文章编号:1009-3850(2019)02-0060-09

南海礼乐盆地新生代构造层序界面特征及油气地质意义

左倩媚[1,2], 李俊良[1,2], 裴健翔[1,2], 罗 威[1,2], 邓礼华[1,2]

(1. 中海油海南能源有限公司, 海南 海口 570100; 2. 中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 广东 湛江 524057)

摘要:礼乐盆地是中国南海深水领域一个重要的含油气盆地,具有较好的油气资源前景。应用沉积学和层序地层学的原理和方法,结合区域构造演化特征,详细研究了礼乐盆地新生代沉积充填过程中关键构造层序界面(S100、S70、S50)在钻井岩性、测井曲线、古生物及地震剖面上的特征。结果表明,构造层序界面为岩性、电性的突变面,在构造层序界面附近,古生物演化过程中存在标志生物种属和数量的突变。在地震剖面上,构造层序界面是区域性的不整合界面,表现为明显的上超、下超或削截特征。进而详细论述了这3个构造层序界面形成的油气地质意义,具体表现为:(1)反映了关键时期礼乐盆地性质的转化;(2)有利于形成优质储集空间;(3)层序不整合面既是油气横向长距离运移的重要通道,也是礼乐盆地油气藏成藏的关键。

关 键 词:礼乐盆地;新生代;构造层序界面;识别标志;油气地质意义

中图分类号:TE121.3 **文献标识码**:A

引言

礼乐盆地是中国南海的一个重要含油气盆地,为一个陆缘张裂的中、新生代叠合盆地[1-4]。其主体位于南沙海域礼乐-巴拿望地块上,总体呈NE-SW向。经纬度范围:北纬115°08′~118°30′,东经9°00′~12°20′,北邻中央海盆,东邻巴拉望盆地,南邻南沙海槽盆地,西邻安渡北盆地,面积约4.5×10^4km^2,主要由南部坳陷、东部坳陷、北部坳陷和中部隆起4个构造单元组成(图1)。礼乐盆地内发育了一套厚度超过10km的中生代—新生代海相地层,自下而上依次为上白垩统、古新统、始新统、渐新统、中新统、上新统及第四系(表1)。前人在礼乐盆地进行了大量研究,在构造特征[5-7]、层序地层[8-9]、沉积充填演化[10-12]和岩相古地理[13-14]等方面取得了一系列有意义的研究成果,为礼乐盆地的进一步石油勘探提供了基础资料和科学依据。前人研究认为,礼乐盆地发育在中生代残留基底之上,以反映礼乐运动的地震反射层S100为界来区分中、新生代地层。礼乐盆地在新生代之前位于华南陆缘,与西沙-中沙地块相连,经历了陆缘裂陷、漂移张裂和前陆-拗陷3个重要的构造演化阶段,而后定位到现今的构造位置[15],新生代原型构造演化阶段则对应形成了3个关键性构造层序界面(S100、S70、S50)。本文在前人研究的基础之上,充分利用钻井岩性、测井、古生物等资料及地震资料,结合南海区域构造演化背景,系统研究礼乐盆地新生代3个重要构造层序界面的响应特征,并探讨了其油气地质意义,为礼乐盆地油气地质研究提供基础资料。

收稿日期: 2019-01-18; **改回日期**: 2019-03-29
作者简介: 左倩媚(1983-),女,工程师,硕士,现从事石油地质综合研究工作。E-mail:zuoqm@cnooc.com.cn
资助项目: 国家科技重大专项课题(No. 2017ZX05026-005)

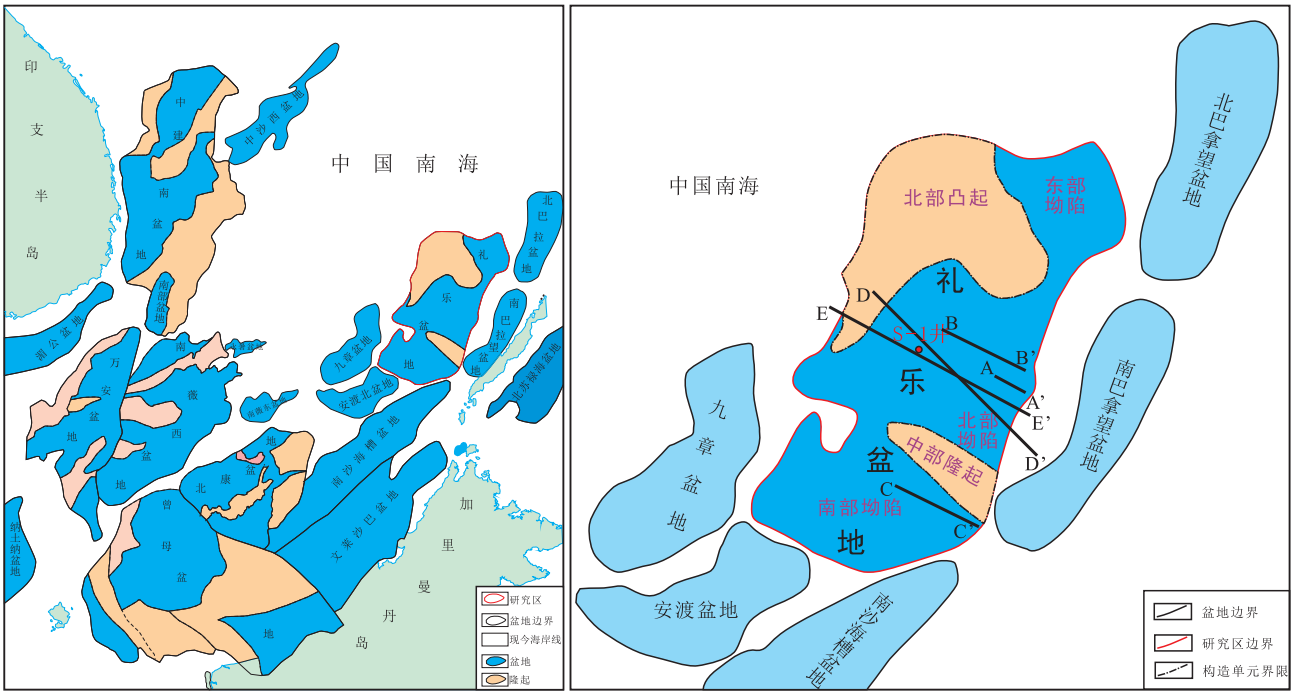

图 1　南海礼乐盆地构造位置及构造区划划分

Fig. 1　Tectonic setting and division of the Lile Basin in the South China Sea

1　层序界面的识别特征

通过对盆地内典型钻井岩性的观察和描述、测井资料的解释、古生物资料的综合分析以及地震剖面的解释与追踪,详细研究了礼乐盆地新生代沉积充填过程中关键构造层序界面的地质 – 地震响应特征,主要包括新生代盆地基底的界面(S100)、礼乐盆地由陆缘裂陷期逐步过渡到漂移期形成的层序界面(S70)以及南沙地块与婆罗洲的碰撞响应界面(S50)。这 3 个构造层序界面具有区域构造运动明显、海平面下降幅度较大、沉积环境转变明显的特征。

1.1　新生代盆地基底的层序界面——S100(65.5 Ma)

S100 层序界面是礼乐盆地新生代裂陷作用的起始面,是由燕山末期的礼乐运动引起并长期抬升剥蚀形成的区域性不整合界面,代表了盆地新生代演化的开始。礼乐地块在白垩纪晚期出露水面而遭受剥蚀,之后随着中央海盆的裂张开始海侵,礼乐盆地被海水覆盖并开始接受沉积。根据 S1 井揭示,S100 界面之下为深灰色 – 黑色火山集块岩与深灰色泥岩互层,间或夹深棕色的碳质碎片、凝灰岩;界面之上为灰色块状细砂岩和灰绿 – 褐色含钙页岩沉积,岩性较细,粒度向上逐渐变粗,反映了海平面长期上升过程中的短暂海退,沉积环境由海陆过渡相向滨浅海相转变。测井曲线在 S100 界面附近也有明显的突变特征。古生物组合在 S1000 界面上、下也存在明显的转变。如 S – 1 井 S100 界面之下以上白垩统常见的孢粉组合无突肋孢属(*Cicatricosis sporites*)和内环粉属(*Zonalapollenites dampieri*)占优势,界面之上以古新世和始新世的沟鞭藻韦氏藻属(*Wetzeliella articulata*)为主,钙质超微化石多以盘星石科(*Discoaster lodoensis* 和 *Discoaster of sublodoensis*)、叉心颗石藻属(*Chiasmolithus gigas*)、棒球石(*Rhabdosphaera gladius* 和 *Rhabdosphaera inflata*)占优势,有孔虫以圆幅虫属(*Globorotalia*)含量较丰富为特征。S100 界面在地震剖面上反射特征较清晰,为一套和上覆新生代地层平行的反射波组的底界,表现为强振幅、中 – 差连续的地震反射特征。界面之下为中生代地层,低频、连续性差 – 杂乱地震反射。局部与上覆地层呈角度不整合接触。界面之上古新统和始新统地层的上超关系比较清晰(图 2)。

表 1 礼乐盆地中—新生代地层划分

Table 1 Stratigraphic division of the Mesozoic and Cenozoic strata in the Lile Basin

系	统		地质年代(Ma)	层序界面	全球海平面变化曲线	沉积环境	构造事件	构造演化
第四系	更新统							
新近系	上新统		5.3	S30		碳酸盐台地-生物礁 浅海-半深海		前陆沉降期
	中新统	上	10.5	S40				
		中	16.0	S50			南沙运动	
		下				碳酸盐台地-生物礁 浅海-半深海		地块漂移期
古近系	渐新统	上	23.3	S60				
		下	28.4	S70			南海运动	
	始新统	上	33.9	S80		三角洲 滨海、浅海		陆缘裂陷期
		中	40.4	S83			珠琼运动Ⅱ	
		下	47.8	S86		三角洲 滨海-浅海-半深海		
	古新统		55.8	S90			珠琼运动Ⅰ	
						三角洲 海岸平原-滨海		
白垩系			65.5	S100		海陆过渡相 火山喷发相	礼乐运动	

1.2 盆地陆缘裂陷期逐步过渡到漂移期形成的层序界面——S70(28.4Ma)

S70 层序界面是礼乐盆地具有明显构造意义与地质意义的区域性不整合面,代表盆地由陆缘裂陷活动转变为地块漂移裂陷活动,是礼乐地块区新南海扩张的启动界面。根据古水深研究,该时期研究区海平面下降幅度大于 50m,是研究区规模最大的海退之一,与全球海平面变化一致,说明 S70 界面的形成也受到全球海平面变化的控制。同时,盆地沉积由之前的滨浅海碎屑沉积逐渐转为碳酸盐及生物礁相沉积环境。钻井资料显示,S70 界面同样是岩性、电性的突变面,如图 3 所示,S-1 井 S70 界面之下岩性为灰色砂泥岩互层,界面之上岩性突变为碳酸盐岩,界面附近存在大量红色黏土,代表不整合面

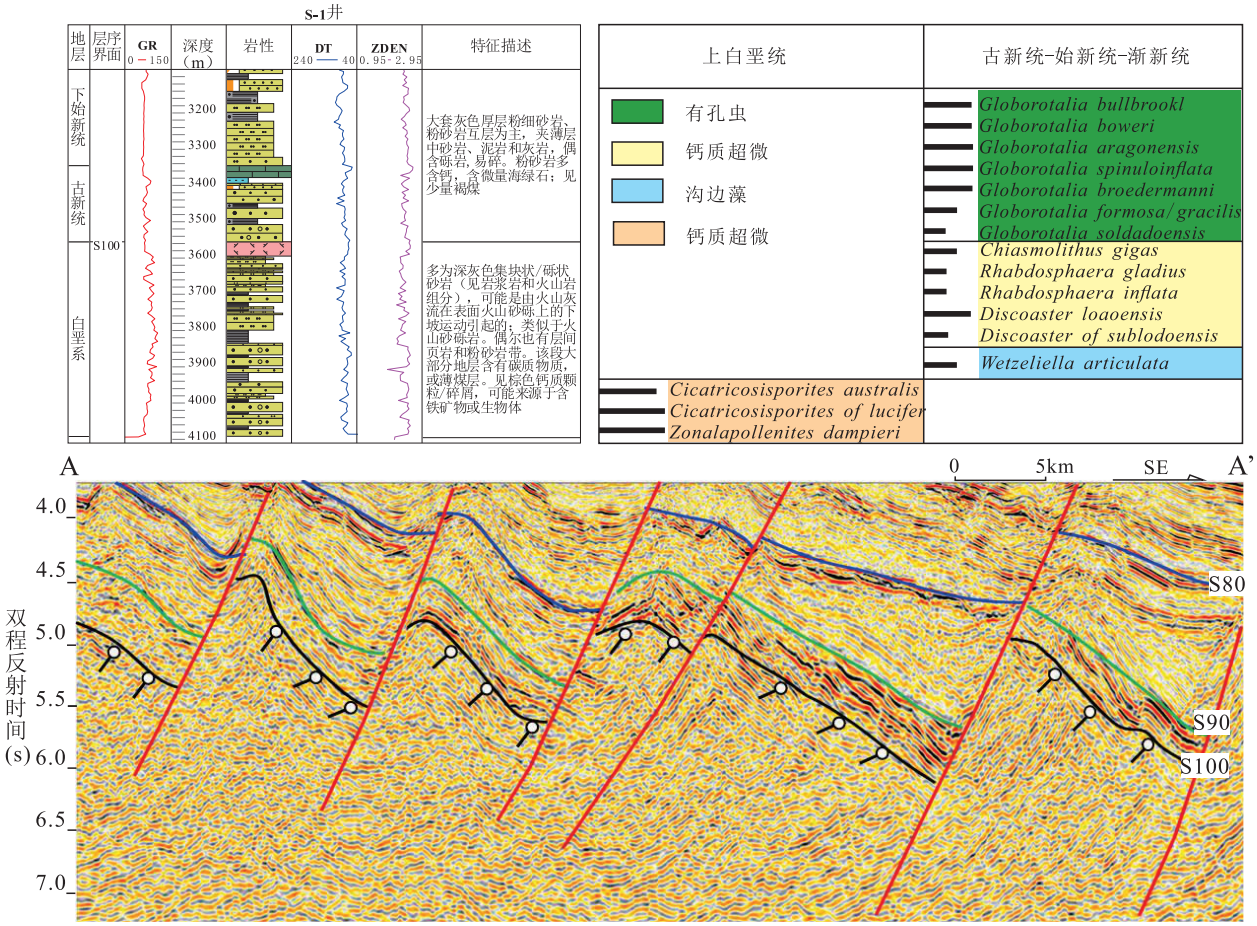

图 2　中生界与新生界之间的层序界面(S100)在钻井、测井、古生物及地震剖面上的特征(地震测线位置见图 1,A-A')

Fig. 2　Outline of lithology, well logs, palaeontology and seismic reflection profiles at the sequence boundary (S100) between the Mesozoic and Cenozoic strata

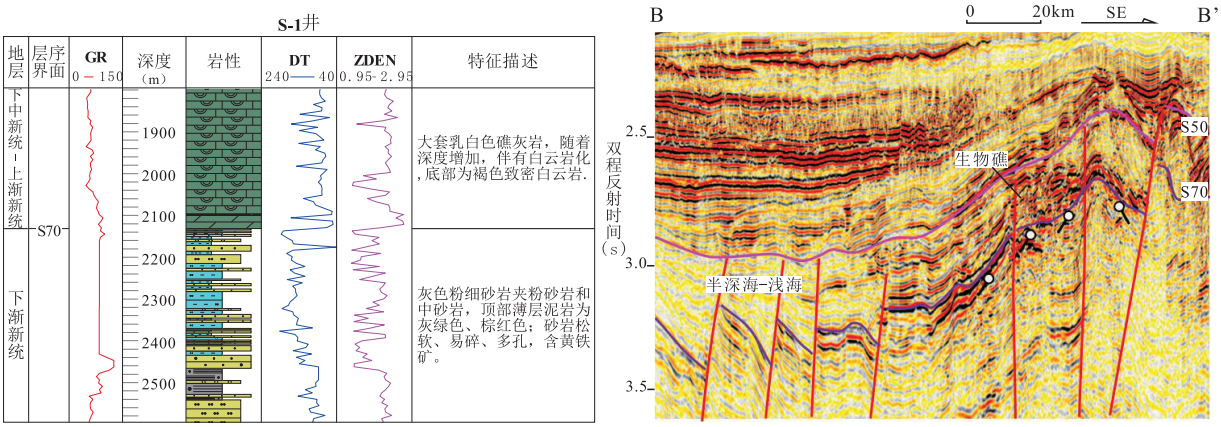

图 3　上渐新统地层底界面(S70)在钻井、测井及地震剖面上的特征

(地震测线位置见图 1,B-B')

Fig. 3　Outline of lithology, well logs, palaeontology and seismic reflection profiles at the basal boundary (S70) of the upper Oligocene strata

的风化壳,说明该区 S70 界面经历了隆升剥蚀的过程。自然伽马曲线在界面之下为低值,界面之上为高值;声波时差曲线界面之上较平直,为低值,而界面之下呈齿状,为高值。地震剖面上,由于晚渐新世末期的南海运动(28.4Ma)促使盆地内各构造单元的地层均有不同程度的抬升,盆地内部褶皱变形明显,不同部位遭受不同程度剥蚀、甚至造成地层的缺失,形成了区域性的不整合面。不整合面反映的剥蚀现象明显,夷平作用强烈,界面上、下的波组特征差异很大。界面之下为中 - 弱振幅较连续反射或短轴反射,界面之上,盆地高地区为中 - 强振幅反射,盆地中央为一大套连续的平行反射,代表了碳酸盐台地到半深海的沉积环境。

1.3 南沙地块与婆罗洲的碰撞响应层序界面——S50(16.0Ma)

S50 界面也是礼乐盆地具有明显构造意义的重要层序界面,代表南沙地块与婆罗洲碰撞,古南海关闭、新南海停止扩张所形成的区域性不整合界面,该界面形成于早中新世末期(16.0Ma),区域上可以和南海南部区中中新世不整合面(MMU)及巴拉望陆坡区的深部区域不整合面(DRU)相对应[13]。钻井结果表明,S50 界面之下主要为乳白色生物礁灰岩,伴有不同程度的白云岩化,界面之上为灰白色泥晶灰岩和白云岩化石灰岩。自然伽马曲线和声波时差曲线在 S50 界面呈现明显的突变,S50 界面之下声波曲线值为低值,自然伽马曲线为低值,界面之上声波曲线突变为高值,且呈平直曲线,自然伽马曲线突变为低值,也呈现平直曲线形态。该界面为新生代断裂活动的终止面,是强反射波组的顶界面,界面下削上超的不整合界面特征明显,该界面之下生物礁广泛发育,界面之上主要为海相碎屑岩沉积。16.0 Ma 之后,古南海关闭,新南海停止扩张,持续的挤压碰撞作用使礼乐盆地进入前陆盆地压陷沉降阶段,盆地沉降速率值低且均一,沉积地层较薄。受到来自婆罗洲碰撞造山的陆源碎屑物质的供应,形成一套以碎屑岩为主的海相沉积披覆盖层。盆地碳酸盐及生物礁沉积作用减弱,只在局部台地或高地形区发育少量碳酸盐岩或生物礁沉积。

2 构造层序界面的油气地质意义

构造层序界面是指在一定的构造作用背景下所形成的顶界面以不整合或与之相对应的整合为界的一套地层的顶界面,指示沉积盆地类型的一个构造演化阶段的结束。构造层序界面是一、二层序识别、划分及对比的关键,也是不同演化阶段构造作用、海平面变化、物源供给等综合作用的结果[16]。因此,通过对关键构造层序界面特征研究,不仅对阐明盆地的形成演化,而且对分析盆地内的油气储集条件、运聚过程及分布规律都具有重要意义。

2.1 关键时期礼乐盆地性质的转化

中生代末期,包括礼乐盆地在内的南沙 - 礼乐地块还处于华南大陆的南缘,与现今的南海北部陆缘盆地同属于一个构造体系。受燕山末期礼乐运动

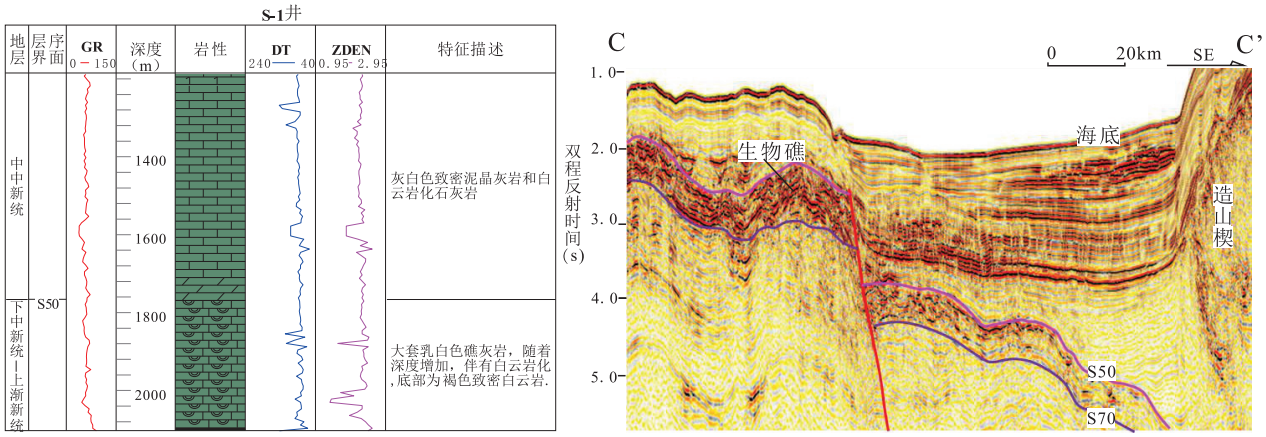

图 4 中中新统地层底界面(S50)在钻井、测井及地震剖面上的特征

(地震测线位置见图 1,C-C')

Fig. 4 Outline of lithology, well logs, palaeontology and seismic reflection profiles at the basal boundary (S50) of the middle Miocene strata

的影响,华南陆缘随古南海向南的俯冲消亡,在 NW－SE 向拉张应力场作用下开始了广泛的陆缘张裂作用,形成了一系列的伸展断陷盆地系,而 S100 界面代表了裂陷盆地的初始发育破裂面(张裂不整合面)。因此,S100 界面是礼乐盆地新生代裂陷作用的起始面,也是盆地由中生代陆缘压性构造体制向新生代陆缘张性构造体制转换的界面。

始新世时期,古南海持续向南俯冲于卡加延火山脊之下,至早渐新世中晚期(32Ma),南海中央海盆开始发生海底扩张,形成了破裂不整合,礼乐盆地 S70 界面即在此背景下形成,代表了礼乐地块从北部中沙隆起位置裂离出来的时间点(28.4Ma)。礼乐地块和华南陆缘裂离之后,伴随着古南海的继续俯冲过程而向南漂移。至早中新世末,礼乐地块与婆罗洲－巴拉望地块碰撞,古南海关闭,新南海停止扩张,礼乐盆地漂移结束,基本定位于现今位置。

南海扩张停止后,南海南部陆缘盆地则因与加里曼丹地块的碰撞而表现出挤压性质。大约在 16 Ma 时,菲律宾岛弧到达南海东部,同时由于苏禄海进一步扩张向北挤压,使巴拉望地块向南沙地块仰冲,导致礼乐盆地南缘地壳下拗挠曲。因此,S50 界面总体表现为不整合面特征,为南海南部沙巴造山运动以及南海海底扩张停止的响应界面。

由此,根据层序界面所对应的地质年代及其和区域构造时间的响应关系,以这 3 个构造层序界面为界,将礼乐盆地的沉积充填演化过程划分为陆缘裂陷阶段(S100—S70)、地块漂移阶段(S70—S50)及前陆沉降阶段(S50—现今)3 个构造演化阶段(表 1),分别对应于“伸展宽缓型”、“张扭收缩型”、“压陷坳陷型”3 期原型盆地的发育演化(图 5)。

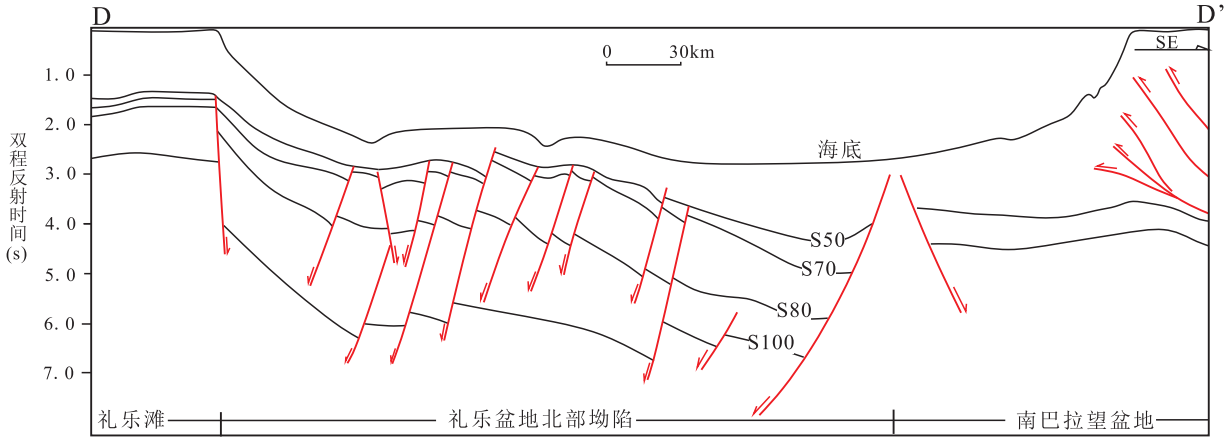

图 5　礼乐盆地新生代盆地结构特征

(地震测线位置见图 1,D-D')

Fig. 5　Architectures of the Lile Basin during the Cenozoic

2.2　有利于形成优质储集空间

构造层序界面不仅揭示了礼乐盆地构造性质的变化,其沉积体系类型也发生了相应的变化,由古新世—始新世—早渐新世的三角洲、滨浅海－半深海相沉积演化为晚渐新世—现今的浅海－陆架－碳酸盐台地相沉积为主(图 6)。同时,这些构造层序界面对应的不整合界面也是控制碎屑岩储层和碳酸盐岩溶储层的重要控制因素。以北部坳陷为例,受南海运动(28.4Ma)的影响,东部断阶带 S70 以下地层隆升剥蚀形成大的不整合界面,为在地块漂移阶段形成的碳酸盐岩台地及台地边缘礁滩相储集体提供了有利的地貌条件。由于后期南沙运动(16.0Ma)的构造抬升,礁滩相储集体遭受风化剥蚀和淋滤作用,在地表水和地下水的共同作用下,形成了储集物性高的岩溶储集体。

2.3　油气横向长距离运移的重要通道和油气成藏的关键

层序不整合面是油气横向长距离运移的重要通道,也是礼乐盆地新生代油气成藏的关键。目前礼乐滩已发现的 Sampaguita 气田,在古新统、下始新统和上始新统砂岩钻获气层,天然气储量达 3～20TSCF[17]。来自盆地深凹处上白垩统、古新统和始新统的烃源岩层生成的油气,首先由断裂垂向运移,再通过输导砂体和不整合面长距离横向运移至

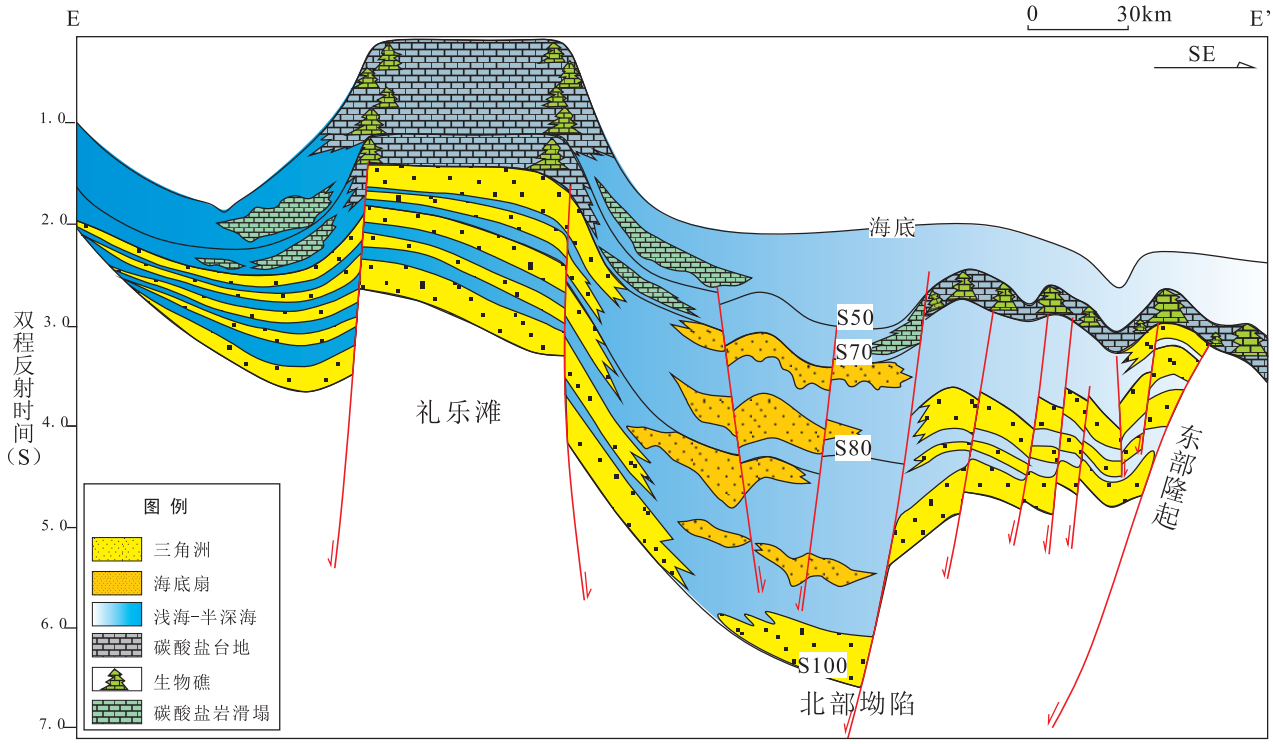

图6 过礼乐盆地北部坳陷典型地质剖面(地震测线位置见图1,E-E')

Fig. 6 Representative geological section across the northern part of the Lile Basin

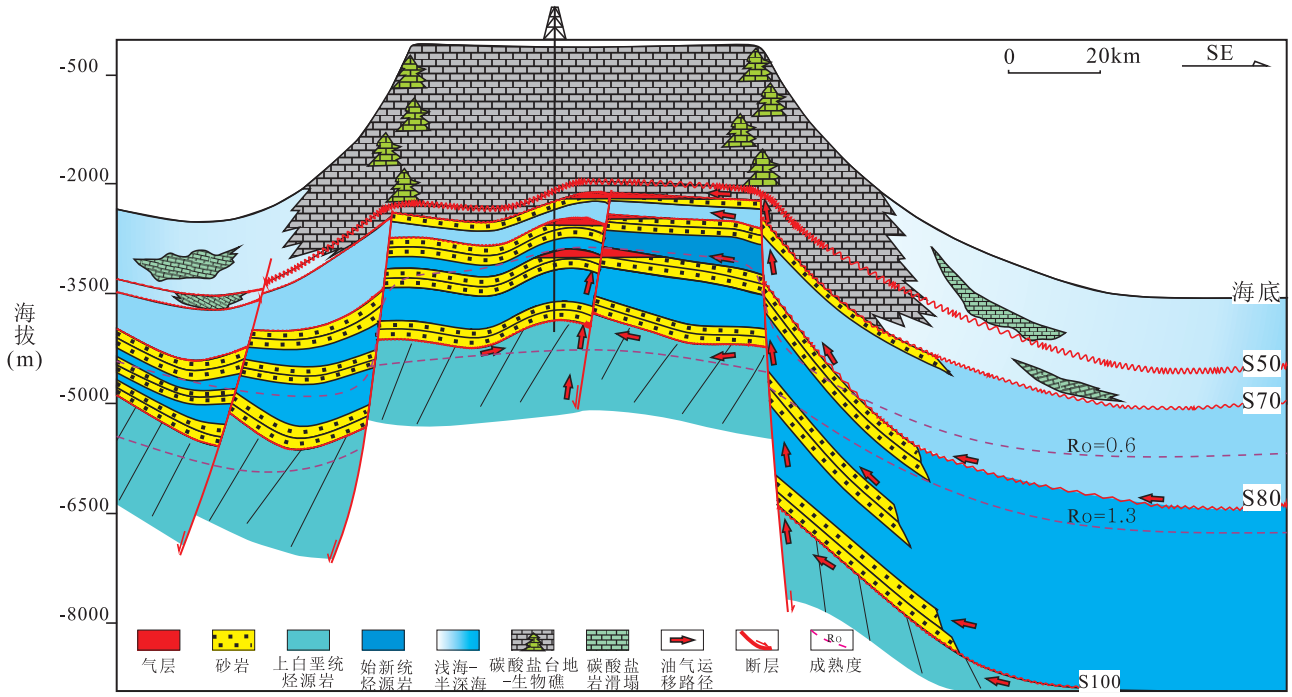

图7 礼乐盆地"茉莉花"含气构造成藏模式图

Fig. 7 Model for the hydrocarbon accumulation in the "jasmine flower" type gas-bearing structures in the Lile Basin

有利的储集区带运聚成藏(图 7)。

3　结论

(1)S100、S70、S50 是礼乐盆地新生代构造演化阶段的 3 个关键性构造层序界面。钻井上,是岩性、电性以及标志古生物种属和数量的突变面;地震剖面上,是区域性的不整合界面。

(2)这 3 个构造层序界面反映了关键时期礼乐盆地性质的转化,将礼乐盆地的沉积充填演化过程划分为陆源裂陷阶段(S100—S70)、地块漂移阶段(S70—S50)及前陆沉降阶段(S50—现今)3 个构造演化阶段,分别对应于"伸展宽缓型"、"张扭收缩型"、"压陷坳陷型"3 期原型盆地的发育演化。

(3)构造层序界面对应的不整合界面是控制碎屑岩储层和碳酸盐岩溶储层的重要控制因素,有利于形成优质储集空间。

(4)构造层序界面是礼乐盆地油气横向长距离运移的重要通道和油气成藏的关键。

致谢:本次论文参阅了中国地质大学(武汉)陆永潮教授、中海石油(中国)有限公司湛江分公司、中海油研究总院的大量内部资料和研究成果,在此一并表示衷心的感谢。

参考文献:

[1] 刘振湖. 南海南沙海域沉积盆地与油气分布[J]. 大地构造与成矿学,2005,29(3):410 - 417.

[2] 孙龙涛,孙珍,詹文欢,等. 南沙海域礼乐盆地油气资源潜力[J]. 地球科学(中国地质大学学报 2010,35(1):137 - 145.

[3] 张莉,沙志彬,王立飞. 南沙海域礼乐盆地中生界油气资源潜力[J]. 海洋地质与第四纪地质,2017,27(4):97 - 102.

[4] 李颂,杨树春,仝志刚, 等. 南海南部礼乐盆地深水区烃源岩生烃潜力研究[J]. 天然气地球科学,2012,33(6): 1070 - 1076.

[5] 高红芳,曾祥辉,刘振湖,等. 南海礼乐盆地沉降史模拟及构造演化特征分析[J]. 大地构造与成矿学,2005,29(3):385 - 390.

[6] 孙龙涛,孙珍,周蒂,等. 南沙海区礼乐盆地沉积地层与构造特征分析[J]. 大地构造与成矿学,2008,32(2):151 - 158.

[7] 杨树春, 仝志刚, 郝建荣,等. 南海南部礼乐盆地构造热演化研究 [J]. 大地构造与成矿学,2009,33(3):259 - 364.

[8] 张莉,李文成,曾祥辉. 礼乐盆地地层发育特征及其与油气的关系[J]. 石油实验地质,2003,25(5):469 - 480.

[9] 阎贫,刘海龄,邓辉. 南沙地区下第三系沉积特征及其与含油气性的关系[J]. 大地构造与成矿学,2005,29(3):391 - 402.

[10] 李鹏春,赵中贤,张翠梅,等. 南沙海域礼乐盆地沉积过程和演化[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2011,36(5):837 - 844.

[11] 丁巍伟, 李家彪, 黎明碧. 南海南部陆缘礼乐盆地新生代的构造 - 沉积特征及伸展机制:来自 NH973 - 2 多道地震测线的证据[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2011,36(5): 895 - 904.

[12] 王一博,张功成,赵志刚,等. 南海边缘海构造旋回对沉积充填的控制——以礼乐盆地新生代沉积为例[J]. 石油学报,2016,37(4):474 - 482.

[13] 吴时国,赵学燕,董冬冬. 南沙海区礼乐盆地碳酸盐台地地震响应及发育演化[J]. 地球科学(中国地质大学学报),2011,36(5):807 - 814.

[14] 方鹏高,丁巍伟,方银霞,等. 南海礼乐滩碳酸盐台地的发育及其新生代构造响应[J]. 地球科学,2015,40(12):2052 - 2066.

[15] 谢晓军,张功成,刘世翔,等. 礼乐盆地漂移前的位置探讨[J]. 科学技术与工程, 2015,15(2):8 - 13.

[16] 李思田,程守田. 鄂尔多斯盆地东北部层序地层及沉积体系分析[M]. 北京:地质出版社,1992.

[17] 阎贫,王彦林. 南沙礼乐盆地 Sampaguita 气田发现的启示[J]. 海洋开发与管理,2013,30(S1):64 - 67.

Cenozoic tectonic sequence boundary and petroleum geological significance of the Lile Basin, South China Sea

ZUO Qianmei[1,2], LI Junliang[1,2], PEI Jianxiang[1,2], LUO Wei[1,2], DENG Lihua[1,2]
(1. *Hainan Energy Co., Ltd., CNOOC, Haikou* 570100, *Hainan, China*; 2. *Zhanjiang Branch, CNOOC, Zhanjiang* 524057, *Guangdong, China*)

Abstract: The Lile Basin is a major petroliferous basin with great potential of petroleum resources in the deep-water sea domain of the South China Sea. The key tectonic sequence boundaries S100, S70 and S50 generated during the Cenozoic deposition and filling are discussed in detail in lithology, well logs, palaeontology and seismic reflection profiles in the light of the principles and methods of sedimentology and sequence stratigraphy, and regional tectonic evolution. The tectonic sequence boundaries cited above are considered as the lithologic and electric abrupt surfaces. There are also the saltatory evolution in the biospecies and numbers in the palaeontological evolution at or near the tectonic sequence boundaries. In the seismic reflection profiles, the tectonic sequence boundaries appear as the regional unconformities characteristic of onlap, downlap or truncation. The tectonic sequence boundaries represent the transition of the Lile Basin during the major tectonic evolutionary stages, benefit to the formation of the high-quality reservoir spaces, and serve as the pathways for the long-distance oil and gas migration and the sites of hydrocarbon accumulation in the Lile Basin.

Key words: Lile Basin; Cenozoic; tectonic sequence boundary; criteria for recognition; petroleum geological significance