

中等专业学校地质矿产类规划教材

掘进工程

(第二分册)

通风与排水 装岩运输与提升

陈际福 黄志强 编



地质出版社

中等专业学校地质矿产类规划教材

掘 进 工 程

(第二分册)

通风与排水 装岩运输与提升

陈际福 黄志强 编

地 质 出 版 社

北 京

(京)新登字085号

内 容 提 要

本书在总结我校(昆明地校)三十多年来从事掘进(坑探)专业教学实践的基础上,吸取了近年来国内外的先进掘进施工工艺技术进行编写。

全书由六篇二十五章组成(分三册出版)。主要内容包括:岩石与岩体的性质,凿岩爆破,通风与排水,装岩、运输与提升,井巷稳定性与支护,各类巷道的掘进设计与施工特点等。

本书为中等专业学校掘进与采矿专业的主要专业教材和相近专业的教学参考用书,亦可供从事探掘进施工的工程技术人员、工人,有关专业的教师及野外坑探队管理人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

掘进工程 第二分册:通风与排水 装岩运输与提升/
陈际福,黄志强编. —北京:地质出版社,1994.5

ISBN 7-116-01670-8

I.掘… II.①陈… ②黄… III.掘进工程 IV.P633.3

中国版本图书馆CIP数据核字(94)第04349号

* * *

本教材经地质矿产部中等专业学校探矿工程类课程教学指导委员会1989年第四次会议讨论、审定,同意作为掘进与采矿工程专业的教材使用。

* * *

中等专业学校地质矿产类规划教材

掘 进 工 程

(第二分册)

地质矿产部教材室 编辑

陈际福 黄志强 编

责任编辑:任大本

地质出版社出版

(北京和平里)

北京地质印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所发行

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:11.5 字数:267000

1994年5月北京第一版·1994年5月北京第一次印刷

印数:1—1700册

ISBN 7-116-01670-8

P·1348 定价:4.75元

前 言

本书是地矿部中等专业学校“掘进与采矿工程专业”的主要专业课教材，同时也是与新编教材《掘进机械》配套使用的专业课教材。

本书根据地矿部1991年制订的“四年制中等专业学校掘进与采矿工程专业教学计划”及“《掘进工程》教学大纲”规定的教学内容和要求编写的。本教材的编写提纲业经地矿部中等专业学校探矿工程类课程教学指导委员会会议审定通过。

在编写过程中，编者注意到以下两个方面：

(一) 中等专业学校学生毕业后多数在生产第一线上工作，故而要求学生除具有一定的理论基础外，还应具有一定的施工实践技能和知识。为此，在教学中必需以理论和工艺实践并重的原则施教，教材编写亦同样要贯彻这一原则。

(二) 教材的内容上，就理论知识的深度和广度上来说，应与中等专业学校这一层次相适应。在选材上，应力求与当前我国地质勘探掘进工程的实际水平相结合，着重选择那些在目前和将来对地质勘探有用的或可能采用的设备与工艺技术进行阐述。当然考虑到专业面的拓宽和今后事业的发展需要，对于矿山工程中的有关设备及工艺技术也给予简要适度的介绍，丰富学生的专业知识，以适应今后工作的需要。

因此，本书的编写是按规定的教学大纲，并在总结我校开办掘进（坑探）专业三十多年来的教学实践基础上，本着适度加强理论基础，兼顾当前生产实践，吸收并反映当前国内外先进掘进施工工艺和坑道凿岩爆破新技术、新成就，在精选教材内容的指导原则下来阐述与井巷掘进有关的基本理论、基本知识和基本技能要求，并重点介绍各类巷道的掘进设计与施工工艺的。

全书共六篇、二十五章，内容分别为：

- | | |
|------------------------------|--------|
| 第一篇 总论（第一章至第三章） | } 第一分册 |
| 第二篇 凿岩爆破（第四章至第十章） | |
| 第三篇 通风与排水（第十一章至第十二章） | } 第二分册 |
| 第四篇 装岩、运输与提升（第十三章至第十五章） | |
| 第五篇 井巷围岩稳定性与支护（第十六章至第二十章） | } 第三分册 |
| 第六篇 井巷断面设计与掘进施工（第二十一章至第二十五章） | |

《掘进工程》课是本专业学生的最重要的专业课之一。它和其他工程技术课一样，是人们在生产实践中的经验积累和总结提高的结果，即经过不断的分析、提炼、抽象和概括而成为较系统的技术理论和方法。而要掌握一定的技术，必须以理论联系实际的指导原则出发，有的放矢地进行学习才能事半功倍。为此，在教学安排上除了规定学时的课堂教学、实验外，还安排了一定时间的现场教学和生产劳动，以便加强理论与实际的紧密结合。

本课程的规定学时为210学时。通过本课程的学习，要求学生能基本掌握坑道（井巷）掘进生产的全过程，能够正确地选用坑道掘进设备、材料和工具，熟悉有关工艺的操作技术和方法，能够根据不同的地质条件和施工要求，进行掘进工程的初步技术设计和施工组

织管理。

本书由昆明地质学校掘进教研室陈际福、黄志强负责组织编写。其中第一、四、五篇由陈际福编写；第二、六篇由黄志强编写；第三篇的第十一章由严尔炳编写；第十二章由曾世全编写。

中国地质大学（北京）郭声远教授任本书的主审，浙江地质学校任大本高级工程师对全稿进行了认真细致的编辑加工，并对部分章节内容作了改写；地质出版社李源明高级工程师对全稿的文图进行了例行性技术审订工作。

最后应该指出：在编写过程中，编者引用了过去和近期的大专院校同类教材（课程）中的有关内容以及有关的技术资料，参阅和引用了有关手册中的资料数据和图件，在修订和审稿过程中编者还得到了地矿部教育司和地质出版社的关心和支持，同时也得到了中国地质大学，长春地质学校，云南省地矿局以及昆明冶金地质专科学校等单位的许多同志的大力支持和帮助，他们提出了许多宝贵的建议和意见，对此，编者一并向他们表示由衷的感谢。

由于编者的水平有限，书中难免有不少缺点和错误，恳请读者批评指正。

编 者

1993年7月

目 录

第三篇 通风与排水

第十一章 井巷掘进通风	213
第一节 概述	213
一、通风工作的目的和内容	213
二、矿井通风和局部通风的概念	213
三、通风方法的分类	214
第二节 井下空气与气候条件	215
一、井下空气的主要成分	215
二、井下空气中的有毒、有害物质	216
三、井下气候条件	220
第三节 井下有害气体、空气含尘量和气候条件的检测	222
一、有害气体的检测	222
二、空气含尘量的测定	223
三、井下气候条件的测定	224
第四节 井巷风流的基本原理	226
一、井巷空气的压力	226
二、井巷风流的能量守恒定律——伯诺里方程及其应用	228
第五节 井巷风流的压力和风量的测定	231
一、井巷空气压力的测定	231
二、风量测定	233
第六节 井巷通风阻力及降低风阻的措施	235
一、井巷通风的阻力及计算	235
二、井巷通风等积孔的概念	237
三、降低井巷风阻的措施	238
√ 第七节 井巷掘进通风方法	238
一、自然通风	239
二、引射器通风	239
三、通风机通风	240
第八节 风筒	249
一、风筒的类型	249
二、风筒的连接方式	250
三、风筒的阻力及漏风计算	251
√ 第九节 防尘	256
一、粉尘及其危害	256
二、防尘、降尘措施	259
第十节 掘进通风设计	266

一、选择通风方式	266
二、计算所需风量	266
三、选择风筒	267
四、通风动力设备的选择	267
第十二章 矿坑排水	270
第一节 矿坑涌水的来源及其特性	270
一、矿坑水的来源	270
二、矿坑涌水的特点	271
三、矿坑一般性的治水、防水措施	272
第二节 井巷掘进排水	273
一、水平巷道掘进排水	273
二、斜、竖井掘进排水	273
第三节 井巷掘进中的防水、治水	278
一、探水	279
二、堵、截、疏导	280
第四节 矿井排水	281
一、矿井主要升压式排水系统	282
二、水泵站排水量的确定	282
三、排水管路	283
四、水泵	285
五、井下主要排水站设施	288
六、矿井排水的节能措施	294

第四篇 装岩、运输与提升

第十三章 装岩工作	300
第一节 概述	300
一、装岩设备的类型	300
二、铲斗式装岩机的装岩过程	303
三、各种类型巷道的装岩特点	304
第二节 装岩设备的选型	305
一、水平巷道装岩设备的选型	305
二、竖井装岩设备的选型	305
三、斜井装岩设备的选型	305
第三节 装岩生产率及提高装岩生产率的途径	305
一、装岩机生产率及其计算	306
二、提高装岩生产率的途径	309
第十四章 轨道运输	313
第一节 轨道的结构与铺设	313
一、轨道的结构	313
二、轨道的铺设	315
三、弯曲轨道参数与计算	316

四、道岔	319
第二节 矿车与机车	321
一、矿车的类型与选型	321
二、机车的种类及适用范围	322
三、机车的运行计算	322
第三节 调车设备和调车方法	326
一、调车道岔及调车器	326
二、调车方法	327
第十五章 提升工作	330
第一节 提升容器	330
一、吊桶	330
二、罐笼	333
三、箕斗	336
四、矿车	339
五、人车及材料车	341
六、提升容器的预选	342
第二节 钢丝绳	348
一、钢丝绳的构造及其用途	349
二、钢丝绳的选择步骤及计算	351
第三节 提升机及天轮	354
一、提升机	354
二、天轮	357
第四节 井架、提升机与井筒的相对位置	358
一、井架	358
二、提升机与井口的相对位置	362
第五节 矿井提升系统的运动学及动力学	366
一、提升系统运动学	367
二、提升系统动力学	376
第六节 提升机轴功率及电动机容量的确定	384
一、提升机轴功率	384
二、提升机电机等效轴功率(容量)的确定	386
第七节 矿井提升信号系统简述	387

第三篇 通风与排水

第十一章 井巷掘进通风

第一节 概 述

一、通风工作的目的和内容

井巷的掘进工作，是在地下有限的空间内进行。工作环境较地面复杂、恶劣。在掘进施工过程中，由于井下各种有机和无机物的氧化、人员呼吸、设备运转、炸药爆炸及一切生产作业等，均会在井巷内产生各种有毒、有害气体及粉尘。同时使空气的含氧量随之下降，温度、湿度发生变化。为了实现安全卫生，文明施工及高效掘进的目标，必须进行通风。其目的是：

1. 供给掘进工作面足够的新鲜空气

新鲜空气是指与地面大气相比，成分变化不大的不含有毒有害气体的空气。新鲜空气中氧的含量按体积计不低于20%。

2. 稀释并排除各种有毒、有害气体及粉尘

掘进的各项作业会产生大量的有毒、有害气体及粉尘，有的粉尘还具有爆炸性。掘进穿过某些岩层时还会遇到放射性物质。以上这些有毒有害气体、粉尘、射线严重地威胁着施工人员的身体健康和生命安全，因此必须用新鲜风流将这些物质稀释并排除。

3. 创造适宜的生产环境

在井下施工时，温度、湿度通常比地面高，加之没有阳光，工人长期工作于这样的环境，不但劳动效率低，而且易患各种职业病。为实现文明施工和提高劳动效率。应消除高温和余湿，创造适宜的生产环境。

由上述通风目的可知，掘进通风工作的内容是：

- (1) 研究掘进巷道内有毒有害物质是如何产生的，其性质和分布规律如何；
- (2) 研究掘进中有害物质的测试方法和消除方法；
- (3) 研究井巷风流的运动规律，以便经济有效地给掘进工作面输送新鲜空气，并排除井巷内的污浊空气；
- (4) 正确地选择通风方法和设备，加强通风管理，以确保通风目的的实现。

二、矿井通风和局部通风的概念

(一) 矿井通风的概念

矿井通风系统是以巷道作为空气流动的通道。一般都有两个或两个以上的风流出口及入口,如图11—1所示。新鲜风流自入风井口沿箭头方向进入,通过井下各巷道流到采掘工作面后,再沿回风巷道、出风井排出地面。空气之所以流动,是由于进风侧与出风侧存在着压力差。若这种压力差是由通风机造成的,则称为机械通风。若利用矿井的自然地形条件产生压力差而通风者,则称为自然通风。

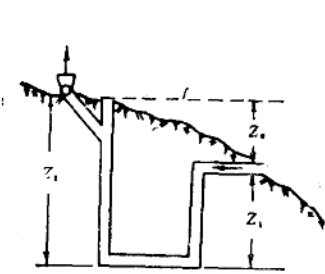


图 11—1 矿井通风示意图

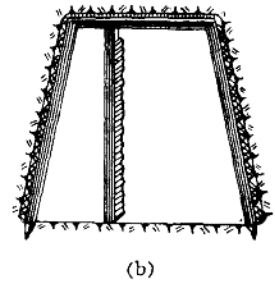
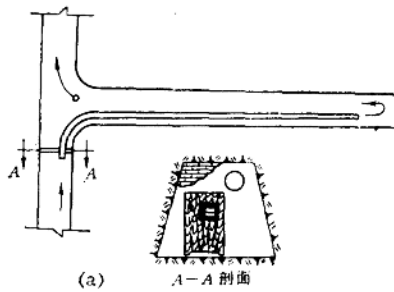


图 11—2 利用矿井总风压通风示意图

(a)利用矿井总风压通风示意图;(b)风墙结构图

(二) 局部通风的概念

局部通风是在某些特定工作地点或某些区段,为建立良好空气环境,将有害物在整个巷道扩散开以前从其生产发源地抽(排)出的通风系统。勘探掘进巷道,常常只有一个出口。这些只有单个出口的巷道称为独头巷道。独头巷道的通风就是一种局部通风。

局部通风的方法有:

1. 自然扩散通风

不采用任何设施,依靠新鲜风流的紊流扩散作用进行通风。这种方法通常只适用于掘进10~15m以内的独头工作面。

2. 利用矿井总风压通风

在生产矿井中掘进独头巷道时,往往利用风墙,风障或风筒等设施,将新鲜风流入独头工作面以排除其中污浊空气,如图11—2所示。

3. 利用压力水(或压气)引射器通风

4. 利用通风机通风

三、通风方法的分类

1. 自然通风

掘进巷道(或矿井)依靠巷道中的空气温度差所形成的空气压力差进行的通风,称为自然通风。该方法的特点是不需任何设备及能源消耗。能够经济有效地达到通风目的。

2. 机械通风

机械通风是利用通风机产生的压力,克服风流在巷道中流动的阻力,将新鲜空气输送至工作场所,同时将工作场所的污浊空气排除。这是目前最常用而可靠的通风方法。

3. 物理化学通风

这是将工作面有毒有害气体进行中和,以达到消除有毒、有害气体的一种方法。这种通风方法目前正处于研究阶段。

第二节 井下空气与气候条件

一、井下空气的主要成分

井下空气若与地面空气相比,其成分变化不大者,称为新鲜空气;反之,就称为污浊空气。

井下空气的主要成分是:

(一) 氧 (O_2)

是一种无色、无味、无臭的气体。和空气相比,比重是1.11,其化学性质很活泼,几乎能与所有的气体化合,并易使其他物质氧化。它是人、动物呼吸和物质燃烧不可缺少的气体。地面空气中含氧20.96%。

人对氧的需要量跟人的体质强弱及劳动强度大小有关。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1~3L/min。

当空气中含氧量减少时,人体的反应如下表11-1所列。

表 11-1 空气中含氧量减少对人体的反应

空气中含氧量, %	对 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,若不进行急救会导致死亡

因而,进入通风不良或废旧巷道之前,必须预先进行检查,不可冒然进去。我国矿山安全规程规定:在进风流中,按体积计的含氧量不得小于20%。

(二) 二氧化碳 (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。不助燃,不能供呼吸。易溶于水。地面空气中含 CO_2 0.04%。

二氧化碳对人的呼吸有刺激作用。当人体内 CO_2 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 CO_2 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 CO_2 含量增高对人体的影响,如表11-2所列。

为了防止 CO_2 对人体的危害,我国矿山安全规程规定:在总进风和向采掘工作面进风中, CO_2 不得超过0.5% (按体积计);在总回风中不得超过0.75%;在掘进工作面回风流中, CO_2 允许达1%。

(三) 氮 (N_2)

氮为无色,无味,无臭的惰性气体,比重0.97,不助燃也不能供人呼吸,地面空气含 N_2 79%。在正常情况下对人体无害,但当空气中氮含量增加时,会使氧气含量相对减少,

表 11—2 空气中 CO₂ 含量对人体的反应

空气中 CO ₂ 含量, %	对 人 体 的 反 应
1	呼吸感到急促
3	呼吸量增加两倍, 易发生疲劳现象
5	呼吸感到困难, 耳鸣, 血液流动快 (太阳穴跳动快)
6	发生严重的喘息, 极度虚弱无力
10	头晕, 发生昏迷状态
10~20	呼吸处于停顿状态, 失去知觉
20~25	中毒死亡

而使人窒息。在通风正常的巷道中, 氮含量一般变化不大。

二、井下空气中的有毒、有害物质

井下常见的有害物质主要是: 爆破及内燃设备产生的各种有害气体, 特殊矿床产生的有害气体; 掘进施工产生的岩矿粉尘; 放射性物质产生的有害气体等。

(一) 爆破及内燃设备产生的有害气体

爆破及内燃设备产生的有害气体主要是一氧化碳 (CO) 及氮氧化物。

1. 一氧化碳 (CO)

是一种无色、无味、无臭的气体, 比重 0.97。由于 CO 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。CO 不易溶解于水。在通常的温度和压力下, 化学性质不活泼。

CO 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。CO 性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。当人体吸入的空气中若含有 CO 时, 则血液就要多吸入 CO, 而少吸入、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), 因而使人患缺氧症。当血液中 CO 达到饱和时, 就完全失去输送氧的能力而使人死亡。

但是, 氧气, 一氧化碳与血色素之间的反应是可以互相转化的, 如下式所示:



这说明空气中 CO 含量过高会妨碍人体吸收氧; 反之, 有足够的氧气人体也会排出 CO。因此, CO 中毒时只要吸入新鲜空气就会减轻中毒的程度。也就是说对 CO 中毒者只要尽快地转移到新鲜风流中进行人工呼吸, 仍可得救。CO 对人体的影响如表 11—3 所列。

由于 CO 的毒性很大, 故我国安全规程规定: 井下空气中 CO 浓度不得超过 0.0016%, 按重量计不得超过 0.02mg/L。

若经常在 CO 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遭受伤害, 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。

值得注意的是: 发生井下失火时, 由于井下氧气供应不充分, 会产生大量的 CO 的。

2. 氮氧化物 (NO, NO₂)

爆破和柴油机废气中都有大量的 NO 产生, NO 是极不稳定的气体, 遇到空气中的氧即转化为二氧化氮 NO₂。

NO₂ 是一种褐红色气体, 比重 1.57, 具有窒息气味, 极易溶解于水; NO₂ 遇水后生成

表 11—3 空气中不同的 CO 浓度对人体的反应

CO 的浓度		对 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, 头疼等, 当吸入新鲜空气后, 即可恢复正常
0.5	0.048	连续呼吸 1 h, 就会感到耳鸣, 头痛, 心跳
1.5	0.128	连续呼吸 (0.5~1) h, 四肢无力, 呕吐, 感觉迟钝, 丧失行动能力
5.0	0.4	连续呼吸 (20~30) min, 丧失知觉, 呼吸停顿, 以至死亡
12.5	1.0	(1~2) min 后死亡

硝酸, 对人的眼、鼻, 呼吸道和肺部组织具有强烈的腐蚀作用, 以致破坏肺组织而引起肺部浮肿。

NO₂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6~24h后, 就会产生严重的支气管炎, 呼吸困难, 吐黄痰, 发生肺水肿, 呕吐, 以致很快死亡。空气中不同的NO₂浓度对人体的影响如表11—4所列。

表 11—4 空气中不同的 NO₂ 浓度对人体的反应

NO ₂ 的浓度		对 人 体 的 反 应
mg/L	体积, %	
0.08	0.004	经过(2~4)h 还不会引起显著的中毒现象
0.12	0.006	短时间内呼吸道有刺激作用, 咳嗽, 胸痛
0.2	0.01	短时间内呼吸器官引起强烈刺激作用, 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NO₂的毒害, 安全规程规定: 井下空气中 NO₂的浓度不得超过0.00025% (换算成N₂O₅的氮氧化物为0.0001%)。按重量计不得超过0.005mg/L。

(二) 特殊矿床产生的有害气体

特殊矿床产生的有害气体主要是指含硫矿床产生的有毒气体及煤矿产生的有害气体。含硫矿床产生的有毒气体主要指硫化氢 (H₂S) 和二氧化硫 (SO₂)。

1. 硫化氢 (H₂S)

是一种无色的气体, 比重 1.19, 具有臭鸡蛋和微甜味。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 H₂S 浓度对人体的影响如表 11—5所

表 11—5 空气中不同的 H_2S 浓度对人体的反应

H_2S 的浓度		对 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、清鼻涕, 瞳孔放大, 呼吸困难
0.28	0.02	1 h 后昏迷头痛, 呕吐, 四肢无力
0.7	0.05	30 min 到 1 h 后失去知觉, 痉挛, 脸色发白, 不采取急救便会死亡
1.4	0.10	很快就有死亡的危险

列。

安全规程规定: 矿内空气中 H_2S 的含量不得超过 0.00066%。

值得注意的是: H_2S 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; 若一经搅动, 就有放出的危险。

2. 二氧化硫 (SO_2)

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, 它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, 从而使喉咙支气管发炎、呼吸麻痹, 严重时甚至引起肺水肿。所以, 对 SO_2 中毒的伤员也不能进行人工呼吸。不同的 SO_2 浓度对人体的影响如表 11—6 所示。

表 11—6 空气中不同的 SO_2 浓度对人体的反应

SO_2 的浓度		对 人 体 的 反 应
mg/L	体积, %	
0.014	0.005	嗅觉器官感到刺激味
0.057	0.02	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
1.43	0.05	引起急性支气管炎, 肺水肿, 短期内中毒死亡

安全规程规定: 矿内空气中 SO_2 不得超过 0.0007%。

在矿石含硫量超过 15~20% 的矿井里, H_2S 和 SO_2 含量不断增加, 是矿石自燃导致火灾的主要征兆之一。

煤矿产生的有害气体主要是沼气 (CH_4)。

3. 沼气 (CH_4)

沼气又称瓦斯, 是一种无色、无味、无臭的气体 (如伴生有碳氢化物和微量硫化氢, 会发出一种类似苹果香的特殊气味), 其比重为 0.554, 几乎比空气轻一半, 故易聚集在巷道顶板附近及上山的迎头处。

沼气不易溶于水, 具有迅速扩散性质。其渗透性很强, 比空气大 1.6 倍, 易从邻近煤

层通过围岩裂隙向采空区聚集。其本身虽无毒，但其在空气中的浓度较高时，空气中的含氧量就会相应降低，使人窒息。沼气不助燃，但遇火能燃烧；当浓度在5~16%之间时，遇火能爆炸。

安全规程规定：矿内空气中 CH_4 不得超过1%。

(三) 掘进施工中产生的粉尘

在掘进施工过程中所产生的一切细散矿物和岩石的颗粒，统称为粉尘。粉尘又分浮尘和落尘：前者是浮于空气中，后者沉落于巷道壁。粉尘是一种有害物质，危害人体的健康。它落于人的潮湿皮肤上时，有刺激作用能引起皮肤发炎。特别是硫化矿尘，它进入人体五官也会引起炎症。有毒矿尘（铅，砷，汞）进入人体内还会引起中毒。粉尘的最大危害是：随空气而被吸入呼吸道。其中：大于 $5\mu\text{m}$ 的进入呼吸道即被气管分泌粘液粘着，通过咳嗽随痰吐出；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（是一种含游离二氧化硅超过10%的矿尘），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，逐渐变性坏死，使肺失去弹性，这就是常见的职业病——矽肺病。所以（0.1~5） μm 的矽尘是最有害的。粉尘中游离 SiO_2 含量愈高，对人体危害越大。一般金属矿山游离 SiO_2 的含量在30~70%，也有高达90%以上的。我国矿山安全规程规定：当空气中粉尘含游离 SiO_2 高于10%时，粉尘浓度不得超过 $2\text{mg}/\text{m}^3$ ；含游离 SiO_2 低于10%时，粉尘浓度不得超过 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。进风井巷与采掘工作面的新鲜风流中，含尘量不得超过 $0.5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

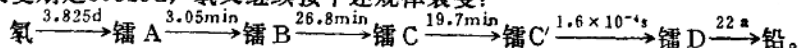
(四) 放射性物质产生的有害气体

1. 氡（Rn）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，变成为另一种原子核，称为放射性衰变。现已查明，自然界存在铀（U）、钍（Th）、锕（Ac）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（Rn），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。

放射性的原子数，因衰变而减少到原来的一半所需要的时间，叫半衰期。如铀的半衰期是 $45 \times 10^9 \text{a}$ （年）；铀衰变为镭（Ra）；镭的半衰期是1620a，镭又继续衰变为氡（Rn），氡的半衰期是3.825d，氡又继续按下述规律衰变：



氡的衰变产物从镭A到镭C'，半衰期都比较短，称为氡的短寿命子体。

氡是一种惰性气体，对人体无直接危害，但氡子体则是呈固体微粒形式出现的，大小为 $0.001 \sim 0.05\mu\text{m}$ ，有一定的电荷性，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”。它一旦被吸入人体内，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而引起病变。据认为：它是导致矿工肺癌的原因之一。

实践证明，即使在铀矿山， γ 射线对外照射也是很弱的。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 射线的内照射而言的。

2. 井下空气中氡的来源

岩石中普遍存在着铀，铀不断衰变，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，析出的氡也越多。在一些通风不好的非铀矿井，岩石裂隙及有大量充填料（或未充填）的采空区中，往往也存在着高浓度的氡。当矿内气压低于岩石裂隙及采空区内的气压时，氡就进入矿内空气中。

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，使地下水中溶有大量的氡，一经流入矿井，促使氡从水中析出。

掘进与采矿作业都在不断地破碎矿岩，随着矿岩裸露面的增加，也增加了井下氡的析出量。

3. 氡及氡子体的最大允许浓度

氡及其子体对人体构成危害的条件是：

- (1) 空气中氡及氡子体要超过一定浓度；
- (2) 空气中氡及氡子体要能进入人体内；
- (3) 人体接受一定浓度的氡及氡子体要超过一定时间。

防氡的任务就是破坏这三个条件。

量测放射性物质的“活度”，国际单位为Bq（贝可〔勒〕），过去常用的单位是居里（Ci）。1居里就是1g镭，每秒钟有 3.71×10^{10} 个原子核衰变。每一升空气中有 1×10^{-10} 居里的氡称其“活度浓度”为一eman（爱曼）。所以， $1 \text{ eman} = 1 \times 10^{-10} \text{ Ci/L} = 3.7 \text{ Bq/L}$ 。

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1爱曼的氡平衡时，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，叫一个“工作水平”（WL），其能量为 $1.3 \times 10^5 \text{ MeV/L}$ 。

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活度浓度为：

$$\text{氡: } 1 \times 10^{-10} \text{ Ci/L 即 1 爱曼 (eman)。} \quad (11-1)$$

$$\text{氡子体的}\alpha\text{潜能值: } 4 \times 10^4 \text{ MeV/L。}$$

三、井下气候条件

井下气候条件是指井下空气的温度、湿度和风速三者的综合状态而言。无论在工作或休息时，人体都不断地产生热量和散失热量，以保持平衡，使体温维持在 $36.5 \sim 37^\circ\text{C}$ ，此时人体才感觉到舒适。影响人体产生热量主要决定于劳动强度；影响人体散失热量的是井下气候条件。故井下气候条件的好坏，对人体的健康和劳动生产率有着重要影响。

（一）井下空气的温度

井下空气温度是井下气候条件的重要因素。气温过高，人体散热困难；温度过低，则散热太快。最适宜的温度是 $15^\circ \sim 20^\circ\text{C}$ 。井下空气温度受多种因素的影响：

1. 岩石温度

在地表以下深度为 $20 \sim 30\text{m}$ 的地带，岩石温度不受地表空气的影响，其温度比当地平均气温高 $1 \sim 2^\circ\text{C}$ ，此地带叫做恒温带。恒温带以下的岩石温度随深度的增加而升高，可按下式计算：

$$t = t_0 + \frac{Z - Z_0}{g'} \quad (11-2)$$

式中 t ——深度为 Z 末处的岩层温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_0 ——恒温带温度, $^{\circ}\text{C}$;

Z_0 ——恒温带深度, m ;

g'_t ——地温率, $\text{m}/^{\circ}\text{C}$ 。

地温率的含义为: 岩石温度增加 1°C 所增加的垂直深度。石油与沥青地层约为 $(10\sim 15)\text{m}/^{\circ}\text{C}$; 含煤地层为 $(30\sim 35)\text{m}/^{\circ}\text{C}$; 含金属矿地层为 $(45\sim 50)\text{m}/^{\circ}\text{C}$ 。

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 水平处的岩石温度高达 43.5°C ; 印度的奥列古姆矿井在 2750m 水平处的岩石温度高达 61.5°C 。

2. 空气的压缩与膨胀

空气流入井下时, 由于空气柱增加, 空气受到压缩而放出热量, 一般垂直深度增加 100m, 气温增加 1°C 左右; 相反, 当空气向上流动时, 则因膨胀而吸热, 平均每升高 100m, 气温将下降 $0.8\sim 0.9^{\circ}\text{C}$ 。

3. 氧化生热

井巷内的矿物, 坑木、充填材料、油垢、布料等, 都能因氧化而发热, 如: 经氧化生成 2g CO_2 时, 能产生热量 18.2J (焦耳) [4.34 cal (卡)], 它可使 1m^3 空气升温 14.5°C 。最易氧化的矿物是硫化矿石和煤, 它们可使井下空气温度升高很多。如安徽向山硫铁矿的独头工作面, 气温曾达 40°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。据测: 每蒸发 1g 水可吸收 2.45kJ (千焦耳) 的热量, 它能使 1m^3 空气降温 1.9°C 。

5. 地面空气温度的变化

地面气温对井下气温有直接的影响。尤其是对于短、浅坑道, 井下气温受地面气温的影响更为显著。

6. 通风量

通风是降温的主要措施之一。温度较低的空气流过巷道或工作面时, 吸收热量, 通风量越大, 吸收热量越多, 井巷温度就会有明显的降低。

7. 其他因素

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) 井下空气的湿度

湿度是指空气中所含水蒸汽的数量。湿度的表示法有两种: 绝对湿度和相对湿度。

绝对湿度——指 1m^3 或 1kg 重的空气中所含水蒸汽的克数。近年来, 常用水蒸汽压表示绝对湿度。以 Pa 作单位。

相对湿度——指某一体积空气中实际含有水蒸汽量与同温度下的饱和水蒸汽量之比的百分数。可用下式表示:

$$\varphi = \frac{\gamma_p}{\gamma_{ps}} \times 100\% = \frac{e_p}{e_{ps}} \times 100\% \quad (11-3)$$

式中 γ_p —— 1m^3 空气中实际含有水蒸汽量, g ;

e_p ——空气中实际含有水蒸汽的压力, Pa ;