文章编号：1009-3850(2008)01-0027-06

鄂尔多斯盆地东北部下石盒子组盒 8段辫状河三角洲沉积特征

李 洁，陈洪德，侯中健，向 芳，陈安清

(成都理工大学，四川 成都 610059)

摘要：中二叠统下石盒子组盒 8段为鄂尔多斯盆地东北部天然气的主产层位，其储集砂体受控于沉积相带的展布。通过对野外露头、岩心及测井曲线等综合分析，笔者认为研究区内主要以发育辫状河三角洲为特征，并对其沉积特征、影响其形成和发育的机理，以及岩相和砂体的展布特征进行深入研究。认为该区盒 8段三角洲为辫状河-浅水型湖泊三角洲，在三角洲平原相区储集砂体为分流河道沉积；而在三角洲前缘相区则为水下分流河道沉积，河口坝、席状砂及远砂坝等沉积微相不发育。

关 键 词：鄂尔多斯盆地东北部；盒 8段；辫状河三角洲；沉积特征

中图分类号：P512.2 文献标识码：A

鄂尔多斯盆地上古生界具有丰富的天然气资源和巨大的勘探潜力。目前上古生界发现的大中型气田均属以岩性圈闭为主的致密砂岩气藏。其中，以中二叠统下石盒子组盒 8段为天然气高产层位的典型代表。该段以陆相沉积为特征，具有低孔低渗、非均质性严重，以及砂体平面展布复杂等特征[1]。

然而，储集砂体的分布主要受控于沉积相带。纵观盆地东北部以往的研究，多基于整个上古生界(石炭系—二叠系)沉积相及古地理演化的研究，然而，对盒 8段这样天然气产能较好的典型层位缺乏具体沉积类型和特征、影响其形成和发育机理，以及岩相和砂体展布特征的深入论证。通过研究，笔者认为研究区盒 8段主要以发育辫状河-浅水型湖泊三角洲为特征。就储集砂体而言，在三角洲平原相区为分流河道沉积；在三角洲前缘相区为水下分流河道沉积，而河口坝、席状砂及远砂坝等沉积微相不发育。

1 区域地质概况

鄂尔多斯盆地属于华北地台西端的次级构造单元，是一个多构造体系、多旋回演化、多沉积类型的大型克拉通盆地[2~6]。

研究区包括鄂尔多斯盆地北缘中部以及东部广大地区(图 1)。具体地理范围：东到 ZK51-3井，西达乌审旗，北起准噶尔召，南至清涧。本文涉及的下石盒子组盒 8段地层为上古气藏主要储层，可划分为盒 8下段和盒 8上段，并可进一步细分为盒 $8^2_下$、$8^2_下$和 $8^2_上$、$8^1_上$四个小层。

2 辫状河三角洲的沉积相标志

2.1 砂岩的岩石学特征

1.砂岩的物质组分

在对薄片鉴定的基础上，按照 Q-F-R三端元碎屑含量进行砂岩成分-成因分类命名[7](图 2)。研

收稿日期：2007-10-08；改回日期：2008-01-02

作者简介：李洁(1981—)，男，硕士，主要从事沉积地质学研究。E-mail：777leejie@163.com；Tel：13880051807

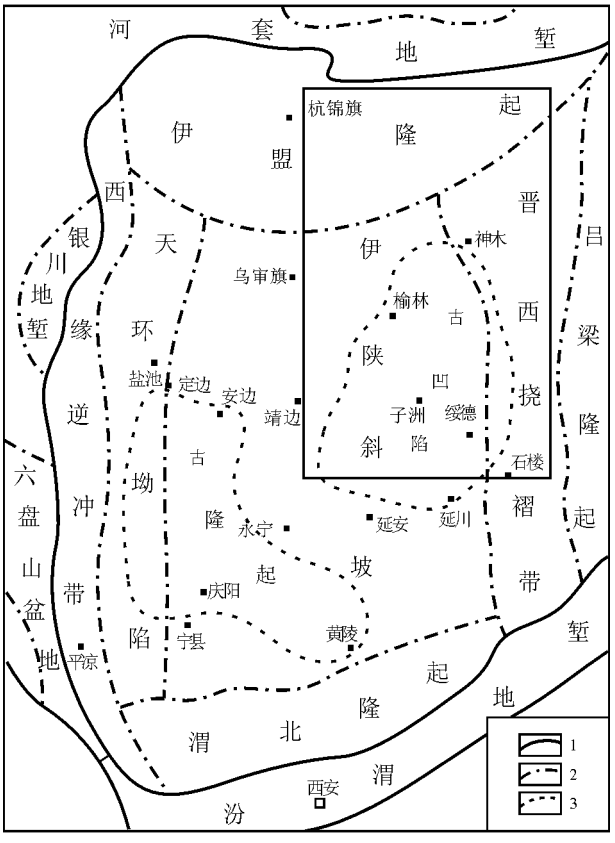

图 1 鄂尔多斯盆地构造单元划分图及研究区(据张吉森等, 修改)

1. 盆地分界线; 2. 单元分界线; 3 古地貌分界线

Fig. 1 Tectonic division of the Ordos Basin and location of the study area

1= basin boundary; 2= tectonic boundary; 3= palaeogeomorphological boundary

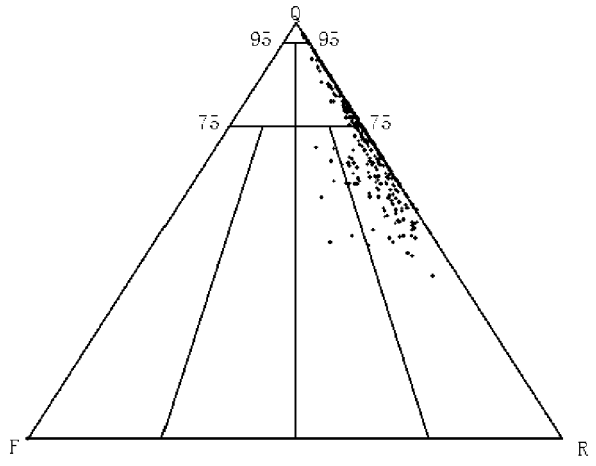

图 2 盒 8段砂岩分类投点图

Fig. 2 Triangular diagram for the classification of the sandstones from the eighth member of the Middle Permian Lower Shihezi Formation

究区盒 8段砂岩主要由灰白色、灰色和灰绿色粗中粒岩屑石英砂岩、岩屑砂岩组成, 偶见较纯的石英砂岩, 砂体底部常见含砾砂岩和砾岩。

砂岩碎屑的主要类型为石英和岩屑, 长石次之。石英的平均含量为 59.31%, 个别钻井及剖面(成家庄)达到 90%; 岩屑平均含量为 21.51%; 而长石含量非常少, 仅为 1.28%。

从石英和岩屑含量在平面上的分布来看, 石英含量在研究区南部(米脂、子洲地区)明显的高于北部(神木、榆林地区); 岩屑含量则反之。由北而南砂岩的稳定成分逐渐增加, 反映了其成分成熟度不断增高的趋势。

2. 砂岩的结构特征

研究区盒 8段砂岩颗粒的磨圆度多呈次棱角状、次圆状, 分选性中等偏好; 以颗粒支撑为主, 偶见杂基支撑; 接触方式以点接触和线接触为主; 胶结类型多为孔隙式和接触式胶结。从杂基的含量来考虑, 其结构成熟度较高, 具牵引流搬运的沉积特征[8]。

由于河流的搬运及淘洗作用, 整个研究区从北到南砂岩的结构成熟度有增高的趋势。

2.2 沉积构造

研究区盒 8段沉积构造类型丰富多样, 主要包括: 反映较强水动力快速堆积形成的平行层理、板状斜层理、块状层理、楔状层理和底冲刷等沉积构造; 反映弱流水作用形成的小型波状层理、脉状层理、沙纹层理和水平层理。典型的沉积构造有:

(1)平行层理: 主要产于中细粒砂岩中, 常形成于水浅流急的水动力条件下。本区主要见于较强水动力的心滩和分流河道沉积中。

(2)板状斜层理: 岩性由灰色、浅灰色中细粒砂岩组成, 在较强水动力条件下由沙浪迁移而成。本区常出现于三角洲平原分流河道沉积环境。

(3)楔状层理: 岩性为中细粒砂岩、粉细砂岩, 其特征是横剖面上各层系呈楔状接触。大多形成于三角洲平原分流河道及心滩中。

(4)底冲刷构造: 该构造为高流态下产生的一种起伏平缓的层面构造, 反映了水动力条件强、弱变化频繁的三角洲平原分流河道底部, 其上常见大量再沉积的泥砾。

(5)水平层理: 常见于泥岩、粉砂质泥岩中, 单层厚度小, 形成于浪基面之下或低能环境的低流态中。在物质供应不足的情况下, 主要由悬浮物质缓

慢垂向加积沉积而成。此类沉积构造在本区主要发育于泥炭沼泽和三角洲平原的泛滥平原等沉积环境中。

(6)沙纹层理:主要出现在粉砂岩、泥质粉砂岩中,由沙纹迁移形成。主要形成于水动力条件较弱的环境,如三角洲平原泛滥平原、天然堤、决口扇等。

2.3　测井相标志

不同的沉积环境具有不同的测井曲线形态特征[9]。该区应用自然伽玛曲线(图 3)能较好地反映泥质含量和碎屑粒度变化的沉积序列及演化特征[10],并指示不同的沉积微相。

(1)分流河道:自然伽玛曲线异常幅度为中高,形态一般呈光滑、齿化箱形或复合型,顶底面呈突变接触或底部突变接触而顶部渐变接触。

(2)决口扇:自然伽玛曲线异常幅度为低中,曲线光滑或呈微齿状,齿中线向内收敛,曲线形态呈指状或钝指状,顶底一般均呈渐变接触。

(3)水下分流间湾:自然伽玛曲线呈光滑似直线形或直线形,曲线异常幅度为极低或无异常。

(4)浅湖、前三角洲泥:自然伽玛曲线呈光滑直线形,曲线接近泥岩基线,无异常幅度。

2.4　剖面结构特征

从剖面沉积序列上来看(图 3),研究区盒 8段以分流河道砂体占绝对优势,岩性上以粗碎屑沉积为主,砂岩与泥岩之比大,垂向沉积序列表现出“二元结构”发育极不对称的特点。并且经常可以看到河道快速废弃-复活的特征,即具大规模交错层理的中粗粒砂岩,突然覆盖在以极薄的具水平纹层的粉砂岩、粉砂质泥岩沉积之上。而且分流河道砂体往往多次反复叠加成一个厚砂体,构成复合正韵律结构,其总厚度远远大于河道深度。上述特征表明三角洲平原分流河道具有横向迁移快、砂体间冲刷强烈、经常发生快速废弃-复活的频繁改道性质,河道砂体总体显示了分布不稳定的辫状河特点。因此,研究区盒 8段主体由横向上和垂向上相互切割和连续叠置的辫状分流河道砂体组成,具有特征的辫状河三角洲性质。

3　辫状河三角洲的特征

3.1　辫状河三角洲形成及发育机理

晚古生代鄂尔多斯盆地呈现北高南低并向南倾

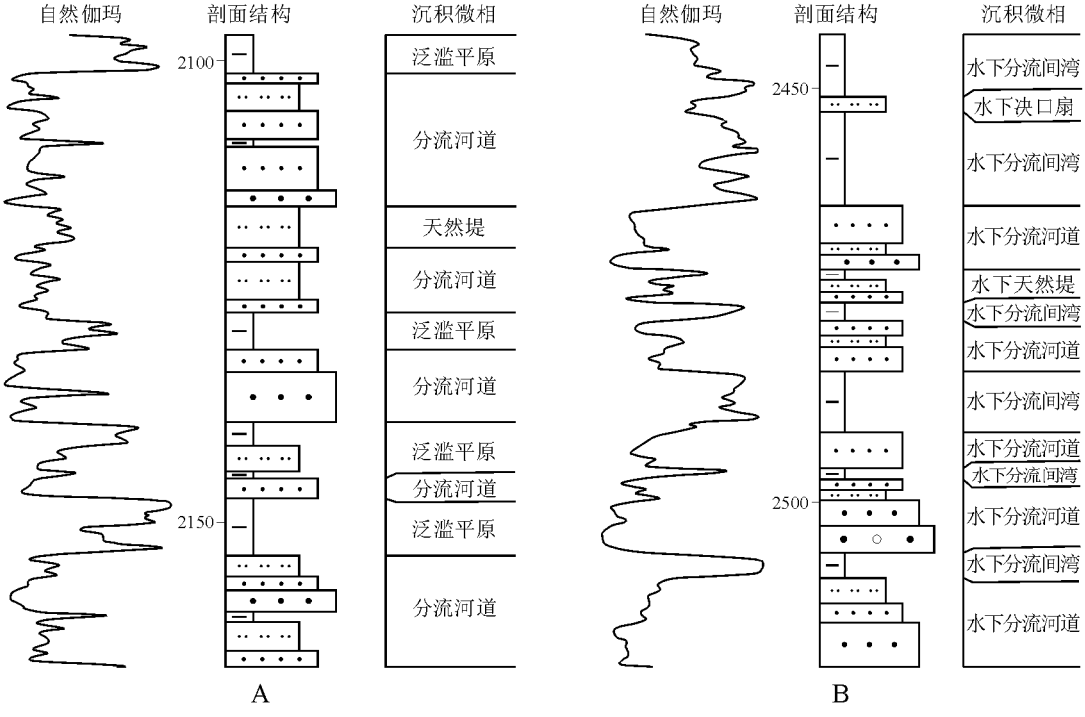

图 3　盒 8段三角洲沉积序列图

A.神 25井盒 8段三角洲平原沉积序列;B.榆 27井盒 8段三角洲前缘沉积序列

Fig.3　Depositional sequences through the delta deposits in the eighth member of the Lower Shihezi Formation

A. Depositional sequence through the delta plain deposits from the Shen-25 well in the eighth member of the Lower Shihezi Formation; B. Depositional sequence through the delta front deposits from the Yu-27 well in the eighth member of the Lower Shihezi Formation

斜的古地貌特征。中二叠世下石盒子期, 华力西运动强烈, 主要表现为兴蒙海槽的逐渐关闭, 以及伊盟隆起的大幅度抬升, 盆地的演化也进入了以陆相湖泊沉积为主的发展阶段[11]。在这种区域构造背景和沉积演化特征的影响下, 强烈的南北差异升降加剧了北隆南倾的构造格局, 致使湖盆坡度变陡, 河流类型随之发生转变, 以发育辫状河水系为主。由于物源区的大幅度抬升, 来自北面阴山古陆[12, 13]的沉积物供给显著增加, 河流作用复而加强, 携带大量粗碎屑物质进一步向南推进[14], 最终汇入湖盆。而石盒子期开始的内陆拗陷盆地是在陆表海盆地背景下发展起来的, 湖水水体的深度较浅。一方面, 辫状河的流水密度较湖水密度大, 以至入湖后仍可保持较高的流速沿湖底流动, 并快速向前推进延伸, 对早期形成的有限河口坝进行不断冲刷改造, 以致其难以很好的保存下来。另一方面, 由于湖水水体较浅, 波浪和潮汐作用不明显, 已有的沉积物难以侧向迁移改造, 因此, 前缘席状砂不发育。综上所述, 研究区盒 8段具有辫状河 浅水型湖泊三角洲的沉积特征, 与传统的经典三角洲存在着差异。

3.2 辫状河三角洲的沉积特征

1. 辫状河三角洲平原亚相

以分流河道和泛滥平原沉积为主, 并以分流河道沉积最具代表性[15] (图 3-A), 而泛滥平原沉积往往不发育或者由于后期的河道冲刷、侵蚀而不能很好的保留下来。该亚相广泛分布于研究区北部的榆林 神木等广大地区。

ɑ分流河道微相

分流河道沉积主要由灰绿色含砾粗砂岩、粗砂岩及中粒石英砂岩、岩屑砂岩所组成, 颗粒呈次圆 - 次棱角状, 分选中等 较好。发育有较强水流快速堆积形成的块状层理、板状交错层理、槽状交错层理等沉积构造, 以及弱水流作用形成的小型波状、脉状及沙纹层理。砂岩底部无一例外的具有明显的底冲刷构造, 冲刷面波状起伏, 之上广泛含有冲刷泥砾。粒度分布概率累积曲线为两段式, 以发育跳跃总体为主, 含量 5% ~75%, 斜率高, 分选较好, 次为悬浮总体, 含量为 28% ~21%, 滚动总体不发育。

ɓ泛滥平原微相

该微相主要为一套砂质泥岩、炭质泥岩、粉砂岩的中薄层状韵律互层组合, 偶尔夹有决口扇微相的中厚层状粉细砂岩。泥岩和粉砂岩中广泛发育水平层理, 普遍含有钙质结核。可见植物的茎干化石碎片。在垂向剖面上, 位于辫状河沉积旋回的上部, 常被上覆辫状河道下切侵蚀改造, 保存差, 因此厚度很薄, 甚至侵蚀缺失而表现为冲刷面。

2. 辫状河三角洲前缘亚相

主要由水下分流河道、水下分流间湾沉积组成 (图 3-B), 而河口坝、远砂坝及席状砂沉积不发育。该亚相主要分布于研究区南部的子洲 绥德等地区。

ɑ水下分流河道微相

岩性主要由含砾粗砂岩、中粗粒砂岩、中粒砂岩所组成。沉积构造非常发育, 以具有底冲刷、粒序层理、平行层理、板状层理等反映较强水动力条件的大型水下沉积构造组合为显著特征。在沉积相演化序列上, 其间夹有细粒的水下分流间湾沉积。粒度分布特征与三角洲平原分流河道非常相似, 以跳跃总体发育为特征。分选好, 结构成熟度高。测井曲线所表现的特征与三角洲平原上分流河道亦非常类似。

ɓ水下分流间湾微相

该微相岩性主要为一套细粒悬浮成因的灰色 / 深灰色薄层泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩夹薄层细砂岩组成, 泥质岩不具有水上暴露标志, 为水下沉积[16]。发育水平层理、透镜状层理, 可见浪成波痕和生物钻孔及扰动构造。自然伽玛曲线表现为低幅值、微齿状。

3. 前辫状河三角洲 浅湖亚相

该亚相位于三角洲前缘与浅湖过渡的宽广平缓地带, 并占据浅湖位置, 二者较难区分。沉积物组成主要为粉砂质泥岩、泥岩, 有时含炭屑, 水平层理、纹层发育, 在相序上与席状砂或远砂坝互层, 在测井曲线上表现为泥岩基线, 多平直或呈弱齿状。

4 辫状河三角洲沉积的岩相和砂体特征

为了进一步说明并展示研究区盒 8段辫状河三角洲的沉积特征和砂体展布规律, 将其划分为盒 8下段和盒 8上段两个单元进行岩相和砂体等厚编图 (图 4), 具以下特征:

整个盒 8期, 研究区明显存在西部和东部两大河流 三角洲体系, 前者呈近南北向延伸, 所形成三角洲前缘延伸更靠南; 而后者呈北东 南西向展布, 所形成的三角洲前缘相对发育较差, 延伸不远。从北向南依次出现冲积平原、三角洲平原、三角洲前缘、前三角洲 浅湖四个沉积环境。冲积平原上的辫状河沉积特征与三角洲平原上的无明显特征区别, 在河道砂体展布和河道演化过程中表现出极大的相

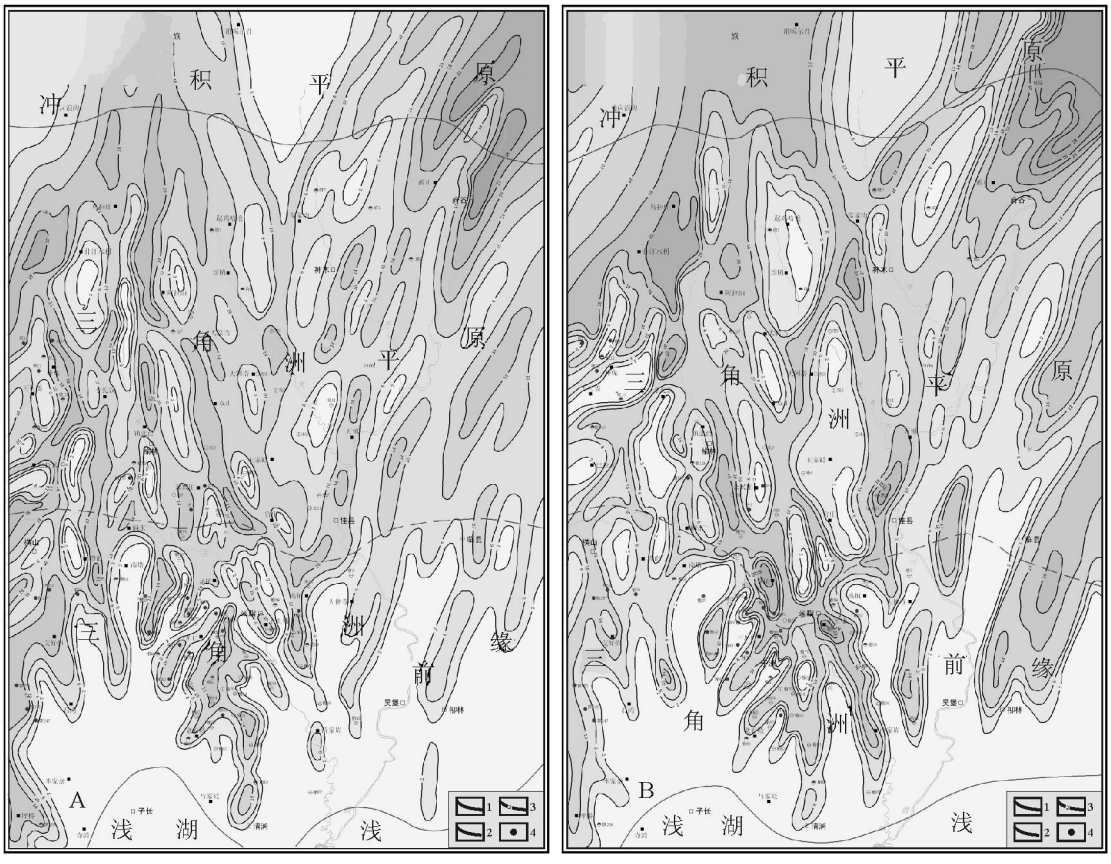

图 4　盒 8段岩相及砂体等厚图

A.盒 8段上段岩相及砂体等厚图; B.盒 8段下段岩相及砂体等厚图。 1.相界线; 2.亚相界线; 3.砂体等厚线; 4.钻孔及编号

Fig. 4　Depositional sequences through the delta deposits in the eighth member of the Lower Shihezi Formation

A. Depositional sequence through the delta plain deposits from the Shen-25 well in the eighth member of the Lower Shihezi Formation; B. Depositional sequence through the delta front deposits from the Yu-27 well in the eighth member of the Lower Shihezi Formation. 1= facies boundary; 2= subfacies boundary; 3= isopach of sandbody; 4= well site and well number

同或相似。三角洲沉积环境异常发育,辫状河分流河道在向湖盆推进的过程中,表现出河道的分支性增强和横向展布面积减小的特征。以三角洲平原沉积分布最为广泛,而三角洲前缘分布范围较小,从平面上明显表现出“大平原、小前缘”的特征。这是由于下石盒子初期由于盆地北部古陆的进一步抬升,相对湖平面下降,导致沉积物供给充分,加之季节性水系异常活跃,携带大量的碎屑物快速向南推进的结果。

从砂体的形态特征来看。单一河道砂体往往呈孤立的透镜状,但由于辫状河河道的不稳定,经常发生侧向迁移,致使河道砂体形成连续性较好的透镜体,横向上呈层状展布。在三角洲平原相区,盒 8下段底部砂体的连续性较好,向上连续性变差;而盒 8上段砂体的连续性普遍不好。在三角洲前缘相区,整个盒 8段砂体连续性普遍都较差,绝大多数为孤立的透镜体。

从砂体的厚度变化特征来看。三角洲平原相区中砂体的厚度较大, 5~10m的砂 9体较常见;而三角洲前缘相区则相对较差。盒 8下段砂体一般厚度大于 14m,最大厚度出现在三角洲平原相带,主要沿河道呈透镜状分布,砂体最大厚度可大于22m,在海则庙附近则出现最大高值区,砂体厚度一般在 22 m左右,最大可达 28m以上。而盒 8上段,三角洲前缘相带略有扩大,河流 三角洲体系在横向上展布面积有所减少,河流向浅湖延伸的长度有所增加。砂体厚度相对盒 8下段减少,一般厚度为 6~14m,最大厚度主要出现在三角洲平原相区的分流河道中,而东部河流 三角洲体系的海则庙附近仍存在着砂体分布的高值区,砂体厚度最大可达 26m以上。

从储集砂体的类型来看,三角洲平原相区以分流河道砂体为骨架砂体;而三角洲前缘相区河口坝、远砂坝和席状砂沉积不发育,以水下分流河道砂体为骨架砂体,并往往直接与湖相泥岩呈冲刷接触。

5 结 论

(1) 综合分析研究区盒 8段三角洲的沉积特征及影响其形成和发育的机理,认为该区的三角洲是以辫状河水系控制为主的建设性浅水型湖泊三角洲。

(2) 三角洲平原相区是砂体的集中发育带,分流河道沉积为其骨架砂体。纵向上由于分流河道砂体的相互叠置,往往形成规模较大的巨厚层砂体;横向上由于辫状河分流河道的侧向迁移明显,孤立的透镜状砂体往往连接成长条带状,连续性较好。

(3) 三角洲前缘相区的砂体相对不太发育,水下分流河道沉积为其骨架砂体,而河口坝、席状砂等沉积微相不发育或者由于水下分流河道的冲刷侵蚀而不能很好保存下来。较三角洲平原相区单层砂体的厚度变薄,泥质含量及泥质夹层增多。由于水体较浅,水下分流河道延伸较远。

(4) 储集砂体的粒度较粗,分选较好,泥质含量较低,有很大的油气储集潜力。

参考文献:

[1] 杨华,席胜利. 长庆天然气勘探取得的突破[J]. 天然气工业, 2002, 22(6): 10—12.

[2] 长庆油田石油地质志编写组. 中国石油地质志[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992.

[3] 内蒙古地质矿产局. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1985.

[4] 陕西地质矿产局. 陕西省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1986

[5] 甘肃省地质矿产局. 甘肃省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1985

[6] 宁夏地质矿产局. 宁夏回族自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1995

[7] 曾允孚,夏文杰. 沉积岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 1986

[8] 刘宝珺,曾允孚. 岩相古地理基础和工作方法[M]. 北京: 地质出版社, 1985

[9] 黄智辉. 地球物理测井资料在分析沉积环境中的应用[M]. 北京: 地质出版社, 1986.

[10] 王勇,徐晓蓉,付晓燕,等. 苏里格气田苏 6井区上古生界沉积相特征研究[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2007, 37(2): 266—271.

[11] 陈洪德,侯中健,田景春,等. 鄂尔多斯地区晚古生代沉积层序地层学与盆地构造演化研究[J]. 矿物岩石. 2001, 21(3): 16—24

[12] 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—24.

[13] 陈安清,陈洪德,向芳,等. 鄂尔多斯盆地东北部山西组-上石盒子组砂岩特征及物源分析[J]. 成都理工大学学报, 2007, 34(3): 305—311.

[14] 张晓莉. 鄂尔多斯盆地中部上古生界沉积相演化[J]. 地球科学与环境学, 2005, 27(3): 26—29.

[15] MCPHERSON J G, SHANMUGAM G, MOIOLA R J. Fan-deltas and braided deltas: Varieties of coarse grained deltas[J]. Geol Amer Bull, 1987, 99: 331—340

[16] 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), 2003, 34(3): 340—344.

Sedimentary characteristics of the braided deltas in the eighth member of the Lower Shihezi Formation in the northeastern part of the Ordos Basin

LI Jie, CHEN Hong-de, HOU Zhong-jian, XIANG Fang, CHEN An-qing

(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: The eighth member of the Middle Permian Lower Shihezi Formation is considered as the main gas-producing horizons in the northeastern part of the Ordos Basin, where the reservoir sandstones are mainly controlled by sedimentary facies. The examination of field outcrops and well logs on the basis of sedimentary characteristics, depositional mechanisms, sedimentary facies and sandstone distribution has disclosed that there widely occur the braided deltas, especially the braided-shallow water lacustrine deltas in the study area. The reservoir sandstones in the delta plain facies are interpreted as distributary channel sandstones, while those in the delta front facies are considered as the subaqueous distributary channel sandstones. The channelmouth bar, sheet sandstone and distal bar sedimentary microfacies are less developped.

Key words: northeastern part of the Ordos Basin; eighth member of the Lower Shihezi Formation; braided delta; sedimentary characteristics