

文章编号:1009-2722(2015)08-0041-06

珠江口盆地白云凹陷北坡上新世—第四纪陆架边缘沉积体系特征

孙美静¹, 彭学超¹, 聂鑫¹, 刘杰²

(1 国土资源部海底矿产资源重点实验室, 广州海洋地质调查局, 广州 510075;

2 中国科学院天然气水合物重点实验室, 中国科学院广州能源研究所, 广州 510640)

摘要:运用珠江口盆地新采集的高分辨率多道地震资料, 结合前人在本区的钻井、岩心、测井曲线及地震的综合资料, 建立了白云凹陷北坡上新世—第四纪的等时地层格架, 在此基础上分析了陆架边缘典型沉积体系, 并初步探讨了其控制因素。研究表明, 上新世—第四纪地层内识别出 T_0 (海底)、 T_1 (1.8 Ma) 和 T_2 (5.3 Ma) 3 个三级层序界面, 划分出 A、B 2 个三级层序。研究区地震相主要有席状平行—亚平行地震相、帚状前积地震相、透镜状前积地震相、谷状充填地震相, 不同的地震相及其组合代表特定的沉积体系。地震相特征分析表明, 研究区上新世—第四纪发育大规模的陆架边缘三角洲和深切水道群, 深切水道是沉积物向下陆坡—深海盆输送的通道。白云凹陷北坡上新世—第四纪沉积体系的发育受陆架边缘的地形、海平面升降、沉积物供给等因素的控制。

关键词:珠江口盆地; 白云凹陷; 上新世—第四纪; 陆架边缘; 沉积体系

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2015.08006

近几十年的油气勘探证实南海陆架新生代沉积中含丰富的油气资源, 随着技术的不断进步, 油气勘探重点已由陆架浅水区逐渐向陆坡深水区转移^[1-4]。陆架边缘是海底重要的地貌单元, 是连接陆架、陆坡和深海盆地的枢纽带。近年来在墨西哥湾、印度哥伦布盆地、非洲海岸、南海北部珠江口盆地白云凹陷等地区陆架边缘沉积体系油气勘探的成功, 证实了陆架边缘沉积体系具有很高的油气勘探潜力, 成为深水油气勘探的热点^[5-8]。陆架边缘三角洲、深切水道等是陆架边缘重要的沉积相。作为“源—汇系统”的组成部分, 陆架边缘坡折带控制着沉积物由陆向海的输送过程, 记录了区域海

平面升降、气候变化、构造活动等信息^[9-12]。

23.8~21 Ma 时, 珠江口盆地白云凹陷陆架坡折带由南部隆起带附近跃迁到白云凹陷北坡, 21 Ma 以来则一直稳定分布, 白云凹陷也由渐新世晚期的浅海陆架环境转为陆坡深水环境^[13]。前人针对研究区渐新世—中新世的陆架边缘沉积体系展开了相关研究, 包括陆架边缘沉积体的平面展布、沉积旋回的划分、充填演化特征、控制因素等^[1,3,14,15], 而针对上新世—第四纪以来的陆架边缘沉积体系研究较少。本文重点围绕陆架边缘坡折带和上陆坡的沉积体系展开讨论。

1 地质概况

珠江口盆地是我国南海北部中生代被动大陆边缘裂陷盆地, 呈 NE—SW 方向展布。它经历了多期构造演化: 从古新世到早渐新世先后经历

收稿日期: 2015-06-03

基金项目: 中国地质调查局项目(1212011220115); 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室开放基金(TPR-2014-14)

作者简介: 孙美静(1986—), 女, 硕士, 助理工程师, 主要从事海洋区域地质调查工作。E-mail: sunmeijing0411@163.com

了神狐运动(裂陷开始)、珠琼一幕、珠琼二幕和南海运动(裂后开始),为盆地陆相断陷发育期;晚渐新世一早中新世经受白云运动,为断拗转换期;中中新世经历了东沙运动,盆地拗陷期,以区域热沉降为主,形成了广海盆地,因此形成的洼陷大部分具有典型“下断上拗”的双层构造特征^[16-18]。受多期构造运动影响,珠江口盆地形成“南北分带,东西分块”的构造格局。从南向北珠江口盆地划分

为5个构造单元:南部隆起带、南部拗陷带、中央隆起带、北部拗陷带、北部隆起带^[19]。

白云凹陷位于珠江口盆地南部拗陷带,分布于珠二拗陷内,整体呈近EW走向。北部为番禺低隆起,南侧是南部隆起带,西部为云开低凸起,东侧是东沙隆起(图1)。白云凹陷面积约 $1.206 \times 10^4 \text{ km}^2$,最大沉积厚度达 $1.1 \times 10^4 \text{ m}$ ^[4],是盆地内规模最大凹陷。

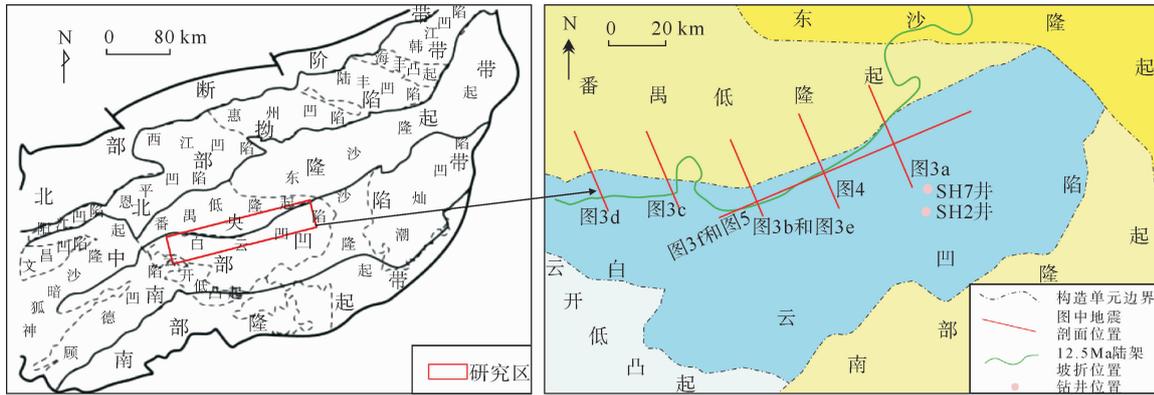


图1 珠江口盆地构造区划(左)及研究区剖面位置(右)(据文献[3,4]修改)

Fig. 1 Tectonic map of the Pearl River Mouth basin (left) and the profile locations of the study area (right) (modified from references [3,4])

2 地震相分析

2.1 层序对比与划分

结合白云凹陷 SH2 井和 SH7 井钻井资料及前人在珠江口盆地层序地层学研究工作,建立了白云凹陷北坡的层序地层格架。重点根据地震反射波的侵蚀削截、顶超、上超及下超等终止现象,识别出3个地震反射界面: T_0 界面(海底)、 T_1 界面(SB1.8 Ma)和 T_2 界面(SB5.3 Ma),进一步划分出2个三级层序:层序 A (T_0-T_1) 和层序 B (T_1-T_2)(图2)。

2.1.1 层序界面特征

T_1 界面(SB1.8 Ma) 由1~2个相位组成,主要为中-高频、强振幅、高连续反射特征,反射同向轴较平直、稳定,可连续追踪。陆架向陆坡过渡地带,界面波状起伏较大。该界面上、下反射同向轴以平行接触为主,局部地区多见上超和下超现

象,下切水道非常发育。 T_1 界面是第四系底界。

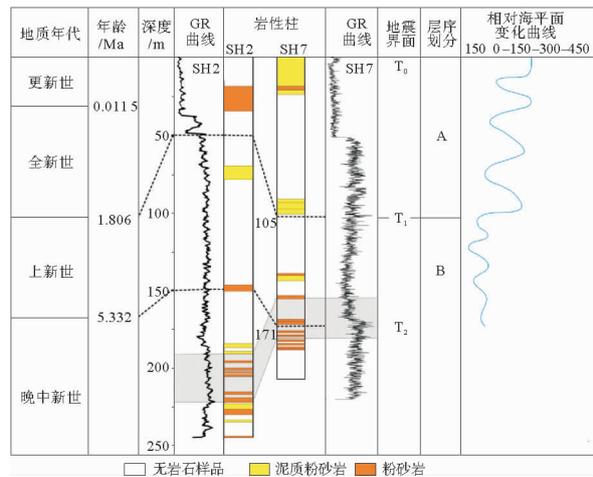


图2 珠江口盆地白云凹陷北坡5.3 Ma以来层序地层划分(据文献[6,20]修改)

Fig. 2 Sequences after 5.3 Ma in the northern slope of Baiyun Sag, the Pearl River Mouth Basin (modified from references [6,20])

T_2 界面(SB5.3 Ma) 在陆架区总体由 1~2 个相位组成,为高频、中—强振幅、高连续反射特征。与上覆地层以平行接触为主,局部地区为下超;与下伏地层总体平行,局部有削截现象。在白云凹陷北坡陆架边缘坡折带处,下切水道发育,该界面及其上、下反射层组有较大的波状起伏,可见下超和削截现象。 T_2 界面是上新统底界,即上新统与上中新统的分界。

2.1.2 层序特征

层序 B(T_1 — T_2) 层序内部反射层组总体表现出高频、中—强振幅、高连续、平行结构、席状外形的特征。陆架边缘局部为中频、中—强振幅交替、中连续反射,也常见斜交前积结构,局部区域亦有明显的波状起伏、充填状、透镜状、楔状外形。广泛发育水道群,呈明显的“U”形、“V”形或是深度较浅但横向下切较宽的充填水道。

层序 A(T_0 — T_1) 底界面为 T_1 ,顶界面为 T_0 (海底)。层序总体呈中—高频率、中—强振幅、高连续、平行结构、席状外形的特征,局部可见前积结构、楔状外形。陆架边缘区,呈中—高频、弱振幅、中连续反射,为亚平行结构、斜交前积和大型 S 型前积结构,发育有典型的波状起伏,楔状或梭状外形的地震反射层组,较层序 B,波状起伏幅度更大,下切水道亦非常发育。

2.2 典型地震相特征

地震相是由特定的地震反射参数所限定的三维空间地震反射单元,是沉积外形、岩性组合及叠置形式在空间的组合方式,在地震中客观显示出沉积环境,每一特征的地震相分别代表某一类沉积类型^[21,22]。白云凹陷北坡识别出的主要地震相如下:

席状平行、亚平行地震相 主要分布在白云凹陷上陆架区及部分陆架坡折区,层序 A、B 内都有发育(图 3a),主要呈席状外形,平行、亚平行结构,强振幅为主,局部与中、弱振幅互层,为高频,局部显示中频特征,连续性很好,厚度较稳定。该地震相反映的是相对稳定的低能沉积环境,推测其为浅海—半深海相沉积。

帚状前积地震相 主要发育于靠近陆架坡折区的层序 A、B 中。总体呈帚状外形,内部为斜交前积,亦可见大型“S”形前积反射特征,反射层组向顶界顶超,向底部收敛,与顶界呈斜交接触,反射同

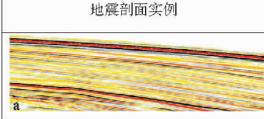
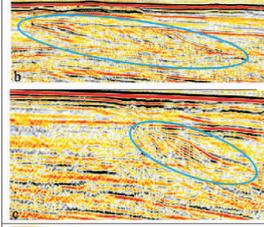
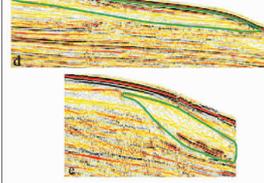
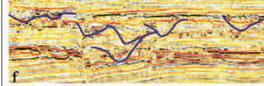
地震剖面实例	地震相特征	发育的层序	沉积相类型
	席状平行、亚平行地震相	A、B层序内	浅海—半深海相
	帚状前积地震相	A、B层序内	陆架边缘三角洲
	透镜状前积地震相	A层序内	
	谷状充填地震相	A、B层序内	下切水道

图 3 白云凹陷陆架边缘地震相特征分类(剖面位置见图 1)

Fig. 3 Seismic facies at shelf margin of Baiyun Sag

(for profile location see Fig. 1)

向轴上倾方向呈席状平行,底部向陆坡散开,不断下超到底部席状平行反射层组上(图 3b、3c)。局部由于水流的冲刷而缺失顶积层,向底部收敛。反映高能水流环境,沉积物供应充足,水动力环境作用强,沉积物从陆架区经由陆架边缘坡折带向陆坡搬运,形成典型陆架外缘或三角洲前缘沉积体。

透镜状前积地震相 主要发育于陆架坡折区的层序 A 中(图 3d、3e),以上下两条“S”形强振幅、高频、连续的同相轴与周围地层隔开,外形呈透镜状,分别向陆和向海两个方向变薄,内部地震反射层组振幅相对较弱,靠近底界面的沉积层呈强振幅连续反射。通常代表低水位晚期沉积物越过陆架坡折向深凹陷区推进的三角洲沉积体。

谷状充填地震相 主要发育在陆架边缘部位层序 A、B 中。下切谷充填样式包括垂向加积型、侧向加积型、杂乱型、复合型。下切充填特征明显,其特征分为 2 类:①水道充填地震相为前积结构或亚平行结构,以中—高频率、中振幅、中连续反射,局部显示为弱振幅。表明水动力较强,水体震荡和较强冲刷,剖面上显示水道充填过程中发生侧向迁移现象;②下切谷充填地震相显示为中间呈“U”形或“V”形下切,为弱振幅;向两侧为平台状两翼,呈

平行、亚平行结构,外部为强振幅边界,内部为弱振幅,总体为高频、中连续(图 3f)。反映出水动力非常强,水道成片分布,并且多期水道叠置发育,侵蚀水道的“U”形或“V”形范围沉积物充填后向两侧溢出,则显示为该水道两侧的平直“两翼”,外形呈“海鸥翼”,形成水道—天然堤岸复合沉积体。

3 典型沉积体系及成因分析

上新世(5.3 Ma)以来,珠江口盆地发生多次海进、海退,但总体是呈现海退的过程(图 2),尤以第四纪气候旋回中海平面下降幅度达 120 m,导致珠江口海岸线位置大幅迁移,向海方向迁移约 200 km^[23]。在这种海平面变化的背景下,古珠江所携带的沉积物越过大陆架向陆坡及深海盆输送,在陆架边缘发育一系列大规模的陆架边缘三角洲和深切水道群等沉积体系。

3.1 陆架边缘三角洲

在白云凹陷北坡发育有明显的三角洲前积体,其主要分布在层序 A 中,层序 B 中则发育小型三角洲。三角洲前积体发育于早期的陆架边缘及陆坡之上,由陆架向陆坡方向呈斜坡楔形体(图 4)。三角洲前积体内部反射为大型斜交“S”型前

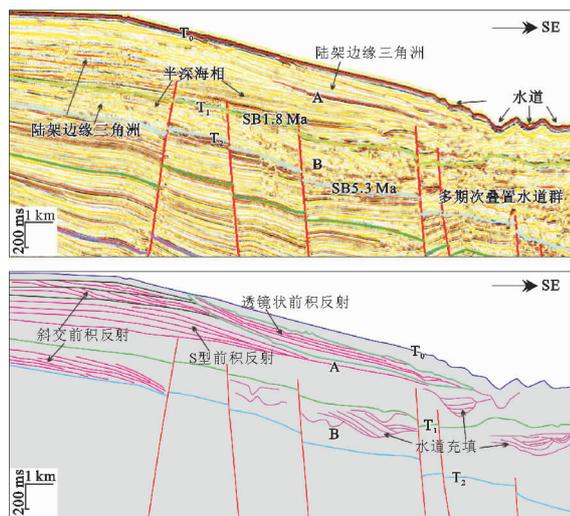


图 4 白云凹陷北坡陆架边缘剖面及其沉积体系解析(剖面位置见图 1)

Fig. 4 Schematic diagram of depositional system at the shelf edge on the north slope of Baiyun Sag (for profile location see Fig. 1)

积结构,向陆架方向上超于楔形体外包络面,下超于层序底界面,周围是被平行—亚平行结构的陆架泥岩包围。三角洲前积体的平行反射顶超面与下超底界面的水平落差较大,一般有上百米,最大可达 800 余米。三角洲的前积层依陆架向陆坡转折的地势而坡度变陡。

陆架边缘三角洲平面上呈扇形,北西至东南向展布,由陆架边缘一直延伸到上陆坡位置,一般可达 5~10 km。随着相对海平面的下降和陆架边缘三角洲的进积,陆架坡折向下陆坡和深凹陷方向迁移。同时,陆架边缘三角洲的持续进积使得沉积物流对陆坡区的侵蚀作用增强,向下陆坡与凹陷中心方向发育复合水道、重力滑塌体及深水扇体系等^[2,24,25]。

3.2 下切水道

下切水道主要发育在陆架坡折带及上陆坡区。它是陆源沉积物向陆坡和深海盆输送的主要通道,同时也是粗粒沉积物的沉积场所,因此水道对陆坡和凹陷沉积体系的发育有着至关重要作用。水道在层序界面上以及层序 A、B 内广泛分布,总体表现为深切谷状(一般呈“V”形、“U”形谷状),垂向深度可达 100~300 ms,并具有强烈的削截下切、侧向迁移和多期次叠置充填的特征。水道的下切轮廓复杂多变,是沉积环境水动力很强、水道摆动不定、频繁发生分支和改道而形成的(图 5)。研究区内见早期发育陆架边缘三角洲沉积体被剥蚀为下切谷,后再次充填沉积。

4 结论

(1)白云凹陷陆架边缘坡折带区上新世—第四纪地震层序内主要识别出 4 种典型地震相:席状平行—亚平行地震相、帚状前积地震相、透镜状前积地震相、谷状充填地震相。分析认为,席状平行—亚平行地震相为浅海—半深海相沉积;帚状前积与透镜状前积地震相为陆架边缘三角洲沉积;谷状充填地震相是下切水道沉积。

(2)上新世以来南海北部陆架—陆坡区发生多期次海进、海退,由于海平面变化及陆架边缘坡折带的地形影响以及来自于古珠江的充足陆源物质供应,在陆架边缘发育大规模的陆架边缘三角

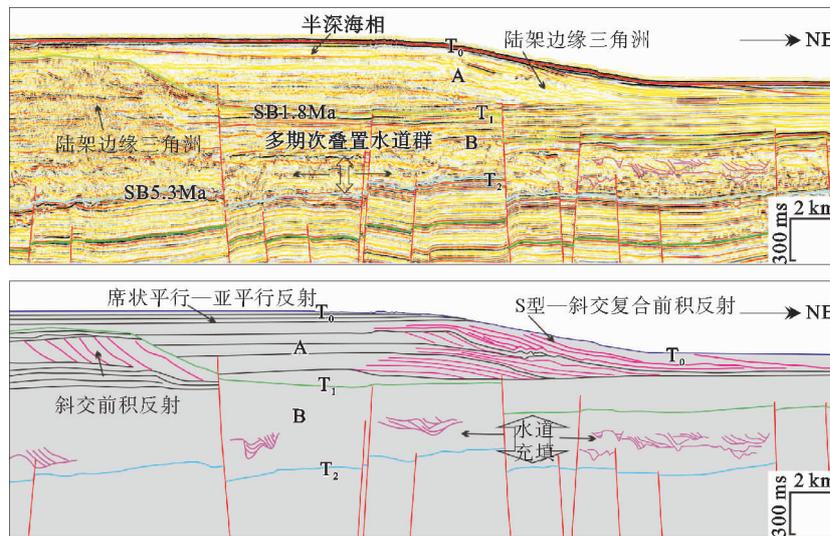


图 5 白云凹陷北坡陆架边缘沉积体系解析(剖面位置见图 1)

Fig. 5 Schematic diagram of depositional system at the shelf edge on the north slope of Baiyun Sag (for profile location see Fig. 1)

洲沉积体和多期叠加的深切水道群,下切水道成为沉积物经陆架、陆坡到深海盆输送的主要通道。

本文的研究成果有助于加深白云凹陷陆架坡折带沉积环境演化的认识,为陆架边缘沉积体系的油气勘探提供科学依据。

参考文献:

- [1] 祝彦贺,朱伟林,徐强,等. 珠江口盆地 13.8 Ma 陆架边缘三角洲与陆坡深水扇的“源—汇”关系[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2011, 42(12): 3 827-3 834.
- [2] 朱伟林,钟 锴,李友川,等. 南海北部深水区油气成藏与勘探[J]. 中国科学, 2012, 57(20): 1 833-1 841.
- [3] 柳保军,庞 雄,颜承志,等. 珠江口盆地白云深水区渐新世—中新世: 陆架坡折带演化及油气勘探意义[J]. 石油学报, 2011, 32(2): 234-242.
- [4] 张功成,杨海长,陈 莹,等. 白云凹陷——珠江口盆地深水区一个巨大的富生气凹陷[J]. 天然气工业, 2014, 34(11): 11-25.
- [5] 张忠涛,秦成岗,高 鹏,等. 珠江口盆地白云凹陷北坡陆架坡折带地质特征及其油气勘探潜力[J]. 天然气工业, 2011, 31(5): 39-44.
- [6] 徐 强,王英民,吕 明,等. 陆架边缘三角洲在层序地层格架中的识别及其意义[J]. 石油天然气地质, 2011, 32(54): 733-742.
- [7] Sydow J, Roberts H H. Stratigraphic framework of a late Pleistocene shelf-edge delta, northeast Gulf of Mexico[J]. AAPG Bulletin, 1994, 78(8): 1 276-1 312.
- [8] Muto T, Steel R J. In defense of shelf-edge delta develop-

ment during falling and lowstand of relative sea level[J]. Journal of Geology, 2002, 110(4): 421-436.

- [9] Plink-Bjorklund P, Steel R J. Sea-level fall below the shelf edge, without basin-floor fans[J]. Geology, 2002, 30: 115-118.
- [10] Kolla V, Biondi P, Long B, et al. Sequence stratigraphy and architecture of the late Pleistocene Lagniappe delta complex, northeast Gulf of Mexico[J]. Geological Society, London, Special Publications, 2000, 172(1): 291-327.
- [11] Porebski S J, Steel R J. Shelf-margin deltas: their stratigraphic significance and relation to deepwater sands[J]. Earth-Science Reviews, 2003, 62(3-4): 283-326.
- [12] Sanchez C M, Fulthorpe C S, Steel R J. Miocene shelf-edge deltas and their impact on deepwater slope progradation and morphology, Northwest Shelf of Australia[J]. Basin Research, 2012, 24(6): 683-698.
- [13] 庞 雄,陈长民,邵 磊,等. 白云运动: 南海北部渐新统一中新世重大地质事件及其意义[J]. 地质论评, 2007, 53(2): 145-150.
- [14] 吴景富,徐 强,祝彦贺. 南海白云凹陷深水区渐新世—中新世陆架边缘三角洲形成及演化[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2010, 35(4): 681-691.
- [15] 祝彦贺. 珠江口盆地早中新世陆架—陆坡沉积系统构成及储集体分布[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2011, 26(6): 1-8.
- [16] 龚再升,李思田. 南海北部大陆边缘盆地油气成藏动力学研究[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 9-25.
- [17] 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.
- [18] 孙 珍, 庞 雄, 钟志洪, 等. 珠江口盆地白云凹陷新生代构造演化动力学[J]. 地学前缘, 2005, 12(4): 489-498.
- [19] 郭巧珍, 陈 峰, 杨香华, 等. 珠江口盆地惠州凹陷恩平组浅水辫状河三角洲沉积[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2013, 33(1): 25-32.
- [20] Wang X J, Wu S G, Lee M. Gas hydrate saturation from acoustic impedance and resistivity logs in the Shenhu area, South China Sea [J]. Marine and Petroleum Geology, 2011, 28(9):1 625-1 633.
- [21] 武 强, 解习农, 邱 燕, 等. 珠江口盆地白云凹陷陆坡区 10.5 Ma 以来的沉积体系[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2008, 28(2): 1-6.
- [22] 陈泓君, 黄文凯, 吴蛟岐. 南海西北部晚第四纪典型地震相—沉积相特征[J]. 海洋地质前沿, 2013, 29(11): 1-7.
- [23] 贾国东, 谢宏琴. 南海北部海水氧同位素剩余值在冰期—间冰期气候旋回中的变化及其古气候意义[J]. 地学前缘, 2006, 13(1): 199-204.
- [24] 李 云, 郑荣才, 高博禹, 等. 深水扇沉积研究现状和展望——以珠江口盆地白云凹陷珠江深水扇系统为例[J]. 地质论评, 2010, 56(4):549-560.
- [25] 李 磊, 王英民, 徐 强, 等. 南海北部陆坡地震地貌及深水重力流沉积过程主控因素[J]. 中国科学(D辑:地球科学), 2012, 42(10):1 533-1 543.

PLIOCENE-QUATERNARY SHELF-EDGE DEPOSITIONAL SYSTEMS ON THE NORTHERN SLOPE OF BAIYUN SAG, THE PEARL RIVER MOUTH BASIN

SUN Meijing¹, PENG Xuechao¹, NIE Xin¹, LIU Jie²

(1 Key laboratory of Marine Mineral Resources, Ministry of Land and Resources, Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510075, China; 2 Key Laboratory of Gas Hydrate, Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Chian)

Abstract: Based on the high resolution multi-channel seismic data, drilling cores and well logs data, the Pliocene-Quaternary isochronous stratigraphic framework is established for the northern slope of the Baiyun Sag. Typical depositional systems are recognized on the northern shelf-edge and their controlling factors are preliminarily discussed in this paper. Our study shows that there are three third-order sequence boundaries, namely, T_0 (seafloor), T_1 (1.8 Ma), T_2 (5.3 Ma) and two third-order sequences, i. e. A and B within the Pliocene- Quaternary deposits. Seismic facies, such as the sheet-like parallel-subparallel seismic facies, broom-like foreset seismic facies, lenticular foreset seismic facies, and filling seismic facies are identified. The seismic facies are products of specific types of deposition controlled by the topography of the shelf break, sea level change, sediment supply and other factors. Large-scale shelf edge deltas and extensive deep water channels have been developed in the study area since Pliocene. Channels provide conduits for transportation of terrigenous materials to the lower slope and abyssal basin.

Key words: Peral River Mouth basin; Baiyun depression; Pliocene-Quaternary; shelf-edge; sedimentary system