阜新盆地煤层气成因分析*

朱志敏[1], 沈 冰[1], 崔洪庆[2], 周家云[1]

(1. 中国地质科学院矿产综合利用研究所, 成都 610041; 2. 辽宁工程技术大学资源与环境工程学院, 辽宁 阜新 123000)

摘 要: 对阜新盆地煤层气成分、气体同位素和热演化特征的分析结果表明: 气体组分中甲烷含量高, 主要为干气; 气体稳定碳同位素值 $\delta(^{13}C_1)$ 为 -58.00‰~ -44.70‰, 气体较轻; 煤的镜质体反射率为 0.42% ~ 1.67%, 热演化程度较低。另外, 盆地在孙家湾期整体隆升, 地下水以地表降水渗入为主, 早期生成的原生生物气生成量有限且大多散失, 考虑到成煤后两期岩浆活动, 现今保存的煤层气为次生生物-热解混合成因煤层气, 盆地煤层气的进一步勘探开发应针对此类混合成因煤层气进行。

关键词: 煤层气; 次生生物-热解混合成因气; 阜新盆地

中图分类号: TE122.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7849(2007)03-0067-04

迫于能源、安全、环境保护多方面的原因, 煤层气现已成为世界范围的研究热点[1-5]。美国学者在深入研究美国含煤盆地的煤层气地质特征后提出了煤层气生成的两种机制: 生物成因和热成因机制[1,6], 并进一步将生物成因煤层气分为原生生物气和次生生物气两种[7]。中国学者对煤层气的成因分类与上述分类相似或相当[8-9]。目前, 生物成因煤层气已成为美国煤层气勘探新的增长点[10], 而中国在煤层气的勘探开发中, 主要从热成因气的角度考虑煤层气的气源, 而对生物成因煤层气以及生物-热解混合成因煤层气则未引起足够重视。中国含煤盆地生物成因及生物-热解混合成因煤层气作为煤层气的一个重要而普遍的类型, 其埋深较浅, 勘探开发成本低, 具有巨大的开发潜力。

阜新盆地位于辽宁省中部偏西, 是中国重要的煤炭工业基地, 至 2000 年底全盆地保有煤炭储量为 12.32×10^8 t, 预测煤层气资源量达 136.91×10^8 m^3[11]。前人对于该盆地煤层气的研究主要集中在成藏条件及影响因素方面[11-14], 认为盆地煤层气是热成因的[14]。但系统总结盆地煤层气的地质特征表明, 盆地有大量生物成因煤层气存在。因此笔者拟就盆地煤层气的成因进行分析和研究, 以期获得阜新盆地煤层气地质特征的基础认识, 丰富中国煤层气成因类型。

1 区域地质概况

阜新盆地走向为北北东-北东向, 呈狭长地堑式展布, 南北长约 80 km, 东西宽 11~ 22 km, 面积约 1 500 km^2, 为中国东部典型的陆相断陷盆地。其大地构造位置属华北地块燕山褶皱带东部, 位于郯庐断裂和赤峰-开原断裂夹持的三角地区(图 1)。盆地地层以太古宇、元古宇为基底, 之上形成了白垩系义县组、九佛堂组、沙海组、阜新组、孙家湾组及新近系更新统, 缺失古近系沉积。盆地可采煤层为沙海组三段含煤段和阜新组中部含煤段, 其中沙海组三段可采煤层主要分布于九道岭、清河门、艾友和东梁区的含煤三组; 阜新组中部含煤段的高德、太平、中间、孙家湾及水泉五大可采煤层, 全区皆有分布, 是阜新矿区的主要开采对象。阜新盆地的构造大致经历了 3 个发育阶段, 即盆地初始裂陷期(义县期); 盆地快速裂陷期(九佛堂、沙海、阜新期); 盆地收缩期

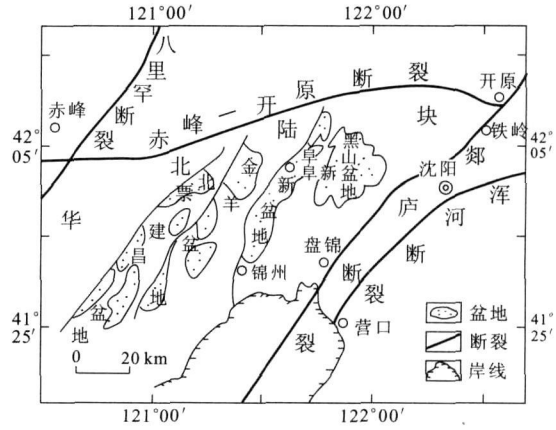

图 1 阜新盆地构造位置(据文献[15]修改)

Fig. 1 Structural location of Fuxin Basin

* 收稿日期: 2006-04-10 编辑: 禹华珍
基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(199910010311)
作者简介: 朱志敏(1978—), 男, 现正攻读煤层气地质学专业硕士学位, 主要从事矿物学、岩石学、矿床学研究。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(孙家湾期)。在盆地整体的断陷环境下,白垩纪孙家湾期阜新盆地发生最强烈的反转、隆升和褶断,并以干燥的红色砾岩代替了含煤建造[16]。这不仅最后结束了盆地的裂陷活动,而且由于盆地隆升而使先期沙海组、阜新组煤层和孙家湾组地层遭受剥蚀。

阜新盆地的岩浆活动主要有三期:第一期为义县组火山喷发,该期火山岩为一套由基性开始,到中基性、中酸性、酸性的火山岩系列组合,中间有多个湖泊相沉积夹层,厚度为 2 890 m[17];第二期为阜新期末火山活动,以中心式喷发为主,为基性火山活动,其喷发年龄约为 100.4 Ma[18],该期火山喷发产物绝大部分皆已剥蚀殆尽,仅在局部地区残留一些火山通道相玄武岩,分布于阜新组的厚层杂色砂岩-砂砾岩中;第三期为古近纪辉绿岩侵入,以岩床和岩墙方式沿东西向和北东向侵入于盖层顶部的孙家湾组中并被新近系更新统沉积物覆盖,埋深为 100~200 m,最深为 600~ 800 m,全盆地均有分布。

2 煤层气地质特征

2.1 气体成分特征

生物成因煤层气常表现出高的甲烷含量和低的重烃含量[8]。由表 1 可见,阜新盆地煤层气组分以烃类为主,其中甲烷体积分数高(87.58%~98.03%,平均为 93.54%),重烃体积分数低(0~2.22%,平均为 0.63%),为典型的干气。其非烃气组分中,氮气体积分数相对较高(0.32%~9.97%,平均为 4.65%),可能是埋藏较浅,空气中氮气混入所致。考虑到盆地有机质以腐殖型煤为主[14, 19],且热演化程度较低,其 R_o 为 0.3%~1.5%,具有这种气体成分特征的煤层气可能是生物-低温热解成因气。

2.2 气体同位素特征

受碳同位素动力分馏效应的影响,生物气甲烷的稳定碳同位素值较轻,$\delta(^{13}C_1) \leqslant -55‰$[20]。由表 2 可以看出,阜新盆地煤层气甲烷的 $\delta(^{13}C_1)$ 为 -58.00‰~ -44.70‰,气体较轻。阜新盆地煤层气 $\delta(^{13}C_1)$ 偏低的原因可能是有大量生物气存在所致,但生物气所占份额有待进一步研究。另外,由表 2 还可看出,王营矿区甲烷的稳定碳同位素值重于东梁区,其原因可能为:王营矿区为一向斜构造,易形成向斜滞留汇水条件,水动力条件较弱,而东梁区为一背斜构造,在盆地范围内东梁区构造抬升最强烈,易形成较强烈的动水条件,动水能带来更多的甲烷菌而使甲烷菌生气作用相对强烈,最终导致甲烷的稳定碳同位素值的差异。

表 1 阜新盆地煤层气组分

Table 1 Composition of coal-bed methane in Fuxin Basin

采样点	层位	气体组分 φ_B/%					
		甲烷	乙烷	丙烷	氮气	二氧化碳	氦气
王营子北翼闭	气2	92.58	微量		7.39		0.006
	气3	90.03	微量		9.97		< 0.001
	气4	98.03	微量		1.92		< 0.001
王营子(煤层脱附气)	孙家湾层	96.40	0.25	1.23	2.12		
	太平层	96.51	0.93	0.47	0.32		
刘家区	阜新组煤层	87.58			9.20	3.18	
东梁区	FC1井	94.74	2.22		1.99	1.05	
	FC2井	91.04	0.49	0.07	5.84	2.09	
	转角庙村气苗	94.96			3.07	1.97	

表 2 阜新盆地煤层气的 $\delta(^{13}C_1)$ 值

Table 2 $\delta(^{13}C_1)$ of coal-bed methane in Fuxin Basin

采样点	层 位	$\delta(^{13}C_1)$/‰	
		范围值	平均值
王营子(煤层脱附气)	孙家湾层	-44.70	-47.13
	太平层	-47.10	
	高德层	-49.60	
王营子北翼闭	气2	-50.70	-51.25
	气3	-51.80	
王营矿区(巷道气)	孙家湾层	-54.98	-52.63
	水泉层	-50.27	
东 梁	FC1井	-58.00	-56.33
	FC2井	-57.78	
	转角庙村气苗	-53.20	

2.3 演化程度特征

生物成因气尤其是次生生物气的热演化范围较宽,其 R_o 为 0.3%~1.5%,适合次生生物气的产生[6, 21]。由图 2 可以看出,阜新盆地有机质热演化总体表现为随着有机质埋深的增大,演化程度逐渐增高:浅部阜新组煤的 R_o 为 0.42%~0.62%,深部沙海组煤的 R_o 为 0.70%~1.67%。由图 2 还可以看出,不同地区镜质体反射率 R_o 的梯度变化是不一致的,王营-刘家区的镜质体反射率梯度相对较小,而东梁区和 FC1 井则相对较大,明显表现出区域岩浆热变质的特征。生物成因煤层气大多产自中-低煤级的煤层中[7, 10],从现今煤田勘探和开采看,阜新盆地主要为中-低变质程度煤,有利于生物气的生成。生物气的形成主要通过甲烷菌来实现,温度直接控制了甲烷菌的生理活性和生化作用,甲烷菌生存的温度为 0~ 75 ℃[22]。近年来取得的地温资料[23]显示,阜新盆地在 1 800 m 以内地温最高为 70 ℃,1 500 m 以内地温一般为 30~ 60 ℃,而目前盆地煤层的埋深均在 1 500 m 以内,正处于生物气最佳生气窗内。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

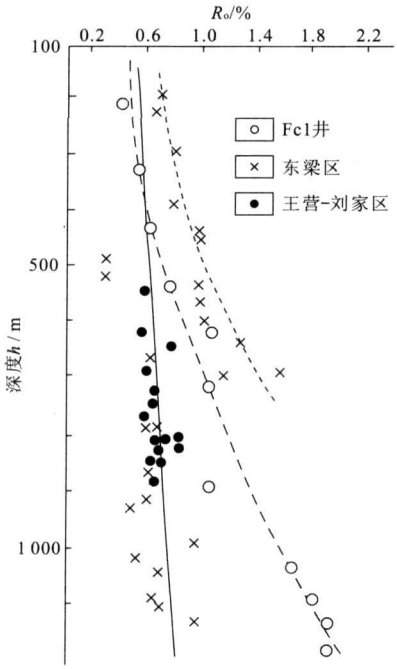

图 2　阜新盆地镜质体反射率与深度关系

Fig. 2　Variation of *R*owith depth in Fuxin Basin

3　讨　论

综合研究区煤层气的组分、同位素、热演化程度及构造特征, 可判定盆地煤层气中有大量生物成因气存在。同时, 阜新盆地具有高沉积速率的特点, 如义县组沉积速率为 570 m/ Ma, 九佛堂组为 101. 8 m/ Ma, 沙海组为 152. 9 m/ Ma, 阜新组为 444. 4 m/ Ma[24], 这种高沉积速率不仅提供了巨厚的气源岩, 而且使沉积有机质避免在浅表层大量分解, 为后期次生生物气的形成创造了有利的物质条件; 阜新盆地在孙家湾期整体抬升而遭受剥蚀[13], 生物气的形成环境距地表较近, 生物气易通过岩石孔隙而扩散散失[25], 所以煤层中保存的原生生物成因煤层气大多散失; 盆地地层水水型为 $NaHCO_3$ 型, 且矿化度较高, 如梁 2 井 800~ 900 m 井段的矿化度为 5 000~ 12 100 mg/ L[15], 表明有利于形成滞流高盐度地下水环境, 盐度较高的水体环境一方面阻止了沉积有机质在浅埋阶段的过早氧化和分解, 另一方面, 也有效地抑制了甲烷菌对沉积有机质的分解作用, 从而减缓了原生生物气的生成[26-27]; 盆地地下水以大气降水补给为主[13], 含菌地表水下渗灌入煤层, 在相对低的温度下, 使煤化过程中产生的湿气、正烷烃及其他有机物经细菌降解和代谢作用而生成次生生物气并大量保留下来[7]。所以, 盆地早期生成的原生生物成因煤层气生成量有限, 即使保存到孙家湾期, 也由于构造抬升而散失, 现今保存下来的煤层气主要是次生生物成因气。

需要指出的是, 研究区阜新组和沙海组煤层的埋深最深也未超过 2 000 m, 深成变质作用对煤层生气影响有限, 而现今煤层含气性较好(含气量为 8. 72~ 10. 17 m^3/t[28]) 的原因有: ①次生生物气的加入。这一点前已论及。②岩浆活动导致的二次生气。阜新盆地自早白垩世以来发生过三期岩浆活动, 其中义县期岩浆活动发生于成煤以前, 阜新期末和古近纪岩浆活动发生于成煤以后, 所以对煤层生气有影响的是后两期岩浆活动, 这两期岩浆活动是煤层生气最主要的热动力来源, 岩浆活动对煤层产生接触变质和区域热力变质作用。在温度和压力的作用下, 煤的分子组成发生变化, 芳香族稠环的缩合程度提高, 烷基侧链及含氧官能团脱落分解, 煤的物理化学性质发生改变, 镜质体反射率提高, 挥发分降低, 煤的变质程度提高, 烃气生成量增加。如王营矿区煤种牌号为长焰煤-气煤, 其正常的镜质体反射率为 0. 42% ~ 0. 62%, 挥发分产率为 38. 46% ~ 41. 81%, 由于成煤后两次岩浆活动尤其是辉绿岩的侵入, 靠近辉绿岩处镜质体反射率提高到 4. 95%, 而挥发分产率却降到 10. 99%[29]。据估算[29-31], 生成 1 t 天然焦同时可生成约 504 m^3 的甲烷气体。③动力生烃。盆地自阜新期末开始受到区域挤压应力的作用[15, 18], 构造应力使煤中有机质直链化合物和侧链化合物基团断裂和脱落, 导致相对分子质量降低, 直接改变煤大分子的化学组成, 在低、中级煤化阶段明显表现为“动力生烃”, 曹代勇等[32] 称之为应力降解。因此, 次生生物生气、岩浆活动导致的二次生气、构造运动导致的动力生气共同弥补了盆地煤层深成热解生气作用的不足。

综合阜新盆地煤层气的组分、同位素、热演化程度及构造、沉积和地下水的特征, 判定其煤层气为次生生物-热解混合成因气。对盆地混合成因煤层气的确定, 有助于重新认识和评价阜新盆地的煤层气资源, 指导盆地煤层气的进一步勘探和开发。我国东北地区存在一系列具有相似构造和沉积条件的晚中生代断陷煤盆地[33], 这些盆地与阜新盆地一样, 蕴藏着丰富的煤层气资源, 且煤层气地质特征相似, 因此, 在对这些盆地的煤层气勘探和开发中, 应充分重视对次生生物-热解混合成因煤层气的勘探开发。

论文得到东北煤田地质局路爱平教授级高工和四川煤田地质局谢晓东教授级高工的帮助, 在此一并表示诚挚的谢意。

参考文献:

[1] Rightmire C T. Coalbed methane resources[M]// Rightmire C T, Eddy G E, Kirr J N. *Coalbed methane resources of the United States*. *AAPG Studies in Geology Series* 17. Tulsa, O-

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

klahoma, USA: AAPG, 1984: 1- 14.
[2] Kaiser W R, Hamilton D S, Scott A R, et al. Geological and hydrological controls on the producibility of coalbed methane[J]. *Journal of the Geological Society*, 1994, 151(3): 417- 420.
[3] 陈建渝, 唐大卿, 杨楚鹏. 非常规含气系统的研究和勘探进展[J]. 地质科技情报, 2003, 22(4): 55- 59.
[4] Walter Youngquist, Duncan R C. North American natural gas: Data show supply problems[J]. *Natural Resources Research*, 2003, 12(4): 229- 240.
[5] 唐俊红, 向武, 鲍征宇, 等. 地质成因的甲烷释放对大气的影响[J]. 地质科技情报, 2006, 25(2): 75- 82.
[6] Rice D D. Composition and origins of coalbed gas[M]// Law-Ben E, Rice D D. *Hydrocarbons from coal*. *AAPG Studies in Geology Series* 38. Tulsa, Oklahoma, USA: AAPG, 1993: 159- 184.
[7] Scott A R, Kaise W R, Ayers W B Jr. Thermogenic and secondary biogenic gases, San Juan Basin, Colorado and New Mexico: Implications for coalbed gas producibility[J]. *AAPG Bulletin*, 1994, 78(8): 1 186- 1 209.
[8] 戴金星, 戚厚发, 宋岩, 等. 我国煤层气组分、碳同位素类型及其成因和意义[J]. 中国科学: B辑, 1986, 16(12): 1 317- 1 326.
[9] 高波, 陶明信, 张建博, 等. 煤层气甲烷碳同位素的分布特征与控制因素[J]. 煤田地质与勘探, 2002, 3(3): 14- 17.
[10] Ayers W B Jr. Coalbed gas systems, reservoirs, and production and a review of contrasting cases from the San Juan and Powder River basin[J]. *AAPG Bulletin*, 2002, 86(11): 1 853- 1 890.
[11] 赵明鹏, 路爱平, 周立岱, 等. 阜新煤田煤层气开发选区研究[J]. 煤田地质与勘探, 2000, 28(1): 28- 31.
[12] 朱志敏, 宋文杰, 崔洪庆. 阜新煤田王营-刘家区煤层气向斜控气研究[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(6): 673- 675.
[13] 刘俊杰. 王营井田地下水与煤层气赋存运移的关系[J]. 煤炭学报, 1998, 23(3): 225- 230.
[14] 朱志敏. 阜新盆地中部煤层气地质特征研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学硕士论文, 2005: 25- 28.
[15] 王伟锋, 陆诗阔, 谢向阳, 等. 阜新盆地的油气保存条件[J]. 新疆石油地质, 1998, 19(3): 202- 206.
[16] 王桂梁, 马杏垣, 云武, 等. 间歇侧移式的裂陷与递进跳跃式的反转: 以阜新煤盆地为例[J]. 高校地质学报, 1996, 2(3): 284- 294.
[17] 张宏, 柳小明, 陈文, 等. 辽西北票—义县地区义县组顶部层位的年龄及其意义[J]. 中国地质, 2005, 32(4): 596- 603.
[18] 张宏福, 郑建平. 华北中生代玄武岩的地球化学特征与岩石成因: 以辽宁阜新为例[J]. 科学通报, 2003, 48(6): 603- 609.
[19] 朱志敏, 崔洪庆, 宋文杰. 阜新盆地东梁区浅层天然气成藏特征[J]. 天然气工业, 2006, 26(4): 18- 20.
[20] 戴金星, 裴锡古, 戚厚发. 中国天然气地质学[M]. 第一卷. 北京: 石油地质出版社, 1996: 5- 92.
[21] 张小军, 陶明信, 王万春, 等. 生物成因煤层气的生成及其资源意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2004, 23(2): 166- 171.
[22] 李明宅, 张洪年, 刘华, 等. 生物气模拟试验的进展[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(2): 117- 122.
[23] 张俊宝. 阜新盆地东梁区地热资源赋存条件分析[J]. 中国煤田地质, 2003, 15(6): 37- 39.
[24] 马寅生, 崔盛芹, 吴淦国, 等. 辽西医巫闾山的隆升历史[J]. 地球学报, 2000, 21(3): 245- 253.
[25] 付广, 康德江, 刘江涛. 黑龙江滨北地区生物气扩散散失量估算及其研究意义[J]. 地质科技情报, 2006, 25(1): 60- 64.
[26] 党玉琪, 侯泽生, 徐子远, 等. 柴达木盆地生物气成藏条件[J]. 新疆石油地质, 2003, 24(5): 374- 378.
[27] 张顺, 冯志强, 林春明, 等. 松辽盆地新生界生物气聚集及成藏条件[J]. 石油学报, 2004, 25(3): 18- 22.
[28] 朱志敏, 沈冰, 路爱平, 等. 阜新盆地白垩系阜新组煤层气系统[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(2): 181- 186.
[29] 张振文, 蒋福兴, 王慧敏. 岩浆活动对煤层气的成藏作用[J]. 中国煤炭, 2002, 28(8): 35- 37.
[30] 赵明鹏, 王宇林, 周瑞. 阜新煤田王营煤层气田构造因素研究[J]. 煤炭学报, 1999, 24(3): 225- 230.
[31] 蒋福兴, 姜金华, 赵宝良. 阜新王营井田浅成气的成藏与岩浆活动[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2002, 21(4): 501- 503.
[32] 曹代勇, 李小明, 张守仁. 构造应力对煤化作用的影响——应力降解机制与应力缩聚机制[J]. 中国科学: D辑, 2006, 36(1): 59- 68.
[33] 李思田, 杨士恭. 中国东北部晚中生代裂陷作用及东北亚断陷盆地系[J]. 中国科学: B辑, 1987, 17(2): 185- 195.

Genetic Analysis of Coal-Bed Methane in Fuxin Basin

ZHU Zhi-min[1], SHEN Bing[1], CUI Hong-qing[2], ZHOU Jia-yun[1]

(1. *Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, Chengdu* 610041, *China*;
2. *College of Resource and Environment, Liaoning Technical University, Fuxin Liaoning* 123000, *China*)

Abstract: To guide the coal-bed methane exploration, it is necessary to confirm the genetic type of coal-bed methane. The study of the composition, isotope and evolution characteristics of coal-bed methane in Fuxin Basin reveals that the content of methane is high, and the gas is dry gas. While $\delta(^{13}C_1)$ of coal-bed methane varies from - 58.00‰ to - 44.70‰ and the R_o of coal ranges from 0.42% to 1.67%. In addition, the basin uplift took place in Sunjiawan episode and the underground water is recharged mainly by meteoric water and the magmation lead to the gas-generation of coal. As a result, the primary biogenetic gas is very little or escaped and the coal-bed methane is secondary biogenetie-pyrogenation. It is suggested that this secondary biogenetie-pyrogenation coal-bed methane should be the target for the furture exploration.

Key words: coal-bed methane; secondary biogenetie-pyrogenation gas; Fuxin Basin

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net