



煤矿技术工人培训教材

煤矿通风与安全



山西科学教育出版社

煤矿通风与安全

王云 王治 朱仁慎

山西科学教育出版社发行 (太原府路北第十一号)

山西新华印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 32 字数: 484千字

1985年10月第1版 1985年10月太原第1次印刷

印数: 1—11,000 册

书号: 15370-8 定价: 3.65 元

编写说明

为了适应煤炭系统工人技术培训的需要,提高煤矿工人的技术素质,我司组织部分煤炭企业有一定生产实践经验的工程技术人员和煤矿技校的教师,编写了一套在职技术工人培训教材。这套教材包括:《煤矿基本知识》、《采煤工艺》、《平巷掘砌》、《竖井掘砌》、《巷道维修》、《煤矿通风与安全》、《采区电钳工艺》、《煤矿运输》、《煤矿大型设备机械维修与安装》、《煤矿大型设备电气维修与安装》、《煤矿电子技术》、《煤矿测量》、《煤矿地质》、《煤田地质勘探》等。这些书将陆续出版。

这套教材主要适合于培训具有初中以上文化程度的煤矿在职技术工人使用,也可供煤矿基层干部和技术工人自学参考。

由于编写时间仓促,缺乏经验,教材中难免有错误或不妥当的地方,请各单位及读者批评指正。

煤炭工业部劳动工资司

目 录

第一章 矿内空气

第一节 地面空气的主要成分	(1)
---------------	-------

第二节 矿内空气及其组成	(2)
--------------	-------

第二章 空气的主要物理性质及矿内气候条件

第一节 矿内空气常用的物理参数	(11)
-----------------	--------

第二节 矿井气候条件	(17)
------------	--------

第三章 矿井通风压力

第一节 空气压力及其测定	(29)
--------------	--------

第二节 伯努利方程式及其应用	(39)
----------------	--------

第四章 井巷通风阻力

第一节 井巷通风阻力定律	(53)
--------------	--------

第二节 通风摩擦阻力	(56)
------------	--------

第三节 局部阻力	(59)
----------	--------

第四节 等积孔	(66)
---------	--------

第五节 矿井通风阻力测量	(68)
--------------	--------

第五章 矿井通风动力

第一节 自然通风	(79)
----------	--------

第二节 机械通风	(82)
----------	--------

第三节 扇风机的性能测定	(91)
--------------	--------

第六章 串联和并联、角联通风网路的规律及风量分配

第一节 通风网路的普遍规律	(97)
---------------	--------

第二节 串联风路的规律	(98)
-------------	--------

第三节 并联通风网路的规律	(99)
---------------	--------

第四节 风量自然分配的规律	(102)
---------------	---------

第五节 角联通风网路的规律	(106)
---------------	---------

第六节 风量按需分配	(114)
------------	---------

第七章 矿井通风系统

第一节 主扇的工作方法	(121)
-------------	---------

第二节 矿井通风方式	(122)
------------	---------

第三节 采区通风系统	(125)
------------	---------

第四节 通风构筑物	(129)
-----------	---------

第五节 提高矿井有效风量的措施	(132)
-----------------	---------

第八章 掘进通风

第一节 利用矿井全风压通风	(140)
第二节 利用局部扇风机通风	(141)
第三节 局部通风设备的选择与计算	(146)
第四节 加强局部通风技术管理	(152)
第五节 煤巷掘进通风	(153)

第九章 矿井需要风量的计算

第一节 生产矿井所需风量的计算	(155)
第二节 新建和改建矿井所需风量的计算	(159)
第三节 巷道通过风量的测算	(162)

第十章 矿井反风

第一节 反风设备和反风方法	(168)
第二节 反风要求	(171)
第三节 矿井发生灾害时的反风	(171)

第十一章 瓦斯

第一节 瓦斯的生成、性质与来源	(173)
第二节 瓦斯爆炸	(181)
第三节 预防瓦斯爆炸的措施	(189)
第四节 矿井抽放瓦斯	(195)
第五节 矿井煤与瓦斯突出及其预防	(206)
第六节 瓦斯检测仪器	(221)

第十二章 矿尘

第一节 概述	(231)
第二节 矿尘的生成及危害性	(232)
第三节 煤尘的爆炸	(233)
第四节 煤尘与瓦斯爆炸的异同点及其特征	(237)
第五节 煤尘爆炸性的鉴定	(239)
第六节 防止煤尘爆炸与隔爆的措施	(240)
第七节 煤矿尘肺病及其预防	(251)

第十三章 矿井防火与灭火

第一节 概述	(259)
第二节 煤炭的自然	(260)
第三节 煤炭自燃的早期识别	(264)
第四节 煤炭自燃火灾的预防	(268)
第五节 外源火灾的预防	(278)
第六节 矿井灭火	(279)
第七节 火区的管理与启封	(295)

第十四章 炸药爆破与安全

第一节	爆破材料的贮存、运输和管理	(299)
第二节	放炮和安全措施	(304)
第十五章	矿井水的防治	
第一节	概述	(311)
第二节	矿井水的防治措施	(311)
第三节	矿井透水事故的处理	(321)
第十六章	矿山救护	
第一节	矿山救护队	(326)
第二节	矿工自救	(328)
第三节	矿井灾害预防和处理计划	(330)

第一章 矿内空气

人在地面上生活和劳动，一时一刻也离不开空气；煤矿工人在井下劳动同样也离不开空气。为此，就需要把地面的空气连续不断地送到井下去。地面的空气送到井下去以后，它的成分就会发生一系列的变化。为了区分地面空气与矿内空气成分的不同，我们先介绍一下什么叫矿内空气、新鲜空气和污浊空气。然后再分别讲一讲地面空气和矿内空气的成分究竟有哪些不同；是哪些原因促使矿内空气成分发生变化的。

什么叫矿内空气、新鲜空气和污浊空气呢？

地面空气进入井下后，（1）含氧量减少；（2）混入各种有害气体；（3）混入煤尘和岩尘；（4）空气的温度、湿度和压力也发生变化。这种在成分上发生了一系列变化的空气，称为矿内空气。

进入井下巷道的空气与地面的空气相比，在成分上变化程度不大的称新鲜空气，也叫新风，变化程度较大的称污浊空气，也叫污风或乏风。

第一节 地面空气的主要成分

为了区分地面空气与矿内空气成分的不同，我们先介绍地面空气（即地面大气）成分的组成。

表 1—1

气体名称	按体积%	按重量%
氧 气	20.93	22.8
氮 气	78.03	77.2
二氧化碳	0.03	稀有气体
氩	0.94	
氖	0.01	
其 他	0.06	

这里所说的大气就是指我们呼吸的空气。地面上的空气较纯洁，不论取之于高处或低处，其成分的组成比例关系大致相同，如表 1—1 所示。地面空气成分中以氮气和氧气为主，除此之外，还有少量的稀有气体，如氮、氦、氩、氖、氫、二氧化碳以及水蒸气、尘埃等。

地面空气中水蒸气含量的大小是依气候条件、季节、地点的不同而变化的。

矿井生产是地下作业，随着生产的发展和条件的变化（深度增加、地温增高、沼气涌出量增加等等），矿内空气必然与地面空气成分不同。使矿内

空气污浊的原因有：

- 一、人的呼吸；
- 二、有机物及矿物的氧化；
- 三、井下生产中产生的各种有害气体；
- 四、火药的爆炸；

五、生产过程中产生的粉尘；

六、由于地热、氧化及水分蒸发等原因，使井下的空气温度增高，湿度增加。

同时，井下不仅缺少阳光，而且经常受到水、火、瓦斯、煤尘、顶板等引起的自然灾害的威胁。因此，把煤矿井下造成一个良好舒适的、安全的劳动场所，是我们从事煤矿工作的广大职工的光荣职责。

第二节 矿内空气及其组成

矿内空气从成分和性质上可分为：

一、无毒无害气体：如氧气（ O_2 ）、氮气（ N_2 ）。

二、无毒窒息气体：如二氧化碳（ CO_2 ）、沼气（ CH_4 ）。

三、无毒爆炸气体：如沼气（ CH_4 ）、氢气（ H_2 ）。

四、有毒爆炸气体：如一氧化碳（ CO ）、硫化氢（ H_2S ）、氨气（ NH_3 ）。

五、剧毒气体：如一氧化碳（ CO ）、硫化氢（ H_2S ）、二氧化硫（ SO_2 ）、一氧化氮（ NO ）、二氧化氮（ NO_2 ）。

凡是矿井内的有害气体，不管是爆炸的，可燃的，有毒的，窒息的等，总称为矿井瓦斯。这就是矿井瓦斯的广义概念。其中危害性最大的，最主要的成分是沼气（ CH_4 ），一般占矿井瓦斯总量的95%以上，所以，矿井瓦斯的狭义概念就是单指沼气（ CH_4 ）而言。我国煤矿通称的瓦斯，指的就是矿井中的沼气（ CH_4 ）。

煤矿中的矿井瓦斯，对人的生命和国家财产的威胁很大，所以必须首先了解它的性质、来源及规律，并进而研究出恰当的控制办法和防治措施，化害为利，保证井下工作人员的安全，促进煤炭工业迅速发展。

下面，我们就一一介绍矿内空气的各个组成成分。

一、氧气（ O_2 ）

氧气是无色、无味、无臭的气体。与空气相比，它的比重为1.11。它微溶于水，在0℃时，100升的水仅能溶4.9升的氧气。

氧气是非常活泼的元素，几乎与所有气体都能化合。是维持燃烧和人及其它动物呼吸必不可少的一种气体。它能助燃，但不能自燃。

大家都知道，生物（人及其它动物）的生命是体内新的活细胞的形成及老细胞的分解（死亡）的连续过程。体内活细胞生成过程终止时，生命也就随着而终止。

体内活细胞的生成是由于体内食物的不断氧化，而体内的氧化过程又是在呼吸时吸入的氧气作用下进行的。通过呼吸作用，使氧气和血液中的红血球相结合，红血球象小船一样通过血液循环过程把氧气输送到身体各个部位，同时与组织中的碳相结合，产生二氧化碳气体，再通过肺部排出体外。所以，氧气是维持人体新陈代谢不可缺少的物质。《煤矿安全规程》（以下简称《规程》）第105条规定：“在采掘工作面的进风流中，按体积计算，氧气不得低于20%。”

然而，在井下的某些地点和条件下，往往氧气减少，甚至达到使人窒息的程度。

1. 矿内空气中氧气减少的原因

(1) 有机物的氧化;

(2) 井下火灾(外因引起的火灾和煤的自然发火)和瓦斯、煤尘爆炸;

(3) 空气中混入了大量瓦斯(如 CH_4 、 CO_2 及其它有害气体),这些气体的增加使氧气含量相对减少;

(4) 人的呼吸。人在静止状态时,需要氧气量为0.25公升/分;工作及行走时为1~3公升/分,平均为1.25公升/分。

人体血液循环,吸取氧气最适宜的条件是氧气的部分压力在159毫米水银柱左右,此条件相当于氧气的含量为21%,大气压力等于760毫米水银柱($760 \times 21\% = 159$ 毫米水银柱)的状态。

当氧气的部分压力降到65~90毫米水银柱时,相当于氧气含量为9~12%,这时人也能维持呼吸,但必须具备如下两个条件:

(1) 有88~91%的气体是由氮气或其它惰性气体所组成;

(2) 从正常的氧气含量至较低的含量转变必须是逐渐的,而不是急剧的。

这就告诉我们,在井下误入缺氧地区,人们往往不能立即觉察出来,有时仅一步之差,就会有生命危险。因此,井下禁止通行的地方绝对不能进入。不用的和不通风的巷道必须设置栅栏,揭示警标,严禁入内。

2. 空气中氧气含量的减少对人的危害

(1) 当人处于静止状态, $\text{O}_2 = 14 \sim 15\%$ 时,还不致对人有危害;

(2) 当 $\text{O}_2 < 15\%$ 时,会产生缺氧现象,呼吸急促,脉搏跳动加快,意识力减退;

(3) 当 $\text{O}_2 = 10 \sim 12\%$ 时,上述现象严重化,失去理性,产生不自觉行动。当 O_2 降到10%时,人最多能活30分钟;

(4) 当 $\text{O}_2 = 8\%$ 时,人失去知觉;而当 $\text{O}_2 = 6\%$ 时,呼吸麻痹(心脏尚能活动几分钟),就会导致死亡。

二、氮气(N_2)

氮气也是无色、无味、无嗅的气体。不自燃也不助燃,属惰性气体。比重为0.967。一般浓度时无害,但当矿内空气中混有多余量时,会使氧气含量降低,形成窒息性气体,对人的生命是有危害的。

氮气含量增多时可降低沼气的爆炸界限,当空气中氮气含量达到90%时,即使沼气含量达到10%,也不能爆炸。但在高温下与氧化合可生成剧毒的二氧化氮(NO_2)气体;它与氢化合可生成剧毒、易爆的氨(NH_3)气。

矿井内氮气的来源:

1. 有机物质(如坑木、秫秸等)腐烂;

2. 火药的爆炸(1公斤的硝化甘油炸药爆炸能生成135公升的氮气);

3. 天然的氮气从煤、岩的裂隙中涌出。

三、二氧化碳(CO_2)

二氧化碳是无色、无嗅,稍有酸味的气体。它不自燃,也不助燃。易溶于水,在 0°C 时可溶1.71倍。二氧化碳的比重为1.519,约为空气的1.5倍,所以,二氧化碳也有

“重气”之称。因为它比空气重，故常积存于巷道底板、采空区、下山之端头和盲巷、暗井以及通风不良的地方。在处理旧坑或密闭时，必须注意二氧化碳对人的危害。

二氧化碳不助燃，也不能维持人的呼吸，属于惰性气体。浓度很高时对人的眼、鼻、喉的粘膜微有刺激作用，皮肤有发热的感觉。它的存在能使空气中氧气的含量相对减少，因此，吸入含有多量二氧化碳的气体时有窒息生命的危险。

二氧化碳对人生理的影响与氧气的含量有密切关系。有以下两种情况应注意：一种是向空气中单纯加入 CO_2 的情况；另一种是因为空气中的 O_2 被氧化消耗而同时增加 CO_2 的情况。尽管两种情况的 CO_2 含量相同，但 O_2 与 N_2 所占的比重是不一样的，后者的危险性更大。例如，在空气中单纯加入3%的 CO_2 时，相对的 O_2 含量为20.4%， N_2 的含量为76.6%；但是如果因 O_2 消耗而使 CO_2 增加3%时，则这种情况下 O_2 的含量仅为18%， N_2 的含量仍为79%。后者 O_2 的减少量非常大，所以危险性也大。对这两种情况应区别开来。

1. 空气中 CO_2 含量增加后对人体的危害

- (1) $\text{CO}_2 > 2\%$ 时，呼吸频率增加；
- (2) CO_2 含量达到3%时，呼吸量增大2倍，人很快感到疲劳，丧失工作能力；
- (3) CO_2 含量达到4~5%时，呼吸量增大3倍，并引起严重的耳鸣、太阳穴处血管剧烈跳动；
- (4) CO_2 含量达到6%时，引起强烈地喘息，身体虚弱。但对生命无严重威胁；
- (5) CO_2 含量达到8%时，上述症状进一步加剧和恶化；
- (6) CO_2 含量达到10%时，呼吸困难，头疼、头昏和出现昏迷状态；
- (7) CO_2 含量达到10%以上时，呈现出中毒状态，昏睡，失去知觉，呼吸麻痹以致死亡。

由上述可知： CO_2 含量不超过5%时，短时间吸入还不致有生命危险，致命的危险含量为10%。但有的书上记载 CO_2 含量达到25%时才有致命危险，这显然是指向空气中加入 CO_2 的情况。所以，对这样含量的百分数必须加以分析，以免发生错误。

在矿井中的旧坑、密闭和通风不良处，如封闭多年的旧采区、小煤窑，甚至石灰岩溶洞，冬季贮菜的菜窖中，都会有大量的 CO_2 ，故必须充分注意。而且这些地点 CO_2 含量之所以高主要是 O_2 被消耗的结果，因此更要特别注意。在上述地点检查测定 CO_2 含量的同时，也要测定该情况下 O_2 含量多少，这是非常必要的。

2. 井下 CO_2 的来源

井下 CO_2 不外以下几种来源：

- (1) 人的呼吸：劳动时每人每小时呼出 CO_2 为45~50公升；
- (2) 爆炸1公斤硝化甘油炸药能产生250公升 CO_2 ；
- (3) 有机物质的氧化；
- (4) 煤及含碳的岩石缓慢氧化；
- (5) 井下发生瓦斯及煤尘爆炸；
- (6) 煤的自然发火及井下发生火灾；
- (7) 从煤、岩层的裂隙中自然涌出；

(8) 从煤、岩层中喷出和突出;

(9) 碳酸性岩石的分解以及水中的碳酸盐类与酸类的化学反应等,都可以产生 CO_2 。

四、沼气 (CH_4)

沼气的化学名称叫甲烷,分子式为 CH_4 。沼气是一种无色、无味、无臭的气体。它的比重为0.554,在标准状态下,每立方米沼气的重量为0.716公斤,比空气轻。

沼气微溶于水,在 0°C 时约为5.5%,容易扩散,扩散速度比空气大1.6倍。沼气渗透性很强,可在煤层及岩层中渗透,可从邻近煤层穿过岩层渗透到采区或采空区来。

沼气虽无毒,但不能供给人呼吸。当空气中沼气含量较高时,就会相对的降低空气中氧气的含量。当空气中沼气含量达到40%时,就会使人窒息死亡。

沼气无助燃性,但在空气中达到一定浓度时,遇到一定温度的火源就能燃烧或爆炸。

五、一氧化碳 (CO)

一氧化碳也是一种无色、无味、无臭的气体。比重为0.967,与空气相近似。所以,它能和空气一样均匀地散布在井下巷道风流中。

一氧化碳微溶于水。燃烧时发出浅蓝色火焰,温度可达 1400°C ,有爆炸性,爆炸界限为12.5~75%,引火温度为 $630\sim 810^\circ\text{C}$ 。它有自燃性,而无助燃性。

一氧化碳是一种剧毒性气体,中毒程度可分为:

第一类中毒(轻度中毒):有耳鸣、头疼、头眩,强烈的心跳和恶心等症;

第二类中毒:除有第一类症状外,尚有肌肉疼,下肢软弱,感觉迟钝,呕吐,失去移动能力;

第三类中毒(有死亡危险的中毒):失去知觉、抽筋、呼吸麻痹及停顿(假死),但心脏还能继续跳动几分钟。如迅速进行人工呼吸并供给 O_2 ,则能复活,并恢复健康。

CO 所以能引起中毒,主要是 CO 和人体血液中红血球的亲和力非常大,比 O_2 和红血球的亲和力大250~300倍,也就是血液吸收 CO 的速度比吸收 O_2 快250~300倍。 CO 吸入人体后使红血球变成具有 CO 毒质的红血球,而引起严重中毒,以致死亡。

1. 一氧化碳中毒速度和程度与下列因素有关:

(1) 空气中 CO 含量多少;

(2) 呼吸次数、吸气深度和劳动强度;

(3) 吸气方式(连续吸气,还是间歇吸气)。

人处于静止状态时, CO 中毒程度同 CO 含量的关系:

(1) 当 CO 含量为0.016%时,经过几小时也不致中毒;

(2) 当 CO 含量达到0.05%时,一小时能引起第一类中毒;

(3) 当 CO 含量达到0.128%时,经过半小时到一小时能引起第二类中毒;

(4) 当 CO 含量达到0.4%时,经过很短时间即可引起第三类中毒;经过20~30分钟即能死亡;

(5) 当 CO 含量达到1%时,几次吸气即会失去知觉,瞬时即可死亡。

因为CO有毒，所以，《规程》第105条规定：“井下空气成分中CO含量不得超过0.0024%”。

2.CO的来源

- (1) 煤在井下氧化、自燃和燃烧；
- (2) 木材及其它材料的燃烧，特别是在不完全燃烧时会产生大量CO气体（1立方米木材能够产生500立方米的CO气体）；
- (3) 矿井内发生瓦斯爆炸；
- (4) 矿井内发生火灾；
- (5) 矿井内发生煤尘爆炸。一公斤煤尘爆炸或燃烧能产生1.5立方米的CO气体；
- (6) 用水直接扑灭煤矿井下火灾时，炽热的煤（温度在1200℃以上）和水接触时，也能生成大量的CO和H₂。

据统计，由于矿井火灾和瓦斯煤尘爆炸而牺牲的人员中，受CO中毒而死亡的人数约占总死亡人数的70~80%。

六、硫化氢（H₂S）

硫化氢是一种无色，有臭鸡蛋味的气体，比重为1.177。硫化氢能燃烧，也能爆炸，点火温度为265~380℃。硫化氢燃烧时发出青蓝色火焰，燃烧温度可达1890℃。硫化氢最易溶于水，在0℃时，可溶4.67倍。

当空气中硫化氢的含量达到4.3~45.5%时，就形成具有爆炸性的混合气体。但实际上，在矿井内任何时候也不会达到这样高的含量。

硫化氢气体是极毒的，它能使血液中毒，对人的眼睛及呼吸器官的粘膜都有强烈的刺激作用。所以，《规程》第105条规定：“井下风流中硫化氢气体的含量不得大于0.00066%。”

1.硫化氢中毒症状及危害

- (1) 当空气中H₂S的含量达到0.001%时，就可以嗅到臭味；
- (2) 当空气中H₂S的含量达到0.01~0.02%时，中毒者就流唾液和清鼻涕，瞳孔放大，呼吸困难；
- (3) 当空气中H₂S的含量达到0.02%时，经过5~8分钟即感到眼、鼻、喉等粘膜的强烈刺痛，并出现头疼、呕吐、四肢无力、神志不清等症状；
- (4) 当空气中H₂S的含量达到0.05%时，人数分钟即中毒，30分钟人即失去知觉、痉挛，如不进行急救就会死亡；
- (5) 当空气中H₂S的含量达到0.1%时，短时间即死亡。

2.硫化氢的来源

- (1) 有机物（如坑木、秫秸、竹笆和荆条等）的腐烂；
- (2) 硫化矿物遇水分解或与酸性水接触生成硫化氢，其反应式如下：
$$\text{FeS}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$$
$$\text{CaS} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{S}$$
- (3) 含硫的煤自燃（干馏），氢气（H₂）直接与硫（S）结合，生成硫化氢气体；

- (4) 矿井内发生火灾和煤尘爆炸；
- (5) 从老空区中和井下的积水中放出；
- (6) 从煤、岩层的裂隙、褶曲和断层中涌出；
- (7) 煤与瓦斯突出。

3. 对硫化氢气体的检查方法：

- (1) 由人的嗅觉直接判断；
- (2) 用醋酸铅和苛性碱溶液浸湿试纸，干燥后此试纸遇硫化氢立即变成硫化铅 (PbS) 而出现黑色；
- (3) 用化学分析法进行分析。

七、二氧化硫 (SO₂)

二氧化硫是一种无色的气体，有强烈的硫磺燃烧气味和酸味。有刺激眼睛及呼吸道粘膜的作用。比重为2.212，比空气重1.2倍，故经常存在于巷道的底板、下山端头和低洼处。它无自燃性，也不助燃。易溶于水，一个体积水可溶解79.8个体积的SO₂，与水化合生成SO₃及H₂SO₄，可侵蚀铁轨、水泵、水管等。

1. 二氧化硫气体中毒症状：

- (1) 当空气中SO₂含量达到0.0005%时，嗅觉器官就能感觉到；
- (2) 当空气中SO₂含量达到0.002%时，能剧烈的刺激眼睛及呼吸道的粘膜；
- (3) 当空气中SO₂含量达到0.05%时，可引起急性气管炎、肺气肿，在短时间内就有中毒死亡的危险。

由于SO₂气体有剧毒，所以，《规程》第105条规定：“井下所有风流中，SO₂气体的含量不得大于0.0005%。”

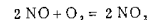
2. 井下二氧化硫的来源：

- (1) 含硫矿物缓慢氧化或自燃生成；
- (2) 从煤或围岩中放出；
- (3) 在含硫矿物中爆破生成。

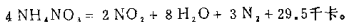
八、氧化氮 (NO) (NO₂)

氧化氮主要是指一氧化氮 (NO) 和二氧化氮 (NO₂)，其它还有N₂O、N₂O₃和N₂O₅等。其中除N₂O₅为白色固体外，其它氧化氮在常温下都是气体。

NO比重为1.036，无色气体，不助燃，不易溶于水，在高温或电火花下氮 (N₂) 与氧 (O₂) 可直接化合生成NO。它是一种极不稳定的气体，在常温下能很快与空气中的氧 (O₂) 化合成NO₂，所以，井下的氧化氮以二氧化氮 (NO₂) 为主。其化学反应式为：



NO₂比重为1.588，呈红褐色或棕色，有刺激性腥辣酸臭味，有强烈窒息性。无自燃及助燃性。主要是爆破时产生的气体。由于潮湿和其它原因炸药反应不完全时发生量更多。硝铵炸药的爆炸反应式为：



NO₂极易溶于水而生成硝酸，其化学反应式为：



它能破坏肺及全部呼吸系统组织，使血液中毒。

NO_2 气体同其它有毒气体中毒的不同特点是：它的毒化进程比较迟缓，中毒后不是立即发展为肺部浮肿。中毒者往往已经严重中毒时，仅仅感到不舒服，但还可以继续工作。经过 6~24 小时后，肺部浮肿开始发展，出现严重的咳嗽，并吐黄色的痰、感到剧烈头疼、呕吐。中毒者会很快死亡。

二氧化氮气体中毒程度取决于它在空气中的含量。

(1) 当 NO_2 含量达到 0.004% 时，经过 2~4 小时还不会引起显著中毒现象；

(2) 当 NO_2 含量达到 0.006% 时，短时间作用下，喉咙感受到刺激，咳嗽，肺部发疼；

(3) 当 NO_2 含量达到 0.01% 时，短时间作用下，刺激支气管而引起严重咳嗽、声带痉挛、恶心、呕吐、腹痛、泄肚、神经系统麻木；

(4) 当 NO_2 含量达到 0.025% 时，短时间作用下就会死亡。

所以，《规程》第 105 条规定：“井下空气中 NO_2 的含量不得超过 0.00025%。”

九、氨气 (NH_3)

氨气是无色，有氨水的辛辣臭味的气体，比重为 0.588。有爆炸性，爆炸界限为 16~27%。易溶于水，一个体积的水可溶 700 个体积的氨，成为氨水。氨水在运输和贮存时，由于温度的变化也极易发生爆炸。性质很毒，可刺激皮肤和上部呼吸器官，引起咳嗽、流泪，甚至声音嘶哑、声带水肿，头昏、眩晕。重者昏迷，四肢发冷，痉挛。更严重时能失去知觉，心力衰竭，以致死亡。矿井氨气的来源：硝酸炸药 (NH_4NO_3) 除产生 NO_2 外，在贮存时由于分解可生成 NH_3 ；爆破后残药遇水分解能产生大量 NH_3 ；有机物的氧化腐烂也可产生氨气。一般情况下，矿井中产生 NH_3 的量不大，不致达到严重程度。不过由于 NH_3 的存在，使井下空气污浊，造成不良的空气条件，影响身体健康。所以《规程》第 105 条规定，“矿井空气中氨气含量不得超过 0.004%。”

十、氢气 (H_2)

氢气的比重为 0.0696，是最轻的气体，约为空气的 1/14。无色、无味、无嗅。20℃ 时 1 升水仅溶 18 毫升的 H_2 。有可燃与爆炸性。与空气或氧气混合点火时则发生强烈的爆炸， H_2 与 O_2 混合充分时，爆速可达 2821 米/秒，温度可达 3000℃，爆炸界限为 4~74.2%。当与 CH_4 共存时，可使 CH_4 的爆炸界限扩大。引爆温度降低，300℃ 时即可点燃。在矿井内的来源：煤自燃，井下火灾，瓦斯煤尘爆炸，特别是当用水灭火时，都会产生 H_2 ，甚至可达 6~7%。井下用的蓄电池及蓄电池机车充电室内也经常发生 H_2 气体。所以，《规程》第 134 条规定：“井下空气中氢气的最大允许含量不能超过 0.5%。”

现在把矿井内各种气体按其比重大小，及其物理性质、来源等，编列成表 1--2，以便比较、记忆。由表可得出一个一般的概念，即比重轻的气体多具有爆炸性，比重大的气体多具有毒性。

矿井中除上述各种有害气体外，还有乙炔 (C_2H_2) 及其它稀有炭氢化合物 $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ ，如 C_2H_6 ， C_3H_8 等。

表 1-2

矿井内各种气体的性质

序号	气体名称	分子式	对空气的 比重	颜色	味、嗅	溶于水重量 (100容量中 的溶解量)	特 性	爆炸界限%	致命危险 程 度 %	允 许 含 量 %	来 源
1	氢 气	H ₂	0.0696	无 色	无味无嗅	2.15	无毒,窒息 爆炸可燃	4~74.2		0.5	5.7
2	沼 气 (甲烷)	CH ₄	0.554	无 色	无味无嗅	5.5	无毒,窒息 可燃爆炸	5~16		0.75	1.4
3	氨 气	NH ₃	0.588	无 色	氨水臭味	一个体溶于水 可溶300个 体积NH ₃	有毒,刺激眼 及呼吸系统	16~27		0.001	
4	一氧化碳	CO	0.967	无 色	无味无嗅	3.5	剧 毒 可燃爆炸	12.5~75	0.4	0.0021	3.5
5	氮 气	N ₂	0.967	无 色	无味无嗅	2.4	无毒,窒息				1.3.5.
6	氧 气	O ₂	1.105	无 色	无味无嗅	4.9	助 燃		低于9	不低于29	都有关系
7	硫化氢	H ₂ S	1.177	无 色	微 酸 臭鸡蛋味	468	剧毒,爆炸	4.3~45.5	0.05	0.00066	1.2.3.4 (4为危县)
8	二氧化碳	CO ₂	1.519	无 色	微 酸	173.1	窒 息		大于10	0.75	都有关系 4.5.6.7 为主
9	氰化氢	NO ₂ NO	1.588 1.036	红褐色	腥辣酸臭		剧毒,刺激眼 及呼吸系统		0.055	0.00025	3
10	三氧化硫	SO ₃	2.212	无 色	酸 硫 磺 味		剧毒,刺激眼 及呼吸系统		0.05	0.0005	1.2.4

1. 有煤物变质氧化、分解、挥发;
2. 矿物硫的氧化、分解、水解;
3. 硫磺及硫化硫(S)煤、岩层中放出;
4. 从煤、岩层裂隙及矿井水中溢出;
5. 瓦斯煤生爆炸、自燃、火灾、有机物不完全燃烧;
6. 人员呼吸及打火燃烧;
7. 井下充电电扇充放电
出、及压缩空气机
放出。

复 习 思 考 题

1. 什么叫矿内空气？新鲜空气和污浊空气？它们有什么区别？
2. 地面大气由哪些成分组成？
3. 地面大气进入矿井后改变自己成分是有哪些原因引起的？
4. 氧气有什么性质？井下空气中引起氧含量减少的原因有哪些？对人体有什么危害？
5. 《规程》对井下有人工作的地点的氧气和其他有害气体的含量是如何规定的？
6. 矿内空气中主要有毒有害气体有哪几种？它们的主要性质以及对人体的危害是什么？
7. 矿内空气中主要有毒有害气体是怎样产生的？
8. 下列几种气体，如沼气、硫化氢和二氧化碳，如果是集中积聚在巷道的話，我们在什么地点（巷道顶、底板等）容易检查发现它们？为什么？
9. 如何才能防止井下瓦斯窒息或熏人事故？这方面你矿有哪些教训？

第二章 空气的主要物理性质及矿内气候条件

第一节 矿井空气常用的物理参数

为了很好地掌握矿井通风知识，先介绍一下矿井空气常用的物理参数。

一、空气的重量

空气和一切物体一样不但占据空间，而且也有重量，其重量用符号 G 表示。

$$G = Mg \quad \text{公斤} \quad (2-1)$$

式中 M ——质量，公斤·秒²/米；

g ——地心重力加速度，米/秒²，在工程单位制中其数值为9.81米/秒²。

二、空气的容重

空气的容重就是单位体积空气的重量。用符号 γ 表示。

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad \text{公斤/米}^3 \quad (2-2)$$

$$\text{或} \quad G = \gamma \cdot V \quad \text{公斤} \quad (2-3)$$

式中 V ——空气的体积或叫容积，米³。

比容：

单位重量空气所具有的体积叫空气的比容，用符号 v 表示：

$$v = \frac{V}{G} \quad \text{米}^3/\text{公斤} \quad (2-4)$$

比较公式(2-2)与(2-4)，或当 G 为单位重量 $G = 1$ 公斤时，可知比容 v 与容重 γ 互为倒数，即：

$$v = \frac{1}{\gamma} \quad \text{及} \quad V = \frac{1}{\gamma} \quad \text{米}^3/\text{公斤} \quad (2-5a)$$

$$\text{或} \quad \gamma = \frac{1}{v} \quad \text{及} \quad \gamma = \frac{1}{V} \quad \text{公斤/米}^3 \quad (2-5b)$$

容重 γ 和比容 v 都是研究矿井通风经常应用的参数。

任何气体在标准状态下(0℃、760毫米水银柱、相对湿度 $\phi = 0$)，一个立方米的重量即容重 γ_0 。可用下式计算：

$$\gamma_0 = \frac{m}{22.4} \quad \text{克/升或公斤/米}^3 \quad (2-6)$$

式中 m ——任何气体的充分分子量，克或公斤；

22.4——一个克分子的任何气体所占的体积都是22.4升，一公斤则为22.4米³。