

文章编号: 1001-6112(2008)04-0345-07

鄂尔多斯盆地中东部下二叠统 山西组二段沉积相

邢厚松¹, 肖红平², 孙粉锦³, 肖建新⁴, 刘锐娥², 张春林², 蔺洁²

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 2. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院
天然气地质所, 河北廊坊 065007; 3. 中国矿业大学, 北京 100083; 4. 中国地质大学, 北京 100083)

摘要:从露头分析和岩心观察入手,应用现代沉积学原理,对鄂尔多斯盆地东缘山西组二段露头和盆内岩心中的沉积序列及构造特征进行详细描述。山二段砂岩露头及岩心中广泛发育韵律层理、块状层理、侧积交错层理等高流态层理,露头砂体为透镜状,并在一定范围内相互切割、叠置成宽度和厚度巨大的带状砂层,体现了辫状河高流态及辫状河道砂体频繁摆动、迁移的特征。通过岩石沉积相、测井沉积相、砂体厚度、古地形结合古地理背景等多因素综合分析认为,山二段沉积时期研究区发育远源砂质辫状河—“浅水型”三角洲沉积体系,自北向南依次发育冲积平原辫状河、辫状河三角洲平原、辫状河三角洲前缘、前辫状河三角洲或滨海浅湖相,并识别出辫状河主水道、河漫沼泽、三角洲前缘河口坝等多种亚相、微相类型,明确认为辫状河主水道部分形成的宽厚巨大的主砂带是有利勘探相带。

关键词:沉积特征;沉积相;“浅水型”三角洲;砂质辫状河;山西组二段;下二叠统;鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

SEDIMENTARY FACIES OF MEMBER 2 OF SHANXI FORMATION OF LOWER PERMIAN IN THE MIDDLE-EASTERN ORDOS BASIN

Xing Housong¹, Xiao Hongping², Sun Fenjin³, Xiao Jianxin⁴, Liu Ruie², Zhang Chunlin², Lin Jie²

(1. *Research Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;*
2. *Research Institute of Natural Gas, Langfang Branch, Research Institute of Petroleum Exploration and
Development, CNPC, Langfang, Hebei 065007, China;* 3. *China University of Minerals, Beijing 100083,
China;* 4. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China*)

Abstract: Sedimentary sequence and tectonic features of outcrops and cores in Member 2 of Shanxi Formation in the east edge of Ordos Basin are studied with modern sedimentary mechanisms. Rhythmic stratification, block stratification and lateral accretion cross stratification are widely found in outcrops and cores of Member 2 of Shanxi Formation. Outcrop sands are lenticular, cutting each other and piling to large sand belts, due to frequent migrations of braided-river sands. Based on studies of rock sedimentary facies, well logging sedimentary facies, sandbody thickness, palaeotopography and palaeogeologic background, it is pointed out that, when Member 2 of Shanxi Formation deposits, sandy braided-river and shallow water delta system is formed, which can be divided into alluvial plain braided-river, braided-river delta plain, braided-river delta front, frontal braided-river delta or seashore shallow lake facies from north to south. Braided-river main channel, alluvial marsh, delta front debouch bar are distinguished. Main sand belt with large width and thickness proportion in main channel of braided-river is favorable for petroleum exploration.

Key words: sedimentary features; sedimentary facies; shallow water delta; sandy braided-river; Member 2 of Shanxi Formation; Lower Permian; the Ordos Basin

收稿日期: 2007-09-10; 修订日期: 2008-06-12; © 2008 Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

作者简介: 邢厚松(1967-),男,高级工程师,主要从事油藏评价工作。E-mail: xhs69@petrochina.com.cn。

基金项目: 国家“十五”重大科技攻关项目(2004BA616A03)和国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2003CB214602)。

1 区域概况

研究区位于鄂尔多斯盆地中东部,北至东胜,南至延安,西至乌审旗,东到盆地东缘(图1)。其基本地质背景与华北地台相似,主要目的层下二叠统山西组沉积时期气候温暖湿润,有利于植物生长发育和泥炭堆积,发育海陆过渡相沉积的“广覆式”生烃的煤系地层和“源储互层”式成气系统^[1,2]。20世纪90年代后期至今,在研究区上古生界相继发现并探明的榆林、子洲等储量达千亿方级大气田,都是以山西组二段(以下简称山二段)为主要储集层,按照沉积旋回在山二段内部可划分为3个砂层组,分别为山二¹、山二²、山二³(图2)。山二段砂岩体储集体具有以下基本特征:砂岩体垂向厚度和横向宽度变化较大,呈近南北延伸的带状展布,岩性以含砾粗砂岩及中一粗砂岩为主,岩石组分以石英砂岩为主,其次为岩屑砂岩,孔隙类型为粒间孔和粒间溶孔。随着油气勘探开发的不断深入,能否继续在该区找到类似的气田(气藏),扩大勘探领域,准确识别主要目的层段的沉积相类型,并详细

分析沉积相带的展布规律,无疑是首先要解决的问题。本次研究在消化、总结前人研究成果的基础上^[3~13],通过对盆缘典型露头剖面、盆内重点钻井岩心沉积构造特征的观察描述,多因素综合分析认为,研究区山西组二段具有远源砂质辫状河—“浅水型”三角洲沉积体系特征。

2 沉积相类型

2.1 砂质辫状河

辫状河也称作游荡性河道,河道与河道砂坝的频繁迁移是其最重要特点,在不同地质、地理背景和气候特征下可形成不同沉积模式^[14]。鄂尔多斯中东部地区在经历了石炭系本溪组、太原组填平补齐沉积作用后,早二叠世早期华北地台陆表海大规模海退而处于滨海平原环境。研究区古地形恢复研究表明,山西组沉积初期盆地中东部地区为自北向南倾斜的宽缓广阔斜坡,具有南倾古斜坡背景和湿热气候特征,发育潮湿气候环境下的砂质辫状河平原。研究区北部阴山古陆提供了主要物源^[15]。山二段沉积时期研究区内辫状河沉积相平面上分布在北部靠近物源一侧,通过露头和岩心特征可识别出辫状河主水道和洪泛平原2种亚相。

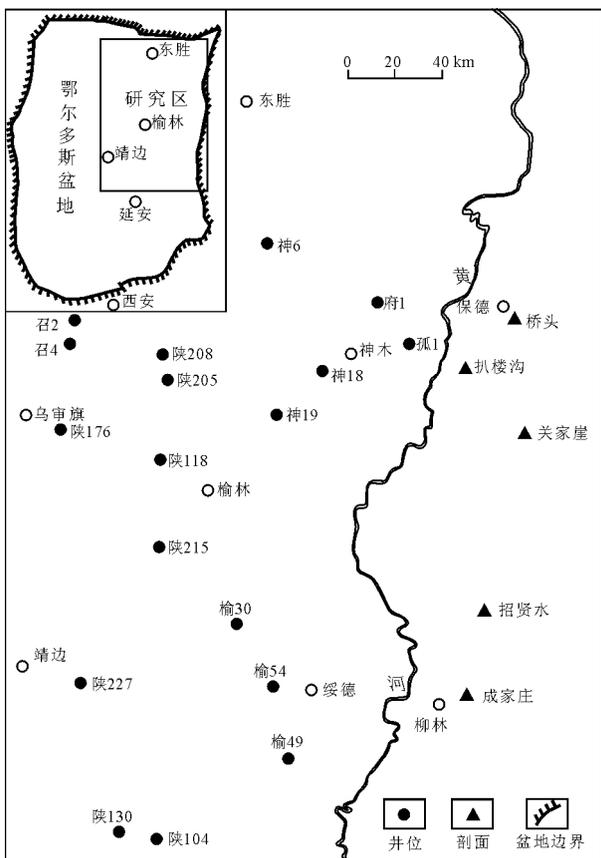


图1 研究区位置及观察露头、井分布
Fig.1 Location, observation wells and outcrops of study area

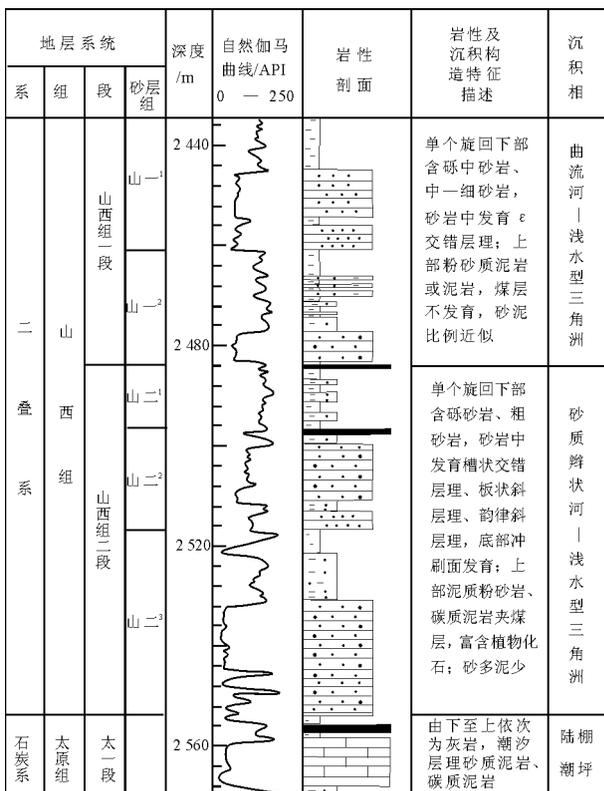


图2 鄂尔多斯盆地中东部山西组二段地层综合柱状剖面
Fig.2 Composite columnar section of Member 2 of Shanxi Formation in the Middle-Eastern Ordos Basin

2.1.1 辫状河主水道

研究区北部砂岩颗粒磨圆度中等,多呈次圆状一次棱角状;颗粒分选中一较差,结构成熟度较低。反映沉积时沉积物搬运的距离距物源区较近的特点。

心滩(砂坝)微相:心滩微相位于河底滞留沉积微相之上,平面上位于河道中心。沉积物粒度以含砾粗砂、中砂为主,总分选较差(图3a)。沉积构造发育大型槽状交错层理、侧积交错层理、平行层

理。自然伽马曲线形态多样,包括箱形、塔形及组合形态等。扒楼沟剖面山二²砂岩中发育特征明显的垂向沉积序列,最底部为河床滞流沉积,以含泥砾的粗砂岩和砾质砂岩为主,与下伏呈侵蚀冲刷接触;其上为不清晰大型槽状交错层理含砾粗砂岩和清晰槽状交错层理粗砂岩以及板状交错层理砂岩。这与 Galloway 总结的辫状河横向砂坝以及 Cant 提出的辫状河垂向沉积序列的中下部层序相同(图4)^[14]。



a.陕211井山西组二段岩心:含砾粗砂岩中发育块状层理



b.榆19井山西组二段辫状水道底部泥炭碎屑滞留沉积



c.扒楼沟剖面山西组下部粗砂岩中夹砾岩层



d.扒楼沟剖面山西组二段辫状水道砂岩体中的硅化木



e.陕118井山西组二段砂岩和碳质泥岩冲刷面



f.榆33井山西组二段岩心:深灰色泥岩,含植物化石

(C)1994-2021 China Academic Electronic Journal Service. All rights reserved. http://www.cnki.net

图3 鄂尔多斯盆地中东部山西组二段露头及岩心河流沉积特征照片
Fig.3 Photographs showing sedimentary characteristics of river in outcrop and core of Member 2 of Shanxi Formation in the Middle-Eastern Ordos Basin

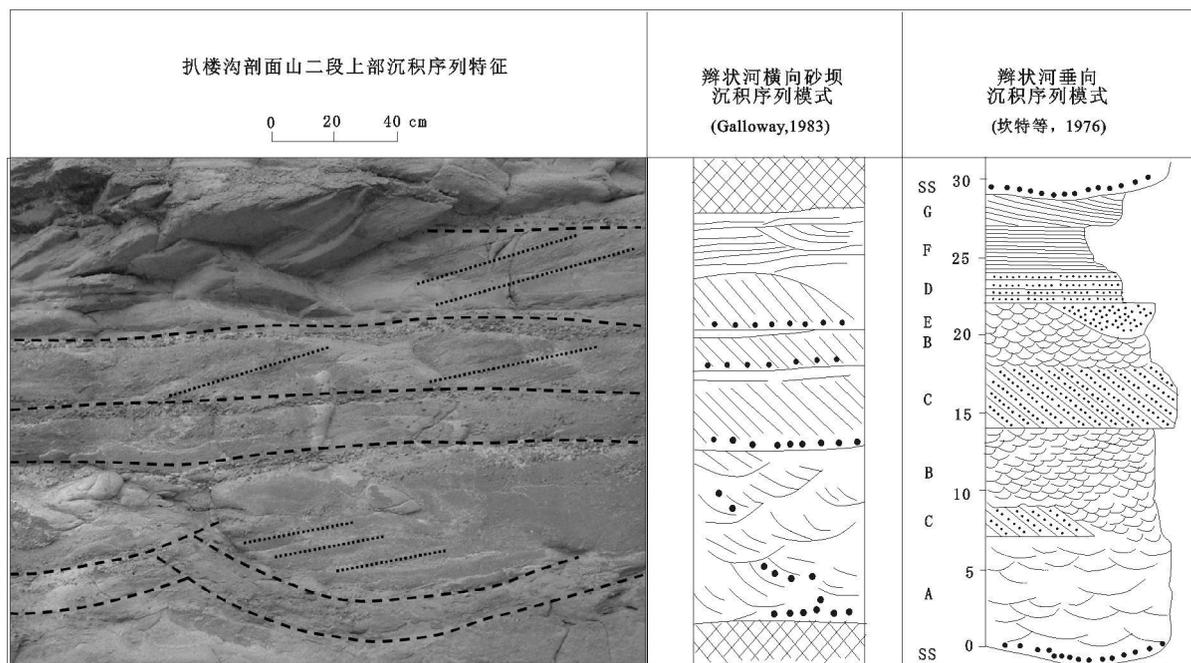


图4 鄂尔多斯东缘扒楼沟剖面山二段上部地层中辫状河横向砂坝沉积序列特征^[14]

Fig.4 Sedimentary sequence of braided-river transverse bar in the upper Member 2 of Shanxi Formation in Palougou outcrop in the east edge of Ordos Basin

河道滞留充填沉积微相：河道滞留充填沉积一般呈透镜状断续分布，底部具冲刷面构造。由块状砾岩、砾状砂岩、含砾砂岩组成，分选差。见大型槽状交错层理和块状构造。扒楼沟剖面山二段砂岩粒度总体较粗，底部以含砾粗砂岩为主，夹有泥炭碎屑；中部及上部过渡为中粗粒砂岩(图 3b)。发育韵律层理、块状层理、板槽状交错层理等多种层理类型。与心滩微相对比，该微相砂岩单层厚度相对较薄，粒度较细。露头和岩心中可识别出多种类型的冲刷面，如砂岩与泥岩冲刷接触关系、砂岩与煤冲刷接触关系、砂岩内部多期冲刷切割关系以及砂岩体间夹洪水事件成因的砾石层及硅化木(图 3c, d)，均反映了辫状河高流态、季节性和频繁摆动的特点。

2.1.2 洪泛平原

作为山二段沉积时期另一大古地理景观的洪泛平原，实为辫状河河道间的洼地，在潮湿气候下普遍沼泽化，露头和岩心中的识别标志主要是一套黑色、灰黑色纯泥质沉积或泥质与砂质互层沉积，通常与上覆砂岩体呈冲刷接触关系(图 3e)。洪泛平原沉积的黑色泥岩中，可见植物根须和较完整的叶片(图 3f)。

泛滥盆地微相，主要为灰黑色泥岩和含粉砂泥岩，局部夹粉细砂岩薄层，黄铁矿团块和菱铁矿结核、条带较为普遍。发育水平层理和块状层理。自

然电位曲线呈微齿形或直线形。

河漫沼泽微相：是在潮湿气候条件下，河漫滩上低洼积水地带植物生长繁茂并逐渐淤积而成的。研究区该类沉积由煤层夹薄泥岩组成，电性曲线表现为低自然伽马和低电阻率特征。

2.2 “浅水型”辫状河三角洲

“辫状河三角洲”这一术语最早由 Mcpherson 等提出，用其代表纯粹由辫状冲积平原推进到稳定水体所形成的富含砾石的三角洲，是指由单一的辫状河流或低弯度河流派生的辫状支流水系形成的沉积体，吴崇筠将 Mcpherson 提出的辫状河三角洲定义为短河流三角洲^[16]。研究区内辫状河三角洲沉积相平面上分布在榆林以南靠近盆内一侧，在研究区南部柳林成家庄剖面 and 岩心特征可识别出辫状河三角洲平原和辫状河三角洲前缘 2 种亚相。

2.2.1 三角洲平原

研究区辫状河三角洲是由辫状河进积到陆表海滨海平原浅水中形成的，其平原部分类似于辫状河沉积，由辫状河道及河漫沼泽沉积组成。

平原分流河道：辫状河道沉积在平原亚相中占主导地位。辫状河道内的水道侧向迁移与改道频繁，砂体间的冲刷、切割和垂向叠置加积现象十分普遍，垂向上许多砂坝透镜体相互叠置而成巨厚砂体。成家庄山二段底部北岔沟砂岩单砂体几何形态为透镜体，视宽度 5~60 m，厚度 0.5~5.0 m 不

等,宽厚比变化较大。废弃河道充填沉积呈下凸上平的透镜状,岩层向两端收敛变细、尖灭(图 5a)。纵向上,砂岩透镜体相互切割叠置成厚度、宽度巨大(分别达数十米和上百米)的层状砂体(图 5b)。成家庄剖面北岔沟砂岩粒度总体较粗,底部以粗粒砂岩为主,含砾砾,中部及上部以中粗粒砂岩为主,在底部发育平行层理与块状层理,反映辫状河高流态沉积,榆 30 井山二段岩心中发育由粗砂与中砂组成的韵律斜层理,也反映了在辫状河高流态下的底形砂波的移动特征(图 5c)。此外,成家庄剖面和岩心山二段砂岩中普遍发育辫状河道的特征层理——侧积交错层^[17],是由辫状水道的横向或纵向砂坝侧向迁移加积而形成的(图 5d, e)。

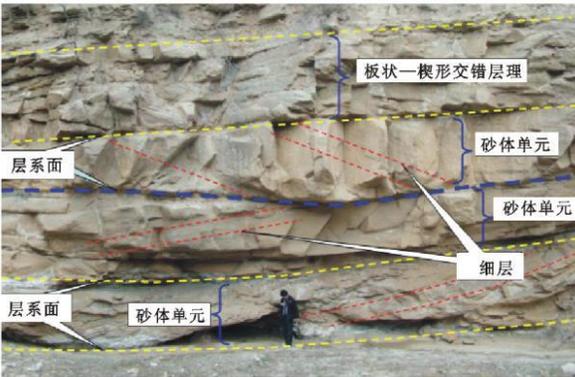
河漫沼泽沉积:由透镜状或藕节状的碳质页岩及煤层组成,多夹于河道砂体中;局部出现厚度较大的透镜状煤层。碳质页岩中常见炭化植物根茎。

2.2.2 三角洲前缘

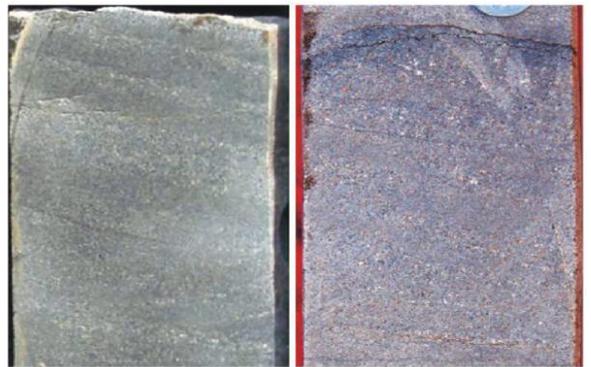
水下分流河道:是平原环境中辫状河道入湖后在水下的延续部分,是前缘沉积的主体。由砂、砾岩组成向上变细的透镜体,主体为中、粗粒砂岩。单一水下分流河道砂岩透镜体最大厚度 0.5~2.0 m,横向延伸数米即迅速变薄尖灭;纵向上若干砂岩透镜体相互叠置组成厚度较大的砂体。发育侧积交错层理、韵律层理、平行层理、冲刷充填构造等沉积构造类型。



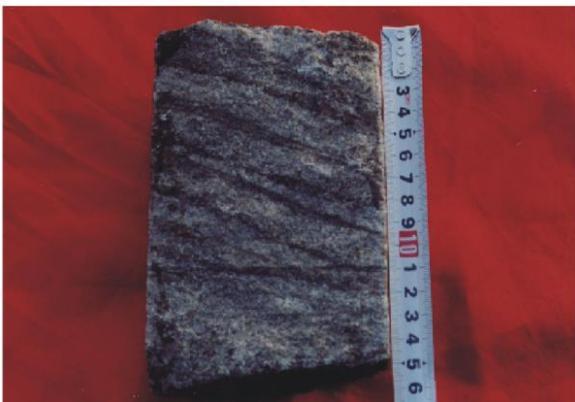
a.成家庄剖面山二砂质辫状河废弃水道大型透镜状砂体与底部碳质泥岩冲刷切割关系



b.成家庄剖面辫状水道单砂体切割叠置特征



c.榆30井山西组二段岩心:含砾粗砂岩中发育的韵律层理



d.陕227井山西组二段岩心:辫状河侧积交错层理



e.成家庄剖面山二辫状河单个透镜状砂体单元内侧积交错斜层理

(C)1994-2021 China Academic Electronic Journal Service. All rights reserved. http://www.cnki.net

Fig.5 Photographs showing sedimentary characteristics of braided stream in the Member 2 of Shanxi Formation of Lower Permian in Chenjiazhuang outcrop in the east edge of Ordos Basin

分流河道间沉积:由粉砂岩和泥岩组成,由于水下分流河道迁移频繁,河道间沉积物往往受到侵蚀破坏。与平原亚相的河道间沉积不同的是,由于长期位于水下,泥炭和煤不如平原相发育。

河口砂坝:局部可见,多由中、细粒砂岩(局部为含砾砂岩)组成向上变粗逆粒序,自然伽马曲线通常为漏斗形。见平行层理、中小型交错层理以及坝基面状交错层理。该微相在研究区山二段少见,仅发育于榆27、榆141、陕209、陕226等井山二段中部地层之中。

2.2.3 滨海浅湖—前辫状河三角洲

滨海浅湖是指在古代陆表海平缓海岸区的浅水部分,由受潮汐沙滩局限而淡化的海水形成的滨海浅水湖泊,与尚冠雄建立的潮汐沙滩体系中的潟湖和海湾相似^[18],发育灰黑色薄层状泥岩、页岩、粉砂岩及中厚层钙铁质泥岩,常为粉砂岩与泥岩或页岩的薄互层状;粉砂岩中见小沙纹层理,泥岩中见水平层理;钙铁质泥岩中含腕足、腹足类广盐度生物化石。前辫状河三角洲相与滨海浅湖相共生而难以区分。

3 沉积相垂向序列与平面展布

根据野外露头 and 盆内重点探井山二段沉积相特征,结合研究区内300余口探井的岩电特征与沉积相(图6)分析可知,研究区山二段发育以河控作用为主的远源砂质辫状河—浅水三角洲沉积体系,其特征主要表现为,平面上浅水三角洲由多个指状朵叶组成,展布范围较宽;侧向上向潟湖、潮坪沉积过渡,河口坝及水下分流河道沉积物常受到后来的分流河道冲刷改造而保存不完整,使得浅水三角洲反旋回结构不明显;垂向上浅水三角洲沉积与滨海

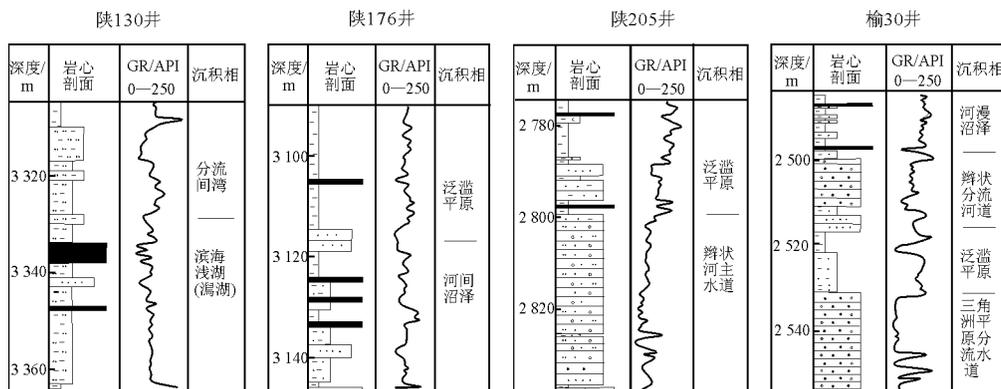
浅湖、潮汐沙滩、潮坪沉积共生。由于水体浅、可容空间小,三角洲向前推进距离长,三角洲平原相带极为宽广而前缘相带相对狭窄,即所谓的“大平原、小前缘”特点。三角洲平原中的分支流河道十分发育,分支频繁,分支流之间距离较小。分支流河道常常切割以前沉积的三角洲沉积物,或直接与其他环境的沉积物相接触,如支流间湾、沼泽、泛滥盆地等。

以古地形等沉积背景分析为基础,绘制砂岩等厚图、砂地比等单因素分析图件,并结合沉积相标志按砂层组进行沉积相平面编图(图7)。研究区山二段沉积时期沉积相基本上南北分带,北部为辫状河—冲积平原相带,相带南部边界为乌审旗—榆林—关家崖一线,主要发育辫状河主水道和洪泛平原亚相;往南为广阔的三角洲平原相带,相带的南部边界在靖边—清涧以北—成家庄以南一线,主要发育平原分支辫状水道亚相和河漫沼泽亚相;再往南为三角洲前缘相带,该相带范围较小,相带南部边界在清涧以南至陕105和陕73井一线;滨海浅湖(潟湖)相沉积发育于研究区南部边缘,即清涧以南地区。

4 结论与建议

鄂尔多斯东部地区早二叠世早期属于华北地台陆表海大规模海退形成的滨海平原环境,宽缓广阔的南倾古斜坡背景和滨海浅湖环境为辫状河—“浅水型”三角洲沉积体系的发育提供了有利条件,自北向南依次发育辫状河冲积平原、辫状河三角洲平原、辫状河三角洲前缘和滨海浅湖沉积相。

由于远距离搬运沉积作用,河道沉积物主要为砂砾级别,具有砂质辫状河的特征。在冲积平原和



(C)1994-2021 图6 鄂尔多斯盆地山西组二段钻井岩性组合与沉积相垂向序列特征. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

Fig. 6 Well lithology combination and sedimentary facies vertical sequence features in Member 2 of Shanxi Formation of the Ordos Basin

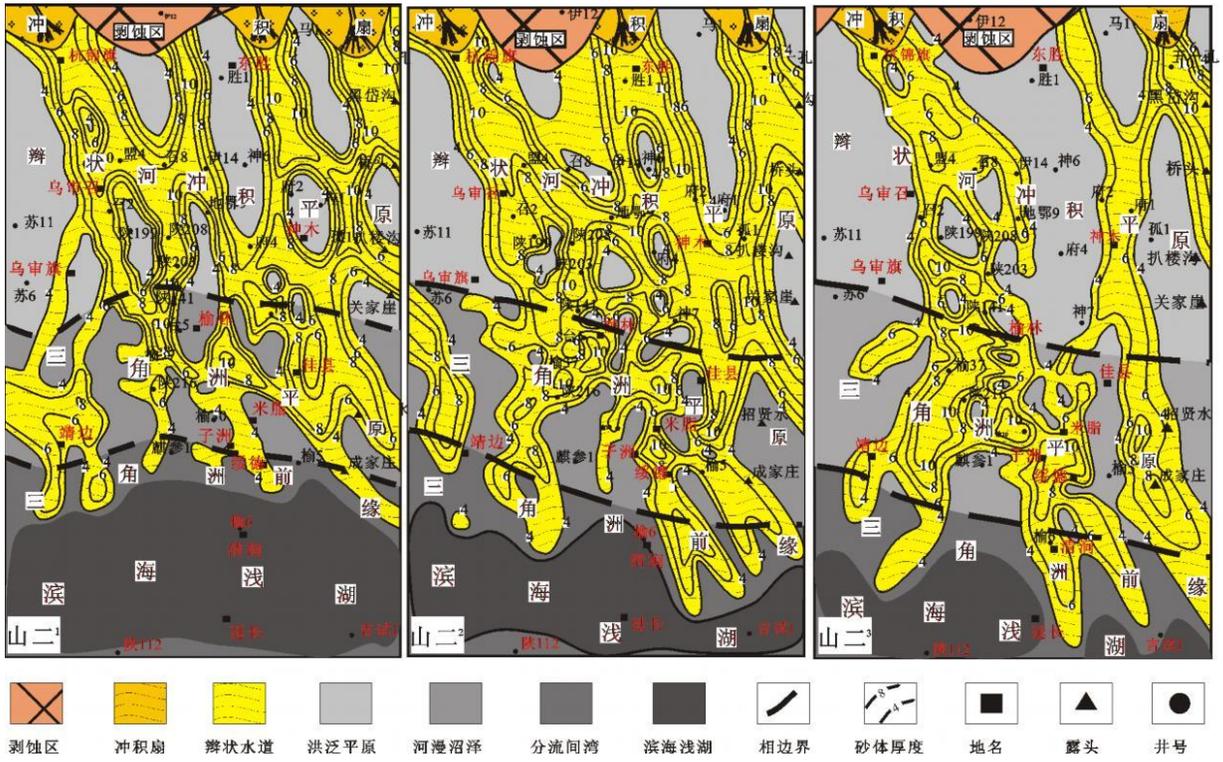


图7 鄂尔多斯中东部山二段山二¹、山二²、山二³砂层组沉积相展布

Fig.7 Sedimentary facies distribution of Member 2 of Shanxi Formation in the Middle-Eastern Ordos Basin

三角洲平原辫状河主水道发育处, 辫状水道在一定范围内密集分布, 频繁切割叠置形成宽厚巨大的主砂带, 构成主砂带的砂岩体石英含量高、粗粒而物性极好, 形成优质油气储集体, 是有利勘探相带。

参考文献:

- 1 杨俊杰. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002. 33~39
- 2 李克勤. 中国石油地质志 卷十二 长庆油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992. 181~204
- 3 郭英海, 刘焕杰, 权彪等. 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, 1998, 16(3): 44~51
- 4 陈全红, 李文厚, 姜培海等. 鄂尔多斯盆地西南部上古生界油气成藏条件分析[J]. 石油实验地质, 2007, 29(6): 554~559
- 5 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
- 6 何义中, 陈洪德, 张锦泉. 鄂尔多斯盆地中部石炭一二叠系两类三角洲沉积机理探讨[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(1): 68~71
- 7 常象春, 王明镇, 郭海花. 鄂尔多斯盆地多种能源矿产共存特征及其相关性[J]. 石油实验地质, 2006, 28(6): 507~510
- 8 韩会平, 侯云东. 武春英鄂尔多斯盆地靖边气田山西组 2~3 段

沉积相与砂体展布[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(6): 54~56, 59

- 9 何义中, 陈洪德, 张锦泉. 鄂尔多斯盆地靖北早二叠世沉积体系[J]. 新疆石油地质, 2002, 23(1): 27~30
- 10 魏红红, 彭惠群, 李静群等. 鄂尔多斯盆地中部石炭一二叠系沉积相带与砂体展布[J]. 沉积学报, 1999, 17(3): 403~408
- 11 张义楷, 周立发, 党犇等. 鄂尔多斯盆地中生代构造应力场与油气聚集[J]. 石油实验地质, 2006, 28(3): 215~219
- 12 张晓莉. 鄂尔多斯盆地中部上古生界砂岩气层沉积体系类型及特征[J]. 油气地质与采收率, 2005, 12(4): 47~49, 89
- 13 杨仁超, 韩作振, 李文厚等. 鄂尔多斯地区二叠系三角洲沉积特征及其模式[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2004, 34(3): 340~344
- 14 于兴河, 马兴祥, 穆龙新等. 辫状河储层地质模式及层次界面分析[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004
- 15 席胜利, 王怀厂, 秦伯平. 鄂尔多斯盆地北部山西组、下石盒子组物源分析[J]. 天然气工业, 2002, 22(2): 21~25
- 16 吴崇筠. 构造湖盆三角洲与油气分布[J]. 沉积学报, 1983, 1(1): 5~23
- 17 李维锋, 高振中, 彭德堂. 侧积交错层一辫状河道的沉积构造类型[J]. 石油实验地质, 1996, 18(3): 298~302
- 18 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. 105~115

(编辑 韩 或)