

兴县地区山西组三角洲沉积及聚煤作用

吴浩^{1,2} 郭英海^{1,2}

(1. 中国矿业大学 资源与地球科学学院, 江苏 徐州 221116; 2. 煤层气资源与成藏过程教育部重点实验室, 江苏 徐州 221116)

摘要: 立足于野外露头、钻井资料研究, 结合室内薄片分析、微量元素测试等, 运用沉积学、沉积地球化学等理论和方法, 在鄂尔多斯兴县地区下二叠统山西组中, 识别出了三角洲平原和三角洲前缘 2 种亚相及分流河道、泥炭沼泽、天然堤、决口扇、水下分流河道、分流间湾和河口砂坝 7 种微相, 并发现研究区山一段主要发育三角洲平原亚相, 山二段主要发育三角洲前缘亚相, 且整体上山西组沉积区内具有三角洲逐渐向南推进的沉积特征。研究区的聚煤作用研究表明, 山西组煤层均形成于短期基准面上升的晚期, 8[#]、7[#]、6[#] 煤的聚煤作用主要发生在三角洲前缘分流间湾充填淤积的泥炭沼泽环境, 5[#] 煤形成于三角洲平原泥炭沼泽环境; 山二沉积段中富煤地带多与砂岩富集带相吻合, 山一沉积段中煤层的厚度则与砂砾岩含量呈现负相关性。

关键词: 兴县地区; 下二叠统; 山西组; 沉积相; 三角洲沉积; 聚煤作用

中图分类号: P618.11; P512.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2013)03-0355-11

Sedimentary and coal-accumulating processes of the delta of the Lower Permian Shanxi Formation in Xingxian area

WU Hao^{1,2} and GUO Ying-hai^{1,2}

(1. School of Resources & Earth Science, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;

2. MOE Key Laboratory of Coalbed Methane Resource & Reservoir Formation Process, Xuzhou 221116, China)

Abstract: On the basis of the field outcrop survey and drilling data, in combination with laboratory thin section observation and trace element analysis, the authors employed such means as sedimentology and sedimentary geochemistry to conduct investigation. The results show that, in the Lower Permian Shanxi Formation of Xingxian area within Ordos basin, there exist 2 subfacies comprising deltaic plain and deltaic front and 7 microfacies composed of distributary channel, peat swamp, natural levee, splay, underwater distributary channel, interdistributary bay and channel mouth bar. The authors drew the sedimentary section of Shanxi Formation and compiled the sedimentary column of Shanxi Formation as well as Xiegou and Guanjiaya sections, which show that deltaic plain subfacies are mainly developed in Shan 1 Member whereas deltaic front subfacies are developed in Shan 2 Member of the study area. On the whole, during the deposition period of Shanxi Formation, the region showed a deposition process that the delta advanced southward gradually. The authors discussed the coal-accumulation process in the study area and pointed out that coals of Shanxi Formation were formed at the late stage of the short-term level ascending cycle. Coal-accumulation processes of 8[#], 7[#], 6[#] coal seams occurred mainly in peat swamp that was developed in interdistributary bay of the deltaic front, whereas the deposition of 5[#] coal seam occurred in peat swamp of the deltaic plain. The authors also analyzed the relationship between the thickness variation of coal seam and the sedimentary environment in the study area. It is evident that the distribution of thick

coal zones of the Shan 2 Member coincides with the distribution of sandstone-rich belt, and that the coal seam thickness is in negative correlation with the percentage of gravel rock in Shan 1 Member of the study area.

Key words: Xingxian area; Lower Permian; Shanxi Formation; sedimentary facies; delta deposit; coal-accumulation process

兴县位于鄂尔多斯盆地东北部,西起黄河,东邻岚县,南抵临县,北倚保德,面积约为 $1.0 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。在现今构造格局中,研究区位于晋西挠褶带北部。众所周知,山西组是盆地东北地区煤炭勘探与部署的主要层位。因此,对山西组含煤岩系的沉积相类型及特征进行探讨显得尤为重要。目前许多学者用不同的方法在不同的尺度和规模上对鄂尔多斯盆地中部、东缘地区山西组的沉积与古地理方面进行了研究(陈钟惠等,1989;郭英海等,1995,1998;魏红红等,1999;郭英海等,1999,2000;杨满平等,2000;何义中等,2001;汪正江等,2002;付锁堂等,2003;沈玉林等,2006;梁积伟等,2006,2007;向芳等,2008;叶黎明等,2008;吴春燕等,2011)。陈钟惠等(1989)指出鄂尔多斯盆地东北缘山西组下部旋回为河流沉积体系,中部和上部旋回是三角洲环境体系下形成。郭英海等(1995)指出晋中北晚古生代山西组是以河控为主、兼受潮汐作用改造的浅水三角洲沉积。向芳等(2008)指出鄂尔多斯东北部山西组在山2期发育在潮坪背景上的河流-潮控三角洲,以后转变为发育在陆相湖泊环境中的河控湖泊三角洲。综上所述,对盆地东北部一带的研究工作取得了丰硕的成果,但由于研究范围太广,在对小区域内的沉积相认识上学者们各持己见。本文即从兴县地区下二叠统山西组的沉积微相类型和特征研究入手,进而阐释兴县地区主要煤层的聚煤作用,为后期兴县地区的煤炭勘探和部署提供重要的地质依据。

1 沉积地质背景

鄂尔多斯盆地在构造上属于华北地台的次级单元,在晚古生代其构造演化与华北地台一致。晚石炭世末,由于受北方西伯利亚板块向南“推土机”机制的作用(王东方,1992),华北地区被滨浅海所占据(王鸿祯,1985)。随着兴蒙海槽向南俯冲、消减,来自北侧的南北向挤压应力使鄂尔多斯地台区域格局北升南降,由早期的南隆北倾转为北隆南倾(尚冠

雄,1995),导致海水开始南撤,在此过程中形成了本溪组、太原组碎屑岩与碳酸盐岩互层的含煤沉积。早二叠世早期,海水主要来自于东及东南方向,经过晚石炭世的填平补齐以及海水的扩展,中央古隆起没于水下成为水下隆起,完成了东西海域的对接、汇合,全区形成统一的陆表海盆地(郭英海等,1999,2000)。早二叠世晚期,受北部兴蒙海槽持续向南俯冲、挤压的影响,北部伊盟隆起及物源区显著隆升,海水逐渐向南退出,鄂尔多斯地区进入以陆相沉积为主的沉积充填,仅在盆地东南部地区保留海的演化阶段。至中二叠世石盒子期,海水完全退出鄂尔多斯地区,进入了陆相沉积发展时期,至晚二叠世石千峰期完全转化为内陆湖盆沉积(郭英海等,1998)。

盆地山西组沉积形成于海退背景之下(郭英海等,1998),为“北岔沟砂岩”之底至“骆驼脖子砂岩”之底的一套岩层。研究区岩性主要由浅灰色-灰黑色砂岩、粉砂岩、砂质泥岩、泥岩和煤层组成,为一套陆源碎屑岩含煤岩系。本文对区内近南北向展布的5口基干钻孔A、B、C、D、E及东缘出露的斜沟、关家崖剖面进行了详细分析,依据陈钟惠等(1989)将山西组划分为3个旋回,以船窝砂岩和东河砂岩为界,并结合岩性组合、沉积构造特征及主要标志层等,将山西组划分为2段6亚段,即下部旋回作为山西组下段,中、上部旋回作为山西组上段。其岩性组成及煤层、岩层对比如图1所示。

2 沉积相类型及特征

沉积物的粒度参数特征是判断沉积环境和水动力的良好标志,有助于建立沉积环境的典型模式,已成为环境和相分析中重要的方法和手段(Visher, 1969; Blatt *et al.*, 1980)。本文首先对采自露头剖面的具代表性砂岩磨片进行了粒度分析和鉴定,应用环境经验判别公式(Sahu, 1964),计算出39个样品的粒度参数及相应的判别值,其中高达30个样品有 $Y_1 > 9.8433$ 或 $Y_2 < -7.4190$ (表1)。据此,可以初步判断研究区主要发育河流(三角洲)沉积。

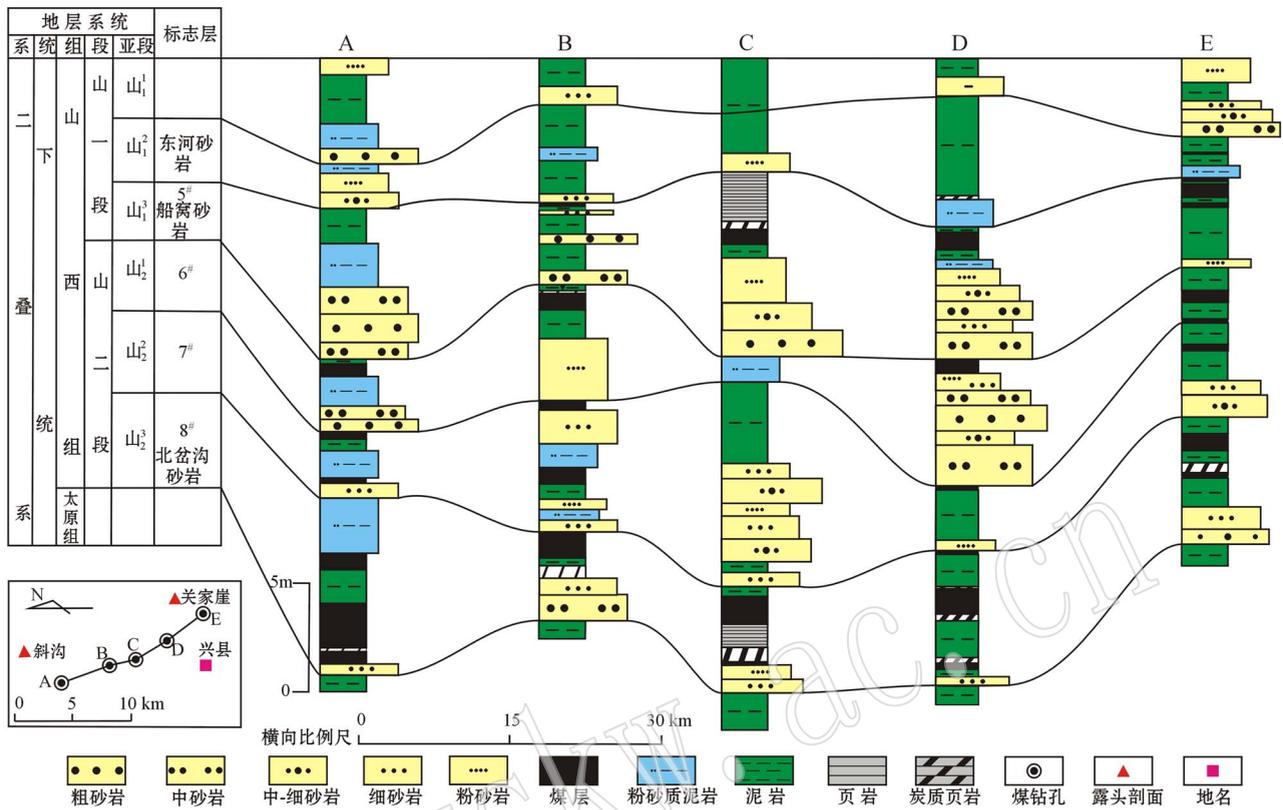


图1 兴县地区山西组煤钻孔岩层对比略图(南北向)

Fig. 1 Stratigraphic correlation of coal drilling cores of Shanxi Formation in Xingxian area (from north to south)

本文在上述定量分析和斜沟、关家崖剖面的野外详细观察、描述的基础上,对5口钻井资料进行综合分析,并充分运用沉积学、沉积地球化学等手段,对区内岩性标志、微量元素标志及概率累积粒度曲线分析等进行了系统研究,对兴县地区山西组的沉积特征进行了深入剖析,识别出了三角洲平原和三角洲前缘2种亚相及分流河道、泥炭沼泽、天然堤、决口扇、水下分流河道、分流间湾和河口砂坝7种微相(图2、图3)。

2.1 三角洲平原亚相

2.1.1 分流河道微相

研究区分流河道微相在三角洲平原亚相中非常发育,主要发育在山一段中下部,岩性为浅灰色中、粗粒岩屑石英砂岩、中粒石英砂岩、中细粒岩屑石英砂岩。砂岩的成分和结构成熟度中等,杂基含量一般在5%~10%。概率累积粒度曲线呈两段式(图4a、4b),以跳跃组分为主,含量85%~90%,次为悬浮总体,含量10%~15%,滚动总体不发育。底部常与下伏岩层呈冲刷接触,发育大型板状交错层理(图5a)、槽状交错层理(图5b),规模上向上变小,单个砂

体粒度从下而上逐渐变细,且在露头剖面零星地能看到植物茎干残留。

2.1.2 天然堤和决口扇微相

天然堤微相在兴县地区较少发育,岩性由浅灰色-灰色细砂岩、粉砂岩组成,发育水平层理和波状交错层理,常与分流河道、泥炭沼泽等微相共生,且在粉砂岩中经常有植物化石碎片出现。决口扇微相在区内几乎不发育,偶以薄层状灰色细砂岩、粉砂岩夹层出现在泥炭沼泽中(图2、图3)。

2.1.3 泥炭沼泽微相

沼泽微相主要发育在山一段中上部,岩性为深灰色泥岩,发育水平层理和透镜状层理。对所采泥岩样品微量元素的测试分析结果(表2)表明, $V/(V+Ni)$ 值均在0.5左右,表明泥炭沼泽微相处于贫-厌氧环境(Hatch and Leventhal, 1992); Sr/Ba 值均在0.15左右,表明研究区山一段主体为河流(三角洲)沉积(邓宏文等, 1993)。结合地球化学分析、剖面垂向结构及野外沉积构造特征等,可判断出泥炭沼泽微相主要发育于三角洲平原亚相间的低洼地区,是重要的成煤环境。

表 1 兴县地区山西组砂岩粒度分析参数

Table 1 Grain-size statistical analysis parameters of Shanxi Formation sandstone in Xingxian area

样品号	岩性	平均粒径 (M_z/ϕ)	标准偏差 (δ_i)	偏度 (SK_i)	峰度 (K_G)	Y_1 值	Y_2 值
斜沟-19	中-细粒岩屑石英砂岩	2.25	0.49	0.19	1.37	10.06	-2.33
斜沟-20	中-细粒岩屑石英砂岩	2.23	0.83	0.49	1.06	10.24	-7.75
斜沟-21	中-细粒石英砂岩	2.38	0.92	0.39	0.89	8.71	-8.61
斜沟-22	细粒岩屑砂岩	2.65	0.56	-0.12	0.99	6.11	-1.41
斜沟-23	中-细粒岩屑砂岩	2.15	0.63	0.04	1.57	9.97	-2.99
斜沟-24	中-细岩屑粒砂岩	2.53	0.92	0.21	1.48	10.73	-7.66
斜沟-25	细-中粒岩屑砂岩	2.38	0.66	0.07	1.50	9.95	-3.41
斜沟-26	细粒岩屑砂岩	2.63	1.10	0.06	0.92	6.68	-10.10
斜沟-27	细粒岩屑石英砂岩	2.51	0.55	-0.07	1.55	9.42	-1.52
斜沟-28	中-细粒岩屑石英砂岩	2.14	0.94	0.24	1.09	8.57	-8.26
斜沟-29	细粒岩屑石英砂岩	3.20	0.99	0.30	1.24	10.50	-9.09
斜沟-30	中粒岩屑砂岩	1.80	1.04	0.19	1.34	9.23	-9.83
斜沟-31	中-细粒石英砂岩	2.19	0.70	0.13	1.45	9.93	-4.24
斜沟-32	中粒岩屑石英砂岩	1.70	0.81	0.16	1.54	10.19	-5.98
斜沟-33	中-细粒岩屑石英砂岩	2.00	0.67	0.18	1.05	8.03	-4.20
斜沟-34	中-细粒岩屑砂岩	2.25	0.98	0.11	1.30	8.86	-8.25
斜沟-37	中粒岩屑石英砂岩	1.60	0.65	0.26	1.43	10.30	-4.45
斜沟-38	中粒长石岩屑砂岩	1.40	0.50	0.12	1.55	9.92	-2.31
斜沟-39	中-粗粒岩屑石英砂岩	0.90	0.79	0.33	1.39	9.97	-6.76
斜沟-40	中-粗粒岩屑石英砂岩	1.13	0.60	0.04	1.01	6.29	-2.98
斜沟-41	细粒岩屑石英砂岩	2.82	0.93	0.16	1.13	8.74	-7.51
关家崖-75	中粒岩屑石英砂岩	1.50	0.50	0.14	1.51	9.92	-2.38
关家崖-76	中粒岩屑石英砂岩	1.45	0.76	0.19	1.62	10.67	-5.50
关家崖-77	粗粒岩屑石英砂岩	0.63	0.45	0.22	1.54	10.00	-2.60
关家崖-78	中粒岩屑石英砂岩	1.38	0.59	-0.04	1.77	9.95	-2.37
关家崖-79	中粒岩屑石英砂岩	1.50	0.51	0.00	1.98	11.46	-1.76
关家崖-81	中粒岩屑石英砂岩	1.65	0.49	0.11	1.45	9.51	-2.11
关家崖-82	粗粒岩屑石英砂岩	0.75	0.66	0.25	1.37	9.30	-4.76
关家崖-83	中粒石英砂岩	1.70	0.65	0.19	1.48	10.17	-4.08
关家崖-84	中粒砂岩	1.55	0.48	0.04	1.09	7.06	-1.72
关家崖-85	中-粗粒岩屑砂岩	1.20	0.86	0.28	1.42	9.97	-7.44
关家崖-86	中粒长石岩屑砂岩	1.35	0.73	0.18	1.28	8.81	-5.15
关家崖-87	中-粗粒长石岩屑砂岩	1.00	0.56	0.35	1.43	10.52	-4.11
关家崖-88	中粒岩屑砂岩	1.40	0.87	0.25	0.93	7.31	-7.41
关家崖-89	中粒岩屑砂岩	1.63	0.47	0.05	1.56	9.68	-1.64
关家崖-90	细粒长石岩屑砂岩	2.38	1.05	0.09	1.43	9.45	-9.36
关家崖-91	中粒岩屑石英砂岩	1.65	0.86	0.21	1.46	10.03	-6.97
关家崖-92	中-粗粒石英砂岩	0.88	0.98	0.25	1.04	7.44	-9.34
关家崖-97	中-细粒岩屑石英砂岩	2.20	0.69	0.18	1.37	9.86	-4.36

注: $Y_1 = 0.7215 M_z - 0.4030 \delta_i^2 + 6.7322 SK_i + 5.2927 K_G$, $Y_1 > 9.8433$ 为河流/三角洲环境; $Y_1 = 9.8433$ 为浊流环境; $Y_2 = 0.2825 M_z - 8.7604 \delta_i^2 - 4.8922 SK_i + 0.0482 K_G$, $Y_2 > -7.4190$ 为浅海环境; $Y_2 < -7.4190$ 为河流/三角洲环境。

2.2 三角洲前缘亚相

2.2.1 水下分流河道微相

水下分流河道微相在三角洲前缘亚相中非常发育,主要发育于山二段中下部,即下部旋回。岩性为灰色中粒、中细粒石英岩屑砂岩,概率累积粒度曲线为两段式,由斜率中等到较高的跳跃总体和斜率较低的悬浮总体组成,跳跃总体为主,滚动总体几乎不

发育(图 4c、4d)。

单一水下分流河道砂体显示明显的正韵律,北岔沟砂岩底部与下伏岩层呈冲刷-充填构造(图 5c),发育大型低角度板状交错层理(图 5d),小型槽状交错层理(图 5e)。在相序上常与河口砂坝微相共生,且与三角洲平原亚相的分流河道微相相比,杂基含量相对较低,粒度较细,结构成熟度较好。

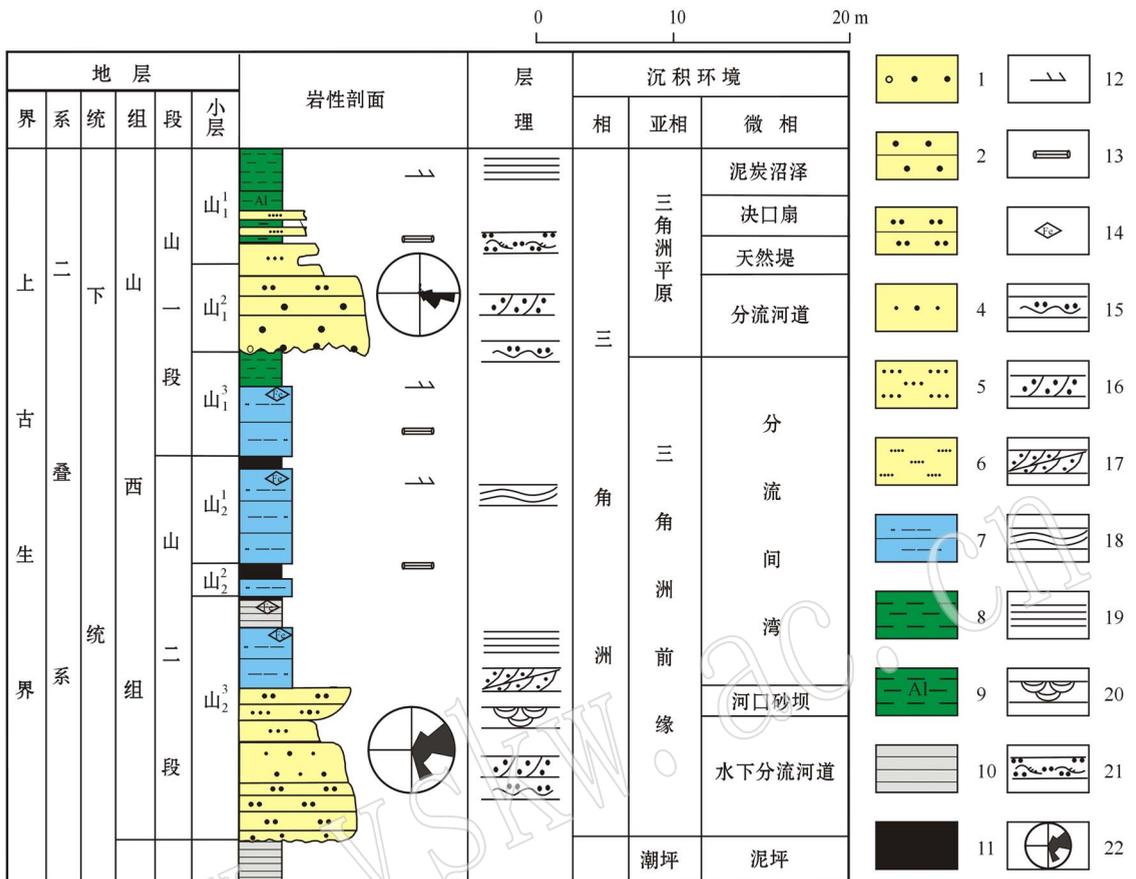


图2 兴县地区关家崖剖面下二叠统山西组沉积相综合柱状图

Fig. 2 Composite column of sedimentary facies of the Lower Permian Shanxi Formation along Guanjiaya section in Xingxian area

1—含砾粗砂岩；2—粗砂岩；3—中砂岩；4—中-细砂岩；5—细砂岩；6—粉砂岩；7—粉砂质泥岩；8—泥岩；9—铝土质泥岩；10—页岩；11—煤层；12—植物化石碎片；13—植物茎干化石；14—菱铁矿结核；15—冲刷充填构造；16—板状交错层理；17—楔形交错层理；18—脉状层理；19—水平层理；20—槽状交错层理；21—波状层理；22—古水流玫瑰图

1—mud gravel coarse-grained sandstone; 2—coarse-grained sandstone; 3—medium-grained sandstone; 4—medium-fine-grained sandstone; 5—fine-grained sandstone; 6—siltstone; 7—silty mudstone; 8—mudstone; 9—aluminous mudstone; 10—shale; 11—coal bed; 12—fossil plant fragments; 13—plant fossil stem; 14—siderite concretions; 15—scour and fill structure; 16—tabular cross bedding; 17—wedge cross bedding; 18—veined bedding; 19—horizontal bedding; 20—trough cross bedding; 21—wave bedding; 22—paleocurrent rose diagram

2.2.2 河口砂坝微相

河口砂坝微相在研究区发育较少，由灰色的细砂岩、中细砂岩组成，单个砂体厚1~2 m，垂向上表现为下细上粗的逆粒序特征，发育小型楔形交错层理(图5f)。概率累积粒度曲线为两段式，主体由跳跃和悬浮总体构成，其间存在较宽的混合带(图4e、4f)，可说明河口砂坝沉积时，水体速率快且簸选能力较差。垂向上常与水下分流河道微相、分流间湾微相共生。

2.2.3 分流间湾微相

分流间湾微相在研究区广泛发育，主要沉积于山二段，由灰色-深灰色泥岩、粉砂质泥岩组成，发育

水平层理。根据微量元素的测试分析(表2)， $V/(V+Ni)$ 值介于0.59~0.64之间，平均为0.62，表明泥炭沼泽微相处于贫-厌氧环境(Hatch and Leventhal, 1992)； Sr/Ba 值介于0.11~0.38之间，平均为0.223，表明研究区分流间湾微相是在河流(三角洲)环境下沉积的(邓宏文等, 1993)。结合剖面垂向结构构造特征，认为分流间湾微相主要形成于三角洲前缘水下分流河道间的凹陷地区，是重要的成煤环境。

3 聚煤作用

煤层发育受很多地质条件的控制，最主要的是

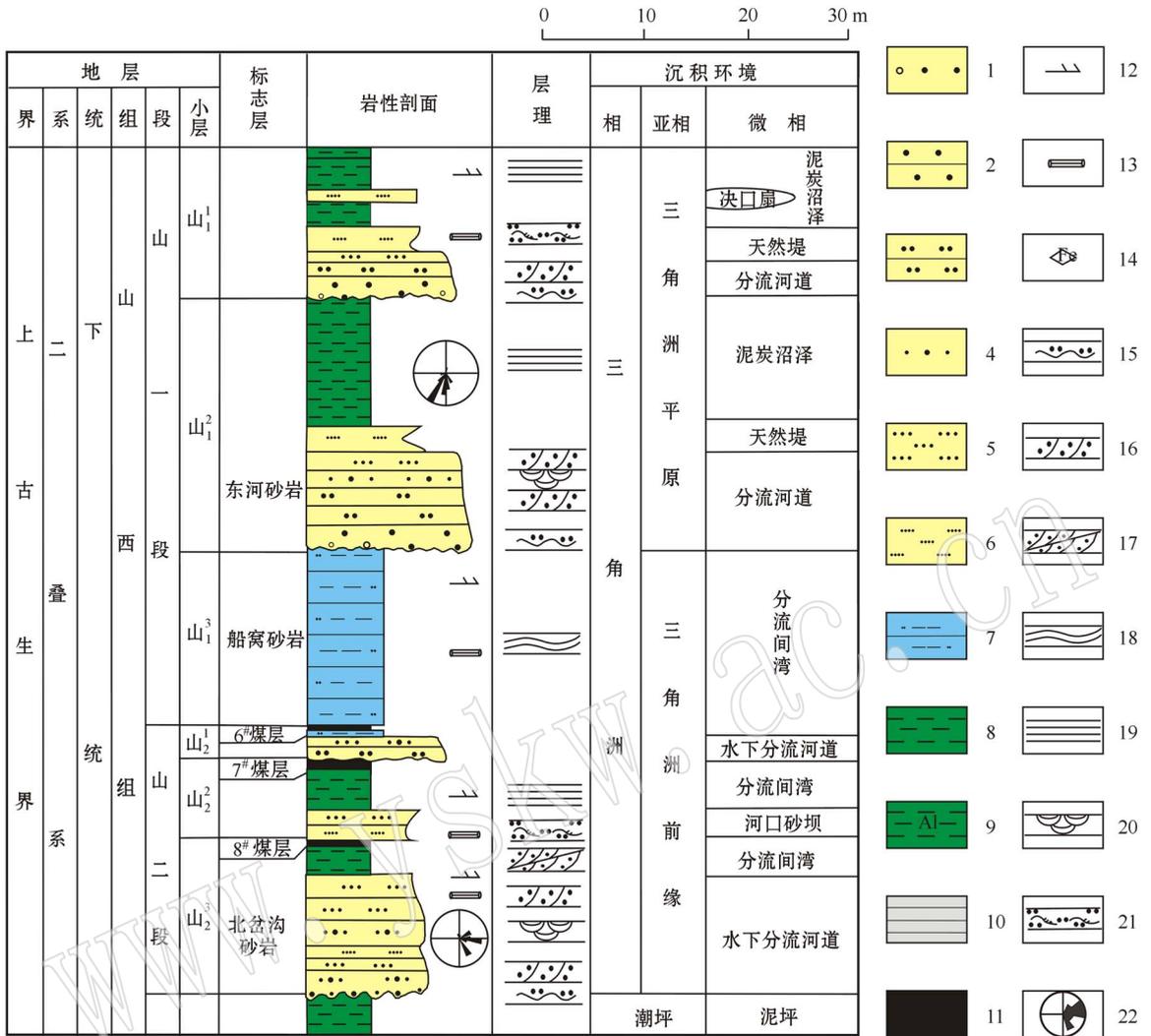


图 3 兴县地区斜沟剖面下二叠统山西组沉积相综合柱状图

Fig. 3 Composite column of sedimentary facies of the Lower Permian Shanxi Formation along Xiegou section in Xingxian area
 1—含泥砾粗砂岩; 2—粗砂岩; 3—中砂岩; 4—中—细砂岩; 5—细砂岩; 6—粉砂岩; 7—粉砂质泥岩; 8—泥岩; 9—铝土质泥岩; 10—页岩; 11—煤层; 12—植物化石碎片; 13—植物茎干化石; 14—菱铁矿结核; 15—冲刷充填构造; 16—板状交错层理; 17—楔形交错层理; 18—脉状层理; 19—水平层理; 20—槽状交错层理; 21—波状层理; 22—古水流玫瑰图

1—mud gravel coarse-grained sandstone; 2—coarse-grained sandstone; 3—medium-grained sandstone; 4—medium-fine-grained sandstone; 5—fine-grained sandstone; 6—siltstone; 7—silty mudstone; 8—mudstone; 9—aluminous mudstone; 10—shale; 11—coal bed; 12—fossil plant fragments; 13—plant fossil stem; 14—siderite concretions; 15—scour and fill structure; 16—tabular cross bedding; 17—wedge cross bedding; 18—veined bedding; 19—horizontal bedding; 20—trough cross bedding; 21—wave bedding; 22—paleocurrent rose diagram

构造运动和沉积环境(桑树勋等, 2001; 邵龙义等, 2006)。晚古生代整个华北克拉通的构造运动主要发生在盆地的南缘和北缘, 盆内构造活动非常微弱, 利于聚煤作用的发生和煤层的保存(桑树勋等, 2001)。兴县地区下二叠统山西组是重要的含煤岩系, 煤层形成于这种稳定的构造背景之下, 且近南北向分布。煤层这种近南北向分布的差异既受控于下伏沉积环境,

又受到上覆沉积环境的控制, 变化是区域性的。

区内主要煤层 5#、6#、7#、8# 分别形成于山₁³、山₂¹、山₂²、山₂³ 短期基准面旋回末期(图 6), 笔者通过对区内 5 口基干钻孔沉积断面的勾绘及沉积微相的系统研究, 分析了山西组的聚煤作用, 探讨了沉积环境对主要煤层的控制关系, 并认为研究区的聚煤作用因所处的亚环境不同而有所差异。

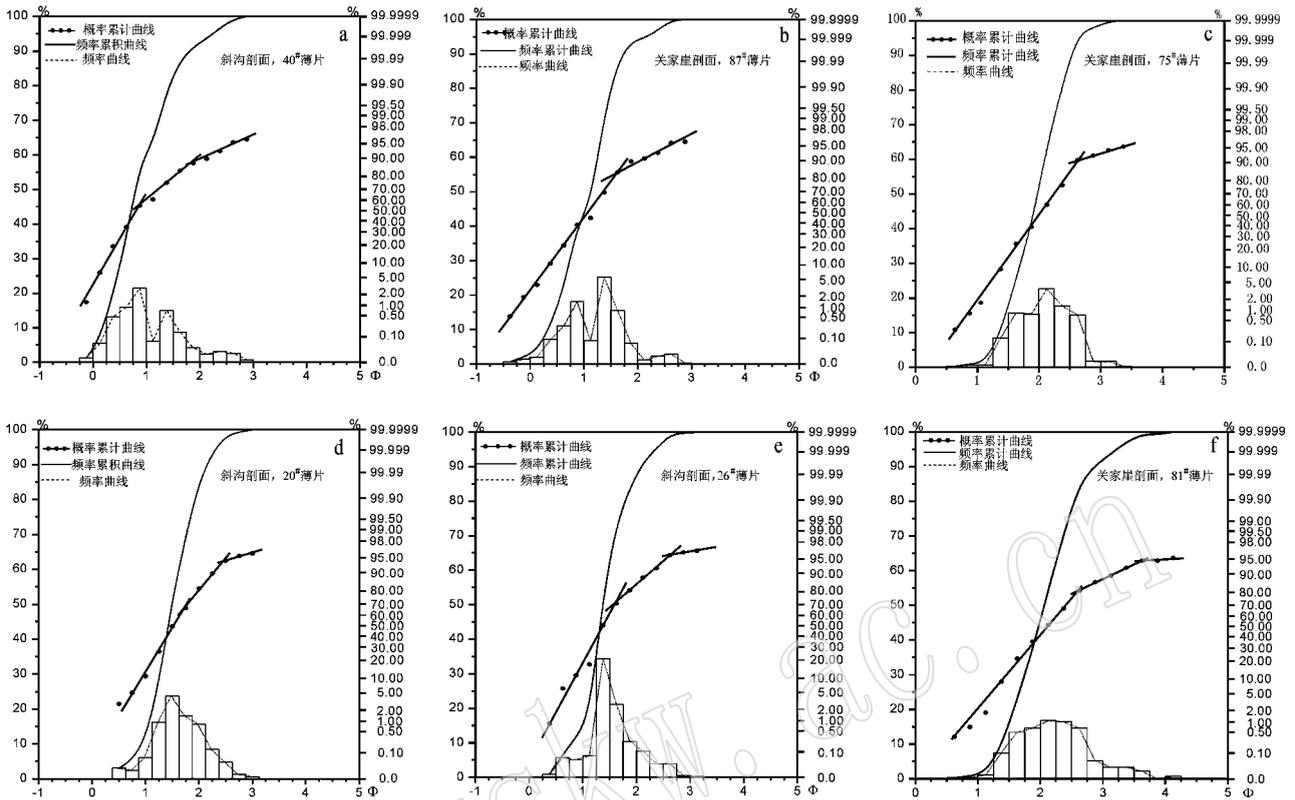


图 4 兴县地区下二叠统山西组砂岩概率累积粒度曲线

Fig. 4 Granularity probability curve of sandstone of the Lower Permian Shanxi Formation in Xingxian area

表 2 元素相标志

$\omega_B/10^{-6}$

Table 2 The element facies label

露头剖面	层位	沉积环境	V	Ni	Sr	Ba	V/(V + Ni)	Sr/Ba	富氧条件
关家崖	山 ₂ ¹	分流间湾	69.64	45.07	93.51	526.60	0.61	0.18	厌氧
	山 ₁ ¹	泥炭沼泽	55.83	54.43	62.80	435.80	0.51	0.14	贫-厌氧
斜沟	山 ₂ ²	分流间湾	78.32	44.38	161.80	423.10	0.64	0.38	厌氧
	山 ₃ ³	分流间湾	82.48	57.89	71.28	644.60	0.59	0.11	贫-厌氧
	山 ₁ ¹	泥炭沼泽	76.47	69.82	64.47	437.40	0.52	0.15	贫-厌氧

判断指标 (Hatch *et al.*, 1992): $V/(V + Ni) > 0.6$ 时, 为厌氧环境; $0.46 \sim 0.6$ 为贫-厌氧环境; < 0.46 为富氧环境; 盐度标志 (邓宏文等, 1993): $Sr/Ba < 0.3$, 为河流(三角洲)沉积; $0.3 \sim 0.5$ 为近岸海相沉积; $0.3 \sim 1$ 为远岸海相沉积; 实验测试工作由中国矿业大学分析测试中心采用电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS)分析, 仪器名称为 ICP-MS, X-Series, 每组测试数据误差均小于 10%。

3.1 三角洲平原

三角洲平原中的河道间洼地、分流间湖泊常因洪水期带来的碎屑物质淤积而发生沼泽化, 并发生泥炭堆积。区内 5# 煤形成于山₃³ 短期旋回晚期的三角洲平原沼泽环境下。随着三角洲逐渐向南推进, 基准面整体下降, 可容纳空间减小, 物源供应增加, 有机质的形成不能得到很好的保存。所以, 自北向南厚度变化较大, 煤层不连续, 向盆地方向逐渐增厚, 在 C、D、E 一带形成了稳定性较好的煤层。山一期

主要发育三角洲平原亚相沉积, 其砂砾岩含量与煤层总厚度呈负相关性(图 7), 即在砂砾岩含量相对较低的地方, 形成的煤层相对较厚。这种负相关关系可能是由于随着山一段的中部旋回至上部旋回三角洲平原逐渐向南推进, 在远离分流河道间的沼泽和洼地中形成厚度较大的煤层。B 处煤层分叉、变薄, 可能是由于河道的改迁、决口扇砂体的嵌入, 或者是分流河道对下伏煤层的冲刷作用所造成。

3.2 三角洲前缘

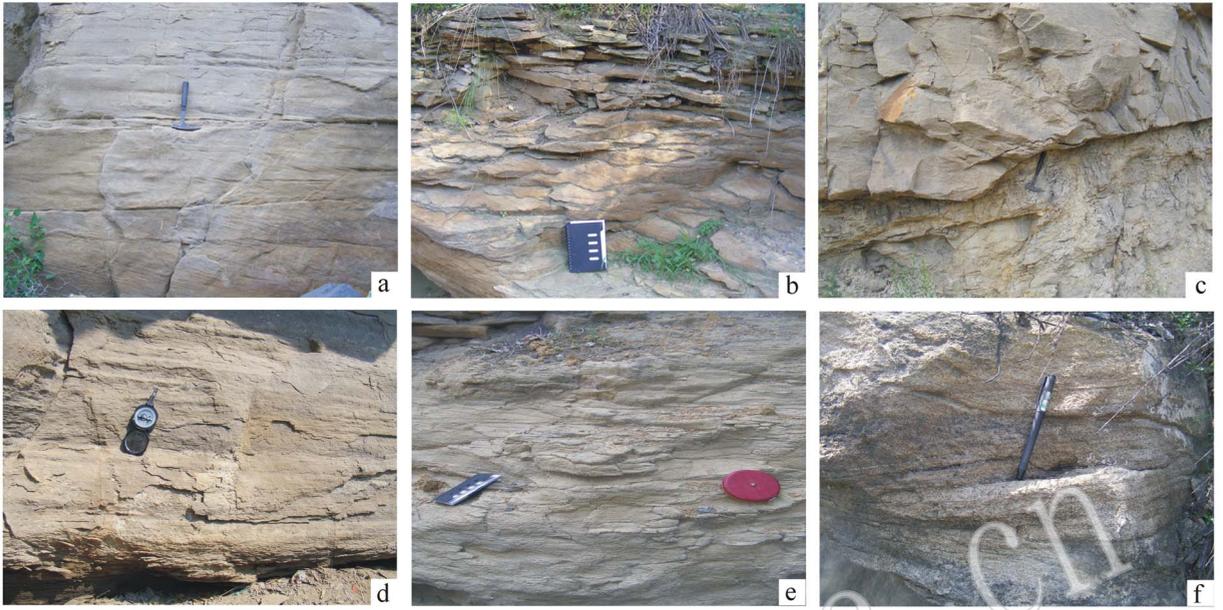


图 5 兴县地区下二叠统山西组沉积特征照片

Fig. 5 Photographs of sedimentary characteristics of the Lower Permian Shanxi Formation in Xingxian area

a—大型板状交错层理,三角洲平原分流河道沉积,浅黄-灰色中粗砂岩,关家崖剖面,山₂¹中下段; b—槽状交错层理,三角洲平原分流河道沉积,浅黄-灰色中粒砂岩,斜沟剖面,山₂¹上段; c—北岔沟砂岩底部与下伏岩层呈冲刷接触,三角洲前缘水下分流河道沉积,浅灰色中粒砂岩,关家崖剖面,山₂²下段; d—大型低角度板状交错层理,三角洲前缘水下分流河道沉积,浅灰色中粒砂岩,斜沟剖面,山₂²下段; e—小型槽状交错层理,三角洲前缘水下分流河道沉积,浅灰色中细粒砂岩,斜沟剖面,山₂²上部; f—楔形交错层理,三角洲前缘河口砂坝沉积,灰色中细粒砂岩,关家崖剖面,山₂²中部

a—large tabular cross bedding, distributary channel deposit of delta plain, light yellow-gray medium-coarse-grained sandstone, Guanjiaya stratigraphic section, lower segment of Shan₂¹; b—trough cross bedding, distributary channel deposit of delta plain, pale yellow medium-grained sandstone, Xiegou stratigraphic section, upper Shan₂¹-2; c—bottom of Beichagou sandstone in scour contact with underlying strata, light gray medium-grained sandstone, Guanjiaya stratigraphic section, lower Shan₂²-3; d—large low angle tabular cross bedding, subaqueous distributary channel deposit of delta front, light gray medium-grained sandstone, Xiegou stratigraphic section, lower Shan₂²-3; e—small trough cross bedding, subaqueous distributary channel deposit of delta front, light gray medium-fine-grained sandstone, Xiegou stratigraphic section, upper Shan₂²-3; f—wedge cross bedding, channel mouth bar deposit of delta front, gray medium-fine-grained sandstone, Guanjiaya stratigraphic section, central section of Shan₂²-3

三角洲前缘是兴县地区重要的聚煤环境。山₂³、山₂²、山₂¹亚段是一个以基准面上升半旋回为主的不对称旋回,8[#]、7[#]、6[#]煤均形成于上升半旋回的晚期,聚煤作用主要发生在三角洲前缘分流间湾淤积变浅的泥炭沼泽环境。随着基准面的上升,物源供应减少,可容纳空间持续而缓慢增大,与泥炭堆积速率接近,故形成煤层厚度较大,南北向分布较稳定。仅在局部地区由于南北向延伸的分流河道的冲刷作用,使得局部煤层变薄或消失。整体上在山₂沉积段,B、C、D、E一带的砂砾岩含量与煤层总厚为正相关的关系(图8),说明在砂砾岩富集的地带多与厚度较大的煤层相吻合,是因为在三角洲前缘与三角洲平原过渡地带发育有较好的分流间湾,容易受到陆源碎屑物质的充填,进而淤积变浅发生沼泽化,并形成大面积的泥炭堆积。特别是8[#]煤,其形成厚度较

大,区域范围内稳定。7[#]、6[#]煤厚度及稳定性相对8[#]较薄较差,可能是受到水体比较动荡的影响,或者侧向上分流河道限制的影响,或者水体深度不利于泥炭沼泽的堆积所造成。

3.3 聚煤作用亚环境对比小结

山西组煤层均形成于短期基准面上升的晚期,从山二段到山一段,煤层的整体分布有呈向北变薄退却的趋势,反映出山西组整体上构成了一个中期基准面上升到下降的完整旋回。8[#]、7[#]、6[#]煤的聚煤作用主要发生在三角洲前缘分流间湾充填变浅的泥炭沼泽环境,形成区域性厚度较大、南北向分布较稳定的煤层,仅在局部地区由于南北向延伸的分流河道的冲刷作用,使得局部煤层变薄或消失。5[#]煤形成于三角洲平原泥炭沼泽,南北向分布不连续,仅在C、D、E一带厚度较大较稳定。相对于三角洲前

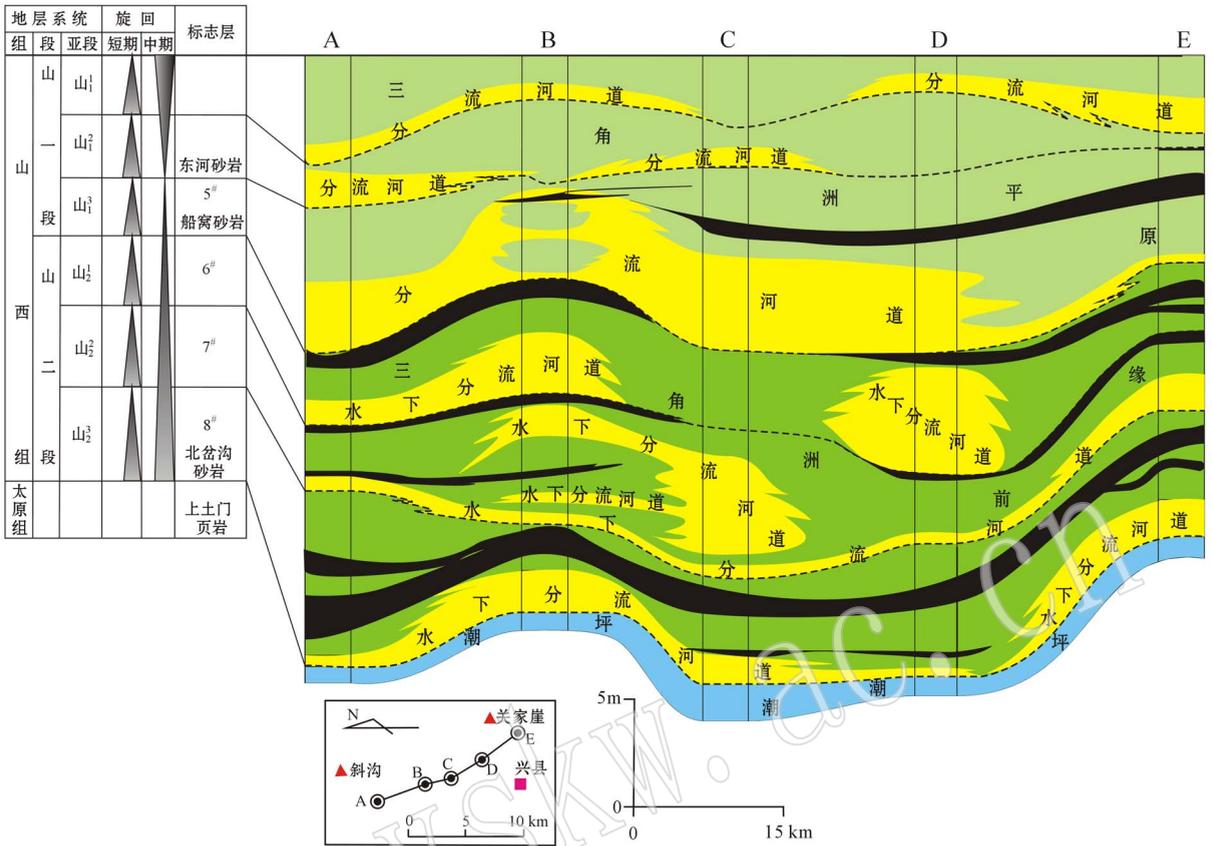


图 6 兴县地区山西组沉积断面图(南北向)

Fig. 6 Sedimentary section of Shanxi Formation in Xingxian area (from north to south)

缘间湾沼泽环境，三角洲平原泥炭沼泽不能大量地成煤，是由于随着基准面整体下降，三角洲逐渐向南

推进，可容纳空间减小，物源供应增加，致使暴露在富氧环境中的有机质不能得到很好的保存。

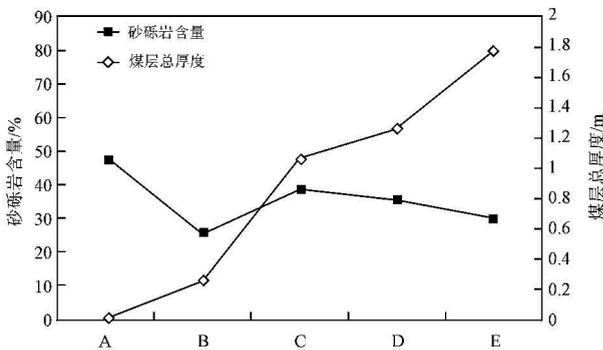


图 7 兴县地区各钻孔山一段砂砾岩含量与煤层总厚度

Fig. 7 Relationship between the percentages of the sandstones and conglomerates and the total thickness of coals of the Shan 1 Member from different drill holes in Xingxian area

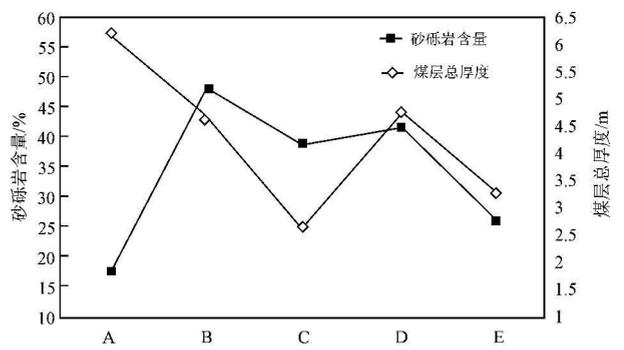


图 8 兴县地区各钻孔山二段砂砾岩含量与煤层总厚度

Fig. 8 Relationship between the percentages of the sandstones and conglomerates and the total thickness of coals of the Shan 2 Member from different drill holes in Xingxian area

4 结论

(1) 在鄂尔多斯兴县地区下二叠统山西组中, 识别出了三角洲平原和三角洲前缘 2 种亚相及分流河道、泥炭沼泽、天然堤、决口扇、水下分流河道、分流间湾和河口砂坝 7 种微相。山西组早期沉积环境主要为三角洲前缘, 晚期逐渐过渡为三角洲平原环境, 整体上山西组沉积期区具有三角洲逐渐向南推进的沉积特征。

(2) 研究区山西组煤层均形成于短期基准面上升的晚期, 8[#]、7[#]、6[#] 煤的聚煤作用主要发生在三角洲前缘分流间湾充填变浅的泥炭沼泽环境, 5[#] 煤形成于三角洲平原泥炭沼泽环境。其中以 8[#] 煤的厚度较大, 区域范围内稳定, 是将来兴县地区煤炭勘探的有利目标。

(3) 在山二段, 富煤地带多与砂岩富集带相吻合; 山一段, 煤层厚度则与砂砾岩含量呈现负相关性。

致谢 在野外工作中得到了徐良才硕士、田焯硕士的热情帮助和指导, 特此感谢。

References

- Blatt H, Middleton G V and Murray R C. 1980. Origin of Sedimentary Rock [M]. New Jersey: Prentice-Hall Inc, Englewood Cliffs, 71.
- Chen Zhonghui, Zhang Shouliang, Ma Jinxian, *et al.* 1989. Sedimentary Environment and Coal Accumulation of Late Palaeozoic Coal-Bearing Measures on the Eastern Margin of Ordos Basin [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 65~73, 84~87 (in Chinese).
- Deng Hongwen and Qian Kai. 1993. Sedimentary Geochemistry and Environmental Analysis [M]. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 3~31 (in Chinese).
- Fu Suotang, Tian Jingchun, Chen Hongde, *et al.* 2003. The delta depositional system distribution of Late Paleozoic Era in Ordos Basin [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 30(3): 236~241 (in Chinese).
- Guo Yinghai and Liu Huanjie. 1999. Transgression of Late Paleozoic Era in Ordos area [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 28(2): 126~129 (in Chinese).
- Guo Yinghai and Liu Huanjie. 2000. The late Paleozoic depositional systems of Shanxi-Gansu-Ningxia area [J]. Journal of Paleogeography, 2(1): 19~30 (in Chinese).
- Guo Yinghai, Liu Huanjie, Li Zhuangfu, *et al.* 1995. Sedimentary characteristics and coal-accumulating process of shallow-water delta of Shanxi Formation in the middle-north district of Shanxi Province [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 24(1): 64~70 (in Chinese).
- Guo Yinghai, Liu Huanjie, Quan Biao, *et al.* 1998. Late Paleozoic system and Paleogeographic evolution of Ordos area [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 16(3): 44~51 (in Chinese).
- Hatch J R and Leventhal J S. 1992. Relationship between inferred redox potential of the depositional environment and geochemistry of the Upper Pennsylvanian (Missourian) Stark Shale Member of the Dennis Limestone, Wabaunsee County, Kansas, U. S. A [J]. Chemical Geology, 99: 65.
- He Yizhong, Chen Hongde and Zhang Jinquan. 2001. Discussion on sedimentation mechanism of two kind deltas from Permian-Carboniferous of central Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 22(1): 68~71 (in Chinese).
- Liang Jiwei and Li Wenhou. 2006. High-resolution sequence stratigraphy of Shanxi Formation (Permian) in northeastern portion of Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 24(2): 251~258 (in Chinese).
- Liang Jiwei, Li Wenhou, Zhang Feng, *et al.* 2007. Coal-accumulation of lower member of Shanxi Formation in northeastern Ordos Basin [J]. Coal Geology & Exploration, 35(1): 7~11 (in Chinese).
- Sahu B K. 1964. Depositional mechanisms from the size analysis of clastic sediments [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 34(1): 73~83.
- Sang Shuxun, Chen Shiyue and Liu Huanjie. 2001. Study on diversity of Late Paleozoic coal-forming environments and models in north China [J]. Chinese Journal of Geology, 36(2): 212~221 (in Chinese).
- Shang Guanxiang. 2006. An outline of basining structures of North China Late Palaeozoic coal accumulation basin [J]. Coal Geology of China, 7(2): 1~6 (in Chinese).
- Shao Longyi, Xiao Zhenghui, He Zhiping, *et al.* 2006. Palaeogeography and coal accumulation for coal measures of the Carboniferous-Permian in Qingshui Basin, southeastern Shanxi Province [J]. Journal of Paleogeography, 8(1): 43~52 (in Chinese).
- Shen Yulin, Guo Yinghai and Li Zhuangfu. 2006. Sedimentary facies of the Shanxi Formation and Member 8 of Xiashihezi Formation of Permian in Suligemiao area, Ordos Basin [J]. Journal of Paleogeography, 8(1): 53~62 (in Chinese).
- Visher G S. 1969. Grain size distributions and depositional processes [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 39(3): 1074~1106.
- Wang Dongfang. 1992. The Continental Tectonic Geology of Northern Margin in Sino-Korean Palat [M]. Beijing: Earthquake Press, 212~254 (in Chinese).
- Wang Hongzhen. 1985. Atlas of the Palaeogeography of China [M].

- Beijing: Cartographic Pressing House, 22~51(in Chinese).
- Wang Zhengjiang, Chen Hongde and Zhang Jinquan. 2002. The Late Palaeozoic sedimentary systems and humic gas pools in the Ordos Basin[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 22(2): 18~23(in Chinese).
- Wei Honghong, Peng Huiqun, Li Jingqun, *et al.* 1999. Distribution of sedimentary facies belts and sandstone bodies of Permo-Carboniferous in the central part of Ordos Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 17(3): 403~408(in Chinese).
- Wu Chunyan, Li Wenhui, Wang Ning, *et al.* 2011. A study on the sedimentary facies of Member Shan 2 of Zizhou-Qingjian, Ordos Basin [J]. *Geology of Yunnan*, 30(2): 238~241(in Chinese).
- Xiang Fang, Chen Hongde, Li Zhihong, *et al.* 2008. Sedimentary and evolution characters of the delta in the Lower Permian Shanxi Formation in the northeast of Ordos Basin, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology(Science & Technology Edition)*, 35(6): 643~699(in Chinese).
- Yang Manping, Wang Xingzhi, Li Ling, *et al.* 2000. Research on sedimentary of Shanxi Formation in Jiexian-Zizhou area[J]. *Journal of Southwest Petroleum Institute*, 22(4): 14~17(in Chinese).
- Ye Liming, Qi Tianjun and Peng Haiyan. 2008. Depositional environment analysis of Shanxi Formation in eastern Ordos Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 26(2): 202~210(in Chinese).
- 附中文参考文献**
- 陈钟惠, 张守良, 马晋贤, 等. 1989. 鄂尔多斯盆地东缘晚古生代含煤岩系的沉积环境和聚煤规律[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 65~73, 84~87.
- 邓宏文, 钱凯. 1993. 沉积地球化学与环境分析[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 3~31.
- 付锁堂, 田景春, 陈洪德, 等. 2003. 鄂尔多斯盆地晚古生代三角洲沉积体系平面展布特征[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 30(3): 236~241.
- 郭英海, 刘焕杰. 1999. 鄂尔多斯地区晚古生代的海侵[J]. *中国矿业大学学报*, 28(2): 126~129.
- 郭英海, 刘焕杰. 2000. 陕甘宁地区晚古生代的沉积体系[J]. *古地理学报*, 2(1): 19~30.
- 郭英海, 刘焕杰, 李壮福, 等. 1995. 晋中北山西组浅水三角洲沉积特征及聚煤作用[J]. *中国矿业大学学报*, 24(1): 64~70.
- 郭英海, 刘焕杰, 权彪, 等. 1998. 鄂尔多斯地区晚古生代沉积体系及古地理演化[J]. *沉积学报*, 16(3): 44~51.
- 何义中, 陈洪德, 张锦泉. 2001. 鄂尔多斯盆地中部石炭-二叠系两类三角洲沉积机制探讨[J]. *石油与天然气地质*, 22(1): 68~71.
- 梁积伟, 李文厚, 张峰, 等. 2007. 鄂尔多斯盆地东北部山西组下段基准面旋回与聚煤作用[J]. *煤田地质与勘探*, 35(1): 7~11.
- 梁积伟, 李文厚. 2006. 鄂尔多斯盆地东北部山西组高分辨层序地层学研究[J]. *沉积学报*, 24(2): 251~258.
- 桑树勋, 陈世悦, 刘焕杰. 2001. 华北晚古生代成煤环境与成煤模式多样性研究[J]. *地质科学*, 36(2): 212~221.
- 尚冠雄. 1995. 华北晚古生代聚煤盆地造盆构造述略[J]. *中国煤田地质*, 7(2): 1~6.
- 邵龙义, 肖正辉, 何志平, 等. 2006. 晋东南沁水盆地石炭二叠纪含煤岩系古地理及聚煤作用研究[J]. *古地理学报*, 8(1): 43~52.
- 沈玉林, 郭英海, 李壮福. 2006. 鄂尔多斯盆地苏里格庙地区二叠系山西组及下石盒子组盒八段沉积相[J]. *古地理学报*, 8(1): 53~62.
- 汪正江, 陈洪德, 张锦泉. 2002. 鄂尔多斯晚古生代沉积体系演化与煤成气藏[J]. *沉积与特提斯地质*, 22(2): 18~23.
- 王东方. 1992. 中朝陆台北缘大陆构造地质[M]. 北京: 地震出版社, 212~254.
- 王鸿祯. 1985. 中国古地理图集[M]. 北京: 地图出版社, 22~51.
- 魏红红, 彭惠群, 李静群, 等. 1999. 鄂尔多斯盆地中部石炭-二叠系沉积相带与砂体展布[J]. *沉积学报*, 17(3): 403~408.
- 吴春燕, 李文厚, 王宁, 等. 2011. 鄂尔多斯子洲-清涧地区山₂段沉积相研究[J]. *云南地质*, 30(2): 238~241.
- 向芳, 陈洪德, 李志宏, 等. 2008. 鄂尔多斯盆地东北部山西组三角洲相沉积演化特征[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 35(6): 643~699.
- 杨满平, 王兴志, 李凌, 等. 2000. 佳县-子洲地区山西组沉积相研究[J]. *西南石油学院学报*, 22(4): 14~17.
- 叶黎明, 齐天俊, 彭海燕. 2008. 鄂尔多斯盆地东部山西组海相沉积环境分析[J]. *沉积学报*, 26(2): 202~210.