

鄂尔多斯盆地本溪组—太原组扇三角洲沉积 与油气聚集的关系

陈全红¹ 李可永² 张道锋³ 金栓联³ 郭艳琴⁴ 庞军刚⁴ 袁 珍⁴

(1.中海石油研究中心,北京 100027;2.延安大学能源学院,陕西 延安 716000;
3.长庆油田勘探研究院,陕西 西安 710069;4.西安石油大学油气资源学院,陕西 西安 710065)

摘要:利用盆地北部大量钻井资料、岩心及露头观察结果,结合古地质背景,以及粒度、岩矿等分析资料,对晚石炭—早二叠世广泛分布的含砾砂岩体沉积特征进行了深入的分析。结果表明:它们属于扇三角洲体系,并以河道化冲积的形式前积到陆表海盆地中,平面上分带性和纵向上退积结构较清楚,重力流沉积特征不明显,而水道化的牵引流成因沉积特征明显。以高能辫状水道、水下分流河道砂砾岩为主要骨架,河口坝不发育。而且,这些水道作用居重要地位的扇三角洲高能水道砂体因受物源、古地貌及潮汐等影响,往往被潮汐改造而形成障壁砂坝,也是有利储集体。它们之间因沉积特征不同,储集空间、储集性能和含油性也各具特色,但都以高能化水道形成的厚石英砂带为有利相带。

关键词:鄂尔多斯盆地;本溪组;太原组;扇三角洲;有利储集相带

中图分类号:P618.130.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2010)02-0421-09

从鄂尔多斯盆地的整个演化过程来看,上石炭统—下二叠统为陆表海盆地到河流—三角洲发育的内陆湖盆的转换阶段的地层记录。从早期的碳酸岩、陆源碎屑及泥炭的间互沉积到上部山西组单纯的陆源碎屑沉积的发展演变过程中,盆地边缘的近物源区必然发育由冲积扇体系提供物源,并沉积在活动扇与静止水体界面间的大部分或全部堆积在水下的沿岸沉积体——扇三角洲。然而,以往的沉积相研究多基于盆地北部泊尔江海子断裂以南地区部分钻井,研究资料少,研究程度低,普遍认为是辫状河—三角洲体系^[1-5]。但近年来,随着杭锦旗地区多轮的勘探与研究,发现在泊尔江海子断裂一带分布着范围小、相变快、相带窄,具有多物源特点以及受潮汐影响较大的近岸扇形粗粒沉积体,与辫状河、三角洲及滨岸砂质沉积存在较大的差异。它是杭锦旗地区近几年来发现的重要含油气区域。因此,这种扇三角洲砂体作为晚石炭—早二叠世主要储层,研究其规

模和分布对全面认识晚古生代气藏具有重要意义。

本文采用岩心、露头及测井沉积相详细描述与室内综合研究相结合的方法,从鄂尔多斯盆地晚石炭—早二叠世的地质背景入手,通过对盆地北部钻井及露头剖面沉积相的对比及分析,展示了本溪组及太原组沉积相的平面分布及演化特征,并预测了有利储集相带分布区。

1 古地质背景

鄂尔多斯盆地北侧的俯冲作用从寒武纪末期即已开始,而南侧的俯冲作用开始于中奥陶世。正是由于南北两侧的相向俯冲,使华北地块被抬升,缺失了从中奥陶世至早石炭世早期的地层^[6,7]。但是,整体上晚加里东—早海西期的差异隆升和石炭纪贺兰谷复活的均衡翘倾过程,都在不同程度上加强了古陆架边缘肩隆与其东西两侧沉降区的幅度差异,而且到早二叠世时,古陆架肩隆幅度还有所加强,这与微量

收稿日期:2009-03-31;改回日期:2010-03-10

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2003CB214602)和长江学者和创新团队发展计划(IRT0559)共同资助。

作者简介:陈全红,男,1975年,博士,沉积学及石油地质学;E-mail:allred@163.com。

元素 $\omega_N(\text{Gd})/\omega_N(\text{Yb})$ 比值在太原组明显升高一致(图 1)。说明此时物源区的隆升剥蚀状态加剧,这与区域上华北板块与西伯利亚板块于索伦山—西拉木伦河一带开始对接,使古亚洲洋海域逐渐消失,盆地内开始有新的物源补充。在这种构造背景下,盆地北侧以泊尔江海子断裂为界,使山前发育的冲积扇与断裂以南的陆表海具有活动接触关系,形成并可能受到波浪及强潮汐作用影响的扇三角洲。

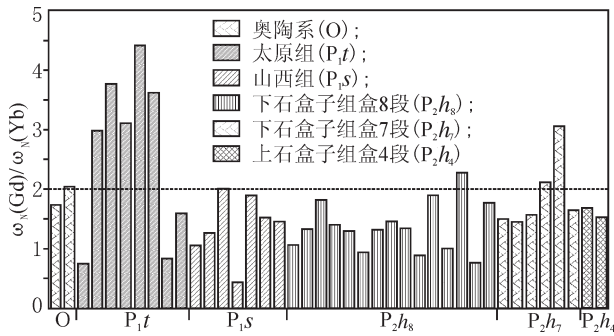


图 1 鄂尔多斯盆地二叠世不同时期 $\omega_N(\text{Gd})/\omega_N(\text{Yb})$ 变化特征

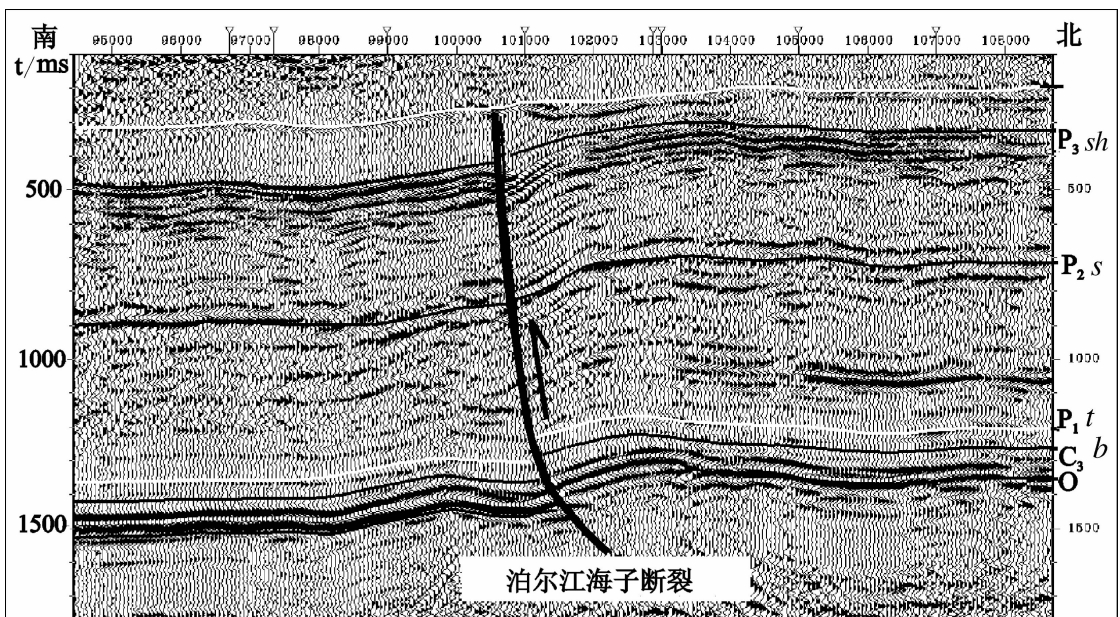
Fig.1 $\omega_N(\text{Gd})/\omega_N(\text{Yb})$ ratio variation of different periods of Permian in Ordos Basin

1.1 古地貌特征

在构造活动和剥蚀及充填作用强的地质时期,古地貌会明显影响盆地内沉积体系的发育及分布。本溪组沉积时,北部古地貌特征表现为:①北高南低,西北高东南低的走势,地形为向南倾的缓坡,坡降平均 9~11 m/km,南部坡降较小,多小 2 m/km。②由于盆地北部边界断层活动的继承性和不均衡性常使古断面呈现出沟谷、山梁相间的古地貌。在东胜、伊金霍洛旗一带区域地形起伏变化大,潜山、残丘、洼地广泛发育,冲积扇沿山间沟谷发育,并形成在洼地增厚。③再向南为低缓的隆起,高差 ≤ 30 m,主要分布在胜 1 井—伊 14 井一带向北延伸的残丘—低隆潜山构造带,向南地形逐渐趋于平缓。④受古隆起和凹陷的控制,上古生界厚度在断裂两侧变化较大(图 2),厚度最大相差大于 300 m(伊 7 井,127 m;伊 14 井 435.5 m)。这种地貌特征决定了本溪组早期沉积多为局部、小型低凹地区的填平补齐沉积,后期在缓坡带水道化特征明显,而重力流特征不明显,并形成在地形低洼地带多期退积型扇三角洲沉积的叠加。

1.2 边界断裂及海侵对扇三角洲发育的影响

在早二叠世时,以泊尔江海子断裂为界,以北地区为元古宇及太古宇结晶基底,以南地区为寒武—



P_{3sh} 石千峰组; P_{2s} 石盒子组; P_{1t} 太原组; C_{3b} 本溪组; O 奥陶系

图 2 过泊尔江海子断裂的地震剖面图(99-HN635A)

Fig.2 Seismic section through Bern-Jianghai fault (99-HN635A)

奥陶系沉积岩,即北部为高山,向南地形坡度迅速降低。泊尔江海子断裂是盆地北侧俯冲作用形成的同沉积、继承性活动断层,对扇三角洲的形成有控制作用。它从奥陶世开始活动,到早二叠世时活动尤为强烈,造成断裂两侧地层平均厚度差异大于 50 m。在基准面上升期间,海水由东顺斜坡向北部高地发生海侵,水体浅而宽阔。海平面的细小波动,都会引起沉积作用的同步响应,使本溪组及太原组仅在靠近断裂的低部位有沉积,向北无沉积。而且,快速搬运的粗粒沉积物也在泊尔江海子断裂一带明显卸载(图 3),以发育浅水、退积型扇三角洲为主,并受到区域广泛的海水侵漫影响。在海平面变化及潮汐的影响下,扇三角洲砂体容易被潮汐改造而形成的障壁砂坝,常与海相泥岩呈交互沉积,成清晰的纵向旋

回结构特征。这种结构在伊金霍洛旗的地鄂 7 井也可以清晰看到,说明当时海侵影响范围较大,可达泊尔江海子断裂一带。而且准格尔太原组 6 号煤层超常富集铝、镓和稀土,张复新教授^[7]也认为该区接近伊蒙隆起构造带,高铝含镓物质集中分布在海湾相太原组沉积区,也说明海侵影响可达隆起带边缘。

1.3 砂砾岩分布规律

形成扇三角洲的水动力机制主要是突发性洪流与常态水流的不规则交替^[8]。在此过程形成的砂砾岩的分布最能反映扇体规模及形态。从砾石平面分布来看,盆地早二叠世的砂砾岩体总体上围绕泊尔江海子断裂呈扇状分布,并往往在剖面上表现多层或夹层式分布(图 4)。其中太原组砾石明显可分为 5 个区,分别对应于不同规模的河道化冲积扇发育区。

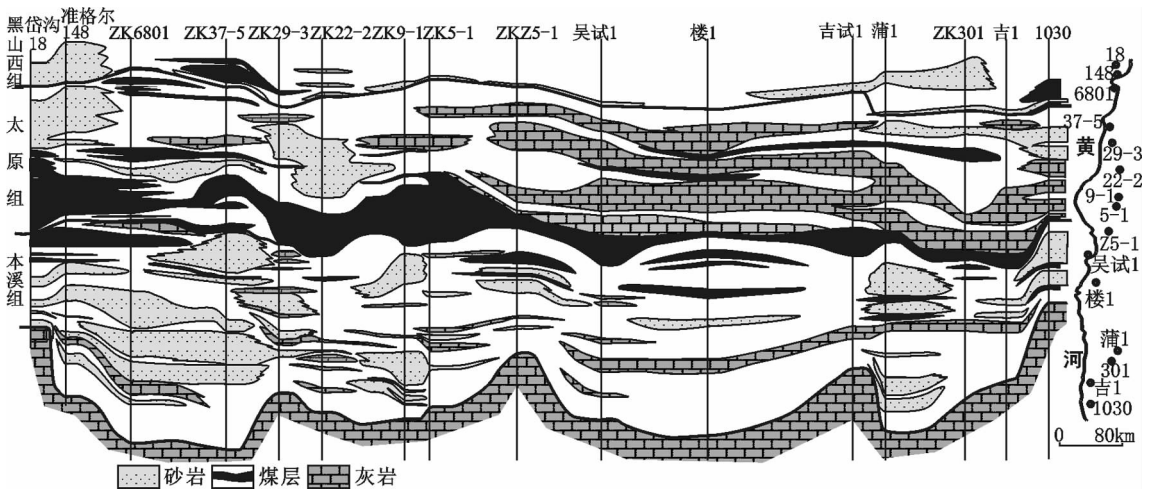


图 3 鄂尔多斯盆地东部本溪组—太原组南北向地层及岩性对比剖面

Fig.3 Correlation section of NS-trending strata and lithologic character of Benxi-Taiyuan Formation in east Ordos Basin

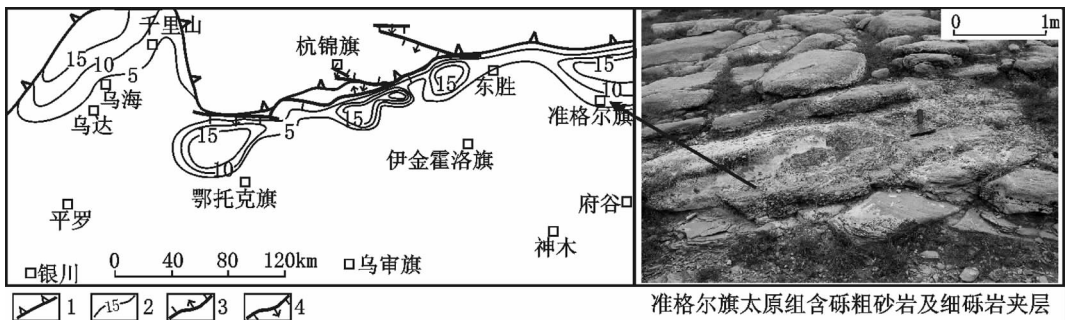


图 4 鄂尔多斯盆地北部太原组砾岩、含砾砂岩厚度图

1—盆地边界;2—厚度等值线;3—正断层;4—逆断层

Fig.4 Thickness map of conglomerate and pebbled sandstone of Taiyuan Formation in north Ordos Basin

1-Basin boundary;2-Thickness contours;3-Normal fault;4-Reverse fault

从砾石的平面分布,可以判断出扇三角洲的物源及展布方向(图4)。此时期冲积扇基本沿泊尔江海子断裂上盘分布,在下盘平缓的地形是冲积扇迅速展开并以较大动能进入浅水区,使扇三角洲平原沉积发育,而前缘沉积相对不发育。

2 扇三角洲沉积微相及特征

鄂尔多斯盆地北部晚石炭—早二叠世扇三角洲与一般扇三角洲不同,它发育在盆地边缘断裂以南的广阔陆表海背景下的缓坡地带,水道化特征明显,多数剖面表现为中粗粒含砾砂岩直接与泥岩呈冲刷接触,具有相对近物源、快速堆积的高能沉积特点^[9]。而且沉积序列特征显示出具有突发性洪流与常态牵引水流交替沉积作用的特点,形成含砾砂岩—粗砂岩—细砂岩交互叠加切割的楔状砂体,具有相变突然的特点,这一点明显不同于河流三角洲沉积。当海平面上升时,海水迅速淹没全区;当海平面下降时,海水又迅速退出全区。虽然海水可波及盆地边缘断裂地带,但是水深极浅,推测最深不超过 15~20 m^[9]。扇体直接沿坡度较陡的基底或奥陶系古侵蚀面,向南淤积在断裂边缘的低洼处或陆表海盆地内,与潮坪沉积交互过渡,并以扇三角洲平原、扇三角洲前缘、扇间洼地和潮坪—泥沼微相组成短轴状扇三角洲。

2.1 扇三角洲平原

扇三角洲平原亚相是位于海平面低水位线以上的扇三角洲体系的近端部分,主要分布在盆地边缘断裂附近的古地貌低洼处,以本溪组尤为明显(图

5),主要由辫状分流河道夹漫洪沉积构成,其中漫洪沉积中穿插填积了河道间、天然堤、决口扇、沼泽及扇面辫状分流河道等沉积物,显示了不规则的充填型结构。岩性主要为厚度薄的混杂砾岩、砂砾岩、中—细含砾砂岩夹灰黑色、灰色和杂色泥岩及煤层或煤线。

2.1.1 扇面辫状分流河道

主要由块状或递变层理的中—粗含砾砂岩、砂砾岩组成,并沿边缘主断裂分布(图4)。在准格尔旗黑岱沟及保德桥头一带的本溪组及太原组,砾石大小变化较大,砾石直径一般为 0.2~2 cm,局部可达 3~5 cm,呈棱角—次棱角状,常显不明显的定向排列。底部多见冲刷面,发育各种交错层理以正递变韵律所显示的水道化牵引流特征是识别该类扇面辫状分流河道的主要标志^[11,12](图6)。自然电位曲线以箱形、钟形为主,底突变,高幅。

2.1.2 河道间

岩性主要为灰黑色、灰色和杂色泥岩、铝土岩及煤层或煤线,由漫洪沉积物构成,表现为不稳定充填型构造,常见平行层理和块状层理。自然电位曲线为齿化、柱状,中—低幅。在河道间冲积平原沉积常发育天然堤、决口扇、洼地及沼泽等沉积微相沉积,其中天然堤和决口扇微相受资料的限制,常不易分辨。但沼泽是辫状分流河道之间的局限环境,是河水流入的低洼地区,由灰色、深灰色泥岩、煤层、煤线、粉砂质泥岩和泥质粉砂岩组成,沉积厚度 2~10 m,具有较好的聚煤性,常发育煤层,厚度一般 1~6 m。在暗色泥岩中

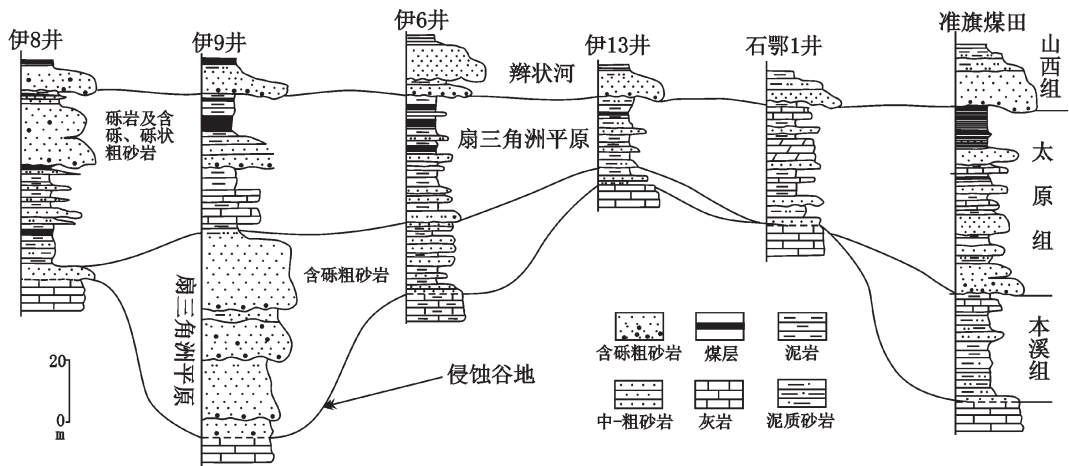


图5 鄂尔多斯盆地北部扇三角洲沉积南北向对比剖面(钻井位置见图7)
Fig.5 Correlation section of NS-trending fan delta sediments in north Ordos Basin (for well position, see Fig.7)

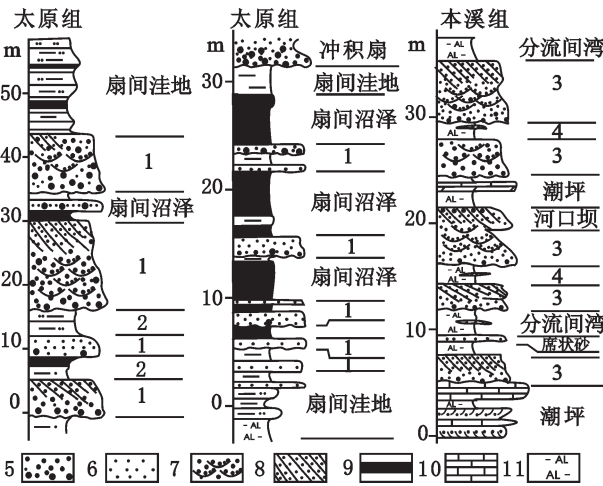


图 6 扇三角洲沉积序列图

1—扇面辫状分流河道;2—河道间;3—水下分流河道;4—分流间湾;5—含砾粗砂岩;6—砂岩;7—槽状交错层流;8—板状交错层理;9—煤层;10—灰岩;11—铝土岩

Fig.6 Diagram of fan delta sedimentary sequences

1—Braided distributary channel; 2—Inter-channel; 3—Underwater distributary channel; 4—Interdistributary bay; 5—Conglomeratic sandstone; 6—Sandstone; 7—Trough cross-bedding; 8—Tabular cross-bedding; 9—Coal; 10—Limestone; 11—Aluminous rocks

水平层理发育,有时可见大量洪水期搬运来的大量的风化壳沉积物(图6)。在测井曲线上自然伽马和自然电位较高。其中煤层及煤线发育是判别扇三角洲平原的典型特征。

2.2 扇三角洲前缘

主要由扇三角洲位于低水位线以上的扇面辫状河道延伸到水下所形成的水下分流河道沉积、河口坝、席状砂和一些浅海相沉积组成,是扇三角洲砂体发育最好的部分。由于山前扇三角洲的进积作用,后期的陆源粗碎屑沉积常常覆盖在前期的细粒沉积之上,构成了向上变粗的垂向层序。岩性主要为灰色、灰白色厚层状含砾砂岩、砾状砂岩和砂砾岩夹灰色、灰黑色泥岩、薄层粉砂岩。由于海水极浅,扇三角洲前缘迅速平原沼泽化,使煤层或煤线发育,加之受潮汐的影响可以明显见到砂岩中灰黑色泥岩及炭屑呈明显的不规则状或扇三角洲前缘砂体直接发育在潮坪之上(图6)。在盆地北部,扇三角洲前缘主要发育在杭锦旗—伊金霍洛旗一带,可以分为水下分流河道、分流间湾、河口坝、前缘席状砂体等沉积微相。

2.2.1 水下分流河道

该微相是盆地边缘斜坡带冲积扇的水下延伸部

分,沿泊尔江海子断裂向南主要由3条水下分流河道分布带,并向浅海平原区逐渐分支,受潮汐影响及改造明显,前部往往经过潮汐改造而形成障壁砂坝。岩性以含砾砂岩、粗砂岩、中砂岩、细砂岩为主,发育交错层理、平行层理、粒序层理及透镜状层理。主河道岩性以大型板状、槽状交错层理含砾砂岩,粗砂岩为主(图6),砂层单层厚度一般1.5~2.5 m。最大厚度5.5 m,砂体宽20~30 m,在山前向湖盆延伸4~8 km。分支河道砂体厚度0.2~1 m,岩性稍细,多以正韵律为主。自然电位曲线多呈箱形、钟形及多种复合型叠置。

2.2.2 分流间湾

该微相主要位于水下分流河道间,是洪水期水道漫溢或决口时形成的沉积,常呈席状展布。沉积物主要由深灰色、灰黑色泥岩、炭质泥岩组成,偶夹粉砂、细砂岩及含砾砂岩,局部夹海相的泥灰岩。沉积物受到潮汐的改造,浪成波纹交错层理发育,可见水平层理、斜层理和透镜状层理(图6)。由于水下分流河道冲刷强,改道频繁,河道一旦改道,沉积物常被冲刷减薄,甚至完全被冲刷掉,因此在水下分流河道发育区该微相常常以夹层的形式产出。自然电位曲线呈对称齿状、指状或小型齿化钟形,低幅,电阻率低,齿状。

2.2.3 河口砂坝

由于地形平缓,并受山前间歇性洪水供给影响,水流具有空间上的不稳定性 and 时间上的短暂性,其分支改道频繁^[8],使得扇三角洲的河口砂坝不发育或只发育在部分低洼地带。其沉积物由披覆间歇期的细粒沉积物而构成的复合反粒序,发育板状交错层理(图6)。

2.2.4 席状砂

由于主水下河道及分支水流速度减缓,携带的碎屑物质快速沉积下来,形成若干个分流河道舌状砂体,并受潮汐波浪的改造而形成席状展布的砂体。它主要发育在乌审旗—神木一带地形较平坦的地方。岩性多为分选和磨圆较好的细砂岩,发育沙纹交错层理及波状层理。

2.3 前扇三角洲

主要由深灰色、灰黑色泥岩夹薄层状洪泛沉积的粉砂岩及细砂岩组成,砂泥互层,水平层理发育,见波状层理。由于研究区当时海水极浅,在潮汐的作用下,该微相与潮坪沉积常常不易区别。

3 扇三角洲沉积格局及其演化

3.1 晚石炭世本溪组

鄂尔多斯盆地在晚石炭世早期形成了由中央古隆起分割的东西两个海盆(华北海和祁连海),沉积相呈东西向分异,西部沉降幅度大,早期形成向西南开口的喇叭状海湾,海水由西南方向侵入海湾,海湾北部和西北部有河流注入,具有很高的沉积物供应速率。在贺兰山一带,受北东向同沉积断裂控制,形成呼鲁斯太和雀儿沟两条沉降带,并中部以砂坝台隆起形成地堑—地垒—地堑的构造组合。在北部的地堑边缘,即乌达和乌海一带,地层厚度和砂体厚度都较大,表现出快速堆积特点,发育进积型的水道型扇三角洲沉积。这种扇三角洲沉积的粗粒沉积在海侵的影响下,在银川以西地区形成粒度粗,厚度大的主潮道沉积(图7),并沿拗拉槽边缘呈带状分布,发育根土岩及煤线,在昌汉乌苏及棋盘井一带,则为潟湖占据。

东部华北海沉降幅度小,海水从东向西侵入,向北可达盆地边缘断裂一带。这些北缘断裂在晚奥陶世开始活动,并在晚石炭世时随着北缘的抬升而进一步活动,沿盆地边缘自北向南形成冲积扇—扇三角洲平原—扇三角洲前缘—潮间带复合沉积体系(图7)。在佳县、米脂、子洲、绥德、清涧、延长、大宁及韩城一带,扇三角洲前缘砂体经潮汐改造而形成了一系列大小不一,厚度不等的障壁砂坝,并在其西部榆林—子长—延安一带发育潟湖沉积。而且,随着海侵扩大,形成与海沟通、循环良好的潟湖—障壁岛—浅水陆棚沉积。在临近中央古隆起及其两侧边缘大部为潮上带,均发育含煤岩系。随着本溪早期的充填沉积,沟谷纵横的奥陶系风化侵蚀基底被填平补齐,到本溪期末,区域海平面下降,潮坪相沉积向东迁移,局部地区沼泽化,沉积了晋祠段一套砂泥岩,并发育根土岩及泥炭层。

晚石炭世后期,贺兰拗拉槽的填平补齐并停止活动,至早二叠世太原组沉积时,东西两缘海水侵入范围继续扩大,祁连、华北海盆连通,形成统一的以含煤为特征的滨海相沉积。中央古隆起成为水下隆起,对沉积作用的控制趋于减弱。西缘地区转化为裂后拗陷,形成开阔陆表海中的相对拗陷带。而且由于兴蒙海槽的关闭,伊盟隆起北部隆升的地带成为主要的物源,盆地呈北高南低、北陡南缓的地貌特征,潮坪和扇三角洲体系充分发育,呈现出海陆过渡带

型的沉积体系组合(图7)。

3.2 早二叠世太原组

太原组早期盆地总体来看北高南低,自北往南发育冲积扇、扇三角洲和陆表海碳酸盐台地,冲积扇呈带状展布于伊盟隆起外侧。海水虽近一步向北推进,但波及范围未超过小松山—石咀山—伊8井—苏26井—乌审召—伊金霍洛旗—准格尔旗,此线以北为扇三角洲平原,以南为扇三角洲前缘,受潮汐改造,演变为潮控三角洲,即由北向南为冲积扇—扇三角洲平原—扇三角洲前缘(潮控三角洲)—潟湖障壁岛。冲积扇主要发育在北部的杭锦旗—东胜,但是规模较小。乌达—平罗地区,扇三角洲沉积发育,沉积厚度达300多米。东部在伊金霍洛旗—府谷、保德一带扇三角洲沉积体系规模也较大。由于潮汐将扇三角洲沉积物中的砂冲到海岸附近堆积,使滩砂不断扩大加厚起障壁作用,西部在惠安堡、环县及镇原一带,东部在佳县—米脂—绥德—清涧一带形成多个规模较大的狭长障壁岛带,岛后在鄂托克前旗—定边—环县及横山—子长一带形成潟湖(图8)。此时期中央古隆起为潮上带占据,但东西宽度比本溪早期变窄。在其中东部地区(临县—吴堡—延川—安塞—吉县地区)以滨岸和浅水陆棚环境的微晶灰岩、生物碎屑灰岩和煤层沉积为主,沉积速率低,补偿慢,沉积厚度较小,潮汐发育;西缘地区已转化为裂谷拗陷,沉积速率相对较快,沉积厚度相对较大,岩性组合变化大。在东部碎屑海岸沉积较典型,即由海向陆依次为浅海陆棚沉积、障壁岛—潟湖沉积、扇三角洲沉积。太原期末,发生区域性海退,为之后的山西期河流—三角洲发育提供了古地理基础。

4 扇三角洲沉积与油气聚集的关系

以往的勘探证明,鄂尔多斯盆地上古生界的高效储层主要集中发育在陆相盆地的早期,包括整个陆内盆地的早期,以及盆地不同演化阶段的早期(即山西期和早石盒子期)阶段。在这些阶段中,盆地处于下降时期,边缘地带冲积扇发育^[13],有充足的物源、有较大的可容空间,因之,盆地的充填作用大于盆地扩张作用,易于形成良好的储层。从目前已经发现的本溪组及太原组高效储层来看,其含油气性与其沉积时期、砂体类型、沉积构造和沉积相带等有密切关系。其中扇三角洲平原及前缘亚相多发育高能水道沉积的石英砂岩,及经潮汐改造而成的障壁砂坝,

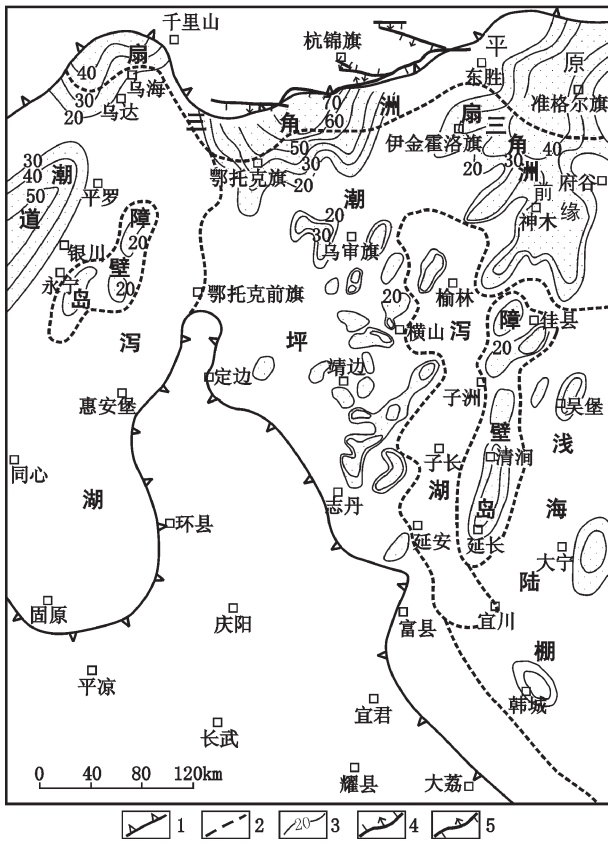


图 7 鄂尔多斯盆地晚石炭世本溪组沉积相图

1—盆地边界;2—相界线;3—砂/地等值线;4—正断层;5—逆断层

Fig.7 Sedimentary facies map of Late Carboniferous Benxi Formation in Ordos Basin

1-Basin boundary; 2-Facies boundary; 3-Sandstone/strata contour; 4-Normal fault; 5-Reverse fault

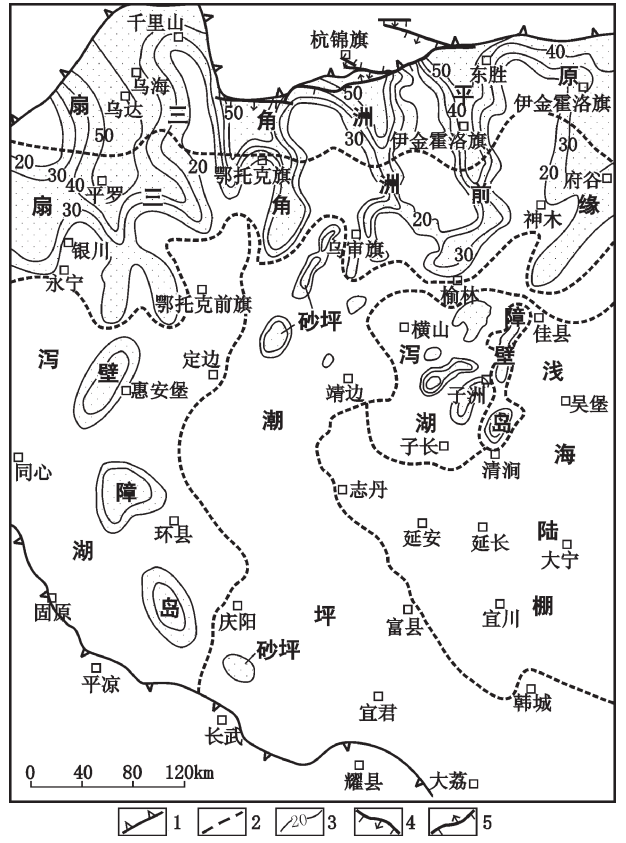


图 8 鄂尔多斯盆地地下二叠统太原组沉积相图

1—盆地边界;2—相界线;3—砂/地等值线;4—正断层;5—逆断层

Fig.8 Sedimentary facies map of Early Permian Taiyuan Formation in Ordos Basin

1-Basin boundary; 2-Facies boundary; 3-Sandstone/strata contour; 4-Normal fault; 5-Reverse fault

均可作为重点勘探目标。其中前者在纵向上一表现为底部具明显的冲刷面,为砾石与粗粒砂岩构成的混粒结构沉积;向上变为砾状粗砂岩、含砾砂岩及粗砂岩、中砂岩,颗粒较粗,物性较好,多为好储层^[41]。

在横向上,这种高能水道砂体因受物源、古地貌及潮汐等影响,仅仅分布盆地中北部局部地区,如杭锦旗及准格尔旗—神木一带的本溪组及太原组扇三角洲前缘水下分流河道砂体,厚度 10~20 m,宽 5~30 km。储层孔隙度为 4%~12.3%,渗透率为 $0.01 \times 10^{-3} \sim 3.6 \times 10^{-3} \mu m^2$ 。在神木太和寨、兔坂一带太原组扇三角洲共有 9 口井见工业气流,23 口井见低产气流,已有预测储量 $1542.8 \times 10^8 m^3$,含气面积 1741.2 km²。但向南到图东—横山堡及佳县—延长一带,扇

三角洲前缘砂体往往被潮汐改造而形成障壁砂坝。储集体为一套含砾、粗粒纯石英砂岩,石英含量 90%~96%,岩屑含量多不足 5%,其胶结物以石英次生加大为主。由于其发育规模有限,不能够构成大范围内的油气藏,但在构造有利部位可以形成局部的油气藏(如李 1—李华 1 井区及佳县—延长一带的太原组下部障壁砂坝发育区),可成为兼探的目标,如榆 15 井区障壁岛砂体发育,砂体面积近 220 km²,测试日产气 $11.6 \times 10^4 m^3$ 。在杭锦旗伊 9 井区及准格尔旗—神木一带,本溪组晋祠段发育的扇三角洲砂体延伸远,受海浪冲洗改造,可以形成具规模的砂质储集层。砂体厚度达 5~15 m 以上,在主水道部位砂体厚度大于 50 m(如桥头剖面及伊 9 井区),形成局部

的富砂带,其中砂厚大于 10 m 的面积为 4000 km²,埋藏深度在 1500~2500 m,是今后应重视的地区。

5 结 论

(1)盆地北部扇体直接沿坡度较陡的基底或奥陶系古侵蚀面向南淤积在断裂边缘的低洼处或陆表海盆地内,与潮坪沉积交互过渡,并以扇三角洲平原、扇三角洲前缘、扇间洼地和潮坪-泥沼微相组成短轴状河流化扇三角洲复合体系,并可受潮汐改造而形成障壁砂坝。

(2)盆地北部晚石炭—早二叠世时的扇三角洲与一般扇三角洲不同。它多以河道化或水道化冲积的形式前积到陆表海盆地中,平面上分带性和纵向上退积结构较清楚,其重力流沉积特征不明显,而水道化的牵引流成因沉积特征明显。

(3)不同相带因沉积影响因素不同,储集空间、储集性能和含油性也各具特色,但都以高能化辫状水道形成的厚石英砂带为盆地中北部晚石炭—早二叠世勘探目标。

参考文献(References):

- [1] 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.
Guo Yinghua, Liu Huanjie, Quan Biao, et al. Late Paleozoic sedimentary system and Paleogeographic evolution of Ordos area[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(3):44-51 (in Chinese with English abstract).
- [2] 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(自然科学版),2003,30(3):236-241.
Fu Suotang, Tian Jingchun, Chen Hongde, et al. The delta depositional system distribution of Late Paleozoic in Ordos basin[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2003, 30(3):236-241(in Chinese with English abstract).
- [3] 李增学,余继峰,李江涛,等.鄂尔多斯盆地多种能源共存富集的组合形式及上古生界沉积控制机制分析[J].地球学报,2007,28(1):32-38.
Li Zengxue, Yu Jifeng, Li Jiangtao, et al. Combination type of coexistent multiple energy resources in the Ordos basin and an analysis of the Upper Paleozoic sedimentation control mechanism[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2007, 28 (1):32-38 (in Chinese with English abstract).
- [4] 平立华,郭英海,李壮福,等.鄂尔多斯盆地保德地区太原组桥头砂岩沉积特征及成因[J].天然气地球科学,2006,17(6):797-891.
Ping Lihua, Guo Yinghai, Li Zhuangfu, et al. Sedimentary characters and origin of Qiaotou sandstone in the Taiyuan Formation, Baode area of Ordos basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(6):797-891 (in Chinese with English abstract).
- [5] 杨奕华,包洪平,贾亚妮,等.鄂尔多斯盆地上古生界砂岩储集层控制因素分析[J].古地理学报,2008,10(1):25-32.
Yang Yihua, Bao Hongping, Jia Yani, et al. Analysis on control factors of sandstone reservoir of the Upper Paleozoic in Ordos basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2008, 10 (1):25-32 (in Chinese with English abstract).
- [6] 陈世悦.论秦岭碰撞造山作用对华北石炭二叠纪海侵过程的控制[J].岩相古地理,1998,18(2):48-54.
Chen Shiyue. The controls of the collisional orogenesis in the Qinling Mountains on the Carboniferous-Permian transgressional processes in North China [J]. Lithofacies Paleogeography, 1998, 18 (2):48-54 (in Chinese with English abstract).
- [7] 张复新,王立社.内蒙古准格尔黑岱沟超大型煤型铀矿床的形成与物质来源[J].中国地质,2009,36(2):417-423.
Zhang Fuxin, Wang Lishe. The formation and material sources of the superlarge Hada Gol Ga-bearing coal deposit in Jungar Banner, Inner Mongolia [J]. Geology in China, 2009, 36 (2):417-423 (in Chinese with English abstract).
- [8] 张春生,刘忠保,施冬,等.扇三角洲形成过程及演变规律.沉积学报,2000,18(4):521-527.
Zhang Chunsheng, Liu Zhongbao, Shi Dong, et al. Formed proceeding and evolution disciplinarian of fan delta [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18 (4):521-527 (in Chinese with English abstract).
- [9] 靳松,朱筱敏,钟大康.扇三角洲高分辨率层序地层对比及砂体分布规律[J].中国地质,2006,33(1):212-220.
Jin Song, Zhu Xiaomin, Zhong Dahang. High-resolution sequence stratigraphic correlation of fan deltas and distribution characteristics of sandbodies [J]. Geology in China, 2006, 33 (1):212-220 (in Chinese with English abstract).
- [10] 王张华,张国栋.鄂尔多斯伊克昭晚古生代沉积环境与岩相古地理[J].古地理学报,1999,1(3):28-39.
Wang Zhanghua, Zhang Guodong. Sedimentary environment and lithofacies Palaeogeography of the late Palaeozoic of Ih Ju Meng area in Ordos basin [J]. Journal of Palaeogeography, 1999, 1(3):28-39 (in Chinese with English abstract).
- [11] 李艳丽,林春明,岳信东,等.白音查干凹陷桑合地区早白垩世都红木组一段沉积演化及物源研究[J].中国地质,2009,36(1):214-228.
Li Yanli, Lin Chunming, Yue Xindong, et al. Sedimentary evolution and source provenance of the First Member of Lower Cretaceous Duhongmu Formation in Sanghe area, Baiyinchagan sag [J]. Geology in China, 2009, 36 (1):214-228 (in Chinese with English abstract).
- [12] 郭建林,贾爱林,何东博,等.滦平上侏罗统-下白垩统扇三角洲露头层序地层学研究[J].中国地质,2007,34(4):628-635.
Guo Jianlin, Jia Ailin, He Dongbo, et al. Sequence stratigraphy of Upper Jurassic-Lower Cretaceous fan-delta outcrops in Luanping

-]]]. *Geology in China*, 2007, 34 (4):628–635 (in Chinese with English abstract).
- [13] 郭艳琴, 李文厚, 陈全红, 等. 陇东地区延长组层序地层特征及油气勘探意义[J]. *中国地质*, 2007, 34(3):406–412.
- Guo Yanqin, Li Wenhong, Chen Quanhong, et al. Sequence stratigraphic characteristics of the Yanchang Formation in the Longdong area and their significance for petroleum exploration [J]. *Geology in China*, 2007, 34 (3):406–412 (in Chinese with English abstract).
- [14] 张金亮, 张鑫. 胜坨地区沙河街组沙四上亚段砂砾岩体沉积相与油气分布[J]. *沉积学报*, 2008, 26(2):361–368.
- Zhang Jinliang, Zhang Xin. The glutenite sedimentary facies and hydrocarbon distribution in the Upper Fourth Member of Shahejie Formation in Shengtuo Area [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2008, 26(2):361–368 (in Chinese with English abstract).
- [15] 孙龙德. 东营凹陷北部斜坡带沙三—四段砂砾岩体与油气聚集[J]. *沉积学报*, 2003, 21(3):278–282.
- Sun Longde. Sandstone–conglomerate bodies in Sha3–4 Members and hydrocarbon accumulation in northern slope of Dongying Sag [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(2):278–282 (in Chinese with English abstract).

The relationship between fan delta and hydrocarbon accumulation in Benxi–Taiyuan Formation, Ordos Basin

CHEN Quan–hong¹, LI Ke–yong², ZHANG Dao–feng³,
JIN Shuan–lian³, GUO Yan–qin⁴, PANG Jun–gang⁴, YUAN Zhen⁴

(1. CNOOC Research Center, Beijing 100027, China; 2. College of Energy and Environmental Engineering, Yan'an University, Yan'an 716000, Shaanxi, China; 3. Research Institute of Exploration and Development, Changqing Oilfield, Xi'an 710069, Shaanxi, China; 4. Institute of Oil and Gas Resources, Xi'an Petroleum University, Xi'an 710065, Shaanxi, China)

Abstract: Based on abundant well datas and core and outcrop observations, combined with geological setting as well as particle sizes and rock and mineral logging datas, the authors analyzed the sedimentary characteristics of widely distributed Late Carboniferous–Early Permian pebbly sandstones. It is suggested that they belong to the fan delta sedimentary system and were deposited in the epicontinental marine basin in the form of channel alluviation characterized by clear zonation in plane and obvious retrogradation structure in vertical section. The depositional structure was formed by the channel traction flow, with no obvious gravity flow deposition. The sandy conglomerate of high–energy braided channels and underwater distributary channels are their main skeletal bodies, whereas the river mouth bars are not well developed. Nevertheless, because of the effects of provenance, paleogeomorphic features and tide, the high–energy channel sand bodies of fan deltas with an important fluviation role have usually been reformed into barrier bars by tides, and hence they can also be regard as favorable reservoirs. Due to the difference in depositional characteristics, the reservoir space, reservoir property and oil–bearing properties of the fan delta are also evidently different. It is therefore concluded that the thick quartz sand belts formed by high energy channels seem to be the favorable facies belts.

Key words: Ordos Basin; Benxi Formation; Taiyuan Formation; fan delta; favorable facies belt

About the first author: CHEN Quan–hong, born in 1975, doctor, engages in the study of sedimentology and petroleum geology; E–mail: allred@163.com.