

文章编号:1673-9469(2012)02-0053-04

## 白额勘探区含煤岩系沉积环境及其对煤层气富集的影响

刘占勇

(中煤地质总局第一勘探局,河北邯郸,056004)

**摘要:**含煤岩系沉积环境是影响煤层气成藏的重要因素。研究区主要含煤地层为石炭纪的太原组,二叠纪的山西组。分析结果显示:太原组主要为障壁岛-泻湖-潮坪沉积和浅陆表海碳酸盐台地沉积,其顶板-煤层-底板沉积相组合以泻湖-潮坪-台地相组合为主。山西组主要为河控浅水三角洲沉积,顶板-煤层-底板沉积相组合以沼泽-沼泽-沼泽相组合和天然堤-沼泽-沼泽相组合为主。山西期的沉积相组合较太原期沉积相组合更有利于煤层气藏的富集和保存。

**关键词:**白额勘探区;含煤岩系;沉积环境;煤层气

**中图分类号:**P618.11

**文献标识码:**A

## The depositional environment of the coal-bearing strata and its impact on coalbed methane enrichment in Bai'e exploration area

LIU Zhan-yong

(First Exploration Bureau, CNACC, Hebei Handan 056004, China)

**Abstract:** Coal measures sedimentary environment is an important factor affecting the coal bed methane (CBM) reservoir. The Carboniferous Taiyuan Formation and the Permian Shanxi Formation are the main coal-bearing strata in the study area. The analysis showed that the barrier island-lagoon-the tidal-flat and shallow epicontinental sea carbonate platform deposition are mainly faces in Taiyuan Formation. The roof-seam-floor sedimentary assemblage respectively represents the lagoon face, the tidal flat face and the tableland face. Shanxi Formation is shallow water-delta system which is the river controlled. The roof-seam-floor sedimentary assemblage respectively represents the swamp face-swamp face-swamp face or the natural levee face-the swamp face-marsh face. The sedimentary facies of the Shanxi Formation is more beneficial than Taiyuan Formation for the enrichment and preservation of the CBM reservoirs.

**Key words:** Bai'e exploration area; coal measures; depositional environment; coal bed methane (CBM)

煤储层的岩石学特征(包括宏观煤岩类型、显微煤岩组分及显微煤岩类型、煤的化学性质、煤级和煤相等)、煤储层物性特征(如孔隙、裂隙、渗透性和吸附解吸等)是煤层气成藏的基础条件<sup>[1-5]</sup>。煤储层的形成与演化、区域构造演化与特征、水文地质特征和含煤岩系沉积环境等则对煤层气的赋

存起着控制作用<sup>[6-8]</sup>。从现有的文献不难看出,已有的研究多集中于煤储层特征、构造特征、水文地质特征对煤层气藏的影响,而对含煤岩系沉积环境对煤层气的赋存的影响研究罕见。本文在分析白额勘探区含煤岩系沉积环境的基础上,阐述了沉积环境对煤层气富集的影响。

收稿日期:2012-01-22

作者简介:刘占勇(1968-),男,河北阳原人,高级工程师,从事煤田地质工程与研究。

### 1 地质概况

白额勘探区位于华北地台鄂尔多斯台坳东缘的河东坳缘带南部(河东煤田之南端),行政区划属临汾市白额县、吉县管辖。研究区含煤地层为华北型石炭二叠系,煤系地层平均厚度 120.91 m,煤层总厚平均 9.73 m,含煤系数为 8.05%。主要可采煤层赋存于太原组和山西组(图 1)。主要可采煤层为 2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>和 10<sup>#</sup>煤层。2<sup>#</sup>煤层位于山西组下部,上距 K8 砂岩底 571.33 m 左右,K4 砂岩底 47.22 m 左右,层位稳定。煤层厚度 2.09 - 6.23 m,平均厚度 4.10 m,为全区可采的稳定煤层。一般含 1 - 3 层泥岩夹矸,属结构较简单煤层。3<sup>#</sup>煤层为薄煤层,与 2<sup>#</sup>煤层的间距较小,厚度变化不大,仅局部出现不可采点。10<sup>#</sup>煤层位于太原组下部,上距 3<sup>#</sup>煤层平均间距 44.89 m。煤层平均厚度 2.77 m,结构简单,属于全区可采的稳定煤层。

组	厚度 (m)	岩层编号	柱状	岩性描述
山西组 P <sub>1-2</sub>	47.65 71.20	0 <sup>#</sup>		灰、灰黑色粉砂岩、泥岩、砂岩夹煤层 2~4 层,其中 2 煤层区域性可采。
		1 <sup>#</sup>		
		2 <sup>#</sup> 3 <sup>#</sup>		
太原组 C <sub>2-3</sub>	28.79 106.44	4 <sup>#</sup>		由灰、深灰色粉砂岩、石灰岩、泥岩、浅灰色细砂岩及煤屑组成。
		L <sub>4</sub>		
		L <sub>2</sub>		
		10 <sup>#</sup>		
		K <sub>1</sub>		
本溪组 C <sub>1</sub>	1.50 19.60	12 <sup>#</sup>		泥岩、粉砂岩,砂岩及薄煤层。底部为灰色和紫红色铁铝质泥岩。

图1 研究区含煤地层综合柱状图

Fig.1 Stratigraphic column of the coal-bearing sequence

### 2 含煤岩系沉积环境分析

#### 2.1 本溪组沉积环境

本组下部以含菱铁矿结核或黄铁矿结核的铝土质泥岩为主,中部主要为灰色粉砂岩和粉砂质

泥岩,上部主要为灰黑色泥岩、炭质泥岩和中-细粒石英砂岩。下部的泥岩中含大量的黄铁矿结核和菱铁矿鳞片反映出半滞留、半流通的水环境,中部的深灰色砂质泥岩、含铝质泥岩和粉砂岩则反映了由于沉积作用的持续水体变浅。在这些细粒沉积物中具有典型的波状、透镜状和脉状层理,并发育大量生物扰动,这是典型潮汐环境的沉积组合。上部的粗粒沉积以石英砂岩为代表,砂体底部一般具有明显冲刷面,冲刷面之上为石英砾岩或者含石英砾的粗砂岩,向上逐渐变为中砂及细砂沉积。细粒沉积则主要为灰黑色泥岩、炭质泥岩,并有薄煤层出现。根据上述特征,分析认为研究区本溪组上部为一套海湾充填沉积。

#### 2.2 太原组沉积环境分析

太原组为一套泥岩、粉砂岩、煤层及石灰岩交替沉积的海陆交互相沉积建造,与下伏本溪组地层整合接触。根据岩性组合特征可为下、中、上三段。

下段(K<sub>1</sub> 砂岩至 L<sub>2</sub> 灰岩底)。底部为钙质胶结的中-细粒石英砂岩(K<sub>1</sub> 砂岩)。石英砂岩中的石英颗粒分选好、成熟度极高,最厚可达 11 m;上部由一套灰-灰黑色细砂岩、粉砂岩、砂质泥岩及泥岩组成。其中的砂泥薄互层中发育潮汐周期层序、扁平的泥砾和底栖生物的遗迹化石,发育生物扰动构造。本段为典型的潮坪沉积(图 2)。

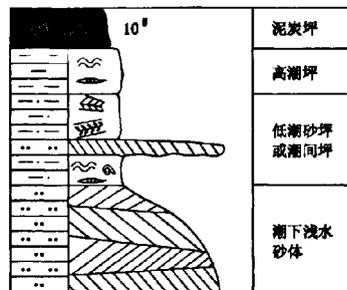


图2 太原组下段沉积相组合(孔3-3)

Fig.2 Sedimentary facies association of the lower Taiyuan Formation

中段(L<sub>2</sub> 灰岩至 L<sub>4</sub> 灰岩顶)。本段发育有 1 - 3 层灰岩,其中以 L<sub>2</sub> 灰岩层位最为稳定(局部相变为中粗粒石英砂岩)。灰岩中常见生物化石,灰岩中的原地生物为介形虫和部分有孔虫,其中的海百合茎、腕足、双壳类等生物多为砾、砂和粉砂级,反映了异地生物由强动荡水搬运到弱动荡的水域快速堆积的特点。本段石灰岩主要形成于浅

陆表海环境。另外,本段局部由分选好、成熟度极高的石英砂组成,最厚可达 10 m 左右。砂岩上部可见砂、泥薄互层沉积,具有典型的潮汐周期层序,此为典型潮下浅水砂体沉积特征。

太原组中段主要沉积层序(自下而上)为:灰色泥岩(高潮坪)→灰黑色生物屑灰岩(潮下-潮间碳酸盐岩)→灰色泥岩(高潮坪)→灰黑色泥岩、粉砂岩互层(低潮砂坪或潮间坪)→煤(泥炭坪)。局部沉积层序自下而上为:灰色泥岩(高潮坪)→厚层石英砂岩(潮下浅水砂体)→灰黑色泥岩、粉砂岩互层(潮间坪)→煤(泥炭坪)(图 3)。

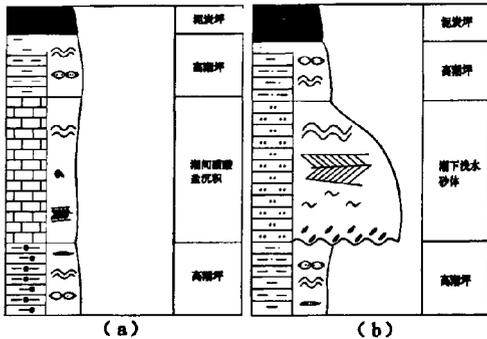


图3 太原组中段沉积相组合(a: 孔3-7; b: 孔8-5)  
Fig. 3 Sedimentary face association of the middle Taiyuan Formation

上段(L<sub>4</sub> 灰岩顶至 K<sub>3</sub> 砂岩底)。主要由深灰、黑灰色含菱铁质泥岩、砂质泥岩、粉砂岩夹少量铝质泥岩及薄煤层组成。

自下而上:具脉状或透镜状层理的互层状细砂岩和粉砂岩→中粗粒长石石英砂岩→粉砂岩或粉砂质泥岩→泥岩及煤层,其分别代表了三角洲前缘相、河口砂坝、分流间湾和沼泽沉积环境(图 4)。

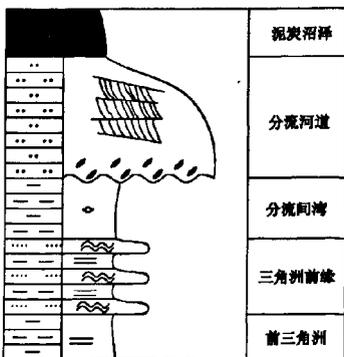


图4 太原组上段沉积相组合(孔12-6)  
Fig. 4 Sedimentary face association of the upper Taiyuan Formation

### 2.3 山西组沉积环境分析

山西组主要由泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩、砂岩及煤层组成。共含煤 3-5 层,其中 2<sup>#</sup>煤为全区可采的稳定煤层,3<sup>#</sup>煤为全区大部可采的较稳定煤层。

本组下段以薄层状粉砂岩、细砂岩与泥岩互层为特征。本段底部泥岩中发育生物扰动构造、生物潜穴和双粘土层构造,为典型的三角洲分流间湾沉积。中部为细粒和中粒砂岩,并由小型交错层理为主向上变为大型楔状或者板状交错层理,为分流河道沉积。上部沉积相由泥岩、砂泥互层组成。泥岩为深灰色至黑色,间夹有细砂岩或者粉砂岩薄层,厚 2-3 m。化学沉积的菱铁矿结核沿层面呈不规则的条带分布,薄的砂泥互层沉积,层面上丰富炭化植物化石碎片是典型三角洲泛滥平原上的分流河道间浅水湖的沉积特征。其顶部的 2<sup>#</sup>和 3<sup>#</sup>煤层就是在此环境下发育形成的。

中段沉积相由粗粒至细粒砂岩、黑色泥岩组成。底部具有冲刷面,冲刷面之上为含砾的粗砂岩-滞留沉积,向上逐渐变为灰到浅灰色中粒或者细粒砂岩。内部发育大型交错层理,底部发现泥砾和树干化石。

上段沉积特征与中段类似,但总体沉积物粒度变细,没有发育煤层。

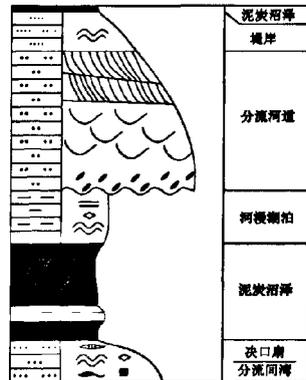


图5 山西组沉积相组合(孔3-5)  
Fig. 5 Sedimentary face association of Shanxi Formation

山西组典型的沉积层序为:三角洲分流间湾→分流河道(或决口扇)→泥炭沼泽→分流河道→河漫湖泊→泥炭沼泽(图 5)。研究区山西组主要为河控三角洲体系,且沉积物特征和沉积相构成基本符合浅水三角洲沉积体系的构成特点,即三角洲平原上分流河道十分发育,三角洲前缘组合

和前三三角洲组合不甚发育,分流河道往往直接充填直接覆盖于薄层的前三角洲泥岩,反映了浅水三角洲明显的进积作用。

### 3 沉积环境对煤层气成藏的影响

沉积环境对煤层气成藏的影响主要在以下三个方面:(1)对煤层气成藏基础地质条件的控制,这一点主要体现在对煤层厚度与结构、煤岩与煤质方面;(2)对煤储层物性的控制;(3)对煤层气藏保存条件的控制作用,这一点主要体现在对煤层气藏围岩岩性的影响上<sup>[9]</sup>。

#### 3.1 对煤层气成藏基础地质条件的影响

1)对煤层厚度与结构的影响。 $10^{\#}$ 煤层厚度的变化与发育特点受其沉积环境控制。研究区太原组早期(太原组下段)沉积环境主要为障壁岛-泻湖相。该阶段白额勘探区整体上地势平坦,滨海沼泽发育良好,故形成的 $10^{\#}$ 煤层厚度稳定。白额勘探区以13号勘探线为界,北部区域煤层厚度一般大于3.0 m,而南部区域煤层厚度一般2.0-3.0 m,说明北部沼泽的覆水深度适中,更利于泥炭化作用的进行及保存。

$3^{\#}$ 煤层位于 $2^{\#}$ 煤层下部,平均厚度1.19 m,结构简单,一般不含夹矸,为全区基本可采的稳定煤层; $2^{\#}$ 煤层厚度2.09-6.23 m,平均厚度4.10 m,为全区可采的稳定煤层,厚煤带分布于南部8-5孔和1-3孔连线以南地区,煤层厚度变化呈由南向北逐渐变薄的趋势。山西组早期,研究区处于一种滨岸平原环境中,为陆相三角洲平原沉积环境,物源主要来自北部阴山古陆<sup>[10]</sup>。在三角洲朵体的分流间湾、泛滥盆地等大面积沼泽化。 $2^{\#}$ 煤煤层的厚煤带分布范围大致与三角洲朵体前缘分布范围一致,表明 $2^{\#}$ 煤层沉积时期的古环境总体上还处于受河控三角洲影响的淡水环境中,南部的泥炭沼泽发育比北部的好,故煤层相对较厚。煤层结构受沉积环境影响, $2^{\#}$ 煤层属结构较简单煤层,所含的1-3层泥岩夹矸,可能是泥炭沼泽受分流河道决口扇或局部受潮汐作用影响所致<sup>[11]</sup>。

2)对煤岩与煤质的影响。研究区各煤层宏观煤岩类型以半亮型煤为主,个别点为半暗型煤。煤岩成分大部以亮煤为主,含少量镜煤,少见暗煤及丝炭。 $10^{\#}$ 煤储层形成于海水控制下的盐水沼

泽环境,煤质总体上表现为含硫高。从研究区56个样点分析可知, $10^{\#}$ 煤层原煤全硫1.04%-7.42%,平均3.61%,以中高硫-高硫煤为主,见煤点中有40个样品大于3.0%,为特高硫煤; $3^{\#}$ 煤层原煤全硫含量0.38%-3.01%,平均1.46%,含量较 $2^{\#}$ 有所增高,属特低硫-中高硫煤; $2^{\#}$ 煤层原煤全硫含量0.30%-1.97%,平均0.73%,属特低硫-中硫煤,研究区南部的深部各孔硫分较高,主要受潮汐作用影响有关。总体上, $10^{\#}$ 煤层硫分较 $2^{\#}$ 、 $3^{\#}$ 煤层高,这与成煤环境有关。一般来说,海相成煤环境下煤层受咸水影响,其硫分高于陆相煤层硫分。 $10^{\#}$ 煤层沉积相为障壁岛-泻湖相,属海洋环境咸水泥炭沼泽相,受此影响 $10^{\#}$ 煤硫分较高。 $2^{\#}$ 、 $3^{\#}$ 煤层当时成煤环境为河控三角洲平原沉积环境,属陆相淡水泥炭沼泽。

#### 3.2 对煤储层围岩的影响

煤层气形成以后必须被封存在煤层中才可能成藏,对煤层气来讲,煤层本身既是生气层,又是储气层,其上覆、下伏地层对煤层气起到封闭作用。在整个围岩“系统”中,煤储层的直接顶底板对煤层气的保存与富集起决定性作用。

不同沉积环境下形成的封盖层具有不同的封盖能力。一般情况下,煤层上覆泥、页岩等直接盖层,平面上连续稳定分布,其上又有区域性盖层,对煤层气的保存最为有利。砂岩孔隙比较发育,渗透率较高,为煤层气逸散提供了良好的通道,对煤层气的封盖能力不如泥岩。裂隙不发育的厚层灰岩、泥晶灰岩也是好的封盖层。

研究区 $2^{\#}$ 和 $3^{\#}$ 煤层顶、底板以泥岩及砂质泥岩为主; $10^{\#}$ 煤层顶板以灰岩为主,局部为砂质泥岩,底板以泥岩、砂质泥岩为主。实际情况也反映了本区太原组煤层中的煤层气含量较山西组的要低: $2^{\#}$ 煤层煤层气含量为3.27-12.66  $\text{m}^3/\text{t}$ ,平均为8.11  $\text{m}^3/\text{t}$ ; $10^{\#}$ 煤层煤层气含量为4.35-14.11  $\text{m}^3/\text{t}$ ,平均为6.96  $\text{m}^3/\text{t}$ 。

## 4 结论

研究区晚古生代含煤岩系沉积环境为陆表海-海岸平原环境。其中本溪组为一海湾充填沉积、太原组主要为障壁岛-泻湖-潮坪沉积和浅陆表海碳酸盐台地沉积、山西组主要为浅水河控三角洲沉积。沉积环境控制聚煤(下转第64页)

## 5 结论

采取比值法、“三带”判别法以及数值模拟计算等方法, M11 煤层开采后, 垮落带高度为 8 - 9 m, 导水裂隙带高度为 21.2 - 32.4 m, 导水裂隙带顶部可以发育到 M9 煤层, 实现预期的卸压效果, M9 煤层经过长期稳定或简单修护后, 可以继续开采。

### 参考文献:

- [1] 钱鸣高, 石平五, 许家林. 矿山压力与岩层控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2010.
  - [2] 杜计平, 孟宪锐. 采矿学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2009.
  - [3] 汪理全, 李中颀. 煤层(群)上行开采技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1995.
  - [4] 程新明. 复杂地质条件下上行开采的研究与实践[J]. 煤炭科学技术, 2004, 32(1): 44 - 46.
  - [5] 张仲春, 余耀锋, 杨洪滨. 上行开采近距离煤层群的探讨与应用[J]. 煤, 2007, 16(9): 61 - 64.
  - [6] 张恩强, 李军, 惠双林, 等. 赵家梁煤矿上行开采可行性研究[J]. 西安科技大学学报, 2010, 30(1): 39 - 43.
  - [7] 肖同强, 樊克恭. 上行开采上覆岩层运动规律及可行性研究[J]. 煤, 2007, 16(7): 7 - 10.
  - [8] 国家煤炭工业局. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2000. (责任编辑 刘存英)
- 
- (上接第 56 页) 特征、含煤岩系的岩性、岩相组成及其空间组合。山西组沉积体系较太原组沉积体系对煤层气成藏更有利, 山西组顶板 - 煤层 - 底板沉积相组合较太原组更有利于煤层气富集和保存。
- ### 参考文献:
- [1] 王锦山, 尹伯悦, 谢飞鸿. 水 - 气两相流在煤层中运移规律[J]. 黑龙江科技学院学报, 2005, 15(1): 16 - 19.
  - [2] 王凤清. 沁水盆地胡底井田地质特征及煤层气赋存规律[J]. 中国煤炭地质, 2011, 23(7): 22 - 27.
  - [3] 冀涛, 杨德义. 沁水盆地煤与煤层气地质条件[J]. 中国煤炭地质, 2007, 19(5): 28 - 30.
  - [4] 宋岩, 柳少波, 赵孟军, 等. 煤层气藏边界类型、成藏主控因素及富集区预测[J]. 天然气工业, 2009, 29(10): 5 - 9.
  - [5] 唐书恒. 煤储层渗透性影响因素探讨[J]. 中国煤田地质, 2001, 13(1): 28 - 30.
  - [6] 秦勇, 宋党育, 王超. 山西南部晚古生代煤的煤化作用及其控气特征[J]. 煤炭学报, 1997, 22(3): 230 - 235.
  - [7] 郑柏平. 水文地质条件对白额勘探区煤层气富集的影响[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2012, 29(1): 71 - 73.
  - [8] 朱建刚. 乡宁矿区煤储层地质特征研究[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2010, 27(4): 52 - 54.
  - [9] 韦重韬, 桑树勋. 河东煤田乡宁地区主煤层储层物性特征及意义[J]. 中国矿业大学学报, 1997, 26(4): 45 - 48.
  - [10] 叶建平, 秦勇, 林大扬. 中国煤层气资源[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1999.
  - [11] 张延庆, 唐书恒. 华北部分矿区煤储层压力研究[J]. 地球学报, 2001, 22(2): 165 - 168. (责任编辑 刘存英)