散发热量。这时如果空气相对湿度较低，又有一定的气流速度，人体仍可以通过汗液蒸发散热；相对湿度愈低，空气流速愈高，蒸发散热量愈大。反之蒸发散热量愈小，人会感觉闷热。

从上述分析可以看出，气象条件对人体的生理影响是综合的，人体舒适感觉不仅取决于一个参数，而是几个参数的组合。

气象条件及周围物体表面温度对人体的作用主要反映在人体的冷热感觉是否正常；除此而外，还反映在人体是否致病。人体在主要依靠汗液蒸发时，有可能引起脱水并致病。例如高温作业人员容易中暑，就是气象条件对人体生理影响的明显实例。因此，对于散发大量热量和水蒸汽的车间，必须采用通风措施排除这些热量和水蒸汽，并在室内造成适当的气流速度。

最近研究成果表明，人的热舒适除了取决于环境的温度、相对湿度、气流速度和辐射强度等四个因素外，还与人的新陈代谢率和服装这两个因素有关。

对于散发大量热量的高温车间，如冶炼、铸造、轧钢、动力车间均具有辐射强度大、空气温度高的特征。根据卫生标准，车间工作区的夏季空气温度，应按表 1-1 规定的室

内外温差计算，并不得超过。

车间工作区的夏季空气温度要求

表 1-1

夏季通风室外计算温度(℃)	≤ 22	23	24	25	26	27	28	29~32	≥ 33
工作区与室外空气温差(℃)	10	9	8	7	6	5	4	3	2

对于一些特殊企业和车间（如炼焦、轧钢、平炉）的工作区温度可适当放宽，但不得超过上表规定的 2℃。同时应在工作地点附近设置工人休息室，休息室的温度应不高于室外温度。

第三节 粉尘的扩散与传播

任何一个尘源所产生的粉尘，都要以空气为媒介，经过扩散和传播过程进入人体，危害健康。

一、粉尘的扩散

图 1-2 表示粉尘从生产设备扬起，扩散并传播到周围空气环境的过程。图中表示的粉尘从静止状态进入运动状态并且悬浮在周围空气中的过程，称为“一次尘化”，或简称“尘化”，它只造成局部作业环境的空气污染。下面介绍几种尘化作用的情况：

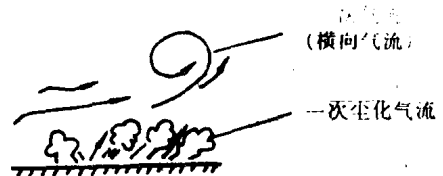


图 1-2 粉尘的扩散

(一) 诱导空气的尘化作用

机动设备或块、粒状物体在空气中运动时，能带动其周围空气一起运动，这部分空气称为诱导空气。诱导空气分为单向和多向，它能使粉尘扬起，如汽车、行车及物体运动时涡流卷吸作用使粉尘扬起。用砂轮抛光金属件时，其切向甩出的金属屑及砂尘会产生诱导空气，使磨削下来的细粉尘随其扩散，这些含尘空气带有明显的方向性。用钢凿凿击石块时也会造成尘化，飞溅的石粒所产生的诱导空气具有多向性。

(二) 剪切压缩造成的尘化作用

铸造车间的震动落砂机，筛分物料用的振动筛工作时，由于上下往复振动，能使疏松物料间隙中的空气挤压出来。在这些气流向外高速运动时，气流和粉尘之间剪切作用又同时将粉尘带出（图 1-3）。

(三) 综合作用时的尘化作用

实际的尘化情况比较复杂。图 1-4 所示的皮带运输机输送的物料从高处下落到低处时，由于气流和粉尘间的剪切作用，被物料挤压出来的高速气流会带着粉尘向四周飞溅。此外，物料在下落过程中，由于剪切和诱导空气作用，高速气流也会使部分粉尘飞扬。

(四) 上升热气流造成的尘化作用

当熔铜炉、电炉、加热炉以及金属浇铸等热产生设备表面的空气被加热上升时，也会带出粉尘和有害气体。

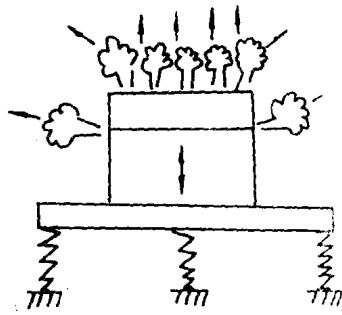


图 1-3 剪切压缩作用下的尘化现象

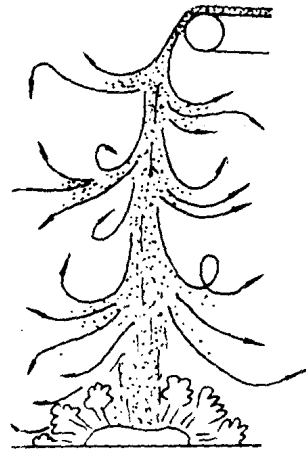


图 1-4 综合性的尘化作用

二、粉尘在空气中的传播

一次尘化作用，使粉尘从静止状态进入周围空气呈运动状态。通常把引起一次尘化作用的气流称为尘化气流，一次尘化作用造成局部作业地点的空气污染。悬浮于空气中的粉尘受气流作用在车间内传播，形成范围广泛的空气污染。

根据尘粒的受力分析，得到密度为 $2700\text{kg}/\text{m}^3$ 、直径为 $10\mu\text{m}$ 的粉尘，在常温空气中的沉降速度为 $0.0075\text{m}/\text{s}$ ；同一密度、直径为 $20\mu\text{m}$ 的粉尘，其相应的沉降速度也只有 $0.03\text{m}/\text{s}$ 。与一般工业厂房内的气流速度 ($0.2\sim 0.35\text{m}/\text{s}$) 相比，粉尘的沉降速度是很小的。这说明，粉尘本身在空气中几乎没有独立运动的能力，它受室内气流的支配并随之一起运动。

从尘粒的运动方程可以计算出，上述粉尘如受到机械力作用具有初速度为 $10\text{m}/\text{s}$ ，在 0.01s 后此尘粒的速度迅速降到 $5\times 10^{-5}\text{m}/\text{s}$ ，而期间最大运动距离也仅为 $8\times 10^{-3}\text{m}$ 。因此，即使在机械力作用下，尘粒也几乎没有单独在车间空气中传播的能力。

以上分析表明，细小粉尘本身没有独立运动的能力，一次尘化的粉尘由静止状态进入周围空气，造成局部地点的空气污染。只有在车间二次气流（常称横向气流）的作用下，粉尘才能随其一起运动并传播到整个车间，造成大范围的空气污染，如图 1-2 所示。由此可见，只要控制尘源周围的气流流动，就可以控制粉尘在车间内的扩散传播，从而改善车间的空气环境。这是用通风方法控制工业有害物污染的基本知识，是组织车间内的气流、设计计算吸气罩的基本原理。

第四节 卫生标准和排放标准

一、有害物的浓度

有害物对人体的危害，不仅与它的毒性有关，还和有害物在空气中的含量即浓度有关。

有害气体和蒸气的浓度分质量浓度和体积浓度两种。质量浓度为每 m^3 空气有害气体和蒸气的质量，通常用 mg/m^3 表示。体积浓度为每 m^3 空气有害气体或蒸气的体积，单位为 mL/m^3 或 ppm，ppm 是百万分率符号， $1\text{ppm} = 1\text{mL}/\text{m}^3$ 。

标准状态下的质量浓度和体积浓度按下式换算

$$y = \frac{mc}{22.4} \quad \text{mg/m}^3 \quad (1-2)$$

式中 y ——有害气体的质量浓度, mg/m^3 ;

m ——有害气体的摩尔质量, g/mol ;

c ——有害气体的体积浓度, ml/m^3 或 ppm。

空气含尘浓度也分两种,一种是质量浓度,另一种是颗粒浓度。洁净车间采用颗粒浓度,它是指每 m^3 (或 L)空气中所含的粉尘颗粒数。

[例 1-1] 标准状态下二氧化硫的体积浓度为 15ppm,试问其质量浓度为多少?

[解] 查知二氧化硫的摩尔质量 $m = 64\text{g/mol}$,所以质量浓度

$$y = \frac{mc}{22.4} = \frac{64 \times 15}{22.4} = 42.9\text{mg/m}^3$$

二、卫生标准

为了控制工业有害物对人们健康的影响,保证工业企业的设计和管理达到卫生要求,我国制订了《工业企业设计卫生标准》(TJ36-79),对车间空气中有害物质的最高容许浓度、空气温度、相对湿度和流速,以及居住区大气中有害物质的最高容许浓度等都作了明确规定,是工业通风设计和检查的重要根据。有害物的危害性愈大,规定的容许浓度愈低。例如,一般的生产性粉尘容许浓度为 10mg/m^3 ,而车间空气中铅尘的容许浓度仅为 0.05mg/m^3 ,铅尘对人体的危害性大。此外,居住区的卫生要求比生产车间高,例如,车间空气中一氧化碳的最高容许浓度为 30mg/m^3 ,而居住区大气则为 1mg/m^3 (日平均)(附录表 3 和 4)。

卫生标准中规定的车间空气中有害物的最高容许浓度,是以工人长期在此浓度下进行生产劳动不致造成急性或慢性职业病为依据的。居住区大气中有害物的最高容许浓度,分为一次最高和日平均两种,前者是以不引起粘膜刺激和恶臭为基础,后者则是以不引起慢性中毒为基础而制订的。卫生标准的制订还考虑了国家的技术经济条件,不同国家不尽相同。

三、排放标准

为了保护大气环境,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,我国制订有《工业“三废”排放试行标准》(GBJ4-73)。排放标准的制订是以卫生标准作为基础,即通过烟囱、排气立管等排放出来的有害物,在大气中稀释后,地面的有害物浓度应满足卫生标准中规定的居住区最高容许浓度要求(附录表 5)随着我国经济建设和环境保护事业的发展,1982年制订了《大气环境质量标准》(GB3095-82)。不同行业根据本行业的特点,制订了相应的标准,如《钢铁工业污染物排放标准》(GB4911-4913-85),《锅炉大气污染物排放标准》(GB13271-91)(附录表 5)。随着我国建设的发展和环境质量要求的提高,这些标准还会进一步完善。

世界上许多国家都制订有卫生标准和排放标准,各国的卫生标准比较接近;而排放标准差别较大,这是因为各个国家的经济发展水平、人们生活条件存在着差异。

第五节 防治工业有害物的综合措施

一个生产车间往往同时散发数种有害物，甚至一种工艺设备就散发数种有害物，散发情况比较复杂。实践证明，仅采用通风方法控制有害物污染，既不经济有时又很难达到预期效果。最为有效的应当首先从改革工艺设备、工艺流程和操作方法入手，减少甚至杜绝有害物的产生和散发，而后才是采取合理的通风措施和建立严格的管理制度，以有效而经济地控制工业有害物的危害。

一、改革工艺，防止和减少有害物的产生与散发

改革生产工艺及设备，能有效地解决粉尘、有害气体或蒸气的污染。用无毒原料代替有毒或剧毒原料，如采用无氰电镀，无汞仪表，油漆工业中以锌代铅白等方法，从根本上防止氰、汞、铅等剧毒物质的产生和危害。用湿法作业代替干法作业，可以大大减少粉尘的散发量，如石粉厂在采用水磨石英工艺代替干磨工艺后，车间空气中硅尘浓度可由几百 mg/m^3 减低到几 mg/m^3 。耐火材料、铸造车间如采用密闭操作，空气中的粉尘浓度则要比敞开时低得多。

改革工艺时，应当尽可能实现生产过程的自动化、机械化和密闭化，避免人与有害物直接接触。

二、采用合理的通风措施

有些工艺很难改革，有些工艺即使在改革之后仍有有害物散入车间，这时应采取合理的通风措施，以保证房间空气质量，也即使室内空气环境达到卫生标准规定的要求，通风系统排气中的有害物浓度达到排放标准。关于通风的原理和方法，通风设备和系统，将在以后章节作详细介绍。

三、严格管理、健全制度

为了确保通风系统正常有效地运行，做好防尘、防毒工作，必须加强通风设施的维护和管理，建立必要的规章制度。必须按照规定，定期测定车间空气中的有害物浓度，作为检查和落实防尘、防毒工作的主要依据。对与粉尘、有害气体和蒸气接触的操作人员，应定期进行体格检查，如发现问题，要采取有力措施，甚至调离岗位。对于达不到卫生标准的作业环境，有关部门要按规定限期改进；对于情况严重者，可勒令停产。

小 结

工业有害物是指粉尘、有害气体和蒸气、余热、余湿，它们具有相当的危害性，必须采用通风方法，以及其他措施综合治理。

本章的重点是尘化过程和粉尘在车间内的传播机理，控制气流可以控制粉尘的污染。

复习思考题

1. 粉尘、有害气体、余热和蒸气对人体有何危害？
2. 试说明粉尘粒径与其对人体危害的关系。
3. 为什么说控制粉尘扩散可以用控制车间内的气流来实现？

4. 卫生标准规定的空气中有害物最高容许浓度，考虑了哪些主要因素？简要举例说明。
5. 排放标准制定时，考虑了哪些主要因素？
6. 写出下列有害物在车间空气中的最高容许浓度，并指出哪种物质的毒性最大：
CO, SO₂, HF, Cl₂, 丙烯醛, 铝烟, 五氧化砷, 氧化镉。
7. 防治工业有害物有哪些主要措施？

第二章 通风方法与全面通风量

通风的任务是以通风换气的方法改善车间的空气环境。概括地说，是把局部地点或整个房间内的污浊空气排至室外（必要时先经过净化处理），把新鲜（或经过处理）的空气送入室内。前者称为排风，后者称为进风。由实现通风任务所需要的设备、管道及其部件组成的整体，称之为通风系统。

本章介绍控制工业有害物的主要通风方法，重点阐述全面通风的基本原理。局部通风是十分有效的通风方法，设计时一般应优先考虑，将在后面章节作详细介绍。

基本要求

1. 了解主要的通风方法。
2. 熟悉局部通风系统的组成。
3. 掌握全面通风的原理，正确计算全面通风量，熟练掌握空气平衡与热平衡、气流组织。
4. 熟悉事故通风的特点及其应用。

第一节 房间通风的主要方法

按照通风动力的不同，通风可分为自然通风和机械通风。

一、自然通风

自然通风是依靠室内外空气的温度差（实质是密度差）造成的热压，或者是室外风造成的风压，使房间内外的空气进行交换，从而改善室内的空气环境。自然通风不需要另外设置动力设备，对于有大量余热的车间，是一种经济、有效的通风方法。其缺点是，无法处理进入室内的室外空气，也难以对从室内向室外排出的污浊空气进行净化处理；其次，自然通风量受室外气象条件影响，通风效果不稳定。

二、机械通风

依靠通风机作用使空气流动，造成房间通风换气的方法，称为机械通风。由于风机的风量和风压可根据需要确定，这种通风方法能保证所需要的通风量，控制房间内的气流方向和速度，对进风和排风进行必要的处理，使房间空气达到所要求的参数。因此，机械通风方法得到了广泛应用。

按照通风的作用范围，可以分为局部通风和全面通风。

三、局部通风

局部通风分为局部进风和局部排风，其基本原理都是通过控制局部气流，使局部工作范围不受有害物的污染，并且造成符合要求的空气环境。

（一）局部排风系统

典型的局部排风系统如图 2-1 所示，通常由下述几个部分组成。

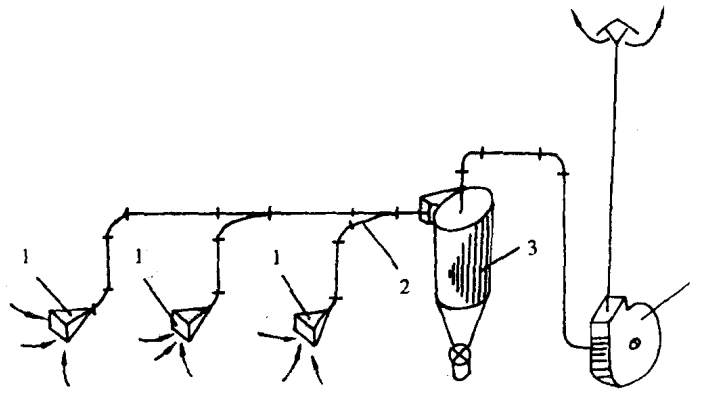


图 2-1 局部排风系统

1—排风罩；2—风管；3—净化设备；4—风机

1. 局部排风罩

局部排风罩是用来捕集有害物的装置，其设计和安装是否合理，性能是否良好，直接影响到局部排风系统的效果。性能良好的局部排风罩，如密闭罩只需较小的风量就能够获得良好的通风效果。排风罩的形式多种多样，以能和生产设备及操作条件实现良好配合的为优。

2. 风管

通风系统中用来输送气体的管道称为风管，它把系统中的各种设备和部件连接成一个整体。风管通常用薄钢板制作，也可用聚氯乙烯、玻璃钢板、混凝土板等其他材料制作。风管布置要合理，力求短、直、顺。为了保证系统的技术经济性能，风管内的流速要合理确定。

3. 净化设备

为了保护大气环境或回收原材料，当排气中的粉尘或其他有害物的含量超过排放标准时，必须采用除尘器或有害气体净化设备处理，在达到排放标准后排入大气。

4. 风机

风机由电动机带动，为空气流动提供动力。为了防止风机的磨损和腐蚀，一般把它装置在净化设备的后面。

(二) 局部送风系统

对于操作人员少，面积大的车间，用全面通风改善整个车间的空气环境，既困难又不经济，而且也无此必要。只向局部工作地点送风，在局部地点造成良好的空气环境，称此种通风方法为局部送风，也称岗位吹风。炼钢、铸造等高温车间经常采用这种通风方法。

局部送风分为系统式和分散式两种。图 2-2 是铸造车间浇注工段采用的系统式局部送风系统。送风空气一般先经处理再送入工作区。分散式局部送风一般采用轴流风扇或喷雾风扇。在散发粉尘或其他有害物的工作地点，为防止高速气流造成有害物在整个车间扩散飞扬，不宜采用分散式局部送风系统。

四、全面通风

全面通风是对整个房间进行通风换气。其基本原理是，用清洁空气稀释（冲淡）室内空气中的有害物浓度，同时不断地把污染空气排至室外，保证室内空气环境达到卫生