

高职高专煤炭专业系列教材

Kuangjing Tongfeng

矿井通风

淮南职业技术学院组织编写

主编 肖家平 朱云辉

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

高职高专煤炭专业系列教材

矿井通风

淮南职业技术学院组织编写

主 编 肖家平 朱云辉

副主编 史长胜 韩 磊

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书是煤炭高等职业教育矿井通风与安全专业的核心课程教材之一。主要内容包括矿井空气概论、矿井气候及其调节、矿井空气流动基本理论、矿井通风阻力、矿井通风动力、掘进通风、矿井通风网络及风量分配、矿井通风系统、矿井通风设计等,并简要介绍了“一通三防”的质量标准和最新的通风机参数和特性曲线等知识。

本书既可作为煤炭高职院校矿井通风与安全专业教材,也可作为中等职业学校、技师学校、煤矿企业职工培训及干部培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

矿井通风/肖家平,朱云辉主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2012.9

ISBN 978-7-5646-1584-0

I. ①矿… II. ①肖…②朱… 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(2012)第 185952 号

书 名 矿井通风

主 编 肖家平 朱云辉

责任编辑 张 岩 章 毅

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 15.5 字数 382 千字

版次印次 2012 年 9 月第 1 版 2012 年 9 月第 1 次印刷

定 价 26.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

本书体现高等职业技术教育特点,满足培养煤矿通风管理高素质技能型人才的要求,同时也兼顾技师、高级技师、中等职业技术教育和煤炭企业职工安全培训需要。编写人员在该领域进行了多年的教学、科研工作,在编写过程中能充分结合煤矿现场实际和近年来涌现出的新技术、新工艺、新设备,体现了课程所学与煤矿现场的无缝对接。

教材在内容上力求简而精。理论教学方面,力求深入浅出,融会贯通;实践教学方面,突出学生的动手能力,并与煤矿工种紧密结合(如瓦检工、通风工等);在仪器设备使用方面,列举了近年来煤矿常用的新设备和新仪器,并充分利用实验室进行模拟(如通风网络特性模拟),既形象生动又通俗易懂,充实了矿井通风实践教学,增强了教材的实用性和灵活性。

本书由淮南职业技术学院组织编写。淮南职业技术学院的肖家平编写了第三章、第四章、第五章、第九章和附录,朱云辉编写了第二章和第八章,史长胜编写了绪论和第六章。安徽理工大学的韩磊编写了第一章和第七章。

本书编写过程中还得到了安徽理工大学和淮南矿业集团相关专家和教授的大力支持,在此表示衷心的感谢!

本书编写过程中,除了参考新规程、新标准以外,还吸取了现有的各大、中专相关教材的优点,为此,特向各位作者表示感谢!

由于编者水平有限,加上时间仓促,书中的缺点和错误在所难免,恳请读者批评指正!

编 者
2012 年 5 月

目 录

绪论	1
第一章 矿井空气概论	5
第一节 矿井空气成分、性质和浓度标准	5
第二节 井下有害气体的检测方法及其防治措施	12
复习思考题	20
第二章 矿井气候及其调节	21
第一节 矿井气候对人体热平衡的影响	21
第二节 矿井空气温度及其调节	24
第三节 矿井空气的湿度及其测定	32
第四节 井下巷道的风速及其测定方法	35
复习思考题	41
第三章 矿井空气流动基本理论	43
第一节 矿井空气主要参数	43
第二节 矿井空气压力及其测量方法	44
第三节 矿井通风中的能量方程及其应用	59
复习思考题	65
第四章 矿井通风阻力	67
第一节 井巷风流的流态	67
第二节 摩擦阻力与摩擦风阻、局部阻力与局部风阻	68
第三节 矿井总风阻与矿井等积孔	77
第四节 用压差计法测定矿井通风阻力	80
复习思考题	82
第五章 矿井通风动力	83
第一节 自然风压	83
第二节 矿井主要通风机及其附属装置	86

第三节 通风机的特性及其经济运行	95
第四节 通风机联合作业	99
第五节 矿井主要通风机风压与通风阻力的关系	104
复习思考题	106
第六章 掘进通风	108
第一节 掘进通风方法	108
第二节 掘进通风设备与选择计算	111
第三节 局部通风机通风安全管理	118
复习思考题	123
第七章 矿井通风网络及风量分配	124
第一节 通风网络的基本形式和特性	124
第二节 矿井风量调节	134
复习思考题	139
第八章 矿井通风系统	142
第一节 矿井通风方法和通风方式	142
第二节 采区通风系统	145
第三节 通风设施及安全管理	149
第四节 矿井漏风及其预防	152
复习思考题	154
第九章 矿井通风设计	155
第一节 矿井通风设计的准备内容和设计程序	155
第二节 矿井通风设计案例	164
复习思考题	180
附录一 实验	184
实验一 大气压、空气湿度和空气密度测定	184
实验二 微气候状态测定	185
实验三 倾斜压差计在通风管路压力测定中的应用	186
实验四 风道的风阻、摩擦阻力系数和局部阻力系数的测定	188
实验五 通风机特性测定	190
实验六 串联通风实验	192

实验七 并联通风实验·····	193
实验八 角联通风实验·····	196
实验九 井巷中风速与风量的测定·····	197
实验十 矿井反风实验·····	199
附录二 煤矿通风安全质量标准化标准及考核评级办法·····	201
附录三 矿用通风机性能参数表·····	215
附录四 通风机特性曲线·····	229
参考文献·····	237

绪 论

一、矿井通风的意义

矿井通风就是把地面空气连续不断地送往井下,同时连续不断地把井下污浊空气排出井外。通风的作用如下:

(1) 供给井下人员足够的新鲜空气,满足人员呼吸需要;

(2) 冲淡、排除井下有毒气体和粉尘,保证工作人员不中毒,保持空气的清洁度,以及防止瓦斯和煤尘爆炸事故;

(3) 稀释、排除井下的热量和水蒸气,创造合适的气候条件,改善职工的劳动环境。

由此可见,在保证人身安全和矿井安全生产的措施中,矿井通风有着非常重要的意义。

二、矿井通风发展的历史

(一) 古希腊和欧洲的矿井通风史

古希腊采矿始于公元前 600 年,采矿者已意识到采矿需要通风风路,每个采矿点至少要有两条风路。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。

古罗马帝国时代的地下矿通常有两个井筒,朴里尼(公元 23~79 年)曾描述奴隶们使用棕榈叶引风到巷道中的场景。

中欧波希米亚铁矿开采和冶炼领域的物理学家阿格里科拉在 1556 年出版的《矿冶全书》中,对矿井通风有细致的描述,如图 0-1 所示,通风装置包括: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通风机、用于辅助通风的风箱和风门。阿格里科拉也知道了矿井有害气体的危险,井下空气的氧含量会减少。该书描述到,矿工有时被呼吸的有害气体毒死了。这种“有害气体”是甲烷和空气的混合物,具有爆炸危险。

在 18 至 19 世纪,矿井通风单纯用自然通风,在地表和井下的空气温度接近相等的情况下,风流就处于不流动状态。最早的通风炉建在地表,后来很快发现:将燃烧的煤盛于铁丝做成的篮子中,并将其吊在回风井中对改善通风非常有效,而且,篮子放得越下,通风效果越好。这一发现很快就导致了回风井底炉的构筑。

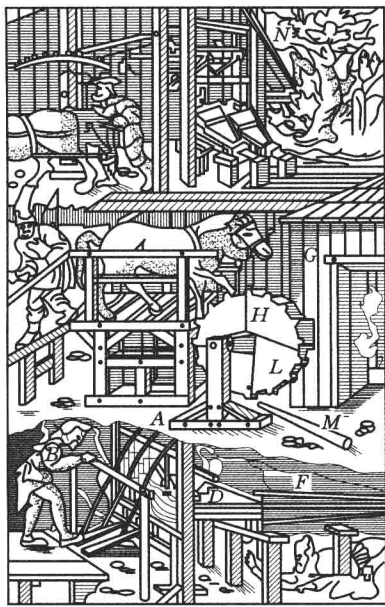


图 0-1 阿格里科拉《矿冶全书》中描述矿井通风装置的示意图

在 18 世纪早期以前,井下照明的唯一途径是用蜡烛,蜡烛明火引起了无数次瓦斯爆炸灾难,尽管当时人们知道了瓦斯爆炸的原因,但人们预防瓦斯爆炸的手段非常有限,一个处理瓦斯的普遍方法是在每班下井前,派一个“点火人”先下井引爆瓦斯,“点火人”穿着预先用水泡湿的棉袄,手里拿着一长棍,棍子的一头绑着点燃的蜡烛,他下井的任务是在其他矿工下井前先点燃采煤工作面积聚的瓦斯,使之后短时间内不会再出现瓦斯爆炸事故。

英格兰北部采矿工程师布得勒(1773~1843)在预防瓦斯爆炸方面做了两个重要的改进,首先,他通过引入“盲管”给回风井的炉子底部提供足够的新空气,含有瓦斯的污风绕过炉子被排出地表。从炉子出来的燃烧气体进入回风井由于温度不高不至于点燃瓦斯,但此时在回风井中仍然有良好的“烟囱效应”(即自然通风作用)。布得勒的第二个发明是“盘区(即分支)通风”(在那以前,风流一个接一个地串联流入工作面,瓦斯的浓度不断增大),布得勒将采区划分为若干独立的盘区,他发现如果每个盘区分别有一个进风道和回风道,通风效果就会有显著改善并且瓦斯的浓度大幅度下降。他的偶然发现几乎得出了并联风路布置比串联风路优越的原理,几十年后,阿金森的理论分析才从数学上证明了上述原理。

1812 年,英国皇家协会主席戴维开始试图开发安全矿灯,经过短时间的实验,他发现燃烧瓦斯的火焰不能迅速地通过编织的铁丝笼,从而发明了戴维矿灯,如图 0-2 所示。这种灯由铁丝笼中的火焰发光,由于在铁丝笼中的瓦斯完全燃烧,然而火焰不会穿过铁丝笼,这样就不会点燃周围的瓦斯。

在俄罗斯, M. B. 罗莫诺索夫在 1745 年向俄罗斯科学院提出了一篇题为《关于空气在矿井内的自由流动》的论文,第一次把空气在矿井内的自然流动的性质与规律加以说明。

北英格兰采矿工程师协会阿金森于 1854 年 12 月发表了题为《关于矿井通风的理论》的论文。在该论文中,阿金森提出和发展的通风原理在现代矿井通风设计中仍然作为基础。在阿金森时代,随着蒸汽机的发明,第一台动力驱动的通风机出现了,通风机从活塞式或气缸式改成了离心式。到了 19 世纪末,矿井的作业条件开始有了法规控制,井下作业人员必须具备一定的资格,当时矿井经理资格审核主要集中在通风的题目上。

到 20 世纪 20 年代,矿井通风在一些国家得到加速研究,通过使用改进的仪器,可以对矿井风流、压力开展有组织的测量,以便用于矿井通风设计。阿金森的理论在实践中得到验证。1930 年第一台轴流式通风机应用于矿井通风。

1943 年,英国恒斯雷教授通过应用热动力学分析了风流的性质,并于 1952 年将模拟计算机第一次应用于矿井通风,以便满足通风设计的需要。20 世纪 60 年代初期,使用数字计算机进行矿井通风网络分析的程序完全替代了模拟装置。开始,网络分析程序需要大型的计算机,这种局面一直维持到 20 世纪 70 年代。到了 20 世纪 80 年代,台式机及相应的程序出现以后,计算机网络分析成为矿井通风设计的主要方法。

苏联采矿学家、苏联科学院院士斯阔成斯基在 20 世纪 40 年代创立了矿井空气动力学,提出了煤层空隙率和测定瓦斯含量的研究方法,并撰写了《矿井大气》、《矿井火灾》、《矿井通

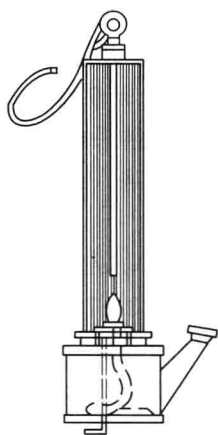


图 0-2 戴维安全矿灯的原始特征

风》等著作,为矿井通风做出了许多开拓性贡献。

(二) 中国的矿井通风历史

中国古代的采矿历史悠久,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)。但公元前后数百年期间有关采矿与通风的文字记载却非常少见,从中国典型古矿遗址中可以窥见中国古代的矿井通风技术和方法。比如江西瑞昌的铜岭古铜矿遗址、安徽铜陵的金牛洞古采矿遗址、湖北大冶的铜绿山古铜矿遗址、甘肃白银的矿山遗迹等都发现了采取有效自然通风的证据。

直到宋代才有了比较详细的文字记载,孔平仲在《读苑》中讲到过铜矿开采过程中防止有害气体的办法。1637年宋应星撰著的《天工开物》的“燔石”一章中论述了竖井采煤在井下安装大竹筒以排除瓦斯和巷道支护的技术,以及烧砒石时的安全措施。

20世纪50年代辽宁抚顺煤矿开始建立了机械通风系统。

20世纪50年代以来,我国矿井通风理论与技术研究取得了如下的主要进展:

- (1) 对井巷通风阻力进行了广泛的研究与测定;
- (2) 建立了各类作业面紊流传质方程及污染物浓度分析计算方法,为风量计算方法提供了理论依据;
- (3) 应用电子计算机计算和分析复杂通风网络,为矿井通风系统分析提供了有效的方法;
- (4) 射流通风理论与技术得到发展,利用风流动压的方向性调节与控制风流的技术获得应用;
- (5) 矿井火灾时风流非稳定流动规律的研究不断深化;
- (6) 受控循环通风理论推动了空气净化装置的研制和污染源控制技术的发展;
- (7) 深井热源、空气与围岩热交换和矿井热环境控制理论与技术有了较大进展,初步形成矿内热力学理论体系;
- (8) 开展了露天矿通风理论与技术的研究。

三、通风系统的发展前景展望

(一) 计算机在矿井通风系统中的应用

由于矿井通风系统自身的复杂性,仅仅依靠人工凭借经验的手段来进行日常管理和事故救灾决策,实施起来难度非常大,而且可靠性不高,极易出错。因此,借助于现代化的信息管理技术,以计算机作为辅助手段来对矿井通风系统进行管理已是大势所趋。

使用计算机可以对井巷网络进行模拟,通过对巷道的断面、风速等参数进行赋值,可以实现通风系统的数字化、科学化和现代化,然后通过预先编制的程序对其进行处理、计算,输出正确的结果,从而为工程技术人员提供必要的参考,以辅助决策。新型矿井通风系统软件除了必须实现诸如灾害事故模拟分析、选择最佳避灾路线以及推荐灾变情况下的控风方案等一些基本的功能外,还应该具备以下特点:

- (1) 可视化。通风系统的参数以及计算结果最好能以图、文、声等多媒体技术手段,十分直观地展现出来,这对简化工作人员的工作量以及在救灾时能够快速做出决策非常有利。

(2) 实现动态模拟。由于矿井气候、巷道布局等时刻在变化,新型软件必须能够适应这种动态性,时刻保持与矿井的真实情况相符合,这样得出的结果才真实、可靠。

(3) 具有预测性。新开发的通风系统软件必须能根据现有的数据,准确地对之后的通风情况进行预测,以便帮助技术人员及早做出决策,并制定相关措施。

(二) 发展矿井通风系统自动控制技术及装备

(1) 新型的具有多参数检测功能和智能化的气体浓度通风参数检测仪器仪表、通风数据智能集成采集系统、无线传感器技术,将对通风数据进行实时采集,及时地对突发通风异常进行报警处理,并与通风设备进行联动。

(2) 应用通风设备的智能自动控制技术,可根据井下环境数据自动调整工作参数,做到既节能又安全。

(3) 发展新的高效的通风装备技术,提高主要通风机的经济运行能力,以及实现掘进通风装备系列化。

第一章 矿井空气概论

【本章重点】 矿井空气的主要成分;井下有害气体的性质、危害和安全浓度标准;井下有害气体的检测方法及其防治措施。

【本章难点】 井下有害气体超限的原因和具体的防治措施;光学瓦斯检测仪的原理和故障排除。

【学习目标】 熟练掌握光学瓦斯检测仪测定井下瓦斯和二氧化碳气体的方法;能分析井下有害气体超限的原因,并提出简单的防治方法。

地面空气又称为大气,是混合气体,大气中除了水蒸气的比例随地区和季节变化较大以外,其余化学组成成分相对稳定。一般将不含水蒸气的空气称为干空气,它的主要组成成分和体积百分比分别为氧气约 20.96%、氮气约 79%、二氧化碳约 0.04%。

地面空气进入井下后,其成分和性质会发生一系列的变化,主要有:

- (1) 氧气含量降低。煤、岩及坑木的氧化,井下火灾及瓦斯、煤尘爆炸,有害气体混入以及井下人员的呼吸等,会使氧气含量相对降低。
- (2) 有害气体混入,如一氧化碳、甲烷、硫化氢、二氧化硫、二氧化氮等。
- (3) 固体微粒混入,如岩尘、煤尘等。
- (4) 气象变化,如井下空气温度、湿度和压力的变化。

这些变化危害工人的健康和安全,所以必须对矿井进行通风,以稀释和排除有毒、有害气体和矿尘,保证矿内氧气的浓度。

矿井通风就是把地面空气不断送入井下,同时把污浊空气排出井外的过程。其任务是:

- (1) 向井下各工作场所连续不断地供给适宜的新鲜空气,满足人员呼吸。
- (2) 把有毒、有害气体和矿尘稀释到安全浓度以下,并排出矿井之外。
- (3) 提供适宜的气候条件,创造良好的生产环境,以保障职工的身体健康和生命安全及机械设备的正常运转,进而提高劳动生产率。

实践证明,矿井通风可排除全矿井瓦斯涌出量的 80%~90%;排除工作面瓦斯涌出量的 70%~80%;排除深井热量的 60%~70%;排除工作面(装有抑尘设备)矿尘量的 20%~30%。因此在保证矿井安全生产措施中,矿井通风有着重要的意义。

第一节 矿井空气成分、性质和浓度标准

一、矿井空气的成分

矿井空气的主要来源是地面空气,但地面空气进入井下以后会发生物理和化学两种变化,因而矿井空气在成分、质量和数量上都和地面空气有着程度不同的区别。

(一) 地面空气成分的种类和数量

地面空气是干空气和水蒸气组成的混合气体,通常称为湿空气。在混合气体中,水蒸气的浓度随地区和季节而变化,其平均的体积浓度约为1%;此外还含有尘埃和烟雾等杂质,有时能污染局部地区的地面空气。

新鲜空气无色、无味和无臭,是维持生命所必需的,并能助燃。

(二) 矿井空气的主要成分及生成

上面提到,地面空气进入井下后,因发生物理和化学两种变化,使得其成分种类增多,各种成分的浓度也发生改变。

1. 矿井空气的主要成分

就煤矿而言,井下空气的成分种类除含有氧气 O_2 、氮气 N_2 、二氧化碳 CO_2 外,还有一些有毒、有害气体,主要有一氧化碳 CO 、硫化氢 H_2S 、二氧化硫 SO_2 、二氧化氮 NO_2 、氨 NH_3 、甲烷 CH_4 等。由于各矿的具体条件不同,其井下空气成分种类和浓度都有一定的差异。

有毒、有害气体超过一定浓度时,对人体都是有害的,还能使人体中毒。故把这些有毒、有害的气体称为广义的矿井瓦斯,而狭义的矿井瓦斯则专指 CH_4 。 CH_4 是煤矿井下普遍存在的气体,在一定浓度范围内,具有爆炸性。所以, CH_4 是煤矿井下最危险的气体。煤矿井下经常出现且数量较多的气体是 CH_4 和 CO_2 ,它们是计算矿井所需风量的主要根据。

2. 物理变化

井下空气的物理变化有以下几个方面。

(1) 气体混入:甲烷(CH_4)、二氧化碳(CO_2)和硫化氢(H_2S)等气体从地层中涌出到井下空气中。多数矿井有瓦斯涌出现象,瓦斯涌出量的大小各矿不同,有些矿井瓦斯涌出量高达 $40\sim 50\text{ m}^3/\text{min}$,有些矿井还伴随瓦斯涌出氮(N_2)、二氧化硫(SO_2)和氢(H_2)等气体。

(2) 固体混入:井下各种作业所产生的微小的岩尘、煤尘和其他杂尘浮游在井下空气之中。

(3) 气象变化:主要是由于井下空气的温度、气压和湿度的变化引起井下空气的体积和浓度变化。

以上物理变化的结果,不仅使井下空气的成分种类增多,而且各种成分的浓度亦发生变化。

3. 化学变化

井下空气的化学变化有:井下一切物质(煤、岩石、坑木……)的缓慢氧化、爆破工作、火区氧化和人员的呼吸等都会产生二氧化碳;井下的爆破工作、火区氧化和机械润滑油高温分解等都能产生一氧化碳;井下火区氧化和含硫煤的水解都能产生硫化氢;井下火区氧化和含硫煤的缓慢氧化都能产生二氧化硫;井下爆破工作能产生氧化氮;井下充电硐室的电解能产生氢;井下火区氧化能产生氨。

二、矿井空气的基本性质

(一) 矿井空气的主要气体及其特性

1. 氧气

氧气的性质是:无色、无味、无臭、无毒,相对密度为1.11。氧气是人呼吸所必需的物质,故必须供给井下足够的风量,以保证井下空气中有足够的氧气含量。因为氧是很活跃的

元素,易使其他物质氧化,并能助燃,产生 CO₂ 和 CO,故应阻止空气进入采空区和火区,以防止氧对煤炭氧化而自燃。

造成矿井空气中氧浓度降低的主要原因有:人员呼吸;煤岩和其他有机物的缓慢氧化;煤炭自燃;瓦斯、煤尘爆炸。此外,煤岩和生产过程中产生的各种有害气体,也使空气中的氧浓度相对降低。缺氧窒息是造成矿井人员伤亡的原因之一。

氧气是维持人的生命所必需的物质,休息时每个人所需氧气量平均为 1~3 L/min。如果空气中氧气浓度降低,就会影响人体健康,甚至造成缺氧窒息死亡。氧气浓度降低对人体的危害见表 1-1。《煤矿安全规程》规定,采掘工作面的进风流中,氧气浓度不低于 20%。

表 1-1 氧气浓度对人体的危害

空气中氧气浓度/%	人体的反应
17	休息时无影响,工作时会引起喘息、呼吸困难
15	呼吸急促,脉搏跳动加快,判断和意识能力减弱
10~12	失去理智,时间稍长即有生命危险
6~9	失去知觉,几分钟内心脏尚能跳动,若不急救就会死亡

2. 二氧化碳

二氧化碳的性质是:二氧化碳不助燃,也不能供人呼吸。二氧化碳溶于水,故常隐匿在老空废井的积水中。二氧化碳比空气重(与空气的相对密度为 1.52),在风速较小的巷道中,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。

井下空气中二氧化碳的主要来源有:煤、岩、坑木等物质的氧化;爆破工作;矿井火灾;瓦斯、煤尘爆炸;人的呼吸;从煤层、岩层中涌出或突出;等等。

二氧化碳对人的影响是:在新鲜空气中含有微量的二氧化碳对人体是无害的。二氧化碳对人体的呼吸中枢神经有刺激作用,如果空气中完全不含有二氧化碳,则人体的正常呼吸功能就不能维持。所以在抢救遇险者进行人工输氧时,往往要在氧气中加入 5%的二氧化碳,以刺激遇险者的呼吸机能。但当空气中二氧化碳的浓度过高时,也将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。不同浓度的二氧化碳对人体的影响见表 1-2。

表 1-2 人体对不同二氧化碳浓度的反应

二氧化碳浓度/%	人体的反应
1	呼吸次数和深度略有增加
3	呼吸次数增加两倍,很快产生疲劳现象
5	呼吸次数增加三倍,感到呼吸困难、憋气和耳鸣
7	发生严重喘息,极度虚弱无力,强烈头疼
10	发生昏迷
10~15	呼吸处于停顿状态,失去知觉
20~25	窒息死亡

《煤矿安全规程》规定,采掘工作面的进风流中,二氧化碳浓度不超过 0.5%;矿井总回风巷或一翼回风巷中二氧化碳浓度不得超过 0.75%;采区回风巷、采掘工作面回风巷风流中二氧化碳浓度都不得超过 1.5%。

3. 氮气

氮气的性质:氮气是一种惰性气体,是新鲜空气中的主要成分,它本身无毒、不助燃,也不供呼吸。氮气不易溶于水,相对密度为 0.97,在一定条件下可与氧气反应生成有毒的二氧化氮。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。正因为氮气为惰性气体,因此又可将其用于井下防灭火和防止瓦斯爆炸。

矿井空气中氮气含量增加部分的主要来源是:井下爆破和生物的腐烂,爆破作业以及煤层放出的氮气,都会增加矿内空气中氮气的含量。

在正常情况下,氮气对人体无害,但若在通风不良的巷道内,氮气浓度的增加会使氧气含量减少,使人员窒息死亡。

(二) 矿井空气的有害气体及其特性

1. 一氧化碳

一氧化碳是无色、无味、无臭的气体,相对密度为 0.97,微溶于水,浓度为 13%~75%时遇火能燃烧和爆炸。

一氧化碳具有强烈的毒性,对人体有较大的危害。人体血液中的血红蛋白对一氧化碳的结合能力比对氧气的结合能力大 250~300 倍,它不但阻碍氧与血红蛋白的结合,还能挤跑氧气,使人因缺氧窒息甚至死亡。一氧化碳中毒者嘴唇呈绛红色,两颊有斑点。

井下一氧化碳的主要来源有:矿井火灾;煤炭自燃;瓦斯与煤尘爆炸(1 kg 煤尘燃烧能产生 1.5 m³的一氧化碳);爆破工作以及润滑油分解;等等。

人体的一氧化碳中毒程度取决于一氧化碳浓度、接触一氧化碳的时间、呼吸频率与呼吸深度,具体见表 1-3。

表 1-3 不同一氧化碳浓度对人体的危害

一氧化碳浓度/%	中毒时间	人体的反应	中毒程度
0.016	2~3 h	无征兆或轻微头疼	
0.048	1~2 h	耳鸣、头痛、眩晕、心跳加速	轻微(一类)
0.128	0.5~1 h	肌肉酸痛、四肢无力、呕吐、感觉迟钝	严重(二类)
0.4	0.5 h	丧失知觉、痉挛、呼吸停顿、死亡	致命(三类)
1.28	1~3 min	呼吸停止、死亡	

据统计,煤矿发生瓦斯爆炸、煤尘爆炸及火灾事故时的死亡人数中,约 70%~75%都是因一氧化碳中毒而死的。

2. 二氧化氮

二氧化氮具有刺激性臭味,呈红褐色,相对密度为 1.57,极易溶于水,不自燃,也不助燃,是一种剧毒性气体。

二氧化氮对人体的眼睛、呼吸道及肺部组织有强烈腐蚀作用。二氧化氮遇水形成硝酸,

能破坏肺及全部呼吸系统组织,使血液中毒,经过 6~24 h 后,出现严重咳嗽,出现剧烈头痛、呕吐,人会很快死亡。二氧化氮的浓度达 0.004% 时,即会出现喉咙受刺激胸部发疼现象;达到 0.01% 时,短时间内会出现严重咳嗽、恶心呕吐、腹泻等症状;当达到 0.025% 时,短时间内人即会死亡。必须注意的是,因二氧化氮将引起肺水肿,所以在对二氧化氮中毒者进行急救时,只能输入纯氧让其自己呼吸,严禁进行人工呼吸或输入含有二氧化碳的氧气,以免加速伤肺死亡。

不同浓度的二氧化氮对人体的危害见表 1-4。

表 1-4 二氧化氮对人体的危害

二氧化氮浓度/%	人体的反应
0.003 4	呼吸困难,6 h 后出现咳嗽等中毒症状
0.006	呼吸道感到刺激,咳嗽,肺部疼痛
0.01	剧烈咳嗽,恶心呕吐,神经系统麻木
0.025	短时间内死亡

井下二氧化氮主要来源于爆破工作(爆破后,会产生大量一氧化氮,但因其很不稳定,很快转化成二氧化氮)。1 kg 硝铵炸药爆破后能产生 10 L 二氧化氮气体。

3. 二氧化硫

二氧化硫是无色、有强烈硫黄味及酸味的气体,相对密度为 2.22,易积聚在巷道底部,易溶于水。当二氧化硫同呼吸道的潮湿表皮接触时能产生硫酸,刺激并麻痹上呼吸道的细胞组织,使肺及支气管发炎。

当空气中二氧化硫浓度为 0.000 2% 时,能引起眼睛红肿、流泪、咳嗽、头痛;达到 0.05% 时,能引起急性支气管炎,肺水肿,在短时间内有致命危险。

井下二氧化硫的主要来源是:含硫煤炭的氧化和自燃;含硫煤岩中的爆破工作;含硫煤尘爆炸;硫化矿物的缓慢氧化;等等。

不同浓度的二氧化硫对人体的危害见表 1-5。

表 1-5 不同浓度的二氧化硫对人体的危害

二氧化硫浓度/%	人体的反应
0.000 5	感到有刺激味
0.002	眼睛红肿、流泪,咳嗽,头痛,喉疼
0.05	急性支气管炎,肺水肿,短时间内中毒死亡

4. 硫化氢

硫化氢是一种无色、微甜、带有臭鸡蛋味的气体,具有强烈毒性,相对密度为 1.19,易溶于水,遇火后能燃烧,当空气中硫化氢浓度为 4.3%~46% 时有爆炸危险性。

井下硫化氢的来源有:有机物的腐烂(主要在老巷中);含硫矿物的氧化和水解(积存污水处);含硫煤炭自燃;含硫化氢煤岩层的放出;等等。

硫化氢对人的眼睛、鼻腔、咽喉及上呼吸道的黏膜有较强的刺激作用,能干扰人的中枢神经系统,易引起急性中毒或死亡。不同浓度的硫化氢对人体的危害见表 1-6。

表 1-6 不同浓度的硫化氢对人体的危害

硫化氢浓度/%	人体的反应
0.000 1	感到有强烈的臭鸡蛋味
0.01	流唾液和清鼻涕,瞳孔变大,呼吸困难
0.05	严重中毒,0.5~1 h 失去知觉、抽筋,甚至死亡
0.1	短时间内死亡

5. 氨

氨是一种无色的气体,相对密度为 0.6,易溶于水,在 1 L 水中,可溶解 700 L 氨气。氨有爆炸性(爆炸界限为 16%~27%)和毒性。

井下空气中氨的来源主要有:炸药爆破;用水熄灭燃烧的煤炭;有机物的氧化腐烂;部分岩层中涌出;等等。

氨能刺激皮肤和上呼吸道,能严重损伤眼睛。氨能引起咳嗽、流泪、头晕、声带水肿,重者会昏迷、痉挛、心力衰竭,以致死亡。

6. 氢气

氢气是无色、无味、无臭,相对密度为 0.07,井下最轻的有害气体,多存在于巷道中上部,这种气体能燃烧也能发生爆炸(爆炸界限为 4%~74%)。当井下发生火灾,灭火过程中用水灭火时,会产生大量氢气,这种高温气体极易造成灭火人员的烧伤、灼伤事故,也能发生燃烧、爆炸事故,所以在灭火过程中应特别引起重视。

井下氢气的主要来源有煤矿井下发生火灾、爆炸,井下充电等。

7. 瓦斯

瓦斯是井下以甲烷(CH_4)为主的有毒、有害气体的总称,有时单独指甲烷。甲烷的化学分子式为 CH_4 ,分子量为 16。瓦斯是无色、无味、无臭、无毒的气体,微溶于水,相对密度为 0.554,在标准状态下的容重为 $7.021\ 6\ \text{N/m}^3$,具有燃烧性和爆炸性。

这种气体的特点是:扩散性强(比空气快 1.6 倍),渗透能力强。瓦斯比空气轻,在井下常积聚在巷道或掘进工作面空间的最高处,尤其掘进煤巷上山或在距含瓦斯的煤层较近的岩层内掘进岩石上山时,更容易积聚在工作面附近的最高处。对此应特别注意,严防其积聚超限,以防发生事故。

在井下有瓦斯积存的巷道或者有大量瓦斯涌出的巷道中,人有时会嗅到一种类似苹果香的气味,这是由于瓦斯同有香味的碳化氢以及极微量的硫化氢同时放出产生的一种混合性气味而并非瓦斯有香味。但是,在井下某一地点嗅到有类似苹果香的味道,也就证明有瓦斯的存在。

在空气中瓦斯浓度的爆炸界限为:下限 5%~6%,上限 14%~16%,当浓度达到 9.5% 时爆炸威力最强。在矿井条件下,引燃或引起瓦斯爆炸的火源温度为 $650\sim 750\ ^\circ\text{C}$ 。

矿井中瓦斯来源于煤层或围岩之中。