

文章编号: 1000-0550(2009) 04-0622-10

祁连山东段宝积山—红会煤盆地沉积环境与聚煤规律¹

张 泓¹ 何宗莲¹ 晋香兰¹ 张 慧¹ 李贵红¹ 杨志远¹
贾建称¹ 曹从军² 甘知节²

(1 煤炭科学研究总院西安研究院 西安 710054 2 甘肃煤田地质局 133 勘探队 甘肃白银 730913)

摘 要 位于祁连山东段的宝积山—红会盆地是一个典型的侏罗纪沉积盆地, 侏罗纪煤系由冲积扇沉积体系, 经过河流、湖泊三角洲沉积体系向湖泊沉积体系过渡的沉积序列组成, 并充填于印支运动后的裂隙盆地内。盆地活动断裂边界的内侧发育冲积扇裙, 向着不活动边缘的另一侧, 逐渐被河流沉积体系和湿地沼泽系统替代。扇前湿地是主要聚煤场所, 形成的煤层层数少, 主煤层厚度变化大, 煤体呈简单指状。扇前湿地泥炭沼泽具有富滋养或低位性质, 形成的煤层灰分产率高, 硫含量有明显的分带性, 其变化取决于泥炭沼泽与冲积扇体的相应空间位置。

关键词 沉积体系 成煤环境 聚煤规律 侏罗纪 盆地 祁连山

第一作者简介 张泓 男 1941 年出生 研究员 博士生导师 煤田地质学、古植物 E-mail zh1008@ puh.xaonline.com

中图分类号 P512.2 P618.11 文献标识码 A

宝积山—红会盆地位于甘肃省兰州市东北 180 km 处(图 1), 属白银市平川区管辖, 地理坐标是东经 104°00' ~ 105°05', 北纬 36°38' ~ 36°50', 是祁连山与河西走廊地区众多小型煤盆地中具有代表性的一个侏罗纪聚煤盆地^[1]; 但对成煤环境的系统研究不

够。有关该盆地的原型及其归属, 争议颇多。部分石油地质工作者将该盆地的侏罗纪含煤沉积视为鄂尔多斯盆地的一部分^[2], 另一些学者在讨论西北地区侏罗纪古地理问题时, 试图通过水系(河流)将祁连山东段小型盆地群与大型盆地联系起来, 提出包括宝

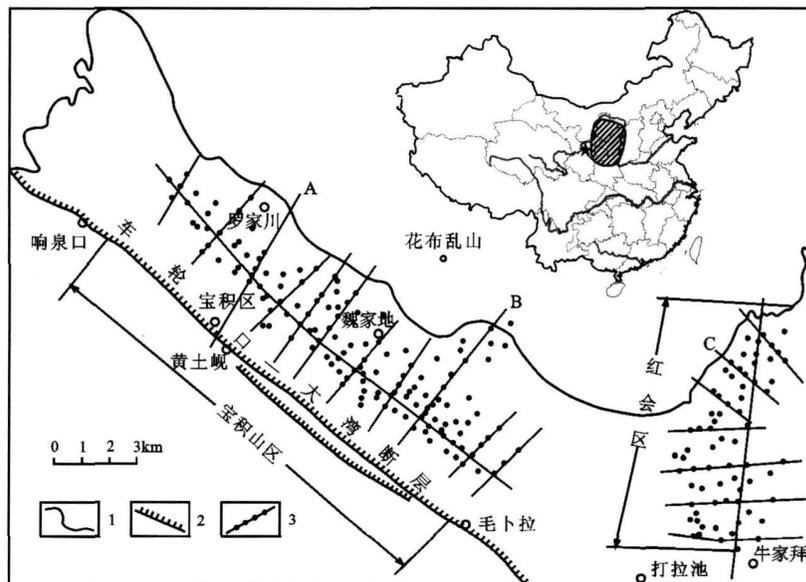


图 1 宝积山—红会盆地的位置(五星处)及其沉积断面网络

1 侏罗纪盆地沉积边界; 2 断裂; 3 沉积断面与钻孔

Fig 1 Showing the location and sedimentary section network of the

Baojishan-Honghui Coal Basin

¹ 国家重大基础研究规划(973计划)项目(编号: 2003CB214602; 2006CB202202; 2002CB211703; 2006CB203208)。收稿日期: 2008-07-04 收修改稿日期: 2008-11-12

积山—红会盆地在内的“走廊河”注入“庆阳湖”(鄂尔多斯盆地)的概念^[3]。本文主要讨论该盆地侏罗纪煤系的沉积特征和成煤环境,揭示沉积环境对聚煤作用的控制,为成煤系统^[4-6]分析,解决盆地的原型和归属等问题提供基础素材和依据。

1 盆地地质概要

宝积山—红会煤盆地处于黄家洼山南坡,西起卡拉玛山,东到岷蜈山,为 NW—SE 向延伸的狭长盆地;在构造上,由宝积山复向斜(宝积山区)和红会复向斜(红会区)组成,其西段略窄狭,东段较宽阔(图 1)。盆地北部山区出露元古宙海原群、奥陶系阴沟群和下志留统马营沟组,它们均为程度不一的变质岩系。这些变质岩与盆地北缘之间还有泥盆纪磨拉石

沉积、石炭纪海相夹过渡相沉积和二叠纪、三叠纪陆相沉积。盆地的西南侧被车轮口—大湾断裂限定,它作 N50°W 延伸的区域断裂,也是褶皱山系与其西南侧新生代槽地的分界断裂(图 1)。

按岩石组合和沉积特征,宝积山—红会煤盆地的侏罗系自下而上被分为刀楞山组、龙凤山组、王家山组和苦水峡组等 4 个岩石地层单位(图 2)。

刀楞山组仅见于大水头以西的刀楞山南坡,并角度不整合于上三叠统南营儿群之上,总体由砾岩、砂砾岩和各种粒度的砂岩组成,下部以砾岩和砂砾岩为主,上部砂岩居多,出现含植物化石的粉砂岩层,局部夹炭质泥岩、煤线和劣质薄煤层,厚度 40~ 500 m。

龙凤山组是宝积山—红会盆地的主要含煤层位,分布范围广泛;一般地说,盆地内凡是有龙凤山组分

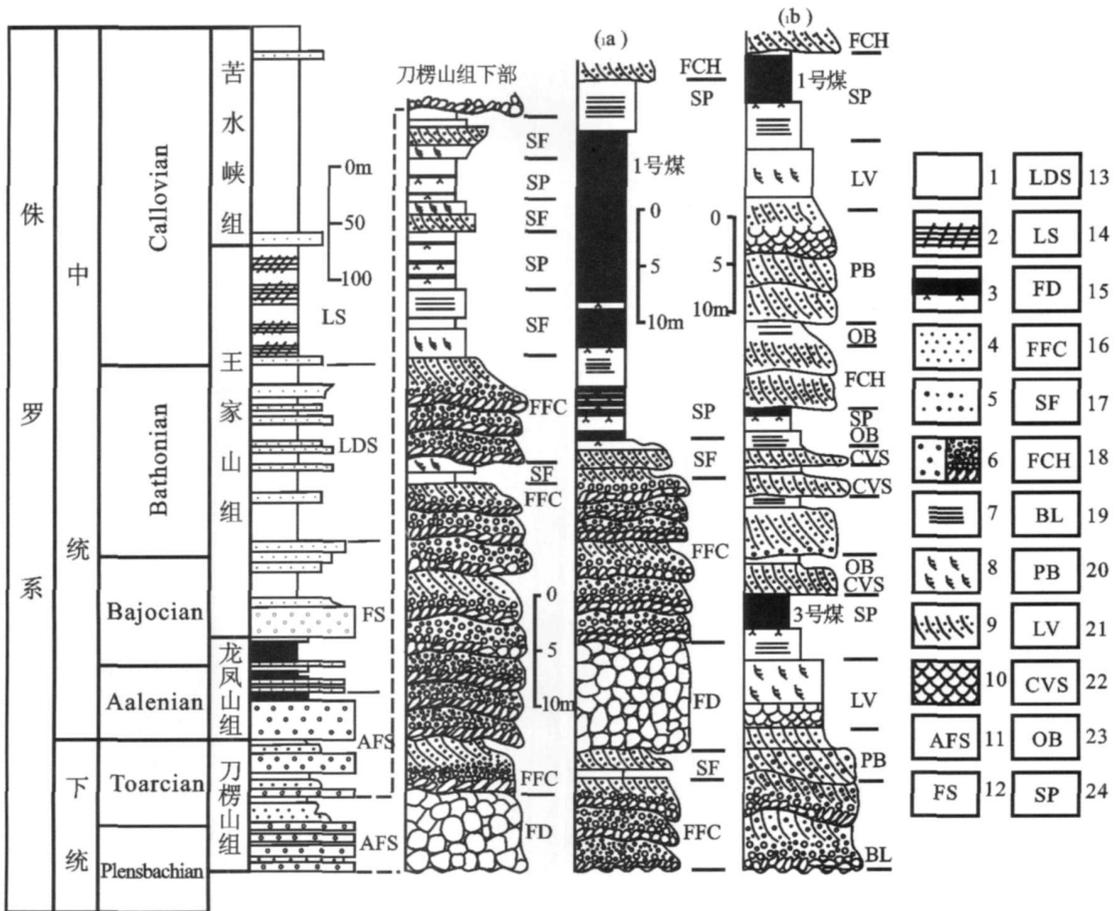


图 2 宝积山—红会煤盆地侏罗系充填序列与层序结构

(a) 140 孔, 龙凤山组; (b) 新 42 孔, 龙凤山组

- 1. 泥岩和粉砂岩; 2 油页岩; 3 煤层; 4 砂岩; 5. 砂砾岩; 6 砾岩; 7 水平层理; 8. 沙纹层理; 9. 大型板状交错层理; 10 大型槽状交错层理; 11 AFS—冲积扇沉积体系; 12 FS—河流沉积体系; 13 LDS—湖泊三角洲沉积体系; 14. LS—湖泊沉积体系; 15. FD—碎屑流; 16. FFC—扇面河道; 17. SF—漫流; 18. FCH—河道; 19 BL—滞留河床; 20. PB—边滩; 21. LV—天然堤; 22. CVS—决口扇; 23 OB—越岸沉积; 24. SP—沼泽

Fig. 2. Showing the Jurassic stratigraphic units and filling sequence of the Baojishan-Honghui Coal Basin

布的地方, 都有厚度不等的煤层发育。该组在刀楞山地区超覆不整合于刀楞山组之上; 在宝积山向斜和红会向斜的西南部, 与上三叠统南营儿群为角度不整合接触; 但在红会向斜的东部和北部, 它直接不整合于下古生界变质岩和片麻状花岗岩之上。龙凤山组主要由灰白色砾岩、各种粒度的砂岩、灰色或灰黑色粉砂岩以及砂质泥岩和煤层组成, 其主要特征是粗碎屑岩的比例较大, 含有厚煤层; 厚度变化在 10~ 180 m 之间, 平均 40~ 60 m。

王家山组连续沉积于龙凤山组之上, 但在盆地边缘可超覆不整合于上三叠统南营儿群、甚至下古生界变质岩和花岗岩之上。按岩石组合特征, 王家山组被分为下部的草黄色砂岩段和上部的油页岩段; 其中, 前者的厚度比较稳定, 一般为 240 m, 岩性是各种粒度的黄绿色、灰绿色砂岩、砂砾岩、粉砂岩以及杂色和紫红色砂质泥岩, 局部夹煤线和极不稳定劣质煤层。油页岩段主要由灰色、灰绿色粉砂岩、砂质泥岩, 夹灰褐色油页岩薄层, 含叶肢介化石, 厚度 40~ 60 m。

苦水峡组主要为紫红色泥岩、砂质泥岩和粉砂岩, 夹蓝灰色泥岩和灰绿色砂岩条带, 其中含大量石膏薄层, 含丰富的介形类和轮藻化石; 该组的保存厚度为 50~ 200 m, 在宝积山向斜与红会向斜之间, 其厚度在 800 m 以上。

按照近年研究成果^[7-12], 上述 4 个岩石地层单位分别属早侏罗世 Plensbachian 期—中侏罗世 Callovian 期沉积^[7, 13-15], 相应的年代地层对比关系见图 2。

2 盆地充填序列与沉积体系

根据沉积体系及其成因相构成分析, 研究区的侏罗纪煤系主要由冲积扇、河流、湖泊三角洲和湖泊体系的沉积物构成; 在垂向上, 整个侏罗纪沉积代表从冲积扇沉积体系, 经过河流、湖泊三角洲沉积体系向湖泊沉积体系过渡的沉积序列(图 2)。

2.1 冲积扇沉积体系 (AFS)

冲积扇沉积体系充填于盆地拉张裂隙的初期, 沉积地层是刀楞山组和龙凤山组底部(图 2), 主要由碎屑流砾岩(扇根)、扇面河道砾岩和筛积砾岩(扇中)组成, 沉积层序的上部出现了具有漫流性质的细砂岩、粉砂岩和极不稳定薄煤(煤线)为代表的扇前和扇间沼泽沉积(图 2a)。粉砂岩种含丰富的植物和少量双壳类化石(*Ferganoconcha*)。

碎屑流砾岩主要见于刀楞山组底部和车轮口附近的王家山组底部。砾岩的单层厚度大(一般 2~ 6 m), 碎屑物大小悬殊, 砾石为次棱角状和次圆状, 无定向排列, 砾石成分以石英岩和变质砂岩为主, 其次是片岩、砂岩、板岩花岗岩片麻岩; 砾径小者不足 1 cm, 大者 45 cm, 后者如漂砾分散于沉积物中; 如果将小于 2 mm 的碎屑颗粒作为基质对待, 大于 2 mm 的碎屑在 80% 以上, 呈现颗粒一支撑性质; 这类砾岩的直方图和频率曲线表现为单峰, 粒度分布范围广, 后者为不对称的正偏态, 累积频率曲线较缓, 显示分选差(图 3a)。

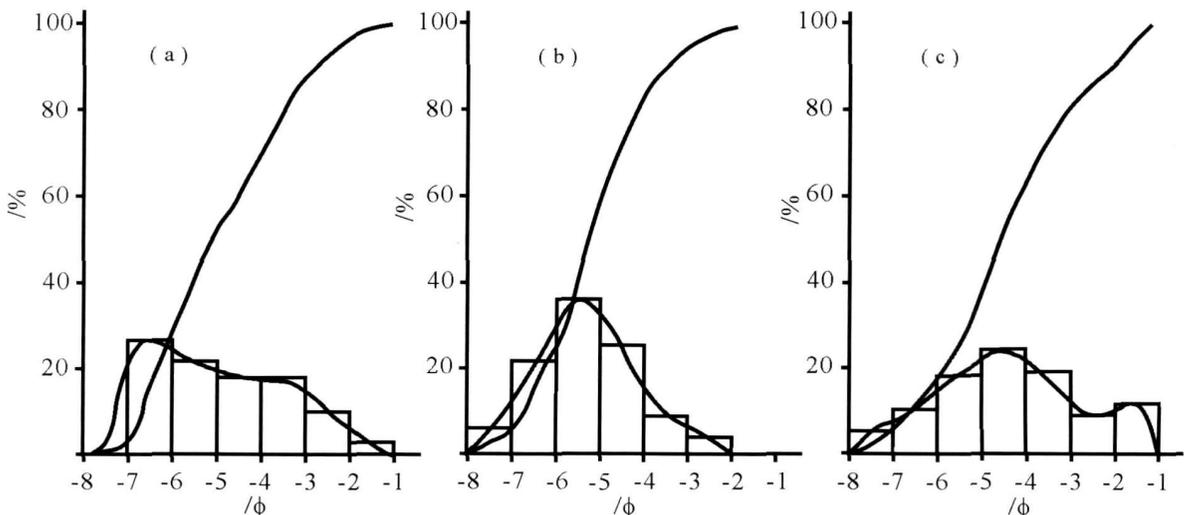


图 3 研究区碎屑流砾岩 (a)、河道砾岩 (b) 和筛积砾岩 (c) 的直方图、频率曲线和累计概率曲线

Fig 3 Showing the histogram, frequency curve and cumulative probability curve of the debris flow (a),

扇面河道砾岩主要见于刀楞山组上部, 红会、小井儿川和刀楞山附近龙凤山组下部, 砾岩单层厚度一般 1~3 m, 砾石具定向排列; 见有正粒序层理, 与下伏岩层呈侵蚀接触, 显示出明显的水道沉积特征。砾石的主要成分为石英岩、石英和燧石, 有少量变质砂岩、片岩和板岩; 砾石大者 11 cm, 小者不足 1 cm, 平均砾径 2.5~3.1 cm, 均为砾石(颗粒)支撑, 填隙物是砂, 卵石级砾石多为次圆状, 较小的砾石为次棱角状。砾石粒度分布较碎屑流砾岩略窄, 频率曲线表现为单峰正态对称曲线, 或者呈正偏态; 累积频率曲线较碎屑流砾岩陡, 显示其分选性好于后者(图 3b)。

筛积砾岩见于刀楞山组中、下部, 砾岩成层状分布, 单层厚 1~2.5 m, 砾石成分为石英岩、石英、燧石和变质砂岩, 圆度较好, 无明显的定向排列, 砾径 1~10 cm, 平均 2.5~3.9 cm。岩石为颗粒支撑, 砾石之间为砂质充填; 碎屑粒度比较分明, 频率曲线成双峰分布特征, 一个主要峰代表厘米级的砾石沉积, 另一个次要峰位于毫米级的沉积物上(图 3c)。筛积物的形成与冲积扇中水流流经先期的高渗透性沉积物时, 向下渗漏^[16, 17]密切相关, 并使岩石在粒度上呈现双峰性质。

2.2 河流沉积体系

河流沉积体系主要充填于盆地拉张裂隙的早期, 对应的沉积地层是龙凤山组和王家山组的底部(图 2); 该可将其分为河道沉积组合和河道旁侧(或岸后泛滥盆地)沉积组合; 其中, 河道沉积组合由滞留河床与边滩沉积物组成, 岩石组合是具有粒序层理和大型交错层理的细砾岩、砂砾岩和中—粗粒砂岩, 可见冲刷充填构造; 在粒度概率曲线上, 滞留河床沉积为三段型, 滚动总体在 50% 以上, 跳跃和悬浮总体含量较低。边滩沉积的粒度概率曲线为典型的两段式, 跳跃总体在 80% 以上, 有时可见少量滚动总体。

河道旁侧沉积组合比较复杂, 主要成因相包括天然堤、决口扇、越岸沉积、沼泽、小型湖等。其中, 天然堤沉积物形成于河道边缘, 主要由粉砂岩和细砂岩组成, 砂岩分选好, 粒度概率曲线为直线型, 悬浮总体是主要组分。决口扇砂体的粒度较天然堤粗, 在剖面上为扁透镜体, 主要由细—粗砂岩组成, 粒度概率曲线为多段型, 各总体斜率较低, 常见沙纹层理和楔状交错层理。越岸沉积是天然堤外侧的泥质和粉砂质沉积物, 具水平层理, 含植物化石; 小型湖沉积以灰色和灰绿色泥岩为主, 含钙质和铁质结核; 沼泽沉积是炭质泥岩、煤层和根土岩。

应该特别说明的是, 由于以侧向加积为主, 河流沉积体系具有典型的向上变细的垂向层序结构, 一般下部是河道沉积, 上部是河道旁侧沉积, 构成了上细、下粗的二元结构。

2.3 湖泊三角洲沉积体系

湖泊三角洲体系主要充填于盆地拉张裂隙的递进期, 沉积地层相当于王家山组中、下部(图 2)。根据相型剖面和部分钻孔岩芯观测, 大体由 6 个水进型湖泊三角洲体系单元组成, 每个体系单元 20~40 m 不等, 底积层是具水平层理的灰绿色、杂色泥岩和粉砂岩, 前积层是具小型斜层理的黄绿色细砂岩, 顶积层主要是大型斜层理发育、分选较好的粗、中粒砂岩。其中, 下部几个单元的顶积层比底积层更发育, 上部几个体系单元出现相反的情况。

2.4 湖泊沉积体系

湖泊沉积体系主要充填于盆地拉张裂隙加速期和淤浅消亡期, 对应的沉积地层分别是王家山组上部和苦水峡组。前者是以具水平纹理的暗色泥岩、砂质泥岩和灰褐色油页岩为代表的较深湖沉积, 含丰富的叶肢介化石, 后者是以紫红色泥岩、砂质泥岩、粉砂岩夹薄层细砂岩的浅湖相沉积, 含轮藻和介形类化石。

3 含煤段的沉积体系配置

3.1 沉积范围

该盆地的主要含煤段为龙凤山组(图 2)。图 4a 是该岩组的厚度等值线图, 它不仅揭示了聚煤盆地的范围, 还指示了盆地在中侏罗世 Aalenian—Bajocian 期含煤沉积的发育情况; 这对于重建盆地的原始面貌(或原型)^[18, 19]极为重要。从总体上看, 此期的沉积范围比整个侏罗纪沉积盆地要小, 除了西南侧被断层限制的边界和东北侧的超覆沉积边界外, 其西部边界在刀楞山和罗家川以西, 东部边界位于煤窝子塘和牛家拜一带。该盆地含煤段平均厚度不大, 其中, 宝积山 50 m, 红会区 35 m, 但横向变化剧烈。在宝积山区, 含煤段的厚度在车轮口—大湾断裂的内侧最为发育(80~180 m), 并平行边界断裂(或盆地轴向)作 NW—SE 向条带状延伸, 同时, 向东北侧逐渐变薄尖灭; 在红会区, 含煤段厚度最大(60~80 m)的地区位于它的西北部和牛家拜附近, 向东逐渐变薄、尖灭。上述事实表明, 含煤段沉积时, 盆地的构造沉降基本上是缓慢的; 但是, 局部地段的厚度差异, 一方面反映了沉降的不均一性, 另一方面暗示了盆地沉积相变可能比较剧烈。

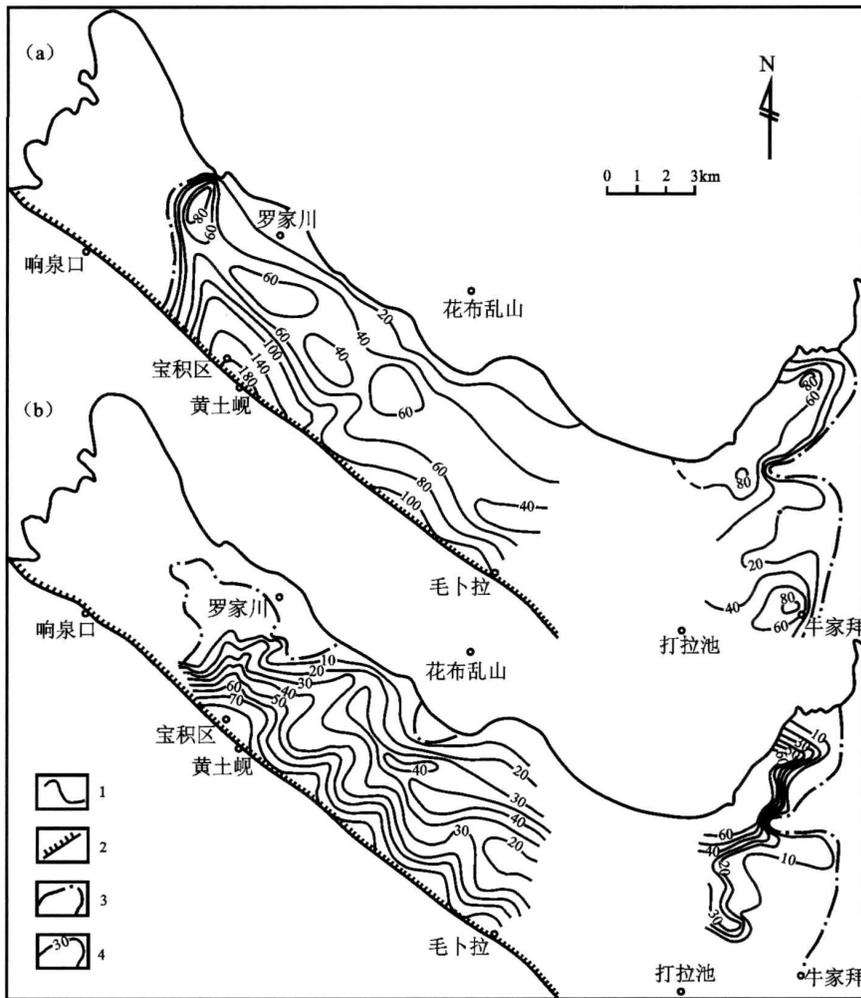


图 4 宝积山—红会盆地含煤段厚度 (a) 及其砂砾岩厚度 (b) 等值线

1. 侏罗纪盆地沉积边界; 2 断裂; 3. 含煤段沉积范围; 4 厚度等值线 (单位: m)

Fig 4 Showing the isopach of the coal-bearing member (a) and its sandstone (b) in the Baojisshan-Honghui Basin

3.2 沉积断面与砂体分析

横切宝积山区的沉积断面 (图 5) 显示, 从盆地西南侧断层限定的边界到东北侧的沉积边界, 含煤段厚度逐渐变薄尖灭、沉积物由粗到细以及砾岩和砂岩明显减少的变化趋势, 并在不同部位出现三类沉积层序。在盆地中央偏西南侧 (如党家水附近的 140 孔), 主煤层之下的含煤段以碎屑流砾岩和扇面河道砾岩组成的冲积扇层序 (图 2a) 为主, 向北到魏家地竖井附近的新 42 孔, 扇砾岩的厚度明显变薄, 出现主要由河道和越岸沉积构成的河流体系的沉积层序 (图 2b); 从越岸沉积不太发育的特征判断, 它具有扇前网状河道的层序性质, 在盆地的东北缘, 含煤段的厚度急剧变薄, 出现全部由湿地和沼泽沉积构成的充

填层序。宝积山区沉积体系构成在横向上的差异, 反映了冲积扇在车轮口—大湾断裂内侧的活动性, 向北冲积扇的活动减弱, 盆地中央被河流沉积体系替代, 北部演变为湿地系统。

红会区的横向沉积断面 (图 6) 与宝积山区类似, 含煤段在西北部厚度较大, 主要由具扇面河道砾岩属性的冲积扇砾岩组成, 向东含煤段厚度变薄, 沉积物粒度变细, 被扇前河道砂和越岸沉积替代, 在东部边缘, 含煤段急剧变薄至尖灭, 主要被湿地和沼泽沉积物充填。

宝积山区和红会区横向沉积断面沉积特征的一致性表明, 由冲积扇沉积体系经过扇前河道沉积体系, 到湿地和沼泽为主的沉积系统, 反映了盆地沉积

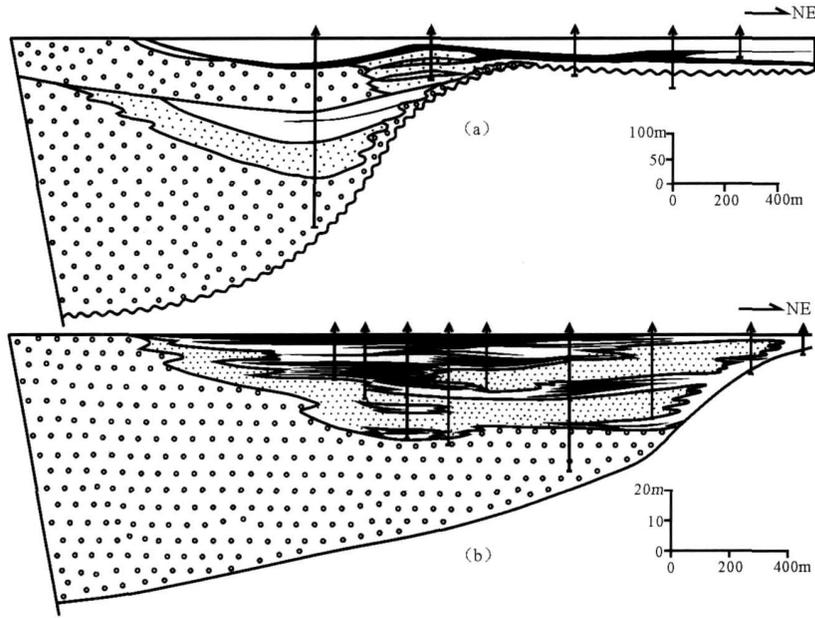


图 5 宝积山区 A 线(a)和 B 线(b)沉积断面(位置见图 1)

Fig. 5 Showing sedimentary section A and B in Baojishan area (Location see Fig. 1)

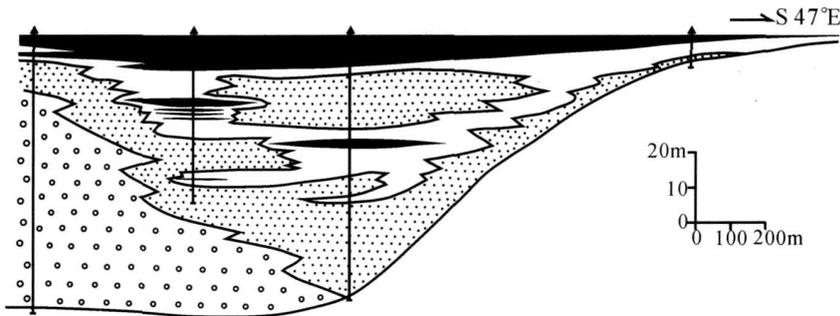


图 6 红会区 C 线沉积断面(位置见图 1)

Fig. 6 Showing sedimentary section C in Honghui area (Location see Fig. 1)

体系配置在平面上的分带性。

以密集钻孔岩芯编录成果编制的含煤段主煤层之下的砂体(包括砾岩)图(图 4b)不仅揭示了冲积扇发育的具体位置和范围,而且,还在宝积山区东部中央位置由 40 m 等厚线圈定了一个长条形河道砂体,在红会区南部,30 m 等厚线圈定了另一个河道砂体。砂体的三维形态与根据沉积标志所获得的沉积体系的空间配置关系相吻合。

3.3 沉积环境重建

根据上述分析,可将宝积山—红会盆地主煤层沉积前的沉积体系配置关系重建如下(图 7)。按照砂体图(图 4b)提供的信息,宝积山区至少存在 5 个冲积扇复合体,它们沿车轮口—大湾断裂分布,平面上构成呈 NW—SE 向展布的冲积扇裙,古流向数据指

示物源区位于该断裂西南侧的古构造高地,砾质沉积向北东作扇状发散。红会区的西北侧,地表露头填图和砂体图都指示那里存在 3 个冲积扇复合体,古水流资料与冲积扇沉积物的分散格局一致。宝积山区与红会区之间的盆地北缘(龙凤山前)没有密集钻孔控制,仅根据地表露头填图和观测成果,圈定了 2 个冲积扇复合体,并与红会区西北部的冲积扇一起构成了另一个冲积扇裙。

在冲积扇裙的前缘,各存在一个与冲积扇充填方向垂直的纵向河系统。从垂向层序和砂体形态判断,除宝积山区东部显示网状河道性质外,主要属曲流河道。这些河道系统主要是冲积扇朝外建设时,扇面河道水流补给形成的;其中,宝积山的纵向河道自西北向东南排泄,红会区的纵向河自北向南排泄。盆地较

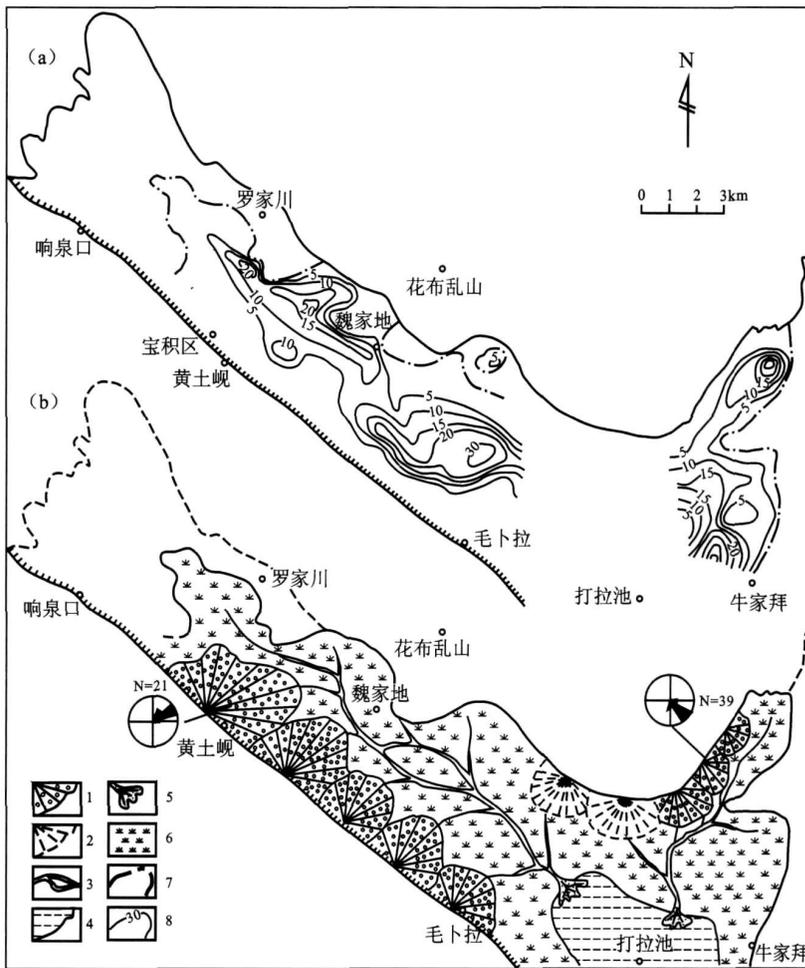


图 7 宝积山—红会盆地主煤层厚度等值线 (a) 与主煤层沉积前沉积体系配置 (b)

1. 冲积扇; 2. 推断的冲积扇; 3. 河道; 4. 推断的小型湖; 5. 湖泊三角洲; 6. 湿地沼泽;
7. 主煤层尖灭线; 8. 主煤层厚度等值线 (其他见图 4)

Fig 7 Showing the isopach of main coal bed (a) and the sedimentary environment before the main coal accumulation in the Baojishan-Honghui Basin

为开阔部分以及河道两侧广泛发育湿地沼泽。此外, 红会区南部带状河道砂体的前端呈封闭态势 (图 4b), 显示了某种小型湖泊三角洲的砂体属性。这一特征暗示, 尽管受控制程度的制约缺乏更多的证据, 打拉池附近可能存在小型浅水湖泊。

4 煤层聚积规律

4.1 沉积环境与煤体形态

宝积山—红会盆地的煤层层数少, 主煤层位于含煤段的顶部, 其下的 2、3 号煤层分布局限; 各煤层的煤体形态相对简单, 但厚度变化大。沉积断面 (图 5、6) 显示, 煤层沿倾向呈简单指状分叉形态, 分叉方向基本上指向盆地边缘的冲积扇。从图 7a 可以看出,

主煤层厚度变化很大。在几千米的范围内, 煤层厚度可从几米急增至 20~50 m; 虽然在宝积山区的西部和东部、红会区的北部和南部, 各存在一个巨厚煤层分布区段 (富煤中心), 但是, 煤层厚度大于 10 m 的厚煤带 (富煤带) 大体位于盆地 (或凹陷) 中央, 并平行它长轴方向延伸。富煤带和富煤中心 (图 7a) 与含煤段沉积厚度 (图 4a) 的叠合分析证明, 前者既不与盆地沉降幅度最大的部位重合, 也不与沉降幅度最小的地区一致, 而是位于两者之间。根据主要富煤中心在宝积山区位于东部、红会区位于南部的情况 (图 7a) 判断, 未来有可能在上述两区之间 (白土梁至打拉池一带) 找到厚煤层区段。

宝积山—红会盆地主煤层形成前的沉积充填格

局及其对聚煤作用的影响主要取决于如下几个因素。首先, 含煤段沉积始于印支运动后形成的夷平面^[2,7], 盆地拉张裂隙早期, 凹陷较强烈部位被小型砾质扇快速充填, 盆地基本填平, 古地貌反差降低。其次, 小型砾质扇的分散水流在扇前因坡度的减小流速降低, 形成低洼湿地, 并以湿地为背景汇集成河道。河道排泄了湿地多余的积水, 使扇前不具备形成湖泊的条件。当冲积扇前进时, 对河道截流, 后退时, 使河道迁移或周期性废弃。因而, 扇前能够保持比较宽阔的湿地背景。再者, 盆地基底沉降比较缓慢, 使扇前湿地的垂向加积速率降低, 为湿地大面积沼泽化、泥炭堆积和形成简单指状形态的煤层提供了必要条件。

4.2 成煤环境与煤质

成煤环境对煤质的影响^[20-27], 主要表现在对原

生煤质参数(如煤中灰分和硫分)的制约方面。宝积山—红会盆地主煤层的灰分含量较高, 一般大于 10%, 甚至出现大于 30% 的区段, 但总体上仍呈现一定的分区性或分带性。宝积山区西南侧的灰分含量一般大于 20%, 其他地段灰分含量变化大(5%~40%)不同灰分含量区在平面上呈补丁状。红会区北部主煤层的灰分含量明显高于南部(图 8a)。

该盆地主煤层的硫含量一般小于 1%, 但也呈现非常显著的分区和分带性; 硫含量在宝积山区的西南侧小于 0.25%, 而在西北侧硫含量较高, 甚至出现大于 2% 的区段; 在红会区的西部, 主煤层的硫含量较低, 一般小于 0.25%, 向东逐渐增高, 甚至出现大于 4% 的富硫单元(图 8b)。

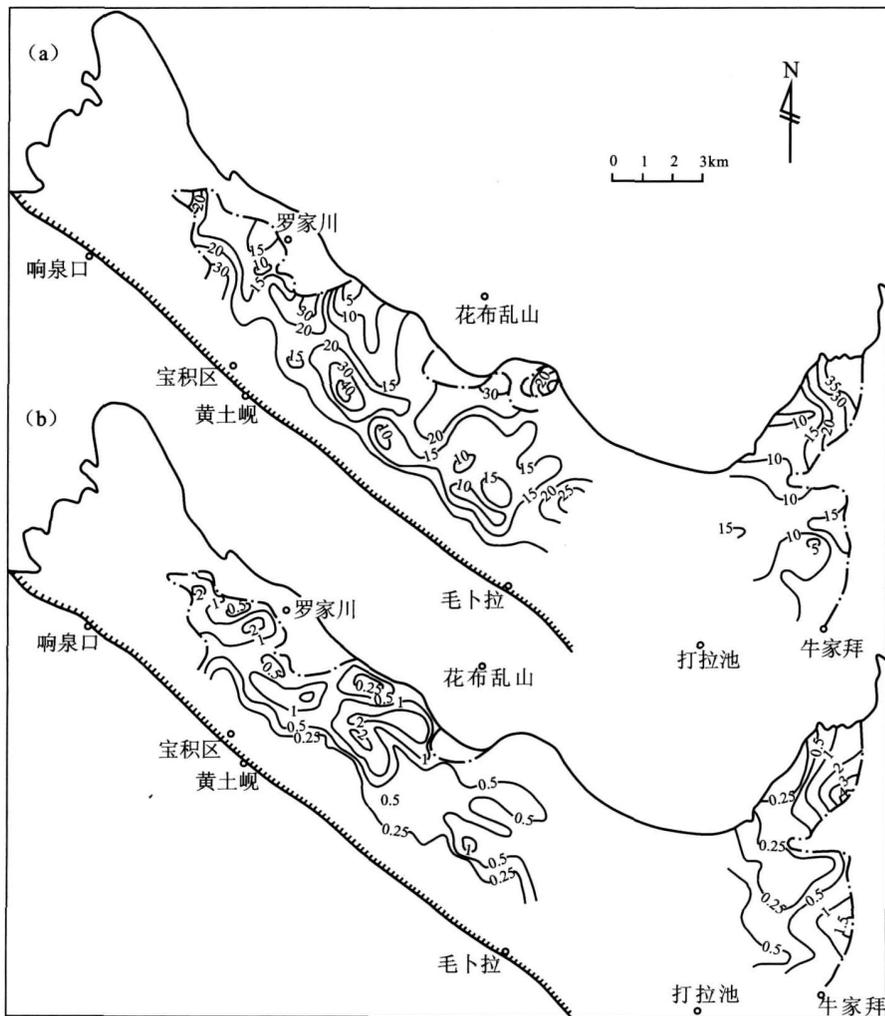


图 8 宝积山—红会盆地主煤层灰分 (a) 和硫 (b) 含量等值线图

Fig. 8 Showing the isograms of ash (a) and sulfur (b) content with in the main coal bed of the Baojishan-Honghui Basin

宝积山—红会盆地主煤层灰分和硫含量变化特征(图8)与沉积体系配置关系(图7b)的对比分析表明,它们与扇前湿地聚煤作用有关。在扇前湿地沉积背景之下,泥炭沼泽的水源(包括地表水和地下水)补给主要来自冲积扇,并受周期性洪水的影响;这种补给方式一方面形成了低位或富营养泥炭沼泽^[22-24],另一方面,地表水和地下水携带的可溶无机盐和不溶矿物质提高了泥炭沼泽的无机物含量,最终导致煤中灰分含量升高,形成中—高灰分煤。同样,冲积扇的发育控制了沼泽水体以及原始泥炭的地球化学性质,进而影响了煤中硫含量的分带性。

煤中硫的含量与原始泥炭田的pH值及其影响下的硫细菌的活动有关。一般地说,低位泥炭处于弱酸性环境(pH值:4.8~6.5),高位泥炭则有强酸性属性(pH值:3.3~4.6)^[20]。泥炭田中的硫细菌的独特作用是将硫酸盐还原成硫化物,最终形成黄铁矿或白铁矿。就研究区的情况而言,靠近冲积扇扇缘的泥炭沼泽,因受周期性洪水的影响,水体一般呈弱还原状态,形成含量小于0.2%的低硫煤,远离冲积扇缘的沼泽,受周期性洪水影响的机率较低,呆滞的泥炭沼泽水体处于较强的还原状态^[24],容易形成含量大于1%的高硫煤甚至出现含量大于2%或4%的特高硫煤区段。

5 结论

宝积山—红会盆地是祁连山与河西走廊地区众多小型煤盆地中具有代表性的一个侏罗纪聚煤盆地。通过对沉积环境和聚煤特征的详细解剖,可得出如下认识:

(1) 侏罗纪煤系主要由冲积扇、河流、湖泊三角洲和湖泊体系的沉积物构成;在垂向上,整个侏罗纪地层(自下而上为刀楞山组、龙凤山组、王家山组和苦水峡组)代表从冲积扇沉积体系,经过河流、湖泊三角洲沉积体系向湖泊沉积体系过渡的沉积序列。

(2) 宝积山—红会盆地是一个独立的侏罗纪沉积盆地,含煤沉积充填于印支运动后裂陷盆地;盆地活动断裂边界的内侧发育冲积扇裙,向着不活动边缘的另一侧,逐渐被河流沉积体系和湿地沼泽系统替代;扇前湿地是主要聚煤场所。

(3) 宝积山—红会盆地扇前湿地聚煤作用的主要特征是,形成的煤层层数少,主煤层厚度较大、煤层厚度的区域变化大,煤层夹矸多、结构复杂;煤体呈简单指状格局。

(4) 扇前湿地泥炭沼泽具有低位性质,泥炭沼泽水的补给主要来自地表水和地下水,形成的煤层灰分产率高,硫含量有明显的分带性,其基本变化取决于泥炭沼泽与冲积扇体的相对空间位置。

(5) 宝积山区东部和红会区以南的白土梁—打拉池一带,有近60 km²的勘探空白区;从沉积环境、古地理和聚煤特征(图7)判断,那里有找到优质厚煤层的沉积建造条件;但从构造条件分析,煤层的埋藏深度可能在800~1500 m之间。

致谢 本文的部分原始素材来自煤田勘探成果;第一和第二作者早年从事宝积山和红会矿区煤田地地质勘查时,康立权、何宝珍、王定国、赵锡章、安常英、谭继忠、黄敏杰、白银道宝、龚广哲、卜宪华、幸福林、周定波、李景升、董维国等先生曾给予诸多关照和帮助,并商榷与讨论与本文有关的各种地质问题;一并致以衷心感谢。

参考文献 (References)

- 1 杨起,韩德馨(主编). 中国煤田地质学(下册)[M]. 北京:煤炭工业出版社,1980[Yang Qi Han Dexin. Coal Geology of China(Volume 2) [M]. Beijing Coal Industry Publishing House, 1980]
- 2 翟光明,宋建国,靳久强,等. 板块构造演化与含油气盆地形成和评价[M]. 北京:石油工业出版社,2002[Zhai Guangming Song Jianguo Jin Jiuqiang et al. Plate Tectonic Evolution and Its Relationship to Petroliferous Basins[M]. Beijing Petroleum Industry Press, 2002]
- 3 吴舜卿. 大河东去:自古如此吗?—谈距今两亿年前后的祖国大地[J]. 化石,1978(1):18-20[Wu Shunqing. Our motherland about two hundred million years ago[J]. Fossil(China), 1978(1):18-20]
- 4 Wawick P D, Milić R C. Coal system analysis: a new approach to the understanding of coal formation, coal quality and environmental consideration, and coal as a source rock for hydrocarbons[J/OJ]. The GSA Annual Meeting November 5-8 2001, http://GSA.confex.com/gsa/2001AM/finalprogram/session_598.htm
- 5 Milić R C, Wawick P D, Cecil et al. Coal System— an integrated approach to the study of coal geology[J/OJ]. http://gsa.confex.com/gsa/2001AM/finalprogram/abstract_22950.htm
- 6 Milić R C. Appalachian coal assessment: defining the coal system of the Appalachian Basin[A]// Wawick P D, ed. Coal systems analysis [C]. Geological Society of America Special Paper 387, 2005: 9-30.
- 7 张泓,李恒堂,熊存卫,等. 中国西北侏罗纪含煤地层与聚煤规律[M]. 北京:地质出版社,1998[Zhang Hong Li Hengtang Xiong Cunwei et al. Jurassic Coal-bearing Strata and Coal Accumulation in Northwest China[M]. Beijing Geological Publishing House, 1998]
- 8 徐福祥. 甘肃靖远早侏罗世植物化石[J]. 古生物学报,1986,25(4):417-425[Xu Fuxiang. Early Jurassic plants of Jinyuan, Gansu [J]. Acta Palaeontologica Sinica, 25(4): 417-425].
- 9 刘子进. 甘肃东部早侏罗世地层及植物群的初步研究[J]. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊,1982,5:87-100[Liu Zijin.

- Preliminary study on the Early Jurassic strata and flora of Eastern Gansu Bulletin of the Xi'an Institute of Geology and Mineral Resource [J]. Chinese Academy of Geological Science 1982 5: 87-100
- 10 杜宝安. 甘肃靖远王家山中侏罗世孢粉及其地层[J]. 地质论评, 1985, 31(2): 131-141 [Du Bao'an Middle Jurassic palynoflora and strata in the Wangjiashan Basin, Jingyuan, Gansu [J]. Geological Review, 1985 31(2): 131-141]
- 11 厉宝贤, 徐福祥, 马其鸿, 等. 甘肃靖远王家山盆地中侏罗世地层[J]. 地层学杂志, 1982 6(1): 33-40 [Li Baoxian, Xu Fuxiang, Ma Qihong *et al.* Middle Jurassic deposits of the Wangjiashan Basin, Jingyuan, Gansu [J]. Journal of Stratigraphy, 1982, 6(1) 33-40]
- 12 邓胜徽, 姚益民, 叶得泉, 等. 中国北方侏罗系(1): 地层总述[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003 [Deng Shenghui, Yao Yimin, Ye Dequan *et al.* Jurassic system in the North of China Volume I Stratum Introduction [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003]
- 13 Cowie JW, Bassett M G. IUGS 1989 global stratigraphic chart [J]. Episodes 1989 12(1): 6
- 14 Gradstein F M, Ogg J A. Phanerozoic time scale [J]. Episodes 1996, 19(1/2): 3-5
- 15 Cresta S, Goy A, Ureta S, *et al.* The global boundary stratigraphic section and point (GSSP) of the Toarcian-Aalenian boundary (Lower-Middle Jurassic) [J]. Episodes 2001 24(3): 166-175
- 16 Fraser G S, Suttner L. Alluvial fans and fan deltas: a guide to exploration for oil and gas [M]. Boston/Houston/London: International Human Resources Development Corporation, 1986
- 17 李思田主编. 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 [Li Sitian, ed. Depositional Systems in Energy-resources-bearing Basins: Case Studies of the Continental and Paralic Depositional System in China [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996]
- 18 段宏亮, 钟建华, 马锋, 等. 柴达木盆地西部中生界原型盆地恢复[J]. 沉积学报, 2007, 1: 65-74 [Duan Hongliang, Zhong Jianhua, Ma Feng *et al.* Reconstruction of the Mesozoic proto-type basin in the West Qaidam Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica 2007 1: 65-74]
- 19 张泓, 晋香兰, 李贵红, 等. 鄂尔多斯盆地侏罗纪—白垩纪原始面貌与古地理演化[J]. 古地理学报, 2008 10(1): 1-11 [Zhang Hong, Jin Xianglan, Li Guihong, *et al.* Original features and palaeogeographic evolution during the Jurassic-Cretaceous in Ordos Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2008 10(1): 1-11]
- 20 Wawick P D. Coal system analyses: a new approach to the understanding of coal formation, coal quality and environmental consideration, and coal as a source rock for hydrocarbons [C]// Wawick P D. ed. Coal systems analysis. Geological Society of America Special Paper 387, 2005 1-8
- 21 Stach E, Mackrowsky M-TH, Teichmüller M, *et al.* Stach's textbook of coal petrology [M]. Berlin/Stuttgart: Gebrüder Borntraeger, 1982
- 22 Teichmüller M. The genesis of coal from the view point of coal petrology [J]. International Journal of Coal Geology, 1989 12: 1-88
- 23 Thomas L. Coal Geology [M]. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore: Wiley & Sons, 2002
- 24 Cecil C B, Stanton R W, Neuzil S G, *et al.* Palaeoclimate controls on Late Palaeozoic sedimentation and peat formation in the Central Appalachian Basin (USA) [J]. International Journal of Coal Geology, 1985 5: 195-230
- 25 Turner B R, Richardson D. Geological controls on the sulphur content of coal seams in the Northumberland Coalfield, Northeast England [J]. International Journal of Coal Geology, 2004, 60(2-4): 169-196
- 26 Wüst R, Bustin R M, Ross J. Neomineral formation during artificial coalification of low-ash mineral-free peat material from tropical Malaysia: potential explanation for low ash coals [J]. International Journal of Coal Geology, 2008 74(2): 114-122
- 27 Životić D, Wehner H, Cvetković O, *et al.* Petrological, organic geochemical and geochemical characteristics of coal from the Sokolac, Serbia [J]. International Journal of Coal Geology, 2008 73(3/4): 285-306

Sedimentary Environments and Coal Accumulation of the Baojishan-Honghui Basin, Eastern Qilian Mountains

ZHANG Hong¹ HE Zong-lian¹ JIN Xiang-lan¹ ZHANG Hu¹ LI Gu-jing¹

YANG Zhì-yuan¹ JIA Jian-cheng¹ CAO Cong-jun² GAN Zhì-jie²

(1. Institute of Geology, Xian Branch, China Coal Research Institute (CCRI), Xian 710054

2. 133 Exploration Team, Gansu Bureau of Coal Geology, Baiyin, Gansu 730913)

Abstract Baojishan-Honghui Basin is a typical small-scale Jurassic coal-forming basin located in the east part of the Qilianshan Mountains. The sequence of the Lower to Middle Jurassic strata is deposited in the sedimentary cycle from the alluvial fan and/or fluvial to lake delta and lacustrine depositional systems, and fill in the half graben type basin formed by extension of post-Indosinian Movement. The complex of the alluvial fan-bodies are developed in the vicinity of active fault, from where to another side of non-active sedimentary boundary, there are gradually replaced by fluvial and wetland swamp system. Peat accumulated directly on the wetland in front of alluvial fans, in where the main coal seams with the features of large thickness and simple finger-like shape are formed. There are eutrophic or low moor peats in the front swamp of alluvial fans, so that the coal beds with high ash content and sulfur content zonation are formed, as the case may be the space relationship between peat swamps and alluvial fan bodies.

Key words depositional system, coal-forming environment, coal accumulation, Jurassic Basin, Qilian Mountains