

珠江口盆地白云凹陷北坡新近系层序构型及油气有利区

易雪斐¹, 张昌民¹, 李少华¹, 杜家元^{1,2}, 周凤娟², 袁才²

(1. 长江大学 油气资源与勘探技术教育部重点实验室, 湖北 武汉 430100; 2. 中海石油 深圳分公司, 广东 广州 510240)

摘要:珠江口盆地白云凹陷北坡是南海油气勘探的重要区域之一。前人借助岩心、地震、测井曲线以及古生物资料,将全盆地新近系划分出14个三级层序。在等时地层层序格架下,对白云凹陷北坡重点层序进行了层序构型分析,进而指导了油气勘探有利区域的预测。从北向南,研究区依次发育H型、TH型、T型以及L型层序。其中,L型和H型层序有利于储层发育,而T型有利于烃源岩发育。另外,内、外多种地质条件的共同控制使得白云凹陷北坡新近系发育着不同类型的三角洲,单个层序内可依次出现陆架边缘三角洲—内陆架三角洲—中陆架三角洲的交替。L型层序主要由陆架边缘三角洲—峡谷水道—浊积扇体等沉积体系组成;TH型、T型层序以内—中陆架三角洲及陆棚体系为主;H型主要包括了中陆架三角洲—陆棚沉积体系。白云凹陷北部的内—中陆架三角洲中的分流水道,以及白云凹陷中部的陆架边缘三角洲中的水下分流河道、河口坝及远砂坝、峡谷水道、浊积扇体均为油气富集有利砂体。

关键词:L型层序;层序构型;陆架边缘三角洲;有利区域;白云凹陷北坡;珠江口盆地

中图分类号:TE121.2

文献标识码:A

Sequence stratigraphic architecture and play fairways of the Neogene on the north slope of Baiyun Sag, Pearl River Mouth Basin

Yi Xuefei¹, Zhang Changmin¹, Li Shaohua¹, Du Jiayuan^{1,2}, Zhou Fengjuan², Yuan Cai²

(1. Key Laboratory of Oil and Gas Resources and Exploration, Yangtze University, Wuhan, Hubei 430100, China;

2. Shenzhen Branch of CNOOC, Guangzhou, Guangdong 510240, China)

Abstract: The north slope of Baiyun Sag is one of the important areas for the oil-gas exploration in Pearl River Mouth Basin. Based on cores, seismic, log and paleontological data, 14 third-order sequences were identified in the Neogene of the study area by the former researcher. Under an isochronous stratigraphic framework, this paper analyzed the sequence architecture of key sequences on the north slope of Baiyun sag, and predicted the play fairways. From north to south, 4 types of sequences, including H type, TH type, T type and L type, were developed successively. Among them, the H type and L type were favorable for reservoir development, while T type was favorable for development of source rocks. Moreover, the joint control of multiple geologic conditions led to the development of various types of delta in the Neogene on the north slope of Baiyun sag. Alternating shelf-margin delta, inner-shelf delta and mid-shelf delta may occur successively in a single sequence. The L type sequence is mainly composed of shelf-margin delta, canyon channel and turbidite fans; the T and TH type sequences are dominated by inner-mid shelf delta and shelf system; and the H type sequence consists mainly of mid-shelf delta and shelf system. As a result, distributary channel sandbodies in the inner- or mid-shelf delta in the northern part of Baiyun sag, as well as the underwater distributary channel, river mouth bars, distal bars, canyon channel and turbidite fans were all favorable for oil & gas accumulation in the study area.

Key words: L type sequence, sequence stratigraphic architecture, shelf-margin delta, play fairway, north slope of Baiyun Sag, Pearl River Mouth Basin

珠江口盆地位于我国南海北部,处于广东大陆以南、海南岛和台湾之间的大陆架及大陆坡区,面积 $14.7 \times 10^4 \text{ km}^2$,是一个大型的以新生界为主体的沉积区^[1-2]。珠江口盆地是我国海洋石油快速发展的原油

生产基地之一,自1983年以来已发现油气储量6亿多吨,连续多年年产量超过千万立方米^[3]。白云凹陷是珠江口盆地最大的凹陷,白云凹陷北坡(简称白云北坡)具有良好的天然气成藏条件,它气源充足、储盖优

良、圈闭条件优越、复合输导体系使油气运移顺畅无阻,是天然气勘探的重点区域^[4]。但是,多年的钻探后,珠江口盆地显形的构造圈闭越来越少,钻探风险日益增大,隐蔽油气藏勘探迫在眉睫。国内外勘探开发实例证明,层序地层学成为隐蔽性油气藏勘探最有效的方法。近20多年,层序地层学研究已经普及到珠江口盆地油气勘探的各个区块,并取得了大量的成果和认识^[5-7]。但前人的层序地层学研究大多针是对某一区块进行的,有一定的针对性和局限性。本次研究是在全区层序地层学综合研究的基础上,重点对白云北坡不同层序格架进行层序构型识别,更深刻的认识层序类型,分析层序格架下的沉积体系类型及展布,为预测白云北坡有利勘探区域提供科学指导。

1 地质背景

珠江口盆地属华南大陆边缘的水下延伸部分,它处于太平洋、欧亚及印度-澳大利亚3个板块相互作用的特殊构造位置和特提斯构造域与太平洋构造域的混合叠置区^[8]。主要经历了早始新世—中渐新世时期的伸展断陷、晚渐新世—中中新世的拗陷沉降及晚中新世以后的块断升降三大构造演化阶段,形成了5个北东向的大型构造带。白云北坡包含了中央隆起带上的番禺低隆起和南部拗陷带中的白云凹陷北部(图1)。在复杂的地质背景和地球动力学条件下,白云北坡充填了文昌组河湖相沉积、恩平组大型湖盆沉积、珠海组三角洲-浅海陆相沉积、珠江组-粤海组三角洲-陆棚-陆坡深水沉积以及第四系粘土质粉砂沉积^[9-10]。新近纪以来白云运动伴随着南海扩张脊向南跃迁,使陆架坡折从之前的白云凹陷的南部跃迁至白云凹陷的北部,而东沙运动造成了断块的升降(图2)。

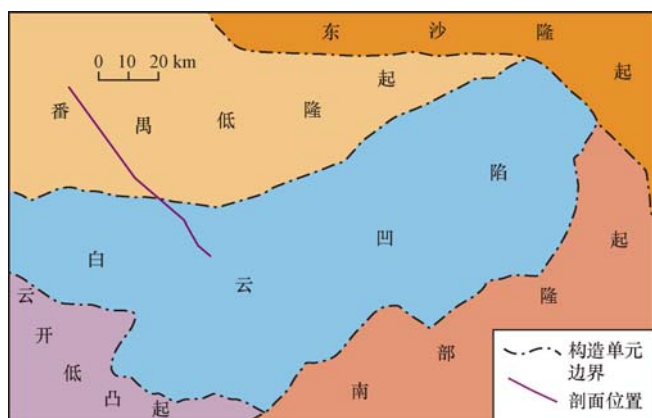


图1 珠江口盆地白云凹陷北坡位置

Fig. 1 Location of the north slope of Baiyun Sag, Pearl River Mouth Basin

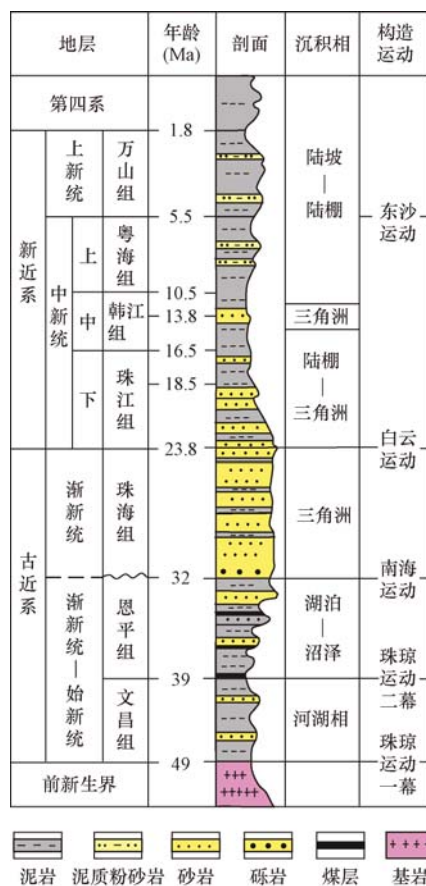


图2 珠江口盆地白云凹陷北坡地层柱状图

Fig. 2 Columnar section of the north slope of Baiyun Sag, Pearl River Mouth Basin

2 层序格架及层序构型

本次的层序地层学研究是在前人研究的基础上,结合运用岩心上的风化壳和岩性突变面、测井曲线形态和组合样式的突变^[11]、地震反射上的削截、顶超、上超和下切谷等特征^[12]以及古生物资料^[13],在新近系识别出15个三级层序界面和3个二级层序界面,对应划分了14个三级层序(NSQ1—NSQ14)和2个二级层序(23.8~10.5 Ma和10.5~5.5 Ma)(图3),首次实现了珠江口盆地全盆层序格架的拉通。这些层序界面特征在白云凹陷非常明显,在此就不详细介绍。

白云北坡新近系的14个三级层序,是构造运动、海平面变化以及沉积物供给等多因素综合作用的结果,而且珠江口盆地复杂的地质背景必然造成其层序样式的多样性^[14-15]。盆地的陆架坡折带一直分布在白云凹陷内,只是23.8 Ma之后白云北坡受到深部幔源作用的影响,产生强烈的沉降,陆架坡折由凹陷的南部向北部发生了迁移,之后一直稳定在北坡区域。而且白云北坡陆架区相对宽缓,故海平面的不同下降程度,将造成不同的层序边界和层序类型。当海平面下

地层组		三级层序	层序界面	界面 年龄/Ma	二级层序
万山组			NSB15	5.5	2
粤海组		NSQ14	NSB14	6.3	
		NSQ13	NSB13	8.5	
		NSQ12	NSB12	10.5	
韩江组	韩江上	NSQ11	NSB11	11.7	1
		NSQ10	NSB10	12.5	
		NSQ9	NSB9	13.8	
	韩江下	NSQ8	NSB8	14.8	
		NSQ7	NSB7	15.5	
		NSQ6	NSB6	16.5	
珠江组	珠江上	NSQ5	NSB5	17.1	
		NSQ4	NSB4	17.5	
		NSQ3	NSB3	18.0	
	珠江下	NSQ2	MFS	18.5	
			NSB2	21.0	
		NSQ1	NSB1	23.8	
珠海组					

图3 白云北坡新近系层序

Fig.3 Sequence classification on the north slope of Baiyun Sag

降幅度较大,下降到坡折带以下时,陆架暴露地表,形成下切谷等 I 型层序边界,如 SB23.8, SB21.0, SB17.5, SB13.8 和 SB10.5 在白云区界面之下地层削截特征很明显;当海平面下降幅度较小,陆架上沉积体系向盆地方向发生进积,但未到达坡折带,只能形成 II 型层序界面,对应于 II 型层序。

等时层序格架的建立,为层序构型的分析奠定了良好的基础。所谓层序构型是指三级层序内不同体系域地层单元时间-空间组成的配置关系,按体系域的地层厚度关系划分出 L 型(以低位体系域地层厚度为主)、T 型(以海侵体系域地层厚度为主)、TH 型(海侵体系域和高位体系域厚度相当)、H 型(以高位体系域

地层厚度为主)4 种类型^[16]。

白云北坡的 I 型三级层序中(图 4,剖面所在位置如图 1 中紫色线条所指处),各体系域发育完整,初始海泛面(橘黄色线条)分隔了 LST 和 TST,最大海泛面(红色线条)分隔了 TST 和 HST。图 4 中从下至上,依次发育进积的 LST、退积的 TST 和加积-进积的两期 HST,各体系域中砂体沿物源方向逐渐变薄。层序构型分析表明(表 1):P1 井和 P2 井的 $h_{HST} > h_{LST} + h_{TST}$,为 H 型,P3 井和 P4 井的 $h_{TST} \approx h_{HST}$,为 TH 型;P5 井的 $h_{LST} > h_{TST} + h_{HST}$,为 L 型(h 为厚度,m)。同一层序内,从盆地边缘往盆地中心, R_{LST} 逐渐增大, R_{HST} 逐渐减小。在前人对层序构型研究的基础上,进一步考虑厚度系数来划分层序构型的类型,即 $R_{LST} > R_{TST} + R_{HST}$ 。并且, $R_{LST} > 0.5$ 时,为 L 型;当 $R_{TST} \approx R_{HST}$,并且 $R_{TST} + R_{HST} > 0.5$ 时,为 TH 型;当 $R_{HST} > R_{LST} + R_{TST}$,并且 $R_{HST} > 0.5$ 时,为 H 型(R 为厚度系数)。

对于白云北坡的 II 型层序,一般陆棚边缘体系域厚度较薄,所以对应的层序构型类型主要为 T 型、TH 型或 H 型。

表1 P1—P5 井剖面体系域厚度、厚度系数及构型

Table 1 Thickness, thickness coefficient and architecture type of each system tract on the section of Well P1 to Well P5

钻井	P1 井	P2 井	P3 井	P4 井	P5 井
h_{LST}/m	0.00	0.00	95.92	158.15	259.85
h_{TST}/m	118.32	155.32	43.10	21.35	13.15
h_{HST}/m	207.38	160.92	126.34	143.30	157.90
R_{LST}	0.00	0.00	0.36	0.49	0.60
R_{TST}	0.36	0.49	0.16	0.07	0.03
R_{HST}	0.64	0.51	0.48	0.44	0.37
层序构型	H 型	H 型	TH 型	TH 型	L 型

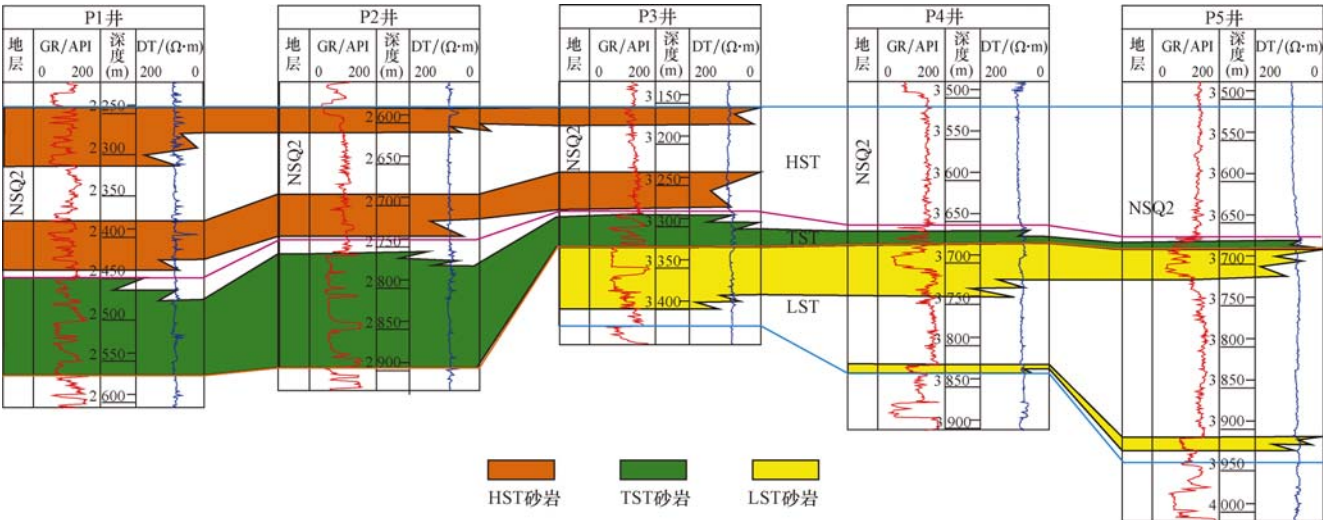


图4 白云凹陷北坡 P1—P5 井 NSQ2 连井剖面

Fig.4 Well-tie section of NSQ2 from Well P1 to Well P5 on the north slope of Baiyun Sag

3 沉积体系

新近纪以来,古珠江一直是珠江口盆地的重要物质来源,三角洲沉积体系一直以来也是陆架上的重要沉积类型。随着海平面变化、陆架坡折带的变迁、沉积物供给和海洋水动力等内外因素的变化,白云北坡上演绎着内陆架三角洲—中陆架三角洲—陆架边缘三角洲的变迁史^[17-18]。白云北坡典型的 I 型层序内, LST 时期, 由于海平面下降幅度较大, 并且沉积物供给充足, 并且主要发育了重要的陆架边缘三角洲为“背景源”, 峡谷水道为“输送渠”, 深水扇为“沉积汇”的“源—汇”沉积体系^[19], 它们也是 L 型构型中的主要组成部分; 在 TST 发育期及 HST 早期, 伴随着海平面的持续上升, 只有少数沉积物被分配到白云北坡, 峡谷水道和扇体都不发育, 此时只沉积了内陆架—陆棚沉积体系, 但较大幅度的海平面上升会有利于 T 型构型的发育, 对于烃源岩的发育是有利的; 在 HST 晚期及 LST 早期, 海平面有了一定幅度的下降, 会把沉积物往盆地方向上搬运一定的距离, 形成中陆架三角洲—陆棚体系, 这时多有助于形成 TH 型和 H 型构型。每种层序构型中, 对应的沉积体系是不同的, 但在白云北坡, L 型主要由陆架边缘三角洲 + 峡谷水道 + 低位扇体组成; T 型构型主要为海侵泥岩 + 内陆架三角洲; TH 型主要由内陆架三角洲和中陆架三角洲体系组成; H 型主要包含了中陆架三角洲(图 5)。

4 油气聚集有利区

坡折带控砂控藏的机理决定了白云北坡这个坡折

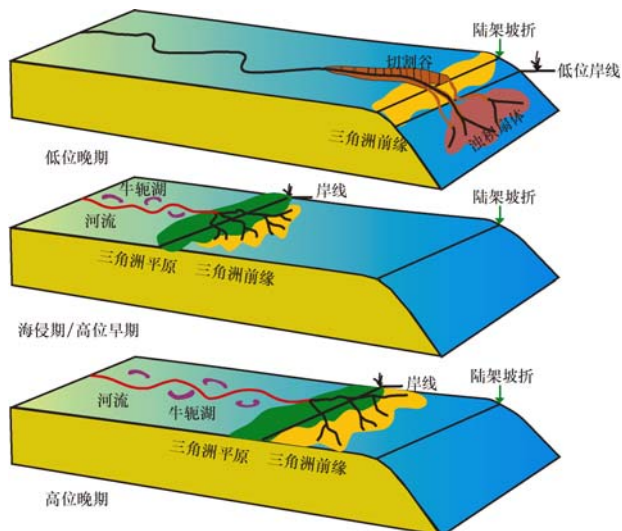


图 5 I 型层序内不同时期沉积体系

Fig. 5 Depositional system distribution in different periods of I sequence

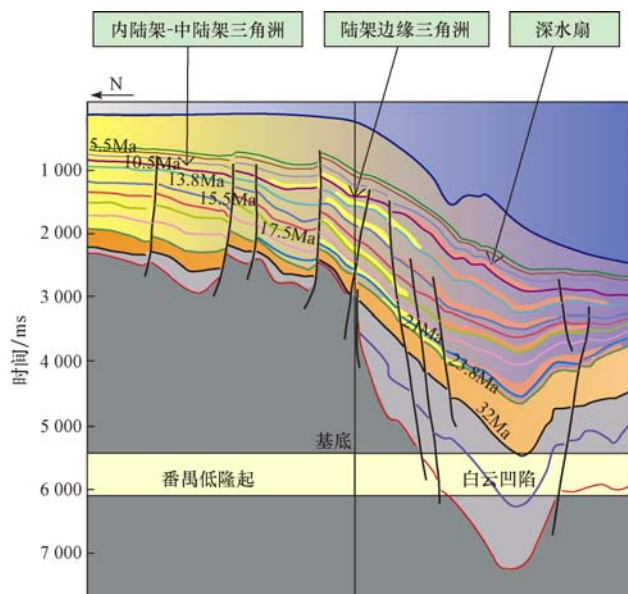


图 6 白云凹陷北坡有利沉积体系分布

Fig. 6 Distribution of favorable depositional systems on the north slope of Baiyun Sag

带活跃的区域必定是油气勘探和开发的重点目标区带。该区层序构型的分布具有一定的规律性, 靠近盆地边缘, 以 H 型为主, 靠近盆地中心方向, 以 L 型为主, 中间出现 TH 型、T 型的过渡。所以, 在白云凹陷北部发育高位时期形成的中陆架三角洲组成的 H 型层序 + 海侵时形成的内陆架三角洲组成的 T 或 TH 型层序, 为主要的有利区域, 其中内陆架三角洲和中陆架三角洲的三角洲平原中分流水道为有利砂体; 在白云凹陷的中部发育主要由低位时期形成的陆架边缘三角洲组成的 L 型层序为有利区(图 6), 但仅限于 I 型发育的那几个层序内, 其中陆架边缘三角洲前缘的水下分流水道、河口坝、远砂坝与峡谷水道、浊积体等为有利相带。

5 结论

1) 白云北坡是新近系陆架坡折活跃地带, 该区发育两种不同类型的层序。随着海平面变化和沉积物供给等条件的变化, I 型层序内部演绎了陆架边缘三角洲—内陆架三角洲—中陆架三角洲的变迁。

2) 层序构型分析结果表明, 盆地边缘发育 H 型, 靠近盆地中心发育 L 型, 中间出现 T 型和 TH 型。H 型和 L 型有利于储层发育, 而 T 型多发育较好的烃源岩。

3) 白云北坡 L 型层序中陆架边缘三角洲—峡谷水道—深水扇体的三位一体、H 型层序中的中陆架三角洲以及 TH 型中的内—中陆架三角洲为有利区域。

参 考 文 献

- [1] 曾麟, 张振英. 珠江口盆地第三系[J]. 石油学报, 1992, 13(2): 178-183.

- Zeng Lin, Zhang Zhenying. Tertiary in Pearl River Mouth Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1992, 13(2): 178–183.
- [2] 周祖翼. 珠江口盆地的形成与南海的构造演化[J]. *海洋科学*, 1993, 5: 62–66.
- Zhou Zuyi. Basement structure and tectonic evolution of the Pearl River Mouth Basin [J]. *Marine Science*, 1993, 5: 62–66.
- [3] 陈长民, 施和生, 许仕策, 等. 珠江口盆地(东部)第三系油气藏形成条件[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- Chen Changmin, Shi Hesheng, Xu Shice, et al. Tertiary reservoir forming conditions in Pearl River Mouth Basin (eastern) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003.
- [4] 张忠涛, 秦成岗, 高鹏, 等. 珠江口盆地番禺—流花地区天然气藏特征及主控因素分析[J]. *天然气地球科学*, 2011, 22(5): 778–783.
- Zhang Zhongtao, Qin Chenggang, Gao Peng, et al. Accumulation of natural gas and main controlling factors in PY–LH Zone in Zhujiang River Mouth Basin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2011, 22(5): 778–783.
- [5] 许仕策, 杨少坤, 黄丽芬. 层序地层学在地层对比中的应用[J]. *地学前缘*, 1995, 2(3–4): 115–123.
- Xu Shice, Yang Shaokun, Huang Lifan. The application of stratigraphy to stratigraphic correlation [J]. *Earth Science Frontiers*, 1995, 2(3–4): 115–123.
- [6] 秦国权. 珠江口盆地新生代晚期层序地层划分和海平面变化[J]. *中国海上油气: 地质*, 2002, 16(1): 1–18.
- Qin Guoquan. Late Cenozoic sequence stratigraphy and sea-level changes in Pearl River Mouth Basin [J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 2002, 16(1): 1–18.
- [7] 董伟, 林畅松, 秦成岗, 等. 珠江口盆地番禺低隆起韩江组高精度层序格架和沉积样式与岩性地层圈闭的发育分布[J]. *现代地质*, 2008, 22(5): 794–802.
- Dong Wei, Lin Changsong, Qin Chenggang, et al. High resolution sequence framework, depositional pattern and litho-stratigraphic traps of Hanjiang formation in Panyu Uplift, Pearl River Mouth Basin [J]. *Geoscience*, 2008, 22(5): 794–802.
- [8] 崔莎莎, 何家雄, 陈胜红, 等. 珠江口盆地发育演化特征及其油气成藏地质条件[J]. *天然气地球科学*, 2009, 20(3): 384–391.
- Cui Shasha, He Jiaxiong, Chen Shenghong, et al. Development characteristics of Pearl River Mouth basin and its geological conditions for oil and gas accumulation [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2009, 20(3): 384–391.
- [9] 康永晓, 张国军, 冯于恬, 等. 珠江口盆地白云凹陷沉积充填演化研究[J]. *化学工程与装备*, 2011, 9: 48–50.
- Kang Yongxiao, Zhang Guojun, Feng Yutian, et al. Study on sedimentary filling evolution Baiyun sag of Pearl River Mouth basin [J]. *Chemical Engineering & Equipment*, 2011, 9: 48–50.
- [10] 付淑清, 朱照宇, 欧阳婷萍, 等. 南部陆坡晚第四纪沉积物稀土元素及环境意义[J]. *热带地理*, 2010, 30(1): 25–29.
- Fu Shuqing, Zhu Zhaoyu, Ouyang Tingping, et al. Sedimentary records of rare earth elements from southern south China Sea continental slope and its paleoclimatic implications during late Quaternary [J]. *Tropical Geography*, 2010, 30(1): 25–29.
- [11] 邢文礼, 张尚锋, 杜家元, 等. 稀疏井网条件下利用测井曲线识别层序界面方法探讨——以珠江口盆地珠江组为例[J]. *岩性油气藏*, 2010, 22(2): 111–115.
- Xing Wenli, Zhang Shangfeng, Du Jiayuan, et al. Methods for recognizing sequence boundaries by using logging curves in sparse well pattern: a case study from Zhujiang formation in Pearl River Mouth basin [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2010, 22(2): 111–115.
- [12] 李向阳, 张昌民, 张尚锋, 等. 珠江口盆地新近系层序划分与发育模式[J]. *石油天然气学报*, 2012, 34(4): 47–51.
- Li Xiangyang, Zhang Changmin, Zhang Shangfeng, et al. Neogene sequence subdivision and its development pattern in Pearl River Mouth basin [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2012, 34(4): 47–51.
- [13] 谢锐杰, 张昌民, 张尚锋, 等. 珠江口盆地东部 T_3 层序界面的特征及生物定年[J]. *石油天然气学报*, 2011, 33(5): 55–58.
- Xie Ruijie, Zhang Changmin, Zhang Shangfeng, et al. The biochron and characteristics of T_3 sequence boundary in the eastern Pearl River Mouth Basin [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2011, 33(5): 55–58.
- [14] 李向阳, 张昌民, 张尚锋, 等. 珠江口盆地新近系层序发育影响因素分析[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2012, 39(3): 262–268.
- Li Xiangyang, Zhang Changmin, Zhang Shangfeng, et al. Analysis of influencing factors on sequence development of Neogene strata in the Pearl River Mouth basin, China [J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2012, 39(3): 262–268.
- [15] 陈维涛, 杜家元, 龙更生, 等. 珠江口盆地海相层序地层发育的控制因素分析[J]. *沉积学报*, 2012, 30(1): 73–83.
- Chen Weitao, Du Jiayuan, Long Gengsheng, et al. Analysis on controlling factors of marine sequence stratigraphy evolution in Pearl River Mouth basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2012, 30(1): 73–83.
- [16] 朱红涛, Liu Keyu, 杨香华, 等. 陆相湖盆层序构型及其岩性预测意义: 以珠江口盆地惠州凹陷为例[J]. *地学前缘*, 2012, 19(1): 32–39.
- Zhu Hongtao, Liu Keyu, Yang Xianghua, et al. The sequence stratigraphic architecture of continental lake basin and its significance on lithofacies prediction: taking Huizhou sag in Zhujiangkou basin as an example [J]. *Earth Science Frontiers*, 2012, 19(1): 32–39.
- [17] 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): 3827–3834.
- Zhu Yanhe, Zhu Weilin, Xu Qiang, et al. Sedimentary response to shelf-edge delta and slope deep-water fan in 13.8 Ma of Miocene epoch in Pearl River Mouth Basin [J]. *Journal of Central South University (Science & Technology Edition)*, 2011, 42(12): 3827–3834.
- [18] 易雪斐, 张昌民, 李少华, 等. 珠江口盆地 NSQ2 陆架边缘三角洲的识别标志及沉积模式[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2012, 39(3): 257–261.
- Yi Xuefei, Zhang Changmin, Li Shaohua, et al. Identification marks and depositional model of the shelf-margin delta from NSQ2 of the Pearl River Mouth Basin, China [J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2012, 39(3): 257–261.
- [19] 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): 1–9.
- Zhu Yanhe. Composition and reservoir body distribution of continental shelf-continental slope sedimentary system in early Eocene in Pearl River Mouth Basin [J]. *Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition)*, 2011, 26(6): 1–9.