



普通高等教育“十三五”规划教材

DENG JIAOYU “13·5” GUIHUA JIAOCAI

矿井通风与防尘

主编 王子云



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn



普通高等教育“十三五”规划教材

矿井通风与防尘

主 编 王子云

副主编 侯国荣 胡世士 付 军

北 京

冶金工业出版社

2016

内 容 提 要

本书是普通高等教育“十三五”规划教材。全书共分 11 章,分别介绍了矿内大气、矿内风流的基本性质、风流能量方程及其在矿井通风中的应用、矿井通风阻力、矿井通风动力、矿井通风网路中风量分配与调节、局部通风、矿井通风系统、矿井通风系统设计、矿井通风系统管理与监测、矿尘防治等内容。本教材每章附有练习题、实验指导书,在矿井通风系统设计一章还附有矿井通风设计的案例。

本书侧重于金属和非金属矿山的矿井通风技术,可以作为普通高等院校采矿工程本科专业的教材,也可以作为矿山安全生产管理工程师以及设计研究人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

矿井通风与防尘/王子云主编. —北京:冶金工业出版社, 2016. 7

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-7264-1

I. ①矿… II. ①王… III. ①矿山通风—高等学校—教材
②矿井—除尘—高等学校—教材 IV. ①TD72 ②TD714

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 158539 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjchs@cnmp.com.cn

责任编辑 赵亚敏 张耀辉 美术编辑 吕欣童 版式设计 吕欣童

责任校对 禹蕊 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7264-1

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2016 年 7 月第 1 版, 2016 年 7 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 14.5 印张; 345 千字; 217 页

32.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

众所周知，采矿工业是生产工业原材料的基础工业，它在社会发展进程中占有非常重要的地位。而不论是金属、非金属矿开采，还是煤矿开采，只要是地下开采方式，都需要进行矿井通风。矿井通风是采矿的一个重要组成部分，它是矿井安全生产的基本前提和保障。矿井通风就是利用机械或自然通风动力，使地面空气进入井下，并在井巷中作定向地流动，最后排出矿井的全过程，它在矿井建设和生产期间始终占有非常重要的地位。矿井通风的基本任务是供给井下足够的新鲜空气，满足人员对氧气的需要；冲淡井下有害气体和粉尘，保证安全生产；调节井下气候条件，创造良好的工作环境。

根据我国地下矿山开采发展的实际需要，为了适应目前地方普通本科高校向应用型转变的采矿工程专业教学需求，也是为了提高我国矿井通风安全技术的理论知识与管理水平，编者编写了本书。

本书由辽宁科技学院王子云任主编，中国葛洲坝集团易普力股份有限公司侯国荣、付军，中国葛洲坝集团水泥有限公司胡世士任副主编。其中王子云编写了第1~6章、第8~9章；侯国荣编写了第7章；胡世士编写了第10章；付军编写了第11章。参加本书编写工作的还有辽宁科技学院渠爱巧、张杰、顾路、王寰宇、洪求友等同志，他们在资料收集、图表绘制等方面做了大量工作。

本书在编写过程中参考了有关文献资料，大部分已在参考文献中列出，限于篇幅，不能一一列出，在此向文献作者表示衷心的感谢！本书在编写过程中得到了一些院校同行和工矿企业的大力支持，在此亦表示衷心感谢！

由于编写人员水平有限，书中难免会有偏差和疏漏，恳请读者批评指正。

编 者

2016年6月

目 录

1 矿内大气	1
1.1 矿内空气	1
1.1.1 地面空气与矿内空气	1
1.1.2 矿内空气主要成分及其性质	2
1.2 矿内空气中常见的有毒有害气体	3
1.2.1 有毒气体的来源	3
1.2.2 各种有毒气体的性质	4
1.2.3 有毒气体中毒时的急救	5
1.2.4 有毒气体的测定	6
1.3 矿尘	7
1.3.1 矿尘的产生及分类	7
1.3.2 矿尘的危害	8
1.4 放射性气体	8
1.4.1 氡及其子体的性质	8
1.4.2 氡及其子体的危害	9
1.4.3 最大允许浓度	9
1.4.4 矿井中氡的来源	9
1.5 矿内气体条件	11
复习思考题	12
2 矿内风流的基本性质	13
2.1 矿内空气的物理参量及其测定	13
2.1.1 物理参量	13
2.1.2 主要参量测定方法及其仪器设备	18
2.2 矿井空气流动过程中的热力学变化	25
2.2.1 气体状态方程	25
2.2.2 空气流动状态分析	25
2.2.3 矿内空气状态变化	26
2.3 矿内风流的流动状态	26
2.3.1 风流的流动状态	26
2.3.2 矿井内风流的流动状态	27
2.4 矿内风流的流动形式	27

2.4.1 巷道型风流与紊流变形	28
2.4.2 硐室型风流与紊流扩散	28
复习思考题	29
3 风流能量方程及其在矿井通风中的应用	31
3.1 矿井风流能量	31
3.1.1 压能及其计算	31
3.1.2 位能及其计算	31
3.1.3 动能及其计算	32
3.1.4 全压能及其计算	33
3.2 能量方程	33
3.2.1 单位质量流体的能量方程	33
3.2.2 单位体积流体的能量方程	35
3.2.3 关于能量方程运用的几点说明	36
3.3 能量方程在矿井通风中的应用	37
3.3.1 能量方程在通风阻力测定中的应用	37
3.3.2 能量方程在分析通风动力与阻力关系时的应用	38
复习思考题	43
4 井巷通风阻力	45
4.1 摩擦阻力	45
4.1.1 摩擦阻力的理论基础	45
4.1.2 摩擦阻力定律	46
4.1.3 摩擦阻力的计算	47
4.1.4 降低摩擦阻力的措施	48
4.2 局部阻力	49
4.2.1 局部阻力的意义	49
4.2.2 局部阻力定律及计算	49
4.2.3 降低局部阻力的措施	52
4.3 矿井风阻与矿井等积孔	52
4.3.1 矿井风阻及风阻特性曲线	52
4.3.2 矿井等积孔	53
复习思考题	54
5 矿井通风动力	56
5.1 矿井自然通风	56
5.1.1 自然风压的产生	56
5.1.2 自然风压的变化规律	57
5.1.3 自然风压的测定	58

5.1.4 自然风压的计算	58
5.1.5 自然风压的影响因素	60
5.1.6 自然风压的控制与利用	60
5.2 矿井机械通风	61
5.2.1 离心式扇风机	61
5.2.2 轴流式扇风机	62
5.2.3 扇风机的附属装置	63
5.3 扇风机的理论参数及特性	66
5.3.1 扇风机的理论参数	66
5.3.2 扇风机的理论风压特性	68
5.4 扇风机的实际特性	69
5.4.1 扇风机的实际特性曲线	69
5.4.2 影响扇风机实际特性的参数分析	71
5.5 扇风机联合运转	72
5.5.1 扇风机串联作业	72
5.5.2 扇风机并联作业	74
5.5.3 扇风机并联与串联作业的比较	77
复习思考题	78
6 矿井通风网路中风量分配与调节	81
6.1 网路中风流流动的基本定律	81
6.1.1 风量平衡定律	81
6.1.2 风压平衡定律	81
6.1.3 阻力定律	82
6.2 串联、并联通风网路的基本性质	83
6.2.1 串联风路	83
6.2.2 并联风路	83
6.2.3 串联网路与并联网路的比较	84
6.3 角联通风网路的基本性质	84
6.3.1 角联巷道中无风流流动	85
6.3.2 角联巷道中有风流流动	85
6.4 矿井风量调节	86
6.4.1 局部风量调节	86
6.4.2 矿井总风量调节	92
复习思考题	93
7 局部通风	96
7.1 局部通风的方法	96
7.1.1 总风压通风方法	96

7.1.2 扩散通风	97
7.1.3 引射器通风	98
7.1.4 局扇通风	98
7.2 掘进通风的风量计算	102
7.2.1 矿井局部通风风量计算	102
7.2.2 巷道掘进防尘、除尘通风	104
7.3 掘进通风设备	105
7.3.1 风筒	105
7.3.2 局部扇风机	108
7.4 局部通风设计及管理	108
7.4.1 局部通风设计	108
7.4.2 掘进通风管理	110
复习思考题	111
8 矿井通风系统	113
8.1 统一通风与分区通风	113
8.1.1 统一通风	113
8.1.2 分区通风	113
8.2 风井的布置方式	114
8.2.1 中央并列式通风	114
8.2.2 中央对角式通风	115
8.2.3 侧翼对角式通风	115
8.2.4 入风井、回风井布置方式的影响因素	116
8.3 主扇风机的工作方式	116
8.3.1 压入式通风	116
8.3.2 抽出式通风	117
8.3.3 混合式通风	117
8.4 主扇风机的安装	117
8.5 阶段、采场通风网路	118
8.5.1 阶段通风网路结构	118
8.5.2 采场通风网路及通风方法	119
8.6 通风构筑物	122
8.6.1 通过风流的构筑物	122
8.6.2 遮断风流的构筑物	124
8.7 通风系统的漏风及有效风量	126
8.7.1 矿井漏风及其危害	126
8.7.2 漏风地点及漏风原因	126
8.7.3 矿井漏风率及有效风量率	127
8.7.4 减少漏风, 提高有效风量	127

复习思考题.....	128
9 矿井通风系统设计	129
9.1 矿井通风系统设计的要求和依据	129
9.1.1 新建矿井的通风设计	129
9.1.2 矿井通风系统设计依据	130
9.2 矿井通风系统设计的内容和原则	130
9.2.1 矿井通风系统设计的内容	130
9.2.2 矿井通风系统的拟定原则	131
9.3 矿井通风系统的方案优选	132
9.3.1 通风系统方案技术比较	132
9.3.2 通风系统方案经济比较	132
9.4 矿井需风量计算	133
9.4.1 金属矿山总需风量计算	133
9.4.2 矿井总风量分配	138
9.5 矿井通风阻力计算	139
9.5.1 矿井通风阻力计算的原则	140
9.5.2 矿井通风阻力计算方法	140
9.6 矿井通风设备选择	141
9.6.1 主扇风机的选择	141
9.6.2 电动机的选择	142
9.6.3 矿井通风对主要通风设备的要求	142
9.7 矿井通风费用概算	143
9.7.1 矿井通风动力费	143
9.7.2 矿井通风其他费用	143
9.8 某金矿通风系统设计实例	144
9.8.1 矿山概况	144
9.8.2 设计依据	146
9.8.3 通风系统选择	146
9.8.4 全矿需风量计算	148
9.8.5 通风阻力预算及通风设备初选	150
9.8.6 通风网路系统优化	154
9.8.7 主要通风设备	154
复习思考题.....	154
10 矿井通风系统管理与监测.....	157
10.1 矿井通风管理与监测的主要内容.....	157
10.1.1 矿井通风管理制度.....	157
10.1.2 矿井通风监测的主要内容.....	157

10.2 矿井通风测定	158
10.2.1 矿井通风测定概述	158
10.2.2 测定前的准备工作	158
10.2.3 测定方法	159
10.3 矿井通风阻力的测定	161
10.3.1 测定路线选择和测点布置	161
10.3.2 一段巷道的通风阻力 h_f 测算	162
10.3.3 摩擦阻力系数 α 值测算	166
复习思考题	166
11 矿尘防治	167
11.1 矿尘的产生、性质及危害	167
11.1.1 矿尘的产生	167
11.1.2 矿尘性质	168
11.1.3 矿尘的危害	170
11.2 矿井防尘的一般措施	171
11.2.1 矿工硅肺的一般预防原则	171
11.2.2 卫生保健措施	171
11.2.3 防止硅尘危害的组织措施	172
11.3 矿井综合防尘措施	172
11.3.1 通风除尘	172
11.3.2 密闭、抽尘、净化	172
11.3.3 湿式作业	174
11.3.4 凿岩防尘	175
11.3.5 爆破防尘	176
11.3.6 装载及运输工作防尘	176
11.3.7 溜井防尘	177
11.3.8 破碎硐室防尘	178
11.3.9 锚喷支护防尘	178
11.3.10 应用化学抑尘新方法	178
11.4 测尘技术	178
11.4.1 粉尘质量浓度测定方法	179
11.4.2 粉尘分散度测定方法	179
11.4.3 游离二氧化硅含量测定方法	181
复习思考题	181
附录	182
附录1 JK系列矿用局部扇风机	182
附录2 新型K、DK系列矿用节能通风机	185

附录 3 K、DK 系列风机个体特性曲线.....	193
附录 4 井巷摩擦阻力系数 α 值表	203
附录 5 井巷局部阻力系数 ξ 值表	207
附录 6 实验指导书	208
参考文献.....	217

1

矿内大气

矿井的空气主要来自地面空气，地面空气进入井下后，会发生一些物理、化学上的变化，所以，矿井空气的组分无论在数量上还是质量上，与地面空气都有较大的差别。

1.1 矿内空气

1.1.1 地面空气与矿内空气

地面空气是由于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组成的混合气体。干空气的组分比较稳定，其主要成分如表 1-1 所示。

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。此外，地面空气中尚含有一定量的微生物与灰尘等。

表 1-1 干空气主要成分

气体成分	质量浓度/%	体积浓度/%
氧	23.17	20.90
氮	75.55	78.13
二氧化碳	0.05	0.03
其他稀有气体	1.28	0.94

在地球上，经常进行一系列气体产生和消失的化学物理反应过程。正是由于这些过程的相互作用，而使空气的主要成分保持不变。如动物吸气时吸进氧，呼气时呼出二氧化碳；而植物的光合作用则相反——吸收二氧化碳，放出氧气。在局部地区（如工业区和城市区），地面空气往往被自然界和人们生活、生产过程产生的各种烟尘及有毒有害气体污染。但由于地面空气的存在量十分巨大（ $5.1 \times 10^{15} \text{t}$ ），并具有特别大的流动性和一定的扩散性，因此地面空气的主要成分仍能保持稳定不变。然而，从环境保护的角度出发，对于局部污染严重地区，三废（废气、废渣、废水）的处理问题应引起足够的重视，必须采取切实可行的防护措施。

地面空气进入矿井以后即称为矿井空气。正常的地面空气进入矿井后，当其成分与地面空气成分相同或近似，符合安全卫生标准时，称为矿内新鲜空气。由于井下生产过程产生了各种有毒有害的物质，矿内空气成分发生一系列变化。其表现为：氧含量降低，二氧化碳量升高，并混入了矿尘和有毒有害气体（如 CO 、 NO_2 、 H_2S 、 SO_2 ），空气的温度、湿度和压力也发生了变化等。这种充满矿内巷道的各种气体、矿尘和杂质的混合物，统称为矿内污浊空气。

1.1.2 矿内空气主要成分及其性质

1.1.2.1 氧 (O_2)

氧气为无色、无味、无臭的气体,标准状况下的密度为 1.428kg/m^3 ,是空气密度的 1.11 倍。它是一种非常活泼的元素,能与很多元素起氧化反应,能帮助物质燃烧及供人和动物呼吸,是空气中不可缺少的气体。

当氧气与其他元素化合时,一般会发生放热反应,放热量取决于参与反应的物质的量和成分,而与反应速度无关。当反应速度缓慢时,所放出的热量往往被周围物质吸收,而无显著的热力学变化现象。

人体维持正常生命过程所需的氧气量与人的体质、精神状态和劳动强度等有关。一般人体需氧气量与劳动强度的关系如表 1-2 所示。休息时需氧量为 0.25L/min ,工作和行走时为 $1\sim 3\text{L/min}$ 。高原地区空气密度减小,处于高原地区的矿井内单位体积空气氧气含量也减小,单位时间内人呼吸的空气体积量有所增大。

空气中的氧少了,人们的呼吸就感到困难,严重时还会因缺氧而死亡。当空气中的氧减少到 17% 时,人们从事紧张的工作会感到心脏和呼吸困难;氧减少到 15% 时会失去劳动能力;减少到 10%~12% 时,会失去理智,时间稍长对生命就有严重威胁;减少到 6%~9% 时,会失去知觉,若不及时急救就会死亡。

我国《矿山安全规程》规定,矿内空气中氧含量不得低于 20%。

表 1-2 人体输氧量与劳动强度的关系

劳动强度	呼吸空气量/ $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$	氧气消耗量/ $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$
休息	6~15	0.2~0.4
轻	20~25	0.6~1.0
中度	30~40	1.2~2.6
重	40~60	1.8~2.4
极重	40~80	2.5~3.1

1.1.2.2 二氧化碳 (CO_2)

二氧化碳是无色气体,标准状况下的密度为 1.96kg/m^3 ,是空气密度的 1.52 倍,是一种较重的气体,很难与空气均匀混合,故常积存在巷道底部,在静止的空气中明显的分界。二氧化碳不助燃也不能供人呼吸,易溶于水,生成碳酸,使水溶液呈弱酸性,对眼、鼻、喉黏膜有刺激作用。

二氧化碳对人的呼吸有刺激作用。当肺气泡中二氧化碳增加 2% 时,人的呼吸量就增加 1 倍。人在快步行走和紧张工作时需要大口喘气,呼吸频率增大,就是因为人体内氧化过程加快后,二氧化碳生产量增加,使血液酸度加大,刺激神经中枢,从而引起呼吸加快。在对有毒气体(譬如 CO 、 H_2S)中毒人员进行急救时,最好首先使其吸入含 5% 二氧化碳的氧气,以增强肺部的呼吸。

当空气中二氧化碳浓度过大,造成氧浓度降低时,可以引起缺氧窒息。当空气中二氧化碳浓度达 5% 时,人就会出现耳鸣、无力、呼吸困难等现象;达到 10%~20% 时,人的

呼吸处于停顿状态，失去知觉，时间稍长就有生命危险。

我国《矿山安全规程》规定：有人工作或可能有人到达的井巷，二氧化碳浓度不得大于 0.5%；总回风流中，二氧化碳浓度不超过 1%。

1.1.2.3 氮气 (N₂)

氮气是一种惰性的无色无味气体，相对分子质量为 28，标准状态下的密度为 1.25kg/m³，是新鲜空气中的主要成分。氮气本身无毒、不助燃，也不供呼吸。但空气中含氮气的量升高，则势必造成氧气含量相对降低，从而也可能造成人员的窒息性伤害。正因为氮气具有惰性，因此可将其用于井下防火、灭火和防止瓦斯爆炸。

除了空气本身含氮气外，矿井空气中氮气的主要来源是井下爆破和生物的腐烂，煤矿中有些煤层中也有氮气涌出，但金属、非金属矿床一般没有氮气涌出。

1.2 矿内空气中常见的有毒有害气体

金属矿山井下常见的对安全生产威胁最大的有毒有害气体有一氧化碳 (CO)、二氧化氮 (NO₂)、二氧化硫 (SO₂)、硫化氢 (H₂S) 等。

1.2.1 有毒气体的来源

(1) 爆破时所产生的炮烟。炸药在井下爆炸后会产生大量的有毒有害气体，种类和数量与炸药的性质、爆炸条件及介质有关。在一般情况下，产生的主要成分大部分为一氧化碳和氮氧化物。如果将爆破后产生的二氧化氮，按 1L 二氧化氮折合 6.5L 一氧化碳计算，则 1kg 炸药爆破后产生的有毒气体（相当于一氧化碳量）为 80~120L。

(2) 柴油机工作时产生的废气。柴油机的废气成分很复杂。它是柴油在高温高压下燃烧时所产生的各种有毒有害气体的混合物。一般情况下有氮氧化物、含氧碳氢化合物、低碳氧化物、油烟等，但其中的主要成分为氧化氮、一氧化碳、醛类和油烟等。柴油机排放的废气量由于受各种因素影响变化较大，没有统一的标准。在 1975 年冶金部召开的废气净化座谈会上，提出了坑内矿用柴油机废气排放指标，如表 1-3 所示。当管理不善时，柴油机释放的废气往往超过上述指标，恶化井下空气。

表 1-3 坑内柴油机废气排放指标

(g/kW·h)

成 分	135 系列柴油机	105 系列柴油机
CO	10.06	10.06
NO _x	6.71	8.05
CH	1.34	1.34

(3) 硫化矿物的氧化。在开采高硫矿床时，由于硫化矿物缓慢氧化，除产生大量的热外，还会产生二氧化硫和硫化氢气体，如



在含硫矿岩中进行爆破工作,或硫化矿尘爆炸,以及坑木腐烂和硫化矿物水解,都会产生硫化气体(SO_2 、 H_2S)。

(4) 井下火灾。当井下失火引起坑木燃烧时会产生大量一氧化碳,如一架棚子(直径为180mm、长2.1m的立柱两根和长2.4m横梁一根,体积为 0.17m^3)燃烧所产生的的一氧化碳约为 97m^3 ,这么多的一氧化碳足以使断面为 $4\sim 5\text{m}^2$ 的巷道在2km长范围以内的空气中一氧化碳含量达到致命的浓度。

在煤矿中瓦斯和煤尘爆炸也会产生大量的一氧化碳,往往成为重大死亡事故的主要原因。

1.2.2 各种有毒气体的性质

1.2.2.1 一氧化碳(CO)

一氧化碳是无色、无味、无臭的气体,标准状态下的密度为 $1.25\text{kg}/\text{m}^3$,是空气密度的0.97倍,故能均匀地散布于空气中,不用特殊仪器不易察觉。一氧化碳微溶于水,一般化学性质不活泼,但浓度在13%~75%时能引起爆炸。

一氧化碳极毒,当空气中一氧化碳浓度为0.4%时,人在很短时间内就会失去知觉,抢救不及时就会中毒死亡。

日常生活中的“煤气中毒”就是一氧化碳中毒。一氧化碳的毒性大是因为:人体的血液中的血红素专门在肺部吸收空气中的氧气以维持人体的需要,但血红素有另外一种特性,就是它与一氧化碳的亲合力超过它与氧的亲合力的250~300倍。因此,当人体吸入含一氧化碳的空气后,一氧化碳会很快与血红素结合,大大降低血红素吸收氧的能力,使人体各部分组织和细胞产生缺氧现象,引起窒息和血液中毒,严重时造成死亡。

一氧化碳的中毒程度和中毒快慢与下列因素有关:

(1) 空气中一氧化碳的浓度。人处于静止状态时,CO浓度与人中毒程度关系如表1-4所示。

表 1-4 一氧化碳浓度与人体中毒程度的关系

中毒程度	中毒时间	CO 浓度/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	CO 浓度 体积分数/%	中毒症状
无征兆或有轻微征兆	数小时	0.2	0.016	不明显
轻微中毒	1h 以内	0.6	0.048	耳鸣、心跳、头昏、头痛
严重中毒	0.5~1h	1.6	0.128	头痛、耳鸣、心跳、四肢无力、哭闹、呕吐
致命中毒	短时间内	5.0	0.400	丧失知觉、呼吸停顿

(2) 与含有一氧化碳的空气接触时间。接触时间愈长,血液内一氧化碳量就愈大,中毒就愈深。

(3) 呼吸频率与呼吸深度。人在繁重工作或精神紧张时,呼吸急促,频率高,呼吸深度也大,中毒就快。

(4) 与人的体质和体格有关。在经常处于一氧化碳略微超过允许浓度的条件下工作时,虽然短时间不会发生急性病兆,但是由于血液和组织长期轻度缺氧,以及对神经中枢的伤害,会引起头痛、胃口不好、记忆力衰退及失眠等慢性中毒病症。

我国《矿山安全规程》规定：矿内空气中一氧化碳浓度不得超过 0.0024% (24×10^{-6})，按密度计算不得超过 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 。爆破后，在通风机连续运转条件下，一氧化碳的浓度降至 0.02% 时，就可以进入工作面了。

1.2.2.2 氮氧化物 (NO_x)

炸药爆炸可产生大量的一氧化氮和二氧化氮，其中的一氧化氮极不稳定，遇空气中的氧即转化为二氧化氮。

二氧化氮是一种褐红色有强烈窒息性的气体。标准状态下的密度为 $2.05\text{kg}/\text{m}^3$ ，是空气密度的 1.59 倍，易溶于水而生成腐蚀性很强的硝酸。所以它对人的眼、鼻、呼吸道及肺组织有强烈腐蚀作用，对人体危害最大的是破坏肺部组织，引起肺水肿。

二氧化氮中毒后有较长的潜伏期，初期没有什么感觉（经过 4~12h，甚至 24h 以后才发生中毒征兆），即使在危险的浓度下，初期也只是感觉呼吸道受刺激，之后开始咳嗽吐黄痰，呼吸困难，以致很快死亡。

当空气中二氧化氮浓度为 0.004% 时，2~4h 还不会引起中毒现象；当浓度为 0.006% 时，就会引起咳嗽、胸部发痛；当浓度为 0.01% 时，短时间内对呼吸器官就有很强烈的刺激作用，出现咳嗽、呕吐、神经麻木等症状；当浓度为 0.025% 时，就很快使人窒息死亡。

我国《矿山安全规程》规定：二氧化氮浓度不得超过 0.00025% (2.5×10^{-6})。

1.2.2.3 硫化氢 (H_2S)

硫化氢是一种无色有臭鸡蛋味的气体。标准状态下的密度为 $1.52\text{kg}/\text{m}^3$ ，是空气密度的 1.17 倍，易溶于水。通常情况下，1 个体积的水中能溶解 2.5 个体积的 H_2S ，故它常积存于巷道的积水中。硫化氢能燃烧，当浓度达到 6% 时具有爆炸性。

硫化氢具有很强的毒性，能使血液中毒，对眼睛黏膜及呼吸道有强烈的刺激作用。当空气中硫化氢的浓度达到 0.01% 时，就能使人嗅到气味，流唾液、流清鼻涕；达到 0.05% 时，经过 0.5~1h 就能引起严重中毒；达到 0.1% 时，在短时间内就会有生命危险。

我国《矿山安全规程》中规定：井下空气中硫化氢含量不得超过 0.00066% (6.6×10^{-6})。

1.2.2.4 二氧化硫 (SO_2)

二氧化硫是一种无色、有强烈硫黄味的气体，易溶于水，标准状态下的密度为 $2.86\text{kg}/\text{m}^3$ ，是空气密度的 2.2 倍，常存在于巷道的底部，对眼睛有强烈刺激作用。

二氧化硫与水蒸气接触会产生硫酸，对呼吸器官有腐蚀性，使喉咙和支气管发炎，呼吸麻痹，严重时引起肺水肿。当空气中二氧化硫含量为 0.0005% 时，嗅觉器官就能闻到刺激味； 0.002% 时，有强烈的刺激味，可引起头痛和喉痛； 0.05% 时，引起急性支气管炎和肺水肿，短时间内即死亡。

我国《矿山安全规程》规定：空气中二氧化硫含量不得超过 0.0005% (5×10^{-6})。

1.2.3 有毒气体中毒时的急救

当井下工作人员遇到有毒气体中毒或缺氧时应立即抢救，以便及早脱离危险，保障其生命安全。

中毒时的急救措施如下：

- (1) 立即将中毒者移至新鲜空气处或地表。
- (2) 将患者口中一切妨碍呼吸的东西(如假牙、黏液、泥土)除去,将衣领及腰带松开。
- (3) 使患者保暖。
- (4) 为排除患者体内的毒物,应给患者输氧。当一氧化碳、硫化氢中毒时,最好在纯氧中加5%的二氧化碳,以刺激呼吸中枢神经,增强呼吸能力,促使毒气排出体外。当二氧化硫和二氧化氮中毒时,进行人工呼吸应特别注意,因为患者中毒后会引起肺水肿,所以施行人工呼吸时应尽量避免刺激患者的肺部,以免加剧肺部水肿,特别是二氧化氮中毒时,只能用拉舌头的人工呼吸法刺激神经引起呼吸,并在喉部注入碱性溶液(NaHCO_3 小苏打水),以减轻肺水肿现象。
- (5) 硫化氢中毒时,可用浸有漂白粉溶液的棉花或手帕放在患者的嘴或鼻旁以吸入解毒,眼部可用硼酸水冲洗。

1.2.4 有毒气体的测定

有毒气体测定方法很多,因有毒气体对人危害甚大,应以快速准确的测定方法为宜,现场广为采用的测定方法为检定管快速测定法。

检定管快速测定法使用的仪器有检定管、抽气唧筒和秒表。

检定管检定各种有害气体的原理,是根据待测气体与检定管中的指示剂发生化学变化后变色的深浅或长度来确定。以变色深浅来确定有毒气体浓度者为比色法,以变色长度确定浓度者为比长法。指示剂是根据所测有毒气体的性质来配制。目前我国多使用比长法,所生产的检定管有测一氧化碳、硫化氢、二氧化氮、氧气等数种比长式检定管。

如图1-1所示,用以采集试样的抽气唧筒容积为50mL。活塞杆上每5mL刻有刻度,有一个三通开关。当开关把手在水平位置时入口与唧筒相通;当把手在垂直位置时,唧筒与出口相通。

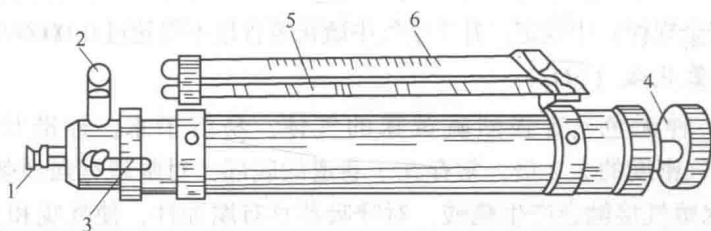


图 1-1 抽气唧筒

- 1—气体入口; 2—检定管插孔; 3—三通阀阀把;
4—活塞杆; 5—比色板; 6—温度计

测定步骤:

- (1) 将检定管玻璃封口锯开,插在抽气唧筒出口上;
- (2) 将唧筒的三通开关转到水平位置,抽取50mL待测定气体;
- (3) 将三通开关转到垂直位置,用100s时间缓慢压送唧筒内待测气体,使之均匀通过检定管。此时管中指示剂起化学反应,改变颜色,将颜色变化的深浅与标准比色板相