

通高等教育规划教材

矿井 通风与安全



蔡永乐

胡创义

主编

吴 兵

主审

KUANGJIN TONGFENG YU ANQUAN



化学工业出版社

普通高等教育规划教材

矿井通风与安全

(第二版)

蔡永乐	胡创义	主编
吴兵		主审



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是普通高等教育综合机械化采煤专业系列教材之一, 主要内容包括矿井空气, 通风压力、阻力、动力, 采区通风系统和矿井通风系统, 通风网络, 掘进通风技术, 矿井风量调节技术, 矿井通风设计以及矿井瓦斯、火灾、矿尘、水灾、爆破防治技术和煤矿典型事故案例分析, 是采煤、通风、安全工程技术人员必须掌握的一门课程。

本书可作为普通高校综合机械化采煤、通风及安全专业教材, 也可作为大型煤矿职工培训教材或工程技术人员参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

矿井通风与安全/蔡永乐, 胡创义主编. —2 版.

北京: 化学工业出版社, 2013.9

普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-122-18108-4

I. ①矿… II. ①蔡…②胡… III. ①矿山通风-高等学校-教材②矿山安全-高等学校-教材 IV. ①TD7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 177491 号

责任编辑: 张双进

文字编辑: 孙凤英

责任校对: 蒋 宇

装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 19 $\frac{1}{4}$ 字数 502 千字 2013 年 11 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

第二版前言

《矿井通风与安全》是综合机械化采煤专业系列教材之一，属综合机械化采煤技术专业的主干教材，与《煤矿开采技术》等教材配套使用。

本书根据 2006 年 4 月在北京召开的煤矿综合机械化专业教材编写会议精神，由山西大同大学、阳泉学院、吕梁学院教师共同编写，并于 2007 年 8 月第一次出版。自 2007 年出版 6 年来，深得广大读者好评。一致认为“简洁、实用、先进、系统、灵活”为该书最大特点，同时认为该书再版时应及时修正原教材在排版、编辑、内容等方面存在的纰漏和差错，尤其是随着社会的发展和科学技术的进步，该书应根据新规程、新规范、新条例等要求，修改瓦斯等级划分依据及等级，增加巷道贯通与瓦斯排放、爆破材料及井下放炮、瓦斯抽放、通风能力核定、通风质量标准化、回采工作面通风方式、掘进通风新装备等内容以及煤矿典型事故案例分析，删减国家明令淘汰设备和落后技术的介绍，如 JBT 局部通风机和过滤式自救器等。基于上述意见，阳泉学院蔡永乐同志对全书进行了全面审阅和修订，以满足读者需求。

本教材共分十五章，具体分工如下：

山西吕梁学院李瑞英编写第一章、第十一章；

山西大同大学胡创义编写第二章、第三章、第十章；

山西阳泉学院蔡永乐编写第四章、第五章、第七章、第十五章、第九章的第六节和第七节，以及附录一、附录三、附录四。

山西阳泉学院李秀杰编写第六章、第八章。

山西大同大学朱润生编写第九章第一节至第五节、第十二章、第十三章。

山西阳泉学院姜有编写第十四章、附录二。

在本书编写过程中，中国矿业大学北京研究生部吴兵教授在百忙之中进行了主审，对全书章节布局及有关内容进行了专业的指导，在此向吴兵教授表示诚挚的敬意和衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中不妥之处，恳请同仁批评指正。

编者

2013 年 6 月

第一版前言

本书是高职高专综合机械化采煤专业系列教材之一，属综合机械化采煤技术专业的主干教材，与《煤矿开采技术》等教材配合使用。

根据 2006 年 4 月在北京召开的煤矿综合机械化专业教材会议精神，我们承担了《矿井通风与安全》教材的编写任务。在编写过程中，我们结合综合机械化专业的特点，收集了大量现代煤矿现场管理技术资料，借鉴以往《矿井通风与安全》教材版本的优点，注重教材的适应性、使用性、先进性和系统性。本书重点阐明了通风基本理论，同时又加强新技术的实际应用，力求做到理论知识够用，重视实践应用，增强了教材的实用性和灵活性。

本教材由蔡永乐、胡创义担任主编。共分十三章，具体分工如下。

山西吕梁高等专科学校李瑞英编写了第一章、第十一章。

山西大同大学胡创义编写了第二章、第三章、第十章。

山西阳泉学院蔡永乐编写了第四章、第五章、第七章。

山西阳泉学院李秀杰编写了第六章、第八章。

山西大同大学朱润生编写了第九章、第十二章、第十三章。

蔡永乐、胡创义对全书进行了统稿。感谢同煤集团、神华公司等煤矿单位给予大力协作和支持，感谢各参编院校积极参与和通力合作。特别更要感谢的是山西大同大学教授朱天安在百忙中对本教材的认真审阅，并提出了很多宝贵的建议，使本教材更加完善。

物之初出，其形必丑。由于编者水平有限，加上时间紧迫，书中不妥之处在所难免，恳请同仁批评指正。

编者

2007 年 5 月

目 录

第一章 矿井空气	1	三、能量方程在矿井通风中的应用	30
第一节 矿井空气成分	1	第三章 井巷通风阻力	35
一、地面空气与矿井空气	1	第一节 概述	35
二、矿井空气主要成分的基本性质及安全标准	1	一、通风阻力定义	35
三、矿井空气主要成分的检测方法	3	二、通风阻力分类	35
第二节 矿井空气中的有害气体及其检测	3	三、风流的流动状态	35
一、矿井空气中有害气体的基本性质及安全标准	3	第二节 摩擦阻力	36
二、有害气体的检测方法	6	一、摩擦阻力计算公式	36
三、防止有害气体危害的措施	7	二、摩擦阻力系数与摩擦风阻	38
第三节 矿井气候条件及改善	7	第三节 局部阻力	41
一、矿井气候对人体热平衡的影响	8	一、局部阻力产生的原因及地点	41
二、矿井空气的温度、湿度和风速	8	二、局部阻力的计算	41
三、衡量矿井气候条件的指标和安全标准	10	三、局部风阻	42
四、矿井空气温度和湿度的测定	11	第四节 矿井总风阻与矿井等积孔	42
五、矿井气候条件的改善	13	一、矿井通风阻力定律	42
第四节 井巷中风速与风量的测定	14	二、矿井总风阻	43
一、测风仪表	14	三、矿井等积孔	43
二、测风方法及步骤	16	第五节 降低矿井通风阻力措施	45
三、微风测量	18	一、降低井巷摩擦阻力措施	45
第二章 矿井空气流动理论基础	20	二、降低局部阻力措施	46
第一节 空气的主要物理参数	20	第六节 矿井通风阻力测定	46
一、空气的压力(压强)	20	一、通风阻力测定的方法及步骤	46
二、空气的密度	20	二、矿井通风阻力测定报告的编写	50
三、空气的比容	21	第四章 矿井通风动力	53
四、空气的黏性	21	第一节 自然风压	53
第二节 矿井风流的能量与压力	21	一、自然风压的形成	53
一、静压能-静压	21	二、自然风压的影响因素及变化规律	53
二、动压能-动压	22	三、自然风压的控制和利用	54
三、位压能-位压	23	四、自然风压的测定	54
四、全压和势压	23	第二节 矿井主要通风机	55
五、点压力和总压力	23	一、离心式通风机	55
第三节 空气压力测量及压力关系	23	二、轴流式通风机	56
一、测压仪器	23	三、对旋式通风机	57
二、压力测量及压力之间的关系	27	第三节 通风机附属装置	58
第四节 矿井通风中的能量方程及其应用	28	一、风硐	58
一、空气流动连续性方程	28	二、扩散器(扩散塔)	58
二、矿井通风中能量方程	29	三、防爆门(或防爆井盖)	58
		四、反风装置和功能	58
		第四节 通风机实际参数及实际特性曲线	59
		一、通风机的工作参数	59

二、通风机的个体特性曲线	60	二、解算通风网络方法	94
三、通风机合理工作范围	61	第七章 掘进通风	97
四、通风机风压与通风阻力关系	61	第一节 掘进通风方法	97
第五节 通风机联合运转	62	一、矿井全风压通风	97
一、通风机串联工作	62	二、引射器通风	98
二、通风机并联工作	63	三、局部通风机通风	98
第六节 矿井主要通风机性能测定	63	第二节 局部通风设备	100
一、测定前的准备	64	一、局部通风机	100
二、测定方法与步骤	64	二、风筒	106
三、数据的整理与特性曲线的绘制	65	第三节 掘进工作面风量计算	109
第五章 矿井通风系统	69	一、排出炮烟所需风量	109
第一节 矿井通风系统	69	二、排除瓦斯所需风量	110
一、矿井通风方法	69	三、排出矿尘所需风量	110
二、矿井通风方式	70	四、按风速验算风量	110
三、矿井通风网络	72	第四节 掘进通风系统设计	110
四、矿井通风设施	73	一、局部通风系统的设计原则	110
第二节 采区通风系统	73	二、局部通风设计步骤和选型	111
一、采区通风系统的基本要求	73	第五节 掘进通风技术管理	112
二、采区进、回风上(下)山的选择	74	一、加强风筒管理的措施	112
三、采、掘工作面的串联通风及要求	74	二、保证局部通风机安全可靠运转	113
四、采煤工作面通风系统的类型和特点	75	三、掘进通风安全技术装备系列化	114
五、采煤工作面上行通风与下行通风的 分析	78	四、局部通风机消声措施	115
第三节 通风设施	79	第八章 矿井通风设计	116
一、通风设施的种类和质量要求	79	第一节 拟定矿井通风系统	116
二、通风设施的管理	82	一、拟定矿井通风系统的基本要求	116
第四节 矿井漏风及其预防	82	二、确定矿井通风系统的方法	117
一、漏风的概念及危害	82	第二节 计算和分配矿井总风量	117
二、矿井有效风量率及漏风率的表示法	83	一、矿井需风量的计算原则	117
三、防止漏风的措施	83	二、矿井需风量的计算方法	117
第五节 矿井通风系统图	84	三、矿井总风量的分配	121
一、矿井通风系统图	84	第三节 计算矿井通风总阻力	121
二、通风网络图及其绘制	85	一、矿井通风总阻力的计算原则	121
第六章 矿井通风网络中风量分配规律 与调节	87	二、矿井通风总阻力的计算方法	121
第一节 通风网络中风量分配规律	87	第四节 选择矿井通风设备	122
一、风网中风流流动的普遍规律	87	一、选择矿井通风设备的基本要求	122
二、简单风网的特殊规律	87	二、主要通风机的选择	123
三、角联风网特性	88	第五节 概算矿井通风费用	124
四、串联、并联及角联通风方式基本 规定	89	一、吨煤通电费	124
第二节 矿井风量按需调节	89	二、其他吨煤通风费用	124
一、局部风量调节	89	第六节 生产矿井通风设计	125
二、矿井总风量的调节	93	一、生产矿井通风设计的特点	125
第三节 通风网络的解算	94	二、生产矿井通风设计的内容和步骤	125
一、通风网络解算的目的	94	第九章 矿井瓦斯	129
		第一节 煤层瓦斯赋存与含量	129
		一、瓦斯的生成	129
		二、瓦气的存在状态	129

三、煤层瓦斯含量及其影响因素	130
第二节 矿井瓦斯涌出	131
一、瓦斯涌出形式	131
二、矿井瓦斯涌出量	132
三、影响瓦斯涌出的因素	132
四、瓦斯涌出不均系数	134
五、矿井瓦斯等级	134
第三节 瓦斯喷出和煤与瓦斯突出及其 预防	135
一、瓦斯喷出及其预防	136
二、煤与瓦斯突出及其预防	137
第四节 矿井瓦斯爆炸及其预防	142
一、瓦斯爆炸过程及其危害	142
二、瓦斯爆炸的条件及影响因素	143
三、煤矿井下瓦斯爆炸事故原因分析	145
四、预防瓦斯爆炸的措施	146
第五节 瓦斯测定	150
一、矿井瓦斯检测仪器	150
二、瓦斯测定	153
三、煤矿安全监测系统简介	154
第六节 矿井瓦斯抽放	158
一、矿井瓦斯抽放条件	158
二、矿井瓦斯抽放方法	159
三、抽放设备	162
第七节 巷道贯通与瓦斯排放管理	163
一、巷道贯通管理	163
二、排放瓦斯管理	164
第十章 矿井火灾防治	169
第一节 概述	169
一、矿井火灾的概念	169
二、矿井火灾的分类及其特点	169
三、矿井火灾的危害	170
第二节 煤炭自燃	171
一、煤炭自燃原因	171
二、煤炭自燃的发展过程	171
三、煤炭自燃条件及影响煤炭自燃 的因素	171
四、煤炭自燃倾向性的鉴定	173
五、煤炭自燃的早期识别	173
第三节 矿井防火	175
一、矿井防火的一般性措施	175
二、外因火灾预防措施	176
三、内因火灾预防措施	177
第四节 矿井火灾的处理	182
一、发生矿井火灾时应采取的措施	182
二、火灾时期的灭火方法	184

三、火区管理与启封	187
第十一章 矿尘防治	189
第一节 矿尘性质、危害及测定	189
一、矿尘的含义及分类	189
二、矿尘含量的表示方法及卫生标准	189
三、矿尘的分散度及其表示方法	190
四、矿尘的产生、影响因素及危害	190
五、矿尘质量含量测定	190
第二节 矿工职业病	192
一、尘肺病及其发病机理	192
二、尘肺病的发病症状及影响因素	193
第三节 煤尘爆炸及预防	193
一、煤尘爆炸的机理及特征	193
二、煤尘爆炸的条件	194
三、影响煤尘爆炸的因素	195
四、煤尘爆炸与瓦斯爆炸的比较	196
五、煤尘爆炸事故分析	196
六、煤尘爆炸性鉴定	197
七、预防煤尘爆炸的技术措施	197
第四节 矿山综合防尘	199
一、通风除尘	199
二、湿式作业	200
三、净化风流	201
四、个体防护	201
第十二章 矿井防治水	203
第一节 概述	203
一、矿井水灾的概念	203
二、矿井水灾对煤矿安全生产的影响	203
第二节 矿井水灾发生的规律	203
一、矿井水灾的基本条件	203
二、造成水灾的主要原因	205
三、透水的预兆	205
第三节 水灾防治技术	206
一、地面防治水	206
二、井下防治水	207
第十三章 矿工自救、互救与现场 急救	216
第一节 矿工自救与互救	216
一、发生事故时在场人员的行动原则	216
二、矿工自救设施与设备	217
三、各类灾害事故时避灾措施	220
第二节 现场急救	222
一、伤员类别及处置原则	222
二、现场急救技术	222
三、急救方法	226

第十四章 爆破材料及井下放炮	228	第一节 瓦斯爆炸事故案例分析	240
第一节 爆破材料的储存	228	第二节 煤尘爆炸事故案例分析	244
第二节 爆破器材的安全管理	228	第三节 瓦斯煤尘爆炸事故案例分析	249
一、加强对爆破材料的管理，防止爆破材料散失	228	第四节 煤与瓦斯突出事故案例分析	254
二、爆破材料的领退	229	第五节 矿井火灾事故案例分析	256
三、井下爆破材料的安全运送	229	附录	264
第三节 井下爆破安全技术	230	附录一 FBCDZ（原 BDK）系列风机选型参数	264
一、装配引药	230	附录二 FBCDZ 装置性能曲线	265
二、装药	231	附录三 矿井通风安全质量标准化标准及考核评级办法	281
三、炮泥和封泥	232	附录四 煤矿通风能力核定有关规定及办法	291
四、连线	233	参考文献	299
五、爆破	234		
第十五章 煤矿典型事故案例分析	240		

第一章 矿井空气

矿井通风是保障矿井安全的最主要技术手段之一，其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

一、地面空气与矿井空气

地面空气又称为大气，是由干空气和水蒸气组成的混合气体，通常称为湿空气。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。干空气是指不含水蒸气的空气，它的组成成分和体积分数分别为氧气（20.90%）、氮气（78.13%）、二氧化碳（0.03%）、氩气（0.93%）、其他稀有气体（0.01%）。湿空气中仅含有少量的水蒸气，但其含量的变化会引起湿空气的物理性质和状态发生变化。

地面空气从井筒进入矿井就成了矿井空气。由于受井下各种因素的影响，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；粉尘含量增大；空气的温度、湿度、压力等物理状态变化等。一般将井巷中没经过用风地点、受污染程度较轻的风流叫新鲜风流，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，受污染程度较重的风流叫做污风风流，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。

尽管矿井空气与地面空气不同，但主要成分仍然是由氧气、氮气和二氧化碳等组成的。

二、矿井空气主要成分的基本性质及安全标准

1. 氧气（O₂）

氧气是一种无色、无味、无臭、化学性质很活泼的气体，易使多种物质氧化，并能助燃，产生 CO₂、CO，对空气的相对密度为 1.11。

氧气是维持人体正常生理机能所必需的气体。人类之所以能够生存，是因为人体内不断摄取食物和吸入空气中的氧气，经过氧化作用，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，人在休息时需氧量为 0.2~0.4L/min；在工作时为 1~3L/min。

空气中的氧气含量直接影响着人体健康和生命安全，当氧气含量降低时，人体就会产生不良反应，出现种种不舒适的症状，严重时可能会导致缺氧甚至死亡。人体缺氧症状与空气中氧气体积分数的关系如表 1-1 所示。

地面空气进入井下后，氧气含量要有所降低，氧气含量降低的主要原因有：人员呼吸；煤岩、坑木和其他有机物的缓慢氧化；爆破作业；井下火灾和瓦斯、煤尘爆炸；煤岩和生产过程中产生的各种有害气体等。

表 1-1 人体缺氧症状与空气中氧气体积分数的关系

氧气体积分数/ %	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

在正常通风的井巷和工作面中,氧气含量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,应特别注意对氧气含量的检查,以防发生窒息事故。

在矿井空气的主要成分中,由于氧气对人员身体健康和安全生产影响很大,所以《煤矿安全规程》对其体积分数标准做了明确规定:采掘工作面进风流中,氧气体积分数不得低于20%。

2. 氮气 (N₂)

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

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。

在正常情况下氮气对人体无害,但当空气中的氮气含量过多时,会使氧气含量相对减少,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。

3. 二氧化碳 (CO₂)

二氧化碳是无色、略带酸臭味的气体,易溶于水,不助燃,也不能供人呼吸,略带毒性,对空气的相对密度为1.52。

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,所以在抢救中毒或窒息者进行输氧时,常常要在氧气中加入5%的二氧化碳,以刺激呼吸中枢神经,加强患者呼吸。当空气中的二氧化碳含量过高时,会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;重则能造成人员中毒或窒息。空气中二氧化碳体积分数对人体的危害程度如表1-2所示。

表 1-2 空气中二氧化碳体积分数对人体的影响

二氧化碳体积分数/ %	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,所以常常积聚在溜煤眼、下山尽头、煤矿井下的巷道底板、水仓、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;煤炭自燃;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,给矿井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 11000m^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。

二氧化碳是空气的主要成分之一，对人员身体健康和安全生产有着直接的影响，所以《煤矿安全规程》对其体积分数标准做了明确规定。

① 采掘工作面进风流中，二氧化碳体积分数不得超过 0.5% 。

② 矿井总回风巷或一翼回风巷风流中，二氧化碳超过 0.75% 时，必须立即查清原因，进行处理。

③ 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体积分数达到 1.5% 时，都必须停止作业，撤出人员，进行处理。

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。

1. 取样分析法

利用取样瓶或吸气球等容器提取井下空气试样，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の場合。

2. 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) 氧气体积分数的快速测定方法

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 型是普遍使用的氧气检测仪，用来检测采煤工作面，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体积分数。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。

② 利用比长式氧气检测管检测。这种方法与矿井中主要有毒气体的检测基本相同。

(2) 二氧化碳含量的快速检测方法 矿井空气中二氧化碳的测定主要使用光学瓦斯鉴定器，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。这些有害气体直接影响着井下人员的身体健康和生命安全。本节将重点介绍其中的部分气体性质、危害、体积分数标准和检测方法。

一、矿井空气中有害气体的基本性质及安全标准

1. 一氧化碳（CO）

一氧化碳是无色、无味、无臭的气体，微溶于水，能燃烧，对空气的相对密度为 0.97 。当体积含量达到 $13\%\sim 75\%$ 时遇火源能引起爆炸。

一氧化碳具有很强的毒性。人体血液中的血色素与一氧化碳的亲合力比它与氧气的亲合力大 $250\sim 300$ 倍，血色素是人体血液中携带氧气和排出二氧化碳的细胞。因此，当人体吸

入含有一氧化碳的空气时，首先一氧化碳与血红素相结合，阻碍了血红素与氧气的正常结合，使血红素失去输氧的功能，从而造成人体血液缺氧现象，引起窒息和中毒。一氧化碳的中毒程度与中毒含量、中毒时间、呼吸频率和深度及人的体质有关。中毒程度与一氧化碳体积分数的关系如表 1-3 所示。

表 1-3 一氧化碳的中毒程度与一氧化碳体积分数的关系

一氧化碳体积分数/ %	主 要 症 状
0. 016	数小时时无征兆或有头痛、心跳、耳鸣等轻微中毒征兆
0. 048	1h 可引起轻微中毒症状
0. 128	0. 5~1h 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。30min 内即可死亡

一氧化碳中毒除表 1-3 所述症状外，最显著的特征是中毒者黏膜和皮肤呈樱桃红色。

矿井空气中一氧化碳的主要来源有：爆破作业；井下火灾；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，产生大量的一氧化碳，70%~75%的死亡人员都是因一氧化碳中毒所致。因此，《煤矿安全规程》规定，井下空气中一氧化碳的体积分数不得超过 0.0024%。

2. 硫化氢 (H₂S)

硫化氢是无色、微甜、略带臭鸡蛋味的气体，易溶于水，对空气的相对密度为 1.19，当空气中硫化氢体积分数达 4.3%~46%时，具有爆炸性。

硫化氢有剧毒。它不但对眼睛及呼吸道的黏膜具有强烈的刺激作用，引起鼻炎、气管炎和肺水肿，而且能使人体血液缺氧中毒。当空气中体积分数达到 0.0001%时可嗅到臭味，但当体积分数较高时 (0.005%~0.01%)，因嗅觉神经中毒麻痹，臭味“减弱”或“消失”，反而嗅不到臭鸡蛋味。硫化氢的中毒程度与其体积分数 (含量) 的关系如表 1-4 所示。

表 1-4 硫化氢的中毒程度与其体积分数的关系

硫化氢体积分数/ %	主 要 症 状
0. 0001	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. 5~1h 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。因此，《煤矿安全规程》规定，井下空气中硫化氢的体积分数不得超过 0.00066%。

3. 二氧化硫 (SO₂)

二氧化硫是无色、有强烈硫黄气味及酸味的气体，当空气中二氧化硫体积分数达到 0.0005%时即可嗅到刺激性气味。它易溶于水，对空气的相对密度为 2.22，是井下有害气体中密度最大的气体，往往积聚于井下巷道的底部。

二氧化硫毒性很强。空气中的二氧化硫遇水后生成硫酸，能强烈地刺激眼睛以及呼吸道黏膜，使眼睛红肿，因此，矿工们将其称为“瞎眼气体”。严重时可引起喉炎和肺水肿，使人肺浮肿致命。二氧化硫的中毒程度与其体积分数的关系如表 1-5 所示。

表 1-5 二氧化硫的中毒程度与其体积分数的关系

二氧化硫体积分数/ %	主 要 症 状
0.0005	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。

《煤矿安全规程》规定，井下空气中二氧化硫的体积分数不得超过 0.0005%。

4. 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，极易溶于水，对空气的相对密度为 1.59。

二氧化氮是井下毒性最强的有害气体。它遇水后生成腐蚀性很强的硝酸，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，中毒初期仅是眼睛和喉咙有轻微的刺激症状，容易被人忽视。有的在严重中毒时尚无明显感觉，还可坚持工作，但经过 6h 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，呼吸困难，发生肺水肿，引起呕吐甚至死亡。二氧化氮的中毒程度与其体积分数的关系如表 1-6 所示。

表 1-6 二氧化氮的中毒程度与其体积分数的关系

二氧化氮体积分数/ %	主 要 症 状
0.004	2~4h 内不致显著中毒,6h 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：爆破作业。炸药爆破时会产生大量的炮烟，其主要成分是一系列氮氧化物，如一氧化氮（遇空气中的氧即转化为二氧化氮）、二氧化氮等。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，一定要加强通风和喷雾洒水，排除二氧化氮，防止炮烟造成人员伤害。

《煤矿安全规程》规定，井下空气中二氧化氮的体积分数不得超过 0.00025%。

5. 氨气 (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。当空气中的氨气体积分数达到 30% 时遇火源有爆炸性。

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。

氨气主要来源：矿井火灾、爆炸作业以及部分岩层中氨气的涌出。

《煤矿安全规程》规定，井下空气中氨气的体积分数不得超过 0.004%。

6. 氢气 (H_2)

氢气无色、无味、无毒，能自燃，对空气的相对密度为 0.07，是井下最轻的有害气体。空气中氢气体积分数达到 4%~74% 时具有爆炸危险。

井下氢气的主要来源是蓄电池充电、煤氧化等。此外，矿井发生火灾和爆炸事故中也会产生氢气。

《煤矿安全规程》规定，井下充电室风流中以及局部积聚处的氢气体积分数不得超

过 0.5%。

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（CH₄），又称沼气。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，关于它的主要性质、危害和预防措施等将在本书第九章中详细介绍。

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、有害气体的检测方法

近年来，随着煤矿安全检测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臻完善，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。

1. 瓦斯（CH₄）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将在本教材第九章中介绍。

2. CO、SO₂、NO₂、H₂S、NH₃、H₂的快速检测方法

煤矿井下空气中 CO、SO₂、NO₂、H₂S、NH₃ 和 H₂ 等有害气体的体积分数测定，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体积分数的。下面以比长式 CO 检测管为例说明检测原理及检测方法。

如图 1-1 所示，比长式 CO 检测管是一支 $\phi 4\sim 6\text{mm}$ 、长 150mm 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 CO 气体通过检测管时，与指示粉发生反应，有碘生成，同时在玻璃管壁上形成一个棕色环，随着气体通过，棕色环向前移动，移动的长度与气样中所含 CO 体积分数成正比。因此，可以根据玻璃管上的刻度直接读出 CO 的体积分数值。



图 1-1 比长式 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

其他有害气体的比长式检测管结构及工作原理与 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 1-7 是我国煤矿用比长式气体检测管主要性能。

表 1-7 我国煤矿用比长式气体检测管主要性能

检测管名称	型号	测量范围(体积分数)	最小分辨率	最小检测含量	颜色变化
CO	I	$(5\sim 50)\times 10^{-6}$	5×10^{-6}	5×10^{-6}	白→棕褐色
	II	$(10\sim 500)\times 10^{-6}$	20×10^{-6}	10×10^{-6}	
	III	$(100\sim 5000)\times 10^{-6}$	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	1	$(3\sim 100)\times 10^{-6}$	5×10^{-6}	3×10^{-6}	白→棕色
SO ₂	1	$(2.5\sim 100)\times 10^{-6}$	5×10^{-6}	2.5×10^{-6}	紫→土黄色
NO ₂	1	$(1\sim 50)\times 10^{-6}$	2.5×10^{-6}	1×10^{-6}	白→黄绿色
NH ₃	1	$(20\sim 200)\times 10^{-6}$	20×10^{-6}	20×10^{-6}	橘黄→蓝灰色
O ₂		1%~21%	1%	0.5%	白→茶色
H ₂	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 1-2 所示。

采样器由活塞筒、变换阀和拉杆等部分组成。活塞筒 6 用来抽取气样,变换阀 4 则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;当阀门把手顺时针方向旋转水平位置时,活塞筒与气嘴 1 相通;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 100s) 把气样以均匀的速度送入检测管,然后,拔出检测管读数。

如果被测环境空气中有害气体的体积分数很低,结果不易量读,可以采用增加送气次数的方法进行测定。测得的体积分数值除以送气次数,即为被测对象的实际值。

若被测环境气体体积分数大于检测管的上限 (即气样未送完检测管已全部变色),应首先考虑测定人员的防毒措施,然后将待测气体稀释,再进行测定,但测定结果要乘以气体稀释后体积变大的倍数。

三、防止有害气体危害的措施

① 加强通风,冲淡有害气体。用通风的方法将各种有害气体体积分数冲淡到《煤矿安全规程》规定的安全标准以下,并排至矿井以外,确保井下工作人员的生命安全与健康。这是目前防止有害气体危害的主要措施之一。

② 坚持对有害气体的检查,发现隐患及时排除。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将其抽出地面,不但可以减少井下瓦斯涌出,减轻通风压力,而且能够将抽到地面的瓦斯加以利用。

④ 放炮喷雾或使用水炮泥。喷雾器和水炮泥爆破后产生的水雾能溶解炮烟中的二氧化氮、二氧化碳等有害气体,降低其含量,方法简单有效。

⑤ 井下人员必须随身佩戴自救器。一旦矿井发生火灾、瓦斯煤尘爆炸事故,应及时采取自救措施,迅速撤离危险区。

⑥ 加强对通风不良处和井下盲巷的管理。工作面采空区应及时封闭;临时通风的巷道要设置栅栏、揭示警标,需要进入时必须首先进行有害气体检查,确认巷道内空气对人体无害时,方可入内。

⑦ 对缺氧窒息或有害气体中毒人员及时进行急救。一般是先将遇难者移到有新鲜风流的巷道或地面,根据具体情况采取人工呼吸 (NO_2 、 H_2S 中毒除外) 或进行其他急救措施,减少伤亡事故发生。

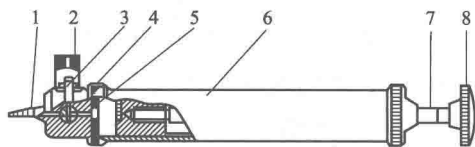


图 1-2 圆筒形压入式手动采样器结构示意图

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

第三节 矿井气候条件及改善

矿井气候是指矿井空气的温度、湿度和风速等参数的综合作用状态。这三个参数也称矿井气候条件的三要素,三者的不同组合,便构成了不同的矿井气候条件。矿井气

候条件同人体的热平衡状态有密切联系,直接影响着井下作业人员的身体健康和劳动生产率的提高。

一、矿井气候对人体热平衡的影响

人体无论在静止或运动状态下,都要进行新陈代谢。新陈代谢的能量由摄取的食物在体内进行氧化生成热量而提供,除了用来维持人体正常的生理机能和对外做功的需要外,大部分热量都必须通过散热的方式排出体外,否则热量在体内储存会使体温升高,引起中暑、热虚脱、热衰竭和热痉挛等疾病,严重者可导致死亡。

人体散热的方式主要通过皮肤表面与外界的对流、辐射和汗液蒸发三种基本形式进行。对流散热主要取决于周围空气的温度和风速;辐射散热主要取决于周围物体的表面温度;蒸发散热则取决于周围空气的相对湿度和风速。

各种气候参数中,空气温度对人体散热起着主要作用。当空气温度低于体温时,对流和辐射是人体的主要散热方式,温差越大,对流散热热量越多;当气温等于体温时,对流散热停止,汗液蒸发成了人体的主要散热形式;当气温高于体温时,人体散热只能通过蒸发的方式进行。

空气湿度影响人体蒸发散热的效果。当气温较高时,人体主要靠蒸发散热来维持人体热平衡。此时,湿度越大,汗液蒸发越困难,人体会感到闷热。

风速影响着人体的对流散热和蒸发的效果。当空气的温度、湿度一定时,增大风速会提高散热效果。

总之,矿井气候条件对人体热平衡的影响是一种综合作用,各参数之间相互联系、相互影响。

二、矿井空气的温度、湿度和风速

1. 矿井空气的温度

矿井空气的温度是影响矿井气候的重要因素。最适宜的矿井空气温度为 $15\sim 20^{\circ}\text{C}$ 。

矿井空气的温度受地面气温、井下围岩温度、机电设备散热、煤炭等有机物的氧化、人体散热、水分蒸发、空气的压缩或膨胀、通风强度等多种因素的影响,有的起升温作用,有的起降温作用,在不同矿井、不同的通风地点,影响因素和影响大小也各不相同,但总的来看,升温作用大于降温作用,因此,随着井下通风路线的延长,空气温度逐渐升高。其变化规律如下。

① 在进风路线上,矿井空气的温度主要受地面气温和围岩温度的影响。冬季地面气温低于围岩温度,围岩放热使空气升温;夏季则相反,围岩吸热使空气降温,因此有冬暖夏凉之感。当然,根据矿井深浅的不同,影响大小也不相同。

② 在采区和采掘工作面内,由于受煤炭氧化、人体和机械设备散热等影响,空气温度往往是矿井中最高的。开采深度大,进风路线长且超过一定的距离,由于风流在进风路线上与围岩充分进行了热交换,工作面温度基本上不受地面季节气温变化的影响,且常年保持不变;开采深度不大的矿井,进风路线短时,回采工作面的温度将随地面气温的变化而变化。

③ 在回风路线上,因通风强度较大,加上水分蒸发和风流上升膨胀吸热等因素影响,温度有所下降,常年基本稳定。

2. 矿井空气的湿度

空气的湿度是指空气中所含的水蒸气量或潮湿程度。有以下两种表示方法。

(1) 绝对湿度 指单位体积湿空气中所含水蒸气的质量 (g/m^3),用 f 表示。