

通风工程

平 顶 山 工 学 院

序

建筑环境与设备工程专业是 1998 年教育部新颁布的全国普通高等学校本科专业目录，将原“供热通风与空调工程”专业和“城市燃气供应”专业进行调整、拓宽而组建的新专业。专业的调整不是简单的名称的变化，而是学科科研与技术发展，以及随着经济的发展和人民生活水平的提高，赋予了这个专业新的内涵和新的元素，创造健康、舒适、安全、方便的人居环境是 21 世纪本专业的重要任务。同时，节约能源、保护环境是这个专业及相关产业可持续发展的基本条件，因而它们和建筑环境与设备工程专业的学科科研与技术发展总是密切相关，不可忽视。

作为一个新专业的组建及其内涵的定位，它首先是社会需求所决定，也是和社会经济状况及科学技术的发展水平相关的。我国的经济持续高速发展和大规模建设需要大批高素质的本专业人才，专业的发展和重新定位必然导致培养目标的调整和整个课程体系的改革。培养“厚基础、宽口径、富有创新能力”能符合注册公用设备工程师执业资格并能与国际接轨的多规格的专业人才以满足需要，是本专业教学改革的目的。

机械工业出版社本着为教学服务，为国家建设事业培养专业技术人才，特别是为培养工程应用型和技术管理型人才做贡献的思想，积极探索本专业调整和过渡期的教材建设，组织有关院校具有丰富教学经验的教授、副教授主编了这套建筑环境与设备工程专业系列教材。

这套系列教材的编写以“概念准确、基础扎实、突出应用、淡化过程”为基本原则，突出特点是既照顾学科体系的完整，保证学生有坚实的数理科学基础，又重视工程教育，加强工程实践的训练环节，

培养学生正确判断和解决工程实际问题的能力，同时注重加强学生综合能力和素质的培养，以满足 21 世纪我国建设事业对专业人才的要求。

我深信，这套系列教材的出版，将对我国建筑环境与设备工程专业人才的培养产生积极的作用，会为我国建设事业做出一定的贡献。

陈在康
2005 年 1 月于长沙

前 言

《通风工程》是普通高等学校建筑环境与设备工程专业主干课程教材之一，本教材可以作为建筑环境与设备工程和采矿工程两个专业的本科生教学用书，按 50~60 课时编写。

本书介绍了工业有害物种类及其来源和危害，系统讲述了消除工业和民用建筑空气中所含有害物的各种通风方法，包括全面通风、局部通风、隧道通风、防排烟通风、空气净化原理与设备、通风管道设计计算、测量调试等内容。本书注重基本概念、基本原理、基本方法，同时注重对学生工程设计基本技能的培养，内容全面、详实，各章之间联系紧密但又相对独立，便于教师在讲解中取舍和学生自学。

与一般通风教材相比，本书在强化基础知识的同时，试图在加强实践能力培养、反映最新科技成果上做些工作。具体体现在以下几个方面：

(1) “置换通风”和“防排烟通风”是近年来发展起来的新兴通风方式，为了适应工程应用的需要，本文介绍了其基本原理和设计要点。

(2) “自然通风”一章中，为适应建筑节能和以人为本设计理念的要求，增加了对生态建筑通风方式的介绍。

(3) “隧道通风”在工业和民用建筑中使用越来越多，本书增加了这部分内容，既可满足采矿工程专业的教学要求，又可扩充本专业学生的知识面。

(4) 近年来，在民用建筑通风空调工程中，出现了诸如非平衡等离子、光催化、负离子和臭氧净化等新概念，本书在净化原理与设备一章中做了介绍。

(5) 在“测量与调试”一章中，增加了有害气体的测量内容，教

学中可根据实际需要予以删减。

全书共分九章，由株洲工学院王汉青教授拟定全书内容和编写提纲并编写第8章、与姬长发合作编写第1章、与李向阳合作编写第7章，湖南工程学院李小华（第2章），株洲工学院付峥嵘（第3章），湖南科技大学刘荣华（第4章），西安科技大学姬长发（第5章），南华大学李向阳（第6章），平顶山工学院王洪义（第9章）参加了本书的编写。全书由王汉青教授统稿。

本书由博士生导师王汉青教授主编，姬长发教授、李向阳副教授任副主编，湖南大学博士生导师汤广发教授主审。

本书引用了许多资料（数据、图表、例题等），谨向有关文献的作者表示衷心感谢，研究生王智勇在本书编写中做了不少工作，在此一并表示衷心感谢。

由于编者的水平有限，书中错误和不足之处，敬请专家和读者批评指正，编者不胜感谢。

编 者

目 录

序

前言

第 1 章 概述	1
1.1 工业有害物及其卫生毒理学基础	1
1.1.1 工业有害物的种类与来源	1
1.1.2 工业有害物卫生毒理学基础	4
1.1.3 工业有害物对工农业生产的影响	9
1.1.4 工业有害物对大气环境的影响	10
1.2 气象条件对人体生理的影响	11
1.2.1 人体与周围环境的热交换	11
1.2.2 影响人体热舒适的基本参数	12
1.3 空气中有害物含量与有关标准	13
1.3.1 有害物浓度	13
1.3.2 卫生标准	14
1.3.3 排放标准	14
1.4 防治有害物的通风方法	15
1.4.1 有害物在室内的传播机理	15
1.4.2 防治有害物的通风方法	17
1.4.3 防治有害物的综合措施	19
习题	19
参考文献	20
第 2 章 全面通风	21
2.1 全面通风换气量的确定	21
2.1.1 全面通风换气的基本微分方程式	21
2.1.2 全面通风量的确定	24
2.1.3 有害物散发量的计算	26
2.1.4 气流组织	26
2.1.5 空气平衡和热平衡	29
2.2 置换通风	32
2.2.1 评价通风效果的指标	32
2.2.2 置换通风的原理	34
2.2.3 置换通风的特性	35

2.2.4 置换通风的设计	36
2.3 事故通风	39
习题	39
参考文献	40
第3章 自然通风	41
3.1 自然通风作用原理	41
3.1.1 热压作用下的自然通风	42
3.1.2 风压作用下的自然通风	45
3.1.3 热压与风压联合作用下的自然通风	46
3.2 工业厂房自然通风的计算	47
3.2.1 设计性计算的步骤	48
3.2.2 校核性计算的步骤	51
3.2.3 计算实例	53
3.3 自然通风与建筑设计	55
3.3.1 建筑总平面规划	56
3.3.2 建筑形式的选择	56
3.3.3 工艺布置	58
3.3.4 避风天窗及风帽的设计	58
3.3.5 生态建筑的自然通风	60
习题	64
参考文献	65
第4章 局部通风	66
4.1 概述	66
4.1.1 局部排风	66
4.1.2 局部送风	67
4.2 局部排风的设计原则	67
4.2.1 局部排风系统划分的原则	68
4.2.2 局部排风罩的形式及设计原则	68
4.2.3 局部排风的净化处理	69
4.3 排风罩设计计算理论	69
4.3.1 排风罩口的气流运动规律	69
4.3.2 排风罩排风量计算方法	73
4.4 密闭罩	75
4.4.1 工作原理	75
4.4.2 密闭罩的基本形式	75
4.4.3 影响密闭罩性能的因素	76
4.4.4 密闭罩计算	77
4.5 柜式排风罩	78

4.5.1 柜式排风罩的形式	78
4.5.2 柜式罩排风量的计算	80
4.5.3 柜式排风罩设计的注意事项	80
4.6 外部吸气罩	80
4.6.1 外部吸气罩排风量计算	81
4.6.2 外部排风罩设计应注意的事项	84
4.7 热源上部接受式排风罩	85
4.7.1 热射流及其计算	85
4.7.2 热源上部接受罩的排风量计算	87
4.8 槽边排风罩	89
4.8.1 槽边排风罩的结构形式	89
4.8.2 排风量计算公式	90
4.9 吹吸式排风罩	92
4.9.1 吹吸式排风罩的形式	92
4.9.2 吹吸罩的设计计算	93
4.10 排风罩的其他形式	94
4.10.1 屋顶集气罩	94
4.10.2 气幕式排风罩	95
4.11 局部送风	96
习题	100
参考文献	101
第5章 隧道通风	103
5.1 概述	103
5.2 常用的隧道通风方法	104
5.2.1 自然通风	104
5.2.2 机械通风	107
5.3 隧道施工通风	107
5.3.1 施工通风控制条件	107
5.3.2 施工通风方式的选择	108
5.3.3 施工作业面通风量计算	112
5.3.4 施工通风管理与设备的配置	113
5.4 营运隧道的通风	114
5.4.1 通风要求	114
5.4.2 通风量和风压	115
5.4.3 通风方式的选择	116
习题	119
参考文献	120
第6章 空气净化原理与设备	121

6.1 概述	121
6.1.1 净化装置的性能	122
6.1.2 净化装置的分类	125
6.1.3 净化装置的选择	126
6.2 粉尘的净化	127
6.2.1 粉尘的特性、除尘机理	127
6.2.2 重力沉降室、惯性除尘器	130
6.2.3 旋风除尘器	134
6.2.4 湿式除尘器	143
6.2.5 过滤式除尘器	145
6.2.6 电除尘器	156
6.3 有害气体的净化	171
6.3.1 概述	171
6.3.2 吸收与吸附原理	173
6.3.3 吸收与吸附装置	184
6.4 净化新方法	188
6.4.1 非平衡等离子体空气净化	188
6.4.2 光催化净化方法	190
6.4.3 负离子净化方法	192
6.4.4 臭氧净化方法	195
习题	197
参考文献	199
第7章 防烟排烟通风	201
7.1 概述	201
7.1.1 作用与功能	201
7.1.2 防排烟系统适用范围	202
7.1.3 防火和防烟分区	203
7.1.4 安全疏散	204
7.1.5 建筑物烟气流动特性	205
7.1.6 防排烟设计程序	208
7.2 防烟通风设计	209
7.2.1 机械防烟加压送风系统的风量	209
7.2.2 加压送风防烟系统设计	209
7.3 排烟通风设计	212
7.3.1 机械排烟系统的组成	212
7.3.2 排烟系统的设计	215
7.3.3 高层建筑地下车库的机械排烟设计	217
7.4 防排烟系统设施与控制	222

7.4.1 防排烟设施	222
7.4.2 防排烟电气控制	228
7.5 人防地下室通风设计	230
7.5.1 概述	230
7.5.2 防护通风设计要点	231
7.5.3 防护通风的进风系统设置	232
7.5.4 防护通风排风系统设置	234
习题	236
参考文献	237
第8章 通风管道系统的设计计算	238
8.1 风管内气体流动的流态和阻力	238
8.1.1 两种流态及其判别分析	238
8.1.2 风管内空气流动的阻力	239
8.2 风管内的压力分布	246
8.2.1 动压、静压和全压	247
8.2.2 风管内空气压力的分布	247
8.3 通风管道的水力计算	250
8.3.1 风道设计的内容及原则	250
8.3.2 风道设计的方法	251
8.3.3 风道设计的步骤	251
8.4 均匀送风管道设计计算	261
8.4.1 均匀送风管道的设计原理	261
8.4.2 均匀送风管道的计算	264
8.5 通风管道设计中的常见问题及其处理措施	268
8.5.1 系统划分	268
8.5.2 风管的布置、选型及保温与防腐	269
8.5.3 进排风口布置	272
8.5.4 防爆及防火	272
8.6 气力输送系统的管道设计计算	273
8.6.1 气力输送系统的分类和特点	275
8.6.2 气力输送系统设计计算	276
习题	285
参考文献	286
第9章 通风系统的测量与调试	287
9.1 通风系统风压、风速、风量的测定	287
9.1.1 测定断面和测点的确定	287
9.1.2 管内压力的测量	289
9.1.3 管内流速的计算	291

9.1.4 管内流量的计算	292
9.1.5 集气口测流量法	292
9.1.6 用于含尘气流的测压管	294
9.2 含尘浓度测定	295
9.2.1 粉尘主要物理性质的测定	295
9.2.2 空气中粉尘浓度的测定	308
9.2.3 高温烟气含尘浓度的测定	317
9.3 气体浓度测定	321
9.3.1 二氧化硫的测定	321
9.3.2 氮氧化物 (NO_x) 的测定	328
9.3.3 一氧化碳的测定	331
9.3.4 臭氧的测定	338
9.3.5 总烃及非甲烷烃的测定	340
9.3.6 氟化物的测定	343
9.4 净化系统性能测定	344
9.4.1 局部排风罩的性能测定	344
9.4.2 除尘器性能的测定	346
9.4.3 风机性能的测定	347
9.5 矿井井下通风系统阻力的测定	349
9.5.1 风阻力 h_R 测算	349
9.5.2 立井通风阻力测定	351
9.5.3 测定结果可靠性检查	353
9.6 系统调试与运行	353
9.6.1 通风系统的调试	353
9.6.2 通风系统的运行管理	354
参考文献	356
附录	357
附录1 居住区大气中有害物质的最高容许浓度	357
附录2 车间空气中有害物质的最高容许浓度	357
附录3 镀槽边缘控制点的吸入速度 v_x	360
附录4 通风管道单位长度摩擦阻力线算图	362
附录5 部分常见管件的局部阻力系数	363
附录6 通风管道统一规格	378
附录7 各种粉尘的爆炸浓度下限	381
附录8 气体和蒸气的爆炸极限浓度	381

第 1 章

概 述

随着我国工业生产的快速发展,工业有害物的散发量日益增加,环境污染问题越来越严重。严重的环境污染和生态破坏给经济社会发展带来了负面影响。工业生产过程伴随着数以亿吨计的有害物排放,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。特别是工矿企业,工人长期接触、吸入 SiO_2 等粉尘后,肺部会引起弥漫性纤维化,到一定程度便形成“矽(硅)肺”。对一些特殊行业,如制药、航天、电子、建材等,如果没有相应的技术加以控制,粉尘在危害人体健康的同时,也严重影响企业产品质量,使生产无以为继。通风工程正是基于以上原因,针对居住建筑和生产车间的空气条件,一方面起着改善室内空气品质、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起着保证生产正常进行,提高产品质量的作用。通风工程的主要任务是,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。

1.1 工业有害物及其卫生毒理学基础

1.1.1 工业有害物的种类与来源

工业生产中有许多伴随产品的加工过程而向环境散发出不同形态、不同性质的有害物质,如铸造、喷砂过程中飞扬的硅尘,纺织生产中散发的纤维尘,电镀生产中散发的酸、碱、铬雾,熔铜炉散发的氧化锌尘,化工生产中散发的溶剂气体以及热加工生产中散发的热、水蒸气等,均不同程度的对人体造成危害。因此,了解环境中存在的有害物质的形态、性质及其危害,对通风工程来说是十分重要的。

1. 工业有害物的种类

空气中有害物质的种类不同,其治理措施也大有差别。空气中有害物质的种

类可归纳如下:

(1) 粉尘 粉尘是指分散于气体中的细小固体粒子, 这些细小粒子通常是由煤、矿石和其他固体物料在运输、筛分、研磨、粉碎、加工等工艺过程中散发出来的, 一般都具有与母料相同的物理、化学性质, 但形态极不规则。其粒度范围相当广, 粗大的可达 $200\mu\text{m}$, 微细的小至 $0.25\mu\text{m}$ 以下 (只能用超倍显微镜才能观察到)。其在空气中的数量及分布状况取决于它们的重力特性。

一种物质的微粒分散在另一种物质中组成一个分散系统, 一般把固体或液体微粒分散在气体介质中所构成的分散系统称为气溶胶。按照微粒的来源及物理性质, 气溶胶可细分为灰尘、烟、雾等种类。

1) 灰尘 (dust)。指所有固态分散性微粒。粒径在 $10\mu\text{m}$ 以上的较大微粒沉降速度快, 经过一定时间后会沉降到地面或其他物体上, 成为“降尘”或“落尘”; 粒径在 $10\mu\text{m}$ 以下的会悬浮在空气中成为“浮尘”或“飘尘”, 大气中飘尘大多粒径为 $0.1 \sim 10\mu\text{m}$ 。飘尘容易随呼吸而进入呼吸道, 粒径更小的可通过呼吸道到达支气管和肺部, 这对人体的危害极为严重。因此通风除尘, 除了捕集粒径较大的粉尘外, 为了改善作业空气环境则应提高对 $5\mu\text{m}$ 以下飘尘的捕集效率。

2) 烟 (smoke)。指所有凝聚性固态微粒, 以及液态粒子和固态粒子因凝聚作用而生成的微粒, 通常是在燃烧、熔炼及熔化过程中受热挥发, 直接升华为气态, 然后冷凝所形成的。由于烟在形成过程中往往伴随着氧化反应, 所以其成分与母料不同。烟的粒径一般在 $1\mu\text{m}$ 以下, 在空气中沉降很慢, 由于强烈的布朗运动, 扩散能力很强。

3) 雾 (mist)。指所有液态分散性微粒的液态凝聚性微粒。雾是液体受机械力的作用分裂或蒸气在凝结核上凝结而成的。如化工生产过程中产生的酸、碱雾, 镀铬过程产生的铬雾、喷漆过程飞溅的漆雾以及油雾等。粒径在 $0.1 \sim 10\mu\text{m}$ 之间; 不论雾是如何形成的, 其形状都是球形。

4) 烟雾 (smog)。烟雾是烟和雾的混合物。主要分两种: 一种是伦敦烟雾, 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, 对应于早期以燃煤为主要污染源的煤烟型污染; 还有一种叫洛杉矶烟雾, 是汽车和工厂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, 亦称光化学烟雾, 对应于近代燃油型污染。

(2) 气体 气体就是在常温、常压下, 在空气中呈现气态的物质。只有在高压、低温情况下才能液化。如煤气、氨气、氯气、一氧化碳等。

(3) 蒸气 蒸气是固体直接升华或液体蒸发所形成的气态物质。当温度降低时, 它又可恢复成原来的固态或液态。如溶剂蒸发的蒸气、磷蒸气、汞蒸气等。

在工业有害物中, 主要指能对人体造成伤害的有害气体和蒸气。

(4) 热 在生产过程中散发的热,包括对流热、辐射热,它们直接影响工作区的空气温度,影响人体舒适性和劳动效率。

上述有害物质在通风工程上概括为:粉尘、有害气体与蒸气、余热和余湿。

2. 工业有害物的来源

(1) 粉尘的来源 粉尘主要来源有以下几个方面:

1) 固体物料的破碎和研磨。

2) 粉状物料的混合、筛分、包装及运输。

3) 可燃物的燃烧与爆炸,例如,煤或木材等炭化物燃烧时产生的烟尘。

4) 生产过程中物质加热产生的蒸气在空气中的氧化和凝结,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。

(2) 有害气体、蒸气的来源 在化工、造纸、纺织物漂白、金属冶炼、浇铸、电镀、酸洗、喷漆等工业生产过程中常常会产生有害气体与蒸气。

(3) 矿井内有害物质的来源 矿井内空气中除有氧气(O_2)、氮气(N_2)、二氧化碳(CO_2)、水蒸气(H_2O)以外,还混有各种有害气体,如沼气(CH_4)、一氧化碳(CO)、硫化氢(H_2S)、二氧化硫(SO_2)、二氧化氮(NO_2)、氨气(NH_3)、氢气(H_2)和矿尘等。

1) 二氧化碳(CO_2)。二氧化碳的主要来源有:有机物的氧化;人员的呼吸;煤和岩石的缓慢氧化,以及矿井水与碳酸性岩石的分解作用;爆破作业,矿井内火灾,煤炭自燃以及瓦斯、煤尘爆炸时,也能产生大量二氧化碳。此外,有的煤层或岩层能长期连续放出二氧化碳,甚至有的煤层在短时间内大量喷出或与大量煤粉同时喷出二氧化碳。发生这种现象时,往往会造成严重破坏性事故。

2) 一氧化碳(CO)。一氧化碳为无色、无味气体,来源于物质的不完全燃烧,对空气的相对密度为0.967,微溶于水,但易溶于氨水,与酸、碱不起反应,只能被活性炭少量吸附。矿井内爆破作业、煤炭自燃以及发生火灾或煤尘、瓦斯爆炸时都能产生一氧化碳。

3) 硫化氢(H_2S)。硫化氢是一种无色、带有臭鸡蛋气味的有毒气体,易溶于水。矿井内的 H_2S 主要是由硫化矿物水化和坑木等有机物腐烂所产生的。

4) 氮氧化物(NO_x)。空气成分中氮的氧化物主要是 NO_2 ,在燃烧、电镀、化工和矿井内进行爆破作业时会产生一系列氮的氧化物,如 NO 、 NO_2 , NO 在空气中又被氧化成 NO_2 。

5) 二氧化硫(SO_2)。二氧化硫为无色气体,具有强烈的硫磺气味及酸味,对空气的相对密度为1.434,易积聚在巷道底部,易溶于水。在化学纸浆和制酸工艺以及矿井内含硫矿物氧化或燃烧、含硫矿物爆破都会产生 SO_2 。含硫矿层也会涌出 SO_2 。

6) 甲烷 (CH_4)。甲烷为煤矿开采过程中,从煤层中释放出来的气体,也是煤矿中经常遇到的主要的有害气体。

7) 其他有害物质。矿井内空气除了上述有害气体外,还含有其他一些有害物质,如在采掘生产过程中所产生的煤和岩石的细微颗粒(统称为矿尘)。矿尘对矿井内空气的污染不容忽视。矿尘对矿井生产和人体都有严重危害。煤尘能引起爆炸,矿尘能引起矿工矽肺病。

1.1.2 工业有害物卫生毒理学基础

1. 有害物侵入人体的途径

有害物质的有害作用在于侵入人体。侵入人体的途径有下面三条:

(1) 呼吸道 正常的人每天要呼吸 $10 \sim 15\text{m}^3$ 的空气,吸入的空气经过鼻腔、咽部、喉头、气管、支气管后进入肺泡,并在肺泡内进行新陈代谢。若有害物质随空气被吸入,轻者会使上呼吸道受到刺激而有不适感,重者就会发生呼吸器官的障碍,使呼吸道和肺发生病变,造成支气管炎、支气管哮喘、肺气肿和肺癌等疾病。若突然吸入高浓度污染物,可能会造成急性中毒,甚至死亡。据统计,大约有 95% 的工业中毒都是通过呼吸道入侵所致。

(2) 皮肤和粘膜 有些有害物质,能够通过皮肤和粘膜侵入人体。它是经过毛囊空间,通过皮脂腺而被吸收;有的是通过破坏了的皮肤入侵;也有的通过汗腺侵入人体。一般经皮肤、粘膜侵入的有害物质都具有下面的性质:

1) 能溶于脂肪或类脂肪的物质:如有机铅化合物、有机磷化合物、有机锡化合物、苯的硝基化合物和氨基化合物以及苯、醇类化合物等。

2) 能与油脂的脂酸根相结合的物质:如汞及汞盐类、砷的氧化物及砷盐类等。

3) 具有腐蚀性的物质:如酸、碱、酚类等。

经皮肤吸收的有害物量的多少,除与脂溶性、水溶性和浓度有关外,还与环境温度、相对湿度、劳动强度等因素有关。环境温度高、湿度大、劳动强度大,则发汗量多,这样有害物质就容易粘附在皮肤上而被吸收。反之,吸收量可减少。因此,改善环境的温度、湿度条件,是减少有害物经皮肤入侵的重要措施。

(3) 消化道 在工业生产中,有害物质单纯从消化道侵入而吸收者为数不多。但是由呼吸道侵入的毒物,有可能随呼吸道的分泌物部分吞咽进入消化道后被吸收。这种通过消化道侵入有害物的危害性比前两条途径的要小得多。

2. 粉尘对人体的危害

粉尘对人体健康的影响取决于粉尘的性质、粒径及浓度。对人体的危害主要表现在以下两个方面。

(1) 引起尘肺病 一般粉尘进入人体肺部后,可引起各种尘肺病。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（硅）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，使肺组织硬化而失去呼吸功能，发生“矽（硅）肺”病。

(2) 引起中毒甚至死亡 有些毒性强的金属粉尘（铬、锰、镉、铅、镍等）进入人体后，会引起中毒以致死亡。例如铅使人贫血，损伤大脑；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功能不全等。粉尘中的一些重金属元素对人体的危害很大。表1-1示出了某些工业粉尘及其可能引起的疾病。

表 1-1 工业粉尘及其可能引起的疾病

粉尘的种类	可引起的疾病
燃烧排放的烟尘	佝偻病
氧化铅、铬化合物、氟化合物 铝、铁、锌尘 植物尘 羽毛、毛发	中毒性疾病 金属热症 枯草热症 哮喘症
无机和有机物粉尘 悬浮硅石粉 炭粉 铁粉 铝粉 香烟尘	慢性支气管炎 矽肺 炭肺 铁肺 铝肺 香烟尘肺
焦油 镭放射性矿物粉尘 石英石粉、铬化合物尘 氧化铁粉尘	肺癌
无机和有机物粉尘	流行性病、白喉、结核病
氟及氟化物尘 镍尘 可可、焦油	氟黑皮肤病及皮肤癌 镍湿疹 皮肤癌

3. 有害气体和蒸气对人体的危害

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、腐蚀性等四类。下面列举几种常见气体（蒸气）对人体的危害。

(1) 汞蒸气（Hg） 汞蒸气是一种剧毒物质。即使在常温或0℃以下汞也会大量蒸发，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、贫血和体重减轻等症状。职业中毒以慢性中毒较多。

(2) 铅 (Pb) 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,损害骨髓造血系统引起贫血。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。

(3) 苯 (C_6H_6) 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,有作为溶剂和粘合剂用于造漆、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中。苯进入人体的途径是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、欣快感,步态不稳,以及头晕、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。长期反复接触低浓度的苯可引起慢性中毒,主要是对神经系统、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。

(4) 二氧化碳 (CO_2) CO_2 是无色略带酸臭味的气体,对人的呼吸有刺激作用,对空气的相对密度为 1.52。 CO_2 不助燃也不能供人呼吸,易溶于水。当肺泡中 CO_2 增多时,能刺激人的呼吸神经中枢,引起呼吸频繁,呼吸量增加,所以在急救受有害气体伤害的患者时,常常首先让其吸入含有 5% CO_2 的氧气以加强呼吸。但空气中 CO_2 浓度过高时,又会相对地减少氧的浓度,使人窒息。

(5) 一氧化碳 (CO) CO 多数属于工业炉、内燃机等设备中燃料不完全燃烧时的产物,或来自煤气设备的渗漏。CO 是一种对血液、神经有害的毒物。由呼吸道吸入的 CO 容易与血红蛋白相结合生成碳氧血红蛋白,CO 与血红蛋白的结合力比氧与血红蛋白的结合力大 200~300 倍,碳氧血红蛋白的存在影响氧和血红蛋白的解离,阻碍了氧的释放,导致低氧血症,引起组织缺氧。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。

(6) 二氧化硫 (SO_2) SO_2 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 SO_2 。它是无色、强刺激性的一种活性毒物,在空气中可以氧化成 SO_3 ,形成硫酸烟雾,其毒性要比 SO_2 大 10 倍。它对人的眼、呼吸器官有强烈的刺激作用,使鼻、咽喉