

文章编号:1009-2722(2013)11-0001-07

# 南海西北部晚第四纪典型地震相—沉积相特征

陈泓君,黄文凯,吴岐岐

(国土资源部广州海洋地质调查局,广州 510075;

国土资源部海底矿产资源重点实验室,广州 510075)

**摘要:**南海西北部地形变化大,水深由近岸几十米变化至深海盆区的 3 500 m,跨越了陆架、陆坡、深海盆、岛礁等地貌单元。南海西北部也是深水油气的重要勘探地区。利用高分辨率单道地震资料,采用地震相分析方法,对研究区晚第四纪典型地震相—沉积相分布特征开展深入分析。研究区内的主要地震相包括:①席状、亚平行、强振幅、低连续、中频地震相;②披盖状、波状、中振幅、中—低连续、中低频地震相;③披盖状、平行—亚平行、中—弱振幅、中连续、中—低频地震相;④披盖状、平行、强振幅、高连续、中—高频地震相;⑤席状、平行、中—弱振幅、高连续、中—低频地震相;⑥披盖状、波状、弱振幅、低连续、低频地震相;⑦前积相;⑧下切充填地震相;⑨杂乱地震相;⑩条带状、波状、中—弱振幅、中—低连续、低频地震相;⑪披盖状、平行、强振幅、高频、高连续地震相共 11 种。对地震相—沉积相及其分布特征的分析结果认为,区内晚第四纪主要发育有三角洲相、河道相、滨浅海相、浅海相、半深海相、深海相、滑塌相、斜坡相、浊流相、生物礁相等沉积相,其分布主要受海底地形地貌、构造运动等多种因素所控制。

**关键词:**地震相;沉积相;南海西北部;晚第四纪

中图分类号:P736.2

文献标识码:A

南海位于印度—澳大利亚板块、欧亚板块和太平洋板块的交汇处,是西太平洋最大的边缘海盆,也是中国唯一具有深水环境的海盆,具有很强的封闭性,形似菱形,呈 NE—SW 向展布,平均水深在 1 000 m 以上<sup>[1]</sup>。南海和外围大洋进行深水交换的通道可能唯有台湾岛南部的巴士海峡<sup>[2]</sup>。

研究区位于南海西北部,范围为 16°~20°N, 108°~114°E,西北为海南岛、西南角为越南陆域、南部则为西沙群岛。水深变化范围较大,由近岸几十米变化至海盆区的 3 500 m,水深等值线总

体呈 NE—SW 向展布,在海南岛西部则呈近 NS 向延伸。以 200 m 水深为界,200 m 以浅为陆架区,200~3 000 m 水深为陆坡区,水深>3 000 m 为海盆区(图 1)。研究区地貌单元众多,包括陆架、陆坡、岛礁、深海盆等,沉积环境复杂。陆架分布范围广,约占海区面积的 1/2,陆架总体呈 NE—SW 向展布,但在海南岛南部以及越南海域附近,陆架延伸方向发生转折,呈近 NS 向展布。现代陆架的形态主要受区域构造体系控制,NE—SW 向展布陆架与区域上 NE 向断裂构造密切相关,而 NS 向展布的陆架主要受红河断裂带在海南岛南部的向南延伸影响<sup>[3]</sup>。此外,研究区南部为西沙群岛区,部分岛礁出露海面。西部为西沙海槽,长约 420 km,其水深自西部 1 500 m 到东

收稿日期:2013-08-01

基金项目:中国地质调查局项目(1212010611302)

作者简介:陈泓君(1973—),男,教授级高工,主要从事海洋区域地质调查与研究。E-mail: chhju@163.com

侧 3 400 m, 槽底自西向东缓缓倾斜, 平均坡度  $0^{\circ}11'$ , 比周围海底低 400~700 m<sup>[4,5]</sup>, 槽坡上还发育陡坎、冲刷沟谷、阶地和浊积扇等次一级地

貌<sup>[6]</sup>。海盆区位于研究区的东部, 为西北次海盆的一小部分, 最大水深超过 3 500 m。

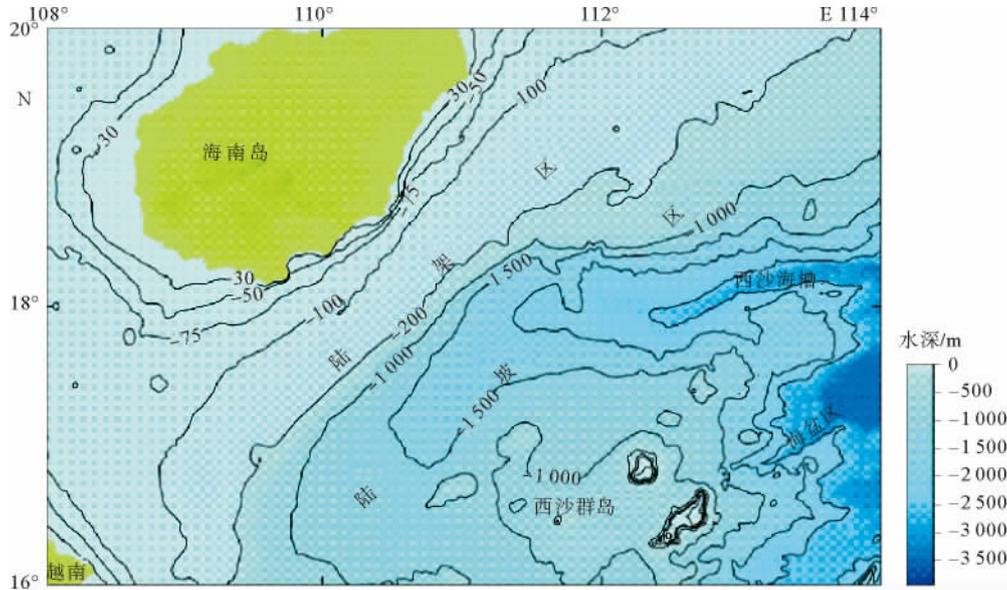


图 1 研究区地形图

Fig. 1 Bathymetric map of the study area

近年来, 广州海洋地质调查局在研究区采集了大量的分辨率单道地震资料, 获得了丰富的浅地层信息。本文利用所获得的资料对研究区晚第四纪典型地震相—沉积相开展分析, 并讨论晚第四纪沉积相的分布特征, 对深入了解南海北部晚第四纪沉积环境演变具有一定的科学意义。

## 1 材料与方法

为了能有效地调查与了解研究区晚第四纪沉积环境分布特征, 针对不同的海底地形, 采用不同的震源进行资料采集。在水深  $< 200$  m 的陆架区采用电火花震源, 在水深  $> 200$  m 的陆坡及深海盆区采用穿透能力较强的 G I 震源, 具体采集参数分别如表 1、2 所示。所有野外资料均以 SEG-Y 格式记录。

为了提高单道地震资料质量, 有效压制海底多次波和噪音等干扰, 对采集的地震资料全部进行了处理, 信噪比得到明显提高, 剖面面貌有明显改善, 为地质解释提供了质量保证<sup>[7]</sup>。

表 1 电火花震源单道地震系统参数

Table 1 Parameters of sparker seismic system

震源系统参数设置	记录系统参数设置
电极沉放深度: 0.4 m	原始数据记录长度: 1 000 ms
电极距离船尾: 35 m	激发间隔: 3 000 ms
接收电缆沉放深度: $(0.4 \pm 0.1)$ m	滤波范围: 40~1 200 Hz
接收电缆的检波器段中心距离船尾: 45 m	模拟剖面扫描宽度: 500 ms
气枪震源与接收电缆偏移距: $(9.5 \pm 0.1)$ m	Mark 点间距: 1 000 m

表 2 G I 枪震源单道地震系统参数

Table 2 Parameters of G I Gun seismic system

震源系统参数设置	记录系统参数设置
气枪沉放深度: 3 m	原始数据记录长度: 1 500 ms
气枪距离船尾: 45 m	激发间隔: 7 000 ms
接收电缆沉放深度: $(0.4 \pm 0.1)$ m	滤波范围: 60~400 Hz
接收电缆的检波器段中心距离船尾: 45 m	模拟剖面扫描宽度: 1 000 ms
气枪震源与接收电缆偏移距: $(9.5 \pm 0.1)$ m	Mark 点间距: 1 000 m

## 2 结果

根据地震反射特征,调查区共识别出 11 种典型地震相。沉积相分析是建立在地震相划分的基础上,主要是通过区域地质特征、海平面变化以及各层序的地震相、以及各相序之间的相互关系开展研究,综合分析其形成的水动力条件、沉积环境的差异及其特定的沉积作用,确定沉积相。

(1)席状、亚平行、强振幅、低连续、中频地震相

以席状外形、亚平行结构、强振幅、低连续、中频地震相为主要特征。该地震相主要分布在陆架浅水区。低连续反映水动力较强,强振幅代表沉积物粒度较粗、类型较为复杂,推测该地震相为海平面相对下降以及陆源供应充足的沉积环境,为三角洲平原相(图 2)。

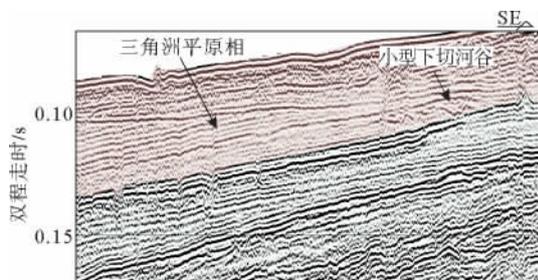


图 2 三角洲平原相地震反射特征

Fig. 2 Seismic characteristics of a delta plain

(2)披盖状、波状、中振幅、中—低连续、中低频地震相

以披盖状外形、波状结构、中振幅、中—低连续、中低频、局部杂乱反射为特征,主要分布在海南岛周缘近岸至内陆架浅水区。总体反映一套水动力较强、复杂的沉积环境,推测为滨海—浅海相沉积(图 3)。

(3)披盖状、平行—亚平行、中—弱振幅、中连续、中—低频地震相

以披盖状外形、平行—亚平行结构、中—弱振幅、中连续、中—低频地震相为主要特征,主要位于上陆坡区,该地震相反映的是相对稳定的低能环境,推测其为浅海相沉积(图 4)。

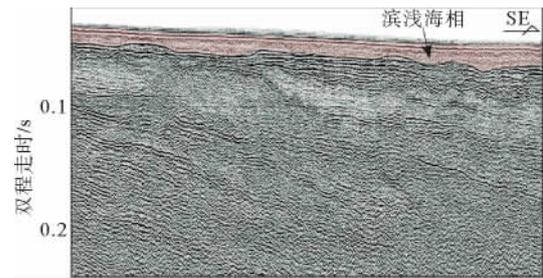


图 3 滨浅海沉积相地震反射特征

Fig. 3 Seismic characteristics of offshore and shallow sea sediments

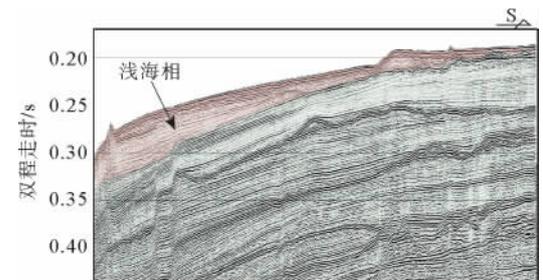


图 4 浅海沉积相地震反射特征

Fig. 4 Seismic characteristics of shallow sea sediments

(4)披盖状、平行、强振幅、高连续、中—高频地震相

以披盖状外形、平行结构、强振幅、高连续、中—高频地震相为主要特征,主要分布在下陆坡区,反映水体开阔、水动力条件较弱、稳定的沉积环境,推测为半深海相沉积(图 5)。

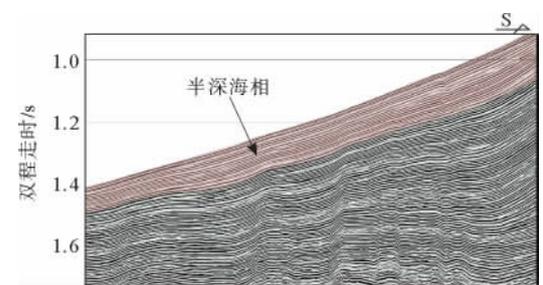


图 5 半深海相地震反射特征

Fig. 5 Seismic characteristics of hemi-pelagic sediments

(5)席状、平行、中—弱振幅、高连续、中—低频地震相

以席状外形、平行结构、中—弱振幅、高连续、中—低频为主要地震反射特征,主要分布在深海盆区,反映物质成分较均一,主要以泥质为主,具

有稳定的沉积环境,推测为深海相沉积(图 6)。

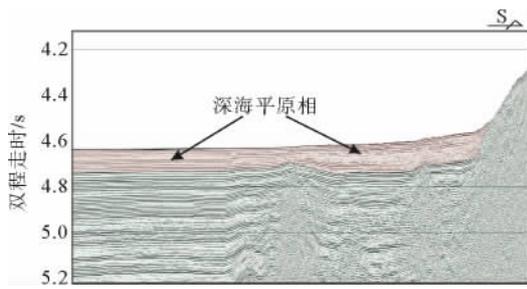


图 6 深海相地震反射特征

Fig. 6 Seismic characteristics of pelagic sediments

(6) 披盖状、波状、弱振幅、低连续、低频地震相

以披盖状外形、波状结构、弱振幅、低连续、低频为主要地震反射特征,局部无反射或杂乱反射,反映内部物质成分较均匀,局部混杂堆积。主要分布在下陆坡斜坡处,分布局限,水动力条件弱,推测为浊流沉积相(图 7)。

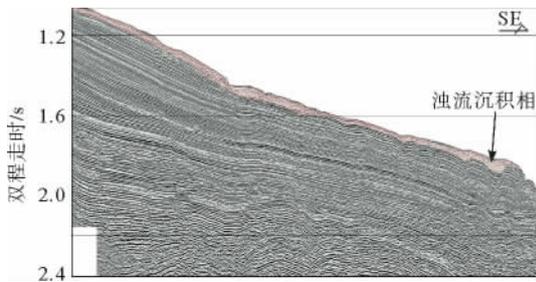


图 7 下陆坡浊流沉积地震反射特征

Fig. 7 Seismic characteristics of debris flows at the lower slope area

(7) 前积相

主要有 S 形前积和斜交前积 2 种,地震相以具 S 形或斜交前积结构为特征,反射层向顶界发散,该地震相主要分布在海南岛西南部。地震反射层向顶界顶超,向底部收敛,与顶界呈斜交接触,内部呈 S 型或斜交结构(图 8),局部由于水流的冲刷而缺失顶积层,向底部收敛代表的是典型陆架外缘或三角洲前缘沉积。底部的斜交前积反映高能水流环境,沉积物供给速度快,水流作用强;上部 S 形前积指示水流能量较低,沉积物供给相对较少。是反映一套高海平面时期沉积物不断由北向南推进的三角洲前缘沉积。

前积相地震反射特征表明,调查区存在相对高的沉积物供应速率以及缓慢变动或相对稳定的海平面,从而使得盆地被快速充填。大型的斜交三角洲一般发育在陆坡斜坡处,S 型三角洲则普遍发育在近岸三角洲前缘。

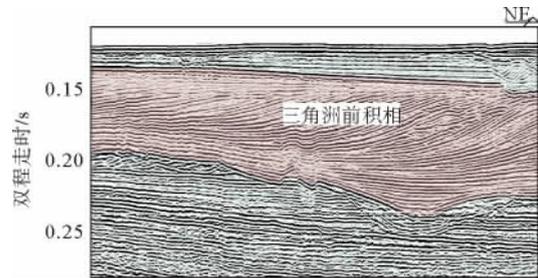


图 8 三角洲前积相地震反射特征

Fig. 8 Seismic characteristics of a delta front

(8) 下切充填地震相

该地震相具谷状外形,下切充填特征明显,其两侧及底部边界十分清楚,内部为一套低连续—杂乱反射,显示充填内部为粒度较粗或者无序堆积特征,局部具有明显的侧向加积充填现象,推测为古河道或浊流冲刷水道沉积相(图 9)。

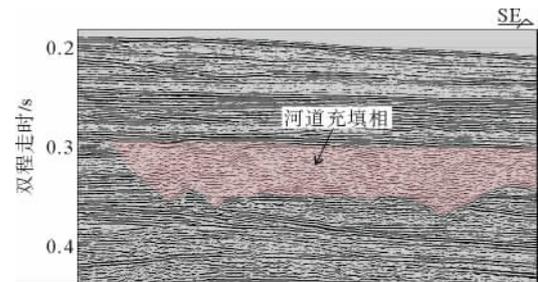


图 9 古河道充填相地震反射特征

Fig. 9 Seismic characteristics of paleo-river fillings

中沙海槽处发育下切充填结构,内部呈低频、弱振幅、低连续,杂乱反射特征,局部无反射、底部发育充填反射特征,反映内部物质成分较均匀,水动力条件弱,局部沉积物混杂堆积,推测为浊流水道相(图 10)。

(9) 杂乱地震相

以杂乱地震反射为特征。主要分布在琼东南陆坡陡坡、西沙海槽两侧槽坡以及神狐峡谷区处,局部海山周围亦存在小规模滑坡体。地震相以杂乱反射为主,外形呈透镜状、楔状或不规则状(图 11)。

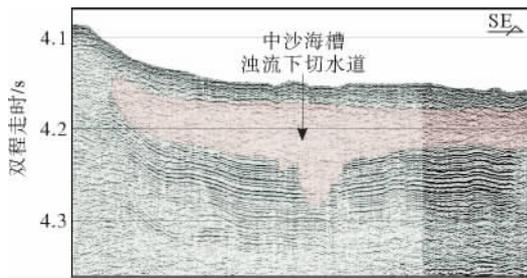


图 10 中沙海槽浊流水道沉积地震反射特征  
Fig. 10 Seismic characteristics of the debris channel at the Zhongsha trough

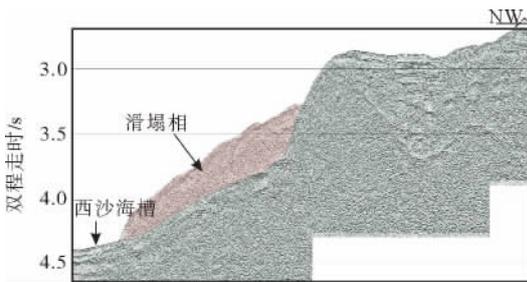


图 11 西沙海槽滑塌地震反射特征  
Fig. 11 Seismic characteristics of a slide at Xisha trough

(10) 条带状、波状、中—弱振幅、中—低连续、低频地震相

以条带状外形、波状结构、中—弱振幅、中—低连续、低频、局部杂乱反射为主要特征。主要分布在琼东南陆坡陡坡处，分布范围较小。反映在相对稳定沉积环境下，局部发生滑塌的地层特征，这类沉积相沉积物据推测为粗碎屑以及泥质沉积混杂的沉积体系在斜坡处局部发生滑移错动，解释为斜坡相(图 12)。

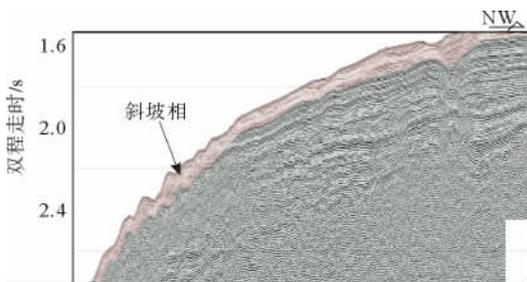


图 12 斜坡相地震反射特征  
Fig. 12 Seismic characteristics of steep slope sediments

(11) 披盖状、平行、强振幅、高频、高连续反射地震相

顶部以披盖状外形、平行结构、强振幅、高频、高连续位地震反射特征，内部则为平行、弱振幅、低频、连续地震反射特征为主。主要位于研究区南部西沙群岛海域，推测为碳酸盐岩台地相(图 13)。

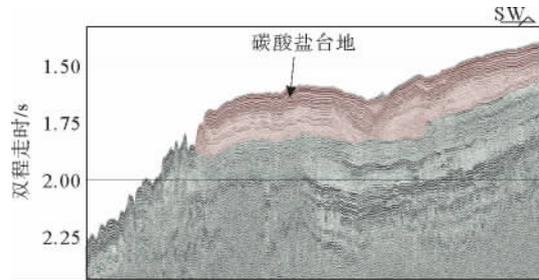


图 13 碳酸盐岩台地地震反射特征  
Fig. 13 Seismic characteristics of a carbonate platform

### 3 讨论

研究区水深变化大、地形复杂、地貌单元类型众多、沉积环境多变。根据地震相—沉积相的分析解释，对研究区晚第四纪沉积相分布特征进行了初步探讨(图 14)。

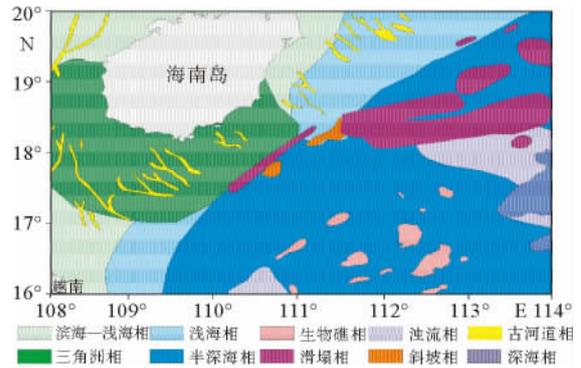


图 14 研究区晚第四纪沉积相分布  
Fig. 14 Distribution of sedimentary facies in the study area

三角洲相主要位于海南岛西南部陆架区，平面上呈扇状分布，从三角洲前积方向以及平面分布特征推测，三角洲物源主要来自海南岛。海南岛周缘发育大量河流，研究表明，海南岛上的陆源物质经过沿岸河流被大量搬运至莺歌海盆地<sup>[8]</sup>，本区晚第四纪广阔分布的三角洲平原沉积与海平面变化以及大量沉积物由陆地往海洋搬运密切相关

关。

地震相—沉积相分布特征表明,海南岛周缘陆架区发育大量的古河道。古河道延伸方向主要呈NW—SE向,其次为NE—SW向。晚第四纪以来南海曾发生多次海侵、海退<sup>[9]</sup>,末次盛冰期海平面下降达-145~-160 m,南海北部大陆架包括琼州海峡、北部湾等地区广泛海退并出露成陆<sup>[10]</sup>。晚第四纪海平面多次变化是陆架浅水区发育大量古河道的主要原因。

滨浅海相和浅海相总体上呈NE—SW向展布,与水深线延伸方向一致,说明这2种沉积相的分布主要受到地形控制,与近岸物源的供应以及水深等因素关系密切。陆坡区主要发育半深海相沉积,其分布范围约占研究区的1/2,是区内主要的沉积相。

斜坡相和滑塌相主要发育在西沙海槽两侧陡坡处、琼东南陆架坡折带以及神狐海域峡谷区。研究表明,西沙海槽两侧陡坡处发育的滑坡主要是由于巨厚沉积物在重力作用下发生整体性滑移引起的;琼东南陆坡处发育的滑塌主要是受底流的冲刷以及浅活动断层影响导致沉积物稳定性变差而引起的<sup>[11]</sup>;神狐峡谷区滑坡则与局部天然气水合物的分解密切相关,水合物分解可能导致神狐海域浅地层发生塌陷<sup>[12]</sup>。

研究区南部西沙群岛海域主要发育生物礁相。在中新世以后,因南海盆地区域热沉降,西沙地区沉于水下,早期的断块成为水下隆起并为生物礁的生长提供了良好的条件<sup>[13]</sup>。西沙群岛西琛一井钻探表明,该区域生物礁直接覆盖在前寒武纪结晶基底的风化壳上,厚度达1 251 m<sup>[13]</sup>,其矿物成分主要以低镁方解石和/或铁白云石为主<sup>[14]</sup>。研究表明,西沙群岛发育有5种类型的珊瑚礁,具有不同的地震相和沉积相特征。总体上,碳酸盐岩台地顶部以强振幅、平行、连续反射为特征,内部以中振幅、平行、连续为主。珊瑚礁与碳酸盐岩台地的规模差别也比较大。西沙群岛碳酸盐岩台地主要形成于早中新世,在中中新世、晚中新世和上新世生长形成<sup>[15]</sup>。研究区高分辨率的单道地震资料表明,碳酸盐岩台地在晚第四纪期间仍继续发育生长,并形成一定的规模。

南海西部深海平原 SA14-34 岩心详细的沉积物组分研究表明,该区域存在4个特征明显的

浊流层。认为浊积物主要来自西部陆架—陆坡区,有利的地形、丰富的物源和频繁的海底火山活动所诱发的地震是浊流发生的主要原因<sup>[16]</sup>。晚第四纪研究区内也存在浊流沉积,主要分布在西沙群岛西部海域以及西沙海槽北部陆坡区,推测区内的浊流沉积与局部的滑塌以及块体搬作用密切相关。

## 4 结论

南海西北部水深变化大,由陆架几十米变化至深海盆的3 500 m,地貌单元跨越了陆架、陆坡、岛礁、深海盆等,沉积环境复杂。通过高分辨率单道地震资料,开展区内晚第四纪地震相—沉积相特征及分布分析。

(1)区内发育的主要地震相共有11种:席状、亚平行、强振幅、低连续、中频地震相;披盖状、波状、中振幅、中—低连续、中低频地震相;披盖状、平行—亚平行、中—弱振幅、中连续、中—低频地震相;披盖状、平行、强振幅、高连续、中—高频地震相;席状、平行、中—弱振幅、高连续、中—低频地震相;披盖状、波状、弱振幅、低连续、低频地震相;前积相;下切充填地震相;杂乱地震相;条带状、波状、中—弱振幅、中—低连续,低频地震相;披盖状、平行、强振幅、高频、高连续地震相。

(2)区内晚第四纪主要发育有三角洲相、河道相、滨浅海相、浅海相、半深海相、深海相、滑塌相、斜坡相、浊流相、生物礁相等沉积相,其分布受海底地形地貌、构造运动等多种因素所控制。

参考文献:

- [1] 金庆焕. 南海地质与油气资源[M]. 北京:地质出版社, 1989.
- [2] 冯文科,黎维峰,石要红. 南海北部海底沙波地貌动态研究[J]. 海洋学报, 1994, 16(6): 92-99.
- [3] Xie X N, Müller R D, Ren J Y, et al. Stratigraphic architecture and evolution of the continental slope system in off-shore Hainan, northern South China Sea[J]. Marine Geology, 2008 (247): 129-144.
- [4] 鲍才旺. 南海地形图[C]//南海地质地球物理图集. 广州:广东地图出版社, 1987.
- [5] 姚伯初,曾维军, Hayes D E, 等. 中美合作调查南海地质专报[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1994: 34-140.
- [6] 刘方兰,吴庐山. 西沙海槽海域地形地貌特征及成因[J]. 海

- 洋地质与第四纪地质,2006,26(3):7-14.
- [7] 李丽青,陈泓君,彭学超,等.海洋区域地质调查中的高分辨率单道地震资料关键处理技术[J].物探与化探,2011,35(1):86-92.
- [8] 吕明.莺—琼盆地低位沉积模式的新探讨[J].中国海上油气(地质),2002,16(4):221-230.
- [9] 刘昭蜀,赵焕庭,范时清,等.南海地质[M].北京:科学出版社,2002:70-189.
- [10] 冯文科,黎维峰,石要红.南海北部海底沙波地貌动态研究[J].海洋学报,1994,16(6):92-99.
- [11] 陈泓君,黄磊,彭学超,等.南海西北陆坡天然气水合物调查区滑坡带特征及成因探讨[J].热带海洋学报,2012,31(5):18-25.
- [12] 陈泓君,蔡观强,罗伟东,等.南海北部陆坡神狐海域峡谷地貌形态特征与成因[J].海洋地质与第四纪地质,2012,32(5):19-26.
- [13] 黎昌.西沙、中沙群岛的形成与演化[C]//中国科学院南海海洋研究所编.南海海洋科学集刊,第七集.北京:科学出版社,1986:87-102.
- [14] 魏喜,贾承造,孟卫工,等.西琛一井碳酸盐岩的矿物成分、地化特征及底座意义[J].岩石学报,2007,23(11):3 015-3 025.
- [15] Ma Y B, Wu S G, Iliang L F, 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):770-783.
- [16] 陈芳,李学杰,刘坚,等.南海西部深海平原 SA14-34 岩心浊流沉积特征[J].南海地质研究,2007:31-39.

## TYPICAL SEISMIC AND SEDIMENTARY FACIES OF THE LATE QUATERNARY IN THE NORTHWESTERN SOUTH CHINA SEA

CHEN Hongjun, HUANG Wenkai, WU Jiaoqi

(Guangzhou Marine Geological Survey, Ministry of Land and Resources, Guangzhou 510075, China;  
Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Ministry of Land and Resources, Guangzhou 510075, China)

**Abstract:** The water depth of the northwestern South China Sea varies from tens of meters at the near shore area up to 3 500 m in the deep sea basin. Geomorphologically, the study area includes shelf, slope, oceanic basin and reefs, and the sedimentary environments are quite complicated. Detailed analysis of the seismic and sedimentary facies of the Late Quaternary in the study area have been carried out base on thousands of kilometers of high resolution single-channel seismic profiles. There are a total of 11 types of seismic facies distributed including the delta, paleo-river, erosional channel by turbidity current, offshore deposit, shallow sea deposit, hemipelagic deposit, pelagic deposit, slide body, deep slope deposit and carbonate platform. Further research shows that the distribution of different sedimentary facies is controlled by the bathymetry, geomorphology, and tectonic movement in the study area.

**Key words:** seismic facies; sedimentary facies; northwestern South China Sea; Late Quaternary