

高等院校规划教材

Kuangjing Tongfeng Gongcheng

矿井通风工程

倪文耀 朱 锴 主编



中国矿业大学出版社

高等院校规划教材

矿井通风工程

主 编 倪文耀 朱 锴

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书内容注重矿井通风理论与技术在矿山工程实际中的应用。全书共分9章,包括矿井通风概述、矿山井下空气、矿井空气流动基本理论、井巷通风阻力、矿井通风动力、矿井通风网络基本规律、局部通风、矿井通风系统与优化设计、矿井通风技术测定与鉴定。

本书是为采矿工程、安全工程、矿井通风与安全等专业学生编写的教材,也可供从事安全工程技术设计、研究以及安全生产检测、检验、咨询、培训等方面业务的人员使用,亦可供矿山安全生产管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿井通风工程/倪文耀,朱锴主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2014.12

ISBN 978 - 7 - 5646 - 2603 - 7

I. ①矿… II. ①倪… ②朱… III. ①矿山通风—通风工程 IV. ①TD72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 311260 号

书 名 矿井通风工程
主 编 倪文耀 朱 锴
责任编辑 满建康 姜 华
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 14.25 字数 356 千字
版次印次 2014 年 12 月第 1 版 2014 年 12 月第 1 次印刷
定 价 30.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

目前,国内已有近40所高校开设了矿山工程领域的采矿工程、安全工程、矿井通风与安全等本科专业,这些高校的相关专业培养计划中,大多数将培养工程应用型人才作为培养目标。

矿井通风工程是矿山开采与安全工程的基本保障,“以风定产”已是矿山安全管理工作的共识,国家安全生产监督管理总局将“通风可靠、抽采达标、监控有效、管理到位”作为防治瓦斯工作的“十六字”方针,也突出了矿井通风对于矿井安全生产的重要性。目前,国内矿山工程领域相关本科专业均将“矿井通风”(或“矿井通风与空气调节”、“矿井通风与安全”)作为主要的专业必修课程。2010年6月,教育部启动了“卓越工程师教育培养计划”,该计划的三个特点中就包含“强化培养学生的工程能力和创新能力”。由此可见,必须把提高学生的工程实践能力作为主要的培养目标。而目前国内与矿井通风相关的教材或专著偏重理论,对工程技术和实践创新方面的内容涉及较少,引用的相关行业标准、规程也没有做到与时俱进。鉴于此,我们组织编写了本教材。

本书内容以介绍矿井通风工程技术和方法为主,弱化与通风工程相关的流体力学和工程热力学基础理论的分析 and 推导,侧重基础理论的直接应用,注重矿井通风新技术的应用。本书对于提高矿山工程领域相关专业学生的动手能力、创新能力、应用专业知识解决工程实际问题的能力,都有着积极的指导作用。

本书共分9章,其中第1、2、5、9章由倪文耀编写;第3、4章由朱锴编写,第6章由张景钢编写,第7、8章由刘国兴编写。全书由倪文耀负责统稿。

本书在编写时参考了大量文献资料,南阳防爆集团股份有限公司为本书提供了有关矿用通风机资料,在此对有关作者和单位一并表示感谢。由于水平有限,本书不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2014年10月

目 录

第 1 章 矿井通风概述	1
1.1 矿井通风的概念和任务	1
1.2 矿井通风简史	1
1.3 矿井通风的重要性	4
复习思考题	5
第 2 章 矿山井下空气	6
2.1 矿井空气的主要成分及安全标准	6
2.2 矿井气候条件	14
复习思考题	24
第 3 章 矿井空气流动基本理论	25
3.1 空气的主要物理参数	25
3.2 风流能量与压力	28
3.3 通风能量方程	35
复习思考题	44
第 4 章 井巷通风阻力	46
4.1 井巷断面上的风速分布	46
4.2 摩擦风阻与阻力	48
4.3 局部风阻与阻力	52
4.4 通风阻力定律和特性	57
4.5 降低矿井通风阻力的措施	61
复习思考题	62
第 5 章 矿井通风动力	65
5.1 矿井自然风压	65
5.2 矿井通风机的类型及构造	69
5.3 主要通风机附属装置	73
5.4 通风机特性曲线	78
5.5 通风机工况点	91
5.6 通风机的联合运转	94
5.7 矿井通风设备选型	102

复习思考题	106
第6章 矿井通风网络基本规律	108
6.1 风量分配基本规律	108
6.2 通风系统图绘制	115
6.3 简单通风网络特性	120
6.4 通风网络动态特性	124
6.5 矿井风量调节	126
复习思考题	130
第7章 局部通风	131
7.1 局部通风装备	131
7.2 局部通风方法	138
7.3 掘进工作面需风量计算	147
7.4 局部通风系统设计	149
7.5 局部通风技术管理及安全措施	152
复习思考题	158
第8章 矿井通风系统与优化设计	159
8.1 矿井通风系统	159
8.2 采区通风系统	161
8.3 通风构筑物及漏风	164
8.4 矿井通风设计	168
8.5 通风系统优化设计	175
复习思考题	178
第9章 矿井通风技术测定与鉴定	179
9.1 矿井空气状态参数测定	179
9.2 矿井外部漏风测定	188
9.3 矿井自然风压测定	189
9.4 矿井通风阻力测定	190
9.5 矿井主要通风机性能鉴定	196
9.6 矿用风速表检定	203
复习思考题	205
附录	206
参考文献	220

第1章 矿井通风概述

1.1 矿井通风的概念和任务

1.1.1 矿井通风的概念

对于井工开采的矿山,必须做好矿山井下的通风工作。利用机械或自然通风动力,使地面空气进入矿山井下,并在井巷中作定向和定量地流动,克服流动过程中产生的通风阻力,最后排出矿井的全过程称为矿井通风。

利用机械作为动力(通风机)进行的通风称为机械通风,利用自然界的动力进行的通风称为自然通风。由于机械通风具有稳定可靠且易于控制和调节的特点,因此矿井通风主要以机械通风为主。

1.1.2 矿井通风的任务

矿山井下必须实施有效的通风。因为井下要生产就要有人,人没有氧气就不能生存;其次,在井下生产过程中会不断产生有毒有害气体,如一氧化碳、二氧化碳、二氧化氮、二氧化硫、硫化氢、甲烷等,如果不排除这些气体人们也无法生产;再次,由于受地温、地下水、粉尘等因素的影响,需要对井下恶劣气候条件进行调节。因此,矿井通风是保证矿井安全开采的重要前提。

矿井通风有四大任务:

- (1) 保证井下作业人员有足够的空气呼吸;
- (2) 排除矿井有害气体和矿尘,使矿井空气的质量符合要求;
- (3) 在井下创造较为适宜的气候条件;
- (4) 为矿井抗灾和救灾提供支持。

1.2 矿井通风简史

1.2.1 古希腊和欧洲的矿井通风史

在地下巷道中观察空气流动具有悠久的历史。公元前4000~1200年,欧洲采矿古人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。戈拉弗斯(Grimes Graves)在南英格兰的考古调查表明,早期采打火石的古人是通过在作业面烧木材,利用热胀冷缩原理破碎岩石,这样一来,那些新石器时代的采矿古人会很容易地观察到火引起空气流动。实际上,火引起空气流动的作用被古希腊人、古罗马人和中古欧洲人以及在英国工业

革命时期多次再发现。

希腊劳临(Laurium)银矿开采始于公元前 600 年,从古矿布局发现古希腊采矿人已经有意识知道采矿需要通风风路,每个采矿点至少要 2 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 2 个井筒,朴里尼(Pliny)(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。

尽管在欧洲金属矿古采矿始于公元 1500 年,但没有留下太多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,通风设施包括: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性,会导致井下空气的氧含量减少。

阿格里科拉的《矿冶全书》在 1912 年由毕业于美国斯坦福大学的青年采矿工程师胡佛(Herbert C. Hoover)翻译成英文。胡佛曾经在中国的开滦矿区任职,后在 1929~1933 年担任美国总统。

从 17 世纪以来,英国皇家协会发表了许多关于矿井内爆炸和有毒有害气体性质的论文。工业革命对煤的需求迅速增长,在 18~19 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。在那个时代,最早的通风炉建在地表,后来很快发现到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,篮子放得越深,通风效果越好。这一发现很快就促使了回风井底炉的构筑。

英格兰采矿工程师布得勒(John Buddle, 1773~1843)在预防瓦斯爆炸方面做了两个重要的改进。一,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)。二,布得勒发明了“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,瓦斯的浓度不断增加),他将采区划分为若干独立的盘区,发现如果每个盘区分别有一个进风道和回风道,通风效果有了显著改善并且瓦斯的浓度大幅度下降。这个偶然发现几乎类似于得出并联风路布置比串联风路优越的原理,在那几十年后,阿金森(John Job Atkinson)的理论分析才从数学上证明了上述原理。

俄罗斯的伟大学者 M. B. 罗莫诺索夫在 1745 年向俄罗斯科学院提交了一篇题为《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。罗莫诺索夫成为俄罗斯矿井通风理论的奠基者。

最为经典的矿井通风论文为北英格兰采矿工程师协会阿金森于 1854 年 12 月发表的《矿井通风原理》,阐明了风量与风压降之间的关系,首次提出通风阻力计算公式,为矿井通风阻力计算奠定了理论基础。

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发展为离心式。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,当时矿井经理资格考核主要集中在通风的题目上。

1929 年波兰学者布德雷克(W. Budryk)应用热力学原理解释了矿内自然风流的流动规律。

20 世纪 20 年代,对于矿井通风的研究在一些国家得到加速发展,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,以便进行矿井通风设计。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,恒斯雷(F. Baden Hinsley)教授发表了另一篇经典的论文,该论文通过应用热动力学分析了风流的性质。恒斯雷于 1952 年在英国诺丁汉大学第一次将模拟计算机应用于矿井通风,以更好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程序的开发完全替代了模拟装置,但是,网络分析程序需要大型的计算机,这种情况一直持续到 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。

原苏联采矿学家、苏联科学院院士 A. A. 斯阔成斯基(1874~1960)在 20 世纪 40 年代创立了矿井空气动力学,提出了煤层孔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》等著作,尤其是他与柯马洛夫合著的《矿内通风学》是这一时期具有代表性的论著,为矿井通风做出了许多开拓性贡献。

1981 年,美国海尔(C. J. Hall)所著的《矿井通风工程》一书是以热力学理论为基础阐述矿内风流运动规律的代表性论著。欧美学者对深矿井通风和复杂通风网路解算分析方法的研究有较多贡献。

1.2.2 中国的矿井通风史

中国的古代采矿历史悠久,采矿成就举世罕见。中国古代古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)。从中国典型古矿遗址中也可以窥见中国古代的矿井通风技术和方法。

位于江西瑞昌的铜岭古铜矿遗址距今有着 3 300 多年的历史。整个遗址约有 3 万 m^2 ,分为采矿区和冶炼区。目前已发现古代竖井 103 口、古巷道 19 条、露采坑 7 处、工棚 5 处、选矿场 1 处。冶炼区揭露面积 1 200 m^2 ,发现炼炉 2 座,储水井 18 口,并出土用木、石、铜、竹、陶等制作的选矿工具与生活用具 600 多件。从该遗址的竖井和平巷结构可以分析得出,当时采矿已经有了完整的自然通风系统。

从位于安徽铜陵市凤凰山下的金牛洞古采矿遗址考古发现,该地区约 3 000 年前就形成了初步系统采矿技术,洞内有古代采铜矿竖井、平硐、斜井、支架、出入口等,并形成自然通风系统。铜陵地区从商周至唐宋一直是中国古代的冶铜中心。

从甘肃白银矿山遗迹遗物考证分析,该地区采矿可以追溯到明朝洪武年间,至今已有 600 多年的历史。20 世纪 50 年代采矿过程中发现了大量前人开凿的坑道和采场,而且规模较大,有记载的古采矿遗迹 30 多处,包括大小老硐、旧矿堆和淘金用的水井及炼渣。最大的古代采矿遗址主巷道都在 100 m 以上,坑道延长上千米,并形成了有效的自然通风系统。

与灿烂的中华文明史相比,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,直到宋代才有了比较详细的文字记载。孔平仲在《读苑》中讲到在铜矿开采过程中防止有害气体的办法。书中记载:“役夫云:地中变怪至多,有冷烟气中人即死。役夫掘地而入,必以长竹筒端置火先试之,如火焰青,即冷烟气也,急避之,勿前,乃免。”这里说的冷烟气即是有毒有害气体。1637 年宋应星撰著的《天工开物》是对中国古代农业和工业生产技术系

统而全面的总结,在科学史中首开先例,足可与阿格里科拉撰写的《De Re Metallica》(《矿冶全书》)相媲美。1869年,《天工开物》有关工业各章的法文摘译,又被集中收入“中华帝国工业之今昔”刊于巴黎。宋应星《天工开物》的“燔石章”所论及的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,都值得称道。

近代和现代涌现了吴仰曾、胡博渊、简根贤、张富民、戴国权、杨力生、黄元平、戚颖敏等一大批矿冶专家和矿井通风领域的专家学者。《矿业空气压力》、《矿井通风网路计算原理及其应用》、《确定矿井轴流式扇风机工作制度的方程法》、《矿井通风》、《矿井火灾灾变通风理论及其应用》等为这个时期的代表性专著。其中,戴国权在我国较早进行了矿井通风网络解算研究;黄元平提出将矿井通风网络划分为串联、并联和角联3个网络的新概念及其计算理论和方法,并提出压入式主要通风机进风系统的设计理论和计算方法,为中国矿井通风学科和安全技术工程学科的发展、建设做出了杰出贡献;戚颖敏在矿井火灾时期风流流动规律的研究方面有很高的造诣,他在我国首次提出了“均压防灭火”以及火灾时期的“火风压”理论,成功将通风技术用于煤矿防灭火实践,取得了很好的安全效益和经济效益。

吴中立致力于矿井通风技术的测定和鉴定,著有《矿井通风技术测定及其应用》,对提高矿井通风管理水平有较好的工程应用价值。赵以蕙在其编著的《矿井通风与空气调节》一书中提出了矿井通风阻力测定的“平差处理”概念,对提高通风阻力测定精度有较好的指导意义。

近二十多年来,国内矿井通风专家和学者主要在矿井通风系统优化、矿井通风网络解算计算机软件开发、矿井火灾或爆炸时期通风系统动态模拟、新型高效节能通风机的研制、井下通风设施自动控制技术、矿井通风参数检测技术和装备研制、矿井通风系统信息化管理方面取得了长足的进展。

1.2.3 矿井通风的难题与发展趋势

矿井通风领域基于流体力学和空气动力学已形成较为成熟和完善的理论。但由于矿山开采的特殊气候环境和井下瓦斯、粉尘、火灾对通风系统的非线性影响,对此的定量研究仍然是矿井通风领域的难题。据此,在理论上需要进一步研究的课题包括:①复杂串联通风、复杂角联通风系统中瓦斯、粉尘浓度的变化规律;②采空区风流流动规律;③复杂矿井通风系统中排放瓦斯过程中瓦斯浓度的变化规律;④井下风流与井巷的热湿交换规律和对井下气候条件的影响规律;⑤瓦斯突出对通风系统稳定性的影响规律;⑥流动防爆柴油机车对井下有害气体浓度的影响规律等。

在矿井通风技术和管理方面,目前的一些通风技术和管理要求也有不够科学合理的地方。尚有通风系统快速自动调整技术、高效低噪通风机设计制造技术、通风构筑物快速施工技术、主要通风机快速鉴定技术、矿井通风能力核定管理、串联通风分级管理、矿井通风系统分级管理、便捷高效的矿井通风信息化管理系统开发与应用等课题应进一步予以研究。

1.3 矿井通风的重要性

如果把矿井看成一个大生产大系统,那么矿井通风系统就是这个大系统中的心脏,煤矿安全生产工作常说的“一通三防”也把矿井通风作为矿井瓦斯防治、矿井粉尘防治、矿井火

灾防治的基础。国家安全生产监督管理总局提出的瓦斯治理“通风可靠、抽采达标、监控有效、管理到位”的十六字方针也突出了矿井通风在瓦斯防治中的重要地位。从安全角度看,通风系统不完善不仅可能带来瓦斯、粉尘、火灾事故,也会削弱矿井在火灾、爆炸事故发生后的抗灾能力;从健康角度看,通风系统不完善将无法达到调节井下气候条件的要求,造成井下风流的风量不足,井下空气质量达不到健康标准。

从法律法规层面看,《中华人民共和国矿山安全法》将“矿井的通风系统和供风量、风质、风速”作为矿山建设工程的设计和验收中七个必须涉及的内容之一;《国务院关于预防煤矿生产安全事故的特别规定》将“通风系统不完善、不可靠的”作为煤矿十五条重大隐患之一。由此可以看出矿井通风系统的法律地位。

总之,一个完善的矿井通风系统是矿井安全生产的重要保障和基础条件。

复习思考题

- 1-1 矿井通风的主要任务有哪些?
- 1-2 矿井通风系统在矿山生产系统中有何重要地位?

第2章 矿山井下空气

2.1 矿井空气的主要成分及安全标准

地面新鲜空气进入井下后,其组分和状态将会发生哪些变化?井下空气是否可以满足作业人员正常呼吸的要求?这是矿井通风初学者非常关心的问题。其实,对于井下空气质量,我国从法律法规和矿山行业标准都有专门规定予以保障。因此,从人员呼吸角度看,人们可以放心在井下从事生产活动。

2.1.1 矿井空气的主要成分及性质

地面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,是由氧、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,其主要成分如表 2-1 所列。

表 2-1 干空气的组成成分表

气体成分	按体积计/%	按质量计/%	备注
氧气(O ₂)	20.96	23.32	稀有气体氦、氖、氩、氪、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,但其含量的变化会引起湿空气的物理性质和状态变化。

地面空气从进风井筒进入井下就成了矿井空气,其成分和物理状态将发生一系列变化,包括:氧气含量减少,有毒有害气体含量增加,粉尘浓度增大,空气的温度、湿度、压力等物理状态发生变化等。

习惯上将井下空气分为新风和污风。新风也称进风,是指在矿井通风系统中的进风井筒、进风大巷、采(盘、带)区集中进风巷内流动的空气,这些空气主要在没有或极少有瓦斯涌出或爆破烟雾产生和生产性粉尘产生的井巷内流动,因此其成分与地面空气相比几乎没有发生变化;污风也称乏风、回风,是指经过井下生产地点后,加入了瓦斯、二氧化碳、一氧化碳等有毒有害气体以及粉尘后,在矿井通风系统中的工作面回风巷、采区集中回风巷、矿井回风大巷内流动的那些空气。

尽管井下空气中混入了粉尘和有毒有害气体,但其成分主要还是以氮气、氧气和二氧化碳为主。

(1) 氧气(O₂)

氧气是一种无色、无味、无臭的气体,对空气的相对密度为 1.105。氧气很活跃,易使多

种元素氧化,能助燃。

氧气是维持人体正常生理机能所不可缺少的气体。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,人在休息时的需氧量为 $0.2 \sim 0.4 \text{ L/min}$,在工作时大体为 $1 \sim 3 \text{ L/min}$ 。人在不同劳动强度下的耗氧量如表 2-2 所列。

表 2-2 人体输氧量与劳动强度的关系

劳动强度	呼吸空气量/(L/min)	氧气消耗量/(L/min)
休息	6~15	0.2~0.4
轻劳动	20~25	0.6~1.0
中度劳动	30~40	1.2~2.6
重劳动	40~60	1.8~2.4
极重劳动	40~80	2.5~3.1

《煤矿安全规程》(以下简称《规程》)规定,井下“每人每分钟供给风量不得少于 4 m^3 ”。如井下空气中的氧气浓度按 20% 计算,则供氧量为 $4 \text{ m}^3/\text{min} \times 20\% = 0.8 \text{ m}^3/\text{min} = 8 \text{ L/min}$,完全可以满足人体的需氧量。

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,出现各种不舒适的症状,严重时可能导致缺氧死亡。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;煤岩和生产过程中产生其他有害气体混入井下空气等。

在正常通风的井巷和工作面中,氧气浓度与地面相比一般变化不大,不会对人体造成太大影响。但在井下盲巷、通风不良的巷道中或发生火灾、爆炸事故后,应特别注意对氧气浓度的检查,以防发生人员窒息事故。人体缺氧症状与空气中氧气浓度的关系如表 2-3 所列。

表 2-3 人体缺氧症状与空气中氧气浓度的关系

氧气浓度(体积)/%	人体主要症状
17	静止状态无影响,工作时会感到喘息、呼吸困难和强烈心跳
15	呼吸及心跳急促,无力进行劳动
10~12	失去知觉,时间稍长危及生命
6~9	短时间内失去知觉,昏迷,呼吸停止,有生命危险

(2) 氮气(N_2)

氮气是无色、无味、无臭的惰性气体,对空气的相对密度为 0.97,微溶于水,不助燃,无毒,不能供人呼吸。

氮气在正常情况下对人体无害,但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。此外,我国个别煤矿煤层的顶底板中含有富氮的沥青岩,也会在风流中出现高氮缺氧的情况。

矿井中的氮气主要来源于井下爆破、有机物的腐烂、煤岩中天然生成的氮气涌出、凝胶防灭火施工、注氮防灭火作业等。

(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,不助燃也不能供人呼吸,略带毒性,易溶于水。

二氧化碳对人体的呼吸有刺激作用,所以在为中毒或窒息的人员输氧时,常常要在氧气中加入 5% 的二氧化碳,以促使患者加强呼吸。当空气中的二氧化碳浓度过高时,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。空气中二氧化碳浓度对人体的影响如表 2-4 所列。

表 2-4 空气中二氧化碳浓度对人体的影响

二氧化碳浓度(体积)/%	人体主要症状
1	呼吸加深,急促
3	呼吸急促,心跳加快,头痛,很快疲劳
5	呼吸困难,头痛,恶心,耳鸣
10	头痛,头昏,呼吸困难,昏迷
10~20	呼吸停顿,失去知觉,时间稍长会死亡
20~25	短时间中毒死亡

二氧化碳比空气重,常常积聚在煤矿井下的巷道底板、水仓、溜煤眼、下山尽头、盲巷、采空区及通风不良处。所以在井下检测二氧化碳浓度时,应将检测仪器放在巷道底部位置。

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、瓦斯爆炸、煤尘爆炸等。有时煤岩中也会大量涌出二氧化碳,甚至与煤或岩石一起突然喷出,给安全生产造成重大影响。

二氧化碳窒息同缺氧窒息一样,都是造成矿井人员伤亡的重要原因之一。

2.1.2 矿井空气中的主要有毒有害气体及性质

井下空气中常见的有毒有害气体有 CH₄、CO、NO₂、SO₂、H₂S、NH₃、H₂ 等。

(1) 甲烷(CH₄)

甲烷是最简单的有机物,是天然气、沼气、坑气、油田气、煤层气的主要成分,俗称沼气、瓦斯。它是含碳量最小(含氢量最大)的烃,可用来作为燃料及制造氢气、炭黑、一氧化碳、乙炔、氢氰酸及甲醛等物质的原料。甲烷无色、无味、无臭,对人基本无毒,但浓度过高时,使空气中氧含量明显降低,使人窒息。当空气中甲烷浓度达 25%~30% 时,可引起头痛、头晕、乏力、注意力不集中、呼吸和心跳加速、共济失调;当空气中甲烷浓度达 57% 时,氧浓度将降低至 10% 以下,若不及时远离甲烷富集地点,可导致窒息死亡。

甲烷在一定条件下能发生燃烧或爆炸,将严重影响矿井安全生产。

甲烷也是一种温室气体。以单位分子数而言,甲烷的温室效应要比二氧化碳大 25 倍。这是因为大气中已经具有相当多的二氧化碳,以至于许多波段的辐射早已被吸收殆尽,因此大部分新增的二氧化碳只能在原有吸收波段的边缘发挥其吸收效应。相反地,一些数量较少的温室气体(包括甲烷在内),所吸收的是那些尚未被有效拦截的波段,所以每多一个分子都会提供新的吸收能力。不能否认的事实是,由于过去 200 多年世界采矿业的发展,从井下

排出的空气中的甲烷量逐渐增多,使得大气中的甲烷量也增加较多。

甲烷的相对空气的密度为 0.555,因此,在矿山井下检测甲烷浓度时,应将检测仪器放置在巷道底板附近。

例题:某矿采用中央式通风系统,测得某一年风硐内风流中的瓦斯浓度平均为 0.25%,风量为 $6\,000\text{ m}^3/\text{min}$,该矿年生产时间为 330 d。试问该矿一年内向大气中排放多少体积的瓦斯?

解:该矿一年内向大气中排放的瓦斯量为 $0.25\% \times 6\,000 \times 330 \times 1\,440 = 712.8\text{ 万 m}^3$ 。

(2) 一氧化碳(CO)

一氧化碳是煤矿井下仅次于甲烷、二氧化碳的常见性有毒有害气体。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,能燃烧,当体积浓度达到 13%~75%时遇火源有爆炸性危险。

一氧化碳有剧毒。人体血液中的血红素与一氧化碳的亲合力比它与氧气的亲合力大 250~300 倍。一氧化碳的中毒程度与中毒浓度、中毒时间、呼吸频率和深度及人的体质有关。一氧化碳的中毒程度与浓度的关系如表 2-5 所列。中毒时间与人体症状的详细关系如图 2-1 所示。

表 2-5 一氧化碳的中毒程度与浓度的关系

一氧化碳浓度(体积)/%	主要症状
0.016	数小时后有头痛、心跳、耳鸣等轻微中毒症状
0.048	1 h 可引起轻微中毒症状
0.128	0.5~1 h 引起意识迟钝、丧失行动能力等严重中毒症状
0.40	短时间失去知觉、抽筋、假死,30 min 内即可死亡

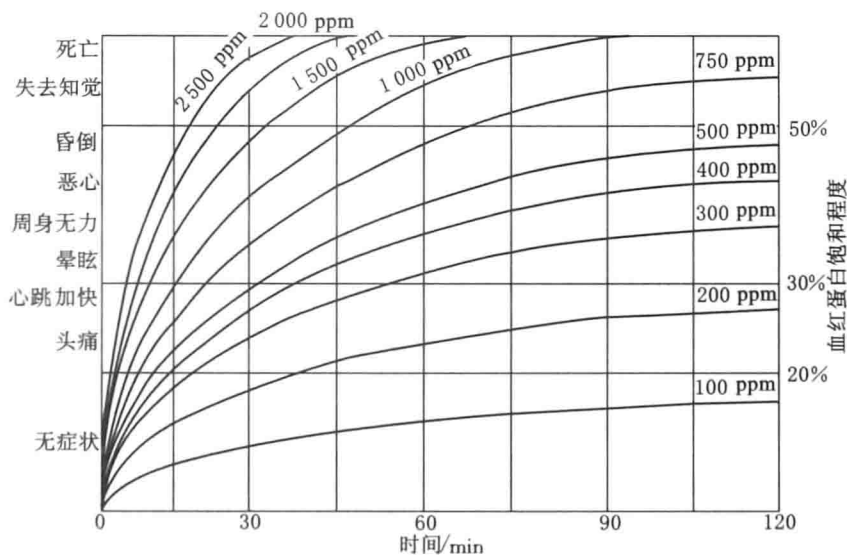


图 2-1 中毒时间与人体症状的关系(1 ppm=0.000 1%)

一氧化碳中毒除上述症状外,最显著的特征是中毒者黏膜和皮肤呈樱桃红色。

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,在煤矿发生的瓦斯爆炸、煤尘爆炸及火灾事故中,70%~75%的死亡人员都是因一氧化碳中毒所致,而不是直接烧死。

(3) 硫化氢(H_2S)

硫化氢是无色、微甜、略带臭鸡蛋味的气体,与空气的相对密度为 1.19,易溶于水,当浓度达 4.3%~46%时具有爆炸性。

硫化氢有剧毒,因此,在下水道、废弃的电力井内作业都曾发生作业人员“闪电样”死亡。它能使人体血液缺氧中毒,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%),因中毒嗅觉神经麻痹,臭味“减弱”或“消失”,反而嗅不到。在含有硫化氢气体的作业现场检测硫化氢浓度时,应将仪器放置在巷道底板附近。硫化氢的中毒程度与浓度的关系如表 2-6 所列。

表 2-6 硫化氢的中毒程度与浓度的关系

硫化氢浓度(体积)/%	主要症状
0.000 1	有强烈臭鸡蛋味
0.01	流唾液和清鼻涕、瞳孔放大、呼吸困难
0.05	0.5~1 h 严重中毒,失去知觉、抽筋、瞳孔变大,甚至死亡
0.1	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、含硫矿物的水化、老空区和旧巷积水的排放。有些矿区的煤层中也有硫化氢涌出。

(4) 二氧化硫(SO_2)

二氧化硫是无色、有强烈硫黄气味及酸味的气体,当空气中二氧化硫浓度达到 0.000 5%时即可嗅到刺激气味。它易溶于水,与空气的相对密度为 2.32,是井下密度最大的有害气体,常常积聚在巷道的底部。

二氧化硫有剧毒。空气中的二氧化硫遇水后生成硫酸,对眼睛有刺激作用,人们将其称之为“瞎眼气体”。此外,二氧化硫也能对呼吸道黏膜产生强烈的刺激作用,引起喉炎和肺水肿。二氧化硫的中毒程度与浓度的关系如表 2-7 所列。

表 2-7 二氧化硫的中毒程度与浓度的关系

二氧化硫浓度(体积)/%	主要症状
0.000 5	嗅到刺激性气味
0.002	头痛、眼睛红肿、流泪、喉痛
0.05	引起急性支气管炎和肺水肿,短时间内有生命危险

矿井中二氧化硫的主要来源有:含硫矿物的氧化与燃烧、在含硫矿物中爆破和从含硫煤体中涌出的气体。

(5) 二氧化氮(NO_2)

二氧化氮是一种红褐色气体,有强烈的刺激性气味,与空气的相对密度为 1.59,易溶于水。

二氧化氮是井下毒性最强的有害气体。它遇水后生成硝酸,对眼睛、呼吸道黏膜和肺部组织有强烈的刺激及腐蚀作用,严重时可引起肺水肿。

二氧化氮的中毒有潜伏期,容易被人忽视。中毒初期仅是眼睛和喉咙有轻微的刺激症状,常不被注意,有的在严重中毒时尚无明显感觉,还可坚持工作,但经过 6 h 甚至更长时间后才出现中毒征兆。其主要特征是手指尖及皮肤出现黄色斑点,头发发黄,吐黄色痰液,发生肺水肿,引起呕吐甚至死亡。二氧化氮的中毒程度与浓度的关系如表 2-8 所列。

表 2-8 二氧化氮的中毒程度与浓度的关系

二氧化氮浓度(体积)/%	主要症状
0.004	2~4 h 内不致显著中毒,6 h 后出现中毒症状,咳嗽
0.006	短时间内喉咙感到刺激、咳嗽,胸痛
0.01	强烈刺激呼吸器官,严重咳嗽,呕吐、腹泻,神经麻木
0.025	短时间即可致死

矿井中二氧化氮的主要来源是爆破工作。炸药爆破时会产生一系列氮氧化物,如一氧化氮(遇空气即转化为二氧化氮)、二氧化氮等,是炮烟的主要成分。因此在爆破工作中,一定要加强通风,防止炮烟熏人事故。

(6) 氨气(NH_3)

氨气是一种无色、有浓烈臭味的气体,相对空气的密度为 0.6,易溶于水。当空气中的氨气浓度达到 30% 时遇火有爆炸性。

氨气有剧毒。它对皮肤和呼吸道黏膜有刺激作用,可引起喉头水肿,严重时失去知觉,以致死亡。

氨气主要是在矿井发生火灾或爆炸事故时产生。

(7) 氢气(H_2)

氢气无色、无味、无毒,相对空气的密度为 0.07,是井下最轻的有害气体。空气中氢气浓度达到 4%~74% 时具有爆炸危险。

井下氢气的主要来源是蓄电池充电,有些中等变质的煤层中也有氢气涌出。此外,矿井发生火灾和爆炸事故中也会产生氢气。

(8) 矿用防爆柴油机车排出的尾气

目前许多采深不大的大型矿井都采用矿用防爆柴油机车作为矿井的辅助运输,矿用防爆柴油机车尾气中的有害成分主要有 CO 、 HC 、 NO_x 、 CO_2 、 SO_2 等。为了有效稀释井巷中的汽车尾气,《煤矿通风能力核定标准》(AQ 1056—2008)规定,按照井下运行的矿用防爆柴油机车的台数和功率确定稀释尾气需要的风量,要求每千瓦应供给的风量不得小于 $5.44 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

2.1.3 矿井空气中成分的安全标准

《中华人民共和国矿山安全法》规定:矿山企业必须对作业场所中的有毒有害物质和井下空气含氧量进行检测,保证符合安全要求。

《中华人民共和国矿山安全法实施条例》对改善矿井空气成分做了如下规定:

(1) 开采放射性矿物的矿井,矿井进风量和风质能满足降氡的需要,避免串联通风和污