

文章编号:0253-9985(2010)05-0671-07

珠江口盆地西部珠江组潮流砂脊的分布、 形态和水动力机制

李俊良^{1,2},王海荣³,张建新²,李琦³,刘豪³(1. 中国地质大学 资源学院,湖北 武汉 430074; 2. 中海石油(中国)有限公司 湛江分公司,广东 湛江 524057;
3. 中国地质大学,北京 100083)

摘要:综合地震、钻井及测井资料,运用层序地层学理论,研究认为珠江口盆地西部珠江组一段上部泥质粉砂岩低阻油层砂体为潮流砂脊砂体,对潮流砂脊的形态与平面展布特征进行了研究,探讨了潮流砂脊的水动力特点与形成机制,并在珠江组一段上部识别出四期水道,分析了潮流水道的分布及井震特征。指出水道内潮流砂脊构造-岩性圈闭和水道侧向遮挡构造-岩性圈闭两种有利的潮流砂脊隐蔽圈闭。

关键词:低阻油层;潮流砂脊;珠江组;文昌凹陷;珠江口盆地

中图分类号:TE121.3 **文献标识码:**A

Distribution, geometry and hydrodynamic mechanism of tidal sand ridges in the Zhujiang Formation, the western Zhujiangkou Basin

Li Junliang^{1,2}, Wang Hairong³, Zhang Jianxin², Li Qi³ and Liu Hao³

(1. Faculty of Resource, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China; 2. CNOOC Zhanjiang Company, Zhanjiang, Guangdong 524057, China; 3. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: An integration of seismic, drilling and logging data with sequence stratigraphic theories reveals that the oil-bearing argillaceous siltstones of low-resistivity at the upper part of the first member of the Zhujiang Formation in western Zhujiangkou Basin are tidal sand ridges. This paper studies their geometry and planar distribution, and discusses their hydrodynamic features and forming mechanism. Four stages of water channels are identified in the upper part of the first member of the Zhujiang Formation, and their distribution as well as logging and seismic characteristics are also analyzed. It is suggested that there are two kinds of potential subtle traps: intra-channel tidal sand ridge structural-stratigraphic traps and channel lateral-sealing structural-stratigraphic traps.

Keywords: low-resistivity oil layer, tidal sand ridge, Zhujiang Formation, Wenchang Sag, Zhujiangkou Basin

陆架水动力条件复杂多样,包括风暴浪、潮汐流、海流等,依据各类水动力陆架可分为潮控陆架、风暴控陆架和洋流控陆架三种类型^[1]。陆架砂体的成因研究始于20世纪初,Johnson(1919)提出“级序陆架”的概念。其后,Emery(1968)认为低水动力地区的粗粒砂沉积是低水位期的残留沉积。Van Veen(1935,1936)、Stride(1963)、Caston(1976)、Swift等(1976)、Reading等(1976)依据现

代研究将陆架砂体分成潮成砂体与浪成砂体两种。Swift将北美洲中大西洋从长岛至佛罗里达陆架上近200余个水下砂脊分为潮流控制型和风暴流控制型,提出了“过程-响应”观点,建议以可容空间对沉积补给的比率来刻画沉积物补给速率、相对海平面变化和沉积输送的关系,并据此将陆架划分为补给主导的陆架沉积体系和可容空间主导的陆架沉积体系。

收稿日期:2010-06-20。

第一作者简介:李俊良,(1973—),男,博士研究生,高工。油气勘探。

基金项目:国家科技重大专项(2009ZX05009-002)。

现代南海北部陆架处于潮汐和海流的共同作用环境,其砂体的成因机理、沉积特征及控制因素不很清楚。另外,国内外关于(古)陆架砂体的研究尚不深入,特征鉴别尚不明确。研究团队在高分辨率 3D 地震精细解释的基础上,结合钻测井的精细解剖,并借鉴现代陆架水动力-沉积耦合关系,发现珠三拗陷珠江组一段上部发育了潮汐成因的陆架砂体,为粉砂岩和泥质粉砂岩组成的低阻油藏,这揭示了晚中新世以来南海北部的新的勘探领域;也有助于解剖陆架砂体的成因、预测其展布规律。

1 区域地质背景

珠江口盆地珠三拗陷由文昌 A、文昌 B、文昌 C 凹陷及琼海凸起、阳江凸起、神狐隆起等 6 个构造单元组成(图 1),是新生代陆缘拉张型盆地,经历了裂陷期、断拗转换期、拗陷期、热沉降期的演化,裂陷期为文昌组与恩平组的陆相湖泊沉积,断拗转换期为珠海组的海陆交互相,拗陷期主要是珠江组与韩江组的滨浅海沉积,热沉

降期为新近系粤海组、万山组及第四系的陆架沉积。其中目的层珠江组一段分为上部($T_4^1-T_4^0$)与下部($T_5^0-T_4^1$)。

珠江组一段沉积时期,为构造引起的区域性海侵,神狐隆起淹没,珠三拗陷和周围隆起成为统一的整体,形成了开阔滨浅海。珠江组一段下部以滨海沉积为主,珠江组一段上部为浅海沉积为主,之间以 T_4^1 为界。珠江组一段上部沉积期正是古陆架的形成期,珠三拗陷位于古陆架中部,古陆坡位置位于神狐隆起的南端宝岛凹陷区(图 2)。

珠江组一段上部($T_4^1-T_4^0$)地层分布较广,其地震构型体现了多样化叠加方式,蕴含丰富地质现象,其总体为两种地震相,其一为弱反射、亚平行、较连续地震相,代表浅海相;其二是楔状地震相,表现为似“水道化”的特征。这两种地震相表明,在广阔陆架环境下,在距海岸线的距离、水动力条件等因素的不同状态下,会形成不同的地层样式。其中 WC15-1 构造周缘是揭示浅海沉积和浅海砂体的分布及成因的理想场所(图 1)。

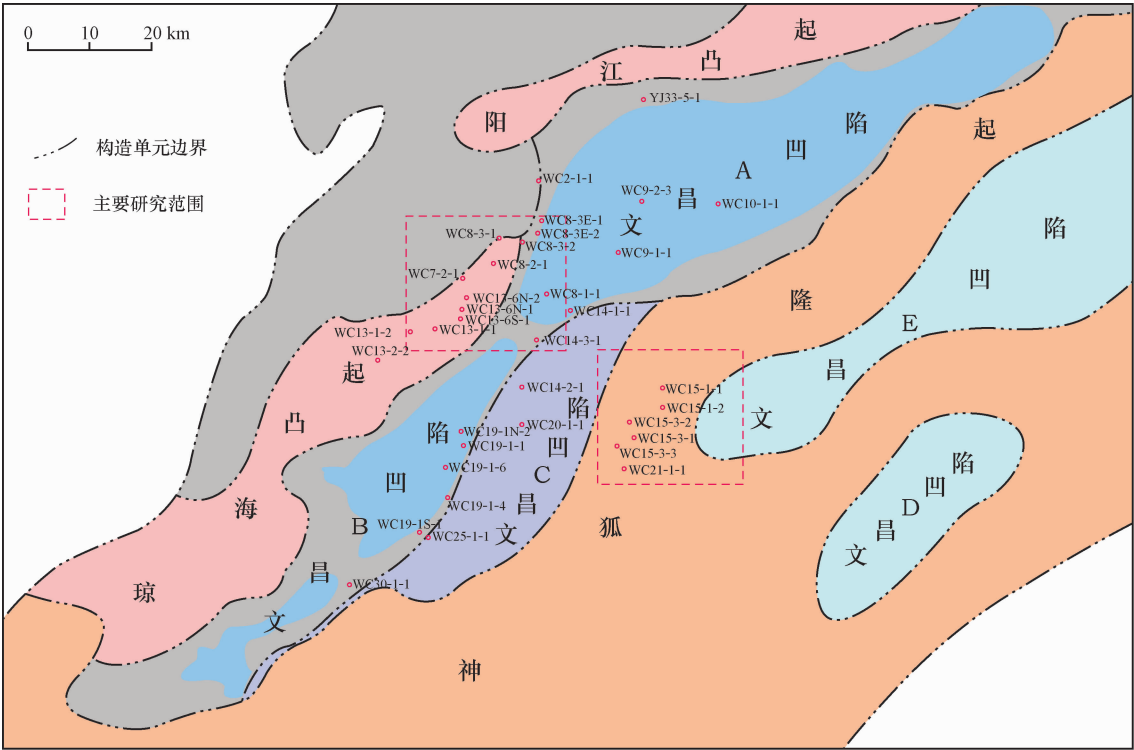


图 1 珠江口盆地珠三拗陷构造格局

Fig. 1 Tectonic framework of the Zhushan Depression in the Zhujiangkou Basin

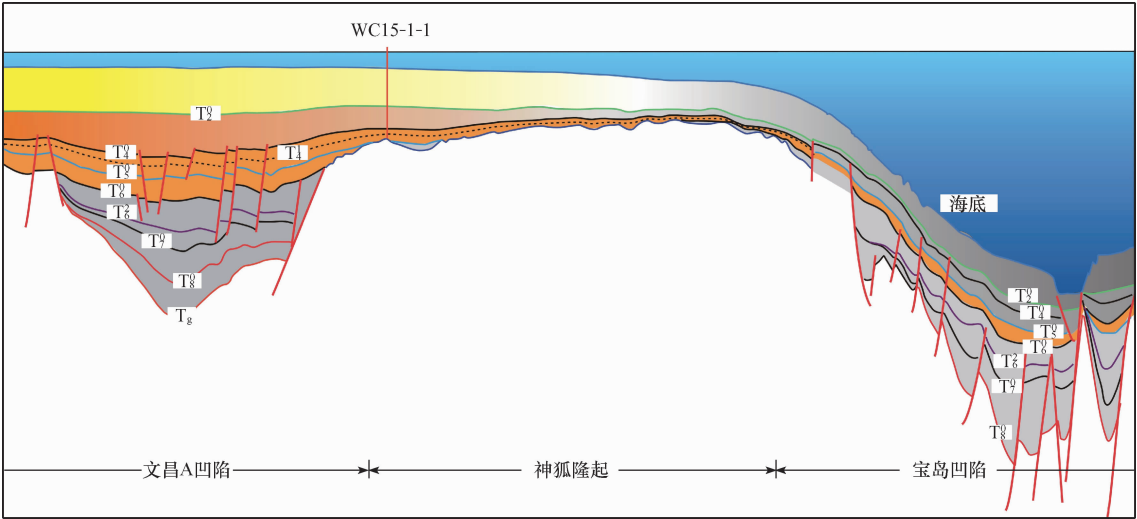


图 2 珠江口盆地西部过文昌 A 凹陷地震剖面简图

Fig. 2 Simplified seismic profile across the Wenchang A Sag in the western Zhujiangkou Basin

2 潮流砂脊的分布、沉积特征和成因

2.1 潮流水道的发育、分布和地震-测井特征

珠江组一段上部沉积期,远离滨岸带的神狐隆起区属于古陆架的中部。其浅海沉积现象较为复杂。地震剖面揭示珠江组一段地层存在许多楔状

体,其厚度变化大,多是水下水道的冲蚀,造成地层不均匀减薄。在珠江组一段上部 T_4^1 界面附近可以看出明显的水下侵蚀现象(图 3),这种冲蚀规模大小不同。较大规模的冲蚀有明显的“水道”特征,水道形态十分清晰,水道底界面侵蚀现象十分明显。研究认为这种陆架中的水道与浅海中的潮流有关。

珠江组一段上部“水道”十分发育,且互相叠置、切割。在珠江组一段主要解释了四期规模较大的水

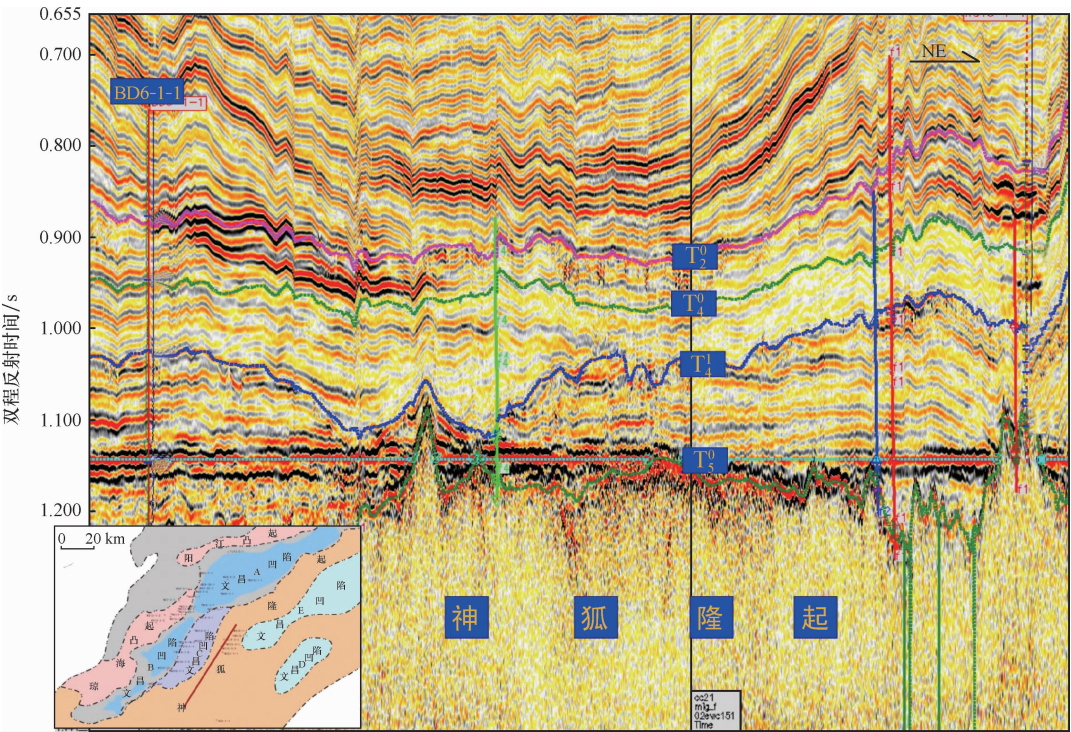


图 3 珠江口盆地西部测线 02e22384 地震剖面 (T_5^0 拉平)

Fig. 3 Seismic profile along line of 02e22384 in the western Zhujiangkou Basin (T_5^0 flattened)

道。第一期“水道”发育在 T_4^1 界面之下,其底界面侵蚀现象十分明显。该水道向西被第二期水道侵蚀切割,其西部边界是推测而来。第二期“水道”主要发

育在珠三坳陷西区,整体形态更为清楚,从神狐隆起向北经文昌 C、文昌 B 凹陷到琼海凸起一直向北延伸(图 4a),该水道底界面在神狐隆起 WC2 - 1

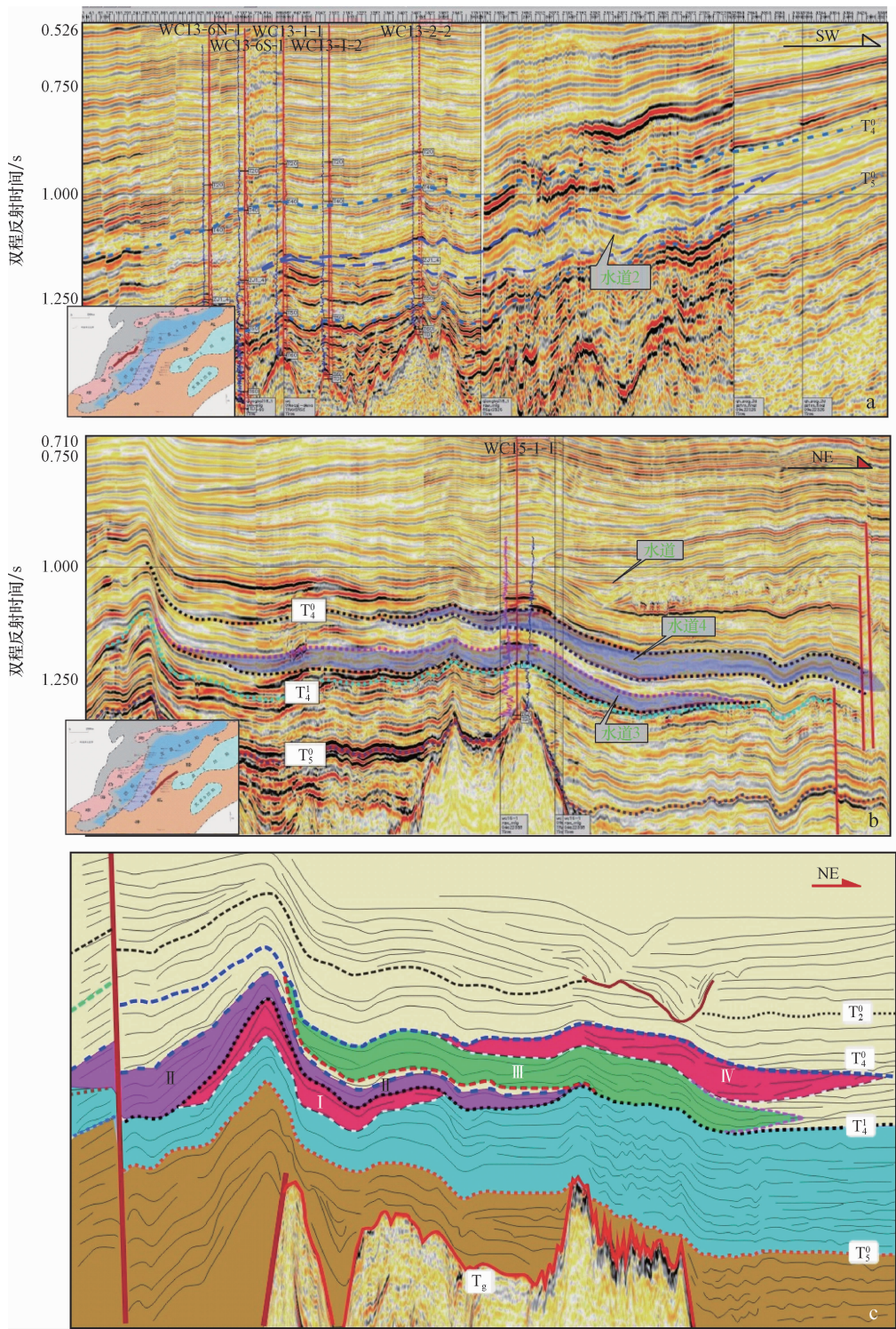


图 4 珠江口盆地西部珠江组一段不同期次水道地震剖面

Fig. 4 Seismic profiles showing different stages of channels in the first member of the Zhujiang Formation in the western Zhujiangkou Basin

a. 过 WC13 - 2 - 2 地震剖面; b. 过 WC15 - 1 - 1 地震剖面; c. 4 期水道发育示意图

构造以西和琼海凸起部位具有非常典型的侵蚀切割特征,WC13-1,WC13-2,QH18-1等油田有多口井钻遇该水道。第三期“水道”(图4b)主要发育在WC19-1构造以东,地震剖面上为一明显的楔状体,“水道”东边界在WC16-1工区内被后期“水道”切割。第四期“水道”(图4b)的顶底界面和形态都十分清楚,其顶界面是 T_4^0 界面,“水道”充填呈弱反射,该水道也有WC10-3-1井、WC10-2-1井等多口井钻遇,内部主要为泥岩充填。4期水道发育完整,在剖面上相互叠加切割发育(图4c)。

这些水道宽度很大(30~40 km),呈北北西向延伸,基本垂直岸线(图5)。由于不同期次水道相互切割,造成地层追踪较为困难,除水道1的西部边界为推测外,其他3期水道形态在神狐隆起较清楚,在文昌A凹陷内部由于后期构造运动使得无法继续追踪。水道宽缓会造成下伏地层遭受大面积侵蚀,削蚀其为楔状体。宽缓水道是低速浅海潮流运动的特点,水道以侧蚀为主,下切作用相对差。同时这种水道的弯曲度也没有深海的浊积水道大,大多比较平直,是浅海中特有的沉积现象。

2.2 潮流砂脊的水动力特点和成因

陆架中的宽缓水道多呈弱反射和空白反射,

钻井揭示多以泥岩充填为主,在水道不同地段均有砂体发育。WC15-1构造所钻遇的砂体主要发育于第三、第四期水道(图5,图6),以泥质粉砂岩、粉砂岩为主;测井曲线呈钟形,呈向上变细的正韵律。砂体在水道中部较发育,向边部逐渐变薄,或变为泥质充填。以水道4为例,WC15-1-1井、WC15-1-3井位于水道中部,砂体发育;而WC15-3-2井、WC15-3-1井靠近水道边部,砂体变少,以泥岩为主。水道3也是如此。水道3中的砂体I以泥质粉砂岩为主,位于水道中部的WC15-3-2井、WC15-3-1井最为发育,勘探证实这些砂体彼此并不连通。砂体I的波阻抗属性地层切片及三维缕空显示证实了砂体I主要呈条带状分布,基本沿北西-南东向展布,与潮流水道展布一致(图7)。砂体I平面分布形态与潮流水道关系表明,砂体是陆架潮道内潮流再搬运再改造的结果。潮流水道受控于古潮流方向,刘振夏^[2,3]等认为潮流水道有类似于陆上水道具有单向水流特征,具有牵引流的搬运特征。通过对WC15-1构造潮流砂脊研究,潮流水道水动力条件趋于复杂,潮流水道不同段的水动力条件及水流方向也不尽相同,有待于进一步的研究证实。

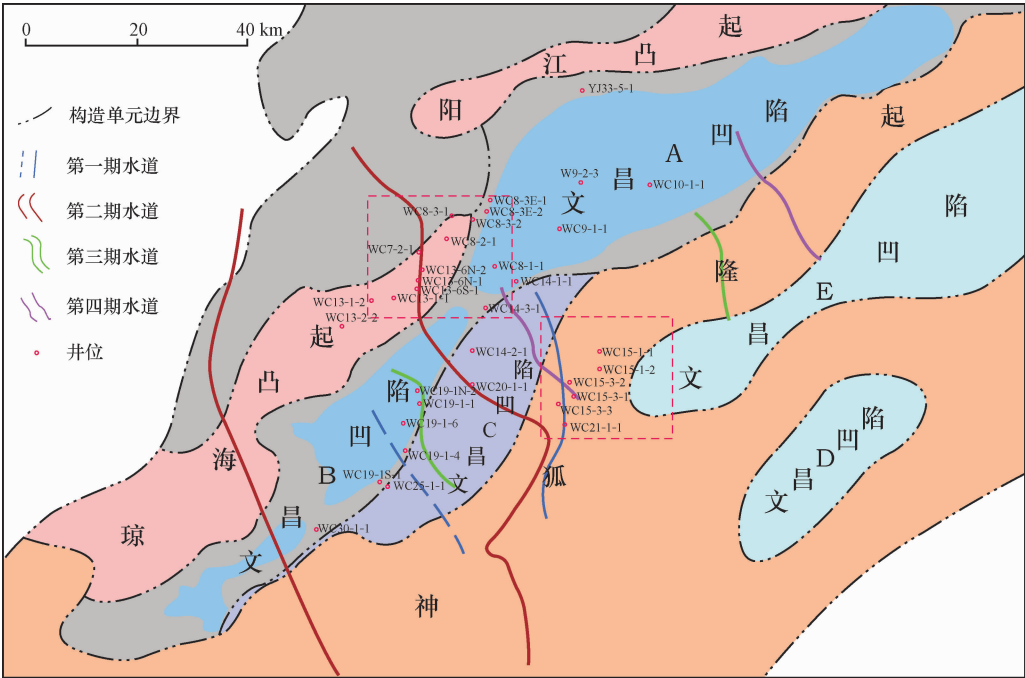


图5 珠江口盆地西部珠江组一段4期水道平面展布

Fig. 5 Planar distribution of the four stages of channels in the first member of the Zhujiang Formation in the western Zhujiangkou Basin

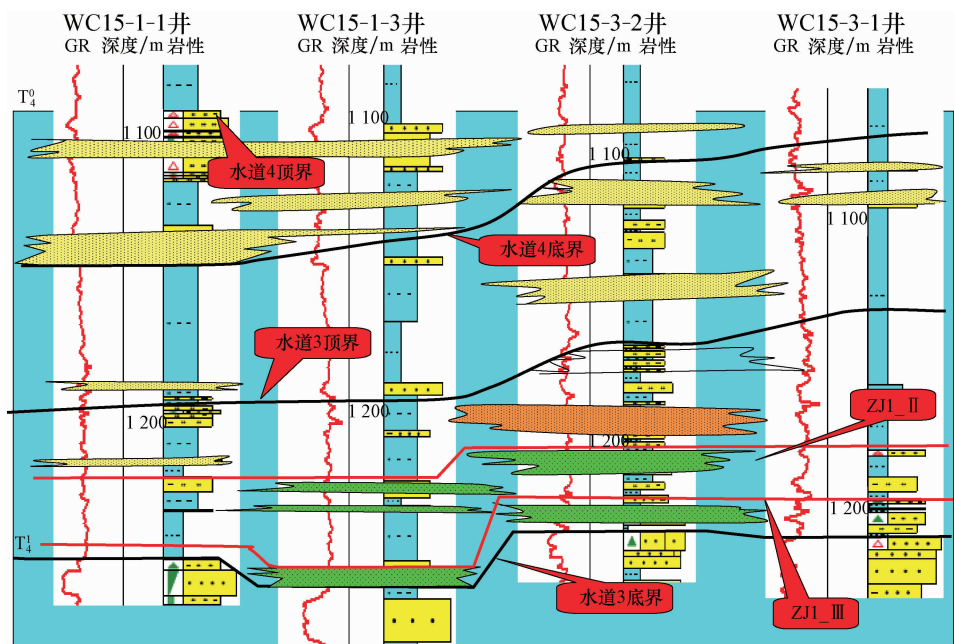


图 6 珠江口盆地西部文昌 15-1 构造砂体发育与水道关系

Fig. 6 Relationship between sandbodies and channels in the Wenchang 15-1 Structure of the western Zhujiangkou Basin

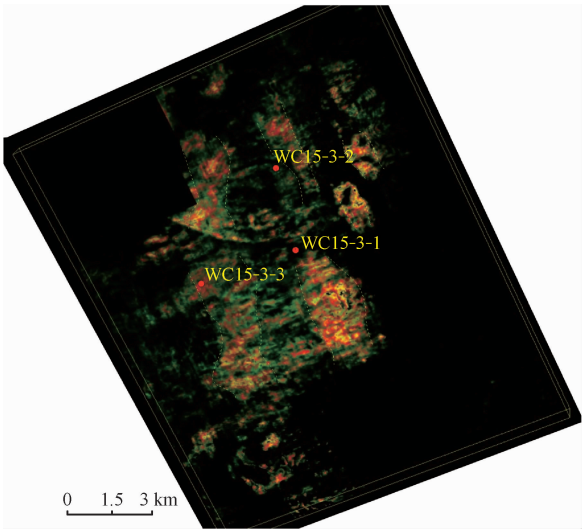


图 7 珠江口盆地西部文昌 15-1 构造砂体 I 三维镂空图

Fig. 7 3D picture of sandbody- I in the Wenchang 15-1 Structure, the western Zhujiangkou Basin

在现代陆架,这种潮流水道侵蚀地形较为常见^[2-10],Liu 等^[9]将我国陆架现代潮流沉积体系划分为潮流侵蚀地貌和潮流沉积地貌两类,其中侵蚀地貌指水道冲刷槽,潮流沉积地貌包括浅滩砂脊、浅滩砂席等沉积单元。Posamentier^[12]将印尼西北 Java 盆地古近纪的陆架沉积划分为陆架砂脊和分支水道两个主要的沉积单元,认为陆架砂脊一般发育于水进体系域,在平面上呈条带状展布,具有

底界突变、向上变细的沉积序列,且以水进侵蚀面和滨外泥岩相隔。

潮流砂脊受控于陆架“潮流”的作用,在开阔大洋和广海中,潮汐循环不同阶段的潮流速度和方向都发生有规律的变化;而在近海地带或海湾内,由于受地形的影响,潮流则被限制在大致与岸线垂直的方向做往返运动。这种浅海潮流如果流速大,往往可以侵蚀下伏地层,形成冲刷沟槽等负地形;如果流速过小,侵蚀搬运能力不足,大多形成形体小而垂直于潮流方向的沙丘。

关于潮流砂脊的成因,大致有两种观点。其一认为是海侵期河口潮汐改造了河口湾砂体的结果^[11,13,14]。其二认为潮流砂脊经历了 3 个演化阶段:高位期,滨海砂体向海进积;低位期,由于强制性海退,使滨线和滨岸砂体均呈阶梯状向海推进;海侵期,海流对强制性海退形成的点状砂体进行侵蚀改造,部分砂体形成海侵期陆架砂体^[12,15-20]。

珠江组一段上部的砂脊平面展布形态及排列方式与前人研究的潮流砂脊的形态特征极为相似。另外,珠江组一段上部砂体为海侵期产物,珠江组一段下部为滨海沉积,从钻遇砂体分布来看,T₄界面之上砂体分布较为集中,随着海侵进一步扩大,在珠江组一段上部地层向上砂体逐渐变少或变薄,韩江组则很少有砂体分布,这表明陆架砂

体与下伏地层的岩性存在很大的联系。显然这种情况与第二种观点较为吻合。海侵与下伏地层的岩性是陆架砂体发育的两个重要因素,潮流则是改造砂体的重要地质营力。

这种潮流砂脊的砂体经过了一定的分选磨圆,其发育背景、构造部位有助于形成水道内潮流砂脊构造-岩性圈闭和水道侧向遮挡形成的构造-岩性圈闭两种类型隐蔽圈闭。钻井显示 WC15-3-1 井及 WC15-3-2 井在水道 3 内部钻遇潮流砂脊(图 6),油气显示较好,储层孔隙度主要为 22%~30%,单峰式分布,渗透率主要为 $6.4 \times 10^{-3} \sim 410 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,为高-中孔、中-低渗特征,对 WC15-3-1 井进行 DST1 测试,珠江组一段 ZJ1-Ⅲ油组二开井 6.35 mm 油嘴日产原油 31 m³,日常天然气 858 m³,无水。因此,进一步加强珠江一段低阻油层泥质粉砂岩岩性的准确识别,开展低阻油层(泥质粉砂岩)的地球物理储层预测研究是这类型圈闭勘探成功的关键。

3 结论

1) 珠江组一段上部陆架砂体主要分为滨外砂坝与潮流砂脊两种。其中滨外砂坝主要发育于离滨海较近的内浅海地带,潮流砂脊主要发育于陆架中部。

2) 珠江组一段上部地震资料表明,浅海中的地层叠加与堆积方式呈现多样化,复杂化,其中滨外砂坝为亚平行,连续,弱振幅特征,而潮流砂脊则呈现出“水道化”的特征。

3) 陆架砂体的岩性均较细,以粉砂岩、泥质粉砂岩为主。滨外砂坝受控于浅海中的水下高地,而潮流砂脊则发育于海侵期,同时与下伏地层的岩性有着密切关系。

参 考 文 献

1 王良忱,张金亮. 沉积环境和沉积相[M]. 北京:石油工业出版社,1996
2 夏东升,刘振夏. 潮流砂脊的形成机制和发育条件[J]. 海洋学报,1984,6(3):361~367
3 刘振夏,夏东兴等. 中国陆架潮流沉积体系和模式[J],海洋与湖沼,1998,28(2):141~147

4 杨子赓,王圣洁. 冰消期海侵进程中南海潮流沙脊的演化模式[J]. 海洋地质与第四纪地质,2001,21(3):1~10
5 刘振夏. 江苏潮流沙的粒度特征及沉积环境的研究[J]. 海洋地质与第四纪地质,1983,3(4):25~33
6 黄易畅,王文清. 江苏沿岸辐射状沙脊的动力机制探讨[J]. 海洋学报,1987,9(2):209~215
7 张光威. 南黄海陆架沙脊的形成与演变[J]. 海洋地质与第四纪地质,1991,11(2):25~35
8 陈欢庆,朱筱敏,董艳蕾,等. 深水断陷盆地层序地层分析与岩性-地层油气藏预测——以中国南海 C 盆地深水区古近系 T 组为例[J]. 石油与天然气地质,2009,30(5):626~634
9 Liu Zhenxia, Xia Dongxing, Berne S, et al. Tidal deposition systems of China's continental shelf, with special reference to the eastern Bohai Sea[J]. Marine Geology, 1998, 145(3-4):225~253
10 印萍. 东海陆架冰后期潮流沙脊地貌与内部结构特征[J]. 海洋科学进展,2003,21(2):181~187
11 慕德梁,孟卫工,李成,等. 断陷盆地陡坡带构造样式与油气聚集——以渤海湾盆地辽河坳陷西部凹陷陡坡带为例[J]. 石油与天然气地质,2009,30(5):635~642
12 Posamentier H W. Ancient shelf ridges—a potentially significant component of the transgressive systems tract: case study from off-shore northwest Java[J]. AAPG Bulletin,2002(86):75~106
13 Caston V N D, Stride A H. Tidal sand movement between some linear sand banks in the North Sea off northeast Norfolk[J]. Marine Geology, 1970, 9(5):38~42
14 吴小红,吕修详,周心怀,等. 黄河口凹陷浅水三角洲沉积特征及其油气勘探意义[J]. 石油与天然气地质,2010,31(2):165~172
15 吴光华,王红亮,林会喜,等. 渤海湾盆地埕岛地区东营组沉积特征及其油气地质意义[J]. 石油与天然气地质,2009,30(1):33~40
16 Trentesaux A, Berne S, Stolk A. Sedimentology and stratigraphy of a tidal sand bank in the southern North Sea[J]. Marine Geology, 1999, 159(1-4):253~272
17 Dyer K R, Huntley D A. The origin, classification and modelling of sand banks and sand ridges [J]. Continental Shelf Research, 1999, 19(10):1285~1330
18 Bartek L R, Wellner R W. Do equilibrium conditions exist during sediment transport studies on continental margins? —an example from the East China Sea[J]. Geo-Marine Letters, 1995, 15(1):23~29
19 蔡李梅,陈红汉,李纯泉,等. 济阳坳陷东营凹陷沙三中亚段流体包裹体古流体势场恢复[J]. 石油与天然气地质,2009,30(1):17~25

(编辑 张亚雄)