文章编号: 1000-0747(2007) 02-0181-06

阜新盆地白垩系阜新组煤层气系统

朱志敏[1], 沈冰[1], 路爱平[2], 闫剑飞[3]

(1. 中国地质科学院矿产综合利用研究所; 2. 东北煤田地质局 107 勘探队; 3. 中国地质调查局成都地质矿产研究所)

基金项目: 中国地质调查局资源调查项目 (199910100103)

摘要: 运用非常规含油气系统的理论和方法研究阜新盆地煤层气系统地质特征。阜新组孙家湾煤层组、中间煤层组和太平煤层组是煤层气的生储层。阜新组上部砂质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩为阜新组煤层气的盖层, 盖层条件中等。上覆岩层是阜新组上部及孙家湾组。阜新组煤层的第一次生气高峰出现在孙家湾期末, 此时镜质体反射率最大达到 0.67%; 后来喜马拉雅期辉绿岩的侵入导致煤层到达第二次生气高峰, 在靠近岩浆侵入位置的局部地区镜质体反射率最大达到 4.95%; 另外, 地表降水下渗带入细菌导致煤层产生大量次生生物气, 而后进入煤层气保存期。煤层气系统的关键时刻是古近纪晚期。阜新组煤层气系统的特征表明, 盆地阜新组煤层气具备进一步勘探开发的前景。图 5 表 3 参 37

关键词: 煤层气系统; 白垩系; 阜新组; 勘探; 阜新盆地

中图分类号: TE132.2 文献标识码: A

Cretaceous Fuxin Formation coalbed methane system in Fuxin Basin

ZHU Zhi-min[1], SHEN Bing[1], LU Ai-ping[2], YAN Jian-fei[3]

(1. *Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Sichuan* 610041, *China*; 2. *No.* 107 *Prospecting Team, Geological Bureau of Northeast Coalfield, Liaoning* 123000, *China*; 3. *Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, CGS, Sichuan* 610040, *China*)

Abstract: The Fuxin Formation coalbed methane system is studied using the theory and method of non-conventional petroleum system. The source and reservoirs are Sunjiawan, Zhongjian and Taiping coal seams of the Fuxin Formation. The coalbed methane is sealed by the roof comprised by mudstone, siltstone, and bauxite of the upper Fuxin Formation. The overburden is the upper Fuxin Formation and the Sunjiawan Formation deposits. The hydrocarbon generation of the source rocks reaches its first peak in the late Sunjiawan period, and the highest maturity is about R_o = 0.67%. The dolerite intrusion during the Himalayan orogeny enhances the coal maturity and causes a second peak of hydrocarbon generation with the highest maturity up to 4.95% at local areas. The underwater brings many bacteria generating second biogenic methane. Then the coalbed methane is reserved and the critical moment of the coalbed methane system is at the end of the Late Paleogene Period. The Fuxin Formation coal seams are favorable for coalbed methane exploration.

Key words: coalbed methane system; cretaceous system; Fuxin Formation; exploration; Fuxin Basin

0 引言

含油气系统研究是近 30 年来国内外石油天然气地质领域的重要进展[1-4], 世界各国的石油天然气地质学家对其概念、特征和作用进行了颇有创意的讨论, 目前已经发展成为石油天然气地质综合研究与油气勘探的重要思维方式和研究方法, 但研究对象主要是常规含油气系统, 对于非常规油气尤其是煤层气却很少涉及。随着近年来煤层气勘探开发的兴起, 部分学者和专家认识到有必要将含油气系统思想引入煤层气地质学领域, 指导煤层气这一新领域的勘探和开发, 满足不断增长的能源需求[5-8], 尤其是 Ayers 和 Su 等分别对圣胡安和沁水盆地煤层气系统的研究, 为煤层气系统的研究提供了良好的范例[9, 10]。煤层气作为一种非常规天然气, 其生-储-运-聚都有别于常规油气, 煤层气系统也与常规含油气系统有所区别。

在中国东北、蒙古人民共和国东部和俄罗斯贝加尔地区广布着 140 个早白垩世的断陷盆地, 李思田称之为东北亚地区晚中生代断陷盆地系[11], 这些盆地大多是重要的含煤盆地, 位于辽宁省中部偏西的阜新盆地即是其典型代表。阜新盆地长约 80km, 宽 8~20km, 面积 1400km^2 左右, 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 12.32 亿 t, 预测煤层气资源量达 136.91 亿 m^3[12]。1983 年以来, 国家计委、东北煤田地质局、辽河石油管理局、美国煤层气能源集团、阜新矿务局等国内外部门和机构、企事业单

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

位均在这里开展过煤层气勘探开发研究。前人的研究主要集中在成藏条件及影响因素上[13-17], 并取得了不少成果和认识, 但对于盆地煤层气系统的研究却未有提及。本文利用含油气系统的研究思路和方法, 研究阜新盆地阜新组煤层气系统, 并提供一种断陷盆地煤层气系统研究的框架。

1 地质概况

1.1 构造和地层

阜新盆地为一北北东向断陷盆地(见图 1), 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。盆地地层以太古界、元古界为基底, 之上堆积了白垩纪义县组、九佛堂组、沙海组、阜新组、孙家湾组及新近纪更新统[18]。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, 含 3 个煤层组; 阜新组中部含有高德、太平、中间、孙家湾及水泉 5 个可采煤层, 全区分布, 是阜新矿区主要开采对象。两套煤层被沙海组四段巨厚的泥岩和阜新组下部泥岩、砂岩分开, 相互之间无统一的水力联系, 且形成和演化也大不相同, 故可划分为阜新组煤层气系统和沙海组煤层气系统。

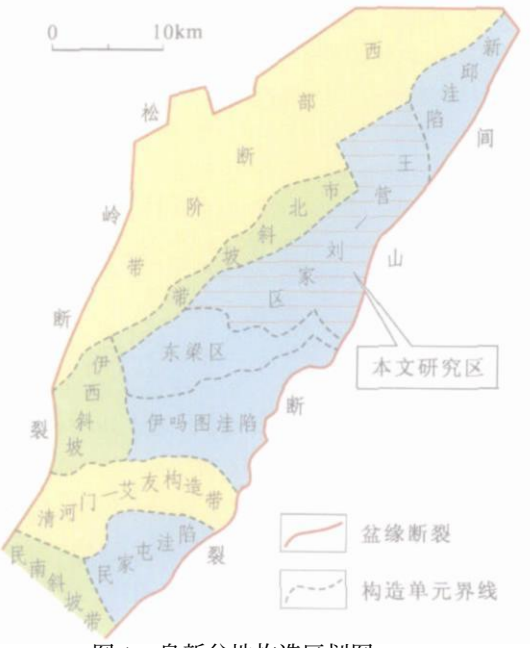


图 1 阜新盆地构造区划图

阜新盆地构造大致经历了 3 个发育阶段[19, 20], 即盆地初始张裂期——义县期; 盆地深陷期——九佛堂组、沙海组、阜新组沉积期; 盆地收缩期——孙家湾期。在盆地整体的断陷环境下, 白垩纪孙家湾期发生最强烈的反转、隆升和褶断, 干燥的红色砾岩代替了含煤建造, 结束了盆地的裂陷活动, 并因盆地隆升使先期阜新组煤层遭受剥蚀, 现今阜新组煤层仅在王营—刘家区保存较好, 所以本文仅讨论王营—刘家区阜新组煤层气系统。

1.2 沉积环境及煤层

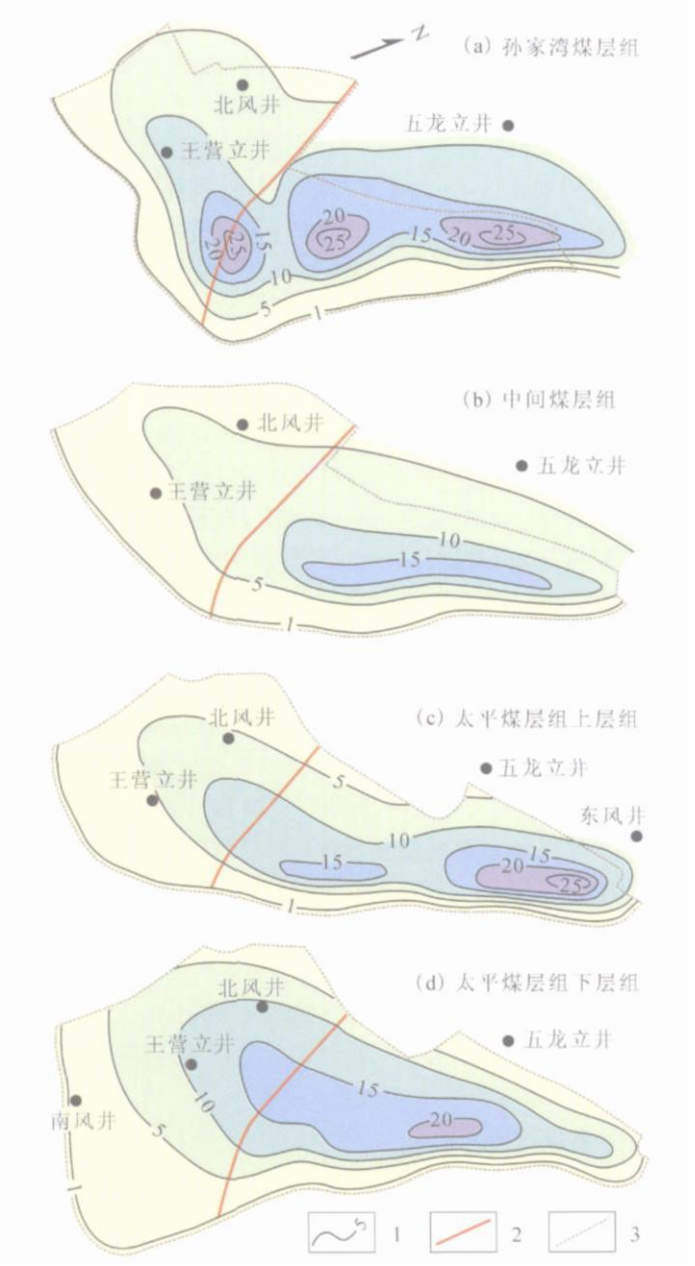
盆地形成的动力和演化过程, 与亚洲乃至世界的构造活动紧密相关。尽管对于晚中生代中国东部岩石圈大规模减薄的动力来源争论不一[21], 但是大多数学者认为, 晚中生代早白垩世以来, 郯庐断裂带在内的中国东部地幔物质上涌, 热构造作用明显, 岩石圈伸展变薄, 张性裂陷作用强烈, 岩浆活动频繁, 导致一系列盆地开始裂陷。阜新盆地也被卷入此次运动, 并堆积巨厚的义县组火山岩[22]。随后在地壳热脆化作用基础上形成了断陷湖盆, 盆地发生沉降而总体水进, 沉积了浅—深湖相为主的九佛堂组。进入早白垩世, 出现短期的干旱型冲积扇—扇前、潮湿型冲积扇—扇前和扇间冲积谷地环境, 进而沉积了沙海组一、二段。而后, 盆地两侧不断向外扩展, 盆地明显加宽, 盆缘又不断向盆内供应碎屑物质, 沉积了以扇三角洲体系为主的沙海组三段。至沙海组沉积晚期, 盆地扩展到最大范围, 水域最广, 水体最深, 发育了沙海组四段湖相沉积。由于区域构造应力场由张扭阶段转化为压扭阶段, 盆地不再继续扩张, 盆缘断裂活动相对减弱, 沉降开始减速, 并逐渐水退, 湖盆开始收缩。在此条件下, 堆积了以河流沉积、扇前冲积平原为主要环境的阜新组, 并发育与应力场相匹配的北西向同沉积断裂, 还有一系列北东向的低级别同沉积褶皱, 致使阜新组沉积厚度有明显的变化, 含煤性不一。进入孙家湾期, 盆地收缩反转, 气候变干燥, 出现泛滥平原相, 沉积了造山后期的红色“类磨拉石”建造。最后, 盆地进入萎缩消亡阶段, 古近纪辉绿岩沿东西向、北东向裂隙侵入, 至此完成该断陷盆地的全部演化过程, 接受新近系更新统沉积。

受盆地整体的构造演化和沉积环境控制, 阜新组沉积了五大可采煤层, 其中主要的是太平煤层组、中间煤层组、孙家湾煤层组, 煤层累计厚度逾 100 m。

孙家湾煤层组: 煤层累计厚度最大 31.90m, 最小 0.75m, 平均 15.14m(见图 2a); 煤层多为复杂结构, 分层间距最大 3.38~ 19.19m, 平均 1.49~ 5.34m; 从煤层分布的变化规律来看, 向斜轴北翼的煤层厚度比南翼发育, 大部分可采煤层分布在北翼; 由于辉绿岩侵入的影响, 煤层遭受一定破坏, 在平安 2 号断层以西形成了一定范围的天然焦; 煤层顶、底板岩性为粉砂岩和细砂岩。

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

中间煤层组: 煤层累计厚度最大为 21. 03m, 最小 3. 81m, 平均 10. 61m(见图 2b) ; 从煤层分布的变化规律来看, 煤层厚度变化不大, 在向斜轴部薄, 浅部薄, 深部厚; 大面积受辉绿岩侵入影响, 被天然焦替代; 煤层顶、底板岩性一般为砂岩、粉砂岩, 局部有砾岩。



1—煤层等厚线, m; 2—平安 2 号断层; 3—矿区界线

图 2　刘家– 王营区煤层厚度等值线图

太平煤层组: 全区发育, 分为上层组和下层组, 各煤层在向斜轴附近合并增厚。上层组煤层累计厚度 27. 55m, 最小 1. 36m, 平均 10. 67m(见图 2c) ; 煤层结构比较复杂, 分层多, 煤层在向斜轴北翼发育, 南部平均厚 1. 00m。下层组煤层累计厚度最大 22. 25m, 最小 1. 37m, 平均 12. 42m(见图 2d) ; 煤层结构复杂, 分层多, 煤层顶、底板为粉砂岩和泥岩; 受辉绿岩侵入影响大, 煤层破坏严重。

上述三大可采煤层虽然被其间的砂岩和砂砾岩分开, 但煤层和其中的煤层气的形成和演化大致相同, 且有统一的水力联系, 所以可划为一个统一的煤层气系统 ——阜新组煤层气系统。

1. 3 岩浆活动

阜新盆地岩浆岩有喷出岩和侵入岩两种, 喷出岩主要是义县组火山岩。侵入岩只有辉绿岩一种, 为古近纪喜马拉雅期产物[23] , 以多种形式产出, 有岩床、岩墙、岩柱、岩瘤等, 不同程度地侵入到岩层、煤层中, 并且可以相互转化, 如岩床可以转化为岩墙, 岩墙也可以派生岩床等。辉绿岩对各井田的煤层均有一定破坏作用, 尤其对五龙、刘家、王营子区的煤层破坏作用较大。

2 气源岩特征

2. 1 煤级和煤岩组分

阜新盆地以区域变质为主, 属于低—中变质阶段。煤的宏观煤岩成分主要为亮煤、半亮煤、暗煤、半暗煤, 镜煤呈条带状、多线理透镜状, 丝炭呈薄片状、纤维状。宏观煤岩类型为暗淡—半光亮型。煤的有机组分中, 镜质组含量为 80. 2% ~ 94. 4%, 惰性组 1. 3% ~ 5. 9%, 壳质组 0. 6% ~ 2. 3%; 灰分含量在 3. 8% ~ 16. 2% (见表 1) 。镜煤镜质体反射率最大在 0. 6% 左右, 成熟度较低。孙家湾煤层组、中间煤层组、太平煤层组上层组为长焰煤, 太平煤层组下层组为气煤, 局部因辉绿岩的侵入出现了不粘煤和天然焦。总体上, 阜新组这 3 套煤层组为中低变质程度煤, 以镜质组为主, 有巨大的生气潜力。

表 1　阜新盆地阜新组煤层煤岩组分(%)

层位	有机显微组分(%)			灰分(%)			
	镜质组	惰性组	壳质组	黏土类	硫化物类	碳酸盐类	氧化硅类
孙家湾煤层组	80. 2	1. 3	2. 3	0. 4	2. 8	0. 2	12. 8
中间煤层组	94. 4	1. 2	0. 6	1. 0	0. 4	0. 2	2. 2
太平煤层组上层组	88. 6	5. 9	1. 5	0. 4	1. 6	0. 4	1. 6
太平煤层组下层组	82. 7	4. 2	1. 3	2. 3	1. 0	0. 3	7. 7

注: 表中数据为平均值

2. 2 埋藏史和热史

阜新组煤层经历了 3 个演化阶段(见图 3) : 阶段Ⅰ为缓慢沉降阶段, 从白垩纪阜新组沉积期到孙家湾期, 平均沉降速度为 46. 3~ 77. 2m/ Ma, 缓慢的沉降导致

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

泥炭沼泽的发育, 所以此阶段阜新组煤层厚度大且分布比较广泛; 阶段Ⅱ为隆升阶段, 从白垩纪孙家湾期末到古近纪初, 由于晚燕山运动的影响, 盆地地层大规模隆升而遭受剥蚀, 阜新组煤系最大隆升超过 1000m, 平均 500~ 1000m; 阶段Ⅲ为相对稳定阶段, 从古近纪延续至今, 盆地定型, 含煤地层基本稳定。在盆地构造和沉积控制下, 阜新组煤系现今埋藏深度均在 1000m 以内, 一般在 500~ 1000m。

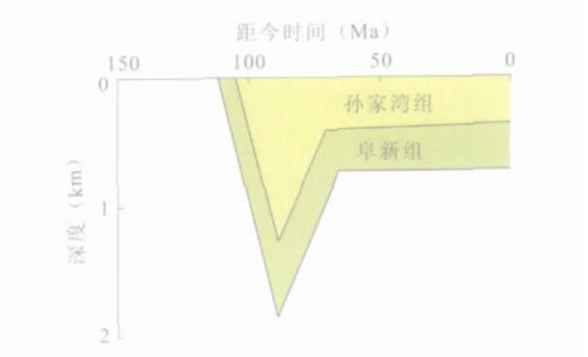


图 3 阜新盆地阜新组煤层气系统埋藏史

如前所述, 阜新组含煤地层的热史亦可划分为 3 个阶段: 阶段Ⅰ(从白垩纪阜新组沉积期到古近纪初), 盆地经历先陷后升, 但古地温场基本保持一致, 地热梯度在 3. 45℃/ 100m 左右[15], 镜质体反射率在 0. 42%~ 0. 67%, 阜新组煤层在孙家湾期末达到最高热演化程度, 镜质体反射率达到 0. 67%, 此时埋藏深度也最大(1800m), 为阜新组煤层第一次生气高峰; 阶段Ⅱ(从古近纪初到新近纪), 由于喜马拉雅运动的影响, 辉绿岩侵入煤层, 导致古地温异常, 地热梯度在 5~ 7 ℃/ 100m[15], 靠近辉绿岩侵入部位, 煤层变质程度大大提高, 镜质体反射率达到 4. 95%[24], 但阜新组煤的镜质体反射率大部分仍然在 0. 6% 左右, 此阶段, 由于辉绿岩侵入, 煤层二次生气; 阶段Ⅲ(从新近纪到现今), 盆地基本稳定, 岩浆侵入结束, 古地温恢复正常, 地热梯度为 3~ 3. 6℃/ 100m[15], 阜新组煤层保持现今状态, 煤化作用停止, 但是由于煤层埋藏较浅, 所以大量地表水下渗带入细菌, 使煤层产生次生生物气, 与圣胡安盆地煤层气生气特征一致[25], 这也是阜新盆地低阶煤生气量高的重要原因。

2. 3 煤层气的组分和同位素特征

研究区煤层气组分中 CH_4 平均含量 87. 58%, N_2 平均含量 9. 2%, CO_2 平均含量 3. 18%, CO 和重烃微量, 而且整个区域含量变化不大(见表 2)。据研究, 盆地甲烷稳定碳同位素值在- 50‰左右, 可能有生物气混入导致偏轻, 且煤层气具有 $\delta^{13}C_1 < \delta^{13}C_2 < \delta^{13}C_3 < \delta^{13}C_4$ 的正碳系列[26]。

表 2 阜新盆地阜新组煤层气组分

资料来源	样品数量(个)	气体组分(%)				
		CH_4	N_2	CO_2	CO	C_iH_{2i+2}
刘家区	41	88. 90	6. 70	4. 34	0. 005	0. 01
王营矿	63	87. 67	9. 28	3. 01	0. 003	0. 01
LJ-1 井	20	84. 05	15. 05	0. 87	0. 002	微量

注: 表中数据为平均值

3 煤储集层特征

3. 1 渗透率和孔隙性

利用刘家区 LJ-1 煤层气井试井测得孙家湾煤层组渗透率为 0. 428mD, 测试段厚 27m; 中间煤层组渗透率 0. 469mD, 测试段厚 17. 98m; 太平煤层组渗透率为 0. 323mD, 测试段厚 59. 59m。以上显示, 阜新盆地煤层渗透率普遍较低, 属于低渗透储集层。

控制盆地煤储集层渗透率最重要的因素是煤层割理。在井下观察, 割理以矩形网状和平行状为主, 平行层面可见面割理规模较大, 最大延伸 2m 以上; 而端割理规模较小。从刘家区 LJ-1 井和王营子矿煤层的割理发育程度来看, 割理比较发育, 孙家湾煤层组煤层面割理密度为 8~ 10 条/ 5cm, 端割理为 2~ 3 条/ 5cm, 中间煤层组和太平煤层组面割理为 9~ 12 条/ 5cm, 端割理为 2~ 4 条/ 5cm。煤的变形, 尤其构造应力导致的变形, 也影响煤层渗透率大小。煤体轻微的变形利于储集层改造, 严重的变形则不利[27]。阜新组煤层在构造应力下轻微变形, 非常利于后期储集层改造, 这是阜新盆地在煤层渗透率低的情况下煤层气商业开发获得成功的原因[28]。

根据阜新盆地 93 组煤样和 31 组天然焦样的测试结果, 煤层孔隙度平均为 4. 7% 左右, 天然焦孔隙度平均 7. 4% 左右, 均为低孔隙度储集层特征[29]。因为天然焦有特殊的气孔发育, 所以在靠近火成岩和变质天然焦区, 孔隙度明显增大。

3. 2 储集层压力

中国煤矿大部分分布在低压区, 储集层压力(p_R)在 0. 5~ 3MPa, 只有少数矿井和煤层在埋深 800~ 1000m 出现高压区, 储集层压力在 5~ 8. 5MPa。而美国一些盆地在 600~ 800m 深处, 储集层压力可达5. 6 MPa, 圣胡安盆地在 822m 处可达 8. 8MPa。根据阜新盆地 LJ-1 煤层气井的试井分析, 孙家湾煤层组的储集层压力为 6. 74MPa(深度 730~ 757m); 中间煤层组为 6. 75MPa(821m); 太平煤层组为 8. 24MPa(843m)[29]。可以看出, 阜新盆地煤储集层压力普遍较高, 但均是正常压力, 并未达到异常高压, 对煤层气的开发比较有利。随煤层埋深的增加, 储集层压力亦增高, 下部煤层

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

的压力高于上部煤层。

3.3 煤的吸附性和煤层气饱和度

阜新组煤层为低—中阶煤, 煤层吸附能力中等, Langmuir 体积(V_L) 在 18.81~ 33.71m^3/t; Langmuir 压力(p_L) 在 6.74~ 19.07MPa, 而煤层气饱和度在 82%~ 95%, 属于近饱和状态, 3 个主要目的煤储集层的等温吸附曲线变化形态基本一致, 即在同等压力条件下储集层对甲烷的吸附量大体一致, 平均解吸率在 90% 左右, 平均残余气率约 10% (见表 3, 图 4) 。

表 3　阜新盆地阜新组煤层储集层参数

煤层组	深度 (m)	V_L (m^3/t)	p_L (MPa)	p_R (MPa)	p_C (MPa)	含气量 (m^3/t)	饱和度 (%)
孙家湾	730~ 757	23.79	11.64	6.74	5	8.72	85
中间	821	18.81	6.74	6.75	6	9.41	100
太平	843	33.71	19.07	8.24	6.6	10.17	96

注: p_C——临界解吸压力

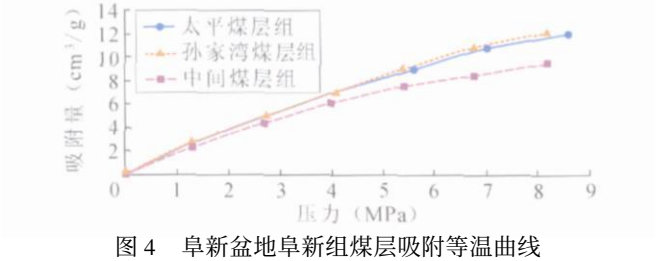


图 4　阜新盆地阜新组煤层吸附等温曲线

4 煤层气的保存条件

4.1 盖层

阜新盆地阜新组盖层为阜新组上部砂质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩, 属于半屏蔽层, 导致阜新组的煤层气散失较多, 所以煤储集层的煤层气含量在 8.72~ 10.17m^3/t, 未能形成异常高压储集层, 属于中等气含量、正常储集层压力煤层。另外, 阜新组下部和上部均为孔渗性较好的砂岩储集层, 在适合的条件下能够形成良好的圈闭, 捕获一定量的煤成气, 形成一些“甜点”[30] 。

4.2 水动力条件

阜新组有 3 个含水层: 第一含水层位于水泉煤层组顶, 为灰白色砾岩、砂岩夹粉砂岩、泥岩及薄煤, 厚度 180~ 254m; 第二含水层位于水泉煤层组底—孙家湾煤层组顶, 以质地疏松的砾岩为主, 厚度 40~ 68m; 第三含水层位于中间煤层组以下的砂砾岩、粗砂岩、中砂岩。地下水活动主要受岩性、构造、地形和地表降水的影响[31] 。阜新盆地地表径流以细河为干流, 王营河和西瓦河为支流, 一般只在雨季有水, 年平均降水量 520mL。从阜新盆地的水文地质条件来看, 属于中等条件, 煤系含水层不多, 单位涌水量小, 煤层本身不含水, 对煤层气的开发影响不大。但是研究区是一个汇水的向斜构造, 煤层上部的含水层对煤层气有一定封堵作用[13, 32]; 并且由于阜新组埋藏较浅, 阜新组地层温度在 28.1~ 40.2℃[33], 这种环境非常有利于地表降水下渗带入细菌生成次生生物气[34] 。

4.3 构造运动对煤层气保存的影响

阜新盆地断裂比较发育, 均为正断层, 不利于煤层气的保存, 但是由于晚白垩世和新生代构造应力场的变化, 原来的张性活动转化为压性、压扭性活动, 断层带内充填有较宽的糜棱岩化带、断层泥砾岩带, 呈现出挤压作用下的闭合状态, 从而对煤层气顺层运移起到了阻隔作用, 也阻止了煤层气的向外运移。由于井田边界断层规模较大, 造成煤层气逸散, 使断层附近煤层气含量降低[35, 36] 。而各井田内部断层规模较小, 对煤层气保存影响较小。断裂构造的存在也为岩浆岩的侵入提供了通道。当岩浆岩顺断层带运移遇到力学和化学性质更弱的煤层时, 则发生顺煤层侵入, 挤压、熔蚀煤层而形成岩床, 造成煤层气资源量的减少[37] 。

综上所述, 可绘出阜新盆地白垩系阜新组煤层气系统事件图(见图 5) 。

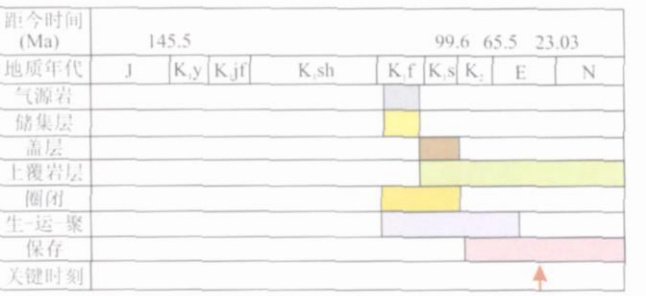


图 5　阜新盆地白垩系阜新组煤层气系统事件图

5 结论

阜新盆地白垩系阜新组煤层气系统有如下特征: 孙家湾煤层组、中间煤层组和太平煤层组是煤层气的生储层, 煤层厚度大, 分布广; 阜新组上部的砂质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩为阜新组煤层气的盖层, 盖层条件中等; 阜新组煤层的第一次生气高峰出现在孙家湾期末, 此时镜质体反射率最大达到 0.67%; 后来喜马拉雅期辉绿岩的侵入导致煤层到达第二次生气高峰, 在靠近岩浆侵入位置的局部地区镜质体反射率最大达到 4.95%, 另外, 地表降水下渗带入细菌导致煤层产生大量次生生物气; 此后为煤层气保存期, 部分气散失, 煤层气系统关键时刻是古近纪晚期。阜新组煤层气系统特征表明, 王营—刘家区具有良好的生储盖配置, 保存条件优越, 整个区域煤层气丰度平均为 2.66

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

亿 m^3/km^2, 具有较好的勘探前景。

本文得到辽宁工程技术大学崔洪庆教授的指导, 初稿承蒙沈苏研究员审阅并修改, 谨此致谢。

参考文献:

[1] Perrodon A. Geodynamique petroliere(1st edition)[M]. Paris: Masson-Elf Aquitaine, 1980.

[2] Magoon L B. Petroleum system of the United States[J]. U. S. Geological Survey Bulletin, 1988, 1870: 2-15.

[3] Magoon L B, Dow W G. The petroleum system- from source to trap[A]. AAPG Memoir 60, 1991. 3-22.

[4] Magoon L B, Dow W G. The petroleum system- from source to trap[A]. AAPG Memoir 60, 1994. 3-24.

[5] 吴世祥. 试论煤层气系统[J]. 中国海上油气(地质), 1998, 12(6): 390-393.

[6] Law B E, Curtis J B. Introduction to unconventional petroleum systems[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(11): 1851-1852.

[7] 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.

[8] 朱志敏, 沈冰, 闫剑飞, 等. 煤层气系统—— 一种非常规含油气系统[J]. 煤田地质与勘探, 2006, 34(4): 30-33.

[9] 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): 1853-1890.

[10] Su X B, Lin X Y, Zhao M J, et al. The upper Paleozoic coalbed methane system in the Qinshui basin, China[J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(1): 81-100.

[11] 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), 1987(2): 185-195.

[12] 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.

[13] 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.

[14] 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.

[15] 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, 2005. 25-28.

[16] 张俊宝. 对阜新煤田刘家区影响煤层气地质因素的分析[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2003, 22(6): 764-766.

[17] 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.

[18] 程日辉, 王东坡, 廖兴明. 伸展背景下陆相地层发育的控制——以阜新盆地为例[J]. 煤田地质与勘探, 1998, 26(6): 7-10.

[19] 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.

[20] 王伟锋, 陆诗阔, 孙月平. 辽西地区构造演化与盆地成因类型研究[J]. 地质力学学报, 1997, 3(3): 81-89.

[21] 吴福元, 葛文春, 孙德有, 等. 中国东部岩石圈减薄研究中的几个问题[J]. 地学前缘, 2003, 10(3): 51-60.

[22] 张宏, 柳小明, 李之彤, 等. 辽西阜新——义县盆地及附近地区早白垩世地壳大规模减薄及成因探讨[J]. 地质论评, 2005, 51(4): 360-372.

[23] 王宇林, 赵明鹏, 高占武, 等. 阜新盆地王营井田侵入岩研究[J]. 辽宁工程技术大学学报, 1998, 17(5): 466-471.

[24] 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.

[25] Scott A R, Kaise W R, Avers 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): 1186-1209.

[26] 孟庆山. 阜新盆地王营矿气藏成因分析[J]. 中国煤田地质, 2003, 15(6): 24-26.

[27] Su X, Tang Y. Coalbed methane drainage technology in Henan Province[A]. Xie H P, Golosinsiki T S. Mining science and technology'99 [C]. Rotterdam: A. A. Balkema, 1999. 231-234.

[28] 陈兆山. 阜新盆地刘家区煤储层综合分析[J]. 中国煤田地质, 2003, 15(5): 21-25.

[29] 安震. 刘家勘探区煤储层特征及煤层气开发条件研究[J]. 中国矿业大学学报, 2003, 32(2): 183-185.

[30] 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): 18-21.

[31] 王贵生, 陈成功. 阜新地区碎屑岩地下水的富集规律[J]. 东北水利, 2005, 23(6): 33-34.

[32] 李明潮, 王绳祖, 雷崇利, 等. 阜新盆地王营水动力圈闭裂隙型气藏的形成机制[J]. 天然气工业, 1999, 19(5): 17-21.

[33] 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.

[34] 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.

[35] 王伟锋, 陆诗阔, 郭玉新, 等. 阜新盆地构造特征与圈闭类型[J]. 石油大学学报, 1998, 22(3): 26-30.

[36] 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.

[37] 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.

第一作者简介: 朱志敏(1978-), 男, 四川绵竹人, 硕士, 中国地质科学院矿产综合利用研究所助理工程师, 主要从事天然气地质学和煤田地质学科研工作。地址: 四川省成都市二环路南三段 5 号, 邮政编码: 610041。E-mail: weah0500@163.com

收稿日期: 2006-01-03 修回日期: 2006-11-10

(编辑、绘图 梁大新)

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