

缅甸若开盆地上中新统—上新统深水沉积层序 地层划分及控制因素

马宏霞¹, 孙辉¹, 邵大力¹, 刘艳红¹, 丁梁波¹, 邹辰², 余鑫培³

(1. 中国石油 杭州地质研究院, 浙江 杭州 310023; 2. 中国石油 浙江油田分公司, 浙江 杭州 310023;

3. 华东勘测设计研究院, 浙江 杭州 310014)

摘要:利用三维地震资料对若开盆地上中新统—上新统深水重力流沉积进行了层序地层划分。以海侵—高位域泥岩连续弱反射顶界以及大套水道侵蚀及朵叶体的底界作为三级层序界面,将上中新统一海底地层划分为3个三级层序,分别对应于上中新统、上新统及更新统—海底。以上中新统—上新统为重点研究对象,根据沉积单元的垂向组合特征,将上中新统划分为3个四级层序,上新统划分为2个四级层序,每个四级层序均表现为向上粒度变细、侵蚀减弱、砂岩减少的正韵律特征。三级层序界面基本上与该地区大规模海退相对应,四级层序界面基本上对应于小规模海退面。层序地层发育主要受海平面变化、构造抬升及气候的影响。海平面的周期性变化影响了沉积作用的变化,构造和气候控制沉积物供给量,供给量的不同造成不同四级层序叠加样式不同。此外,构造抬升对该地区气候产生一定的影响,尤其7~8 Ma,青藏高原的快速隆起增强了南亚季风,并使得剥蚀量增加,沉积物供给量增加,朵叶体及水道发育程度增加。

关键词:层序地层;深水沉积;上中新统—上新统;若开盆地;缅甸

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Sequence stratigraphy of the Upper Miocene-Pliocene deepwater deposits and its controlling factors in Rakhine Basin, Myanmar

Ma Hongxia¹, Sun hui¹, Shao Dali¹, Liu Yanhong¹, Ding Liangbo¹, Zou Chen², Yu Xinpei³

(1. Hangzhou Research Institute of Geology, PetroChina, Hangzhou, Zhejiang 310023, China; 2. Zhejiang Oilfield Company, PetroChina, Hangzhou, Zhejiang 310023, China; 3. Huadong Engineering Corporation, Hangzhou, Zhejiang 310014, China)

Abstract: High resolution 3D seismic data were used for the sequence stratigraphy division of the Upper Miocene-Pliocene deepwater gravity flow deposits in Rakhine Basin, Myanmar. Taking the continuous weak reflections of the TST-HST mudstones and the base of the thick channel incision and lobe sandstones as the third-order sequence boundaries, the upper Miocene-seabed deposits were divided into three third-order sequences, corresponding to the Upper Miocene, Pliocene and Pleistocene-seabed respectively. The Upper Miocene and Pliocene were selected as the focus of this study and were subdivided into three and two fourth-order sequences respectively according to the vertical evolution characteristics of the deepwater architectural elements. Each fourth-order sequence shows similar positive rhythm features of upward decreasing grain size, weakening denudation and lowering sand-to-gross ratio. The third-order sequence boundaries were caused by the regional large marine regressions, while the fourth-order sequence boundaries were resulted from the small-scale marine regressions. The development of sequence stratigraphies was mainly controlled by the sea level change, tectonic uplifting and climate. The sea level change influenced the deposition variation. And the tectonic uplifting and the climate controlled the sediment supply volume which affected the stacking styles of the fourth-order sequence. Especially during 7–8 Ma, the rapid uplifting of the Tibetan strengthened the south Asian monsoon, intensified erosion, and thus increased sediment supply. Consequently, the lobe sandstones increased and the channel incision strengthened during 7–8 Ma.

Key words: sequence stratigraphy, deepwater deposition, Upper Miocene-Pliocene, Rakhine Basin, Myanmar

随着海洋勘探的不断深入、技术的不断发展及高精度三维地震数据的应用,深水重力流沉积成为近年来广泛关注的热点^[1]。本文中所提及的“深水沉积”是指陆

架沉积物在重力流作用下搬运至深水环境(陆坡、盆底)形成的沉积产物。经典层序地层认为深水沉积体系主要发育于低位域^[2],海侵和高位体系域由于沉积物输送

量减少,沉积物主要以半深海-深海的泥岩沉积为主。需要注意的是经典层序地层是基于被动大陆边缘沉积特征提出的,其理论对于陆架及陆架边缘沉积具有很好的指导作用^[3],而对于陆坡及深海平原而言,由于突发性事件(地震、海啸等),在一些地区高位域也发育浊流沉积,经典的层序地层学原理能否应用于或指导深水沉积相关的油气勘探成为广泛争论的焦点^[4]。但是通过研究发现,大规模深水浊流沉积随着海平面变化垂向上存在着一定的旋回性。此外,前人对于孟加拉扇的研究主要针对一些沉积结构单元,例如“无底峡谷”、水道-天然堤体系、块体搬运沉积以及不同结构单元的地震响应等^[5-8],甚少对其层序地层进行重点研究^[9]。因此,本文以孟加拉扇若开盆地深水浊流沉积为例,应用层序地层学原理,探讨其特征及控制因素。

1 地质概况

研究区位于孟加拉湾东部的缅甸若开盆地深水区(图 1),孟加拉扇东北边缘,发育巨厚重力流沉积。孟加拉扇形成与古新世以来印度板块向欧亚板块及缅甸微板块的汇聚、碰撞紧密相关。始新世时期,印度板块与北部欧亚板块的陆陆碰撞,导致喜马拉雅山的隆升,恒河和布拉马普特拉河由喜马拉雅山两翼向南汇集于孟加拉国南部,流入孟加拉湾,其携带的碎屑沉积物形成了巨型的孟加拉三角洲。快速堆积的沉积物受到重

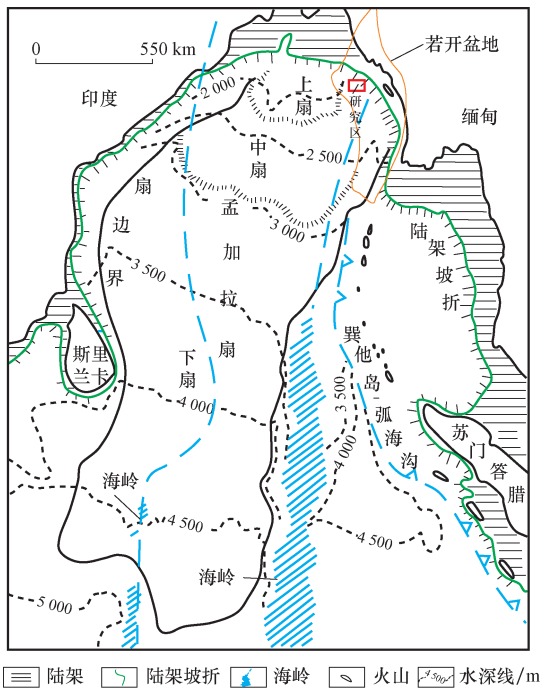


图 1 孟加拉扇及研究区位置^[15]

(据 Gerchard Einsele et al., 1996, 修改)

Fig. 1 Location of the study area and the Bengal Fan^[15]

(modified from Gerchard Einsele et al., 1996)

力驱动(也可能受地震驱使),由浊流输送到深海^[10-13],这些巨量沉积物中的近 35%~50% 可搬运至现今的深海平原,形成了今天世界上规模最大的盆底扇。

晚白垩世,当印度板块向北漂移,在若开盆地为开阔海沉积,以泥岩沉积为主,并接受来自于印度内陆的远源沉积物。早古新世发育的不整合在该盆地的大部分地区均可观察到。该不整合面的发育对应于印度板块开始向缅甸微板块俯冲。早古新世末期,俯冲作用将整个海洋划分为东侧的中央缅甸古近系褶皱带和西侧的前渊盆地。随着增生楔的不断隆起,沿着增生楔水体变浅,沉积中心向西迁移且发生快速沉降。该情况几乎持续了整个始新世。早始新世,与喜马拉雅造山带有关的硬碰撞开始发生,随之,孟加拉扇开始发育一些浊流沉积。渐新世末期的海退使若开盆地局部地区遭受暴露和侵蚀。随着早中新世的海侵,盆地中央地区重新发育浊流沉积。自此,若开盆地开始沉积巨厚浊流地层(图 2)^[13-14]。

2 层序地层划分

在所有地层层序中,深水重力流沉积构成了距离

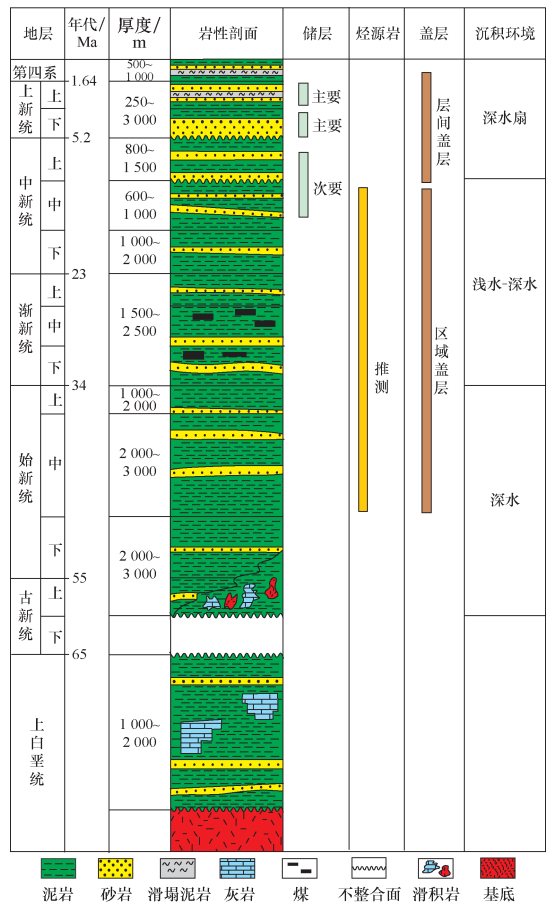


图 2 若开盆地地层柱状图^[16](据 IHS, 2009)

Fig. 2 Stratigraphic column of the Rakhine Basin^[16]

(From IHS, 2009)

同期海岸线最远的沉积部分,深水重力流沉积与海岸和浅水沉积缺乏实际联系,尤其是海岸线远离陆架边缘,陆架远端沉积较少,深水泥岩发育。另外,由于海平面突然升高或降低,陆架边缘不稳定,导致外陆架和上陆坡沉积物滑坡,从而使深水沉积孤立并有别于层序的其他部分。仅当海岸线与陆架边缘距离较近时,陆架边缘沉积了大量沉积物,当基准面明显下降,陆架出露地表,伴随各种海岸作用,沉积物便直接供给陆坡和盆底,深水沉积物与海岸沉积物联系较紧。但是由于上陆坡沉积失稳,可能缺乏层序横向连续性^[17]。

在研究区由于缺乏与之联系的陆架资料,如何划分层序地层成为一难题。

根据对研究区的分析,研究区沉积主要包括异地深水重力流砂岩夹泥岩和原地深水泥岩沉积。通过对若开盆地深水垂向地层结构及沉积物堆积样式研究发现,深水重力流沉积以多期叠加迁移的水道、朵叶体以及块体搬运沉积为主。

在深水沉积中,区域上比较明显的为一套连续的海侵-高位体系域泥岩,所以将其顶界作为层序界面。但是一般该套泥岩较薄且被后期水道侵蚀下切,所以在研究区难以全区追踪。此外,在海平面较高时,也发育深水水道-天然堤水道沉积^[18]。所以在研究区主要根据海侵-高位泥岩的连续弱反射顶界以及大套水道侵蚀及朵叶体的底界作为三级层序界面,将上中新统-海底地层划分为3个三级层序,分别对应于上中新统、上新统及更新统-全新统(图3),基本上与该地区大规模海退相对应。

上中新统以水道及朵叶体沉积为主,底部朵叶体不太发育,以水道为主,中部朵叶体发育程度增加,顶部覆盖连续弱反射,为海侵-高位泥岩沉积。 T_4^0 界面上下存在着明显的沉积差异, T_4^0 界面以下以连续反射为主,界面之上可见明显沉积相突变,发育侵蚀水道(图4)。

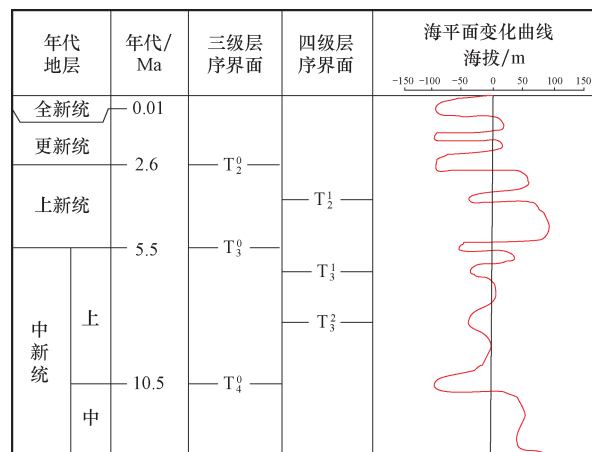


图3 孟加拉湾盆地海平面变化曲线^[19]

(据 Haq et al., 1990)

Fig. 3 Sea level change curve of the Bengal Basin^[19]

(From Haq et al., 1990)

上新统水道发育程度较上中新统低,底部可见相对连续的强反射,局部地区被水道切割,上覆杂乱块体搬运沉积,上部以弱反射为主,局部可见一些强轴反射的单水道及朵叶体沉积。层序界面 T_3^0 上下地震反射存在明显差异, T_3^0 界面之下为海侵-高位泥岩弱反射沉积,界面之上见朵叶体连续强反射,以及水道下切下伏泥岩弱反射(图4)。

更新统,海底下部砂体较发育,主要为水道充填砂体及朵叶体砂岩,顶部以弱振幅反射为主,主要为深海泥岩或天然堤细粒沉积。层序界面 T_2^0 之上可见杂乱弱反射块体搬运沉积,且界面之上砂体发育程度较界面之下有所增加(图4)。

针对上中新统-上新统,根据沉积单元的垂向组合特征,将上中新统划分为3个四级层序,上新统划分为2个四级层序,基本上对应于小规模海退面(图3)。

上中新统的3个四级层序的垂向组合特征非常相似(图5),均表现为向上砂体减少的正韵律特征,底部

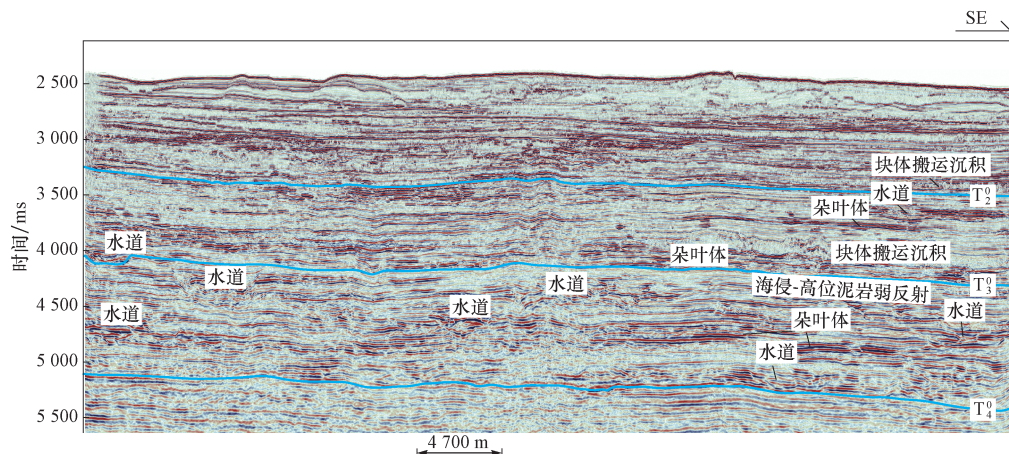


图4 若开盆地上中新统-海底三级层序界面划分

Fig. 4 The third-order sequence division of the Upper Miocene-seabed deposits in the Rakhine Basin

发育朵叶体,且被侵蚀水道切割,向上逐渐过渡为侵蚀-加积水道、垂向加积水道和天然堤或单水道沉积,上覆海侵-高位薄层泥岩沉积(图6和图7)。但是下部四级层序底部的朵叶体较上部2个四级层序不太发育,可能与物源供给有关。

上新统的2个四级层序的沉积组合特征存在明显差异(图8),下部四级层序的自下而上的沉积组合特征为:底部朵叶体,之后局部被侵蚀性水道,上覆杂乱弱反射的块体搬运沉积,顶部为孤立水道沉积及海侵-高位泥岩沉积(图9a)。上部四级层序自下而上的沉积组合特征为:底部朵叶体,上覆侧向迁移水道、垂向叠加水道及孤立单水道沉积,未见天然堤沉积(图9b)。但是均表现为向上侵蚀变弱、砂体变少的垂向正韵律特征。

3 层序发育控制因素

深水重力流沉积可容纳空间远远大于沉积物注入量,气候、海平面升降以及构造抬升等因素影响了若开盆地深水层序垂向发育特征。由于资料的局限性,对大部分层序来说,很难判断其中一个因素起主导作用还是其中多个因素共同作用的结果。

3.1 海平面变化

深水沉积单元垂向旋回与海平面升降和三角洲的迁移变化相关。上中新统-海底三级层序的底界面(即大套水道侵蚀及朵叶体底界)基本上对应于该地区大规模的海退面(图3)。四级层序界面(即沉积结

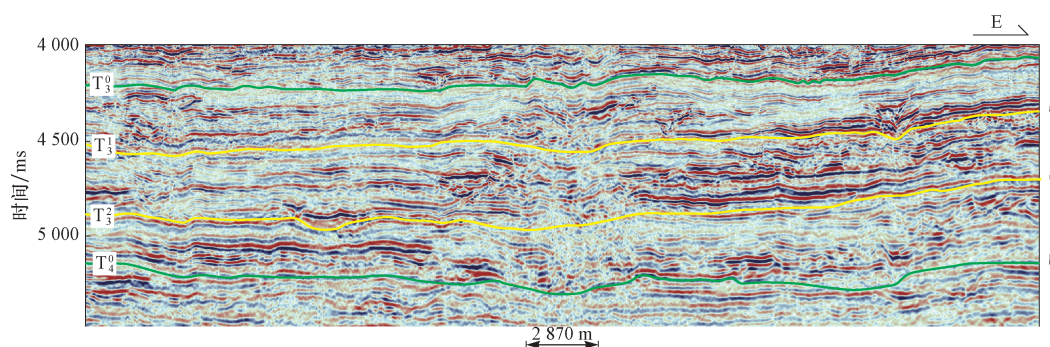


图5 若开盆地上中新统深水沉积四级层序划分

Fig. 5 The fourth-order sequence division of the Upper Miocene deepwater deposits in the Rakhine Basin

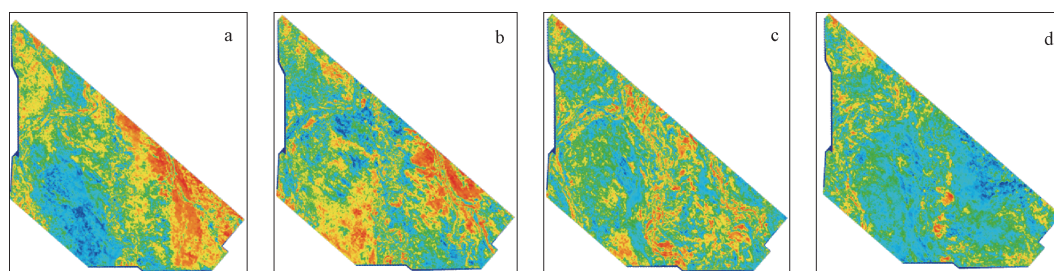


图6 若开盆地上中新统 $T_3^2 - T_3^1$ 均方根属性图

Fig. 6 RMS attribute maps of $T_3^2 - T_3^1$ of the Upper Miocene deepwater deposits in Rakhine Basin

a. T_3^2 ; b. T_3^2 向上 44 ms; c. T_3^2 向上 144 ms; d. T_3^2 向上 256 ms

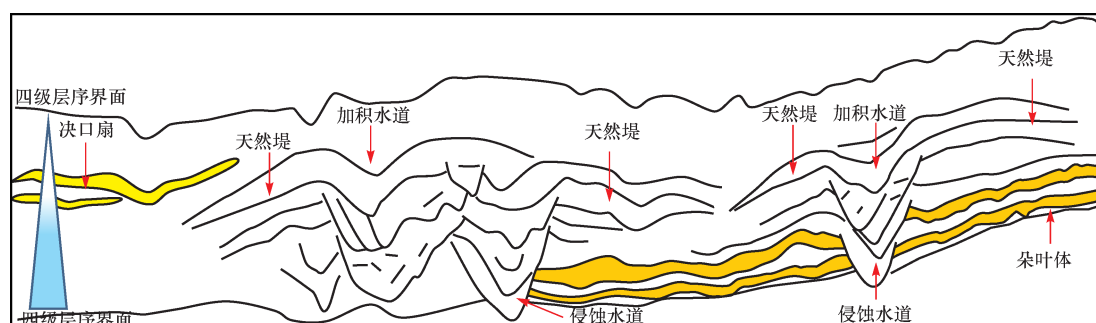


图7 若开盆地上中新统深水沉积四级层序模式

Fig. 7 The fourth-order sequence patterns of the Upper Miocene deepwater deposits in the Rakhine Basin

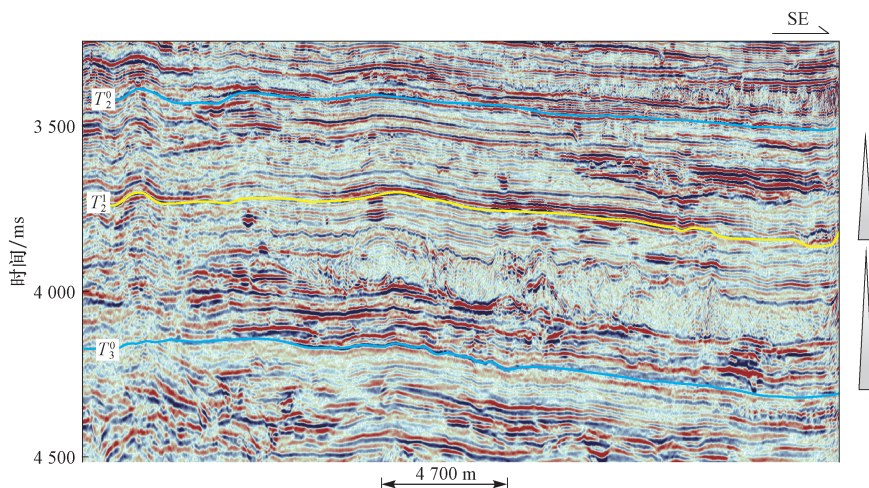


图8 若开盆地上新统深水沉积四级层序划分

Fig. 8 The fourth-order sequence division of the Pliocene deepwater deposits in the Rakhine Basin

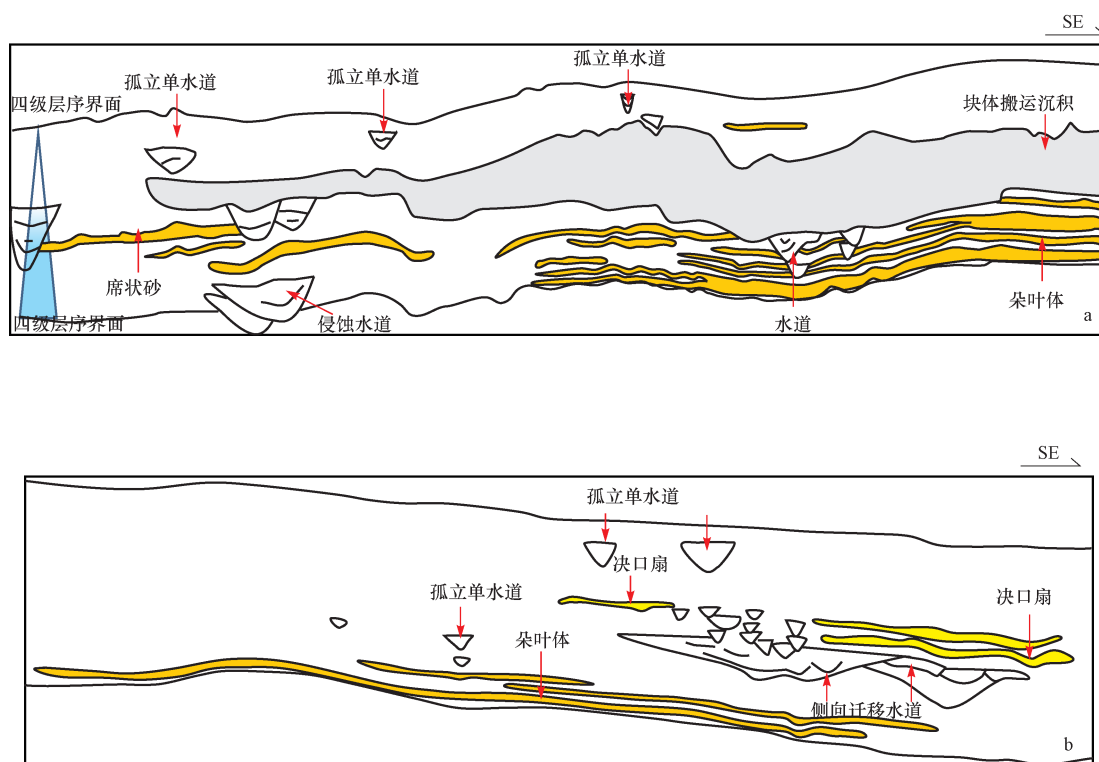


图9 若开盆地上新统深水沉积四级层序模式

Fig. 9 The fourth-order sequence patterns of the Upper Pliocene deepwater deposits in the Rakhine Basin

a. 上新统下部; b. 上新统上部

构单元垂向组合转换面)基本上对应于该地区小规模海退面。上新统底界与孟加拉盆地海平面变化曲线在 10.5 Ma 处的海退事件一致^[20],自此,侵蚀水道复合体开始广泛发育。

3.2 构造抬升

孟加拉扇的发育开始于早始新世^[12],与印度板块和欧亚板块碰撞导致喜马拉雅山隆起密切相关。构造运动控制了河流流量的长期变化,也控制了孟加拉扇沉积物的输入量。7~8 Ma,青藏高原快速隆升 1~

2 km^[20-21],导致沉积物输入量增加,在研究区响应为自 T_2^3 开始发育大套朵叶体及侵蚀水道沉积。该时期青藏高原的快速隆升对该地区气候产生了影响,尤其是季风气候的增强。另外 2~3 Ma 喜马拉雅山的快速隆起及侵蚀作用也造成了研究区更新统下部砂体比较发育。

3.3 气候条件

对于孟加拉扇起主要影响的是南亚季风气候。南亚季风的特征主要表现为稳定气流沿着东非海岸和阿

拉伯半岛吹向印度,在印度北部和青藏高原上部形成温暖的上升气流,该气流在上部对流层向南流动,在印度洋赤道南部下沉且往回流动供给季风气流。根据前人研究成果,由于7~8 Ma 青藏高原快速隆升,季风气候开始增强^[21]。季风气候的增强加速了侵蚀、下切和沉积作用。较强的季风气候可以将河流沉积转变为急流沉积,并携带大量的粗粒沉积物,沉积于陆上平原及孟加拉扇上扇位置,其与研究区上中新统中部四级层序发育厚层朵叶体存在一定响应关系。

4 结论

1) 三级层序界面为大套浊流沉积的底界或区域上海侵-高位域泥岩连续弱反射的顶界,基本上与大规模海退面对应。

2) 单个四级层序表现为正韵律特征,底部主要为朵叶体、侵蚀性水道、以及块体搬运沉积,向上侵蚀性减弱,逐渐过渡为侵蚀-加积水道、垂向加积水道或孤立水道沉积,上覆薄层高位域泥岩沉积。薄层高位域泥岩沉积可能被后期侵蚀水道侵蚀或沉积厚度很薄,导致在地震剖面上难以识别。四级层序界面基本上对应于小规模的海退面。

3) 青藏高原的隆起速度控制了物源的供给量,并对该地区气候产生了影响,尤其是季风气候的增强。季风气候的增强加速了侵蚀、下切和沉积作用,影响了四级层序沉积垂向结构的发育特征。

参 考 文 献

- [1] 张笑,王振奇,李士涛,等. 下刚果盆地深水沉积中新统层序划分及其控制因素[J]. 海洋地质前沿,2011,27(10):27-33.
Zhang Xiao, Wang Zhenqi, Li Shitao, et al. Sequence stratigraphy of the deepwater Miocene in lower Congo Basin and its controlling factors[J]. Marine Geology Frontiers, 2011, 27(10): 27-33.
- [2] Törnqvist T E, Wortman S R, Mateo Z R, et al. Did the last sea level lowstand always lead to cross-shelf valley formation and source-to-sink sediment flux? [J]. Journal of Geophysical Research: Earth Surface (2003-2012), 2006, 111(F4): 2156-2202.
- [3] 田世存,刘国臣,汤磊,等. 南苏门答腊岛盆底B区块层序地层格架及有利成藏带[J]. 石油与天然气地质,2013,34(1):68-76.
Tian Shicun, Li Guochen, Tang Lei, et al. Sequence stratigraphic framework and play fairways in Block B of the South Sumatra Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(1): 68-76.
- [4] Shanmugam G. The obsolescence of deep-water sequence stratigraphy in petroleum geology [J]. Indian Journal of Petroleum Geology, 2007, 16(1): 1-45.
- [5] Michels K H, Suckow A, Breitzke M, et al. Sediment transport in the shelf canyon 'Swath of No Ground' (Bay of Bengal) [J]. Deep-Sea Research, 2003, 50: 1003-1022.
- [6] Christian H, Volkhard S, Monika B, et al. The youngest channel-levee system of the Bengal Fan: Results from digital sediment echosounder data [J]. Marine Geology, 1997, 141(1): 125-145.
- [7] 马宏霞,吕福亮,范国章,等. 缅甸若开海域块体搬运沉积地震响应及典型地质特征[J]. 石油与天然气地质,2011,32(5):751-759.
Ma Hongxia, Lü Fuliang, Fan Guozhang, et al. Seismic and geological characteristics of mass-transport deposition in Rakhine Basin, offshore Myanmar [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(5): 751-759.
- [8] 刘曾勤,王英民,吕睿,等. 孟加拉扇上扇某区块深水沉积体的特征及演化模式[J]. 沉积学报,2012,30(1):84-91.
Liu Zengqin, Wang Yinmin, Lü Rui, et al. The architecture and evolution of deepwater sedimentary elements in one study area within upper Bengal Fan [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2012, 30(1): 84-91.
- [9] 吴嘉鹏,王英民,马贵明,等. 孟加拉扇某区块地层层序划分及典型地震相研究[J]. 岩性油气藏,2010,22(2):69-73.
Wang Jiapeng, Wang Yinmin, Ma Guiming, et al. Sequence stratigraphy and typical seismic facies in one exploration block of Bengal Fan [J]. Lithologic Reservoirs, 2010, 22(2): 69-73.
- [10] Curray J R, Emmel F J, Moore D G. The Bengal Fan: morphology, geometry, stratigraphy, history and processes [J]. Marine and Petroleum Geology, 2003, 19(10): 1191-1223.
- [11] Kudrass H R, Michels K H, Wiedicke M, Suckow A. Cyclones and tides as feeders of a submarine canyon off Bangladesh [J]. Geology, 1998, 26(8): 715-718.
- [12] Kottke B, Schwenk T, Breitzke M W, et al. Acoustic facies and depositional processes in the upper submarine canyon swatch of no ground (Bay of Bengal) [J]. Deep-Sea Research, 2003, 50(5): 979-1001.
- [13] Mahmood A, Mustafa A M, Joseph R, et al. Relationship between sedimentary geology & regional tectonic framework of the Bay of Bengal basin and its filling history [J]. Sedimentary Geology, 2003, 155(3-4): 179-208.
- [14] Weber M E, Wiedicke M H, Kudrass H R, et al. Active growth of the Bengal Fan during sea-level rise and highstand [J]. Geology, 1997, 25(4): 315-318.
- [15] Einsele, Ratschbacher L W, Andreas. The Himalaya-Bengal Fan denudation-accumulation system during the past 20 Ma [J]. The Journal of Geology, 1996, 104(2): 163-184.
- [16] IHS. Rakhine Basin [OB]. [2009] [2013-08-13]. <https://edin.ihenergy.com/edingis/servlet/SSOLogin>.
- [17] Catuneau O. Principles of sequence stratigraphy [M]. Italy: Elsevier, 2006: 253-255.
- [18] Michael E, Weber M H, Wiedicke H R, et al. Active growth of the Bengal Fan during sea-level and highstand [J]. Geology, 1997, 25(4): 315-318.
- [19] Haq B U, Hardenbol J, Vail P R. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic [J]. 1987, Science, 235(4397): 1156-1167.
- [20] James R C. Himalayan uplift, sea level and the record of Bengal Fan sedimentation at the ODP Leg 116 sites [J]. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 1990, 116: 397-412.
- [21] Peter M. Mio-Pliocene growth of the Tibetan Plateau and evolution of East Asian climate [J]. Palaeontologia Electronica, 2005, 8(1): 1-23.

(编辑 张亚雄)