

文章编号: 1001-1986(2005)05-0022-03

沁水盆地煤层气气源岩地球化学特征及气源潜力分析

王万春^{1,2}, 陶明信¹, 任军虎¹, 康晏¹, 张小军¹

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所气体地球化学重点实验室, 甘肃 兰州 730000;
2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 对比研究了山西沁水盆地李雅庄煤矿、寺河煤矿和附城七一煤矿煤岩的地球化学特征, 讨论了煤岩的热演化程度、可溶有机质含量、生物标志化合物特征。在此基础上, 分析了热成因煤层气与次生生物成因煤层气的气源潜力, 对研究区煤层气勘探有实际意义。

关键词: 煤层气; 热成因; 次生生物成因; 气源岩; 生物标志化合物

中图分类号: P618.11 文献标识码: A

Geochemical characteristics of coalbed gas source rocks and analysis of gas potential in Qinshui Basin

WANG Wan-chun^{1,2}, TAO Ming-xin¹, REN Jun-hu¹, KANG Yan¹, ZHANG Xiao-jun¹

(1. Key Laboratory of Gas Geochemistry, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The geochemical characteristics of coals from Liyazhuang coal mine, Sihe coal mine and Fucheng coal mine of Qinshui Basin, Shanxi Province, were comparatively studied, and the thermal evolution degree, the contents of soluble organic matter and the biomarker characteristics of coals were discussed. Based on this, the potential of thermogenic and secondary biogenic coalbed gases were analyzed and it is of practical significance for the coalbed gas exploration in the studied area.

Key words: coalbed gas; thermogenic gas; secondary biogenic gas; gas source rocks; biomarkers

1 引言

煤层气是自生自储于煤层中的气体, 主要有两

种成因类型, 即生物成因和热成因。生物成因煤层气是煤层中不同种群微生物共同作用的结果。生物成因煤层气又有原生和次生之分。原生生物成因气

收稿日期: 2004-12-27

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2002CB211701)、国家自然科学基金项目(40372065)及中国科学院兰州地质研究所创新基金项目资助

作者简介: 王万春(1962—), 女, 甘肃民乐县人, 中国科学院地质与地球物理研究所副研究员, 主要从事油气地球化学研究。

孔单孔抽放效果比顺槽斜钻孔抽放要好得多, 而且抽放量较稳定、抽放周期较长; 和闭式抽放巷的抽放效果对比, 3~4个钻孔的抽放效果基本上相当于一个同样长度的抽放巷。

同时, 用近水平长钻孔替代闭式高抽巷抽放瓦斯还具有以下优点:

a. 钻孔控制范围较大。在顶板布置钻孔时通过调整终孔点的位置, 不同的钻孔可满足不同层位和不同时期的瓦斯抽放要求; 而抽放巷一但成型, 只能解决临近面的瓦斯抽放问题。

b. 长钻孔抽放瓦斯见效快。在打钻过程中就有瓦斯逸出, 封孔后马上就有明显的抽放效果; 而高抽巷封闭后需要一个空区破碎的周期。

c. 长钻孔施工周期短, 投入成本低。完成3个300 m的孔只需要20 d左右, 而施工一条300 m长的抽放巷最少要3个月。

6 结论

走向长钻孔的抽放效果, 很大程度上取决于钻孔所处的层位。只要钻孔延伸至工作面采空区的裂隙带, 并采用合理的钻进工艺参数, 尽量延长有效抽放长度和采取有效的抽放参数, 就能取得理想的抽放效果。这不但可以解决临近层和采空区瓦斯抽放问题, 还可以缩短施工周期, 节约生产成本, 缓解矿井采掘接替紧张的矛盾。

参考文献

- [1] 孙荣军. 顶板顺层长钻孔施工设备及工艺研究现场试验报告 [R]. 西安: 煤炭科学研究总院西安分院, 2004.
- [2] 白国基, 何勇. 高突工作面瓦斯综合抽放方法的分析与探讨 [J]. 矿业安全与环保, 2000, 27(3): 14—15.
- [3] 赵旭生, 孙东玲. 定向长钻孔综合抽放瓦斯方法 [J]. 煤炭科学技术, 2001, 29(3): 13—15.

指沉积物(泥炭)埋藏早期在成岩阶段(低煤阶煤中),由微生物作用于有机质而生成的气体。次生生物成因气是含煤盆地中由于地表水的补给,煤层水系统带入煤层中的微生物降解了煤成湿气和煤层中的有机组分,为厌氧的甲烷生成菌提供了生存与繁殖条件而生成的以甲烷为主的气体^[1]。次生生物成因煤层气可以在任何煤级的煤层中生成^[2]。

热成因煤层气是煤化作用过程中由于温度升高,煤中富含氢及氧的官能团受热降解或煤层中的液态烃在高温下裂解而生成。热成因煤层气依据煤岩热演化程度不同又有热解气和裂解气之分。热解气主要是煤岩中的复杂大分子有机质受热降解生成,而裂解气则主要由煤岩中已形成的液态烃在高温下裂解而生成。

由于热成因煤层气和生物成因煤层气成气机理不同,因此,气源潜力评价的方法也有差别。但总体而言,研究煤岩的热演化程度、煤岩有机质丰度及生物标志化合物特征,能够提供煤层气气源潜力的某些信息。在山西沁水盆地,本文通过对产热成因煤层气的寺河煤矿、附城七一煤矿与产次生生物成因煤层气的李雅庄煤矿的煤岩进行对比研究,揭示了其地球化学特征,并在此基础上分析了上述地区煤层气的气源潜力。

2 样品与分析

煤岩样品采自沁水盆地李雅庄煤矿、寺河煤矿和附城七一煤矿。煤岩样品均粉碎至0.18 mm以下,用精制三氯甲烷溶剂索氏抽提48 h,得可溶组分氯仿沥青“A”,氯仿沥青“A”用精制石油迷沉淀沥青质后,经硅胶—氧化铝层析柱,分别用精制石油迷、二氯甲烷和乙醇冲洗出饱和烃、芳烃和非烃组分。对分离出的饱和烃样品进行了色—质分析,所用仪器为GC6890N/MSD5973N色—质联用仪,色谱柱为HP—5弹性石英毛细柱(30 m×0.32 mm×0.25 μm),色谱柱由80 °C以4 °C/min程序升温至290 °C后恒温30 min。

3 结果与讨论

3.1 煤岩可溶有机质特征

氯仿沥青“A”含量在不同煤岩样品中差别较

大,寺河煤矿和附城七一煤矿煤岩氯仿沥青“A”含量很低,仅占样品重量的0.009%~0.011%,总烃含量也很低,占样品重量的 18×10^{-6} ~ 42×10^{-6} 。在氯仿沥青“A”族组分中,非烃含量很高(67.4%~70.51%),芳烃含量很低(0.21%~2.27%),并有非烃>饱和烃>沥青质>芳烃的分布特征,且饱和烃/芳烃的比值高(16~99)。上述特征反映煤岩经历了高热演化阶段,煤岩中大部分可溶有机质已被裂解形成了干气。

李雅庄煤矿煤岩氯仿沥青“A”含量高,占样品重量的0.359%,总烃含量也高,占样品重量的 693×10^{-6} 。煤岩氯仿沥青“A”族组分中,沥青质含量最高(68.25%),其次为芳烃和非烃,饱和烃含量最低(5.73%),饱和烃/芳烃比值很低(0.42)。上述特征反映煤岩热演化程度较低,煤岩中存在丰富的可溶有机质,为煤层中后期微生物活动提供了营养物质。

3.2 煤岩饱和烃生物标志化合物特征

图1为煤岩饱和烃GC—MS总离子流图。3个样品煤岩饱和烃的分布均呈单峰形,主峰碳为C₁₇或C₁₈,其中,寺河煤矿和附城七一煤矿煤岩饱和烃的碳数分布范围为C₁₄~C₃₁,低碳数烷烃量明显高于高碳数烷烃量,并具有偶碳优势。这些反映了寺河煤矿和附城七一煤矿煤岩的高演化特征,同时也表明可溶有机质受到了明显的热裂解作用。因为可溶有机质热裂解的结果,必定产生大量甲烷,这就形成了寺河煤矿和附城七一煤矿煤层气的主要来源。

李雅庄煤矿煤岩饱和烃的碳数分布范围为C₁₂~C₃₃,低碳数烷烃量略高于高碳数烷烃量,具有偶碳优势。该样品中高碳数的烷烃大部分被保留,说明煤岩的热演化程度并不很高,可溶有机质尚未发生热裂解。

姥鲛烷/植烷的比值(Pr/Ph)是判识沉积古环境氧化还原程度的参数。以陆源物质为主要母质来源的煤岩及煤系地层样品中该值较大,有明显的姥鲛烷优势^[3]。本次所研究的样品,除附城七一煤矿煤岩具有植烷优势外,其他样品均具有明显的姥鲛烷优势(表3),这表明煤岩沉积时的水体可能属于微咸—淡水环境,且古环境水体并不很深,氧化程度较

表1 煤岩样品氯仿沥青“A”及其族组分含量

Table 1 Contents and composition of chloroform asphalt “A” of coal samples

采样地区	层位	氯仿沥青“A”/%	饱和烃/%	芳烃/%	非烃/%	沥青质/%	饱/芳	总烃/ $\times 10^{-6}$
寺河煤矿	P _{1s}	0.009	20.73	0.21	70.51	8.54	98.71	18
附城七一煤矿	C _{3t}	0.011	36.22	2.27	67.4	11.74	15.96	42
李雅庄煤矿	P _{1s}	0.359	5.73	13.58	12.44	68.25	0.42	693

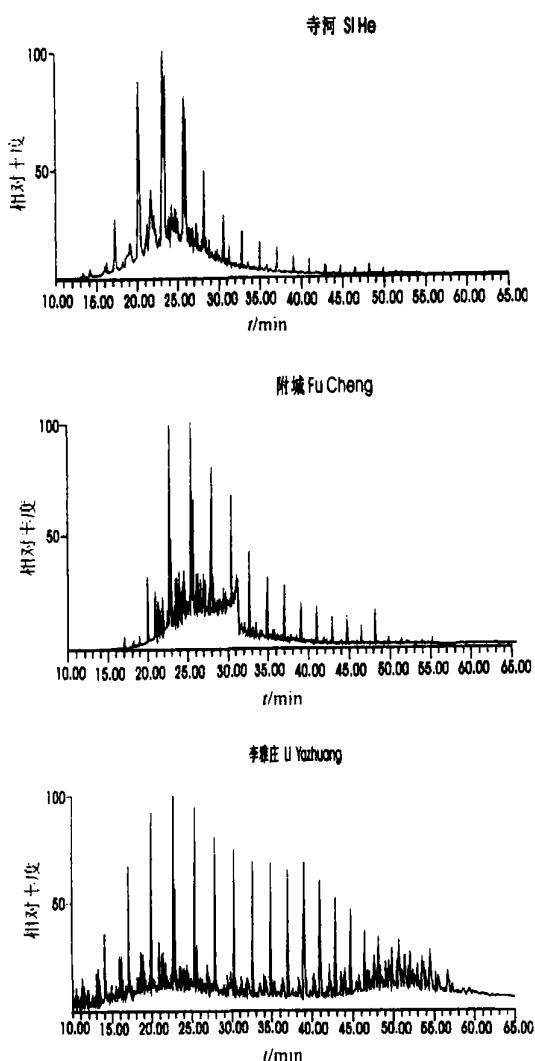


图 1 煤岩饱和烃 GC-MS 总离子流图

Fig. 1 GC-MS total ion traces of saturated hydrocarbons of coals

强。而附城七一煤矿煤岩样品中硫含量高, 其植烷优势与高硫含量均表明, 该地区为偏还原的古沉积环境。

在一定程度上, Pr/nC_{17} 和 Ph/nC_{18} 值也反映了有机质的降解程度。由表 3 可以看出, 受强烈热降解的寺河煤矿煤岩具有较高的 Pr/nC_{17} 和 Ph/nC_{18} 值。

对寺河煤矿和附城七一煤矿煤岩饱和烃样品而言, 其萜烷系列化合物中的三环萜烷较丰富, 既有 C_{19} 和 C_{20} 三环萜烷, 也有 $\text{C}_{21} \sim \text{C}_{25}$ 三环萜烷, 在 $m/z 191$ 质量色谱图中, 相对丰度达 70% ~ 82%; 而藿烷系列化合物丰度相对较低(13% ~ 26%), 且没有检测到高于 C_{32} 的升藿烷系列。上述特征同样反映了寺河煤矿和附城七一煤矿煤岩具有很高的热演化程度。

对李雅庄煤矿煤岩饱和烃样品而言, 其萜烷系列化合物中藿烷占优势, 在 $m/z 191$ 质量色谱图中相对丰度为 84%, 而且检测到了高于 C_{32} 的升藿烷系

列; 而三环萜烷丰度很低(4.2%), 且仅有 C_{19} 和 C_{20} 三环萜烷。这说明李雅庄煤矿煤岩热演化程度较低, 而且煤岩中细菌发育。因为在化石燃料和沉积物中, 蕤烷类是普遍存在的原核生物(细菌与蓝细菌)生源标志物^[4]。

$\beta\alpha-\text{C}_{30}$ 莫烷 / $\beta-\text{C}_{30}$ 蕤烷的比值和 Tm/Ts 的比值为成熟度参数。资料表明, 在有机质的成岩演化过程中, $\beta\alpha-\text{C}_{30}$ 莫烷向更稳定的 $\beta-\text{C}_{30}$ 蕤烷转化, 随着成熟度的增加, $\beta\alpha-\text{C}_{30}$ 莫烷 / $\beta-\text{C}_{30}$ 蕤烷的比值变小^[5]。但沁水盆地寺河煤矿、附城七一煤矿和李雅庄煤矿的煤岩抽提物中, $\beta\alpha-\text{C}_{30}$ 莫烷 / $\beta-\text{C}_{30}$ 蕤烷的比值则出现了异常, 即成熟度低的李雅庄煤矿, 其 $\beta\alpha-\text{C}_{30}$ 莫烷 / $\beta-\text{C}_{30}$ 蕤烷的比值远低于寺河煤矿和附城七一煤矿, 这是否表明 $\beta\alpha-\text{C}_{30}$ 莫烷更易遭受细菌降解, 有待于进一步研究。 Tm/Ts 的比值则在一定程度上反映了煤岩的演化程度, 在李雅庄煤矿该比值高, 而在寺河煤矿和附城七一煤矿, 该比值则已趋于演化的终点值。

3.3 气源潜力分析

饱和烃分布特征及生物标志化合物参数均表明, 寺河煤矿和附城七一煤矿的煤岩热演化程度很高, 煤岩中可溶有机质(液态烃)含量很低, 液态烃经历了高温裂解的热演化过程。煤岩作为有机碳含量很高、但母质类型较差的沉积有机质, 在热演化过程中主要以生气为主。特别是煤岩热演化达到高成熟后, 是以干气生成为主的高生气阶段。因此, 寺河煤矿和附城七一煤矿的煤层气主要为热裂解干气, 其生气条件十分有利, 在封盖条件良好的情况下, 应具有充足的气源。

在李雅庄煤矿, 煤岩中的可溶有机质(液态烃)含量高, 煤岩热演化程度较低, 尚未进入大量热成因气的生成阶段。生物标志化合物特征研究表明, 李雅庄煤矿煤岩中细菌发育(王万春等, 另文发表), 因

表 2 煤岩正构烷烃参数表

Table 2 Parameters of normal alkanes of coals

采样地区	碳数范围	峰形	主峰碳	$\text{nC}_{21}-/\text{nC}_{22}^+$	OEP
寺河煤矿	14 ~ 31	单峰	nC_{17}	6.52	0.98
附城七一煤矿	14 ~ 31	单峰	nC_{18}	3.26	0.95
李雅庄煤矿	12 ~ 33	单峰	nC_{17}	1.45	0.97

表 3 煤岩饱和烃生物标志化合物参数表

Table 3 Parameters of saturated hydrocarbon biomarkers of coals

采样地区	Pr/Ph	Pr/nC_{17}	Ph/nC_{18}	三环萜烷 / 蕤烷	Tm/Ts	$\beta\alpha-\text{C}_{30}$ 莫烷 / $\beta-\text{C}_{30}$ 蕤烷
寺河煤矿	1.33	0.85	0.84	6.16	1.0	0.13
附城七一煤矿	0.59	0.33	0.49	2.64	1.5	0.19
李雅庄煤矿	1.80	0.29	0.17	0.05	5.0	0.08

文章编号: 1001-1986(2005)05-0025-04

华北地区煤层气井压裂裂缝监测及其扩展规律

单学军, 张士诚, 张遂安, 郎兆新

(中国石油大学石油天然气工程学院, 北京 102249)

摘要:介绍了井温测试法、放射性同位素法、大地电位测试法和微地震测试法监测煤层水力压裂裂缝的基本原理。使用上述4种方法对华北地区施工的煤层气井压裂裂缝进行测量, 得到了大量压裂井的裂缝方位和高度的监测数据。通过统计分析发现:压裂后的煤层裂缝一般都穿越其上下隔层, 最大裂缝高度是压裂层厚度的6倍, 裂缝长度大部分为50~90 m, 裂缝形状基本以垂直裂缝为主, 裂缝方向存在着随机性, 扩展方向受地应力、局部地层构造和煤层割理共同作用。

关键词:煤层气; 压裂; 裂缝; 井温; 大地电位; 微地震; 同位素

中图分类号:P618.11 文献标识码:A

Fracture monitoring and analysis of propped fracture geometry in fractured coalbed methane wells in North China

SHAN Xue-jun, ZHANG Shi-cheng, ZHANG Sui-an, LANG Zhao-xin

(Faculty of Petroleum and Gas Engineering, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: Four fundamental methods are introduced, namely well temperature, ground potential survey, microearthquake and radioactivity isotope, which were used to monitor the fracture geometry of fractured coalbed methane wells in North China. Many monitoring data of fracture height and azimuth were obtained. The statistical and analytical results show that the coalbed fractures generally grow into the over and underlying coal seam, the maximum fracture height is five times higher than the thickness of fractured layer, most of the fractures are between 50 m and 90 m long, fracture shape is mainly vertical and fracture orientation exists randomness, and the extension orientation is decided by the ground stress, local structure and coal cleat together.

Key words: coalbed methane; hydraulic fracturing; fracture; wellbore temperature; ground potential survey; microearthquake; isotope

收稿日期: 2005-01-21

基金项目: 国家“973”煤层气经济开采增产机理研究(2002CB211709)项目资助

作者简介: 单学军(1972—), 男, 辽宁锦县人, 在读博士研究生, 从事油气田开发工程研究。

此, 煤岩中丰富的可溶有机质, 为煤层中后期微生物活动提供了充足的营养物质, 为次生生物成因煤层气的生成创造了条件。在煤层浅埋、温度适宜的条件下, 细菌作用还将不断地向煤层供气。

4 结论

在山西沁水盆地寺河煤矿和附城七一煤矿, 煤岩中的氯仿沥青“A”含量很低, 总烃含量也很低, 饱和烃/芳烃的比值高。煤岩饱和烃的分布呈单峰形, 低碳数烷烃量明显高于高碳数烷烃量, 并具有偶碳优势。萜烷系列化合物中三环萜烷丰富, 三环萜烷/萜烷的比值高达2.64~6.16, 并具有高的Pr/hC₁₇和Ph/hC₁₈值, 这反映了寺河煤矿和附城七一煤矿煤岩的高演化特征, 同时也表明, 煤岩中大部分可溶有机质已被裂解形成了干气, 因此, 其具有大量热裂解煤层气的生成条件。

李雅庄煤矿煤岩氯仿沥青“A”含量高, 总烃含量也高, 饱和烃/芳烃的比值很低。煤岩饱和烃中低

碳数烷烃量略高于高碳数烷烃量, 具有偶碳优势。萜烷系列化合物中, 萜烷占优势, 三环萜烷/萜烷的比值仅为0.05, 具有较低的Pr/hC₁₇和Ph/hC₁₈值, 说明李雅庄煤矿煤岩热演化程度较低, 尚未进入大量热成因气生成阶段。但煤岩中细菌发育, 而且丰富的可溶有机质为煤层中后期微生物活动, 提供了充足的营养物质, 使其具有次生生物气的生成条件。

参考文献

- [1] Scott A R. Composition and origin of coalbed gases from selected basins in the United States[A]. In: Proceedings of the 1993 International Coalbed Methane Symposium[C]. The University of Alabama, School of Mines and Energy Development, Paper 9270, 1993, 1: 174~186.
- [2] Rice D D. Composition and origins of coalbed gas[A]. In: Law, B. E., Rice, D. D. (Eds.), Hydrocarbons from coal[C]. AAPG Studies in Geology, 1993, 38: 159~184.
- [3] Peters K E, Moldowan J M. The Biomarker Guide[M]. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1993, 1~50.
- [4] Orisson G, Albrecht P, Rohmer M. Predictive microbial biogeochemistry and biochemistry of a group of natural products[J]. Pure Applied Chemistry, 1982, 51: 09~729.
- [5] 向龙斌. 论煤系地层中甾、萜烷生物标记物的分布[J]. 海相沉积区油气地质, 1989, 3(1): 76~83.