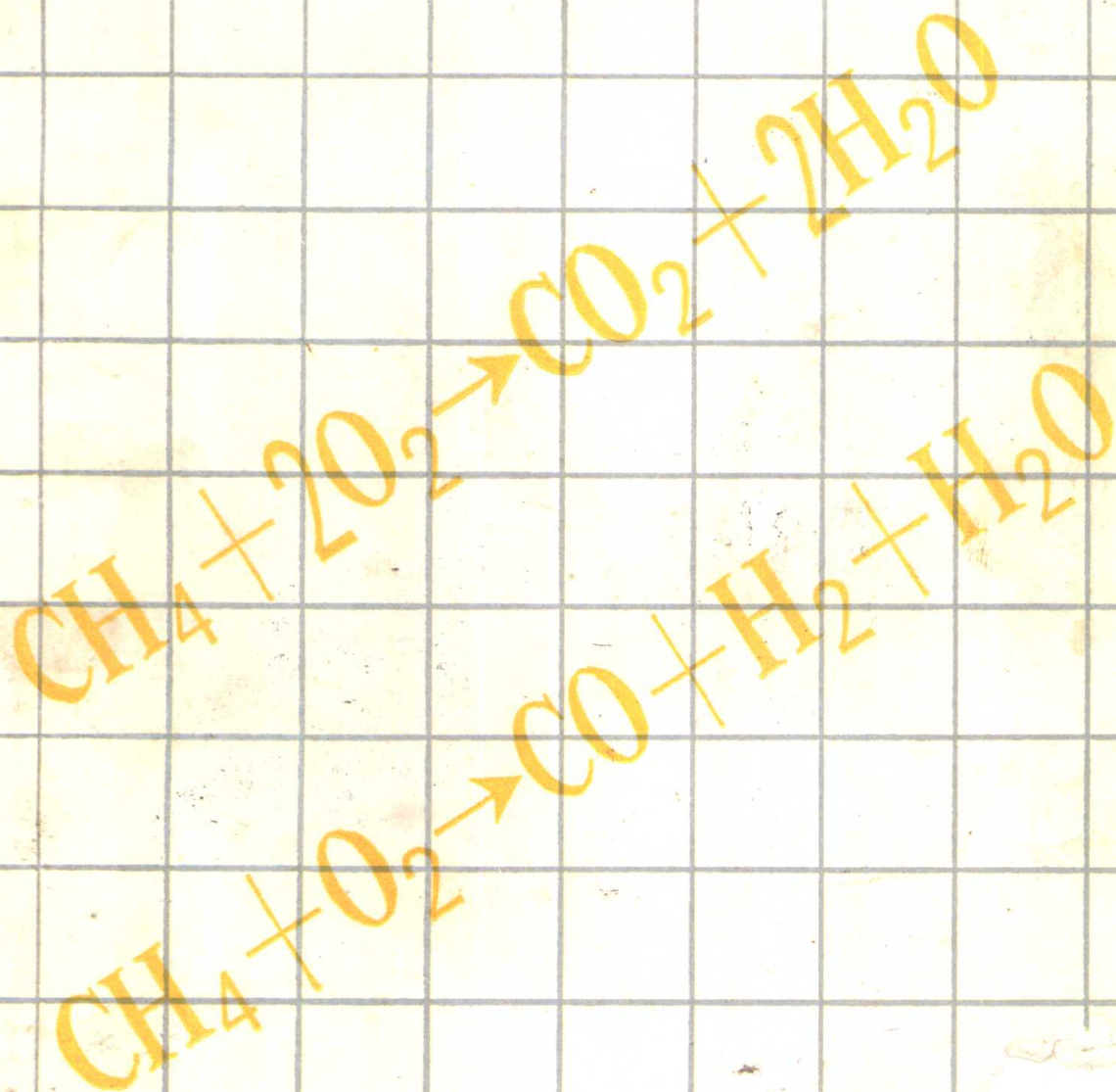


高等学校教学用书

矿井瓦斯防治

俞启香 编著



中国矿业大学出版社

T0712
Y-666

高等学校教学用书

矿井瓦斯防治

俞启香 编著

中国矿业大学出版社

727086

(苏)新登字第010号

内 容 提 要

本书是应煤炭高等院校矿山通风与安全专业的教学需要编写的。书中系统地介绍了煤层瓦斯含量及其赋存规律；矿井瓦斯涌出及其预测和治理方法；煤和瓦斯突出的机理及其防治；矿井瓦斯爆炸灾害及其预防；矿井瓦斯抽放技术和设备选型等。书后附有几种实用的瓦斯参数的测定和计算方法。

读者对象：煤炭高等院校矿山通风与安全专业使用教材，也可供从事煤炭工业科研、设计及现场工程技术人员参考。

责任编辑：马跃龙

技术设计：冀锦蓉

高等学校教学用书

矿井瓦斯防治

俞启香 编著

中国矿业大学出版社出版

新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷

开本 787×1092毫米 1/16 印张15.25 字数306千

1992年2月第一版 1992年2月第一次印刷

印数：1—3000册

ISBN 7-81021-506-x

TD-103

定价：4.00元



前 言

矿井瓦斯是时时刻刻严重威胁煤矿井下安全生产的自然因素之一，预防瓦斯灾害对矿井建设和煤炭生产具有重要意义。它的防治是矿井通风、安全工程技术人员和干部的基本任务与职责之一，也是从事煤矿井下生产建设的每个干部和职工共同的职责之一。

本书是根据中国矿业大学矿山通风与安全专业的教学大纲编写的，可供 54 学时讲授之用。本书力求编入新近的实用的国内外在煤炭生产建设和科学实验中积累和逐渐完善起来并得到实际验证的理论、方法和技术措施。全书比较全面地介绍了煤层瓦斯的性质、生成、赋存和涌出的规律与主要影响因素；比较系统地讲述了煤和瓦斯突出、瓦斯爆炸等灾害发生的条件、机理和主要影响因素；比较深入地讲解了预测和预防瓦斯灾害的现代技术措施和安全技术参数。附录中介绍了若干瓦斯参数的测定与计算方法。

本书是在 1987 年同名内部讲义的基础上，吸收多届学生试用后提出的意见，进行较大修改补充而成。李瑞琼老师编写了原讲义“瓦斯抽放”一章，在此表示感谢。

书中不足和错误之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

一九九〇年四月

目 录

第一章 煤层瓦斯的赋存与含量	(1)
§ 1-1 矿井瓦斯的概念与性质.....	(1)
§ 1-2 煤层瓦斯的生成.....	(1)
§ 1-3 煤层瓦斯赋存的垂向分带.....	(5)
§ 1-4 煤的空隙特征.....	(6)
§ 1-5 煤的吸附性能.....	(9)
§ 1-6 煤层瓦斯压力.....	(10)
§ 1-7 煤层瓦斯含量.....	(11)
§ 1-8 影响煤层瓦斯含量的主要因素.....	(14)
第二章 矿井瓦斯涌出	(20)
§ 2-1 煤层瓦斯流动的基本规律.....	(20)
§ 2-2 瓦斯涌出量及其主要影响因素.....	(27)
§ 2-3 矿井瓦斯等级及其鉴定.....	(38)
§ 2-4 矿井瓦斯涌出量预测.....	(40)
§ 2-5 矿井瓦斯涌出的治理.....	(52)
第三章 瓦斯喷出及其预防	(60)
§ 3-1 瓦斯喷出的分类及其特点.....	(60)
§ 3-2 瓦斯喷出的防治.....	(62)
第四章 煤(岩)与瓦斯突出及其防治	(66)
§ 4-1 煤(岩)与瓦斯突出概况.....	(66)
§ 4-2 矿井瓦斯动力现象的分类及危险程度的划分.....	(67)
§ 4-3 各类采掘工作面瓦斯动力现象的特点与实例.....	(70)
§ 4-4 突出假说、突出过程现场测定实例和突出机理.....	(79)
§ 4-5 突出发生的一般规律.....	(91)
§ 4-6 区域性预防突出的措施.....	(95)
§ 4-7 岩石井巷揭穿突出危险煤层预防突出的措施.....	(108)
§ 4-8 煤层内采掘工作面预防突出措施.....	(121)
§ 4-9 煤和瓦斯突出预测.....	(126)
§ 4-10 岩石与二氧化碳突出的预防.....	(133)
第五章 矿井瓦斯爆炸及其预防	(139)
§ 5-1 矿井瓦斯爆炸及其机理.....	(139)
§ 5-2 瓦斯爆炸的传播及其后果.....	(143)
§ 5-3 煤矿爆炸性气体的安全技术参数.....	(147)

§ 5-4	煤矿瓦斯爆炸原因分析	(159)
§ 5-5	预防瓦斯爆炸的技术措施	(161)
第六章	煤矿瓦斯抽放	(167)
§ 6-1	煤矿抽放瓦斯的可行性	(167)
§ 6-2	抽放瓦斯设计的基础资料与参数	(168)
§ 6-3	抽放瓦斯方法及工艺参数	(170)
§ 6-4	抽放瓦斯设备、器材及安全装置	(188)
§ 6-5	抽放瓦斯管路与设备的选型	(202)
§ 6-6	瓦斯利用概述	(206)
附 录		(208)
一	煤层瓦斯压力的测定	(208)
二	煤层瓦斯含量的测定	(211)
三	煤层透气系数的测定与计算	(224)
四	煤的坚固系数的测定	(226)
五	煤的瓦斯放散指数 Δp 的测定	(227)
六	钻屑量及其瓦斯解吸指标的测定	(228)
七	钻孔排放瓦斯有效半径的测定	(229)
参考文献		(231)

第一章 煤层瓦斯的赋存与含量

§ 1-1 矿井瓦斯的概念与性质

1. 矿井瓦斯的定义

广义的矿井瓦斯是指井下有害气体的总称。一般它包括四类来源，第一来源是在煤层与围岩内赋存并能涌入到矿井的气体；第二来源是矿井生产过程中生成的气体，例如放炮时产生的炮烟，内燃机运行时排放的废气，充电过程生成的氢气等等；第三来源是井下空气与煤、岩、矿物、支架和其它材料之间的化学或生物化学反应生成的气体等；第四来源是放射性物质蜕变过程生成的或地下水放出的放射性惰性气体氡（Rn）及惰性气体氦（He）。在第一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，统称为有机源气体，在有火成岩侵入或碳酸盐受热分解生成的 CO₂ 经断层侵入的煤田，还有无机源气体。

这些不同成因的气体，具有不同组成成分和性质。从安全的观点看，属于可燃可爆炸的气体有甲烷（CH₄）及其同系物烷烃（C_nH_{2n+2}）、环烷烃（C_nH_{2n}）、芳香烃（C₆H₆，CH₃C₆H₅）、H₂、CO、H₂S^[34] 等等；属于有毒的气体有 H₂S、SO₂、CO、NH₃、NO₂、NO 等等；属于窒息性气体有 N₂、CH₄、CO₂ 与 H₂；属于放射性的气体有氡气。矿井瓦斯各组分在数量上的差别是很大的，煤矿大部分瓦斯来自于煤层，而煤层中的瓦斯一般以甲烷为主，见表 1-1，它构成威胁矿工矿井安全的主要危险，所以在煤矿狭义的矿井瓦斯是甲烷。

2. 甲烷的性质

甲烷是无色、无味、无嗅、可以燃烧或爆炸的气体。它对人呼吸的影响同氮相似，可使人窒息。例如，由于甲烷的存在冲淡了空气中的氧，当甲烷浓度为 43% 时，空气中相应的氧浓度即降到 12%，人感到呼吸非常短促；当甲烷浓度在空气中达 57% 时，相应的氧浓度被冲淡到 9%，人即刻处于昏迷状态，有死亡危险。甲烷分子直径 0.41nm^{[11]*}，其扩散速度是空气的 1.34 倍，它会很快地扩散到巷道空间。甲烷的密度为 0.716 kg/m³（标准状况下），为空气密度的 0.554 倍。甲烷在巷道断面内的分布取决于该巷有无瓦斯涌出源。在自然条件下，由于甲烷在空气中表现强扩散性，所以它一经与空气均匀混合，就不会因其比重较空气轻而上浮、聚积，所以当无瓦斯涌出时，巷道断面内甲烷的浓度是均匀分布的；当有瓦斯涌出时，甲烷浓度则呈不均匀分布。在有瓦斯涌出的侧壁附近甲烷的浓度高，有时见到在巷道顶板、冒落区顶部积存瓦斯，这并不是由于甲烷的密度比空气小，而是说明这里的顶部有瓦斯（源）在涌出^[91]。甲烷的化学性质不活泼。微溶于水，在 101.3kPa 条件下，当温度 20℃ 时 100L 水可溶 3.31L，0℃ 时可溶解 5.56 L 甲烷^[31]。

§ 1-2 煤层瓦斯的生成

煤层瓦斯是腐植型有机物在成煤的过程中生成的。煤的原始母质——腐植质沉积以

* 文献[20]介绍，甲烷分子直径为 0.3758nm，(1nm = 10⁻⁹m)。

表1-1 煤层瓦斯组分分析

国别	采样地点	煤层瓦斯组分 % (体积)										注	
		CH ₄	重烃							N ₂	CO ₂		
			C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄	C ₇ H ₁₆ + C ₈ H ₁₈	小计				
中国	古山二井 6 煤	0.16	0.0019	0.0110	0.0156	0.0132	0.0152	0.0851	0.142	97.83	1.78	褐煤	V _r = 48.23%
	抚顺老虎台 5 煤	63.31	0.0159	0.0007	0.0026	0.0017	0.0019	0.0079	0.0307	34.70	1.96	长焰煤	V _r = 42.24%
	北票台吉 4 煤	95.62	0.920	0.005	0.0065	0.0031	0.0015	0.0070	0.9521	2.79	0.64	气煤	V _r = 39.85%
	四川四合厂 12 煤	81.11	8.87	1.580	0.610	0.2571	0.1460	0.8463	12.3094	3.38	2.85	肥煤	V _r = 31.48%
	峰峰辛东 6 煤	89.52	0.57	0.360	0.39	0.513	0.0933	0.3787	2.305	1.79	5.8	焦煤	V _r = 19.84%
	天府磨心坡 K ₁	93.78	0.5477	0.0044	0.0021	0.0011			0.5553	2.98	2.64	焦煤	V _r = 21.25%
阳泉一矿 8 煤	90.03	2.075	0.020	0.0002	0.001			2.0962	5.54	2.34	无烟煤, (以上据抚顺煤研所)	V _r = 10.18%	
美国	全英煤系地层 (4000 粘孔气样)	80~95	< 8	< 4				< 12	2~8	0.2~6	[1]		
澳大利亚	悉尼煤田阿平煤矿	91~92.7	2.4~4.6	1.0~1.7	0.7~1.2	0.3~0.5		4.4~7.8		0.1~3.0	[2]		
美国	亚拉巴马州沃里奥煤田玛丽·李煤层	93.4~99	0.0008~0.0083	0.0002	< 0.0001			< 0.01	0.9~3.2	0.02~0.05	[3]		
日本	北海道: 清水沢, 平安层	99.18	0.0454	0.0123	0.0002				0.0579	0.29	0.47	[5]	突出点附近
	奈川江, 8 煤	97.84	0.029	0.013	0.00077				0.04277	1.64	0.48	[5]	突出点附近
苏联	顿涅茨: 基洛夫、斯莫梁尼洛夫煤层	85.6~96.4	0~0.65	0~0.2	0~0.22		0~0.01	≤ 0.88	0.1~2.0	0.1~2.3	[6]	距地表 1024m 突出点附近	
	斯莫梁尼洛夫煤层底板突出危险砂岩	87.1~94.7	1.65~1.8	0.62~0.70	0.25~0.30		0.08~0.11	2.6~2.88	0.2~1.3	0.4~0.8	[6]	距地表 1024m	

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。值得注意的是，各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(见上述反应式)。图 1-2 是苏联 B. A. 索科洛夫等人给出的腐植煤在煤化变质各阶段成气的一般模式。从中可以看出 CH_4 的生成是个连续相，即在整個煤化阶段的各时期都不断有 CH_4 生成，只是各阶段生成的数量有较大波动而已。重烃的生成是个不连续相。这个以人工热演化产生为基础的模型与表 1-1 实测的结果在趋势上是一致的。煤的有机显微组分可分为镜质组、惰性组和壳质组，这些组分产烃的能力大小次序是壳质组 > 镜质组 > 惰性组，如表 1-2 所示。

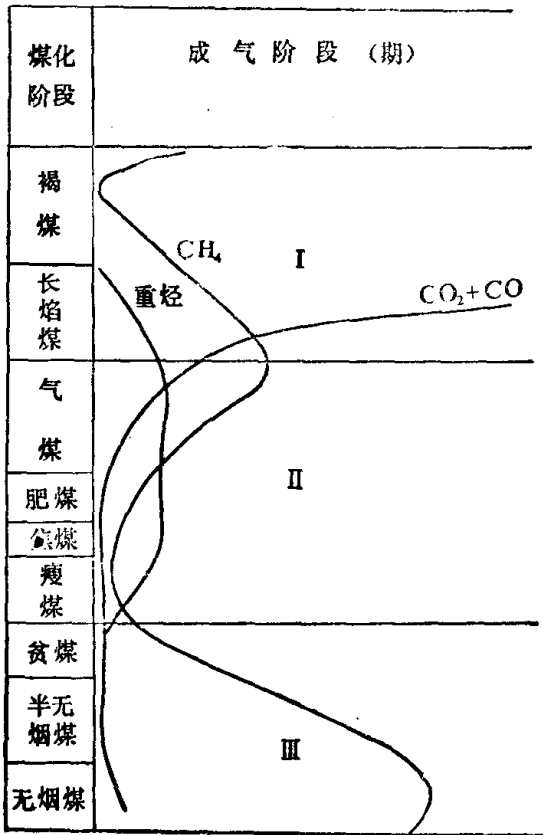


图 1-2 腐植煤在煤化变质阶段成气演化的一般模式

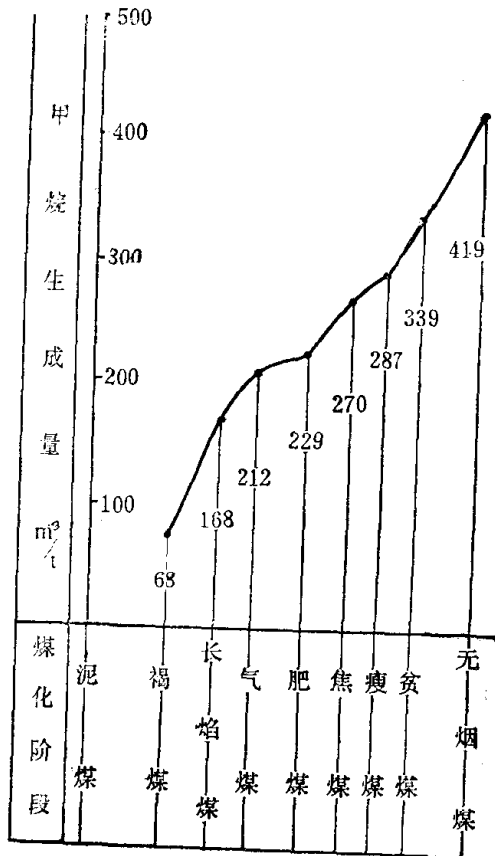


图 1-3 各煤化阶段甲烷生成量曲线

表 1-2 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 (树脂体)	镜质组 (抚顺)	惰性组 (阜新)
产气率 mL/g	483	183	43.9

实验条件：500℃，110 小时，无压、真空封闭体系（中科院地球化学所）

苏联 B. A. 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，计算出各煤化阶段的煤所生成的甲烷量(见图 1-3)。因为泥炭向褐煤过渡时生成的甲烷(68m³/t)很容易流失掉，所以估算煤层生成甲烷量，一般都以褐煤作为计算起点。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，所以这些数据是近似值，仅供参考。

§ 1-3 煤层瓦斯赋存的垂向分带

当煤层具有露头或在冲积层之下有含煤盆地时，在煤层内存在两个不同方向的气体运移，即煤层生成的瓦斯由深部向上运移；而地面空气、表土中的生物化学和化学反应生成的气体向煤层深部渗透扩散，从而使赋存在煤层内的瓦斯表现出垂向分带特征。煤层瓦斯的带状分布是煤层瓦斯含量及巷道瓦斯涌出量预测的基础，也是搞好瓦斯管理的依据。煤层瓦斯沿垂向一般可分为两个带：瓦斯风化带与甲烷带（见图 1-4）。

1. 瓦斯风化带

瓦斯风化带是 I “CO₂—N₂”、II “N₂”与 III “N₂—CH₄”带的统称，各带不仅瓦斯组分不同而且瓦斯含量也不同，见表 1-3。现代的瓦斯风化带深度是煤田在长期地质进程的结

表 1-3 煤层垂向各带气体组分表^[4]

带名 (从上往下)	气带成因	CO ₂		N ₂		CH ₄		Ar + Kr + Xe		He + Ne	Ar/N ₂
		% (按体积)	m ³ /t 煤	% (按体积)	m ³ /t 煤	% (按体积)	m ³ /t 煤	% (按体积)	m ³ /t 煤	% (按体积)	
CO ₂ —N ₂	空气~ 生化成因	20~80	0.19~ 2.24	20~80	0.15~ 1.42	0~10	0~0.16	0.21~ 1.44	0.0021 ~ 0.0178	<0.001	0.012
N ₂	空气成因	0~20	0~0.27	80~100	0.22~ 1.86	0~20	0~0.22	0.61~ 1.88	0.0037 ~ 0.0561	<0.001	0.014
N ₂ —CH ₄	变质成因	0~20	0~0.39	20~80	0.25~ 1.78	20~80	0.06~ 5.27	0.36~ 0.81	0.0051 ~ 0.012	<0.001	0.014
CH ₄	变质成因	0~10	0~0.37	0~20	0~1.93	80~100	0.61~ 10.3	0~0.24	0.004 ~ 0.0052	0.001 } 0.06	0.014

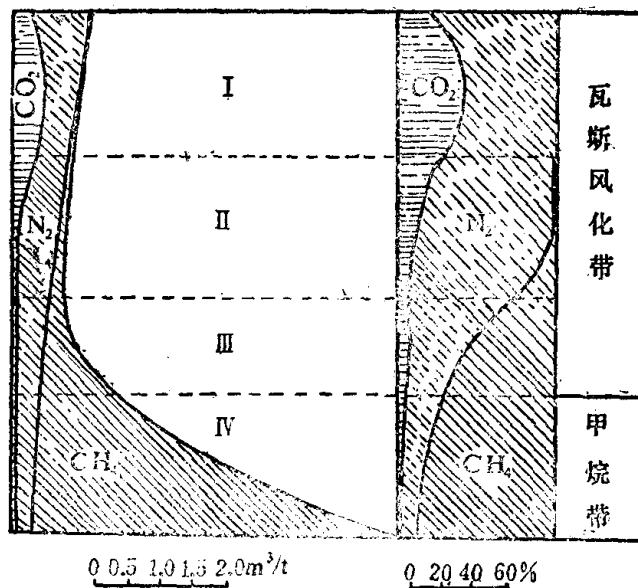


图 1-4 煤层瓦斯垂向分带图

I、II、III—统称瓦斯风化带；IV—甲烷带

果，是由下述一系列地质因素综合作用所致：剥蚀过程可使瓦斯风化带减少；长期风化、自由排放瓦斯时间愈长，瓦斯风化带深度增加；地层破坏程度愈高，瓦斯排放的不均匀性和风化带深度就愈大；致密透气性差的覆盖层可阻止瓦斯风化带的扩大，等等。因此，不同矿区瓦斯风化带的深度在较大的范围内变化。见表 1-4。

表 1-4 我国某些矿区的瓦斯风化带深度表

矿 区	煤的牌号	煤层倾角(°)	瓦斯风化带深度(m)
抚顺	长焰煤、气煤	30	180~205
北票(台吉)	气煤	60	115~150
南桐(鱼田堡)	瘦煤	30	70
涟邵(洪山殿)	贫煤	30	130
红卫(里王庙)	无烟煤	25~30	<15
郴州(三五矿)	无烟煤	60	<15
焦作(焦西)	无烟煤	12	180

瓦斯风化带的下部边界可按下列条件确定：

甲烷及重烃浓度之和 = 80% (按体积)；

瓦斯压力 $P = 0.1 \sim 0.15 \text{ MPa}$ ；

相对瓦斯涌出量 $q_{\text{CH}_4} = 2 \sim 3 \text{ m}^3/\text{t 煤}$ ；

煤层的瓦斯含量 $x = 1.0 \sim 1.5 \text{ m}^3/\text{t 可燃物}$ (长焰煤)、

$x = 1.5 \sim 2.0 \text{ m}^3/\text{t 可燃物}$ (气煤)、

$x = 2.0 \sim 2.5 \text{ m}^3/\text{t 可燃物}$ (肥、焦煤)、

$x = 2.5 \sim 3.0 \text{ m}^3/\text{t 可燃物}$ (瘦煤)、

$x = 3.0 \sim 4.0 \text{ m}^3/\text{t 可燃物}$ (贫煤)、

$x = 5.0 \sim 7.0 \text{ m}^3/\text{t 可燃物}$ (无烟煤)。

确定瓦斯风化带的深度对预测瓦斯涌出量、掌握瓦斯赋存与运移规律以及搞好瓦斯管理有实际意义，在瓦斯风化带内的井、区为低沼气井、区，当通风不良和停风时不但有窒息危险(CO_2 、 N_2)而且也有瓦斯爆炸危险。

2. 甲烷带

位于瓦斯风化带下边界以下的甲烷带，煤层的瓦斯压力、瓦斯含量随埋藏深度的增加呈有规律的增长。增长的梯度，在不同煤质(煤化程度)、不同地质构造与赋存条件有所不同。相对瓦斯涌出量也随开采深度的增加而有规律地增加。从甲烷带内某一深度起，某些矿井除一般瓦斯涌出外还出现了特殊瓦斯涌出：瓦斯喷出与煤和瓦斯突出。因此，在甲烷带内的矿井或区域，不仅在风量不足和停风时有窒息危险(CH_4)及瓦斯爆炸危险，而且在正常通风条件下，当出现特殊瓦斯涌出现象时，也可能发生窒息、爆炸及煤流埋人等事故。因此只有掌握矿井瓦斯的赋存与运动规律，采取相应的措施，才能预防一般和特殊瓦斯涌出。

§ 1-4 煤的孔隙特征

1. 煤中孔隙的分类

为了研究瓦斯在煤中的赋存与流动,把煤中的孔隙作如下分类:

微孔——其直径 $<10^{-5}$ mm,它构成煤中的吸附容积;

小孔——其直径 $=10^{-5}\sim 10^{-4}$ mm,它构成毛细管凝结和瓦斯扩散空间;

中孔——其直径 $=10^{-4}\sim 10^{-3}$ mm,它构成缓慢的层流渗透区间;

大孔——其直径 $=10^{-3}\sim 10^{-1}$ mm,它构成强烈的层流渗透区间,并决定了具有强烈破坏结构煤的破坏面;

可见孔及裂隙——其直径 $>10^{-1}$ mm,它构成层流及紊流混合渗透的区间,并决定了煤的宏观(硬和中硬煤)破坏面。一般,把小孔至可见孔的孔隙体积之和称为渗透容积,把吸附容积与渗透容积之和称为总孔隙体积;煤的总孔隙体积占相应煤的体积的百分比称为煤的孔隙率,以%表示。

2. 煤孔隙与表面积

煤是孔隙体,其中含有大量的表面积,据苏联矿业研究所的资料各种直径的表面积同其容积有表 1-5 所示的关系。从中可知微微孔和微孔孔隙体积还不到微微孔至中孔孔

表 1-5 孔隙直径与其表面积、容积关系表

孔隙类别	孔隙直径(mm)	孔隙表面积(%)	孔隙体积(%)
微微孔	$<2\times 10^{-6}$	62.2	12.5
微孔	$2\times 10^{-6}\sim 10^{-5}$	35.1	42.2
小孔	$10^{-5}\sim 10^{-4}$	2.5	28.1
中孔	$10^{-4}\sim 10^{-3}$	0.2	17.2
合计		100.0	100.0

隙体积的 55%,而其孔隙表面积却占整个表面积的 97% 以上。从表中可知,微孔发育的煤,尽管其孔隙率可能不高,可是却有相当可观的表面积。表 1-6 是重庆煤研所测定的一

表 1-6 煤的挥发分与比表面积的关系

采样地点 与煤层 层位	四川鱼田堡矿			四川松藻煤矿			江西涌山煤矿				
	四煤			八煤			三 $\frac{1}{2}$ 煤	三 $\frac{3}{4}$ 煤	二煤	四煤	六煤
	顶板炭	槽口炭	底板炭	顶板炭	槽口炭	底板炭					
挥发分 (%)	17.5	17.43	—	10.85	11.18	10.90	7.52	5.03	7.70	7.08	10.57
比表面积 (m ² /g)	28.69	93.32	27.40	82.08	112.24	56.97	140.37	184.23	255.13	201.36	165.36

些煤的比表面积。从表中可知,随着挥发分的减小即煤化程度的增加,煤的比表面积大大增加,这与表 1-5,1-8 的结果是一致的。

3. 煤孔隙特性的主要影响因素

煤的孔隙特性与煤化程度、地质破坏程度和地应力性质及其大小等因素密切相关。由于这些因素的不同,各矿煤层的孔隙率可在较大的范围内变化,如表 1-7 所示。现把影响孔隙率大小的主要因素介绍如下。

(1) 孔隙率与煤化程度的关系如表 1-8 所示。从中可以看到,从长焰煤开始,随着煤化程度的加深(挥发分减小)煤的总孔隙体积逐渐减少,到焦、瘦煤时达到最低值,而后随

表 1-7 我国一些矿井煤的孔隙率表

矿 井	煤的挥发分(%)	孔隙率(%)
抚顺老虎台	45.76	14.05
鹤岗大陆	31.86	10.6
开滦马家沟 12 煤	26.8	6.59
本溪田师付 3 煤	13.71	6.7
阳泉三矿 3 煤	6.66	14.1
焦作王封大煤	5.82	18.5

表 1-8 煤的孔隙体积 (据马克耶夫煤炭安全研究所)

煤 牌 号	挥发分 (%)	孔 隙 体 积 m^3/t 煤					
		总 孔 隙		小 孔 至 大 孔		微 孔	
		区 间 值	平 均	区 间 值	平 均	区 间 值	平 均
长 焰 煤	46—43	0.073—0.091	0.084	0.045—0.070	0.061	0.021—0.028	0.023
气 煤	40—35	0.028—0.080	0.053	>0.001—0.053	0.030	0.015—0.034	0.026
肥 煤	34—28	0.026—0.078	0.051	>0.001—0.050	0.025	0.019—0.033	0.026
焦 煤	27—22	0.021—0.068	0.045	>0.001—0.039	0.019	0.021—0.038	0.026
瘦 煤	21—18	0.028—0.065	0.045	>0.001—0.036	0.016	0.022—0.033	0.029
贫 煤	17—10	0.034—0.084	0.055	>0.001—0.052	0.022	0.027—0.052	0.033
半无烟煤	9—6	0.041—0.094	0.065	>0.001—0.054	0.023	0.033—0.056	0.044
无 烟 煤	5—2	0.055—0.136	0.088	>0.001—0.076	0.029	0.049—0.062	0.055

煤化程度的加深,总孔隙体积又逐渐增加,至无烟煤时达到最大值。然而,煤中的微孔体积随着煤化程度的增加是一直增长的。

(2) 孔隙率与煤的破坏程度的关系。前已述及,大孔决定了强烈地质构造破坏煤的破坏面,因此煤的破坏越严重,其渗透容积越高,即孔隙率越大,见表 1-9。

表 1-9 煤的破坏类型与其渗透容积等参数的关系^[1]

参 数	煤的破坏类型				
	I	II	III	IV	V
煤中渗透容积 (cm^3/g)	0.01206	0.01305	0.02155	0.03136	0.0825
煤的坚固性系数 f	0.69—2.2	0.25—1.33	0.13—0.52	<0.1—0.33	<0.1
煤的连结力 $C(MPa)$	2.43	1.70	1.03	0.72	—
煤的内摩擦角 ($^\circ$)	38.8	37.5	34.6	33.3	—
煤的瓦斯放散初速度 ΔP	0.5—2.8	0.5—8	1—19.3	3.8—21.7	16.7—22.1

(3) 孔隙率与地应力的关系。压性的地应力(压应力)可使渗透容积缩小,压应力越高,渗透容积缩小越多,即孔隙率减小越多;张性地应力(张应力)可使裂隙张开,使渗透容积增大,张应力越高,渗透容积增长越多,即孔隙率增加越多。卸压(地应力减小)作用可使煤(岩)的渗透容积增大,即孔隙率增高;增压(地应力增高)作用可使煤(岩)受到压缩,渗透容积减小即孔隙率降低。试验表明地应力并不减少煤的吸附体积,或减少得不多(因

大孔及可见孔的表面积减少),因此地应力对煤的吸附性影响很小。

§ 1-5 煤的吸附性能

由于气体分子与固体表面分子之间的相互作用,气体分子暂时停留在固体表面上的现象称为气体分子在固体表面上的吸附。具有较大的表面积的煤是一种天然的吸附剂,具有良好的吸附性能。煤对瓦斯的吸附属于物理吸附,即瓦斯分子煤分子之间的作用力是剩余的表面自由力(称范德华引力)。当气体分子碰到煤表面时,其中一部分就被吸附,并释放出吸附热;在被吸附的分子中,当其热运动的动能足以克服吸附引力场的位垒时可重新回到气相^[40],这时要吸收解吸热,这一现象称为解吸,吸附与解吸是可逆的。由于吸附在煤表面上的瓦斯贴合紧密,其密度类似其为液态时的密度。

1. 影响吸附量的主要因素

气体在每克煤中的吸附量主要取决于气体的性质、表面性质(比表面积与化学组成)、吸附平衡的温度及其瓦斯压力和煤中水分等。

① 瓦斯压力的影响: 在给定温度下,吸附瓦斯含量与瓦斯压力的关系呈双曲线变化,如图 1-5 所示。

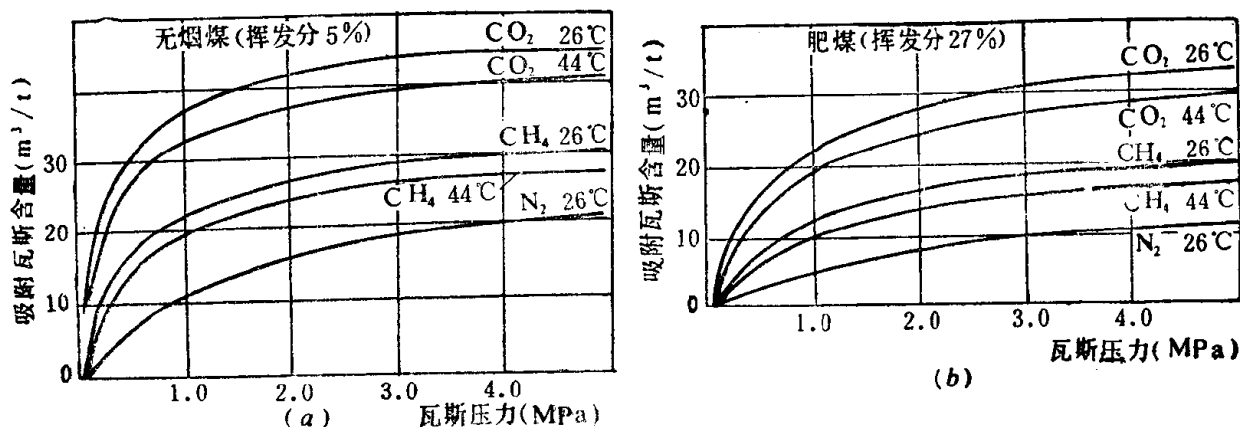


图 1-5 给定的吸附气体(CO₂、CH₄、N₂)与温度(26℃、44℃)下,等温吸附线
a—无烟煤(V_r = 5%); b—肥煤(V_r = 27%)

② 温度的影响: 温度每升高 1℃,吸附瓦斯的能力降低约 8%。

③ 瓦斯性质的影响: 对于指定的煤,在给定的温度与瓦斯压力下,CO₂的吸附量比CH₄高,而CH₄的吸附量又比N₂高。

④ 煤化变质程度的影响: 煤的煤化程度反映其比表面积大小与化学组成,一般讲,从挥发分为 20~26% 之间的煤到无烟煤,相应的吸附量呈快速地增加(对比图 1-5)。

⑤ 煤中水分的影响: 水分的增加使煤的吸附能力降低,可用艾琴格尔的经验式来确定煤内水分对其甲烷吸附量的影响,参见图 1-6。

$$x_{ch} = x_g \frac{1}{1 + 0.31W} \quad (1-1)$$

式中 x_{ch} ——含有水分 W (%) 湿煤的甲烷吸附量, m³/t 可燃物;
 x_g ——不含水分(同一)干煤的甲烷吸附量, m³/t 可燃物。

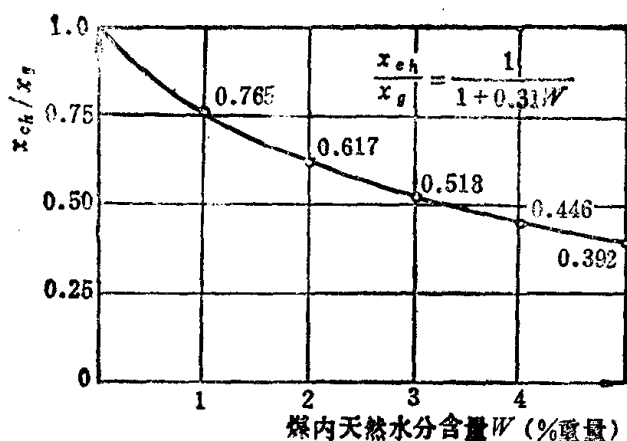


图 1-6 煤中天然水分对其甲烷吸附量的影响

2. 郎缪尔方程

1916年郎缪尔导出了单分子层吸附(固体表面上吸附的气体只有一分子直径的厚度)状态方程,一般说来,气体在临界温度以上,在非反应的固体表面上常常发生单分子层吸附。单分子层吸附等温线的形状如图 1-5 所示,郎缪尔方程常用的形式是

$$x = \frac{abp}{1+bp} \quad (1-2)$$

式中 a ——吸附常数,表示在给定温度下,单位质量固体的表面饱和吸附气体时,吸附的气体体积, m^3/t ,一般为 $15 \sim 55 m^3/t$;

b ——吸附常数, MPa^{-1} ,一般为 $0.5 \sim 5.0 MPa^{-1}$;

p ——吸附平衡时的瓦斯压力, MPa ;

x ——在给定温度下,瓦斯压力为 p 时单位质量固体的表面吸附的气体体积, m^3/t 。

在瓦斯压力低时,式(1-2)中的分母中的 bp 相对于 1 可以忽略不计,此时 x 与 p 成正比;在压力甚高时,分母中的 1 相对于 bp 可以忽略不计 $x \approx a$, 吸附达到了饱和。

§ 1-6 煤层瓦斯压力

1. 瓦斯压力的定义与意义

煤层瓦斯压力是煤层孔隙内气体分子自由热运动撞击所产生的作用力,它在某一点上各向大小相等,方向与孔隙壁垂直。

煤层瓦斯压力是决定煤层瓦斯含量多少、瓦斯流动动力高低以及瓦斯动力现象的潜能大小的基本参数,在研究与评价瓦斯储量、瓦斯涌出、瓦斯流动、瓦斯抽放与瓦斯突出问题中,掌握准确可靠的瓦斯压力数据最为重要。其测定方法见书后附录。

2. 煤层瓦斯压力分布的一般规律

根据国内外在瓦斯煤层大量的测定结果,在甲烷带内,煤层的瓦斯压力随深度的增加而增加,多数煤层呈线性增加,瓦斯压力梯度随地质条件而异,在地质条件相近的块段内相同深度的同一煤层具有大体相同的瓦斯压力,如此,可以按下式预测深部煤层的瓦斯压力:

$$p = p' + C(H - H') \quad (1-3)$$

式中 p ——甲烷带内深度为 H (m) 煤层瓦斯压力, MPa;
 p' ——甲烷带内深度为 H' (m) 已知的煤层瓦斯压力, MPa;
 C ——瓦斯压力梯度, MPa/m, 一般变化范围为 0.01 ± 0.005 。

我国某些煤矿煤层瓦斯压力的实测值见表 1-10。

表 1-10 我国某些矿井煤层瓦斯压力实测值

矿 井	煤层	瓦斯压力 (MPa)	垂深 (m)	瓦斯压力梯度 (MPa/m)
南桐一井	4	1.52	218	0.0095
	4	4.22	503	
天府磨心坡	9	3.50	363	0.0150
	9	7.85	652	
涟邵蛇形山	4	2.14	214	0.0120
	4	2.60	252	
北票台吉一井	4	6.86	713	0.0114
	4	5.12	560	
鸡西滴道	12	3.63	520	0.0061
	12	4.90	728	
六枝四角田	7	0.25	70	0.0121
	7	1.91	207	
红卫里王庙	6	0.57	40	0.0069
	6	2.97	388	
淮北芦岭	8	0.20	245	0.0116
	8	2.96	482	

§ 1-7 煤层瓦斯含量

1. 瓦斯在煤层内存在的状态

甲烷在煤中呈两种状态存在,在渗透空间内的甲烷主要呈自由气态,称为自由瓦斯或游离瓦斯,由于甲烷分子的自由热运动,显示出相应的瓦斯压力,这种状态的瓦斯服从气体状态方程;另一种在微孔内主要呈吸附状态存在在微孔表面上和在煤的粒子内部占据着煤分子结构的空穴或煤分子之间的空间(后两者中的瓦斯可称为固溶体,包括在吸附态中)表1-11是苏联科学院矿物资源综合开发研究所新近得出的在 300—1200m 采深、中等变质煤中存在的甲烷分布表^[8],表明在现今采深下,游离瓦斯仅占 5—12%,其余为吸附瓦斯。

煤中的重烃各组分是处于气态或是液态取决于煤层温度与瓦斯压力,在目前开采深度与煤层瓦斯压力下,乙烷是气态,其它重烃是液态^[9]。

煤层中瓦斯除吸附和游离状态以外,还有可能以瓦斯水化物晶体形式存在^[10],其结构为 $8M \cdot 46H_2O$,其中 M 代表烃,其密度为 $0.88—0.90g/cm^3$,瓦斯水化物的骨架主要是水分子,而烃和惰性分子占据纯水骨架的空隙处,和水之间不形成任何强化学键^[11]。瓦斯水化物的组成及其分子直径见表 1-12,瓦斯水化物能以爆炸形式进行分解并吸收 $60.7 kJ/mol$ 的热。

瓦斯水化物生成的条件如图 1-7^[11],从图可知,温度在 $0^\circ C$ 以上时,形成 CH_4 水化物所需压力为 $2.65MPa$,温度在 $10^\circ C$ 时则需 $7.87MPa$ 以上,在我国煤田一般不具备这样