

高等学校城市地下空间工程专业规划教材

CHENGSHI Dixia Kongjian Tongfeng Yu Paishui

城市地下空间 通风与排水

毕德纯 孙峰 主编

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

空间工程专业规划教材

城市地下空间通风与排水

主 编 毕德纯 孙 峰



中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书针对城市地下工程的通风与排水,介绍了城市地下工程空气物理学,城市地下空间空气的流动规律,城市地下空间的通风原理、通风特点、通风方法,城市地下工程充水条件,城市地下空间水流的基本条件,城市地下工程排水的基本原理和基本方法。并介绍了地下空间工程的通风设计计算方法及排水参数的计算方法。

本书可供城市地下空间工程专业的师生、从事城市地下工程设计与施工人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

城市地下空间通风与排水 / 毕德纯, 孙峰主编. —
徐州: 中国矿业大学出版社, 2018. 9

ISBN 978-7-5646-3935-8

I. ①城… II. ①毕… ②孙… III. ①城市空间—地下工程—通风系统—高等学校—教材②城市空间—地下工程—排水系统—高等学校—教材 IV. ①TU94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 068409 号

书 名 城市地下空间通风与排水
主 编 毕德纯 孙 峰
责任编辑 陈红梅
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 16.75 字数 418 千字
版次印次 2018 年 9 月第 1 版 2018 年 9 月第 1 次印刷
定 价 34.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

1991年,东京“城市地下空间利用”国际学术会议通过的《东京宣言》提出:21世纪是人类地下空间开发利用的世纪。城市发展空间由地面及上部空间向地下延伸,是世界城市发展的必然趋势,“向地下要土地、要空间已成为城市历史发展的必然”。

地下空间开发利用容量决定了城市地下空间的开发利用模式、规模和可持续性,适度、合理、科学地开发利用城市地下空间资源,是城市可持续发展的重要保障。进行城市地下空间的开发是改善城市环境、缓解城市交通压力、提高城市集约化程度、保障城市人防安全的重要手段,也是城市发展的必由之路。

“19世纪是桥的世纪,20世纪是高层建筑的世纪,21世纪则是开发利用地下空间的世纪”。在21世纪的第一个10年里,我国政府遵循科学发展观,提出了构建资源节约型、环境友好型社会。

“地上地下一体化”作为未来城市开发模式,从环境改善上具有以下功能:一是修建地下快速道路,通过对地下汽车尾气的收集、处理,降低一氧化碳的排放;二是构建地下物流系统,有效地减少氮氧化物和二氧化碳的排放量;三是地下建筑有相当明显的节能减排效果。

而地下空间首先面临的问题是通风问题,地下空间在使用过程中,必须源源不断地将地面空气输送到各个地点,以供人员呼吸,稀释和排除各种有毒、有害气体以及粉尘,创造良好的地下空间环境,保障人们的身体健康和安全。

地下空间所面临的主要灾害是地下水;同时,地表水和雨水等也可以通过各种通道进入地下空间。为保证地下空间的正常生产、建设及生活,必须及时将其排出,当涌水量超过正常排水能力时,即酿成水灾。

“城市地下空间通风与排水”课程是对前人所做的地下空间通风与排水的经验、规律和理论应用的总结,是城市地下空间工程专业针对城市地下空间环境控制,以及地下空间工程灾害防护与安全技术等方面内容的一门专业课。

城市地下空间工程专业主要培养城市地下空间开发利用的规划、设计、研究、开发利用、施工等领域的技术和管理人才。本书便是应高等院校城市地下空间工程专业的人才培养需要而编写的。

本书依据高等学校城市地下空间工程专业“城市地下空间通风与排水”课程教学大纲要求,可按32~48学时授课。

本书编写过程中,注重以下两个方面的体现:

1. 重视基础理论知识的阐述。在编撰过程中,凡通风、排水涉及的“工程热力学”、“工程流体力学”知识,本书都有较多的介绍,使全书对城市地下空间通风与排水的基础理论及

应用的介绍更加系统,也使读者在学习过程中能深入浅出,易学易懂。

2. 重视理论联系实际及技术的应用,本书在编写过程中注意把理论与实际结合起来,结合地下空间实际编写了大量的例题,并且列举了大量的实际案例分析,使读者在学习过程中能有的放矢,应用时更得心应手。

本书由辽宁石油化工大学毕德纯、孙峰、徐爽、刘伟四人编写。

本书由毕德纯对全书进行统稿、定稿,刘伟进行文字整理工作。

在编写本书过程中,得到了张树江教授、韩杰博士的大力支持和帮助,提出了许多宝贵的意见,在此表示深深的谢意。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和不当之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2018年4月于抚顺

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 城市地下空间工程的特点	1
1.2 地下空间的空气成分及现行标准	4
1.3 地下空间通风的任务与主要通风方法	11
1.4 城市地下空间的发展趋势	12
1.5 城市地下空间通风的研究方向与发展	13
思考与练习题	14
第 2 章 地下空间空气物理学	15
2.1 地下空间空气的主要物理参数及气候条件	15
2.2 地下空间的气候描述	21
2.3 地下空间气候参数的测定	35
2.4 地下空间气候参数的换算	39
思考与练习题	43
第 3 章 空气动力学基础	44
3.1 流体的概念	44
3.2 风流能量与压力及其测定	49
3.3 风流能量方程	58
思考与练习题	63
第 4 章 地下空间通风阻力	64
4.1 风流的流动状态	64
4.2 地下空间风流的流动形式	65
4.3 摩擦阻力	67
4.4 局部阻力	73
4.5 巷道阻力特性	77
4.6 通风阻力测定	79

思考与练习题	83
第 5 章 地下空间工程的通风动力	85
5.1 风的有关参数及风玫瑰图	85
5.2 自然通风的作用原理	86
5.3 自然压差的计算	90
5.4 自然通风阻力的计算	94
5.5 通风机的构造与分类	94
5.6 通风机基本参数与特性曲线	99
5.7 通风机运行与管理	104
思考与练习题	113
第 6 章 地下空间工程掘进时通风	116
6.1 掘进通风方法	116
6.2 掘进通风设备	122
6.3 掘进工作面风量计算	132
6.4 局部通风机的选择	135
6.5 长风道、竖井掘进时的通风	135
6.6 掘进通风系统设计	137
6.7 掘进通风技术管理及安全措施	138
6.8 掘进通风设计实例	141
思考与练习题	143
第 7 章 地下工程形成后的通风	144
7.1 地下巷道和硐室的通风管道布置形式	144
7.2 地下工程通风网络	147
7.3 通风网络的风量调节	161
思考与练习题	167
第 8 章 地下空间工程通风设计	170
8.1 地下空间工程通风设计原则	170
8.2 地下空间工程通风与空调设计的任务与内容	178
8.3 地下空间工程通风量计算	179
8.4 地下空间工程通风与空调设计案例	181
思考与练习题	196

第 9 章 城市地下空间排水	198
9.1 地下空间充水的条件	198
9.2 地下水流的基本特性	199
9.3 降水原理与参数计算	208
9.4 井点降水方法	213
9.5 常用的明挖排水方法	220
9.6 基坑明挖排水的计算	222
9.7 地下防水工程	228
思考与练习题	237
附录	239
附录 1 不同温度下饱和水蒸气分压表(100 Pa)	239
附录 2 相对湿度表	241
附录 3 湿空气焓湿图	242
附录 4 风管单位长度摩擦阻力线算图	243
附录 5 通风管道统一规格	244
附录 6 井巷摩擦阻力系数 α 值	246
附录 7 井巷局部阻系数 ξ 值	248
附录 8 几种典型通风机的性能特性曲线	249
附录 9 几种常用填料的特性数据	252
附录 10 人防工程设计文件编制要求(通风空调)	252
附录 11 防空地下室设计文件审查要点(通风空调)	254
附录 12 防空地下室设计互提资料深度要求	256
参考文献	258

第1章 绪 论

1.1 城市地下空间工程的特点

1863年,英国伦敦建成了世界上第一条地铁,从此拉开了近代开发利用地下空间的序幕。由于国外城市地下空间的开发和利用起步较早,因此一些发达国家地下空间浅层部分目前已基本利用完毕,地下空间开发逐步向深层发展,其发展的主要趋势是综合化。首先,欧洲、北美等地区和日本的一些城市都建设了不同规模的地下综合体,成为具有大城市现代化象征的建筑类型之一;其次,综合化也表现在地下步行道系统和地下快速轨道系统、地下高速道路系统的结合,如加拿大蒙特利尔地下城,充分展示了它在开发建设过程中与地铁的完美结合。

最初设置地下城市空间环境的出发点主要有以下几种:

- (1) 土地保护:保护耕地免受城市快速扩张侵占,如荷兰、以色列、日本。
- (2) 城市土地价格昂贵:城市增长造成空间需求激化,土地价格暴涨,使得地下建筑更为经济,如美国、英国和日本的大城市。
- (3) 防御:把地下空间作为重要的防御因素,出于安全需要,在大山或丘陵地带开发地下空间,如以色列和中国。
- (4) 城市规模建设的需要:地下空间会大大减少市政管网的铺设长度,使其更加经济合理有效。世界范围的许多大都市都存在着由于市政管网扩展过长造成低效率的例子。
- (5) 应对恶劣气候:位于严酷的干热气候或干冷气候条件下的城市,如中东地区、美国西南部、北非、澳大利亚、加拿大中部、西伯利亚以及中国的西北和东北地区,这些地区的气候条件恶劣,而且能量的消耗较大。

我国城市地下空间的利用率不高,主要表现在深层空间利用还不够完善,城市地下空间利用还停留在浅层,有广阔的城市地下空间还未被利用。

1.1.1 城市地下空间工程的概念、范畴

作为原有地上城市或新建城镇的一种补充,不同学者从不同角度对地下空间给出了不同的定义:

美国的格兰尼博士认为“地下空间”即为“geo-space”一词,是指建造在土地里面的空间。通常指建在地下从室内顶棚到土壤表面大约有3 m深处的空间。

我国的童林旭教授从地下空间的现实形态出发,认为“地下空间是指在地球表面以下的土层或岩层中天然形成或经人工开发而成的空间”。

车建仁博士从建筑形态入手,认为“地下空间是指结合地面建筑一并开发建设的地下工程(结建地下空间)以及独立开发建设的地下工程(单建地下空间)”。

还有学者认为,地下空间是相对于地上空间而言的,是指地球表面以下由天然或人工掘凿形成的空间,若针对建筑方面来说,它的范围非常广泛,比如地下商城、地铁、地下停车场、矿井、军事工程、穿海隧道等空间。

从地理学角度出发,地下空间是指位于地表以下可供人们利用的天然或经人工形成的立体空间的总称。

综上所述,城市地下空间应是指城市规划区内地表以下的空间。城市地下空间工程是指在城市地下空间的土体或岩体中修建各种类型的地下建筑物或结构物的工程。它是一门涉及范围广阔的综合学科,是实现高效、文明、舒适和安全的现代化城市的重要组成部分。

1.1.2 城市地下空间工程的分类

由于不同分类标准,致使地下空间可分为不同类型:

(1) 根据与地上建筑物的关系来划分,地下空间可以分为结建地下空间和单建地下空间,这也是在实际应用中运用最广泛的分类。

结建地下空间指的是该地下空间与地面建筑连为一体,彼此之间在地理位置上相依的情况。地上空间可以和地下空间是同一权利人开发建设,也可是不同权利人分别开发建设而成(图 1-1)。

单建地下空间指的是地面与地下物理桩基有直接联系的地下空间,像在广场、公园、道路等地下开发的地下空间都为单建地下空间。在地面下单独开发的,与地表的建筑物无任何联系的也属于单建地下空间(图 1-2)。

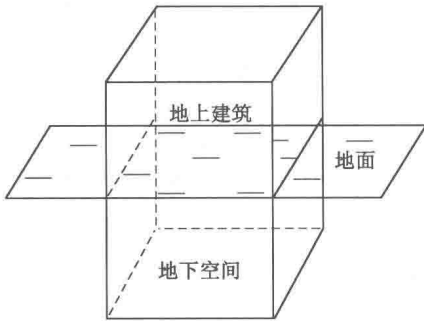


图 1-1 结建地下空间

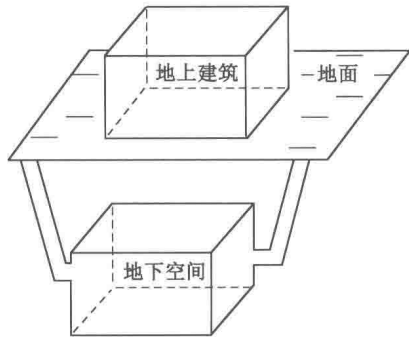


图 1-2 单建地下空间

(2) 根据地下空间不同的用途分类,可以分为 3 大类:私人物品类地下空间、准公共物品类地下空间、公共物品类地下空间,见表 1-1。

表 1-1 地下空间用途分类

私人物品类	商服设施	商业设施	地下商场、商业街(包括超市、商场的仓库等)等
		餐饮旅馆	地下餐厅、饭店、旅馆、酒吧等
		其他	旅行社、歌舞厅、俱乐部、洗车场、维修店等服务类设施
	工矿仓储设施	地下厂房、地下车间等用于物资储备的场所及设施	
	静态交通设施	私人地下车库等	
	居住设施	私人地下室等	

续表 1-1

准公共物品类	人防工程改建的地下车库、地下商场、地下室等	
公共物品类	动态交通设施	地下轨道
		地下公路、过江隧道、穿山隧道、地下街、地下通道等
		地下物流系统
	市政设施	水、电、气、暖、通讯等地下管道
		地下废弃物处理点
	科研设计设施	地下研究室、实验室、设计室等
	文体设施	地下图书馆、体育馆、展览馆、影剧院等
	医疗卫生设施	地下医疗、卫生、防疫等
	物资储备设施	地下仓库等
	民防设施	地下防空洞、指挥所等
	军事设施	地下军事基地、训练场等

(3) 根据不同的开发深度来分,可以分为四个层次,见表 1-2。

表 1-2 地下空间按开发深度的分类

类别	深度/m	建筑类型	优缺点
浅层地下空间	0~10	地下商业、停车场、步行街	优点:开发利用简单; 缺点:容易受到地面环境和已有地下设施的影响
次浅层地下空间	10~30	大规模的商业休闲娱乐设施及地下铁道、公共设施	受地面环境和已有地下工程影响较小,具有较强的封闭性和独立性
次深层地下空间	30~100		封闭性强、地质状况稳定
深层地下空间	>100		完全与外界隔绝,开发难度很大

1.1.3 城市地下空间特点

(1) 未被利用的开阔空间

自从人类诞生以来,人类的主要活动都是集中在地面上,城市地下空间资源一直没有被重视并加以广泛利用。近几十年来,随着城市的扩张近乎饱和,地上城市已经非常拥挤,开阔的城市地下空间为人们提供了新的生存空间。经估算,即使只开发相当于城市总容积的 1/3 的地下空间,就等于全部城市地面建筑的容积。

(2) 具有良好的抗灾和防护性能

覆盖地下建筑的土、岩石有一定的厚度,可以避免包括战争或爆破的破坏,同时也能较有效地抗御地震、飓风等自然灾害。

(3) 具有良好的热稳定性和密闭性

阳光被遮断,温度和湿度比较固定且不易散去。在地下建筑中形成一个由土壤和岩石的特性所包围的、相对稳定的温度场,非常适合对温度、湿度要求较高的洁净生产或生活。

(4) 潮湿

由于受到地下空间施工用水、岩层裂隙渗水、各种工艺散湿的影响,又不受太阳的照射,地下空间比地面要潮湿。

(5) 噪声较大

地下空间是一个封闭的空间,建筑材料主要是混凝土、料石和砖,吸声效果差,所以噪声明显比地面要大。

(6) 施工条件复杂、价格高

城市地下工程通常是在城市已经形成后才逐步修建的,而且需要与地面已有的建筑、交通设施都一一衔接。一般来说,城市地下工程的施工较复杂、工期长、工程造价高。根据近几年国内外建成的地下铁道不完全统计,每千米造价达到 3 亿~5 亿元人民币,国内有的地方还要高一些。

1.2 地下空间的空气成分及现行标准

1.2.1 地下空间空气的主要成分

地下空间空气的主要来源是地面空气。地面空气是由多种气体组成的干空气和水蒸气组合而成的混合气体。通常状况下,干空气各组分数量基本不变(表 1-3)。在混合气体中,水蒸气的浓度随地区和季节而变化,其平均浓度约为 1%,此外还含有尘埃和烟雾等杂质。

表 1-3 干空气的主要成分

气体成分	按体积计/%	按质量计/%
氮气(N ₂)	78.13	75.57
氧气(O ₂)	20.90	23.10
二氧化碳(CO ₂)	0.03	0.05
氩气(Ar)	0.93	1.27
其他(水蒸气、惰性气体和微量的灰尘与微生物等)	0.01	0.01

地面空气进入地下空间后,由于受到污染,其成分和性质要发生一系列的变化,如氧浓度降低、二氧化碳浓度增高、空气的状态参数(如温度、相对湿度、压力等)发生改变等。

1) 氧气(O₂)

氧气是无色、无臭、无味、无毒和无害的气体,对空气的相对密度为 1.11。它的化学性质很活泼,几乎可以与所有气体发生化学反应。氧能助燃和供人与动物呼吸。

氧气与人的生命有着密切关系。人之所以能生存,是因为人体内不断进行着细胞的新陈代谢,而细胞的新陈代谢是依靠人吃进食物和吸入空气中的氧在体内进行氧化来维持的。因此,凡是在地下空间有人员工作或通行的地点都必须要有充足的氧气。人体维持正常的生命过程所需的氧量取决于人的体质、精神状态、劳动强度等。一般来说,人在休息时平均需氧量为 0.25 L/min,进行工作和行走时为 1~3 L/min。

空气中氧浓度对人的健康影响很大,最有利于呼吸的氧浓度为 21%左右。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,出现种种不舒适的症状,严重时可能导致

缺氧死亡。人体缺氧症状与空气中氧浓度的关系见表 1-4。

表 1-4 人体缺氧症状与空气中氧浓度的关系

氧浓度(体积)/%	主要症状
17	静止时无影响,工作时能引起喘息和呼吸困难
15	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
10~12	失去理智,时间稍长有生命危险
6~9	失去知觉,呼吸停止,如没有及时抢救几分钟内可能导致死亡

2) 氮气(N₂)

氮气是无色、无味、无臭的惰性气体,是新鲜空气中的主要成分,对空气的相对密度为 0.97,它本身无毒、不助燃,也不供人呼吸。在正常情况下,氮气对人体无害。但空气中若氮气浓度升高,则势必造成氧浓度相对降低,从而也可能导致人员的窒息性伤害。在废弃的一些人防工程内,可积存大量的氮气,氧浓度相对减少,易使人缺氧而窒息。

地下空间空气中氮气的主要来源是:地面大气、井下爆破和生物的腐烂。

3) 二氧化碳(CO₂)

二氧化碳是无色略带酸臭味的气体,对空气的相对密度为 1.52。它是一种较重的气体,很难与空气均匀混合,常积聚于地下空间的底部,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,易溶于水,可生成碳酸,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,它对人的呼吸有刺激作用,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。当肺泡中二氧化碳增多时,能刺激人的呼吸神经中枢,引起呼吸频繁、呼吸量增加。所以,在急救受到有害气体伤害的患者时,常常首先让其吸入含有 5%二氧化碳的氧气以加强呼吸。但是,当空气中二氧化碳的浓度过高时,会使空气中的氧浓度相对降低,轻则使人呼吸加快、呼吸量增加,严重时也可能造成人员中毒或窒息。空气中二氧化碳对人体的危害程度与浓度的关系见表 1-5。

表 1-5 二氧化碳中毒症状与浓度的关系

CO ₂ 浓度 (体积)/%	主要症状	CO ₂ 浓度 (体积)/%	主要症状
1	呼吸困难,但对工作效率无明显的影响	6	严重喘息,极度虚弱无力
3	呼吸急促,心跳加快,头痛,人体很快疲劳	7~9	动作不协调,大约十分钟可发生昏迷
5	呼吸困难,头痛,恶心,呕吐,耳鸣	9~11	数分钟内可导致死亡

地下空间室内环境中,由于人的呼吸导致 CO₂ 浓度含量增加的部分不能靠通风排除,会使室内的 CO₂ 浓度升高。人对 CO₂ 浓度变化极为敏感,一般要求室内 CO₂ 浓度不超过 0.1%~0.15%。地下工程中 CO₂ 的浓度不应大于 0.5%~1%,大多数地下公共建筑内空气中的 CO₂ 浓度可控制在 0.15%以内。

地下空间二氧化碳的主要来源有:有机物的氧化、人员的呼吸、地下空间碳酸性岩石的分解、爆破工作、火灾等。

1.2.2 地下空间空气中常见的有害物质

在开挖地下工程时多用凿岩爆破方法进行,而爆破后的炮烟主要由一氧化碳(CO)和氮氧化物(NO_x)组成,它们是对人体危害较大的有毒气体。在巷道作业时,近年来多采用柴油发动机的货运设备。有的地下空间作为汽车库使用,而汽车有柴油发动机和汽油发动机。有些重要的地下工程,如地下医院、地下车间,往往也设有柴油发电机,作为地下工程自用电或急用电的动力。柴油机废气中包括:CO、 CO_2 、 NO_x 、 SO_2 、 CH_4 、甲醛、丙烯醛等有害气体。此外,在岩石中掘进巷道会产生大量含游离二氧化硅的粉尘,这些粉尘也是地下空间的有害物质之一。

地下空间内的空气是从地面送入的,在环境污染较重的工业城市和工厂附近的空气中含有大量烟尘,如 SO_2 、CO、 H_2S 及其他有机物质,若地下空间距污染区较近,则其进风中可能含有大量有毒物质,这也构成了地下空间中的一类有害物质。为了防止有害物质对人体的危害,最主要的措施是通风稀释和排出,使地下空间中的有害物质不超过卫生标准规定的允许浓度,以保证地下工程中工作人员的身体健康、舒适的劳动环境。

在人员集中的地下空间(如人防工程)中,人体排出的二氧化碳和蛋白质分解、人体新陈代谢的产物,如臭气、汗味等,也可认为是地下空间中的一类有害物质。

要准确计算消除这些有害物质的通风风量,为设计通风所用动力、设备提供重要的参数。

我国针对空气中有害物质制定了两种最高容许浓度,表示有害物质在空气中的允许浓度。

一是最高容许浓度:任何一次测定结果的最大容许值,作为防止急性有害作用的瞬间接触容许浓度。

二是日平均最高容许浓度:任何一日的平均浓度的最大容许值,作为防止慢性毒作用的容许浓度。

国际上采用 ppm(10^{-6})作单位,它表示按体积比的百万分之几,相当于 1 m^3 空气中有害气体的 cm^3 数。有害气体在空气中的浓度还可以用 mg/m^3 表示。在标准状况下,ppm 与 mg/m^3 的关系为:

$$1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg}/\text{m}^3 \times \frac{22.41}{M} \quad (1-1)$$

$$1 \text{ mg}/\text{m}^3 = 1 \text{ ppm} \times \frac{M}{22.41} \quad (1-2)$$

式中 M ——物质的分子质量。

1) 一氧化碳(CO)

一氧化碳是无色、无味、无臭的气体,标准状态下密度为 $1.25 \text{ kg}/\text{m}^3$,难溶于水,爆炸界限为 13%~75%。一氧化碳极毒,当空气中含有 0.4%时,很短时间人就会死亡。

人体血液中的血红蛋白是专门在肺部吸收空气中的氧气以维持人体的需要。血红蛋白与 CO 的亲合力超过它与氧的亲合力的 250~300 倍。血红蛋白与 CO 结合,形成 CO 血红蛋白,妨碍人体内的供氧能力,使人体各部分组织和细胞缺氧,引起一系列血液中毒现象,严重时造成窒息死亡。随着 CO 浓度的增加,开始是头昏、剧烈性头痛、恶心,而后失去知觉、呼吸停顿而死亡。CO 的中毒作用见表 1-6。

表 1-6 接触时间(h)与 CO 浓度(10^{-6})的乘积和症状的关系

时间(h)×浓度(10^{-6})	中毒症状	时间(h)×浓度(10^{-6})	中毒症状
300	不发生症状	900	头痛、恶心
600	开始有轻微症状	1 500	生命垂危

我国规定,地下空间和矿山正常空气中的一氧化碳不得超过 0.002 4%(即 24 ppm)。爆破后,在通风机连续运转的条件下,一氧化碳浓度降到 0.02%以下,才允许人员进入工作地点但仍须继续通风,使一氧化碳达到正常的含量。

2) 氮氧化物(NO_x)

氮氧化物主要来源于开挖地下巷道时炸药爆破和柴油机工作时的废气。 NO 极不稳定,易与空气中的氧结合生成 NO_2 。

关于一氧化氮对人体的影响,虽还没有得到完全的了解,但如果动物接触浓度非常高的一氧化氮时,会发生由于中枢神经系统受到伤害所产生的麻痹和痉挛。

二氧化氮是一种红褐色具有强烈窒息感的有毒气体,密度为 1.88 kg/m^3 ,易溶于水,生成腐蚀性很强的硝酸。高浓度的二氧化氮触及人体黏膜,如眼、鼻、喉等会引起强烈刺激,导致头晕、头痛、恶心等症状,对人体危害最大的是破坏肺部组织,引起的肺水肿,症状显示为嘴唇发紫,发生紫斑。吸入大量的二氧化氮,经过 5~10 h,甚至 1 d 左右才会发生重症状,咳嗽吐黄痰、呼吸困难以致意识不清,造成死亡,中毒死亡的浓度为 0.025%。表 1-7 所列为二氧化氮的浓度和中毒的症状。

表 1-7 二氧化氮对人体的影响

NO_2 含量/ 10^{-6}	对植物及人体的影响
1	仅感到有臭气刺激味
2.5	接触 7 h 以上,豆类及西红柿的菜叶子变白
3.5	接触 2 h,嘴部细菌感染性增强
5	感到有强烈的刺激臭味(类似臭氧)
10~15	刺激眼、鼻、上呼吸道
25	短时间接触的安全限度
50	在 1 min 内引起鼻刺激及呼吸不全
80	3~5 min 引起胸痛
100~150	接触 30~60 min,引起肺水肿,有死亡危险
>200	瞬时接触,招致生命危险症状,死亡

我国对煤矿和金属矿都有规定,氮氧化物换算为 NO_2 不得超过 0.000 25%(2.5 ppm),地下工程作业面也可以参考该标准。

美国、日本、德国、加拿大等国家都规定地下空间的空气中 NO_2 的允许浓度不得超过 5×10^{-6} 。

3) 二氧化硫(SO_2)

二氧化硫是一种无色有强烈刺激性气味的气体,易溶于水,标准状态下密度为 2.93

kg/m³。

当空气中含二氧化硫为 0.000 5% 时,嗅觉器官就能闻到硫黄味。它对眼和呼吸器官有强烈的刺激作用。在高浓度下,二氧化碳能引起激烈的咳嗽,使咽喉和支气管发炎、反射性支气管狭窄,严重时会造成肺水肿、肺心病。

地下空间空气里二氧化硫含量不得超过 0.000 5%(5 ppm)。表 1-8 列出了二氧化硫浓度及其对人体的影响。

表 1-8 二氧化硫对人体的影响

SO ₂ 含量/10 ⁻⁶	作用	SO ₂ 含量/10 ⁻⁶	作用
0.5~1	感到臭味	30~40	呼吸困难
2~3	变为刺激味,感到不舒服	50~100	短时间(0.5~1 h)的忍耐界限
5~10	刺激鼻、喉、咳嗽	400~500	短间接接触,生命危险
20	眼受刺激,咳嗽激烈		

4) 硫化氢(H₂S)

硫化氢是一种无色、有臭鸡蛋气味的气体,标准状态下密度为 1.43 kg/m³,易溶于水,有燃烧爆炸性,爆炸浓度下限为 6%。

硫化氢能使血液中毒,刺激眼、鼻、喉和呼吸道的黏膜。硫化氢浓度达 0.01% 时就能嗅到并使人流鼻涕。吸入高浓度硫化氢后,会引起头痛、头晕、步伐紊乱、呼吸障碍,严重时引起意识不清、痉挛、呼吸麻痹而造成死亡。

地下空间中,空气里硫化氢的含量不得超过 0.000 66%(6.6 ppm)。表 1-9 列出了硫化氢对人的毒性。

表 1-9 硫化氢对人体的影响

H ₂ S 含量/10 ⁻⁶	作用或毒性
0.025	能嗅到刺激味,因人而异
0.3	有明显的臭味
3.5	中等强度不适感
10	刺激眼黏膜
20~40	肺黏膜刺激下限,短时尚能忍耐
100	2~5 min 嗅觉迟钝,接触 1 h 刺激眼与呼吸道,8~48 h 连续接触往往造成死亡
173~300	接触 1 h,不会引起重大的健康损害的下限
400~700	接触 30 min~1 h,有生命危险
800~900	迅速丧失意识,呼吸停止、死亡
1 000	立即死亡

5) 甲醛(HCHO)

甲醛又称为蚁醛,是一种无色,具有刺激性气味的气体,易溶于水。

甲醛能刺激皮肤使其硬化,并促成纹理裂开变成溃疡。甲醛蒸气刺激眼睛,致使人流泪,吸入呼吸道则刺激黏膜,咳嗽不止。

在车间环境中,我国规定空气中甲醛浓度不得超过 5 mg/m^3 。地下空间有柴油机工作时,美国、德国、日本等国都规定,在空气中甲醛的允许浓度不得超过 5×10^{-6} 。

6) 矽尘

深层或山洞内的地下工程,在开挖岩石的过程中,凿岩、爆破、装运、破碎等工序都产生大量含游离 SiO_2 的粉尘。石英的 SiO_2 含量在 99% 以上,并在自然界中分布很广,是酸性火成岩、砂岩、变质岩的组成部分。这些岩尘中的游离 SiO_2 是引起硅肺病的主要原因。

粒径大于 $10 \mu\text{m}$ 的粉尘称为可见粉尘; $0.25 \sim 10 \mu\text{m}$ 的粉尘称为显微粉尘;小于 $0.25 \mu\text{m}$ 的用超倍显微镜才能观察到,则称为超显微粉尘。各种粒径的粉尘在粉尘整体中所占的百分比称粉尘分散度。某些粉尘因其氧化面积增加,在空气中达到一定浓度时有爆炸性。但是,含游离 SiO_2 的粉尘的主要危害是能引起硅肺职业病。

硅肺病是因为长期大量吸入含游离 SiO_2 的粉尘而引起的,矽尘被吸入肺泡后,一部分随呼气排出,另一部分被吞噬细胞所包围,并能返回呼吸道而排出人体,还有一部分沉积于肺泡内。由于矽尘在肺泡内形成硅酸胶毒,能杀死吞噬细胞而残留于肺组织内,形成纤维性病变和矽尘结节,逐步发展,使肺组织失去弹性而硬化,从而使一部分肺组织失去呼吸作用,致使全肺呼吸功能减退,出现咳嗽、气短、胸痛、无力,严重时丧失劳动能力,往往并发肺结核而死亡。硅肺病的发病时间,因劳动环境、防护状况、个人体质、生活条件而不同。由 3~5 a 至 20~30 a 不等。地下工程中的综合防尘措施有:通风除尘、湿式作业、密闭尘源、个体防护等。

关于生产性粉尘的允许浓度,目前各国多以重量法表示(mg/m^3),即规定每立方米空气中不超过若干毫克数。我国规定,空气中含有游离 SiO_2 在 10% 以上的粉尘,不得超过 2 mg/m^3 ,一般粉尘不得超过 10 mg/m^3 。

7) 灰尘和放射性气溶胶

灰尘是由悬浮在空气中的微粒所组成的不均匀的分散体系。悬浮在空气中的尘粒称为分散内相,它赖以依存的介质(空气或其他气体)称为空气溶胶体(气溶胶)。灰尘和其他空气溶胶体如烟、雾的质的区别在于灰尘对动力没有稳定性。工业灰尘的粒径一般为 $1.0 \sim 100 \mu\text{m}$ 。小于 $1.0 \mu\text{m}$ 的空气溶胶体,称之为“烟尘”。灰尘由于它的分散性很高,所以它们的物理性质和化学性质与原来的整块物质相比发生了显著的变化。如由于总表面积显著增加,必然引起分散内相和分散介质之间分子的交换量增加。另外,表面积增加的结果,电荷和电容量也随之增加。

放射性气溶胶被人体吸入肺内,特别是小于 $10 \mu\text{m}$ 的,往往形成对人体的内照射危害,促使白细胞降低,呼吸功能紊乱,剂量大且时间久时能使人患支气管癌和肺癌。不能进入呼吸系统的较大颗粒则对人体产生外照射危害。

8) 总挥发性有机物(TVOC)

TVOC(total volatile organic compounds)是指室温下饱和蒸气压超过了 133.32 Pa 的有机物,其沸点一般在 $50 \sim 250 \text{ }^\circ\text{C}$,在常温下可以蒸发,以气体的形式存在于空气中。

TVOC 有刺激性气味,而且有些化合物具有基因毒性。一般认为,TVOC 能引起机体免疫水平失调,影响中枢神经系统功能,出现头晕、头痛、嗜睡、无力、胸闷等自觉症状;还能影响消化系统,出现食欲不振、恶心等;严重时可损伤肝脏和造血系统,出现变态反应等。