



普通高等教育地矿、安全类“十一五”规划教材

矿井通风与安全

■ 主 编 程卫民
副主编 辛 嵩 刘伟韬

煤炭工业出版社

普通高等教育地矿、安全类“十一五”规划教材

矿井通风与安全

主 编 程卫民

副主编 辛 嵩 刘伟韬

煤炭工业出版社

·北 京·

图书在版编目 (CIP) 数据

矿井通风与安全/程卫民主编. —北京: 煤炭工业出版社, 2009. 8

普通高等教育地矿、安全类“十一五”规划教材
ISBN 978-7-5020-3471-9

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 024987 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址: www.cciph.com.cn
北京房山宏伟印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm × 960mm¹/₁₆ 印张 33¹/₂
字数 676 千字 印数 1—3,000
2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷
社内编号 6276 定价 68.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

前 言

煤炭是世界上最丰富的化石能资源，拥有煤炭资源的国家约有 70 个，总储量为 10753.9Gt。其中，中国的煤炭资源预测地质储量达 4500Gt 以上，与美国、俄罗斯两国不相上下。能源是国民经济发展的原动力。目前，世界各国使用的能源主要是石油、煤炭和天然气，随着其他一次性资源的枯竭，煤在一次性能源结构中的比重将进一步提高。据有关专家预测，到 2010 年，煤炭在世界一次性能源消费量的比重将超过 1/3，而消费量则将由 2000 年的 4.3Gt 增长到 2020 年的 5.8Gt。煤炭在我国一次性能源结构中处于绝对主要位置，可以预见，在未来几十年内，煤炭仍将是我国的主要能源和重要的战略物资，具有不可替代性，煤炭工业在国民经济中的基础地位，将是长期的和稳固的。

随着我国煤矿开采深度的增加，水、火、瓦斯、高温热害等自然灾害越来越突出，诱发重特大事故的源头隐患特别多，特别是我国煤矿经过多年开采，老矿井数目增多，生产条件呈现为“边、残、余”和“深、薄、难”，事故发生的原因更为复杂，作业环境差，危险源多，涉及因素广泛。目前，我国 33.09% 煤矿的地质构造属于复杂或极复杂，且几乎所有井工煤矿均为瓦斯矿井。国有重点煤矿高瓦斯矿井占 26.8%，煤与瓦斯突出矿井占 17.6%；煤尘爆炸危险普遍存在，危害严重。原国有重点煤矿有煤尘爆炸危险的矿井占 87.4%。矿井煤层自然发火危险性严重。原国有重点煤矿中有煤层自然发火危险的矿井占 51.3%。冲击地压危险性增大，个别煤矿十分严重。水文地质条件复杂。采深加大，高温矿井增多。因此，煤炭产量高速增长的背后却是越来越触目惊心的煤矿安全事故，据国家安全生产监督管理局统计，2004 年我国工矿企业各类伤亡事故死亡 16497 人，其中发生一次死亡 10 人以上特大事故 44 起；2005 年我国工矿企业各类伤亡事故死亡 15871 人，其中发生一次死亡 10 人以上特大事故 47 起。一次死亡百人以上的特别重大事故的发生频率

呈增长趋势，1981—2005年全国煤矿发生一次死亡百人以上特大事故11起。可见，我国工矿企业安全生产形势十分严峻。而瓦斯事故是煤矿安全的“第一杀手”，特大事故、特别重大事故主要是瓦斯事故。2001—2004年，一次死亡10人以上特大事故中瓦斯事故占80%，一次死亡30人以上特别重大事故中瓦斯事故占83%；新中国成立以来全国煤矿共发生死亡百人以上事故22起，其中瓦斯煤尘事故20起，事故起数和死亡人数分别占91%和94%。瓦斯事故危害性最大。因此，在这种情况下煤矿通风与安全技术对于矿井的安全生产就有极为重要的意义。

本书由程卫民主编。各章的编写人员：第9，10章——王刚、周刚、程卫民；第1，7章——辛嵩；第6，12章——刘伟韬；第2，3，11章——鹿广利；第13，14章——曹庆贵、张爱兰；第4，5章——李崇山；第8章——苗德俊；第15章——吴立荣。

在本书的编写过程中，兄弟院校的教师提出了许多宝贵意见，谨向他们表示衷心的感谢。

限于编者水平，书中难免有错误之处，恳请读者不吝指正。

编 者

2009年3月

目 次

1 矿井空气及气候条件	1
1.1 矿井空气成分	1
1.2 矿井空气中有害气体	5
1.3 矿井气候条件	15
1.4 矿井空气的热力变化过程	19
2 矿井空气流动的基本理论	24
2.1 矿井空气的主要物理参数	24
2.2 井巷风流运动特征及连续方程	31
2.3 风流的压力及能量方程	39
2.4 矿井通风阻力	52
2.5 通风阻力测定	66
3 矿井通风动力	73
3.1 自然风压	73
3.2 矿井通风机	79
3.3 通风机的工作特性	90
3.4 通风机压力与矿井阻力的关系	100
3.5 通风机的工况点及合理工作范围	102
3.6 矿井通风机的经济运行及调节	104
3.7 通风机联合运转	105
3.8 矿井通风设备选型	111
4 矿井通风网络中风量分配与调节	115
4.1 风量分配的基本规律	115
4.2 简单通风网络特性	118

4.3	通风网络动态特性分析	123
4.4	矿井风量调节	125
4.5	应用计算机解算复杂通风网络	131
5	矿井通风系统	141
5.1	矿井通风系统与主要通风机工作方法	141
5.2	采区通风系统	145
5.3	通风构筑物及矿井漏风	149
5.4	可控循环通风概述	154
6	掘进通风	157
6.1	掘进通风方法	157
6.2	掘进工作面风量计算	163
6.3	局部通风装备	165
6.4	局部通风系统设计	170
7	矿井通风设计	176
7.1	拟定矿井通风系统	176
7.2	矿井总风量的计算与分配	178
7.3	矿井通风阻力的计算	185
7.4	通风设备选择	188
7.5	通风费用概算	193
7.6	生产矿井通风设计简述	195
7.7	矿井通风能力核定方法	198
8	矿井空气调节	203
8.1	矿井进行空气调节的必要性	203
8.2	矿井空气调节的特点	205
8.3	矿井热源分析与计算	206
8.4	矿井风流温湿度预测方法	216
8.5	矿井空气调节系统	223

9 矿井瓦斯	242
9.1 概述	242
9.2 煤层瓦斯赋存与含量	243
9.3 矿井瓦斯涌出	249
9.4 瓦斯喷出	262
9.5 煤(岩)与瓦斯(二氧化碳)突出及其预防	264
9.6 瓦斯爆炸及其预防	277
9.7 瓦斯抽放	286
10 火灾防治	304
10.1 概述	304
10.2 外因火灾及其预防	305
10.3 煤炭自燃理论基础	309
10.4 火灾预测与预报	314
10.5 开采技术防火措施	320
10.6 灌浆与阻化剂防灭火	322
10.7 均压防灭火	329
10.8 惰气防灭火	337
10.9 火灾时期通风	343
10.10 矿井火灾处理与控制	347
11 矿尘防治	358
11.1 矿尘及其危害	358
11.2 矿山尘肺病	368
11.3 综合防尘措施	373
11.4 煤尘爆炸及其预防	390
12 矿井水灾防治	411
12.1 矿井水害概述	411
12.2 地面防治水	419
12.3 井下防治水	421
12.4 矿井突水及其处理	434

12.5	矿山水灾预防技术·····	436
13	矿山救护·····	443
13.1	矿山救护队·····	443
13.2	矿工自救·····	460
13.3	现场急救·····	463
13.4	矿井灾害预防和处理计划·····	473
14	矿井重大事故应急救援·····	475
14.1	概述·····	475
14.2	应急救援预案的编制·····	481
14.3	应急救援行动·····	489
15	通风安全检测仪器仪表·····	493
15.1	风速测量仪表·····	494
15.2	压力测量仪器·····	501
15.3	粉尘浓度检测仪器·····	507
15.4	温度、湿度检测仪表·····	510
15.5	气体检测仪器仪表·····	512
15.6	煤矿安全环境监测监控系统·····	522
	参考文献·····	524

导
学

本章主要介绍矿井空气成分、矿井空气中有害气体、矿井有害气体的检测与管理、矿井气候条件、矿井空气的热力变化过程。本章内容是最为基础的部分,为进一步学习矿井通风的基本理论奠定基础。

=====

1 矿井空气及气候条件

1.1 矿井空气成分

1.1.1 地面空气的组成

众所周知,空气的成分以氮气、氧气为主,这是长期以来自然界中各种变化所造成的。在原始的绿色植物出现以前,原始大气是以一氧化碳、二氧化碳、甲烷和氨为主的。在绿色植物出现以后,植物在光合作用中释放出的游离氧,使原始大气中的一氧化碳氧化成为二氧化碳,甲烷氧化成为水蒸气和二氧化碳,氨氧化成为水蒸气和氮气。以后,由于植物的光合作用持续地进行,空气中大部分的二氧化碳在植物发生光合作用的过程中被吸收,从而使空气中的氧气越来越多,最终形成了以氮气和氧气为主的现代空气。

在煤矿领域中,地面空气是指由干空气和水蒸气组成的混合气体,也称为湿空气。

干空气是指完全不含有水蒸气的空气,它的恒定组成部分为氧、氮和氩、氦、氖、氪、氙等稀有气体,它们在空气中的含量随地球上的位置和温度不同在很小限度的范围内会微有变动。至于空气中的不定组成部分,则随不同地区变化而有不同。此外空气中还有微量的氢、臭氧、二氧化氮、甲烷及或多或少的尘埃。干空气成分的数量用体积浓度或质量浓度来表示,前者为某种气体的体积在干空气的总体积中所占的百分比;后者为某种气体的质量在干空气的总质量中所占的百分数。其主要组成见表1-1。

湿空气中含有水蒸气,水蒸气含量的变化会引起湿空气的物理性质和状态变化。在湿空气中,水蒸气的浓度随地区和季节而变化,其平均的体积浓度约为1%,此外还含有尘埃和烟雾等杂质,有时能污染局部地区的地面空气。

表1-1 干空气的主要成分

气体成分	体积分数/%	质量分数/%	备 注
氧气 (O ₂)	20.96	23.32	惰性稀有气体氦、氖、氩、 氮、氙等计在氮气中
氮气 (N ₂)	79.0	76.71	
二氧化碳 (CO ₂)	0.04	0.06	

地面空气进入矿井以后即称为矿井空气，即来自地面的新鲜空气和井下产生的有害气体及浮尘的混合物。

1.1.2 井下空气成分的生成

地面空气进入井下后，因发生物理变化和化学变化，使其成分种类增多，从而各种成分的浓度有所改变。

1. 物理变化

井下的物理变化有气体混入、固体混入和气象变化三种。

(1) 气体混入是指瓦斯、二氧化碳和硫化氢等气体从地层中涌出到井下空气中。多数矿井有瓦斯涌出，各矿瓦斯涌出量的大小不同，有些矿井瓦斯涌出量高达 40 ~ 50 m³/min，有些矿井还伴随瓦斯涌出氮、二氧化硫和氢等气体。

(2) 固体混入是指井下各种作业所产生的微小的岩尘、煤尘和其他杂尘浮游在井下空气之中。

(3) 气象变化主要是指由于井下空气的温度、气压和湿度的变化而引起井下空气的体积和浓度的变化。

2. 化学变化

井下的化学变化有：井下一切物质（煤、岩石、坑木等）的缓慢氧化、爆破工作、火区氧化（指采空区的煤炭被空气氧化而逐渐起火的自燃现象）和人员的呼吸等都会产生二氧化碳；井下的爆破工作、火区氧化和机械润滑油高温分解等都能产生一氧化碳；井下火区氧化和含硫煤的水解都能产生硫化氢；井下火区氧化和含硫煤的缓慢氧化都产生二氧化硫；井下爆破工作能产生氧化氮（NO₂及 N₂O₅）；井下充电硐室的电解能产生氢；井下火区氧化能产生氨（NH₃）。

以上化学变化的结果，不仅使井下空气的成分种类和浓度发生变化，而且各种化学变化都要消耗空气中的氧而产生二氧化碳，使井下空气中的氧量减少，二氧化碳量增加。

就煤矿而言，井下空气的成分种类共有 O₂，CH₄，CO₂，CO，H₂S，SO₂，N₂，NO₂（或 N₂O₅），H₂，NH₃，水蒸气和浮尘 12 种。井下空气也是湿空气。出于各矿的具体条件不同，各矿的井下空气成分种类和浓度都不相同。

在上述井下空气成分中，氧是井下人员呼吸所必需的，必须保持足够的浓度；其余9种（水蒸气除外）气体和浮尘，超过一定浓度时，对人体都是有害的，必须把它们浓度降低到没有危害的程度。在这9种气体中CO，H₂S，SO₂和NO₂（或N₂O₅）超过一定浓度时，还能使人体中毒，故称这9种气体为有毒有害气体，又称为广义的矿井瓦斯，而狭义的矿井瓦斯则专指CH₄。CH₄是煤矿井下普遍存在的气体，在一定浓度范围内具有爆炸性。所以，CH₄是煤矿井下最危险的气体。煤矿井下经常出现且数量较多的气体是CH₄和CO₂，它们是计算矿井所需风量的主要根据。

1.1.3 矿井空气的主要成分及基本性质

新鲜空气：井巷中用风地点以前，受污染程度较轻的进风巷道内的空气。

污浊空气：通过用风地点以后，受污染程度较重的回风巷道内的空气。

1. 氧气 (O₂)

氧气是维持人体正常生理机能所需要的气体，相对密度1.105，比空气重。人类在生命活动过程中，必须不断吸入氧气，呼出二氧化碳。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，人体输氧量与劳动强度的关系见表1-2。

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/(L·min ⁻¹)	氧气消耗量/(L·min ⁻¹)
休息	6~15	0.2~0.4
轻劳动	20~25	0.6~1.0
中等劳动	30~40	1.2~2.6
重劳动	40~60	1.8~2.4
极重劳动	40~80	2.5~3.1

当空气中的氧浓度降低时，人体就可能产生不良的生理反应，出现种种不舒适的症状，严重时可能导致缺氧死亡。人体缺氧症状与空气中氧浓度的关系见表1-3。AQ 1028—2006《煤矿井工开采通风技术条件》规定：采掘工作面的进风流中，氧气浓度不低于20%，二氧化碳浓度不超过0.5%。

表1-3 人体缺氧症状与空气中氧浓度的关系

氧浓度（体积分数）/%	主要症状
17	静止时无影响，工作时能引起喘息和呼吸困难
15	呼吸及心跳急促，耳鸣目眩，感觉和判断能力降低，失去劳动能力

表 1-3 (续)

氧浓度 (体积分数) /%	主要症状
10 ~ 12	失去理智, 时间稍长有生命危险
6 ~ 9	失去知觉, 呼吸停止, 如不及时抢救几分钟内可能导致死亡

矿井空气中氧浓度降低的主要原因有: 人员呼吸, 煤岩和其他有机物的缓慢氧化, 煤炭自燃, 瓦斯、煤尘爆炸; 此外, 煤岩和生产过程中产生的各种有害气体也会使空气中的氧浓度相对降低。

2. 二氧化碳 (CO₂)

二氧化碳不助燃, 也不能供人呼吸, 略带酸臭味。二氧化碳比空气重 (其相对密度为 1.52), 在风速较小的巷道中, 底板附近浓度较大; 在风速较大的巷道中; 一般能与空气均匀地混合。AQ 1028—2006 规定: 采掘工作面的进风流中, 二氧化碳的浓度不超过 0.5%。矿井总回风巷或一翼回风巷中二氧化碳浓度不应超过 0.75%, 超高时必须立即查明原因进行处理。空气中二氧化碳对人体的危害程度与浓度的关系见表 1-4。

表 1-4 二氧化碳中毒症状与浓度的关系

二氧化碳浓度 (体积分数) /%	主要症状	二氧化碳浓度 (体积分数) /%	主要症状
1	呼吸加深, 但对工作效率无明显影响	6	严重喘息, 极度虚弱无力
3	呼吸急促, 心跳加快, 头痛, 人体很快疲劳	7~9	动作不协调, 大约 10min 可发生昏迷
5	呼吸困难, 头痛, 恶心, 呕吐, 耳鸣	9~11	几分钟内可导致死亡

矿井空气中二氧化碳的主要来源: 煤和有机物的氧化, 人员呼吸, 碳酸性岩石分解, 炸药爆破, 煤炭自燃, 瓦斯、煤尘爆炸等。此外, 有的煤层和岩层中也能长期连续地放出二氧化碳, 有的甚至能与煤岩粉一起突然大量喷出, 给矿井带来极大的危害。

3. 氮气 (N₂)

氮气是一种惰性气体, 它本身无毒、不助燃, 也不供呼吸。但空气中氮含量升高, 则势必造成氧含量相对降低, 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灭火和防止瓦斯爆炸。

矿井空气中氮气的主要来源: 井下爆破和生物的腐烂, 有些煤岩层中存在氮气涌出, 灭火时人为注氮。

1.1.4 矿井空气主要成分的质量（浓度）标准

由于矿井空气质量对人员健康和矿井安全有着重要的影响，所以《煤矿安全规程》（以下简称《规程》）对矿井空气主要成分（氧气、二氧化碳）的浓度标准作出了明确的规定：采掘工作面的进风流中的氧气浓度不得低于20%，二氧化碳浓度不得超过0.5%；矿井总回风巷或一翼回风巷中瓦斯或二氧化碳浓度超过0.75%时，必须立即查明原因，进行处理；采区回风巷、采掘工作面回风巷风流中瓦斯浓度超过1.0%或二氧化碳浓度超过1.5%时，必须停止工作，撤出人员，采取措施，进行处理。

1.2 矿井空气中有有害气体

1.2.1 矿井空气中常见有害气体

矿井空气中常见的有害气体主要包括：一氧化碳、硫化氢、二氧化氮、二氧化硫、氨气和氢气。

1. 一氧化碳（CO）

一氧化碳是一种无色、无味、无臭的气体，相对密度为0.97，微溶于水，能与空气均匀地混合。一氧化碳能燃烧，当空气中一氧化碳浓度在13%~75%范围内时有爆炸危险。

主要危害：血红素是人体血液中携带氧气和排出二氧化碳的细胞。一氧化碳与人体血液中血红素的亲和力比氧大250~300倍。一旦一氧化碳进入人体后，首先就与血液中的血红素相结合，因而减少了血红素与氧结合的机会，使血红素失去输氧的功能，从而造成人体血液“窒息”。人体吸入一氧化碳后的中毒程度与空气中一氧化碳浓度的关系见表1-5。

表1-5 一氧化碳中毒症状与浓度的关系

一氧化碳浓度（体积分数）/%	主要症状
0.02	2~3h内可能引起轻微头痛
0.08	40min内出现头痛、眩晕和恶心；2h内发生体温和血压下降，脉搏微弱，出冷汗，可能出现昏迷
0.32	5~10min内出现头痛、眩晕；30min内可能出现昏迷并有死亡危险
1.28	几分钟内出现昏迷和死亡

主要来源：井下爆破，矿井火灾，煤炭自燃，以及煤尘、瓦斯爆炸事故等。

2. 硫化氢 (H₂S)

硫化氢无色、微甜，有浓烈的臭鸡蛋味，在空气中浓度达到 0.0001% 即可嗅到，但当浓度较高时，因嗅觉神经中毒麻痹反而嗅不到。硫化氢相对密度为 1.19，易溶于水，在常温、常压下 1 个体积的水可溶解 2.5 个体积的硫化氢，所以它能积存于旧巷的积水中。硫化氢能燃烧，空气中硫化氢浓度为 4.3% ~ 45.5% 时有爆炸危险。

主要危害：硫化氢剧毒，有强烈的刺激作用，不但能引起鼻炎、气管炎和肺水肿，而且能阻碍生物氧化过程，使人体缺氧。当空气中硫化氢浓度较低时主要以腐蚀刺激作用为主，浓度较高时能引起人体迅速昏迷或死亡，腐蚀刺激作用往往不明显。硫化氢中毒症状与浓度的关系见表 1-6。

表 1-6 硫化氢中毒症状与浓度的关系

硫化氢浓度 (体积分数)%	主要症状
0.0025 ~ 0.003	有强烈臭味
0.005 ~ 0.01	1~2h 内出现眼及呼吸道刺激症状，臭味“减弱”或“消失”
0.015 ~ 0.02	出现恶心、呕吐、头晕、四肢无力、反应迟钝，眼及呼吸道有强烈刺激症状
0.035 ~ 0.045	0.5~1h 内出现严重中毒，可发生肺炎、支气管炎及肺水肿，有死亡危险
0.06 ~ 0.07	很快昏迷，短时间内死亡

主要来源：有机物腐烂，含硫矿物的水解，矿物氧化和燃烧，从老空区和旧巷积水中放出。

3. 二氧化氮 (NO₂)

二氧化氮是一种褐红色的气体，有强烈的刺激气味，相对密度为 1.59，易溶于水。

主要危害：二氧化氮溶于水后生成腐蚀性很强的硝酸，对眼睛、呼吸道黏膜和肺部有强烈的刺激及腐蚀作用，严重时可引起肺气肿。二氧化氮中毒有潜伏期，有的在严重中毒时尚无明显感觉，还可坚持工作，但经过 6~24h 后发作，中毒者指头出现黄色斑点，并出现严重的咳嗽、头痛、呕吐甚至死亡。二氧化氮中毒症状与浓度的关系见表 1-7。

表 1-7 二氧化氮中毒症状与浓度的关系

二氧化氮浓度 (体积分数) %	主要症状
0.004	2~4h 内出现咳嗽症状
0.006	短时间内感到喉咙刺激，咳嗽，胸疼

表 1-7 (续)

二氧化氮浓度 (体积分数) /%	主要症状
0.01	短时间内出现严重中毒症状, 神经麻痹, 严重咳嗽, 恶心, 呕吐
0.025	短时间内可能出现死亡

主要来源: 井下爆破工作。

4. 二氧化硫 (SO₂)

二氧化硫无色、有强烈的硫黄气味及酸味, 空气中浓度达到 0.0005% 时即可嗅到。其相对密度为 2.22, 易溶于水。

主要危害: 二氧化硫遇水后生成硫酸, 对眼睛及呼吸系统黏膜有强烈的刺激作用, 可引起咽喉炎和肺水肿。

主要来源: 含硫矿物的氧化与自燃, 在含硫矿物中爆破, 以及从含硫矿层中涌出。

5. 氨气 (NH₃)

氨气无色, 有浓烈臭味, 相对密度为 0.596, 易溶于水。

主要危害: 氨气对皮肤和呼吸道黏膜有刺激作用, 可引起喉头水肿。其在空气中浓度达 30% 时有爆炸危险。

主要来源: 爆破工作, 注凝胶、水灭火等; 部分岩层中也有氨气涌出。

6. 氢气 (H₂)

氢气无色、无味、无毒, 相对密度为 0.07。氢气能自燃, 其点燃温度比甲烷低 100 ~ 200℃。

主要危害: 当空气中氢气浓度为 4% ~ 74% 时有爆炸危险。

主要来源: 井下蓄电池充电时可放出氢气, 有些中等变质的煤层中也有氢气涌出, 以及煤的氧化产生的氢气。

1.2.2 矿井有害气体的性质

矿井有害气体的性质可分为以下几方面:

(1) 臭、味和色方面——有臭的气体有 4 种, 即 NH₃ (剧臭), SO₂ (强烈硫黄臭), H₂S (臭鸡蛋味), CO₂ (微酸臭); 有味的气体有 3 种, 即 SO₂ (酸味), H₂S (微甜), CO₂ (微酸); 有色气体只有 1 种, 即 NO₂ (浅红褐色)。可根据以上性质察觉这些气体的存在。

(2) 相对密度方面——空气的相对密度为 1, 比空气重的气体有 4 种, 即 SO₂ (相对密度为 2.22), NO₂ (相对密度为 1.59), CO₂ (相对密度为 1.529), H₂S (相对密度为 1.19); 比空气轻的气体有 5 种, 即 H₂ (相对密度为 0.07), CH₄ (相对密度为 0.555),

NH_3 (相对密度为 0.596), CO (相对密度为 0.967), N_2 (相对密度为 0.967)。观测气体浓度时须注意气体的相对密度, 即须靠近底板观测比空气重的气体, 靠近顶板观测比空气轻的气体。

(3) 水溶性方面——能溶于水的气体有 5 种, 按溶于水大小依次为 SO_2 (最易溶于水, 它的水溶性相当于 CO_2 水溶性的 46.5 倍), H_2S (也比 CO_2 的水溶性大), CO_2 (体积分数是 20%, 温度和压力分别是 15°C 和 101325Pa 时, 1L 水能溶解 203.5cm^3 的 CO_2), NO_2 和 NH_3 (都比 CO_2 的水溶性小)。根据这些气体的性质, 采用喷雾洒水的措施可以降低这些气体在空气中的浓度。

(4) 爆炸性方面——气体爆炸的体积分数范围叫做气体的爆炸界限, 能够燃烧且能爆炸的气体有 4 种, 即 CH_4 (其爆炸界限为 5% ~ 16%, 爆炸之前必先燃烧, 需要积累一定的热量才能爆炸, CH_4 浓度小于 5% 时, 因空气中的 CH_4 少而 O_2 多, 虽能燃烧但热量不多, 不足以引起爆炸; CH_4 浓度大于 16% 时, 因空气中的 CH_4 多而 O_2 少, 氧化所产生的热量既不足以引起爆炸, 也不足以引起燃烧, 但在高浓度的 CH_4 和新鲜空气的接触面上点火便可燃烧; CH_4 的浓度约为 9.5% 时, 因空气中的 CH_4 和 O_2 都不多不少, 能发生完全的化学反应, 产生的热量最多, 爆炸威力最大。 CH_4 虽能燃烧, 但不助燃, 浓度 < 3% 时燃烧的火焰呈浅蓝色, 观测这种浅蓝色火焰的高低, 是安全油灯粗略检查 CH_4 浓度的根据), H_2S (爆炸界限为 4% ~ 46%), CO (爆炸界限为 13% ~ 75%), H_2 (爆炸界限为 4% ~ 74%)。

(5) 对人体的影响——对人体有毒的气体有 5 种。其中 NO_2 是最毒的气体, 它能强烈地刺激眼睛和呼吸系统 (鼻、喉、肺), 能和呼吸道上的水分化合而生成硝酸 (HNO_3), 可使肺浮肿致命, 且初期不易发觉, 有时数小时后才有关中毒征兆。 SO_2 能较强烈地刺激眼睛和呼吸系统, 使眼睛红肿, 俗称害眼气体。此外, SO_2 能和呼吸道中的水分化合而成硫酸, 使肺浮肿致命。 H_2S 能刺激眼睛和呼吸系统, 且能使人体血液中毒致命。 CO 能驱逐人体血液中的 O_2 , 使血液缺氧致命。这是因为 CO 对血色素的亲合力比 O_2 大 250 ~ 300 倍。一般的煤气中毒就是指 CO 中毒。 NH_3 能刺激眼睛、皮肤和呼吸系统。

CH_4 , CO_2 , H_2 和 N_2 四种气体虽然无毒性, 但当它们的浓度较大使氧的浓度降低到 12% 以下时, 便能使人窒息而死。

1.2.3 矿井空气中有害气体的安全浓度标准

矿井空气中有害气体对井下作业人员的生命安全危害极大, 因此, 《规程》对常见有害气体的安全标准作了明确的规定, 矿井有害气体的浓度见表 1-8。

1.2.4 矿井有害气体的检测与管理

1.2.4.1 有害气体的检测——检定管检测法

检测矿井空气中有害气体浓度的目的是为了确定其是否符合《规程》的规定, 若不符合规定要求, 则必须采取措施进行处理。另外, 检测井下空气中一氧化碳的浓度, 还是