

塔河一区下油组辫状河三角洲储层构型分析

解 珺^{1,2}, 胡望水^{1,2}, 陈叔阳³, 郁少博^{1,2}, 陈佩佩^{1,2}

(1.长江大学 油气资源与勘探技术教育部重点实验室, 湖北 武汉 430100; 2.长江大学 地球科学学院, 湖北 武汉 430100; 3.中国石化西北油田分公司, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要:辫状河三角洲储层是当今油气勘探的重点对象,其内部的储层构型特征直接控制油气的富集与分布。以塔河一区下油组为例,采取现代沉积测量与经验公式预测相结合的方法,总结出一套适用于辫状河三角洲储层构型的研究方法。在沉积相分析的基础上,加以岩心、测井、地震、录井等资料的综合分析,识别出辫状河三角洲不同层次的储层构型界面以及由其划分的构型要素。以层次分析为指导思想,通过隔夹层识别,从单一河道、心滩和心滩内部增生体3个层次对研究区储层进行详细解剖并实现相应的定量表征。结果表明,研究区下油组辫状河三角洲平原单一辫状分流河道宽度为128~690 m,水下分流河道宽度为144~386 m,心滩宽度约为244 m,长度约为594 m,心滩内夹层发育,长轴方向迎水面倾角为2°~4°,背水面倾角小于1°。

关键词:辫状河三角洲 储层构型 层次分析 心滩 定量表征 塔河一区

中图分类号:TE112.221

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2017)05-0046-07

Reservoir architectural analysis of the braided fluvial delta of the lower oil layer in the 1st block of Tahe Oilfield

Xie Jun^{1,2}, Hu Wangshui^{1,2}, Chen Shuyang³, Yu Shaobo^{1,2}, Chen Peipei^{1,2}

(1.MOE Key Laboratory of Oil and Gas Resources and Exploration Technology, Yangtze University, Wuhan City, Hubei Province, 430100, China; 2.School of Geosciences, Yangtze University, Wuhan City, Hubei Province, 430100, China; 3.Northwest Oilfield Company, SINOPEC, Urumqi, Xinjiang, 830011, China)

Abstract: In recent years, much attention has been focused on the braided fluvial delta reservoir in which reservoir architecture directly controls hydrocarbon enrichment and distribution. Take the lower oil layer in the 1st block of Tahe Oilfield as an example, a set of systemic methods to analyze the architecture of the braided fluvial delta reservoir were proposed by combining modern sedimentation measurement with empirical formula for forecasting. Based on the sedimentary facies analysis, according to comprehensive analysis of core data, well logs, seismic and mudlog, different hierarchical levels of architectural interfaces and the corresponding architectural elements were identified. After the identification of barrier-intercalations, using the analytic hierarchy process, the reservoir in the study area was explored into three hierarchical levels including single channel, channel bars and single accretion of channel bars, which were then characterized quantitatively. The results show that the single braided channels are 128–690 m wide, underwater distributary channels are 144–386 m wide, single channel bars are approximately 244 m wide and 594 m long of the lower oil layer in the study area. The channel bars are characteristics of well-developed interlayers with inclined angle of 2°–4° on the meeting water side and less than 1° on the back water side in the long axis.

Key words: braided fluvial delta; reservoir architecture; hierarchy analysis; channel bars; quantitative characterization; the 1st block of Tahe Oilfield

三角洲相储层是油气聚集的主要储层类型,约占中国总开发储量的30.0%^[1]。随着油气探勘程度

和开发层次的深入,辫状河三角洲相储层逐步引起中外学者的重视。Mcpherson等首次将辫状河三角

收稿日期:2017-05-26。

作者简介:解珺(1992—),女,河南濮阳人,在读硕士研究生,从事储层地质方面的研究。联系电话:18140691355, E-mail: y994390167@qq.com。

洲划分为一种独立的沉积体系,并明确给出定义^[2];于兴河等归纳了辫状河三角洲相储层的地质特点及沉积方式,并探讨了其与扇三角洲的异同^[3],为更深入地认识该类储层奠定了基础。

目前,中国大部分油田已经进入高含水产量递减阶段,基于沉积微相精度的储层认识已经不能满足开发的需求,因此,开发阶段剩余油的挖潜亟待更深层次的储层构型研究。储层构型研究是指研究不同级次界面控制下地质体的形态、空间展布及叠置方式,通过沉积微相、隔夹层分析等,可实现对储层建筑结构的定性及定量化表征^[4],进而指导剩余油的预测。Miall于1985年提出了河流相的界面和要素级别,自此,中外学者开展了许多储层建筑结构方面的研究,并取得一定成绩^[5-10]。笔者以层次分析思想为指导,对塔河一区下油组辫状河三角

洲相储层进行解剖,侧重于辫状河三角洲平原亚相,分别从单一河道、心滩和心滩内部增生体3个层次进行构型分析及定量化表征。

1 区域地质概况

塔河一区主要含油层系为三叠系,自下而上分别为下统柯吐尔组、中统阿克库勒组和上统哈拉哈塘组,本次研究重点为阿克库勒组一段,即下油组。下油组油藏位于沙雅隆起中段南翼的阿克库勒凸起西南斜坡桑塔木构造上,东邻达里亚背斜构造,西接艾协克背斜构造,南邻满加尔坳陷,北与阿克库勒断块潜山背斜构造带相连(图1),其顶部圈闭是一个长轴方向为SW—NE向的低幅牵引背斜,背斜南翼稍陡。

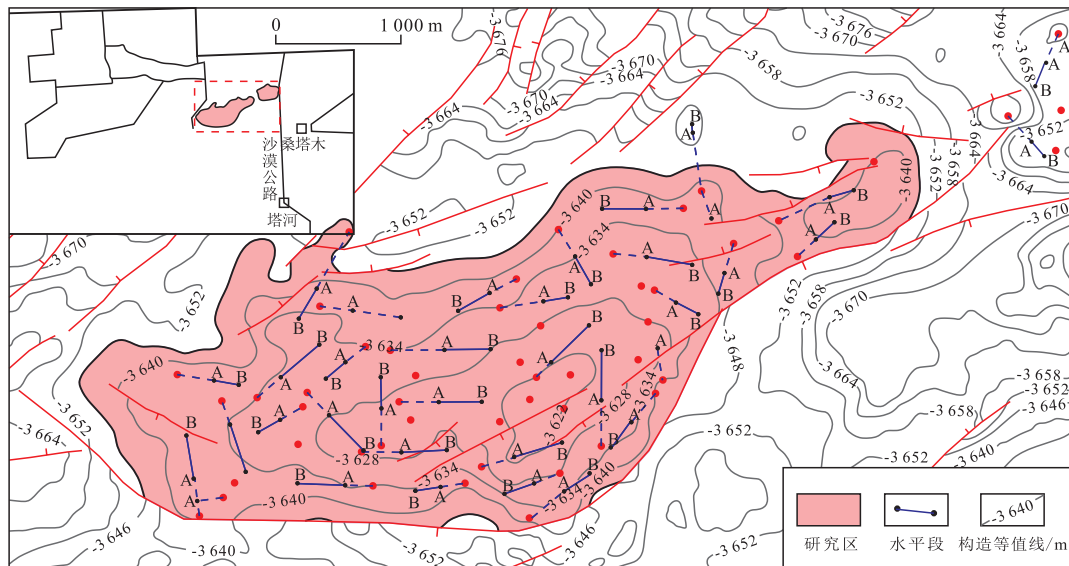


图1 塔河一区下油组区域构造

Fig.1 Structure and location of the lower oil layer in the 1st block of Tahe Oilfield

2 储层构型层次划分

2.1 储层构型要素

塔河一区主体为一套辫状河三角洲—滨浅湖沉积,其中下油组主体发育辫状河三角洲平原亚相,而前缘亚相仅在研究区西南部发育,因此,主要对辫状河三角洲平原亚相的储层构型进行分析。研究区陆源碎屑以长石岩屑砂岩为主,呈次棱—次圆状,分选中等—好,颗粒支撑。辫状河三角洲平原河道频繁改道,不发育边滩和河漫滩,其主要储层构型要素为辫状分流河道和心滩,由于辫状分流河道水流流速大、迁移快,入湖后河口坝发育规模

较小或不发育^[11],因此水下分流河道为前缘亚相的主体部分。

辫状分流河道 辫状分流河道主要岩性为含砾岩屑粗砂岩、中粒岩屑砂岩、细砂岩、粉砂岩,沉积物粒度较粗,多为紫红色、黄灰色、浅灰色等氧化色,自然电位、自然伽马曲线形态多呈厚齿化箱形,少数为钟形,底部多突变,纵向上多期辫状分流河道叠置,具下凹的侵蚀冲刷面,岩心上可见河床滞留沉积,反映河道沉积时期冲刷作用强烈。

心滩 心滩沉积物质纯,粒度较辫状分流河道粗,测井曲线呈典型的中高幅微齿化箱形,具粒度向上变细的正韵律、复合韵律,反映沉积时期水动力条件相对稳定,由于横向环流作用常发育各种交

错层理。洪水期河水经心滩发生分流,流速减慢,沉积物在心滩顶部、侧翼和下端沉积,枯水期心滩出露水面,因此垂向上表现为加积的特征。加积体之间即相对静水时期形成落於层,落於层以深灰色泥岩为主,自然电位和自然伽马曲线小幅度回返。

水下分流河道 水下分流河道系辫状分流河道入湖后向前的延伸部分,其河道宽度变窄,粒度变细,岩性主要为中、细粒岩屑石英砂岩,颜色为浅绿灰色、灰色,指示浅水半还原环境,自然电位曲线呈中幅钟形、箱形,自然伽马曲线呈齿化箱形。

2.2 储层构型界面

储层构型界面是指一套可将地层分隔成同时期形成的、成因相似的结构体沉积界面^[12],不同层次的储层构型界面分隔形成对应层次的储集单元。参考 Miall 河流相储层构型界面的划分方法^[13-14],并结合前人总结的不同储层构型分级方案的对比^[15],将塔河一区下油组划分出 8 级储层构型界面(表 1,图 2)。

表 1 塔河一区下油组辫状河三角洲构型层次分级
Table 1 Architecture hierarchy classification of braided fluvial delta of the lower oil layer in the 1st block of Tahe Oilfield

Miall 界面级次	河流相储层构型要素	构型单元	构型界面	本文
1 级	交错层的层系界面			8 级
2 级	层系组界面			7 级
3 级	巨型底型内的大规模在作用面或增生面	微相内部	河道、心滩增生体、河口坝进积体间界面	6 级
4 级	巨型底型的上界面(如单一点坝、心滩)	单一微相	单一河道、心滩间界面	5 级
5 级	大型砂席(如河道充填复合体的界面)	单一微相复合体	单河道间泥岩、钙质隔层	4 级
6 级	河道群或者古河道群	单层微相复合体	复合河道泥岩隔层	3 级

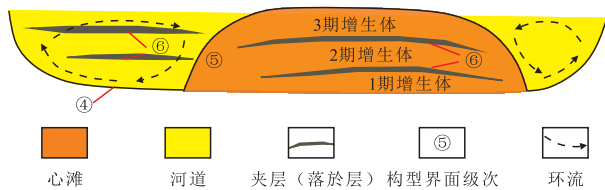


图 2 塔河一区下油组辫状河三角洲不同级次储层构型界面示意

Fig.2 Different hierarchical levels of architecture interfaces of the lower oil layer in the 1st block of Tahe Oilfield

塔河一区下油组总体为厚层状的辫状河三角洲砂体,单井以大段正韵律沉积为特征(图 3)。其

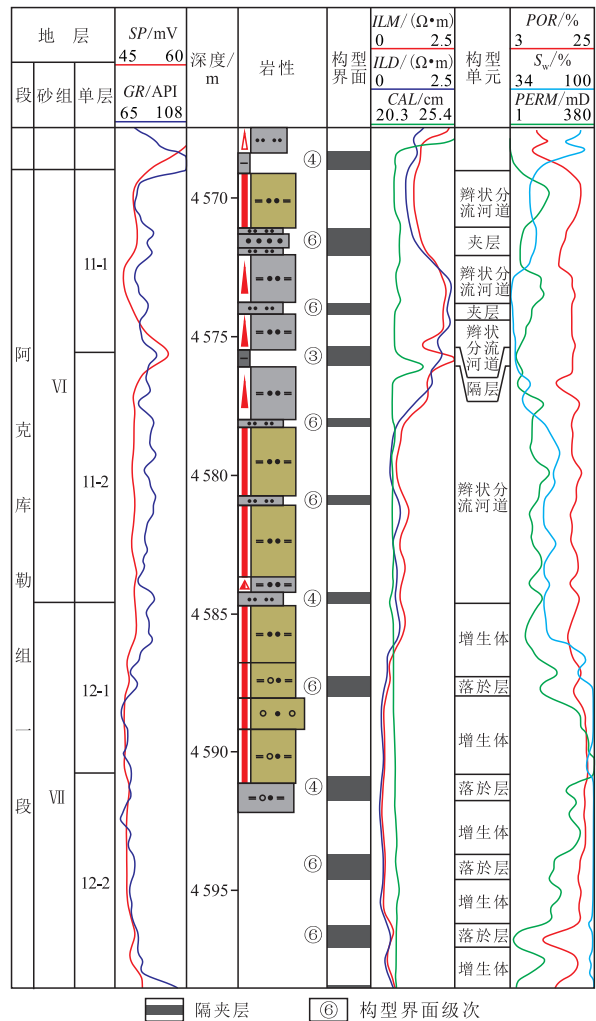


图 3 TK1-J1 井下油组储层构型界面识别

Fig.3 Identification of the architecture interfaces of the lower oil layer through the Well TK1-J1

中,3级储层构型界面在测井曲线上反映清晰,一般为复合河道间稳定的泥质隔层,厚度约为 0.8~1.5 m,自然电位曲线接近泥岩基线,自然伽马值较高,感应曲线无幅度差。4级储层构型界面为单一河道之间的薄泥岩层或河道底部的冲刷面,前者的自然伽马及电阻率曲线显示较明显的回返,由于河道被强烈冲刷,泥岩层常保留不完整。辫状分流河道和心滩 2 种单一储集砂体之间的界面,为 5 级储层构型单元辫状分流河道与心滩之间的界面(图 2),其规模较小,且上、下岩相存在差异。6 级储层构型界面为单一河道内部夹层或心滩内部夹层,是由辫状分流河道、水下分流河道内小规模洪水形成的沉积充填界面或者不同水动力条件形成的心滩增生体之间的界面,厚度较小,测井曲线回返程度较小,一般为泥质、钙质夹层。落於层是在洪泛期之间的低水位时期形成的,分布在心滩的背部和两翼的近似平行或微倾斜的细粒沉积物;钙质夹层是由于成岩作用形成,横向对比性较差,表现为低声波时差。

3 储层构型单元定量化表征

3.1 现代沉积数据库的建立

塔河一区下油组油藏目前有52口井,井距一般大于200 m,井网密度较小,因此仅依靠岩心资料和测井曲线研究储层构型是不可取的。而通过露头精细解剖来研究储层构型虽然准确且测量方便,但由于其地下储层构型与研究区相似程度不同,且费用昂贵,因此,通常无法认识整个储层在三维空间上的展布形态^[16]。笔者在进行储层构型分析时,充分利用Google Earth软件测量现代辫状河三角洲河道宽度、心滩长度和宽度等参数,并建立相应的函数关系,以此指导稀井网区的储层构型研究。

测量了鄱阳湖和美国南达科他州与内布拉斯加州分界处Lewis and Clark Lake辫状河三角洲的河道宽度、心滩长度和宽度,建立相应的统计关系(图4),利用这些数据以及各储层构型要素之间的关系来约束研究区稀井网条件下的单一微相单元的规模。据统计,鄱阳湖辫状河三角洲平原单一辫状分流河道平均宽度约为331 m,心滩宽长比为1:3.7,水下分流河道平均宽度约为70 m; Lewis and Clark Lake辫状河三角洲平原单一辫状分流河道平均宽度约为168 m,心滩宽长比为1:2.9,水下分流河道平均宽度约为99 m。

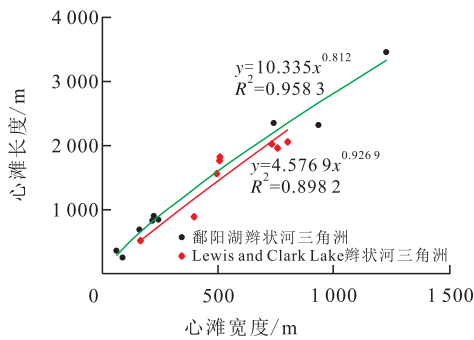


图4 现代沉积构型单元相关性统计

Fig.4 Correlation statistics analysis of architecture units in modern sediment

3.2 储层构型单元分级及定量化表征

3.2.1 单一河道级次

研究区辫状分流河道垂向上呈多期次叠加的复合河道,因此,应首先在河道充填复合体中识别出单一河道,再在横向上确定各期河道的边界^[17]。单井垂向序列上识别单一河道即识别4级储层构型界面,泥质、钙质沉积间断面为主要的识别标志。横向上各期河道边界识别的主要依据有:①同一单层内,2个河道之间存在越岸细粒沉积或废弃河道,

导致河道砂体不连续;②若相邻井间砂体顶面高程相差较大,则认为其不属于同一河道;③河道砂体由中心向边部变薄,可根据单井砂体的厚薄组合划分不同河道;④测井曲线的韵律不同,反映沉积时期的水动力条件不同,可判断分属于2个不同的河道。研究区井网密度较小,单纯依靠以往的河道边界识别标志容易导致河道规模扩大,从而使储层构型划分不准确,因此,应综合现代沉积数据库及经验公式定量约束^[5],最终确定河道边界。

经统计,研究区单一辫状分流河道厚度为3~13 m,宽度为128~690 m,平均约为342 m,平均宽厚比为53;水下分流河道厚度为2~10 m,宽度为144~386 m,平均为224 m,宽厚比为39(图5)。

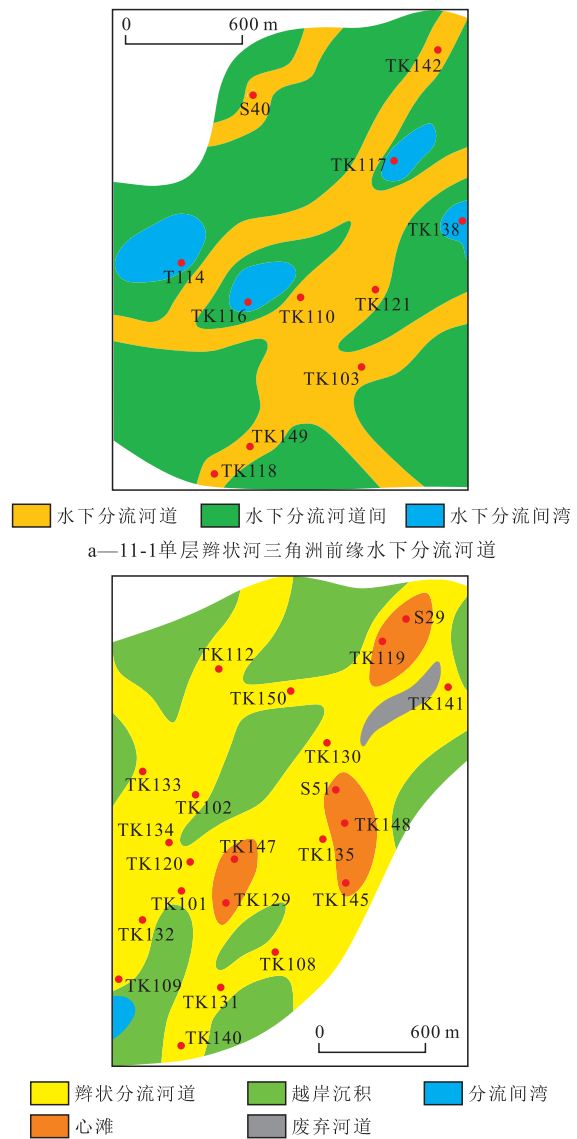


图5 塔河一区下油组辫状河三角洲前缘单一河道宽度预测

Fig.5 Width prediction of single channel in the braided delta front of the lower oil layer in the 1st block of Tahe Oilfield

3.2.2 心滩级次

单一河道单元中预测心滩的规模及展布是进一步解剖心滩内部构型的基础,而二者之间的5级构型界面只在露头上直观可见,考虑到井网密度较小,因此仅可通过测井、井间关系,并利用现代沉积数据库及经验公式定量约束计算得到心滩规模。在沉积微相单井识别的基础上,统计出单一心滩的垂向厚度,再利用Kelly建立的辫状河单一心滩宽度与单一河道满岸深度、单一心滩长度与其宽度之间的关系式^[18],计算得研究区单一心滩宽度平均约为131 m,单一心滩长度平均约为553 m。结合现代沉积中测量的心滩宽度、长度来预测研究区心滩的规模,最终统计得研究区心滩宽度平均为244 m,长度为594 m,心滩宽长比约为1:2.43。

3.2.3 心滩内部

在心滩内部构型分析的过程中,增生体顶底界面的识别及其倾角的确定是根本^[19],单一增生体规模的预测是核心。据野外露头及前人研究,心滩的

背水一侧夹层倾角较缓且整体向下游方向迁移,在心滩两侧向下微倾斜。

增生体界面倾角的确定 研究区心滩内部发育2—3期夹层,选取12-1单层S51—TK148—TK145连井剖面,采取底面拉平的方法,分析心滩长轴方向迎水面、背水面的夹层倾角(图6a),选取12-2单层TK134—TK120连井剖面分析心滩侧翼夹层倾角(图6b)。心滩迎水面S51井与TK148井之间距离为214.30 m,高度差为14.84 m,二者的比值即该夹层倾角的正切值,由此可计算出迎水面夹层倾角为3.96°,同理可得背水面夹层倾角小于1°;心滩侧翼TK134井与TK120井之间的距离为176.9 m,高度差为3.067 m,由此可得心滩侧翼夹层倾角为0.99°。

增生体规模的确定 确定单一增生体规模最直接、最可靠的方法即野外露头实测,但受研究区现有资料及井网密度的限制,采用经验公式与井间对比结合的方法计算单一增生体规模。在单井识别心滩增生体储层构型界面的基础上,统计得出单

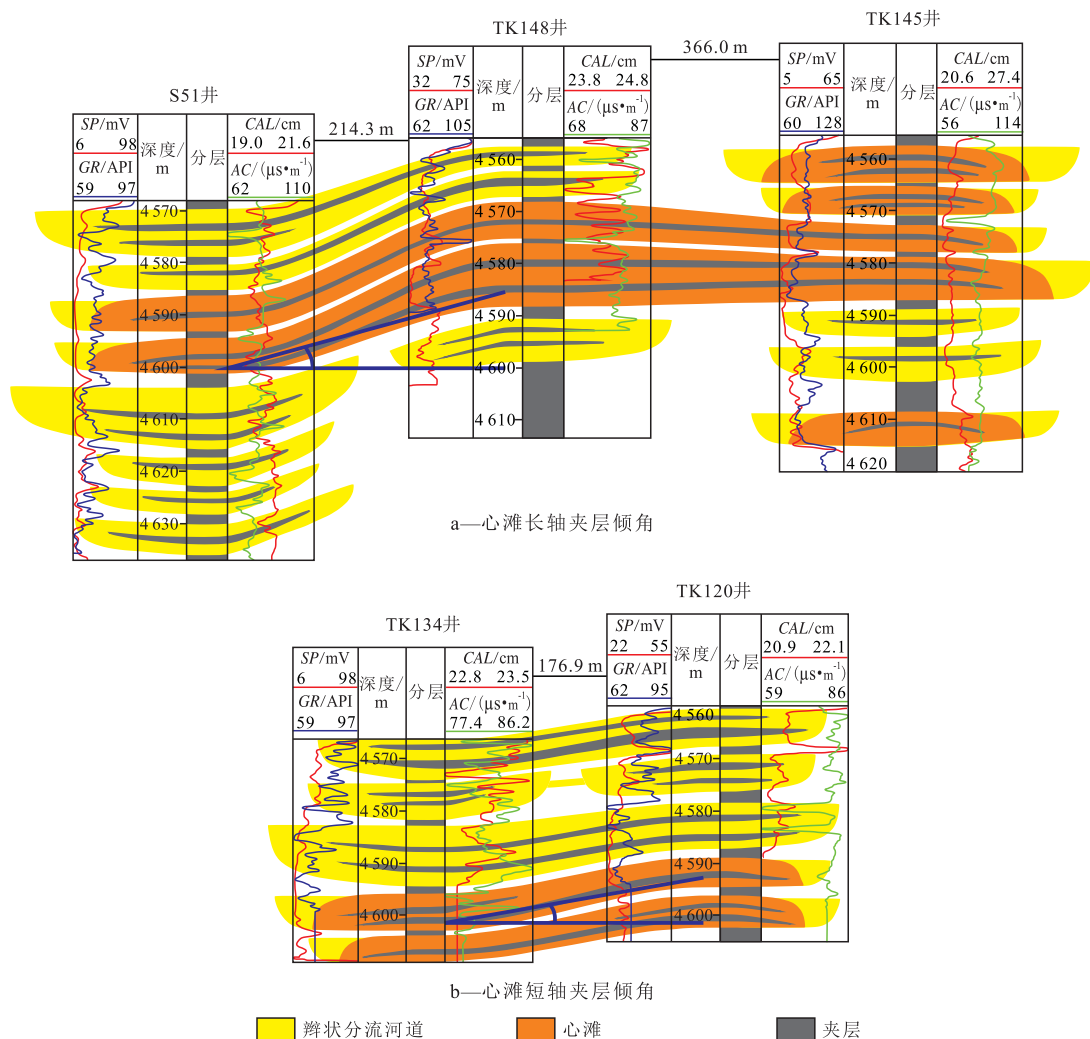


图6 塔河一区下油组心滩夹层倾角计算示意

Fig.6 Dip calculation of intercalations in a single channel of the lower oil layer in the 1st block of Tahe Oilfield

一增生体的厚度为0.63~6.92 m,利用Kelly建立的辫状河单一增生体宽度计算方法^[18],计算得研究区单一增生体宽度为8.37~226.23 m。增生体的发育与心滩底形有密切关系,心滩即由多期增生体叠加发育而成,因此二者具有相似的宽长比,由此可确定单一增生体的长度为20.59~556.53 m。

4 储层构型模式

在前人对辫状河三角洲露头分析^[20]的基础上,通过对研究区下油组储层构型研究得出,该区辫状河三角洲平原的厚层砂体主要为辫状分流河道及心滩沉积,其储层构型特征及规模受控于沉积环境(地形坡度、搬运距离等),辫状河三角洲前缘储集体多为水下分流河道、薄层砂,下油组沉积时期整体呈现水进的特征。剖面上,辫状分流河道频繁改道,叠置样式丰富,单一辫状分流河道之间由未冲刷完全的泥岩、粉砂质泥岩(4级界面)分隔开,心滩由若干增生体加积而成,向下游逐渐迁移;平面上,心滩与心滩之间可被辫状分流河道分割,河道废弃后,2个心滩可连片成为一个整体。水下分流河道的垂向叠置样式主要有孤立式、对接式、切叠式和叠加式4种模式(图7)。

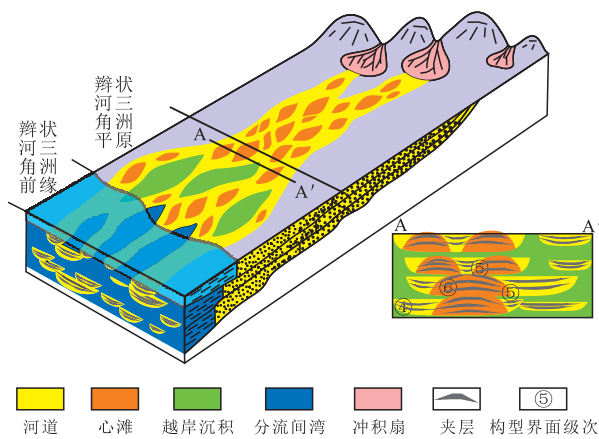


图7 塔河一区下油组辫状河三角洲沉积及内部构型模式

Fig.7 Deposition and internal architecture patterns of the braided fluvial delta of the lower oil layer in the 1st block of Tahe Oilfield

5 结论

参考Miall河流相储层构型分类方法,以层次分析思想为指导,将塔河一区下油组辫状河三角洲储层划分为8级构型界面。其中4—6级界面为研究重点,分别为单一河道间构型界面、单一河道和心滩间构型界面、心滩内部增生体间构型界面。采取

现代沉积测量与经验公式预测相结合的方法,对单一河道、心滩和心滩内部3个层次构型单元进行定量表征。经分析,研究区单一辫状分流河道的厚度约为3~13 m,宽度为128~690 m,水下分流河道厚度为2~10 m,宽度为144~386 m;单一心滩平均宽度约为244 m,平均长度约为594 m;心滩内部夹层呈顺流加积的特征,迎水面倾角大于背水面;单一增生体宽度约为8.37~226.23 m,长度约为20.59~556.53 m。通过对研究区下油组储层构型分析及定量表征,建立了辫状河三角洲的沉积及构型模式。

参考文献:

- [1] 徐安娜,穆龙新,裴梓楠.我国不同沉积类型储集层中的储量和可动剩余油分布规律[J].石油勘探与开发,1998,25(5):41-44.
Xu Anna, Mu Longxin, Qiu Yanan. Distribution pattern of OOIP and remaining mobile oil CM (83mm) in different types of sedimentary reservoir of China [J]. Petroleum Exploration and Development, 1998, 25(5): 41-44.
- [2] Mcpherson J G, Shanmugam G, Moioia R J. Fan-deltas and braid deltas: varieties of coarse-grained deltas [J]. Geological Society of America Bulletin, 1987, 99(3): 331-340.
- [3] 于兴河,王德发,孙志华.湖泊辫状河三角洲岩相、层序特征及储层地质模型——内蒙古岱岱海湖现代三角洲沉积考察[J].沉积学报,1995,13(1):48-57.
Yu Xinghe, Wang Defa, Sun Zhihua. Lithofacies types, vertical profile features and reservoir geological models of braided deltaic sandbodies in faulted lake basin—The observation on deposition of modern deltas in Daihai Lake, Inner Mongolia [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1995, 13(1): 48-57.
- [4] 陈欢庆,赵应成,舒治睿,等.储层构型研究进展[J].特种油气藏,2013,20(5):7-12.
Chen Huanqing, Zhao Yingcheng, Shu Zhirui, et al. Advances in reservoir architecture research [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2013, 20(5): 7-12.
- [5] Leeder M R. Fluvial fining upwards cycles and the magnitude of paleochannels [J]. Geological Magazine, 1973, 110(3): 265-276.
- [6] 印森林,吴胜和,胡张明,等.正牵引构造对冲积扇储层内部构型的控制作用[J].石油实验地质,2016,38(6):811-820.
Yin Senlin, Wu Shenghe, Hu Zhangming, et al. Controlling effect of normal drag structure on the internal reservoir architecture in an alluvial fan [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(6): 811-820.
- [7] 于欢.辫状河储层内部构型精细描述及剩余油分布[J].大庆石油地质与开发,2015,34(4):73-77.
Yu Huan. Fine characterization of the internal configurations for the braided river reservoirs and remained oil [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2015, 34(4): 73-77.
- [8] 徐丽强,李胜利,于兴河,等.辫状河三角洲前缘储层构型分析——以彩南油田彩9井区三工河组为例[J].油气地质与采

- 收率, 2016, 23(5): 50-57, 82.
- Xu Liqiang, Li Shengli, Yu Xinghe, et al. Analysis of reservoir architecture in the braided river delta front: A case study of the Sangonghe Formation in Block Cai9 of Cainan oilfield [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2016, 23(5): 50-57, 82.
- [9] 刘占良, 朱新磊, 杜支文, 等. 苏里格气田 ZT1 区块储层地质建模 [J]. *山东科技大学学报: 自然科学版*, 2015, 34(1): 1-8.
- Liu Zhanliang, Zhu Xinlei, Du Zhiwen, et al. Reservoir geological modeling of ZT1 block in Sulige Gas Field [J]. *Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science*, 2015, 34(1): 1-8.
- [10] 王石, 万琼华, 陈玉琨, 等. 基于辫状河储层构型的流动单元划分及其分布规律 [J]. *油气地质与采收率*, 2015, 22(5): 47-51, 68.
- Wang Shi, Wan Qionghua, Chen Yukun, et al. Flow units division and their distribution law based on braided river reservoir architecture [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2015, 22(5): 47-51, 68.
- [11] 刘桂珍, 鲍志东, 关延华, 等. 英台油田辫状河三角洲前缘沉积特征及构型要素 [J]. *石油天然气学报*, 2008, 30(6): 186-189.
- Liu Guizhen, Bao Zhidong, Guan Yanhua, et al. Sedimentary characteristics and architectural elements of braided river delta front in the Yingtai Oilfield [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2008, 30(6): 186-189.
- [12] 吴胜和. 储层表征与建模 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2010: 136-174.
- Wu Shenghe. Reservoir characterization and modeling [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010: 136-174.
- [13] Miall A D. Architectural elements analysis: A new method of facies analysis applied to fluvial deposits [J]. *Earth Science Review*, 1985, 22(4): 261-308.
- [14] Miall A D. The geology of fluvial deposits: Sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology [M]. New York: Springer-Verlag, 1996: 74-98.
- [15] 徐波, 廖保方, 张帆, 等. 南堡油田储层构型分级方案建议 [J]. *地质科技情报*, 2015, 34(2): 165-170.
- Xu Bo, Liao Baofang, Zhang Fan, et al. Proposal for hierarchical scheme of architectural units to Nanpu Oilfield [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2015, 34(2): 165-170.
- [16] 石书缘, 胡素云, 冯文杰, 等. 基于 Google Earth 软件建立曲流河地质知识库 [J]. *沉积学报*, 2012, 30(5): 869-877.
- Shi Shuyuan, Hu Suyun, Feng Wenjie, et al. Building geological knowledge database based on Google Earth software [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2012, 30(5): 869-877.
- [17] 胡望水, 曾文倩, 徐博, 等. 扶余油田东 16-2 区块密井网曲流河储层构型分析 [J]. *断块油气田*, 2014, 21(1): 53-56.
- Hu Wangshui, Zeng Wenqian, Xu Bo, et al. Analysis on architecture of meandering river reservoir with dense well pattern in Block D16-2 of Fuyu Oilfield [J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2014, 21(1): 53-56.
- [18] Kelly S. Scaling and hierarchy in braided rivers and their deposits: Examples and implications for reservoir modeling [M] // Sambrook Smith G H, Best J L, Bristow C S, et al. Braided rivers: Process, deposits, ecology and management. Oxford: Blackwell Publishing, 2006: 75-106.
- [19] 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): 715-734.
- 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): 715-734.
- [20] 周洪瑞, 王训练, 刘智荣, 等. 准噶尔盆地南缘上三叠统黄山街组辫状河三角洲沉积 [J]. *古地理学报*, 2006, 8(2): 187-197.
- Zhou Hongrui, Wang Xunlian, Liu Zhirong, et al. Braided river delta sediments of the Huangshanjie Formation of Upper Triassic in southern Junggar Basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2006, 8(2): 187-197.

编辑 经雅丽

(上接第 45 页)

- Kuang You, Wu Zhangming. The distributive features of chemical elements of Paleogene sedimentary rocks in the central part of Hebei province and the study by using multi-element analytical method [J]. *China Offshore Oil & Gas: Geology*, 1995, 9(3): 169-178.
- [16] 张林晔, 刘庆, 徐兴友, 等. 油气地球化学与成熟探区精细勘探 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2015.
- Zhang Linye, Liu Qing, Xu Xingyou, et al. Petroleum geochemistry and fine exploration in mature exploration areas [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2015.
- [17] 张雪芬. 东营凹陷南部沙河街组砂—泥岩协同成岩作用及其石油地质意义 [D]. 南京: 南京大学, 2012.
- Zhang Xuefen. Synergistic diagenesis of argillaceous source rocks and sandstones of Shahejie Formation in southern Dongying Depression and their petroleum geological significance [D]. Nanjing: Nanjing University, 2012.
- [18] 刘庆, 张林晔, 沈忠民, 等. 东营凹陷湖相盆地类型演化与烃源岩发育 [J]. *石油学报*, 2004, 25(4): 42-45.
- Liu Qing, Zhang Linye, Shen Zhongmin, et al. Evolution of lake-basin types and occurrence of hydrocarbon source rocks in Dongying Depression [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2004, 25(4): 42-45.

编辑 单体珍