

琼东南盆地深水区陵水凹陷古近纪同沉积断裂 对层序构成样式的控制

宋广增^{1,2}, 王 华^{1,2}, 孙志鹏³, 刘小龙⁴, 徐 蒙⁵, 任金锋^{1,2}

- (1. 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室, 湖北武汉 430074; 2. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074;
3. 中国海洋石油湛江分公司, 广东湛江 524000; 4. 中国海洋石油研究总院, 北京 100010;
5. 山东省地质科学实验研究院, 山东济南 250013)

摘要:综合利用地质与地球物理资料,并根据断层组合样式及活动速率分析,对陵水凹陷古近系开展同沉积断裂对层序构成样式的控制性研究。结果表明:陵水凹陷西部、中部及东部识别出非对称地堑型、对称地堑型、半地堑型3种构造地层格架;由于断层活动性变化,陵水凹陷古近系发育上倾坡脚型断坡带、下倾坡脚型断坡带与弯折带3种构造古地貌背景,并分别控制3种沉积充填样式的发育;不同的沉积充填配置在不同的构造地层格架中组成了对储集体展布具有重要预测作用的层序构成样式,为深水区隐蔽油气藏的勘探提供基础。

关键词:深水区;同沉积断层;层序构成样式;构造地层格架;坡折带

中图分类号:P 539.2; TE 121 **文献标志码:**A

引用格式:宋广增,王华,孙志鹏,等.琼东南盆地深水区陵水凹陷古近纪同沉积断裂对层序构成样式的控制[J].中国石油大学学报:自然科学版,2014,38(4):9-18.

SONG Guangzeng, WANG Hua, SUN Zhipeng, et al. Paleogene sydepositional fault and its control on sequence architecture of Lingshui sag, deepwater area of Qiongdongnan Basin, South China Sea[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2014, 38(4): 9-18.

Paleogene sydepositional fault and its control on sequence architecture of Lingshui sag, deepwater area of Qiongdongnan Basin, South China Sea

SONG Guangzeng^{1,2}, WANG Hua^{1,2}, SUN Zhipeng³, LIU Xiaolong⁴, XU Meng⁵, REN Jinfeng^{1,2}

- (1. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources, China University of Geosciences, Ministry of Education, Wuhan 430074, China;
2. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;
3. Zhanjiang Branch of CNOOC, Zhanjiang 524000, China;
4. Research Institute of China National Offshore Oil Corporation Limited, Beijing 100010, China;
5. Shandong Institute and Laboratory of Geological Sciences, Jinan 250013, China)

Abstract: Based on geological and geophysical data, the Paleogene sydepositional fault and its control on sequence architecture of Lingshui sag were studied by analyzing the combination features and faulting-activity rate of the fault. The results show that three kinds of frameworks, i. e., asymmetric graben, symmetric graben and half-graben, were developed individually in the east, middle, and west of Lingshui sag. Three kinds of structural paleogeomorphologies, i. e., up-dip foot slope break belt, down-dip foot slope break belt and gentle slope-break belt, were developed in response to the changes of faulting-activity, which influenced the sequence-infill patterns. Different sequence-infill patterns distributing within tectono-stratigraphic frameworks have characteristic sequence architectures, which will favorably contribute to exploration of potential res-

收稿日期:2013-12-16

基金项目:国家自然科学基金项目(41272122);国家“十二五”油气重大专项课题(2011ZX05009-002-02);“构造与油气资源”教育部重点实验室开放课题(TPR-2013-14);中国地质大学(武汉)教学实验室开放基金项目

作者简介:宋广增(1987-),男,博士研究生,从事盆地分析研究。Email:songguangzeng2006@163.com。

ervoirs and subtle oil pools in deepwater area.

Key words: deepwater area; syndepositional faults; sequence architecture; tectono-stratigraphic framework; slope break belt

近20年来,裂陷盆地中同沉积构造活动尤其是同沉积断裂对层序、沉积、储层等的控制性日益成为国际盆地分析领域的一个研究热点^[1-4]。尽管盆地同沉积断裂作用与沉积作用的结合分析一直受到人们的重视,但结合层序地层分析,从同沉积断层活动及其组合特征对构造地层格架及沉积物分散体系和沉积体系域分布的控制角度开展研究是近年来国际上构造沉积学研究的一个新视角。随着全球能源需求的提升以及浅水区域成熟勘探,深水盆地近年来迅速成为中国油气的勘探热点^[5]。大量深水油气勘探成果及海洋调查结果揭示,深水区经历复杂的构造演化,并发育多种沉积体系^[6]。琼东南盆地深水区陵水凹陷为中国南海极富勘探潜力的一个区块,然而由于揭露深水区沉积的钻井稀少,油气勘探面临高风险,如何充分利用现有资料加强地质与地

震分析,建立油气储层的预测模式是取得深水区油气勘探新突破的关键。因此,笔者综合利用地质与地球物理资料,对陵水凹陷古近系开展同沉积断裂对层序构成样式的控制进行研究,搭建“生-储-盖”的三维组合,建立有效的油气储层预测模式。

1 区域地质概况

琼东南盆地是中国南部具有油气勘探前景的盆地之一,位于中国南海北部大陆边缘,是在中生代基底之上形成的新生代陆缘拉张性盆地^[7]。盆地北靠海南隆起,东接珠江口盆地,西部以1号断层为界与莺歌海盆地相邻,南部为永乐隆起(图1)。盆地拉伸方向为SSE,走向为NE,长290 km,宽181 km,总面积约 $6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

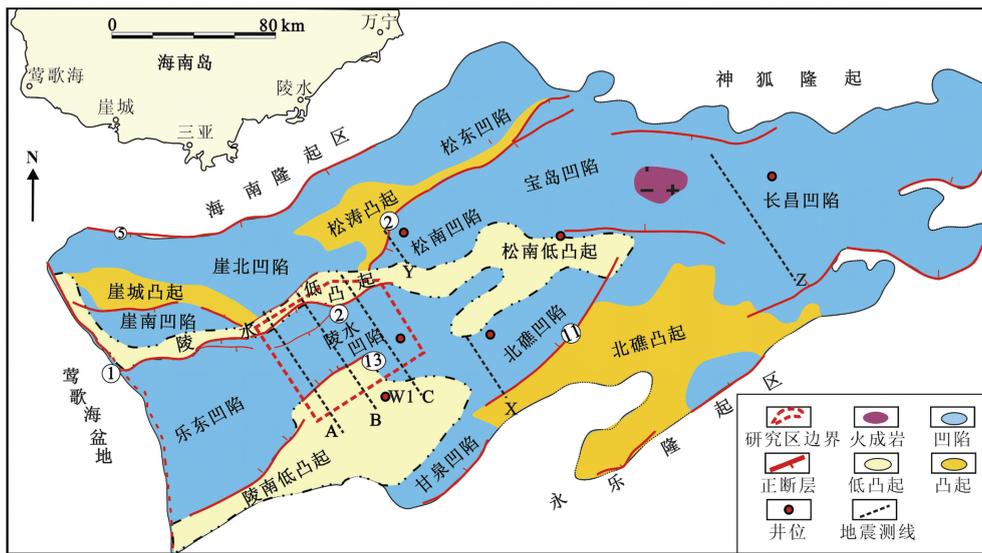


图1 琼东南盆地区域地质图

Fig. 1 Regional geological map of Qiongdongnan Basin

陵水凹陷处于琼东南盆地深水区^[8],凹陷北部以2号断层为界与陵水低凸起、松涛凸起的南倾末端毗邻;东接松南低凸起;西南部以13号断层为界与陵南低凸起相邻;西接乐东凹陷(图1)。

琼东南盆地古近纪为同裂陷期,由下向上依次沉积始新统、早渐新世崖城组与晚渐新世陵水组(表1)。同裂陷期,琼东南盆地经历裂陷I幕(始新统沉积期)、裂陷II幕(崖城组沉积期)与裂陷III幕(陵水组沉积期)3期裂陷幕,且从裂陷I幕到裂陷III幕,断陷作用逐渐减弱,拗陷作用逐渐增强^[9]。

研究区是琼东南盆地的主要油气勘探开发区。多年的油气勘探和开发积累了大量的地球物理资料和研究成果,特别是近年来连片的高分辨率三维地震资料为研究深水区陵水凹陷的同沉积断层与层序构成样式等提供了优良条件。

2 层序格架构建

层序地层学为研究层序结构及内部充填提供了基本格架^[10],层序界面的识别有助于搭建层序地层格架^[11]。

表 1 琼东南盆地古近系层序地层划分、沉积环境及盆地构造演化

Table 1 Stratigraphic sequence division, depositional environment and basin filling evolution of Qiongdongnan Basin

地层		层序		典型沉积体系/ 沉积相类型	构造演化阶段		同裂陷期	
系	统	组	段		三级	Sb 二级		
渐新统	陵水组	陵一段	Els1	T60	滨海扇三角洲 辫状河三角洲	III幕	断陷活动衰减 断-坳转换期	
		陵二段	Els2	T61				
		陵三段	Els3	T62				
	崖城组	崖一段	Eyc1	T70	海岸平原 扇三角洲 辫状河三角洲	II幕	断陷稳定发展	
		崖二段	Eyc2	T71				
		崖三段	Eyc3	T72				
始新统				T80	I	I幕	扩张断陷	断陷期
				T100				

针对琼东南盆地深水区,层序界面的识别采取以下原则:不整合界面在地震资料上以削截、上超或下

超等为标志(图 2(a)、(b)、(c));发育于盆地或凹陷边缘的下切谷充填是识别层序边界的标志(图 2(b));

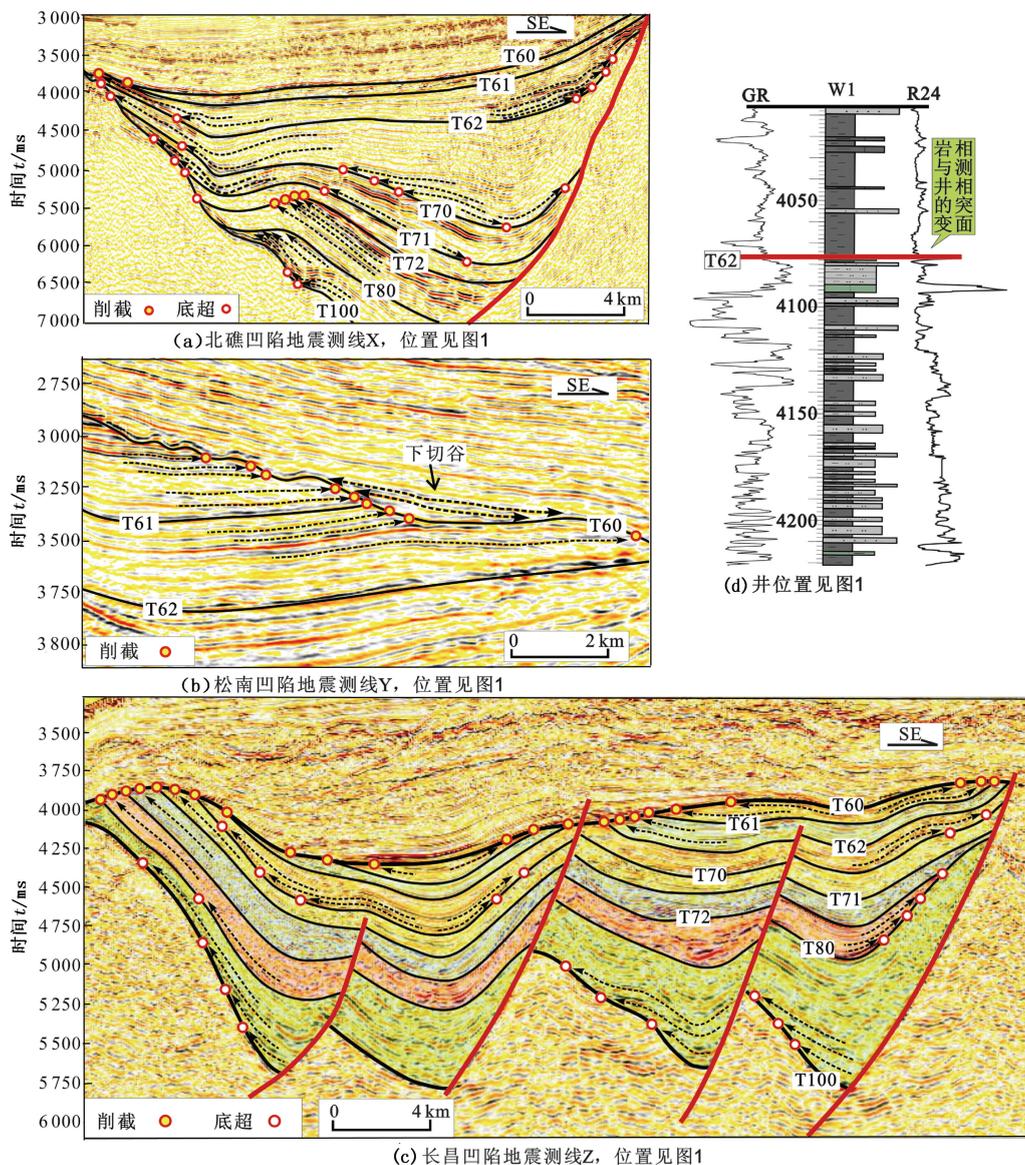


图 2 层序界面的识别

Fig. 2 Identification of sequence boundaries

地层岩相或测井相发生突变的界面可以指示层序界面(图2(d))。

3 断层组合特征与活动性分析

2号断层与13号断层为研究区内两条同沉积控凹主干断层,2号断层横贯研究区,走向NEE,13号断层走向与2号断层近于平行,但仅在陵水凹陷西部发育(图1)。

目前断层活动性的研究方法主要有断层生长指数法、落差法和断层活动速率法^[12]。断层生长指数法和落差法在同沉积断层的研究中得到广泛的应

用,但这两种方法均有缺陷,有时不同的沉积结果可以计算出相同的断层生长指数或落差,从而对断层活动性得出错误认识,例如,200 m/100 m = 20 m/10 m = 2,尤其是断层生长指数法,当下降盘缺失时甚至会出现无穷大的结果,从而无法进行断层活动性的判断分析。断层活动速率是指某一地层单元在一定时期内,断层活动形成的落差与相应沉积时间的比值(图3),代表单位时间内断层的落差,通过比较其数值大小可以表征断层活动性,更有实用意义^[12]。

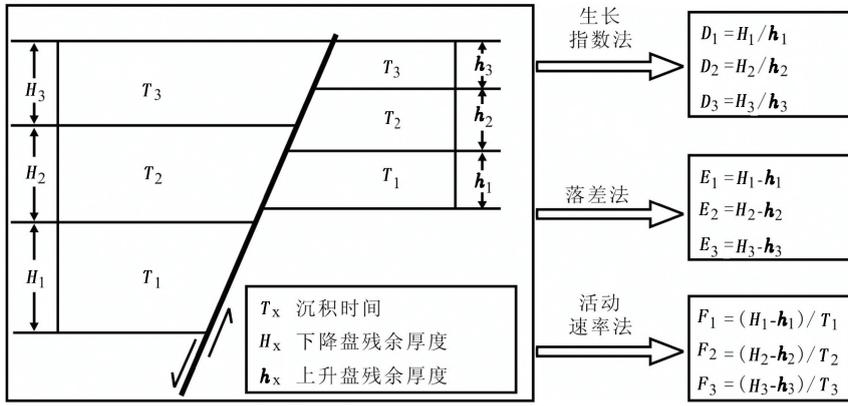


图3 断层活动性分析的3种方法^[12]

Fig.3 Three ways of analyzing faulting-activity

选取陵水凹陷内10条横切2号断层与13号断层的典型测线(图4(a)),基于地震剖面解释数据,以陵水凹陷古近系地层整体为研究对象,分析2号断层与13号断层各测线处的古近纪断层活动速率(图4)。图4表明,2号断层、13号断层的活动速率沿走向发生变化。研究区西部(测点1,2,3)2号断层

活动速率约为80 m/Ma,13号断层活动速率约为120 m/Ma,活动性强于2号断层;中部(测点4,5,6)2号断层活动速率约为100 m/Ma,13号断层活动速率与其近于相等;东部(测点7,8,9,10)2号断层依然活动,13号断层趋于消亡。

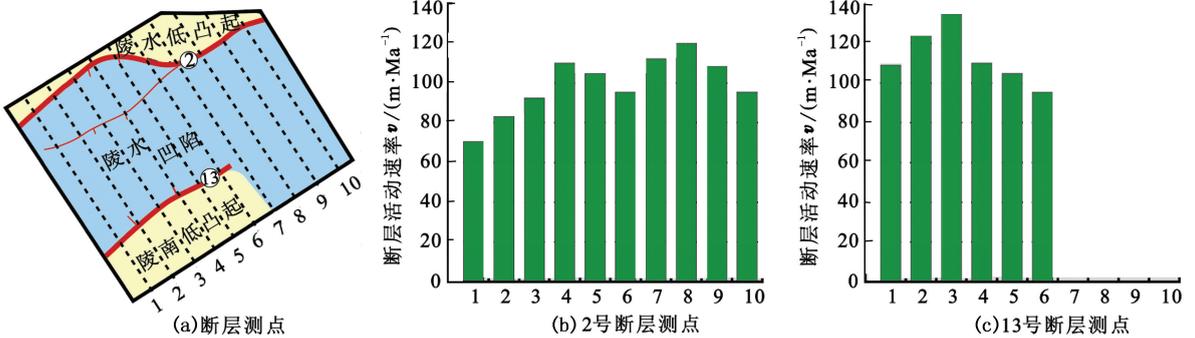


图4 陵水凹陷2号、13号断层古近纪活动速率

Fig.4 Paleogene activity rate of No.2 fault and No.13 fault in Lingshui sag

4 断层对层序构成样式的控制

层序构成样式是指构造地层格架特征及内部沉积充填与展布特征。在断陷盆地中,构造-层序-沉

积的研究已经进入多学科渗透阶段,断层对层序构成样式具有重要的控制作用,主要表现在:控凹边界主干大断裂一般为同沉积断层,作为层序与沉积体系形成时期最为重要的构造表现,其活动性与组合

特征等控制构造地层格架样式;同沉积断层控制形成古地貌(构造坡折带),其活动变化造成的不同地貌类型可以控制沉积体的发育类型与展布规模等,进而形成不同的地层格架内部沉积充填^[13]。

4.1 断层对构造地层格架的控制

在断陷盆地中,不同构造背景的层序界面特征、层序内部结构样式和各体系域沉积体系内幕特征等差别悬殊^[14],分析同沉积构造背景是开展层序构成样式分析的基础。

根据研究区内断层分布、组合样式与活动性分析,陵水凹陷可分为2种不同的构造地层格架,即地堑型格架与半地堑型格架,且地堑型格架又可根据凹陷两侧控凹断层的差异性活动,进一步分为非对称型和对称型。每种不同的构造地层格架内,由于断层的活动性差异等原因,会发育不同类型的构造古地貌(坡折带)特征。

4.1.1 非对称地堑型格架

在陵水凹陷西部,南北两侧的13号断层和2号

断层在古近纪共同活动,于凹陷北部与南部产生断距,控制形成地堑型格架。13号断层活动性强于2号断层(图4),导致凹陷在南侧沉降速率较快,沉降中心靠近13号断层下降盘,地层整体南倾,地堑型格架呈不对称形态(图5)。13号断层的活动性较强,控制形成沉降中心,发育上倾坡脚型断坡带;2号断层活动性较弱,发育下倾坡脚型断坡带。

表2 构造地层格架样式、分布位置及其配置的构造古地貌类型

Table 2 Sequence framework pattern, distribution and structural paleogeomorphology

构造格架背景	具体分类	控制断层	构造古地貌类型	发育位置
地堑型格架	非对称型	2号断层、13号断层	上倾坡脚型断坡带 下倾坡脚型断坡带	陵水凹陷西部
	对称型	2号断层、13号断层	下倾坡脚型断坡带	陵水凹陷中部
半地堑型格架	单断型	2号断层	上倾坡脚型断坡带 下倾坡脚型断坡带 弯折带	陵水凹陷东部

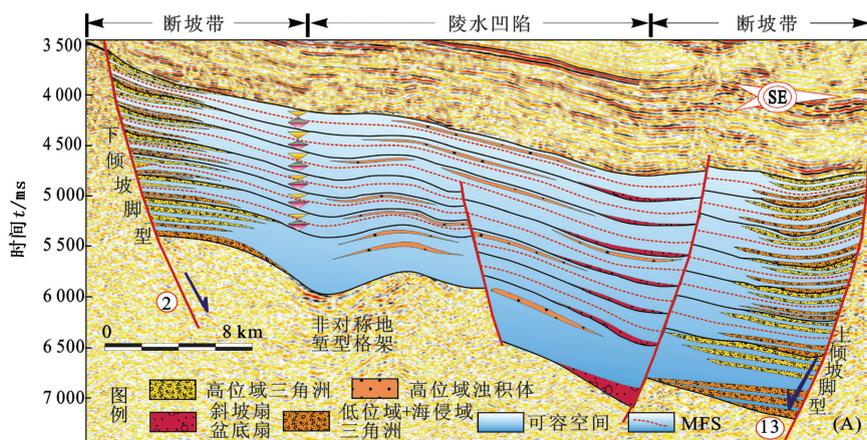


图5 陵水凹陷东部非对称地堑型格架及同沉积断面图(测线A)

Fig. 5 Asymmetric graben and syndepositional profile section in the west of Lingshui sag (seismic profile A)

4.1.2 对称地堑型格架

在陵水凹陷中部,2号断层与13号断层的活动性相近(图4),断距近于相等,凹陷南北两侧近于对称,形成对称的地堑型格架(图6)。在该格架内,凹陷中心沉降速率最快,沉降中心均远离断层根部,根部的地层倾向与断层倾向相反,形成下倾坡脚型断坡带。

4.1.3 半地堑型格架

在陵水凹陷东部,13号断层趋于消亡,仅北部发育2号断层(图4),形成由单条断层控制形成的半地堑型格架(图7)。始新统沉积期与崖城组沉

积早期,凹陷北部2号断层活动强烈,控制形成沉降中心,且紧临断层根部,2号断层根部可容空间最大,形成上倾坡脚型断坡带;在崖城组沉积晚期与陵水组沉积期,盆地沉降进入断拗转换期,断陷作用减弱,拗陷作用增强,沉降中心远离2号断层根部向凹陷中心偏移,形成下倾坡脚型断坡带(图7)。

受2号断层与13号断层组合特征与差异性活动影响,陵水凹陷自西向东构造地层格架发生变化,地层倾向逐渐发生反转,沉降中心逐渐发生偏移。

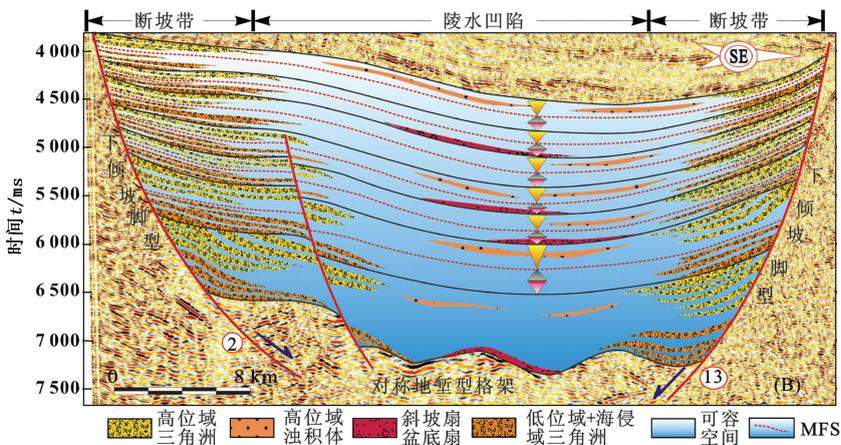


图6 陵水凹陷中部对称地堑型格架及同沉积断面图(测线B)

Fig.6 Symmetric graben and syndepositional profile section in the middle of Lingshui sag (seismic profile B)

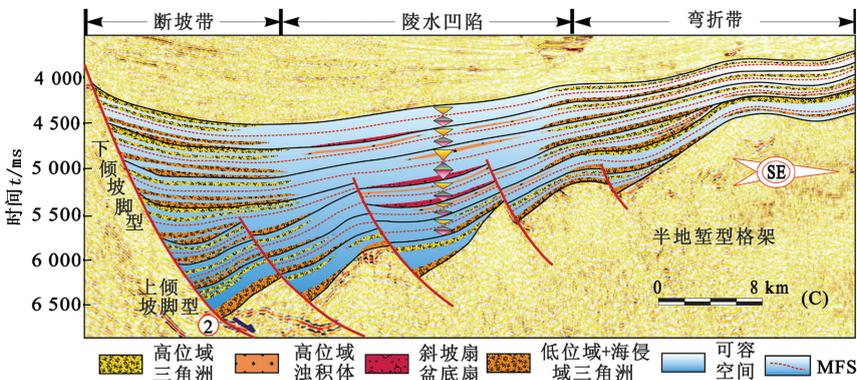


图7 陵水凹陷东部半地堑型格架及同沉积断面图(测线C)

Fig.7 Half-graben and syndepositional profile section in the east of Lingshui sag (seismic profile C)

4.2 断层对构造地层格架内沉积充填的控制

断层通过控制不同的同沉积构造古地貌,控制形成配置在构造地层格架内的不同沉积充填,进而形成不同的层序构成样式。构造坡折带作为一种主要的构造古地貌类型,对构造地层格架内部沉积体的类型、填充、展布与规模等具有重要的控制作用^[3,15-19]。通过分析断层活动性、沉积物供给方向、盆地基底起伏形态等,在陵水凹陷古近系识别出断坡带(上倾坡脚型断坡带与下倾坡脚型断坡带)和弯折带2种不同类型的构造坡折带样式(图8,据Huang^[20]修改)。每种不同类型的坡折带配置在不同类型的构造地层格架中。

4.2.1 断坡带及其控制的沉积充填

在断陷盆地中,规模较大、活动时期贯通到地表的同沉积断裂常构成断坡带^[16],并根据断层下降盘地层倾向与断层倾向相反或相同,断坡带可分为上倾坡脚型断坡带、下倾坡脚型断坡带^[20-21]。

地貌类型	弯折带	
剖面形态	上倾坡脚型	下倾坡脚型
主要沉积相类型	近岸水下扇	扇三角洲海底扇

图8 陵水凹陷古近系构造坡折带样式

Fig.8 Types of Paleogene structural slope break blets in Lingshui sag

(1)上倾坡脚型断坡带。上倾坡脚型断坡带中,主干断层控制形成沉降中心,且下降盘地层倾向与断层倾向相反^[20-21](图9)。在非对称地堑型格架和半地堑型格架的始新世和渐新世早期,13号断层与2号断层根部可容空间最大,下降盘地层倾向与断层倾向相反,发育上倾坡脚型断坡带,并控制了层序格架内部沉积体的充填(图5,7)。断坡带控制

了层序边界,断层上升盘隆起部位暴露剥蚀作为物源供给区,形成下切谷充填(图 9)。沉积物在断层下降盘多期堆积,形成垂向上叠加、横向上连片分布的近岸水下扇^[9]。由于沉降中心紧临断层下降盘,沉积扇体无法再次搬运,所以低位域缺少盆底扇与

斜坡扇沉积。断层活动性较强,且盆缘扇体距离物源区较近,断层附近可容空间最大,沉积物入盆后快速卸载、堆积,致使沉积物粒度较粗,扇体分选较差,地层厚度较大,但扇体延伸距离较小^[22]。

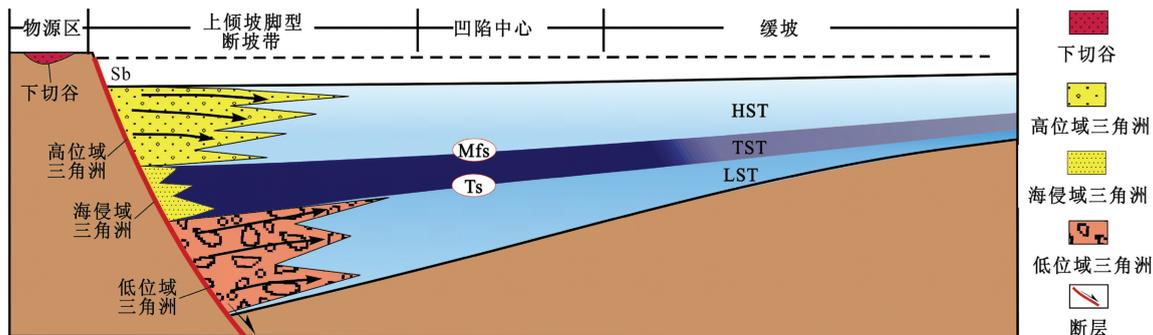


图 9 上倾坡脚型断裂陡坡带及其控制形成的层序内部充填

Fig.9 Up-dip foot slope break belt and model of relevant sequence-infill pattern

(2)下倾坡脚型断坡带。在对称地堑型格架、非对称地堑型格架 2 号断层带与半地堑型格架渐新世晚期,同沉积主干断层活动性较弱,沉降中心均远离断层,断层下降盘地层倾向与断层倾向相同,形成下倾坡脚型断坡带^[20-21],并对沉积充填具有重要的控制性(图 5~7)。此时断坡带仍控制层序边界,断层上升盘暴露剥蚀,形成下切谷沉积充填,下降盘沉

积形成扇三角洲(图 10)。由于断层活动性减弱,断距减小,断层根部可容空间减小,使扇体纵向叠加厚度减小,但横向延伸规模较远。由盆缘向凹陷中心,可容空间增加较慢,所以沉积物卸载减慢,分选、磨圆等较好,可形成良好的储集物性。低位楔及高位域扇三角洲均可向前发生滑塌与再沉积,从而形成盆底扇与高位域远岸滑塌浊积体^[22]。

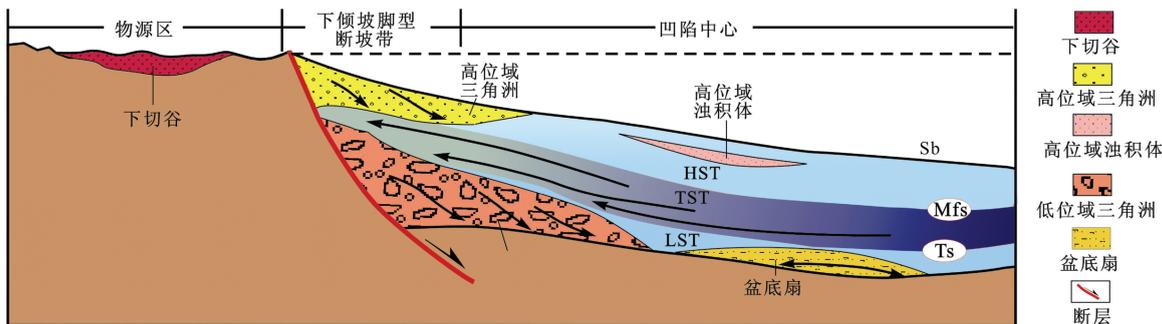


图 10 下倾坡脚型断裂陡坡带及其控制形成的层序内部充填

Fig.10 Down-dip foot slope break belt and model of relevant sequence-infill pattern

4.2.2 弯折带及其控制的沉积充填

弯折带是由于沿半地堑式盆地陡坡带的控凹铲式正断层滑动导致断层上盘(缓坡带)弯折变形使沉积斜坡坡度发生明显变化的地带^[16](图 11)。在陵水凹陷东部,2 号断层为铲式正断层,其滑动导致在南部形成弯折带(图 7)。弯折带对沉积作用可产生重要影响,对沉积相的发育尤其是低位体的分布起到重要的控制作用。弯折带上曲率最大的线,即枢纽线直接控制了沉积盆地的低水位滨岸坡折^[16]。

低位域沉积期,水位低于低水位滨岸坡折点,坡折带以下沉积形成低位楔与盆底扇和斜坡扇,而坡折以上被侵蚀形成下切谷;在海侵域与高位域沉积期,基准面上涨,越过低水位滨岸坡折点,在坡折点以上沉积形成海侵域与高位域(图 11)。由于坡折点以上地势平缓,由盆缘向盆中心可容空间增加缓慢,导致沉积物卸载缓慢,形成瓣状河三角洲,且盆缘扇体分选较好,延伸规模较大^[22]。

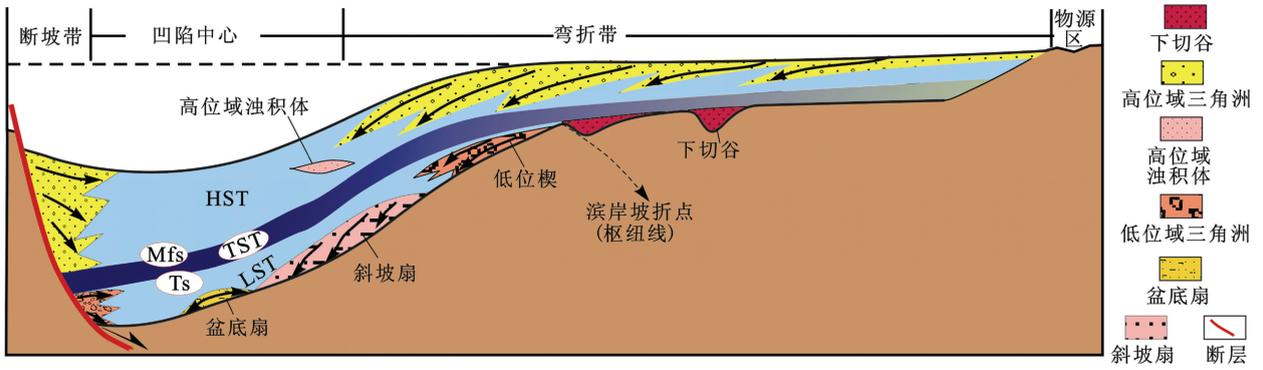


图 11 弯折带及其控制形成的层序内部充填

Fig. 11 Gentle slope break belt and relevant sequence-infill pattern

5 储集体预测与圈闭类型

陵水凹陷古近系最主要的储层类型为在半地堑型格架内弯折带控制沉积的辫状河三角洲砂岩。由于沉积在缓坡边缘,坡度较小,入盆水道侧向迁移强烈,导致形成的辫状河三角洲砂体横向连接成片,可

构成规模较大的油气储集相带^[23],其为研究区内 I 类储集体。坡折点之下的低位域砂体被海侵域泥岩在其上披覆沉积,坡折点之上的高位域砂体顶部遭受剥蚀并被上覆层序海侵域遮盖,两者均可构成良好的储-盖组合,形成地层圈闭(图 12)。

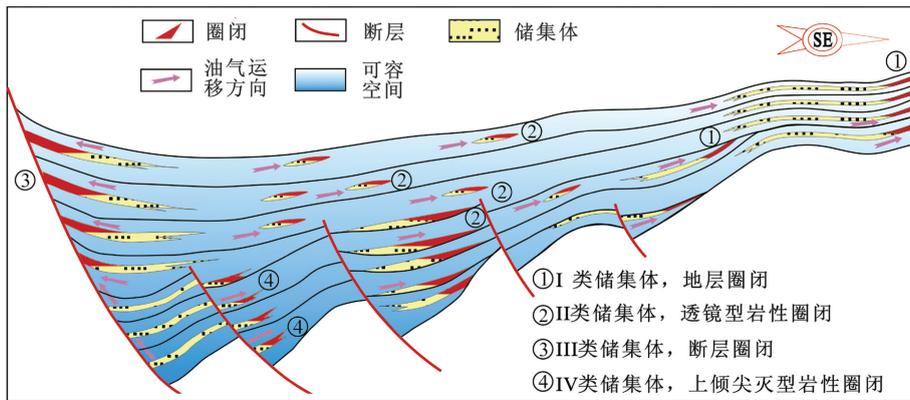


图 12 储集体预测与圈闭类型

Fig. 12 Prediction of reservoirs and types of traps

在非对称地堑型格架与对称地堑型格架内的下倾坡脚型断坡带中,低位域斜坡扇、盆底扇与高位域油积体构成研究区内的 II 类储集体。该类储集体沉积于深水泥岩中,直接与烃源岩接触,可形成有利的透镜型岩性圈闭(图 12)。如琼东南盆地 YA35-1-1 井在黄流组底部钻遇的盆底扇砂岩(4.60 ~ 4.8393 km 井段)单层厚度为 7.5 ~ 24.0 m,砂岩累积厚度为 193 m,面积为 179 km²,测井解释发现多套气层^[24]。

IV 类储集体为在非对称地堑型格架与半地堑型格架内的上倾坡脚型断坡带控制沉积的盆缘近岸水下扇。由于分选与磨圆均较差,并且相带较窄,储层物性较差,但该类储集体紧靠断层分布,此时断层活动性较强,可作为油气运移通道,沟通深部烃源岩与盆缘储集体^[20],形成上倾尖灭型岩性圈闭。

在地堑型格架与半地堑型格架的渐新世晚期的下倾坡脚型断坡带中,形成的盆缘扇三角洲为 III 类储集体。由于此时断层活动较弱,具有封堵作用,与盆缘砂体可共同构成断层圈闭(图 12)。典型的有南海北部 YA17-1、LH33-2 和 KP28-1 井钻遇的油气储层^[24]。

6 结论

(1) 琼东南盆地深水区陵水凹陷内主要发育 2 号断层和 13 号断层两条同沉积控凹断裂。受两条断层影响,陵水凹陷古近纪形成地堑型格架与半地堑型格架两种构造地层格架。因 2 号断层与 13 号断层活动性的差异与变化,地堑型格架可进一步分为非对称地堑型格架与对称地堑型格架。

(2) 陵水凹陷古近系识别出断坡带与弯折带两

种类型构造坡折带。断坡带可进一步划分为上倾坡脚型断坡带与下倾坡脚型断坡带。每种坡折带均可以控制形成不同的构造地层格架内部的沉积充填。

(3) 弯折带控制形成的辫状河三角洲、下倾坡脚型断坡带控制形成的盆缘扇三角洲、低位域盆底扇和斜坡扇与高位域远端滑塌浊积体、上倾坡脚型断坡带控制形成的近岸水下扇等分别为陵水凹陷古近系内4种不同类型的油气储集体,并可构成地层圈闭、断层圈闭、透镜型岩性圈闭与上倾尖灭型岩性圈闭。

参考文献:

- [1] RAVNAS R, STEEL R J. Architecture of marine rift-basin successions [J]. *AAPG Bulletin*, 1998, 82(1):110-146.
- [2] HOWELL J A, FLINT S S. A model for high resolution sequence stratigraphy within extensional basins [J]. *Geological Society Special Publication*, 1996, 10(4):129-137.
- [3] 林畅松, 郑和荣, 任建业, 等. 渤海湾盆地东营、沾化凹陷早第三纪同沉积断裂作用对沉积充填的控制 [J]. *中国科学:D辑*, 2003, 33(11):1025-1036.
- LIN Changsong, ZHEN Herong, REN Jianye, et al. The control of syndepositional faulting on the Eocene sedimentary basin fills of Dongying and Zhanhua sags, Bohaiwan rift basin [J]. *Science in China (ser D)*, 2004, 47(9):769-782.
- [4] 刘恩涛, 王华, 李媛, 等. 北部湾盆地福山凹陷构造转换带对层序及沉积体系的控制 [J]. *中国石油大学学报:自然科学版*, 2013, 37(3):17-22, 29.
- LIU Entao, WANG Hua, LI Yuan, et al. Control of transfer zone over sequences and depositional system in Fushan sag, Beibuwan Basin [J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2013, 37(3):17-22, 29.
- [5] 张功成, 米立军, 吴时国, 等. 深水区——南海北部大陆边缘盆地油气勘探新领域 [J]. *石油学报*, 2007, 28(2):15-21.
- ZHANG Gongcheng, MI Lijun, WU Shiguo, et al. Deep water area—the new prospecting targets of northern continental margin of South China Sea [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2007, 28(2):15-21.
- [6] 董冬冬, 王大伟, 张功成, 等. 珠江口盆地深水区新生代构造沉积演化 [J]. *中国石油大学学报:自然科学版*, 2009, 33(5):17-22, 29.
- DONG Dongdong, WANG Dawei, ZHANG Gongcheng, et al. Cenozoic tectonic and sedimentary evolution of deepwater area, Pearl River Mouth Basin [J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2009, 33(5):17-22, 29.
- [7] 李绪宣, 钟志洪, 董伟良, 等. 琼东南盆地古近纪构造特征及其动力学机制 [J]. *石油勘探与开发*, 2006, 33(6):713-721.
- LI Xuxuan, ZHONG Zhihong, DONG Weiliang, et al. Paleogene rift structure and its dynamics of Qiongdongnan Basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2006, 33(6):713-721.
- [8] 雷超, 任建业, 李绪深, 等. 琼东南盆地深水区结构构造特征与油气勘探潜力 [J]. *石油勘探与开发*, 2011, 38(5):560-569.
- LEI Chao, REN Jianye, LI Xushen, et al. Structural characteristics and petroleum exploration potential in the deep-water area of the Qiongdongnan Basin, South China Sea [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2011, 38(5):560-569.
- [9] 李思田, 林畅松, 张启明, 等. 南海北部大陆边缘盆地幕式裂陷的动力过程及10 Ma以来的构造事件 [J]. *科学通报*, 1998, 43(8):797-810.
- LI Sitian, LIN Changsong, ZHANG Qiming, et al. Episodic rifting of continental marginal basins and tectonic events since 10 Ma in the South China Sea [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1998, 43(8):797-810.
- [10] CATUNEANU O, ABREU V, BHATTACHARYA J P, et al. Towards the standardization of sequence stratigraphy [J]. *Earth-Science Reviews*, 2009, 92:1-33.
- [11] ALLEN P A, ALLEN J R. Basin analysis: principle and applications [M]. Oxford: Blackwell, 2005.
- [12] 姜华, 王华, 刘军, 等. 珠江口盆地珠三坳陷神狐组-恩平组沉积时期南断裂活动性对沉积的控制作用 [J]. *地质科技情报*, 2009, 28(2):49-53.
- JIANG Hua, WANG Hua, LIU Jun, et al. Activity of south fault of Zhu-3 Depression and its controlling on sedimentation during Shenhu Formation to Enping Formation in Pearl River Mouth Basin [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2009, 28(2):49-53.
- [13] 梁富康, 于兴河, 李先平, 等. 冀中坳陷深县凹陷的生长断层特点及其对沉积的控制作用 [J]. *中国地质*, 2011, 38(2):263-270.
- LIANG Fukang, YU Xinghe, LI Xianping, et al. Growth faults in Shenxian depression and their control over the sedimentation [J]. *Geology in China*, 2011, 38(2):263-270.
- [14] 纪友亮, 张世奇. 陆相断陷湖盆层序地层学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996.
- [15] 李思田, 潘元林, 陆永潮, 等. 断陷湖盆隐蔽油藏预

- 测及勘探的关键技术-高精度地震探测基础上的层序地层学研究[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2002, 27(5): 592-598.
- LI Sitian, PAN Yuanlin, LU Yongchao, et al. Key technology of prospecting and exploration of subtle traps in lacustrine basins—sequence stratigraphic researches on the basis of high resolution seismic survey [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2002, 27(5): 592-598.
- [16] 任建业, 陆永潮, 张青林. 断陷盆地构造坡折带形成机制及其对层序发育样式的控制[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2004, 29(5): 596-602.
- REN Jianye, LU Yongchao, ZHANG Qinglin. Forming mechanism of structural slope-break and its control on sequence style in faulted basin [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2004, 29(5): 596-602.
- [17] 邓宏文, 王红亮, 王敦则. 古地貌对陆相裂谷盆地层序充填特征的控制: 以渤中凹陷西斜坡区下第三系为例[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(4): 293-303.
- DENG Hongwen, WANG Hongliang, WANG Dunze. Control of paleo-morphology to stratigraphic sequence in continental rift basins: take Lower Tertiary of western slope in Bozhong Depression as an example [J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(4): 293-303.
- [18] 宋广增, 王华, 甘华军, 等. 东营凹陷郑南地区沙四上亚段坡折带对层序、沉积与油气成藏控制[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2013, 44(8): 3415-3424.
- SONG Guangzeng, WANG Hua, GAN Huajun, et al. Slope-break and its control on sequence, sedimentation and hydrocarbon accumulation of Upper Es₄ Zhennan area, Dongying Sag [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2013, 44(8): 3415-3424.
- [19] 吴伟, 郑伟, 刘惟庆, 等. 珠江口盆地白云北坡韩江组层序格架及富砂沉积体研究[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2013, 37(3): 23-29.
- WU Wei, ZHENG Wei, LIU Weiqing, et al. Study on sequence framework and sand-rich sediment body of Hanjiang formation in the north slope of Baiyun sag, Pearl River Mouth Basin [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2013, 37(3): 23-29.
- [20] HUANG C Y, WANG H, WU Y P, et al. Genetic types and sequence stratigraphy models of Paleogene slope break belts in Qikou Sag, Huanghua Depression, Bohai Bay Basin, Eastern China [J]. Sedimentary Geology, 2012, 65-75.
- [21] 徐长贵. 渤海古近系坡折带类型及其对沉积体系的控制作用[J]. 中国海上油气, 2006, 18(6): 365-371.
- XU Changgui. Genetic types of Paleogene slope break zones and their controls on depositional system in Bohai offshore [J]. China Offshore Oil and Gas, 2006, 18(6): 365-371.
- [22] 于兴河, 姜辉, 李胜利, 等. 中国东部中、新生代陆相断陷盆地沉积充填模式及其控制因素: 以济阳坳陷东营凹陷为例[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(1): 39-45.
- YU Xinghe, JIANG Hui, LI Shengli, et al. Depositional filling models and controlling factors on Mesozoic and Cenozoic fault basins of terrestrial facies in eastern China: a case study of Dongying sag of Jiyang Depression [J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(1): 39-45.
- [23] 林畅松, 刘景彦, 张燕梅, 等. 库车坳陷第三系构造层序的构成特征及其对前陆构造作用的响应[J]. 中国科学: D辑, 2002, 32(3): 177-183.
- LIN Changsong, LIU Jingyan, ZHANG Yanmei, et al. Depositional architecture of the Tertiary tectonic sequences and their response to the foreland tectonism in the Kuqa depression, Tarim Basin [J]. Science in China (ser D), 2002, 32(3): 177-183.
- [24] 何仕斌, 张功成, 米立军, 等. 南海北部大陆边缘盆地深水区储层类型及沉积演化[J]. 石油学报, 2007, 28(5): 51-56.
- HE Shibin, ZHANG Gongcheng, MI Lijun, et al. Reservoir type and sedimentary evolution in the continental margin deepwater area of the northern South China Sea [J]. Acta Petroleum Sinica, 2007, 28(5): 51-56.

(编辑 徐会永)