

高等学校规划教材
GAODENG XUEXIAO GUIHUA JIAOCAI

工业通风与除尘

蒋仲安 杜翠凤 牛伟 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

高等学校规划教材

要 要 容 内

工业通风与除尘

蒋仲安 杜翠凤 牛 伟 编著

图书在版编目(CIP)数据

工业通风与除尘 / 蒋仲安, 杜翠凤, 牛伟编著. — 北京: 冶金工业出版社, 2010.8

ISBN 978-7-203-21417-7

Ⅰ. ①工… Ⅱ. ①蒋… ②杜… ③牛… Ⅲ. ①工业通风—教材 ②工业除尘—教材 Ⅳ. ①TU834.8 ②TU834.8 ③TU834.8 ④TU834.8 ⑤TU834.8 ⑥TU834.8 ⑦TU834.8 ⑧TU834.8 ⑨TU834.8 ⑩TU834.8 ⑪TU834.8 ⑫TU834.8 ⑬TU834.8 ⑭TU834.8 ⑮TU834.8 ⑯TU834.8 ⑰TU834.8 ⑱TU834.8 ⑲TU834.8 ⑳TU834.8 ㉑TU834.8 ㉒TU834.8 ㉓TU834.8 ㉔TU834.8 ㉕TU834.8 ㉖TU834.8 ㉗TU834.8 ㉘TU834.8 ㉙TU834.8 ㉚TU834.8 ㉛TU834.8 ㉜TU834.8 ㉝TU834.8 ㉞TU834.8 ㉟TU834.8 ㊱TU834.8 ㊲TU834.8 ㊳TU834.8 ㊴TU834.8 ㊵TU834.8 ㊶TU834.8 ㊷TU834.8 ㊸TU834.8 ㊹TU834.8 ㊺TU834.8 ㊻TU834.8 ㊼TU834.8 ㊽TU834.8 ㊾TU834.8 ㊿TU834.8

ISBN 978-7-203-21417-7

Ⅰ. ①工… Ⅱ. ①蒋… ②杜… ③牛… Ⅲ. ①工业通风—教材 ②工业除尘—教材 Ⅳ. ①TU834.8 ②TU834.8 ③TU834.8 ④TU834.8 ⑤TU834.8 ⑥TU834.8 ⑦TU834.8 ⑧TU834.8 ⑨TU834.8 ⑩TU834.8 ⑪TU834.8 ⑫TU834.8 ⑬TU834.8 ⑭TU834.8 ⑮TU834.8 ⑯TU834.8 ⑰TU834.8 ⑱TU834.8 ⑲TU834.8 ⑳TU834.8 ㉑TU834.8 ㉒TU834.8 ㉓TU834.8 ㉔TU834.8 ㉕TU834.8 ㉖TU834.8 ㉗TU834.8 ㉘TU834.8 ㉙TU834.8 ㉚TU834.8 ㉛TU834.8 ㉜TU834.8 ㉝TU834.8 ㉞TU834.8 ㉟TU834.8 ㊱TU834.8 ㊲TU834.8 ㊳TU834.8 ㊴TU834.8 ㊵TU834.8 ㊶TU834.8 ㊷TU834.8 ㊸TU834.8 ㊹TU834.8 ㊺TU834.8 ㊻TU834.8 ㊼TU834.8 ㊽TU834.8 ㊾TU834.8 ㊿TU834.8

Ⅱ. ①蒋… ②杜… ③牛… Ⅲ. ①工业通风—教材 ②工业除尘—教材 Ⅳ. ①TU834.8 ②TU834.8 ③TU834.8 ④TU834.8 ⑤TU834.8 ⑥TU834.8 ⑦TU834.8 ⑧TU834.8 ⑨TU834.8 ⑩TU834.8 ⑪TU834.8 ⑫TU834.8 ⑬TU834.8 ⑭TU834.8 ⑮TU834.8 ⑯TU834.8 ⑰TU834.8 ⑱TU834.8 ⑲TU834.8 ⑳TU834.8 ㉑TU834.8 ㉒TU834.8 ㉓TU834.8 ㉔TU834.8 ㉕TU834.8 ㉖TU834.8 ㉗TU834.8 ㉘TU834.8 ㉙TU834.8 ㉚TU834.8 ㉛TU834.8 ㉜TU834.8 ㉝TU834.8 ㉞TU834.8 ㉟TU834.8 ㊱TU834.8 ㊲TU834.8 ㊳TU834.8 ㊴TU834.8 ㊵TU834.8 ㊶TU834.8 ㊷TU834.8 ㊸TU834.8 ㊹TU834.8 ㊺TU834.8 ㊻TU834.8 ㊼TU834.8 ㊽TU834.8 ㊾TU834.8 ㊿TU834.8

Ⅲ. ①TU834.8 ②TU834.8 ③TU834.8 ④TU834.8 ⑤TU834.8 ⑥TU834.8 ⑦TU834.8 ⑧TU834.8 ⑨TU834.8 ⑩TU834.8 ⑪TU834.8 ⑫TU834.8 ⑬TU834.8 ⑭TU834.8 ⑮TU834.8 ⑯TU834.8 ⑰TU834.8 ⑱TU834.8 ⑲TU834.8 ⑳TU834.8 ㉑TU834.8 ㉒TU834.8 ㉓TU834.8 ㉔TU834.8 ㉕TU834.8 ㉖TU834.8 ㉗TU834.8 ㉘TU834.8 ㉙TU834.8 ㉚TU834.8 ㉛TU834.8 ㉜TU834.8 ㉝TU834.8 ㉞TU834.8 ㉟TU834.8 ㊱TU834.8 ㊲TU834.8 ㊳TU834.8 ㊴TU834.8 ㊵TU834.8 ㊶TU834.8 ㊷TU834.8 ㊸TU834.8 ㊹TU834.8 ㊺TU834.8 ㊻TU834.8 ㊼TU834.8 ㊽TU834.8 ㊾TU834.8 ㊿TU834.8

Ⅳ. ①TU834.8 ②TU834.8 ③TU834.8 ④TU834.8 ⑤TU834.8 ⑥TU834.8 ⑦TU834.8 ⑧TU834.8 ⑨TU834.8 ⑩TU834.8 ⑪TU834.8 ⑫TU834.8 ⑬TU834.8 ⑭TU834.8 ⑮TU834.8 ⑯TU834.8 ⑰TU834.8 ⑱TU834.8 ⑲TU834.8 ⑳TU834.8 ㉑TU834.8 ㉒TU834.8 ㉓TU834.8 ㉔TU834.8 ㉕TU834.8 ㉖TU834.8 ㉗TU834.8 ㉘TU834.8 ㉙TU834.8 ㉚TU834.8 ㉛TU834.8 ㉜TU834.8 ㉝TU834.8 ㉞TU834.8 ㉟TU834.8 ㊱TU834.8 ㊲TU834.8 ㊳TU834.8 ㊴TU834.8 ㊵TU834.8 ㊶TU834.8 ㊷TU834.8 ㊸TU834.8 ㊹TU834.8 ㊺TU834.8 ㊻TU834.8 ㊼TU834.8 ㊽TU834.8 ㊾TU834.8 ㊿TU834.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第123456号

出 版 人 杜 翠 凤

出 版 地 址 北 京 北 河 沿 路

电 话 (010) 64021111

美 容 编 排 徐 晓 燕

印 刷 厂 北 京 京 华 印 刷 厂

ISBN 978-7-203-21417-7

北 京 京 华 印 刷 厂 印 刷

2010年8月第1版

2010年8月第1次印刷

787mm×1092mm 1/32 12.52印张 30.00元

冶金工业出版社发行

地址: 北京西城大街46号 100010 电话: (010) 62526081

2010

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2010

内 容 提 要

本书为普通高等学校“安全工程”、“环境科学与工程”等专业的教学用书,系统阐述了工业有害物的种类、来源、危害及其综合防治措施,以及工业通风与除尘的基本概念、基本原理、设计方法、应用技术和测试方法。主要内容包括绪论、通风方法、排风罩、粉尘净化原理及装置、有害气体净化原理及装置、通风管道的设计计算、通风机和通风净化系统测试技术等。

本书也可作为相关专业的技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工业通风与除尘/蒋仲安等编著. —北京:冶金工业出版社, 2010. 8

高等学校规划教材

ISBN 978-7-5024-5141-7

I. ①工… II. ①蒋… III. ①工业建筑—通风除尘—高等学校—教材 ②工业—除尘—高等学校—教材
IV. ①TU834.6 ②X964

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 145095 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcb@cnmip.com.cn

责任编辑 俞跃春 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 侯 璐 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5141-7

北京兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2010 年 8 月第 1 版, 2010 年 8 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 15.25 印张; 405 千字; 231 页

30.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100010) 电话: (010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

随着我国工业生产和科学技术的快速发展，环境问题已越来越引起人们的普遍关注和重视。而工业生产过程中散发的各种粉尘和有害有毒气体已成为污染工作场所空气和室内外大气的主要污染物，也是引起尘肺等各种职业病的主要原因。为防止粉尘和有害有毒气体的危害，我国制定了工作区的粉尘和有害有毒气体卫生标准和排放标准，在2002年对《工业企业设计卫生标准》进行修订后，再次由卫生部颁布为两个标准——《工业企业设计卫生标准》（GBZ 1—2002）和《工业场所有害因素职业接触限值》（GBZ 2—2002）。

工业通风与除尘的任务是有效控制污染源散发的粉尘和有害有毒气体，使工作场所粉尘和有害有毒气体浓度控制在允许标准浓度规定值以下，同时将被污染的气流清除至排放标准规定值后排放至室外，以保证室内外环境的卫生条件，保障广大职工和居民的身体健康。本书力求阐明工业通风与除尘的基本规律和基本理论，理论联系实际，并插入实例和实物照片，图文并茂，反映本门课程内容的先进性和实用性。

本书在编写过程中，参阅了许多文献资料，谨向有关参考文献的作者表示衷心感谢！

由于编者水平有限，书中不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者
2010年3月

目 录

1	绪论	1
1.1	工业有害物的种类和来源	1
1.1.1	工业有害物的种类	1
1.1.2	工业有害物的来源	2
1.2	工业有害物的危害	2
1.2.1	工业有害物对人体的危害	2
1.2.2	工业有害物对生产的影响	7
1.2.3	工业有害物对环境的影响	7
1.3	气象条件对人体生理的影响	8
1.3.1	人体的热平衡	8
1.3.2	人体散热方式及其影响因素	8
1.3.3	气象条件对人体的影响	9
1.4	空气中有害物的含量与相关标准	10
1.4.1	有害物含量的表示	10
1.4.2	大气环境质量控制标准	10
1.4.3	我国工业企业设计卫生标准	12
1.4.4	大气污染物排放标准	12
1.5	工业有害物的综合防治措施	13
1.5.1	控制有害物产生的措施	13
1.5.2	通风净化措施	14
1.5.3	定期检测	15
1.5.4	个体防护措施	15
1.5.5	管理措施	15
	复习题	16
2	通风方法	17
2.1	控制有害物的通风方法	17
2.1.1	有害物在室内的传播机理	17
2.1.2	控制有害物的通风方法	18
2.2	局部通风	20
2.2.1	局部排风系统	20
2.2.2	局部送风系统	20
2.3	全面通风	21

2.3.1	全面通风的一般原则	21
2.3.2	全面通风换气量的计算	21
2.3.3	有害物散发量的计算	25
2.3.4	全面通风气流组织	26
2.3.5	空气质量平衡与热平衡	27
2.4	置换通风	31
2.4.1	评价通风效果的指标	31
2.4.2	置换通风的原理	33
2.4.3	置换通风的特性	33
2.4.4	置换通风的设计	34
2.5	事故通风	36
	复习题	36
3	排风罩	38
3.1	排风罩的分类和设计原则	38
3.1.1	排风罩的分类及特点	38
3.1.2	排风罩的设计原则	38
3.2	排风罩的气体流动特性	39
3.2.1	空间点汇	39
3.2.2	平面点汇	39
3.2.3	实际罩口流场	40
3.3	密闭罩	43
3.3.1	密闭罩的工作原理	43
3.3.2	密闭罩的形式	43
3.3.3	排风口位置的确定	44
3.3.4	排风量的确定	46
3.4	柜式排风罩	47
3.4.1	柜式排风罩的工作原理	47
3.4.2	柜式排风罩的形式	47
3.4.3	柜式排风罩排风量的计算	49
3.5	外部罩	50
3.5.1	外部罩的工作原理	50
3.5.2	外部罩的形式	50
3.5.3	控制风速法	50
3.5.4	流量比法	55
3.6	接受罩	57
3.6.1	热源上部的热射流	57
3.6.2	热源上部接受罩排风量的计算	58
3.7	槽边排风罩	60

3.7.1	槽边排风罩的类型	60
3.7.2	槽边排风罩的风量计算	62
3.8	吹吸罩	63
3.8.1	吹吸罩的工作原理	63
3.8.2	吹吸罩的设计计算	63
3.8.3	吹吸罩的应用	64
	复习题	65
4	粉尘净化原理及装置	67
4.1	粉尘的物理化学性质	67
4.1.1	粉尘的成分和游离二氧化硅含量	67
4.1.2	密度	68
4.1.3	粉尘的安置角(安息角)	68
4.1.4	比表面积	69
4.1.5	凝聚与附着	69
4.1.6	湿润性	69
4.1.7	粉尘的磨损性	70
4.1.8	电性质	70
4.1.9	黏性	71
4.1.10	光学特性	71
4.1.11	爆炸性	71
4.2	粉尘的粒径和粒径分布	71
4.2.1	粉尘的形状	72
4.2.2	单一粉尘粒径的定义	72
4.2.3	粉尘平均粒径	74
4.2.4	粉尘的粒度分布(分散度)	75
4.2.5	粒径的频谱分布	75
4.3	除尘器性能及分类	80
4.3.1	除尘器性能的指标	80
4.3.2	除尘机理及除尘器的分类	82
4.3.3	选择除尘器时应注意事项	83
4.4	机械式除尘器	84
4.4.1	重力沉降室	84
4.4.2	惯性除尘器	86
4.4.3	旋风除尘器	87
4.5	湿式除尘器	90
4.5.1	湿式除尘器的工作原理	90
4.5.2	湿式除尘器的分类及其特性	91
4.5.3	重力喷淋塔	91

00	4.5.4	离心式洗涤器	91
00	4.5.5	冲击(自激)式除尘器	93
00	4.5.6	多孔洗涤器	94
00	4.5.7	文丘里除尘器	94
00	4.6	袋式除尘器	95
10	4.6.1	袋式除尘器的工作原理	96
20	4.6.2	袋式除尘器性能的计算	97
00	4.6.3	影响袋式除尘器除尘效率的因素	98
00	4.6.4	袋式除尘器的分类和清灰过程	99
00	4.6.5	袋式除尘器的结构形式	100
00	4.7	静电除尘器	101
00	4.7.1	静电除尘器的工作原理	101
00	4.7.2	电除尘器的结构形式	102
00	4.7.3	电除尘器的主要部件	103
00	4.7.4	影响电除尘器性能的主要因素	105
00	4.7.5	电除尘器的设计计算	105
00	4.8	颗粒层除尘器	107
00	4.8.1	颗粒层除尘器的工作原理	107
00	4.8.2	颗粒层除尘器的性能	107
00	4.8.3	影响颗粒层除尘器性能的因素	108
00	4.8.4	颗粒层除尘器的分类	109
00	4.8.5	颗粒层除尘器的结构形式	110
00		复习题	111
00	5	有害气体净化原理及装置	113
00	5.1	概述	113
00	5.1.1	吸收法	113
00	5.1.2	吸附法	113
00	5.1.3	燃烧法	113
00	5.1.4	冷凝法	113
00	5.1.5	催化转化法	114
00	5.1.6	非平衡等离子体法	114
00	5.1.7	光催化转化法	114
00	5.2	吸收与吸附原理	114
00	5.2.1	吸收过程的理论基础	114
00	5.2.2	吸收过程的机理	119
00	5.2.3	吸附原理和特性	122
00	5.2.4	吸收剂和吸附剂的要求	124
00	5.3	吸收与吸附装置	125

5.3.1	吸收装置	125
5.3.2	吸附装置	127
5.4	其他气体净化方法	128
5.4.1	非平衡等离子体空气净化方法	128
5.4.2	光催化净化方法	129
5.4.3	负离子净化方法	129
5.4.4	臭氧净化方法	130
	复习题	131
6	通风管道的设计计算	132
6.1	风管内空气流动的阻力	132
6.1.1	摩擦阻力	132
6.1.2	局部阻力	136
6.1.3	管段阻力	139
6.2	管道系统的压力分布	139
6.3	通风除尘管道系统的设计计算	142
6.3.1	风管布置的一般原则	142
6.3.2	通风管道的设计计算	142
6.4	通风系统的布置及部件	148
6.4.1	风管材料和连接	148
6.4.2	通风系统的布置	148
6.4.3	风管部件	151
6.4.4	除尘系统的防爆	151
6.5	均匀送风与均匀吸风管道的的设计计算	152
6.5.1	均匀送风管道的的设计原理	152
6.5.2	实现均匀送风的基本条件	153
6.5.3	均匀送风风道的设计	154
6.5.4	均匀送风风道的常见形式	155
6.5.5	均匀吸风	156
	复习题	158
7	通风机	160
7.1	通风机的工作原理和分类	160
7.1.1	离心式通风机的工作原理	160
7.1.2	轴流式通风机的工作原理	161
7.1.3	通风机的分类	162
7.2	通风机的性能参数与曲线	163
7.2.1	通风机的性能参数	163
7.2.2	通风机的特性曲线	164

7.2.3	通风机特性曲线的合理工况范围	165
7.3	通风机的相似理论	166
7.3.1	通风机的主要无因次参数	166
7.3.2	通风机的无因次特性曲线(也称类型特性曲线)	166
7.3.3	通风机性能的相似换算	167
7.3.4	比转数	168
7.4	通风机在管网中的工作及调节	169
7.4.1	通风管网的特性	169
7.4.2	通风机与管网联合工作	170
7.4.3	通风机的联合运行	170
7.4.4	通风机的调节	174
7.5	通风机的命名和选择	176
7.5.1	通风机的命名	176
7.5.2	通风机的选择程序	179
	复习题	180
8	通风净化系统测试技术	181
8.1	粉尘特性的测定	181
8.1.1	粉尘样品的分取	181
8.1.2	粉尘真密度的测定	182
8.1.3	粉尘堆积密度的测定	183
8.1.4	粉尘安置角的测定	183
8.1.5	粉尘比电阻的测定	184
8.2	通风系统风压、风速、风量的测定	185
8.2.1	测定断面和测点的布置	185
8.2.2	气体压力的测定	186
8.2.3	气流速度的测量	191
8.2.4	管内气流流量的测量	192
8.3	粉尘粒径与粒径分布的测定	193
8.3.1	光学显微镜法	193
8.3.2	离心沉降法	196
8.3.3	沉降天平法	198
8.3.4	惯性冲击法	199
8.3.5	电导法	200
8.4	粉尘浓度的测定	201
8.4.1	工作区粉尘浓度的测定	201
8.4.2	管道内空气含尘浓度的测定	203
8.5	气体含量测定方法	206
8.5.1	二氧化硫的测定	206

8.5.2	氮氧化物的测定	207
8.5.3	一氧化碳的测定	208
8.5.4	臭氧的测定	208
8.5.5	总烃及非甲烷烃的测定	209
8.5.6	氟化物的测定	210
8.6	通风除尘系统的测定	210
8.6.1	排风罩的测定	210
8.6.2	通风机性能的测定	212
8.6.3	除尘器性能的测定	213
附 录	215
附录 1	居住区大气中有害物质的最高容许浓度	215
附录 2	车间空气中有害物质的最高容许浓度	215
附录 3	槽边缘控制点的吸入速度 u_x	217
附录 4	通风管道统一规格	219
附录 5	各种粉尘的爆炸浓度下限	221
附录 6	气体和蒸气的爆炸极限	221
附录 7	局部阻力系数	223
参考文献	231

1 绪论

人们劳动、工作和生活需要适合的空气环境，除了要求环境符合一定的温度、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，如果不加控制，会使室内、外空气环境受到污染和破坏，对人的健康、动植物生长以及生态造成危害。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，成为愈来愈迫切待解决的问题。工业通风与除尘就是研究解决这一问题的关键技术。

1.1 工业有害物的种类和来源

1.1.1 工业有害物的种类

由于空气中有害物质的种类不同，其治理措施也不一样。空气中有害物质的种类可分为粉尘、气体、蒸气。

1.1.1.1 粉尘

粉尘是一种微细固体物的总称，其大小通常在 $100\mu\text{m}$ 以下。常把悬浮于空气中的粉尘称为浮尘（或飘尘），从空气中沉降下来的粉尘称为落尘（或积尘）；浮尘和落尘在不同的风流环境下是可以相互转化的，落尘在受外力作用时，能再次飞扬并悬浮于空气中，称二次扬尘。除尘技术的主要研究对象是浮尘和二次扬尘。日常生活中的例子很多，如汽车路面扬尘、风力作用扬尘（沙尘暴）等。

对粉尘的分类目前还没有统一的标准，现按粉尘的性质和形态，可以作如下分类：

(1) 按粉尘的成分分：

1) 无机粉尘。矿物性粉尘（石英、石棉、滑石黏土粉尘等）、金属性粉尘（铅、锌、铜、铁）和人工无机性粉尘（水泥、石墨、玻璃等）。

2) 有机粉尘。植物性（棉、麻、烟草、茶叶粉尘等）、动物性粉尘（毛发、角质粉尘）和人工有机性粉尘（有机染料等）。

3) 混合性粉尘。它指上述两种或多种粉尘的混合物。

如铸造厂的混砂机：既有石英粉尘，又有黏土粉尘。砂轮机磨削金属时：既有金刚砂粉尘，又有金属粉尘。

(2) 按粉尘的粒径分：

1) 粗尘。粒径大于 $40\mu\text{m}$ ，相当于一一般筛分的最小粒径，在空气中极易沉降。

2) 细尘。粒径为 $10\sim 40\mu\text{m}$ ，在明亮的光线下，肉眼可以看到，在静止空气中作加速沉降。

3) 微尘。粒径为 $0.25\sim 10\mu\text{m}$ ，用光学显微镜可以观察到，在静止空气中呈等速沉降。

4) 超微粉尘。粒径小于 $0.25\mu\text{m}$ ，用电子显微镜才能观察到，在空气中作布朗扩散运动。

(3) 按粉尘的生产工序分：

1) 粉尘。各种不同生产工序的使用或生产不同的物料的过程中而生成的微细颗粒。如采矿、岩石破碎等。

2) 烟尘。由燃烧、氧化等伴随着物理化学变化过程所产生的固体微粒，粒径一般很小，多在 0.01 ~ 1 μm 范围，可长时间悬浮于空气中。如锅炉厂、水泥厂、爆破等。

(4) 按测定粉尘浓度的方法分：

1) 全尘。它是指各种粒度的粉尘浓度总和，在实际工作中，通常把粉尘浓度近似作为全尘浓度。

2) 呼吸性粉尘。它是对人体危害最大的空气动力粒径小于 7.07 μm 的粉尘，是粉尘控制的主要对象。

(5) 其他分类有：

1) 按物料种类分。煤尘、岩尘、石棉尘、铁矿尘等。

2) 按有无毒性物质分。有毒、无毒、放射性粉尘等。

3) 按爆炸性分。易燃、易爆和非燃、非爆炸性粉尘。

4) 从卫生学角度分。呼吸性粉尘和非吸入性粉尘。

5) 从环境保护角度分。飘尘和降尘。

1.1.1.2 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。

1.1.1.3 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、磷蒸气、汞蒸气等。

1.1.2 工业有害物的来源

1.1.2.1 粉尘

许多工业生产部门都可以产生粉尘，如：冶金行业（冶炼厂、烧结厂）；建材行业（水泥厂、砖瓦厂）；机械行业（铸造厂）；轻工行业（玻璃厂、木材厂）；化工行业（农药厂、化肥厂）；纺织行业（棉纺厂、毛纺厂、麻纺）。粉尘主要来源有以下几个方面：

(1) 固体物质的机械破碎（破碎）。如破碎机、球磨机等。

(2) 固体表面的加工过程（加工）。如砂轮机磨削刀具、喷砂清理铸件等。

(3) 粉尘颗粒物的运输过程（运输）。皮带运输机、提升机等。

(4) 粉尘物料的形成过程（形成）。压砖机对模具中的粉料进行冲压成形等。

(5) 物料的加热、燃烧、冶炼和焊接等过程。如锅炉、火电厂、水泥厂。

1.1.2.2 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；容器、储罐和管道中的有害液体或气体泄漏。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。

1.2 工业有害物的危害

1.2.1 工业有害物对人体的危害

1.2.1.1 有害物侵入人体的途径

有害物质侵入人体主要通过以下三条途径。

A 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% 的工业中毒都是由于工业有害物通过呼吸道入侵人体所致。

B 皮肤和黏膜

有些有害物质，能够通过皮肤和黏膜侵入人体。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。一般可经皮肤、黏膜侵入的有害物质有下面几类：

(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黏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。

C 消化道

在工业生产中，有害物质单纯从消化道侵入的吸收者为数不多。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要小得多。

1.2.1.2 粉尘对人体的危害

粉尘对人体的影响是很严重的，是造成尘肺、硅肺病的根源。影响尘肺病的发生发展的因素主要有粉尘的化学成分、粒径和分散度，以及接触时间、劳动强度和身体健康状况等。粒径不同的粉尘在呼吸道各部位的沉积情况各不相同。图 1-1 是吸入人体呼吸器官的气溶胶粒子，图 1-2 为不同粒径的粉尘在鼻部、支气管部、肺部的沉积率。

粗粉尘（大于 $5\mu\text{m}$ ）在通过鼻腔、喉头、气管上呼吸道时，被这些器官的纤毛和分泌黏液所阻留，经咳嗽、喷嚏等保护性反射作用而排出。

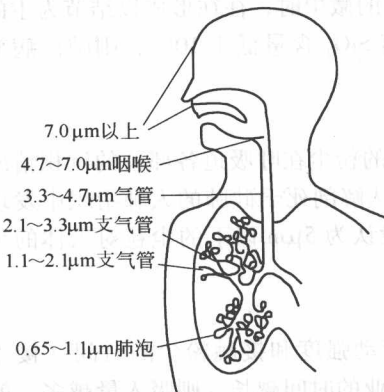


图 1-1 吸入人体呼吸器官的气溶胶粒子

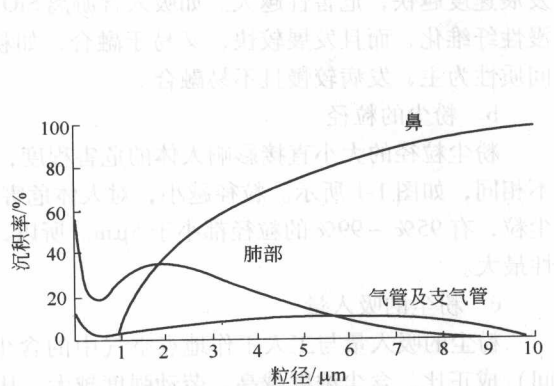


图 1-2 不同粒径粉尘在呼吸系统各部位的沉积率

细粉尘（小于 $5\mu\text{m}$ ）则会深入和滞留在肺泡中（部分粒径在 $0.4\mu\text{m}$ 以下的粉尘可以在呼气时排出）。有人研究硅肺病死者肺中尘粒的百分比，发现粒径在 $1.6\mu\text{m}$ 以下者占86%， $3.2\mu\text{m}$ 以下者占100%。粉尘越细，在空气中停留时间越长，被吸入的机会也就越多。

A 尘肺

尘肺是指工人在生产劳动中吸入粉尘而引起的以肺部组织纤维化为主的疾病。具有发病率高，死亡率高的特点，是一种严重的职业病。尘肺病人身体衰弱，呼吸困难，十分痛苦，这种病在世界各国还没有很理想的治疗方法，现有治疗尘肺的药物，只能减轻尘肺病人的痛苦，延缓尘肺病的发展，而不能使肺组织已形成的纤维化病变消散。不仅给劳动者本人和家庭带来不幸和痛苦，而且给国家造成严重的政治影响和巨大的经济损失。按发病原因可分为以下五类：

(1) 硅肺。由于吸入含游离二氧化硅(SiO_2)的粉尘而引起的尘肺称为硅肺。硅在自然界分布极广，约占地壳组成的28%，大约有95%的矿石含有 SiO_2 。接触游离 SiO_2 粉尘最严重的行业是煤炭、冶金、建材、机械和轻工。如果不注意防尘，硅肺病就可能在一些主要工业部门大量地发生，从而成为危害最大的一种职业病。所以预防尘肺，重点应放在硅肺上。

(2) 硅酸盐尘肺。由于吸入含有硅酸盐粉尘而引起的尘肺称为硅酸盐尘肺。石棉肺、滑石尘肺、云母尘肺、水泥尘肺均属于硅酸盐尘肺。

(3) 炭素尘肺。由于吸入含有炭素粉尘而引起的尘肺称为炭素尘肺，如煤肺、炭黑尘肺、石墨尘肺均属于炭素尘肺。

(4) 混合性尘肺。由于同时吸入含有游离 SiO_2 粉尘和其他粉尘而引起的尘肺称混合性尘肺。如煤矿工人所患的煤工尘肺和铸造工人所患的铸工尘肺多属混合性尘肺。

(5) 金属尘肺。由于吸入含有金属粉尘而引起的尘肺称为金属尘肺，如铝尘肺、电焊工尘肺等。

总之，尘肺是一个总名称，习惯上，接触什么粉尘致病，诊断时就叫什么尘肺。

B 尘肺的发病因素

尘肺病人从接触粉尘到发病一般有10年左右的时间，时间长的15~20年，甚至更长才发病，短的1~2年，甚至半年就能发病。尘肺发病时间（发病工龄）长短，主要取决于粉尘中游离 SiO_2 含量、粉尘的粒径大小和人体吸入量，个人身体状况和个人防护好坏对尘肺的发病也有不同程度的影响。

a 游离含量

大量的实验研究和卫生学调查都表明，粉尘中游离 SiO_2 含量越高，发病时间越短，病变发展速度越快，危害性越大。如吸入含游离 SiO_2 70%以上的微尘时，往往形成以结节为主的弥漫性纤维化，而且发展较快，又易于融合，如粉尘中游离 SiO_2 含量低于10%，则肺内病变以间质性为主，发病较慢且不易融合。

b 粉尘的粒径

粉尘粒径的大小直接影响人体的危害程度，粒径不同的粉尘在呼吸道各部位的沉积情况各不相同，如图1-1所示。粒径越小，对人体危害性越大。从解剖死于硅肺的人肺组织中发现的尘粒，有95%~99%的粒径都小于 $5\mu\text{m}$ 。所以，现在一般认为 $5\mu\text{m}$ 以下的尘粒对人体的危害性最大。

c 粉尘的吸入量

粉尘的吸入量与工人工作地点空气中的含尘浓度、劳动强度和接触粉尘的时间（接尘时间）成正比。含尘浓度越高，劳动强度越大，从事粉尘作业的时间越长，则吸入量越多，就越容易得尘肺。

d. 个人身体状况

由于粉尘是通过人体起作用而引起尘肺病的,所以人体本身的一些因素,也影响着尘肺的发生和发展。一般来说,体质差的,患有各种慢性病的工人比较容易发病。此外,对防尘设施不维护保养,不注意个人防护(如在没有防尘设施,含尘浓度很高的作业场所不戴防尘口罩等)的工人也容易发病。应指出的是,虽然每个人的体质不同,抵抗力不同,但如果吸入肺部的粉尘量过多时,体质差异也就不明显了。因此,在影响尘肺发病的各种因素中,起决定作用的还是粉尘的性质(游离 SiO_2 与粒径大小)和吸入量。

C. 尘肺的并发症

尘肺常可并发其他疾病,如肺结核、肺原发性心脏病、呼吸系统感染等,这些并发症往往使尘肺病人的病情恶化,甚至加速其死亡。因此,积极预防和治疗并发症,增强尘肺病人的体质,延长患者的生命,在整个尘肺防治工作中,占有突出的地位。

在各种并发症中,以肺结核最为常见。根据一般的统计,I期硅肺并发肺结核者约占10~20%左右;II期约占20%~40%;III期则可高达40%~60%或更高。由此可见,尘肺病情越发展,并发肺结核的频率也越高。

1.2.1.3 有害气体和蒸气对人体的危害

A 对人体的危害性

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。

a 汞蒸气(Hg)

汞蒸气是一种剧毒物质。即使在常温或 0°C 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。

b 铅(Pb)

铅蒸气在空气中可以迅速氧化和凝聚成氧化铅微粒。铅不是人体必需的元素,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。

c 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,有的作为原料用于燃料工业和农药生产,有的作为溶剂和黏合剂用于造漆、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;长期反复接触低浓度的苯可引起慢性中毒。苯中毒能危及血液和造血器官,对妇女影响较大。

d 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。 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。

e 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，碳氧血红蛋白的存在影响氧和血红蛋白的离解，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，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。

f. 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、咽喉和支气管发炎。

g. 氮氧化物 (NO_x)

氮氧化物主要指 NO 和 NO_2 ，它们来源于燃料的燃烧及化工、电镀等生产过程。 NO_2 呈棕红色，对呼吸器官有强烈刺激，常导致各种职业病，比如由高浓度 NO_2 中毒引起急性肺气肿，以及由慢性中毒引起的慢性支气管炎和肺水肿。

h. 甲烷 (CH_4)

甲烷为无色、无味、无臭的气体，对空气的相对密度为 0.55，难溶于水，扩散性较空气高 1.6 倍。虽然无毒，但当浓度较高时，会引起窒息。不助燃，但在空气中具有一定浓度并遇到高温 ($650 \sim 750^\circ\text{C}$) 时能引起爆炸，煤矿中经常发生的瓦斯爆炸事故，其爆炸气体中的主要成分就是甲烷。

i. 甲醛 (HCHO)

甲醛又称蚁醛，是无色有强烈刺激性气味的气体，相对空气的密度为 1.06，略重于空气。几乎所有的人造板材、某些装饰布、装饰纸、涂料和许多新家具都可释放出甲醛，因此，它和苯是现代房屋装修中经常出现的有害气体。空气中的甲醛对人的皮肤、眼结膜、呼吸道黏膜等有刺激作用，它也可经呼吸道吸收。甲醛在体内可转变为甲酸，有一定的麻醉作用。甲醛浓度高的居室中有明显的刺激性气味，可导致流泪、头晕、头痛、乏力、视物模糊等症状，检查可见结膜、咽部明显充血，部分患者听诊呼吸音粗糙或有干性啰音。较重者可有持续咳嗽、声音嘶哑、胸痛、呼吸困难等病状。

B 对人体的危害程度的影响因素

(1) 有害物的毒性大小。取决于有害物本身的物理、化学性质，不同有害物，其物理、化学性质各不同，对人体产生有害作用的程度也不一样。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），这些都与有害物的性质有关。

(2) 空气中有害物的浓度大小。空气中有害物的浓度越大，在相同呼吸量情况下，被人体吸入体内的有害物量越多，危害越大。

(3) 有害物与人体持续接触的时间。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值，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。

(4) 作业环境的气候条件。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