

琼东南盆地陵水组层序地层与沉积相分析

李祥¹ 张春生¹ 李鹏¹ 卢迎波² 彭文春¹ 刘俊³

(1.油气资源与勘探技术教育部重点实验室(长江大学),湖北荆州 434023;
2.长江大学地球科学学院,湖北荆州 434023;3.中国石油长庆油田分公司,陕西西安 710000)

摘要:利用高分辨率层序地层学方法,结合岩心、测井和地震资料,识别琼东南盆地陵水组各级层序界面,建立地层序格架,探讨地层格架下沉积相类型、演化规律以及平面展布,并就有利沉积相带分布进行了讨论。结果表明:从测井资料看出,层序界面识别标志主要为岩性和颜色发生突变;将琼东南盆地陵水组划分为3个三级层序(E1s₁、E1s₂和E1s₃);结合测井响应特征,对地震剖面进行精细刻画,在3套三级层序中识别出辫状河三角洲、扇三角洲、滨海、陆棚、碳酸盐台地等5种沉积相。

关键词:陵水组;层序地层;沉积相;琼东南盆地

中图分类号:TE121.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3567(2014)01-0173-14

自 Sloss 在 20 世纪中叶提出层序概念之后,层序地层学在理论上形成了三大主流派系:Vail 层序地层学、Galloway 成因层序地层学和 Cross 高分辨率层序地层学^[1-3],另外,Jiang 等还提出了可容纳空间转换系统的概念^[4]。目前,层序地层学理论的研究,首先分析层序的成因动力学机制,如提出海平面变化与地球半径变化相关性的假设^[5];对于层序的构成,不同成因类型盆地有着各自独特的特征,目前正在逐渐完善^[6]。在最近的国际层序地层学研讨会上 Steel 通过对现代河流-陆架边缘斜坡体系的研究,认为陆架边缘斜坡沉积物主要受可容空间或沉积速率控制^[7]。在层序地层研究中所用到的资料包括野外露头、岩心描述、测井资料、生物和地球化学等,为识别重要地层界面、划分等时地层格架及沉积体系形成机理等提供了有力的分析手段^[8]。本文以琼东南盆地陵水组为例,基于地震反射剖面细分层序结构,利用全盆地地震剖面的追踪对比,结合岩心分析划分出沉积相,进而研究确定三级层序

的沉积体系分布特征。

1 研究区地质概况

琼东南盆地地处海南岛以南、西沙群岛以北的海域中,位于 E108°~112°、N16°05'~19°00' 之间,以 F1 断层与莺歌海盆地相隔,以 F5 断层与海南隆起斜坡相接,东北与珠江口盆地相邻,南为广海,面积积达 4.5 万 km²(图 1)^[9]。

琼东南盆地的构造特征在平面具有“南北分带”、“东西分块”的特点,在剖面上表现为“两坳一隆”的构造格局,即北部坳陷带、崖城—松涛凸起带和中央坳陷带^[10]。北部裂陷带由崖北、松西、松东 3 个凹陷组成,中央坳陷带由乐东、陵水、松南、崖南、宝岛、北礁 6 个坳陷组成^[11]。

琼东南盆地古近系经历了从断陷初始裂陷到断陷全盛阶段及断陷末期的全过程,在不同演化阶段和不同构造背景下发育了多种沉积体系^[12]。盆地总体上经历了从充填—幕(始新统)的湖相到充填

收稿日期:2013-03-07;改回日期:2013-11-04

基金项目:国家重大专项(2011ZX05001-002-007、2011ZX05010-001-008)和国家自然科学基金项目(XQ-2004-05)联合资助。

作者简介:李祥,男,1987年生,硕士,从事沉积学和储层地质学研究;E-mail:love2651@163.com。

通讯作者:张春生,男,1963年生,教授,硕士生导师,主要从事沉积学及油气储层评价方面的研究;E-mail:zcs129@126.com。

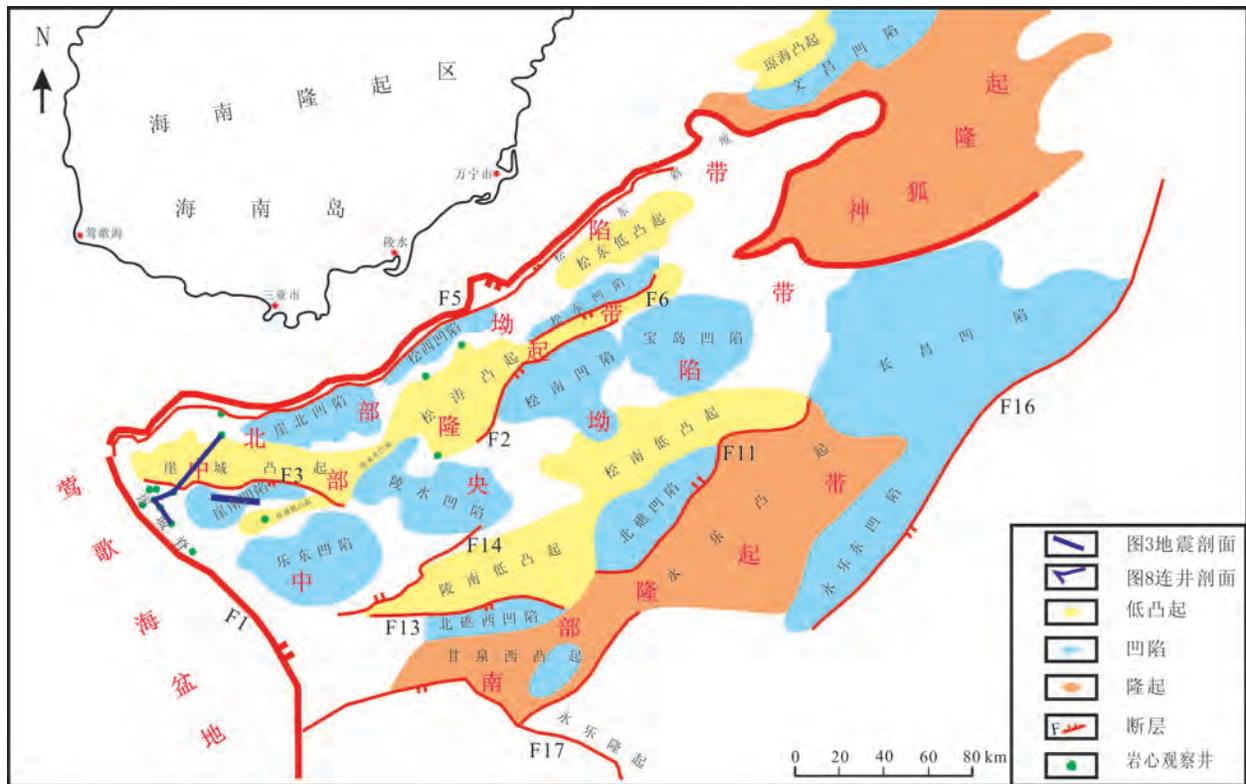


图1 琼东南盆地位置及构造纲要图

Fig.1 Location and division of tectonic units of Qiongdongnan basin

二幕(崖城组)的半封闭浅海—海岸平原相至充填三幕(陵水组)的扇三角洲—滨浅海相的充填演化过程(图2)^[13]。

陵水组分为三段,地层呈南薄北厚之势,属于断陷晚期的产物^[14]。自下而上陵三段主要由灰白—浅灰色砾岩、砂岩组成,夹深灰色泥岩,局部可见生物灰岩;陵二段盆地沉积范围逐渐扩张,早期互相分隔的半地堑逐渐连通,以滨海相灰—深灰色泥岩为主,夹浅色薄层砂岩;陵一段,由于断陷期之后盆地发生了整体抬升,形成破裂不整合面,该层序顶部遭受不同程度的剥蚀,多数地区仅残存下部海进部分,为一套滨海相砂岩到浅海相粉砂岩、泥岩的正粒序沉积^[15-16]。该组以滨岸碎屑沉积体系和半封闭浅海沉积体系为主体^[17]。

2 陵水组的层序地层格架

层序地层学的核心就是建立等时的层序地层格架^[18],最关键的是要识别出三级层序和最大湖泛面^[19],可通过不整合面、铁质或铝质风化壳、古土壤、

地层接触关系、岩性及其颜色的垂向变化、沉积相变和相迁移、地层堆砌样式突变等标志来识别层序界面,这些在野外露头及岩心上可以观察到,在测井曲线及地震剖面上也有响应^[20]。在地震剖面上,层序界面主要表现为强振幅,该界面之上为上超,之下为削截和顶超^[21]。

由于研究区钻井主要集中在盆地浅水区域,深水区域目前无钻井资料,但其为本次研究的重点区域,因此地震资料就成为本次研究过程中进行层序地层研究最为直接的基础资料。在主干地震剖面与辅助剖面的控制下,通过地质解释、相序组合、生物地层及古环境综合分析,首先识别出主要的构造不整合层序界面(二级层序界面),再在二级层序框架内识别三级层序界面^[22]。陵水组在地震剖面上介于S70~S60层序界面之间,其中识别出2个三级层序界面(S62、S61,分别对应强反射界面T62、T61),从下向上可以划分为3个三级层序,即E1s₃、E1s₂和E1s₁(图3)。

通过岩心观察以及层序地层分析,对某一典型

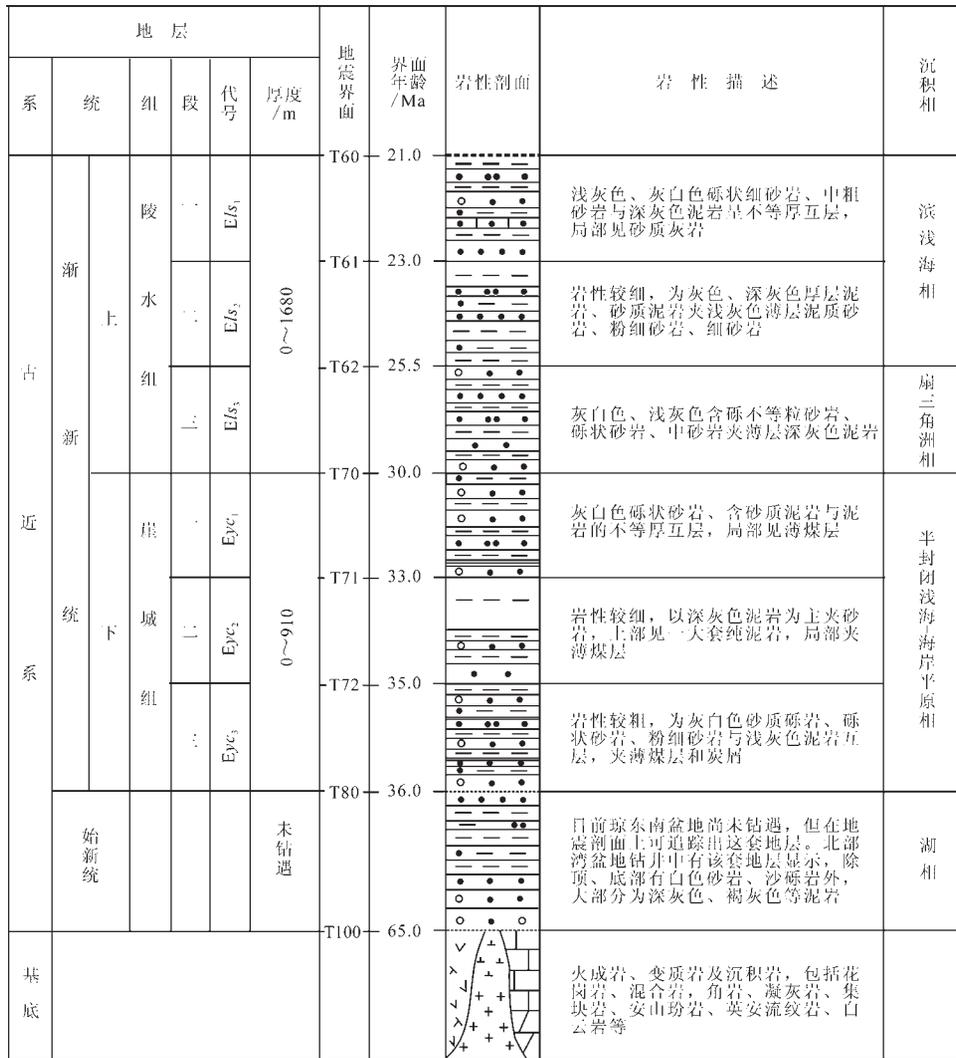


图2 琼东南盆地古近系地层柱状图

Fig.2 Stratigraphic column of Paleogene, Qiongdongnan basin

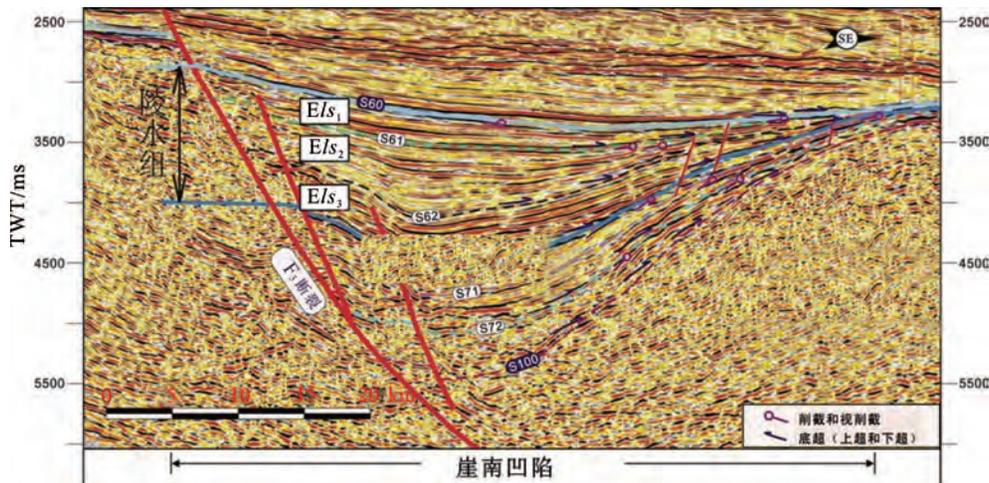


图3 琼东南盆地陵水组层序地层地震剖面解释

Fig.3 Explanation of seismic profile for sequence of Lingshui Formation in Qiongdongnan basin

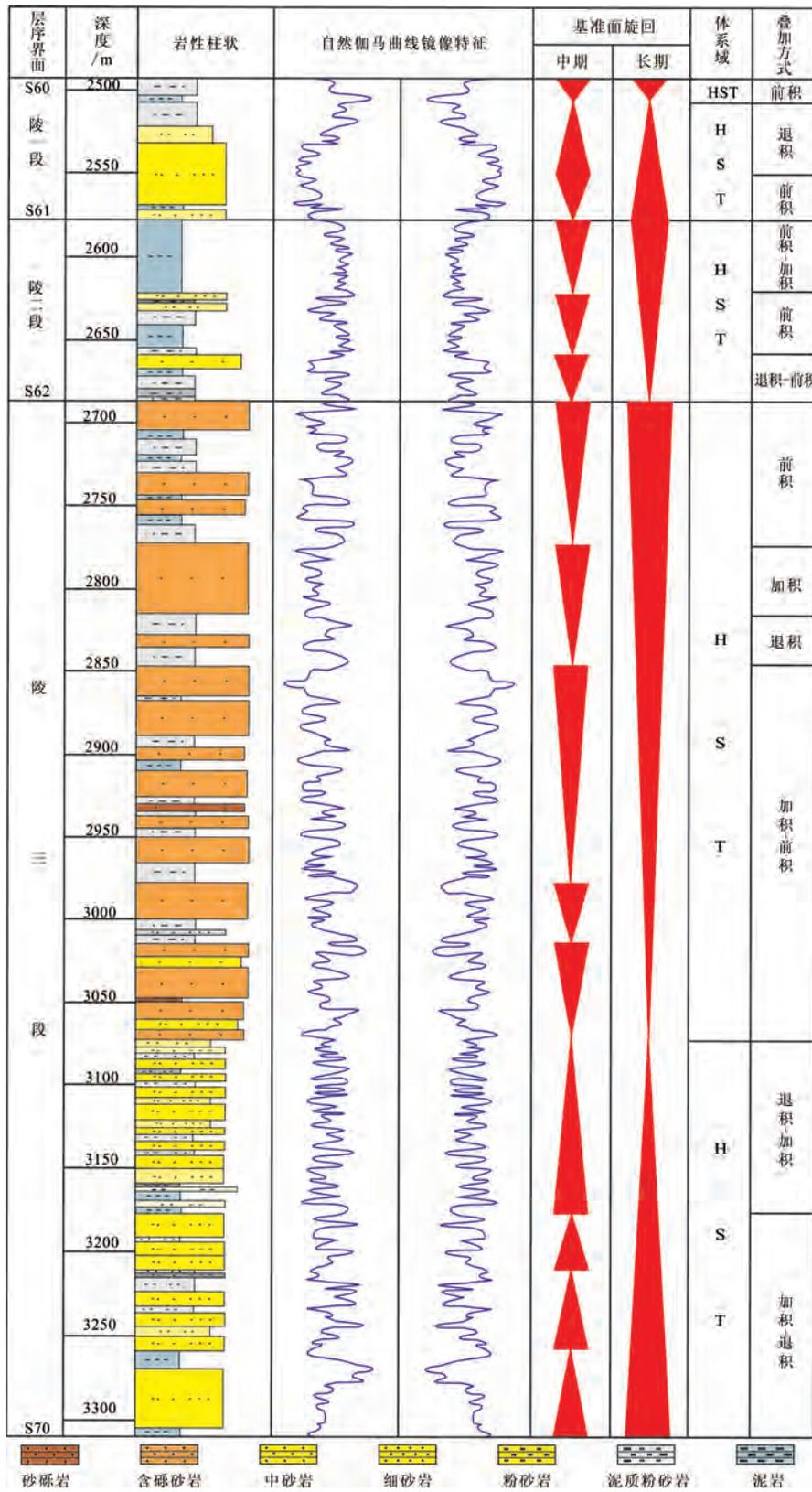


图4 陵水组层序地层分析柱状图
Fig.4 Sequence partition of Lingshui Formation

单井陵水组的三级层序特征分述如下(图4)。

陵水组三段层序(E_{l_3})为一个不完整的三级层序(即S70~S62层序),缺少低位体系域,在地震剖面上以弱振幅、弱连续性,甚至是较杂乱反射为特征。层序下部发育海侵体系域(TST),叠加方式以退积—加积为特征;上部发育高位体系域(HST),叠加方式以加积为主。此段地层下部发育早期下切水道和晚期的滨海环境沉积;上部主要发育滨海环境沉积。

陵水组二段层序(E_{l_2})是一个单独的、只发育高位体系域(HST)的三级层序(即S62~S61层序),整体上叠加方式以加积为特征。依据前人研究,认为该段地层主要为浅海相沉积。

陵水组一段层序(E_{l_1})也是一个不完整的三级层序(即S61~S60层序),下部发育海侵体系域(TST),叠加方式以前积—退积为特征;上部发育高位体系域(HST),叠加方式以前积为主;该段地层早期以滨海相的滨海砂坝为主,晚期局部发育滨海沼泽沉积。

3 沉积相类型及特征

基于琼东南盆地深水区钻、测井少的情况,本次研究主要利用地震相,并通过大量岩心观察,结合地震测井资料以及区域地质资料综合分析将琼东南盆地陵水组划分为辫状河三角洲、扇三角洲、滨海、陆棚、碳酸盐台地等多种相类型。

3.1 辫状河三角洲沉积

辫状河三角洲相是指由单一的底负载河流沉积形成的辫状河进入稳定水体中而形成的富砂和砾石质的粗粒三角洲。其主要特征是三角洲平原以辫状河道沉积为主,砂体沉积发育,粒度较粗,以含砾砂岩沉积为主,同时河道上部的河漫沼泽沉积不发育。垂向层序上,二元结构的底层沉积发育,顶层沉积不发育;沉积构造上交错层理发育,尤以侧积交错层发育为特征;测井曲线上常表现为平滑低幅度的箱形。辫状河三角洲沉积主要分布在研究区北部崖城凸起周缘,如YC13-1-4井的陵三段和陵二段,其物源可能主要来自海南岛隆起(图5)。

3.2 滨海相沉积

滨海相主要分布在浪基面以上的近岸地带,根据波浪、潮汐作用的强弱可进一步分为潮坪、潟湖

和滨岸等3种亚相类型。

潮坪亚相一般分布在波浪作用较弱的近岸地带,或有障壁岛与广海分隔的海湾地带,该区水体能量较弱,沉积物以泥岩、泥质粉砂岩和粉砂岩沉积为主,普遍发育波状、脉状和透镜状层理。地震剖面上对应着中频中振幅乱岗席状地震相,具有前积形垂向序列。潮坪亚相在研究区较为发育,如YC8-1-1、YC13-1-2、YC13-1-8等井(图6)。

潟湖亚相主要分布在有障壁岛与广海分隔的局限海湾地带,水能量弱,以泥质沉积为主。地震剖面上对应着低频中振幅高连续相。潟湖亚相在研究区分布较为局限,主要分布在陵一段地层中。

滨岸亚相主要分布在波浪作用较强的近岸地带,与广海连通性好,该区水体能量较强,沉积物以砂岩沉积为主,发育特征的海滩冲交错层理。在自然伽马或自然电位曲线上具钟形或箱形特征。滨岸亚相在研究区较为发育。

3.3 陆棚相沉积特征

陆棚相主要分布在浪基面以下到陆架坡折地带,该相水体能量较弱,以泥岩、粉砂质泥岩沉积为主。研究区陆棚相发育,如YC26-1-1井的各层段(图7)。

3.4 碳酸盐台地相沉积

碳酸盐台地相主要由泥晶灰岩、颗粒灰岩和生物灰岩等沉积组成。研究区碳酸盐台地相不发育,分布较为局限,主要分布在松涛凸起一带,如LS2-1-1、Ying9井等均见到碳酸盐岩台地相沉积。

4 陵水组沉积相展布及其演化特征

4.1 沉积相剖面特征

连井大剖面沉积相对比研究是沉积相研究的重要环节,对于沉积相空间发育特征的研究具有重要的意义。本次研究中绘制了南北向连井对比大剖面,从该剖面上可以看出,陵三段自北往南发育一套辫状河三角洲平原亚相—辫状河三角洲前缘—浅海陆棚相沉积。陵二段自北往南发育滨岸到浅海陆棚相沉积。陵一段在YC8-2-1井和YC8-1-1一带主要为一套滨海相沉积(图8)。上述剖面基本上代表了北部浅水区陵水组的沉积相特征,研究表明陵水组自北向南存在明显物源供给,主要发育辫状河三角洲—浅海陆棚沉积。

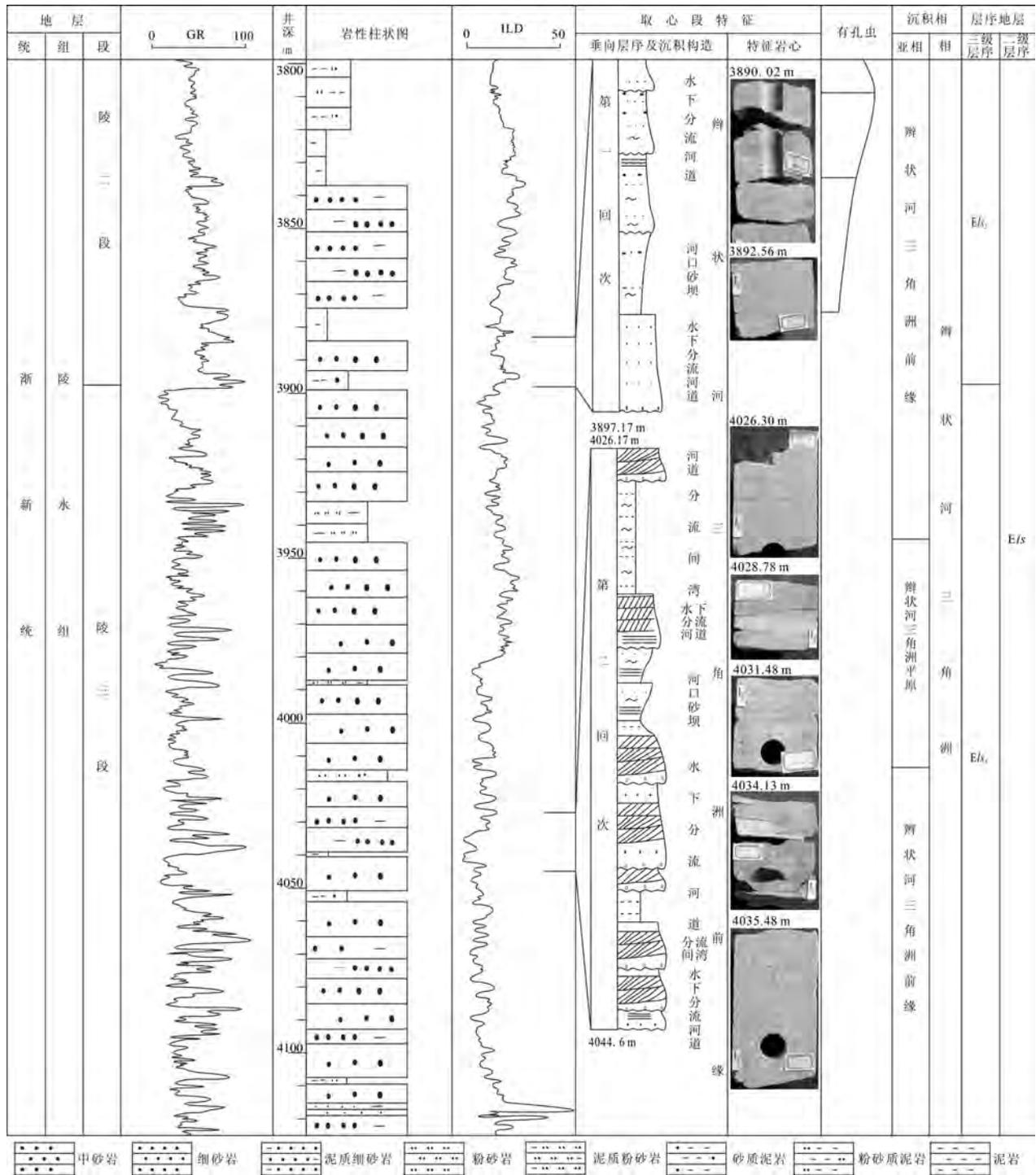


图5 YC13-1-4井陵水组层序地层与沉积相分析柱状图
Fig.5 Sequence partition and sedimentary system of Lingshui Formation in Well YC13-1-4

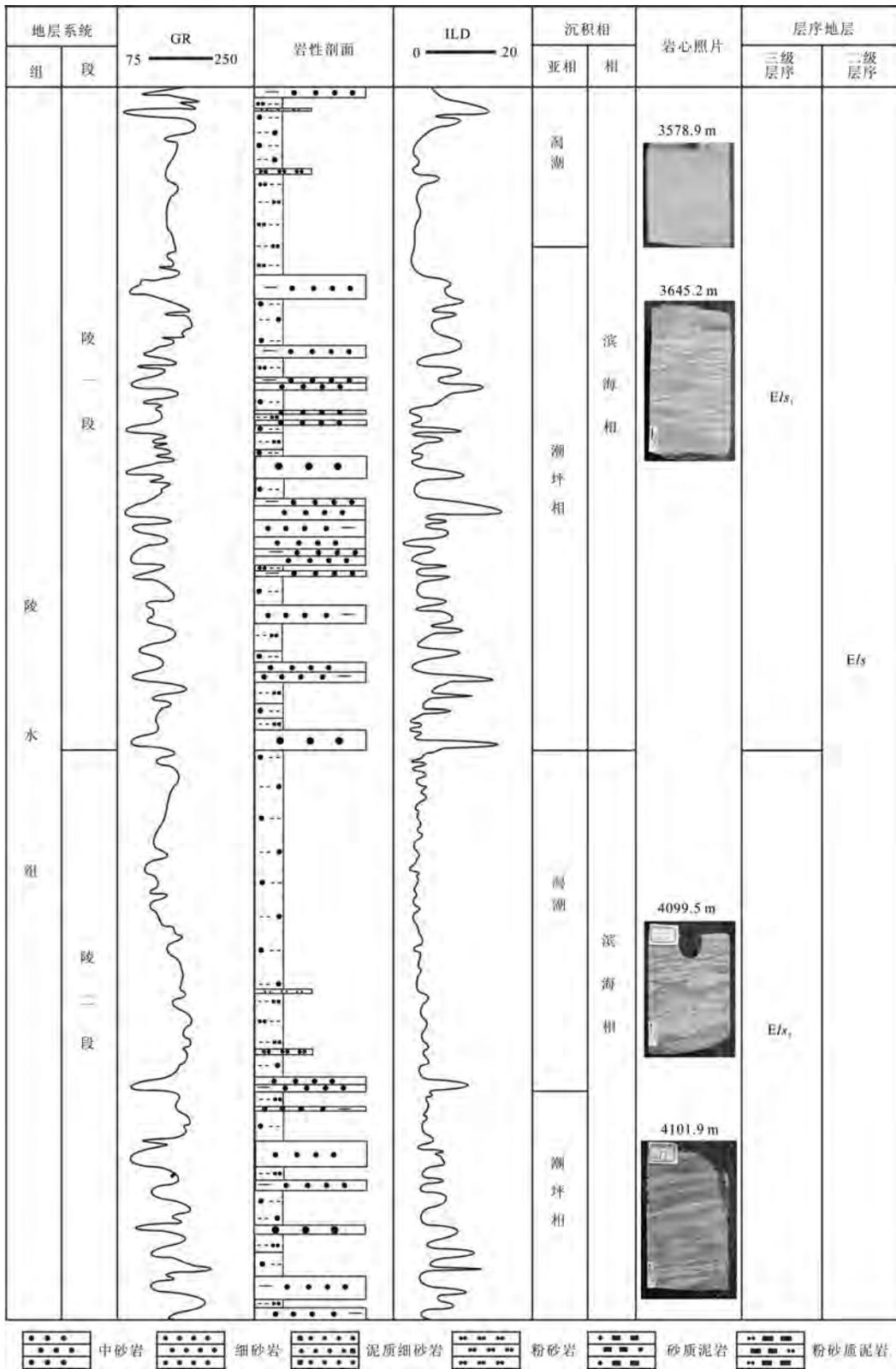


图6 YC8-1-1井陵水组层序地层与沉积相分析柱状图

Fig.6 Sequence partiton and sedimentary system of Lingshui Formation in Well YC8-1-1

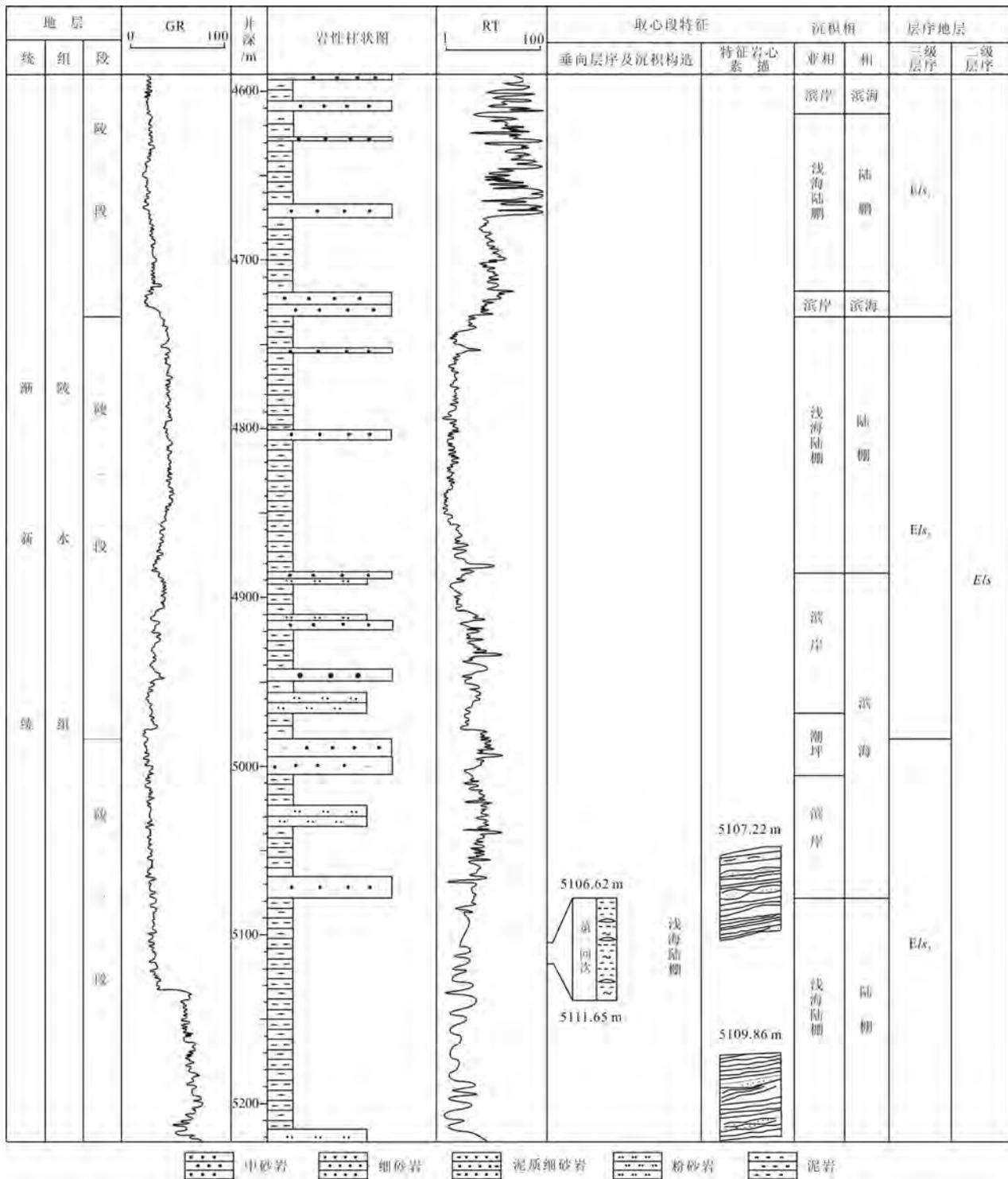


图7 YC26-1-1井陵水组层序地层与沉积相分析柱状图
Fig.7 Sequence partition and sedimentary system of Lingshui Formation in Well YC26-1-1

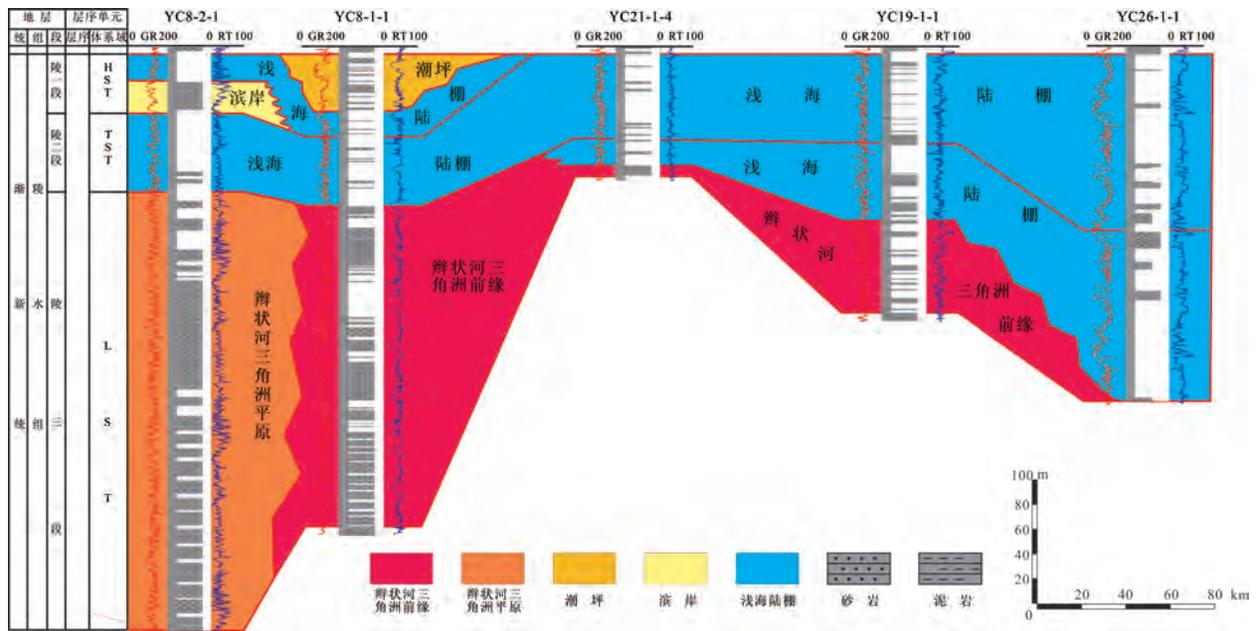


图8 Yc8-2-1—Yc26-1-1井陵水组联井沉积相对比剖面

Fig.8 Even wells deposition relative ratio profile of Lingshui Formation in Well Yc8-2-1—Yc26-1-1

4.2 沉积微相平面分布特征

琼东南盆地沉积相研究的主要依据资料是钻井资料(包括岩心、地化、古生物、测井等)和地震资料。通过这些资料绘制了琼东南盆地陵水组共3张沉积相图(图9~11),完整地再现了研究区沉积相的演化历程。

陵三段(图9)为断拗转换期,水深增大,盆地内凸起面积减小,海岸平原面积逐渐减小,滨海相面积增大,浅海相在各个凹陷均有分布。由于北部F2断层上升盘的控制,北部拗陷带与中央拗陷带之间常出现不同程度的半封闭浅海。扇三角洲主要沿F5断裂带分布,以凸起为物源的三角洲规模小,中央拗陷带的扇三角洲常为低位扇。本段扇三角洲与崖城组区别在于其受河流及潮汐的混合作用。滨海相呈条带状分布于盆地边缘及内部凸起的周围。

陵二段(图10):受全球海平面上升及较高的构造沉降速率的共同影响,盆地进一步拉张,同时发生广泛海侵,继承了陵三段的沉积和构造格局。在这一海侵过程中,浅海面积明显超过陵三段,潮坪范围收缩,扇三角洲和辫状河三角洲的数量明显减少,在拗陷中部仍然发育有碳酸盐岩台地。

陵一段(图11):盆地拉张速率变慢,海平面相

对稳定甚至略有下降,浅海面积比陵二段略小。在盆地西部发育有辫状河三角洲,且规模比陵二段要大。东南部的凸起范围大大缩小,发育少量扇三角洲,而潮坪大面积发育。

5 结论

(1)以Vail经典的层序地层学理论为指导,采用测井资料和地震资料相结合的方法,建立了琼东南盆地深水区等时层序地层格架,为油气输导体系的研究提供坚实的地质基础。

(2)在陵水组三个层序中,低位体系域发育较局限,海侵与高位体系域发育,不易区分,而盆地内整个陵水组时期沉积构成以辫状河三角洲、扇三角洲、滨海和浅海为主,说明此时盆地在不断沉降的同时发生海侵,海域面积扩大,由南北及盆地内凸起供源演化为南北供源,凸起物源消失。

(3)沉积相平面分布研究表明崖南凹陷陵水组低位域和高位域具有多物源充填的特点,多种类型的碎屑岩沉积体系可作良好的储层,三角洲平原和潮坪都是煤系烃源岩的有利发育环境,潟湖泥岩封盖能力强。凹陷生储盖配置组合良好,有利于油气富集。

参考文献(References):

- [1] Vail P R, Mitchum R M, Thompson S. Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level(part3): Relative Changes of Sea Level from Coastal Onlap[M]. Seismic Stratigraphy: Applications to Hydrocarbon Exploration, Payton. AAPG Memoir, 1977, 26: 63-81.
- [2] Cross T A, Baler M R, Chapin M A, et al. Application of high resolution sequence stratigraphy to reservoir analysis[C]// Subsurface Reservoir Characterization from Outcrop Observations. Paris: Technip, 1992, 51: 11-33.
- [3] Gallway W E. Genetic stratigraphic sequences in basin analysis(I): Architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units[J]. AAPG Bulletin, 1989, 73: 125-142.
- [4] Jiang Z X, Lu H B, Yu W Q, et al. Transformation of accommodation space of the Cretaceous Qingshankou Formation, the Songliao Basin, NE China[J]. Basin Research, 2005, 17(4): 569-580.
- [5] Van Wagoner J C. An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key difinitions[C]//Wilgus C K. Sea-level Changes: An Integrated Approach. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication. 1988, 125-154.
- [6] Van Wagoner J C, et al. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops: concepts for high-resolutions correlation of time and facies[J]. AAPG, Methods in exploration series 7, 1990, 55: 1-240.
- [7] Steel R J. Sequence stratigraphy at the shelf edge[C]//International Workshop on Sequence Stratigraphy. Beijing: China University of Geosciences, 2011: 145.
- [8] 吴伟, 林畅松, 周心怀, 等. 辽中凹陷高精度层序地层格架划分与沉积相研究[J]. 石油地球物理勘探, 2012, 47(1): 133-141.
Wu Wei, Lin Changsong, Zhou Xinhui, et al. Seismic sedimentary facies study based on high-resolution sequence framework: A case study on sequence in LiaoZhong Depression[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2012, 47(1): 133-141(in Chinese with English abstract).
- [9] 武丽, 施炜. 琼东南盆地宝岛地区层序地层和砂体展布特征分析[J]. 地质力学学报, 2005, 11(1): 43-51.
Wu Li, Shi Wei. Analysis of the features of sequence stratigraphy and spatial distribution of sandstones in the Baodao area, Qiongdongnan basin[J]. Journal of Geomechanics, 2005, 11(1): 43-51(in Chinese with English abstract).
- [10] 何家雄, 陈胜红, 马文宏, 等. 南海东北部珠江口盆地成生演化与油气运聚成藏规律[J]. 中国地质, 2012, 39(1): 106-118.
He Jiaxiong, Chen Shenghong, Ma Wenhong, et al. The evolution, migration and accumulation regularity of oil and gas in Zhujiangkou basin, northeastern South China Sea[J]. Geology in China, 2012, 39(1): 106-118(in Chinese with English abstract).
- [11] 钟志洪, 王良书, 李绪宣, 等. 琼东南盆地古近纪沉积充填演化及其区域构造意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2004, 2(1): 29-35.
Zhong Zhihong, Wang Liangshu, Li Xuxuan, et al. The Paleogene basin-filling evolution of Qiongdongnan basin and its relation with seafloor spreading of the South China Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2004, 2(1): 29-35(in Chinese with English abstract).
- [12] 高红芳. 南海西缘断裂带走滑特征及其形成机理初步研究[J]. 中国地质, 2011, 38(3): 537-543.
Gao Hongfang. A tentative discussion on strike-slipping character and formation mechanism of western-edge fault belt in South China Sea[J]. Geology in China, 2011, 38(3): 537-543(in Chinese with English abstract).
- [13] 王根发, 吴冲龙, 周江羽, 等. 琼东南盆地第三系层序地层分析[J]. 石油实验地质, 1998, 20(2): 125-128.
Wang Gengfa, Wu Chonglong, Zhou Jiangyu, et al. Sequence stratigraphic analysis of the Tertiary in the Qiongdongnan basin[J]. Experimental Petroleum Geology, 1998, 20(2): 125-128 (in Chinese with English abstract).
- [14] 李莹, 张功成, 吕大炜. 琼东南盆地崖城组沉积特征及成煤环境[J]. 煤田地质与勘探, 2011, 39(1): 1-5.
Li Ying, Zhang Gongcheng, Lu Dawei. Depositional characteristics and coal forming environment of Yacheng Formation, Qiongdongnan basin[J]. Coal Geology & Exploration, 2011, 39(1): 1-5(in Chinese with English abstract).
- [15] 王东东. 琼东南盆地古近系高分辨率层序地层研究[D]. 山东科技大学硕士论文, 2009.
Wang Dongdong. Study of High-Resolution Sequence on Paleogene System in Area of Qiongdongnan Basin[D]. Shandong University of Science and Technology, 2009(in Chinese with English abstract).
- [16] 解习农, 葛立刚. 琼东南盆地断陷期层序地层模式[J]. 地质科学, 1997, 32(1): 47-55.
Xie Xinong, Ge Ligang. Sequence stratigraphic model of Qiongdongnan Basin[J]. Scientia Geologica Sinica, 1997, 32(1): 47-55(in Chinese with English abstract).
- [17] 蔡佳. 琼东南盆地陵水组层序格架及沉积体系的时空配置关系[J]. 海洋石油, 2011, 31(1): 12-18.
Cai Jia. The temporal and spatial configure relation of sedimentary systems and sequence stratigraphic framework of Lingshui Formation in Qiongdongnan Basin[J]. Offshore Oil, 2011, 31(1): 12-18(in Chinese with English abstract).
- [18] 李思田, 谢习农. 沉积盆地分析基础与应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
Li Sitian, Xie Xinong. Sedimentary Basin Analysis Fundamentals and Applications[M]. Beijing: Higher Education Press, 2004(in Chinese with English abstract).
- [19] 陈亮, 王华, 韩晋阳, 等. 泌阳凹陷下二门地区南部核三上亚段层序地层特征及地层岩性圈闭预测[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(1): 26-31.

- Chen Liang, Wang Hua, Han Jinyang, et al. Sequence stratigraphy and stratum-lithology trap prediction of the Eh3 upper member of Hetaoyuan Formation in south Xia'ermen Oilfield, Biyang Sag[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2006, 33(1): 26–31(in Chinese with English abstract).
- [20] 张杰, 赵玉华. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组地震层序地层研究[J]. *岩性油气藏*, 2007, 19(4): 71–74.
- Zhang Jie, Zhao Yuhua. Seismic sequence of Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2007, 19(4): 71–74(in Chinese with English abstract).
- [21] 冯有良. 大民屯凹陷沙四段—沙三段层序地层格架及岩性油气藏预测[J]. *岩性油气藏*, 2008, 20(4): 14–19.
- Feng Youliang. Sequence stratigraphy framework and lithologic reservoirs prediction of the third and fourth members of Shahejie Formation, Damintun Depression[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2008, 20(4): 14–19(in Chinese with English abstract).
- [22] 李胜利, 沙志彬, 于兴河, 等. 琼东南盆地新近纪构造沉降特征对BSR分布的影响[J]. *中国地质*, 2013, 40(1): 163–175.
- Li Shengli, Sha Zhibing, Yu Xinghe, et al. Impact of Neogene tectonic subsidence characteristics on the BSR Distribution in Qiongdongnan Basin[J]. *Geology in China*, 2013, 40(1): 163–175 (in Chinese with English abstract).

The sequence stratigraphy and sedimentary facies analysis of Lingshui Formation in Qiongdongnan Basin

LI Xiang¹, ZHANG Chun-sheng¹, LI Peng¹, LU Ying-bo², PENG Wen-chun¹, LIU Jun³

(1. *Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources of Ministry of Education, Yangtze University, Jingzhou 434023, Hubei, China*; 2. *College of Earth Science, Jingzhou 434023, Hubei, China*; 3. *Changqing Oilfield Branch Company of China Petroleum, Xi'an 7100001, Shaanxi, China*)

Abstract: Using the high resolution sequence stratigraphy and the correlation analysis of cores, logs and seismic data, the authors identified various stratigraphic sequence interfaces in Lingshui Formation of Qiongdongnan Basin, built the stratigraphic framework, and discussed the sedimentary facies types and the evolution and distribution of the framework, and forecast the distribution of favorable sedimentary reservoirs. The results show that the recognition criteria of stratigraphic sequence interface seem to be the significant changes of lithology and color. The Lingshui Formation of Qiongdongnan Basin is divided into three-order strata sequences (El_{s1} , El_{s2} , and El_{s3}). Five types of sedimentary facies are developed in this three sets of third-order sequences, which include braided river delta, fan delta, littoral area, continental shelf and carbonate platform.

Key words: Lingshui Formation; sequence stratigraphy; sedimentary facies; Qiongdongnan Basin

About the first author: LI Xiang, male, born in 1987, master, engages in the study of sedimentology and reservoir geology; E-mail: love2651@163.com.