

工业通风与除尘

GONGYE
TONGFENG
YU CHUCHEN

全国高校安全工程专业本科规划教材

教育部高等学校安全工程学科教学指导委员会组织编写

全国高校安全工程专业本科规划教材

工业通风与除尘

教育部高等学校安全工程学科教学指导委员会组织编写

主 编 马中飞 沈恒根

主 审 邵 强

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

工业通风与除尘/马中飞, 沈恒根编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2009

全国高校安全工程专业本科规划教材

ISBN 978-7-5045-7461-9

I. 工… II. ①马…②沈… III. ①工业建筑-通风除尘-安全技术-高等学校-教材②工业尘-除尘-安全技术-高等学校-教材 IV. TU834.6
X964

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 000931 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

*

中国铁道出版社印刷厂印刷装订 新华书店经销
787 毫米×960 毫米 16 开本 23 印张 401 千字
2009 年 1 月第 1 版 2009 年 1 月第 1 次印刷

定价: 46.00 元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64954652

教育部高等学校安全工程学科教学指导委员会

主任委员	孙华山				
副主任委员	黄玉治	范维澄	周世宁	宋振琪	谢和平
	沈忠厚	冯长根	王继仁	宋守信	
委 员	张平远	王 生	钮英建	张来斌	林柏泉
	刘泽功	蔡嗣经	傅 贵	吴 超	吴 穹
	杨庚宇	许开立	程卫民	张殿业	景国勋
	蒋军成	赵云胜	姜德义	黄卫星	刘玉存
	李树刚	吴宗之	伊 烈	崔慕晶	李永红
	李生盛	杨书宏			
秘 书	杨书宏	(兼)			

内 容 简 介

本书共分九章，较为系统地论述了适用于各行业通风除尘的通用基本理论与方法，主要内容涉及作业场所空气与粉尘、空气流动压力与阻力、通风动力、通风设施、通风系统及其风量调节、粉尘综合防治、除尘装置、通风设计、通风与粉尘测定等。

本书是“全国高校安全工程专业本科教材”之一，可作为高等院校安全工程、环境工程、采矿工程、通风空调等专业的教材或教学参考书，也可供从事通风防尘工作的工程技术及管理人员参考。

序 言

党的十六届五中全会确立了“安全发展”的指导原则，极大地促进了我国安全科学事业的发展，同时为安全工程学科提供了良好的发展机遇。据初步统计，到目前为止，全国开设安全工程专业的高校已达百余所，安全工程专业已成为我国高等教育中重要的新兴专业之一。

加强教材建设，是促进我国安全工程专业健康发展的重要基础工作。本届（2004—2008年）教育部高等学校安全工程学科教学指导委员会在充分吸收现有教材成果和借鉴上届教指委安全工程专业教材成功编写经验的基础上，于2006年启动了“全国高校安全工程专业本科规划教材”的组织编写和出版工作。第一批安全工程专业本科规划教材包括《安全学原理》《安全管理学》《安全人机工程学》《安全系统工程》《职业卫生概论》《工业通风与除尘》《化工安全》《工业防毒技术》《机械安全工程》《电气安全工程》《防火防爆技术》《锅炉压力容器安全》《安全经济学》《安全心理学》《风险管理与保险》等15种。

本套规划教材的编写力求满足安全工程专业课程体系和课程教学的新发展，立足现实，反映前沿，力求创新，既包括已经成熟并被公认的理论与学术思想，又反映安全工程学科领域具有前瞻性与代表性的最新理论、技术和方法，并借鉴吸收世界上发达国家的先进理论、理念与方法。

在本套教材开发过程中，全国30余所高等学校、科研院所的近百名专家和学者积极参与了教材的编写和审订工作，教指委秘书处、教材开发分委会和

中国劳动社会保障出版社做了大量的组织工作，在此向他们表示衷心的感谢！

本套教材的编写和出版，是我国安全工程学科在教材建设方面又迈出的重要一步。虽然我们尽了最大努力，但仍有不足，恳请安全工程领域的专家学者和广大师生提出宝贵意见。

教育部高等学校安全工程学科教学指导委员会

2008年7月

前 言

一般工业生产中会产生大量的毒害、爆炸气体及粉尘，将严重影响作业人员的身体安全和健康。工业通风既可稀释或排除生产过程产生的毒害、爆炸气体及粉尘，给作业场所送入足够数量和质量的空气，又可调节作业场所的温度、湿度等，从而为保证作业人员的身体健康创造前提条件。因此，工业通风与除尘既是安全工程专业的主干专业课程，又是环境工程、采矿工程等专业的专业重要课程。

本书的编写工作在教育部高等学校安全工程学科教学指导委员会的直接领导下进行，教材编写大纲从编制、修改到审定，都是由教育部高等学校安全工程学科教学指导委员会反复讨论完成的。作者严格按照编写大纲的规定和要求进行教材的编写。

本书共分九章，主要内容涉及作业场所空气与粉尘、空气流动压力与阻力、通风动力、通风设施、通风系统及其风量调节、粉尘综合防治、除尘装置、通风设计、通风与粉尘测定等。根据新世纪高校学生的“厚基础、宽口径、富有创新能力”培养要求，本书力图系统地阐述适用于各行业通风除尘的通用基本理论、方法，同时，也适当介绍各行业通风防尘的特殊方法、设计及前沿动态。本书由沈恒根编写第四章第一至五节、第八章第一至四节、第八章第六节，陈日辉编写第一章第一节、第六章第一至三节、第六章第六节、第七章第六至七节和部分附录，杨秀莉编写第三、九章，王志参与编写第八章及部分附录内容，马中飞编写其余部分并负责全书统稿。

在本书编写过程中，引用了许多文献资料，在此，谨向相关作者表示诚挚的谢意。

由于水平有限，时间仓促，书中恐有错误和不当之处，恳请读者赐教。

编 者

2008年8月

目 录

第一章 作业场所空气与粉尘	(1)
第一节 作业场所空气及其有害气体理化性质	(1)
第二节 空气基本物理参数及其对人体生理的影响	(7)
第三节 粉尘基本参数与性质	(12)
第四节 粉尘危害	(18)
第五节 工业有害因素控制标准及工业通风概述	(24)
本章小结	(29)
复习思考题	(29)
第二章 空气流动压力与阻力	(31)
第一节 空气流动基本方程	(31)
第二节 空气流动压力	(34)
第三节 风流流态与风道断面的风速	(37)
第四节 摩擦阻力	(39)
第五节 局部阻力	(45)
第六节 风道通风压力分布	(50)
本章小结	(53)
复习思考题	(53)
第三章 通风动力	(56)
第一节 自然通风动力	(56)
第二节 通风机械类型及构造原理	(61)

第三节	通风机实际特性曲线	(67)
第四节	通风机附属装置及设施	(73)
第五节	通风机合理工作范围及工况点调节	(79)
本章小结	.....	( 81)
复习思考题	.....	( 82)
第四章	通风设施	(83)
第一节	吸入口与吹出口气流运动规律	(83)
第二节	集气罩基本类型与工作原理	(88)
第三节	集气罩需要风量计算	(95)
第四节	风筒及其连接件	(102)
第五节	地面建筑全面通风设施	(110)
第六节	地下全面通风构筑物	(113)
本章小结	.....	( 117)
复习思考题	.....	( 117)
第五章	通风系统与通风方式	(119)
第一节	通风网络中风流的基本定律	(119)
第二节	简单通风网路特性	(121)
第三节	地面建筑与营运隧道通风系统类型及其选择	(125)
第四节	地层开掘施工局部通风与矿井通风系统类型及选择	(130)
第五节	均匀送风与置换通风方式的原理	(136)
第六节	网络中通风机串并联工作分析	(142)
第七节	通风系统风量调节	(145)
本章小结	.....	( 150)
复习思考题	.....	( 151)
第六章	粉尘综合控制	(152)
第一节	粉尘运动与分离理论基础	(152)

第二节 生产布局与工艺减少产尘	(160)
第三节 物料预先湿润黏结与湿式作业	(163)
第四节 喷雾降尘	(168)
第五节 通风排尘与物理降尘	(174)
第六节 化学减尘降尘	(179)
第七节 落尘清除与个体防护	(185)
第八节 粉尘爆炸的防止与隔绝	(189)
本章小结	(193)
复习思考题	(193)
第七章 除尘装置	(195)
第一节 除尘装置的分类与性能指标	(195)
第二节 机械式除尘装置	(199)
第三节 湿式除尘装置	(211)
第四节 电除尘装置	(219)
第五节 过滤式除尘装置	(229)
第六节 新型除尘装置	(243)
第七节 除尘装置的选择	(245)
本章小结	(248)
复习思考题	(249)
第八章 通风设计	(251)
第一节 工业通风设计的一般要求和步骤	(251)
第二节 地面建筑全面通风量计算与均匀送风管道设计	(252)
第三节 抽出式管道通风系统设计	(257)
第四节 地面建筑自然通风与置换通风设计	(264)
第五节 防排烟通风原理与设计	(271)
第六节 矿井及地层开掘通风设计	(279)
本章小结	(285)

复习思考题	(285)
第九章 通风与粉尘测定	(287)
第一节 空气温度与湿度测定仪器	(287)
第二节 空气压力和风速测定仪器	(291)
第三节 空气压力与风道风量的测定	(300)
第四节 通风阻力的测定	(306)
第五节 通风机性能的测定	(309)
第六节 粉尘主要物理参数的测定	(314)
第七节 作业场所粉尘浓度的测定	(321)
第八节 管道内粉尘浓度的测定	(328)
本章小结	(333)
复习思考题	(333)
附录	
附录 1 由干湿球湿度计读值查相对湿度表	(335)
附录 2 饱和水蒸气参数表	(336)
附录 3 几种气体或蒸气的爆炸极限	(337)
附录 4 各种粉尘的爆炸浓度下限	(338)
附录 5 局部阻力系数表	(338)
附录 6 通风压力单位换算表	(348)
附录 7 几种通风机的性能特性曲线	(348)
附录 8 几种典型通风机的性能范围	(353)
参考文献	(354)

第一章 作业场所空气与粉尘

本章学习目标：

1. 掌握作业场所空气及其典型有害气体理化性质。
2. 掌握空气基本物理参数的内涵。
3. 掌握粉尘基本参数、性质及其危害。
4. 了解温度、湿度、气压及空气流速对人体生理的影响，了解有害气体的工业有害因素控制标准及其工业通风概念。

第一节 作业场所空气及其有害气体理化性质

一、大气主要成分及其基本性质

按照国际标准化组织对大气的定义，大气是指环绕地球的全部空气的总和。大气由干燥清洁的空气、水蒸气和各种杂质组成，因此，大气属于湿空气。大气中的各种杂质是由自然过程和人类活动排到大气中的各种悬浮微粒和气态物质组成的，所占比例很小。水蒸气含量也很小，平均不到 0.5%，而且随着时间、地点和气象条件等不同而有较大变化，其变化范围可达 0.01%~4%。不过，大气中的水蒸气含量虽然很小，但水蒸气含量的变化对湿空气的物理性质和状态的影响是非常显著的。干燥清洁空气是大气最主要的成分，由氧气、氮气、二氧化碳、氩、氖和其他一些微量气体所组成，其组成成分比较稳定，典型干燥清洁空气的化学组成见表 1—1。大气中氧气（O₂）、氮气（N₂）及二氧化碳（CO₂）的基本性质如下：

1. 氧气（O₂）

氧气是维持人体正常生理机能所需要的气体。人类在生命活动过程中，必须不

表 1—1 干燥清洁空气的组成

气体名称	分子量	体积比/%	气体名称	分子量	体积比/ 10^{-6}
氮气 (N ₂)	28.01	78.084±0.004	氖气 (Ne)	20.18	1.8
氧气 (O ₂)	32.00	20.946±0.002	氦气 (He)	4.003	5.2
氩气 (Ar)	39.94	0.934±0.001	甲烷 (CH ₄)	16.04	1.2
二氧化碳 (CO ₂)	44.01	0.033±0.001	氪气 (Kr)	83.80	0.5
			氢气 (H ₂)	2.016	0.5
			氙气 (Xe)	131.30	0.08
			二氧化氮 (NO ₂)	46.05	0.02
			臭氧 (O ₃)	48.00	0.01~0.04

断吸入氧气，呼出二氧化碳。人体维持正常生命过程所需的氧气量，取决于人的体质、精神状态和劳动强度等。当空气中的氧浓度降低时，人体就可能产生不良的生理反应，出现种种不适的症状：氧的体积分数为 17% 时，静止时无影响，工作时能引起喘息和呼吸困难；降到 15% 时，人呼吸及心跳急促，耳鸣目眩，感觉和判断能力降低，失去劳动能力；达到 10%~12% 时，人将失去理智，时间稍长有生命危险；达到 6%~8% 时，人将失去知觉，呼吸停止，如不及时抢救几分钟内可能导致死亡。

2. 氮气 (N₂)

氮气是新鲜空气中的主要成分，它无色、无味、无臭，相对密度为 0.97，不助燃，也不能供人呼吸。在正常情况下，氮对人体无害，但有限空间内积存大量的氮气，氧浓度相对减小，也可使人因缺氧而窒息。利用氮气的惰性，可将其用于防火和防止气体及粉尘爆炸。

3. 二氧化碳 (CO₂)

二氧化碳是无色、略带酸味的气体，相对密度为 1.52，是一种较重的气体，很难与空气均匀混合，故常积存在作业场所的底部，在静止的空气中有明显的分界。二氧化碳不助燃，也不能供人呼吸，可溶于水，生成碳酸，使水溶液呈弱酸性，对眼、鼻、喉黏膜有刺激作用。在新鲜空气中含有微量的二氧化碳对人体是无害的，如果空气中完全不含有二氧化碳，人体的正常呼吸功能就不能维持。所以在抢救遇难者进行人工输氧时，往往要在氧气中加入 5% 的二氧化碳，以满足遇难者的呼吸机能。但当空气中二氧化碳的浓度过高时，也会使空气中的氧浓度相对下

降，轻则使人呼吸加快，呼吸量增加，严重时也能造成人员窒息。

二、作业场所主要空气成分

大气进入作业场所后，作业场所的有关物质将与大气混合，故其成分和性质将产生一系列的变化。如氧气浓度降低，二氧化碳浓度增加，混入各种有毒、有害气体和粉尘，空气的状态参数（温度、湿度、压力等）发生改变等。

尽管作业场所的空气与大气相比，在性质上存在许多差异，但在新鲜空气中其主要成分仍然是氧气、氮气和二氧化碳。

三、作业场所主要有害气体理化性质及其危害

根据气体（蒸气）类有害物质对人体危害的特征，一般可将其分为麻醉性、窒息性、刺激性、腐蚀性四类。下面介绍几种常见气体（蒸气）理化性质及其对人体的危害。

1. 二氧化硫（ SO_2 ）

二氧化硫是一种无色，有强烈硫黄味的气体，易溶于水，在风速较小时，易积聚于作业场所的底部，对眼睛有强烈刺激作用。二氧化硫遇水后生成硫酸，对眼睛和呼吸器官有腐蚀作用，能引起喉咙和支气管发炎，呼吸麻痹，严重时引起肺水肿。当空气中二氧化硫浓度为 0.000 5% 时，嗅觉器官能闻到刺激味；空气中二氧化硫浓度为 0.002% 时，有强烈的刺激，可引起头痛和喉痛；空气中二氧化硫浓度为 0.05% 时，可引起急性支气管炎和肺水肿，短期间内即死亡。 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 。

2. 硫化氢（ H_2S ）

硫化氢无色、微甜，有浓烈的臭鸡蛋味，当空气中浓度达到 0.000 1% 即可嗅到，但当浓度较高时，因嗅觉神经中毒麻痹，反而嗅不到。硫化氢相对密度为 1.19，易溶于水。硫化氢能燃烧，空气中硫化氢浓度为 4.3%~45.5% 时有爆炸危险。硫化氢剧毒，有强烈的刺激作用，不但能引起鼻炎、气管炎和肺水肿，而且还能阻碍生物的氧化过程，使人体缺氧。当空气中硫化氢浓度较低时，主要以腐蚀刺激作用为主，当浓度较高时能引起人体迅速昏迷或死亡，腐蚀刺激作用往往不明显。硫化氢进入人体后，在肺泡内很快就被血液吸收，氧化成无毒的硫酸盐，但未被氧化的 H_2S 则发生毒害作用。 H_2S 也很容易溶于黏膜表面的水分中，与钠离子结合成硫化钠，对黏膜有强烈的刺激作用，可引起眼炎及呼吸道炎症，甚至肺水肿。

H₂S对人体全身的致毒作用在于它和氧化型细胞色素酶的三价铁结合，使酶失去活性，影响细胞氧化，造成人体组织缺氧。空气中H₂S浓度过高（900 mg/m³以上）可直接抑制呼吸中枢，引起窒息而迅速死亡。急性中毒后遗症包括头痛与智力下降，慢性中毒症状一般为眼球酸痛，有灼伤感，肿胀畏光，并引起气管炎和头痛。

3. 氮氧化物 (NO_x)

氮氧化物主要是指一氧化氮(NO)和二氧化氮(NO₂)，来源于燃料的燃烧及化工、电镀等生产过程。二氧化氮是一种褐红色的气体，有强烈的刺激气味，相对密度为1.59，易溶于水。二氧化氮溶于水后生成腐蚀性很强的硝酸，对眼睛、呼吸道黏膜和肺部组织有强烈的刺激及腐蚀作用，严重时可引起肺水肿。二氧化氮中毒有潜伏期，有的在重度中毒时尚无明显感觉，还可坚持工作。但经过6~24小时后发作，中毒者指头出现黄色斑点，并出现严重的咳嗽、头痛、呕吐甚至死亡。NO₂含量为1×10⁻⁶~3×10⁻⁶时，可闻到臭味；含量为13×10⁻⁶时，眼鼻有急性刺激感及胸部不适；含量在25×10⁻⁶~75×10⁻⁶时，肺部绞痛；300×10⁻⁶以上时，发生支气管炎及肺水肿死亡。NO对人体的生理影响还不十分清楚，它与血红蛋白的亲合力比CO还要大几百倍。如果动物与高浓度的NO相接触，可出现中枢神经病变。

4. 甲烷 (CH₄)

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，但人吸入含有浓度57%以上甲烷的混合空气时，因其可使混合空气中氧浓度降至10%以下，将会使人窒息。另外，甲烷在空气中具有一定浓度并遇到高温(650~700℃)时能引起爆炸，如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。

5. 苯 (C₆H₆)

苯属芳香烃类化合物，在常温下为无色透明带特殊芳香味的无色液体，极易挥发，熔点5.51℃，沸点80.1℃，相对密度为0.879，微溶于水，易溶于酒精、乙醚、氯仿、丙酮等，苯的闪点为10~12℃，易引起燃烧爆炸。苯在工业上用途很广，作为原料用于燃料工业和农药生产，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。苯进入人体的途径是从呼吸道或从皮肤表面渗入。苯刺激黏膜、皮肤，出现痒疹、脱脂性皮炎、湿疹等；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，轻者表现为神志恍惚、兴奋、步态不稳、头晕、头痛、恶心、呕吐等，重者可出现意识模糊、昏迷或抽搐，甚至导致呼

吸、心跳停止；长期接触低浓度的苯可引起慢性中毒，主要是对神经系统和造血系统的损害，表现为头晕、头痛、失眠、多梦、乏力、健忘、白血球持续减少、血小板减少而出现出血倾向。

6. 氰化物

氰化物种类很多，比较常见的有氰氢酸、氰酸盐类、腈类、氰甲酸酯类、氯化氰、溴化氰等。氰化物是一种剧毒物质，以氰化氢（HCN）毒性最大。在其他氰化物中，凡能在空气或者组织中放出氰化氢或氰离子的，都具有与氰化氢相仿的毒作用。氰化物的毒理作用在于氰离子能迅速与氧化型细胞色素氧化酶的三价铁结合，并阻碍其细胞色素还原为带两价铁的的还原型细胞色素氧化酶，使组织细胞不能得到足够的氧气，引起缺氧而中毒。在生产条件下，氰化物主要以氰化氢气体或氰化物盐类粉尘形态经呼吸道进入人体内而引起中毒，高浓度时也可经皮肤少量吸收而引起中毒，其急性中毒表现为中枢神经缺氧，呼吸困难，胸部压迫感，血压升高，心律不齐，瞳孔逐渐散大，眼球凸出，皮肤黏膜呈鲜红色，全身肌肉松弛，感觉和反射消失，呼吸慢以至停止。

7. 一氧化碳（CO）

一氧化碳是一种无色、无味、无臭的气体，相对密度为 0.97，微溶于水，能与空气均匀地混合。一氧化碳能燃烧，当空气中一氧化碳浓度在 13%~75% 时有爆炸的危险；浓度达 0.4% 时，在很短时间内人就会失去知觉，抢救不及时就会中毒死亡。一氧化碳与人体血液中血红素的亲和力比氧大 150~300 倍（血红素是人体血液中携带氧气和排出二氧化碳的细胞）。一旦一氧化碳进入人体后，首先就与血液中的血红素相结合，因而减少了血红素与氧结合的机会，使血红素失去输氧的功能，从而造成人体血液“窒息”。所以，医学上又将一氧化碳称为血液窒息性气体。由于一氧化碳与血红素结合后，生成鲜红色的碳氧血红素，故一氧化碳中毒最显著的特征是中毒者黏膜和皮肤均呈樱桃红色。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 个月的假愈期，出现一系列神经精神障碍等迟发性脑病。CO 多数为燃烧、爆炸时的产物，或来自煤气的泄漏。

8. 甲醛（HCHO）

甲醛又称蚁酸，是无色、有强烈刺激性气味的气体，相对密度为 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、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