

沁水盆地晚古生代含煤沉积体系及其控气作用

贾建称

(煤炭科学研究总院 西安研究院, 陕西 西安 710054)

摘要: 沁水盆地晚古生代含煤地层主要为晚石炭世太原组和早二叠世山西组, 可采煤层有太原组第15号煤层和山西组第3号煤层, 两者均为高煤阶无烟煤。对含煤地层内部各成因相及其组合的综合分析表明, 太原组为陆表海多堡岛与碳酸盐台地复合沉积体系。第15号煤层形成于海退持续时间较长的潮汐三角洲环境, 其中三角洲平原沼泽相中煤层较厚, 滞留泻湖相中煤层较薄, 障壁沙坝一带煤层厚度较稳定。山西组为河控三角洲沉积体系。三角洲平原沼泽环境中均衡补偿沉积持续时间较长, 形成的第3号煤层厚度较大, 结构简单。三角洲前缘沙坝中煤层厚度稍薄, 分流河道中煤层不稳定。煤层气勘探实践表明, 在同一口试气井中, 盆地内大部分地方第3号煤层比第15号煤层厚度大, 生气能力强, 煤层气保存条件优越, 气体质量浓度、含气饱和度、煤层气资源量高。因此, 第3号煤层应是沁水盆地煤层气试采和商业化开发的首选目标层。

关键词: 煤层气; 控气条件; 含煤沉积体系; 晚古生代; 沁水盆地

中图分类号: P618.11 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2007)04-0374-09

Coal Depositional System and Its Controlling Role of Coalbed Methane in Late Paleozoic of Qinshui Basin

JIA Jian-cheng

(Xi'an Branch of China Coal Research Institute, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract The main coal-bearing strata in the Qinshui Basin are late Carboniferous Epoch Taiyuan Formation and Early Permian Epoch Shanxi Formation. The No. 15 coalbed of Taiyuan Formation and No. 3 coalbed in Shanxi Formation, belonging to premium anthracite, are workable seams. Multidisciplinary analysis on genetic facies and their assemblage shows that Taiyuan Formation is made up of epeiric sea barrier island depositional system-carbonate plateau system, No. 15 coalbed was formed in tidal delta environment which sustaining a long time of marine regression, and the thickness of No. 15 coalbed is thicker in bog of delta plain, thinner in stagnant barchans and stable in barrier bar. Shanxi Formation constitutes of fluvial-dominated delta depositional system, and No. 3 coalbed formed is thicker and simple in structure because isostatic compensational deposit lasted for a long time. But the coalbed formed in delta front bar is thinner and is unstable in distributary channel. Indicated by exploratory of coalbed methane in the Qinshui Basin, No. 3 coalbed is thicker, the source ability is stronger, preservative condition of coalbed methane is more ascendant, and volume concentration, saturation, resource quantity of coalbed methane is higher than these of No. 15 coalbed in the same pilot well. Therefore, No. 3 coalbed should be the picking target stratum for producing test and commercial exploration of coalbed methane.

Key words: coalbed methane; condition of controlling coalbed methane; coal depositional system; late Paleozoic Era; Qinshui Basin

收稿日期: 2006-12-29

基金项目: 国家重大基础研究计划项目(2002CB211706)

作者简介: 贾建称(1965-), 男, 陕西丹凤人, 高级工程师, 博士, 从事煤盆地动力学和煤层气地质学研究。E-mail: jianchengjia@163.com

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

0 引言

聚煤盆地范围内的大型充填样式——含煤沉积体系是由一系列具有成因联系的沉积相构成。这些沉积相的发育特征和时空组合型式示踪了盆地形成与沉积过程中的海陆变迁、构造性质转换及与周边环境相互作用历史过程,成为研究聚煤盆地成因机制和演化历程,即聚煤盆地动力学的核心内容^[1-4]。同时,不同含煤沉积体系中煤层发育状态、煤岩成分、煤储层物性、煤层顶底板岩石类型与煤岩生气能力、煤层气浓度和煤层气保存条件等控气地质因素密切相关,研究含煤沉积体系的控气作用也是当今煤层气地质学前缘课题之一,然而以往有关这方面的专题研究成果却不多见^[5-7]。

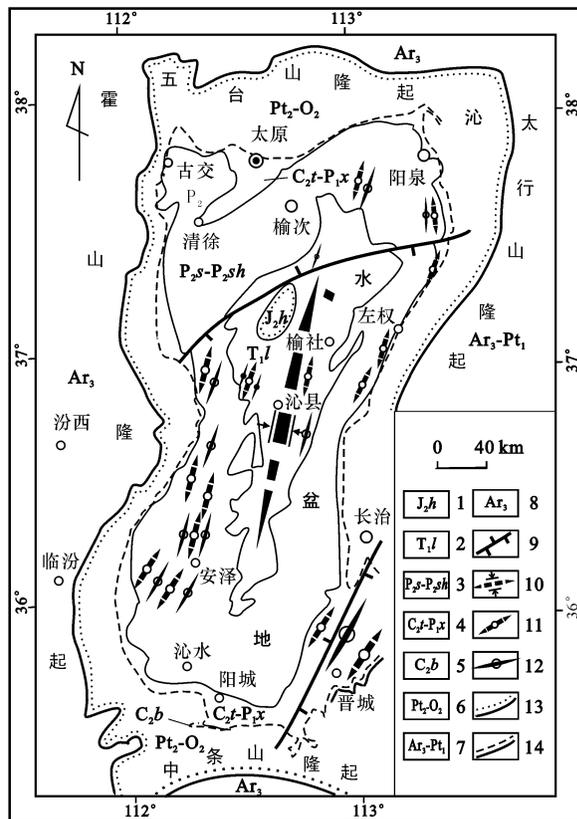
山西沁水盆地煤炭资源丰富,煤层气成藏地质条件优越,气体资源量可观,是中国惟一已经探明的、可供商业化开发的整装煤层气田。笔者比较分析该盆地晚石炭世太原组和早二叠世山西组两种不同类型含煤沉积体系与控气作用关系,将进一步深化对控气地质机理的认识,加快该区煤层气商业化开发利用步伐,寻找并评价新的勘探区块具有现实的指导意义。

1 盆地地质背景

沁水盆地位于华北板块中部山西断块的东南侧,东依太行山隆起,南接中条山隆起,西邻霍山隆起,北靠五台山隆起,是华北晚古生代成煤期之后由断块差异性抬升形成的山间断陷盆地。盆地基底由晚太古代—早元古代变质岩系组成,最早的沉积盖层为中—晚元古代裂陷槽环境碎屑岩—碳酸盐岩—基性火山岩建造。寒武纪—中奥陶世海相碳酸盐岩、碎屑岩建造不整合于下覆地层上。盆地内缺少晚奥陶世—早石炭世地层。晚石炭世—二叠纪为含煤碎屑岩夹碳酸盐岩建造。三叠纪山间河湖相杂色碎屑岩与晚古生代之间为连续沉积。晚三叠世以来,山西断块差异性抬升使得盆地沉积环境动荡多变,陆相地层发育不连续^[8]。

盆地地层围斜内倾,构造形态呈长轴北北东—南南西向的大型复式向斜,轴迹大致位于榆社—沁县—安泽东—沁水—线。该复式向斜由一系列轴向北北东轴迹平行的次级短轴歪斜褶皱组合成隔挡式褶皱形态,核部为中侏罗统(图1)。盆地内断裂构造不发育,地质填图和钻探工程控制的数个北

北东向正断层倾角普遍大于 60° ,断层的导气和导水能力差。



1—黑河组; 2—刘家沟组; 3—上石盒子组—石子峰组; 4—太原组—山西组—下石盒子组; 5—本溪组; 6—中元古界—中奥陶统; 7—上太古界—下元古界; 8—上太古界; 9—正断层; 10—复式向斜轴; 11—短轴向斜; 12—短轴背斜; 13—角度不整合界线; 14—平行不整合界线; 据文献[9], 略修改

图1 沁水盆地地质略图

Fig. 1 Geological Sketch Map of the Qinshui Basin

沁水盆地晚侏罗世中酸性岩浆侵入活动强烈,岩浆侵入不仅造成盆地内部地温梯度异常,促使煤岩加速变质为无烟煤而提前进入生气高峰期,同时区域岩浆热变质作用也极大的提高了煤岩的渗透率,改善了煤储层的物性条件^[10]。

2 晚古生代含煤地层及沉积体系构成

2.1 晚古生代含煤地层与煤层特征

晚古生代,沁水盆地沉积作用连续,地层序列完整,其中含煤地层主要为晚石炭世太原组和早二叠世山西组(图2)。

2.1.1 太原组

太原组(C_2t)出露于盆地边部,盆地内埋深892~1100 m。由灰白色细粒石英砂岩、深灰色、

地质时代			地层单位		厚度 /m	岩性柱	岩石组合简述
代	纪	世	组	代号			
中生代	三叠纪	早三叠世	刘家沟组	T ₁ l			底部为透镜状砂砾岩, 中上部为细砂岩和粉砂岩互层
晚古生代	二叠纪	晚二叠世	石千峰组	P ₂ sh	5 } 281		含砾粗砂岩、黄绿色砂岩与紫红色、灰绿色页岩互层, 偶夹结核状灰岩
			上石盒子组	P ₂ s	345 } 440		杂色含砾粗砂岩、含锰、铁质斑块鲕状泥岩、薄层泥岩夹粉砂岩、中细粒砂岩、砂质泥岩
古生代	叠纪	早二叠世	下石盒子组	P ₁ x	80 } 96		含砾粗砂岩、砂岩、粉砂岩、泥岩夹不稳定薄煤层
			山西组	P ₁ s	41 } 83		灰黑色碳质泥岩、砂质泥岩、粉砂岩、含细砾粗砂岩、砂岩夹煤层
代	石炭纪	晚石炭世	太原组	C ₂ t	76 } 142		由细粒石英砂岩、泥岩、砂质泥岩、粉砂岩、生物碎屑灰岩和煤层组成
			本溪组	C ₂ b	0~10		下部铝土质泥岩夹铁矿层, 上部粉砂质泥岩、细砂岩、粉砂岩夹泥灰岩
早古生代	奥陶纪	中奥陶世	峰峰组	O ₂ f	>450		深灰色中厚层状灰岩、条带状泥质灰岩、角砾状灰岩夹薄层石膏

图 2 沁水盆地晚古生代沉积充填序列

Fig. 2 Filling Sequences of Late Paleozoic in Qinshui Basin

灰黑色泥岩、砂质泥岩、粉砂岩、生物碎屑灰岩和煤层组成, 厚度 76~142 m。

该组由 3 个岩性段构成。第 1 段包括 2 个沉积旋回, 每个旋回下部为中厚层状石英砂岩夹砂质泥岩, 上部由灰黑色含铁质结核粉砂质泥岩、泥岩组成, 顶部为煤层。第 2 段发育 2~3 个沉积旋回, 每个旋回底部为厚层状生物碎屑灰岩, 下部为(长石)石英砂岩, 上部由泥岩与粉砂岩互层组成, 顶部为煤层。第 3 段有 8~12 个沉积旋回, 单个旋回底部为透镜状砂岩, 下部为灰白色砂屑白云质灰岩夹纹层状泥灰岩, 上部由粉砂岩、泥岩组成, 顶部为碳质泥岩夹不稳定薄煤层, 单旋回厚度较 1~2 段薄。

太原组含煤 12~18 层, 煤层总厚度 17.6~29.3 m。大多数煤层结构复杂, 纯煤厚度小, 侧向延伸不稳定, 仅第 15 号煤层区域延伸较稳定, 是盆地内主要可采煤层。

第 15 号煤层位于太原组第 1 段顶部, 厚 1.4~9.6 m, 北厚南薄、东厚西薄(图 3)。煤层最大埋深

2 000 m, 宏观煤岩类型为半光亮—光亮型, 煤级以无烟煤 II 号为主, 其次为无烟煤 III 号。

煤层顶板以生物碎屑灰岩为主、长石石英砂岩次之, 底板由泥岩、碳质泥岩、含铁质结核粉砂质泥岩组成。

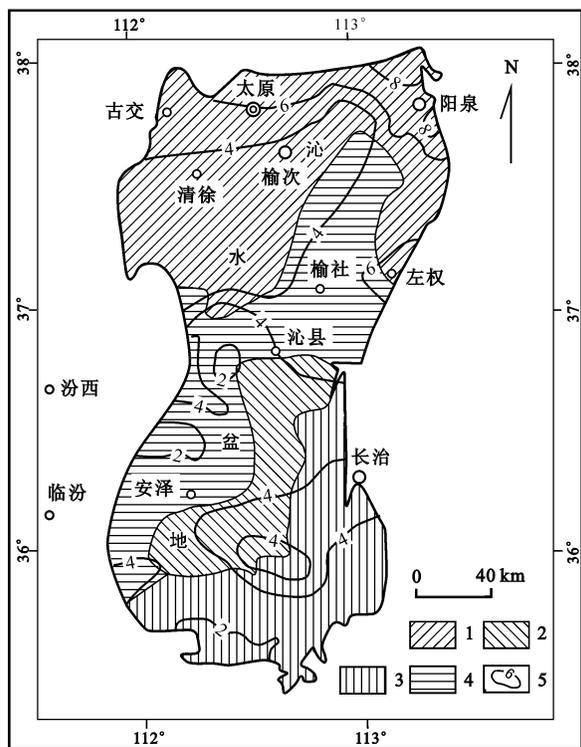
2.1.2 山西组

山西组(P₁s)由深灰色、灰黑色碳质泥岩、砂质泥岩、粉砂岩、含细砾粗砂岩、砂岩夹煤层组成, 整合于太原组之上, 植物化石丰富, 厚度 41~83 m。

山西组有 3~7 个沉积旋回, 每个旋回下部为泥岩、粉砂岩、砂质泥岩, 向上逐渐变为中厚层状中细粒石英砂岩, 上部由透镜状含细砾粗砂岩、平行层理砂岩组成, 顶部为粉砂岩、碳质泥岩夹煤层。

该组合煤 5~7 层, 其中第 2 号煤层局部可采, 第 3 号煤层普遍可采, 其余煤层薄而延伸不稳定, 结构复杂, 可采性极差。

第 3 号煤层赋存于山西组中部, 第 15 号煤层上方 60~110 m, 厚度 1.7~9.4 m, 东厚西薄, 中间



1—潮汐三角平原; 2—障壁沙坝; 3—碳酸盐台地, 4—滞留泻湖; 5—煤层等厚线/ m; 据文献 [11] 修改
图 3 太原组沉积体系和第 15 号煤层等厚图

Fig. 3 Depositional System of Taiyuan Formation and Thickness of No. 15

厚两侧薄(图 4)。煤层结构简单, 侧向延伸稳定, 是盆地内又一主要可采煤层。宏观煤岩类型以半光亮型为主, 光亮型煤次之, 煤级以无烟煤 II 号为主。煤层顶、底板均为碳质泥岩或粉砂质泥岩。

2.2 晚古生代含煤沉积体系构成

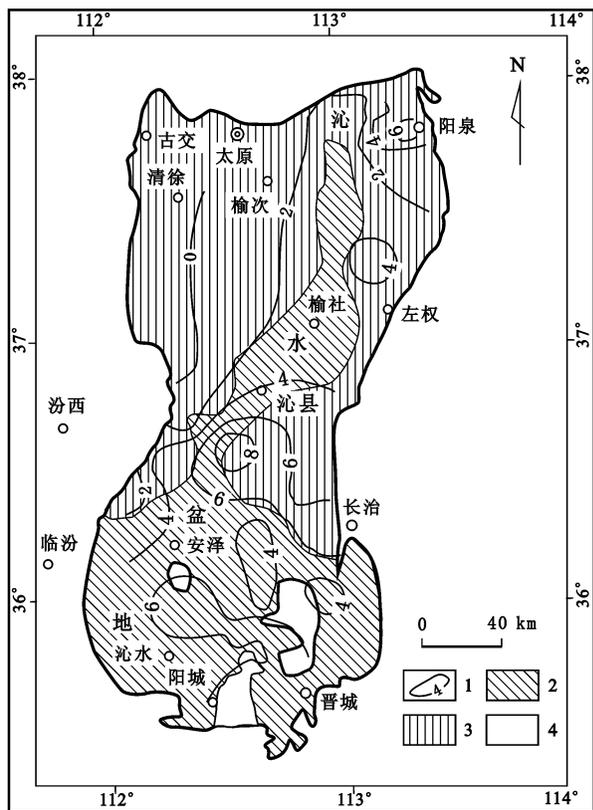
沁水盆地晚古生代地层产状十分平缓, 在现代深切沟谷中可清楚地辨识出不同含煤沉积体系及其内部各成因相的组成。

2.2.1 太原组沉积体系及其内部构成

太原组沉积体系构成比较复杂, 盆地不同部位的成因相组合变化较大。地质调研和晋城—沁水南部地层剖面垂向沉积结构表明(图 5), 太原组为陆表海多堡岛与碳酸盐台地复合沉积体系, 沉积体系内部成因相及其组合特征如下:

(1)潮控三角洲。该成因相组合构成了太原组第 1 段, 为缓慢进积型潮控三角洲沉积格架, 可识别出两种依次上叠的三角洲平原成因相组合:

潮汐沙坝相: 位于每个沉积旋回下部, 由中厚层状槽状交错层理石英砂岩夹砂质泥岩组成。单个砂体线状延伸, 形态为上平下凹的半透镜状, 发



1—煤层等厚线/ m; 2—三角洲平原沼泽; 3—三角洲平原分流河道; 4—三角洲前缘沙坝; 据文献 [12] 修改
图 4 山西组沉积体系和第 3 号煤层等厚图

Fig. 4 Depositional System of Shanxi Formation and Thickness of No. 3

育底冲刷面和脉状层理。砂体群呈指裂状放射形排列, 与闭流沼泽相泥岩呈指状交互关系。

沼泽相: 有两种沉积类型, 下部为闭流沼泽相灰黑色粉砂质泥岩、泥岩, 含菱铁矿和黄铁矿结核, 自上而下发育波状层理、透镜状层理和不明显水平层理, 残留植物根近于直立; 上部为块状泥炭层, 属潮汐三角洲泥炭坪沉积, 是主要成煤环境。

(2)碳酸盐台地沉积体系。该体系成因相类型分开阔台地和局限台地。开阔台地沉积主要位于太原组第 2 段中下部, 岩性为中厚层状生物碎屑灰岩。灰岩侧向连续性好, 蕈类、腕足和牙形刺等化石含量普遍小于 25%, 个体保存完整, 局部有生物扰动构造, 形成于盐度正常、低能透光的浅水开阔台地环境, 是潮控三角洲废弃期产物。局限台地发育于太原组第 2 段上部和第 3 段中部, 岩性为灰白色砂屑白云质灰岩夹泥灰岩, 具纹理构造, 含少量畸形厚皮化石。空间上, 这种环境位于障壁坝后侧泥炭坪中, 实质上是一种咸化泻湖。

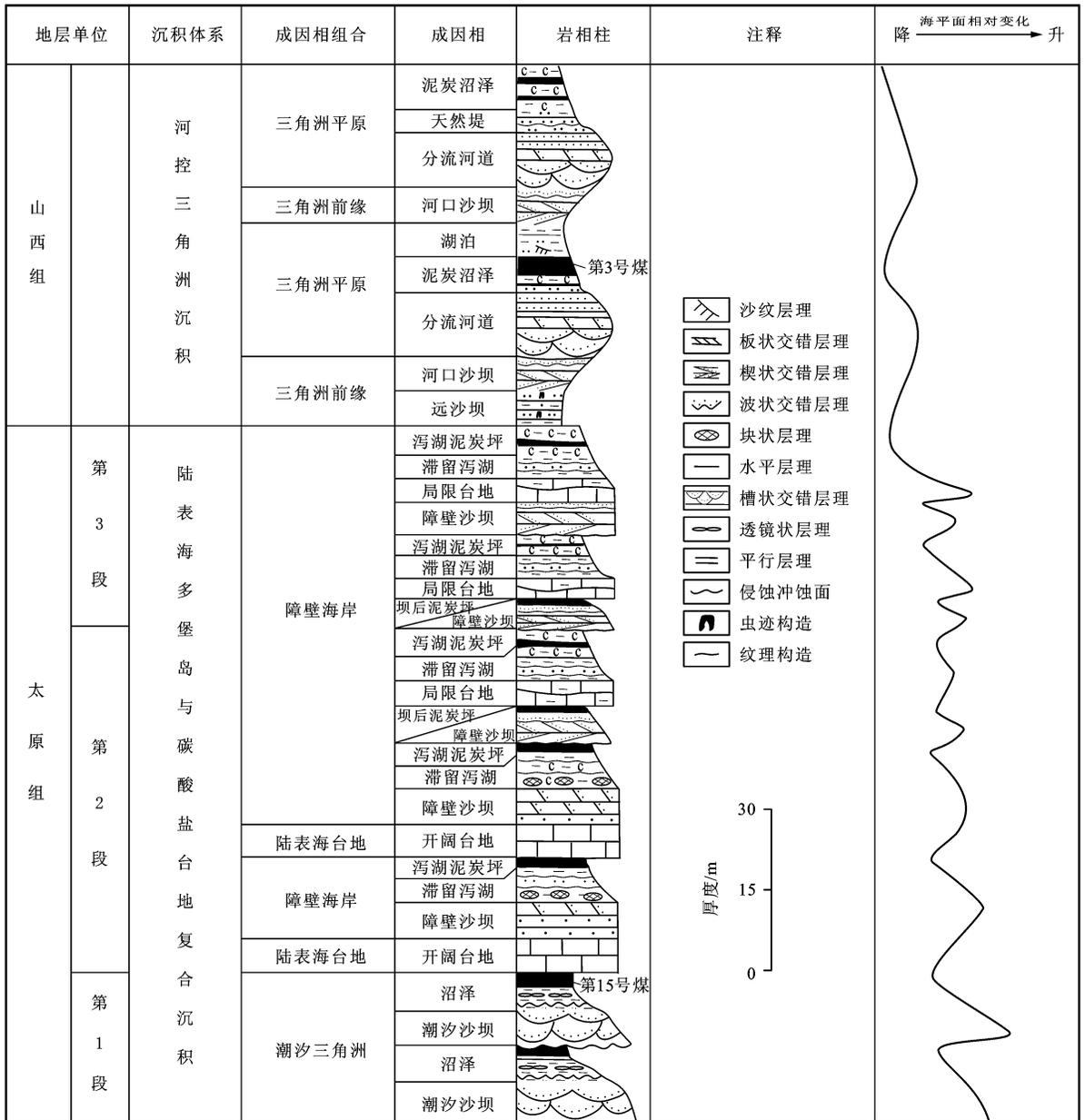


图 5 晋城—沁水南部沉积体系中成因相垂向叠置

Fig. 5 Vertical Sequences of Genetic Facies of the Depositional System in Southern of Jincheng-Qinshui

(3)障壁沙坝。为障壁海岸的主要建造类型,由分选性较好、磨圆度高的(长石)石英砂岩组成。砂体具底冲刷面,横断面呈不对称透镜状,上凸下平或微凹,发育楔状交错层理和平行层理,为每个沉积旋回初期海退过程产物。晋城—沁水南部地层剖面上,阳城附近沙坝走向北西西,北东侧陡而南西侧稍平缓,说明海水由南西北东退却(图 6)。

(4)滞留泻湖。由灰黑色含菱铁矿和黄铁矿结核粉砂质泥岩、泥岩组成。岩层发育不明显水平层理、缓波状层理和透镜状层理。

(5)泥炭坪。由泥炭层构成,是潮坪的一种特殊

类型,有泻湖泥炭坪和坝后泥炭坪之分。泻湖泥炭坪以障壁沙坝开始,向上过渡为滞留泻湖,在此基础上发育成泥炭坪。泥炭层堆积后局部被泻湖相碳质泥岩覆盖,向上过渡为障壁沙坝或碳酸盐台地。坝后泥炭坪位于障壁沙坝后侧,沉积序列下部为障壁砂体,上部为泥炭坪,再上被局限台地相覆盖。

2.2.2 山西组沉积体系及内部构成

山西组为河控三角洲沉积体系,包括三角洲前缘和三角洲平原成因相组合。

(1)三角洲前缘成因相。三角洲前缘成因相组合由远沙坝和分流沙坝构成,总体为向上变粗的进

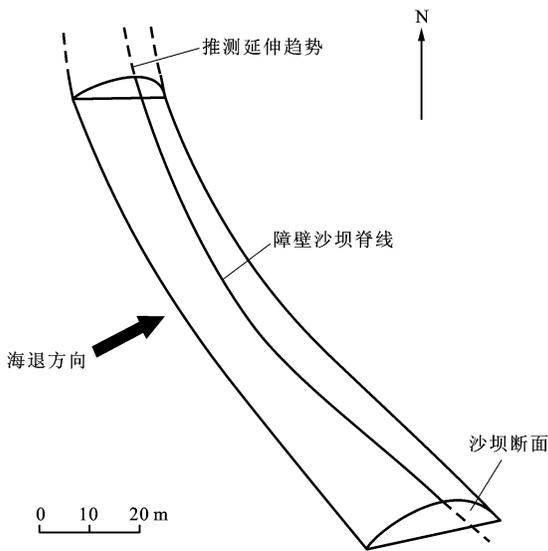


图6 阳城县附近障壁沙坝素描

Fig. 6 Pencil Sketch Map of Barrier Bar Near the Yangcheng County

积层序远沙坝。由纹层状泥岩、粉砂岩、砂质泥岩互层状组成,发育水平层理和小型冲刷充填构造,粉砂岩中保留有大小不等的生物爬痕、虫孔构造。

分流沙坝。该沙坝位于远沙坝上部,由中厚层状长石石英砂岩组成,岩性较单调。砂体呈席状,分选性好,厚40~70 cm不等,下部发育大型楔状交错层理,向上变为波状交错层理。在阳泉一带尚见砂层液化形成的包卷层理,反映了较强水动力条件下快速堆积。

(2)三角洲平原成因相。三角洲平原成因相组合较为复杂。垂向上,下部主要是起骨架作用的分流河道沉积,中上部的各成因相发育状态受环境影响较大,但沉积序列基本上代表了三角洲由建设期到废弃期的演化过程。

分流河道。由下部槽状交错层理含细砾粗砂岩、中部板状交错层理粗砂岩和上部平行层理中细粒砂岩组成。砂体断面呈透镜状,上平下凹,宽度40~102 m不等,底冲刷面发育。古交一带分流河道砂体自下而上规模变小,冲蚀能力减弱,下切幅度由124 cm减少到80 cm。

天然堤。天然堤发育于山西组上部,由下部小型缓波状层理粉砂岩和上部水平层理粉砂质泥岩组成,空间上位于分流河道上方两侧。沉积断面呈楔形,靠近分流河道一侧厚且陡峭,向两侧逐渐变薄变缓,以至平坦。

泥炭沼泽。该沼泽位于三角洲平原上部,由富

含有机质的水平层理泥质粉砂岩、碳质泥岩和块状煤层组成。泥质粉砂岩位于分流河道砂体之间,受侧蚀切割强烈,现有的煤层薄而极不稳定,是三角洲开始全面废弃的标志。漫滩沼泽中煤层厚度大,分布稳定,侧向延伸性好,如盆地中第3号煤层,是三角洲平原体系彻底废弃期的产物。

三角洲湖泊。该湖泊出现在泥炭沼泽相之上,分布十分局限,沉积物为暗灰色薄沙纹层含黄铁矿结核粉砂质泥岩。沉积体断面形态呈月牙形,最厚10 m。

3 晚古生代含煤沉积体系形成和演化

沁水盆地晚古生代含煤沉积体系的形成和演化受华北聚煤盆地沉积动力学控制。中奥陶世末期,受西伯利亚板块(北部)和扬子板块(南部)双向俯冲,华北板块岩石圈在挤压挠曲中整体抬升,遭受长达约125 Ma的风化剥蚀和夷平作用。晚石炭世早期,华北板块在伸展过程中整体下沉,海水重新入侵并覆盖了板块的大部分范围,在内陆拗陷中形成陆表海盆地^[13]。当时,沁水地区位于古陆边缘海岸环境,构造稳定,沉积作用主要受海平面变化和物源供应状态控制。

本溪期区内地形较平坦,潮汐作用强烈,起初在潮上低能环境中沉积了一套富铝、铁质泥岩。随着相对海平面升涨,代之以潮间泥砂混合坪沉积。

太原早期海平面下降,河流携带的大量泥砂源源不断地搬运到潮汐三角洲地区,形成潮汐沙坝和沙坝内侧闭流沼泽粉砂质泥岩沉积。伴随着海退出现广阔的潮汐三角洲环境,当时气候温暖潮湿,植物生长茂盛,沼泽中大面积堆积泥炭层。太原组第15号主煤层即为这种环境的产物。

太原中期海平面迅速上涨,沁水一带转换为浅海环境,沉积了一套台地相生物碎屑灰岩,并直接覆盖于前期泥炭层之上。尔后海水退却,潮汐沙坝再现,持续的海退在沙坝内侧再次形成闭流泻湖沉积和泻湖泥炭坪沉积。

太原晚期沁水盆地地壳升降频繁,海平面动荡强烈,每一个海平面变化旋回经历了早期的快速上升和后期的缓慢下降阶段,相应地形成了障壁沙坝一坝后泥炭坪,或障壁沙坝一局限台地一滞留泻湖一泻湖泥炭坪沉积序列。

山西期,沁水盆地在一定程度上承袭了太原晚期的古地理格局和古气候特点。地形平坦宽阔,在

近海环境中形成河控三角洲沉积体系。随着河控三角洲从陆地向海盆推进,依次出现三角洲前缘到三角洲平原成因相组合的演替。

早二叠世末期沁水地壳上升,盆地大体脱离海洋环境。下石河子期开始,海水全部退出盆地,代之以内陆河湖和沼泽环境,形成了河湖相杂色碎屑岩建造,局部尚有泥炭沼泽沉积。由于古气候变得干燥炎热,植物远不及山西期那样繁盛,因此形成的煤层呈蜂窝状。

4 晚古生代含煤沉积体系的控气作用

煤层气俗称瓦斯,是泥炭层在煤化作用过程中形成的,并主要储存于煤层中的一种自生自储式非常规天然气资源,成分以甲烷为主^[14-15]。在煤层气富集成藏的诸多控制因素中,储层与盖层组合是控制煤层气集散最根本的因素。由泥炭层转化而来的煤层是主要的生气和储气物质,煤层的丰度、厚度、几何形态、化学成分决定了煤岩的生气能力和煤层气资源量。煤层顶底板的岩性、厚度、展布情况与煤层气的保存密切相关,而煤层的形成及其与盖层的时空配置关系受含煤沉积体系的形成和演化控制。

4.1 含煤沉积体系对泥炭层发育的控制

泥炭层的形成主要取决于泥炭沼泽水面和植物遗体堆积界面之间的关系。在均衡补偿条件下,沼泽水面上升速率与植物遗体堆积速率大体一致,泥炭层不断加厚。这种状态持续的时间越长,形成的泥炭层就越稳定,厚度越大。一旦这种均衡状态遭到破坏,泥炭层的堆积也就随之终止。一般而言,近海沉积盆地中泥炭沼泽环境出现于海平面下降极值期,泥炭层位于每个沉积旋回上(顶部),其发育程度是盆地升降、相对海平面变化周期、植物遗体供给速率的函数。

4.1.1 陆表海多堡岛与碳酸盐台地复合沉积体系对泥炭层发育的控制

陆表海多堡岛与碳酸盐台地复合沉积体系主要由潮汐三角洲、碳酸盐台地、障壁沙坝成因相组合而成。这种复合沉积体系在形成过程中经常受海平面升降变化的影响,沉积建造旋回结构明显,陆表海范围内多堡岛体系陆源碎屑沉积与碳酸盐台地沉积在时空上广泛的混生在一起,含煤建造中泥炭层发育程度和几何形态变化较大。

太原早期曾出现两次海平面升降旋回,相应地形成两个泥炭层。其中,第二次海退持续时间较

长,海退之际留下大范围覆水环境,潮湿温暖的气候条件有利于植物大量生长、繁衍,长期均衡补偿沉积在潮汐三角洲平原沼泽环境中广泛沉积了太原组第 15 号煤层。障壁沙坝一带第 15 号煤层厚度较稳定,且向外侧有变厚趋势。滞留泻湖中煤层一般较薄(见图 3)。

太原中晚期为障壁海岸与碳酸盐台地沉积,由于海平面升降频繁,沼泽环境常常被海洋环境替代,均衡补偿持续时间短,形成的泥炭层虽丰度高,但普遍较薄,侧向延伸不稳定,泥质夹层较多,结构复杂,侧向上分岔普遍,甚至出现马尾状煤,可采性差。

4.1.2 河控三角洲沉积体系对泥炭层发育的控制

河控三角洲体系是沁水盆地山西组的主要含煤沉积体系,成因相主要有三角洲前缘远沙坝、河口沙坝、三角洲平原分流河道及其侧部天然堤、上部为泥炭沼泽沉积。这种沉积体系形成过程中,三角洲平原表面接近于平均高潮面,是一个被海水周期性覆盖的低洼沼泽环境。水体主要为淡水或半咸水,适宜于植物大量生长,均衡补偿沉积作用持续时间长,形成的泥炭层厚度较大且稳定,泥质夹层少,煤层结构简单,沿沉积倾向连续性较好,如第 3 号煤层。三角洲前缘沙坝煤层厚度稍薄,但比较稳定,局部可采,如该组第 2 号煤层。分流河道中泥炭层受河流冲蚀强烈,厚度普遍较薄,稳定性差,可采性低,如山西组其他煤层。第 3 号煤层分布和发育状况也是这种特征的具体体现(见图 4)。

4.2 含煤沉积体系对煤岩生气能力的控制

煤岩热模拟生烃实验表明,煤岩中不同显微组分的生气能力不同。一般而言,壳质组的生烃能力最强,镜质组次之,惰质组最差^[16]。而煤岩显微组分和化学成分与含煤沉积体系以及成煤原始物质的形成环境密切相关。

在陆表海多堡岛与碳酸盐台地复合沉积体系形成过程中,由于离海较近,滞留沼泽环境受到海平面频繁变化影响,水体中硫含量高,植物生长期短,发育程度差,形成的煤层通常富硫分和灰分。宏观煤岩组分中暗煤含量较多,显微组分中镜质组含量较低。三角洲环境,尤其是三角洲平原沼泽环境形成的煤贫硫,灰分含量低等。变质条件下,宏观煤岩组分中亮煤含量较高,显微组分中壳质组和镜质组含量高。沁水盆地晚古生代煤级为高变质无烟煤,同一试气井中煤样品测试结果表明,第 3 号煤层以半光亮型煤为主,暗淡型煤和光亮型煤不

超过 10%。显微煤岩组分中, 镜质组含量比第 15 号煤层高, 化学成分中灰分、全硫和挥发分含量较

表 1 沁水盆地第 3 号和第 15 号煤层特征对比

Tab. 1 Comparison of Coal Layer Features Between No. 3 and No. 15 in the Qinshui Basin

煤层	宏观煤岩类型/%		显微煤岩组分/%		煤岩成分/%			镜质组反射率/%	煤层气质量浓度/(m ³ ·t ⁻¹)
	半光亮型	其他	镜质组	惰质组	灰分	挥发分	全硫		
第 3 号煤层	≥90	≤10	82.3~96.3	3.2~17.7	11.45~17.89	5.58~9.87	0.27~0.46	2.58~3.78	17.1~25.29
第 15 号煤层	83~85	15~17	81.3~83.4	16.6~18.7	14.83~22.60	5.20~9.24	2.487~4.45	2.82~3.81	12.7~23.64

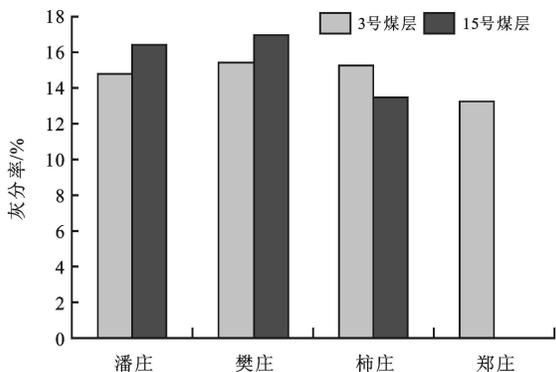


图 7 第 3 号煤层与第 15 号煤层灰对比

Fig. 7 Comparison of the Ash and Content Between No. 3 and No. 15 in the Qinshui Basin

4.3 含煤沉积体系对煤层顶底板发育的控制

煤层气自生自储特点决定了气体分子处于高压状态, 自由度和活动能力强, 几乎无孔不入。一个理想的煤层气藏是煤储层处于封闭体系中^[14, 17-18], 因此与煤层接触的、有一定厚度、横向展布稳定的非渗透性地层是煤层气富集成藏不可或缺的控气条件。沁水盆地煤储层的盖层类型分直接盖层与上覆地层有效厚度^[19]。

4.3.1 直接盖层

直接盖层是指煤层顶底板, 其岩性和厚度对煤层气的封闭和隔水有重要作用。沁水盆地太原组第 15 号煤层底板为闭流沼泽相含铁质结核粉砂质泥岩、泥岩, 厚度均超过 10 m。这类盖层压实强烈, 固结程度高, 密度 2.6~2.7 g/cm³, 突破压力大, 封闭能力强。直接顶板为台地相生物碎屑灰岩, 厚度 2~10 m, 分布广泛。灰岩中裂隙和溶洞的发育状况直接关系到岩石封盖能力, 当裂隙和溶洞不发育时, 岩石的突破压力高, 隔水性能好, 有利于煤层气保存。如沁水盆地南部樊庄—郑庄一带灰岩裂隙少, 岩石突破压力 2~15 MPa, 对煤层气保存较有利^[14, 19]。反之, 当灰岩中裂隙和溶洞发育时, 封盖条件恶化, 封盖能力变差。山西组第 3 号

煤层直接顶底板均为泥岩或碳质泥岩, 厚度 16~70 m。盖层沉积条件较好, 岩石被强烈压实, 致密坚硬, 突破压力 3~10 MPa, 封盖能力强。

煤层气含气饱和度是衡量盖层对煤层气封存能力的重要参数。在同一试气井中, 以厚层泥岩为顶底板的第 3 号煤层含气饱和度要高于以灰岩为顶板的第 15 号煤层(表 2)。加之第 3 号煤层厚度和延伸较稳定, 煤层气地质资源量达 33 094.6×10⁸ m³, 约为第 15 号煤层的 1.3~1.5 倍^[20]。

表 2 沁水盆地第 3 号和第 15 号煤层埋深与含气饱和度对比

Tab. 2 Comparison of Gas Saturation and Coal Layer Buried Depth Between No. 3 and No. 15 in the Qinshui Basin

试采井号	第 3 号煤层		第 15 号煤层	
	埋深/m	含气饱和度/%	埋深/m	含气饱和度/%
晋试 1	521.6	100	606.6	94
晋试 2	514.2	100	610.8	84
晋试 3	509.2	76	601.0	49
晋试 4	521.6	100	613.8	93

4.3.2 上覆地层岩性和有效厚度

从早二叠世晚期到早三叠世, 沁水盆地连续沉积厚达 746~1 268 m 的河湖相碎屑岩, 其存在不仅引起晚古生代煤层发生区域深成变质作用, 提高煤岩生气能力, 同时上覆地层巨大的负载应力也促进了煤储层内生节理系统的发育, 有利于煤层气的保存和运移富集。

5 结语

(1) 沁水盆地晚石炭世太原期为陆表海多堡岛与碳酸盐台地复合沉积体系, 聚煤作用主要出现于潮汐三角洲泥炭坪环境, 煤层发育受海平面频繁升降影响强烈, 可采煤层形成于海平面下降期的长期均衡补偿阶段。

(2) 早二叠世山西期为河控三角洲沉积体系, 三角洲平原沼泽是主要的成煤环境。分流河道煤

层厚度和稳定性差。障壁沙坝及其外侧形成的煤层厚度较稳定。

(3)与太原组第 15 号煤层对比,山西组第 3 号煤层埋藏浅,煤岩生气能力强,煤层气质量浓度和含气饱和度高,煤层顶底板封盖能力强,煤层气保存地质条件优越,地质资源量约为第 15 号煤层的 1.3~1.5 倍,是沁水盆地煤层气试采和商业化开发的首选目标层。

文中得到张泓研究员的指导和帮助,特此致谢!

参考文献:

[1] 李思田. 沉积盆地的动力学分析[J]. 地学前缘, 1995, 2(3): 1-8.

[2] 李思田, 卢宗盛, 朱伟林, 等. 含能源盆地沉积体系——中国内陆和近海主要沉积体系类型的典型分析[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996.

[3] 何登发, 李德生. 沉积盆地动力学研究的新进展[J]. 地学前缘, 1995, 2(3): 53-58.

[4] Blundell D J. Some Observation on Basin Evolution and Dynamics[J]. Journal of the Geological Society, 1991, 148: 189-800.

[5] 秦 勇, 傅雪海, 傅国友, 等. 煤层气地质条件的沉积控制因素[C] //宋 岩. 煤层气成藏机制及经济开发理论基础. 北京: 科学出版社, 2005.

[6] Bustion R M, Clarkson C R. Geological Controls on Coalbed Methane Reservoir Capacity Gas Content[J]. International Journal of Coal Geology, 1998, 38(1): 3-6.

[7] Pashin J C, Groshong Jr R H. Structural Control of Coalbed Methane Production in Alabama[J]. International Journal of Coal Geology, 1998, 38 (1): 89-113.

[8] 山西省地质矿产局. 山西省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989.

[9] 朱 峰. 山西沁水煤田煤层气分布特征与开发前景[C] //中国煤炭学会煤田地质专业委员会与中国地质学会矿井地质专业委员会. 世纪之交煤矿地质学术论文集. 西安: 西安地图出版社, 1999.

[10] 杨 起, 汤达祯. 华北煤变质作用对煤含气量和渗透率的影响[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(3): 273-277.

[11] 李增学, 余继峰, 王明镇, 等. 沁水盆地煤地质与煤层气聚集单元特征研究[J]. 山东科技大学学报, 2005, 24(1): 8-20.

[12] 邵龙义, 肖正辉, 何志平. 晋东南沁水盆地石炭二叠纪含煤岩系古地理与聚煤作用研究[J]. 古地理学报, 2006, 8(1): 43-52.

[13] 尚冠雄. 华北地台晚古生代煤地质学研究[M]. 太原: 山西科学技术出版社, 1997.

[14] 宋 岩, 刘少波, 洪 峰. 煤层气成藏地质条件及气藏类型[C] //宋 岩. 煤层气成藏机制及经济开发理论基础. 北京: 科学出版社, 2005.

[15] 薛 会, 张金川, 刘丽芳, 等. 天然气机理类型及其分布[J]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(2): 53-57.

[16] 傅家谟, 刘德汉, 盛国英. 煤成烃地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1990.

[17] 崔思华, 李五忠, 鲜保安. 沁水盆地煤层气成藏条件分析——以沁水煤层气田为例[C] //李文阳. 中国煤层气勘探与开发. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.

[18] 陈振东, 周秀艳, 陈兴斌. 阜新煤田王营子气藏盖层封闭条件分析[C] //中国煤炭学会煤田地质专业委员会与中国地质学会矿井地质专业委员会. 世纪之交煤矿地质学术论文集. 西安: 西安地图出版社, 1999.

[19] 张建博, 王红岩, 刘洪林. 煤层气富集成藏条件——以沁水煤层气田为例[C] //李文阳. 中国煤层气地质评价与勘探技术新进展. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2001.

[20] 张新民, 庄 军, 张遂安. 中国煤层气地质与资源评价[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

《地球科学与环境学报》又被多家国际文摘检索机构收录

继上世纪 90 年代初《地球科学与环境学报》被美国《化学文摘》、美国《地质学题录与索引》、俄罗斯《文摘杂志》收录后, 2006 年以来, 本刊先后又被美国《石油文摘》、美国《乌利希国际期刊指南》、美国《剑桥科学文摘: 自然科学》收录, 这表明《地球科学与环境学报》在国际地学界的影响力不断扩大, 也是广大作者、审稿专家与本刊编辑部共同努力的结果。

《地球科学与环境学报》编辑部