

鄂尔多斯盆地东部府谷天生桥剖面上古生界下石盒子组8段辫状河储层构型表征

陈东阳^{1,2}, 王峰^{1,2}, 陈洪德^{1,2}, 魏新善³, 孙诗^{1,2}, 祝圣贤^{1,2}

[1. 成都理工大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059; 2. 成都理工大学 沉积地质研究院, 四川 成都 610059; 3. 中国石油 长庆油田分公司 勘探开发研究院, 陕西 西安 710021]

摘要:鄂尔多斯盆地苏里格东部地区上古生界下石盒子组8段(盒8段)为主力产气层,其储层内部构型是控制油气分布的关键地质因素。选取盆地东部与苏东地区具有相似物源体系与沉积环境的府谷天生桥剖面作为研究对象,对该剖面砂体构型进行精细解剖能为苏东地区地质模型的建立提供有效信息。通过剖面实测、岩相分析、构型解剖、砂体规模精确测量等方法,结合沉积学、岩石学特征分析,对府谷天生桥剖面上古生界盒8段辫状河储层构型特征进行了深入研究。结果表明:该剖面盒8段辫状河发育12种岩相类型;其储层内部可划分出复合河道带、单一河道带、单砂体、落淤层及增生体、层系组、层系及纹层等6级构型界面;共识别出河道充填(CH)、纵向砂坝(LB)、斜列砂坝(DB)、横向砂坝(TB)、废弃河道(ACH)和越岸沉积(OF)6种储层构型单元,其中砂坝作为辫状河主要储层构型单元,纵向砂坝厚度介于2.5~5.8m,宽/厚比约为27.6~37.7;斜列砂坝厚度介于2.2~6m,宽/厚比约为34.8~42.1;横向砂坝厚度介于1.5~3.6m,宽/厚比约为47.0~61.8。在对不同构型单元分析的基础上,总结了其空间叠置样式,建立了府谷盒8段辫状河复合砂体三维的构型模式,研究成果为苏东地区盒8段气藏精细描述提供了地质依据。

关键词:辫状河;构型界面;储层构型;下石盒子组;天生桥剖面;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Characterization of braided river reservoir architecture of the Upper Paleozoic He 8 member on Fugu Tianshengqiao outcrop, eastern Ordos Basin

Chen Dongyang^{1,2}, Wang Feng^{1,2}, Chen Hongde^{1,2}, Wei Xinshan³, Sun Shi^{1,2}, Zhu Shengxian^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 2. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 3. Research Institute of Exploration and Development of Changqing Oilfield Branch Company, PetroChina, Xi'an, Shaanxi 710021, China)

Abstract: The major gas pay zone lies in the 8th member of the Upper Paleozoic Lower Shihezi Formation (He 8 member), eastern part of Sulige region, Ordos basin. Its reservoir architecture acts as a predominant geological factor for oil/gas distribution. Targeting at Tianshengqiao outcrop in Fugu county in eastern Ordos Basin, similar to eastern Sulige region in provenance and sedimentary setting, we finely studied the architecture of the outcropped sand body, which can offer critical information for the establishment of geological model of eastern Sulige region. Based on the outcrop survey, petrographic investigation, architecture analysis and fine measurement of sand body volume, combined with the sedimentary and petrologic analyses, we recognized twelve types of lithofacies in the braided river deposits of He 8 member. Six levels of architecture interfaces were classified within the reservoirs, namely composite channel-belt, single channel-belt, single sand body, silty layer accompanied with accretion, bed set, single bed and laminae. Six reservoir architecture units are identified, that is, channel filling (CH), longitudinal bar (LB), diagonal bar (DB), transverse bar (TB), abandoned channel (ACH) and overflow deposits (OF). Among these, sand bar is a dominant reservoir architecture unit. The thickness of longitudinal bar ranges between 2.5m and 5.8m with the width/thickness ratio varying from 27.6 to 37.7; the thickness

收稿日期:2018-05-11; 修订日期:2018-12-03。

第一作者简介:陈东阳(1993—),男,硕士研究生,沉积学。E-mail:820740269@qq.com。

通讯作者简介:王峰(1977—),男,博士,副教授,储层沉积学研究。E-mail:wangfeng07@cdut.cn。

基金项目:国家科技重大专项(2016ZX05050-001);四川省教育厅重点项目(16ZA0103)。

of diagonal bar ranges between 2.2m and 6m with a width/ thickness ratio varying from 38.4 to 42.1; while the thickness of transverse bar ranges between 1.5m and 3.6m with a width/ thickness ratio varying from 47.0 to 61.8. Based on the analyses of different architecture units, we summed up the spatial superimposition patterns of the reservoir, established the 3D architecture model of braided river composite sand body in the He 8 member of Tianshengqiao outcrop in Fugu county, both of which will provide geological evidences in the fine description of He 8 member in eastern Sulige region.

Key words: braided river, architecture interface, reservoir architecture, Lower Shihezi Formation, Tianshengqiao outcrop, Ordos Basin

储层构型亦称为储层建筑结构,是指不同级次储层构成单元的形态、规模、方向及其叠置关系^[1]。自 Miall 于 1985 年提出构型要素分析方法以来^[2-4],众多学者对辫状河储层地质模式、层次界面及构型单元进行了广泛研究^[5-10],表明不同环境下辫状河储层构型单元的岩相组合及空间叠置样式有所差异,同时其构型单元的定量几何属性(宽/厚比)也不尽相同^[11-16]。因此利用目的层露头储层构型精细研究具有重要作用,可为建立逼近地下真实地质概念模型提供优越条件。

近年的勘探实践表明,鄂尔多斯盆地苏里格东部地区(简称“苏东地区”)下石盒子组 8 段(盒 8 段)勘探潜力巨大,日益成为增储上产的重要区域^[17-19],但该地区砂体构型的研究多局限于钻井资料^[20-23],对于露头砂体构型的地质研究相对薄弱,严重制约了水平井的部署及开发。因此论文在周缘盒 8 段露头踏勘的基础上,选择与苏东地区盒 8 段物源区一致^[24-25],且同为辫状河沉积体系^[26-28]的府谷天生桥剖面进行精细解剖。对该剖面盒 8 段辫状河砂体构型进行研究,从二维及三维的角度,较连续、完整地揭露沉积体包含的丰富信息,实现从复合河道带—单河道—单砂体等不同规模砂体的描述,为含油气富集区带优选,井间距的优化,水平井的导向提供客观、科学的依据。

1 研究区位置及地层概况

府谷天生桥剖面位于鄂尔多斯盆地东部,距陕西省府谷县城东部约 2 km,该区域气候干旱,植被发育较少,下石盒子组出露齐全,是研究砂体构型的理想地区(图 1a)。其中盒 8 段垂直古流向及斜切古流向露头清晰可见,地层产状为 $285^{\circ} \angle 4^{\circ}$,地层平缓延伸较远,可以直接观察构型单元内部岩相组合和空间叠置样式。研究层段沉积物粒度较粗,以含砾粗砂岩、中粗砂岩为主,细砂岩相对较少;垂向上,河道二元结构不明显,其下部主要以槽状交错层理为主,上部为板状交

错层理,古水流方向平均为 165° ,按岩性、岩相及沉积旋回特征由下而上分成 4 个小层,即盒 $8^{\text{下}(2)}$ 、盒 $8^{\text{下}(1)}$ 、盒 $8^{\text{上}(2)}$ 、盒 $8^{\text{上}(1)}$ 小层(与 6 级构型界面相对应)(图 1b)。其中盒 $8^{\text{下}(2)}$ 、盒 $8^{\text{下}(1)}$ 为砂质辫状河沉积,盒 $8^{\text{上}(2)}$ 为辫状河向曲流河转变沉积,盒 $8^{\text{上}(1)}$ 为曲流河沉积。

2 岩相类型

岩相反映了沉积体形成的水动力条件、搬运方式及沉积作用机制等^[12],是识别成因砂体、划分储层构型单元的重要依据。通过对府谷天生桥剖面上古生界盒 8 段辫状河露头岩石特征分析,共识别出 12 种岩相类型(表 1;图 2)。

块状层理砾岩相(Gm):由含泥质成分的砾石呈块状堆积组成,砾石表现为次棱角状—次圆状、分选较差,平均粒径为 2.3 cm(图 2a),整体厚度为 20~40 cm,为辫状河强水动力条件下河道充填及砂坝底部滞留砾石沉积。

槽状交错层理含砾砂岩相(Gst):含砾粗砂岩中发育大型槽状交错层理,沿着纹层收敛的底部含有定向排列的少量砾石,砾石呈次圆状—圆状最大粒度可达 2.4 cm,平均粒径为 1 cm(图 2b)。其上部为粗砂岩,磨圆较好、分选中等,主要为河道充填沉积。

低角度下切型板状交错层理含砾砂岩相(Gsp I):纹层倾角小且相对稳定,一般为 $13^{\circ} \sim 18^{\circ}$,纹层与底层系界面呈收敛相切,沿纹层底面发育少量砾石(图 2c)。低角度下切型板状交错层理含砾砂岩相主要为斜列砂坝早期经过多次迁移并叠加而成。

高角度下切型板状交错层理含砾砂岩相(Gsp II):岩性为含砾粗砂岩,纹层倾角在不同部位变化较大,纹层倾角一般大于 20° ,沿纹层底面分布细砾石(图 2d)。该岩相为纵向砂坝迁移所致,也形成于强水动力条件下。

高角度下截型板状交错层理含砾砂岩相(Gsp III):该岩相纹层面平直,倾角大于 20° ,并与顶底层系

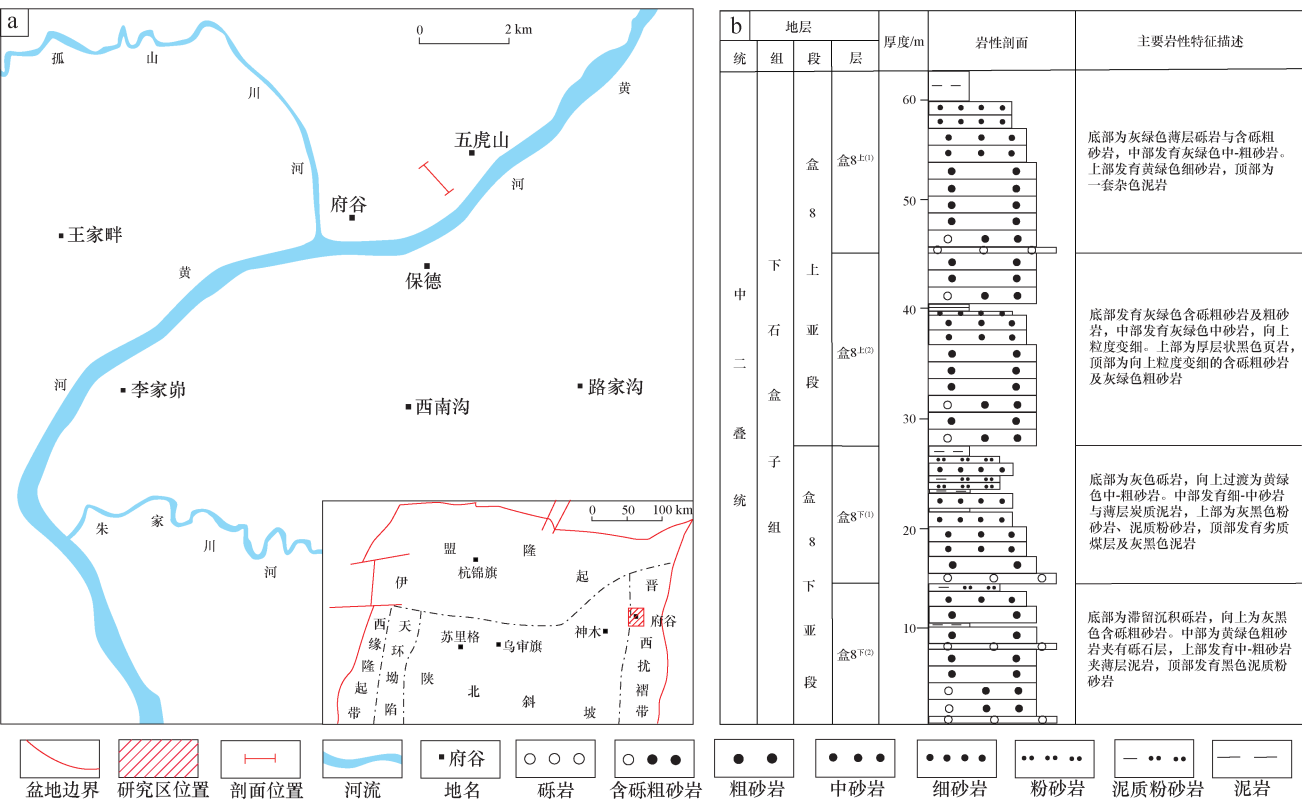


图1 鄂尔多斯盆地东部府谷地区位置示意图(a)及盒8段综合柱状图(b)

Fig. 1 Schematic diagram showing the location of Fugu area(a) and composite column of He 8 member(b) in eastern Ordos Basin

表1 天生桥剖面盒8段辫状河岩相类型划分及成因解释

Table 1 Lithofacies classification and genetic explanation of He 8 member on Tianshengqiao outcrop, eastern Ordos Basin

岩相代码	岩相名称	岩相标志	主要岩性	成因解释
Gm	块状层理砾岩相		砂泥质细-中砾岩	河道充填,砂坝底部滞留沉积
Gst	槽状交错层理含砾砂岩相		粗砂-含砾粗砂岩	河道充填与下切
Gsp I	低角度下切型板状交错层理含砾砂岩相		粗砂-含砾粗砂岩	斜列砂坝,侧向迁移
Gsp II	高角度下切型板状交错层理含砾砂岩相		粗砂-含砾粗砂岩	纵向砂坝,垂向和顺流加积
Gsp III	高角度下截型板状交错层理含砾砂岩相		粗砂-含砾粗砂岩	横向砂坝,垂向加积
St	槽状交错层理砂岩相		中砂-粗砂岩	河道充填及部分砂坝迁移
Sp I	低角度下切型板状交错层理砂岩相		中砂-粗砂岩	斜列砂坝,侧向迁移
Sp II	高角度下切型板状交错层理砂岩相		中砂-粗砂岩	纵向砂坝,垂向和顺流加积
Sh	平行层理砂岩相		细砂-中砂岩	废弃河道充填,稳定水动力
Fh	水平层理粉砂岩相		粉砂岩,泥质粉砂岩	越岸沉积
Fr	沙纹层理粉砂岩相		粉砂岩,泥质粉砂岩	废弃河道,小型沙纹迁移
M	块状层理泥岩相		泥岩,炭质泥岩	越岸沉积,落淤层

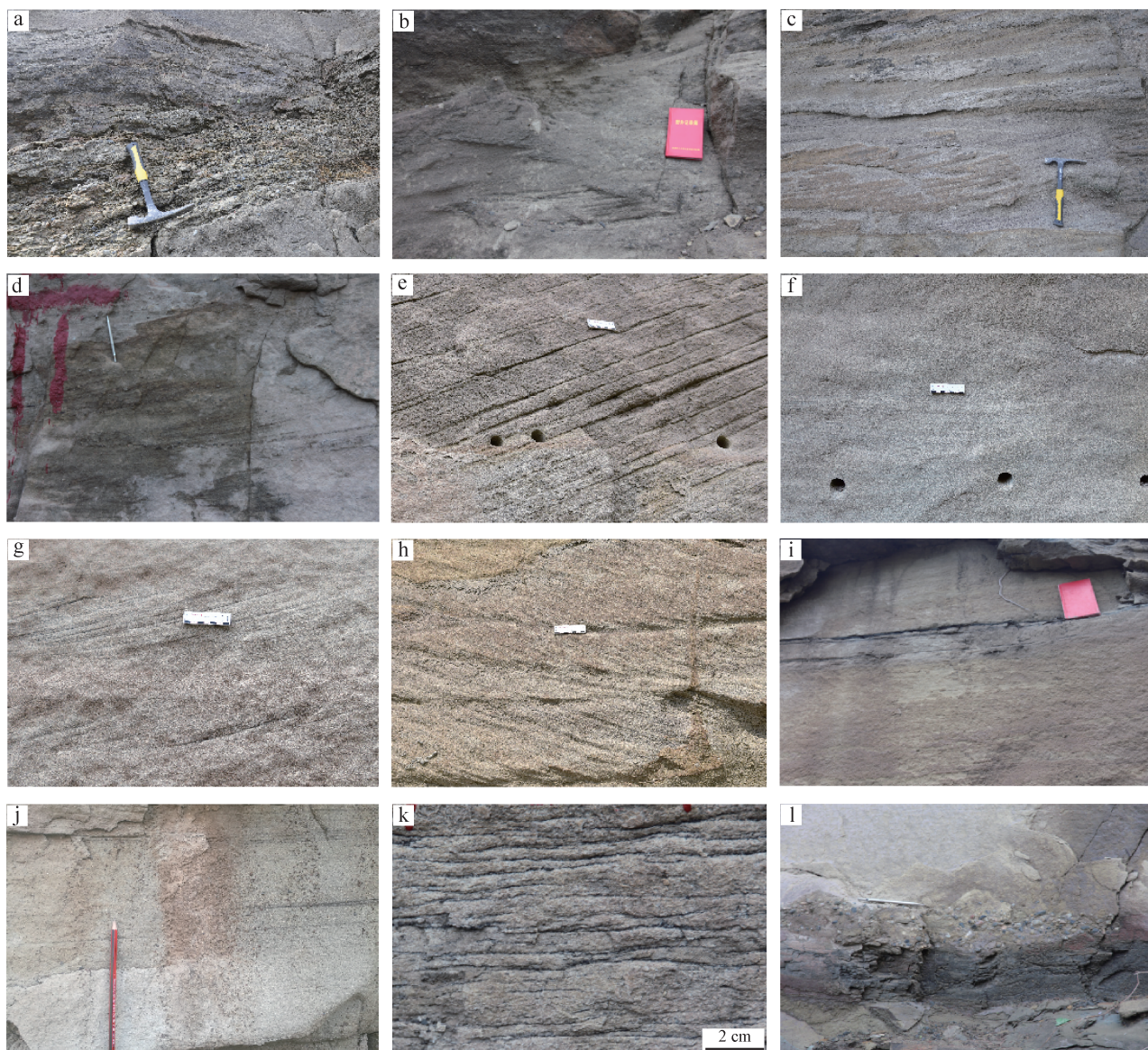


图2 天生桥剖面盒8段辫状河露头典型岩相类型

Fig. 2 Typical lithofacies types of braided river deposits in He 8 member on Tianshengqiao outcrop, Fugu county, eastern Ordos Basin

a. 块状层理砾岩相(Gm); b. 槽状交错层理含砾砂岩相(Gst); c. 低角度下切型板状交错层理含砾砂岩相(GspI); d. 高角度下切型板状交错层理含砾砂岩相(GspII); e. 高角度下切型板状交错层理含砾砂岩相(GspIII); f. 槽状交错层理砂岩相(St); g. 低角度下切型板状交错层理砂岩相(SpI); h. 高角度下切型板状交错层理砂岩相(SpII); i. 平行层理砂岩相(Sh); j. 水平层理粉砂岩相(Fh); k. 沙纹层理粉砂岩相(Fr); l. 块状层理泥岩相(M)

界面直线斜交,岩纹层底面常分布有中砾岩及泥砾(图2e)。层系较厚,为40~50 cm,粒度具有向上变细的特征。属于横向砂坝垂向加积或多次摆动的结果。

槽状交错层理砂岩相(St):该类型槽状交错层理发育规模较小且纹层宽缓(图2f),岩性为黄绿色中-粗砂岩,属于辫状河河道冲刷、迁移、充填沉积或砂坝内部沉积。

低角度下切型板状交错层理砂岩相(Sp I):此种岩相多发育于盒8^{±(2)},岩性以黄绿色中-粗砂岩为主,单组层系厚度较大,纹层倾角较小为16°~20°(图2g)。该岩相为河道相对变窄,砂坝侧向迁移,以

侧向加积为主,属于斜列砂坝沉积。

高角度下切型板状交错层理砂岩相(Sp II):该岩相在剖面上较为发育,岩性以中-粗砂岩为主,纹层下部与层系界面斜交,纹层倾角大于20°(图2h),为纵向砂坝顺流加积形成。

平行层理砂岩相(Sh):在剖面上多见于废弃河道及河道充填顶部沉积,岩性多为中-细砂岩,岩层最大厚度可达1.3 m(图2i),为水流浅急条件下的产物,属高流态面状层流沉积。

水平层理粉砂岩相(Fh):主要发育在废弃河道和越岸沉积中,岩性以粉砂岩及泥质粉砂岩为主,在粉砂

岩层中夹极薄黑色泥岩(图2j),反映出河道废弃,弱水动力条件下沉积物机械分异的结果。

沙纹层理粉砂岩相(Fr):单层厚度一般小于70 cm,岩性以粉砂岩及泥质粉砂岩为主,具波状小型沙纹交错层理(图2k),它主要形成于废弃河道后期弱水动力条件下单向水流向前迁移沉积。

块状层理泥岩相(M):主要为深灰色及灰黑色泥岩或粉砂质泥岩部分含炭质,呈块状(图2l)。为低能静水条件下悬浮细粒沉积物沉降形成,属于辫状河废弃河道和越岸沉积。

3 储层构型界面划分与识别

参照 Miall 和吴胜和提出的河流相储层层次划分方案^[1,3,9],总结出了研究剖面中辫状河储层内部构型的6级划分方案(表2)。

按照上述划分方法,将该研究区盒8段辫状河露头砂体进行构型界面的详细解剖与识别(图3),其中3~5级构型界面不仅是油气田开发地质中重要的界面类型,也是后期定量构型单元几何属性的基础^[10]。

0级界面为纹层界面,砂体中槽状及板状交错层理纹层清晰,沿纹层底界颗粒较粗;1级界面为层系界面,界面平无侵蚀,厚度为0.2~1.5 m;2级界面为层系组界面,界面平整广泛分布,无侵蚀,实测其厚度为0.5~3 m(图3a,b)。

3级界面为部分构型单元内部增生体或夹层界面。在辫状河洪泛期,由于水动力较高,碎屑物质快速

堆积,形成砂质增生体沉积;平水期,水动力快速减弱,细粒的悬浮物会在增生体顶部大范围的沉积下来,形成落淤层沉积,以灰黑色泥质粉砂岩为主,呈现出中间厚两翼薄的形态,并未贯穿整个砂坝(图3d);同时3级界面还包括河道充填内部的小型侵蚀面,水平或倾斜分布。

4级界面为砂坝与河道充填等构型单元的分界面。观察野外垂直古流向的露头,同期砂坝与河道充填侧向拼接,可见河道充填与砂坝的界面呈现出高角度倾斜状,下部界面可见部分含砾粗砂岩,上部界面沉积了砂坝翼部细-中砂岩,界面不太明显(图3d)。

5级界面为同期单一河道带,该界面以第一期辫状河顶部泛滥泥岩或第二期河道底部冲刷面为界。仔细观察天生桥盒8段露头,5级界面分布也较明显,可以看见辫状河顶部的泛滥泥岩由于后期洪水冲刷作用,部分地方发育较少,不甚明显,但底部砾岩及黄绿色含砾粗砂岩非常明显。界面由于河道充填及砂坝相互叠置而不太平坦(图3d,f)。

6级界面为辫状河复合河道带边界,是垂向上由若干有序迁移并连续沉积的单期河道构成。复合河道带也是地质分层中小层的界面,该界面较为平坦(图3f),是一套分布稳定、连续较好的泛滥平原沉积面,以平水期表面的泥岩及下一期洪水冲刷-充填的底部滞留砾岩为界。野外剖面6级界面分布稳定明显,灰色泥岩厚度约0.5~0.8 m,之上滞留砾岩厚约0.9~1.2 m。

4 辫状河储层构型表征

辫状河砂体作为油气重要的储层,油气的富集受构型单元的控制,因此对其储层砂体的表征显得尤为重要。

4.1 储层构型单元解剖

研究表明府谷天生桥剖面上古生界盒8段辫状河发育河道充填、纵向砂坝、斜列砂坝、横向砂坝、废弃河道和越岸沉积6种构型单元,由4级构型界面控制,对各构型单元进行精细解译。

4.1.1 河道充填(CH):(Gm-Gst-Sh,Gm-St-Gm-Sh)

河道充填在该剖面较常见,以黄绿色或灰绿色含砾粗-中砂岩为主,在剖面上通常呈现出“顶平底凸”的几何形状(图4a,b)。整个河道充填岩相以Gst相及St相为主,底部常见冲刷面和滞留沉积,垂向上序

表2 构型界面划分及成因分析

Table 2 Division and genetic analysis of architectural interfaces

界面级别	沉积单元	成因分析
0级	纹层	具有相同岩石性质的沉积物同时沉积的结果
1级	层系	单一岩相,(纹层组构成的层系)
2级	层系组	单一岩相的叠加,(层系叠加构成的层系组)
3级	砂坝增生体、落淤层	由轻微侵蚀界面控制的连续沉积序列
4级	砂坝(单砂体)	河道内部多个砂坝增生单元在垂向或侧向上加积、侧积构成的砂体
5级	单一河道带	由大型侵蚀界面控制的连续沉积序列,底部可见滞留沉积,顶部为泥岩或冲刷侵蚀边界
6级	复合河道带	垂向上由若干有序迁移并连续沉积的单一河道构成的复合河道

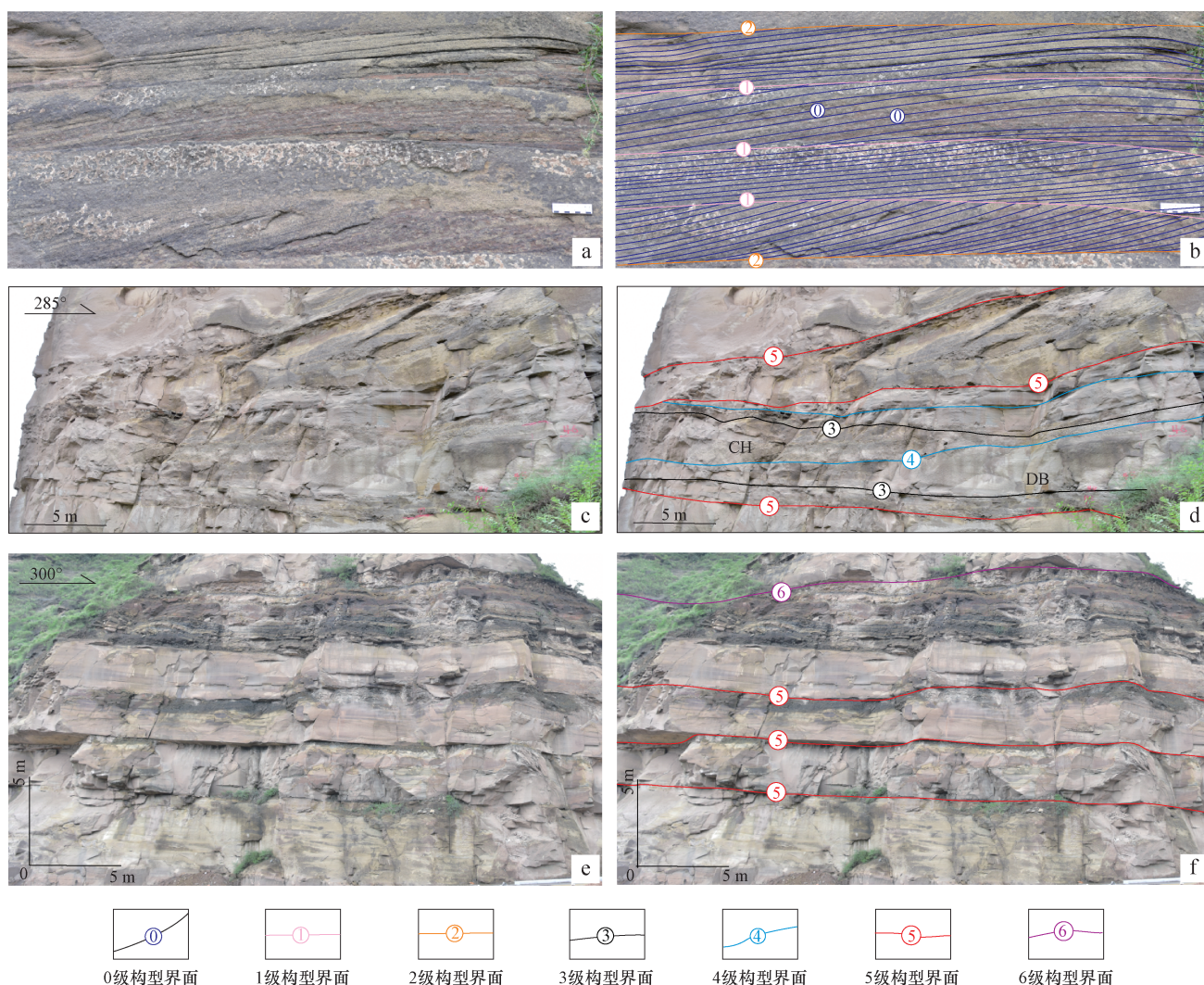


图3 天生桥剖面盒8段辫状河0~6级构造界面划分

Fig. 3 Architectural interface division from Level 0 to 6 of He 8 member on Tianshengqiao outcrop, Fugu county, eastern Ordos Basin

a. 0~2级构造界面宏观照片; b. 0~2级构造界面识别与划分; c. 3~5级构造界面宏观照片; d. 3~5级构造界面识别与划分;
e. 5~6级构造界面宏观照片; f. 5~6级构造界面识别与划分

列表现为 Gm - Gst - Sh (图 4cB) 和 Gm - St - Gm - Sh (图 5cA) 组合, 向上粒度变细。

河道充填底部的滞留沉积 (Gm), 厚度不大, 砾石的粒径大小不一, 最大的约为 4 cm, 平均大小为 2 cm, 磨圆中等; 向上由于水动力强, 河道迁移并伴随下切作用, 进而过渡为 Gst 相, 层理较大; 上部发育槽状交错层理砂岩相 (St), 层理规模变小, 岩性为磨圆较好中-粗岩屑砂岩; 随着河道逐渐加宽变浅, 发育平行层理中粗砂岩相 (Sh)。

4.1.2 纵向砂坝 (LB): (Gst - Gsp II - St - Sp II - Fr - Sp II, Gst - Sp II)

纵向砂坝以黄绿色含砾粗-粗砂岩为主, 向上粒度变细, 坝顶可出现中砂岩, 在剖面上通常呈“底平顶凸”透镜状 (图 4a, b)。纵向砂坝主要为顺流加积作用

形成, 沉积构造以高角度下切型板状交错层理为主 (图 4cA, 4cC)。研究近似平行古水流方向的纵向砂坝露头 (图 4b, 4c)。该纵向砂坝底部为槽状交错层理含砾粗砂岩 (Gst), 反映了早期砂坝的形成以下切充填作用为主; 向上由于顺流加积作用, 过渡为 Gsp II 相和 Sp II 相; 纵向砂坝背水面方向发育落淤层 (图 4b), 为灰黑色粉砂岩及泥质粉砂岩, 随砂坝轮廓呈一定角度倾斜, 实测落淤层 (Fr) 厚度为 0.1~0.25 m, 是水动力相对较弱时期沉积。坝顶部局部残存平行层理的中砂岩, 表明后期水动力具有水浅急流的特点。

4.1.3 斜列砂坝 (DB): (Gm - Gsp I - Sp I - St)

斜列砂坝沉积构造以低角度下切型板状交错层理为主 (图 5b)。该构型单元底部发育 Gm 相, 厚度约为 0.3 m, 砾岩中泥质含量较高。向上岩石粒度变

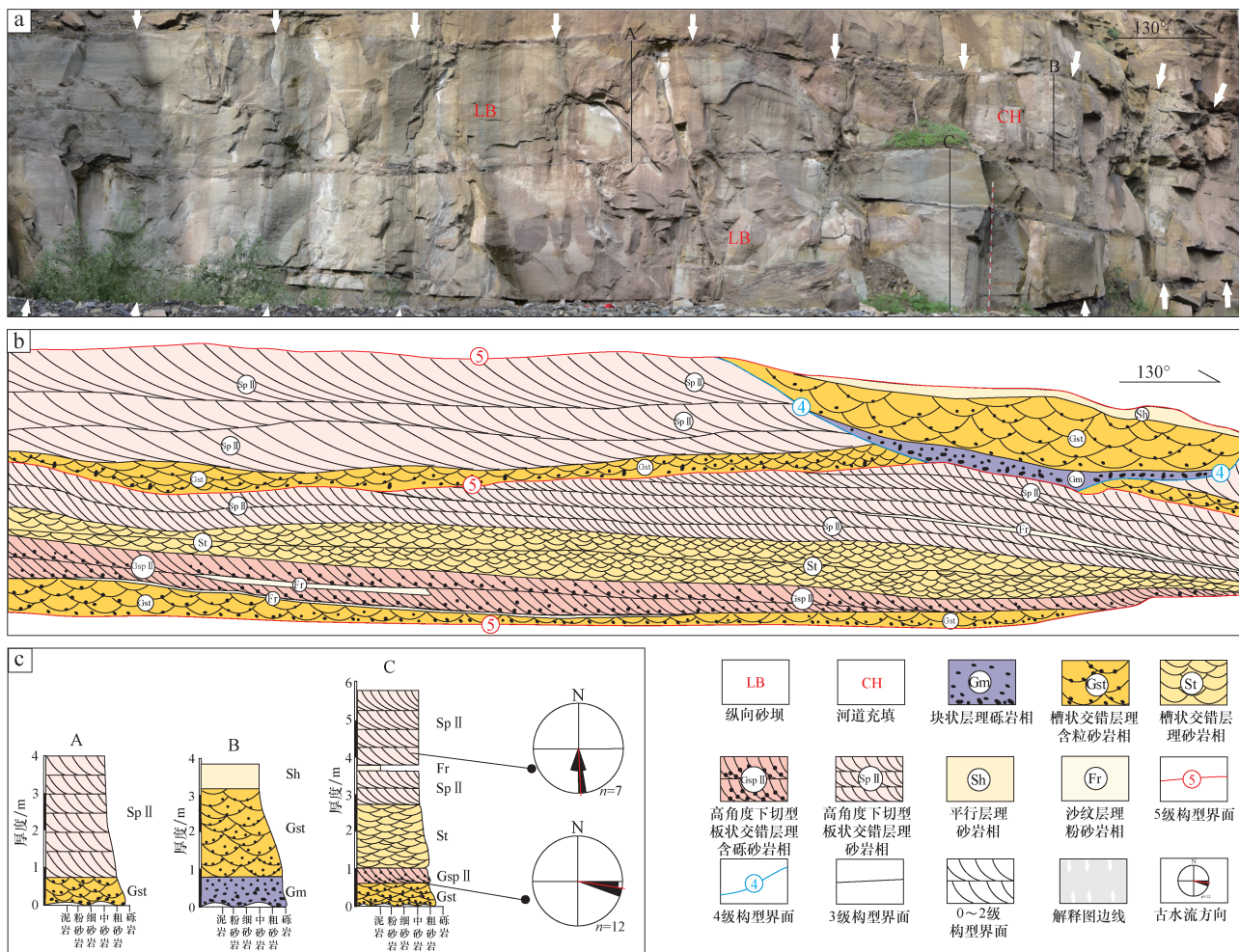


图4 天生桥剖面盒8段纵向砂坝及河道充填解释结果

Fig. 4 Interpretation of longitudinal bar and channel filling of He 8 member on Tianshengqiao outcrop, Fugu county, eastern Ordos Basin
a. 纵向砂坝与河道充填宏观照片; b. 纵向砂坝与河道充填精细解释; c. 纵向砂坝与河道充填岩相组合

细,发育 Gsp I 相和 Sp I 相为斜列砂坝侧向加积作用形成。顶部发育小型槽状交错层理砂岩相 (St), 为后期砂坝侧向迁移形成。在天生桥剖面中,斜列砂坝主要发育于盒 8^{上(2)}段,研究斜切古水流方向的斜列砂坝露头 (图 5cC), 总体上表现为“底平顶凸”的几何特征 (图 5a,b)。斜列砂坝是河道由宽变窄发生的侧向加积或侧向迁移形成。

4.1.4 横向砂坝 (TB): (Gst - Gsp III)

在天生桥露头中,横向砂坝发育较少,该构型单元底部发育槽状交错层理含砾砂岩相 (Gst), 同时含有少量泥砾,向上粒度有变细的趋势,发育高角度下截型板状交错层理含砾砂岩相 (Gsp III) (图 6b), 以垂向加积为主。研究近似垂直古水流方向的横向砂坝露头 (图 6b), 可见砂坝底面稍微向下凸顶面较为平整 (图 6a)。测得上部两套板状交错层理砂岩增生体古流向不同,反映了横向砂坝不连续水流卸载的垂

向加积作用。

4.1.5 废弃河道 (ACH): (Sh - Fr - M)

废弃河道 (图 7a) 呈席状或顶平底凸的形状,灰绿色细砂岩、粉砂岩及灰黑色炭质泥岩为主。对废弃河道解释成果可看出废弃河道充填的岩相序列由下部平行层理细砂岩相过渡到上部泥岩相 (图 7c), 多期重复出现构成完整的废弃河道充填。

4.1.6 越岸沉积 (OF): (Fh - M)

剖面上越岸沉积整体呈席状 (图 5a), 延伸范围广 (图 5b), 该构型单元底部为水平层理粉砂岩相, 上部为块状层理泥岩相, 均为细粒沉积, 表明了越岸沉积水动力弱且间歇性活动的特点。

4.2 构型单元发育规模

整个盒 8 段辫状河露头 4 级层级界面清晰, 对近

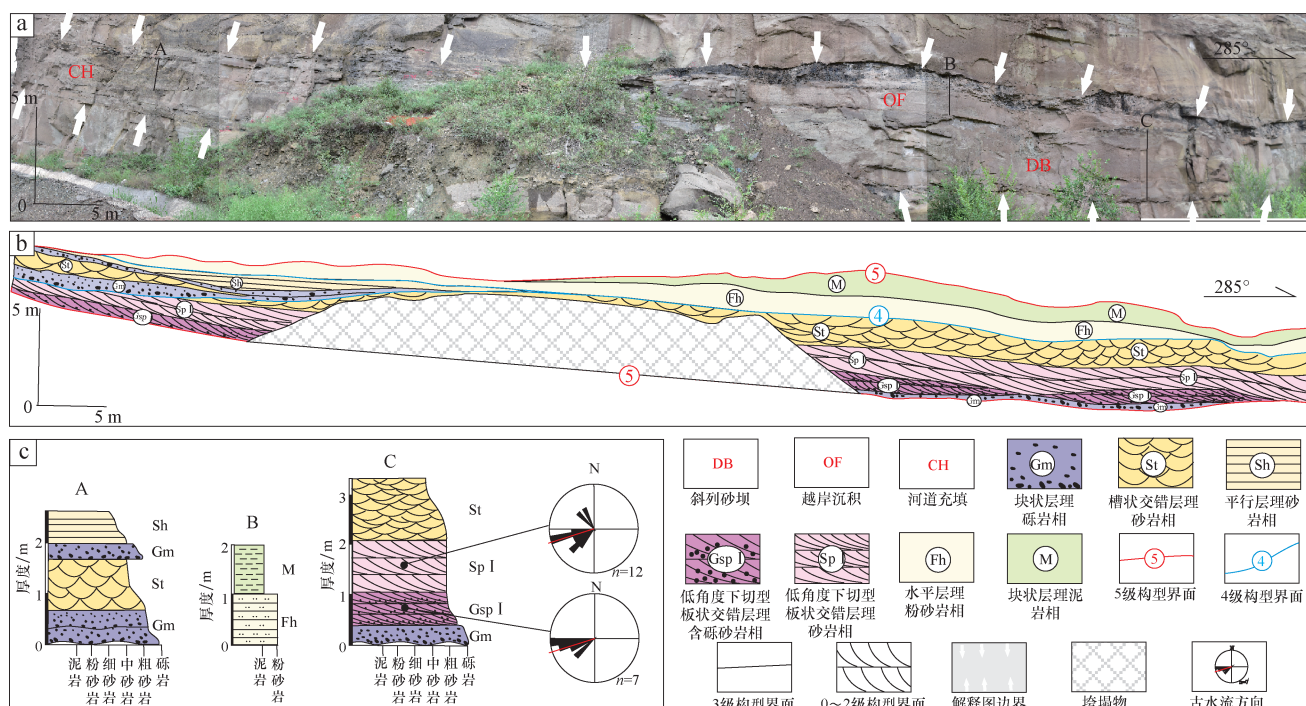


图5 天生桥剖面盒8段斜列砂坝、河道充填及越岸沉积解释结果

Fig. 5 Interpretation of diagonal bar, channel filling and overflow deposits of He 8 member on Tianshengqiao outcrop, Fugu county, eastern Ordos Basin

a. 斜列砂坝、河道充填及越岸沉积宏观照片; b. 斜列砂坝、河道充填及越岸沉积精细解释; c. 斜列砂坝、河道充填及越岸沉积岩相组合

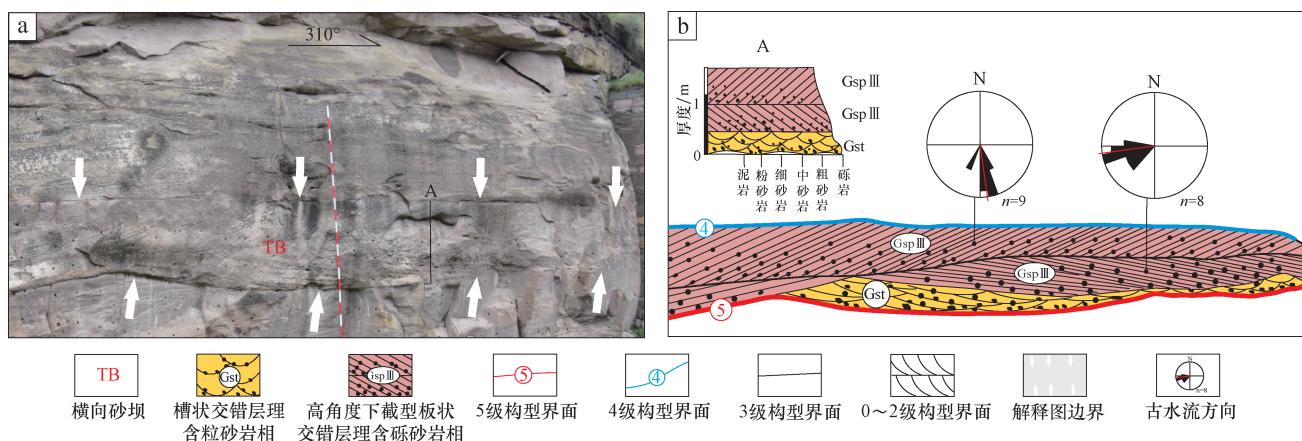


图6 天生桥剖面盒8段横向砂坝解释结果

Fig. 6 Interpretation of transverse bar of He 8 member on Tianshengqiao outcrop, Fugu county, eastern Ordos Basin

a. 横向砂坝宏观照片; b. 横向砂坝精细解释及岩相组合

似垂直古流向的构型单元规模进行识别和测量,其中河道充填构型单元6个,厚度介于1.9~4.3 m,宽/厚比约为32.6~38.2;纵向砂坝构型单元13个,厚度介于2.5~5.8 m,宽/厚比约为27.6~37.7;斜列砂坝构型单元11个,厚度介于2.2~6 m,宽/厚比约为34.8~42.1;横向砂坝构型单元5个,厚度介于1.5~3.6 m,宽厚比约为47.0~61.8;废弃河道构型单元1个,厚度6 m,宽/厚比为30;越岸沉积构型单元1个,厚度2 m,宽/

厚比为90(表3)。

5 辫状河储层构型模式

通过对该剖面盒8段辫状河近似垂直及斜切古流向露头的精细研究,识别出不同级别构型界面及构型单元的内部特征,总结了构型单元空间叠置形式,建立该地区辫状河同期次河道复合砂体三维的构型模式(图8)。

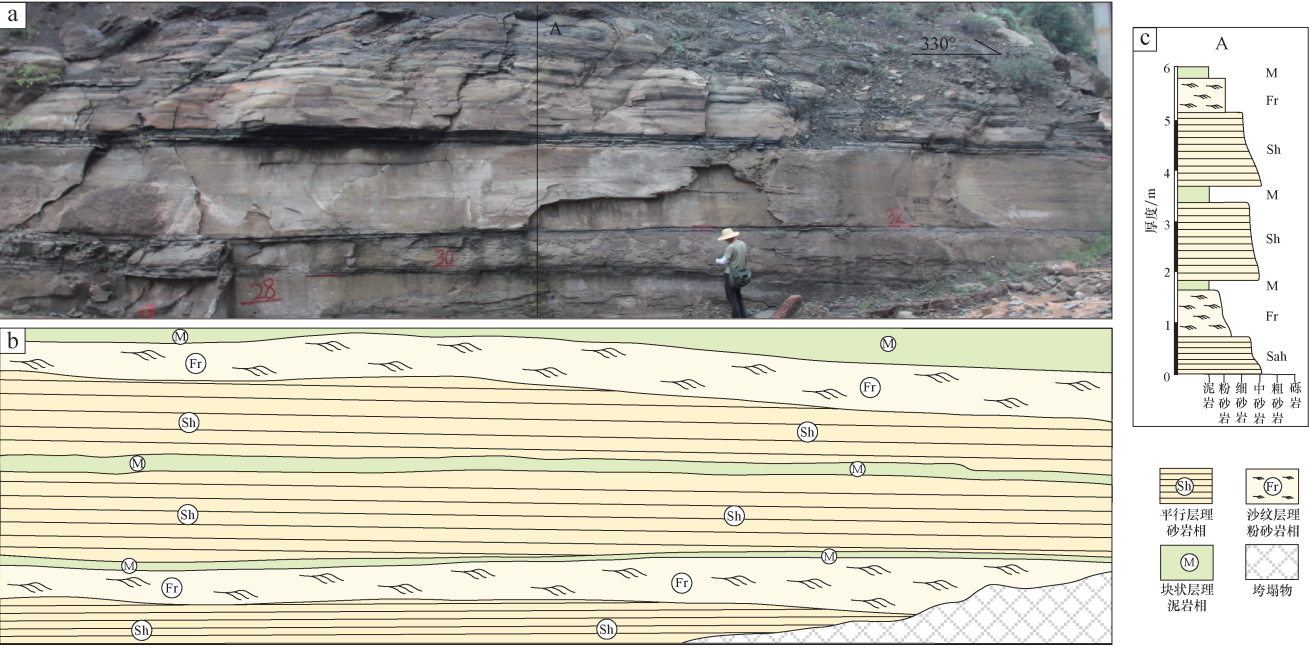


图 7 天生桥剖面盒 8 段废弃河道解译结果

Fig. 7 Interpretation of abandoned channel of He 8 member on Tianshengqiao outcrop, Fugu county, eastern Ordos Basin
a. 废弃河道宏观照片; b. 废弃河道精细解译; c. 废弃河道岩相组合

表 3 天生桥剖面盒 8 段辫状河储层构型单元规模

Table 3 Architecture unit scale of braided river reservoir in the He 8 member on Tianshengqiao outcrop, Fugu county, eastern Ordos Basin

储层构型单元	形态	宽/m	厚/m	宽/厚
河道充填(CH)	顶平底凸	62 ~ 142	1.9 ~ 4.3	32.6 ~ 38.2
纵向砂坝(LB)	底平顶凸	69 ~ 208	2.5 ~ 5.8	27.6 ~ 37.7
斜列砂坝(DB)	底平顶凸	86 ~ 231	2.2 ~ 6.0	34.8 ~ 42.1
横向砂坝(TB)	顶平底微凸	70 ~ 212	1.5 ~ 3.6	47.0 ~ 61.8
废弃河道(ACH)	顶平底凸	180	6.0	30.0
越岸沉积(OF)	席状	180	2.0	90.0

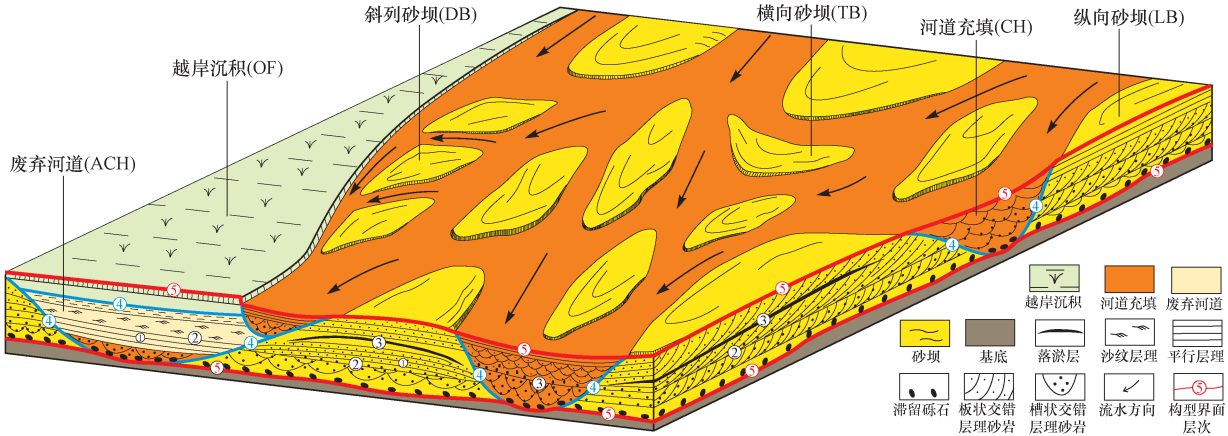


图 8 天生桥剖面盒 8 段辫状河储层构型模式

Fig. 8 Architecture pattern of braided river reservoir in the He 8 member on Tianshengqiao outcrop, Fugu county, eastern Ordos Basin

见典型滞留砾石沉积。在整个辫状河发育早期由于水动力强,辫状河道底部沉积了较粗的碎屑物质;其中河道充填以槽状交错层理含砾粗砂岩相为主,砂坝以板状交错层理含砾砂岩相为主。辫状河发育后期,河道变宽,水体加深,水动力减弱,沉积碎屑物质变细,新的岩相类型加积在辫状河道上;辫状河平水期,水动力减

弱以泥岩沉积为主,形成越岸沉积(5级界面顶部)(图8),也标志着一期河道的终结。辫状河上游以发育纵向砂坝为主,伴随发育了少量横向砂坝,下游由于河道变窄,侧向加积作用增强使得斜列砂坝增多。同期次单一辫状河河道充填分别与纵向砂坝、斜列砂坝及横向砂坝侧向拼接,废弃河道与纵向砂坝侧向拼接,越岸沉积叠置于斜列砂坝或废弃河道之上(图8)。多期次辫状河各构型单元在垂向上及侧向上相互拼接,形成了广泛分布的厚砂体,该模式可为苏东地区盒8段气藏精细描述提供地质依据。

6 结论

1) 府谷天生桥剖面上古生界盒8段辫状河露头共识别出12种岩相类型,划分了6级构型界面,由大到小依次是复合河道带、单一河道带、单砂体、落淤层及增生体、层系组、层系及纹层界面。明确了各级别构型界面特征,可为相同地下储层界面的识别提供依据。

2) 基于对岩石相类型和构型界面的详细识别与划分,府谷天生桥剖面上古生界盒8段辫状河主要发育6种储层构型单元。河道充填(CH)构型单元岩相组合为Gm-Gst-Sh或Gm-St-Gm-Sh,为河流迁移、充填下切作用形成,剖面呈“顶平底凸”的外部形态;纵向砂坝(LB),岩相组合为Gst-GspⅡ-St-SpⅡ-Fr-SpⅡ或Gst-SpⅡ,主要为河流顺流加积作用形成,呈“底平顶凸”的外部形态;斜列砂坝(DB),岩相组合为Gm-GspⅠ-SpⅠ-St,为河道由宽变窄发生的侧向加积或侧向迁移形成,剖面外部形态和纵向砂坝相似;横向砂坝(TB),岩相组合为Gst-GspⅢ,为不连续水流卸载的垂向加积作用形成;废弃河道(ACH),岩相组合Sh-Fr-M多次重复出现,构成完整的废弃河道构型单元,剖面上呈“顶平底凸”的形态;越岸沉积(OF),岩相组合为Fr-M,为后期弱水动力作用形成,呈席状。

3) 天生桥剖面砂坝分布率较高,统计3种砂坝发育规模,其中横向砂坝宽/厚比最大,约为47.0~61.8;斜列砂坝宽/厚比次之,约为34.8~42.1;纵向砂坝宽/厚比最小,约为27.6~37.7。

4) 研究同时期单一河道带各构型单元空间组合,可知河道充填分别与纵向砂坝、斜列砂坝及横向砂坝侧向拼接,废弃河道与纵向砂坝侧向拼接,越岸沉积叠置于斜列砂坝或废弃河道之上,各构型单元的组合形成了广泛分布的厚砂体,以此建立该盒8段辫状河储

层构型模式,为苏东地区盒8段气藏精细描述提供了地质依据。

参考文献

- [1] 吴胜和. 储层表征与建模[M]. 北京:石油工业出版社,2010:136-157.
Wu Shenghe. Reservoir characterization and modeling[M]. Beijing: Petroleum Industry Press,2010:136-157.
- [2] Miall A D. Architectural-element analysis: A new method of facies analysis applied to fluvial deposits[J]. Earth Science Reviews, 1985, 22(4):261-308.
- [3] Miall A D. Architectural elements and bounding surfaces in fluvial deposits: anatomy of the Kayenta Formation (Lower Jurassic), Southwest Colorado[J]. Sedimentary Geology, 1988, 55(3):233-262.
- [4] Miall A D. Reconstructing the architecture and sequence stratigraphy of the preserved fluvial record as a tool for reservoir development a reality check[J]. AAPG Bulletin, 2006, 90(7):989-1002.
- [5] 廖保方, 张为民, 李列, 等. 辫状河现代沉积研究与相模式: 中国永定河剖析[J]. 沉积学报, 1998, 16(1):34-39.
Liao Baofang, Zhang Weimin, Li Lie, et al. Study on modern deposit of a braided stream and faces model: Taking the Yongding River as an example[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(1):34-39.
- [6] 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,2004:92-109.
Yu Xinghe, Ma Xingxiang, Mu Longxin, et al. Geological model and hierarchical interface analysis for braided river reservoir [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004:92-109.
- [7] 刘钰铭, 侯加根, 王连敏, 等. 辫状河储层构型分析[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2009, 33(1):7-11.
Liu Yuming, Hou Jiagen, Wang Lianmin, et al. Architecture analysis of braided river reservoir[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2009, 33(1):7-11.
- [8] 孙天建, 穆龙新, 吴向红, 等. 砂质辫状河储层构型表征方法——以苏丹穆格莱特盆地 Hegli 油田为例[J]. 石油学报, 2014, 35(4):715-724.
Sun Tianjian, Mu Longxin, Wu Xianghong, et al. A quantitative method for architectural characterization of sandy braided-river reservoirs: taking Hegli oilfield of Muglad Basin in Sudan as an example [J]. Acta Petrolei Sinica, 2014, 35(4):715-724.
- [9] 吴胜和, 纪友亮, 岳大力, 等. 碎屑沉积地质体构型分级方案探讨[J]. 高校地质学报, 2013, 19(1):12-22.
Wu Shenghe, Ji Youliang, Yue Dali, et al. Discussion on hierarchical scheme of architectural units in elastic deposits[J]. Geological Journal of China Universities, 2013, 19(1):12-22.
- [10] 胡光义, 范廷恩, 陈飞, 等. 复合砂体构型理论及其生产应用[J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(1):1-10.
Hu Guangyi, Fan Ting'en, Chen Fei, et al. Theory of composite sand body architecture and its application to oilfield development[J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(1):1-10.
- [11] 张昌民, 尹太举, 赵磊, 等. 辫状河储层内部建筑结构分析[J]. 地质科技情报, 2013, 32(4):7-13.
Zhang Changmin, Yin Taiju, Zhao Lei, et al. Reservoir architectural a-

- analysis of braided channel[J]. Geological Science and Technology Information, 2013, 32(4): 7-13.
- [12] 王越, 陈世悦, 李天宝, 等. 扒楼沟剖面二叠系辫状河砂体构型与非均质性特征[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2016, 40(6): 1-8.
- Wang Yue, Chen Shiyue, Li Tianbao, et al. Braided river sand body architecture and heterogeneity of Permian in Palougou outcrop[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2016, 40(6): 1-8.
- [13] 金振奎, 杨有星, 尚建林, 等. 辫状河砂体构型及定量参数研究——以阜康、柳林和延安地区辫状河露头为例[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(3): 311-317.
- Jin Zhenkui, Yang Youxing, Shang Jianlin, et al. Sandbody architecture and quantitative parameters of single channel sandbodies of braided river: Cases from outcrops of braided river in Fukang, Liulin and Yanan areas[J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(3): 311-317.
- [14] 陈彬滔, 于兴河, 王天奇, 等. 砂质辫状河岩相与构型特征——以山西大同盆地中侏罗统云冈组露头为例[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(1): 111-117.
- Chen Bintao, Yu Xinhe, Wang Tianqi, et al. Lithofacies and architectural characteristics of sandy braided river deposits: a case from outcrops of the Middle Jurassic Yungang Formation in the Datong Basin, Shanxi province[J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(1): 111-117.
- [15] 李俊飞, 霍春亮, 叶小明, 等. 渤海海域L油田砂质辫状河储层构型特征[J]. 油气地质与采收率, 2017, 24(6): 48-53.
- Li Junfei, Huo Chunliang, Ye Xiaoming, et al. Internal architecture characteristics of sandy braided-river reservoirs in L Oilfield, Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2017, 24(6): 48-53.
- [16] 黄文松, 陈和平, 李胜利, 等. 基于水平井信息的辫状河岩相单元与砂体定量研究——以委内瑞拉奥里诺科重油带MPE3区块为例[J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(2): 409-418.
- Huang Wensong, Chen Heping, Li Shengli, et al. Quantification of braided-river lithofacies units and sandbody based on horizontal well data: A case of MPE3 block in Orinoco heavy-oil zone, Venezuela[J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(2): 409-418.
- [17] 杨华, 刘新社, 孟培龙. 苏里格地区天然气勘探新进展[J]. 天然气工业, 2011, 31(2): 1-8.
- Yang Hua, Liu Xinshe, Meng Peilong. New development in natural gas exploration of the Sulige Gas Fields[J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(2): 1-8.
- [18] 杨华, 付金华, 刘新社, 等. 鄂尔多斯盆地上古生界致密气成藏条件与勘探开发[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(3): 295-303.
- Yang Hua, Fu Jinhua, Liu Xinshe, et al. Accumulation conditions and exploration and development of tight gas in the Upper Paleozoic of the Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(3): 295-303.
- [19] 王国亭, 贾爱林, 闫海军, 等. 苏里格致密砂岩气田潜力储层特征及可动用性评价[J]. 石油与天然气地质, 2017, 38(5): 896-904.
- Wang Guoting, Jia Ailin, Yan Haijun, et al. Characteristics and recoverability evaluation on the potential reservoir in Sulige tight sandstone gas field[J]. Oil & Gas Geology, 2017, 38(5): 896-904.
- [20] 侯加根, 唐颖, 刘钰铭, 等. 鄂尔多斯盆地苏里格气田东区致密储层分布模式[J]. 岩性油气藏, 2014, 26(3): 1-6.
- Hou Jiagen, Tang Ying, Liu Yuming, et al. Distribution patterns of tight reservoirs in eastern Sulige Gas Field, Ordos Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2014, 26(3): 1-6.
- [21] 韩兴刚, 肖峰, 张伟, 等. 辫状河沉积储层小层精细划分对比——以苏里格气田苏X加密井区为例[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2018, 48(1): 76-84.
- Han Xinggong, Xiao Feng, Zhang Wei, et al. Stratigraphic division and correlation of Braid River Reservoir-An example from SuX dense well area, Sulige Gas Field[J]. Periodical of Ocean University of China, 2018, 48(1): 76-84.
- [22] 柳慧敏, 李立尧, 李森, 等. 苏里格气田苏L-召S区块8下亚段沉积特征研究[J]. 能源与环保, 2018, 40(2): 76-80.
- Liu Huimin, Li Liyao, Li Miao, et al. Study on sedimentary characteristics of H8x in SL-ZS Block of Sulige Gas Field[J]. China Energy and Environmental Protection, 2018, 40(2): 76-80.
- [23] 方世祥, 单敬福, 刘博, 等. 苏里格气田8下段河道砂体边界的确定[J]. 能源与环保, 2017, 39(7): 180-184.
- Fang Shixiang, Shan Jingfu, Liu Bo, et al. Determination of channel sand body boundary in He 8 lower section of Sulige Gas Field[J]. China Energy and Environmental Protection, 2017, 39(7): 180-184.
- [24] 窦伟坦, 侯明才, 董桂玉. 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, 2009, 29(3): 25-28.
- Dou Weitan, Hou Mingcai, Dong Guiyu. Provenance analysis of the Upper Paleozoic Shanxi to Lower Shihezi formations in North Ordos Basin[J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(3): 25-28.
- [25] 陈安清, 陈洪德, 向芳, 等. 鄂尔多斯东北部山西组——上石盒子组砂岩特征及物源分析[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2007, 34(3): 305-311.
- Chen Anqing, Chen Hongde, Xiang Fang, et al. Sandstone characteristic and provenance analysis of the Permian Shanxi Formation-Shangshihezi Formation in the northeast of Ordos Basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2007, 34(3): 305-311.
- [26] 常森, 罗静兰, 付晓燕, 等. 苏里格气田水平井地质三维导向技术: 以盒8段辫状河储层为例[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2015, 45(6): 1608-1619.
- Chang Sen, Luo Jinglan, Fu Xiaoyan, et al. Three-dimensional geosteering technology for horizontal wells of Sulige gasfield: A case from braided river reservoir of the He₈ group[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2015, 45(6): 1608-1619.
- [27] 李易隆, 贾爱林, 冀光, 等. 鄂尔多斯盆地中一东部下石盒子组八段辫状河储层构型[J]. 石油学报, 2018, 39(9): 1037-1050.
- Li Yilong, Jia Ailin, Ji Guang, et al. Reservoir architecture of braided river in Member 8 of Xiashihezi Formation, central-eastern Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2018, 39(9): 1037-1050.
- [28] 郭智, 贾爱林, 何东博, 等. 鄂尔多斯盆地苏里格气田辫状河体系带特征[J]. 石油与天然气地质, 2016, 37(2): 197-204.
- Guo Zhi, Jia Ailin, He Dongbo, et al. Characteristics of braided river sedimentary system zones in Sulige gasfield, Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2016, 37(2): 197-204.