

扇三角洲高分辨率层序地层对比及砂体分布规律

靳 松 朱筱敏 钟大康

(中国石油大学(北京)资源与信息学院油气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249)

提要:笔者依据岩心、测井资料,通过岩性、电性对比,对胡状集油田沙三中亚段 4~8 油层组的扇三角洲相储层进行高分辨率层序地层研究,确立了不同级次旋回界面和旋回类型的识别特征,将研究层段分为 1 个长期旋回和 6 个中期旋回。依据中期旋回对砂体沉积的控制作用以及垂直、平行物源方向短期旋回与古地貌的变化关系,确定了短期旋回的对比原则和对比方法,建立了短期旋回对比格架。短期旋回地层在中期基准面旋回的不同时期的砂体分布特征差异明显,是造成储层层间和平面非均质性的主要原因,在细分油气开发层系时应区别对待。

关 键 词:高分辨率层序地层学;砂体;等时对比;扇三角洲

中图分类号:P539.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2006)01-0212-09

自 1995 年高分辨率层序地层学原理引入国内后^[1-3],由于摆脱了层序地层分析“必须与海平面变化相联系”的束缚,引起国内陆相高分辨率层序地层研究热潮。高分辨率层序地层学在隐蔽油气藏勘探、储层预测、储层非均质性和精细描述等领域得到了广泛应用^[6-10],特别是在储层精细对比方面,逐步形成了层序划分与等时对比原理与方法。该方法强调在建立以湖泛面为等时对比标志的低频旋回基础上,考虑砂体沉积动力学特征,逐级对比中、高频旋回,以达到最大程度保证砂体对比等时性的目的。对于开发程度较高的油藏,在近井距(数十米)条件下,通过短期、超短期旋回的精细对比,砂体分辨率可以达到分米级别^[11],可以为油藏精细描述,流动单元细分和全面认识油藏非均质性提供精细地质模型,从而提高油田开发效果。

胡状集油田位于东濮凹陷西斜坡带上,沙河街组三段沉积时期由于兰聊断层、长垣断层和黄河断层活动强烈,形成两洼一隆的构造格局。西斜坡带形成由长垣、石家集和五星集等东倾大断裂组成的由西而东次第升高的断阶状构造,胡状集油田处于其中第二台阶上,以石家集断层为西部边界(图 1)。在此构造背景下,沙三段时期由于研究区西侧地势陡峭,坡降大($2^{\circ}\sim 4^{\circ}$),并且与湖盆距离较近,容易形成流程短、流速快的洪流。孢粉化石组合为凤尾蕨孢属—无患子粉属—忍冬粉属亚组合和加蓬粉属—杉粉属—拟榛粉属亚属组合。早期麻黄粉属、凤尾蕨孢属含量较高并有典型的干旱植物旱梅,反映当时的气候为干旱—半干旱,有利于扇三角洲沉积

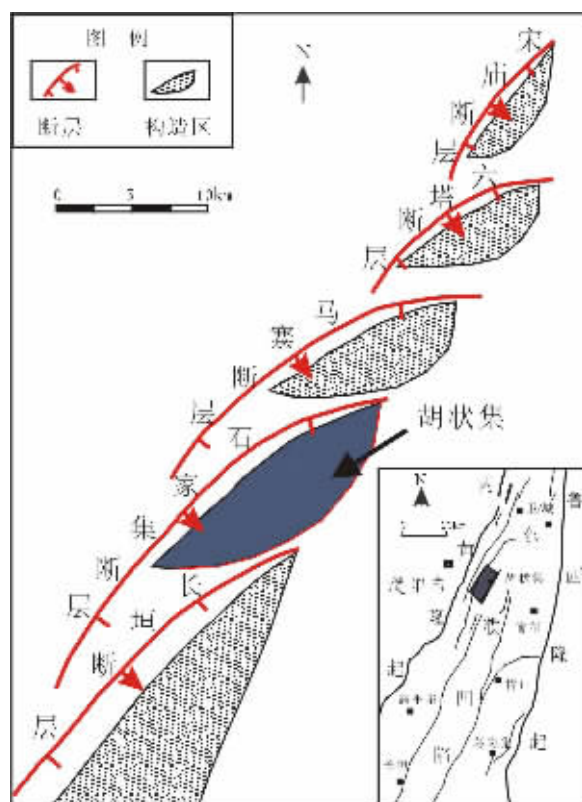


图 1 河南濮阳胡状集油田构造位置略图

Fig.1 Structural location of the Huzhuangji oilfield in Buyang, Henan

收稿日期:2005-07-10;改回日期:2005-10-11

基金项目:国家 973 项目(2001CB209104)资助。

作者简介:靳松,男,1974 年生,博士,主要从事储层沉积学方面的研究;E-mail:jinsongtx@sina.com。

体系的形成和保存^[8]。边界断层的活跃性和古气候的改变控制了扇三角洲的时空分布,扇三角洲表现出微相变化大,砂体纵、横向变化快的特征。油田开发亦表明储层具有强烈的非均质性,严重影响了注水开发效果,而认识砂体分布的控制因素和规律,是全面认识储层非均质性的基础。因此笔者以胡状集油田的主要含油层位沙三中亚段第 4~8 砂层组为研究对象,综合岩心、测井资料,阐述高分辨层序地层特征和等时对比原则,并揭示该区的砂体分布规律。

1 基准面旋回识别

A.T.Cross 倡导的高分辨率层序地层学,强调不同级次的基准面升降运动周期为划分层序的依据,按基准面旋回的结构和叠加样式特征,进一步细分出短期、中期和长期 3 个级次的层序,所谓的高分辨率主要指其分辨率高于地震分辨率的地层学意义。高分辨层序地层对比划分的基础是各级基准面旋回的识别(表 1)。笔者的具体做法是首先依据地震资料识别出低频(时限较长)旋回,然后通过岩心资料与测井资料将低频旋回进一步划分为高频(时限较短)旋回,从而识别出了胡状集油田沙三中亚段 E_{s3}^2 地层的长、中、短期的基准面旋回。

1.1 长期中期基准面旋回

长期基准面旋回界面是受构造强度及沉积作用双重因素影响的侵蚀不整合面及相应整合面,地震剖面上表现为局部削截接触和顶超或上超接触关系。岩心表现为岩性突变接触面(河道粗粒砾岩直接覆盖在深灰色泥页岩之上),是河道对下覆前扇三角洲泥岩的冲蚀面(图 2),测井曲线上是一幅度突变面。 E_{s3}^2 第 4~8 砂层组构成一个完整的水进到水退的比较对称的长期旋回,其转换位置对应于中期基准面旋回 MSC3 中部最大湖泛面,沉积物主要是基准面上升到最大位置时,高可容空间条件下缓慢沉积的湖相页岩。在转换面之

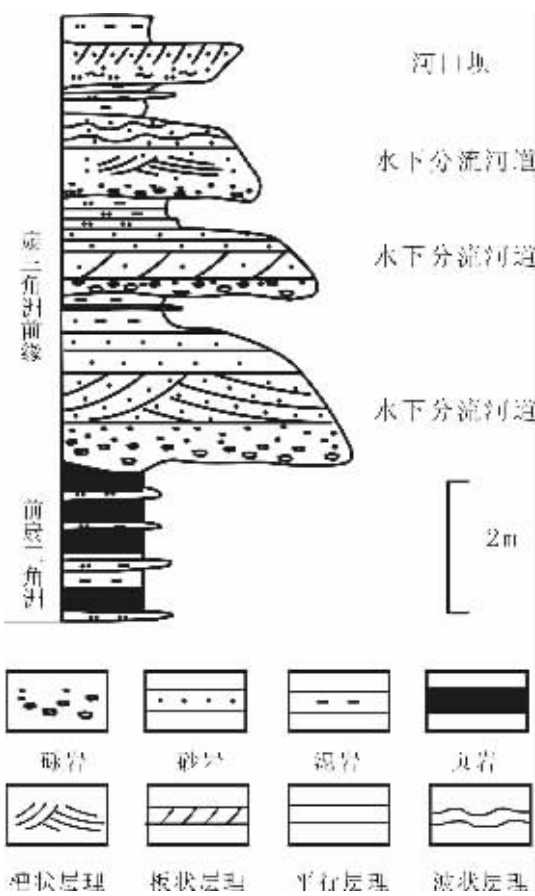


图 2 胡状集油田分流河道岩心素描图
Fig.2 Sketch of cores from distributary channels of the Huzhuangji oilfield

下,湖体扩张,可容空间增大,扇三角洲发生进积,自下而上形成扇三角洲砾岩相→槽状、板状层理粗-细砂岩相→小型

表 1 胡状集油田基准面旋回的级次划分和识别特征(据郑荣才^[19]修改)
Table 1 Orders of base-level cycles and criteria of their recognition in the Huzhuangji Oilfield (modified after Zheng Rongcai^[19])

旋回级次	与 Vail 相当的层序地层单元	识别标志		
		露头或岩心	测井剖面	地震剖面
巨旋回	I 级层序	风化壳、底砾岩、角度不整合或下伏地层大套缺失的假整合	各项测井参数的突变面	大型构造削截面、沉积超覆面,角度不整合面
超长期旋回	II 级层序	风化壳,底砾岩,下伏地层部分缺失的假整合,岩性、岩相的突变面	反映不同沉积体系和不同测井相组合特征的转换面、突变面	盆地范围内的大型构造削截侵蚀面,沉积超覆面,微角度或假整合面
长期旋回	III 级层序	古暴露标志,大型冲刷断面或侵蚀面,岩性、岩相突变面	反映同一或相邻沉积体系的大套进积-退积组合的测井相转换面、突变面	盆地边缘的构造削截侵蚀面,沉积超覆面
中期旋回	IV 级层序 (准层序组或体系域)	间歇暴露面,较大规模的冲刷面,岩性、岩相的突变面或均变面	反映同一沉积体系中相似或相邻相序的进积-退积组合的测井相转换面、突变面	很难识别,或表现为地震反射结构变化的分界面,地震相类型转换面
短期旋回	V 级层序 (准层序)	间歇暴露面,小型冲刷面和非沉积作用间断面,相似岩性和岩相组合的分界面	反映韵律性沉积旋回的进积-退积组合的测井相组合转换面	一般不能识别

交错层理粉砂、泥质粉砂岩的“渐深相”组合,且单层砂岩厚度明显减小。下部主要是水下分流河道、河口坝沉积,中部发育分流河道间溢岸沉积,上部主要是前扇三角洲的细粒沉积物,表现出河湖能量减弱、水体加深的变化趋势。测井曲线振荡逐渐减弱,幅度趋向平缓,总体显示为钟形曲线特征。在转换面之上总体情况正好相反,湖体萎缩,可容空间逐渐减小,扇三角洲向湖进积,自下而上代表深水沉积的微相比例逐渐降低,中上部以水下分流河道和河道间溢岸沉积为主体,即形成“渐浅相”组合,砂泥比自下而上增大,测井曲线振荡逐渐增强,总体显示出箱形+漏斗型曲线特征(图3)。

中期旋回则主要受控于气候因素,一个中期基准面旋回代表了一次较大规模的湖进到湖退过程,也就是扇三角洲由加积、退积到进积的生长全过程。本区中期旋回界面的岩心

识别标志主要是:①地层剖面中的冲刷面,主要是分流河道对早期天然堤或前扇三角洲的冲刷侵蚀;②相组合和岩相类型垂向上的转换位置,由前扇三角洲、河口坝等水体向上变浅的相组合向河道、河道间、远砂坝等水体向上逐渐加深的相组合有规律转换;③砂泥岩厚度旋回性变化,砂泥岩厚度在垂向上有规律的变化也可作为基准面的识别标志,表现为界面之上泥岩厚度变大,粒度变细,砂泥比减小,界面之下正相反,砂岩厚度增大,粒度变粗,砂泥比变大。测井曲线多呈现为进积向退积转化的突变位置,根据上述特征,可划分出6个中期基准面旋回,旋回厚度20~60 m,各中期旋回由若干可对比的短期旋回组成,中期旋回内不同时期沉积物供给和可容空间的变化关系,决定了短期旋回的结构类型、叠加样式和分布规律,进而控制了砂体的时空分布特征。

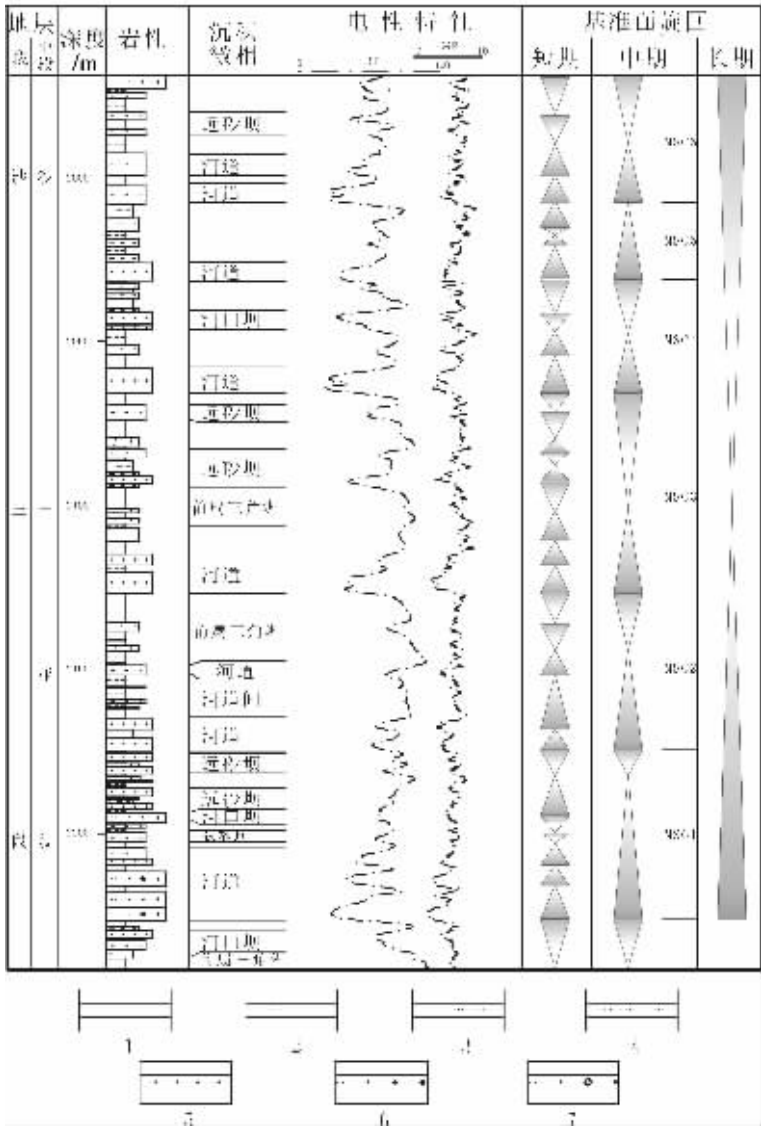


图3 胡状集油田基准面旋回层序剖面图(H20井)

1—泥岩;2—砂质泥岩;3—泥质粉砂岩;4—粉砂岩;5—细砂岩;6—粉—粗砂岩;7—含砾砂岩

Fig.3 Section of base-level cyclic sequences in the Huzhuangji Oilfield Well H2O

1—Mudstone;2—Sandy mudstone;3—Pelitic siltstone;4—Siltstone;5—Fine sandstone;6—Very fine to coarse sandstone;7—Pebbly sandstone

1.2 短期基准面旋回

中期旋回由一系列具有退积、加积和进积样式的短期旋回构成。一个完整的短期旋回由代表基准面上升和下降半旋回的岩石记录构成，但受可容空间与沉积物供给速率比值 (A/S 值) 的控制，也经常发育只代表上升期或只代表下降期的不对称半旋回。层序界面可以是侵蚀不整合面或无沉积作用面，也可以是与之对应的连续沉积界面，其识别标志主要是纵向岩相组合和界面接触关系。研究区主要发育以下 3 种短期旋回类型。

(1) 向上变深的不对称旋回

广泛分布于水下分流河道沉积区，是区内最主要的旋回类型。底为粗粒含砾砂岩或砾岩形成的冲刷面，向上粒度逐渐变细，形成向上变深的上升半旋回沉积记录，而下降半旋回多被冲刷侵蚀难以保存，最终形成只保存了基准面上升半旋回的明显不对称旋回类型(图 4)。根据可容空间的差异，该类型又可以分为两种亚类：①具有较高可容纳空间，早期基准面大幅度上升，沉积物补给速度小于可容空间增长速度 ($A/S>1$)，形成对下伏沉积物的冲蚀，之后沉积物通量逐渐降低 ($A/S\approx 1$)，形成进积-加积的沉积序列，晚期基准面下降表

现为弱冲刷和间歇性暴露，因而上升半旋回得以较完整保存，而下降半旋回被侵蚀，形成自下而上由冲刷面→河道细、粉砂岩→河道间漫溢沉积泥质粉砂岩、泥岩→冲刷面的沉积旋回，粒度逐渐变细；②具有低可容纳空间，基准面上升幅度有限，沉积物补给量大 ($A/S<1$)，形成多期河道相互切割，旋回上部漫溢沉积物被侵蚀殆尽，只有下部河道砂体得以保存，纵向上表现为多个砂体叠置，单个砂体底呈冲刷接触。

(2) 向上变浅的不对称旋回

主要发育于远离河口的扇三角洲前缘远砂坝、席状砂和河口坝沉积区，常见远砂坝、河口坝纵向叠加，粒度自下而上加粗。基准面上升期，物源供给不足，处于“饥饿”状态，表现为无沉积作用；基准面下降时，物源供给不断增加，形成进积序列，粗粒沉积物不断覆盖在早期相对细粒沉积之上，形成只保存有基准面下降时期沉积记录的下降半旋回。

(3) 向上变深再变浅的对称旋回

存在于分流河道和河口坝沉积区，是研究区内常见旋回类型之一。基准面上升和下降时期形成的沉积记录都保存得比较完整，从而形成沉积物由粗到细，再由细到粗的对称沉积旋回(图 5)。但由于沉积位置不同，河、湖水能量差异，沉积



图 4 河道底部冲刷面

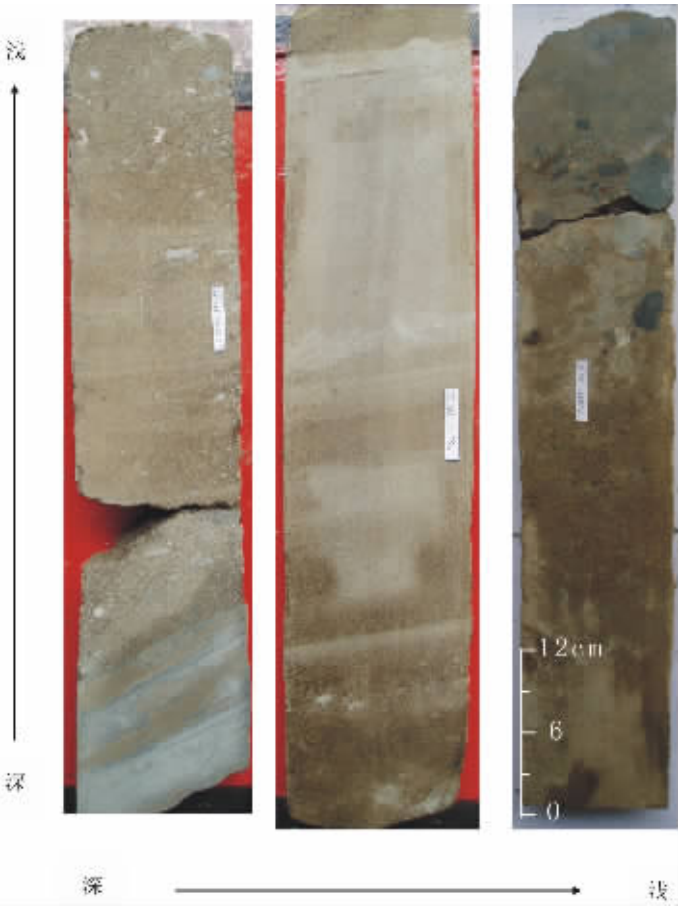


图 5 粗→细→粗旋回

Fig.4 Erosional surface of the river channel

Fig.5 Coarse→fine→coarse cycle

微相组合特征各异,形成3种具不同特征的亚类:①近河口地区,基准面上升时期,河水能量强,供源充分,河道沉积保存较完整,基准面下降期受轻微冲刷,相对不完整,形成上升半旋回明显大于下降半旋回的不完全对称旋回;②在河、湖水能量相对均衡地区,基准面上升期形成的河道沉积逐渐过渡为下降期的河口坝沉积,上、下半旋回发育亦均衡,形成近完全对称旋回类型;③离河口较远沉积区,基准面上升期,河流供源能力不足,上升半旋回欠发育,下降期供源较充分,发育反粒序的加积-进积序列,以河口坝沉积为主,形成上升半旋回明显小于下降半旋回的不完全对称旋回类型。

2 短期旋回对比原则

在识别出各级基准面旋回的基础上,根据基准面变化曲线中旋回的级别和幅度,可以按照不同级次对基准面旋回进行等时对比。以基准面旋回变化为基础的井间地层对比,不是沉积相或岩石类型的对比,而是等时地层单元的对比,可以跨越不同的沉积环境。对于判断砂体分布与连通情况而言,主要是建立短期、超短期旋回对比格架。短期旋回的发育期次和形态实际上是受基准面在上下穿越沉积表面时的相对位置控制的,即受控于古地貌形态与沉积物供给情况所确定的A/S值的变化情况。为最大程度地保证旋回对比的等时性,采用由低频旋回向高频旋回逐级对比的方法:首先通过地震反射特征和岩相组合特征在研究区内做长期旋回的对比,建立等时对比格架;然后依据瓦尔特相序定律在横向上按照微相组合关系进行中期和短期旋回的对比,但在扇三角洲生长的不同方向上,其古地貌特征存在较大差异,其沉积动力特征也相应不同,因而在平行物源与垂直物源方向上采用了不同的对比原则。

2.1 平行物源方向对比原则

沿扇三角洲生长方向,由于基准面与沉积界面的相对位置的变化规律比较稳定,使沉积物的类型和相序在该方向上

的分布存在有规律的变化,因而是比较利于等时对比的优选方向。近岸位置由于可容空间小,基准面下降半旋回不易保存,多被后期基准面上升期的分流河道侵蚀切割,一般只发育基准面向上不对称的沉积旋回;扇三角洲河口坝沉积区域,可容空间较大,沉积物供给充分,基准面下降期形成的河口坝和上升期进积的分流河道都能得到保存,形成下降半旋回和上升半旋回对称的基准面旋回,一般是横向上沉积厚度最大的部位;而进入盆地深水位置,河湖能量明显减弱,水体搬运能量不足,尽管存在较大的可容空间,但沉积物供给不足,因此主要以基准面下降期的缓慢深水泥岩沉积为主,上升期不发育,形成基准面向下不对称的沉积旋回。故沿物源方向的对比关系是界面(冲刷面)—岩石—界面(沉积间断面),沉积微相横向上也表现出河道→河口坝→浅湖泥岩相的规律性变化(图6)。

2.2 垂直物源方向对比原则

垂直扇三角洲生长方向,研究区主要是分流河道的改道游荡沉积,是多期砂体在平面和垂向上相互切割叠置,使等时对比具有很大难度。通过精细对比认为,分流河道向两侧通常侧变为泥质粉砂岩和泥岩,或对早期形成的河口坝进行切割。因此,河道发育位置以向上不对称旋回为主,底部为冲刷面,向上渐变为湖泛面。侧向上底部冲刷面逐渐过渡为湖泛面,使河道部位上升半旋回对应于河道间下降半旋回,且向两侧底部泥岩分布稳定,厚度增大,成为比较好的对比标志(图7)。

2.3 对比方法

郑荣才认为,中期基准面旋回界面对短期旋回层序发育和保存状况有直接控制作用,提出以动力学分析为基础的等时对比技术方法。短期旋回的划分结果显示,受A/S值变化的控制,短期旋回层序的结构类型在中期旋回的不同时期具有规律性变化特征。中期旋回上升初期和早期发育向上不对称短期层序为主,旋回中期则主要发育具有完整对称性旋回

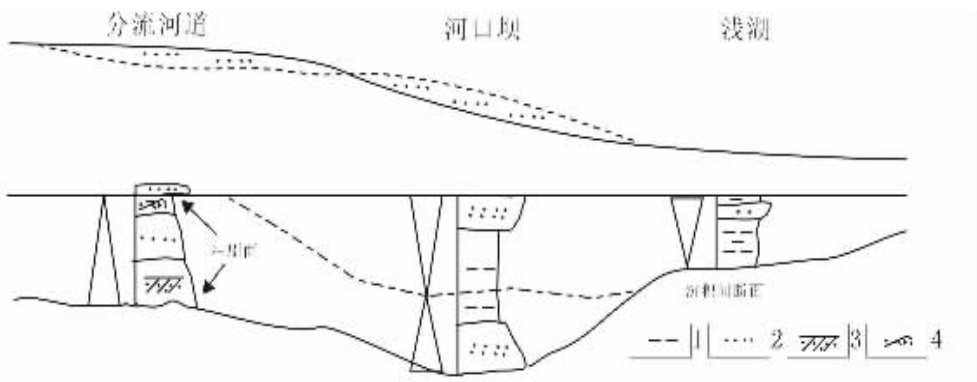


图6 胡状集油田平行物源方向对比模式

1—泥岩;2—砂岩;3—板状交错层理;4—爬升层理

Fig. 6 Correlation model of cyclic sequences parallel to the provenance in the Huzhuangji Oilfield

1—Mudstone; 2—Sandstone; 3—Platy cross-bedding; 4—Climbing bedding

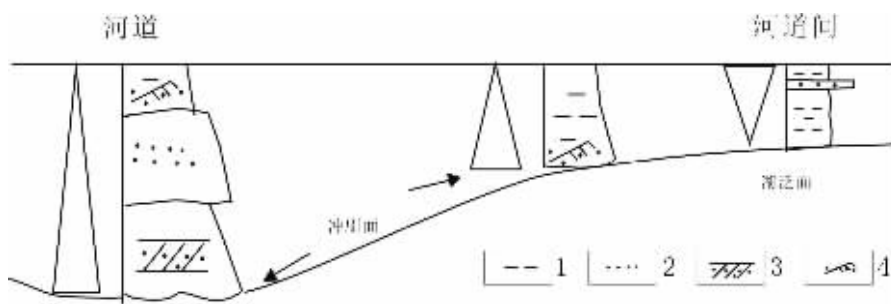


图 7 胡状集油田垂直物源方向对比模式

1—泥岩;2—砂岩;3—板状交错层理;4—爬升层理

Fig. 7 Correlation model of cyclic sequences perpendicular to the provenance in the Huzhuangji Oilfield

1-Mudstone; 2-Sandstone; 3-Platy cross-bedding; 4-Climbing bedding

的地层层序,而旋回晚期以发育向下不对称短期层序为特征。这说明短期旋回的结构类型、叠加样式和分布规律明显受中期旋回的控制,因而对其进行等时对比必须置于中期旋回框架内进行。对短期旋回层序的对比,应当选取横向上普遍发育的层序界面为等时对比标志后,以中期湖泛面提供的对称轴为起点,以中期旋回层序的底、顶界面各为终点,对中期基准面上升半旋回的短期旋回层序进行自上而下的对比,对下降半旋回中的短期旋回层序进行自下而上的对比。

3 短期旋回对比与砂体分布规律

根据上述原则与方法,建立了研究区等时对比高分辨层序地层格架。图 8 是第 8 砂组的砂体等时对比图,包括 SSC1、SSC2、…、SSC6 共 6 个可对比的短期旋回。其中 SSC1 只发育基准面下降半旋回,为浅湖—远砂坝、河口坝的反韵律沉积,砂体主要发育于旋回中上部; SSC2—SSC5 多发育基准面向上不对称旋回,多数为水下水分流河道正韵律砂岩沉积; SSC6 主要发育扇三角洲前缘席状砂或远砂坝沉积。

短期旋回的砂体发育部位在中期旋回地层中具有较强烈的规律性(表 2)。中期旋回界面上下是最有利于砂体发育的位置,下降晚期发育河口坝砂体,受湖水反复淘洗,泥质含量低,以中细砂岩为主,而且受后期侵蚀不明显,故砂体分布较稳定,平均孔隙度为 20.1%,渗透率 $769.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,如 SSC1。中期旋回上升早期,湖平面相对位置较低,可容空间小,古地貌起伏亦较大,以局部低洼位置的优先沉积作用为特征,如 SSC2 由于河道下切能力强,以充填沉积为主,多个河道相互切割形成纵向厚度大,分布范围窄的孤立河道砂体,区内仅在 H20 和 H56、H106 井区发育两条孤立河道,被分流河道间泥岩分隔,使砂体的横向追踪对比具有很大难度。储层以含砾砂岩、粗—中砂岩为主,同时具有良好的孔渗条件,平均孔隙度 21.7%,平均渗透率 $828.75 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,但砂体钻遇率明显降低,对于注水开发影响极大。SSC3 属于中期旋回地层基准面上升中期,湖平面相对位置较高,可容空间增大,沉积区距

物源较近,在湖水的顶托作用下,河道以侧向迁移为主,储层主要是中细砂岩,分布稳定可以横向对比,储层物性亦较好。SSC4-SSC6发育于中期基准面上升晚期,处于接近中期湖泛面位置,随湖水不断加深,沉积区远离物源,入湖河流搬运能力逐渐降低,沉积物粒度明显变细,泥质含量高,储层以粉细砂岩、泥质粉砂岩为主,单层厚度减薄,物性变差,平均孔隙度降为 15.4%,渗透率仅 $23.85 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,砂体钻遇率低,说明横向连续性变差,泥岩隔、夹层增多,变厚。

砂体等时对比结果说明,砂体的发育情况受中期旋回的控制,在基准面升降和下降的不同时期,储层岩石类型、厚度、侧向连续性和物性变化较大且具有一定的规律性。按砂组为单元制定开发层系显然会出现较强的平面和层间非均质性,因此通过高分辨层序地层等时对比,细分开发层系可以有效降低储层非均质性对开发效果的影响,也是进行流动单元划分、水淹状况分析、剩余油研究的基础。

4 结 论

(1) 研究区沙三中亚段第 4~8 砂组构成 1 个长期基准面旋回,可划分为 6 个中期旋回;中期旋回控制了短期旋回的结构类型、叠加样式和纵向分布规律。

(2) 在扇三角洲生长的不同方向上,其古地貌特征存在较大差异,其沉积动力特征也相应不同,因而在平行物源与垂直物源方向上,采用了不同的对比原则。对比方法应考虑中期旋回的控制作用,以中期湖泛面为对称轴,对上升半旋回采用自上而下,下降半旋回采用自下而上的对比方法。

表 2 短期旋回砂体分布特征
Table 2 Statistics of the sandbody distribution characteristics of short-term cycles

	SSC1	SSC2	SSC3	SSC4	SSC5	SSC6
钻遇率	100%	30%	100%	44%	56%	60%
最大厚度(m)	6.8	7.9	6.4	4.5	2.7	3.9
渗透率均值 $K(10^{-3} \mu\text{m}^2)$	769.5	828.7	736.1	212.3	62.6	23.8
孔隙度均值 Φ (%)	20.1	21.7	19.4	19.8	17.2	15.4

(3) 中期基准面旋回不同时期的短期旋回砂体发育情况具有明显的规律。砂体主要发育于中期旋回界面附近,即在上升半旋回的早期、中期和下降半旋回的晚期,砂体厚度大,横向展布较稳定,而且物性也较好;在湖泛面附近,沉积物粒度变细,砂体减薄,侧变快,物性也变差,造成比较明显的层间和平面非均质性,细分开发层系时予以重视。

参考文献 (References):

[1] 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]. 石油天然气地质, 1995, 16(2): 90~97.
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): 90~97 (in Chinese with English abstract).

[2] 邓宏文, 王洪亮, 李熙喆. 层序地层基准面的识别、对比技术及应用[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 177~184.
Deng Hongwen, Wang Hongliang, Li Xizhe. Identification and correlation techniques of sequence stratigraphic base-levels and their application[J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(3): 177~184 (in Chinese with English abstract).

[3] 樊太亮, 李庆谋. 沉积基准面变化分析技术及其应用[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 108~114.
Fan Tai liang, Li Qingmou. Analysis techniques of sedimentary base-level and their application [J]. Oil & Gas Geology, 1997, 18(2): 108~114 (in Chinese with English abstract).

[4] 邓宏文, 王红亮, 宁宁. 沉积物体积分配原理——高分辨率层序地层学的理论基础[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 305~313.
Deng Hongwen, Wang Hongliang, Ning Ning. Sediment volume partition principle: theoretical basis for high-resolution sequence stratigraphy [J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(4): 305~313 (in Chinese with English abstract).

[5] 刘豪, 王英民, 王媛. 地层基准面研究概述[J]. 沉积与特提斯地质, 2003, 23(2): 98~104.
Liu Hao, Wang Yingmin, Wang Yuan. Stratigraphic base level: an overview [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2003, 23(2): 98~104 (in Chinese with English abstract).

[6] 段秋梁, 陈永进, 陈国强, 等. 测井曲线在地层基准面旋回划分中的应用[J]. 沉积与特提斯地质, 2002, 22(1): 35~39.
Duan Qiuliang, Chen Yongjin, Chen Guoqiang, et al. Applications of well logs to the division of stratigraphic base-level cycles [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2002, 22(1): 35~39 (in Chinese with English abstract).

[7] 赵俊青, 纪友亮, 夏斌, 等. 扇三角洲沉积体系高精度层序地层学研究[J]. 沉积学报, 2004, 22(2): 302~309.
Zhao Junqing, Ji Youliang, Xia Bin, et al. High-resolution sequence research in fan-delta sedimentary system [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(2): 302~309 (in Chinese with English abstract).

[8] 杜春彦, 郑荣才. 陕北长 6 油层组短期基准面旋回与储层非均质性的关系[J]. 成都理工学院学报, 1999, 26(1): 17~22.
Du Chunyan, Zheng Rongcai. Control of sequence of strata over

reservoir heterogeneity of the Chang Six Oil Formation in Northern Shaanxi[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1999, 26(1): 17~22 (in Chinese with English abstract).

[9] 樊太亮, 李卫东. 层序地层应用于陆相油藏预测的成功实例[J]. 石油学报, 1999, 20(2): 12~17.
Fang Tai liang, Li Weidong. A successful case on sequence stratigraphy applied to the prediction of non-marine oil reservoir [J]. Acta Petrolei Sinica, 1999, 20(2): 12~17 (in Chinese with English abstract).

[10] 车树立, 管守锐. 基准面识别技术在古地理分析中的应用——以柴达木盆地中生代地层为例[J]. 岩相古地理, 1999, 19(5): 34~39.
Che Shuli, Guan Shourui. Applications of the identification techniques of base levels to palaeogeographic research: An example from the Mesozoic Strata in the Qaidam Basin, Qinghai [J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1999, 19(5): 34~39 (in Chinese with English abstract).

[11] 尹太举, 张昌民, 赵红静, 等. 依据高分辨率层序地层学进行剩余油分布预测[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(4): 79~82.
Yin Taiju, Zhang Changmin, Zhao Hongjing, et al. Remaining oil distribution prediction based on high-resolution sequence stratigraphy [J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(4): 79~82 (in Chinese with English abstract).

[12] 邓宏文, 王洪亮, 李小孟. 高分辨率层序地层对比在河流相中的应用[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 90~114.
Deng Hongwen, Wang Hongliang, Li Xiaomeng. Application of high-resolution sequence stratigraphic correlation to fluvial facies [J]. Oil & Gas Geology, 1997, 18(2): 90~114 (in Chinese with English abstract).

[13] 付国民, 郑荣才, 赵俊兴, 等. 鄂尔多斯盆地环县地区延安组高分辨率层序地层学特征[J]. 中国矿业大学学报, 2005, 34(3): 394~399.
Fu Guomin, Zheng Rongcai, Zhao Junxing, et al. High resolution sequence stratigraphic characteristics of Yanan Formation in Huanxian County of Ordos Basin [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2005, 34(3): 394~399 (in Chinese with English abstract).

[14] 王洪亮, 邓宏文. 地层基准面原理在湖相储层预测中的应用[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 96~102.
Wang Hongliang, Deng Hongwen. Application of base-level principle in prediction of lacustrine reservoirs [J]. Oil & Gas Geology, 1997, 18(2): 96~102 (in Chinese with English abstract).

[15] 尹太举, 张昌民, 李中超, 等. 濮城油田沙三中 6~10 砂组高分辨率层序地层研究[J]. 沉积学报, 2003, 21(4): 663~669.
Yin Taiju, Zhang Changmin, Li Zhongchao, et al. High resolution sequence stratigraphy analysis of Es₃² in Pucheng Oil Field, Dongpu Depress [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(4): 663~669 (in Chinese with English abstract).

[16] 郑荣才, 彭军, 彭光明, 等. 高分辨率层序分析在油藏开发工程中的应用——以百色盆地 35 块那二段油藏为例 [J]. 沉积学报, 2003, 21(4): 654~662 (in Chinese with English abstract).
Zheng Rongcai, Peng Jun, Peng Guangming, et al. Analysis of high-resolution sequence stratigraphy of the Second Member of

- Nadu Formation in Lun-35 Block of Baise Basin and its application in development of oil reservoir [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003,21(4):654~662 (in Chinese with English abstract).
- [17] 郑荣才,柯光明,文华国,等.高分辨率层序分析在河流相砂体等时对比中的应用[J].*成都理工大学学报(自然科学版)*, 2004, 3(6): 641~647.
- Zheng Rongcai, Ke Guangming, Wen Huaguo, et al. Isochronic correlation of fluvial sandbodies by high-resolution sequence technique[J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2004, 3(6): 641~647 (in Chinese with English abstract).
- [18] 赵澄林,刘孟慧,纪友亮.东濮凹陷下第三系碎屑岩沉积体系与成岩作用[M].北京:石油工业出版社, 1992.33~38.
- Zhao Chenglin, Liu Menghui, Ji Youliang. *Clasolite Sedimentary System and Diagenesis of Paleogene in Dongpu Depression* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992. 33~38 (in Chinese with English abstract).
- [19] 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 Chaorong. 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).
- [20] 郑荣才,尹世民,彭军.基准面旋回结构与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).
- [21] 张明禄,郑荣才,达世攀,等.砂体等时对比的高分辨率层序分析技术[J].*矿物岩石*, 2004, 24(1):113~120.
- Zhang Minglu, Zheng Rongcai, Da Shipan, et al. Isochronic correlation of sandbodies by high-resolution sequence technique [J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 2004, 24 (1):113~120 (in Chinese with English abstract).

High-resolution sequence stratigraphic correlation of fan deltas and distribution characteristics of sandbodies

JIN Song, ZHU Xiao-min, ZHONG Da-kang

(Key Laboratory of Education Ministry for Hydrocarbon Accumulation Mechanism, Faculty of Natural Resources and Information Technology, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China)

Abstract: According to the core and well log data and lithologic and electric correlation, high-resolution sequence stratigraphic study has been conducted on the fan deltaic reservoirs in pay sets 4 to 8 of the Third Member of the Shahejie Formation in the Huzhuangji oilfield. The criteria for recognition of different orders of cycle boundaries and cycle types are established, and the studied section is divided into one long-term cycle and six medium-term cycles. The correlation principle and method of short-term stratigraphic cycles are determined and the framework of correlation of short-term cycles is established according to the controls of medium-term cycles on the deposition of sandbodies and relationship between the geomorphological change and types of short-term cycles parallel or perpendicular to the direction of the provenance. The distribution characteristics of sandbodies and reservoir properties in short-term cyclic sequences are notably different in different phases of a medium-term base-level cycle, which is the main cause responsible for serious reservoir interlayers or plane heterogeneities. It should be taken into account when the sequences of strata which are to be exploited are distinguished in detail.

Key words: high-resolution; sequence stratigraphy; sandbody; isochronic correlation; fan delta

About the first author: JIN Song, male, born in 1974, master, specializes in reservoir sedimentology; E-mail: jinsongtx@sina.com.