

教育部高等学校高职高专安全专业类规划教材

通风与安全

主编 杨胜强 刘殿武

Tongfeng Yu Anquan

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

教育部高等学校高职高专安全专业类规划教材

通风与安全

主 编 杨胜强 刘殿武

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书为教育部高等学校高职高专安全专业类规划教材,是为培养直接从事煤矿生产管理一线的技术应用型人才而组织编写的。教材充分体现职业教育和岗位技能培训的特点,注重培养读者的实践能力。全书共分十六章,内容包括:矿井空气、井巷风流能量与能量方程、矿井通风阻力、矿井通风动力、矿井通风网络中风量自然分配、矿井通风网络中风量按需分配、矿井通风系统、掘进通风、矿井通风监控、矿井通风设计、矿井空气调节、矿井瓦斯防治技术、粉尘防治技术、矿井防灭火技术、矿山防治水技术和矿山救护。本书以基本概念为切入点,将理论和实训、实验相结合,使本书由浅入深,适合学生循序渐进的学习规律和工程技术人员自学的需要,也满足科学研究、工程应用和现场技术管理等的需要。

本书内容全面,知识系统,结构严谨,理论与实践相结合,着重培养现代实用型科技人才,不仅可作为高等学校高职高专院校通风与安全等专业的教材和教学参考用书,也可作为煤矿通风安全管理干部和现场工作工程技术人员的培养用书。

图书在版编目(CIP)数据

通风与安全/杨胜强,刘殿武主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2009.9

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0472 - 1

I. 通… II. ①杨…②刘… III. ①矿山通风②矿山安全
IV. TD7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 164381 号

书 名 通风与安全
主 编 杨胜强 刘殿武
责任编辑 何 戈 李 敬
责任校对 周俊平
出版发行 中国矿业大学出版社(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
排 版 中国矿业大学出版社排版中心
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
经 销 新华书店
开 本 787×1092 1/16 印张 26.75 字数 660 千字
版次印次 2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷
定 价 37.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

序

目前,我国各行各业的经济建设正在蓬勃发展,为国家和社会“培养有道德、有技能和有持续发展能力的高素质技能型人才”已经成为我国各高职高专院校培养人才和发展的努力方向。

为更好地适应整个社会对高职高专安全类专业人才的需求,满足高职高专院校“安全技术管理”及其相关安全工程专业的人才培养需要,高职高专安全类专业教学指导委员会于2008年4月在徐州召开了有关高职高专安全类专业教材编写会议,聘请来自全国30多所高职高专院校安全类专业的专家、学者参与教材编写,计划出版一套全国高职高专安全类专业院校较为适用的全国统编教材,以促进全国高职高专安全类专业院校的健康发展和教学水平的全面提高。

安全专业是一门知识面宽、涉及专业广、跨多学科的系统工程,各院校对此专业的基础课、专业基础课和专业课的设置均有自己的特色和办学经验。在尊重各院校办学的基础上,决定对所设的主要课程“安全管理”、“安全系统工程”、“安全人机工程”、“事故管理与应急处置”、“矿井通风与安全”、“安全管理文书写作”和“瓦斯防治与开采技术”等10多门课程的教材进行统一编写,以进一步提高教学水平,增强高职高专安全类专业学生的实际工作(竞争)能力。

在教材编写过程中,以重实践、重能力和重应用作为本套教材编写的宗旨。体现职业教育的理念、特点和要求,突出行业特点,突显理论联系实际和培养实际动手能力为主的职业教育特色;在不同章节体系上考虑不同教学方法的特点和要求,引用最新的典型事例;在知识结构上以传统与现代相结合,保持知识结构的稳定性、代表性、前沿性和前瞻性;将安全生产方针和法规融入到具体知识内容之中。增加具有职业教育特点的实训内容,并增加有关能力与素质培养的训练题。

本套教材有别于理论课程的教学设计和教学组织,强调学习过程和方法,从学生素质、兴趣和发展的角度出发,全面构建课程知识与技能,过程与方法等方面的协调一致。课程的学习应当是学生自主学习为主,教师引导为辅,把“过程和方法”的培养作为课程教学目标之一,将学习重心从知识的传承积累向知识的探究积累过程转化。

本套教材是目前高职高专安全类专业较为系统和实用的专用系列教材,可满足当前安全类高职高专院校的教学需要,可大大提高安全类高职高专院校的教学水平,为规范教学创造了条件。

教育部高等学校高职高专安全类专业类教学指导委员会

2008年8月8日

前 言

采矿工业是我国国民经济的基础产业,它为国家和全民提供生产建设和生活必需的能源和原材料,它在整个国民经济发展中占有非常重要的地位。同时,采矿工业又是一个特殊行业,井下作业场所环境恶劣。和发达国家相比,我国产煤百万吨死亡率仍然较高。为改变我国矿业安全面貌,保证矿工的安全健康和矿山的长治久安,促进采矿工业的健康发展,急需大力培养动手能力强,具有工程设计、现场施工和管理能力,同时具有分析现场问题和解决现场问题能力的现场应用型矿业安全人才。而高职高专安全专业的高等教育正是为了满足以上安全类人才的培养而设置的,它对于提高安全管理水平、保证公众的安全与健康、防止重特大事故的发生和保证人员及财产免受损失都有十分重要的意义。

矿井通风与安全是人们在与煤矿开采时所遇到的各种自然灾害的斗争中,不断积累经验、摸索规律、创建理论、完善措施等过程中慢慢形成和诞生的,它是高职高专采矿工程和安全工程(矿业安全工程方向)等专业必不可少的一门主要专业课。

我国煤炭生产以井工开采为主,而井工开采面临的第一个问题就是通风问题,在煤炭开采过程中,地面新鲜空气必须源源不断地被输送到井下各个作业地点,以保障工作人员的身体健康,并稀释和排除井下各种有毒有害气体和粉尘,同时创造良好的作业环境。另外,地下煤炭开采又面临大量的安全问题,瓦斯、火、矿尘、水、冒顶和高温是煤矿目前存在的六大自然灾害。矿井通风与安全经历过较长的发展过程。早在1640年,人们开始利用自然通风进行矿井通风;为了加大通风压力,1650年在回风路线上设火炉以利用热风压通风;1849年,开始采用蒸汽离心式通风机;1898年电力轴流式通风机开始投入使用。在煤炭自然发火的研究方面,在1862年就发表了有关煤自燃起因的论文。在瓦斯监测方面,1813年开始采用安全油灯以检查氧气、瓦斯和二氧化碳的浓度。20世纪40年代以来各种气体的检测技术有了较大的发展,特别是20世纪60年代以来,已能对井下风流环境中各参数(瓦斯、一氧化碳、风速、压力、温度等)进行监测,80年代以后,煤矿通风安全的科学技术得到了快速的发展,目前已经形成了一个比较完整的体系。

本书是根据高职高专采矿工程和安全工程专业的“矿井通风与安全”教学大纲编写的。本高职高专教材内容,不仅能够使学生理解国家安全生产方针,而且能够使学生基本掌握防灾基础手段——矿井通风的基础理论和技术方法,熟悉煤矿井下灾害(瓦斯、矿尘、火、水、顶板和热害等)的发生机理及防治技术。同时使学生具有矿井通风技术管理、设计和制定防灾专项技术措施的能力,以及具有较强的动手能力和专业技能。

本书共分十六章,第一章矿井空气,主要内容包括:矿内空气的组成;矿内有害气体的来源和对矿井生产及人体的危害;各种有害气体的安全标准;矿井气候条件及其改善和井巷中风速与风量测定。第二章井巷风流能量与能量方程,主要内容包括:矿井风流的特点及其参数测定,风流的静压、动压和全压及其相互关系,伯努利能量方程和空气连续性方程及其在矿井通风中的应用。第三章矿井通风阻力,主要内容包括:摩擦阻力、局部阻力、矿井总风阻

与矿井等积孔的含义和公式推导,降低井巷通风阻力的措施,矿井通风阻力测定的原理和步骤。第四章矿井通风动力,主要包括:自然通风及其特点和测定,离心式、轴流式和对旋式主要通风机及其附属装置,主要通风机的安全要求和工作参数,通风机个体特性曲线和类型特性曲线,通风机的风压与通风阻力的关系,通风机串联和并联工作及其特性,矿井主要通风机性能鉴定——鉴定的方法与步骤、数据处理和特性曲线的绘制。第五章矿井通风网路中风量自然分配,主要包括:串联、并联和角联通风网路及其特性,串并联通风网路比较和分析,通风网路风量自然分配及通风网路解算。第六章矿井通风网路中风量按需分配,主要包括:实现局部风量按需分配的方法——增加风阻调节法、降低风阻调节法和辅助通风机调节法,实现矿井总风量按需调节方法——改变主要通风机工作特性调节法和改变矿井总风阻调节法。第七章矿井通风系统,主要包括:矿井通风方法和通风方式及其选择,采区和工作面通风系统的基本要求和布置形式,工作面上行风与下行风,井下通风设施种类、质量和施工要求与管理,矿井外部漏风和内部漏风及其预防,矿井有效风量及漏风的表示方法,防止漏风的主要措施,矿井通风系统图和通风网路图的绘制。第八章掘进通风,主要包括:局部通风机、矿井全风压和引射器的局部通风方式,按照排除炮烟、排除瓦斯、排除矿尘和根据风速要求计算掘进工作面需风量,掘进通风系统的设计原则、步骤和方法,掘进通风的管理措施,保证局部通风机安全运转的措施和局部通风机消音措施。第九章矿井通风监控,主要包括:采掘工作面通风监控,矿井通风系统监控。第十章矿井通风设计,主要包括:拟定矿井通风系统,计算和分配矿井总风量,计算矿井通风总阻力,选择矿井通风设备,概算矿井通风费用,生产矿井通风设计和通风能力核定。第十一章矿井空气调节,主要包括:空气加热和降温,矿井空气调节系统。第十二章矿井瓦斯防治技术,主要包括:煤层瓦斯的生成与赋存,瓦斯的涌出及其影响因素,瓦斯检测和瓦斯爆炸及其预防,瓦斯突出及其预防和矿井瓦斯抽采。第十三章矿尘防治技术,主要包括:矿尘的产生,尘肺病及其发病原理,综合防尘技术,煤尘爆炸机理和特点,煤尘爆炸性鉴定,煤尘、瓦斯爆炸的相互影响,防治煤尘爆炸的技术方法,煤尘抑爆、隔爆技术。第十四章矿井防灭火技术,主要包括:矿井火灾种类、发生原因,煤炭自燃的条件、机理和规律,煤炭自燃倾向性及鉴定方法,自然发火期及早期预报方法,预防自燃火灾技术,外因火灾的特点及预防方法,火灾时期风流紊乱形式、发生原因及相应的防治方法。第十五章矿山防治水技术,主要包括:地表水综合治理,地下水的探放,矿井水灾预测及透水事故的处理方法。第十六章矿山救护,主要包括:矿井灾变时期应变原则,救灾方案决策方法,事故现场人员的行动准则,矿工自救及自救装置,矿山救护组织与装备。

现编写的《通风与安全》高职高专教材,既注重一定基础知识和专业知识的掌握,又注重动手能力和专业技能的培养。大量地增加了技能实践训练内容,重视学生基本技能和实际工作能力的培养。本书编写的主要目的就是能够体现高职特点,达到教育部“十一五”优秀规划教材要求的质量一流、特色鲜明、内容丰富、知识准确。教材中注意反映国内外矿井通风与安全技术方面的最新科技成果及其发展动向。

本书由杨胜强教授和湖南安全职业技术学院刘殿武教授担任主编。绪论、第六章、第八章由中国矿业大学杨胜强编写,第一章、第十五章由平顶山工业职业技术学院刘保福编写,第二章、第三章由湖南安全职业技术学院刘殿武编写,第四章由华北科技学院张跃兵和杨胜强合编,第五章由华北科技学院王自亮和杨胜强合编,第七章由石家庄工程技术学校任世英编写,第九章由山西煤炭职业技术学院刘洪勇编写,第十章由河北能源职业技术学院方焕明

编写,第十一章由中国矿业大学于宝海编写,第十二章由新疆工业高等专科学校陆卫东编写,第十三章由徐州建筑职业技术学院张修峰和杨胜强编写,第十四章由辽宁石油化工大学职业技术学院孙峰编写,第十六章由中国矿业大学杨胜强和石家庄工程技术学校武合意合编,最后由杨胜强教授对全书进行了总审定稿。本书在资料整理、图表绘制、计算机录入与排版、校对等方面得到了研究生田艳秋、李小玉和黄瑞玲的大力帮助,他们为完成此书付出了大量艰辛的劳动。在本书的编写过程中还得到了教育部安全类教指委、中国矿业大学出版社有关领导和工作人员的大力支持和帮助,在本书完成之际,向他们表示衷心的感谢。

作 者

2009年4月

目 录	
第一章 矿井空气	1
第一节 矿井空气成分.....	1
第二节 矿井空气中有害气体及其检测.....	5
实训一 矿井空气成分和有害气体的检测技术训练.....	9
第三节 矿井气候条件及其改善	11
实训二 矿井空气温度和湿度测定技术训练	16
第四节 井巷中风速与风量测定	20
实训三 井巷风流断面上速度场系数和风速测定技术训练	22
复习思考题及习题	25
第二章 井巷风流能量与能量方程	26
第一节 矿井空气的主要物理参数	26
第二节 风流能量与压力	29
第三节 空气压力测量及其相互关系	33
实验 风流中点压力的测量及其相互关系实验	40
第四节 井巷风流能量方程及其应用	41
复习思考题及习题	47
第三章 矿井通风阻力	49
第一节 摩擦阻力	49
第二节 局部阻力	54
第三节 矿井总风阻与矿井等积孔	56
第四节 降低矿井通风阻力的措施	61
第五节 矿井通风阻力测定	63
实训 通风阻力测定实训	74
复习思考题及习题	75
第四章 矿井通风动力	77
第一节 自然通风	77
第二节 矿井主要通风机及其附属装置	81
实训一 通风机及其附属装置实训	90
第三节 矿井通风机及其实际特性	91

第四节	通风机联合运转分析	101
第五节	矿井主要通风机性能鉴定	107
实训二	通风机性能鉴定技术实训	115
复习思考题及习题		116
第五章	矿井通风网络中风量自然分配	124
第一节	通风网络及其特性	124
第二节	通风网络风量自然分配	128
实验	通风网络特性和风量自然分配实验	138
复习思考题及习题		141
第六章	矿井通风网络中风量按需分配	147
第一节	局部风量按需分配方法	147
第二节	矿井总风量按需调节方法	153
复习思考题及习题		157
第七章	矿井通风系统	162
第一节	矿井通风系统	162
第二节	采区通风系统	170
第三节	井下通风设施	177
第四节	矿井漏风及其预防	179
第五节	矿井通风系统图	181
实训一	采区通风系统认识实训	183
实训二	矿井通风网络图的绘制技术实训	184
复习思考题及习题		185
第八章	掘进通风	188
第一节	掘进通风方法	188
第二节	局部通风设备	192
第三节	掘进工作面风量计算	196
第四节	掘进工作面通风阻力计算	198
第五节	掘进通风系统设计	200
第六节	掘进通风管理	201
复习思考题及习题		205
第九章	矿井通风监控	209
第一节	采掘工作面通风监控	209
第二节	矿井通风系统监控	211
复习思考题及习题		215

第十章 矿井通风设计	216
第一节 拟定矿井通风系统.....	217
第二节 计算和分配矿井总风量.....	218
第三节 计算矿井通风总阻力.....	222
第四节 选择矿井通风设备.....	223
第五节 概算矿井通风费用.....	225
第六节 生产矿井通风设计.....	226
复习思考题及习题.....	230
第十一章 矿井空气调节	234
第一节 进风井口空气加热.....	234
第二节 井下空气降温的一般措施.....	239
第三节 矿井空气调节系统概述.....	245
第十二章 矿井瓦斯防治技术	250
第一节 煤层瓦斯生成与赋存.....	250
第二节 矿井瓦斯涌出及其影响因素.....	255
第三节 矿井瓦斯检测技术.....	261
实训一 矿井瓦斯检查技术训练.....	266
第四节 矿井瓦斯爆炸及其预防技术.....	268
实验 瓦斯爆炸条件实验.....	276
第五节 瓦斯特殊涌出及其预防技术.....	279
第六节 矿井瓦斯抽放技术.....	285
实训二 矿井瓦斯抽放技术实训.....	290
复习思考题及习题.....	293
第十三章 矿尘防治技术	294
第一节 概述.....	294
实训一 矿用粉尘采样器技术训练.....	304
实训二 光电煤尘测定仪操作技术训练.....	306
第二节 煤尘爆炸及其预防.....	307
实验 煤尘爆炸性实验.....	318
第三节 矿井综合防尘.....	319
实训三 矿山综合防尘技术训练.....	325
复习思考题及习题.....	331
第十四章 矿井防灭火技术	332
第一节 概述.....	332
第二节 煤炭自燃.....	334

第三节	外因火灾预防技术·····	340
第四节	预防煤炭自燃的开采与通风技术措施·····	341
第五节	灌浆防火技术·····	342
第六节	阻化剂防火技术·····	347
第七节	凝胶防灭火技术·····	349
第八节	氮气防灭火技术·····	352
第九节	三相泡沫灭火技术·····	355
第十节	其他灭火技术·····	356
实训	矿井防灭火技术·····	370

第一章 矿井空气

矿井通风的定义就是利用机械或自然通风为动力,使地面空气进入井下,并在井巷中做定向和定量流动,最后将污浊空气排出矿井的全过程。因此,矿井通风的任务就是把地面新鲜空气源源不断地送入井下,供给人员呼吸,排除各种有害气体和矿尘,创造一个良好的矿内气候条件,从而保障井下人员的身体健康和矿井安全生产。所以,评价矿井通风效果的主要指标就是矿井空气的质量和数量。

本章重点阐述:矿井空气成分、有害气体及其安全标准和测定方法;矿井的气候条件及其改善;井巷中风速和风量测定以及相关项目实训等,为进一步学习矿井通风理论和技术奠定基础。

第一节 矿井空气成分

地面空气又称为地表大气,是由干空气和水蒸气组成的混合气体,通常称为湿空气。一般将不含水蒸气的空气称为干空气。地面空气中水蒸气所占比例随地区和季节变化较大,但干空气组分相对稳定,其主要组分如表 1-1 所示。

表 1-1 干空气的组成成分

气体成分	按体积计/%	按质量计/%	备注
氧气(O ₂)	20.96	23.23	惰性稀有气体氮、氦、氩、氖、氙等计在氮气中
氮气(N ₂)	79.00	76.71	
二氧化碳(CO ₂)	0.04	0.06	

湿空气中仅含少量的水蒸气,但其微小变化却会引起湿空气的物理性质和状态发生较大改变。

一、矿井空气的主要成分及其性质

进入井下后的地面空气即称为矿井空气,由于受井下各种自然因素和人为因素的影响,与地面空气相比,其成分和状态将发生一系列变化。如氧气含量减少;二氧化碳含量增加;混入了各种有毒、有害气体和矿尘;空气的温度、湿度、压力等物理参数变化等。

在矿井通风中,一般把进入采掘工作面、硐室等用风地点之前,空气成分或状态变化较小的风流称为新鲜风流,简称新风,如进风井筒、水平进风大巷、采区进风上(下)山等处;经过用风地点后,空气成分或状态变化较大的风流称为污风风流,简称污风或乏风,如采掘工作面回风巷、采区回风上(下)山、矿井回风大巷、回风井筒等处。

尽管矿井中的空气成分有了一定的变化,但主要成分仍同地面一样,由氧气、氮气和二氧化碳等组成。

(一) 氧气(O₂)

氧气是一种无色、无味、无臭的气体,略重于空气(与空气的相对密度为 1.105)。氧是很活跃的化学物质,易使多种元素氧化,能助燃。更重要的是,人类之所以能够在地球上生存,就要不断地吸入氧气,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。一般情况下,人体需氧量与劳动强度的关系如表 1-2 所示。

表 1-2 人体需氧量与劳动强度的关系

劳动强度	呼吸空气量/(L·min ⁻¹)	氧气消耗量/(L·min ⁻¹)
休息	6~15	0.2~0.4
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	2.5~3.0

空气中的氧浓度直接影响着人体健康和生命安全,当氧浓度降低时,人体就会产生不良反应,出现种种不舒服的症状,严重时会引起缺氧死亡。人体缺氧症状与空气中氧气浓度的关系如表 1-3 所示。

表 1-3 人体缺氧症状与空气中氧气浓度的关系

氧浓度(体积)/%	人体主要症状
17	静止状态无影响,工作时会感到喘息,呼吸困难
15	呼吸心跳急促,耳鸣目眩,感觉和判断能力降低,失去劳动能力
10~12	失去知觉,时间稍长有生命危险
6~9	失去知觉,呼吸停止,如不及时抢救几分钟内可能导致死亡

地面空气进入井下后,氧气浓度降低的主要原因有:人员呼吸;煤岩、坑木和其他有机物的缓慢氧化;爆破工作;井下火灾和瓦斯、煤尘爆炸。此外,煤岩和生产过程中产生有毒有害气体,也会相对降低氧浓度。

在井下通风不良的巷道中,应特别注意对氧气浓度的检查,严禁贸然进入,以防发生缺氧窒息事故。如平顶山矿区某小煤窑,因废弃巷道未及时密闭,一名矿工误入其中,导致缺氧窒息死亡。

(二) 二氧化碳(CO₂)

二氧化碳无色、略带酸臭味,不助燃也不能供人呼吸,易溶于水。二氧化碳比空气重(与空气的相对密度为 1.52),常积聚在风速较小的巷道底板、水仓、溜煤眼、盲巷、采空区等通风不良处;在风速较大的巷道内,一般能与空气均匀混合。

新鲜空气中微量二氧化碳对人体是有利的。二氧化碳对呼吸中枢神经有刺激作用,若空气中完全不含二氧化碳,则正常的呼吸功能就不能维持。所以为中毒或窒息人员输氧时,要在氧气中加入 5% 的二氧化碳,以刺激受伤人员的呼吸机能。但是,当空气中的二氧化碳

浓度过高时,将使空气中的氧气含量相对降低,轻则使人呼吸加快,呼吸量增加,严重时也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如表 1-4 所示。

表 1-4 二氧化碳中毒症状与浓度关系

二氧化碳浓度(体积)/%	人体主要症状
1	呼吸加深,急促,但对工作效率无明显影响
3	呼吸急促,心跳加快,头痛,很快疲劳
5	呼吸困难,头痛,恶心,呕吐,耳鸣
6	严重喘息,极度虚弱无力
7~9	动作不协调,大约 10 min 发生昏迷
9~11	几分钟内死亡

矿井中二氧化碳的主要来源有:煤和有机物的氧化;人员呼吸;井下爆破;井下火灾;瓦斯、煤尘爆炸等。此外,在个别煤层和岩层中也能长期连续涌出,甚至与煤或岩石一起突然喷出,给安全生产造成重大影响。

某矿 1605 北大巷掘进过程中,曾发生两次岩石与二氧化碳突出事故。在 1977 年 2 月 3 日,突出的二氧化碳从工作面向外蔓延 1 200 m,其中逆风流 300 m,共波及四条巷道,总长度达 1 900 m,突出岩石 540 车,在 20 min 内二氧化碳喷出量约为 4 900 m³,从 2 月 3 日至 5 月 25 日累计排放二氧化碳 12.8 万 m³。该巷道在 1978 年 5 月 24 日又发生了岩石与二氧化碳突出事故,突出二氧化碳 24 万 m³,岩石 1 050 m³,逆风流 1 700 m。

(三) 氮气(N₂)

氮气是新鲜空气的主要成分,本身无色、无味、无臭,略轻于空气(与空气的相对密度为 0.97),微溶于水,不助燃,无毒,不能供人呼吸。当空气中的氮气浓度增加时,会相应降低氧气浓度,人会因缺氧而窒息。在井下废弃旧巷或封闭的采空区中,有可能积存氮气。如 1982 年 9 月 7 日,我国某矿因矿井主要通风机停风,井下采空区的氮气大量涌出,致使采煤工作面支架安装人员缺氧窒息,造成多人伤亡事故。但利用氮气的惰性,可将其用于井下防灭火。实践证明,氮气防灭火是防治煤炭自燃的一项十分有效的技术,并得到广泛应用。

矿井中的氮气主要来源有:井下爆破和有机物的腐烂;个别煤层岩中也会有氮气涌出。

二、矿井空气主要成分的安全标准

矿井空气的主要成分中,由于氧气和二氧化碳对人体健康和安全生产影响很大,所以《煤矿安全规程》(以下简称《规程》)对其浓度标准做了明确规定。

采掘工作面进风流中,按体积计算,氧气浓度不低于 20%,二氧化碳浓度不超过 0.5%;矿井总回风巷或一翼回风巷风流中,二氧化碳浓度超过 0.75%时,必须立即查明原因,进行处理;采区回风巷、采掘工作面回风巷风流中,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。

三、矿井空气主要成分检查方法

矿井必须建立严格的通风安全检查制度,要定期化验井下空气成分,检查用风地点的进风流中 O₂、CO₂ 浓度和回风流空气中 CO₂ 浓度是否符合安全标准。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。

(一) 取样分析法

利用取样瓶或吸气球等采取井下空气试样,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,可完成多种气体的检测分析。它的优点是定性准确、分析精度高,且一次进样可同时完成多种气体的分析;缺点是采样、送检时间长,检测费用高。一般用于井下火区成分检测或需精确测定空气成分的场所。

(二) 快速测定法

利用便携式仪器在井下就地检测,快速测定出主要气体成分。尽管它的测定精度不如取样分析法高,但基本能满足矿井的一般要求,是目前普遍采用的测定方法。

1. 氧气浓度的快速测定方法

(1) 利用氧气检测仪检测

检测井下氧气的便携式仪器种类较多,主要有 AY—1B 型、JJY—1 型(可测 O_2 、 CH_4 两种气体)等。其中 AY—1B 型是普遍使用的数字式氧气检测仪,其为本质安全型,具有功率小、结构简单、测量线性好等特点。AY—1B 型数字式氧气检测仪外部结构见图 1-1。

(2) 利用氧气检定管检测

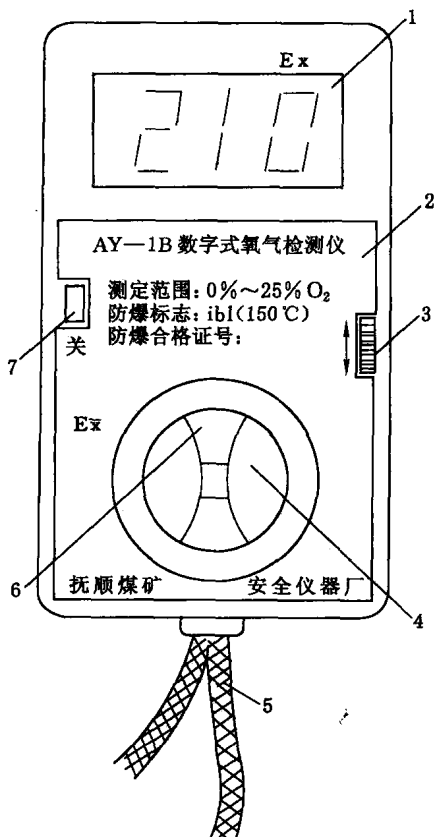


图 1-1 AY—1B 型氧气检测仪

- 1——氧气浓度显示器;2——仪器铭牌;3——示值调准电位器旋钮;
4——氧气扩散孔;5——提手;6——密封盖;7——开关

氧气检定管检测法与矿井空气中有毒有害气体检定管检测法基本相同,详见“实训一 矿井空气成分和有害气体的检测技术训练”。我国用比长式气体检定管的主要性能如表1-5所示。

表 1-5 我国用比长式气体检定管的主要性能

检测管名称	型号	测量范围 (体积比)	最小 分辨率	最小检 测浓度	颜色变化
CO	I	$(5\sim 50)\times 10^{-6}$	5×10^{-6}	5×10^{-6}	白色→棕褐色
	II	$(10\sim 500)\times 10^{-6}$	20×10^{-6}	10×10^{-6}	
	III	$(100\sim 5\ 000)\times 10^{-6}$	200×10^{-6}	100×10^{-6}	
CO ₂	I	0.2%~3.0%	0.2%	0.1%	蓝色→白色
	II	1%~15%	1%	0.5%	
H ₂ S	I	$(3\sim 100)\times 10^{-6}$	5×10^{-6}	3×10^{-6}	白色→棕色
SO ₂	I	$(2.5\sim 100)\times 10^{-6}$	5×10^{-6}	2.5×10^{-6}	紫色→土黄色
NO ₂	I	$(1\sim 50)\times 10^{-6}$	2.5×10^{-6}	1×10^{-6}	白色→黄绿色
NH ₃	I	$(20\sim 200)\times 10^{-6}$	20×10^{-6}	20×10^{-6}	橘黄→蓝灰
O ₂	I	1%~21%	1%	0.5%	白色→茶色
H ₂	I	0.5%~3.0%	0.5%	0.3%	白色→淡红

2. 二氧化碳浓度的快速测定方法

矿井空气中二氧化碳的测定主要使用光学瓦斯鉴定器,检查方法详见本书第十二章“矿井瓦斯防治技术”。也可利用比长式检测管法检测。

第二节 矿井空气中有毒有害气体及其检测

矿井空气中常见的有害气体主要有:一氧化碳(CO)、硫化氢(H₂S)、二氧化硫(SO₂)、二氧化氮(NO₂)、氨气(NH₃)、氢气(H₂)、甲烷(CH₄)等。本节重点介绍常见有害气体性质、危害、浓度标准和检测方法,其中甲烷将在“矿井瓦斯防治技术”部分详细介绍。

一、矿井空气中常见有害气体

(一) 一氧化碳(CO)

一氧化碳气体无色、无味、无臭,略轻于空气(与空气的相对密度为0.97),微溶于水,能与空气均匀地混合。一氧化碳能燃烧,在空气中体积浓度达13%~75%时有爆炸性。

一氧化碳有剧毒。一氧化碳与人体血液中的血红素的亲和力比氧大250~300倍,当人体吸入含有一氧化碳的空气时,一氧化碳首先与血红素相结合,因而减少了血红素与氧结合的机会,使血红素失去输氧功能,造成人体血液缺氧“窒息”,这就是一氧化碳中毒机理。一氧化碳与血红素结合后,生成鲜红色的碳氧血红素,因此,一氧化碳中毒最显著的特征是中毒者黏膜和皮肤呈现樱桃红色。一氧化碳的中毒程度与一氧化碳浓度、时间及人的体质有关,如表1-6所示。

表 1-6 一氧化碳中毒症状与浓度的关系

CO 浓度(体积)/%	主要症状
0.02	2~3 h 内能引起轻微头痛
0.08	40 min 内出现头痛、眩晕和恶心。2 h 发生体温下降,脉搏微弱,出冷汗,可能出现昏迷
0.32	5~10 min 内出现头痛、眩晕。半小时内可能出现昏迷并有死亡危险
1.28	几分钟内出现昏迷和死亡

矿井中一氧化碳的主要来源有:爆破工作;矿井火灾;瓦斯及煤尘爆炸等。据统计,在煤矿发生的瓦斯、煤尘爆炸及火灾事故中,约 70%~75% 的死亡人员是一氧化碳中毒所致。

(二) 硫化氢(H₂S)

硫化氢气体无色、微甜、有浓烈的臭鸡蛋气味,与空气的相对密度为 1.19,易溶于水,能燃烧,当浓度达 4.3%~45.5% 时具有爆炸性。

硫化氢有剧毒。它不但能使人体血液缺氧中毒,同时对眼睛及呼吸道的黏膜具有强烈的刺激作用,能引起鼻炎、气管炎和肺水肿。当空气中浓度达到 0.000 1% 时可嗅到臭味,但当浓度较高时(0.005%~0.01%),因嗅觉神经中毒麻痹,反而嗅不到。硫化氢的中毒程度与浓度的关系如表 1-7 所示。

表 1-7 硫化氢的中毒程度与浓度的关系

H ₂ S 浓度(体积)/%	主要症状
0.002 5~0.003	有强烈臭鸡蛋味
0.005~0.01	1~2 h 内眼及呼吸道有刺激感,臭味“减弱”或“消失”
0.015~0.02	使人感到恶心,呕吐,头晕,四肢无力,反应迟钝;眼及呼吸道有强烈刺激感
0.035~0.045	0.5~1 h 内严重中毒,可发生肺炎、支气管炎及肺水肿,有死亡危险
0.06~0.07	很快昏迷,短时间内死亡

矿井中硫化氢的主要来源有:坑木等有机物腐烂;含硫矿物的水解;矿物氧化和燃烧;从老空区和旧巷积水中放出;有些煤层中也有硫化氢涌出。2006 年 9 月 1 日,新疆阜康市金龙煤矿在建井期间,在掘进巷道时突然发生冒顶事故,随之涌出硫化氢气体,当场就熏倒 2 人,下井救援人员也中毒了,其中包括 3 位煤矿领导。我国某矿一上山掘进工作面曾发生一起老空区透水事故,人员撤出后,矿调度室主任和一名技术员去现场了解透水情况,被涌出的硫化氢熏倒致死。

(三) 二氧化硫(SO₂)

二氧化硫气体无色、有强烈硫黄气味及酸味,当空气中二氧化硫浓度达到 0.000 5% 时即可嗅到。它易溶于水,比空气重(相对密度为 2.22),当风速较小时,常常积聚在巷道的底部。

二氧化硫有剧毒。二氧化硫遇水后生成亚硫酸、硫酸,对眼睛和呼吸道黏膜有强烈刺激作用,可引起喉炎和肺水肿,矿工们将其称之为“瞎眼气体”。二氧化硫的中毒程度与浓度的关系如表 1-8 所示。