



高职高专“十三五”规划教材

GAOZHI GAOZHUAN “13·5” GUIHUA JIAOCAI

矿井通风技术

黄玉焕 编著



冶金工业出版社

www.cnmp.com.cn



高职高专“十三五”规划教材

矿井通风技术

黄玉焕 编著

北 京

冶金工业出版社

2017

内 容 提 要

本书共分 11 章, 内容主要包括绪论、矿井空气、矿井风流的基本特性及其测定、矿井风流流动的能量方程及其应用、矿井通风阻力、矿井通风动力、矿井通风网路中风量分配与调节、掘进工作面通风、矿井通风设计、矿井通风测定和通风系统管理、矿井防尘等内容。

本书可供高职高专金属矿开采技术专业学生使用, 也可供从事地下非煤矿山通风防风工作的技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

矿井通风技术 / 黄玉焕编著. —北京: 冶金工业出版社,
2017. 1

高职高专“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-7388-4

I. ①矿… II. ①黄… III. ①矿山通风—高等职业
教育—教材 IV. ①TD72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 325901 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010) 64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjchs@cnmp.com.cn

责任编辑 杨盈园 美术编辑 杨 帆 版式设计 葛新霞

责任校对 卿文春 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7388-4

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 固安华明印业有限公司印刷

2017 年 1 月第 1 版, 2017 年 1 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 12 印张; 291 千字; 182 页

29.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010) 64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010) 64044283 传真 (010) 64027893

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

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题, 本社营销中心负责退换)

前言

金属与非金属矿的地下开采是生产原材料的基础工业，在整个国民经济发展中占有重要地位。随着国民经济的快速发展，金属与非金属矿地下开采的技术水平提高很快，矿产的开采深度和强度不断增加，工作环境相对恶劣，保证狭小作业空间的空气质量至关重要。矿井通风是矿井安全生产的基本保障，是保证矿山从业人员生产正常进行的前提条件。因此，在了解和掌握矿井通风的基础知识和基础理论的同时，不断加强矿井通风管理，依据风流在矿井内的运动规律，通过机械通风等方式，不断为矿井提供新鲜空气，排出矿井内有毒有害物质，为矿山安全运行创造良好环境，实现矿山的可持续发展。

本书是为更好地适应高职教育的特色和项目导向教学而编写的教材。本教材最大的特点是学习任务项目化、学习内容模块化以及“教、学、练”工学结合，以便于组织工学结合的项目法教学、任务驱动教学模式。本书分为 11 章。主要内容包括绪论，矿内空气组分、有毒有害物质的性质及其检测，矿井风流的基本特性及其测定，能量方程及其在矿井通风中的应用，矿井通风阻力及其计算，矿井通风动力、通风设备及其选型，通风网路风量调节分配，掘进工作面通风，矿井通风系统设计，矿井通风系统测定和矿井通风系统管理，矿井粉尘的性质、危害、测定技术及其综合防治措施等。本书供高职高专金属矿开采技术专业学生使用，也可供从事地下非煤矿山通风防尘工作的技术人员参考。

本书由黄玉焕编写，季惠龙参与编写。在本书编写过程中，铜陵有色金属公司冬瓜山铜矿为本书提供了宝贵的技术资料，昆明理工大学谢贤平教授、昆明冶金高等专科学校段永祥教授提出了宝贵意见，作者在此表示衷心的感谢！

由于编者水平所限，书中不妥之处，敬请广大读者批评指正。

作者

2016 年 8 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 矿井通风课程的特点及学习方法	1
第2章 矿井空气	2
2.1 矿井空气的主要成分及性质	2
2.1.1 地面清洁空气的组成	2
2.1.2 矿井空气的主要成分及基本性质	3
2.2 矿井空气中常见的有毒有害气体	4
2.2.1 矿井有毒有害气体的来源	4
2.2.2 一氧化碳	6
2.2.3 氮氧化物	7
2.2.4 二氧化硫	7
2.2.5 硫化氢	8
2.2.6 甲醛	9
2.3 矿井放射性元素产生的有害物质	9
2.3.1 氡的性质	9
2.3.2 氡及其子体的危害	9
2.3.3 矿井辐射防护剂量限值	10
2.3.4 矿井中氡的来源	10
2.4 矿尘的产生及危害	12
2.4.1 矿尘	12
2.4.2 矿尘的产生及分类	12
2.4.3 矿尘的危害	13
2.5 矿井气候	14
2.5.1 矿井气候对人体的影响及其评价指标	14
2.5.2 衡量矿井气候条件的指标	16
2.5.3 我国矿井气候条件的安全标准	16
复习思考题	16
第3章 矿井风流的基本特性及其测定	18
3.1 矿井空气的物理性质	18

3.1.1 密度	18
3.1.2 体积密度	19
3.1.3 比体积	19
3.1.4 比热容	19
3.1.5 黏性	19
3.2 矿井空气的状态	20
3.2.1 温度	20
3.2.2 湿度	21
3.3 矿井空气的压力及其测定	22
3.3.1 空气静压	22
3.3.2 风流点压力	23
3.3.3 空气压力的测定	25
3.4 矿井风速测定和风流结构	28
3.4.1 矿井风流的速度分布与平均风速	28
3.4.2 风速测定	29
3.4.3 风表校正	32
3.4.4 风流的运动形式	32
复习思考题	34
第4章 矿井风流流动的能量方程及其应用	35
4.1 矿井风流的能量方程	35
4.1.1 空气流动连续性方程	35
4.1.2 断面不同的水平巷道能量方程	37
4.1.3 断面相同的垂直或倾斜巷道能量方程及其应用	37
4.1.4 有扇风机工作时的能量方程式	38
4.1.5 断面变化的垂直或倾斜巷道的能量分耗及其应用	38
4.1.6 关于能量方程运用的几点说明	39
4.2 能量方程在分析通风动力与阻力关系上的应用	39
4.2.1 压入式通风	39
4.2.2 抽出式通风	41
4.2.3 扇风机安装在井下	42
4.3 有分支风路的能量方程式	44
复习思考题	46
第5章 矿井通风阻力	48
5.1 井巷风流的流态及流速分布	48
5.1.1 风流流态	48
5.1.2 井巷断面上风速分布	49
5.2 井巷摩擦风阻与阻力	50

5.2.1 井巷摩擦阻力	50
5.2.2 摩擦阻力系数与摩擦风阻	52
5.2.3 井巷摩擦阻力计算方法	52
5.2.4 生产矿井巷道阻力测定	52
5.3 井巷局部风阻与正面阻力	53
5.3.1 局部阻力	53
5.3.2 局部阻力系数和局部风阻	55
5.3.3 正面阻力	56
5.3.4 降低井巷通风阻力的方法	57
5.4 井巷通风阻力定律	58
5.5 矿井总风阻与矿井等积孔	58
5.5.1 井巷阻力特性	58
5.5.2 矿井总风阻	58
5.5.3 矿井等积孔	59
复习思考题	60
第6章 矿井通风动力	61
6.1 矿井自然风压	61
6.1.1 自然风压的产生	61
6.1.2 自然风压的计算	61
6.1.3 自然风压的测定	62
6.1.4 自然风压的控制与利用	64
6.2 矿井机械通风	64
6.2.1 扇风机的构造及工作原理	65
6.2.2 主要扇风机附属装置	67
6.2.3 扇风机实际特性曲线	70
6.2.4 扇风机工况点	72
6.2.5 扇风机的联合工作	74
复习思考题	77
第7章 矿井通风网路中风量分配与调节	79
7.1 矿井通风网路中风流基本规律与风量分配	79
7.1.1 矿井通风网路的基本术语和通风网路图	79
7.1.2 通风网路中风流流动的基本定律	81
7.2 矿井简单通风网路	82
7.2.1 串联通风网路	83
7.2.2 并联通风网路	84
7.2.3 简单角联通风网路中风流的稳定性	85
7.3 矿井风量调节	85

7.3.1 局部风量调节	86
7.3.2 矿井总风量的调节	92
复习思考题	92
第8章 掘进工作面通风	94
8.1 掘进工作面通风方法	94
8.1.1 局部扇风机通风	94
8.1.2 矿井总风压通风	98
8.1.3 引射器通风	99
8.2 掘进工作面风量计算	99
8.2.1 按排除炮烟计算所需风量	99
8.2.2 按排出瓦斯计算所需风量	100
8.2.3 按矿尘浓度不超过允许浓度计算所需风量	101
8.2.4 按最低排尘或排瓦斯风速计算风量	101
8.2.5 按排出柴油机废气中的有害成分和热量计算所需风量	101
8.2.6 按巷道最高风速进行验算	102
8.3 局部通风设备	102
8.3.1 风筒	102
8.3.2 局部扇风机	107
8.3.3 引射器	109
8.4 长巷道和天井及竖井掘进时的局部通风	110
8.4.1 长距离掘进巷道的局部通风	110
8.4.2 天井掘进时的局部通风	110
8.4.3 竖井掘进时的局部通风	112
复习思考题	114
第9章 矿井通风设计	115
9.1 概述	115
9.1.1 矿井通风设计的原始资料	115
9.1.2 矿井通风设计的基本内容	116
9.1.3 矿井通风系统的基本原则	116
9.2 矿井通风系统	117
9.2.1 通风系统的确定	117
9.2.2 通风方式的确定	121
9.2.3 主扇工作方式	122
9.2.4 主扇安装地点	123
9.3 通风网路的确定	123
9.3.1 中段通风网路的确定	123
9.3.2 采场通风网路的确定	127

9.4 实际需风量的计算及合理供风量的确定	133
9.4.1 回采工作面需风量计算	133
9.4.2 掘进工作面需风量计算	135
9.4.3 硐室需风量计算	135
9.4.4 总需风量计算	136
9.4.5 合理供风量的确定	136
9.5 矿井风量分配及通风阻力计算	137
9.5.1 风量分配的原则	137
9.5.2 风量分配的方法	138
9.5.3 风量的按需分配与调控	138
9.5.4 矿井通风阻力的计算	139
9.6 矿井主要扇风机的选择	140
9.6.1 扇风机的选择	140
9.6.2 电动机的选择	141
9.7 矿井通风费用的计算	142
9.7.1 设备折旧费	142
9.7.2 通风动力费	142
9.7.3 材料费	143
9.7.4 人员工资	143
9.7.5 专用通风井巷折旧费和维护费	143
9.7.6 通风仪表的购置费和维修费	143
复习思考题	143
第10章 矿井通风测定和通风系统管理	146
10.1 矿井通风测定	146
10.1.1 测定前的准备工作	147
10.1.2 大气压力与温度的测定	149
10.1.3 风量测定与计算	149
10.1.4 井下空气质量的测定	149
10.1.5 主扇装置性能测定与计算	149
10.1.6 矿井自然风压测定	151
10.1.7 利用风表或利用皮托管配合压差计测量漏风	151
10.1.8 通风系统单项指标标准	151
10.2 矿井通风阻力测定	152
10.2.1 测定路线选择和测点布置	152
10.2.2 一段巷道的通风阻力测算	152
10.2.3 摩擦阻力系数值测算	154
10.2.4 局部通风阻力、风阻和阻力系数测定	154
10.2.5 竖井通风阻力测定	154

10.2.6 测定结果可靠性检查	156
10.3 矿井通风系统的自动化管理	156
10.3.1 遥控与遥测	157
10.3.2 铜陵冬瓜山铜矿矿井通风系统自动化管理	159
复习思考题	161
第 11 章 矿井防尘	162
11.1 粉尘	162
11.1.1 粉尘的产生	162
11.1.2 粉尘的性质	162
11.2 粉尘的防治	165
11.2.1 通风除尘	165
11.2.2 水力降尘	166
11.2.3 密闭与净化	169
11.2.4 个体防护	172
11.3 粉尘的测定	173
11.3.1 粉尘浓度的测定	174
11.3.2 粉尘分散度的测定	175
11.3.3 粉尘中二氧化硅含量的测定	177
复习思考题	179
复习思考题参考答案	180
参考文献	182

第1章 绪 论

1.1 概 述

采矿工业是生产原材料的基础工业，在国民经济发展中占有重要地位。矿井通风与防尘是防止矿内空气污染，保护矿工安全健康，促进矿业发展的一个重要方面。采矿生产中引起矿内空气污染的主要物质是有毒有害气体和粉尘。矿内常见的有毒气体有一氧化碳(CO)、二氧化氮(NO_2)、二氧化硫(SO_2)和硫化氢(H_2S)。有毒气体中毒可使人员在短时间内丧生。使用柴油机作业的矿井，柴油机废气中的有害物质有氮氧化物、一氧化碳、醚类和油烟。其中，油烟含有致癌物质苯并芘。开采含铀金属矿床时，矿内空气中含有氡及氡子体，长期吸入这类有害物质可引起肺癌。开采含碳质页岩或煤层的矿床时，从岩层中可析出具有爆炸性的甲烷(CH_4)和其他烃类物质。采矿生产中几乎所有作业工序都产生粉尘，其中凿岩、爆破、装运和破碎工序产尘量较大。粉尘的主要危害是引起尘肺病和矿尘爆炸。此外，矿内热源散热和水分蒸发可使空气温度和湿度增加。长期在高温、高湿环境下劳动可使人员患湿疹或中暑，严重时亦可致命。

矿井通风是在机械或自然动力作用下，将地面新鲜空气连续地供给作业地点，稀释并排出有毒有害气体和粉尘，调节矿内气候条件，创造安全舒适工作环境的工程技术。矿井防尘是在采矿生产过程中所采取的尘源控制技术和含尘空气的净化技术。矿井通风与防尘的主要作用在于控制污染物浓度和空气温度，使之达到安全卫生标准。矿井通风与防尘是以流体力学和热力学为理论基础，运用动量、质量、热量传递原理，研究矿内风流运动与污染物运移和沉降的规律以及各项安全卫生工程技术措施。

1.2 矿井通风课程的特点及学习方法

《矿井通风技术》是高职高专金属矿开采技术专业的一门重要专业课程，矿井通风不仅是一门工程技术，而且也是一门综合性学科。在教学和学习中不仅要应用流体力学、热力学、空气动力学等理论，还要与矿床开采、井巷工程、矿山环保及安全技术等课程密切地结合起来，才能在之后的实际工作中有效地进行矿井通风的设计和通风防尘的监测。

本课程的基本理论比较系统、完整，学习时应重点掌握矿内大气的性质和风流运动的基本规律，掌握矿井通风防尘的检测方法、技术管理措施和设计计算方法。随着我国采矿工业的发展，为不断深化对矿井通风防尘技术理论的研究，引进、开发新的技术措施与先进设备打好基础，尽快把我国矿井通风防尘科学技术水平提高到一个新的高度，赶上并超过世界先进水平，应成为我国每位采矿工作者一项十分光荣的使命。

本课程具有较强的实践性，它所研究的问题都是来自于生产实践，在学习过程中要注意理论联系实际，结合矿井具体条件，应用所学的理论知识去解决矿井通风与防尘中的实际问题，要通过实验、实习、实训及设计等实践性教学环节，培养学生理论与实际结合的能力。

第2章 矿井空气

【教学要求】 了解矿井空气成分与地面空气成分的差异，矿井有毒有害气体的来源，CO、CO₂、NO_x、SO₂、H₂S等有毒有害气体的性质及其允许浓度，矿井辐射的基本概念，氡的性质，氡及其子体的危害，矿井辐射防护剂量限值，矿井中氡的来源，矽尘的特点，矿尘的产生及分类，矿尘的危害，矿井气候对人体的影响，衡量矿井气候条件的指标，矿井气候条件的安全标准。重点掌握矿井内有毒有害气体及矿尘的特征和危害，难点是对氡及其子体和辐射单位的理解。

【学习方法】 以记忆为主，通过比较加深理解地面和井下空气的差别，通过一些中毒案例深刻体会矿井有毒有害气体和矿尘的危害性。

2.1 矿井空气的主要成分及性质

矿井空气是指矿井内各种气体、水蒸气和矿尘等混合物的总称。地面空气进入矿井后，由于物质氧化、分解和其他气体与矿尘的混入，成分发生变化，O₂减少，CO₂增加，混入的有毒有害气体通常有CH₄、CO、CO₂、NO_x、SO₂、H₂S、H₂等，井下有内燃设备的还有内燃机的废气，开采含铀（U）、钍（Th）等伴生元素的金属矿床时，还将混入放射性气体氡（Rn）及其子体（RaA~RaD），开采汞、砷的矿井还有可能混入汞和砷的蒸气。矿内空气的温度和湿度主要决定于矿物与岩层的物理化学性质、开采深度、生产工艺、地理和地质因素。个别矿井气温可达30℃以上，随着开采深度的增加，矿井的空气温度还要增加。煤矿和金属矿内空气的相对湿度一般为80%~90%，涌水量大的巷道内可达100%。盐类矿涌水量小，盐类吸湿性强，使相对湿度大为降低。水灾、爆炸事故以及大爆破后，矿井空气被进一步毒化。

2.1.1 地面清洁空气的组成

地面清洁空气是由干空气和水蒸气组成的混合气体，亦称为湿空气。

干空气是指完全不含有水蒸气的空气，由氧、氮、二氧化碳、氩、氖和其他一些微量气体所组成的混合气体。干空气的组成成分比较稳定，其主要成分见表2-1。

表 2-1 干空气的组成成分

气体成分	体积分数/%	质量分数/%	备 注
氧气 (O ₂)	20.96	23.32	惰性稀有气体氦、氖、 氩、氙等计在氮气中
氮气 (N ₂)	79.0	76.71	
二氧化碳 (CO ₂)	0.04	0.06	

湿空气中含有水蒸气，其含量的变化会引起湿空气的物理性质和状态变化。

对于高原地区，大气压力减低，空气密度减小，单位体积空气氧气含量也减少。因此，高原地区矿井单位体积的氧气含量相对较少。

2.1.2 矿井空气的主要成分及基本性质

当矿井空气的成分与地面清洁空气近似时，称为矿井新鲜空气。具体来说，矿井新鲜空气是指井巷中用风地点之前、受污染程度较轻，仍然符合安全卫生标准的进风巷道内的空气。矿井污浊空气是指通过用风地点以后、受污染程度较重的回风巷道内的空气。

2.1.2.1 氧气

氧气 (O_2) 是无色无味的气体，相对分子质量为 32，标准状况下 ($0^{\circ}C$ 和 $1 \times 10^5 Pa$) 的密度为 $1.428 kg/m^3$ ，是空气密度的 1.11 倍。氧是一种非常活泼的元素，能够与很多矿物发生氧化反应，氧化反应一般都是放热反应，但许多氧化反应速度很慢，其放出的热量往往被周围物质吸收，而感觉不出放热的现象。

当空气中的 O_2 浓度降低时，就可能使人体产生不良的生理反应，出现种种不舒服的症状，严重时可能导致缺氧死亡。当空气中的 O_2 减少到 17% 时，从事紧张的工作会感到心跳和呼吸困难；减少到 15% 时，会失去劳动力；减少到 10%~12% 时，会失去理智，时间稍长会对生命产生严重威胁；减少到 6%~9% 时，会失去知觉，若不及时急救就会死亡。

O_2 是维持人体正常生理机能所需要的气体。人体维持正常生命过程所需的 O_2 量与人的体质、精神状态和劳动强度等有关。一般人体需 O_2 量与劳动强度的关系见表 2-2。高原地区空气密度减小，处于高原地区的矿井内单位体积空气 O_2 含量也减少，单位时间内人呼吸的空气体积量有所增大。

矿井空气中 O_2 浓度降低的主要原因有：人员呼吸、矿石或煤及其他有机物的缓慢氧化、矿石或煤自燃、井下发生火灾、矿尘爆炸、炸药爆炸等，此外，矿岩和生产过程中产生的各种有害气体也会使空气中的氧浓度相对降低。

我国《金属非金属地下矿山通风安全技术规范》(以下简称《地下矿通风规范》) 规定矿井空气中 O_2 含量不低于 20%。

表 2-2 人体需 O_2 量与劳动强度的关系

劳动强度	呼吸空气量/ $L \cdot min^{-1}$	O_2 消耗量/ $L \cdot min^{-1}$
休息	6~15	0.2~0.40
轻劳动	20~25	0.6~1.0
中度劳动	30~40	1.2~1.6
重劳动	40~60	1.8~2.4
极重劳动	40~80	2.4~3.0

2.1.2.2 二氧化碳

二氧化碳 (CO_2) 是无色气体，相对分子质量为 44，标准状态下的密度为 $1.96 kg/m^3$ ，

是空气密度的 1.52 倍，CO₂是一种较重的气体；CO₂溶于水呈弱酸性和略带酸味，对眼鼻和喉黏膜有刺激作用；CO₂不助燃，也不能供人呼吸。CO₂密度比空气大，在风速较小的巷道底板附近浓度较大；在风速较大的巷道中，一般能与空气均匀地混合。

矿井空气中 CO₂的主要来源有：含碳物质或煤及有机物的氧化或燃烧、人员呼吸、碳酸性岩石分解、炸药爆破、煤炭自燃、瓦斯和煤尘爆炸等。

CO₂对人的呼吸起刺激作用。当肺气泡中 CO₂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，CO₂生成量增加，使血液酸度加大刺激神经中枢，因而引起频繁呼吸。在急救 CO、H₂S 等有毒气体中毒的人员时，可首先让其吸入含 5%CO₂的氧气，以增强其肺部的呼吸。

当空气中 CO₂浓度过大，造成 O₂浓度降低，可以引起缺氧窒息。当空气中 CO₂浓度达 5%时，人就出现耳鸣、无力、呼吸困难等现象；CO₂达到 10%~20%时，人的呼吸处于停顿状态，失去知觉，时间稍长就有生命危险。CO₂对人体的危害情况见表 2-3。

表 2-3 不同浓度 CO₂对人体的危害

CO ₂ 浓度/%	对人体的危害
0.55	接触 6h 尚无症状
1~2	引起不舒适感
3~4	刺激呼吸中枢，呼吸频率增加，血压升高，脉搏快，头痛，头晕
6	呼吸困难
7~10	几分钟内就意识不清，容易死亡

我国《地下矿通风规范》规定，有人工作或可能到达的井巷，CO₂浓度不得大于 0.5%；总回风流中，CO₂浓度不超过 1%。

2.1.2.3 氮气

氮气（N₂）是一种惰性的无色无味气体，相对分子质量为 28，标准状态下的密度为 1.25kg/m³，是新鲜空气中的主要成分。N₂本身无毒、不助燃，也不供呼吸。但空气含 N₂量升高，则势必造成 O₂含量相对降低，从而也可能造成人员的窒息性伤害。N₂具有惰性，因此可将其用于井下防火、灭火和防止瓦斯爆炸。

除了空气本身的含氮量以外，矿井空气中 N₂的主要来源是井下爆破和生物的腐烂，煤矿中有些煤岩层中也有 N₂涌出，金属、非金属矿床一般没有 N₂涌出。

2.2 矿井空气中常见的有毒有害气体

2.2.1 矿井有毒有害气体的来源

非煤矿山矿井开采时多采用凿岩爆破方法进行，而爆破后的炮烟主要由 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。在巷道内作业时，采用柴油发动的装运设备，排出的废气中包括 CO、CO₂、NO₂、SO₂、CH_x、甲醛、丙烯醛等有害气体。此外在掘进井巷中产生大量含游离二氧化硅的粉尘，这些粉尘也是对矿内空气有害的物质

之一。矿井内的空气是从地面送入的，在环境污染较严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，若矿井进风口距污染区较近，则其进风中可能含有毒物质。人排出的二氧化碳气和蛋白质分解、新陈代谢的产物，如臭气、汗味等，也可认为是矿井内空气中的一类有害物质。

2.2.1.1 爆破时产生的炮烟

常用矿用炸药的主要成分为硝酸铵 (NH_4NO_3) 和木粉等。炸药在井下爆炸后，产生大量的有毒有害气体，其种类和数量与炸药的性质、爆炸的条件和介质等有关。在一般情况下产生的主要成分为 CO 和 NO_x 。如果将爆破后产生的二氧化氮 (NO_2) 按 1L NO_2 折合 6.5L CO 计算，则 1kg 炸药爆破后所产生的有毒气体 (相当于 CO) 为 80~120L。

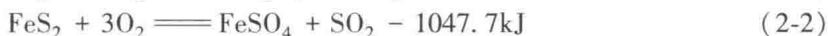
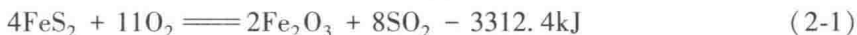
2.2.1.2 柴油机工作时产生的废气

柴油机的废气成分很复杂，它是柴油机在高温高压下燃烧时所产生的各种有毒有害气体的混合体。柴油机排放的废气量由于受各种因素的影响，变化较大，没有统一的标准。当设备老化和使用管理不善时，柴油机释放的废气往往是井下空气的最大污染源，会严重恶化井下空气。

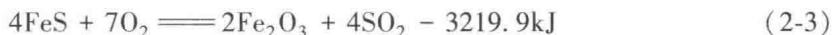
2.2.1.3 硫化矿物的氧化

在开采高硫矿床时，由于硫化矿物的缓慢氧化除产生大量的热外 (在化学热力学中，放热反应方程式的放热量用“-”表示)，还会产生二氧化硫和硫化氢气体，例如：

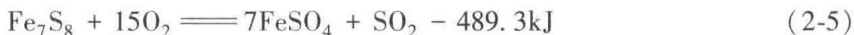
(1) 黄铁矿、胶黄铁矿、白铁矿的化学分子式均为 FeS_2 ，在井下当这些矿石发生氧化自燃时，其有关氧化反应方程式见式(2-1)和式(2-2)：



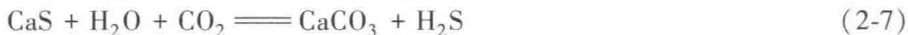
(2) 磁黄铁矿的化学分子式为 FeS ，在井下当发生氧化自燃时，其有关氧化反应方程式见式(2-3)：



(3) 富硫磁黄铁矿的化学分子式为 Fe_7S_8 ，在井下当发生氧化自燃时，其有关氧化反应方程式见式(2-4)和式(2-5)：



(4) 在常温潮湿条件下，黄铁矿 (FeS_2) 和硫化钙 (CaS) 矿物可以发生如式(2-6)和式(2-7)的反应：



在含硫矿岩中进行爆破工作，或硫化物矿尘爆炸、坑木腐烂以及硫化矿物水解都会产生 SO_2 和 H_2S 气体。

2.2.1.4 井下火灾

当井下失火引起坑木燃烧时，由于井下可供燃烧的氧气有限，为不完全燃烧，会产生

大量 CO，如一架棚子（直径为 180mm，长 2.1m 的立柱两根和一根长 2.4 m 的横梁，体积为 0.17m³）燃烧所产生的 CO 约为 97m³，它足以使 2km 长、断面为 4~5m² 的巷道空气中 CO 含量达到使人致命的浓度。在煤矿中瓦斯和煤尘爆炸，也会产生大量的一氧化碳，往往成为重大事故的主要原因。

金属非金属矿山井下常见的对安全生产威胁最大的有毒气体有：CO、NO_x、SO₂、H₂S 等。

2.2.2 一氧化碳

一氧化碳（CO）是无色、无味、无臭的气体，标准状态下的密度为 1.25kg/m³，是空气密度的 0.97 倍，能够均匀地散布于空气中，不用特殊仪器不易觉察。一氧化碳微溶于水，爆炸界限为 13%~75%。

CO 极毒，空气中含 0.4%CO 时，人在很短时间内就会死亡。日常生活中的煤气中毒就是 CO 中毒。CO 中毒是因为：人体血液中的血红蛋白专门在肺部吸收空气中的氧气以维持人体的需要，而血红蛋白与 CO 的亲合力超过它与氧亲和力的 250~300 倍，血红蛋白与 CO 亲和形成 CO 血红素，妨碍体内的供氧能力，使人体各部分组织和细胞产生缺氧现象，引起一系列血液中毒现象，严重时造成窒息死亡。随 CO 浓度的增加，开始是头昏、剧烈性头痛、恶心，而后是丧失知觉、呼吸停顿而死亡。CO 的中毒程度和中毒快慢与下列因素有关：

（1）空气中 CO 的浓度。人处于静止状态时，CO 浓度与人中毒程度关系见表 2-4。

表 2-4 CO 浓度与人体中毒程度的关系

中毒程度	中毒时间	CO 浓度/mg · L ⁻¹	中 毒 特 征
无征兆或有轻微征兆	数小时	0.2	不明显
轻微中毒	1h 以内	0.6	耳鸣、心跳、头晕、头痛
严重中毒	0.5~1h	1.6	头痛、耳鸣、心跳、四肢无力、哭闹、呕吐
致命中毒	短时间	5.0	丧失知觉、呼吸停顿

（2）与含有 CO 的空气接触的时间。接触时间愈长，血液内的 CO 量就愈大，中毒就愈深。

（3）呼吸频率与呼吸深度。人在繁重工作或精神紧张时，呼吸急促，频率高，呼吸深度也大，中毒就快。

（4）人的体质和体格。经常处于 CO 略微超过允许浓度的条件下工作时，虽然短时间不会发生急性病兆，但由于血液和组织长期轻度缺氧，以及对神经中枢的伤害，会引起头疼、胃口不好、记忆力衰退及失眠等慢性中毒病症。

表 2-5 列出了接触时间与 CO 浓度的乘积和症状的关系。

表 2-5 接触时间与 CO 浓度的乘积和症状的关系

接触时间 (h) 与 CO 浓度 (10^{-6}) 乘积	中毒症状
300	不发生症状
600	开始有轻微症状
900	头痛、恶心
1500	生命垂危

我国《地下矿通风规范》规定，矿井通风和矿山正常空气中的 CO 含量不得超过 $30\text{mg}/\text{m}^3$ (24×10^{-6})；爆破后，在通风机连续运转的条件下，CO 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 CO 达到正常安全含量。

2.2.3 氮氧化物

氮氧化物 (NO_x) 主要来源于矿井炸药爆破和柴油机工作时的废气。 NO_x 中的 NO 极不稳定，与空气中的氧结合生成 NO_2 。

关于 NO 对人体的影响，虽还没有被完全了解，但如使动物接触浓度非常高的 NO 时，就可以看到因中枢神经系统障碍而引发的麻痹和痉挛。

NO_2 是一种红褐色、有强烈窒息性的气体，相对分子质量为 46，标准状态下的密度为 $2.05\text{kg}/\text{m}^3$ ，是空气密度的 1.59 倍。 NO_2 易溶于水，而生成腐蚀性很强的硝酸。所以高浓度的 NO_2 遇人体黏液膜，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，引起肺水肿，此时显示嘴唇变紫，发生紫癜。吸入大量 NO_2 ，经过 5~10h 甚至一天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，中毒导致死亡的浓度为 0.025%。

表 2-6 表示不同浓度 NO_2 及其中毒征兆。

表 2-6 不同浓度 NO_2 及其中毒征兆

NO_2 浓度/ $\times 10^{-6}$	对人体的危害
1	仅感到有臭气刺激味
3.5	接触 2h，嘴部细菌感染性增强
5	感到有强烈刺激臭味（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 1min 内引起鼻刺激及呼吸不全
80	接触 3~5min，引起胸痛
100~150	接触 30~60min，引起肺水肿，有死亡危险
200 以上	瞬时接触，导致生命危险症状，死亡

我国对煤矿和金属矿都规定， NO_x 换算为 NO_2 不得超过 $5\text{mg}/\text{m}^3$ (2.5×10^{-6})。

2.2.4 二氧化硫

二氧化硫 (SO_2) 是一种无色、有强烈硫黄味的气体，易溶于水，相对分子质量为