

高等学校建筑环境与设备工程专业规划教材

工业通风 (第四版)

孙一坚 沈恒根 主编

 中国建筑工业出版社

高等学校建筑环境与设备工程专业规划教材

工业通风

(第四版)

孙一坚 沈恒根 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工业通风/孙一坚, 沈恒根主编. —4 版. —北京:
中国建筑工业出版社, 2010

高等学校建筑环境与设备工程专业规划教材
ISBN 978-7-112-11755-0

I. 工… II. ①孙…②沈… III. 通风除尘-高等学校-教材 IV. TU834

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 010331 号

本书系统地讲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做了较为详细的介绍。增加了蒸发冷却通风、通风除尘系统的运行调节等内容。

本版在《工业通风》(第三版) 的基础上修订而成, 根据近年来工业通风技术的发展、与本专业有关的国家标准规范的修订变化以及注册公用设备工程师(暖通空调专业) 考试与通风相关的内容要求, 对本书相关内容进行了修改。新增了全面通风方式的分类、蒸发冷却通风、滤筒式除尘器、电袋组合式除尘器、通风(除尘) 系统的运行调节等内容。

责任编辑: 姚荣华 张文胜

责任设计: 崔兰萍

责任校对: 赵颖 王雪竹

高等学校建筑环境与设备工程专业规划教材

工业通风

(第四版)

孙一坚 沈恒根 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京市安泰印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 16½ 字数: 399 千字

2010 年 3 月第四版 2010 年 3 月第三十一次印刷

定价: 29.00 元

ISBN 978-7-112-11755-0

(19003)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

第四版说明

本书自1980年出版至今，历经第一版、第二版、第三版共30次印刷。由于教材内容深入浅出，结合工程实际，除满足建筑环境与设备工程专业（即原供热、供燃气、通风与空调专业）使用外，还被从事本专业的工程技术人员作为主要专业用书参考。

本书第四版由湖南大学孙一坚、东华大学沈恒根对全书进行修订和编写工作。第四版修订过程中，我们力求继承传统，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的最新成果。应该说明，第四版是在第三版基础上进行的工作，保留了原书所给出的专业基础理论方面的分析和论述。在第三版中，陈在康教授、谭天祐教授、叶龙教授等做了大量工作，第四版中也包含了他们的贡献。

本版仍保持原书的编排方式和教材风格，每章后有思考题、习题。根据近年来工业通风技术的发展、与本专业有关的国家标准规范的修订变化以及注册公用设备工程师（暖通空调专业）考试与通风相关的内容要求，对本书相关内容进行了修改。修订与编写过程中，参考了《机械工业采暖通风与空气调节设计手册》、《实用供热空调设计手册》、暖通空调有关设计标准规范及大量的刊物论文，在此向有关作者致谢。

本书在编写过程中得到中国建筑工业出版社的支持和帮助，谨致谢意。

在本书的编写过程中，还得到了中国第六机械设计研究院宋高举高工、东华大学暖通空调博士研究生周睿、刘琳、王振华等的帮助。

敬请读者对本书的不足之处，提出批评指正。

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。

前 言

通风工程在我国实现四个现代化的进程中，一方面起着改善居住建筑和生产车间的空气条件，保护人民健康、提高劳动生产率的重要作用，另一方面在许多工业部门又是保证生产正常进行，提高产品质量所不可缺少的一个组成部分。通风工程在内容上基本上可分为工业通风和空气调节两部分。工业通风的主要任务是，控制生产过程中产生的粉尘、有害气体、高温、高湿，创造良好的生产环境和保护大气环境。随着工业生产的不断发展，散发的工业有害物日益增加，例如全世界每年估计排入大气的粉尘约为1亿吨，硫氧化物(SO_x)高达1.5亿吨。这些有害物如果不进行处理，会严重污染室内外空气环境，对人民身体健康造成极大危害。例如工人长期接触、吸入SiO₂粉尘后，肺部会引起弥漫性纤维化，到一定程度便形成“硅肺”。大气污染的影响范围广，后果更加严重。我们的国家是社会主义国家，人民群众是国家真正的主人，搞好劳动保护和环境保护，为人民群众创造良好的劳动和生活环境是我们从事通风工程科研、设计和施工工作人员的崇高职责。

本教材在编写过程中，力求以阐明基本规律和基本理论为主要目的，尽量做到理论联系实际，反映本门学科的现代先进水平。

考虑到环境保护工作日益重要，本教材对除尘器的除尘机理作了较详细的阐述。关于有害气体吸收、吸附机理的介绍也适当加强，为学生今后进一步掌握这方面的理论打下初步基础。

考虑到气力输送系统在工业上的应用日益广泛，它具有工艺与除尘结合的特点，而且它的基本计算方法与通风除尘系统类似。因此，本书对气力输送系统的设计计算作了简要介绍。

测试技术是对通风系统进行检验、改进和研究的重要手段。为此本书介绍了与工业通风系统有关的常用测试仪表和测试方法。

本课程重点讲述通风排气系统及进排气的净化方法，有关进气处理的内容将在《空气调节》中讲述。有关流体力学和通风机的原理将在《流体力学泵与风机》中讲述。

本书有不足之处，恳请读者批评指正。

目 录

第1章 工业污染物及其防治的综合措施	1
1.1 颗粒物、污染气体的来源及危害	1
1.2 工业污染物在车间内的传播机理	6
1.3 气象条件对人体生理的影响	8
1.4 污染物浓度、卫生标准和排放标准	8
1.5 防治工业污染物的综合措施	11
习题	12
第2章 控制工业污染物的通风方法	13
2.1 局部通风	13
2.2 全面通风	14
2.3 蒸发冷却降温通风	26
2.4 事故通风	29
习题	29
第3章 局部排风罩	31
3.1 密闭罩	31
3.2 柜式排风罩	35
3.3 外部吸气罩	37
3.4 热源上部接受式排风罩	46
3.5 槽边排风罩	49
3.6 大门空气幕	52
3.7 吹吸式排风罩	56
习题	64
第4章 通风排气中颗粒物的净化	65
4.1 颗粒物的特性	65
4.2 除尘器效率和除尘机理	70
4.3 重力沉降室和惯性除尘器	74
4.4 旋风除尘器	76
4.5 袋式除尘器	83
4.6 湿式除尘器	92
4.7 电除尘器	97
4.8 进气净化用空气过滤器	110
4.9 除尘器的选择	113
习题	115
第5章 通风排气中有害气体的净化	118
5.1 概述	118
5.2 吸收过程的理论基础	120
5.3 吸收过程的机理	124

5.4	吸收设备	128
5.5	吸收过程的物料平衡及操作线方程式	132
5.6	吸收设备的计算	133
5.7	吸收装置设计	137
5.8	吸附法	140
5.9	有害气体的高空排放	145
	习题	148
第 6 章 通风管道的设计计算		150
6.1	风管内空气流动的阻力	150
6.2	风管内的压力分布	155
6.3	通风管道的水力计算	158
6.4	均匀送风管道设计计算	165
6.5	通风管道设计中的有关问题	170
6.6	通风(除尘)系统的运行调节	176
6.7	气力输送系统的管道计算	179
	习题	184
第 7 章 自然通风与局部送风		186
7.1	自然通风的作用原理	186
7.2	自然通风的计算	191
7.3	避风天窗及风帽	196
7.4	自然通风与工艺、建筑设计的配合	198
7.5	局部送风	201
	习题	204
第 8 章 通风系统的测试		206
8.1	通风系统压力、风速、风量的测定	206
8.2	局部排风罩风量的测定	211
8.3	颗粒物性质的测定	212
8.4	车间工作区空气含尘浓度的测定	218
8.5	管道内空气含尘浓度的测定	222
8.6	高温烟气含尘浓度的测定	225
8.7	除尘器性能的测定	229
	习题	230
附录 1 单位名称、符号、工程单位和国际单位的换算		233
附录 2 环境空气中各项污染物的浓度限值(摘自 GB 3095—1996)		234
附录 3 工作场所空气中有毒物质、粉尘容许浓度(摘自 GB Z2—2002)		234
附录 4 现有污染源大气污染物排放限值(摘自 GB 16297—1996)		237
附录 5 锅炉烟尘最高允许排放浓度和烟气黑度限值(摘自 GB 13271—2001)		241
附录 6 锅炉二氧化硫和氮氧化物最高允许排放浓度(摘自 GB 13271—2001)		241
附录 7 燃煤锅炉烟尘初始排放浓度和烟气黑度限值(摘自 GB 13271—2001)		242
附录 8 镀槽边缘控制点的吸入速度 v_x (m/s)		242
附录 9 通风管道单位长度摩擦阻力线算图		243
附录 10 局部阻力系数		244

附录 11 通风管道统一规格.....	250
附录 12 各种粉尘的爆炸浓度下限	251
附录 13 气体和蒸气的爆炸极限浓度	252
参考文献	253

第 1 章 工业污染物及其防治的综合措施

在工业生产过程中散发的各种污染物（颗粒物、污染蒸气和气体）以及余热和余湿，如果不加控制，会使室内外环境空气受到污染和破坏，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，控制工业污染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。为了控制工业污染物的产生和扩散，改善车间空气环境和防止大气污染，本章将对如下问题进行介绍与分析：

- (1) 了解工业污染物产生的原因和散发的机理；
- (2) 认识各种工业污染物对人体及工农业生产的危害；
- (3) 明确室内外环境空气要求达到的卫生标准和排放标准规定的控制目标；
- (4) 阐明改善环境空气条件的综合措施。

1.1 颗粒物、污染气体的来源及危害

1.1.1 颗粒物的来源及其对人体的危害

(1) 颗粒物的来源

颗粒物（PM, Particles Mater 的简写）是指能在空气中浮游的微粒，有固态颗粒物、液态颗粒物，工业领域中大多是粉尘，即固态颗粒物，它主要产生于冶金、机械、建材、轻工、电力等许多工业部门的生产过程，本书中若无特指均指固体颗粒物。其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。烟气中 SO_2 、 NO_x 进入大气衍生的硫酸盐、硝酸盐微粒。

第 1)、2) 两种来源属于物料物理形态与尺度的变化产生的颗粒物，其尺度相对较大，称为灰尘。第 3) 种来源属于物料的化学变化产生的颗粒物，若化学变化的残灰随烟进入气体中，则颗粒物尺度相对较大，常见为烟尘。如果其残灰未进入气体中，则气体中的颗粒物尺度相对较小，称为烟。例如香烟燃烧产生的烟和烟灰，其中烟的颗粒物尺度较小，达到微米级及其以下，而烟灰的颗粒物尺度相对较大。第 4) 种来源属于气态相变成固态产生的颗粒物，其尺度也比较小。

当一种物质的微粒分散在另一种物质之中可以构成一个分散系统，我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，

通称为含尘气体，当分散在气体中的微粒为液体时，通称为雾。

按照环境空气质量，对颗粒物分类为：

总悬浮颗粒物（TSP，Total Suspended Particle 的简写）：指悬浮在空气中，空气动力学当量直径 $\leq 100\mu\text{m}$ 的颗粒物。

可吸入颗粒物（ PM_{10} ）：指悬浮在空气中，空气动力学当量直径 $\leq 10\mu\text{m}$ 的颗粒物。

呼吸性颗粒物（ $\text{PM}_{2.5}$ ）：指悬浮在空气中，空气动力学当量直径 $\leq 2.5\mu\text{m}$ 的颗粒物。

按照气溶胶的来源及性质，可分为：

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”或可悬浮颗粒物。主要来源于工业排尘、建筑工地扬尘、道路扬尘等。

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 $0.010\sim 1.0\mu\text{m}$ ，一般在 $0.50\mu\text{m}$ 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，有较强的扩散能力。主要来源于工业炉窑、餐饮炉灶等。

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 $0.10\sim 10\mu\text{m}$ 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合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烟雾，亦称洛杉矶烟雾。

（2）颗粒物对人体的危害

工业污染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。

颗粒物对人体健康的危害与颗粒物的性质、粒径大小和进入人体的颗粒物量有关。颗粒物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。有些毒性强的金属颗粒物（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，以及使肺癌发病率增加。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。颗粒物中的一些重金属元素对人体的危害很大。

一般颗粒物进入人体肺部后，可能引起各种尘肺病。有些非金属颗粒物如硅、石棉、炭黑等，由于吸入人体后不能被排除，将变成硅肺、石棉肺或尘肺。例如含有游离二氧化硅成分的颗粒物，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“硅肺”病。

颗粒物粒径的大小是危害人体健康的另一个重要因素。它主要表现在以下两个方面：

微细颗粒物粒径小，在空气中不易沉降，也难以被捕集，造成长期空气污染，同时容易随空气吸入进入到人的呼吸系统深部。一般来讲，人呼吸接触的是 TSP，较粗的颗粒物被人的鼻腔阻拦或口腔沉积，粒径小于 $10\mu\text{m}$ 的 PM_{10} 颗粒物可以进入人的气管、支气

管中。支气管表面具有长着可以蠕动的纤毛，这些纤毛可以将沉积的颗粒物随黏液送到咽喉，然后被人咳出去或者咽到胃里。粒径小于 $2.5\mu\text{m}$ 的 $\text{PM}_{2.5}$ 微细颗粒物能够进入由纤维和肺泡组成肺部。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，使其成为吸收污染物的主要地点。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。颗粒物若沉积在肺部纤维上破坏其活动性，大量沉积会导致尘肺，使人的呼吸能力显著下降。

从上述分析可以看出， $2.5\mu\text{m}$ 以下的颗粒物对人体危害较大。据实测，生产车间尘点空气中的颗粒物粒径大多在 $10\mu\text{m}$ 以下，而且 $2.5\mu\text{m}$ 以下者约占 $40\%\sim 90\%$ 。对于呼吸能力强的人员来讲，更粗的颗粒物进入人体内部的可能性大；环境中颗粒污染物浓度越大，颗粒物进入人体的量越大。

颗粒物粒径小，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，颗粒物的表面可以吸附空气中的污染气体、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。

铅尘还能大量吸收太阳紫外线短波部分，对儿童的生长发育产生影响。

1.1.2 污染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，均产生大量的污染蒸气和气体。

污染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污染蒸气和气体，说明它们对人体的危害。

(1) 汞蒸气 (Hg)

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 (Pb)

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、食欲不振等症状，严重时可以出现中毒性脑病。

(3) 苯 (C_6H_6)

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 (CO)

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 (SO₂)

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_x 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，NO₂ 会迅速破坏肺细胞，可能是肺气肿和肺癌的病因之一。NO₂ 浓度在 1.0~3.0ppm^① 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。

根据污染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，工业污染物对人体的危害程度取决于下列因素：

(1) 污染物本身的物理、化学性质对人体产生污染作用的程度，即毒性的大小。

污染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的生理机能，引起某些器官和系统发生暂时性或永久性病变，称为中毒。不同的污染物，其毒性有大有小。在生产环境中，往往同时存在两种以上的污染物，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），这些也都与污染物的性质有关。

(2) 污染物在空气中的含量，即浓度的大小。

(3) 污染物与人体持续接触的时间。

进入机体内的污染物质在其未失去活性之前，毒性作用可表示为：

$$k=ct \quad (1-1)$$

式中 k ——某种可观察到的毒性作用；

c 、 t ——分别为污染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，反映污染物进入机体的数量。如果进入人体的污染物质不足，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 ，污染物在这个最低浓度以下，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。因为这种浓度的污染物，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：

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

(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条件下，一定浓度的污染物可能产生不同的危害

^① ppm——part per million，百万分之几，在工业通风中，1ppm=1mL/m³。

作用。潮湿时会促使某些污染物的毒性增大；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，从而增加吸收污染物的速度。

劳动强度对污染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污染物所致的缺氧更为敏感。

在同样条件下接触污染物时，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。

1.1.3 颗粒物、污染蒸气和气体对生产的影响

颗粒物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，要是被固态颗粒物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固态颗粒物控制不严而受到许多损失。

颗粒物还使光照度和能见度降低，影响室内作业的视野。

有些颗粒物如煤尘、铝粉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。

污染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气时，会对金属材料、油漆涂层产生腐蚀作用，缩短其使用寿命。

污染气体对农作物的危害表现为三种情况：

- (1) 在高浓度污染气体影响下，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) 在低浓度污染气体长期影响下，产生慢性危害，使植物叶片退绿；
- (3) 在低浓度污染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。

对农作物危害较普通的污染气体有：二氧化硫、氟化氢、二氧化氮和臭氧等。

1.1.4 工业污染物对大气的污染

工业污染物不仅会危害室内空气环境，如不加控制地排入大气，还会造成大气污染，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SO₂。在第二阶段，随着工业的发展，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SO₂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，重视环境保护，经过严格控制、综合治理，环境污染基本得到控制，环境质量明显改善。

目前，由于能源结构的特点与区域社会经济差异性的差异性，在工业化国家发生的大气污染三个阶段，在我国表现出逐段发生或共存状态。我国的能源结构主要以煤为主，燃煤过程产生的主要大气污染物为烟尘、SO₂和NO_x等。在运输和交通工具使用的汽车数量上也呈现出快速发展的态势，汽车尾气污染逐渐成为城市环境的主要污染物。

在城市与城镇化建设、工业建设发展过程中，我国十分重视节能减排和生态环境的保护工作，在国民经济高速发展的同时不得以牺牲生态环境为代价已为社会共识，国家在有关大气污染控制和改善环境的法律法规中，对各类污染排放物都提出了严格的排放限值要求，尤其是在国民经济高速增长的同时国家都提出污染排放量减排指标。通过在环境综合

治理、清洁生产、污染控制技术等方面的实施，我国的环境空气质量已经得到了明显改善。

1.2 工业污染物在车间内的传播机理

颗粒物、污染气体都要经过一定的传播过程，扩散到空气中去，再与人体接触。使颗粒物从静止状态变成悬浮于周围空气中的作用，称为“尘化”作用。它包括一次尘化过程和二次尘化过程。首先讨论颗粒物在车间环境空气中的传播过程。

根据颗粒物的运动方程，可以分析一个直径为 $10\mu\text{m}$ 、密度为 $2700\text{kg}/\text{m}^3$ 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 $0.0080\text{m}/\text{s}$ ，与一般车间具有的空气流动速度（ $0.20\sim 0.30\text{m}/\text{s}$ ）相比是很小的。这说明，颗粒物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 1s 内运动的距离只有 $1.2\times 10^{-8}\text{m}$ ，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 ——空气的动力黏度， $\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。

设上述尘粒以初速度 $v_0 = 10\text{m}/\text{s}$ 作水平运动，经过 0.01s 后，尘粒的速度迅速降到 $5\times 10^{-5}\text{m}/\text{s}$ ，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。因此，颗粒物不具有独立运动的能力，它运动的主要能量来自环境气流的作用。

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一次尘化气流，一次尘化造成局部区域空气污染。处于悬浮状态的颗粒物进一步扩散污染到整个环境空间的尘化作用称为二次尘化作用，引起二次尘化作用的气流称为二次尘化气流。

常见的一次尘化作用有：

(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地挤压出来。当这些气流向外高速运动时，出于气流和固态颗粒物的剪切压缩作用，带动固态颗粒物一起逸出，如图 1-1 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 1-2 所示。

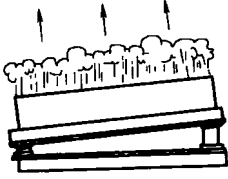


图 1-1 剪切气流造成的尘化

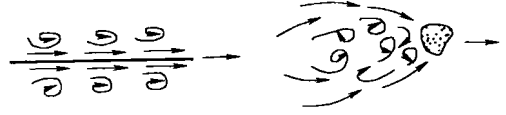


图 1-2 惯性物诱导气流造成的尘化

图 1-3 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，使磨削下来的细固态颗粒物随其扩散。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 1-4 所示，皮带输送机输送的粉料从高处下落到地面时，由于气流和颗粒物的剪切作用，被物料挤压出来的高速气流会带着颗粒物向四周飞溅。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，会带着颗粒物一起运动。

二次尘化作用的气流主要有车间内的自然风气流、机械通风气流、惯性物诱导气流、冷热气流对流等。二次尘化气流带着局部地点的含尘空气在整个车间内流动，使颗粒物污染扩散到整个车间。二次气流速度越大，作用越明显，如图 1-5 所示。

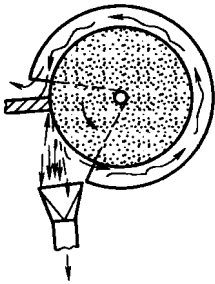


图 1-3 惯性气流诱导粉尘

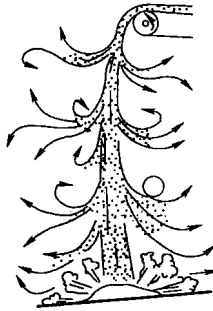


图 1-4 综合性尘化作用

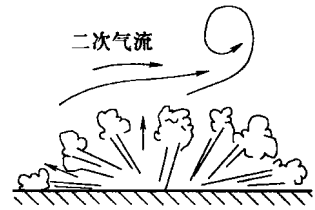


图 1-5 二次气流对粉尘扩散的作用

通过以上分析可以看出，防治一次尘化作用主要从工艺过程控制或改革工艺来解决。颗粒物是依附于气流而运动的，只要控制好作用于颗粒物的气流流动，就可以控制颗粒物的二次尘化作用，改善车间空气环境。这就是采用通风方法控制工业污染物，必须合理组织车间内气流的主要原因。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，避免颗粒物传播。

污染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。由于污染气体和蒸气自身的扩散能力有限，因此它们大多和固态颗粒物一样，是随室内气流运动在室内传播的。

1.3 气象条件对人体生理的影响

本节分析影响室内气象条件的环境参数：空气的温度、相对湿度、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（36.5~37℃）。

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、辐射和表面汗液蒸发三种形式进行，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。当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；当空气温度等于体温时，对流换热完全停止；当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）的表面温度。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，人会感到闷热。相对湿度愈低，空气流速愈大，则汗液愈容易蒸发。

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。

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
工作地点与室外温度(℃)	10	9	8	7	6	5	4	3	2

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 2.0℃。同时应在工作地点附近设置工人休息室，休息室的温度可以按空调设计温度选取。

1.4 污染物浓度、卫生标准和排放标准

1.4.1 污染物浓度

污染物对人体的危害，不但取决于污染物的性质，还取决于污染物在空气中的含量。