

doi:10.3799/dqkx.2016.039

珠江口盆地荔湾凹陷珠江组关键地质界面 SB21 的识别及地质意义

刘思青^{1,2}, 张翠梅^{1*}, 孙 珍¹, 庞 雄³, 申 俊³, 邱 宁¹

1. 中国科学院南海海洋研究所边缘海地质重点实验室, 广东广州 510301

2. 中国科学院大学, 北京 100049

3. 中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 广东广州 510240

摘要: 荔湾凹陷是珠江口盆地最南部的一个超深水凹陷, 其结构特点、沉积过程研究是认识被动陆缘演化的重要内容。运用地震地层学方法, 基于高分辨率 2D/3D 地震资料的沉积追踪与对比, 一个特征明显且全区可追踪的地质界面——SB21 界面被识别出。该界面上下揭示出多种沉积现象: 北部剥蚀区、中北部的沉积物过路区、中南部冲沟和沉积物波叠置区、南部的沉积物堆积区。推测这种沉积样式的多样性与发生在 23.8 Ma 前后的白云运动有密切关系, 该构造运动造成荔湾凹陷的差异性沉降, 主要表现为荔湾凹陷中南部的快速沉降, 导致凹陷北部及中东部的相对抬升。该期构造运动使原有的沉积平衡发生改变, 造成沉积物的再分配, 沉积物从北部剥蚀区经过路区向中南部堆积区运移。自东向西发育的冲沟, 推测与该时期差异沉降导致中东部近南北走向的相对隆起与西侧沉降区的差异沉降, 以及有来自凹陷东北角的物源叠加作用有关。SB21 界面的沉积反射特征研究, 揭示了洋陆边界复杂多变的沉积过程及其驱动机制, 对我们认识更大区域的构造沉积过程具有一定的帮助。

关键词: 珠江组; 冲沟; 沉积物波; 海底扇; 荔湾凹陷; 珠江口盆地; 海洋地质。

中图分类号: P736.1

文章编号: 1000-2383(2016)03-0475-12

收稿日期: 2015-07-15

Characteristics and Significances of the Geological Boundary SB21 in the Zhujiang Formation of the Liwan Sag, Pearl River Mouth Basin

Liu Siqing^{1,2}, Zhang Cuimei^{1*}, Sun Zhen¹, Pang Xiong³, Shen Jun³, Qiu Ning¹

1. Key Laboratory of Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3. CNOOC Ltd., Shenzhen, Guangzhou 510240, China

Abstract: Liwan sag is an ultra deep water sag in the southernmost of the Pearl River Mouth Basin (PRMB), whose structural characteristics and sedimentary process is the important part of passive margin evolution. Using seismic stratigraphy, structures and sedimentation analysis were carried out on high-resolution 2D/3D seismic data in the Liwan Sag of the PRMB. A significant geological boundary with obvious characteristics in the Zhujiang Formation could be identified and traced—SB21. Above the sequence boundary, four types of deposition were identified: the denudation zone in the north, the sediment passing zone in the central-north, the superimposition zone of sediment waves over gullies in the central-south, the sediment accumulation zone in the South. It's suggested that the various depositional pattern has a close relationship with the tectonic movement—Baiyun Movement—which happened in 23.8 Ma. The tectonic movement caused the differential subsidence of Liwan Sag. Accelerated subsidence happened in the central and south of the sag, and the relative uplift in the north and east. The former sedimentation equilibrium was destroyed and led to redistribution of the sediments. Sediments migrate from the northern denudation zone and

基金项目: 十二五油气重大专项子课题(No. 2011ZX05025-003-005); 国家自然科学基金项目(Nos. U1301233, 41106055, 41206038); 海洋地质国家重点实验室(No. MGK1213); 中国科学院边缘海地质重点实验室(No. MSGLMSGL13-05).

作者简介: 刘思青(1990—), 女, 硕士, 主要从事海洋地质专业研究. E-mail: lsq13140307@126.com

*** 通讯作者:** 张翠梅, cmzhang@scsio.ac.cn

引用格式: 刘思青, 张翠梅, 孙珍, 等, 2016. 珠江口盆地荔湾凹陷珠江组关键地质界面 SB21 的识别及地质意义. 地球科学, 41(3): 475-486.

migrated along the passing zone and finally deposited at the accumulation zone. We inferred that the gullies which move from east to the west were related to the differential subsidence during this period. The differential subsidence caused topographic gradient change between the NS-trending uplift and the sag center. The study of the sedimentary reflection characteristics at the boundary SB21 reveals the complicated sedimentary process and its driving mechanism in ultra deep water area, which will make great contribution to the tectonic sedimentary process in larger areas.

Key words: Zhujiang Formation; gully; sediment wave; submarine fan; Liwan sag; Pearl River Mouth Basin; marine geology.

不整合界面的存在往往对应着沉积盆地构造和环境的变化,因此对不整合界面的识别、追踪和描述,有助于揭示盆地构造演化过程、沉积充填状态及动力学机制(林畅松,2009). 位于南海北部大陆边缘珠江口盆地的荔湾凹陷(图 1)经历了非常复杂的构造演化,在其内部已经识别出多个记录着重大地质事件的不整合界面(田巍等,2015). 例如:T70 界面(约 32 Ma)是珠江口盆地的破裂不整合界面,分隔盆地的裂陷阶段和裂后阶段,界面上下的构造样式、断层活动性、地层厚度、沉积样式等都发生了明显的变化(李平鲁,1993;Sun *et al.*, 2014);T60 界面(约 23.8 Ma)是白云运动在珠江口盆地中的记录(庞雄等,2007),该运动导致珠江口盆地陆坡发生向北跃

迁,并使得荔湾凹陷水深进一步增加(施和生等, 2010);T20 界面(约 10.5 Ma)是东沙运动在珠江口盆地的记录,主要表现为沉积物剥蚀、角度不整合等特征(赵淑娟等,2012). 上述不整合界面多记录的是区域性构造事件,因此在整个珠江口盆地内都表现为相似的特征,具有明显的空间可对比性. 荔湾凹陷位于洋陆过渡带处,受洋壳扩张、陆缘演化、深水沉积等因素的影响,其内部还发育一些反映局部构造—沉积变化的界面. 由于勘探程度较低和资料缺乏,以往的研究未能对一些局部性的地质界面加以足够的关注.

近年来,在珠江口盆地荔湾凹陷采集了大量的分辨率 2D/3D 地震资料,这些资料的获取为研究

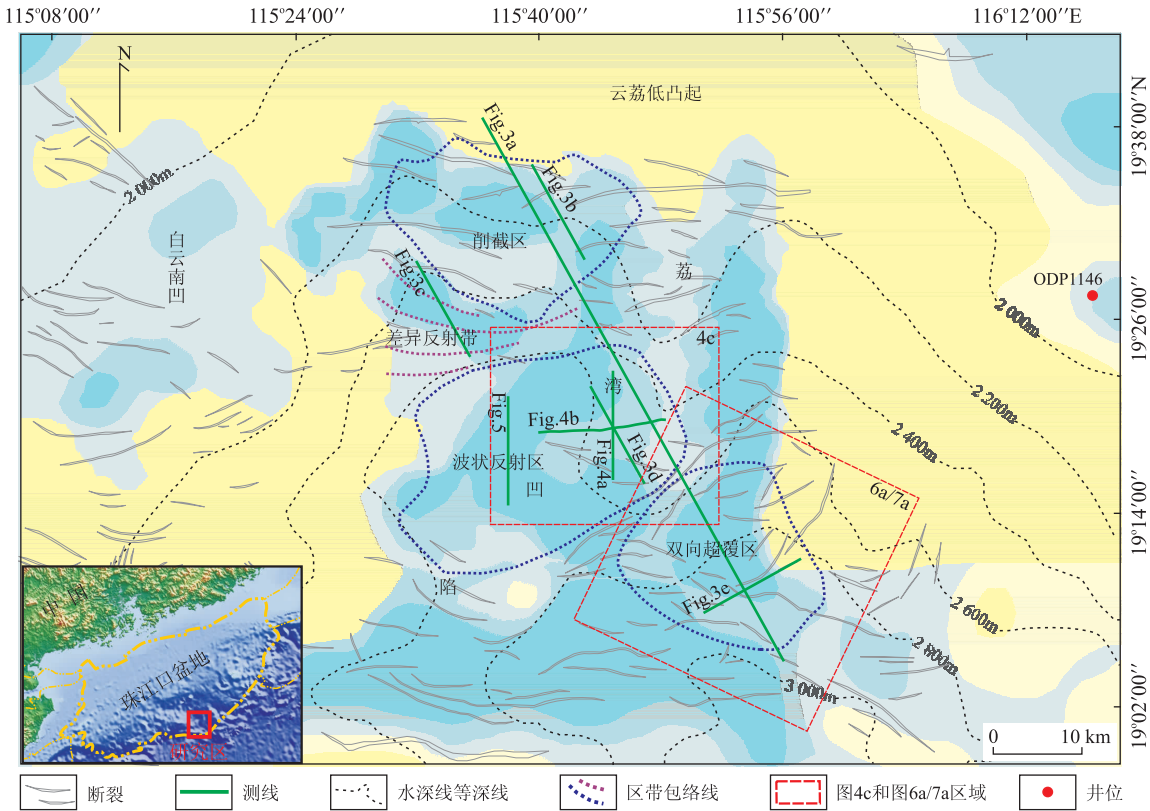


图 1 珠江口盆地荔湾凹陷区域位置及结构

Fig. 1 The regional location and main structures of the Liwan sag, Pearl River Mouth basin

其中:断裂与凹陷地形结构为 23.8 Ma 的构造,水深等值线使用的是现今水深,用以体现凹陷现今的沉积环境;左下角插入图为珠江口盆地的区域位置(黄色虚线代表盆地的范围,红色矩形为研究区的位置)

荔湾凹陷的构造格架及演化、沉积类型及内部结构、界面特征及差异等奠定了基础. 利用这些资料, 本次研究选取白云运动(SB23. 8)后最明显的一个沉积变动面——SB21 界面, 来对该期构造运动后期荔湾凹陷的构造沉积响应进行分析.

此界面位于下中新统珠江组地层 23. 8~18. 5 Ma(T60-T50 界面)之间. 通过对该界面特征的精细描述, 该界面上发生的沉积作用在不同的构造位置发生了不同性质和特点的响应, 形成了一个在荔湾凹陷全区特征清晰且空间上可追踪对比的强反射面. 可将其自北向南划分为 4 个区带: 削截区、差异反射带、波状反射区和双向超覆区. SB21 界面可能记录了荔湾凹陷在这一地质历史时期的局部性构造事件、环境变化及沉积物的搬运和堆积过程. 同时, 荔湾凹陷 SB21 界面之上平行冲沟、沉积物波和海底扇的识别对于认识洋陆边界超深水盆地沉积演变特点及其控制因素具有重要的意义.

1 区域地质背景

珠江口盆地是位于南海北部呈 NE 向展布的新生代盆地(图 1), 是在复杂基底上发育起来的被动大陆边缘盆地. 受到陆缘张裂、海盆扩张、扩张后热沉降 3 个构造演化阶段的影响, 盆地表现为南北分带特征, 北部断阶带、北部坳陷带、中央隆起带、南部凹陷带及南部隆起带组成了 NE 走向两拗三隆的构造格局(庞雄等, 2007), NE 向构造带又被 NW 向断裂切割, 形成东西分块的构造格局. 新生代以来, 珠江口盆地经历了几期大的构造运动: 神狐运动、珠琼运动、南海运动和东沙运动(李平鲁等, 1989), 对珠江口盆地物源方向、沉积作用、海平面变化等均有重要影响. 荔湾凹陷位于珠江口盆地南部(图 1), 其北部和东北部分别为白云凹陷和潮汕坳陷, 凹陷及周缘区面积达 5 000 km². 荔湾凹陷位于洋陆过渡带的特殊构造位置, 水深范围为 2 200~3 000 m, 呈现出南深北浅的特征(图 1). 与珠江口盆地其他 NE-SW

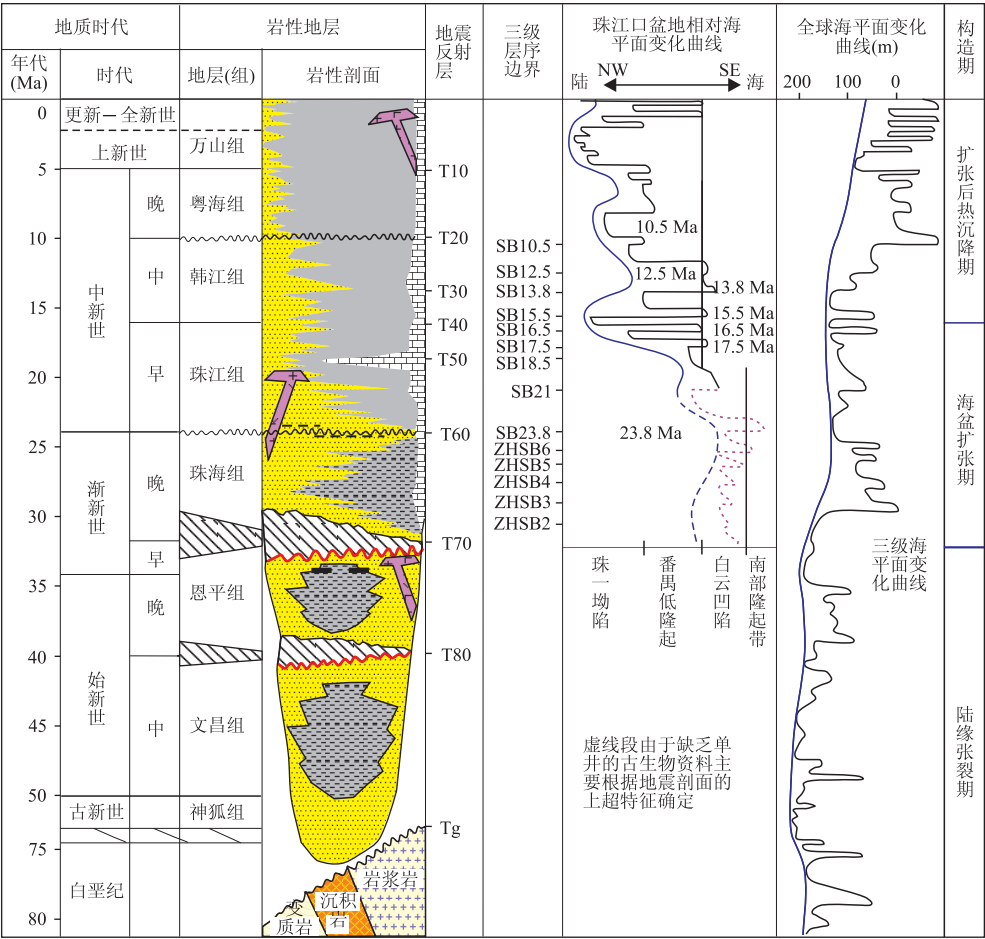


图 2 珠江口盆地新生界沉积充填序列及构造演化阶段划分(庞雄等, 2008)

Fig. 2 The Cenozoic sedimentary sequence and tectonic evolution stages in Pearl River Mouth basin

走向的构造单元不同,荔湾凹陷呈现出近 S-N 走向的特征(图 1)。

古近纪以来荔湾凹陷的沉积厚度最大可达 7 000 m(何家雄等,2008),自下而上发育 8 个三级层序,依次为始新统的文昌组、恩平组和渐新统的珠海组,中新统的珠江组、韩江组和粤海组,上新统的万山组和第四系地层(图 2)。从珠江口盆地的破裂不整合 T70 界面开始,位于洋陆过渡带的荔湾凹陷将会受到海底扩张和陆缘演化的双重影响。从早中新世开始(T60 界面,约 23.8 Ma)(图 2),珠江口盆地的陆架坡折从荔湾凹陷北部开始发生向北的跃迁,至番禺低隆起南部,因此从 23.8 Ma 开始荔湾凹陷从深水逐渐过渡为超深水环境(庞雄等,2008;吴景富等,2012)。SB21 界面位于早中新世的充填序列之中,介于 T60-T50 界面之间(图 2),可能代表了荔湾凹陷从深水转变为超深水过程中的一个阶段性界面。

2 SB21 界面的地震反射特征及区带划分

2.1 数据和方法

本文所使用的地震资料来源于中海油深圳分公司。2D 地震测线的主要采集和处理参数是:采用 576 道长排列电缆,道间距为 12.5 m,炮间距为 37.5 m,偏移距为 200~7 400 m,采样率为 2 ms,记录长度为 14 s,能量源是气枪震源。3D 地震资料覆盖整个荔湾凹陷,对深部反射特征的揭示较二维资料更加清晰,在本文中主要用来辅助区带范围的划分。

地层的划分有不同的方法,如岩性地层、层序地层、地震地层等,每种地层的划分都有自己特殊的标准。文中以 T 字开头的界面是地震地层界面,主要通过地震剖面的反射特征进行识别,包括反射振幅、频率、连续性以及一些终止关系(上超、下超、削截等)等特征,分辨率一般为数百米,可以反映大范围的区域构造变动,有时也可反映沉积特征(肖义越,1991),更强调地震同相轴的可追踪对比。SB(Sequence Boundary)是层序地层界面,是根据不整合面和与之对应的整合面确定的一套成因相关的地层,强调层序界面及其等时性。同时,层序地层在地震资料的基础上又结合了一些露头、岩心、测井和钻井资料,所以精度更高,分辨率可达到厘米级别,层

序地层更注重研究沉积特征、岩性等小尺度的变化(李思田等,1992)。

中新世珠江组—韩江组沉积以来的白云深水区层序地层格架的认识,前人已作相当系统的工作。层序地层的年龄主要来源于古生物事件的测年资料,三级层序边界和最大海泛面是以有孔虫定量分析参数、其中以个体大于 0.25 mm 的浮游有孔虫丰度作为主要依据(秦国权,1996),并结合地震、钻井等多种资料对层序界面表征识别和相互综合印证,在距今 21.0~10.5 Ma 的地层中,共识别出 7 个层序边界,即 SB21、SB17.5、SB15.5、SB13.8、SB12.5 和 SB10.5,建立了包含 6 个三级层序的白云深水陆坡区层序地层格架,划分出各层序内的低位体系域和高位—海进体系域(彭大钧等,2005;柳保军等,2007)。荔湾凹陷是白云深水区最南端的一个凹陷,凹陷内部暂无钻井,本文研究的 SB21 界面主要是根据北部白云凹陷的三级层序追踪过来,且该界面表现为强连续反射、界面上下反射特征差异大的特点,与白云凹陷具有一定的可比性。

本文主要运用地震地层学的方法,根据荔湾凹陷高精度的地震资料,通过对 SB21 界面上下的反射特征和终止关系的识别,对 SB21 界面的特征进行精细的描述和刻画,分析确定区域构造变动及其对沉积作用的控制。

2.2 典型地震反射特征的区带划分

基于荔湾凹陷全区覆盖的 2D/3D 地震资料,自北向南,SB21 界面均表现为强振幅反射、连续性好的特征(图 3a),但地震反射同相轴的接触关系和界面上下的反射特征存在明显的差异,据此可划分出 4 个区带(图 1):北部的削截区、中北部的差异反射带、中南部的波状反射区、南部的双向超覆区。4 个区带内 SB21 界面的典型地震反射特征如图 3 所示。

(1)北部削截区。SB21 界面在凹陷北部为强振幅、连续性好的地震反射同相轴,与下伏地层呈现明显的角度不整合,且表现为强烈的削截特征(图 3b)。同时界面上下的反射特征存在明显的差异,界面之下为亚平行、中等反射强度的一套地震反射同相轴;界面之上则表现为弱—中等强度的杂乱反射(图 3b),这种杂乱的反射特征一直延续至 SB18.5 界面。

(2)中北部差异反射带。在凹陷中北部,SB21 界面仍然具有强振幅、连续性好的特征。虽然地震反射同相轴的接触关系具有“整合”的接触特征,但界面上下的反射差异是非常明显的:界面之下为连续性

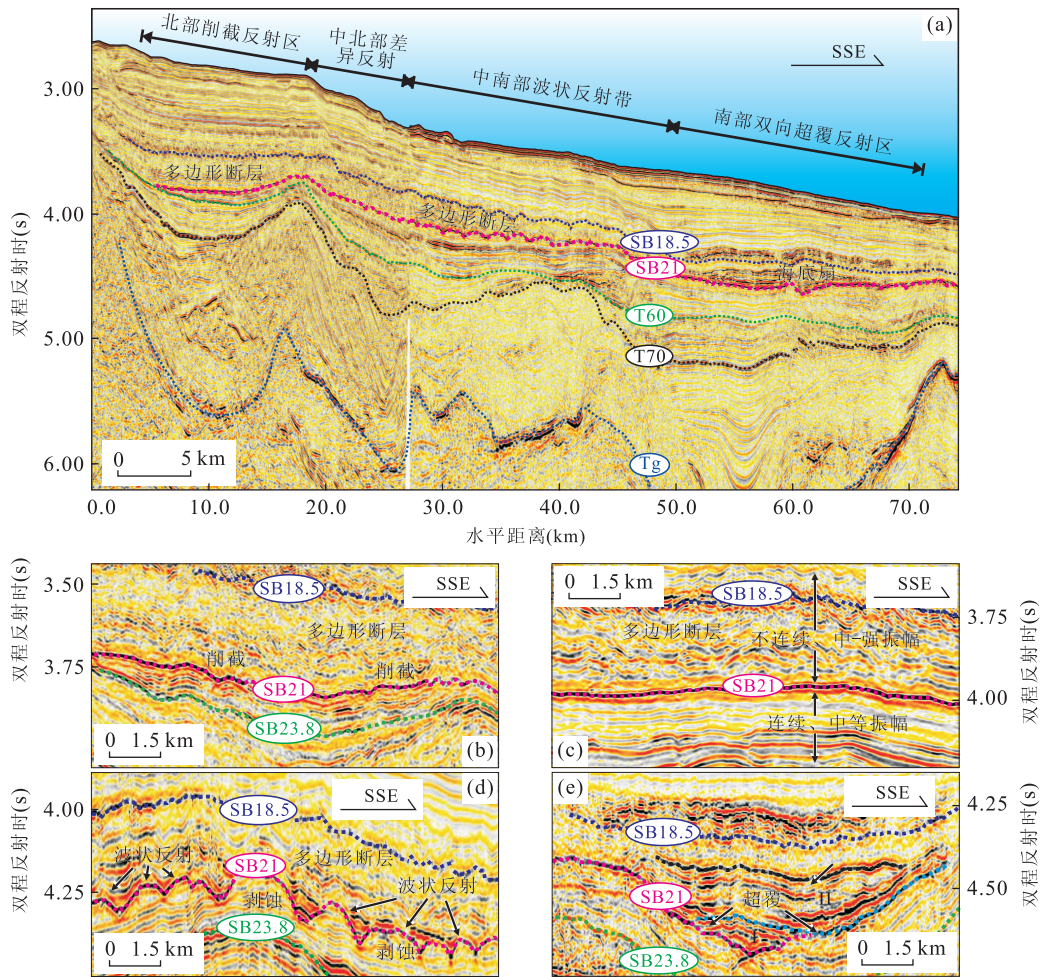


图 3 珠江口盆地荔湾凹陷区域地震反射特征(a)和 SB21 界面典型地震反射特征(b~e)

Fig. 3 The regional seismic reflection characteristics of Liwan sag, Pearl River Mouth basin (a) and typical seismic reflection characteristics of SB21 boundary (b~e)

b. 北部削截反射特征;c. 中北部差异反射特征;d. 中南部波状反射特征;e. 南部双向超覆反射特征;I-II代表两期海底扇;各剖面具体位置参见图 1

好、弱—中等强度的反射特征,界面之上为断续、中等强度的反射同相轴,局部表现为杂乱的特征(图 3c).

(3)中南部波状反射区. 在凹陷中南部,与下伏的连续性好、中等强度的反射特征相比,SB21 界面表现为强振幅的波状反射特征,且具有对下伏地层较为明显的冲蚀,界面之上通常可见强振幅地震反射同相轴的充填(图 3d). 从近 NS 向的剖面中可以观察到一系列强振幅反射体,位于 SB21 界面之上,宽度为 1 800~2 000 m,厚度为 0. 05~0. 10 ms(双程旅行时间),呈现为“间距向南衰减”的特征(图 4a). 充填波谷的强振幅反射体在沿波谷底部走向的近 E 向剖面上(图 4b),表现出强连续的地震反射特征,与下伏地层大部分区域整合接触,在东端削截下伏地层,上覆地层向东、西两侧双向下超.

(4)南部双向超覆区. 至凹陷的南部,依然可以

观察到 SB21 界面连续性好、中等强度的反射特征,此外连续性好、强振幅的同相轴以垂向叠置的方式超覆于界面之上(图 3e). 根据 SB21 界面之上的内部接触关系,这些充填的强振幅反射同相轴可以划分为 2 个大的期次(图 3e),这种期次性可能暗示了凹陷南部 SB21 界面的存在并非一次沉积事件的结果,而是一个沉积包络面,接受 2 期甚至更多期的沉积充填.

3 沉积体类型与成因分析

3.1 波状反射体

在深水背景下,生物礁、冲沟、沉积物波等都可以形成似波状的海底底形. 通过对波状反射特征的精细刻画,发现这套反射的波谷和波峰均呈近 EW 向长条形展布(图 4c). 生物礁与该波状反射体特征

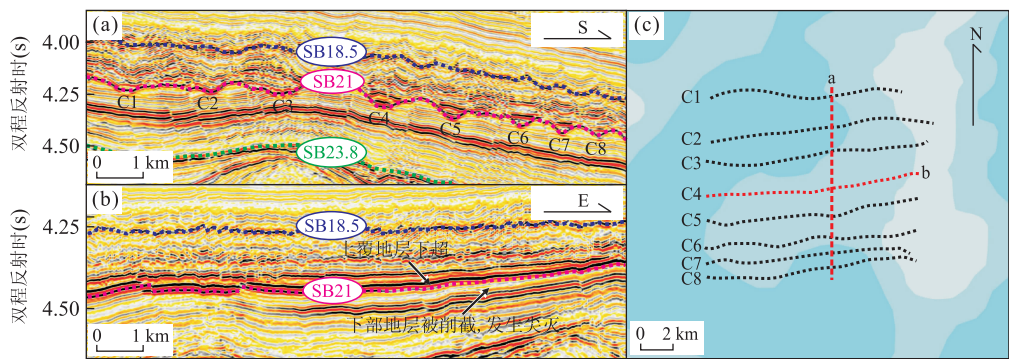


图 4 波状反射区的空间特征(平面和剖面具体位置参见图 1,平面图的底图是 23.8 Ma 构造图)
Fig. 4 Wave reflection characteristics in S and E direction

地质体类型		特征	地震剖面
冲沟 (Lonergan <i>et al.</i> , 2013)		冲沟通常发育在海底斜坡上, 侵蚀下部地层并可以作为沉积物运移的通道。从陆坡向下冲沟变窄变浅, 沟间距变窄, 分布不均匀。顺延深泓线方向, 冲沟侵蚀下部地层, 下部地层向下逐渐尖灭	
沉积物波 (王海荣等, 2007)	浊流沉积波	1. 往往出现在巨大的水下峡谷、槽沟的天然堤和峡谷间地区, 有明确物源, 分布比较局限, 向远离物源方向衰减; 2. 向上陆坡方向迁移, 波状沉积层之下为平行反射的层状地层, 无侵蚀特征; 3. 波域沉积物分选性差	
	等深流沉积波	1. 以顺陆坡走向、大致平行于等深线流动的地转等深流为主, 多发育于半封闭环境, 无明确物源; 2. 向上陆坡方向迁移, 波的下陆坡方向一翼厚度薄且具侵蚀特征, 上陆坡一翼厚度大呈加积特征; 3. 波域沉积物分选性好	
珊瑚礁 (魏喜等, 2005; 杨涛涛等, 2011)		生物礁一般生长于水下隆起部位, 地震反射特征表现为顶部底部为强振幅反射, 内部为空白反射或杂乱反射。主要发育在温暖、透光、洁净且具有正常盐度的浅水环境	

图 5 冲沟、沉积物波和珊瑚礁的地质特征对比

Fig. 5 The geologic features of gully, sediment wave and coral reefs

上具有很大相似性,但生物礁的发育对生长环境要求严格,主要发育在温暖、透光的浅水环境(魏喜等, 2005),这与荔湾凹陷 23.8 Ma 之后处于深水沉积环境的认识不一致。在近 SN 向的一系列地震剖面上显示,单个波谷的规模由西向东先增大后减小,在中央古隆起地形处波谷的宽度和深度均达到最大,

向周缘地区波谷规模减小,数量增多(图 4a)。在顺延波状反射谷底的剖面上可发现下部地层被削割,并且逐渐尖灭(图 4b)。结合该波状反射体的发育规模来看,该波状反射与冲沟具有很大相似性(图 5),并且根据冲沟东侧向下削截的强反射特征,推测东侧为冲沟上游,西侧为下游。在该波状反射之上发育

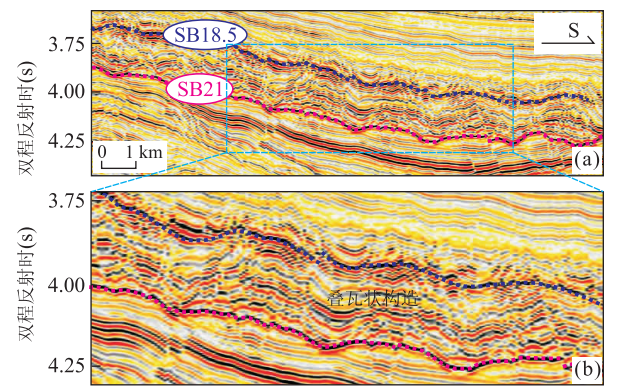


图 6 荔湾凹陷古沉积物波的叠瓦状构造(剖面具体位置参见图 1)
Fig. 6 The imbricate structure of the ancient sediment wave in the Liwan Sag

一套类似沉积物波的地质体,一般来说,沉积物波具有 3 种成因:浊流、等深流和沉积物变形(Wynn *et*

al., 2002). SB21 之上这类波状反射沉积层呈叠瓦状构造(图 6),其发育在北部削截区以南和东部古隆起以西,所以推测其有来自于北部和东部的双向物源,推测为浊流沉积物波,且表现为幅度和波长的向南衰减(图 5). 综上,本次研究将 SB21 界面之上的波状反射解释为由早期局部构造变动形成的冲沟和后期冲沟之上发育的浊流沉积物波的共同成因.

3.2 双向超覆反射体

双向超覆反射体在剖面上表现为强振幅、连续性好的反射特征(图 3e),通过对这套反射同相轴的追踪,勾绘出了其平面分布范围(图 7a). 从 6 条跨该沉积体的 NE 向地震剖面中可以发现,自北向南,双向超覆体宽度逐渐变小,厚度逐渐增加(图 7b~7g). 双向超覆区处于荔湾凹陷的最南部,沉积地势上处于最低部位,推测该区为荔湾凹陷沉积物的汇

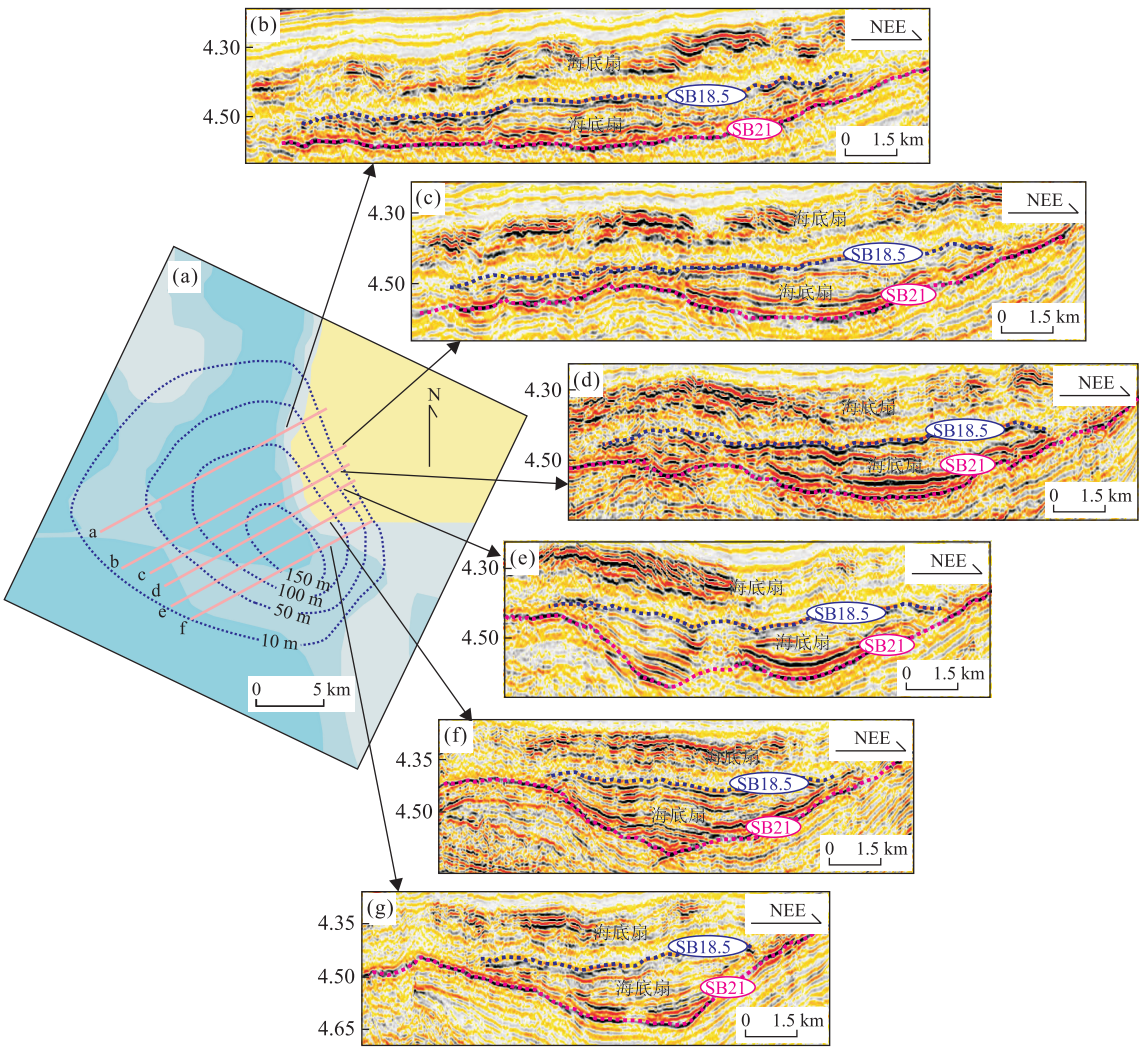


图 7 SB21 界面之上海底扇自北向南的反射特征变化(平面和剖面具体位置参见图 1;纵轴为双程反射时,单位:s)
Fig. 7 The seismic reflection characteristics of the submarine fan from north to south above SB21

聚区,双向超覆体为海底扇,是北部沉积物剥蚀、搬运并最终汇聚堆积的结果.作为深水沉积的重要组成部分,海底扇其平面上通常表现为扇型的特征.从现今珠江口外海底峡谷的地形图中可以发现,荔湾凹陷的南部正对应着珠江口海底峡谷的“嘴部”(mouth),受海底火山、底辟等构造的影响,地形明显“变窄”,形成两侧高、中间低的地貌(Ding *et al.*, 2013).据此笔者推测荔湾凹陷南部 SB21 界面之上海底扇形态自北向南的变化,可能也是主要受到地形限制的影响.同时,海底扇的内部结构自北向南也发生了变化,越往南,杂乱的反射结构占据海底扇的比例越大,强振幅同相轴的比例降低,这可能暗示了远离沉积物来源浊流侵蚀能量的降低(图 7).从 5 条 SE 向地震剖面中可以进一步描述海底扇形态的空间变化:东西两侧的扇体宽度小、厚度薄,中间的 3 条剖面应该揭示了海底扇的主体(图 8).同时,NE 和 SE 走向的地震剖面均表现出明显的双向下超特征,图 7c、7d 显示海底扇的上部沉积物 NEE 向厚,朝 SWW 向减薄超覆,根据双向下超和 NEE 向厚,SWW 向薄这两种特征,推测沉积物主要来自北部

和东部隆起区.

4 构造沉积演化特征分析

4.1 SB21 界面沉积特征的构造驱动因素分析

SB21 界面在荔湾凹陷内具有 2 个区域性的特征:(1)连续性好的强振幅反射同相轴(图 3);(2)界面上下的反射特征存在明显的差异. 如在凹陷的北部和中部,界面之下为亚平行、中等强度的一套地震反射同相轴,界面之上则为明显的“破碎—杂乱”的反射(图 3a~3c),而在凹陷的南部,界面之下亚平行、中等强度的地震反射特征仍然可以观察到,界面之上则为连续性好的强振幅反射同相轴(图 3d). 整个荔湾凹陷内 SB21 界面明显的上下差异,可能暗示了这一时期构造沉积环境发生了显著变化.

受白云运动的影响,珠江口盆地在 23.8 Ma 时期陆架坡折发生了向北的跃迁,从 23.8 Ma 时期位于荔湾凹陷的北部,到 21.0 Ma 时期位于番禺低隆起南部,陆架坡折的迁移导致荔湾凹陷进入到超深水的环境,沉积速率急剧降低(庞雄等,2012),如

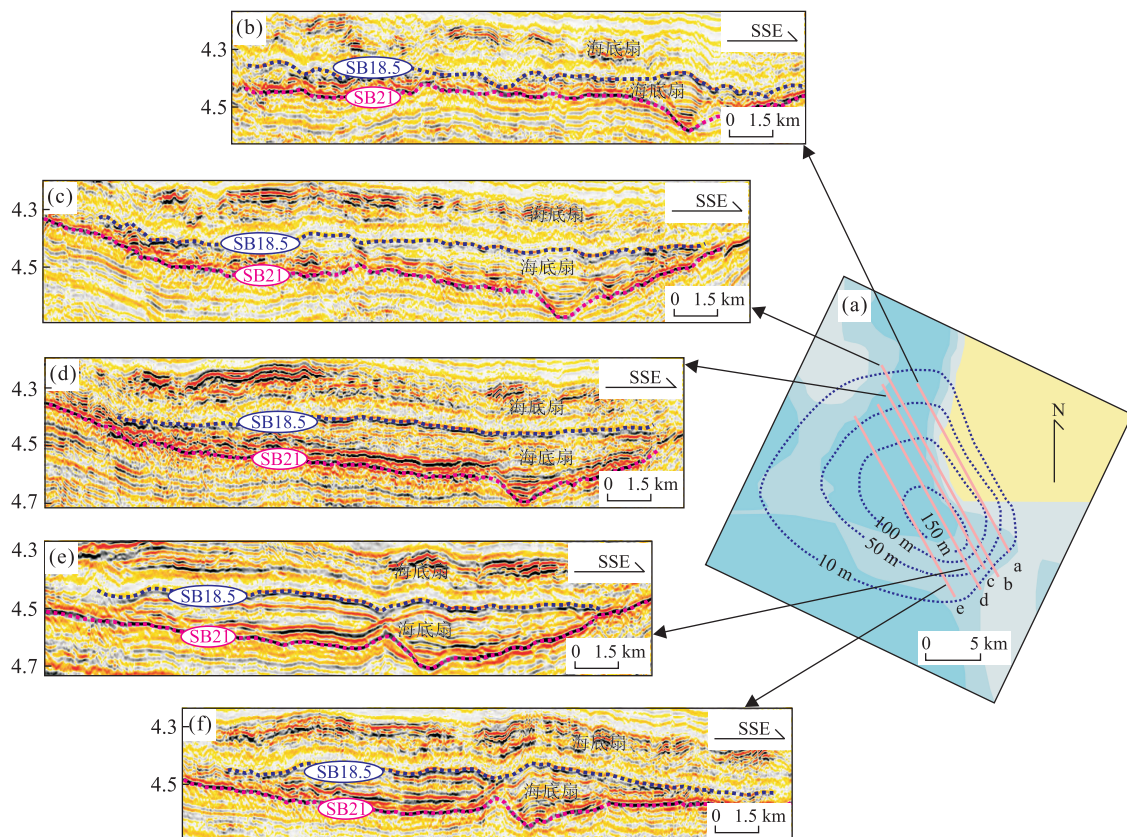


图 8 SB21 界面之上海底扇自东向西的反射特征变化(平面和剖面具体位置参见图 1;纵轴为双程反射时,单位:s)

Fig. 8 The seismic reflection characteristics variation of submarine fan from east to west above SB21

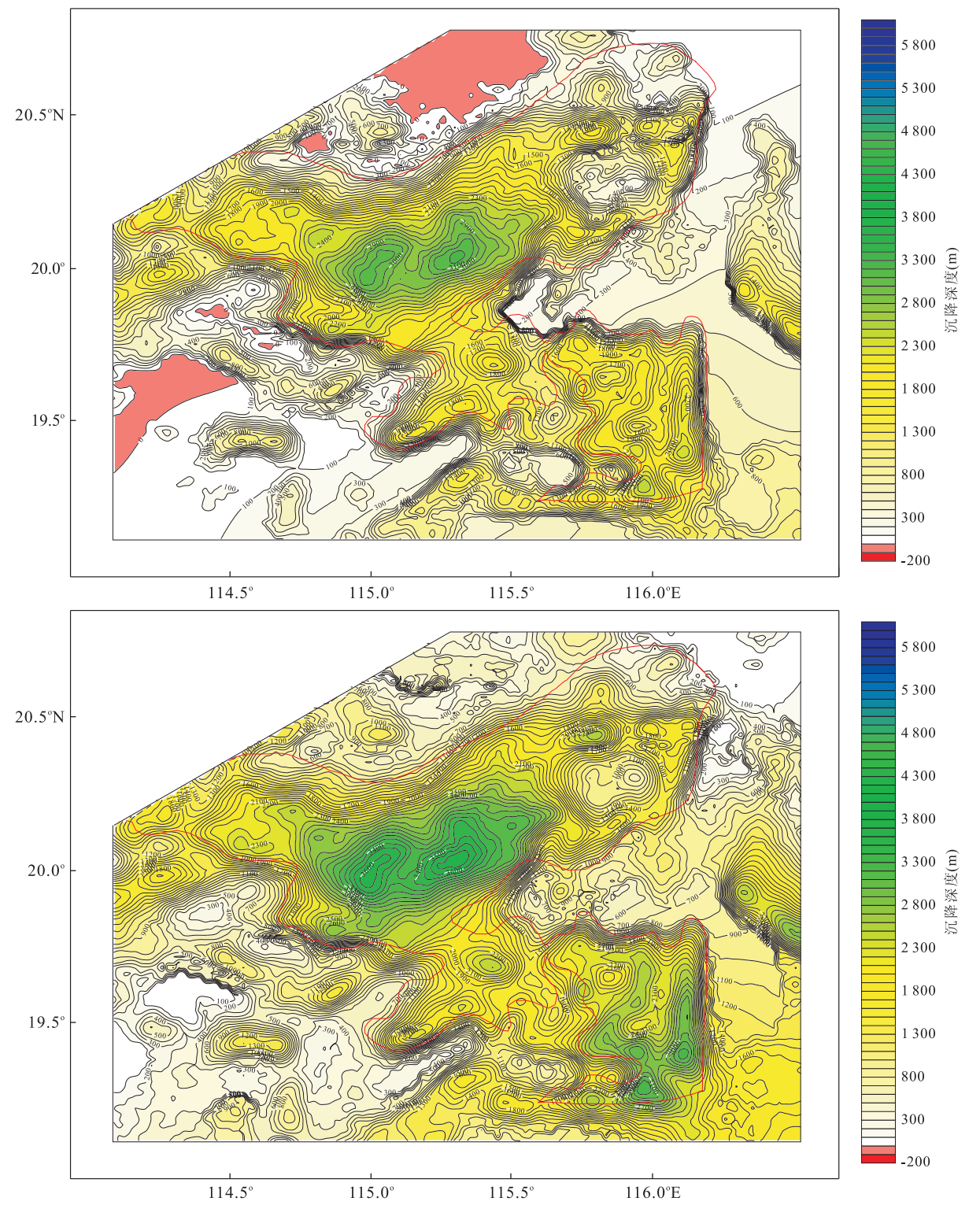


图 9 (a) T70-T60 时期构造沉降量;(b) SB23. 8-SB21 时期构造沉降量(谢辉,2014)
Fig. 9 (a) Tectonic subsidence at T70-SB23. 8; (b) Tectonic subsidence at SB23. 8-SB21

ODP1148 孔沉积速率的研究结果显示,沉积速率约为 14 m/Ma(Wang *et al.* , 2000). 因此,我们推测 SB21 界面在荔湾凹陷内表现出的“界面上下明显的反射差异”,可能与珠江口盆地 23. 8~21. 0 Ma 时

期陆架坡折的跃迁和沉积环境由深水向超深水的变化相对应. 根据构造沉降计算结果(谢辉,2014),在 T70-T60 时期,荔湾凹陷整体发生沉降(图 9a). 在 T60-SB21 期间,荔湾凹陷沉降加速,并出现了差异

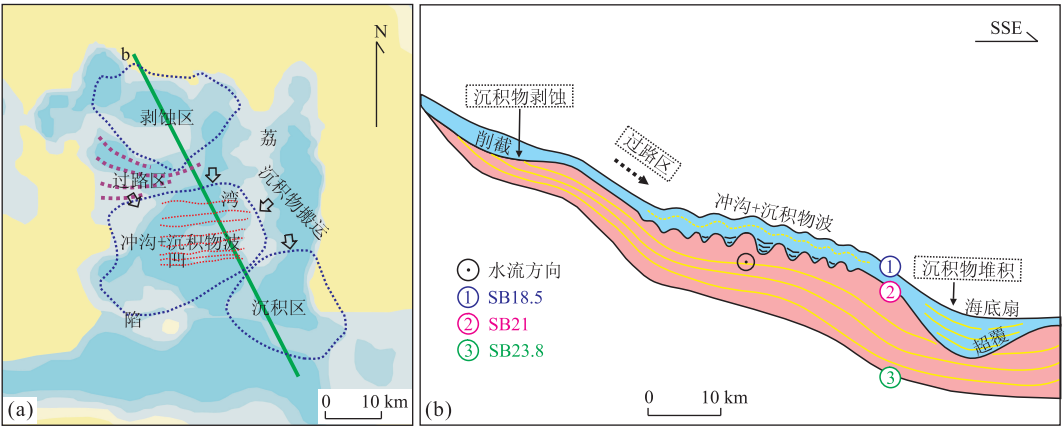


图 10 SB21 沉积界面特征地质模型(平面图的底图是 23.8 Ma 构造)
Fig. 10 The geological model above SB21

沉降,中南部较凹陷北部发生了更加快速的沉降(图 9b),此外差异沉降还导致中东部一近南北向小型低凸带起成为相对隆起区,地形梯度发生改变.推测该期构造运动的发生使得原有的沉积平衡发生改变,从而造成沉积物的再分配.凹陷北部的相对抬升区变成了水下沉积物剥蚀区,南部快速沉降区形成沉积物堆积区.

4.2 SB21 界面构造—沉积模式

从荔湾凹陷(图 10a)自北向南界面组合特征和坡度变化特征来看(图 10b),北部削截区地层发生了向上陡倾及向北增强的对 SB23.8-SB21 之前地层的削截,成为沉积物剥蚀区,同时也可能是南部下游沉积物堆积区的物源区.驱动力主要来自南部相对北部沉降更加快速的增加,SB23.8-SB21 之间反射同相轴协调一致的规律性的南倾,可支持这种认识;如果是北部云荔凸起的局部快速上隆,未必会导致荔湾凹陷内延伸较远区域的地层的协同倾斜.

差异反射带处于古坡度较大的区域,推测是作为北部剥蚀产生沉积物向南部海底扇反射区运移的过路区(图 10b).

中南部波状反射区具有相对平缓的地形,理论上可作为沉积堆积区.然而,来自东北角的物源、凹陷中央与中东部小型隆起区增大的沉降差异,导致该区域成为东西向冲沟发育的理想场所.因此在原有的自北向南的剥蚀—搬运—沉积体系之上又叠加了一套东西向的冲沟体系,根据沉积充填特征推测,冲沟发育时间较短,并快速被来自于北部和东部的沉积物充填,成为近东西向延伸的冲沟+沉积物波区(图 10a、10b).

南部双向超覆区的海底扇沉积特征表明这里是最终的沉积物堆积区,根据超覆特征,推测其同样为

北部和东部的双向物源特征,根据其构造位置推测来自东部的物源应扮演主要角色.

因此,SB21 的沉积反射特征揭示,受白云运动带来的差异沉降的影响,荔湾凹陷在 21 Ma 前后发生了较明显的沉积调整,且表现为自北向南的垂向沉积体系和自东向西近平行沉积体系的叠加影响.超深水体系复杂多变的沉积过程及其驱动机制的分析,对大家认识更大区域的构造沉积过程具有重要的促进作用.

5 结论

荔湾凹陷是珠江口盆地最南部的一个超深水凹陷,其结构特点、沉积过程研究是认识被动陆缘演化的重要内容.利用荔湾凹陷内的 2D 和 3D 地震资料,在荔湾凹陷珠江组地层中识别出一个特征明显且全区可追踪的地质界面——SB21 界面,在该界面上下识别出 4 种地震反射特征,这些特征从北至南遍布荔湾凹陷,并提出以下认识:

- (1)SB21 界面在整个凹陷内都表现为强振幅、连续性好的反射特征,且界面上下都存在着明显的反射异常.自北向南按照界面反射差异划分了 4 个区带:北部削截区、中北部差异反射带、中南部波状反射区和南部双向超覆区.
- (2)通过对沉积体类型分析和判断,认为中南部区域的波状反射体为早期局部构造变动形成的冲沟和后期发育的浊流沉积物波的共同成因,而南部区域的双向超覆体为来自于北部和东部物源共同控制的海底扇沉积.
- (3)SB21 界面上下反射特征的差异、界面特征

的多样性以及沉积类型的空间分布差异指示了该时期荔湾凹陷发生了显著的沉积变革. 白云运动的发生使得地层发生了差异性沉降, 原有沉积区和剥蚀区的地貌发生改变, 从而造成沉积物的再分配, 这对于认识洋陆边界沉积盆地演变特点及其控制因素具有重要的意义.

致谢: 本论文的完成得到了中国科学院广州能源研究所苏明博士的多番重要指导, 这里表示十分感谢. 此外, 还要感谢两位匿名审稿人, 他们的仔细评阅和建设性的修改意见都对本文的提高起到了重要的推动作用.

References

- Ding, W. W., Li, J. B., Li, J., et al., 2013. Morphotectonics and Evolutionary Controls on the Pearl River Canyon System, South China Sea. *Marine Geophysical Research*, 34(3-4): 221-238. doi: 10.1007/s11001-013-9173-9
- He, J. X., Chen, S. H., Liu, S. L., et al., 2008. Potential Petroleum Resources and Favorable Prospecting Directions in Zhujiangkou Basin in Northern Margin of the South China Sea. *Xinjiang Petroleum Geology*, 29(4): 457-461 (in Chinese with English abstract).
- Li, P. L., 1993. Cenozoic Tectonic Movement in the Pearl River Mouth Basin. *China Offshore Oil and Gas*, 5(6): 11-17 (in Chinese with English abstract).
- Li, P. L., Wang, W. P., He, Y. C., et al., 1989. Structural Features and Evolution of the Pearl River Mouth Basin. *China Offshore Oil and Gas*, 1(1): 11-18, 63-64 (in Chinese).
- Li, S. T., Yang, S. G., Lin, C. S., 1992. On the Chronostratigraphic Framework and Basic Building Blocks of Sedimentary Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 10(4): 11-22 (in Chinese with English abstract).
- Lin, C. S., 2009. Sequence and Depositional Architecture of Sedimentary Basin and Process Responses. *Acta Sedimentologica Sinica*, 27(5): 849-862 (in Chinese with English abstract).
- Liu, B. J., Shen, J., Pang, X., et al., 2007. Characteristics of Continental Delta Deposits in Zhuhai Formation of Baiyun Depression in Pearl River Mouth Basin. *Acta Petrolei Sinica*, 28(2): 49-56, 61 (in Chinese with English abstract).
- Loneragan, L., Jamin, N. H., Jackson, C. A. L., et al., 2013. U-Shaped Slope Gully Systems and Sediment Waves on the Passive Margin of Gabon (West Africa). *Marine Geology*, 337: 80-97. doi: 10.1016/j.margeo.2013.02.001
- Pang, X., Chen, C. M., Peng, D. J., et al., 2007. The Pearl River Deep-water Fan System and Petroleum in South China Sea. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Pang, X., Chen, C. M., Peng, D. J., et al., 2008. Basic Geology of Baiyun Deep-Water Area in the Northern South China Sea. *China Offshore Oil and Gas*, 20(4): 215-222 (in Chinese with English abstract).
- Pang, X., Chen, C. M., Shao, L., et al., 2012. Baiyun Movement, a Great Tectonic Event on the Oligocene-Miocene Boundary in the Northern South China Sea and its Implications. *Geological Review*, 53(2): 145-151 (in Chinese with English abstract).
- Peng, D. J., Pang, X., Chen, C. M., et al., 2005. From Shallow-Water Shelf to Deep-Water Slope—The Study on Deep-Water Fan Systems in South China Sea. *Acta Sedimentologica Sinica*, 23(1): 1-11 (in Chinese with English abstract).
- Qin, G. Q., 1996. Application of Micropaleontology to the Sequence Stratigraphic Studies of Late Cenozoic in the Pearl River Mouth Basin. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 16(4): 1-18 (in Chinese with English abstract).
- Shi, H. S., Liu, B. J., Yan, C. Z., et al., 2010. Hydrocarbon Accumulation Conditions and Exploration Potential in Baiyun-Liwan Deepwater Area, Pearl River Mouth Basin. *China Offshore Oil and Gas*, 22(6): 369-374 (in Chinese with English abstract).
- Sun, Z., Xu, Z. Y., Sun, L. T., et al., 2014. The Mechanism of Post-Rift Fault Activities in Baiyun Sag, Pearl River Mouth Basin. *Journal of Asian Earth Sciences*, 89: 76-87. doi:10.1016/j.jseae.2014.02.018
- Tian, W., He, M., Yang, Y. J., 2015. Complex Linkage and Transformation of Boundary Fault of Northern Huizhou Sag in Pearl River Mouth Basin. *Earth Science*, 40(12): 2037-2051 (in Chinese with English abstract).
- Wang, H. R., Wang, Y. M., Qiu, Y., et al., 2007. The Sediment Waves of Deep Water Environment at the Northern Continental Margin of the South China Sea. *Progress in Natural Science*, 17(9): 1235-1243 (in Chinese with English abstract).
- Wang, P. X., Prell, W. L., Blum, P., et al., 2000. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports. 9: College Station, TX (Ocean Drilling Program), 1-122.
- Wei, X., Deng, J. F., Xie, W. Y., et al., 2005. Constraints on Biogenetic Reef Formation during Evolution of the South China Sea and Exploration Potential Analysis. *Earth Science Frontiers*, 12(3): 245-252 (in Chinese with English abstract).

with English abstract).

Wu, J. F., Zhang, G. C., Wang, P. J., et al., 2012. Geological Response and Forming Mechanisms of 23.8 Ma Tectonic Events in Deepwater Area of the Pearl River Mouth Basin in South China Sea. *Earth Science*, 37(4): 654—666 (in Chinese with English abstract).

Wynn, R. B., Piper, D. J. W., Gee, M. J. R., 2002. Generation and Migration of Coarse-Grained Sediment Waves in Turbidity Current Channels and Channel-Lobe Transition Zones. *Marine Geology*, 192(1—3): 59—78, doi: 10.1016/s0025—3227(02)00549—2

Xiao, Y. Y., 1991. Seismic Stratigraphy. *Advances in Earth Science*, 6(3): 100—101 (in Chinese with English abstract).

Xie, H., 2014. The Cenozoic Subsidence History and Its Implications of the Deepwater Sags in the Pearl River Mouth Basin (Dissertation). University of Chinese Academy of Sciences, Beijing (in Chinese with English abstract).

Yang, T. T., Lv, F. L., Wang, B., et al., 2011. Geophysical Features and Hydrocarbon Exploration Prospectin of Eeef in Xisha Offshore. *Progress in Geophysics*, 26(5): 1771—1778 (in Chinese with English abstract).

Zhao, S. J., Wu, S. G., Shi, H. S., et al., 2012. Structures and Dynamic Mechanism Related to the Dongsha Movement at the Northern Margin of South China Sea. *Progress in Geophysics*, 27(3): 1008—1019 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

何家雄, 陈胜红, 刘士林, 等, 2008. 南海北缘珠江口盆地油气资源前景及有利勘探方向. *新疆石油地质*, 29(4): 457—461.

李平鲁, 王维平, 贺亚纯, 等, 1989. 珠江口盆地构造特征及演化. *中国海上油气*, 1(1): 11—18, 63—64.

李平鲁, 1993. 珠江口盆地新生代构造运动. *中国海上油气*, 5(6): 11—17.

李思田, 杨士恭, 林畅松, 1992. 论沉积盆地等时地层格架和基本建造单元. *沉积学报*, 10(4): 11—22.

林畅松, 2009. 沉积盆地的层序和沉积充填结构及过程响应.

沉积学报, 27(5): 849—862.

柳保军, 申俊, 庞雄, 等, 2007. 珠江口盆地白云凹陷珠海组浅海三角洲沉积特征. *石油学报*, 28(2): 49—56, 61.

庞雄, 陈长民, 彭大钧, 等, 2007. 南海珠江深水扇系统及油气. 北京: 科学出版社.

庞雄, 陈长民, 彭大钧, 等, 2008. 南海北部白云深水区之基础地质. *中国海上油气*, 20(4): 215—222.

庞雄, 陈长民, 邵磊, 等, 2012. 白云运动: 南海北部渐新统一中新统重大地质事件及其意义. *地质论评*, 53(2): 145—151.

彭大钧, 庞雄, 陈长民, 等, 2005. 从浅水陆架走向深水陆坡——南海深水扇系统的研究. *沉积学报*, 23(1): 1—11.

秦国权, 1996. 微体古生物在珠江口盆地新生代晚期层序地层学研究中的应用. *海洋地质与第四纪地质*, 16(4): 1—18.

施和生, 柳保军, 颜承志, 等, 2010. 珠江口盆地白云—荔湾深水区油气成藏条件与勘探潜力. *中国海上油气*, 22(6): 369—374.

田巍, 何敏, 杨亚娟, 等, 2015. 珠江口地惠州凹陷北部边界断裂复合联接和转换. *地球科学*, 40(12): 2037—2051.

王海荣, 王英民, 邱燕, 等, 2007. 南海北部大陆边缘深水环境的沉积物波. *自然科学进展*, 17(9): 1235—1243.

魏喜, 邓晋福, 谢文彦, 等, 2005. 南海盆地演化对生物礁的控制及礁油气藏勘探潜力分析. *地学前缘*, 12(3): 245—252.

吴景富, 张功成, 王璞珺, 等, 2012. 珠江口盆地深水区 23.8 Ma构造事件地质响应及其形成机制. *地球科学*, 37(4): 654—666.

肖义越, 1991. 地震地层学. *地球科学进展*, 6(3): 100—101.

谢辉, 2014. 珠江口盆地白云深水区新生代沉降史分析及其构造意义(博士学位论文). 北京: 中科院研究生院.

杨涛涛, 吕福亮, 王彬, 等, 2011. 西沙海域生物礁地球物理特征及油气勘探前景. *地球物理学进展*, 26(5): 1771—1778.

赵淑娟, 吴时国, 施和生, 等, 2012. 南海北部东沙运动的构造特征及动力学机制探讨. *地球物理学进展*, 27(3): 1008—1019.