

鄂尔多斯盆地富县地区上三叠统长 6 段 砂体展布规律研究

李国新^{1,2} 徐胜林¹ 陈洪德¹ 陈安清¹

(1.成都理工大学沉积地质研究院,四川 成都 610059;2.四川省核工业地质局 283 大队,四川 达州 635000)

摘要:本文以钻井岩心、测井和地震等资料为基础,对鄂尔多斯盆地富县地区延长组长 6 段进行了高分辨率层序地层研究。基准面旋回结构类型分析揭示了从研究区的东北至西南,具有 A1 型→A2 型→B1 型→B2 型→C 型的分布模式;以中期旋回为等时对比单元,建立了富县地区长 6 段的高分辨率层序格架,将长 6 段划分为一个长期旋回层序、4 个中期旋回层序(MSC1、MSC2、MSC3 和 MSC4)和若干个短期及超短期旋回层序;按中期旋回编制的层序-岩相古地理图揭示出 MSC1 期和 MSC3 期为三角洲的高度建设期,发育大型的进积型三角洲水下分流河道砂体(A1 型或 A2 型)和较大规模的湖底扇砂体(A2 型),是研究区最有利的勘探目标。总之,层序格架内的砂体对比及层序岩相古地理揭示的鄂尔多斯盆地陕北斜坡油气富集带东南部的富县探区的砂体展布规律,对该地区的石油勘探部署具有重要的指导意义。

关键词:层序-岩相古地理;高分辨率层序地层;基准面旋回;延长组;鄂尔多斯盆地;富县地区

中图分类号:TE121.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2012)04-0923

鄂尔多斯盆地是中国第二大含油气盆地,在该盆地南部的中生界三叠系延长组发现了安塞、靖安、华池和西峰等大型岩性油藏。富县地区位于陕北斜坡油气富集区的东南缘,毗邻渭北隆起区。遗憾的是,该地区的油气勘探一直未能取得大的突破。鄂尔多斯盆地已有的勘探开发实践表明,三角洲砂体和浊积岩砂体是鄂尔多斯盆地三叠系延长组最有利的油气富集相带^[1-5],深入认识等时地层格架内的层序结构特征和沉积体系的时空展布规律是提高延长组岩性油藏勘探开发效益的关键^[6-12]。如今,层序地层学尤其是陆相地层的层序地层学的研究对识别等时沉积体提供了理论基础和技术手段,陆相研究应用较广的包括高分辨率层序地层学^[13-16]和近几年取得突破性进展的旋回地层学^[17-20]。本文以钻井岩心、测井和地震资料为基础,对鄂尔多斯盆地富县地区上三

叠统延长组 6 段进行高分辨率层序地层分析,编制层序格架内的岩相古地理图,以揭示有利储集砂体展布规律,为位于陕北斜坡油气富集带东南缘的富县地区的长 6 段储层发育层位和区带预测提供依据。

1 高分辨率层序地层分析

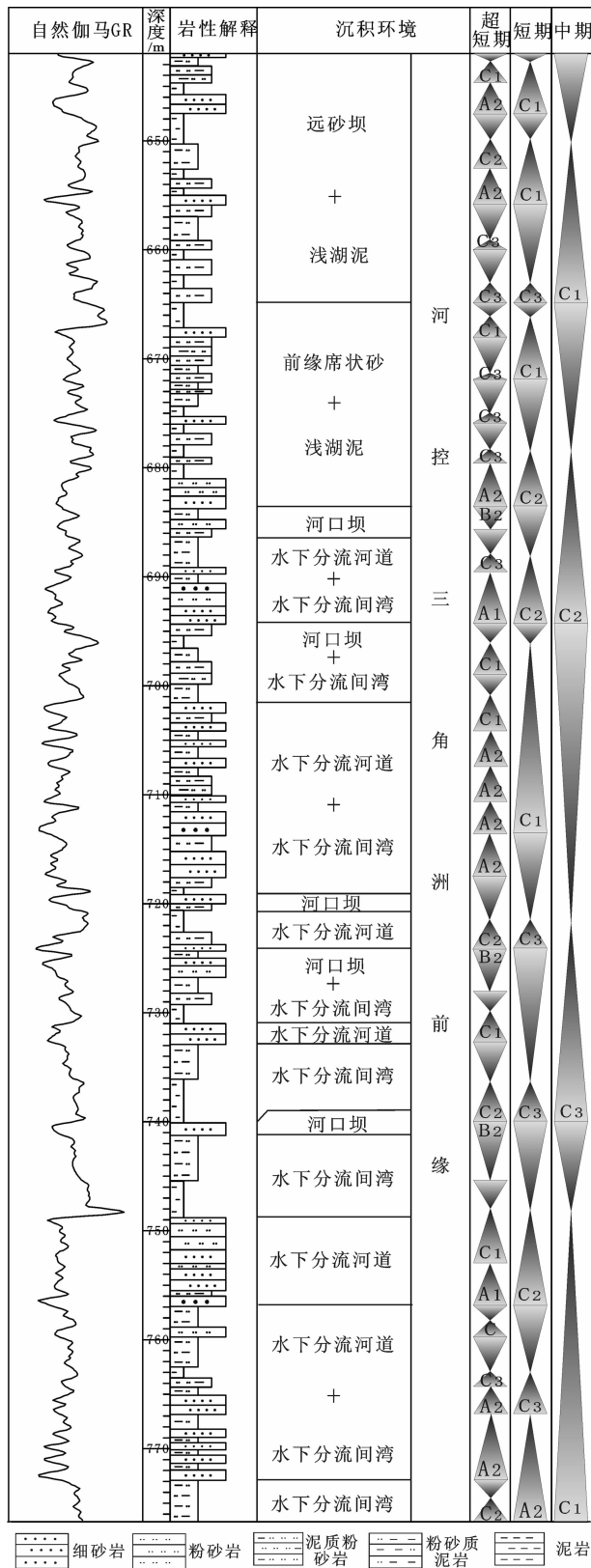
高分辨率层序地层学是基于基准面旋回过程中可容纳空间变化的原理,揭示沉积充填与地层响应的关系,及其相对应的沉积相演化序列、保存状况和有利储集砂体的发育位置和产出特征。本文通过对岩心及测井曲线等资料的分析,在研究区识别出 3 种基准面旋回类型(图 1),不同的沉积相带由于水动力形成条件的不同,基准面旋回类型及其组合具有明显的差异,受可容纳空间增长速率与沉积物供给速率比(A/S)的控制。

收稿日期:2011-11-23;改回日期:2012-03-05

基金项目:国家重大科技专项(2008ZX05002-001)资助。

作者简介:李国新,男,1974 年生,博士,高级工程师,从事沉积地质研究;E-mail:ghlgx_2@sohu.com。

通讯作者:徐胜林,男,1981 年生,讲师,从事层序地层学与含油气盆地研究;E-mail:xusheng218@163.com。



1.1 基准面旋回类型

1.1.1 向上变“深”的非对称型旋回(A型)

A型旋回在剖面结构上表现为向上变细的特点。该旋回又可分为低可容空间(A1型)和高可容空间(A2型)两个亚类,即有两种成因类型。A2型为沉积物的过补偿或超补偿环境,即沉积物供给增长率大于可容空间增长率;A1型是由于受到后期冲蚀作用的改造,下降半旋回的沉积遭受侵蚀,或由于S>>A而出现溢出现象,因而仅保留上升半旋回的粗粒沉积物。A型旋回主要发育在富县地区的东北部,反映了河流充填过程中的加积作用和进积作用。

A1亚类:该亚类主要由中-粗粒岩屑石英砂岩组成,为下粗上细的剖面结构,旋回底部偶含泥砾,旋回的顶部不发育泥页岩或夹极薄的泥岩。该亚类主要发育在研究区北部的主水下分流河道(图2-A)和南部的湖底扇(图2-B)。反映部分主水下分流河道发育区具有A/S<<1的形成条件,常呈现多个A1型旋回的叠置,即多个水下分流河道的叠置。

A2亚类:该亚类的基准面旋回是在A/S<1的条件下形成的,在富县地区的东北部非常发育。由细砂岩、粉砂岩、泥岩组成,具有向上变细的特点。包括底部的水下分流河道和上部的水下天然堤、水下分流间湾微相(图2-C)。

1.1.2 向上变浅的非对称旋回(B型)

B型旋回在剖面结构上表现为向上变粗的特点。其成因是由于沉积物供给增长率大于可容空间增长率(S<A),沉积记录中仅保留了下降半旋回部分。该类旋回在研究区发育较少,偶见于研究区中部的三角洲前缘远端,剖面结构与A类旋回正好相反,具有向上变粗的特点。可分为低可容空间(B1型)和高可容空间(B2型)两个亚类:

B1亚类:形成于A/S≤1→A/S<1的沉积条件,由水进冲刷面与单一向上变粗的薄至中层状细砂岩构成,主要出现在中期基准面旋回晚期沉积速率逐渐增高形成的大型河口坝微相。这一类型在研究区极少发育。

B2亚类:形成于A/S>1→A/S≥1的沉积条件,由欠补偿沉积间断面、泥岩、粉砂岩、细砂岩组成的向上变浅序列构成,主要发育研究区中南部沉积速率相对较低的远砂坝和前三三角洲环境。

1.1.3 向上变深复变浅的对称旋回(C型)

C型旋回在剖面结构上表现为向上变细复变粗

图1 中富24井长6段高分辨率层序地层划分及层序结构类型分析

Fig.1 High-resolution sequence stratigraphy division and types of sequence structure



图 2 鄂尔多斯盆地富县地区上三叠统长 6 段岩心照片

Fig.2 photographs of drilling core of Chang-6 Member of Upper Triassic Yanchang Formation in Fuxian area of Ordos Basin

的对称型。该旋回形成于高可容空间条件,即沉积物的供给增长率等于或者略小于可容空间增长率($S \approx A$)。上升半旋回和下降半旋回间为最大洪泛面沉积。该类旋回在研究区主要发育于分流间湾(图 2-D)、三角洲前缘的外侧(图 2-E)和南部的浅湖-半深湖环境(图 2-F)。按结构的对称性可进一步分为 3 种亚类:C1 亚类,即以上升半旋回厚度大于下降半旋回的不完全对称型;C2 亚类,即上升半旋回厚度近等于下降半旋回的近完全对称型;C3 亚类,即下降半旋回厚度大于上升半旋回的不完全对称型。分流间湾环境以发育上升半旋回为主的不完全对称型居多,这是由于下降旋回的顶部常被后期分流河道的侵蚀作用;上升半旋回小于下降半旋回的 C3 型多发育在三角洲前缘的外侧;C2 型主要发育于研究区西南部的浅湖-半深湖环境,主要由泥岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩组成。

1.2 层序地层格架内的砂体特征

层序地层格架系指将同时代形成的岩层有序地纳入相关年代的时间-地层对比格架中,在此基础上进行等时地层对比和描述地层叠置样式,建立层序地层格架,能够更有效地提高区域地层对比精度

和沉积相分析结果的可靠性,从而为古地理再造、盆地分析、油气地质演化历史解释,以及有利相带或区块预测及资源评价等精细地质研究提供更为可靠的地质依据^[13-17]。本文依据高分辨率层序地层旋回的等时对比法则,以地震剖面和 6 条联井剖面的高分辨率层序地层分析和对比为基础,选择中期旋回层序的二分时间单元分界线(包括层序界面和洪泛面),建立了富县地区长 6 段的高分辨率层序地层格架,将长 6 段划分为一个长期旋回、4 个中期旋回(自下而上分别为 MSC1、MSC2、MSC3 和 MSC4)及若干个短期、超短期旋回,为该地区的沉积相和砂体对比,以及短时间尺度的岩相古地理编图奠定基础(图 3~4)。富古 4 井-中富 13 井-中富 10 井-中富 14 井-中富 9 井-中富 29 井-中富 12 井的联井剖面揭示了层序格架内砂体发育受基准面旋回升降及相带迁移的控制(图 4)。

MSC1 期,砂体侧向联通性较好,厚度较大。富古 4 井-中富 9 井一带处于研究区西部分流河道发育区,砂体主要为三角洲前缘分流河道沉积。并且在河道频繁地侧向迁移过程中,砂体间的连通性较好,多河道砂体叠置导致厚度较大,如中富 14 井和中富

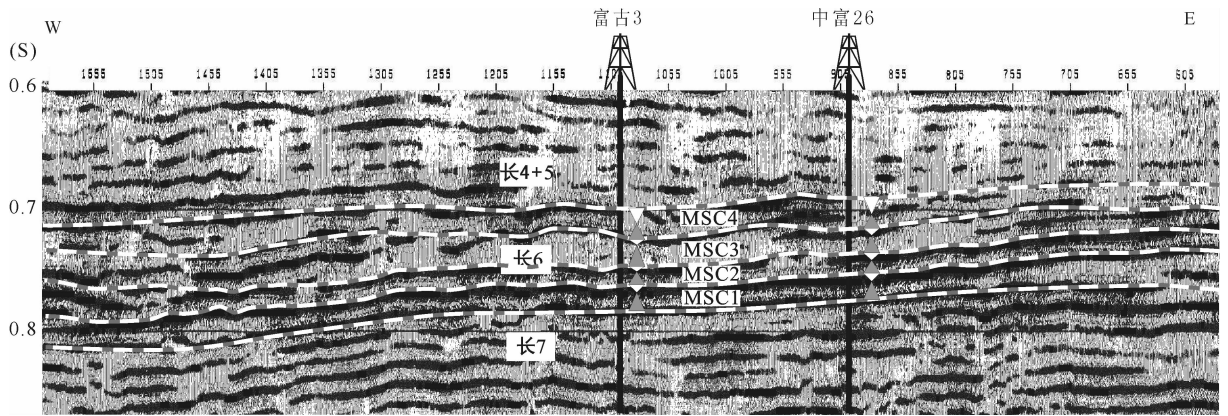


图3 鄂尔多斯盆地富县地区 SB1996-G04 测线长 6 段中期旋回层序划分
 Fig.3 Medium-term cyclic sequence division of Chang-6 Member of Upper Triassic Yanchang Formation along Line SB1996-G04, Fuxian area, Ordos Basin

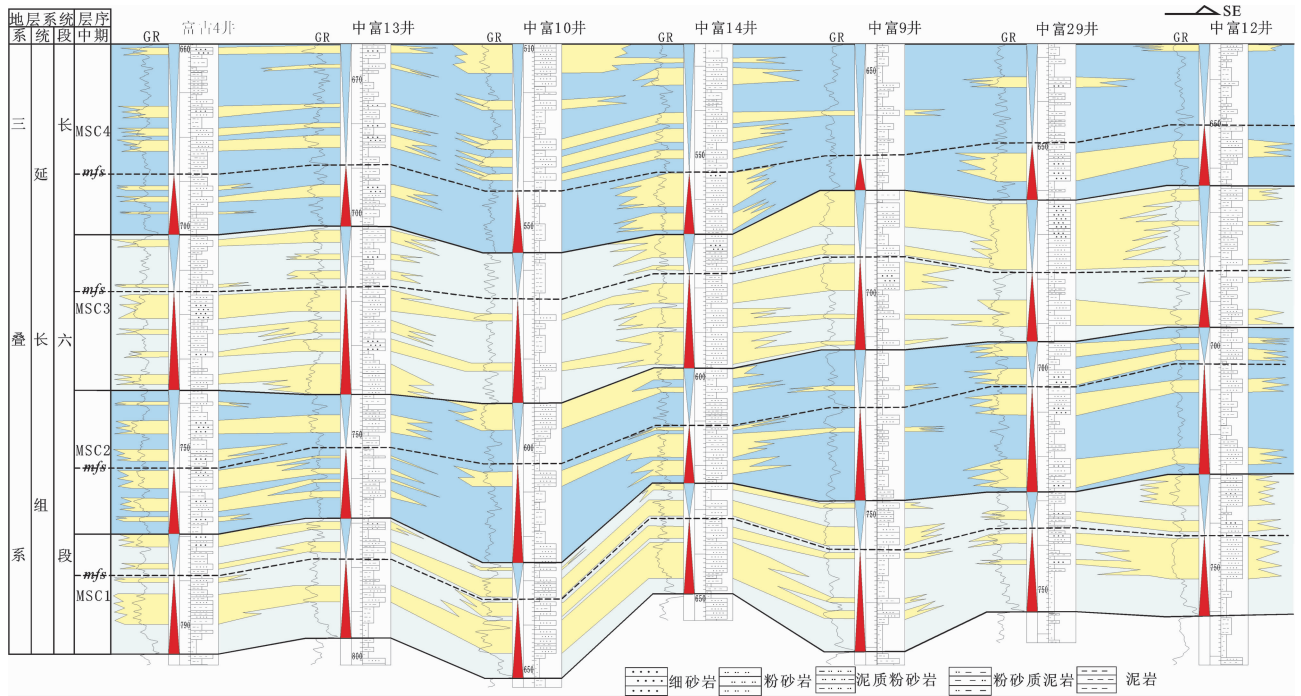


图4 鄂尔多斯盆地富县地区延长组长 6 段中期旋回层序格架及砂体对比
 Fig.4 Medium-term cyclic sequence stratigraphic framework and sand body correlation of Chang-6 Member of Upper Triassic Yanchang Formation in Fuxian area of Ordos Basin

10 井发育的四期分流河道砂体的累积厚度占地层厚度的 75% 以上。中富 9 井-中富 29 井区带上主要发育分流间湾泥岩, 将东西两个分流河道发育区分开。中富 12 井区带处于东部分流河道发育区, 分流河道砂体厚度大, 最厚达 9.5 m 左右。

MSC2 期, 砂体发育较上一时期稍差, 由于分流间湾较发育, 河道砂体横向连通性不好, 基本呈透镜状。富古 4 井所处的地区, 砂体最为发育, 发育多期

分流河道叠加砂体, 该井剖面上的砂地比可达 60%。中富 14 井为另一个分流河道发育区, 最厚的分流河道砂体约 7 m, 砂体向两侧尖灭。中富 9 井为分流间湾沉积区, 主要为泥岩, 偶夹薄层砂岩。中富 29 井-中富 12 井处于东部分流河道发育区, 分流河道砂体厚度较大, 中富 29 井的 4 个分流河道砂体累积厚度占地层厚度的一半左右。

MSC3 期, 河道砂体再次变好, 部分地区的砂体

厚度明显增大。富古 4 井所处的地区,处于西部分流河道发育区。其东侧的中富 10 井为分流间湾泥发育区,将两侧的分流河道砂体隔开。中富 14 井-中富 9 井处于中部分流河道发育区,该时期分流河道极发育,分流河道砂体一般 5~10 m,砂体累积厚度占 85% 左右。中富 29 井处于东部分流河道发育区,分流河道砂体厚度大,最厚砂体达 15 m。该剖面最东部的中富 12 井以发育前三角洲泥为主,偶夹河口坝砂体。

MSC4 期,砂体厚度变小,横向连通性变差,常被分流间湾分隔,基本呈透镜状产出。富古 4 井-中富 13 井所处的地区,处于西部分流河道发育区东侧,河道砂体一般小于 3 m,向东尖灭。中富 10 井-中富 14 井处于中部分流河道发育区,特别是中富 10 井在上一时期基本处于分流间湾环境,该时期由于河道侧向迁移左右,沉积的河道砂体厚度最厚达 9 m,中富 14 井的分流河道砂体较为发育,砂地比达 65%。中富 9 井的分流间湾沉积区,主要为泥岩,偶夹薄层砂岩。其东侧的中富 29 井-中富 12 井地区也以分流间湾为主,夹小规模的分流河道砂体较发育。

2 岩相古地理及砂体展布规律

在前文高分辨率层序地层格架建立的基础上,对研究区内的所有钻井进行了中期基准面旋回划分,并统计了各钻井中期基准面旋回的地层厚度、砂体厚图和砂体厚与地层厚的比值,进而编制了它们的等值线图。然后,根据沉积相分析和沉积相或亚相界限的确定,以砂体等厚图为基础,编制了 4 个中期旋回的层序-岩相古地理图,精细地揭示了各个时期的古地理面貌和砂体展布规律。总体上,长 6 段以发育浅水三角洲、浅湖-半深湖和湖底扇为特征。物源从北东方向进入研究区,三角洲朵体呈北东-南西向展布,南部的中富 30-中富 28 井一带有湖底扇发育。

2.1 MSC1 期

该期以发育三角洲前缘亚相、浅湖-半深湖相及湖底扇为特征(图 5-A)。三角洲前缘环境占据了大部分地区,湖泊与三角洲前缘的界限大致在中富 30-中富 28 井一带。以东北部为三角洲前缘相带,以南西为浅湖-半深湖相带。由于来自北东方向的

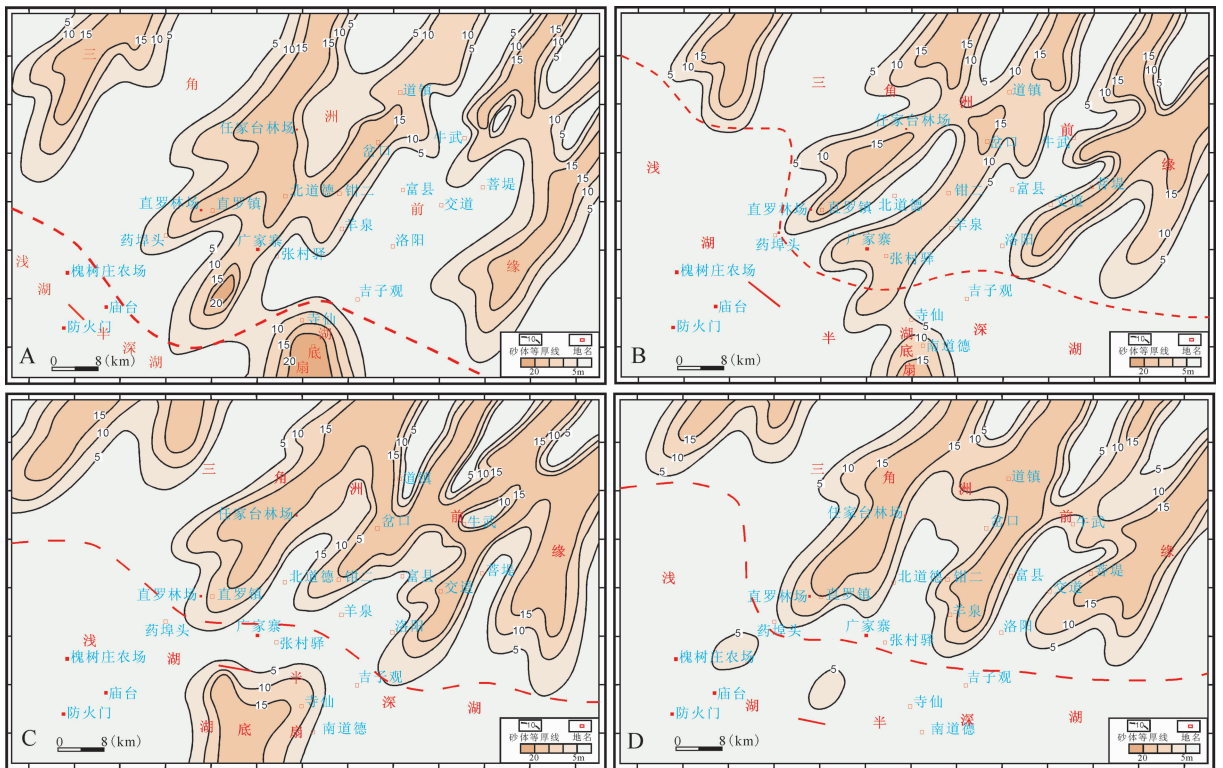


图 5 鄂尔多斯盆地富县地区 MSC1(A)、MSC2(B)、MSC3(C)、MSC4(D)层序岩相古地理图
Fig.5 Sequence-based lithofacies and paleogeography of MSC1(A), MSC2(B), MSC3(C), MSC4(D) in Fuxian area of Ordos Basin

物源供给较充分,三角洲前缘分流河道规模较大,呈北东南西向带状展布,被分流间湾分隔,发育 3 个大的朵体。西北部的分流河道朵体在研究区的分布面积相对较小,为一来自东北方向的分流河道朵体的前端部分;中部分流河道朵体的流域面积最大,延伸距离较长,该朵体大部分地区的分流河道砂体累积厚度大于 10 m,富古 3 井一带的分流河道砂体累积厚度达 28 m;东部地区的分流河道朵体位于中富 7 井-中富 44 井-中富 12 井一带,分流河道流域面积较中部小,分流河道砂体的累积厚度亦常大于 10 m。研究区南部为浅湖-半深湖环境,并且在中富 32 井附近发育湖底扇,分支水道的累积砂厚达 22 m。

2.2 MSC2 期

该时期继承了 MSC1 期的沉积格局,三角洲前缘较 MSC1 期略向北退缩,界限北迁至中富 25 井-中富 26-红 4 井-中富 12 井一带,该界线以北为三角洲前缘环境,以南为浅湖至半深湖环境(图 5-B)。MSC2 期继承了上一时期的沉积格局,依旧发育三个三角洲朵体,由于受基准面上升和沉积物供给减少的影响,朵体规模小于前一时期。西北部的分流河道朵体在研究区内延伸距离短,分布面积小;中部朵体的分流河道分布面积较大,分流河道砂体累积厚度较大,中富 20 井达 17 m;东部朵体与中部朵体以发育在富古 5 井-中富 9 井-吉 1 井一带的分流间湾分隔,其分流河道明显向北退缩,但厚砂体的分布面积仍然较大,中富 43 井的砂体累积厚度可达 24 m。这一带的显著特点是湖泊的分布面积明显增大,反映基准面上升形成湖扩,中富 32 井附近发育的湖底扇规模亦有所减小。

2.3 MSC3 期

MSC3 期的三角洲与湖泊的界线大致处于中富 12 井-中富 25 井一线,分流河道朵体规模较上一时期大(图 5-C)。该时期的西部朵体流域面积明显增大;中部朵体和东部朵体已连成一片,中部分流河道朵体主要分布在中富 29 井-中富 14 井-牛东 3 井一带,东部朵体的分流河道主要分布在富古 6 井-中富 43 井一带,分流河道砂体累积厚度大于 15 m 的面积明显比前两个时期大得多,如中富 14 井的砂厚累积厚度达 22 m;南部地区半深湖内发育的湖底扇的规模和分布范围亦明显增大,富古 3 井的分支水道砂体累积厚度达 18.5 m。这一时期的显著特点是三角洲朵体间经常相互联通,形成连片厚砂体,湖底扇

规模大,反映研究区重新进入一个强物源供给期。

2.4 MSC4 期

MSC4 期的三角洲前缘与湖泊的分界线较前一时期变化不大,但分流河道规模明显变小,南部湖泊内不再发育湖底扇沉积(图 5-D)。物源来自北东方向的分流河道仍呈北东-南西向带状展,仍然可分为西部、中部和东部三个三角洲朵体发育区;西部三角洲朵体在研究区的分布面积明显减小;中部朵体分布在吉 1 井-中富 14 井-牛东 5 井一带,累积厚度大于 15 m 的分流河道砂体分布面积仍然较大,如中富 14 井的累积砂体厚度达 30 m;东部三角洲分流河道朵体分布在中富 12 井-富古 6 井-中富 43 井一带,规模较上一时期有所减小;南部为湖泊环境,富古 3 井和中富 30 井附近有远砂坝沉积,累积砂体厚度约 5 m。

3 沉积演化

印支期,受秦岭造山带强烈挤压碰撞的影响,鄂尔多斯盆地从海相盆地演化为大型陆内拗陷盆地,盆地底形呈现为东北翼宽缓、西南翼陡倾的地貌特征^[4]。晚三叠世延长期为鄂尔多斯湖盆演化的鼎盛期,经历了形成、发展、稳定和萎缩 4 个演化阶段。研究区在长 6 期以发育大片浅水三角洲沉积为特征,反映盆地在长 7 期湖盆强烈拗陷之后,进入稳定拗陷阶段。高分辨率层序分析显示,该时期经历了 4 个中期基准面升降旋回,伴随着明显的三角洲进积和退积旋回。MSC1 期发育的砂体规模大,三角洲前缘的水下分流河道延伸距离最长;MSC2 期,三角洲向北东方向退缩,砂体规模减小;MSC3 期,三角洲再次向南西方向进积,并且南部发育规模较大的湖底扇,该时期受物源供给的影响,厚砂体分布最广;MSC4 期,三角洲再次向北东方向退缩。从研究区不同时期的沉积相展布看,由于盆地具有稳定的构造背景,各时期的沉积格局具有继承性,来自北东方向的物源经过长距离搬运至富县地区,形成浅水三角洲。虽然单个分流河道砂体沉积厚度相对较小,但不同砂体的空间联通性好,是寻找大型有利储集体的重点。同时,鉴于姬源等地区发现了大规模的湖底扇成因的储层,要重视研究区南部分布有限的湖底扇砂体,也可能是有利的勘探目标。

4 结论和认识

通过对富县地区三叠系延长组长 6 段的高分辨

率层序地层及砂体展布规律研究, 得出以下结论和认识:

(1) 富县地区延长组长 6 段发育向上变“深”的非对称型旋回 (A 型)、向上变浅的非对称旋回 (B 型) 和向上变深复变浅的对称旋回 (C 型) 3 种基准面旋回类型。从研究区的东北向西南, 基准面旋回结构总体上具有 A1 型→A2 型→B1 型→B2 型→C 型的变化规律。

(2) 在层序地层格架内编制的 4 个中期基准面旋回的层序-岩相古地理图显示, 各时期的古地理面貌具有继承性, 以发育浅水三角洲前缘、浅湖-半深湖和湖底扇为特征。

(3) 受物源供给和基准面旋回变化的影响, MSC1 期和 MSC3 期为三角洲的高度建设期, 发育的砂体规模大, 联通性好, 以大型的进积型浅水三角洲水下分流河道砂体 (A1 型或 A2 型) 和较大规模的湖底扇砂体 (A2 型) 为特征, 是研究区最有利的勘探目标。

参考文献 (References):

- [1] 杨华, 刘显阳, 张才利, 等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组低渗透岩性油藏主控因素及其分布规律[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(3):1-6.
Yang Hua, Liu Xianyang, Zhang Caili, et al. The main controlling factors and distribution of low permeability lithologic reservoirs of Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(3):1-6(in Chinese with English abstract).
- [2] 陈全红, 李文厚, 郭艳琴, 等. 鄂尔多斯盆地南部延长组浊积岩体系及油气勘探意义[J]. 地质学报, 2006, 80(5):656-662.
Chen Quanhong, Li Wenhou, Guo Yanqin, et al. Lake basin evolution and petroleum accumulation of Late Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(5): 656-663 (in Chinese with English abstract).
- [3] 付金华, 郭正权, 邓秀芹, 等. 鄂尔多斯盆地西南地区上三叠统延长组沉积相及石油地质意义[J]. 古地理学报, 2005, 7(1):34-44.
Fu Jinhua, Guo Zhengquan, Deng Xiuqin, et al. Sedimentary facies of the Yanchang Formation of Upper Triassic and petroleum geological implication in southwestern Ordos Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7 (1):34-44 (in Chinese with English abstract).
- [4] 李文厚, 邵磊, 魏红红, 等. 西北地区湖相浊流沉积 [J]. 西北大学学报(自然科学版), 2001, 31(1):57-62.
Li Wenhou, Shao Lei, Wei Honghong, et al. Turbidity current deposits of lake facies in northwestern China [J]. Journal of Northwest University(Natural Science Edition), 2001, 31(1):57-62 (in Chinese with English abstract).
- [5] 卢龙飞, 史基安, 蔡进功, 等. 鄂尔多斯盆地西峰油田三叠系延长组浊流沉积及成因模式[J]. 地球学报, 2006, 27(4):303-309.
Lu Longfei, Shi Ji'an, Cai Jingong, et al. Triassic turbidity current deposit and genetic model of Yanchang Formation of Xifeng Oilfield, Ordos Basin [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2006, 27(4):303-309(in Chinese with English abstract).
- [6] 陈洪德, 倪新锋. 陇东地区三叠系延长组沉积层序及充填响应特征[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(2):143-151.
Chen Hongde, Ni Xinfeng. Depositional sequence and filling response characteristics of Triassic Yanchang Formation in Longdong area [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27 (2):143-151(in Chinese with English abstract).
- [7] 王居峰, 郭彦如, 张延玲, 等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组层序地层格架与沉积相构成[J]. 现代地质, 2009, 23(5):803-808.
Wang Jufeng, Guo Yanru, Zhang Yanling, et al. Sequence stratigraphic framework and sedimentary facies of Yanchang Formation, Triassic System in Ordos Basin [J]. Geoscience, 2009, 23 (5):803-808(in Chinese with English abstract).
- [8] 倪新锋, 陈洪德, 韦东晓. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组层序地层格架与油气勘探[J]. 中国地质, 2007, 34(1):73-80.
Ni Xinfeng, Chen Hongde, Wei Dongxiao. Sequence stratigraphic framework of the Triassic Yanchang Formation in the Ordos basin and petroleum exploration [J]. Geology in China, 2007, 34(1):73-80 (in Chinese with English abstract).
- [9] 徐胜林, 陈洪德, 林良彪, 等. 川东南地区飞仙关组层序岩相古地理特征[J]. 中国地质, 2009, 26(5):1055-1064.
Xu Shenglin, Chen Hongde, Lin Liangbiao, et al. Sequence-based lithofacies and paleogeography of Lower Triassic Feixianguan Formation in southeastern Sichuan Basin [J]. Geology in China, 2009, 26(5):1055-1064(in Chinese with English abstract).
- [10] 陈安清, 陈洪德, 林良彪, 等. 鄂尔多斯盆地东北部石盒子组层序充填样式及过程分析[J]. 中国地质, 2009, 26(5):1046-1054.
Chen Anqing, Chen Hongde, Lin Liangbiao, et al. An analysis of sequence filling types and process of Shihezi Formation in northeast Ordos Basin [J]. Geology in China, 2009, 26 (5): 1046-1054 (in Chinese with English abstract).
- [11] 倪超, 纪友亮. 饶阳凹陷古近系沙河街组层序地层分析及沉积体系研究 [J]. 中国地质, 2006, 33(1):193-200.
Ni Chao, Ji Youliang. Sequence stratigraphy and sedimentary system of the Paleogene Shahejie Formation in the Raoyang subbasin [J]. Geology in China, 2006, 33 (1):193-200(in Chinese with English abstract).
- [12] 温立峰, 吴胜和, 岳大力, 等. 胜二区沙二段 7 砂组地层基准面旋回与沉积微相研究[J]. 中国地质, 2010, 37(1):144-151.
Wen Lifeng, Wu Shenghe, Yue Dali, et al. Stratigraphic base-level cycles and sedimentary microfacies of Es₂-7 Formation in the Shengtuo Oilfield [J]. Geology in China, 2010, 37(1):144-151.
- [13] Cross A T, Lessenger M A. Sediment Volume Partitioning: Rationale for Stratigraphic Model Evaluation and High-Resolution Stratigraphic Correlation [R]. Accepted for publication in Norwegian Petroleum Forening Conference Volume, 1996:1-24.

- [14] 邓宏文. 美国层序地层研究中的新学派——高分辨率层序地层学[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2):89-97.
Deng Hongwen. A new school of thought in sequence stratigraphic studies in u.s.:high-resolution sequence stratigraphy [J]. Oil & Gas Geology, 1995, 16 (2):89-97(in Chinese with English abstract).
- [15] 郑荣才, 尹世民, 彭军. 基准面旋回结构和叠加样式的沉积动力学分析[J]. 沉积学报, 2000, 18(3):369-375.
Zheng Rongcai, Yin Shimin, Peng Jun. Sedimentary dynamic analysis of sequence structure and stacking pattern of base-level cycle [J]. Acta sedimentologica sinica, 2000, 18 (3):369-375(in Chinese with English abstract).
- [16] 郑荣才, 彭军, 吴朝容. 陆相盆地基准面旋回的级次划分和研究意义[J]. 沉积学报, 2001, 19(2):249-255.
Zheng Rongcai, Peng Jun, Wu Zhaorong. Grade division of base-level cycles of Terrigenous Basin and its implications [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19 (2):249-255 (in Chinese with English abstract).
- [17] Strasser A, Hilgen F J, Heckel P H. Cyclostratigraphy-concepts, definitions, and applications[J]. Newsletter of Stratigraphy, 2006, 42 (2): 75-114.
- [18] Kuiper K F, Deino A, Hilgen F J, et al. Syn-chronizing rock clocks of Earth history[J]. Science, 2008, 320:500-504.
- [19] Hinnov L A, Ogg J G. Cyclostratigraphy and the astronomical time scale[J]. Stratigraphy, 2007, 4:239-251.
- [20] 吴怀春, 张世红, 冯庆来, 等. 旋回地层学理论基础、研究进展和展望[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2011, 36(3):409-428.
Wu Huaichun, Zhang Shihong, Feng Qinglai, et al. Theoretical basis, research advancement and prospects of cyclostratigraph [J]. Earth Science—Journal of China University of Geoscience, 2011, 36(3):409-428(in Chinese with English abstract).
- [21] 刘池洋, 赵红格, 桂小军. 鄂尔多斯盆地演化-改造的时空坐标及其成藏(矿)响应[J]. 地质学报, 2006, 80(5):617-638.
Liu Chiyang, Zhao Hongge, Gui Xiaojun. Space-time coordinate of the evolution and reformation and mineralization response in Ordos Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(5), 617-638(in Chinese with English abstract).

The distribution regularity of Sand bodies in Chang-6 Member of Upper Triassic Yanchang Formation, Fuxian area, Ordos Basin

Li Guo-xin^{1,2}, XU Sheng-lin¹, CHEN Hong-de¹, CHEN An-qing¹

(1. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. No. 283 Geological Party, Sichuan Nuclear Industry Geology Bureau, Dazhou 635001, Sichuan, China)

Abstract: Based on a study of core, logging and seismic data, this paper studied characteristics of high-resolution sequence stratigraphy of Chang-6 Subsection of Yanchang Formation. The authors found that from northeast to southwest, the distribution model of base-level cycle varies in order of typeA1 → typeA2 → typeB1 → typeB2 → typeC or typeA2, and recognized one long-term and four medium-term cyclic sequences (MSC1, MSC2, MSC3 and MSC4). A high-resolution sequence stratigraphic framework of medium-term cyclic sequences was established. With the medium-term cyclic sequences as mapping units, four sequence-based lithofacies and paleogeography were drawn which show that the delta was mainly developed during the MSC1 stage and MSC3 stage. The sand bodies were mainly developed at the same time. It is found that sand bodies were mainly developed in the subaquatic distributary channels of prograding deltas whose base-level cycle was of type A1 and type A2, and the sand bodies were also developed in the alluvial fan whose base-level cycle type was type A2. Consequently, the distribution regularity of sand bodies revealed by sequence-based lithofacies and paleogeography has an important guiding significance for the petroleum exploration in the prospecting area of Fuxian located in the southeast hydrocarbon-enriched belt of Shanbei slope, Ordos Basin.

Key words: sequence-based lithofacies and paleogeography; high-resolution sequence stratigraphy; base level cycle; Yanchang Formation; Ordos Basin; Fuxian area

About the first author: LI Guo-xin, male, born in 1974, senior engineer, doctor, engages in the study of sedimentary geology; E-mail: ghlgx_2@sohu.com.

About the corresponding author: XU Sheng-lin, born in 1981, lecturer, engages in the study of sequence stratigraphy and oil and gas-bearing basins; E-mail: xusheng218@163.com.