

西沙海域碳酸盐台地周缘水道沉积体系

田 洁^{1,2}, 吴时国³, 王大伟³, 吕福亮⁴, 王 彬⁴, 张新元^{1,2}

(1. 中国科学院 海洋研究所 海洋地质与环境重点实验室, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国科学院 三亚深海科学与工程研究所, 海南 三亚 572000; 4. 中国石油杭州地质研究院, 浙江 杭州 310023)

摘要: 高分辨率地震资料显示, 南海北部西沙海域碳酸盐台地周缘广泛发育水道沉积体系。礁缘水道底界面表现出强反射特征, 内部充填弱-强、连续性好的地震相, 可见底部杂乱反射特征; 斜坡水道在地震剖面上表现为横向上连续发育的“V”型特征, 且下切深度较浅。西沙隆起与广乐隆起之间的南北向低洼地带发育大型深水水道, 并且受古地貌高点影响, 水道分为南北两个分支。北分支水道可分为5期, 且水道迁移现象明显; 南分支水道可分为4期, 水道以充填强振幅、连续性好的浊流沉积体和弱振幅、杂乱的块体搬运体系(Mass Transport Deposits, MTDs)为特征, 每期水道均表现出侵蚀-充填-废弃的旋回性。分析认为西沙碳酸盐台地周缘水道沉积物源来自西沙隆起和广乐隆起的碳酸盐台地和生物礁碎屑及由火成作用产生的火成岩碎屑。西沙-广乐碳酸盐台地水道相互贯通, 构成台地-斜坡-深水的水道沉积体系, 为碳酸盐岩、生物礁及火山碎屑向台地周缘输送提供了良好的通道。

关键词: 水道沉积体系; 碳酸盐台地; 西沙海域; 南海北部

中图分类号: P736 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2016)06-0101-09

doi: 10.11759/hyxx20150323001

西沙碳酸盐台地是生物礁以及碳酸盐油气藏储层勘探的重点研究对象, 前人对其进行了大量的研究。吴时国等^[1]依据地震资料, 并与 LH11-1 生物礁油田进行相关地球物理参数对比, 总结西沙隆起区生物礁发育特点; Ma 等^[2]通过 2D 地震资料, 识别出西沙碳酸盐台地及多种类型的生物礁, 总结其生长发育规律, 并探讨了其控制因素; 杨振等^[3]利用 2D 地震资料并结合钻井资料, 系统刻画了西沙碳酸盐台地时空分布, 建立了西沙海区晚新生代生物礁及碳酸盐台地的发育模式。在深水沉积方面, 也有不少学者对西沙海域重力流沉积及深水水道体系进行了详细研究, 识别出深水水道与块体搬运体系(Mass Transport Deposits, MTDs)两大类沉积体系, 初步分析了其沉积物源和控制因素^[4-6], 姚根顺等^[5-6]开展了琼东南盆地华光凹陷深水重力搬运沉积的研究, 并提出深水区双物源(西沙隆起和中南半岛)沉积模式; 王大伟等^[4]在琼东南盆地第四纪地层中识别了 MTDs, 并总结了其地震相特征与成因机理。然而与西沙碳酸盐台地及生物礁相关的水道沉积体系鲜有报导, 本文在前人研究的基础上, 利用最新获取的高分辨率地震资料, 开展碳酸盐台地周缘水道体系研究, 总结和分析水道的地震相特点, 并探讨水道物源供给条件, 建立碳酸盐台地周缘

水道沉积模式。

1 区域地质背景

南海自新生代以来经过多次扩张^[7-9], 在构造演化过程中形成了大陆架、大陆坡、深海海盆等海底地貌单元。自中新世以来, 基底断裂活动形成的构造高点为碳酸盐台地的发育提供了条件^[3, 10], 南海所处的地理位置以及较温暖的气候适合生物礁发育^[11-12]。

研究区主要位于琼东南盆地的南部深水区, 水深 500~1 300 m, 包括琼东南盆地的中央隆起带以南区域、西沙隆起和广乐隆起, 西面以红河断裂的海上延伸部分为界与莺歌海盆地分开, 东北方向通过西沙海槽与南海西北次海盆连通(图 1)。琼东南盆地由

收稿日期: 2015-03-23; 修回日期: 2015-04-19

基金项目: 基金南海重大计划重点项目(91228208); 三亚所知识创新工程领域前沿项目(SIDSSE-201403)

[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 91228208; the knowledge innovation project of the Institute of Deep Sea Science and Engineering, China Academy of Science, No.SIDSSE-201403]

作者简介: 田洁(1987-), 女, 山东桓台人, 博士, 现主要从事深水沉积与油气地质研究, E-mail: tj870103@126.com; 吴时国, 通信作者, 研究员, 主要从事海底构造、深水油气和天然气水合物研究, E-mail: swu@sidsse.ac.cn

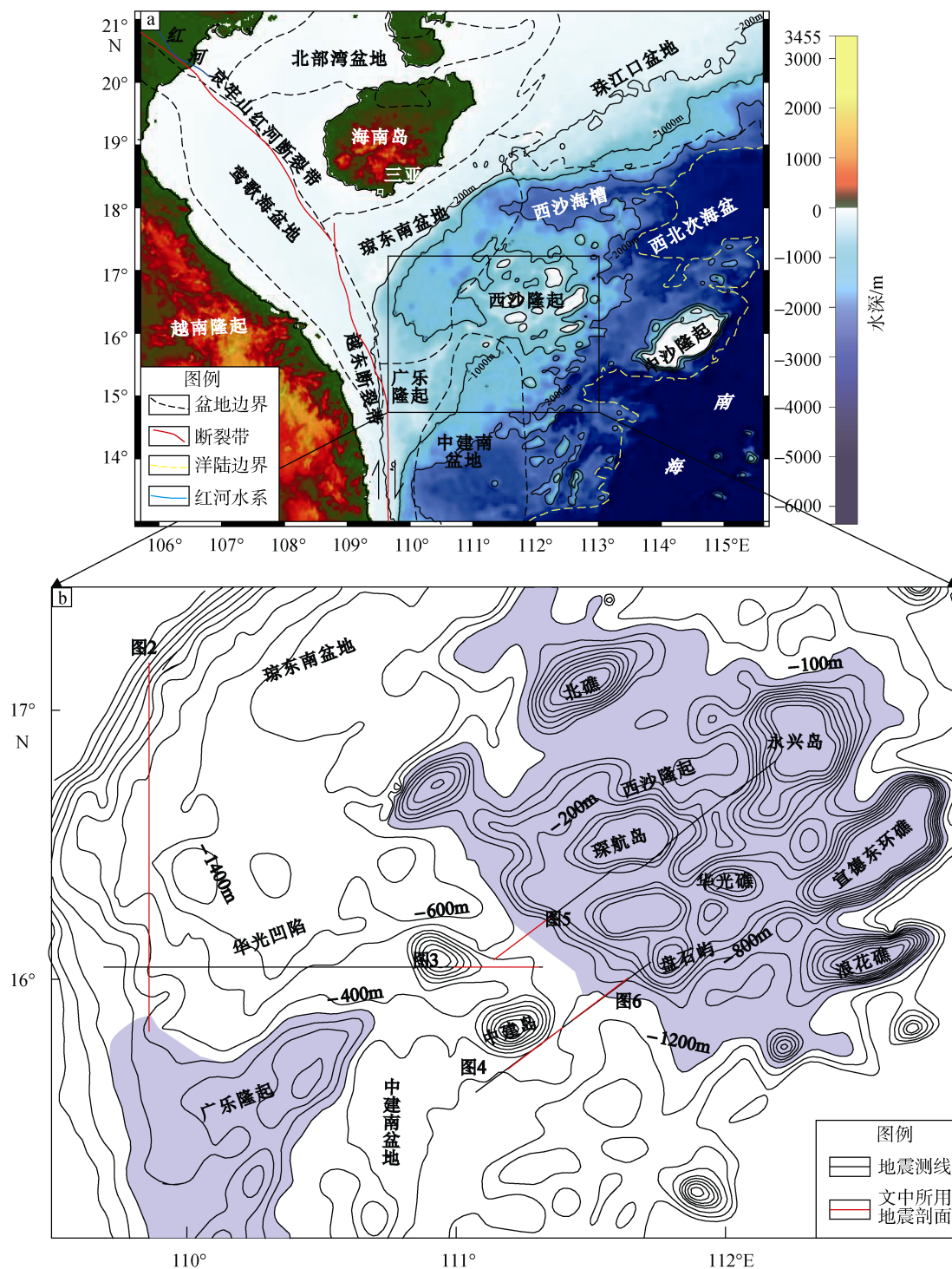


图 1 南海北部地理格局示意图(a)及研究区地震剖面及现今水深图(b)

Fig. 1 Geographic structure diagram of the northern South China Sea (a) and depth map of the study with locations of seismic profiles (b)

NE 向和 NEE 向的北部拗陷带、北部隆起带、中央拗陷带、南部隆起带组成^[13], 研究区内广乐隆起和西沙隆起通过南部隆起带与琼东南盆地相邻(图 2)。西沙海域构造演化与琼东南盆地相似, 受南海构造演化的控制, 研究区具有断-拗双层结构, 断陷期主要

沉积了古近系始新统(Tg-T80)、渐新统崖城组(T80-T70)和陵水组(T70-T60), 沉积环境由早期的湖相演变为滨浅海相; 拗陷期主要沉积了新近系的中新世三亚组(T60-T50)、梅山组(T50-T40)和黄流组(T40-T30)上新世莺歌海组(T30-T20)(图 2)。随着相对

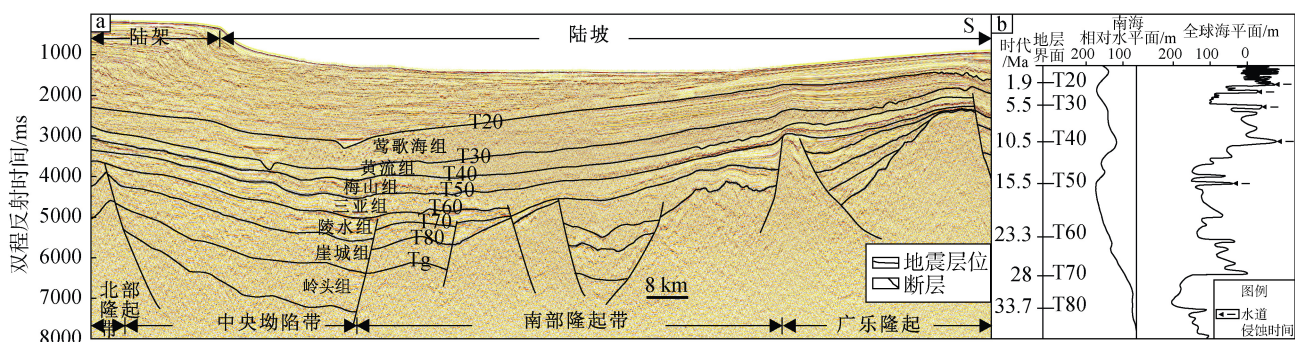


图2 穿过琼东南盆地-广乐隆起地质剖面(a)以及海平面变化曲线与地震反射界面之间的关系(据文献[15])(b)

Fig. 2 Seismic profile across the Qiongdongnan Basin and Guangle Uplift (a) and the relations between sea level variation and seismic reflectors (b)

海平面上升, 沉积环境由早期的滨浅海相逐渐变为半深海-深海相^[14]。

2 研究方法与数据来源

以高分辨率地震资料为基础, 结合研究区区域地质背景, 利用斯伦贝谢公司开发的地震资料综合解释软件 Geoframe, 建立解释数据库, 进行层序地层解释及沉积体系分析。本文所使用的高分辨率地震数据资料是由中国石油天然气总公司(CNPC)提供的, 2D地震测线总长达 10 000 km, 主频率为 35 Hz (主频率带宽约为 30~45 Hz), 纵分辨率约为 25 m。数据密度达到光栅网格级别, 栅格大小为 100 m, 数据分辨率能够满足本次研究的需求。

3 水道的沉积特征

水道在地震剖面上表现出明显的上凹的底界面以及内部强振幅的特征。本文结合南海北部碳酸盐

台地周缘水道的地震反射特征, 综合水道成因、截面形态等因素, 根据水道平面展布特征, 识别出多种不同类型的水道。

3.1 礁缘水道地震特征

研究区内自晚渐新世开始发育碳酸盐台地及生物礁^[16-17], 台地内部产生的碳酸盐碎屑及生物礁碎屑通过礁间水道及礁侧水道向周缘输送(图 3)。水道主要发育于中中新世末期及上新世末期, 水道横剖面呈“U”型特征, 底部表现为强反射, 下切侵蚀现象明显, 内部充填特征以较连续、强-弱振幅为主, 可见水道底部充填杂乱反射特征, 推测为生物礁及碳酸盐碎屑。

3.2 台地斜坡水道地震特征

斜坡以发育小型水道为主, 这种水道具有一定的侵蚀能力, 地震剖面上呈典型的“V”型形态, 侵蚀深度较小(图 4)。单条水道宽 100~1 500 m, 水道之间

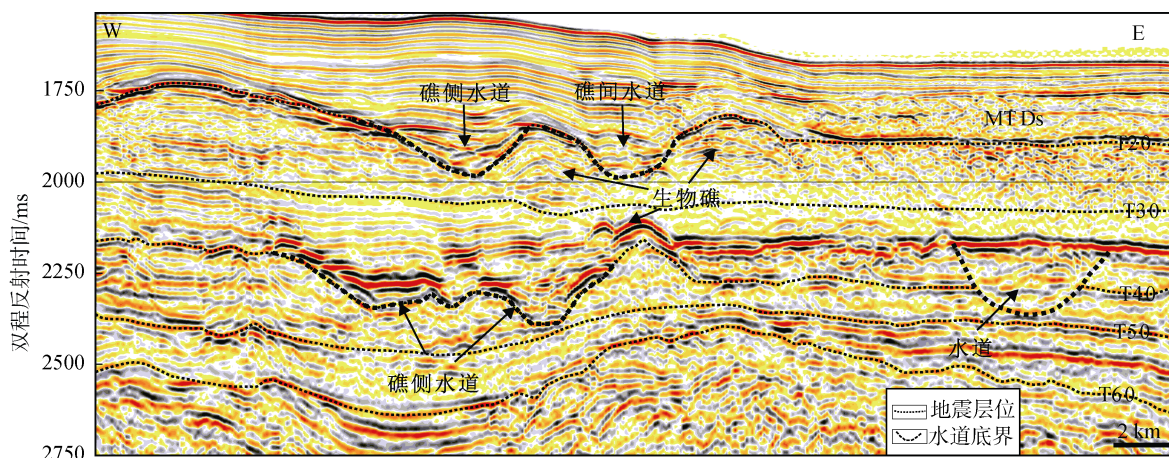


图3 广乐碳酸盐台地礁缘水道剖面

Fig. 3 Seismic profile showing the peri-reef channels on the Guangle carbonate platforms

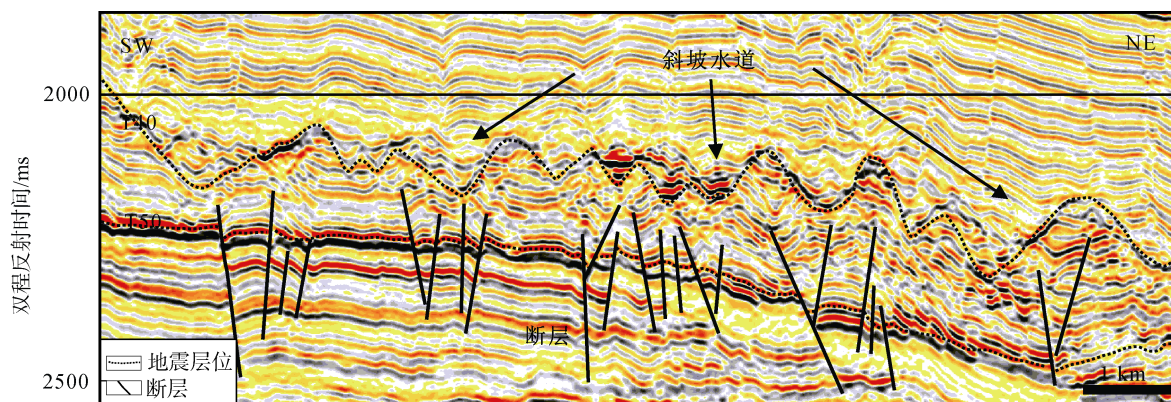


图 4 西沙海域碳酸盐台地斜坡水道剖面

Fig. 4 Seismic profile across the slope channel in the Xisha area

相互平行且连续性好。横向上延伸宽度可达 15 km。这些水道在垂向上没有明显的“继承性”特征，中中新世早期开始发育时，水道下切较浅，底部侵蚀界面明显，地震相表现为同向轴光滑，较连续。到中中新世晚期水道规模变大，下切加深，底部侵蚀界面地震相表现为同向轴光滑，连续性差。

3.3 台地前缘深水水道地震特征

台地前缘主要为大型深水水道，这种水道的形成通常是一个连续而复杂的侵蚀-充填过程。深水水道的形成要经历以下几个时期：首先是侵蚀期，地层因受重力流侵蚀形成底界面，然后由于沉积物的过路作用而发生了相对较粗的砂屑物质沉积，而后随着重力流作用的减弱，流体携带能力变小而发生席状细粒砂质沉积，直到细粒的泥质沉积物沉积。随着重力流作用减弱直至消失，水道最终进入废弃阶段^[18]。复合水道就是多期侵蚀-充填旋回的结果^[19]。西沙碳酸盐台地与广乐碳酸盐台地之间的低洼地带称为中建海槽^[16]，由于受到地形因素影响，来自两侧台地的物源汇聚在此处时，海槽中部有古地貌高点-中建高地，此高地将中建海槽的水道分成南北两个分支。两者在地震反射结构上具有显著差别。

3.3.1 中建深水水道北分支期次划分及地震特征

中建深水水道北分支自中建高地起由南向北流动，由地震剖面可以识别出 5 期水道，依次发育于三亚组(期)、梅山组(期)、黄流组(期)、莺歌海组(期)及乐东组(期)(图 5)。水道底界面为强振幅、连续性好的反射特征，除第 期莺歌海组水道下切现象不明显外，其余 4 期水道均表现出“U”型特征。水道内部充填特征各不相同。期(三亚组)水道内部为中强振幅、连续性较好的地震反射特征(图 5

B1); 期(梅山组)水道以充填杂乱相地震反射特征为主(图 5 B2)，其中 期(三亚组)和 期(梅山组)水道内部出现下切侵蚀现象。期(黄流组)水道充填强振幅、连续的地震反射特征，水道侧翼杂乱相的滑塌沉积发育(图 5 B3)。期(莺歌海组)水道规模最小，水道底界面宽缓，内部充填强振幅、连续的地震反射结构，推测为水道末端的朵叶体沉积(图 5 B4)。

期(乐东组)水道下切深度及规模最大，杂乱相与连续相交替充填于水道内部，反应水动力间歇性的强弱变化(图 5 B4)。该水道处于低洼地带，有利于台地周缘物质的堆积，受古地貌影响，水道向北流入华光凹陷。

3.3.2 中建深水水道南分支期次划分及地震特征

中建深水水道南分支由中建高地向南流动，水道具有明显的底部侵蚀界面，剖面呈宽缓的蝶型特征。中建深水水道南分支在地震剖面上可识别出 4 期水道，每期水道均有明显的侵蚀底界面，四期水道发育于不同的地层单元内，分别是梅山组、黄流组、莺歌海组和乐东组(图 6)。

根据水道内地震反射特征，水道内部可识别出 2 类反射结构：一种是强振幅、连续性好的地震反射结构，另一种是弱反射、连续性差、杂乱的反射机构，与琼东南中央水道对比可得出两者分别对应浊流沉积体和 MTDs(图 6)。期(梅山组)和 期(乐东组)内识别出因 MTDs 侵蚀而产生的剩余水道沉积。期(黄流组)水道 NE 端发育斜坡水道，水道顶部为中强振幅，连续性好的地震反射特征，推断为深海泥岩沉积(图 6)。横切面可以看出水道每一期均为一个侵蚀-充填-废弃旋回。重力流造成先前地层的侵蚀形成上凹的底面，随后流体携带的粗碎屑物质在水道

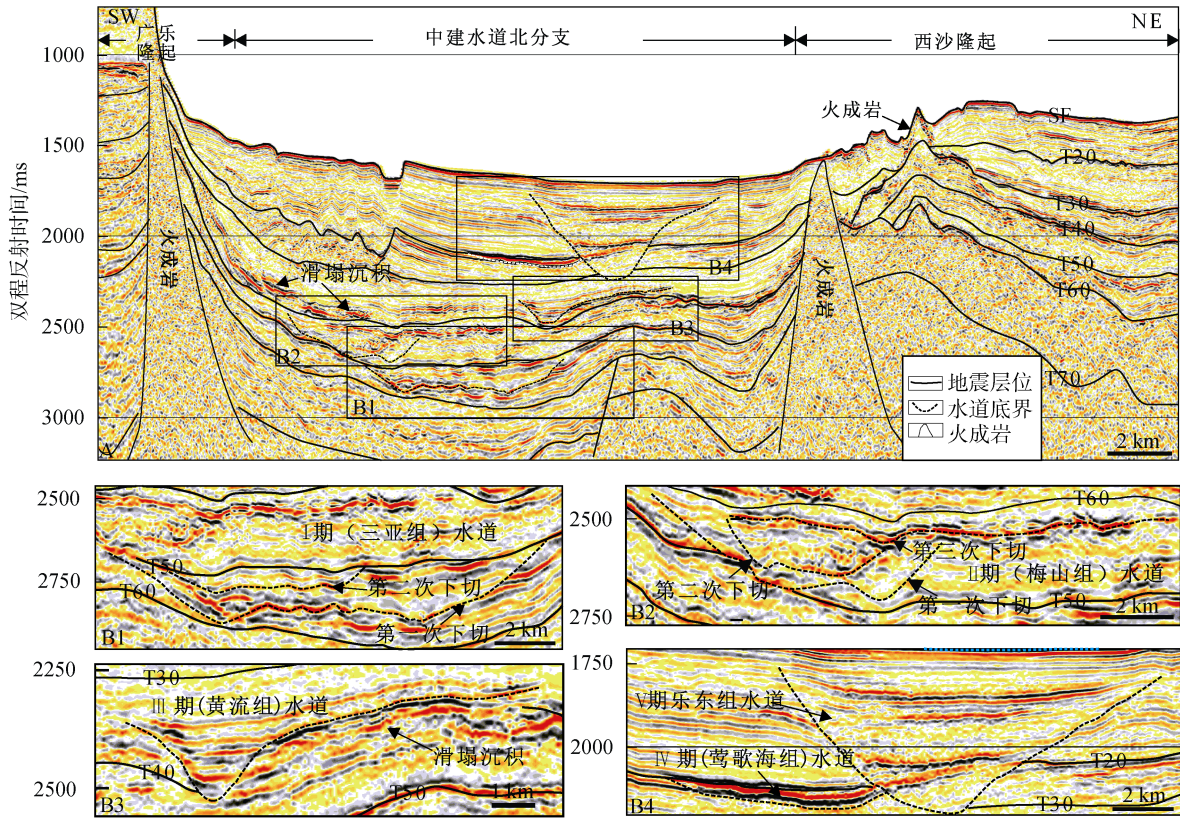


图 5 中建深水水道北分支剖面

Fig. 5 Seismic profile showing the north branch of the Zhongjian Channel

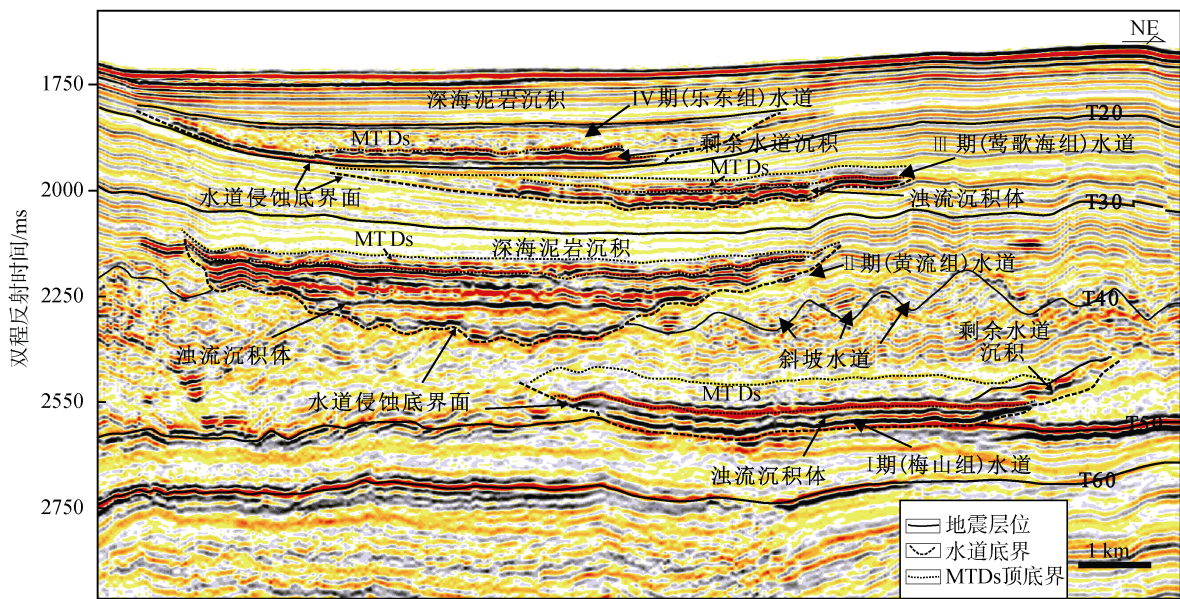


图 6 中建深水水道南分支地震剖面

Fig. 6 Seismic profile showing the south branch of the Zhongjian Channel

底部沉积, 形成强振幅、连续性好的地震反射特征, 随着相对海平面上升, 重力流作用侵蚀减弱, 流体携带能力下降, MTDs 沉积于先前的水道沉积体之

上, 相对海平面进一步上升, 沉积环境变为水体安静的深水环境, 水道被深海泥岩覆盖, 从而进入水道废弃阶段。

4 水道物源分析

西沙海域地处南海西北部陆坡, 根据区域性地质研究结果, 研究区的物源主要包括西北部红河水系物源、西部越南陆架物源(越南隆起)、北部海南岛物源(图 1)。如华光凹陷内下中新统地层内发育的复合水道和第四系水道物源来自西南部越南隆起^[5]。西沙隆起受南海扩张的影响, 起源于华南陆块^[20], 中新世以后由于西沙海槽和琼东南盆地中央坳陷带的负地形及南部隆起带的隔挡作用, 研究区受陆源碎屑影响较小。受越东断裂带影响, 早中新世时广乐隆起与越南陆架经南北向的狭长坳陷分离, 而当时越南隆起边缘的陆架-陆坡体系还未形成, 陆源碎屑物质无法越过坳陷进入广乐隆起。由此我们可以断定, 西沙碳酸盐台地周缘水道的物源主要来自西沙隆起及广乐隆起。西沙周缘盆地渐新统和中-下中新统分别充填了海陆交替相和滨浅海台地相沉积序列^[21]。根据当时的古地理和沉积环境, 本文认为中新世西沙碳酸盐台地周缘水道的沉积物源主要为碳酸盐台地和生物礁碎屑及火成岩碎屑。

4.1 碳酸盐台地和生物礁碎屑

南海经历了多期海平面升降旋回变化, 海平面上升使得浅水碳酸盐台地及生物礁顶端处于水下环境而有利于其生长发育, 海平面下降是浅水碳酸盐台地及生物礁顶端遭受暴露而死亡。一般认为当

海平面漫过碳酸盐台地及生物礁时, 其产生大量的浅海沉积物(霏石和镁方解石), 它们以羽状物和重力流搬运方式输送至临近深海盆地内^[22-24]。水道初始发育于低位体系域阶段, 研究区内大部分水道分别在 15.5 Ma(T50)、10.5 Ma(T40)、5.5 Ma(T30)及 1.9 Ma(T20)水道侵蚀下切现象明显, 这不仅与全球海平面升降曲线对应, 且与琼东南中央峡谷水道的下切侵蚀期次具有耦合性^[25-26](图 2B)。当海平面停止下降并开始缓慢上升时, 重力流侵蚀下切能力减弱而沉积作用增强, 与此同时碳酸盐台地及生物礁广泛发育, 产生的浅海沉积物在先前低位期时发育的水道内堆积并向周缘深水环境输送。

4.2 火成岩碎屑

海底扩张、马尼拉海沟俯冲、台湾造山带的行程、青藏高原隆升及印支地块挤出等多种地质因素使得晚新生代被动陆缘经历频繁强烈的岩浆活动, 西沙海域也因此广泛发育火成岩体^[27](图 5)。当岩浆在高于压力补偿深度处喷发, 就可以发生水下爆发性火山作用, 从而产生火山碎屑岩^[28]。在漫长的地质时期, 火成岩和火山碎屑岩接受来自风浪的剥蚀, 同时在流体的作用下, 水下的火成岩及火山碎屑岩极易与海水发生反应, 物理风化产生的碎屑及化学风化的蚀变产物对远离大陆的深水环境的沉积具有重要贡献作用。

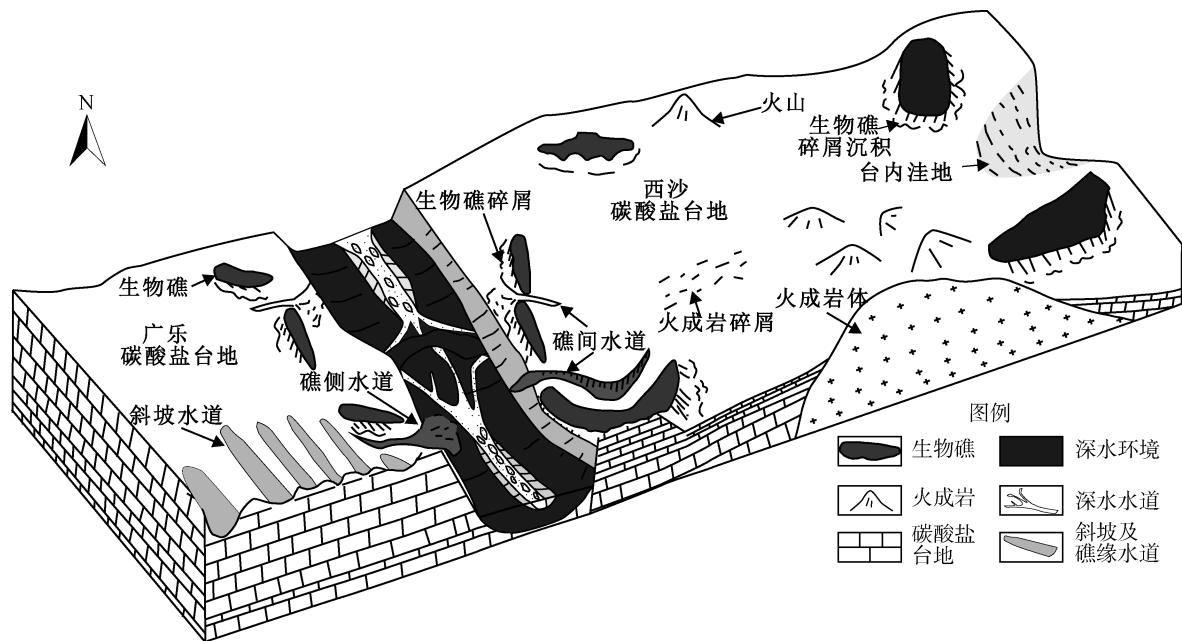


图 7 西沙海域碳酸盐台地周缘水道沉积模式

Fig. 7 Depositional model of periplatform channels in the Xisha area

5 西沙碳酸盐台地周缘水道沉积模式

西沙海域中新世最显著的特征是碳酸盐台地广泛发育,同时伴随生物礁的大规模普遍存在,相对海平面的旋回变化在影响台地及生物礁发育演化的同时,也对水道侵蚀-充填的周期性变化起到重要控制作用。在台地周缘、生物礁周围均发育了众多水道,受古地貌因素影响,来自台地的碳酸盐碎屑及火山碎屑汇聚在西沙碳酸盐台地与广乐碳酸盐台地之间的中建海槽内。

三亚组(T60-T50)时期,相对海平面上升,海水开始侵入西沙隆起和广乐隆起,随着碳酸盐台地和生物礁的发育,当水动力条件满足时,广乐碳酸盐台地的斜坡水道及中建深水水道北分支开始发育。随着碳酸盐台地范围增加,生物礁规模变大,梅山组(T50-T40)沉积时期西沙海域水道规模及类型增加,中建深水水道南分支发育,礁间水道及礁侧水道向台地周缘输送大量的生物礁碎屑。碳酸盐台地斜坡水道此后随着相对海平面上升而逐渐被埋藏。莺歌海组(T30-T20)开始,研究区开始广泛发育 MTDs^[29],水道内部浊流沉积体被侵蚀。西沙-广乐碳酸盐台地水道相互贯通,构成台地-斜坡-深水的水道沉积体系,为碳酸盐、生物礁及火山碎屑向台地周缘输送提供了良好的通道,从而使碳酸盐台地为深水区提供近源碳酸盐碎屑沉积。

6 结论

通过对二维地震反射特征的分析,揭示南海北部西沙碳酸盐台地周缘中新世以来广泛发育水道沉积体系。主要类型包括礁缘水道、斜坡水道及台地前缘大型深水水道。

礁缘水道下切侵蚀特征明显,底界面表现出强振幅反射特征,内部充填弱-强振幅、连续性较好的地震反射特征。斜坡水道下切深度较浅,水道之间相互平行且连续性好。台地前缘受古地貌影响,发育中建水道南北分支水道,中建水道北分支可识别出 5 期,迁移现象明显;中建水道南分支可识别出 4 期,水道表现出侵蚀-充填-废弃旋回特征。

分析认为水道的物源主要来自西沙隆起和广乐隆起的碳酸盐台地和生物礁碎屑以及火成岩碎屑,西沙-广乐碳酸盐台地水道相互贯通,构成台地-斜坡-深水的水道沉积体系,为碳酸盐、生物礁及火山碎屑向台地周缘输送提供了良好的通道。

参考文献:

- [1] 吴时国,袁圣强,董冬冬,等.南海北部深水区中新世生物礁发育特征[J].海洋与湖沼,2009,40(2):117-121.
Wu Shiguo, Yuan Shengqiang, Dong Dongdong, et al. The Miocene reef development characteristics in South China Sea[J]. Oceanologia ET Limnologia Sinica, 2009, 40(2): 117-121.
- [2] 孙启良,马玉波,赵强,等.南海北部生物礁碳酸盐岩成岩作用差异及其影响因素研究[J].天然气地球科学,2008,19(5):665-672.
Sun Qiliang, Ma Yubo, Zhao Qiang, et al. Different Reef Carbonate Diagenesis and Its Influential Factors, Northern South China Sea[J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(5): 665-672.
- [3] 杨振,吴时国,吕福亮,等.西沙海区晚新生代碳酸盐台地的发育模式及控制因素[J].海洋地质与第四纪地质,2014,34(5):47-55.
Yang Zhen, Wu Shiguo, Lv Fuliang, et al. Evolutionary model and control factors of late Cenozoic carbonate platform in Xisha area[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 34(5): 47-55.
- [4] 王大伟,吴时国,董冬冬,等.琼东南盆地第四纪块体搬运体系的地震特征[J].海洋地质与第四纪地质,2009,(29)3:69-74.
Wang Dawei, Wu Shiguo, Dong Dongdong, et al. Seismic characteristics of Quaternary mass transport deposits in Qiongdongnan Basin[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2009, 29(3): 69-74.
- [5] 姚根顺,袁圣强,马玉波,等.琼东南华光凹陷深水重力搬运沉积体系及其油气勘探[J].地球科学:中国地质大学学报,2009,34(3):471-476.
Yao Genshun, Yuan Shengqiang, Ma Yubo, et al. Deep-water mass transport deposition system of huaguang depression, qiongdongnan basin and its significance for hydrocarbon exploration[J]. Earth Science- Journal of China University of Geosciences, 2009, 34(3): 471-476.
- [6] 姚根顺,袁圣强,吴时国,等.琼东南盆地深水区双物源沉积模式及勘探前景[J].石油勘探与开发,2008,35(6):685-691.
Yao Genshun, Yuan Shengqiang, Wu Shiguo, et al. Double provenance depositional model and exploration prospect in deepwater area of Qiongdongnan Basin[J]. Petroleum Exploration & Development, 2008, 35(6): 685-691.
- [7] Hutchison C S. Marginal basin evolution: the southern South China Sea[J]. Marine and Petroleum Geology, 2004, 21(9): 1129-1148.
- [8] Tsai C H, Hsu S K, Yeh Y C, et al. Crustal thinning of the northern continental margin of the South China Sea[J]. Marine Geophysical Researches, 2004, 25(1-2): 63-78.

- [9] Taylor B, Hayes D E. Origin and history of the South China Sea basin[J]. *The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands: Part 2*, 1983, 27: 23-56.
- [10] 马玉波, 吴时国, 谷明峰, 等. 西沙海区碳酸盐台地地震反射特征及沉积模式[J]. *海洋学报*, 2010, 32(4): 118-128.
Ma Yubo, Wu Shiguo, Gu Mingfeng, et al. Seismic reflection characteristics and depositional mode of carbonate platforms in Xisha Sea area[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2010, 32(4): 118-128.
- [11] Wilson M E J. Cenozoic carbonates in Southeast Asia: implications for equatorial carbonate development[J]. *Sedimentary Geology*, 2002, 147(3): 295-428.
- [12] Sun S Q, Esteban M. Paleoclimatic controls on sedimentation, diagenesis, and reservoir quality: lessons from Miocene carbonates[J]. *AAPG bulletin*, 1994, 78(4): 519-543.
- [13] Su M, Zhang C, Xie X N, et al. Controlling factors on the submarine canyon system: A case study of the Central Canyon System in the Qiongdongnan Basin, northern South China Sea[J]. *Science China Earth Sciences*, 2014, 57(10): 2457-2468.
- [14] Xie X N, Müller R D, Li S, et al. Origin of anomalous subsidence along the Northern South China Sea margin and its relationship to dynamic topography[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2006, 23(7): 745-765.
- [15] 刘睿, 周江羽, 张莉, 等. 南海西北次海盆深水扇系统沉积演化特征[J]. *沉积学报*, 2013, 31(4): 706-716.
Liu Rui, Zhou Jiangyu, Zhang Li, et al. Depositional architecture and evolution of deepwater fan system in the northwest sub-basin, South China Sea[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2013, 31(4): 706-716.
- [16] Wu S G, Yang Z, Wang D W, et al. Architecture, development and geological control of the Xisha carbonate platforms, northwestern South China Sea[J]. *Marine Geology*, 2014, 350: 71-83.
- [17] Ma Y B, Wu S G, Lv F L, et al. Seismic characteristics and development of the Xisha carbonate platforms, northern margin of the South China Sea[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2011, 40(3): 770-783.
- [18] Schwarz E, Arnott R W C. Anatomy and evolution of a slope channel-complex set (Neoproterozoic Isaac Formation, Windermere Supergroup, southern Canadian Cordillera): implications for reservoir characterization[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2007, 77(2): 89-109.
- [19] Navarre J C, Claude D, Liberelle E, et al. Deepwater turbidite system analysis, West Africa: Sedimentary model and implications for reservoir model construction[J]. *The Leading Edge*, 2002, 21(11): 1132-1139.
- [20] Shi X B, Zhou D, Qiu X L, et al. Thermal and rheological structures of the Xisha trough, South China Sea[J]. *Tectonophysics*, 2002, 351(4): 285-300.
- [21] 鲁银涛, 王彬, 吕福亮, 等. 西沙周缘新生代构造演化与盆地充填响应特征[J]. *海洋科学*, 2013, 37(3): 70-76.
Lu Yintao, Wang Bin, Lv Fuliang, et al. Tertiary tectonic movements and sediment characters in Basins of Xisha Area[J]. *Marine Sciences*, 2013, 37(3): 70-76.
- [22] Glaser K S, Droxler A W. Controls and development of late Quaternary periplatform carbonate stratigraphy in Walton Basin (northeastern Nicaragua Rise, Caribbean Sea)[J]. *Paleoceanography*, 1993, 8(2): 243-274.
- [23] Mullins H T, Heath K C, BUREN H, et al. Anatomy of a modern open-ocean carbonate slope: northern Little Bahama Bank[J]. *Sedimentology*, 1984, 31(2): 141-168.
- [24] Wilson P A, Roberts H H. Density cascading: off-shelf sediment transport, evidence and implications, Bahama Banks[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1995, 65(1): 45-56.
- [25] Gong C L, Wang Y M, Zhu W L, et al. The Central Submarine Canyon in the Qiongdongnan Basin, northwestern South China Sea: architecture, sequence stratigraphy, and depositional processes[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2011, 28(9): 1690-1702.
- [26] 苏明, 李俊良, 姜涛, 等. 琼东南盆地中央峡谷的形态及成因[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2009, 29(4): 85-93.
Su Ming, Li Junliang, Jiang Tao, et al. Morphological features and formation mechanism of central canyon in the Qiongdongnan basin, northern South China Sea[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2009, 29(4): 85-93.
- [27] 张峤, 吴时国, 吕福亮, 等. 南海西北陆坡火成岩体地震识别及分布规律[J]. *大地构造与成矿学*, 2014, 38(4): 919-938.
Zhang Qiao, Wu Shiguo, Lv Fuliang, et al. The Seismic Characteristics and the Distribution of the Igneous Rocks in the Northwestern Slope of the South China Sea[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2014, 38(4): 919-938.
- [28] 鄢全树, 石学法. 南海盆海山火山碎屑岩的发现及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2009, 25(12): 3327-3334.
Yan Quanshu, Shi Xuefa. Characteristics of volcaniclastic rocks from seamounts in the South China Sea and its geological implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(12): 3327-3334.
- [29] Wang D W, Wu S G, Qin Z L, et al. Seismic characteristics of the Huaguang mass transport deposits in the Qiongdongnan Basin, South China Sea: Implications for regional tectonic activity[J]. *Marine Geology*, 2013, 346: 165-182.

Characteristics of periplatform channels of the Xisha area, northern South China Sea

TIAN Jie^{1, 2}, WU Shi-guo³, WAND Da-wei³, LÜ Fu-liang⁴, WANG Bin⁴, ZHANG Xin-yuan^{1, 2}

(1. Key Laboratory of Marine Geology and Environment, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. School of Earth Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Laboratory of Marine Geophysics and Georesource, Sanya Institute of Deep-sea Science and Engineering, Chinese Academy of Sciences, Sanya 572000, China; 4. Hangzhou Institute of Geology, CNPC, Hangzhou 310023, China)

Received: Mar. 23, 2015

Key words: periplatform channels; seismic characteristics; Xisha carbonate platforms; northern South China Sea

Abstract: High-resolution seismic data reveal the wide existence of periplatform channel systems in the Xisha area, northern South China sea. Channels around reefs display strong amplitude reflections and are filled with weak–strong and continuous reflections; furthermore, chaotic seismic reflections can be detected at the bottom of the channels. Small-scale channels on the slope show a series of V-shaped reflections with incised shallows on the underlying strata. The Zhongjian deep-water channel developed in the graben lying between the Xisha uplift and Guangle uplift and is separated into two branches because of the paleo-highland. The north branch can be divided into five stages with significant migration. The south branch can be divided into four stages with inner high amplitude and continuous reflections. Each stage of it shows an erosion-infill-abandon sedimentary cycle. Paleogeographic analysis reveals the channel-filled deposits to be composed of carbonate and reef debris and volcanoclastic rocks. Channels in the Xisha area constitute a platform-ramp-deep water channel sedimentary system and provide good conditions for the transport of carbonate and reef debris and volcanoclastic rocks into deep-water areas. Thus, the carbonate platforms can provide carbonate clastic sediments to the adjacent environment.

(本文编辑: 李晓燕)