

● 煤矿瓦斯 灾害防治及利用 技术手册

主 编：于不凡
副主编：王佑安

● 煤炭工业出版社

TD712
Y-147B

煤矿瓦斯灾害防治及利用技术手册

主 编 于不凡
副主编 王佑安

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书全面系统地介绍了煤矿瓦斯的基础知识，总结了瓦斯的防治技术。书中重点阐述了瓦斯的赋存及涌出、防止瓦斯爆炸、瓦斯抽放、煤（岩石）与瓦斯突出防治等技术。

本书可供煤矿生产建设、设计、科研部门的工程技术人员和管理干部使用，也可供矿业院校师生参考。

编审委员会

主 任 李学诚
副 主 任 付建华 李文俊
委 员 宋世钊 屠锡根 卢鉴章 于不凡
 王佑安 邵 军 俞启香 金连生
主 编 于不凡
副 主 编 王佑安
编写人员 (按姓氏笔划为序)
 于不凡 王佑安 卢鉴章 邵 军
 陈 锐 吴继周 屠锡根 谢天羽

前 言

我国是世界上最大的煤炭生产国和消费国，最高年产量达 13.7 亿 t，在一次能源消费构成中，煤炭占到 70% 以上。我国煤炭生产主要为地下作业，由于煤炭赋存的地质条件复杂多变，经常受到瓦斯、水、火、粉尘、顶板等自然灾害的威胁，加之抗灾能力较弱，煤矿事故时有发生，其中瓦斯事故尤为严重。我国是瓦斯事故最多的国家之一。

在煤矿矿井中，瓦斯灾害主要表现为瓦斯爆炸（瓦斯煤尘爆炸）和煤与瓦斯突出事故。建国以来，我国煤矿发生一次死亡百人以上特大瓦斯（与煤尘）爆炸事故有 13 起；煤与瓦斯突出次数占全世界突出总次数 1/3 以上，其中最大一次突出的突出煤和岩石量达 12780t、瓦斯 140 万 m³。瓦斯事故的发生，不仅使国家的生命财产遭受重大损失，而且影响煤炭生产正常进行。因此，防治瓦斯灾害，保障煤矿安全生产，是广大煤矿职工首要和迫切的任务。

长期以来，在党和政府的领导和支持下，经过煤炭工业系统广大干部、工人和科技人员的共同努力，治理瓦斯的科学技术及管理工作有了长足进步，防治灾害的能力明显增强，安全生产状况有了较大改善，象阳泉煤矿这样一个瓦斯大、难治理的老矿，能多年不出瓦斯事故。做到持续安全生产就是很好的例证。

为了总结广大煤矿职工治理瓦斯的丰富经验和科研成果，促进煤矿安全技术的发展，减少和杜绝瓦斯事故的发生，原煤炭工业部安全司组织煤炭科学研究总院重庆分院和抚顺分院的部分专家、学者编写了《煤矿瓦斯灾害防治与利用手册》一书。

该手册是一部囊括煤矿瓦斯灾害防治及瓦斯利用技术的大型工具书。全书共分四篇三十一章。第一篇煤层瓦斯赋存与涌出，包括煤层瓦斯的性质、生成和来源、赋存状态、涌出形式及矿井瓦斯涌出量预测；第二篇防止瓦斯爆炸，包括瓦斯爆炸条件及影响因素、局部瓦斯的积聚及处理、防止瓦斯煤尘爆炸范围扩大措施、瓦斯监测仪表；第三篇瓦斯抽放，包括开采层、邻近层、采空区及围岩抽放等各种抽放方法及提高抽放量的措施，抽放系统及装备的施工，瓦斯抽放监测、设计及瓦斯利用等；第四篇煤（岩石）与瓦斯突出，包括突出的机理、预测，预防突出的区域性措施、石门揭煤和采掘工作面的防突措施、安全防护措施、突出矿井安全开采等。本书可供煤矿企业的工程技术人员、管理干部使用，也可供科研、设计部门的有关人员及院校师生学习参考。

该手册由于不凡任主编、王佑安任副主编。各章的编者分别为：于不凡——前言，第七章（一、二、四节），第十一、十七（合）、十八、十九（合）、二十一、二十二、二十三（三节）、二十四、二十五（一节）、三十、三十一章；吴继周——第一、四、八、十七（合）、十九（合）、二十章；王佑安——第二、三、七（三节）、二十三（一、二节）、二十九章；屠锡根——第五、六、十三、十六章；卢鉴章——第九章；谢天羽——第十章；**陈锐**——第十二、十四、十五、二十五（二节）、二十六章；邵军——第二十七、二十八章。

在《手册》的编写过程中，得到了原煤炭部安全司、煤炭科学研究总院重庆分院和抚顺分院及有关煤矿企业的大力支持，并邀中国矿业大学俞启香教授审阅了书稿，在此一并表示感谢。书中不当之处，敬请广大读者批评指正。

目 录

前言

第一篇 瓦斯的赋存与涌出

第一章 矿井瓦斯的性质和来源	3
第一节 矿井瓦斯的成分和性质	3
第二节 矿井瓦斯的来源	5
第二章 煤层瓦斯的生成及分带	8
第一节 煤层瓦斯的生成	8
第二节 煤层瓦斯沿深度的带状分布	13
第三章 煤层瓦斯的赋存	15
第一节 煤的孔隙性	15
第二节 煤的吸附性	20
第三节 煤层瓦斯压力	30
第四节 煤层瓦斯含量	37
第四章 煤层的透气性	51
第一节 煤的渗透性及其影响因素	51
第二节 煤层透气性及其测定方法	51
第五章 矿井瓦斯涌出	56
第一节 概 况	56
第二节 煤层瓦斯涌出形式	58
第三节 掘进巷道瓦斯涌出	59
第四节 回采工作面瓦斯涌出	67
第五节 采空区瓦斯涌出	72
第六节 矿井瓦斯平衡	72
第七节 瓦斯涌出的不均衡性	74
第八节 矿井瓦斯等级鉴定	76
第六章 矿井瓦斯涌出量预测	79
第一节 矿山统计法预测矿井瓦斯涌出量	79
第二节 分源法预测矿井瓦斯涌出量	82
第三节 综合法预测矿井瓦斯涌出量	89
第四节 瓦斯涌出量等值线图的编制	93

第二篇 防止瓦斯爆炸

第七章 瓦斯爆炸的条件及影响因素	99
第一节 瓦斯爆炸及其危害	99
第二节 瓦斯爆炸的条件及影响因素	103
第三节 混合气体爆炸危险性的判别	108
第四节 防止瓦斯爆炸的措施	113
第八章 局部瓦斯的积聚和处理	120
第一节 停风盲巷积聚瓦斯的处理	120
第二节 顶板冒落空洞积聚瓦斯的处理	126
第三节 回采工作面上隅角瓦斯积聚的预防和处理	128
第四节 其他瓦斯积聚的处理	130
第九章 防止瓦斯煤尘爆炸范围扩大的措施	134
第一节 撒布岩粉法	134
第二节 被动式隔绝瓦斯煤尘爆炸传播措施	137
第三节 自动隔爆措施	143
第十章 瓦斯监测仪表	148
第一节 便携式瓦斯检测仪表	148
第二节 瓦斯断电仪和瓦斯遥测仪	157
第三节 矿井环境监测系统	163
第四节 配套工具及检验装置	170

第三篇 瓦斯抽放

第十一章 瓦斯抽放方法及抽放指标	177
第一节 发展概况	177
第二节 瓦斯抽放方法分类	180
第三节 瓦斯抽放指标	181
第十二章 开采层瓦斯抽放	183
第一节 抽放方式的选择	183
第二节 巷道预抽	184
第三节 钻孔预抽	186
第四节 边采（掘）边抽	198
第十三章 提高开采层瓦斯抽放量的方法	202
第一节 提高开采层瓦斯抽放量的途径	202
第二节 煤层卸压方法分类及原则	207
第三节 水力压裂法抽放瓦斯	208
第四节 水力割缝法抽放瓦斯	213
第五节 提高开采层瓦斯抽放量的其他方法	217

第十四章 邻近层瓦斯抽放	222
第一节 开采层的卸压抽放	222
第二节 钻孔抽放	229
第三节 巷道抽放	236
第十五章 采空区及围岩瓦斯抽放	245
第一节 采空区瓦斯抽放	245
第二节 溶洞及围岩裂隙瓦斯抽放	252
第十六章 综合抽放瓦斯方法	255
第一节 我国煤矿抽放瓦斯技术的发展	255
第二节 综合抽放瓦斯的必要性	256
第三节 综合抽放瓦斯方法及其效果	258
第十七章 抽放系统、装备及施工	262
第一节 钻机和钻具	262
第二节 钻孔施工及设施	280
第三节 管道系统及施工	288
第四节 泵及泵站	312
第十八章 瓦斯抽放的监测	342
第一节 瓦斯流量的测定	342
第二节 压差和负压的测定	356
第三节 瓦斯浓度的检测	359
第四节 多参数测试仪	362
第五节 瓦斯抽放监测系统	365
第十九章 瓦斯利用	370
第一节 概 况	370
第二节 瓦斯做民用燃料	373
第三节 瓦斯的工业利用	391
第二十章 矿井瓦斯抽放设计	398
第一节 设计必须的基础资料	398
第二节 抽放瓦斯的可行性论证	401
第三节 设计方法	402

第四篇 煤（岩石）与瓦斯突出

第二十一章 煤（岩石）与瓦斯突出的规律及分类	407
第一节 煤（岩石）与瓦斯突出的一般规律	407
第二节 矿井瓦斯动力现象分类	412
第二十二章 煤与瓦斯突出机理	422
第一节 煤与瓦斯突出的原因及影响因素	422
第二节 煤与瓦斯突出发生的条件及发展过程	459

第二十三章 煤与瓦斯突出的综合防治	470
第一节 综合防治总则	470
第二节 防止突出措施分类	472
第三节 防止突出措施有效性的检验	474
第二十四章 煤与瓦斯突出预测	477
第一节 煤与瓦斯突出预测分类	477
第二节 煤与瓦斯突出区域性预测	477
第三节 煤与瓦斯突出的工作面预测	480
第二十五章 防止煤与瓦斯突出的区域性措施	489
第一节 开采保护层	489
第二节 预先抽放煤层瓦斯	526
第二十六章 防止煤与瓦斯突出的水力化措施	537
第一节 水力化措施的原则与分类	537
第二节 水力冲孔	537
第三节 水力冲刷	542
第四节 煤层注水	549
第五节 水力挤出	562
第二十七章 石门和岩石井巷揭开煤层的防治突出措施	566
第一节 一般规定	566
第二节 排放钻孔	569
第三节 预先抽放瓦斯	572
第四节 金属骨架	574
第五节 扩孔钻卸煤结合金属骨架	577
第二十八章 采掘工作面防治突出的措施	580
第一节 一般规定	580
第二节 超前钻孔	582
第三节 深孔松动爆破	588
第四节 长钻孔控制卸压爆破	592
第五节 其他措施	594
第二十九章 岩石与瓦斯突出的防治	596
第一节 岩石与瓦斯突出	596
第二节 岩石与瓦斯突出危险性预测	597
第三节 岩石与瓦斯突出防治	600
第三十章 突出矿井的安全防护措施	603
第一节 震动放炮	603
第二节 反向风门	609
第三节 自救器及压风自救装置	610
第四节 避难硐室	613
第五节 其他措施	615

第三十一章 突出矿井的安全开采	617
第一节 突出煤层的巷道布置	617
第二节 突出煤层的采煤方法	619
第三节 突出矿井鉴定	621
第四节 突出矿井分级管理	625
参考文献	632

第 一 篇

瓦斯的赋存与涌出

第一章 矿井瓦斯的性质和来源

第一节 矿井瓦斯的成分和性质

矿井瓦斯系矿井内以甲烷为主的有害气体的总称。煤矿术语中的瓦斯有时专指甲烷。地面新鲜空气进入矿井后，受到有害气体和粉尘的污染就会变成污浊空气。

一、空气的基本成分和性质

地面新鲜空气的主要成分是氧、氮和二氧化碳，另外尚含有少量的水蒸气。其组成见表 1-1-1。

表 1-1-1 空气的基本成分和组成

气 体 名 称	氧 (O ₂)	氮 (N ₂)	二氧化碳 (CO ₂)	说 明
按体积 * 计 (%)	20.96	79.00	0.04	惰性稀有气体氦、氖、氩、氪、氙 计在氧气中
按质量计 (%)	23.22	76.71	0.06	

* 如无特殊说明，气体的浓度均按体积百分数计。

1. 氧气 (O₂)

氧气是无色、无味、无臭的气体，难溶于水，性活泼，能助燃，供人呼吸，相对密度为 1.11。

氧气是人维持生命不可缺少的气体。人呼吸所需要的氧气量：静止状态时，0.25L/min；工作或行走时，1~3L/min。

当空气中的氧浓度下降到：17%时，人工作时感到喘息和呼吸困难；15%时，失去劳动能力；10%~12%时，会失去理智，时间稍长有死亡危险。

《煤矿安全规程》规定，在采掘工作面的进风流中，氧气浓度不得低于 20%，以保证矿工身体健康和良好的劳动条件。

2. 氮气 (N₂)

氮气是无色、无味、无臭的惰性气体，微溶于水（约溶 2%），相对密度 0.97，不易燃，无毒，但有窒息性。在高温下能与氧化合生成有毒气体 NO₂，与 H₂ 化合生成 NH₃。空气中含氮量增高时，氧浓度相对降低，会使人缺氧窒息。

3. 二氧化碳 (CO₂)

二氧化碳是无色略有酸臭味的气体，易溶于水，属惰性气体，不助燃，相对密度为 1.52。二氧化碳对口腔、鼻、眼的粘膜有刺激作用，能刺激中枢神经，使呼吸加快。当空气

中 CO_2 的浓度达到：3%时，人的呼吸急促，易感疲劳；5%时，耳鸣、呼吸困难；10%时，出现昏迷。

《煤矿安全规程》规定：采掘工作面进风流中， CO_2 的浓度不得超过 0.5%；矿井总回风巷或一翼回风巷风流中，不得超过 0.75%；采区回风巷、采掘工作面回风巷风流中， CO_2 的浓度不得超过 1.5%。

二、矿井内空气中的有害气体和性质

矿井内空气中常见的有害气体有一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫、硫化氢和甲烷等。

1. 一氧化碳 (CO)

一氧化碳是无色、无味、无臭的气体，微溶于水（约溶 3%），常温、常压下化学性质不活泼，有爆炸性。

CO 有剧毒，对人体内的红血球所含色素的亲合力较氧气大 250~300 倍， CO 被吸入人体后，阻碍着氧与色素的正常结合，造成人体组织和细胞缺氧，使之中毒以至死亡。

空气中的 CO 浓度达到：0.016%时，数小时无或有轻微征兆；0.048%时，轻微中毒，耳鸣、头痛、头晕和心跳；0.128%时，经 0.5~1h 能严重中毒，除有上述征兆外，出现肌肉疼痛、四肢无力、呕吐、意识迟钝，丧失行动能力；0.4%时，可致命中毒，丧失知觉、痉挛、停止呼吸、假死，经 20~30min 后死亡。

经常在 CO 略高于允许浓度的环境下劳动，虽短时间内不会出现急性症状，但由于血液和组织的长期缺氧和对中枢神经的侵害，也会引起头痛、眩晕、胃口欠佳、乏力、失眠等慢性中毒症状。

《煤矿安全规程》规定，井下空气中 CO 的最高容许浓度 0.0024%。

2. 硫化氢 (H_2S)

硫化氢是一种无色、微甜、有臭鸡蛋味的气体，易溶于水，一个体积的水能溶 2.5 个体积的 H_2S 。有剧毒，能使血液中毒，对眼及呼吸系统有刺激作用。

空气中的 H_2S 达到：0.0001%时，能嗅到臭鸡蛋味；0.01%~0.015%时，流唾液和清水鼻涕，瞳孔放大，呼吸困难；0.02%时，强烈刺激眼及喉咙粘膜，感到头痛、呕吐、乏力；0.05%时，经 0.5~1h 失去知觉、抽筋、瞳孔放大，甚至死亡；0.1%时，很快死亡。

《煤矿安全规程》规定，井下空气中 H_2S 的最高容许浓度为 0.00066%。

3. 二氧化硫 (SO_2)

二氧化硫是无色、有强烈硫磺味及酸味的气体，易溶于水，相对密度为 2.22，对眼睛和呼吸器官有强烈的刺激作用。

空气中的 SO_2 浓度达到：0.0005%时，能嗅到刺激味；0.002%时，对眼睛和呼吸器官有强烈的刺激作用，眼睛红肿、流泪，咳嗽、头痛、喉痛等；0.05%时，引起急性支气管炎、肺水肿，在短时间内死亡。

《煤矿安全规程》规定，井下空气中 SO_2 的最高容许浓度为 0.0005%。

4. 二氧化氮 (NO_2)

二氧化氮是褐色、剧毒性气体，相对密度为 1.57，易溶于水并生成硝酸。

NO_2 对眼、鼻、呼吸道及肺有强烈的刺激作用和腐蚀作用，可引起肺水肿。二氧化氮中毒有潜伏期，可能当时无明显感觉，经 6~24h 后发作，咳嗽、头痛、呕吐，甚至死亡。

空气中的二氧化氮浓度达到：0.004%时，2~4h 内中毒症状不明显；0.006%时，短时间内呼吸器官感到刺激，咳嗽、胸痛；0.01%时，强烈刺激呼吸器官，严重咳嗽，声带痉挛，呕吐，神经系统麻木；0.025%时，短时间内死亡。

《煤矿安全规程》规定，井下空气中 NO_2 的最高容许浓度为 0.00025%。

5. 甲烷 (CH_4)

甲烷是无色、无味、无毒的气体。在 1 个标准大气压和温度 20℃ 时，溶解度为 3.5%。甲烷虽无毒，当空气中 CH_4 的浓度大于 50% 时，能使人缺氧而窒息死亡。

甲烷不助燃，有爆炸性。

《煤矿安全规程》规定：矿井总回风巷或一翼回风巷风流中的甲烷浓度不得超过 0.75%；采区回风巷、采掘工作面回风巷风流中的甲烷浓度不得超过 1%。

6. 其它有害气体

氨 (NH_3) 是无色、有臭味的气体，相对密度为 0.6，易溶于水，氨极毒，刺激皮肤及上呼吸道，引起咳嗽、流泪、头晕，严重时能失去知觉以致死亡。空气中 NH_3 的浓度达 15.7%~27.4% 时能爆炸。《煤矿安全规程》规定的最高容许浓度为 0.004%。

氢 (H_2) 是无色、无味、无臭的气体，难溶于水，不能供呼吸，有爆炸性，最高容许浓度为 0.5%。

压缩空气中的有害气体有油蒸汽、CO、 CH_4 等。油蒸汽有爆炸性。

常见有害气体的有关物理性质见表 1-1-2。

表 1-1-2 井下常见有害气体的一些物理性质

性 质	甲烷 CH_4	二氧化碳 CO_2	一氧化碳 CO	硫化氢 H_2S	乙 烷 C_2H_6	丙 烷 C_3H_8	氢 H_2
分子量	16.042	44.01	28.01	34.08	30.07	44.09	2.016
密度 (kg/m^3)	0.716	1.98	1.25	1.54	1.36	2	0.09
相对密度	0.554	1.53	0.97	1.17	1.05	1.55	0.07
沸点 K (101.3kPa)	111.3	194.5	83	211.2	184.7	230.8	20.2
爆炸下限 (%) (293K, 101.3kPa)	5	—	12.5	4.3	3	2.1	4
爆炸上限 (%) (293K, 101.3kPa)	15	—	74.2	45.5	12.7	9.35	74.2
发热量 (MJ/m^3 , 288K)							
最高值	37.11	—	11.86	23.50	64.53	96.61	11.94
最低值	33.38	—	11.86	21.63	58.93	88.96	10.07

第二节 矿井瓦斯的来源

矿井瓦斯（或称矿井有害气体）的来源，大致可归为三个方面：煤（岩）层和地下水释放出来的；化学及生物化学作用产生的；煤炭生产过程中产生的。

1. 甲 烷

甲烷是腐植型有机物，是在成煤过程中产生的。在漫长的地质年代中，煤中的瓦斯大部分逸散和释放，据实验室测定，而保存至今的煤层瓦斯含量最高值不超过 $60\text{m}^3/\text{t}\cdot\text{燃}$ 。

在煤层开采过程中，矿井内的甲烷一般主要来自开采煤层和顶底板的邻近煤层和煤线，少量来至岩层。

2. 重 烃

重烃是煤变质过程中的伴生气体，煤的变质程度不同其重烃含量亦有差异，以中等变质煤的含量为最多。同时，重烃在煤中的分布不是均匀的。在煤的开采过程中，部分重烃气体能够解吸并从煤体释放出来进入开采空间。

3. 二氧化碳

二氧化碳亦是成煤过程的伴生气体，有些煤层中甲烷与二氧化碳混生，赋存较深的煤层，有时甲烷与二氧化碳均很大；地表生物圈内生物化学氧化反应产生二氧化碳，溶解于地下水中并携带至煤系地层；岩浆与火山气中有大量的二氧化碳，当岩浆沿断裂构造流动和上升时，因温度下降而析出二氧化碳，贮存于煤系地层中；碳酸岩在高温下（如火成岩侵入）分解出二氧化碳。

煤、岩层中赋存的二氧化碳，在开采过程中向开采巷道涌出，污染矿井大气。此外，有机物（坑木等）的氧化、碳酸岩的水解、内因和外因火灾，以及瓦斯和煤尘爆炸等均能产生二氧化碳。

二氧化碳的次要来源有：人员呼吸，人均 1h 呼出二氧化碳为 50L；爆破工作，1kg 硝酸铵炸药爆炸时，产生 150L 二氧化碳。

4. 一氧化碳

通常认为，成煤过程中不产生一氧化碳，但在个别煤层已发现有微量的一氧化碳。

矿井内一氧化碳的主要来源是爆破工作与矿内火灾，1kg 炸药爆炸后约生成 100L 一氧化碳；其次是瓦斯和煤尘爆炸，以及支架、坑木燃烧，当 1m^3 木材不完全燃烧时，能生成 500m^3 的一氧化碳。

5. 二氧化硫

在个别煤层中，二氧化硫以巢状聚集的形式存在，并能泄入矿井巷道。矿内二氧化硫的来源，还有含硫矿物氧化与自燃及其矿尘的爆炸等。

6. 硫化氢

矿内硫化氢的来源为：有机物的腐烂；硫化矿物的水解；含硫矿物的氧化、燃烧；在含硫矿体中爆破以及从含硫矿层中涌出等。

7. 二氧化氮

煤层瓦斯组分中不含二氧化氮。炸药爆破时产生一系列的氮氧化物，如 NO 、 NO_2 等。 NO 遇空气中的氧，即氧化为 NO_2 。

8. 氢

煤层中含有少量氢，亦为有机质的变质过程产物；煤受热变质时，在高温下热分解能产生氢。

矿内火灾或爆炸事故时，可能产生氢；蓄电池充电室有氢气泄出。

9. 氮

煤、岩和地下水释放的瓦斯组分中，往往含有氮。煤层接近露头及瓦斯风化带内，由

于生物化学作用，产生大量氮气。

矿内爆破工作时，1kg 硝化甘油炸药产生 135L 氮气；有机质的腐烂也是氮气的一种来源。