

煤炭职业教育课程改革规划教材

MEITAN ZHIYE JIAOYU KECHENG GAIGE GUIHUA JIAOCAI

矿井通风

KUANGJING TONGFENG

主 编 陈荣邦 谢文强

副主编 张长喜 刘鹏程 李江锋

煤炭工业出版社

煤炭职业教育课程改革规划教材

矿 井 通 风

主 编 陈荣邦 谢文强

副主编 张长喜 刘鹏程 李江锋

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

矿井通风/陈荣邦, 谢文强主编. -- 北京: 煤炭工业出版社, 2011

煤炭职业教育课程改革规划教材

ISBN 978-7-5020-3831-1

I. ①矿… II. ①陈… ②谢… III. ①矿山通风-职业教育-教材 IV. ①TD72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 050772 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

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm × 1092mm^{1/16} 印张 11^{3/4}

字数 275 千字 印数 1—3 000

2011 年 6 月第 1 版 2011 年 6 月第 1 次印刷

社内编号 6641 定价 24.00 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

内 容 提 要

本书主要介绍了矿井空气、矿井通风压力、矿井通风阻力、矿井通风动力、矿井通风网络与风量分配、矿井风量调节、掘进通风、矿井通风设计、矿井通风实训指导等方面的内容。

本书可作为煤炭职业院校采矿技术专业、矿井通风与安全专业的教材，也可作为从事“一通三防”工作的工程技术人员的参考书。

前 言

为满足煤炭工业新形势对煤炭职业教育发展的需要，加快煤炭职业教育教材建设步伐，依据培养技术应用型专门人才的要求和煤炭行业的自身特点，根据国家最新的法律法规、规程、标准和规定，在广泛调研和征求意见的基础上，本着科学性、实用性、先进性的编写指导思想，我们组织有关教师 and 现场工程技术人员编写了本教材。本教材在编写过程中注重职业教育的特点，简化了理论体系，并充分体现新技术、新设备和新方法在煤矿生产实际中的应用，力求使所讲内容尽可能与现场实践相结合。

本书由陈荣邦、谢文强任主编，张长喜、刘鹏程、李江锋任副主编。具体编写分工如下：河南理工大学高等职业学院陈荣邦编写绪论、第八章和第九章；河南神火集团有限公司谢文强编写第六章和第七章；河南理工大学高等职业学院张长喜编写第二章和第三章；河南理工大学高等职业学院刘鹏程编写第五章；郑州煤炭工业集团有限责任公司李江锋编写第一章；河南理工大学高等职业学院李涛涛编写第四章；河南理工大学高等职业学院常现联编写附录。全书由陈荣邦统稿，河南理工大学博士生导师李化敏教授、焦作煤业集团教授级高工王建国、赵兴奇对书稿进行了审校，提出了许多宝贵的意见和建议，对提高本书质量起到了重要作用，在此表示衷心的感谢。

在本书的编写过程中，吸收和借鉴了同类教材和书籍的精华，在此谨对各位原作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请有关专家和广大读者提出宝贵意见，以便再版时修改。

编 者

2011年5月

目 次

绪论	1
第一章 矿井空气	6
第一节 矿井空气成分	6
第二节 矿井空气中的有害气体	8
第三节 矿井气候条件	12
第四节 井巷中风速的测定	18
第二章 矿井通风压力	25
第一节 矿井空气的主要物理参数	25
第二节 矿井空气压力	26
第三节 空气压力的测量	29
第四节 矿井风流的能量方程	36
第三章 矿井通风阻力	43
第一节 摩擦阻力	43
第二节 局部阻力	45
第三节 通风阻力定律	47
第四节 通风阻力测定	50
第四章 矿井通风动力	55
第一节 自然通风	55
第二节 矿井主要通风机与附属装置	58
第三节 通风机的特性	65
第四节 矿井主要通风机性能测定	70
第五节 通风机风压与矿井通风阻力的关系	74
第六节 通风机的联合工作	76
第五章 矿井通风网络与风量分配	83
第一节 矿井风网中风流的流动规律	83
第二节 简单风网的性质	84
第三节 角联风网的特性	87
第四节 采区通风系统	89

第五节 通风构筑物与漏风	98
第六章 矿井风量调节	106
第一节 局部风量调节	106
第二节 矿井总风量调节	110
第三节 矿井特殊时期的风流控制	112
第七章 掘进通风	117
第一节 掘进通风方法	117
第二节 局部通风设备	121
第三节 局部通风管理	126
第八章 矿井通风设计	133
第一节 拟定矿井通风系统	134
第二节 矿井风量计算与分配	136
第三节 矿井通风阻力计算	139
第四节 矿井通风设备选择	140
第五节 概算矿井通风费用	141
第六节 通风系统评价与通风管理	142
第九章 矿井通风实训指导	145
实训一 矿井空气中主要有害气体的测定	145
实训二 矿井大气主要参数测定	147
实训三 通风管道中风流点压力 and 风速的测定	149
实训四 通风管道中摩擦阻力与摩擦阻力系数的测定	153
实训五 矿井通风网络图绘制	155
附录	157
附录 I 矿井通风安全常用图例	157
附录 II 矿井通风阻力测定方法	157
附录 III 煤矿主要通风机现场性能参数测定方法	161
附录 IV 煤矿通风能力核定标准	168
附录 V 井巷摩擦阻力系数 α 值	171
附录 VI BD 系列通风机个体特性曲线	176
参考文献	181

绪 论

一、矿井通风的意义与任务

2010 年中国能源消费总量达 32.5 亿 t 标准煤,且随着经济的发展其消耗量逐年增加。我国 90% 以上的煤炭是井工开采,即由地面开掘一系列井巷到达煤层,然后布置采区和采煤工作面进行生产。井工开采受自然条件的影响大,作业环境恶劣,受瓦斯、火灾、矿尘、顶板、水灾、矿震、地热等威胁。为了防止和减少生产安全事故,保障人民群众的生命和财产安全,促进经济又好又快发展,必须坚持“安全第一、预防为主”的基本安全生产方针,在技术上、行为上、管理上消除安全隐患。矿井通风是煤矿安全生产的重要基础工作之一,是矿井防灾及某些灾害发生时防止灾害扩大的重要手段。

矿井通风是指向矿井连续输送新鲜空气,供给人员呼吸,稀释并排出有害气体和浮尘,改善井下气候条件的作业。其基本任务是:研究风流的基本规律,保证通风系统安全可靠,风流稳定,抗灾能力强;连续不断的供给井下新鲜空气,以满足井下人员生理和生产的需要;把影响安全生产和人员健康的有害气体、矿尘及其他污染物稀释到允许浓度以下并排出井外,达到安全生产的目的;对矿井气候(温度、湿度、风速)进行调节,为人们创造一个良好、舒适的作业环境。

通风不仅是矿井防灾的重要基础,矿井通风能力往往成为制约矿井生产能力的重要因素。随着矿井现代化程度的提高,矿井生产集中度越来越高,“一井一面”的百万吨矿井日益增多。由于开采深度的延伸,瓦斯涌出量不断加大,高温矿井不断出现,增加风量成为解决问题的重要手段之一。当矿井风量不足或矿井进行技术改造时,通风系统改造是一个重要内容。但通风系统的改造往往涉及更换风机、开掘井巷、扩大巷道断面等,其工程费用高,周期长,直接制约生产能力的提升。

随着矿井开采深度的加深,威胁矿井安全生产的瓦斯、地热日益突出,对矿井通风安全保障能力的要求也越来越高。同时,煤矿向大型化、高效率 and 自动控制方向发展的速度加快,新技术、新工艺、新设备在煤矿的应用不断出现,以及安全法规的不断完善,对矿井通风都提出了新的要求。因此,矿井通风工作必须与时俱进,为煤矿的安全生产和国家建设作出更多的贡献。

二、矿井通风系统

矿井通风系统是矿井通风方式、主要通风机工作方法、矿井通风网络和通风设施的总称。即风流由进风井口流入井下,在各种通风设施的控制下沿预定的路线和数量流动,最后由风井排出井外的整个过程。矿井通风系统是否合理,不仅对安全生产和提高产量起着保障作用,同时对于降低通风能耗,提高经济效益也有重要意义。因此,我们应根据有关规定和矿井安全条件,力求通风系统技术上先进,安全上可靠,经济上合理。

(一) 矿井通风方式

矿井通风方式指矿井进风井和回风井的布置方式。按进风井和回风井在井田中布置的相对位置，矿井通风方式分为中央式、对角式、区域式和混合式等基本形式。其中，中央式又分为中央并列式和中央分列式，对角式又分为两翼对角式、单翼对角式和分区对角式。

1. 中央式

1) 中央并列式

中央并列式通风是指进风井和回风井并列位于井田走向中央的通风方式,如图 1 所示。

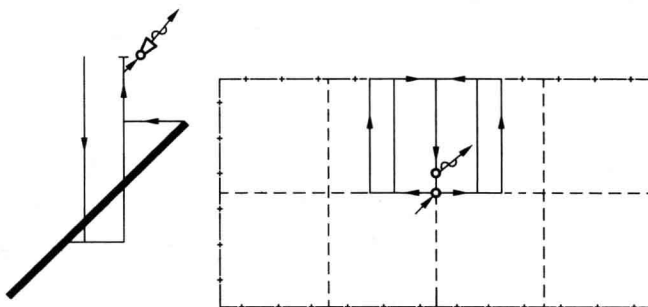


图 1 中央并列式通风示意图

中央并列式通风初期投资少，生产集中，便于管理；井筒施工场地集中，施工管理方便；节省风井工业场地，煤柱少；易于实现矿井反风等。但通风线路长，阻力大，漏风大；安全出口少，工业广场内噪声大等。

中央并列式通风适用于井田走向不长、煤层倾角大、瓦斯、煤层自燃不严重等条件下的矿井。

2) 中央分列式

中央分列式通风是指进风井位于井田走向的中央，回风井位于井田沿边界走向中部的通风方式，又称中央边界式通风，如图 2 所示。

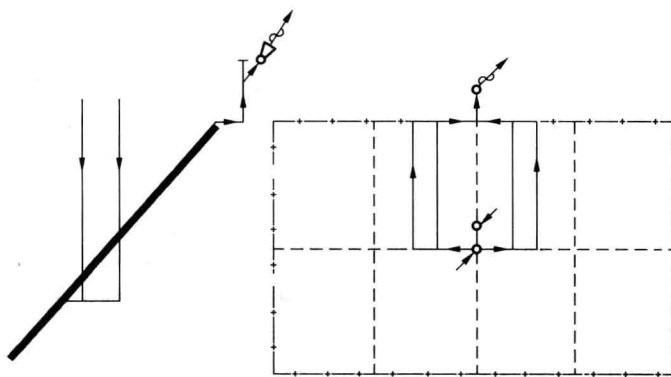


图 2 中央分列式通风示意图

中央分列式通风较中央并列式多一个安全出口，安全性好；通风线路短，通风阻力小，矿井漏风少，有利于瓦斯、煤层自燃的控制；工业广场内噪声小等。但中央分列式较中央并列式多一个风井和工业广场，占地多，压煤多，井筒施工工程量大。适用于煤层倾角小、埋藏不深、井田走向不长的矿井。

2. 对角式

1) 两翼对角式

两翼对角式通风是指进风井位于井田中央，回风井位于两翼，或回风井位于井田中央，进风井位于两翼的通风方式，如图 3 所示。当只有一翼有风井时，称单翼对角式。

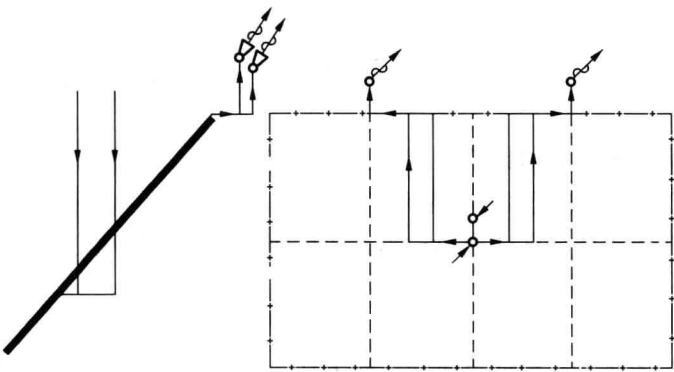


图 3 两翼对角式通风示意图

两翼对角式通风安全出口多，安全性好，通风阻力小，漏风少，有利于瓦斯、煤层自燃的控制等。但井筒多，初期投资大，风井工业广场占地多，管理分散等。

两翼对角式通风适用于煤层埋藏浅、井田走向长、生产能力大的矿井，以及煤层自燃严重、瓦斯涌出量大或煤（岩）与瓦斯（二氧化碳）突出矿井等。

2) 分区对角式

进风井布置在井田沿走向和倾向的中央，回风井位于井田上部采区的边界，如图 4 所示。

分区对角式通风各分区都有独立的线路，通风线路短，通风阻力小；安全出口多，安全性好；建井期短等。但分区对角式通风风井和主要通风机多，服务范围小，接替频繁，管理分散，风井占地多等。

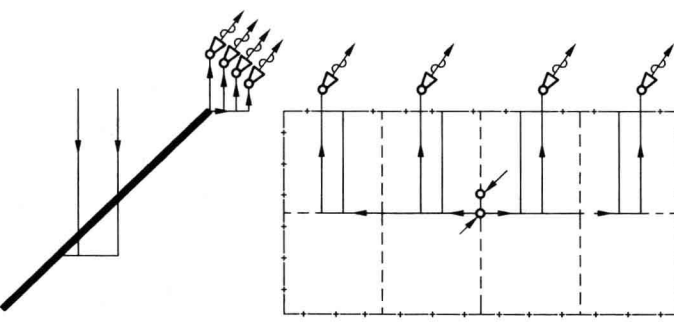


图 4 分区对角式通风示意图

分区对角式通风适用于煤层埋藏浅，地表起伏变化大，无法布置总回风巷的矿井；或井田走向长，多煤层开采的高温矿井；或具有一定条件的大型矿井；或自然发火严重，煤尘具有爆炸性质及煤（岩）与瓦斯（二氧化碳）突出矿井等。

3. 区域式与混合式

为适应综采工作面单产超过 1 Mt/a 集约化生产的要求，出现了矿井区域式开拓方式，因此形成了区域式通风系统。即每一生产区域均有一组进、回风井，各个区域采用相对独立的通风方式。该通风方式具有通风线路短、风阻小、区域间相互干扰小、抗灾能力强、安全性好等优点，而且能利用风井准备采区，缩短建井工期。该方式适用于井田面积大、储量丰富等大型矿井或地质条件需把井田划分为若干区域的矿井。

混合式通风指井田中央和两翼边界均有进、回风井的通风方式，即两种以上通风方式的组合。混合式通风具有相应通风方式的优缺点，适用于大型矿井、多煤层多井筒矿井、老矿井改扩建等。

目前，新建大型矿井通风系统以对角式、分区式为主，改扩建的生产矿井以混合式为主。AQ 标准规定：有煤与瓦斯突出危险矿井、高瓦斯矿井、煤层易自燃的矿井及有热害的矿井，应采用对角式或分区式通风；当井田面积较大时，初期可采用中央式通风，逐步过渡为对角式或分区式通风。

（二）矿井通风方法

矿井通风方法指矿井主要通风机的工作方法，分压入式、抽出式和混合式。

1. 抽出式通风

抽出式通风是指通风机从井下或局部用风地点抽出污浊空气的通风方法。矿井抽出式通风时，新风由进风井口进入矿井，流经井巷后至回风井并由通风机排出井外，如图 5 所示。由于抽出式通风井下压力小于地面，所以又叫“负压通风”。

矿井采用抽出式通风时，通风机工作时井下为负压，有利于瓦斯的涌出；当通风机停止运转时井下压力升高，不利于采空区瓦斯的涌出，安全性好。因此，抽出式通风是目前广泛采用的通风方法，尤其是高瓦斯矿井。但由于井下为负压，矿井浅部开采时，地面塌陷区或老窑漏风易将瓦斯带入矿井，使矿井有效风量率降低。

2. 压入式通风

压入式通风是指通风机向井下或风筒内压入空气的通风方法。矿井压入式通风时，新风经通风机压入矿井，流经井巷后由回风井排出井外，如图 6 所示。由于压入式通风井下压力高于地面，所以又叫“正压通风”。

压入式通风的特点是：在矿井主要通风机的作用下，井下空气压力高于地面，当矿井与地面间存在老窑、裂隙等漏风通道时，漏风由井内漏向地面，并把有害气体排出井外。但当矿井主要通风机因故停止运转时，井下空气压力降低，采空区瓦斯涌出量增加，对安全不利。同时，矿井压入式通风需要在主要进风巷中安装风门，运输、行人不便，漏风较大，通风管理困难等。因此，压入式通风适用于浅部开采矿井，在瓦斯矿井中很少采用。

3. 混合式通风

混合式通风是在进风井和回风井都安设矿井主要通风机，分别压入式和抽出式工作，即新风经压入式通风机送入井下，污风经抽出式通风机排出井外的一种矿井通风方法，如图 7 所示。

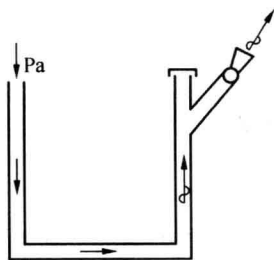


图5 抽出式通风

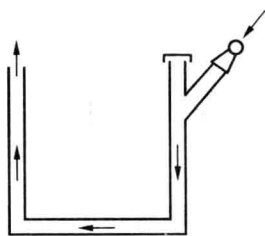


图6 压入式通风

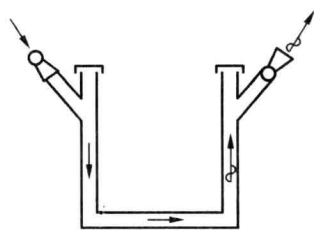


图7 混合式通风

矿井混合式通风兼有抽出式和压入式的优缺点，主要进风线路处于正压，主要回风线路处于负压，工作面大致处于中间状态。一般适用于老矿井的延伸改造，通风阻力大，现有设备能力受限时等情况，新建矿井和高瓦斯矿井不宜采用。

AQ 标准规定：矿井通风方法应采用抽出式；当地形复杂、露头发育、老窑多，采用多风井通风有利时，可采用压入式通风；由于管理复杂，矿井一般不宜采用压抽混合式通风，只有在矿井地表裂隙多、深井、高阻力矿井中采用。

（三）矿井通风网络

矿井通风网络指通风系统中表示风道（分支）连接形式和风流方向的结构系统，习惯上称风网。风网一般用直观的几何图形来表示，表示矿井通风系统和通风状态的图形，称为矿井通风图。矿井通风图包括通风系统图、通风系统立体示意图、通风网络图、通风压力分布图、通风压能图等。

通风系统图是根据矿井开拓系统与采区巷道布置，反映矿井通风系统实际情况的图纸。它是矿井通风与安全管理工作的必备图纸之一，必须按月及时补充修改，并报有关部门备案。

根据通风系统图的绘制方法不同，可分为通风系统平面图、通风系统平面示意图和通风系统立体图等。通风系统图的内容应包括各井巷、硐室、采掘工作面的进回风流方向与风量；各通风设施的安装地点；安全与监控设施的安装地点，以及火区的位置与范围等。

通风系统平面图就是在矿井开拓开采平面图上绘制出通风系统图必备内容可得。通风系统平面图是矿井通风管理的必备图纸，是绘制通风其他图纸的基础，必须反映矿井通风系统实际情况，并按月补充。

通风系统平面示意图是根据开拓平面图的对应关系，用单（双）线条绘制的通风系统图。

通风系统立体图是根据井巷立体对应关系，以轴侧投影用单（双）线条绘制的通风系统图。

通风网络图是不按比例，不反映井巷空间关系，用单线条绘制的反映通风网络的图。通风网络图多用于通风系统分析与计算。

第一章 矿 井 空 气

矿井通风的主要任务就是把地面空气输送到井下，以满足安全生产的需要。矿井风量是否满足矿井安全生产的需要，空气的成分、质量、数量、气候条件及影响因素等指标，直接反映了矿井通风的效果。因此，有必要对空气和矿井空气加以了解，为全面掌握矿井通风技术奠定基础。

第一节 矿 井 空 气 成 分

一、概述

地面空气是由多种气体组成的混合物，主要由氧气、氮气和二氧化碳组成，此外还含有数量不等的其他气体、水蒸气、微生物和灰尘等。

地面空气进入矿井后，由于受井下各种自然条件的影响，发生了一系列的变化，主要表现在：氧气含量减少；混入了各种有毒有害气体；混入了煤尘和岩尘；空气的温度、湿度和压力也发生了变化。我们把来自地面的新鲜空气和井下产生的有害气体及浮尘的混合体叫矿井空气。其中，把进入矿井后变化不大的空气叫新鲜空气，简称新风，如矿井总进风、采区进风、采掘工作面进风等；把经过用风地点后变化程度较大的叫污浊空气，简称污风或乏风，如采掘工作面回风、矿井总回风等。

二、矿内空气主要成分

1. 氧气 (O_2)

氧气是一种无色、无味、无臭的气体，标准状况下的密度为 1.429，相对于空气的密度为 1.10，化学性质活泼，易与其他物质发生氧化反应，如 $CH_4 + 2O_2 \xrightarrow{\text{点燃}} CO_2 + 2H_2O$ ， $C + O_2 \longrightarrow CO_2$ 。因此，当瓦斯、煤尘与空气混合后，在一定条件下可发生爆炸，造成人员伤亡和财产损失。

氧气是维持人体生命和劳动不可缺少的物质之一。人们呼吸时所需要的氧气取决于人的体质、劳动强度和精神紧张程度，呼吸所能吸入的氧气量取决于空气中氧气的浓度。一般情况下，人体耗氧量在静止时为 0.25 L/min，工作时则需要 1~3 L/min，劳动强度较大时则大于 3 L/min。因此，当矿井发生某些灾害人员被堵无法撤退时，应静卧休息，以降低体能和减少氧气消耗，从而延长避灾的时间。同时，当矿井发生事故人员被堵时，往往根据人员静卧的最小耗氧量 (0.237 L/min)，将其氧气浓度降低到 10% 时的时间作为避灾人员的最长生存时间。

空气中氧气含量的高低直接影响人体的生理与健康，当氧气浓度降低时，人体就会产生不良反应，严重时会导致缺氧窒息甚至死亡。人体缺氧症状与空气中氧气浓度的关系见

表 1-1。《煤矿安全规程》规定：采掘工作面进风流中，按体积比氧气浓度不得低于 20%。

表 1-1 氧气浓度与人体感觉间的关系

氧气浓度/%	17	15	10 ~ 12	6 ~ 9
人体感觉	工作时喘息和呼吸困难	失去劳动能力	丧失理智，时间稍长就有死亡危险	短时间内可死亡

井巷在正常通风的情况下，氧气浓度对人体的影响不大。但井下的盲巷、通风不良的巷道，或发生火灾、爆炸、瓦斯（或二氧化碳）突出与喷出事故时，应迅速佩戴自救器，以防缺氧窒息或有害气体中毒事故的发生。

地面空气进入矿井后，氧气浓度降低的主要原因有：煤、岩石、坑木等的氧化；矿井火灾、瓦斯与煤尘爆炸；人的呼吸；爆破及其他有害气体的混入使氧气含量相对减少等。

2. 氮气（N₂）

氮气是无色、无味、无臭的气体，标准状况下的密度为 1.25，不活泼、不助燃、无毒，不帮助人呼吸。

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。

井下氮气的来源主要是有机物腐烂、爆破、煤岩中涌出等。

3. 二氧化碳（CO₂）

二氧化碳是一种无色、略带酸味的气体，易溶于水，不助燃，标准状况下的密度为 1.96，相对于空气的密度为 1.52。因此，二氧化碳容易在低风速的巷道底部、水仓、溜煤眼、下山尽头等处聚集。

二氧化碳对人的呼吸系统及眼、鼻有刺激作用。因此，在对有害气体中毒或缺氧窒息人员急救输氧时，往往在氧气中加入 5% 的二氧化碳，以促使患者加强呼吸。但当空气中的二氧化碳浓度过高时，可造成人员中毒或窒息。空气中不同二氧化碳浓度对人体的危害程度见表 1-2。

表 1-2 二氧化碳浓度与人体感觉间的关系

二氧化碳浓度/%	1	3	5	10
人体感觉	呼吸急促，易疲劳	呼吸量增加一倍，感觉疲劳	呼吸困难，耳鸣，血液流动加快	头痛，失去知觉，中毒死亡

当矿井发生事故人员被堵时，往往根据人员静卧最小耗氧量时呼出二氧化碳的量（0.197 L/min），将其二氧化碳浓度达到 10% 时的时间作为被堵人员的最长生存时间。

当发生二氧化碳中毒急救时，应迅速将受难者移到新鲜风流中，必要时可进行人工呼吸或利用苏生器输氧，也可让中毒者闻氨水，以促使其恢复呼吸。

《煤矿安全规程》规定：矿井总回风或一翼回风流中，二氧化碳浓度体积比不得大于 0.75%，采掘工作面进风流中不得大于 0.5%，采掘工作面回风流中不得大于 1.5%。否则，必须停止工作，撤出人员，采取措施，进行处理。

矿井空气中的二氧化碳主要来源于煤岩层中涌出。此外，煤岩、坑木的氧化，火灾、爆破及人员呼吸等也是二氧化碳的来源。

第二节 矿井空气中的有害气体

一、矿井空气中常见有害气体的性质及危害

1. 沼气 (CH₄)

沼气又叫甲烷，是一种无色、无味、无臭的气体，标准状况下的密度为 0.714，相对于空气的密度为 0.552，因此易在巷道高冒处、低风速的巷道上部、上山掘进工作面等处积聚。沼气无毒，但不帮助人呼吸，当其浓度升高时，会使氧气浓度相对降低，使人窒息。当空气中沼气浓度达 5% ~ 16% 时，遇引燃热源可爆炸，造成人员伤亡和财产损失。

2. 一氧化碳 (CO)

一氧化碳是一种无色、无味、无臭的气体，标准状况下的密度为 1.25，相对于空气的密度为 0.967，可以燃烧，在空气中体积浓度达到 13% ~ 75% 时遇火源有爆炸性。

一氧化碳是一种极毒的气体，它与人体血液中血红素的亲和力较氧气高 250 ~ 300 倍，而分离的速度是氧气的 1/3600，即使空气中有很少的一氧化碳，也可使血液失去输氧能力，造成人体缺氧而中毒死亡。

当空气中一氧化碳浓度达 0.4% 时，人在极短的时间内可死亡。一氧化碳中毒程度与一氧化碳浓度的关系见表 1-3。《煤矿安全规程》规定：矿井空气中一氧化碳浓度按体积比不得大于 0.0024%。

表 1-3 一氧化碳浓度与人体感觉间的关系

一氧化碳浓度/%	0.016	0.048	0.128	0.4	1
人体感觉	数小时内出现 轻微中毒	1 h 内就会出 现轻微中毒，如 耳鸣、头痛、头 晕、心跳等	0.5 ~ 1 h 内就会出 现严重中毒，如呕吐、 感觉迟钝、四肢无力、 丧失行动能力等	短时间内就会致 命中毒，如丧失知 觉、痉挛、呼吸停 顿、假死等	呼吸几口就可 失去知觉、死亡

矿井空气中的一氧化碳主要来源是井下爆破、煤的氧化与自燃、井下火灾及瓦斯或煤尘爆炸等。如瓦斯爆炸后的气体中，一氧化碳浓度可达 2% ~ 4%，煤尘爆炸时一氧化碳浓度可达 8% ~ 10%。据统计，矿井火灾、瓦斯煤尘爆炸事故中的遇难者绝大多数为一氧化碳中毒所致。

3. 硫化氢 (H₂S)

硫化氢是一种微甜、有臭鸡蛋味的极毒气体，标准状况下的密度为 1.518，相对于空气的密度为 1.174，易溶于水，可燃烧，因此在空气中体积浓度达 4.3% ~ 45.4% 时遇引燃热源可爆炸。

硫化氢不但可使人的血液和中枢神经中毒，而且会对眼睛、呼吸器官产生强烈的刺激作用。当空气中硫化氢浓度达到 0.0001% 时就可嗅到其臭味，但时间稍长，由于嗅觉神经中毒麻痹，有时甚至达到致命中毒的浓度，反而嗅不到其臭味。人体中毒程度与硫化氢

浓度的关系见表 1-4。《煤矿安全规程》规定：矿井空气中硫化氢的浓度按体积比不得大于 0.00066%。

表 1-4 硫化氢浓度与人体感觉间的关系

硫化氢浓度/%	0.0001	0.01	0.05	1
人体感觉	可闻到其味道	数小时后发生轻微中毒，如流鼻涕、唾液，瞳孔放大等	短时间内就可引起严重中毒，如失去知觉、痉挛、脸色苍白等，不及时进行抢救就会中毒死亡	短时间内就可引起中毒死亡，甚至深呼吸几口可中毒死亡

矿井空气中硫化氢的主要来源为坑木腐烂、含硫矿物水解、煤岩层中涌出等。因此，通风不良的旧巷、采空区中往往有大量硫化氢气体积存。

4. 二氧化氮 (NO₂)

二氧化氮是棕红色、剧毒气体，标准状况下的密度为 2.054，相对于空气的密度为 1.588。由于它与水结合可生成硝酸，所以它对人眼睛、鼻、喉等呼吸系统有强烈的刺激作用，对肺部组织有破坏作用，严重时引起肺水肿甚至死亡。

二氧化氮中毒征兆有迟延表现的特征，即便是在危险的浓度下，人体除感觉有轻微的刺激外，并没有其他明显感觉，6 h 后才出现中毒症状。二氧化氮的中毒程度与浓度的关系见表 1-5。《煤矿安全规程》规定：矿井空气中二氧化氮的浓度按体积比不得大于 0.00025%。

表 1-5 二氧化氮浓度与人体感觉间的关系

二氧化氮浓度/%	0.004	0.006	0.025
人体感觉	2~4 h 内不会引起明显的中毒	短时间内就会引起咳嗽、胸部疼痛等	短时间内就能使人中毒死亡

值得注意的是，二氧化氮破坏人体的肺组织，中毒急救时只能采用口对口人工呼吸的方法，不能采用压缩胸部的人工呼吸法，以免加重肺组织的损伤。

矿井空气中二氧化氮的主要来源为爆破。因此，爆破后必须通风一定时间后人员才能进入作业。

5. 二氧化硫 (SO₂)

二氧化硫是一种无色、有强烈刺激性、有剧毒的气体，标准状况下的密度为 2.857，相对于空气的密度为 2.21；易溶于水，其水溶液为亚硫酸，所以对人眼睛有强烈的刺激作用，故工人称它为“瞎眼气体”。它对呼吸器官有腐蚀作用，使喉咙及支气管发炎，呼吸麻痹，严重时会引起肺水肿。二氧化硫的中毒程度与浓度的关系见表 1-6。《煤矿安全规程》规定：矿井空气中二氧化硫的浓度按体积比不得大于 0.0005%。

表 1-6 二氧化硫浓度与人体感觉间的关系

二氧化硫浓度/%	0.0005	0.002	0.05
人体感觉	能闻到刺激味	感到强烈的刺激作用，并引起流泪、眼睛红肿、咳嗽、头痛、喉头发痒等症状	可引起急性支气管炎、肺水肿，短时间内就可中毒死亡

由于二氧化硫中毒时使肺部组织受严重损伤，在进行人工呼吸急救时，不能采用压缩胸部的人工呼吸法，否则会加重肺水肿。若采用苏生器输氧时，不可加二氧化碳，以免刺激肺部。但由于二氧化硫具有强烈的刺激性，在很低的浓度下就可闻到其刺激性气味，一般不至于引起中毒死亡。

6. 氨气 (NH₃)

氨气是一种无色、有氨水味、有毒气体，密度为 0.759，易溶于水。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。当空气中氨气浓度达到 30% 时遇火有爆炸性。矿井空气中氨气的主要来源是矿井火灾或爆炸时产生。《煤矿安全规程》规定：矿井空气中氨气按体积比不得大于 0.004%。

7. 氢气 (H₂)

氢气是一种无色、无味、无臭的气体，密度为 0.089，易燃烧。因此，氢气在空气中体积比达 4% ~ 74% 时遇引燃热源可爆炸，且点火温度与着火能量低。矿井空气中氢气的主要来源为电机车充电。《煤矿安全规程》规定：电机车充电硐室必须布置单独回风巷，将乏风直接引入矿井回风巷，氢气体积比不得大于 0.5%。

二、气体的快速检测方法

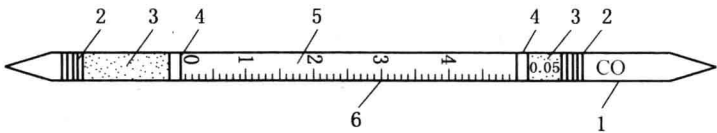
气体浓度检测的目的是为了判断其是否符合《煤矿安全规程》的规定，为采取必要的处理措施提供依据，同时也是检验各种预防措施效果的重要依据。

检测矿井气体的方法有两种：一种是取样化验分析法，即用一定的方法将气样送至地面化验室分析；另一种是快速测定法，即利用仪器在现场采集气样就地读数，如各种气体传感器等。这里所介绍的检知管测定法就是人工快速测定法的一种。

1. 检知管及检测原理

1) 检知管的结构

检知管的结构如图 1-1 所示。它由外壳、堵塞物、保护胶、隔离层及指示胶等组成。其中外壳是用中性玻璃管加工而成。堵塞物为玻璃丝布、防声棉或耐酸涤纶，它对管内物质起固定作用。保护胶是用硅胶作载体，其用途是除去对指示胶变色有干扰的气体。隔离层一般为有色玻璃粉或其他惰性有色颗粒物质，它对指示胶起界限作用，将指示胶限定在特定区域之中。指示胶是以活性硅胶为载体，吸附化学试剂经加工处理而成。



1—外壳；2—堵塞物；3—保护胶；4—隔离层；5—指示胶；6—指示被测气体浓度的刻度

图 1-1 检知管结构示意图

2) 检知管的工作原理

当含有被测气体的空气以一定的速度通过检知管时，被测气体与指示胶发生化学反应，根据指示胶变色程度或变色长度来确定其浓度。前者称为比色式，后者称为比长式。由于比色式检知管存在灵敏度低、颜色不易辨认、两个色阶代表的浓度间隔太大、成本高、定量测定准确性差等缺点，所以目前主要用比长式检知管。我国煤矿使用的检知管有