

中等专业学校教学用书



金属矿井 通风防尘

(修订版)

冶金工业出版社

HONGDENG ZHUANYE

QUXIAO JIAOXUE YONGSHU

TD72
5=2
3

中等专业学校教学用书

金属矿井通风防尘

(修订版)

昆明冶金工业学校 周洵远 主编

冶金工业出版社

B 595317



中等专业学校教学用书

金属矿井通风防尘

(修订版)

昆明冶金工业学校 周洵远 主编

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷30号)

新华书店总店科技发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 10 1/2 字数 246 千字

1980年6月第一版 1989年5月第二版

1989年5月第四次印刷

印数19,301~23,000册

ISBN 7-5024-0478-3

TD·84(课)定价1.90元



第一版前言

本书系根据一九七八年冶金工业部制订的中等专业学校金属矿床地下开采专业教学计划编写的。本书主要分析影响矿内空气变化的因素，阐述矿内空气运动的基本规律和通风技术，以及矿井防尘技术措施、矿井通风设计等基本知识。本书还对复杂通风网路的解算及扇风机联合工作等难点作了简要的分析，并反映了一些国内通风防尘的先进技术。

本书为冶金中等专业学校金属矿床地下开采专业的教学用书，也可供高等学校学生及现场工作人员参考。

本书由昆明冶金工业学校周洵远主编，徐石铮参加编写。在编写过程中曾得到沈阳有色金属工业学校、吉林冶金工业学校、长沙冶金工业学校和东北工学院、昆明工学院以及云南锡业公司的大力支持，在此表示感谢。

编者

一九七九年四月

修 订 版 前 言

本书于一九八〇年出版以来，矿井通风防尘的理论及技术已有了新的发展。通过几年的教学实践，各兄弟学校提出了很多宝贵意见。近年来国家又要求使用法定计量单位，所以需要原书充实及改进。

本书经过修订，在章节安排上作了调整，全书共分为十一章，在基本理论及其应用方面有了充实，补充了电子计算机解算通风网路及新型节能扇风机等内容，仍然以分析影响矿内空气变化的因素，阐述矿内空气运动的基本规律和通风技术、矿井防尘技术措施、矿井通风设计等方面作为本书的基本内容；对复杂通风网路解算、电子计算机应用、扇风机特性及其联合工作等作了简要说明，以便读者阅读时易于突破难点。

考虑到原使用的工程单位制在相当一段时期还会出现，为了适应读者的工作需要，本书以法定单位为主，并注意两种单位之间的换算及其应用。

全书内容的深度及广度，注意了中等专业学校的特点及要求。使用本书时，配合课堂教学应做必要的实验及习题；在进行基本理论教学的同时，应注意测定、作图、设计及分析问题方面的训练，以便学生毕业后能尽快适应现场工作的需要。

本书由昆明冶金工业学校周洵远主编，其中第一、九、十一章由徐石铮编写。修订初稿完成后，由长沙有色金属专科学校、吉林冶金工业学校、福建冶金工业学校、太原钢铁学校及广州有色金属学校的有关教师共同审稿，提出很多宝贵意见，特此感谢。

我们诚恳地希望读者指出本书的错误及缺点。

编 者

一九八八年一月

目 录

第一章 矿内大气	1
第一节 矿内空气的主要成分及其变化	1
第二节 矿内空气中的主要有毒气体	2
第三节 放射性元素产生的有害物质	5
第四节 矽尘及其危害	7
第五节 矿内气候条件	7
第六节 有毒气体、空气含尘量和气候条件的检查	9
第七节 小结	13
第二章 矿井风流的压力	15
第一节 矿井风流的压力	15
第二节 矿井通风的压差	17
第三节 伯努里方程式在矿井通风中的应用	20
第四节 矿内空气压力的测定	23
第三章 矿井风流的阻力	29
第一节 阻力定律	29
第二节 矿井通风阻力	30
第三节 矿井风阻特性曲线及等积孔	34
第四节 降低矿井风阻的措施	35
第五节 风速的测定	36
第六节 矿井巷道摩擦阻力系数的测定	38
第四章 矿井风流的自然分配	41
第一节 串联通风网路	41
第二节 并联通风网路	42
第三节 角联通风网路	45
第四节 矿井通风网路风量自然分配的总规律	47
第五节 复杂通风网路解算	48
第六节 用电子计算机解算通风网路	52
第五章 自然通风	57
第一节 矿井自然风流的形成	57
第二节 自然压差的计算	57
第三节 自然压差的测定	59
第四节 自然压差的特性	60
第六章 矿井扇风机	62
第一节 扇风机的类型、构造及工作原理	62
第二节 扇风机的特性	63
第三节 扇风机的联合工作	67
第四节 扇风机的风量调整	69
第五节 自然通风及漏风对扇风机工作的影响	69

第七章 矿井风流的管理	72
第一节 矿井风量的调节	72
第二节 通风构筑物	76
第三节 矿井风流的管理	79
第四节 矿井通风图的绘制	82
第八章 掘进工作面通风	87
第一节 局部通风方法	87
第二节 风筒	91
第三节 局扇通风设计	92
第九章 矿井通风设计	97
第一节 矿井通风设计的任务与内容	97
第二节 通风系统的拟定	98
第三节 工作面需风量计算	104
第四节 风量分配及调节	109
第五节 全矿总压差计算	111
第六节 主要扇风机的选择	113
第七节 矿井通风费用的预算	114
第八节 铀矿井排氡风量计算	115
第九节 自燃发火矿井的通风特点	116
第十节 矿井风流的预热及冷却	117
第十章 矿井通风系统的检查	121
第一节 衡量矿井通风系统效果的标准	121
第二节 风量实测	123
第三节 压差测量	124
第四节 扇风机效率实测	129
第十一章 矿井防尘	131
第一节 粉尘的性质	131
第二节 凿岩防尘	133
第三节 爆破防尘	134
第四节 装岩防尘	138
第五节 溜井防尘	138
第六节 风流净化	139
第七节 防尘供水	140
第八节 通风除尘	143
第九节 防尘口罩	144
附录	147
参考文献	160

第一章 矿内大气

第一节 矿内空气的主要成分及其变化

矿内空气来源于地面空气。地面空气主要由氧 (O_2)、氮 (N_2) 和二氧化碳 (CO_2) 所组成。这些气体在空气中各占百分比为:

	按体积	按重量
氧	20.96%	23.28%
氮	79.00%	76.64%
二氧化碳	0.04%	0.08%

此外, 还含有微量的水蒸气、微生物和灰尘等, 这些物质仅在城市或工业中心等局部地区变化较大, 但不影响整个地面的空气组成, 所以不包括在地面空气的组成成分之内。矿井通风学中, 普遍使用体积百分比的表示方式。

地面空气进入矿井后, 在成分上将发生一系列的变化, 如氧含量减少, 混入各种有害气体和矿尘; 空气温度、湿度和压力也发生变化。

可见, 地面空气与矿内空气是有区别的。但是, 若矿内空气的成分与地面空气相近似时 (如进风巷道中的风流) 称为新鲜风流; 反之称为污浊风流或废风 (如回风道中的风流)。

矿内空气的主要成分是:

一、氧 (O_2)

O_2 是一种无色、无味、无臭的气体, 和空气相比, 它的比重是1.11。它的化学性质很活泼, 几乎能与所有的气体化合, 易使其他物质氧化, 是人与动物呼吸和物质燃烧不可缺少的气体。

人对氧的需要量是随人的体质强弱及劳动强度大小而定; 休息时, 所需的氧量不少于 $0.25L/min$; 在行走和劳动时, 所需氧量为 $1\sim 3L/min$ 。

空气中含氧量减少时人体的反应如表1-1所列。

空气中含氧量减少时人体的反应

表 1-1

空气中含氧量 (%)	人 体 的 反 应
17	静止时无影响, 但工作时能引起喘息, 呼吸困难
15	呼吸及脉搏跳动急促, 感觉及判断能力减弱, 失去劳动能力
10~12	失去理智, 时间稍长即有生命危险
6~9	失去知觉, 呼吸停止, 心脏在几分钟内尚能跳动, 不进行急救会导致死亡

因此, 井下工作地区必须供给含有足够氧气的新鲜空气。我国矿山安全规程规定: 在总进风和采掘工作面进风中, 按体积计算, 氧气体积不得低于20%。

二、二氧化碳 (CO_2)

CO_2 是一种无色略带酸臭味的气体, 俗称碳酸气, 比重1.52, 容易聚集在巷道底部或

下山盲巷没有风流的地方；不助燃、不能供呼吸，易溶于水。

二氧化碳对人的呼吸有刺激作用，当人体内二氧化碳增多时，能刺激人的呼吸神经中枢，而引起频繁的呼吸，使人的需氧量增加。另外，井下空气中二氧化碳浓度过大时，又会使氧含量相对减少，使人中毒或窒息。

空气中二氧化碳含量增高对人体的影响如表1-2所列。

空气中二氧化碳含量变化对人体的影响

表 1-2

空气中二氧化碳含量 (%)	人 体 的 反 应
1	呼吸感到急促
3	呼吸量增加两倍，并很快感到疲劳
5	呼吸感到困难、耳鸣，血液流动很快（太阳穴跳动快）
6	发生严重的喘息，极度虚弱无力
10	头晕，很快处于昏迷状态
10~20	呼吸处于停顿状态，失去知觉
20~25	中毒死亡

为了防止二氧化碳的危害，安全规程规定：在总进风和采掘工作面进风中，按体积计算，二氧化碳不得超过0.5%；在总回风中不得超过0.75%。

三、氮 (N_2)

N_2 是一种无色、无味、无臭的气体，比重0.97，既不助燃，也不能供人呼吸。在正常情况下，氮对人体无害，但当空气中氮含量增加时，会使氧气含量相对减少，而使人窒息。在通风正常的巷道中氮含量一般变化不大。

综上所述，地表空气的主要成分是氧、二氧化碳及氮。空气进入矿井后，其成分会发生变化。由于在矿井里，矿岩及木材等不断缓慢氧化，消耗大量氧气，并产生二氧化碳，因此，主要是氧减少及二氧化碳增加。在矿内通风不好的地方，尤其是火区及采空区附近以及有二氧化碳放出的独头巷道，氧的含量可能会降到1~3%。所以在进入这些巷道前应该进行检查，否则冒然进入将会遭到窒息死亡的危险。已经停止通风的旧巷，未经检查决不允许进入，以免发生二氧化碳中毒窒息事故。

第二节 矿内空气中的主要有毒气体

一、爆破及内燃设备产生的主要有毒气体

爆破是矿山生产的主要作业之一。爆破后不能立即进入工作面，因为现代各种工业炸药的爆破分解都是建立在可燃物质（如碳、氢、氧等）气化的基础上。当炸药爆炸时，除产生水蒸气和氮外，还产生二氧化碳、一氧化碳、氮氧化物等有毒有害气体，统称为炮烟。它会直接危害矿工的健康和安全。

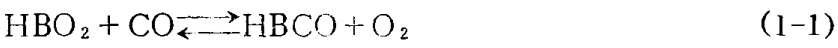
井下使用柴油动力的无轨设备能使劳动生产率大大提高，但必须解除柴油机排出的废气对矿工的危害。因为柴油是由碳（按重量85~86%）、氢（13~14%）和硫（0.05~0.7%）组成，柴油的燃烧一般不是理想的完全燃烧，产生很多局部氧化和不燃烧的东西。所以，柴油机排出的废气是各种成分的混合物，其中以氮氧化物（主要是一氧化氮和二氧化氮）、一氧化碳、醛类和油烟等四类成分含量较高，毒性较大，是柴油机废气中的主要有害成分。一般柴油机废气中的氮氧化物浓度按体积为0.005~0.025%，一氧化碳浓度

为0.016~0.048%。所以应进一步了解一氧化碳和氮氧化物的特点，才能清楚地知道它们的危害及其预防方法。

1. 一氧化碳 (CO) CO是一种无色、无味、无臭的气体，比重0.97。由于一氧化碳与空气重量相近，易于均匀散布在巷道中，若不用仪器测定很难察觉。一氧化碳不易溶解于水，在通常的温度和压力下，化学性质不活泼。

一氧化碳是一种性质极毒的气体，在井下各种中毒事故中所占的比例较大。一氧化碳性质极毒是由于它与人体血液中血色素的结合力比氧大250~300倍，也就是说血液吸收一氧化碳的速度比氧快250~300倍。当人体吸入的空气含有一氧化碳时，那么血液就要多吸收一氧化碳，少吸入以致不吸入氧气。这样人体内循环的不是氧素血色素 (HBO₂) 而是碳素血色素 (HBCO)，使人患缺氧症。当血液中一氧化碳达到饱和时就完全失去输送氧的能力，使人死亡。

但是，氧气、一氧化碳与血色素之间的反应是可以相互转化的，如下式



这说明空气中一氧化碳含量过高会妨碍人体吸收氧；反之，有足够的氧气也会排出人体内的一氧化碳。因此一氧化碳中毒时只要吸入新鲜空气就会减轻中毒的程度，所以对一氧化碳中毒者尽快地转移到新鲜风流中进行人工呼吸，仍可得救。一氧化碳含量对人体的影响如表1-3所列。

空气中不同的一氧化碳浓度对人体的影响

表 1-3

一氧化碳浓度		人 体 的 反 应
mg/L	体积(%)	
0.2	0.016	连续呼吸数小时，人感到耳鸣、头痛等；当吸入新鲜空气后，即恢复正常
0.6	0.048	连续呼吸1h，就会感到耳鸣、头痛，心跳
1.6	0.128	连续呼吸0.5~1h，四肢无力、呕吐、感觉迟钝、丧失行动能力
5.0	0.4	连续呼吸20~30min，丧失知觉，呼吸停顿，以致死亡
12.5	1.0	1~2min即死亡

由于一氧化碳的毒性很大，安全规程规定：井下作业地点(不采用柴油设备的矿井)，空气中一氧化碳浓度不得超过0.0024%，按重量计不得超过0.03mg/L。这个规定的允许浓度比表1-3所列的有轻微症状的中毒浓度还有几倍的安全系数，这主要考虑到人在这样的环境下从事劳动也不致中毒和受到伤害。但爆破后，在扇风机连续运转不断送入新鲜风流的情况下，一氧化碳浓度降到0.02%时就可以进入工作面。使用柴油设备的矿井一氧化碳应小于0.005%。

若经常在一氧化碳浓度超过允许浓度的环境中工作，虽然短时期内不会发生急性病状，但由于血液长期缺氧和中枢神经系统受到伤害，就会引起头痛、眩晕，胃口不好，全身无力，记忆力衰退，情绪消沉及失眠等慢性中毒。

还应注意到，发生井下火灾时，由于井下氧气供应不充分，会产生大量的一氧化碳。

2. 氮氧化物 (NO、NO₂) 爆破后和柴油机废气中都有大量的一氧化氮 (NO) 产生，一氧化氮是极不稳定的气体，遇到空气中的氧即转化为二氧化氮 (NO₂)。

二氧化氮是一种褐红色的气体，比重1.57，具有窒息气味，极易溶解于水；二氧化氮遇水后生成硝酸，对人的眼、鼻、呼吸道和肺部都有强烈的腐蚀作用，以致破坏肺组织而

引起肺部水肿。

二氧化氮中毒的特点是起初无感觉，往往要经过6~24h后才出现中毒征兆。即使在危险浓度下，起初也只感觉呼吸道受刺激、咳嗽，但经过6~24h后，就会发生严重的支气管炎、呼吸困难、吐黄痰、发生肺水肿、呕吐等症状，以致很快死亡。空气中不同的二氧化氮浓度对人体的影响如表1-4所列。

空气中不同的二氧化氮浓度对人体的影响 表 1-4

二氧化氮浓度		人 体 的 反 应
mg/L	体积 (%)	
0.08	0.004	经过2~4h还不会引起显著的中毒现象
0.12	0.006	短时间呼吸道有刺激作用，咳嗽、胸痛
0.20	0.01	短时间呼吸器官受到强烈刺激作用，剧烈咳嗽，声带痉挛性收缩，呕吐，神经系统麻木
0.51	0.025	短时间内死亡

为了防止二氧化氮的毒害，安全规程规定：井下作业地点（不采用柴油设备的矿井）空气中二氧化氮的浓度不得超过0.00025%（换算为N₂O₅的氮氧化合物为0.0001%），按重量计不得超过0.005mg/L；使用柴油设备的矿井二氧化氮应小于0.0005%。

3. 一氧化碳和二氧化氮中毒时的急救 从一氧化碳和二氧化氮的特性可以看出，二者都是毒害很大的气体，又同时产生在爆破后和柴油机排出的废气中，但由于它们对人体中毒的部位不同，在对中毒伤员进行急救时应加以区别对待。一氧化碳中毒，呼吸浅而急促，失去知觉时面颊及身上有红斑；嘴唇呈桃红色；对中毒伤员可施用人工呼吸及苏生输氧，输氧时可参入5~7%的二氧化碳以兴奋呼吸中枢促进恢复呼吸机能；口服生萝卜汁有解毒作用。二氧化氮中毒，突出的特征是指尖、头发变黄，另外还有咳嗽、恶心、呕吐等症状。因为二氧化氮中毒时，往往发生肺水肿，所以切忌采用人工呼吸，以免加剧肺水肿的发展。可用拉舌头刺激神经引起呼吸，或在喉部注入碱性溶液——NaHCO₃，以减轻肺水肿现象。当必须用苏生输氧时，也只能输入不含二氧化碳的纯氧，以免刺激肺器官。最好是在苏生器供氧的情况下，让中毒伤员自行呼吸。

二、含硫矿床产生的主要有毒气体

在开采含硫矿床的矿井里，眼和鼻会有特殊的感觉，这是因为硫化矿物被水分解产生的硫化氢和含硫矿物的缓慢氧化、自燃和爆破作业等产生的二氧化硫所引起的。

1. 硫化氢（H₂S） H₂S是一种无色的气体，比重1.19，具有臭鸡蛋及微甜味，当空气中含量为0.0001~0.0002%时，可以明显地感到它的臭味；易溶解于水，能燃烧；性极毒，能使人体血液中毒，并对眼膜和呼吸系统有强烈的刺激作用。不同的硫化氢浓度对人体的影响如表1-5所列。

安全规程规定，矿内空气中硫化氢的含量不得超过0.00066%。

应该注意到，硫化氢容易出现在一些老硐中。由于它的比重大，易溶解于水，很容易聚集在老硐的水塘中；若被搅动，就有放出的危险。

2. 二氧化硫（SO₂） SO₂是无色的气体，具有强烈的烧硫磺味，比重2.2，易溶解于水，对眼有刺激作用；与呼吸道潮湿的表皮接触后能产生硫酸，对呼吸器官有腐蚀作用，使喉咙支气管发炎，呼吸麻痹，严重时引起肺水肿。所以二氧化硫中毒的伤员也不能进行

人工呼吸。不同的二氧化硫浓度对人体的影响如表1-6所列。

空气中不同的硫化氢浓度对人体的影响 表 1-5

硫化氢的浓度		人 体 的 反 应
mg/L	体积 (%)	
0.14	0.01	数小时后发生轻度中毒，流唾液和清鼻涕，瞳孔放大，呼吸困难 1h后昏迷头痛，呕吐，四肢无力 30min到1h失去知觉，痉挛，脸色发白，不急救便死亡 很快有死亡的危险
0.28	0.02	
0.7	0.05	
1.4	0.10	

空气中不同的二氧化硫对人体的影响 表 1-6

二氧化硫浓度		人 体 的 反 应
mg/L	体积 (%)	
0.014	0.0005	嗅觉器官感到刺激味 对眼睛和呼吸器官有强烈的刺激，引起眼睛红肿、流泪、咳嗽、头痛、喉痛等现象 引起急性支气管炎，肺水肿，短期内中毒死亡
0.057	0.002	
1.43	0.05	

安全规程规定，矿内空气中二氧化硫不得超过0.0005%。

在矿石含硫量超过15~20%的矿井里，一氧化碳和二氧化硫含量不断增加，是矿石自燃火灾的主要征兆之一。

3. 硫化氢、二氧化硫中毒时的急救 硫化氢中毒，除施行人工呼吸或苏生输氧外，可用浸过氯水溶液的棉花或毛巾放在嘴和鼻旁，因氯是硫化氢的良好解毒物。二氧化硫中毒可能引起肺水肿，故应避免用人工呼吸；当必须用苏生输氧时，也只能输入不含二氧化碳的纯氧。

外部器官受硫化氢、二氧化硫刺激时，眼睛可用1%的硼酸水或明矾溶液冲洗，喉咙可用苏打溶液、硼酸水及盐水漱口。

第三节 放射性元素产生的有害物质

一、氡及其危害

自然界存在着很多放射性元素，它们在不断地进行衰变，并不断放出 α 、 β 、 γ 射线。一种原子核放出射线后，变成另一种原子核，称为放射性衰变。现已查明，自然界存在铀、钍、镭三个衰变系，它们都有一个在常温常压下以气体形式存在的放射性元素，其中铀系中的氡容易对井下工作人员造成危害。

地壳中铀的含量大约是百万分之三，有的富集成具有开采价值的铀矿。铀几乎在所有的岩石中都能找到它的踪迹，在井下空气中也会出现浓度相当高的氡。所以认为只有在铀矿井才需要防氡的看法是片面的。

放射性原子数因衰变而减少到原来的一半所需要的时间叫做半衰期，如铀的半衰期是45亿年。铀经过一系列衰变为镭，镭的半衰期是1620a；镭又继续衰变为钍，钍的半衰期为3.825d；钍又继续按下述规律衰变： $\text{钍} \xrightarrow{3.825\text{d}} \text{镭}_A \xrightarrow{3.05\text{min}} \text{镭}_B \xrightarrow{26.8\text{min}} \text{镭}_C \xrightarrow{19.7\text{min}} \text{镭}_D \xrightarrow{1.6 \times 10^{-4}\text{s}} \text{镭}_E \xrightarrow{22\text{a}} \text{铅}$ 。钍的衰变产物从镭_A到镭_E，半衰期都比较短，称为钍的短寿命子体。

氡是一种惰性气体，对人体无直接危害，但氡子体是呈固体微粒形式，大小为 $0.001 \sim 0.05 \mu\text{m}$ ，有一定的荷电性，具有很强的附着能力，因此在空气中很容易与粉尘结合形成“放射性气溶胶”。被吸入人体后，氡及其子体继续衰变放出 α 射线，长期作用能使支气管和肺组织产生慢性损伤，引起病变，故认为它是产生矿工肺癌的原因之一。

实践说明，即使在铀矿山， γ 射线对人体的外照射也很弱。所谓矿井的放射性防护，是针对被吸入人体的氡及其子体所放射的 α 射线的内照射而言。

二、矿内大气中氡的来源

岩石中普遍存在着铀，铀不断地衰变，不断产生氡气，并从岩石的裸露表面进入空气中。所以在含铀品位不变的情况下，岩石的自由面越多，析出的氡也就越多。实践说明，在一些通风不好的非铀矿井，岩石裂隙及有大量的充填料（未填实）的采空区中，往往也存在着高浓度氡。当矿内气压低于岩石裂隙及采空区的气压时，氡就进入矿内大气中。

氡在水中的溶解度不大，但由于岩石裂隙中存在高浓度的氡，使地下水中溶解大量的氡，一经流入矿井，氡便从水中析出。

采矿及掘进都在不断地破碎矿岩。随着矿岩裸露面的增加，也增加了矿井的氡析出量。

三、氡及氡子体的最大允许浓度

量度放射性物质的“多少”用的单位曾经使用居里（Ci）。每一升空气中有 1×10^{-10} Ci的氡称其浓度为1艾曼。所以，1艾曼等于 1×10^{-10} Ci/L。1Ci为每秒钟有 3.7×10^{10} 次原子核衰变，所以一艾曼为每一升空气中，在一秒钟内有3.7次衰变。

氡在封闭的情况下，3h后所衰变成的氡子体与氡的放射性能量达到平衡。在与一艾曼的氡平衡时所有的氡的短寿命子体全部衰变而释放的 α 粒子能量的总和叫做一个“工作水平”，其能量为 $1.3 \times 10^5 \text{MeV/L}$ ，以WL表示。

我国制订的《放射性防护规定》中指出，矿山井下工作场所空气中氡及其子体最大允许浓度如下：

氡： $1 \times 10^{-10} \text{Ci/L}$

氡子体的 α 潜能值： $4 \times 10^4 \text{MeV/L}$ ，通常又以国标(GB)来表示，即 $4 \times 10^4 \text{MeV/L} = 1\text{GB}$ 。

按照我国法定计量单位（亦即国际单位制）的规定，以“贝可[勒尔]”作为放射性强度的单位名称，其符号为Bq。1Bq就是表示每秒有一次原子衰变。以“焦[耳]”作为能量单位，其符号为J。因为

$$1\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$$

$$1\text{eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{J}$$

所以

$$1\text{艾曼} = 1 \times 10^{-10} \text{Ci/L}$$

$$= 3.7 \text{kBq/m}^3$$

$$1\text{GB} = 4 \times 10^4 \text{MeV/L}$$

$$= 6.4 \mu\text{J/m}^3$$

这样就可以理解为：矿山井下工作场所中，氡及其子体的最大允许浓度为：

氡： 3.7kBq/m^3 。

氡子体的 α 潜能值为： $6.4 \mu\text{J/m}^3$ 。国际放射防护委员会（ICRP）于1981年推荐空气

中氡子体浓度的限值为 $8.3\mu\text{J}/\text{m}^3$ 。

第四节 矽尘及其危害

在凿岩、爆破、运输及破碎岩石过程中会产生大量矿尘。含游离二氧化矽超过10%的矿尘叫矽尘。随空气进入呼吸道的粉尘，小于 $5\mu\text{m}$ 的粉尘进入肺细胞后，被吞噬细胞捕捉并排出体外。若进入肺细胞的是矽尘，一部分被排出体外；余下的由于其毒性作用，破坏了吞噬细胞的正常机能，使细胞逐渐变性坏死，肺失去弹性，这就是人们常说的矽肺病。所以 $0.1\sim 5\mu\text{m}$ 的矽尘是最有害的，称之为呼吸性粉尘。

影响矽肺病发生和发展的因素有粉尘含游离二氧化矽的多少、粉尘粒度、空气含尘量、人接触含尘空气的时间以及人的体质等。诸因素中空气含尘量是主要因素。

为了保证工人的健康，安全规程规定：地下矿山（无论粉尘中游离二氧化矽含量在10%以上或以下），作业场所空气中粉尘的最高允许浓度为 $2\text{mg}/\text{m}^3$ ；进风巷道与采掘工作面的风源含尘量不得大于 $0.5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

实践已经说明，我国许多矿山，认真贯彻执行“安全生产”和“预防为主”的方针，坚持湿式作业及有效通风，在防止矽尘危害方面，取得了显著的成效。实践表明，只要长期坚持“风水为主”的八字综合防尘措施及“预防为主”的方针，就能达到国家规定的卫生标准，矽肺病的发生和发展是可以控制的。

第五节 矿内气候条件

不论在工作或休息时，人体都在不断地产生热量和散发热量以保持热平衡。劳动强度越大，散发的热量就越多。若热量不能充分散发，会感到闷热；体内积热严重，会中暑。反之，人体过量散热会导致感冒。只有当人体产生的热量与散发的热量相平衡，使体温保持在 $36.5\sim 37^\circ\text{C}$ 时，才是最合理的外部条件。

人体是借助于对流、辐射及汗水蒸发三种方式向空气散发热量。影响对流散热的是人体与周围空气的温度差和空气的流动速度；辐射的效果是受人体及周围介质温差大小的影响；汗水蒸发与空气温度、湿度和风流速度都有关系。这样可以看出，影响人体散热的条件是空气温度、湿度及其流动速度的综合作用，称为矿内气候条件，它对人体的健康及劳动生产率的提高有着重要的影响。

一、矿内空气的温度

矿内空气温度是矿内气候条件的重要因素。温度过高，人体散热困难；温度过低，则散热太快，人体过冷。最适宜的矿内空气温度是 $15\sim 20^\circ\text{C}$ 。

矿内空气的温度受多种因素的影响。

1. 地面空气温度的变化 地面空气温度对井下温度有直接影响。冬季地面冷空气进入矿井，可使矿内空气温度降低，甚至发生结冰现象。夏季地面热空气进入矿井，可使井下温度升高。这种影响对较浅的矿井比较明显，因为风流进入矿井后，不能有充分的热交换时间。而对较深的矿井则影响不太显著。

2. 岩石温度 浅部岩石温度是随地表温度而变化；但从恒温带以下，则岩石温度随着深度的增加而升高，不受地表气候的影响。恒温带的深度一般为 $20\sim 30\text{m}$ ，其温度等于该地区空气的年平均温度。由于岩石性质种类不同，岩石温度每增加 1°C 所相应的下降深

度叫地温率。根据地温率可按下式计算岩石温度。

$$t = t_H + \frac{H - h_1}{g_r}, \text{ } ^\circ\text{C} \tag{1-2}$$

式中 t ——深度为H米处的岩石温度， $^\circ\text{C}$ ；
 t_H ——恒温带的温度， $^\circ\text{C}$ ；
 h_1 ——恒温带的深度，m；
 g_r ——地温率， $\text{m}/^\circ\text{C}$ ；金属矿床地温率约为40~45 $\text{m}/^\circ\text{C}$ 。

当矿井开采深度增加后，温度的升高将是一个显著的问题。如南非的深部矿井中2750m水平的岩石温度高达43.5 $^\circ\text{C}$ ；印度的奥列古姆矿井在2750m水平，岩石温度高达61.5 $^\circ\text{C}$ 。

3. 氧化生热 在硫化矿床，矿石的氧化是高温的直接原因。如安徽向山硫铁矿的独头工作面气温曾达40 $^\circ\text{C}$ 。

4. 水分蒸发 水分蒸发时从空气中吸收热量，使空气温度降低。1g的水蒸发可吸收2449J的热量，1 m^3 的空气吸收或放出1298J热，将使空气温度升高或降低1 $^\circ\text{C}$ 。所以在1 m^3 空气中有1g水蒸发，将使空气温度降低1.9 $^\circ\text{C}$ 。

5. 空气受压缩或膨胀 当空气向下流动时，随着温度的增加，空气受压缩而放出热量，一般垂直深度每增加100m，气温增高1 $^\circ\text{C}$ ；当空气向上流动时，因膨胀而吸热，平均每升高100m，气温下降0.8~0.9 $^\circ\text{C}$ 。

6. 矿井通风 矿井通风对矿井气温有直接影响。许多矿井的实践说明。在高温工作面。通过适量的风流，气温会显著下降。因为空气流过巷道或工作面时，吸收热量排出地表。若气温较低，风流速度过大会使人体大量散热，所以根据不同的气温有不同的风速要求。

空气温度($^\circ\text{C}$)	风速要求(m/s)
<15	不大于0.5
15~20	不大于1.0
20~22	不低于1.0
20~24	不低于1.5
24~25	不低于2.0

为了给井下工人创造一个良好的劳动环境，安全规程规定：井下作业地点最高允许温度为27 $^\circ\text{C}$ ，否则必须采取降温措施。

井下最高允许风速不得超过下列规定：

井巷名称	最高允许风速 (m/s)
专用风井、风硐	15
专用材料提升井	12
人员、材料提升井	8
风桥	10
主要进风道	8
运输巷道	6
采矿场、采准巷道	4

7. 其它因素 如机电设备散热、灯火燃烧、人体散热等对气温也有一定的影响。

二、矿内空气的湿度

空气中常含有一定的水蒸气。单位体积或单位重量的空气所含有的水蒸气量称为空气的绝对湿度或实际湿度；在某一温度时，单位空气所能含有的最大水分称为该温度时的饱和湿度。过多的水分将变为水滴。饱和湿度参看附录1。

在同温度的情况下实际湿度与饱和湿度之比的百分数，称为相对湿度，可用下式表示

$$\varphi = \frac{\gamma_I}{\gamma_B} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 φ ——空气的相对湿度，%；

γ_I ——空气的绝对湿度， g/m^3 ；

γ_B ——同温度的空气饱和湿度， g/m^3 。

对人体有影响的主要是相对湿度，所以一般所指湿度是相对湿度。相对湿度小于40%说明空气极为干燥；大于80%表示空气比较潮湿。湿度过大，则人体出汗不易蒸发；湿度过低则感到干燥并引起粘膜干裂。湿度一般以50~60%为宜。湿度对人体散热有一定的影响，但不如风速及温度的作用明显。

所以，创造良好气候条件的措施，首先仍然是合理的通风。在高温矿井还可采用喷水降温。此外，南方的矿井用岩石冷却进风温度，可使工作面气温降低2~5℃。北方矿井采用旧巷道在冬季预热进风，亦收到良好效果。

第六节 有毒气体、空气含尘量和气候条件的检查

一、有毒气体的检测

利用各种检定管测定空气中各种有害气体的原理是：根据各种待测气体和检定管中指示剂发生化学变化后指示剂变色的深浅或长度，来确定各种气体的浓度。前者称为比色法，后者称为比长法。目前生产的有一氧化碳、硫化氢和氧化氮等几种检定管。

使用的方法是：先将检定管的两端玻璃封口打开，并插在抽气唧筒的排气口上如图1-1，使三通开关把手转到水平位置，拉动唧筒的活塞把手，抽取一定体积（一般为50mL）的待测气体；然后把三通开关把手转到垂直位置，用100s的时间压送唧筒活塞，使待测气体均匀地通过检定管。根据颜色改变的深浅或长度，即可读出有害气体的浓度。

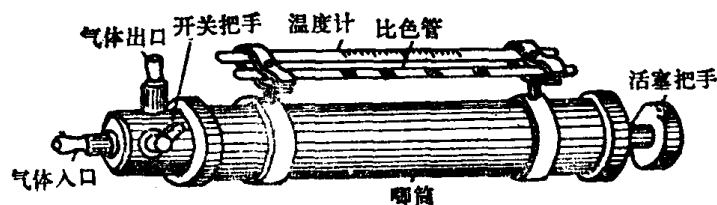
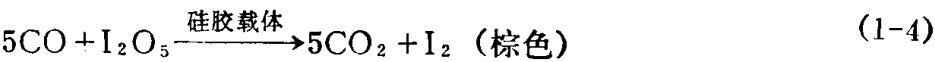


图 1-1 抽气唧筒

比长式一氧化碳检定管如图1-2所示。

比长式检定管测定一氧化碳浓度的原理是：利用吸附五氧化二碘(I_2O_5)和发烟硫酸的硅胶作指示剂，置于玻璃管中；当含有一氧化碳的气体通过检定管时，检定管中的指示剂与一氧化碳相接触并起化学反应，一氧化碳将五氧化二碘还原，产生一个棕色变色圈（游离

碘), 变色圈的长度与通过检定管的气体中的一氧化碳浓度成正比。因此, 根据变色圈的长度就可以指示一氧化碳的浓度, 并从检定管的刻度上直接读出被测气体的一氧化碳浓度。其化学反应式如下



为了消除其他气体的干扰, 在检定管前端装有消除剂。
若被测的一氧化碳浓度很低, 用低浓度的检定管也不易测出时, 可以增加通过检定管气体的体积, 即增加唧筒抽气的次数。例如抽气唧筒连续动作五次后, 从检定管刻度上读得一氧化碳浓度为0.0018%, 则一氧化碳的实际浓度为

$$\frac{\text{检定管刻度指示剂}}{\text{抽气唧筒动作次数}} = \frac{0.0018\%}{5} = 0.00036\%$$

各类检定管的使用方法, 应参照该产品的厂家说明书。

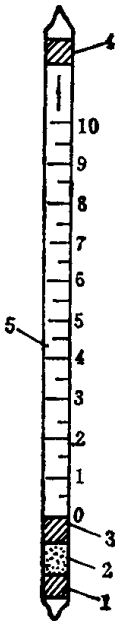


图 1-2 比长式一氧化碳检定管
1,4—玻璃丝; 2—硅胶消除剂; 3—玻璃粉; 5—白色指示剂

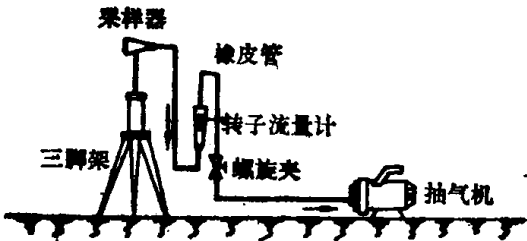


图 1-3 滤膜测尘示意图

二、空气含尘量的测定

我国金属矿山普遍使用的测尘方法是滤膜测尘。滤膜是由直径为1.2~1.5μm超细合成纤维构成的薄膜, 孔隙很小, 表面是细绒状, 不易破裂, 质地均匀, 有明显的负电荷, 能牢固吸附粉尘, 滤尘率可达99%, 含尘空气通过时, 阻力小, 不易吸湿, 重量轻 (一般每张为20~70mg)。使用滤膜测尘简便准确。

具体测尘方法如图1-3。在抽气动力的作用下, 含尘的空气通过采样器上的滤膜, 粉尘被阻留在滤膜表面。根据滤膜增加的重量 (即被阻留的粉尘量) 和过滤的空气量, 就可按下式算出空气中的粉尘浓度。

$$n = \frac{q' - q}{Ct} \times 1000 \quad \text{mg/m}^3 \tag{1-5}$$

式中 q ——采样前滤膜的重量, mg;
 q' ——采样后滤膜的重量, mg;