

全国煤炭高等职业教育采矿工程类规划教材

# 矿井 通风

主 编 王永安 李永怀  
副主编 李开学 胡创义

煤炭工业出版社

全国煤炭高等职业教育采矿工程类规划教材

# 矿 井 通 风

主 编 王永安 李永怀

副主编 李开学 胡创义

江苏工业学院图书馆  
藏书章

煤 炭 工 业 出 版 社

· 北 京 ·

## 内 容 提 要

本书是全国煤炭高等职业教育采矿工程类规划教材之一,与《煤矿开采方法》、《煤矿安全》等教材配套使用。

全书共分 10 章,系统介绍了矿井空气、风流的能量与能量方程、矿井通风阻力、矿井通风动力、通风网络中风量的分配、矿井风量调节、矿井通风系统、掘进通风、矿井通风设计、矿井通风实验指导书等内容。每章之后附有复习题和习题。附录给出了井巷通风阻力系数、通风机特性曲线、通风阻力测定和通风机性能试验表格。

本书是煤炭高等职业技术学院、高等专科院校煤矿开采技术专业、矿井通风与安全专业和其他采矿工程类相关专业的通用教材,也可作为中等专业学校、成人教育学院和技工学校的教学用书,同时可供煤矿科研、设计、管理及工程技术人员参考使用。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

矿井通风 / 王永安, 李永怀主编. —北京: 煤炭工业出版社, 2004 (2010.7 重印)

全国煤炭高等职业教育采矿工程类规划教材

ISBN 978 - 7 - 5020 - 2596 - 0

I. 矿… II. ①王…②李… III. 矿山通风 - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. TD72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 131601 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](http://www.cciph.com.cn)  
北京京科印刷有限公司 印刷  
新华书店北京发行所 发行

\*  
开本 787mm × 1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 14<sup>1</sup>/<sub>4</sub>  
字数 346 千字 印数 6,101—8,100  
2005 年 1 月第 1 版 2010 年 7 月第 2 次印刷  
社内编号 5367 定价 25.00 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

# 全国煤炭高等职业教育采矿工程类规划教材

## 编 审 委 员 会

主 任：曹允伟

副主任：郭奉贤 李永怀 吴再生

秘书长：王晓鸣

委 员(按姓氏笔画排列)：

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 王文光 | 王正荣 | 王以功 | 王永安 |
| 王春城 | 付春生 | 冯耀挺 | 吕梦蛟 |
| 李天和 | 刘禄生 | 吕智海 | 闫光准 |
| 刘殿武 | 汪佑武 | 张乃新 | 张荣国 |
| 张登明 | 张德琦 | 陈 雄 | 桂和荣 |
| 涂国志 | 杨春华 | 胡贵祥 | 胡喜平 |
| 耿献文 | 郝临山 | 龚琴生 | 董 礼 |
| 简军峰 | 靳建伟 | 熊崇山 | 魏胜利 |

## 前 言

本书是全国煤炭高等职业教育采矿工程类规划教材之一,与《煤矿开采方法》、《煤矿安全》等教材配套使用。

根据2003年10月在北京召开的全国煤炭高等职业教育教材工作会议的精神,我们承担了《矿井通风》教材的编写任务。在编写过程中,本着培养高等技术应用性人才的要求,力求使教材符合高等职业技术教育的特点,同时兼顾中等职业技术教育和煤炭企业安全培训的需要,在内容上力求体现新理论、新技术、新方法、新设备,保证先进性、科学性和系统性。本书以传授基本理论和基本知识为主,充实了矿井通风实用技术,如通风技术测定、通风设施的施工等实践性教学内容,专门设有实验指导书,增强了教材的实用性和灵活性。

本书由王永安、李永怀任主编,李开学、胡创义任副主编。具体编写分工如下:

绪论、第一章、第二章 王永安(山西煤炭职业技术学院)

第三章、第十章 胡创义(山西工业职业技术学院)

第四章 张红兵(河南理工大学高等职业学院)

第五章 苏寿(安徽能源技术学校)

第六章、第九章 李永怀(陕西能源职业技术学院)

第七章 李开学(重庆工程职业技术学院)

第八章 焦健(甘肃煤炭工业学校)

王永安、李永怀对全书进行了统稿。在此我们谨向对本书出版给予大力支持的各参编院校表示衷心的感谢。特别要感谢中国矿业大学赵以蕙教授对本书的认真审阅,在此基础上,我们对书稿进行了反复修改,使之逐步完善。

由于编者水平有限,加上时间仓促,书中若有错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2004年12月

## 目 录

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| 绪论 .....                 | ( 1 )   |
| 第一章 矿井空气 .....           | ( 3 )   |
| 第一节 矿井空气成分 .....         | ( 3 )   |
| 第二节 矿井空气中的有害气体及其检测 ..... | ( 6 )   |
| 第三节 矿井气候条件及改善 .....      | ( 11 )  |
| 第四节 井巷中风速与风量的测定 .....    | ( 18 )  |
| 第二章 风流的能量与能量方程 .....     | ( 24 )  |
| 第一节 空气的主要物理参数 .....      | ( 24 )  |
| 第二节 风流的能量与压力 .....       | ( 26 )  |
| 第三节 空气压力测量及压力关系 .....    | ( 29 )  |
| 第四节 矿井通风中的能量方程及其应用 ..... | ( 36 )  |
| 第三章 矿井通风阻力 .....         | ( 45 )  |
| 第一节 摩擦阻力 .....           | ( 45 )  |
| 第二节 局部阻力 .....           | ( 50 )  |
| 第三节 矿井总风阻与矿井等积孔 .....    | ( 53 )  |
| 第四节 降低矿井通风阻力的措施 .....    | ( 57 )  |
| 第五节 矿井通风阻力测定 .....       | ( 59 )  |
| 第四章 矿井通风动力 .....         | ( 70 )  |
| 第一节 自然风压 .....           | ( 70 )  |
| 第二节 矿井主要通风机及其附属装置 .....  | ( 73 )  |
| 第三节 通风机风压及实际特性 .....     | ( 81 )  |
| 第四节 通风机联合运转分析 .....      | ( 88 )  |
| 第五节 矿井主要通风机性能测定 .....    | ( 90 )  |
| 第五章 通风网络中风量的分配 .....     | ( 99 )  |
| 第一节 通风网络及矿井通风网络图 .....   | ( 99 )  |
| 第二节 简单通风网络及其性质 .....     | ( 102 ) |
| 第三节 风量分配及复杂通风网络解算 .....  | ( 107 ) |
| 第六章 矿井风量调节 .....         | ( 118 ) |
| 第一节 局部风量调节 .....         | ( 118 ) |
| 第二节 矿井总风量调节 .....        | ( 124 ) |
| 第七章 矿井通风系统 .....         | ( 127 ) |
| 第一节 矿井通风方法与通风方式 .....    | ( 127 ) |

|                                                               |       |
|---------------------------------------------------------------|-------|
| 第二节 采区通风系统 .....                                              | (131) |
| 第三节 通风设施 .....                                                | (138) |
| 第四节 矿井漏风及其预防 .....                                            | (146) |
| 第五节 矿井通风系统图 .....                                             | (148) |
| <b>第八章 掘进通风</b> .....                                         | (151) |
| 第一节 掘进通风方法 .....                                              | (151) |
| 第二节 局部通风设备 .....                                              | (155) |
| 第三节 掘进工作面风量计算 .....                                           | (160) |
| 第四节 掘进通风系统设计 .....                                            | (161) |
| 第五节 掘进通风管理 .....                                              | (163) |
| <b>第九章 矿井通风设计</b> .....                                       | (169) |
| 第一节 拟定矿井通风系统 .....                                            | (170) |
| 第二节 计算和分配矿井总风量 .....                                          | (171) |
| 第三节 计算矿井通风总阻力 .....                                           | (175) |
| 第四节 选择矿井通风设备 .....                                            | (176) |
| 第五节 概算矿井通风费用 .....                                            | (178) |
| 第六节 生产矿井通风设计 .....                                            | (179) |
| <b>第十章 矿井通风实验指导书</b> .....                                    | (184) |
| 实验一 矿井空气中主要有害气体浓度的测定 .....                                    | (184) |
| 实验二 矿井大气主要参数测定 .....                                          | (186) |
| 实验三 通风管道中风流点压力和风速的测定 .....                                    | (189) |
| 实验四 通风管道中摩擦阻力与摩擦阻力系数的测定 .....                                 | (193) |
| <b>附录</b> .....                                               | (195) |
| 附录一 井巷摩擦阻力系数 $\alpha$ 值表( $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$ ) ..... | (195) |
| 附录二 井巷局部阻力系数 $\xi$ 值表 .....                                   | (199) |
| 附录三 通风阻力测量记录与计算表 .....                                        | (200) |
| 附录四 离心式通风机性能曲线 .....                                          | (202) |
| 附录五 轴流式通风机特性曲线 .....                                          | (204) |
| 附录六 BD 系列风机特性曲线 .....                                         | (211) |
| 附录七 通风机性能试验数据记录表和计算表 .....                                    | (215) |
| <b>参考文献</b> .....                                             | (219) |

## 绪 论

我国煤矿开采大多是井工开采,需要从地面向地下开掘一系列井巷到达煤层,从中布置工作面进行生产。与地面作业相比,井下作业空间狭小,光线不足,工作地点经常处于变动之中,存在着许多特殊的自然灾害和对人体不利的气候环境。特别是瓦斯、炮烟和粉尘等有害物质严重影响着矿工的身体健康和生命安全,威胁着煤矿的安全生产。有的矿井还伴有高温、高湿等危害,恶化了工作环境。矿井通风是创造矿井正常生产环境 and 安全条件的基础,也是从技术角度解决这些问题的重要手段。

矿井通风的主要任务是:向井下连续输送新鲜空气,供给人员呼吸;稀释并排除井下的有毒有害气体和矿尘;创造良好的井下气候条件。合理的矿井通风不仅是预防瓦斯、粉尘、火灾等事故和治理高温热害、创造舒适气候环境的基本措施,也是控制、缩小、消灭灾害的重要手段。

我国是以煤炭为主要能源的发展中大国,目前煤炭在一次能源生产和消费构成中所占的比例达到 70%。随着国民经济的快速发展和对能源需求的增加,煤炭产量还有不断增加的趋势。多年来,尽管我国的煤炭产量不断提高,煤矿的技术结构、组织结构、产品结构得到了进一步优化,但并未实现对煤矿灾害事故的有效控制和安全状况的根本好转,重特大事故时有发生,煤矿安全形势依然严峻,这就对矿井通风工作提出了新的更高要求,以不断适应生产对安全工作的需要。

我国煤矿安全生产的指导方针是安全第一,预防为主。这是在总结我国煤炭生产建设多年经验和教训的基础上确定的,也是由煤矿生产的自然规律及其特殊条件决定的。我国是社会主义国家,劳动人民是国家的主人,既是物质财富的创造者,又是生产建设的组织者和管理者,国家利益与人民利益是一致的。同时,安全生产方针还体现了人是最宝贵的思想。在煤矿生产建设中,必须把职工的生命和健康作为第一位工作来抓,作为一切工作的指导思想和行动准则。只有正确地理解和把握安全生产方针,才能把矿井通风工作摆在重要的位置上,才能为安全生产起到保驾护航的作用。

中华人民共和国成立以来,党和政府十分重视煤矿通风安全工作,颁布了一系列安全生产法规和劳动保护法令,成立了专门监察机构。曾先后 9 次修订颁布了《煤矿安全规程》,特别是《中华人民共和国安全生产法》、《中华人民共和国煤炭法》、《中华人民共和国矿山安全法》等法律法规的颁布实施,使我国的煤矿安全生产全面走向了法制化轨道。为了适应行业发展和体制改革的新要求,国家成立了煤矿安全监察机构,颁布了《煤矿安全监察条例》,实行煤矿安全监察制度。此外,我国在矿井通风技术方面也有了长足的发展。各类煤矿普遍实现了机械通风,通风系统布置大多实现了分区通风,在安全检测和质量管理方面基本实现了矿井通风质量标准化。20 世纪 70 年代以来,随着电子技术和计算机技术的发展和应用,推动了矿井通风设计、通风系统优化和监测工作,编制出了多种通风网络解算、主要通

风机选型优化等应用软件,开发了一些新型的、功能齐全的和智能化通风仪表,环境监测系统已经得到广泛应用,一些新型、高效、大功率通风机正在替代陈旧产品,矿井通风设备和设施的安全性、可靠性都在不断加强。

今后一段时期,矿井通风的发展趋势表现在以下几方面:一是在进一步深入研究井下风流稳态流动的同时,注重非稳定流动理论及采空区渗流理论等方面的研究,为矿井防灭火、防瓦斯和控制灾变时期的风流提供理论依据;二是新型自动化通风参数测试仪表的研制和计算机管理技术将进一步得到推广应用;三是通风设备将向大型化、高效率 and 自动控制的方向发展;四是深、热矿井的通风理论和改善其环境条件的技术措施的研究将更加深入。这些通风理论的突破及新技术、新工艺、新设备的应用,必将彻底改善煤矿井下环境,使矿井通风更加安全可靠,更有效地保证矿井安全生产。

矿井通风是矿山安全工程学科中的一个基本分支,矿井通风课程是煤矿开采技术专业和矿井通风与安全专业的主要专业课程之一,根据专业要求和人才培养目标,本课程的基本内容是:矿井空气及有害气体的成分、性质、安全标准和检测方法;风流的能量、压力及相互关系、能量方程及其应用;矿井通风阻力的类型、变化规律及测定;矿井通风动力的类型、基本规律、测定方法;通风网络中风量的分配原则和风量调节方法;矿井通风系统的类型和要求;掘进通风的方法和安全技术管理;矿井通风设计的内容和程序等。

根据本课程的性质和内容,与《矿井通风》密切相关的课程是《煤矿安全》,它们是相辅相成、有机相联的。此外,必须重视和学好《矿山流体机械》、《井巷工程》、《煤矿开采方法》等相关课程,它们是学好本课程的基础。

# 第一章 矿井空气

矿井通风的主要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安全生产。所以,矿井空气的质量和数量是反映矿井通风效果的主要指标。本章重点阐述矿井空气的主要成分,井下常见的有害气体,空气成分和有害气体的安全标准及测定方法,矿井的气候条件,风速、风量测定等主要内容,为进一步学习矿井通风理论奠定基础。

## 第一节 矿井空气成分

地面空气又称为大气,是由多种气体组成的混合气体。大气中除了水蒸气的比例随地区和季节变化较大以外,其他化学组成成分尽管随时间、地点和海拔高度有所变化,但相对稳定,变化不大。一般将不含水蒸气的空气称为干空气,它的组成成分和体积百分比分别为氧气(20.96%)、氮气(79%)和二氧化碳(0.04%)。

地面空气从井筒进入井下就成了矿井空气。由于受井下各种自然因素和人为生产因素的影响,与地面空气相比,矿井空气将发生一系列变化。主要有: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、压力等物理状态变化等。

在矿井通风中,习惯上把进入采掘工作面等用风地点之前,空气成分或状态变化不大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、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、矿井空气的主要成分及其基本性质

#### (一) 氧气( $O_2$ )

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。氧气是很活跃的的化学元素,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。人类之所以能够在地球上生存,是因为人体内不断汲取食物和吸入氧气,通过氧化作用,进行细胞的新陈代谢作用而维持的。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  $0.2\text{ L/min} \sim 0.4\text{ L/min}$ ;在工作时的需氧量为  $1\text{ L/min} \sim 3\text{ L/min}$ 。

空气中的氧气浓度直接影响着人体健康和生命安全,当氧气浓度降低时,人体就会产生不良反应,严重者可缺氧窒息甚至死亡。人体缺氧症状与空气中氧气浓度的关系见

表 1-1。

表 1-1 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,昏迷,有生命危险              |
| 6~9        | 短时间内失去知觉,呼吸停止,可能导致死亡       |

地面空气进入井下后,氧气浓度要有所降低。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;煤岩和生产中产生其他有害气体等。

在正常通风的井巷和采掘工作面中,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,以防发生窒息事故。

## (二) 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。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。

矿井中的氮气主要来源于:井下爆破;有机物的腐烂;天然生成的氮气从煤岩中涌出等。

## (三) 二氧化碳( $CO_2$ )

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。

新鲜空气中含有的微量二氧化碳对人是无害的,但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,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。空气中二氧化碳浓度对人体的危害程度如表 1-2 所示。

表 1-2 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。

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。有时也能从煤岩中大量涌出,甚至与煤或岩石一起突然喷出,给安全生产造成重大影响。如我国某矿曾在 1975 年 6 月发生过一起二氧化碳和岩石突出事故,突出二氧化碳  $11\,000\text{ m}^3$ 。

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。

## 二、矿井空气主要成分的质量(浓度)标准

矿井空气的主要成分中,由于氧气和二氧化碳对人员身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。主要内容如下:

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超过 1.5% 时,采掘工作面风流中二氧化碳浓度达到 1.5% 时,都必须停止工作,撤出人员,采取措施,进行处理。

此外,《规程》对临时停工地点、停风区内的二氧化碳浓度及相应措施,也都有明确的要求。

## 三、矿井空气主要成分的检测方法

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容器提取井下空气式样,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

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(图 1-1)、JJY-1 型(可测  $\text{O}_2$ 、 $\text{CH}_4$  两种气体)等。其中

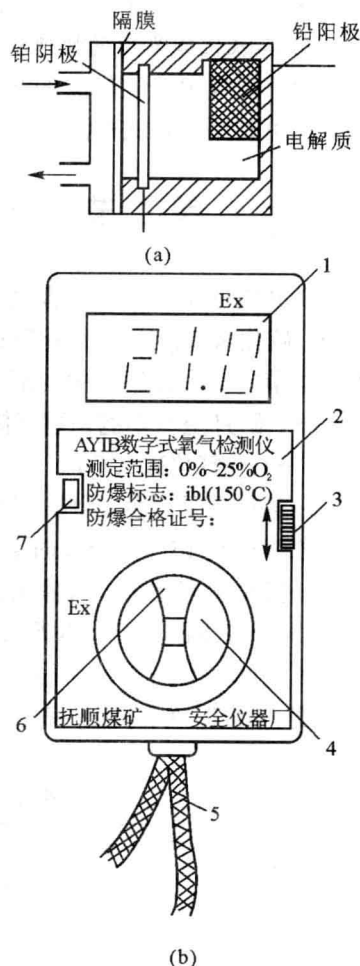


图 1-1 AY-1B 型氧气检测仪

a—隔膜式伽伐尼电池结构示意图;  
b—AY-1B 型氧气检测仪的外部结构图

- 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

AY-1B型是普遍使用的氧气检测仪,用来检测采掘工作面、回风巷、采空区、瓦斯抽放管路及瓦斯、煤尘爆炸或火灾等事故灾区中的氧气浓度。仪器为本质安全型,具有功率小、结构简单、测量线性好等特点。

AY-1B型氧气检测仪采用的是电化学“隔膜式伽伐尼电池”原理。氧气传感元件(隔膜式伽伐尼电池)分别由铂、铅两种不同金属做阴极和阳极,碱性溶液做电解液,通过聚四氟乙烯薄膜将其封闭构成,如图1-1(a)所示。当氧气透过隔膜在电极上发生电化学反应时,在两个电极间将形成同氧气浓度成正比的电流值,通过测定电极间的电流值即可实现对氧气浓度的测定。图1-1(b)为AY-1B型氧气检测仪的外部结构图。

## 2) 利用比长式氧气检测管检测

这种方法与矿井中主要有害气体的检测基本相同(详见本章第二节)。

## 2. 二氧化碳浓度的快速检测方法

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《煤矿安全》教材),也可利用比长式检测管法检测。

# 第二节 矿井空气中的有害气体及其检测

矿井空气中常见的有害气体除了前节提到的二氧化碳和氮气以外,主要还有一氧化碳(CO)、硫化氢( $H_2S$ )、二氧化硫( $SO_2$ )、二氧化氮( $NO_2$ )、氨气( $NH_3$ )、氢气( $H_2$ )、甲烷( $CH_4$ )等。本节将重点介绍其中的部分气体性质、危害、浓度标准和检测方法。

## 一、矿井空气中的有害气体及其基本性质

### (一) 一氧化碳(CO)

一氧化碳是无色、无味、无臭的气体,对空气的相对密度为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。

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,因此,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,阻碍了氧气的正常结合,从而造成人体血液缺氧引起窒息和中毒。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。一氧化碳中毒程度和中毒浓度的关系如表1-3所示。

表 1-3 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 h~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     |

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,约70%~75%人员的死亡都是因一氧化碳中毒所致。

## (二) 硫化氢( $\text{H}_2\text{S}$ )

硫化氢是无色、微甜、略带臭鸡蛋味的气体,对空气的相对密度为 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。它不但能使人体血液缺氧中毒,同时对眼睛及呼吸道黏膜具有强烈的刺激作用,能引起鼻炎、气管炎和肺水肿。当空气中其浓度达到 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,臭味“减弱”或“消失”,反而嗅不到。硫化氢的中毒程度与浓度的关系如表 1-4 所示。

表 1-4 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 h~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;从老空区和旧巷积水中放出。1971 年,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。有些矿区的煤层中也有硫化氢涌出。

## (三) 二氧化硫( $\text{SO}_2$ )

二氧化硫是无色、有强烈硫磺气味及酸味的气体,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,对空气的相对密度为 2.32,是井下有害气体中密度最大的,常常积聚在井下巷道的底部。

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,矿工们将其称之为“瞎眼气体”。此外,也能对呼吸道的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 1-5 所示。

表 1-5 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;从含硫煤体中涌出。

## (四) 二氧化氮( $\text{NO}_2$ )

二氧化氮是一种红褐色气体,有强烈的刺激性气味,对空气的相对密度为 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。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 1-6 所示。

表 1-6 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 h~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。我国某矿 1972 年在煤层中掘进巷道时,工作面非常干燥,工人们放炮后立即迎着炮烟进入,结果因吸入炮烟过多,造成二氧化氮中毒,2 名工人于次日死亡。因此在爆破工作中,一定要加强通风,防止炮烟熏人事故。

#### (五) 氨气( $\text{NH}_3$ )

氨气是一种无色、有浓烈臭味的气体,对空气的相对密度为 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。

#### (六) 氢气( $\text{H}_2$ )

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

井下氢气的主要来源是蓄电池充电。此外,矿井发生火灾和爆炸事故中也会产生。

除了上述有害气体之外,矿井空气中最主要的有害气体是甲烷( $\text{CH}_4$ ),它是一种具有窒息性和爆炸性的气体,对煤矿安全生产的威胁最大。《煤矿安全》教材中详细介绍了它的主要性质、危害和预防措施,本节不再重复。

在煤矿生产中,通常把以甲烷为主的这些有毒有害气体总称为瓦斯。

### 二、矿井空气中有害气体的安全浓度标准

为了防止有害气体对人体和安全生产造成危害,《规程》中对其安全浓度(允许浓度)标准做了明确规定,其中主要有害气体的浓度标准如表 1-7 所示。

表 1-7 矿井空气中有害气体最高允许浓度

| 有害气体名称       | 符 号                  | 最高允许浓度/% |
|--------------|----------------------|----------|
| 一氧化碳         | CO                   | 0.002 4  |
| 氧化氮(换算成二氧化氮) | $\text{NO}_2$        | 0.000 25 |
| 二氧化硫         | $\text{SO}_2$        | 0.000 5  |
| 硫化氢          | $\text{H}_2\text{S}$ | 0.000 66 |
| 氨            | $\text{NH}_3$        | 0.004    |

此外,《规程》还规定:井下充电室风流中以及局部积聚处的氢气浓度不得超过0.5%。

对矿井中涌出量较大的甲烷(瓦斯)气体,《规程》对其安全浓度和超限后的措施都有更为详尽的规定,具体见《煤矿安全》教材。

通过上述有害气体的安全浓度标准可以看出,最高允许浓度的制定都留有较大的安全系数,只要在矿井生产中严格遵守《规程》规定,不违章作业,人身安全是完全有保障的。

### 三、有害气体的检测方法

近年来,随着煤矿安全装备水平的不断提高,瓦斯监控系统的普遍应用,有害气体的检测手段也日趋完善,各大、中型矿井已经形成了人工定点、定时检测与自动监测相结合的检测体系。在人工检测方法中,除了取样分析法之外,目前使用最广泛的还是快速测定法。

#### (一) 瓦斯( $\text{CH}_4$ )的快速检测方法

煤矿中用于检测瓦斯的仪器有光学瓦斯检定器、瓦斯检测报警仪、瓦斯断电仪等。其构造原理及使用方法在《煤矿安全》教材中介绍。

#### (二) $\text{CO}$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{H}_2$ 的快速检测方法

煤矿井下空气中  $\text{CO}$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NH}_3$  和  $\text{H}_2$  等有害气体的浓度测定,普遍采用比长式检测管法。它是根据待测气体同检测管中的指示粉发生化学反应后指示粉的变色长度来确定待测气体浓度的。下面以比长式  $\text{CO}$  检测管为例说明检测原理及检测方法。

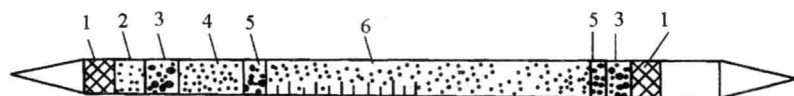


图 1-2 比长式  $\text{CO}$  检测管结构示意图

1—堵塞物;2—活性炭;3—硅胶;4—消除剂;5—玻璃粉;6—指示粉

如图 1-2 所示,比长式  $\text{CO}$  检测管是一支  $\phi 4\text{ mm} \sim 6\text{ mm}$ ,长  $150\text{ mm}$  的玻璃管,以活性硅胶为载体,吸附化学试剂碘酸钾和发烟硫酸充填于管中,当  $\text{CO}$  气体通过时,与指示粉起反应,在玻璃管壁上形成一个棕色环,棕色环随着气体通过向前移动,移动的长度与气样中所含  $\text{CO}$  浓度成正比。因此,可以根据玻璃管上的刻度直接读出  $\text{CO}$  的浓度值。

其他有害气体的比长式检测管结构及工作原理与  $\text{CO}$  基本相同,只是检测管内装的指示粉各不相同,颜色变化各有差异。表 1-8 列举了我国煤矿用比长式气体检测管的主要性能。

表 1-8 我国煤矿用比长式气体检测管的主要性能

| 检测管名称                | 型号  | 测量范围<br>(体积比)                      | 最小<br>分辨率            | 最小检<br>测浓度           | 颜色变化  |
|----------------------|-----|------------------------------------|----------------------|----------------------|-------|
| $\text{CO}$          | I   | $(5 \sim 50) \times 10^{-6}$       | $5 \times 10^{-6}$   | $5 \times 10^{-6}$   | 白→棕褐色 |
|                      | II  | $(10 \sim 500) \times 10^{-6}$     | $20 \times 10^{-6}$  | $10 \times 10^{-6}$  |       |
|                      | III | $(100 \sim 5\,000) \times 10^{-6}$ | $200 \times 10^{-6}$ | $100 \times 10^{-6}$ |       |
| $\text{CO}_2$        | I   | 0.2% ~ 3.0%                        | 0.2%                 | 0.1%                 | 蓝色→白色 |
|                      | II  | 1% ~ 15%                           | 1%                   | 0.5%                 |       |
| $\text{H}_2\text{S}$ | 1   | $(3 \sim 100) \times 10^{-6}$      | $5 \times 10^{-6}$   | $3 \times 10^{-6}$   | 白→棕色  |

续表 1-8

| 检测管名称           | 型号 | 测量范围<br>(体积比)                   | 最小<br>分辨率            | 最小检<br>测浓度           | 颜色变化   |
|-----------------|----|---------------------------------|----------------------|----------------------|--------|
| SO <sub>2</sub> | 1  | $(2.5 \sim 100) \times 10^{-6}$ | $5 \times 10^{-6}$   | $2.5 \times 10^{-6}$ | 紫→土黄色  |
| NO <sub>2</sub> | 1  | $(1 \sim 50) \times 10^{-6}$    | $2.5 \times 10^{-6}$ | $1 \times 10^{-6}$   | 白→黄绿色  |
| NH <sub>3</sub> | 1  | $(20 \sim 200) \times 10^{-6}$  | $20 \times 10^{-6}$  | $20 \times 10^{-6}$  | 桔黄→蓝灰色 |
| O <sub>2</sub>  |    | 1%~21%                          | 1%                   | 0.5%                 | 白→茶色   |
| H <sub>2</sub>  | 1  | 0.5%~3.0%                       | 0.5%                 | 0.3%                 | 白→淡红   |

与比长式检测管配套使用的还有圆筒形压入式手动采样器。主要结构如图 1-3 所示。

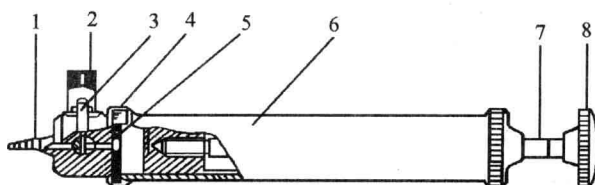


图 1-3 圆筒形压入式手动采样器结构示意图

1—气嘴；2—接头胶管；3—阀门把手；4—变换阀；  
5—垫圈；6—活塞筒；7—拉杆；8—手柄

采样器由变换阀和活塞筒等部分组成。活塞筒 6 用来抽取气样，变换阀 4 可以改变气样流动方向或切断气流。当阀门把手 3 处于垂直位置时，活塞筒与接头胶管 2 相通；当阀门把手处于水平位置时，活塞筒与气嘴 1 相通；当阀门把手处于 45° 位置时，变换阀将活塞筒与外界气体隔断。在活塞拉杆 7 上刻有标尺，可以表示出手柄拉动到某一位置时吸入活塞筒的气样体积(ml)。

使用时先将阀门把手转到水平位置，在待测地点拉动活塞拉杆往复抽送气 2~3 次，使待测气体充满活塞筒，再将把手扳至 45° 位置；将检测管两端用小砂轮片打开，按检测管上的箭头指向插入胶管接头；将把手扳至垂直位置，按检测管上规定的送气时间（一般 100 s）将气样均匀地送入检测管，然后，拔出检测管读数。

如果被测环境空气中有害气体的浓度很低，用低浓度检测管也不易测出，可以采用增加送气次数的方法进行测定。测得的浓度值除以送气次数，即为被测对象的实际浓度。

若被测环境气体浓度大于检测管的上限（即气样未送完检测管已全部变色），在优先考虑测定人员的防毒措施后，可先将待测气体稀释后再进行测定，但测定结果要根据稀释的倍数进行换算。

#### 四、防止有害气体危害的措施

(1) 加强通风。用通风的方法将各种有害气体浓度冲淡到《规程》规定的安全标准以下，这是目前防止有害气体危害的主要措施之一。

(2) 加强对有害气体的检查。按照规定的检查制度，采用合理的检查方法和手段，及时发现存在的隐患和问题，采取有效措施进行处理。

(3) 瓦斯抽放。对煤层或围岩中存在的大量瓦斯，可以采用抽放的方法加以解决，这既可以减少生产中的瓦斯涌出，减轻通风压力，抽到地面的瓦斯还能加以利用，变废为宝。