

有色金属工业 大气污染控制

宁 平
易红宏 编著
周连碧



**WASTE GAS POLLUTION CONTROL OF
NONFERROUS METALS INDUSTRY**

中国环境科学出版社

高等院校环境类系列教材

有色金属工业大气污染控制

宁 平 易红宏 周连碧 编著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

有色金属工业大气污染控制 / 宁平, 易红宏, 周连碧
编著. —北京: 中国环境科学出版社, 2007. 3

(高等院校环境类系列教材)

ISBN 978-7-80209-509-0

I. 有… II. ①宁… ②易… ③周… III. 有色
金属冶金—空气污染—污染控制 IV. X758

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 022327 号

责任编辑 高速进 周溪竹

责任校对 尹 芳

封面设计 龙文视觉

出版发行 中国环境科学出版社

(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)

网 址: <http://www.cesp.cn>

联系电话: 010-67112765 (总编室)

发行热线: 010-67125803

印 刷 北京东海印刷有限公司

经 销 各地新华书店

版 次 2007 年 3 月第一版

印 次 2007 年 3 月第一次印刷

印 数 1—3000

开 本 787×960 1/16

印 张 15.25

字 数 290 千字

定 价 36.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前言

18 世纪工业革命以后, 社会生产力随着工业革命的开展得到大力推动。随着技术和经济的发展, 人类利用和改造自然的能力大大加强, 资源消耗量和污染物排放量显著增多, 自然环境受到了大规模的影响, 人与自然的和谐关系遭到破坏。20 世纪以来, 人类创造了前所未有的物质财富, 加速推进了文明发展进程, 同时出现了环境污染、生态破坏等重大问题, 威胁人类未来的生存与发展, 环境污染问题成为一个严重的社会问题, 是 21 世纪人类关注的焦点之一。

我国作为世界上最大的发展中国家, 近 10 年来工业化不断推进, 有色金属工业得到蓬勃发展, 环境污染和资源紧缺问题日益困扰着社会、经济、环境的和谐发展。可持续发展不仅是我国的一项基本国策, 也是 21 世纪人类社会共同面临的重要课题。我国有色金属工业是高能耗、重污染的基础工业, 在有色金属工业发展中产生的环境问题将是长期存在的, 有色金属工业的环境保护任务越来越艰巨。我国的有色金属工业在环境保护方面尽管取得了一定成绩, 但与国家不断趋严的法规要求、国外发达国家有色金属污染控制水平、日益严峻的环境形势以及人民群众对优良环境需求的日益增长相比, 还存在很大的差距。

有色金属是除铁、锰、铬以外的所有金属的总称。在我国, 被列入有色金属范围的有 64 种金属。按照它们的物理性质和化学性质的不同, 又可分为重有色金属、轻有色金属、贵有色金属、半金属和稀有金属 5 类。有色金属工业废气是指在有色金属采矿、选矿、冶炼和加工生产及其相关过程中, 因凿岩、爆破、矿石破碎、筛分和运输、金属冶炼和加工、燃料燃烧等产生的含污染物质的有毒有害气体。

有色金属工业生产过程中产生出多种有毒有害大气污染物, 它们不仅腐蚀设备装置、影响生产过程有效运行, 给生产造成不安全隐患, 对工业生产产生种种有害的影响, 而且造成大气污染、影响环境、危害人体健康, 所以必须将其脱除、净化, 以得到符合环保要求和质量标准的气体, 同时, 可将这些污染物中所含的有用资源加以回收利用, 以保护环境和节约资源。对有色金属工业的发展而言,

资源开采和生态保护等环境要求对有色金属工业的企业布局和结构调整产生重要的制约作用；生产工艺的落后致使单位产品的产污系数和排污系数较大，导致产品竞争力下降；环境问题影响到有色金属工业的国际合作，特别是利用外资和引进技术，同时也影响到我国有色金属工业的国际形象。因此，有色金属工业的大气污染控制已成为其行业发展中的重要环节。

本书作者长期从事有色金属工业气体净化的科学研究、技术开发，以及生产实践，积累了大量信息、知识、数据及实践经验。作者对我国近 10 年有色金属工业大气污染控制进行了总结，着重介绍了目前有色金属行业普遍存在的环境保护问题，以及典型的大气污染控制原理、技术和措施，突出了当前有色金属工业大气污染控制领域新的技术、理论。全书内容丰富，理论与工程实际结合，涵盖面广，几乎涉及了有色金属工业中所有重要的大气污染物控制方面的技术和方法，反映了有色金属工业污染控制、工程建设的实际情况。

全书共分为 5 章。分别对有色金属行业按照有色金属矿业、轻有色金属、重有色金属、稀有金属及贵金属、有色金属材料加工环境保护 5 部分进行介绍。每章均包括各种金属或不同加工过程的污染物来源及危害、污染防治技术、技术发展趋势等内容，为了帮助读者掌握基本内容和扩大知识面，还介绍了各种实际的工业生产案例及相关标准。

在编写本书过程中，作者参阅了国内外有关文献资料，并得到了郝吉明院士的悉心指导以及李子燕、唐晓龙、于丽丽、王飞羽、宋慰祖、陆成等许多老师和同事的中肯建议和大力帮助，在此一并表示衷心的感谢。

本书可供有色金属企业、与环境工程和环境科学相关的科研设计单位、环境咨询单位及相应专业的管理、设计人员参考，也可供大专院校有关专业师生作教材。

由于作者学术水平所限，书中错误与不足之处在所难免，欢迎读者批评指正。

目 录

绪 论.....	1
1 矿 业.....	3
1.1 采矿.....	3
1.1.1 概述.....	3
1.1.2 颗粒物来源及危害.....	3
1.1.3 颗粒物防治技术.....	8
1.1.4 气态污染物来源及危害.....	20
1.1.5 气态污染物防治技术.....	24
1.2 选矿.....	26
1.2.1 概述.....	26
1.2.2 颗粒物的来源及危害.....	27
1.2.3 颗粒物防治技术.....	27
1.2.4 气态污染物来源及其危害.....	28
1.2.5 气态污染物防治技术.....	29
1.3 案例.....	29
1.3.1 云南驰宏锌锗股份有限公司的选矿厂.....	29
1.3.2 包钢选矿厂.....	32
思考题.....	33
2 轻有色金属.....	34
2.1 氧化铝.....	34
2.1.1 概述.....	34
2.1.2 污染来源及危害.....	40
2.1.3 污染防治技术.....	40
2.1.4 技术发展趋势.....	47
2.1.5 案例一 中铝山西分公司氧化铝厂粉尘治理.....	47
2.1.6 案例二 中国长城铝业公司郑州铝厂含硫化氢 废气治理一期工程.....	50

2.2 电解铝	61
2.2.1 概述	61
2.2.2 污染源及危害	62
2.2.3 污染防治技术	67
2.2.4 技术发展趋势	78
2.2.5 案例一 山东铝业股份有限公司电解铝厂铝电解含氟烟气 干法净化技术应用	79
2.2.6 案例二 中国铝业股份有限公司河南分公司碳素厂沥青烟气净化	81
2.3 镁冶金	90
2.3.1 概述	90
2.3.2 污染源及危害	90
2.3.3 污染防治技术	94
2.3.4 技术发展趋势	97
2.3.5 案例 中国铝业山东分公司	99
思考题	101
3 重有色金属	102
3.1 铜、钴、镍	102
3.1.1 概述	102
3.1.2 污染源及危害	103
3.1.3 污染防治技术	106
3.1.4 案例 江西铜业股份有限公司贵溪冶炼厂	110
3.2 铅、锌	115
3.2.1 概述	115
3.2.2 污染源及危害	118
3.2.3 污染防治技术	122
3.2.4 案例 韶关冶炼厂冶炼烟气制酸净化改造	125
3.3 铋、汞	131
3.3.1 概述	131
3.3.2 污染源及其危害	135
3.3.3 污染防治技术	135
3.3.4 案例 广西南丹县南星铋业有限责任公司炼铋烟气 处理技术改造	136
3.4 锡	139
3.4.1 概述	139

3.4.2 污染来源及危害	140
3.4.3 污染防治技术	142
3.4.4 案例 澳斯麦特技术在云锡冶炼厂的应用	145
思考题	151
4 稀有金属及贵金属	152
4.1 稀土	152
4.1.1 概述	152
4.1.2 污染来源及危害	152
4.1.3 污染防治技术	154
4.2 钛	164
4.2.1 概述	164
4.2.2 污染来源及危害	164
4.2.3 污染防治技术	165
4.2.4 技术发展趋势	167
4.3 锆、铪	167
4.3.1 概述	167
4.3.2 污染来源及危害	167
4.3.3 污染防治技术	169
4.4 钽、铌	171
4.4.1 概述	171
4.4.2 污染来源及危害	171
4.4.3 污染防治技术	171
4.4.4 技术发展趋势	172
4.5 锂、铷、铯	172
4.6 铍	174
4.7 钨、钼	176
4.7.1 概述	176
4.7.2 污染来源及危害	176
4.7.3 污染防治技术	177
4.8 稀散金属	177
4.8.1 概述	177
4.8.2 污染来源及危害	178
4.8.3 污染防治技术	179
4.8.4 案例 昆明理工大学真空冶金国家工程实验室	180

4.9 贵金属.....	186
4.9.1 概述.....	186
4.9.2 污染来源及危害.....	186
4.9.3 污染防治技术.....	187
4.9.4 技术发展趋势.....	194
思考题.....	194
5 有色金属材料加工环境保护.....	195
5.1 重有色金属材料加工.....	195
5.1.1 概述.....	195
5.1.2 污染来源及危害.....	195
5.1.3 污染防治技术.....	196
5.2 轻金属材料加工.....	207
5.2.1 概述.....	207
5.2.2 污染来源及危害.....	208
5.2.3 污染防治技术.....	212
5.3 稀有金属材料加工.....	220
5.3.1 概述.....	220
5.3.2 污染来源及危害.....	220
5.3.3 污染防治技术.....	222
5.4 粉末冶金.....	222
5.4.1 概述.....	222
5.4.2 污染来源及危害.....	223
5.4.3 污染防治技术.....	225
5.4.4 案例 氧化氮废气的处理和综合利用.....	228
思考题.....	231
参考文献.....	232

绪 论

有色金属是除铁、锰、铬以外的所有金属的总称。在我国，列入有色金属范围的有 64 种金属。按照它们的物理性质和化学性质的不同，又可分为重有色金属、轻有色金属、贵有色金属、半金属和稀有金属五类。

有色金属工业废气是指在有色金属采矿、选矿、冶炼和加工生产及其相关过程中，因凿岩、爆破、矿石破碎、筛分和运输、金属冶炼和加工、燃料燃烧等产生的含污染物质的有毒有害气体。

在废气中，通常称由冶炼炉（窑）产生的含污染物质的气体为烟气；烟气中有利用价值的生产原料经过净化回收后排放的气体，称之为尾气。例如，冶炼厂含硫烟气，通常把它叫做二氧化硫烟气，二氧化硫体积分数为 2% 以上的烟气，经过净化回收制成硫酸后排放的气体，叫做二氧化硫尾气。

按所含主要污染物的性质，大体上可将有色金属工业废气分为三大类：第一类为含工业粉尘为主的采矿和选矿工业废气；第二类为含有毒有害气体（含氟、硫或氯）与尘为主的有色金属冶炼废气；第三类为含酸、碱和油雾为主的有色金属加工工业废气。有色金属工业废气的种类和来源见下表。

有色金属工业废气的种类和来源

名称	主要污染物	主要来源
采选工业废气		
采矿厂	粉尘、炮烟、柴油机尾气等	采矿凿岩、爆破、矿石装运作业工作面
选矿厂	粉尘	矿石破碎、筛分、储存和运输过程
冶炼废气		
轻金属冶炼厂	粉尘、烟尘、含氟烟气、沥青烟气、含硫废气等	原料制备、熟料烧结、氢氧化铝煅烧和铝电解、碳素材料和氟化盐制造
重金属冶炼厂	粉尘、烟尘、含硫烟气、含汞、砷、镉废气等	原料制备、精矿烧结和焙烧、熔炼、吹炼和精炼、含硫烟气回收制酸过程
稀有金属（含半金属）冶炼厂	粉尘、烟尘、含氟烟气	原料制备、精矿烧结和氟化、还原和精制过程
加工工业废气		
有色金属加工厂	粉尘、烟尘、含酸、碱和油雾烟气等	原料准备、金属熔化和轧制、洗涤和精制过程

有色冶金工业废气有以下特点:

(1) 排放量较大, 污染面较广

有色金属冶炼企业一般规模较大, 设备比较集中。大型企业直径在 5~10 km 范围内, 中小型企业直径在 1~2 km 范围内。人、畜、植被和土壤等都会受到有害废气的污染影响。

另外, 我国现有 500 多座有色金属矿山, 在矿山开发和生产中产生的各种粉尘和废气, 对周围大气环境影响的范围也是相当广泛的。

(2) 废气成分复杂, 治理难度较大

有色金属产品种类繁多, 生产工艺各不相同, 废气中含各种各样的污染物, 性质非常复杂, 这给治理(技术、资金投入等)带来许多困难。

例如, 有色金属企业冶炼(窑)炉排出的废气温度一般为 400~1 000℃, 有的高达 1 400~1 600℃。废气温度过高, 对其输送、冷却和净化设备材质的选择方面都需作特殊考虑, 这样就增加了技术上的难度。

再如, 现有有色金属企业部分采用的是传统生产工艺和作业方法, 设备陈旧, 操作控制水平低, 许多生产装置上污染治理设施不配套、不完善, 单位产品产量废气排放量比较大, 所含污染物质量浓度低。像这类性质的废气, 如低质量浓度的含硫或含氟烟气, 回收利用价值低, 治理所需费用高, 获得的经济效益很难抵偿资金的投入。

(3) 废气中污染物以无机物为主, 环境污染具有潜在的影响

有色金属生产是以矿石为原料, 冶炼工艺基本以火法为主, 能源构成以煤为主, 添加的辅助材料以无机物为主(如酸、碱、盐类), 产品是有色金属及其合金制品, 所有这些因素导致废气中所含污染物多以无机物为主的形态排入大气。

汞、镉、铅、砷等金属或半金属通常与其他有色金属伴生, 在冶炼过程中经过高温氧化、挥发或同其他物料相互反应, 随载体空气排入大气。这类污染物颗粒细, 能在空中飘浮较长时间, 还可能成为吸附其他有害气体(如二氧化硫、氟等)的载体, 最终沉积到植物表面或土壤中, 积累到一定程度也会造成污染。

有色金属工业废气的处理方法基本上可以分为两大类, 即分离法和转化法。分离法是利用外力等物理方法将污染物从废气中分离出来; 转化法是使废气中污染物发生某些化学反应, 然后分离或转化为其他物质, 再用其他方法进行净化。

对于烟尘、雾滴之类的颗粒状污染物, 可利用其质量较大的特点, 用各种除尘器、除雾器使之从废气中分离出去; 对于气态污染物, 利用其不同的理化性质, 采用冷凝、吸收、吸附、燃烧、催化转化等方法进行净化处理。

以下按不同的有色金属工业分别进行介绍。

1

矿业

1.1 采矿

1.1.1 概述

一般来说,采矿有两种方式,即露天开采和地下开采。露天开采有两种基本方法,即台阶式开采(open pit mining)和条带剥离式开采(strip mining)。近年来,我国大部分有色金属露天矿山仍以台阶式开采为主,几十年来,露天开采方法没有根本性变化,主要是采矿设备飞速发展,包括设备大型化及其性能的不断改进。地下开采则主要是掘进方法和设备的发展。经过几十年的开采,大多数有色金属矿山都转入地下开采。

大气污染物按存在状态可分为颗粒污染物和气态污染物(表 1-1)。

表 1-1 颗粒污染物和气态污染物

颗粒污染物		气态污染物	
污染物种类	污染物颗粒大小	污染物种类	污染物举例
粉尘(dust)	1~200 μm	含硫化合物	SO_2 、 SO_3 、 H_2S
烟(fume)	0.01~1 μm	含氮化合物	NO 、 NO_2 、 NH_3
飞灰(fly ash)		碳的氧化物	CO 、 CO_2
黑烟(smoke)		碳氢化合物	$\text{C}_1\sim\text{C}_{10}$ 化合物
雾(fog)		卤素化合物	HF 、 HCl

1.1.2 颗粒物来源及危害

采矿过程中产生的颗粒污染物主要是粉尘。

在大气污染控制中,根据大气中粉尘颗粒的大小,又将粉尘分为飘尘、降尘和总悬浮颗粒物。飘尘是指粒径小于 10 μm 的固体颗粒,它在大气中能较长时间地飘浮;降尘是指粒径大于 100 μm 的颗粒,在重力的作用下可以在较短时间

内沉降到地面；总悬浮颗粒物是指其粒径 $\leq 100\ \mu\text{m}$ 的颗粒物。

在我国环境空气质量标准中，根据粉尘颗粒的大小将其分为总悬浮颗粒物（total suspended particles, TSP）和可吸入颗粒物（ PM_{10} , inhalable particles）。可吸入颗粒物（ PM_{10} ）是指悬浮在空气中，空气动力学当量直径 $\leq 10\ \mu\text{m}$ 的颗粒物；总悬浮颗粒物（TSP）是指能悬浮在空气中，空气动力学当量直径 $\leq 100\ \mu\text{m}$ 的颗粒物（表 1-2）。

表 1-2 环境空气质量标准规定的颗粒物质量浓度限值（摘自 GB 3095—1996）

污染物名称	取值时间	质量浓度限值			质量浓度单位 (标态)
		一级标准	二级标准	三级标准	
总悬浮颗粒物 (TSP)	年平均	0.08	0.20	0.30	mg/m^3
	日平均	0.12	0.30	0.50	
可吸入颗粒物 (PM_{10})	年平均	0.04	0.10	0.15	
	日平均	0.05	0.15	0.25	

有色金属矿山一般属于空气质量标准所划的三类地区，相应地执行三级标准。

随着生产和环保技术的发展，现行标准已显保守，过松的标准不利于高效布袋除尘器、高效电除尘器的推广应用和新技术的开发，不能推动我国环保产业的发展 and 实现削减排污、改善环境的作用。因此，国家环境保护总局已经着手编制《有色金属工业污染物排放标准》（表 1-3），以进一步规范各个行业的生产，提高环保水平。

表 1-3 粉尘排放质量浓度（标态）限值比较表

单位： mg/m^3

污染源 (矿山)	原标准（二级，1997年1月）		拟订新标准	
	现有项目	新建项目	现有污染源	新建源及老源改造后
铝工业	150	120	120	50
钛镁	150	120	100	50

在矿山开采过程中，如凿岩、爆破、装矿、运输、卸矿、放矿、二次破碎及工作面放顶、自溜运输和皮带运输机转载等各工序，均产生大量的、能长时间悬浮于空气中的矿物与岩石的细微颗粒，统称为“矿尘”。根据作业环境矿尘的成分不同，又可分为“矽尘”“煤尘”“石墨尘”……有色金属矿山的矿尘由于含游离二氧化硅较高，归属矽尘。

1.1.2.1 粉尘的来源

(1) 凿岩石时产生粉尘

目前的凿岩工程基本采用机械破碎法。根据破碎作用的方式不同,机械破碎凿岩法可分为冲击式凿岩、回转式凿岩及回转—冲击式凿岩。对金属矿山来说,主要是用冲击式凿岩,用此法在凿岩时,形成炮孔有冲击、转钎、排粉三个基本动作。炮孔底部的岩石不断被钎头冲击破碎成岩粉,必须及时将它清除,方能继续钻进。钻机、凿岩机和电钻在钻眼作业中产尘量最大,约为总产尘量的40%。在巷道掘进中工作面产生的大量粉尘,其中很大比例也是由凿岩工序产生的(约占85%)。实测表明,干式凿岩粉尘质量浓度在 $n \times (10 \sim 100) \text{ mg/m}^3$ 的范围内,湿式凿岩粉尘质量浓度虽然有所下降,但是如果不进行通风排尘,工作面粉尘质量浓度仍严重超过国家标准。

凿岩产尘量的大小除了与矿岩的物理性质(硬度、破碎性、湿度)及炮孔方向(水平、向上、向下)和深度有关,同时也随工作的钻机台数、凿岩速度、炮孔的横断面积增大而增加。凿岩产尘时空气污染随凿岩时间的延长,空气中的粉尘不断累积,浓度越来越高。

(2) 爆破过程产生粉尘

由于爆破作用将岩石粉碎,在冲击波的作用下将矿尘抛掷并悬浮于空气中。爆破产尘的特点是在爆破的瞬间产尘量可达 $n \times (10^3 \sim 10^4) \text{ mg/m}^3$,以后随着时间的延长逐渐下降,放炮后粉尘的质量浓度通常达到 $n \times 10 \text{ mg/m}^3$ 。爆破产尘量约占生产过程产尘量的40%。

爆破产尘量的大小取决于:爆破方法、炸药消耗量的多少、炮孔深度、爆破地点落尘量的多少、工作面矿岩和空气潮湿情况以及矿岩的物理力学性质。

(3) 采装、运输过程产生粉尘

矿岩在装载、运输和卸载的过程中,由于矿岩相互的碰撞、冲击、摩擦及矿岩与铲斗、车厢的相互碰撞、摩擦而产生粉尘。据统计,装运时的产尘量约占生产过程总产尘量的5%~10%,其粉尘质量浓度在 $10 \sim 90 \text{ mg/m}^3$ 范围内。

装运作业产尘量的大小与矿岩的湿润程度、装岩方式(人工或机械)以及矿岩的物理力学性质等因素有关。随着装运作业机械化程度的提高,其产尘量将越来越大。

露天矿采装作业的主要设备是电铲,现在我国露天矿使用较多的是WK—4系列电铲。露天矿运输方式主要有铁路运输、汽车运输和间断—连续运输。铁路运输适用于大型矿山,现在一般都采用汽车运输方式,但这样容易遇风产生扬尘,增大空气中粉尘质量浓度。在小秦岭地区某金矿,尾砂库建在公路边,运输车产生的风流将尾砂直接扬起使大气中粉尘质量浓度达到 $n \times 100 \text{ mg/m}^3$ 。

(4) 溜矿井装、放矿时产生粉尘

溜矿井是有色金属矿井下主要的产尘区之一，特别是多中段开采时尤为突出。由于溜矿井多设于进风巷道中，所以其产生的粉尘不但污染溜井作业区，还会随风流进入其他工作面。

溜井放矿时，由于矿石与矿石、矿石与格筛、矿石与井壁间互相碰撞、摩擦而产生大量粉尘。据资料统计，溜井产尘质量浓度在 $n \times (1 \sim 10) \text{ mg/m}^3$ 之间，特殊情况下可高达 $n \times 100 \text{ mg/m}^3$ 。其产尘量的大小取决于矿车容积（矿石量）、连续作业的矿车数、溜井高度、面积、矿石的湿度及矿岩的物理力学性质。

溜井产尘的特点是在卸矿时，由于矿石加速下落，空气受到压缩，此受压空气带着大量粉尘流经下部中段出矿口向外泄出而污染矿井空气。当矿石经溜井下落时，在矿石的后方又产生负压。此时，在卸矿口将产生瞬间入风流，造成风流短路。当主溜井多中段作业时，很可能造成风流反向。

(5) 井下破碎硐室产生粉尘

破碎硐室是井下产尘最集中的地方。因为在此要大量、连续地进行矿石破碎工作，以满足箕斗提升设备对矿石块度的要求。其产尘量可达 $n \times (10^2 \sim 10^3) \text{ mg/m}^3$ 。小于 $5 \mu\text{m}$ 的粉尘约占 90%。

破碎硐室往往靠近提升主井，主井又常作为进风井，特别是采用抽出式通风的矿山，主井形成负压，使矿尘更有利于混入新鲜风流中，影响风流质量。

(6) 其他作业产生粉尘

如工作面放顶、喷锚作业、挑顶刷帮、干式充填。

1.1.2.2 颗粒物对人体健康和环境的危害

(1) 危害人体健康，容易引发肺部疾病

长时间从事采掘和粉尘作业环境中的职工，吸入含游离二氧化硅的矿尘后，轻者患呼吸道炎症，重者会得一种职业病——硅肺病，由该病引起的工人致残和死亡人数在国内外都十分惊人。世界各国都在积极开展预防和治疗硅肺病的工作，也取得了较大进展。不同质量浓度颗粒物对人体健康和环境的影响见表 1-4。

不同粒径的颗粒物对健康危害的程度也不一样：①粒径越小，越不容易沉积，长时间飘浮在大气中容易被吸入体内，且容易深入肺部。一般粒径在 $100 \mu\text{m}$ 以上的尘粒即降尘会很快在大气中沉降； $10 \mu\text{m}$ 以上的尘粒可以滞留在呼吸道中； $5 \sim 10 \mu\text{m}$ 的尘粒大部分会在呼吸道沉积，被分泌的黏液吸附，可以随痰排出；小于 $5 \mu\text{m}$ 的微粒能深入肺部； $0.01 \sim 0.1 \mu\text{m}$ 的尘粒，50%以上将沉积在肺腔中，引起硅肺病。②粒径越小，粉尘比表面积越大，物理、化学活性越高，加剧了生理效应的发生与发展。此外，尘粒的表面可以吸附空气中的各种有害

气体及其他污染物,而成为它们的载体,如可以承载强致癌物质苯并[a]比及细菌等。此外一些金属矿尘和毒性粉尘(如铅、镉、砷、汞等)吸入人体后还会使血液中毒。

表 1-4 观察到的颗粒物的影响

颗粒物质量浓度/ (mg/m^3)	测量时间及合并污染物	影 响
0.06~0.18	年度几何平均, SO_2 和水分	加快钢板和锌板的腐蚀
0.08	年平均	环境空气质量一级标准
0.15	相对湿度<70%	能见度缩短到 8 km
0.10~0.15		直射日光减少 1/3
0.08~0.10	硫酸盐水平 30 $\text{mg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{月})$	50 岁以上的人死亡率增加
0.10~0.13	$\text{SO}_2 > 0.12 \text{ mg}/\text{m}^3$	儿童呼吸道发病率增加
0.20	24 h 平均值, $\text{SO}_2 > 0.25 \text{ mg}/\text{m}^3$	工人因病未上班人数增加
0.30	24 h 最大值, $\text{SO}_2 > 0.36 \text{ mg}/\text{m}^3$	慢性支气管炎病人可能出现 急性恶化症状
0.75	24 h 平均值, $\text{SO}_2 > 0.715 \text{ mg}/\text{m}^3$	病人数量明显增加, 可能发生 大量死亡

(2) 高浓度悬浮粉尘使大气能见度降低

在采掘等粉尘作业环境中,若粉尘在空间达到较高的浓度,影响视野,操作中容易造成伤害,使工伤事故增多。此外大气能见度的降低,会使人感到不愉快,而且会造成极大的心理影响,也成为引发交通安全方面的因素。

(3) 颗粒物对机器设备的影响

颗粒物沉降于机器设备表面,会加速机器、仪表的运转部件磨损,缩减精密仪器的使用寿命,造成经济损失;妨碍设备的散热,从而导致设备事故。

(4) 对当地气候的影响

在较低大气层中的悬浮颗粒物会形成水蒸气的“凝结核”。当大气中水蒸气达到饱和时,就会发生凝结现象。在较高温度下,水蒸气凝结成液态小水滴;而在温度很低时,则会形成冰晶。这种“凝结核”作用有可能导致降水的增加或者减少。对特殊情况的研究尚未取得一致结果,一些研究证明降水将增加,也有研究得出相反的结论,即降水减少。

(5) 某些粉尘会引发安全事故

一些粉尘具有爆炸性,在适当条件下发生爆炸会引发安全事故。这里的爆炸是指可燃物的剧烈氧化作用,在瞬间产生大量的热量和燃烧产物,在空间造成很高的温度和压力,故称为化学爆炸。此外,有些粉尘与水接触后会引发自燃或爆炸,因此在除尘时不能使用湿式除尘器,如镁粉、钙化粉等;有些粉尘相互接触或混合后也会引起爆炸,如溴与磷、锌粉与镁粉等,在除尘时应加以注意。

1.1.3 颗粒物防治技术

1.1.3.1 一般性防治措施

防尘措施可大体分为减尘措施、降尘措施、排尘措施、除尘措施、个体防护措施五类。

(1) 减尘措施

减尘就是减少和抑制尘源产生。就地消灭粉尘，控制污染源的排放量，是防尘工作的治本性措施，也是实现粉尘质量浓度达到国家标准的根本途径，在各种防治技术中应该优先考虑。它包括两个方面：一是减少各道工序的产尘总量和产尘强度，严把产尘数量关；二是减少对人体危害最大的呼吸性粉尘所占的比例，在产尘质量上设防。密闭尘源、采用湿式钻眼、旁侧给水凿岩、尽可能减少炮孔数量及炸药用量、避免岩石过度粉碎、防止微细粉尘飞扬、选择适宜的采矿方法和工艺、水封爆破、改革钻具、爆破前后冲洗岩壁、装岩前后洒水等都属于减尘措施。

(2) 降尘措施

降尘是使悬浮于气流中的粉尘及早降落下来。这是减少浮游粉尘质量浓度的防治性措施，最有效且可行的就是最大限度地使所有产生粉尘的地区潮湿化，从而加速粉尘的沉降。现在国内有色露天矿主要采取洒水车定时喷洒路面、采场、输送机各装载点以及转载点，以防止粉尘飞扬产生污染；在防尘用水中添加湿润剂（降尘剂）；用喷雾泡沫降尘和喷雾净化风流（如光电自动水幕、超声波和荷电水幕）；在运输过程中，向矿石表面洒水，使其表面保持湿润，以减少在一定风速下的扬尘，或者采取临时性措施——对矿石车表层进行化学处理或浇一层废油；对凡是可实行的地区，都要将尾矿废石堆、运输机等临时用苫布遮盖。

地下采掘井下工作面除通风外还实施采掘机械内外喷雾、设置净化水幕等措施，将工作面粉尘质量浓度降到 50 mg/m^3 以下，总回风粉尘质量浓度降到 20 mg/m^3 以下。

(3) 排尘措施

排尘是指加强通风对除尘的作用，利用新鲜气流稀释并排除采用前述防治措施尚未沉降的那部分浮游粉尘。随着有色矿山的不断开发，地上资源耗竭后，许多露天矿也转入地下开采，不得不考虑矿井的通风防尘，这在客观上促使通风技术进一步发展完善。例如，河南洛宁上宫金矿采用局部通风机辅助通风方法：每次爆破后，开动局部通风机，采用抽出式通风，新鲜风流自斜坡进入采场，冲洗工作面后，由天井排至上中段回风平巷，每次爆破后，通风至少 30 min 。

排除井巷中的粉尘需要有一定的风速。我们把能使对人体危害最大的微小粉