

文章编号:0253-9985(2013)01-0058-10

鄂尔多斯盆地子洲及邻区山西组二段高分辨率 层序地层和煤沉积模式

杨勇^{1,2},雷卞军³,冯永玖²,孟堃³,陈波³,叶武³

(1. 成都理工大学 能源学院,四川 成都 610059; 2. 中国石油 长庆油田分公司 勘探开发研究院,陕西 西安 710021;
3. 西南石油大学,四川 成都 610500)

摘要:鄂尔多斯盆地山西组既有煤层又含天然气,是重要的能源勘探目标。山西组二段主要属于湖盆三角洲沉积体系,山₂³亚段的三角洲分流河道砂体是子洲气田的主力储层。子洲及邻区山西组划分为2个长期、4个中期和8个短期基准面旋回,现已识别出5种短期基准面旋回结构。中-短期基准面旋回的划分,不仅采用了识别地层中层序界面、湖泛面和沉积旋回的方法,而且详细考虑了三角洲体系中煤层在高分辨率层序中的位置。文中运用了滨线轨迹分析法,将其与煤沉积模式研究紧密结合,精确地再现了研究区山₂³亚段煤沉积环境的演变过程。山₂³亚段是以间断性湖进-湖退为特征的三角洲环境沉积产物。山₂³期发生了4次短期的湖进-湖退过程,在下三角洲平原沉积了4个煤层。其中,最后一次湖进-湖退的规模最大,下三角洲平原大面积沼泽泥炭化,形成了几乎覆盖全区的较厚的5#煤层。

关键词:滨线轨迹;三角洲;煤沉积模式;高分辨率层序地层;山西组;子洲地区;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

High-resolution sequence stratigraphy and coal sedimentary modes of Member 2 of Shanxi Formation in Zizhou and its adjacent areas, the Ordos Basin

Yang Yong^{1,2}, Lei Bianjun³, Feng Yongjiu², Meng Kun³, Chen Bo³ and Ye Wu³

(1. Energy College of Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 2. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an, Shaanxi 710021, China;
3. Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China)

Abstract: The Shanxi Formation of Ordos Basin is regarded as an exploratory target for it is rich in both coal and natural gas. The second member of the Formation (Shan-2) pertains to delta sedimentary system of a lake basin. The distributary channel sandbodies in the Shan-2³ sub-member are the major pay zones of the Zizhou gas field. The Shanxi Formation in the gas field and its adjacent areas can be divided into 2 long-term basal level cycles; 4 medium-term basal level cycles and 8 short-term basal level cycles. The structures of 5 short-term basal level cycles have been identified. During the division of medium-short term cycles, the writers not only employed identification methods of sequence boundary, lake flooding surface, and deposition cycles, but also took into consideration the positions of coal beds from delta sedimentary system in high-resolution sequence stratigraphy. Shoreline trajectory analysis was combined with research of coal sedimentary mode to exactly reconstruct the evolution of the coal deposition environment in the Shan-2³ sub-member in the areas. The Shan-2³ sub-member is the product of delta deposition environment with intermittent lake transgression-regression as the feature. There had been 4 short periods of lake transgression-regression and created environments for the deposition of 4 coal layers in the lower deltaic plain. Among the 4 short-term transgression-regression cycles, the last one is the most extensive and during the time the lower deltaic plain turned to swamp peat, forming the thick 5# coal-bed that is distributed almost in the whole study area.

Key words: Shoreline trajectory, delta, coal depositional mode, high-resolution sequence stratigraphy, Shanxi

收稿日期:2012-02-06;修订日期:2012-10-16。

第一作者简介:杨勇(1974—),男,高级工程师,低渗透油气田开发工程。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05044)。

Formation, Zizhou area, Ordos Basin

鄂尔多斯盆地二叠系山西组中既含煤层又有油气,是重要的能源勘探目的层。能源矿产勘探和开发促进了地层工作的深入开展。前人对上古生界已作了一些层序地层学方面的研究,取得了一些有意义的研究成果^[1-12],多数研究所涉及层位较多且时间跨度大^[1,9,12],少数研究者涉及了含煤地层层序。但总的来说,能满足气田开发地质中小层精确划分的高分辨率层序地层研究成果很少。笔者在前人有关研究的基础上,充分应用露头、岩心观察、测井及地震、薄片鉴定等方面的资料,对子洲及邻区(图1)山西组二段进行高分辨率层序地层研究,并将湖盆滨线轨迹与煤沉积模式演化两者研究紧密结合,较合理地解释了研究区山₂³亚段(山西组二段第三亚段)湖盆三角洲区煤层的分布规律,旨在为子洲及邻区能源勘探和开发提供较可靠的地质依据。

1 地层和沉积背景

鄂尔多斯盆地上古生界二叠系地层从下至上

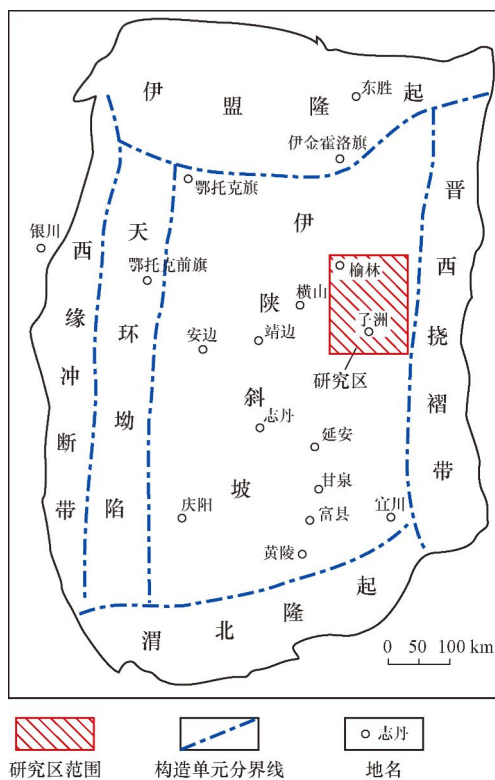


图1 鄂尔多斯盆地构造单元及研究区位置

Fig. 1 Structural units of the Ordos Basin and region of interest

为:太原组、山西组、下石盒子组、上石盒子组和石千峰组。晚古生代鄂尔多斯盆地先后经历了陆表海盆地、近海大型湖泊盆地和大型板内拗陷盆地 3 类沉积序列充填。早二叠世山西组沉积期,沉积背景已由陆表海盆地演化为近海大型陆相湖泊盆地,海水从鄂尔多斯盆地东、西两侧迅速退出,盆地东、西差异逐渐消失,南、北差异沉降分异增强,在盆地沉降中心发育湖泊相沉积,盆缘和盆地斜坡地带发育大型三角洲沉积,三角洲平原成为煤聚积的重要场所^[13-14]。山西期,湖盆边缘以广泛发育湖泊三角洲沉积体系为特征,现已识别出 5 个三角洲沉积体系^[15],子洲地区属于盆地西北部一个三角洲沉积体系,受湖水浸漫影响,下三角洲平原分流河道之间沼泽普遍发育,有利于泥炭聚集。

依据岩性组合、沉积旋回及测井响应等方面的特征,子洲地区山西组从下至上划分为山二段(山西组二段)和山一段(山西组一段),山二段和

表1 子洲地区山西组高分辨率层序地层划分方案

Table 1 High-resolution sequence stratigraphy division of the Shanxi Formation in Zizhou area

地层系统				标志层	基准面旋回						
组	段	亚段	砂层组		长期	中期	短期				
下石盒子组				骆驼脖子砂岩							
山西组	山一段	山 ₁ ¹ 山 ₁ ² 山 ₁ ³		平行不整合 铁磨沟砂岩	LSC2	下降	MSC4	下降	SSC16		
									SSC15		
									SSC14 SSC13		
							上升	MSC3	下降	SSC12	
										上升	SSC11
											SSC10 SSC9
	山二段	山 ₂ ¹ 山 ₂ ² 山 ₂ ³	上砂层组 下砂层组	5#煤层 北岔沟砂岩	LSC1	下降	MSC2	下降	SSC8		
									SSC7		
									SSC6 SSC5		
							上升	MSC1	下降	SSC4	
										上升	SSC3
											SSC2 SSC1
太原组				冲刷面							

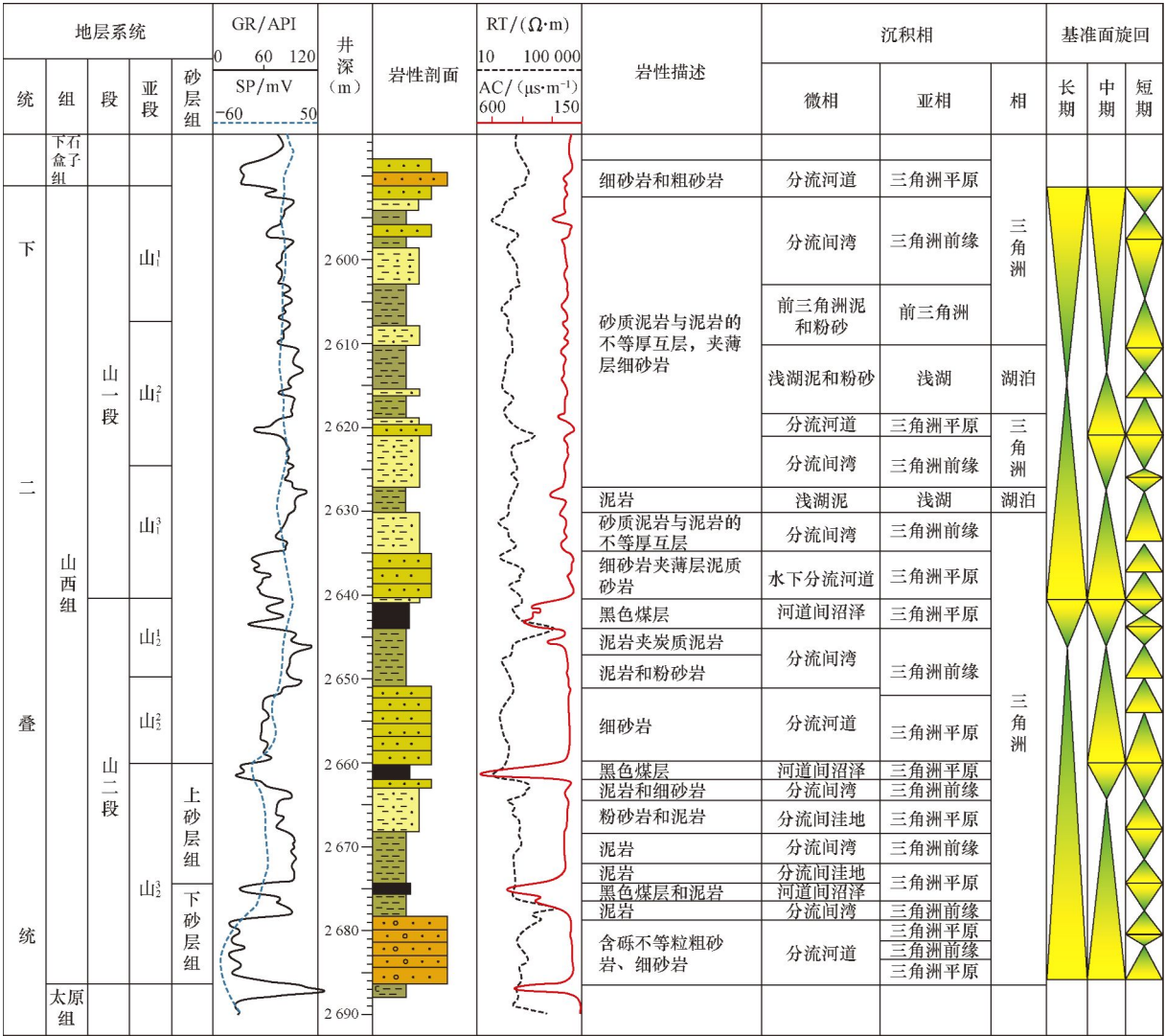


图 2 子洲地区 Y43 井二叠系山西组层序地层和沉积相柱状图
Fig. 2 Synthetic column of sequence stratigraphy and sedimentary facies of
the Permian Shanxi Formation in Well Y43 in Zizhou area
(山₂³ 亚段发育 3[#]和 5[#]煤层。)

山一段各自又划分为 3 个亚段(表 1;图 2),其中山₂³亚段是子洲气田的主力产层。通过详细对比地层,山₂³亚段又分为上、下两个砂层组。山二段沉积期,盆地南、北差异沉降相带分异较明显,湖盆范围较小,湖岸线更偏南边,古气候潮湿有利于植物大量生长。山二段含 3~5 层分布较广的煤层,并且其碎屑粒度偏粗、颜色偏深。山一段沉积期,古地理和气候发生了一些变化,随着北部构造逐渐稳定,粗粒物源供给减少,盆地进入相对稳定沉降阶段,发生相对较大规模的湖侵。伴随着湖侵,三角洲平原区和前缘区向北迁移和退缩,整体成煤条件变差^[16-18]。

2 高分辨率层序地层划分

通过区内钻井岩心、测井、地震及镜下鉴定等资料综合分析,将山西组划分为 2 个长期基准面旋回(本文中常简称为长期旋回,中、短期亦然),山二段和山一段分别构成一个长期旋回(代号分别为 LSC1 和 LSC2)。LSC1 由 2 个中期旋回(代号分别为 MSC1 和 MSC2)、8 个短期旋回(代号分别为 SSC1—SSC8)构成;LSC2 亦由 2 个中期旋回(MSC3 和 MSC4)、8 个短期旋回(SSC9—SSC16)构成(表 1)。长期基准面旋回相当于经典层序地

层学中的三级层序,两个长期旋回平均时限约 2.5 Ma,符合 Veil^[19]和 Cooper^[20]等拟定的三级层序时限。在长期旋回 LSC1 中,山₂³亚段构成一个中期旋回(MSC1);山₂²(山西组二段第二亚段)和山₂¹(山西组二段第一亚段)亚段构成另一个中期旋回(MSC2)。

2.1 层序界面和湖泛面

不同级别层序界面及其成因类型的识别是建立层序地层格架的基础。层序地层工作流程是先识别出长期旋回层序界面和最大湖泛面,在此基础上再进行次一级层序地层的划分。

山西组底与太原组之间的界面为区域上构造不整合面,即区域上广泛分布的北盆沟砂岩底界面,砂岩底部有强烈的冲刷面。此界面是长期旋回 LSC1 之底界,在地震反射剖面对应于 T_p 波组。此界面代表着太原组海相沉积后的间断暴露,太原组东大窑灰岩顶部有时可见古岩溶现象。由此界面向上,沉积环境由滨浅海转变为大陆湖盆三角洲。

山一段与山二段之间的界面即山西组一段底部的铁磨沟砂岩底界面(表 1;图 2)。此界面是长期旋回 LSC2 之底界。

石盒子组与山西组之界面为区域上不整合面,即区域上分布较广泛的骆驼脖子砂岩底界,与下伏山西组常呈冲刷不整合接触(表 1;图 2)。当骆驼脖子砂岩不发育时,常有古土壤层存在,为富钙质结核泥岩,在测井中为 K₄ 标志层,其指示层位与该界面相当。该界面亦是古气候转换面,界面之下古气候潮湿,利于泥炭沼泽发育;界面之上古气候向半干旱—干旱转变,不利于形成泥炭。

山二段和山一段中的纯泥岩段属于最大湖泛面期沉积的浅湖相泥岩,其区域上对比性较好(图 2)。

长期旋回的内部可识别出不同次级规模的冲刷面和岩性转换面,这些界面是短、中期基准面旋回的主要界面。砂、泥岩旋回(传统的旋回地层)的识别依然是高分辨率层序地层划分短、中期基准面旋回的基础,在此不赘述。

2.2 煤层在高分辨率层序地层中的位置

华北地区上古生界含煤层序地层研究是近年来地学界关注的热点之一。上古生界含煤层系是

本区重要的气源岩,也是重要的盖层。鄂尔多斯盆地上古生界地层划分,长庆油田采用了区域上分布比较稳定的煤层作为岩石地层组段划分的标志。目前,不同学者对煤层在层序地层中位置的意见分歧较大。有的认为煤层形成于一个事件的开始,或者是一个事件的结束^[1,21]。另外学者甚至认为煤层分布于最大湖泛面附近,即基准面上升的晚期到下降的早期^[22]。前人关于鄂尔多斯盆地上古生界层序地层研究在三级层序中也牵涉到煤层,但对于分布范围较小的煤层在层序地层中的位置和涵义未作讨论,高分辨率层序地层中的煤层分布规律也尚待深入研究。

煤作为一种特殊的沉积产物其前身是泥炭,泥炭大量堆积的沉积环境是沼泽,沼泽是陆地上植物丛生、具有泥炭堆积的低洼潮湿地段。沼泽的发育条件是一般气候较潮湿,区域构造相对稳定,陆源碎屑沉积物趋于停息,此时有利于沼泽植被大量繁盛。只有当沉积环境大面积泥炭沼泽化才能形成范围广且分布较稳定的煤层。

子洲地区山₂³亚段地层可识别出 5 个煤层,从下至上分别编号为 1[#],2[#],...,5[#]。除 5[#]煤层在盆地范围分布较广外,其余几个煤层仅在子洲地区及邻区零星分布。煤层是高分辨率层序地层基准面旋回划分的标志之一,尤其在砂体欠发育区域的高分辨率层序地层划分中起作用。

地层纵向上,当 1[#]和 2[#]煤层分布于下砂层组下部时,河道砂体一般欠发育。平面上,1[#]和 2[#]煤层零星分布,且主要分布在工区南部(图 3a,b);3[#]和 4[#]煤层在全区呈鸡窝状分布,分布范围相对较广(图 3c,d)。在平面上,1[#]—4[#]煤层分布与河道分布呈互补关系。在远离河道的泥炭沼泽区,煤层厚度大,灰分低,所夹矸石层少;向河道方向,煤层分叉变薄,灰分高,向碎屑岩过渡。山₂³亚段顶部的 5[#]煤层分布很广且厚度较大,覆盖全区(图 3e),是子洲地区及邻区山二段地层段划分对比的标志。5[#]煤层之顶界也是中期旋回的界面(MSC2/MSCl 界面)。

湖盆三角洲地区煤的聚集与湖平面升降关系密切。因受湖侵影响,下三角洲平原洼地积水淹没易演化成为成煤沼泽;上三角洲平原基本上不受湖水侵漫影响,其成煤环境类似于河流沉积体系中的河漫沼泽。上、下三角洲的分界线是随着湖平面升降及滨线轨迹迁移而发生迁移的。

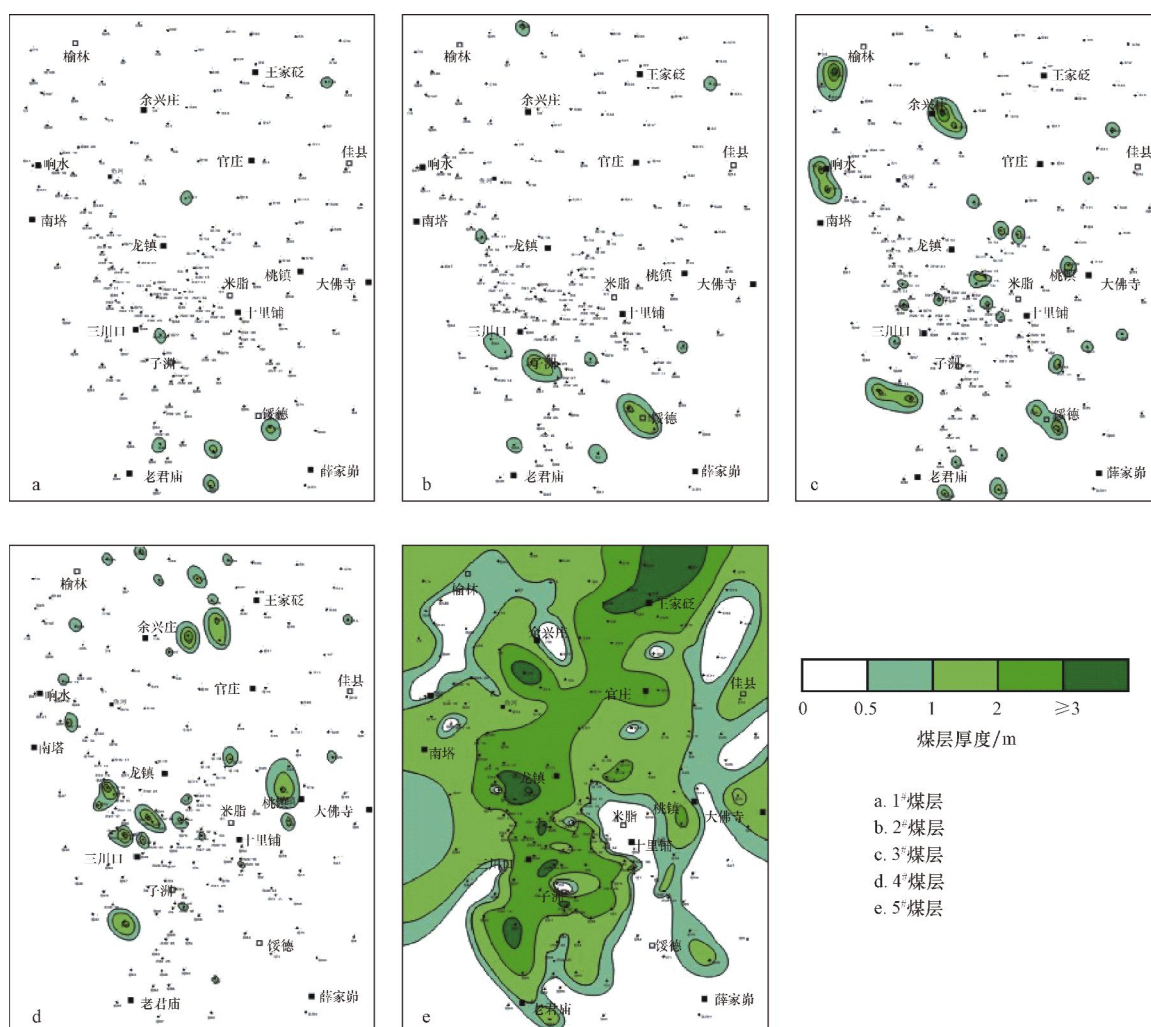


图3 子洲地区及邻区山₂³亚段中5个煤层平面分布

Fig. 3 Planar distribution of the 5 coal beds in the Shan-2³ sub-member of Zizhou and its adjacent areas

山₂³亚段底部的1[#]煤层很稀少,且很难与太原期陆表海滨岸环境的残留煤层相区分,在此暂且不作讨论。2[#],3[#]和4[#]煤层是中期旋回基准面MSC1上升过程中沉积的,每个层位中煤层代表着短暂的湖进-湖退,因此每个煤层顶部相当于短期旋回之顶部。山₂³亚段顶部分布广、厚度大的5[#]煤层是中期旋回基准面MSC1下降过程中沉积的。山₂³亚段顶部5[#]煤层相当于经典层序地层学中高水位晚期或低水位时期的沉积产物。

3 层序地层结构类型及叠加样式

3.1 中期旋回层序结构

山₂³亚段所构成的中期基准面旋回MSC1属

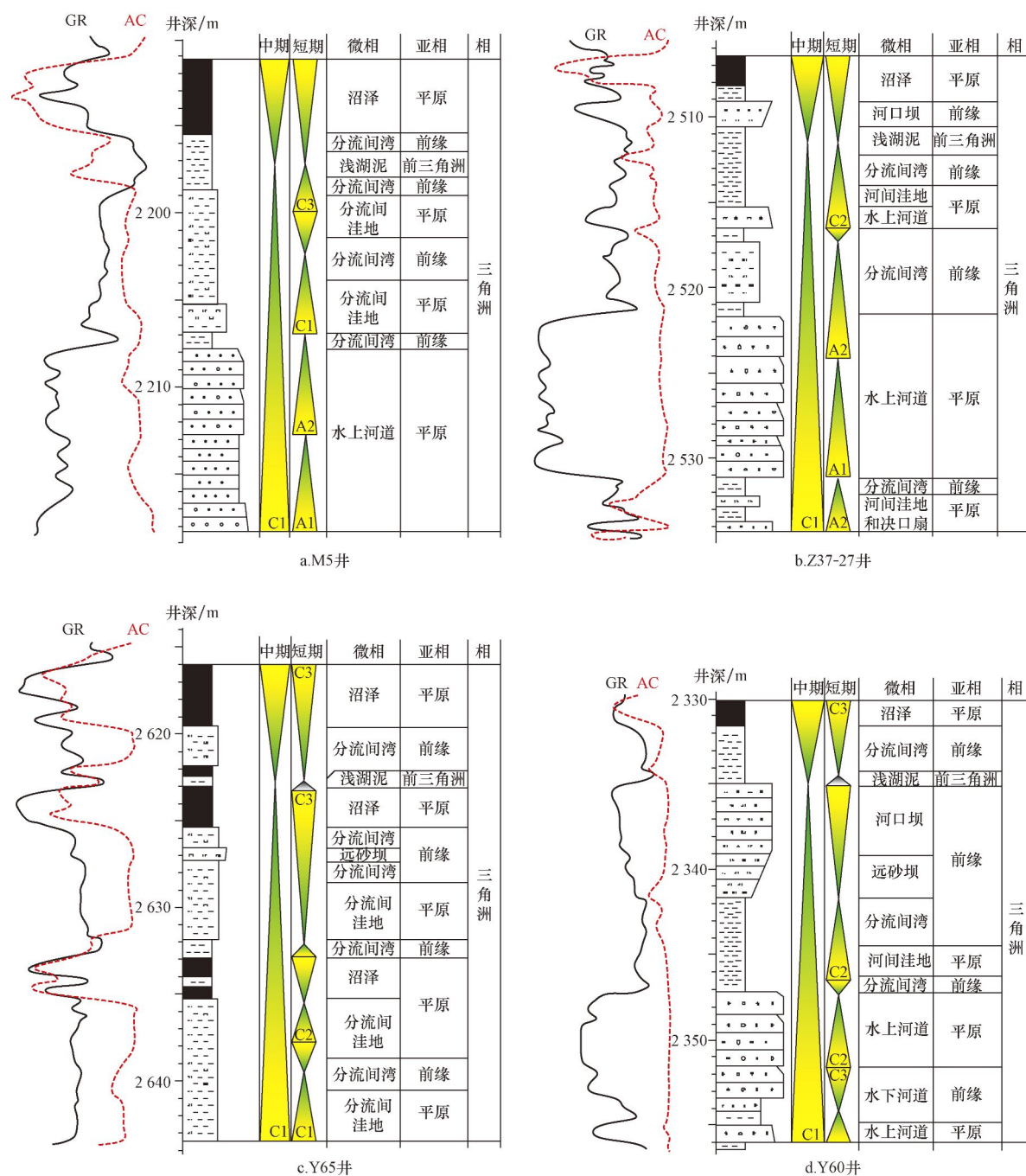
于以上升半旋回为主、下降半旋回为辅的不完全对称型旋回(表1;图2,图4)。图4中从北往南(从M5井至Y60井)的相序图中,三角洲平原亚相比比例递减,三角洲前缘亚相比比例递增。

3.2 短期旋回层序结构

湖盆沉积层序受湖平面升降、沉积物供给、地形和气候条件等因素的控制。在区域气候及构造因素相似的背景下,子洲地区及邻区山二段三角洲环境层序地层主要受湖平面升降和三角洲特殊沉积格局(分流河道和分流间洼地/间湾)的控制。

1) 向上“变深”非对称型旋回(A型)

非对称型旋回形成于沉积物补给率远大于可容纳空间增长率的高补偿条件下,以仅保存上升半旋回沉积记录和发育向上加深、变细的沉积序

图4 子洲地区山₂³亚段中、短期基准面旋回结构和相序Fig. 4 Structure and facies sequence of the middle to short base-level cycles in the Shan-2³ sub-member of Zizhou area

[中期旋回是以上升旋回为主的不完全对称型(C1)。短期旋回结构分5种类型:低(A1)、高(A2)可容空间向上变“深”非对称型,上升、下降半旋回对称型(C2),以上升半旋回为主的不完全对称型(C1)和以下降半旋回为主的不完全对称型(C3)。图4a—d所示井在研究区从北往南依次分布,每口井均有5#煤层,Y65井还有4#和3#煤层。]

列为特征,而下降半旋回则以侵蚀冲刷作用为特征。根据可容纳空间与沉积物供给比的变化,此类型旋回可细分为低和高可容纳空间两种亚类型。低可容纳空间亚类型出现在三角洲平原分流河道彼此叠置处,岩性主要为单一的含砾粗-中粒

砂岩,层序底界为底冲刷面,向上略趋“加深”、变细的沉积序列,往往由主河道砂体组成,不发育泥质隔层,自然伽马曲线多为箱形或钟形(图4中A1型)。高可容纳空间亚类型岩性组合下粗上细,底部与下伏地层大多数呈岩性突变的底冲

刷关系,由下而上粗-中粒砂岩向上变为粉砂岩、泥岩,构成向上变细、“加深”的沉积序列(图4中A2型)。与前者相比较,高可容纳空间亚类型层序中、下部的河道砂体保存较完整,层序上部为三角洲前缘分流间湾细粒沉积,或者为堤岸细粒沉积。

2) 对称型或近于对称型旋回(C型)

子洲地区山₂³亚段中对称型旋回类型具有如下特点:①基准回上升和下降半旋回都有沉积记录;②层序由下部向上变细的正韵律和上部向粗的反韵律叠加组成,测井曲线形态为钟形-漏斗形组合(图4);③主要形成于沉积补给率接近至略低于可容空间增长率的弱补偿沉积条件下;④按上、下两个时间单元厚度比可细分为以上升半旋回为主的不完全对称型(图4中C1型)、上升和下降半旋回近于相等的对称型(C2型)及以下下降半旋回为主的不完全对称型(C3型)3类。C1型下部沉积环境一般是三角洲平原,向上演变为三角洲前缘;C2型沉积环境演变从下至上常是三角洲平原—三角洲前缘—三角洲平原;C3型从下部的三角洲前缘(甚至前三三角洲)向上变为三角洲平原(图4a,c,d)。

4 沉积模式和滨线迁移对成煤环境的影响

4.1 山₂³亚段沉积模式

早二叠世,沉积盆地受南北向挟挤力使基底抬升,由海盆演化为湖盆。沉积古地貌北高南低,由北往南顺地势依次展布冲积扇、河流冲积体系,湖泊三角洲乃至浅湖沉积环境。

子洲地区及邻区山二段沉积期为浅水台地型湖泊三角洲沉积环境,湖泊水体较浅,三角洲平原坡度亦很小。当时,湖泊作用相对较弱,河流和分流河道作用较强。河流进入三角洲平原经过分流后,流速减缓使砂砾质主要卸载于三角洲平原分流河道中,少量卸载于三角洲前缘水下分流河道和河口坝。因此,三角洲平原分流河道砂体很发育;三角洲前缘砂体相对不发育,河口坝和远砂坝的规模较小且粒度偏细。

子洲地区及邻区山二段沉积期湖盆三角洲不是鸟足状三角洲或舌形三角洲,即不是由一条主

河道输入砂泥质,并且在三角洲前缘形成巨厚的水下分流河道和河口坝砂体。子洲气田山₂³亚段三角洲相属于盆地短轴方向的辫状三角洲,三角洲平原分流河道砂体主要呈辫状(晚期略显网状)相互叠置。

山西组山₂³亚段下砂层组沉积时,研究区南部为浅湖三角洲前缘环境,三角洲地势相对较陡,子洲地区及其以南属下三角洲平原和三角洲前缘环境,下三角洲地区受间歇性小规模湖侵影响,成煤环境分布很局限。龙镇和余兴庄属上三角洲平原,未受湖侵影响,其零星的成煤环境相当于河流体系中的河漫沼泽(图3a,图3b,图5c)。

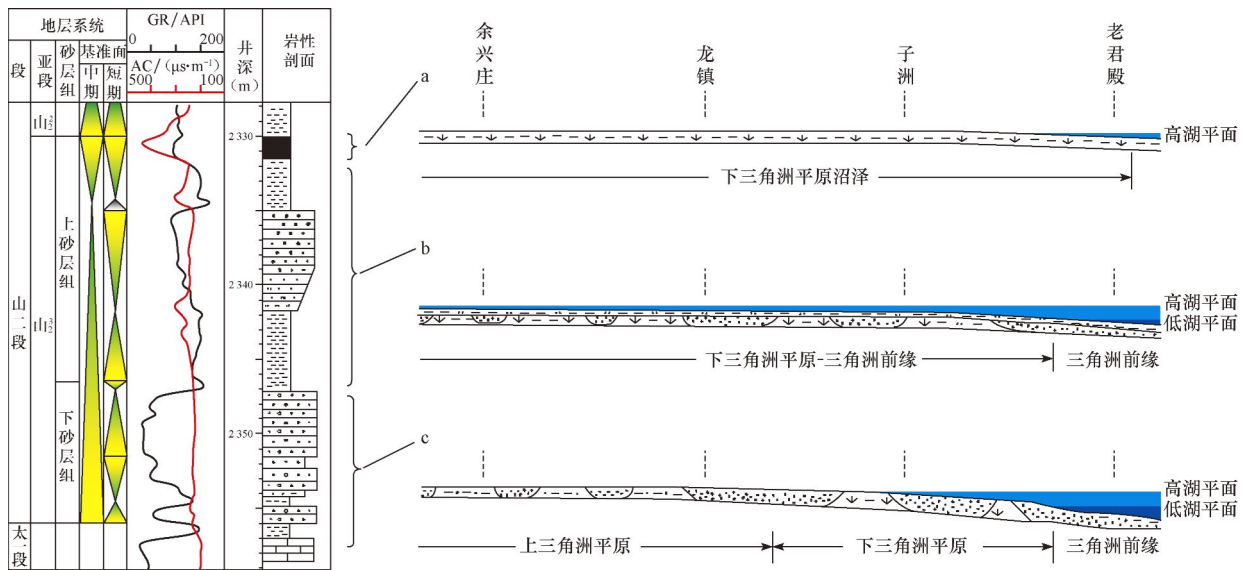
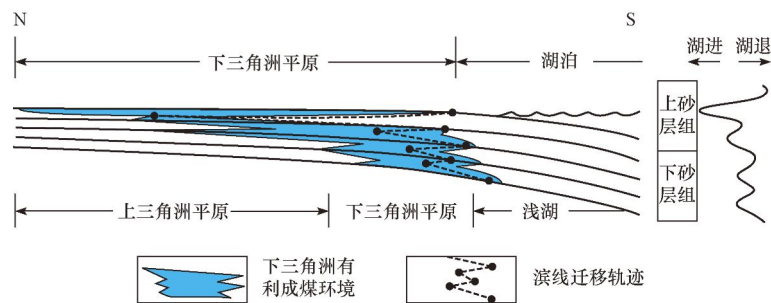
山₂³亚段上砂层组沉积时,通过三角洲前积和加积作用,地势逐渐变得平坦,湖平面升降所影响的范围变大,导致三角洲平原下部大面积被淹没和暴露,有利于形成沼泽环境。山₂³亚段沉积初期,研究区沉积环境从北到南依次是上三角洲平原—下三角洲平原—三角洲前缘(图5c);随着湖平面逐渐上升,演变成下三角洲平原—三角洲前缘过渡带为主,成煤环境逐渐扩张(图5b)。到了山₂³亚段沉积末期,整个研究区演变成下三角洲平原,最后一次较大湖侵后湖退使下三角洲平原广泛发育积水洼地,全区演变除南缘外全部沦为成煤沼泽环境(图3e,图5a)。

4.2 山₂³亚段滨线迁移轨迹与成煤环境演变

轨迹分析法是挪威地质学家 Hampson 等人提出的一种新的层序地层学分析研究方法^[23-26]。轨迹分析法主要研究地貌和相关沉积环境的横向和纵向迁移,强调迁移的路径和方向,这样可以增强我们对“随着时间沉积古环境条件和岩性分布的变化”的理解。目前,这种方法正在应用于沉积层序倾角方向的二维剖面(2D)研究中。研究主要分为两个领域:①海岸线轨迹和相关滨海沉积体系研究;②大陆架边缘轨迹和相关的大陆架斜坡加积作用及盆地基底沉积体系研究。

子洲地区及邻区山西组山₂³亚段滨线轨迹和沉积模式相结合研究的实践表明,这种分析方法对于认识高分辨率层序地层与煤层沉积之间的关系,对于气田开发地质中砂层组和砂层划分方案之优化都是颇有裨益的(另著文叙述)。

山₂³亚段是以基准面上升为主、下降为辅不完全对称型的中期旋回,包含了4次短期级湖进-湖

图5 子洲地区及邻区山西组山₂³亚段沉积模式演化示意图Fig. 5 Schematic diagram showing the evolution of the sedimentary modes of the Shan-2³ sub-member in Zizhou and its adjacent areas图6 子洲地区及邻区山西组山₂³亚段滨线迁移轨迹和成煤环境变化示意图Fig. 6 Schematic diagram showing the shoreline trajectories and changing coal-forming environment of the Shan-2³ sub-member in Zizhou and its adjacent areas

退过程,由此形成了山₂³亚段2[#]—5[#]4个煤层,由于各个短期湖进规模及持续时间不同,形成的煤层丰度和分布范围各不相同(图3)。整个山₂³亚段沉积时期,湖岸线曾经阶段性进退并逐渐向北迁移,最后一次湖进时岸线往北推移的距离最远,使全区沦为被湖水淹没的三角洲前缘,甚至是前三角洲环境。最后一次湖退使岸线退到研究区南部(图6),南部边缘仍处在湖水淹没环境,不利于泥炭沼泽发育(图3e)。2[#]—5[#]煤层顶部大致代表着短期旋回的结束;5[#]煤层顶部代表着短期旋回,同时也代表着中期旋回的结束。

通过沉积补偿,山₂³亚段沉积末期三角洲区地势逐渐平坦,地形坡度远小于1°,湖平面升降所影响的范围也逐渐变大。同时,下三角洲平原

范围变得很大,最后一次湖退暴露的下三角洲平原上积水洼地多,气候潮湿、植物茂盛,加之陆源粗碎屑供应量骤然减少,大面积沼泽泥炭化最终形成了几乎覆盖全区的较厚的5[#]煤层(图3e)。

5 结论

1) 山西组划分为2个长期基准面旋回,山二段和山一段分别构成一个长期旋回(LSC1和LSC2)。LSC1包含2个中期基准面旋回(MSC1和MSC2),山₂³亚段构成一个中期旋回(MSC1);山₂²和山₂¹亚段构成另一个中期旋回(MSC2)。MSC1由4个短期基准面旋回(SSC1, SSC2, SSC3和

SSC4)组成。

2) 湖盆三角洲地区煤的聚集与湖平面升降关系密切。下三角洲平原分流间沼泽被湖水淹没、洼地积水、植被茂盛可演变成为含煤沼泽。上三角洲平原基本上不受湖水侵漫影响,其成煤环境类似于河流沉积体系中的河漫沼泽。上、下三角洲的分界线是随着湖平面升降及滨线轨迹迁移而发生迁移的。

3) 山_2^3 亚段是以间断性湖进-湖退为特征的三角洲环境的沉积产物。 山_2^3 亚段代表的中期旋回是以基准面上升为主、基准面下降为辅的不对称型旋回。整个 山_2^3 亚段沉积时期,发生了4次短期湖进-湖退过程,由此形成了2[#]—5[#]4个煤层,各煤层规模和分布范围不尽相同。2[#]、3[#]和4[#]煤层沉积于MSC1上升半旋回。分布最广的5[#]煤层沉积于MSC1下降半旋回。 山_2^3 亚段沉积晚期,三角洲地区地势变得愈加平缓,下三角洲平原范围变得越来越大,最后一次规模较大的湖进使全区沦为三前洲前缘甚至前三三角洲环境,湖水退却后下三角洲平原大面积沼泽泥炭化,形成了几乎覆盖全区的较厚的5[#]煤层。

4) 轨迹分析法是一种新的层序地层学分析方法。子洲地区及邻区山西组 山_2^3 亚段滨线轨迹和沉积模式相结合的研究实践表明,这种分析方法对于认识高分辨率层序地层和煤层沉积演化规律是颇有裨益的。

参 考 文 献

- [1] 李增学,王明镇,余继峰等.鄂尔多斯盆地晚古生代含煤地层层序地层与海侵成煤特点[J].沉积学报,2006,24(6):834-840.
Li Zengxue, Wang Mingzhen, Yu Jifeng, et al. Sequence stratigraphy of Late Paleozoic coal-bearing measures and the transgressive coal-formed features in Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(6): 834-840.
- [2] 李增学,余继峰,杜振川.含煤地层高分辨率层序地层研究的现状与展望[J].山东科技大学学报(自然科学版),2001,20(4):8-12.
Li Zengxue, Yu Jifeng, Du Zhenchuan. Status quo and prospects of the study on the coal-bearing measures with high-resolution sequence stratigraphy[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 2001, 20(4): 8-12.
- [3] 侯瑞云.大牛地气田盒一段低孔渗砂岩储层特征[J].石油与天然气地质,2012,33(3):467-478.
Hou Ruiyun. Reservoir characteristics of low porosity and permeability sandstone of Member I of Xiashihezi Formation in Daniudi gas field, Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(3): 467-478.
- [4] 王永建,王延斌,李霞,等.大牛地气田上古生界储层物性差异影响因素[J].石油实验地质,2011,33(5):513-516.
Wang Yongjian, Wang Yanbin, Li Xia, et al. Controlling factors of physical property of Upper Paleozoic reservoir, Daniudi Gas Field[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(5): 513-516.
- [5] 张松扬.大牛地气田致密砂岩储层测井评价[J].石油物探,2010,49(4):415-420.
Zhang Songyang. Logging evaluation technique for tight sandstone reservoir in Daniudi Gasfield[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2010, 49(4): 415-420.
- [6] 琚惠姣,孙卫,杨希濮,等.鄂尔多斯盆地延安地区山2段储层特征及其主控因素[J].断块油气田,2011,18(2):142-145,157.
Ju Huijiao, Sun Wei, Yang Xipu, et al. Reservoir characteristics and main controlling factors of P_1s^2 member in Yan'an Area, Ordos Basin[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2011, 18(2): 142-145, 157.
- [7] 刘双莲,李浩,周小鹰.大牛地气田大12—大66井区沉积微相与储层产能关系[J].石油与天然气地质,2012,33(1):45-49.
Liu Shuanglian, Li Hao, Zhou Xiaoying. Relationship between sedimentary microfacies and reservoir productivity in Da12-Da66 wellblock, Daniudi gas field[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 45-49.
- [8] 李君文,陈洪德,田景春,等.塔巴庙区块山西组高分辨率层序地层学研究[J].油气地质与采收率,2005,12(5):1-4.
Li Junwen, Chen Hongde, Tian Jingchun, et al. Study on high-resolution sequence stratigraphy of Shanxi Formation Tabamiao block[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2005, 12(5): 1-4.
- [9] 李增学,韩美莲,魏久传,等.鄂尔多斯盆地上古生界高分辨率层序划分与煤聚积规律分析[J].中国石油大学学报(自然科学版),2008,32(1):5-12.
Li Zengxue, Han Meilian, Wei Jiuchuan, et al. Analysis of high-resolution sequence stratigraphy and coal accumulation law of Upper Paleozoic erathem in Ordos Basin[J]. Journal of China University of Petroleum (Natural Science), 2008, 32(1): 5-12.
- [10] 彭海艳,刘家铎,陈洪德.鄂尔多斯盆地东部山西组高分辨率层序地层与天然气聚集研究[J].石油物探,2008,47(5):519-525.
Peng Haiyan, Liu Jiaduo, Chen Hongde. High-resolution sequence stratigraphy and gas accumulation of Shanxi Formation in east Ordos Basin[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2008, 47(5): 519-525.

- [11] 郑荣才,周祺,王华,等.鄂尔多斯盆地长北气田山西组2段高分辨率层序构型与砂体预测[J].高校地质学报,2009,15(1):69-79.
Zheng Rongcai,Zhou Qi,Wang Hua,et al. The high-resolution sequence architecture and sandbody prediction of the second member of Shanxi Formation in Changbei gas field,Ordos Basin[J]. Geological Journal of China Universities,2009,15(1):69-79.
- [12] 郑荣才,文华国,梁西文.鄂尔多斯盆地上古生界高分辨率层序地层分析[J].矿物岩石,2002,22(4):66-74.
Zheng Rongcai,Wen Huaguo,Liang Xiwen. Analysis of high-resolution sequence stratigraphy for Upper Paleozoic in Ordos Basin[J]. Mineral Petrology,2002,22(4):66-74.
- [13] 郭英海,刘焕杰.陕甘宁地区晚古生代沉积体系[J].古地理学报,2000,2(1):19-30.
Guo Yinghai,Liu Huanjie. The Late Paleozoic depositional systems of Shanxi-Gansu-Ningxia area[J]. Journal of Palaeogeography,2000,2(1):19-30.
- [14] 赵时久,陈家怀,陈善庆.滇东田坝黔西土城晚二叠世煤系上段沉积相及含煤性[J].沉积学报,1988,6(4):62-71.
Zhao Shijiu,Chen Jiahui,Chen Shanqing. Facies and coal-bearing characters of the upper member of the Late Permian coal measures in Tianba[J]. Acta Sedimentologica Sinica,1988,6(4):62-71.
- [15] 付锁堂,田景春,陈洪德,等.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,2003,30(3):236-241.
Fu Suotang,Tian Jingchun,Chen Hongde,et al. The delta depositional system distribution of Late Paleozoic era in Ordos Basin[J]. Journal of Chengdu University of Technology,2003,30(3):236-241.
- [16] 陈昭佑,王光强.鄂尔多斯盆地大牛地气田山西组砂体组合类型及成因模式[J].石油与天然气地质,2010,31(5):632-639.
Chen Zhaoyou,Wang Guangqiang. Assemblage types and genetic models of the Shanxi sandbodies in Daniudi gas field,the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology,2010,31(5):632-639.
- [17] 张广权,陈舒薇,郭书元.鄂尔多斯地区东北部大牛地气田山西组沉积相[J].石油与天然气地质,2011,31(3):338-396,403.
Zhang Guangquan,Chen Shuwei,Guo Shuyuan. Sedimentary facies of the Shanxi Formation in Daniudi gas field,northeastern Ordos area[J]. Oil & Gas Geology,2011,31(3):338-396,403.
- [18] 董昭雄,沈昭国,何国贤,等.鄂尔多斯盆地大牛地气田山1段储层与沉积微相的关系[J].石油与天然气地质,2010,30(2):162-167.
Dong Zhaoxiong,Shen Zhaoguo,He Guoxian,et al. Relationship of sedimentary microfacies with reservoirs in the Shan-1 member of the Daniudi gas field,Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology,2010,30(2):162-167.
- [19] Veil P R,Audemard F,Bowman S A,et al. The stratigraphic signatures of tectonics,eustasy and sedimentology—an overview [C]//Einsele G,Ricken W,Seilacher A. Cycles and events in stratigraphy. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag,1991. 617-659.
- [20] Cooper M R. Tectonic cycles in Southern Africa[J]. Earth Science Review,1990,28(4):321-364.
- [21] 程爱国,魏振岱.华北晚古生代聚煤盆地层序地层与聚煤作用关系的探讨[J].中国煤田地质,2001,13(2):7-8,11.
Cheng Aiguo,Wei Zhendai. Research on relationship between sequence strata and coal accumulation of Late Palaeozoic coal,accumulating Basin in northern China[J]. Coal Geology of China,2001,13(2):7-8,11.
- [22] 梁积伟,李文厚,张峰,等.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,2007,35(1):7-11.
Liang Jiwei,Li Wenhui,Zhang Feng et al. Coal-accumulation of lower member of Shanxi Formation in northeastern Ordos Basin[J]. Coal Geology & Exploration,2007,35(1):7-11.
- [23] Henriksen S,Hampson G J,Helland-Hansen W,et al. Shelf edge and shoreline Trajectories,a dynamic approach to stratigraphic analysis[J]. Basin Research,2009,21(5):445-453.
- [24] Helland-Hansen W,Hampson G J. Trajectories analysis: concepts and applications [J]. Basin Research,2009,21(5):454-483.
- [25] Hampson G J,Sixsmith P J,Kieft R L,et al. Quantitative analysis of net-transgressive shoreline trajectories and stratigraphic architectures,Mid-to-Late Jurassic of the North Sea rift basin [J]. Basin Research,2009,21(5):528-558.
- [26] Bullimore S A,Helland-Hansen W. Trajectory analysis of the lower Brent Group (Jurassic),northern North Sea—contrasting depositional patterns during the advance of a major deltaic system[J]. Basin Research,2009,21(5):559-572.

(编辑 李 军)