

南海西北部莺歌海盆地晚更新世 三角洲地震地层反射特征

黄文凯,陈泓君,邱 燕

(中国地质调查局广州海洋地质调查局,广州 510760;国土资源部海底矿产资源重点实验室,广州 510760)

摘 要:利用南海西北部莺歌海盆地高分率单道地震资料,在海南岛西南海域发现了一套晚更新世埋藏古三角洲,命名为琼西南三角洲。根据钻井资料的 AMS¹⁴C 与 OSL 光释光测年结果,初步确定琼西南三角洲顶、底界面的年龄分别约为 33.2 ka 和 45.9 ka。经粗略估算,该三角洲分布面积约 2.5 万 km²。根据区域地质背景和地震资料等综合分析,推断该三角洲沉积物主要来自海南岛西部并向外推进。该成果对研究南海西北部晚第四纪气候及沉积环境具有重要意义,亦可为油气勘探等提供基础资料。

关键词:南海西北部;莺歌海盆地;晚更新世;三角洲;地震地层

中图分类号:P539.1

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2015.08002

南海西北部位位于南海与东亚大陆、青藏高原之间的结合部位,在南海的构造活动、沉积环境演化、气候变迁等过程中具有重要的地位。莺歌海盆地位于南海西北部,是华南大陆、海南岛和越南部分陆缘物质通过河流输送进入南海的重要区域^[1]。广州海洋地质调查局在莺歌海盆地靠近海南岛西南海域发现了一套晚更新世埋藏古三角洲,为典型的陆架边缘三角洲,将其命名为“琼西南三角洲”。国内外研究证明,陆架边缘三角洲的前积层和滑塌层对于油气勘探意义重大^[2]。在陆架边缘三角洲发育过程中,河流所携带大量的碎屑越过陆架坡折,在陆坡较缓边缘形成分布范围广、厚度大的海底扇和斜坡扇等低水位扇,因此,三角洲具备良好生储性能^[3,4]。同时,晚更新世是全球气候变化较为频繁的时期,气候的波动造

成冰期与间冰期的不断交替,这种变化最直接的表现就是海平面的下降与上升。高海面时期形成的三角洲沉积一直是近年来研究的热点^[5],但在莺歌海盆地尚未见关于晚更新世三角洲的研究资料。本文通过分析高分辨率数字单道地震及浅钻资料,对最新发现的埋藏古三角洲开展研究,其成果对研究南海西北部晚第四纪气候及沉积环境具有重要意义,亦可为今后油气勘探等提供基础资料。

1 区域地质概况

研究区位于南海西北部莺歌海盆地(图 1),为亚洲季风区中的重要节点之一,莺歌海盆地位于印支地块与欧亚地块的拼接带上,其构造演化受红河断裂带的控制^[6],呈菱形 NW 向延伸。盆地内快速沉降形成巨厚的沉积,具有良好的油气前景^[7]。盆地发育巨厚的新近系和第四系沉积盖层(盆地中心最大沉积厚度>14 km),具有快速的沉降沉积活动(沉降速率为 0.1~0.5 mm/a,沉积速率为 0.4~1.4 mm/a)和异常高温高压

收稿日期:2015-07-02

基金项目:中国地质调查局项目(GZH201500207;1212010611302)

作者简介:黄文凯(1986—),男,硕士,助理工程师,主要从事海洋区域地质调查与研究方面的工作。E-mail:kevinwonghkwk@outlook.com

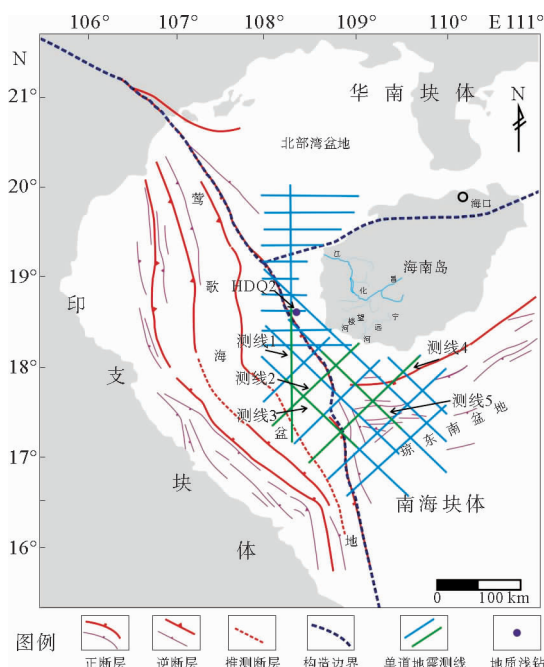


图 1 测线及地质浅钻位置(构造区划据文献[6])

Fig. 1 Location of single channel seismic lines and core HDQ2 (structural zones after reference [6])

(盆地内平均地温梯度 $4.25\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, 压力梯度高达 $18\sim 22\text{ kPa/m}$) 等特征, 被认为是世界上独特的沉积盆地^[8]。研究区同时位于海南岛西南部, 海南岛西部发育有昌化江、望楼河、宁远河等大型河流, 携带大量的沉积物注入本区^[9]。

2 材料与方法

2006—2011 年, 广州海洋地质调查局“奋斗五号”船在研究区开展了约 $3\ 100\text{ km}$ 的高分辨率单道地震测量和浅地层钻探工作(图 1)。高分辨率数字单道地震采用 G. I 枪震源, 工作压力 $2\ 000\text{ psi}(1.379\times 10^4\text{ kPa})$, 容量 $210\text{ in}^3(3.44\times 10^{-3}\text{ m}^3)$, 沉放深度 $2.5\sim 3\text{ m}$, 激发间隔为 $6\sim 7\text{ s}$, 记录长度为 $1\ 500\sim 2\ 000\text{ ms}$ 。对采集的原始单道地震资料剖面进行了精细处理^[10], 有效地压制了多次波, 获得了高信噪比、高分辨率的地震剖面。

HDQ2 孔站位水深 44 m , 总进尺 88.30 m , 取心长度 65.67 m , 取心率 74.37% , 钻探设备为 HGD-300 型海洋钻机。海上钻孔, 每回次进尺 $<3\text{ m}$, 用泥浆加压方式把岩心从取心管内压进

塑料管内密封保存, 在管上标注管号、进尺、回次、日期及顶底等并低温保存。

钻孔样品分别进行了光释光和 AMS- ^{14}C 测年分析。其中光释光测年由青岛海洋地质研究所实验测试中心进行, 测试采用石英颗粒的单片再生法进行年代测定, 仪器为 Daybreak 2200 释光测年系统。测试流程包含样品处理、测片制备、单片再生法测量、数据处理 4 步; AMS- ^{14}C 测试样品前处理与石墨靶制备由中国科学院广州地球化学研究所 AMS- ^{14}C 制样实验室进行。样品前处理采用酸—碱—酸方法, 即将样品酸洗以去除可能存在的碳酸盐, 然后碱洗以除可能存在的现代碳污染和后期进入的腐殖酸, 再次酸洗以除在制备过程中可能吸收的大气中的 CO_2 , 最后烘干。前处理后将样品转化为 CO_2 再制成石墨靶。制成的石墨靶样品送北京大学核物理与核技术国家重点实验室加速器质谱中心的美国 NEC ^{14}C 专用加速器质谱仪进行 ^{14}C 年代测定, 测量精度优于 4% 。

3 地震层序反射特征

3.1 地震反射界面

根据地震反射特征, 研究区由上至下共识别出 $R_1\sim R_5$ 个地震反射界面(图 2), 可在全区连续追踪, 界面 $R_3\sim R_5$ 部分区域连续性变弱, $R_1\sim R_2$ 界面之间存在一前积结构。

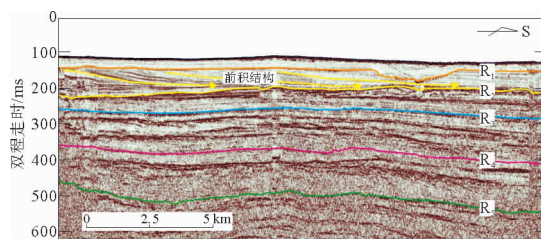


图 2 地震测线 1 中识别的地层与前积结构

Fig. 2 Progradational seismic reflections along seismic line 1

R_1 界面: 全区大部有分布, 总体呈高频、中振幅、中—高连续反射特征, 反射同相轴总体上相对平直、稳定, 可连续追踪, 局部发育有河谷下切现

象。近岸地区振幅较弱,连续性变差,难以追踪。该界面为一角度不整合界面,与其上地震层序的地震波反射同相轴平行;其下为一套前积结构地层, R_1 界面对下伏地层具有明显的削截作用。该界面尖灭于海南岛岸线外斜坡处。

R_2 界面:全区大部有分布,为高频、强振幅、高连续、1~2 相位反射特征。反射同相轴总体上相对平直、稳定,可连续追踪,局部存在明显的下切谷反射。该界面为一角度不整合,其上为一套前积结构地层。该界面尖灭于海南岛岸线附近。

前积结构地震层序(R_1 — R_2):顶界为 R_1 反射界面,底界为 R_2 反射界面,内部反射层组以高频、中—强振幅、高连续为特征,具有切线斜交型、平行斜交型、叠瓦型等前积反射结构类型,近岸处见波状或发散反射结构,席状披盖外形(图 3~7)。该套三角洲厚度总体较薄,呈近岸、近坡折带薄,中部厚的特点。

3.2 各测线前积结构地震反射特征

测线 1 剖面: R_1 界面为高频、中振幅、高连续、单相位反射特征,存在明显的下切谷现象,近岸地区振幅较弱、连续性变差,该界面对下伏地层削截作用明显; R_2 界面为高频、强振幅、高连续、双相位反射特征,有下切谷现象。 R_1 与 R_2 之间的三角洲反射特征为高频、中—强振幅、高连续,内部结构为切线斜交型前积结构,外部形态为席状。该前积结构为陡倾前积,反映水动力强,为近源扇三角洲环境所形成,且测线方向与沉积物推进方向较一致(图 3)。

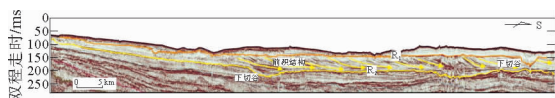


图 3 地震测线 1 剖面前积结构地震反射特征

Fig. 3 Progradational seismic reflection of the deltaic front deposits along seismic line 1

测线 2 剖面: R_1 、 R_2 界面均为高频、强振幅、高连续、单相位反射特征, R_1 界面对下伏地层削截作用明显; R_2 界面具有下切谷现象。 R_1 与 R_2 之间三角洲反射特征为高频、强振幅、高连续,内

部为切线斜交型前积结构,外部呈席状披盖形态。该前积结构为陡倾前积,反映水动力强,为近源扇三角洲环境所形成,且测线方向与沉积物推进方向较一致(图 4)。

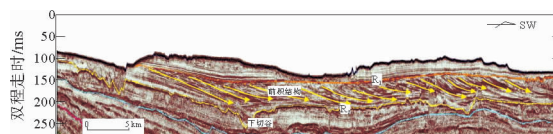


图 4 地震测线 2 剖面前积结构地震反射特征

Fig. 4 Progradational seismic reflections of the deltaic front along seismic line 2

测线 3 剖面: R_1 界面为高频、中振幅、高连续、双相位反射特征,存在明显的下切谷现象; R_2 界面为高频、强振幅、高连续、双相位反射特征,同样存在下切谷现象。 R_1 与 R_2 之间的三角洲反射特征为高频、中振幅、高连续,外部形态为席状披盖。内部结构在测线西北部为接近铲状的加积结构,指示测线方向近垂直于沉积物推进方向;测线东南部为平行斜交型前积结构,指示测线方向与沉积物推进方向较一致。该前积结构为缓倾前积,反映水动力较弱,推测为远源的三角洲环境(图 5)。

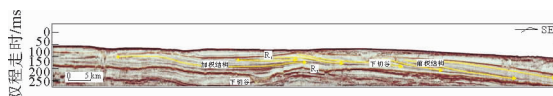


图 5 地震测线 3 剖面前积结构地震反射特征

Fig. 5 Progradational seismic reflections of the deltaic front along seismic line 3

测线 4 剖面: R_1 界面为高频、强振幅、高连续、单相位反射特征,该界面对下伏地层削截作用明显; R_2 界面为高频、强振幅、高连续、双相位反射特征。 R_1 与 R_2 之间三角洲反射特征为高频、中振幅、高连续,外部呈席状披盖形态。内部结构在测线东北部为近似加积层理的低角度平行斜交结构,前积层理倾角较缓,指示测线方向斜交于沉积物推进方向;测线西南部为叠瓦型前积结构,倾角较陡,指示测线方向与沉积物推进方向较一致(图 6)。

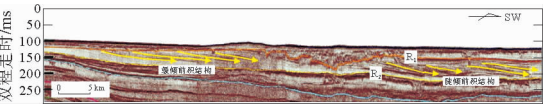


图 6 地震测线 4 剖面前积结构地震反射特征
Fig. 6 Progradational seismic reflection of the deltaic front along seismic line 4

测线 5 剖面: R_1 界面为高频、中振幅、高连续、单相位反射特征; R_2 界面为高频、强振幅、高连续、双相位反射特征。 R_1 与 R_2 之间三角洲反射特征为高频、中振幅、高连续。外部形态为透镜状,内部结构为平行斜交型前积结构,指示测线方向与沉积物推进方向较一致。该前积层为缓倾前积,反映水动力较弱,为远源的三角洲环境(图 7)。

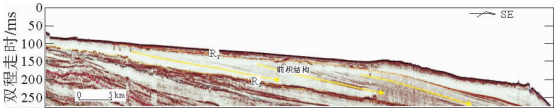


图 7 地震测线 5 剖面前积结构地震反射特征
Fig. 7 Progradational seismic reflections of the deltaic front along seismic line 5

4 时代属性特征

过井测线剖面相显示,地质浅钻 HDQ2 在 4.8、10.4、24、57.6 m 和 74.4 m 处分别钻遇 R_1 — R_5 5 个不整合面(图 8)。其中,过井处 R_1 界面受海底的同相轴影响较大,较难追踪;其余 4 个界面同相轴振幅较强,连续性较好,容易识别。

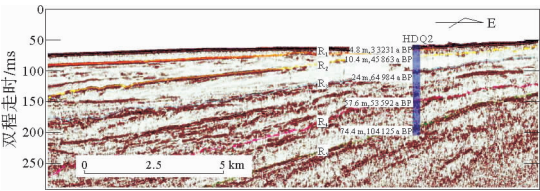


图 8 过井单道地震测线各地震反射界面年龄插值结果
(浅钻位置见图 1)
Fig. 8 Chronological interpretation of the seismic reflectors passing through core HDQ2

为确定研究区三角洲地层的时代属性,对 HDQ2 孔岩心样品进行了测年。其中,AMS- ^{14}C 测年的样品共 7 个,样品序号分别为 C1—C7;光释光测年的样品共 9 个,序号分别为 O1—O9,具体测试结果见表 1。

表 1 地质浅钻 HDQ2 测年结果
Table 1 Dating result of core HDQ2

样品序号	样品深度/m	测年结果
C1	0.63	(9 740±38) a
C2	1.10	(23 734±85) a
C3	3.40	(28 620±113) a
C4	3.60	(35 501±188) a*
C5	7.00	(33 405±166) a*
C6	9.50	(25 268±143) a*
C7	14.25	(31 111±159) a*
O1	22.70	(63±7) ka
O2	23.40	(67±7) ka
O3	29.00	(70±9) ka
O4	39.80	(78±8) ka
O5	45.60	(80±8) ka
O6	49.20	(83±9) ka
O7	65.20	(97±11) ka
O8	78.00	(107±11) ka
O9	88.00	(67±9) ka*

* 需剔除数据

AMS- ^{14}C 测年数据,比较可靠地反映了沉积物的年龄信息,但当测年数据 >3 万 a 时, ^{14}C 测年提供的年龄可能偏年轻,而且无法提供钻孔中、下部沉积物的年龄信息,因此,将 AMS- ^{14}C 测年中 >3 万 a 的结果剔除。而光释光测年结果表明,钻孔 78 m 处年龄约为 107 ka,但 88 m 处年龄为 67 ka(表 1),这可能是取样过程中样品受到污染,亦可能为测试数据误差所致,故将 88 m 处测年数据剔除。总体而言,钻孔揭露了全新统一上更新统。综合 2 种测年方法,拟合出 HDQ2 孔的时间—深度关系曲线(图 9)。

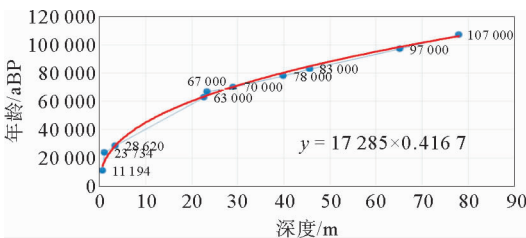
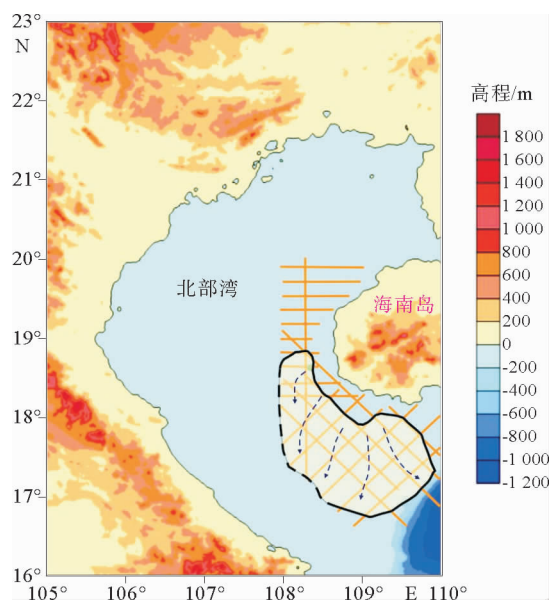


图 9 HDQ2 地质浅钻时间—深度关系曲线图
Fig. 9 Time-depth curve of core HDQ2

5 讨论

在综合分析已有的单道地震资料基础上,根据前积结构特征圈定出三角洲的分布范围(图 10)。但由于现有单道地震测线仅位于莺歌海盆地东部,无法完全揭示前积结构向 W、WS 向的展布情况,故西部与西南部边界为推测界线。该古三角洲总体沿海南岛西南海岸线呈放射状分布,其面积约为 25 000 km²。



黑色虚线表示推测界线;蓝色虚线表示物源推进方向

图 10 琼西南三角洲分布范围及物源推进方向示意图

Fig. 10 Distribution map of the delta and predicted directions of sediment transportation

5.1 三角洲年龄

钻孔测年结果表明,钻孔揭露了全新统一上更新统(图 9)。在对测年数据所拟合的时间—深度关系曲线进行插值换算,得出单道地震测线过浅钻的 5 个不整合面(即 R_1 — R_5 界面),4.8、10.4、24、57.6 m 和 74.4 m 处年龄分别为 33 231、45 863、64 984、93 592、104 125 a BP(图 8)。

根据地质浅钻测年结果所建立的年代学模型,地震反射界面 R_1 及 R_2 (即古三角洲的顶界面与底界面)年代落在 33.2~45.9 ka 的范围内,即氧同位素 3 阶段(MIS3),属于晚更新世。

5.2 三角洲物源

通过研究各地震反射剖面前积结构倾角,可确定每条测线上的前积方向。各测线所揭示的前积结构表明,测线 1、测线 2、测线 3 东南部、测线 4 西南部以及测线 5(图 3~7)为平行物源方向;测线 3 西北部(图 5)为垂直物源方向;测线 4 东北部(图 6)斜交于物源方向。

各测线所揭示的前积结构表明,物源方向均指向海南岛西南部,并由此处向外推进(图 10)。其中,三角洲西部前积结构推进方向主要为 WS 向,而东部主要向 ES 向推进,此差异可能是两者分属三角洲不同朵叶体所致。前人研究结果亦证实,莺歌海盆地东部沉积物是由海南岛沿岸众多短河流注入,在古陆坡下向南流动并汇合成南东向大水道(图 11)形成的^[11]。

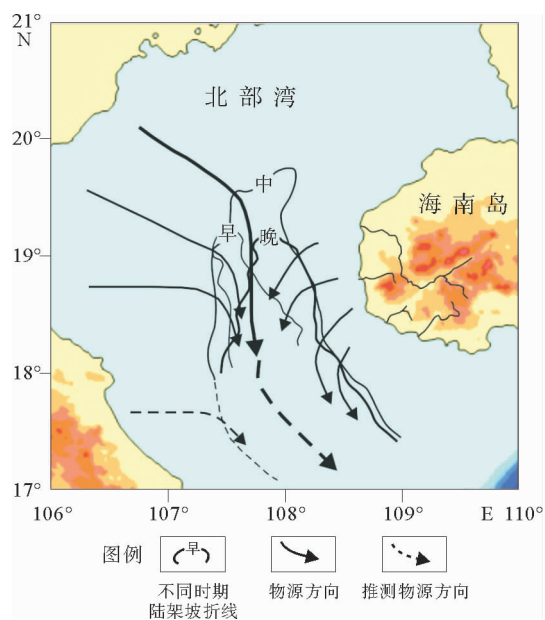


图 11 莺歌海盆地浅层沉积物源示意图
(据文献[11]修改)

Fig. 11 Map showing the shallow sediment source of Yinggehai Basin (modified from reference [11])

6 结论

通过分析南海西北部莺歌海盆地高分辨率单道地震和浅钻孔测年资料,对晚更新世以来的地震层序反射特征进行了分析,得到以下几点认识:

(1)研究区海南岛西南海域发育一个结构完整且相对独立的三角洲,命名为“琼西南三角洲”,其分布面积约为 25 000 km²。

(2)“琼西南三角洲”被顶、底 2 个剥蚀界面(即 R₁ 与 R₂ 地震反射界面)所圈闭,内部反射层组以高频、中—强振幅、高连续为特征,具有切线斜交型、平行斜交型、叠瓦型等前积反射结构类型,近岸处见波状或发散反射结构,席状披盖外形。该套三角洲厚度总体较薄,呈近岸、近坡折带薄,中部厚的特点。

(3)根据光释光和 AMS-¹⁴C 测年结果,“琼西南三角洲”发育年龄在约 33.2~45.9 ka 之间,即氧同位素 3 阶段(MIS3),属于晚更新世。

(4)地震资料和现今的地貌格局表明琼西南三角洲的物源可能来自海南岛西南部,并向外陆架推进。三角洲西部前积结构推进方向主要为 WS 方,而东部主要向为 ES 方推进,此差异可能是两者分属三角洲不同朵叶体所致。

参考文献:

[1] 田成静,欧阳婷萍,朱照宇,等. 海南岛周边海域表层沉积物磁化率空间分布特征及其物源指示意义[J]. 热带地理, 2013, 33(6): 666-673.

[2] Mayall M J, Yeilding C A, Oldroyd J D, et al. Facies in a shelf-edge delta-an example from the subsurface of the Gulf of Mexico, middle Pliocene, Mississippi Canyon, Block 109 [J]. AAPG Bulletin, 1992, 76: 435-448.

[3] 陈泓君,彭学超,朱本铎,等. 南海 1:100 万海南岛幅海洋区域地质调查与编图成果综述[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2014, 34(6): 95-107.

[4] 郭秀蓉,武强,邱燕,等. 南海曾母盆地南部陆架边缘三角洲沉积特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26(4): 1-6.

[5] 陶倩倩,刘宝华,李西双,等. 晚更新世南黄海西部陆架的古长江三角洲[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, 29(2): 15-24.

[6] 孙桂华,彭学超,黄永健. 红河断裂带莺歌海段地质构造特征[J]. 地质学报, 2013, 87(2): 154-166.

[7] 夏赓原. 莺歌海盆地速度结构及其对油气勘探的意义[J]. 科学通报, 1988, 43(4): 361-367.

[8] 李纯泉. 莺歌海盆地流体底辟构造及其对天然气成藏的贡献[J]. 中国海上油气(地质), 2000, 14(4): 253-257.

[9] 周祖光. 海南岛河流水体纳污分析[J]. 资源科学, 2006, 28(6): 141-145.

[10] 李丽青,陈泓君,彭学超,等. 海洋区域地质调查中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.

[11] 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.

SEISMIC STRATIGRAPHIC FEATURES OF THE LATE PLEISTOCENE DELTA OF THE YINGGEHAI BASIN, NORTHWEST OF SOUTH CHINA SEA

HUANG Wenkai, CHEN Hongjun, QIU Yan

(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: A late Pleistocene paleo-delta, which is named the Southwest Hainan Delta by the authors, has been found in the offshore region southwest to the Hainan Island by the interpretation of single channel seismic data. The delta was developed in the period from 45.9 ka to 33.2 ka according to AMS-¹⁴C and OSL dating of the Core HDQ2. A preliminary estimation suggests that the delta covers an area of around 25 000 km². Analysis of geological background and interpretation of seismic profiles indicate that the Island of Hainan was the main provenance of the deltaic sediments.

Key words: Northwestern South China Sea; Yinggehai Basin; late Pleistocene; delta; seismic stratigraphy