

主 编：朱令起
副主编：董宪伟 汪金花

矿井通风 与救灾可视化

KUANGJING TONGFENG
YU JIUZAI KESHIHUA

矿井通风与救灾可视化

主 编 朱令起

副主编 董宪伟 汪金花

· 煤炭工业出版社 ·

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

矿井通风与救灾可视化/朱令起主编. -- 北京: 煤炭工业出版社, 2014

ISBN 978-7-5020-4670-5

I. ①矿… II. ①朱… III. ①矿山通风—高等学校—教材 IV. ①TD72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 211985 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址: www.cciph.com.cn
煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

开本 $787\text{mm} \times 1092\text{mm}^{\frac{1}{16}}$ 印张 $14\frac{3}{4}$ 插页 1
字数 350 千字
2014 年 12 月第 1 版 2014 年 12 月第 1 次印刷
社内编号 7525 定价 30.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

前 言

矿井通风是营造矿井正常生产环境和安全生产条件的基础，也是矿井安全生产的基本保障。本书遵循理论联系实际、理论与应用并重的指导思想，根据高等院校安全工程专业的培养目标编写而成，系统介绍了矿井通风的基本原理、矿井通风参数的基本测定及通风系统稳定性评价，把基础理论与应用技术有机结合起来，形成了完整的体系，可作为本科生、研究生及矿山工程技术人员参考教材。

全书包括矿井通风与灾变可视化仿真技术两部分：矿井通风部分主要论述矿内大气的性质、矿内风流运动的规律、矿井通风管理和检查技术以及矿井通风系统；灾变可视化仿真技术部分主要论述 GIS 系统建模、最优路径仿真及网络分析图解模型等安全防护措施。

本书第二章、第三章、第五章、第六章、第七章、第八章由河北联合大学朱令起编写，并对本书其他章节内容进行了系统修订。第一章、第四章由河北联合大学董宪伟编写，第九章由河北联合大学汪金花编写，河北联合大学柳晓丽、邵静静对本书中相关图表、文字编排做了大量的整理工作。

本教材由于时间仓促和编者水平所限，书中一定存在不少缺点和错误，诚恳欢迎读者批评指正。

编 者

2014 年 7 月

目次

绪论	1
第一章 矿井空气及气候条件	3
第一节 矿井空气成分	3
第二节 矿井气候条件	13
第二章 空气动力学基础	27
第一节 流体的特征和连续介质假设	27
第二节 流体的主要物理性质	28
第三节 流体动力学基础	35
第四节 风流能量	41
第五节 矿井空气压力的测定仪器及使用方法	45
第六节 能量方程及其应用	52
第三章 通风阻力	58
第一节 风流的流动状态	58
第二节 摩擦阻力	59
第三节 局部阻力	63
第四节 矿井通风阻力定律	65
第四章 矿井通风动力	69
第一节 自然通风	69
第二节 矿用通风机	71
第五章 矿井通风网络及风量调节	87
第一节 风网的基本术语和通风阻力定律	87
第二节 风网的形式	88
第三节 通风网络的基本性质	89
第四节 并联网络风量调节	100
第五节 矿井漏风及有效风量	110
第六节 通风网络动态特性分析	111
第六章 局部通风	120
第一节 局部通风方法	120

第二节 局部通风装备	129
第三节 局部通风系统设计	137
第四节 局部通风技术管理及安全措施	140
第七章 采区通风	146
第一节 采区通风系统	146
第二节 长壁工作面的通风方式	153
第三节 采区风量计算	160
第四节 采区通风构筑物	164
第五节 矿井漏风	168
第八章 矿井通风设计	172
第一节 拟定矿井通风系统	172
第二节 矿井总风量的计算和分配	178
第三节 计算矿井通风总阻力	184
第四节 选择矿井通风设备	185
第五节 概算矿井通风费用	187
第六节 生产矿井通风能力核定	188
第九章 通风网络的可视化	200
第一节 井下紧急避险	201
第二节 避险路径数学建模与仿真	210
第三节 火灾最优避险路径的仿真	214
第四节 井下避险信息	224
第五节 网络分析的图解模型	227
参考文献	230

绪 论

中国古代采矿与通风史大致可以分为萌芽期（史前时期）、形成期（商代中期）、初步发展期（西周时期）、创新发展期（春秋至战国中期）、充实期（秦汉至元代）、全面发展期（明清时期）。湖北大冶铜绿山古铜矿古代采冶活动起始于距今三千多年前的殷小乙时期，经西周、春秋战国，直到西汉，一直延续了一千多年。1973 年开始对大冶铜绿山古铜矿进行发掘和研究，发掘出地下采区 7 处，掘出一个面积达 2 km^2 密如蛛网的地下迷宫，包括西周至汉代数百口竖井、斜井、盲井，以及百余条平巷等采矿遗迹，采矿井巷近 400 条（图 0-1、图 0-2）。曾出土了用于采掘、装载、提升、排水、照明等的铜、铁、木、竹、石制的多种生产工具及陶器、铜锭、铜兵器等物，证实春秋时期已经使用了立井、斜井、平巷联合开拓，将矿井开采到地表以下六十余米，低于当地潜水位 23 m，初步形成了地下开采系统，还有春秋早期残存的鼓风竖炉十多座，充分说明当时的人类已经学会利用自然通风、人工通风对矿井进行通风的方法。我国 18—20 世纪上半叶对矿井通风的研究几乎为空白，直到新中国成立后才开始有了自己的研究。进入 20 世纪 60 年代，我国研究人员自己编撰的有关矿井通风领域的专著和教材不断出现，迄今已经有 100 多种。

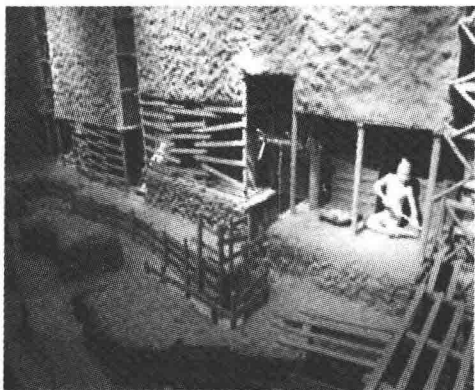


图 0-1 铜绿山古遗址采矿示意图

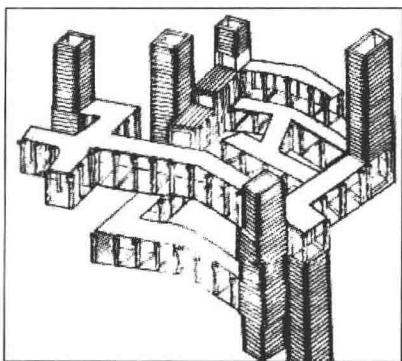


图 0-2 古竖井复原图

公元前 4000—公元前 1200 年，欧洲古人采矿挖掘巷道到白垩矿床中寻找打火石可能就有了观察空气流动的体会。希腊劳临（Laurium）银矿古采矿始于公元前 600 年，从古矿布局发现，古希腊采矿人已经意识到采矿需要通风风路，每个采矿点至少要两条风路，有迹象表明一个挖好的井被分隔成两半，一半用于进风，另一半用于回风到地表。尽管欧洲金属古采矿始于公元 1500 年，但仍然没有留下多少当时记录采矿的文献。阿格里科拉是中欧波希米亚（Bohemia）铁矿开采和冶炼领域的物理学家，他用拉丁文撰写了第一部



图0-3 《矿冶全书》描绘的通风方法

涉及采矿的不朽巨著 *De Re Metallica* (《矿冶全书》)。该书出版于 1556 年,对矿井通风有细致的描述,通风方法包括:将地面风流引入井口的引风装置,用人和马驱动木制离心式风机,并借助用于辅助通风的风箱和风门实现通风(图 0-3)。

矿井通风是指借助于通风动力(机械风压或自然风压),向井下各用风地点连续输送定量的新鲜空气,用以满足人员呼吸和设备运转,稀释并排出各种有毒有害气体、粉尘,消除热害,为井下营造良好的气候条件,减少灾害事故的发生,保证井下作业人员的生命安全和健康。目前井工煤矿用通风方法排放的瓦斯约占全矿井瓦斯量的 80%~90%,采煤工作面风排瓦斯量所占比例为 70%~80%;排除采煤工作面粉尘量的 20%~30%;排除深井采煤工作面热量的 60%~70%。合理的通风是抑制煤炭自燃和火灾发展的重要手段,如果通风系统布置不合理或管理不当,会导致瓦斯积聚、煤炭自然发火以及造成瓦斯、

火灾事故进一步扩大。因此提高矿井的通风技术与管理水平是保证矿井正常生产和安全状况的基本任务之一。

近年来,随着浅部矿产资源的日渐枯竭,矿产资源开采向纵深发展是必然的趋势。但是随着开采深度的增加,矿井将出现温度增高、有害气体涌出量加大、通风路线延长而造成通风阻力的增大、风量调节困难、漏风突出等问题。因此,矿井通风的意义将更加重大。

第一章 矿井空气及气候条件

第一节 矿井空气成分

一、矿井空气的主要成分

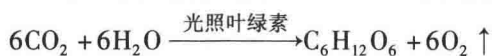
地面空气由干空气和水蒸气组成，在正常情况下，干空气成分组成见表 1-1，而且成分的数量基本不变。

干空气成分的数量用体积浓度或质量浓度来表示。

表 1-1 空气成分

气 体 名 称	体积浓度/%	质量浓度/%
N ₂	78.13	75.55
O ₂	20.90	23.10
CO ₂	0.03	0.05
Ar	0.93	1.27
其他稀有气体	0.01	0.01

在地球上，经常进行着一系列气体的产生和消失的化学、物理反应过程，如动物的呼吸作用和植物的光合作用以及大气中的臭氧层与氧气的分解反应：



正是由于生物和化学的相互作用，空气的主要成分能够基本保持不变。但在局部地区，地面空气往往被人们生活、生产过程产生的各种烟尘及有毒有害气体所污染，造成了大气层中臭氧层的破坏，如图 1-1 所示的南极上空臭氧层空洞。由于地面空气的存在量十分巨大，并具有特别大的流动性和一定的扩散性，因此地面空气的主要成分仍能保持稳定不变。然而，从环境保护的角度出发，对于局部污染严重地区，三废（废气、废渣、废水）的处理问题应引起足够的重视，必须采取切实可行的保护措施。

正常的地面空气进入矿井后，当其成分与地面空气成分相同或近似且符合安全卫生标准时，

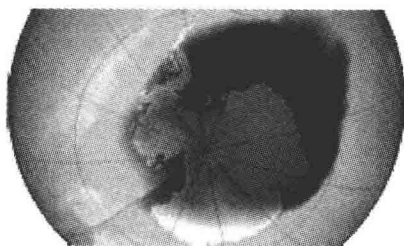


图 1-1 南极上空臭氧层空洞

称为矿内新鲜空气。由于井下生产过程中产生了大量的不同类型的有毒有害物质,使矿内空气成分发生一系列变化,其表现为:氧含量降低,二氧化碳含量相对增高,并混入了矿尘和有毒有害气体,空气的温度、湿度和压力也发生了变化等。这种充满在矿内巷道中的各种气体、矿尘和杂质所组成的混合物,统称为矿内污浊空气。就煤矿而言,井下空气中主要含有氧气、甲烷、二氧化碳、一氧化碳、硫化氢、二氧化硫、氮气、二氧化氮(五氧化氮)、氢气、氨气、水蒸气和浮尘 12 种物质,井下空气多是潮湿的空气。由于各矿井的具体条件不同,所以各矿井中气体成分的种类和浓度都不相同,矿井内空气的主要成分是 O_2 、 N_2 和 CO_2 。而 N_2 为化学性质较稳定的气体,在井下变化量很小。

(一) 氧气

氧气,化学式为 O_2 ,分子量为 32,常温常压下为无色无味气体,是氧元素最常见的单质形态,熔点为 $-218.4\text{ }^\circ\text{C}$,沸点为 $-183\text{ }^\circ\text{C}$,不易溶于水,常温常压下 1 L 水中溶解约 30 mL 氧气。在空气中氧气约占 21%,液态氧为天蓝色,固态氧为蓝色晶体。常温下氧气不很活泼,与许多物质都不易发生作用,但在高温下其化学性质则很活泼,能与多种元素直接化合。氧气是人呼吸所必需的物质,能帮助物质燃烧和供人及动物呼吸,是空气中不可缺少的气体。氧在自然界中分布最广,占地壳质量的 48.6%,是丰度最高的元素。

当氧与其他元素化合时,一般是发生放热反应,放热量决定于参与反应物质的量和成分,而与反应速度无关。当反应速度缓慢时,所放出的热量往往被周围物质所吸收而无显著的热力变化现象。

人体维持正常的生命过程所需的氧量取决于人的体质及神经与肌肉的紧张程度,休息时需氧量为 0.25 L/min ,工作和行走时需氧量为 $1\sim3\text{ L/min}$,从事重体力劳动时需氧量为 $40\sim80\text{ L/min}$,如图 1-2 所示。

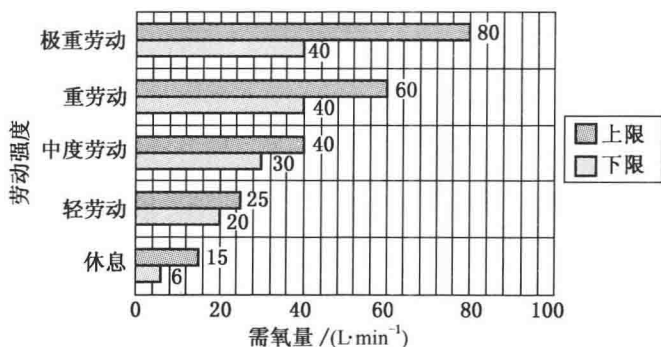


图 1-2 人体需氧量与劳动强度的关系

当空气中的氧气含量降低时,人们就会感到呼吸困难,严重时会因缺氧而死亡。当空气中的氧气含量减少到 17% 时,人们从事紧张的工作会感到心跳和呼吸困难;氧气含量减少到 15% 时,人会丧失劳动能力;减少到 10%~12% 时,人会失去理智,时间稍长对生命就有严重威胁;减少到 6%~9% 时,人会失去知觉,若不救助就会死亡。

《煤矿安全规程》规定,采掘工作面进风流中氧含量不得低于 20%。

(二) 二氧化碳

二氧化碳是无色、略带酸臭味的气体,与空气的相对密度为 1.52,是一种较空气重

的气体,很难与空气均匀混合,故常积存在巷道的底部,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,生成碳酸,使水溶液成弱酸性,对眼鼻、喉黏膜有刺激作用。

二氧化碳能对人的呼吸起到刺激的作用,当肺气泡中二氧化碳增加2%时,人的呼吸量就增加一倍,人在快步行走和紧张工作时感到喘气和呼吸频率增加,就是因为人体内氧化过程加快后使二氧化碳生成量增加,进而使血液酸度加大并刺激神经中枢,因而引起频繁呼吸。

当空气中二氧化碳浓度过大而造成氧气浓度降低时,可以引起缺氧窒息。当空气中二氧化碳浓度达5%时,人就会出现耳鸣、无力、呼吸困难等现象;达到10%~20%时,人的呼吸就会处于停顿状态,进而失去知觉,时间稍长将有生命危险。

《煤矿安全规程》规定:有人工作或可能有人到达的井巷,二氧化碳浓度不得大于0.5%;总回风巷或矿井一翼回风巷中二氧化碳浓度超过0.75%时,必须立即查明原因,进行处理。

二、矿井井下常见的有害气体

井下常见的对安全生产威胁最大的有毒有害气体有:甲烷、一氧化碳、二氧化氮、二氧化硫、硫化氢等。

(一) 各种有毒有害气体的性质

1. 甲烷(CH_4)

甲烷是结构最简单的碳氢化合物,广泛存在于天然气、瓦斯之中,是优质的气体燃料,也是制造合成气和许多化工产品的重要原料。从分子的层面上来说,甲烷是一种比二氧化碳更加活跃的温室气体,但它在大气中存在的数量较少。

当空气中甲烷浓度达到5%~16%时,遇到明火情况下就会发生爆炸,当空气中甲烷浓度达到9.5%时,爆炸的威力最大,因此,煤矿对瓦斯的管理十分重视。除去采取一些必要的安全措施外,最早时期瓦斯的检查是通过动物来实现的,矿工下井时提着一个装有金丝雀的鸟笼,把鸟笼挂在工作区内。金丝雀对瓦斯或其他毒气特别敏感,只要有非常淡薄的瓦斯产生,对人体还远不能有致命作用时,金丝雀就已经失去知觉而昏倒,矿工们察觉到这种情景后,可立即撤出矿井,避免伤亡事故的发生。

《煤矿安全规程》对瓦斯管理作出了如下规定:

第一百三十五条 当矿井总回风巷或一翼回风巷中瓦斯或二氧化碳浓度超过0.75%时,必须立即查明原因,进行处理。

第一百三十六条 采区回风巷、采掘工作面回风巷风流中瓦斯浓度超过1.0%或二氧化碳浓度超过1.5%时,必须停止工作,撤出人员,采取措施,进行处理。

第一百三十七条 采煤工作面瓦斯涌出量大于或等于 $20\text{ m}^3/\text{min}$ 、进回风巷道净断面 8 m^2 以上,经抽放瓦斯达到《煤矿瓦斯抽采基本指标》的要求和增大风量已达到最高允许风速后,其回风巷风流中瓦斯浓度仍不符合本规程第一百三十六条规定的,由企业主要负责人审批后,可采用专用排瓦斯巷,专用排瓦斯巷的设置必须遵守下列规定:

(一) 工作面风流控制必须可靠。

(二) 专用排瓦斯巷必须在工作面进回风巷道系统之外另外布置,并编制专门设计和

制定专项安全技术措施；严禁将工作面回风巷作为专用排瓦斯巷管理。

(三) 专用排瓦斯巷回风流的瓦斯浓度不得超过 2.5%，风速不得低于 0.5 m/s；专用排瓦斯巷进行巷道维修工作时，瓦斯浓度必须低于 1.0%。

(四) 专用排瓦斯巷及其辅助性巷道内不得进行生产作业和设置电气设备。

(五) 专用排瓦斯巷必须使用不燃性材料支护，并应当有防止产生静电、摩擦和撞击火花的安全措施。

(六) 专用排瓦斯巷必须贯穿整个工作面推进长度且不得留有盲巷。

(七) 专用排瓦斯巷内必须安设甲烷传感器，甲烷传感器应当悬挂在距专用排瓦斯巷回风口 10~15 m 处，当甲烷浓度达到 2.5% 时，能发出报警信号并切断工作面电源，工作面必须停止工作，进行处理。

(八) 专用排瓦斯巷禁止布置在易自燃煤层中。

第一百三十八条 采掘工作面及其他作业地点风流中瓦斯浓度达到 1.0% 时，必须停止用电钻打眼；爆破地点附近 20 m 以内风流中瓦斯浓度达到 1.0% 时，严禁爆破。

采掘工作面及其他作业地点风流中、电动机或其开关安设地点附近 20 m 以内风流中的瓦斯浓度达到 1.5% 时，必须停止工作，切断电源，撤出人员，进行处理。

采掘工作面及其他巷道内，体积大于 0.5 m³ 的空间内积聚的瓦斯浓度达到 2.0% 时，附近 20 m 内必须停止工作，撤出人员，切断电源，进行处理。

对因瓦斯浓度超过规定被切断电源的电气设备，必须在瓦斯浓度降到 1.0% 以下时，方可通电开动。

第一百四十条 矿井必须从采掘生产管理上采取措施，防止瓦斯积聚；当发生瓦斯积聚时，必须及时处理。

矿井必须有因停电和检修主要通风机停止运转或通风系统遭到破坏以后恢复通风、排除瓦斯和送电的安全措施。恢复正常通风后，所有受到停风影响的地点，都必须经过通风、瓦斯检查人员检查，证实无危险后，方可恢复工作。所有安装电动机及其开关的地点附近 20 m 的巷道内，都必须检查瓦斯，只有瓦斯浓度符合本规程规定时，方可开启。

临时停工的地点，不得停风；否则必须切断电源，设置栅栏，揭示警标，禁止人员进入，并向矿调度室报告。停工区内瓦斯或二氧化碳浓度达到 3.0% 或其他有害气体浓度超过本规程第一百条的规定不能立即处理时，必须在 24 h 内封闭完毕。

恢复已封闭的停工区或采掘工作接近这些地点时，必须事先排除其中积聚的瓦斯。排除瓦斯工作必须制定安全技术措施。

严禁在停风或瓦斯超限的区域内作业。

第一百四十一条 局部通风机因故停止运转，在恢复通风前，必须首先检查瓦斯，只有停风区中最高瓦斯浓度不超过 1.0% 和最高二氧化碳浓度不超过 1.5%，且符合本规程第一百二十九条开启局部通风机的条件时，方可人工开启局部通风机，恢复正常通风。

停风区中瓦斯浓度超过 1.0% 或二氧化碳浓度超过 1.5%，最高瓦斯浓度和二氧化碳浓度不超过 3.0% 时，必须采取安全措施，控制风流排放瓦斯。

停风区中瓦斯浓度或二氧化碳浓度超过 3.0% 时，必须制定安全排瓦斯措施，报矿技术负责人批准。

在排放瓦斯过程中，排出的瓦斯与全风压风流混合处的瓦斯和二氧化碳浓度都不得超

过 1.5%，且采区回风系统内必须停电撤人，其他地点的停电撤人范围应在措施中明确规定。只有恢复通风的巷道风流中瓦斯浓度不超过 1.0% 和二氧化碳浓度不超过 1.5% 时，方可人工恢复局部通风机供风巷道内电气设备的供电和采区回风系统内的供电。

第一百四十五条 有下列情况之一的矿井，必须建立地面永久抽放瓦斯系统或井下临时抽放瓦斯系统：

（一）1 个采煤工作面的瓦斯涌出量大于 $5 \text{ m}^3/\text{min}$ 或 1 个掘进工作面瓦斯涌出量大于 $3 \text{ m}^3/\text{min}$ ，用通风方法解决瓦斯问题不合理的。

（二）矿井绝对瓦斯涌出量达到以下条件的：

1. 大于或等于 $40 \text{ m}^3/\text{min}$ ；
2. 年产量 1.0 ~ 1.5 Mt 的矿井，大于 $30 \text{ m}^3/\text{min}$ ；
3. 年产量 0.6 ~ 1.0 Mt 的矿井，大于 $25 \text{ m}^3/\text{min}$ ；
4. 年产量 0.4 ~ 0.6 Mt 的矿井，大于 $20 \text{ m}^3/\text{min}$ ；
5. 年产量小于或等于 0.4 Mt 的矿井，大于 $15 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

（三）开采有煤与瓦斯突出危险煤层的。

根据 2011 年颁布的《煤矿瓦斯等级鉴定暂行办法》，对矿井瓦斯等级划分作出了如下规定：

第六条 矿井瓦斯等级应当依据实际测定的瓦斯涌出量、瓦斯涌出形式以及实际发生的瓦斯动力现象、实测的突出危险性参数等确定。

第七条 矿井瓦斯等级划分为：

- （一）煤（岩）与瓦斯（二氧化碳）突出矿井（以下简称突出矿井）；
- （二）高瓦斯矿井；
- （三）瓦斯矿井。

第八条 具备下列情形之一的矿井为突出矿井：

- （一）发生过煤（岩）与瓦斯（二氧化碳）突出的；
- （二）经鉴定具有煤（岩）与瓦斯（二氧化碳）突出煤（岩）层的；
- （三）依照有关规定有按照突出管理的煤层，但在规定期限内未完成突出危险性鉴定的。

第九条 具备下列情形之一的矿井为高瓦斯矿井：

- （一）矿井相对瓦斯涌出量大于 $10 \text{ m}^3/\text{t}$ ；
- （二）矿井绝对瓦斯涌出量大于 $40 \text{ m}^3/\text{min}$ ；
- （三）矿井任一掘进工作面绝对瓦斯涌出量大于 $3 \text{ m}^3/\text{min}$ ；
- （四）矿井任一采煤工作面绝对瓦斯涌出量大于 $5 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

第十条 同时满足下列条件的矿井为瓦斯矿井：

- （一）矿井相对瓦斯涌出量小于或等于 $10 \text{ m}^3/\text{t}$ ；
- （二）矿井绝对瓦斯涌出量小于或等于 $40 \text{ m}^3/\text{min}$ ；
- （三）矿井各掘进工作面绝对瓦斯涌出量均小于或等于 $3 \text{ m}^3/\text{min}$ ；
- （四）矿井各采煤工作面绝对瓦斯涌出量均小于或等于 $5 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

2. 一氧化碳 (CO)

一氧化碳是无色、无味、无嗅的气体，与空气的相对密度为 0.97，故能均匀散布于

空气中,不用特殊仪器不易察觉。一氧化碳微溶于水,一般化学性质不活泼,但浓度在13%~75%时能引起爆炸。一氧化碳毒性极强,当空气中一氧化碳浓度为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。

日常生活中的煤气中毒就是一氧化碳中毒。一氧化碳的毒性是因为与人体血液中的血红蛋白相结合能力较与氧气结合能力高而造成机体缺氧所致。它与一氧化碳的亲合力超过它与氧的亲合力的250~300倍。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”。当空气中一氧化碳含量达到0.08%时,40 min内可出现头痛、眩晕和恶心现象,达到0.32%时,5~10 min可出现头痛、眩晕,30 min会致人昏迷,死亡。

我国《煤矿安全规程》规定,一氧化碳在矿井空气中的含量不得超过0.0024%。

3. 氮氧化物(NO_x)

炸药爆炸可产生大量的一氧化氮和二氧化氮,其中的一氧化氮极不稳定,遇空气中的氧即转化为二氧化氮。

二氧化氮是一种褐红色有强烈窒息性的气体。与空气的相对密度为1.57,易溶于水,而生成腐蚀性很强的硝酸。所以对人的眼、鼻、呼吸道及肺部组织有强烈的腐蚀作用,对人体危害最大的时破坏肺部组织,引起肺水肿。

二氧化氮中毒后有较长的潜伏期,初期没什么感觉,即使在危险的浓度下,初期也只是感觉呼吸道受刺激,开始咳嗽吐痰,呼吸困难,一直很快死亡。当空气中二氧化氮浓度为0.004%时,2~4 h不会引起中毒现象。当浓度为0.006%时,就会引起咳嗽,胸部发痛;当浓度为0.01%时,短时间内对呼吸器官就有很强烈刺激作用,咳嗽、呕吐、神经麻木。当浓度达到0.025%时,很快使人中毒死亡。

《煤矿安全规程》规定,二氧化氮的最高容许浓度不得超过0.00025%。

4. 硫化氢(H_2S)

硫化氢是一种无色有臭鸡蛋味的气体。它与空气的相对密度是1.19,易溶于水。通常情况下,1体积的水中能溶解2.5体积的硫化氢,故它常积存于巷道的积水中。硫化氢能燃烧,当浓度达到6%时,具有爆炸性。

硫化氢具有很强的毒性,能使血液中毒,对眼睛黏膜及呼吸道有强烈的刺激作用。当空气中硫化氢的浓度达到0.01%时,可使人嗅到气味,流唾液,流清鼻涕;达到0.05%时,经过0.5~1 h,就能引起严重中毒;达到0.1%时,在短时间内就会有生命危险。

《煤矿安全规程》规定:井下空气中硫化氢含量不得超过0.00066%。

5. 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,与空气的相对密度为2.2,常存在于巷道的底部,对眼睛有强烈的刺激作用。

二氧化硫与水蒸气接触生成硫酸,对呼吸器官有腐蚀性,使喉咙和支气管发炎,呼吸麻痹,严重时引起肺水肿。当空气中二氧化硫含量达到0.0005%时,嗅觉器官能闻到刺激味;达到0.002%时,有强烈的刺激,可引起头痛和喉痛;达到0.05%时,引起急性支气管炎和肺水肿,短期间内即死亡。不同浓度下的二氧化硫对人体的危害情况如图1-3所示。

《煤矿安全规程》规定:空气中二氧化硫含量不得超过0.0005%。

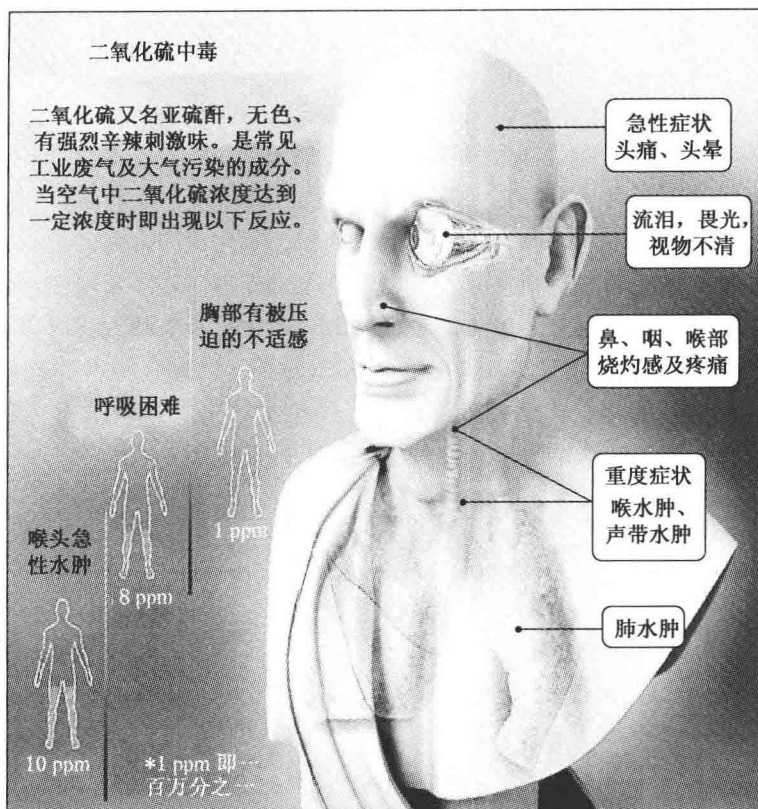


图 1-3 不同浓度下的二氧化硫对人体的危害

6. 氨气 (NH_3)

氨气是一种无色、有浓烈臭味的气体，与空气的相对密度为 0.596，极易溶于水，溶解度一般为 1 体积水溶 700 体积氨气。空气浓度中达 30% 时有爆炸危险。

氨气被吸入肺后容易通过肺泡进入血液，与血红蛋白结合，破坏运氧功能。短期内吸入大量氨气后可出现流泪、咽痛、声音嘶哑、咳嗽、痰带血丝、胸闷、呼吸困难，并伴有头晕、头痛、恶心、呕吐、乏力等，严重者可发生肺水肿、成人呼吸窘迫综合征，同时可能发生呼吸道刺激症状，可引起喉头水肿。人体可感觉最低浓度为 0.00053%。氨是一种碱性物质，它对接触的皮肤组织都有腐蚀和刺激作用。可以吸收皮肤组织中的水分，使组织蛋白变性，并使组织脂肪皂化，破坏细胞膜结构。氨的溶解度极高，所以主要对动物或人体的上呼吸道有刺激和腐蚀作用，减弱人体对疾病的抵抗力。浓度过高时除腐蚀作用外，还可通过三叉神经末梢的反射作用而引起心脏停搏和呼吸停止。

氨气主要来源于井下的爆破工作、注凝胶、用水灭火等；部分岩层中也有氨气涌出。

《煤矿安全规程》规定：氨气在矿井空气中最高容许浓度为 0.004%。

(二) 发生有毒气体中毒时的急救

当井下发生灾害，工作人员发生毒性气体中毒或缺氧时，应立即组织抢救，以便及早脱离危险，保障其生命安全。

中毒时的急救措施，可按下列方法：

- (1) 立即将中毒者移至新鲜空气处或地表。
- (2) 将患者口中一切妨碍呼吸的东西如假牙、黏液、泥土除去, 将衣领及腰带松开。
- (3) 使患者保暖。
- (4) 为促进患者体内毒物洗净和排除, 给患者输氧。

当出现一氧化碳中毒时, 最好在纯氧中加 5% 的二氧化碳, 以刺激呼吸中枢神经, 增强呼吸能力, 促使毒气排出体外。当发生二氧化硫和二氧化氮中毒时, 进行人工呼吸应特别注意, 因为患者中毒后会引发肺水肿, 所以施行人工呼吸时应尽量避免对患者肺部的刺激, 以免加剧肺部浮肿, 特别是二氧化氮中毒时, 只能用拉舌头的人工呼吸法刺激神经引起呼吸, 并在喉部注入碱性溶液如小苏打水 (NaHCO_3), 以减轻肺水肿现象。发生硫化氢中毒时, 用浸有氯水的棉花或手帕, 放在患者的嘴或鼻旁, 或者给中毒者喝稀氯水溶液, 利用药物解毒。空气中各种有毒有害气体及粉尘性质见表 1-2。

表 1-2 矿井空气的成分和性质

名 称	主要来源	基本性质	相对密度	特点	爆炸界限	危害	溶解性	安全浓度	
								体积浓度/%	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
氧气	地面空气	无色、无臭、无味	1.105	助燃		缺氧窒息		≥ 20	
甲烷	煤岩层涌出	无色、无臭、无味	0.554	燃烧、爆炸	5% ~ 16%, 9.5% 时爆炸威力最大	爆炸事故、窒息死亡		≤ 0.5 (采掘进风)、1 (采掘地点)、0.75 (总回风)	
二氧化碳	涌出、氧化、呼吸、爆破、爆炸、火灾	无色、微酸、臭味	1.519	微毒		窒息死亡	易溶	≤ 0.5 (采掘进风)、1.5 (采掘地点)、0.75 (总回风)	
一氧化碳	涌出、氧化、爆破、爆炸、火灾	无色、无臭、无味	0.967	爆炸、极毒	13% ~ 75%, 30% 时爆炸威力大	爆炸事故、中毒死亡	微溶	≤ 0.0024	30
硫化氢	涌出、分解、自燃	无色、微甜、臭鸡蛋味	1.177	爆炸、剧毒	4% ~ 46%	爆炸事故、中毒死亡	易溶	≤ 0.00066	10
二氧化硫	涌出、氧化、爆破、爆炸、火灾	无色、酸味、硫黄刺激味	2.212	剧毒		刺激眼、呼吸系统、中毒死亡	易溶	≤ 0.0005	15
二氧化氮	爆破工作	浅红褐色、无臭、无味	1.588	剧毒		刺激肺、呼吸系统、中毒死亡	极易溶	≤ 0.00025	5

表 1-2 (续)

名 称	主要来源	基本性质	相对密度	特点	爆炸界限	危害	溶解性	安全浓度	
								体积浓度/%	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
氨气	分解、自燃	无色、剧臭、无味	0.588	有毒	30% 以上	刺激眼、皮肤、呼吸系统	易溶	≤ 0.004	
氢气	涌出、电解	无色、无臭、无味	0.069	燃爆	4% ~ 74%	窒息死亡		≤ 0.5	
氮气	地面、涌出、分解	无色、无臭、无味	0.968			窒息死亡		≤ 79	
水蒸气	水的蒸发		0.622						
浮尘	作业过程			燃爆	30 ~ 2000 g/m^3 , 300 ~ 400 g/m^3 时 爆炸威力大	尘肺病			

三、有毒气体的测定

矿井空气主要成分的检测方法可分为两大类：一是取样分析法，二是快速测定法。现场广为采用的测定方法为检定管快速测定法。

(一) 取样分析法

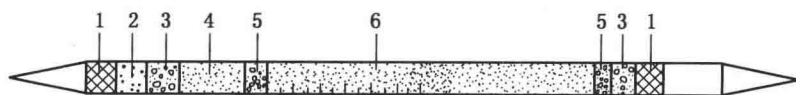
利用取样瓶或吸气球等容器提取井下空气气样，送往地面化验室进行分析。分析仪器多用气相色谱仪，它是一种通用型气体分析仪器，可完成多种气体的定性和定量分析。它的优点是分析精度高，定性准确，分析速度快，一次进样可以同时完成多种气体的分析；缺点是所需时间长，操作复杂，技术要求高。一般用于井下火区成分检测或需精确测定空气成分的场合。

(二) 快速测定法

1. 检定管快速测定法

检定管快速测定法所使用的仪器有：检定管、采样器、秒表。

检定管检定各种有毒气体的原理，是根据待测气体与检定管中的指示剂发生化学变化后变色的深浅或长度来确定。以变色深浅来确定有毒气体浓度者为比色法，以变色长度确定浓度者为比长法。指示剂是根据所测有毒气体的性质来配制。目前我国所生产的检定管有测定一氧化碳、硫化氢、氧化氮等数种。我国比长式气体检测管主要性能见表 1-3。



1—堵塞物；2—活性炭；3—硅胶；4—消除剂；5—玻璃粉；6—指示粉

图 1-4 比长式一氧化碳检测管结构示意图