

高等院校规划教材

Kuangjing Wasi Fangzhi Yu Liyong

# 矿井瓦斯防治与利用

陈学习 王志亮 主编

中国矿业大学出版社

高等院校规划教材

# 矿井瓦斯防治与利用

陈学习 王志亮 主编

中国矿业大学出版社

## 内 容 提 要

本书是高等院校的规划教材,也是华北科技学院安全工程专业应用型人才培养的特色系列教材之一。本书系统阐述了矿井瓦斯的基础知识和相关理论,结合最新颁布的法规和标准,对矿井瓦斯治理的前沿技术进行总结和归纳,特别注重对读者理论水平和实践能力的培养。全书共分8章,内容包括:矿井瓦斯的赋存与流动、煤层瓦斯参数及其测定、矿井瓦斯涌出及预测、煤与瓦斯突出预测与防治、矿井瓦斯抽采、瓦斯爆炸及预防、瓦斯监测与监控、瓦斯综合利用。

本书结构层次合理、内容全面系统、理论与实践紧密结合,可作为高等院校安全工程、采矿工程等相关专业的教学用书,也可作为煤炭企业现场技术人员、管理人员及科研人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

矿井瓦斯防治与利用 / 陈学习,王志亮主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2014.12

ISBN 978 - 7 - 5646 - 2589 - 4

I. ①矿… II. ①陈… ②王… III. ①煤矿—瓦斯爆炸—防治—高等学校—教材②煤矿—瓦斯利用—高等学校—教材 IV. ①TD71

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 305621 号

书 名 矿井瓦斯防治与利用

主 编 陈学习 王志亮

责任编辑 陈 慧

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司  
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 16.75 字数 419 千字

版次印次 2014年12月第1版 2014年12月第1次印刷

定 价 21.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

## 前 言

随着煤矿开采深度的增加,煤层瓦斯压力、瓦斯含量、地应力和瓦斯涌出量不断增大,瓦斯灾害的治理在安全生产中的重要性日益突出。据有关资料表明,我国煤矿每年平均开采深度增加 10~30 m,平均每年相对瓦斯涌出量增加  $1 \text{ m}^3/\text{t}$  左右,呈现出矿井瓦斯等级上升、突出矿井数量逐年攀升的态势。尤其在东北及东部地区,更多矿井已进入深部,以地应力为主导的瓦斯动力灾害更趋严重,防治难度日益增大;中部地区矿井逐步进入深部,煤层瓦斯含量和瓦斯压力较大,瓦斯灾害将日趋严重;煤炭产能逐步西移,新疆将成为煤炭生产新的主战场,成为瓦斯防治重点地区。随着矿井机械化开采程度的不断提高,工作面的掘进、回采速度大大增加,工作面瓦斯涌出量及突出危险性增大,现有技术、装备和管理的适用程度降低,瓦斯灾害的危险性和防治难度呈日益增大的趋势。

我国煤矿的煤层瓦斯原始含量在空间上存在较大差异,瓦斯赋存总体上表现为南高北低、东高西低的趋势。我国的高瓦斯及煤与瓦斯突出矿井数量多、分布广,全国 26 个主要采煤省份只有北京、福建、广西、青海 4 个省(区、市)没有煤与瓦斯突出矿井,仅北京和福建没有高瓦斯矿井。西南和中东部地区的高瓦斯和煤与瓦斯突出矿井分布较多,贵州、四川、湖南、山西、云南、江西、重庆、河南 8 省(市)占全国总数的 87.2%。我国煤矿开采的突出煤层约 95.4% 位于石炭—二叠系海陆交互相沉积地层,这类煤层地质年代久远,封闭性好,瓦斯含量高、压力高,尤其经历过多次构造运动,使煤层受到严重的挤压搓揉破坏,煤层赋存不稳定、结构松软破碎、地质构造复杂,开发这类煤层的矿井极易发生瓦斯事故,如事故多发的贵州、湖南、四川、重庆、云南、河南、山西、江西、安徽等基本上都是开发构造极其复杂的高瓦斯突出石炭—二叠系煤层。此外,由于这类煤层普遍受到挤压搓揉等构造运动的影响,封闭性好、裂隙不发育,因而透气性普遍较低,而且近半数煤层没有保护层开采条件,给区域性瓦斯治理增加了极大的难度,瓦斯抽采效果差、防灾难度大。

煤矿瓦斯事故的发生受三方面主要因素影响:一是煤炭资源条件,如煤层地质条件、煤层赋存条件、煤层瓦斯条件等;二是技术装备和组织管理水平,包括防治瓦斯的技术装备、人员素质、管理理念、管理有效性等水平;三是社会经济发展方式,包括企业的经济发展方式和赢利能力、地方经济的发展方式和经济发达水平、国家经济发展方式和能源供求关系等。经过几十年的研究和实践,我国煤矿瓦斯防治技术和装备得到较大发展,为保障煤矿安全发挥了重要作用。随着通风技术与装备的改进,井下用风地点的有效风量保障性得到大幅提高,瓦斯超限次数大幅减少;适用于不同开采、地质条件下的多种瓦斯抽采方式和抽采装备在全国主要矿区得到广泛应用,矿井瓦斯抽采量大幅提高;绝大多数矿井都安装了煤矿安全监控系统,实现了对井下瓦斯浓度、设备运行状态等的监控;突出危险性预测、防突措施、防突措施效果检验和安全防护措施在内的“四位一体”的综合防突技术体系及相应的防突装备在绝

大多数突出矿井得到应用;被动式隔抑爆技术及装备在多数矿井得到使用。

近年来我国瓦斯事故大幅减少,瓦斯防治取得了明显成效,不仅得益于煤矿安全管理的不断强化,更得益于瓦斯防治技术与装备的发展和推广应用。瓦斯爆炸、瓦斯燃烧、瓦斯窒息等事故依靠现有技术、装备和有效管理,能在很大程度上得到控制。对煤与瓦斯突出事故,依靠现有技术、装备,按照现有防突技术体系,能够起到较好的控制效果,但是,对一些深部矿井、地质构造特别复杂的矿井、突出—冲击地压复合的矿井、突出危险性特别严重的矿井等,必须加强防突技术措施的针对性和有效性,矿区瓦斯灾害危险性评估、矿井合理采掘部署、地质构造超前探测、煤层瓦斯参数测定、抽瓦斯钻孔施工、煤层增加透气性、高地应力卸压等技术、装备在进行区域瓦斯治理能力和效果方面还需要更深入地研究。目前,煤矿安全的信息化和智能控制技术的研究和应用还处于起步阶段,煤矿安全技术、装备和管理尚达不到信息化、智能化、规范化、精细化的要求,瓦斯防治工作任重道远,急需建立和配备一支懂理论、懂技术、懂管理的高素质瓦斯灾害防治队伍。

本书系统阐述了矿井瓦斯的基础知识和相关理论,结合最新颁布的法规和标准,对矿井瓦斯治理的前沿技术进行总结和归纳,特别注重对读者理论水平和实践能力的培养。本书由陈学习和王志亮担任主编,多位具有丰富实践经验的安全工程专业教师参与编写,具体分工如下:第1章由徐阿猛编写,第2章由陈绍杰编写,第3章由王志亮编写,第4章由陈学习编写,第5章由齐黎明编写,第6章由张莉聪编写,第7章由李东明编写,第8章由王轶波编写。

本书在编写过程中,朱建芳、刘国兴、张跃兵、兰泽全、张超、柏松、韦善阳、陈鹏、杨涛等老师提出了许多宝贵的建议,杨礼刚、李萍等同学进行了资料收集、图形绘制及文字输入等大量工作,华北科技学院教材建设专项资金对本书给予资助,中国矿业大学出版社对本书出版给予大力支持,在此一并表示感谢。

书中不足之处,祈望广大读者提出宝贵意见,批评指正。

编者

2014年10月

## 目 录

第 1 章 煤层瓦斯的赋存与流动	1
1.1 矿井瓦斯的概念及性质	1
1.2 煤层瓦斯的生成	7
1.3 煤层瓦斯的赋存	13
1.4 煤层瓦斯的流动	41
复习思考题	49
第 2 章 煤层瓦斯基础参数测定	50
2.1 煤层瓦斯压力测定	50
2.2 煤层瓦斯含量测定	61
2.3 煤层透气性系数测定	67
2.4 其他煤层瓦斯参数测定	69
复习思考题	77
第 3 章 矿井瓦斯涌出及预测	78
3.1 瓦斯涌出概述	78
3.2 矿井瓦斯涌出量预测	83
3.3 矿井瓦斯等级鉴定	115
复习思考题	120
第 4 章 煤与瓦斯突出预测与防治	121
4.1 煤与瓦斯突出分类	121
4.2 煤与瓦斯突出机理与规律	125
4.3 煤与瓦斯突出危险性预测	131
4.4 煤与瓦斯突出防治措施	141
复习思考题	162
第 5 章 煤矿瓦斯抽采	163
5.1 煤矿瓦斯抽采方法分类	163
5.2 开采煤层瓦斯抽采方法	165
5.3 邻近层卸压瓦斯抽采方法	180
5.4 采空区瓦斯抽采方法	190

5.5	综合抽采瓦斯方法 .....	193
5.6	提高瓦斯抽采率的途径 .....	197
	附录:上隅角埋管抽采采空区瓦斯技术方案设计案例 .....	205
	复习思考题 .....	208
<b>第6章</b>	<b>瓦斯爆炸及预防 .....</b>	<b>209</b>
6.1	矿井瓦斯爆炸机理 .....	209
6.2	瓦斯爆炸的传播及其危害 .....	212
6.3	瓦斯爆炸基本条件及影响因素 .....	216
6.4	瓦斯爆炸的防治措施 .....	219
6.5	瓦斯爆炸事故分析 .....	228
	复习思考题 .....	235
<b>第7章</b>	<b>矿井瓦斯监测与监控 .....</b>	<b>236</b>
7.1	煤矿安全监控系统 .....	236
7.2	矿用瓦斯传感器的种类 .....	240
7.3	甲烷传感器的设置与调校 .....	248
	复习思考题 .....	255
<b>第8章</b>	<b>矿井瓦斯综合利用 .....</b>	<b>257</b>
8.1	瓦斯提纯与储存 .....	257
8.2	瓦斯发电 .....	259
8.3	瓦斯化工利用 .....	260
8.4	瓦斯燃料利用 .....	260
	参考文献 .....	261

# 第1章 煤层瓦斯的赋存与流动

在煤矿建设和生产过程中,煤层和围岩中的瓦斯气体会涌到生产空间,对井下的安全生产构成威胁。对于不同的煤层、不同的矿井,由于瓦斯赋存状况不同,瓦斯涌出所造成的危险程度也是不同的。只有了解了瓦斯的基本性质和煤层瓦斯的赋存与流动状况,掌握了瓦斯赋存的主要参数和瓦斯在煤层中的流动规律,才能为瓦斯治理提供可靠的基础依据。本章主要介绍矿井瓦斯的性质、煤层瓦斯的生成、煤层瓦斯的赋存和煤层瓦斯的流动等内容。

## 1.1 矿井瓦斯的性质

### 1.1.1 矿井瓦斯的性质

矿井瓦斯是在煤矿生产过程中形成的一个概念,其概念有广义和狭义之分。广义的瓦斯是指煤矿在生产和建设过程中从煤层、煤层围岩、采空区等放出的各种有害气体的总称,也是指矿井内以甲烷为主的有毒有害气体的总称。由此可见,瓦斯指的是一种混合气体,其主要成分是甲烷,在煤矿常见的有害气体中占主要成分,在现行煤矿规范用词中称之为瓦斯。矿井瓦斯的组分包括井下产生的所有有毒有害气体。狭义的矿井瓦斯则专指甲烷。

### 1.1.2 矿井瓦斯的来源

矿井瓦斯是指井下有害气体的总称,井下瓦斯的来源主要有四类:第一类来源是在煤层及围岩内赋存并能涌入到矿井中的气体;第二类来源是矿井生产过程中生成的气体,如爆破时产生的炮烟、内燃机运行时排放的废气、充电过程中生成的废气等;第三类来源是井下空气与煤、岩、矿用材料之间的化学或生物化学反应生成的气体;第四类来源是放射性物质蜕变过程中生成的气体或地下水放出的放射性惰性气体。在第一类来源中主要是有机质在煤化过程中生成的并赋存于煤岩中的气体,称为有机源气体;在有火成岩侵入或碳酸盐热分解生成的二氧化碳经断层侵入的煤田,存在无机源气体。

### 1.1.3 矿井瓦斯的主要成分

矿井瓦斯的成分很复杂,国内外对瓦斯组分的大量实测表明,矿井瓦斯约有20余种组分。瓦斯的主要成分是甲烷( $\text{CH}_4$ ,俗称沼气),其次是氮气( $\text{N}_2$ )和二氧化碳( $\text{CO}_2$ ),另外还有少量或微量的烷烃类气体(乙烷  $\text{C}_2\text{H}_6$ 、丙烷  $\text{C}_3\text{H}_8$ 、丁烷  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ 、戊烷  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ )、一氧化碳( $\text{CO}$ )、硫化氢( $\text{H}_2\text{S}$ )、氢气( $\text{H}_2$ )、二氧化硫( $\text{SO}_2$ )、一氧化氮( $\text{NO}$ )、二氧化氮( $\text{NO}_2$ )、氨气( $\text{NH}_3$ )、放射性气体氡( $\text{Rn}$ )和氦( $\text{He}$ )等。



不同地区、不同煤层、不同深度,瓦斯的组分不尽相同。根据瓦斯组分中的气体成分不同,从安全的角度可以将这些组分划分为四类:

(1) 可燃性气体

它是指甲烷等烷烃类( $C_n H_{2n+2}$ )、环烷烃( $C_n H_{2n}$ )、 $H_2$ 、 $CO$ 、 $H_2S$ 等,这些气体具有可燃烧的特性,在一定浓度范围内与空气的混合气体往往具有爆炸性,对煤矿安全构成严重威胁。

(2) 有毒性气体

它是指  $H_2S$ 、 $CO$ 、 $SO_2$ 、 $NH_3$ 、 $NO$ 、 $NO_2$ 等,这些气体达到一定的浓度时,会直接威胁人体的健康甚至生命。

(3) 窒息性气体

它是指  $N_2$ 、 $CH_4$ 、 $CO_2$ 、 $H_2$ 等,这些气体往往赋存在煤体或其围岩内,开采过程中大量涌到生产空间,从而使空气中氧气的浓度降低,造成人员窒息。

(4) 放射性气体

它是指氡气和氦气。

可以看出,矿井瓦斯成分相当复杂,而且各种成分的含量差别极大。甲烷是煤矿井下特有的、主要的有害气体,由煤层及其围岩涌出的甲烷往往占到瓦斯总量的90%以上,除了个别矿井外,其他成分含量极少,因此煤矿常把甲烷气体称为瓦斯。本书如不特别指明,在述及到瓦斯时,通常就是指甲烷。

表1-1和表1-2是原煤炭科学研究总院抚顺研究院对我国部分煤矿煤层瓦斯组分的分析结果。

表 1-1 中国部分煤矿煤层瓦斯组分测定结果

采样地点	煤层	煤质	煤层瓦斯组分(体积)/%					
			$N_2$	$CO_2$	$CH_4$	$C_2H_6$	$C_3H_8$	$i-C_4H_{10}$
北票台吉矿-550 m 水平	4	气煤	7.10	0.39	92.03	0.090 8	0.007 9	0.018 7
北票台吉矿-550 m, 东三石门	5A	气煤	1.42	1.60	73.07	16.18	5.49	0.713 0
北票冠山矿-58 m 水平	5C	气煤	7.28	0.93	91.57	0.070 4	0.001 8	0.005 2
铁法大隆矿西翼南二区	7	气煤	12.27	1.08	84.92	1.686 8	0.006 0	0.000 3
鸡西滴道立井二路	18	焦煤	12.85	1.07	85.87	0.045 3	0.004 2	0.000 4
中梁山北井 2443 采面	$K_4$	焦煤	4.61	3.33	91.35	0.670 8	0.013 5	0.002 0
天府南井六石门	$K_9$	焦煤	5.05	2.95	91.92	0.034 4	0.026 0	0.002 6
天府南井北段+110 m	$K_2$	焦煤	2.98	2.64	93.78	0.547 7	0.004 3	0.000 6
南桐直属二井 2504 采面	5	瘦煤	2.96	1.97	87.44	6.271 1	1.312 1	0.005 0
沈阳红阳三井 860 孔	7	瘦煤	5.45	5.50	87.58	1.314 2	0.088 8	0.003 1
沈阳红阳三井 895 孔	13	瘦煤	3.73	2.02	92.79	1.377 7	0.060 7	0.002 5
阳泉一矿北头嘴井	3	无烟煤	0.93	2.29	96.72	0.050 0	0.003 6	0.002
松藻+430 m, 1356 采面	$K_3$	无烟煤	14.17	0.32	84.84	0.548 5	0.006 0	

续表 1-1

采样地点	煤层	煤质	煤层瓦斯组分(体积)/%					
			N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>
白沙红卫坦家冲井	6	无烟煤	9.07	12.14	73.72	4.12	0.034 8	0.002 7
焦作李封大井	2	无烟煤	9.15	9.14	77.82	2.97	0.020 5	0.000 1

注:1. 根据空气中氧和氮的比例,按试样中的含氧量扣除混进的空气量。

2. 除红阳三井煤样为勘探钻孔煤样外,其他均为井下新暴露面煤样。

3. 表 1-2 同此。

表 1-2 中国部分煤矿煤层瓦斯组分(烷烃类气体)测定结果

采样地点	煤层	煤质	煤层瓦斯组分(体积)/%					
			n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>
北票台吉矿-550 m 水平	4	气煤	0.022 8	0.011 8	0.016 9	0.023 6	0.027 1	
北票台吉矿-550 m,东三石门	5A	气煤	0.652 0	0.173 0	0.158 0	0.099 0	0.154 0	0.064
北票冠山矿-58 m 水平	5C	气煤	0.011 2	0.006 0	0.011 2	0.022 3	0.064 8	0.019 4
铁法大隆矿西翼南二区	7	气煤	0.000 5	0.001 9		0.010 8		
鸡西滴道立井二路	18	焦煤	0.012 0				0.159 0	
中梁山北井 2443 采面	K <sub>4</sub>	焦煤	0.005 7	0.000 6	0.000 3		0.005 2	
天府南井六石门	K <sub>9</sub>	焦煤	0.006 9	0.001 1	0.001 8	0.002 3	0.006 5	
天府南井北段+110 m	K <sub>2</sub>	焦煤	0.001 5	0.000 5	0.000 6			
南桐直属二井 2504 采面	5	瘦煤	0.012 7	0.001 1	0.002 1	0.001 1	0.028 1	0.016 6
沈阳红阳三井 860 孔	7	瘦煤	0.007 6	0.001 2	0.003 6	0.005 3	0.051 7	
沈阳红阳三井 895 孔	13	瘦煤	0.009 0	0.000 3	0.000 7		0.006 2	
阳泉一矿北头嘴井	3	无烟煤	0.002 0					
松藻+430 m,1356 采面	K <sub>3</sub>	无烟煤	0.001 3	0.000 4			0.094 9	
白沙红卫坦家冲井	6	无烟煤	0.010 1	0.001 9	0.004 9	0.006 3	0.014 3	
焦作李封大井	2	无烟煤		0.000 4	0.001 4	0.002 3	0.033 2	

### 1.1.4 矿井瓦斯的主要性质

矿井瓦斯的性质是瓦斯所含各个成分性质的总和。在此,我们择其主要和有害成分加以说明。

#### (1) 甲烷

甲烷是一种无色、无味、无臭、无毒的气体,人的感觉器官无法感知甲烷的存在。标准状态下[1 atm(101 325 Pa),温度为 0 °C],其密度为 0.716 kg/m<sup>3</sup>,比空气轻,对空气的相对密度为 0.554,具有很强的扩散性,扩散系数为 0.196 cm<sup>2</sup>/s(0 °C,0.1 MPa)。

甲烷微溶于水,熔点为-182.5 °C(0.1 MPa),在 20 °C和 0.101 3 MPa 时,100 L 水可溶 3.31 L 瓦斯。

甲烷遇火源时有燃烧和爆炸性,但不助燃。甲烷的发热量为 35.994 MJ/m<sup>3</sup>(100%的

CH<sub>4</sub>)。

主要危害:具有窒息性、燃烧和爆炸性。其本身虽然无毒,但会挤占空气的空间,使空气中的氧气浓度下降,从而使空气具有窒息性。另外满足一定条件,会燃烧甚至爆炸,产生安全事故等严重后果。

#### (2) 一氧化碳(CO)

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

主要危害:剧毒。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”。一氧化碳含量为 0.08%,40 min 引起人头疼眩晕和恶心;含量为 0.32%,5~10 min 引起头疼、眩晕,30 min 引起昏迷、死亡。详见表 1-3。

主要来源:爆破,矿井火灾,煤炭自燃以及煤尘瓦斯爆炸事故等。

表 1-3 一氧化碳中毒程度与含量的关系

CO 含量(体积分数)/%	主要症状
0.001 6	数小时后有头疼、心跳加快、耳鸣等轻微中毒症状
0.048 0	1 h 可引起轻微中毒症状
0.128 0	0.5~1 h 引起意识迟钝,丧失行动能力等严重中毒症状
0.400 0	短时间失去知觉、抽筋、假死,30 min 内即可死亡

#### (3) 二氧化硫(SO<sub>2</sub>)

二氧化硫无色、有强烈的硫黄气味及酸味,空气中含量达到 0.000 5% 即可嗅到。其与空气的相对密度为 2.32,易溶于水。

主要危害: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,可引起喉炎和肺水肿。当二氧化硫含量达到 0.002% 时,眼及呼吸器官即感到有强烈的刺激;含量达 0.05% 时,短时间内即有致命危险。详见表 1-4。

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。

表 1-4 二氧化硫中毒程度与含量的关系

SO <sub>2</sub> (体积分数)/%	主要症状
0.000 5	嗅到刺激性气味
0.002 0	头疼、眼睛红肿、流泪、喉痛
0.050 0	引起急性支气管炎和肺水肿,短时间内有生命危险

#### (4) 二氧化氮(NO<sub>2</sub>)

二氧化氮是一种褐红色的气体,有强烈的刺激气味,与空气的相对密度为 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,二氧化氮中毒有潜伏期,中毒者指头出现黄色斑点。当二氧化氮含量为0.01%时,出现严重中毒。详见表1-5。

主要来源:井下爆破工作。

表 1-5 二氧化氮中毒程度与含量的关系

NO <sub>2</sub> 含量(体积分数)/%	主要症状
0.004	2~4 h 内不致显著中毒,6 h 后出现中毒症状,咳嗽
0.002	短时间内喉咙感到刺激、咳嗽、胸痛
0.050	强烈刺激呼吸器官、严重咳嗽、呕吐、腹泻、神经麻木
0.025	短时间内可致死

#### (5) 硫化氢(H<sub>2</sub>S)

硫化氢无色、微甜、有浓烈的臭鸡蛋味,当空气中含量达到0.0001%即可嗅到,但在含量较高时,因嗅觉神经中毒麻痹,反而嗅不到。硫化氢与空气的相对密度为1.19,易溶于水,在常温、常压下1体积的水可溶解2.5体积的硫化氢,所以它可能积存于旧巷的积水中。硫化氢能燃烧,空气中硫化氢含量为4.3%~46%时有爆炸危险。

主要危害:硫化氢剧毒,有强烈的刺激作用;能阻碍生物氧化过程,使人体缺氧。当空气中硫化氢含量较低时主要以腐蚀刺激作用为主,含量较高时能引起人体迅速昏迷或死亡。详见表1-6。

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。

表 1-6 硫化氢中毒程度与含量的关系

H <sub>2</sub> S (体积分数)/%	主要症状
0.0001	可闻到强烈臭鸡蛋味
0.0100	流唾液和清鼻涕、瞳孔放大、呼吸困难
0.0500	0.5~1 h 严重中毒、失去知觉、抽筋、瞳孔放大甚至死亡
0.1000	短时间内死亡

#### (6) 氨气(NH<sub>3</sub>)

氨气是无色、有浓烈臭味的气体,与空气的相对密度为0.596,易溶于水,空气中氨气含量达30%时有爆炸危险。

主要危害:氨气对皮肤和呼吸道黏膜有刺激作用,可引起喉咙水肿。

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。

#### (7) 氢气(H<sub>2</sub>)

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

主要危害:当空气中氢气含量为4%~74%时有爆炸危险。

主要来源:井下蓄电池充电时可放出,有些中等变质的煤层中也有氢气涌出或煤氧化

析出。

### 1.1.5 矿井瓦斯的主要危害

#### (1) 可造成瓦斯窒息事故

矿井巷道长时间处于微风或停风状态时,由于煤层瓦斯的不断涌入,会导致巷道内瓦斯浓度升高;同时涌出的瓦斯往往容易积聚在巷道的顶板处,形成瓦斯层。瓦斯在空气中具有较强的扩散性,扩散速度是空气的 1.43 倍,局部地区较高浓度的瓦斯会自动向低浓度的区域扩散,从而使瓦斯浓度趋于均匀,因此,在风量充足的巷道中,瓦斯的分布通常是均匀的。瓦斯的渗透性也很强,其渗透能力是空气的 1.6 倍,在煤层附近的围岩中掘进巷道时,有时也能从围岩中涌出瓦斯。

瓦斯本身虽然无毒,但井下涌出的瓦斯会挤占空气的空间,使井下空气中的氧气浓度下降,从而使空气具有窒息性。当空气中瓦斯的浓度达到 43% 时,空气中氧气的浓度降到 12%,人在此环境下会感到呼吸短促;当瓦斯浓度达到 57% 时,相应的氧气浓度被冲淡到 9% 以下,人此时若处于其中即刻会处于昏迷状态,时间稍长就会有死亡危险。

井下空气中瓦斯和氧的含量关系如图 1-1 所示。

#### (2) 可造成瓦斯燃烧事故

瓦斯是一种可燃性气体,当其在空气中的浓度达到某一范围(低于 5% 或高于 15%)时,一旦存在点火源,就会酿成瓦斯燃烧事故。当瓦斯浓度在 0~5% (爆炸下限) 时,遇火源发生氧化燃烧反应,在火焰外围形成稳定的燃烧层;瓦斯浓度超过爆炸上限 15% 时,混合气体无法被点燃,但与新鲜空气混合时,可以在混合界面上被点燃,形成稳定的火焰。瓦斯燃烧是煤矿非常危险的事故,瓦斯的瞬间燃烧往往使人来不及躲避,造成人员伤亡,并引发火灾事故。因此,在煤矿建设和生产中,防止瓦斯燃烧是防治瓦斯事故的主要环节之一。

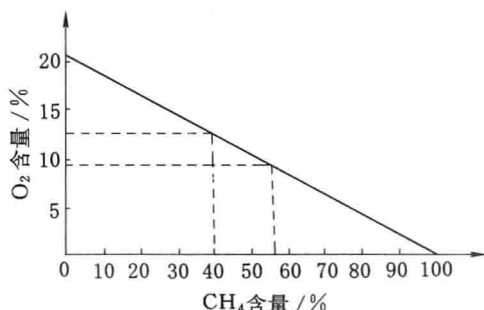


图 1-1 井下空气中瓦斯和氧的含量关系

#### (3) 可引起瓦斯爆炸事故

瓦斯浓度处于 5%~15% (5% 体积百分比,相当于 1 m<sup>3</sup> 空气中含 33 g CH<sub>4</sub>; 15% 体积百分比,相当于 1 m<sup>3</sup> 空气中含 100 g CH<sub>4</sub>) 范围内,一旦存在合适的点火源就会形成强烈的爆炸,引起瓦斯爆炸事故。对煤矿井下安全威胁最大的是瓦斯爆炸,局部区域瓦斯的瞬间爆炸可以对井下的人员和设施造成很大的伤害和破坏,由此引发的煤尘爆炸、火灾、冒顶及通风系统紊乱等又会使事故进一步扩大,造成更大损失。因此,在煤矿建设和生产中,防止瓦斯爆炸是防治瓦斯事故的主要环节。

#### (4) 可引起煤与瓦斯突出事故

煤层瓦斯压力较高、地质构造复杂、地应力较大、煤层破坏严重时,在此区域作业的采掘工作面容易发生煤与瓦斯突出事故。突出发生时,突出的煤和矸石能摧毁井巷,破坏井下设施,破坏矿井通风系统,同时井巷充满瓦斯和煤(岩)抛出物,造成人员窒息和煤流埋人,甚至能引起瓦斯爆炸与火灾事故。因此,煤与瓦斯突出是煤矿井下严重的自然灾害之一,必须加

强对此类事故的预防。

#### (5) 污染环境,加剧大气“温室效应”

瓦斯对环境的污染主要表现为加剧大气“温室效应”。据有关研究成果报道,瓦斯( $\text{CH}_4$ )是仅次于氟利昂的温室气体,它产生的温室效应是 $\text{CO}_2$ 的25~30倍,且产生温室效应的时效长达100~150年之久。世界煤矿每年向大气排放瓦斯600多亿立方米,其中我国煤矿排放到大气中的瓦斯就多达190多亿立方米,占全世界煤矿排入大气瓦斯总量的1/3。

## 1.2 煤层瓦斯的生成

瓦斯(甲烷),这一煤炭生成过程中的伴生物,早在15世纪就开始为人们所认识。

我国明代宋应星在《天工开物》(1637年)一书中曾介绍,煤层中存在着一种能使人窒息和可燃爆气体,并提出了利用竹管引排的方法。16世纪末,英国和其他西欧国家在采煤时,也遇到了“有害的”气体,但并未引起人们的重视。直到18世纪初期英国有的矿井开始发生瓦斯爆炸,1839年美国煤矿发生瓦斯爆炸及后来断断续续又发生的许多次爆炸,导致了人员和设备财产的严重损失后,才逐渐引起人们的重视,并开始研究瓦斯爆炸的原因及应采取的防范措施。但是,有关瓦斯生成及来源的问题,直到20世纪40年代才开始逐步引起人们的重视,并对此进行研究。

煤矿井下的瓦斯主要来自煤层和煤系地层,它是成煤的煤化作用过程中伴生的。煤的原始母质沉积以后,一般经历2个成气时期:从植物遗体到泥炭的生物化学成气时期和在地层的高温高压作用下从褐煤直到无烟煤的煤化变质作用成气时期。瓦斯的生成是和煤的形成同时进行且贯穿于整个成煤过程中的。

### 1.2.1 煤层瓦斯的生成

煤层瓦斯主要是在成煤过程中产生的。煤由植物遗体经过复杂的生物化学和物理化学作用转变而成。从植物死亡、堆积到转变成煤要经过一系列演变过程,这个过程称为成煤作用。在整个成煤过程中都伴随有烃类、二氧化碳、氢和稀有气体的产生。

煤层瓦斯的生成与煤的成因息息相关,除了与成煤物质、成煤环境、煤岩组成、围岩性质、成煤阶段等有关系外,还和2个不同成气时期有很大的关系。一般情况下,瓦斯的成气母质可分为高等植物在成煤过程中形成的腐殖质和低等植物在成煤过程中形成的腐泥质两大类,它们在成煤和成气过程中的差异,构成了各自特有的地球化学标志和各自不同的特点,见表1-7。

成煤的原始物质为植物,高等植物在成煤过程中形成腐殖质,进而成为腐殖煤。腐殖质的成分以芳香族化合物为主,脂类化合物较少,其元素特征是贫氢富氧。腐殖煤产生的甲烷量较多,可达气体成分的90%~95%。

低等植物在成煤过程中形成腐泥质,进而成为腐泥煤。腐泥质中脂类化合物相当丰富,元素组成特征是氢高氧低,产生的甲烷量相对较少,一般为形成的气体成分的47%~70%左右。

结合成煤过程,大致可划分出生物化学作用时期和煤化变质作用时期两个成气时期。

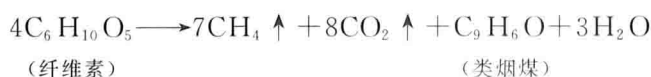
表 1-7 腐殖质和腐泥质有机质对比

特性		腐殖质	腐泥质
主要成分		以芳香族化合物为主	含丰富的类脂化合物
元素组成	氢和氧	贫氢(一般<6%)富氧(可达27%)	高氢(一般>6%)低氧(<4%)
	H/C 含量比值	低(<1)	较低(>1)
	O/C 含量比值	高(<0.5)	较高(<0.3)
主要形成环境		河流湖泊三角洲	海洋及湖泊
产物及产气量	煤	腐殖煤	腐泥煤
	气	高瓦斯(90%~95%) 低湿气(<0.5%)	瓦斯较低(47%~75%) 湿气较高(20%左右)

### 1.2.1.1 生物化学作用成煤时期瓦斯的生成

在植物成煤的第一阶段(泥炭化阶段),有机物质的分解是在微生物参与下发生的复杂的生物化学过程。这个时期是从成煤原始有机物堆积在沼泽相和三角洲相环境中开始的,在温度不超过 65 °C 条件下,成煤原始物质经厌氧微生物的分解生成瓦斯。在这个阶段的早期,植物遗体暴露在空气中或处于沼泽浅部富氧的条件下,由于氧气和亲氧细菌的作用,遭受氧化和分解,生成的气态产物主要是 CO<sub>2</sub>、NO(或 NO<sub>2</sub>)等。在这个阶段的晚期,由于地壳下降,而沼泽水面上升和植物遗体堆积厚度的增加,使正在分解的植物逐渐与空气隔绝,从而出现了弱氧环境或还原环境。在缺氧条件下,因厌氧细菌作用分解出甲烷气体、重烃氢氧化物、氢气等其他气体,碳相对富集起来。

这个过程,一般可以用纤维素的化学反应方程式来表达:



这个阶段生成的泥炭层埋藏较浅,覆盖层的胶结固化程度不够,生成的瓦斯很容易渗透和扩散到大气中去,因此,生化作用生成的瓦斯一般不会保留到现在的煤层内。但在有利的条件下,也可以形成煤成气田。如前苏联西西伯利亚乌连戈依、麦德维热大气田,美国库克湾煤盆地基奈大气田等,都属于成煤早期的煤成气田。此后,随着泥炭层的下沉,上覆盖层越来越厚,成煤物质中的温度和所受的压力也随之增高,生物化学作用逐渐减弱直至结束,在较高的压力与温度下泥炭转化为褐煤,并逐渐进入煤化变质作用阶段。

### 1.2.1.2 煤化变质作用时期瓦斯的生成

这是成煤作用的第二阶段,即泥炭、腐泥在以压力和温度为主的作用下变化为煤的过程。由于埋藏较深且覆盖层已固化,在压力和温度影响下,泥炭进一步变为褐煤,褐煤再变为烟煤和无烟煤。

褐煤层进一步沉降,便进入煤化变质作用造气阶段。在 100 °C 高温及其相应的地层压力作用下,煤层中的煤体就会产生强烈的热力变质成气作用。在煤化变质作用的初期,煤中有机质基本结构单元主要是带有羟基(—OH)、甲基(—CH<sub>3</sub>)、羧基(—COOH)、醚基(—O—)等侧链和官能团的缩合稠环芳烃体系,煤中的碳元素则主要集中在稠环中。由于

一般情况下,稠环的键结合力强、稳定性好,侧链和官能团之间及其与稠环之间的结合力弱、稳定性差,因此,随着地层下降,压力及温度的增大与升高,侧链的官能团不断发生断裂与脱落,生成  $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  等挥发性气体,如图 1-2 所示。

煤的有机质基本结构单元是带有侧链和官能团并含有杂原子的缩合芳香核体系。在煤化作用过程中,芳香核缩合和侧链与官能团脱落分解,同时会伴有大量烃类气体的产生,其中主要的是甲烷。整个煤化作用阶段形成甲烷的示意反应式可由下列方程式表达:

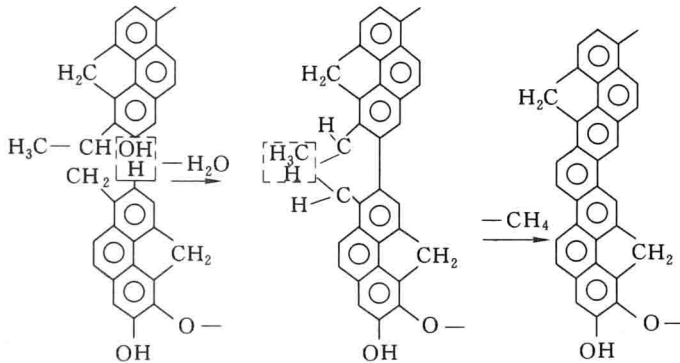
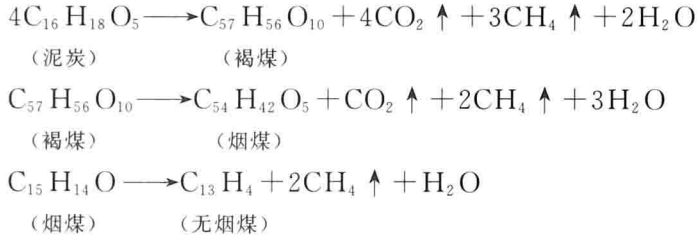


图 1-2 煤化作用(含碳量 83%~92%)成气反应示意图

从图 1-2 中可以看出,煤化过程中生成的瓦斯以甲烷为主要组分。在瓦斯产生的同时,芳核进一步缩合,碳元素进一步集中在碳网中。随着煤化变质作用的加深,基本结构单元缩聚芳核的数目不断增加,到无烟煤时,主要由缩聚芳核所组成。从褐煤到无烟煤,煤的变质程度越高,生成的瓦斯量也越多;但是,各个煤化阶段生成的气体组分不仅不同,而且数量上也有很大变化。图 1-3 所示是原苏联学者 B. A. 索科洛夫等人给出的腐殖煤在煤化变质阶段成气的一般模型。

从图 1-3 中可以看出, $\text{CH}_4$ 生成是个连续相,即在整个煤化阶段的各个时期都不断地有  $\text{CH}_4$ 生成,只是各阶段生成的数量有较大的波动而已;但是,重烃的生成则是个不连续相。实验表明,这个以人工热演化产生瓦斯为基础模型与实测的结果在趋势上是一致的。

煤的有机显微组分可以分为镜质组、丝质组和壳质组,这些组分产烃的能力大小次序是:壳质组>镜质组>丝质组,其结果见表 1-8。

表 1-8 煤的各有机显微组分人工热演化产气结果

显微组分	壳质组(抚顺)	镜质组(抚顺)	丝质组(抚顺)
产气率/(mL/g)	483	183	43.9

前苏联学者 D. H. 乌斯别斯基根据地球化学与煤化作用过程反应物与生成物平衡原



理,计算出了各煤化阶段的煤所生成的甲烷量,其结果如图 1-4 所示。

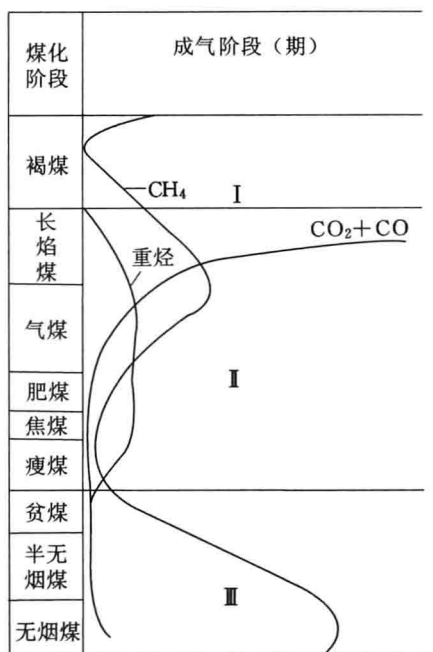


图 1-3 腐殖煤在煤化变质阶段成气演化的一般模型

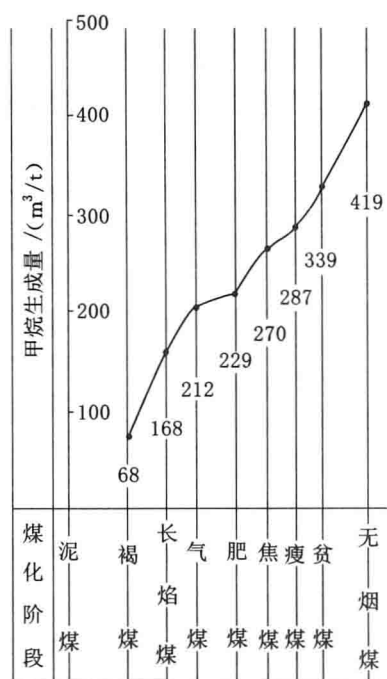


图 1-4 各煤化阶段甲烷生成量曲线

实际上,由于泥炭向褐煤过渡时期生成的甲烷很容易流失掉,所以,目前估算煤层生成甲烷量的多少,一般都是以褐煤作为计算起点;但是,由于自然界的实际煤化过程远比带有许多假设进行的理论计算复杂,所以,上述数据只能是近似的,仅供参考。

在煤和石油共生矿区,有时煤层瓦斯同油气田的瓦斯侵入有关。例如,四川中梁山煤矿 10 号煤层的瓦斯,与底板石灰岩溶洞中的瓦斯有关,而陕西铜川矿务局焦坪矿井下的瓦斯又与顶底板砂岩含油层的瓦斯有关。

一般来说,世界各国煤田中所含瓦斯以  $\text{CH}_4$  为主,但在某些煤层中还含有  $\text{C}_2\text{H}_6$ 、 $\text{C}_3\text{H}_8$  等重烃气体及  $\text{CO}_2$  等其他气体。

从褐煤到无烟煤,煤的变质程度越高,生成的瓦斯量也越多。表 1-9 为我国一些单位对部分煤进行热模拟实验所得到的不同煤种各阶段的产气量。

表 1-9

我国部分煤热模拟实验煤气(甲烷)发生率

单位:  $\text{m}^3/\text{t}$

试验单位	变质阶段	未变质煤	低变质煤		中变质煤			高变质煤	
		褐煤	长焰煤	气煤	肥煤	焦煤	瘦煤	贫煤	无烟煤
煤科总院地质勘探分院 (1987年)	阶段产气量		3~25	10~54	27~102	55~170	108~246	134~333	268~393
	累计产气量	38~68*	41~93	48~122	65~170	93~238	146~314	172~401	306~461