

文章编号:0253-9985(2011)05-0751-09

缅甸若开海域块体搬运沉积地震响应及典型地质特征

马宏霞¹,吕福亮¹,范国章¹,孙辉¹,高翠欣²

(1. 中国石油 杭州地质研究院,浙江 杭州 310023; 2. 中国石油 华北油田公司 第一采油厂,河北 任丘 062552)

摘要:块体搬运沉积是深水沉积体系的重要组成部分,在世界范围内的深水盆地均有发现,其对深水油气勘探及生产均有重要影响。利用深水三维地震资料,对缅甸若开海域上上新统底部块体搬运沉积进行了追踪分析。基于地震剖面及时间切片,认为上上新统底部块体搬运体系发育3种地震相类型:弱振幅半透明杂乱地震相、叠瓦状变振幅地震相及中-强振幅丘状地震相。杂乱半透明地震相为块体搬运体系中段层状流态典型地震响应特征;叠瓦状变振幅地震相为同沉积变形的证据,为块体搬运趾部沉积;中-强振幅为搬运沉积内部漂浮块体响应特征。基于均方根属性、相干切片及构造图等,分别从顶、底界面以及内部对块体搬运体系沉积的典型地质特征进行了分析,底界面主要表现为侵蚀现象,顶界面反映了块体搬运沉积具有层状流态和塑性流态的性质,内部特征主要表现为变形及挤压现象。

关键词:地震相;地质特征;块体搬运沉积;深水沉积体系;若开次盆;缅甸

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Seismic responses and geological characteristics of mass-transport deposits in the Rakhine Basin, Offshore Myanmar

Ma Hongxia¹, Lü Fuliang¹, Fan Guozhang¹, Sun Hui¹ and Gao Cuixin²

(1. Petrochina Hangzhou Research Institute of Geology, CNPC, Hangzhou, Zhejiang 310023, China;

2. First Oil Production Plant, Petrochina Huabei Oilfield Company, CNPC, Renqiu, Hebei 062552, China)

Abstract: Mass-transport deposits (MTD) are an important component of deepwater deposition system. They occur in many deepwater basins around the world and play an important role in petroleum exploration and production. Using deepwater 3D seismic data, we predicted mass-transport deposits in the lower of the Upper Pliocene in Rakhine Sub-Basin, offshore Myanmar. Based on the seismic sections and time slices, we recognized 3 seismic facies in the MTD: low amplitude, semitransparent and chaotic seismic reflections, imbricate variable amplitude reflections and moderate-high amplitude reflections. The first seismic facies is the typical seismic response of laminar flow in the middle MTD, the second seismic facies is the evidence of the syndepositional deformation at the toe of MTD, and the third seismic facies is the seismic response of the floating blocks in the MTD. Based on RMS, coherence slices and structure maps, we analyzed the typical geologic features on the top boundary, bottom boundary and in the interior of MTD. The bottom boundary is mainly characterized by erosion, and the top boundary reveals the laminar flow and plastic flow regimes of MTD, while the interior mainly features in deformation and compression.

Key words: seismic facies, geological characteristics, mass-transport deposit, deepwater deposition system, Rakhine Sub-basin, Myanmar

深水沉积体系是指那些位于风暴浪基面以下,在重力流作用下沉积于陆坡中上部到盆地底

部某处的沉积物及其沉积环境^[1]。在大陆坡-深海平原沉积环境中,最重要的两种搬运过程为:海

收稿日期:2011-01-20。

第一作者简介:马宏霞(1985—),女,硕士、助理工程师,层序地层学及沉积学。

底峡谷-水道搬运沉积及块体搬运沉积。块体搬运沉积是在一定的地质作用下(包括构造运动、火山、地震、海啸、天然气水合物分解、沿岸流等),沉积物沿着大陆斜坡、峡谷/水道、隆起(火山、底辟、盐丘等)翼部及水道侧壁产生的重力流,包括滑动、滑坡和碎屑流等重力流过程^[2-5]。块体搬运沉积是深水沉积体系的重要组成部分,在世界范围内的深水盆地均有发现,其对深水油气勘探及生产均有重要影响。其分布范围广泛,发育规模不等,最大可以达到几千平方公里,对原地沉积具有极大的破坏及改造作用。在生产上,能对深水油气勘探开发平台、油气管线和海底电缆等设施造成损坏^[6-9]。块体搬运沉积一般是以泥质沉积物为主,孔隙度及渗透率均较差,对下伏地层具有很好的侧向封堵及横向封堵,能够形成有效的圈闭^[10]。块体搬运沉积在其近段主要是以滑动及滑塌为主,中段及远段主要表现为碎屑流的重力流作用过程,但是在中段主要表现为层状流态,远段主要表现为塑性流态(图1)。块体搬运沉积体在发育初期时主要表现为拉张作用,在末期主要表现为一种挤压作用^[11-12]。

国外对深水沉积研究起步较早,在深水峡谷-水道搬运沉积方面取得了大量的认识,近几年部分学者针对块体搬运沉积做了详细的研究。Lorena Gina Moscardelli 对特立尼达岛和委内瑞拉块体搬运的沉积过程及其沉积物进行了分析^[5]。Suzanne Bull, Joe Cartwright 和 Mads Husse 利用三维地震资料对挪威中陆坡块体搬运沉积运动学标志进行了分析^[12]。而国内对整个深水沉积的研究才刚刚起步,对于块体搬运沉积研究几乎是空白。

2003年大字公司在缅甸若开海域 A1 区块发现 SHWE 大气田,虽然块体搬运沉积很少作为主要储层,且也不是主要勘探目标,但是作为该地区深水沉积体系的重要组成部分及重要的区域盖层,并对下伏及上覆地层产生影响^[13],且浅层块体搬运沉积是钻井风险必须考虑的重要因素,所以其识别和特征研究对缅甸若开海域深水沉积体系油气勘探具有重要意义。

本文主要利用三维地震资料对块体搬运沉积进行研究,对上上新统底部块体搬运沉积内部的不同地震相类型进行了分析,并对其所对应的沉积特征进行了推测,由于研究区域缺乏钻井资料,难以进行标定。此外基于均方根属性、相干切片及构造图等,分别从顶、底界面以及内部对块体搬运沉积的典型地质特征进行了分析。

1 区域地质

研究区位于孟加拉湾盆地东部的缅甸若开次盆(图2)。孟加拉湾盆地位于印度洋的东北部,是南亚巨型含油气盆地之一,盆地北部发育恒河和布拉马普特拉河巨型三角洲,盆地底部被古近系巨型海底扇所覆盖,最大沉积厚度大于 12 000 m^[14]。

孟加拉湾盆地的形成与冈瓦那大陆的裂解及之后印度板块与欧亚板块和缅甸板块的碰撞作用有关^[15-16],其构造演化及沉积充填可以划分为四个阶段:①裂谷期(石炭/二叠纪—早白垩世),中侏罗世—早白垩世,冈瓦那大陆裂解,澳大利亚板块、南极洲板块与印度板块分离。②漂移期(早白垩世—中始新世):印度板块与澳大利亚板块和南

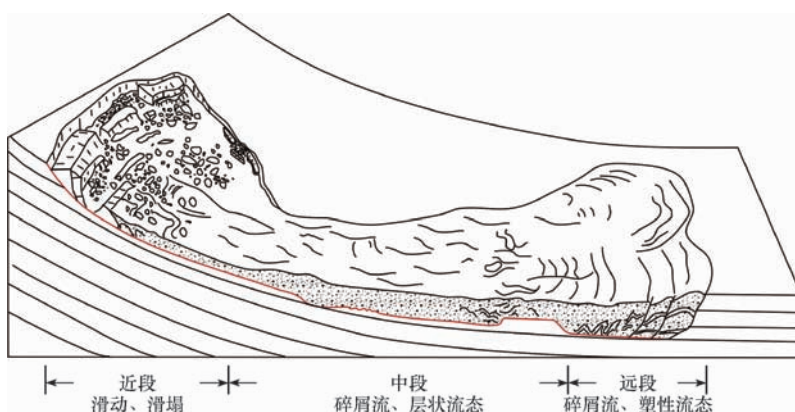


图1 块体搬运沉积发育过程(据 Suzanne Bull,有修改)

Fig. 1 Process of mass-transport deposition(From Suzanne Bull, modified)



图2 研究区地理位置示意图

Fig. 2 Sketch map of the study area

极洲板块分离后,开始向北运移。白垩纪末期,孟加拉湾盆地海底开始形成。古新世时,大洋板块沿缅甸板块西缘斜向向下俯冲,将缅甸板块与欧亚板块拆离。③早期碰撞期(中始新世—渐新世):始新世时,印度板块西北角与欧亚板块开始碰撞,导致板块的耦合作用,并加快了缅甸板块向北的运动,印度洋洋壳扩展减缓。渐新世时,印度板块与欧亚板块正面碰撞,接近垂直交汇。④晚期碰撞期(中新世—第四纪):印度板块向欧亚板块和缅甸板块强烈俯冲,喜马拉雅山脉和青藏高原形成,孟加拉湾地区强烈挠曲,孟加拉湾盆地演变成残余洋盆,大量沉积物输入形成孟加拉和尼科巴海底扇。若开次盆的形成与印度板块和缅甸板块自古新世的倾斜碰撞密切相关。

研究区自上新世以来,发育多套块体搬运沉积体,其规模大小不一(图3),块体搬运沉积频繁出现并夹杂于砂质水道—天然堤复合体沉积地层中。自上新世以来,印度板块与缅甸板块碰撞导致构造活动比较频繁,成为块体搬运沉积的促发机制;此外该时期起,沉积速率增加,发育大套三角洲,为块体搬运沉积的发育提供了物源条件。一般来说,块体搬运沉积在平面上表现为长条形。物源来自于东侧陆架斜坡。本文主要以上上新统底部块体搬运沉积为例来分析其地震响应及典型地质特征,该套块体搬运沉积较其他规模大,且现象比较丰富,但是由于研究区距离物源区有一定距离,且三维地震资料有限,不能涵盖整个块体搬运沉积,所以在研究区内主要发育块体搬运中远段沉积,最大厚度约250 m,在研究区内沿物源方向约25~30 km,垂直于物源方向最宽处约20~25 km。

2 地震相类型

块体搬运沉积具有明显不同于相邻沉积的地震响应特征,在地震可分辨的尺度内易识别,其表现为杂乱地震反射,而上覆及下伏地层均表现为强振连续反射(图4)。根据块体搬运沉积的内部反射特征可以识别出3种不同的地震相,SF1,SF2及SF3。

SF1为弱振幅半透明杂乱地震相,在地震剖面及时间切片上均表现为弱振杂乱反射,反映了其内部物质分选差,杂乱无章的特征,为块体搬运沉积中段层状流态典型地震响应特征,也是块体搬运沉积的典型地震响应特征。

SF2为强、弱振幅变化的叠瓦状变振幅地震

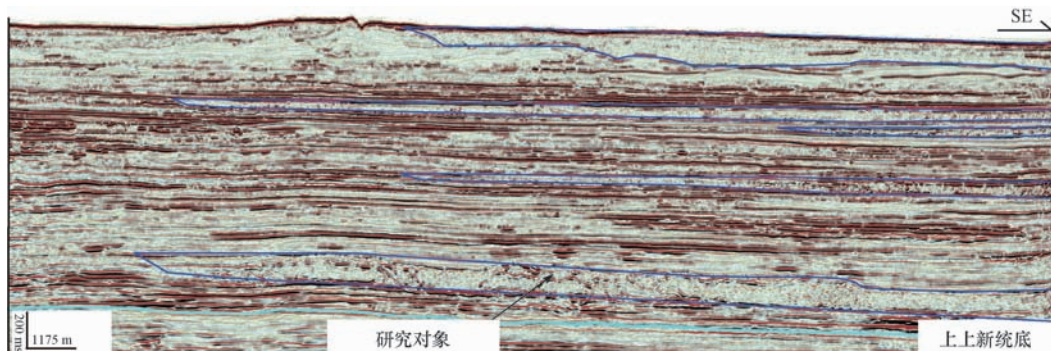


图3 若开次盆研究区多套块体搬运沉积

Fig. 3 Multi mass-transport deposits in the study area, Rakhine Sub-basin

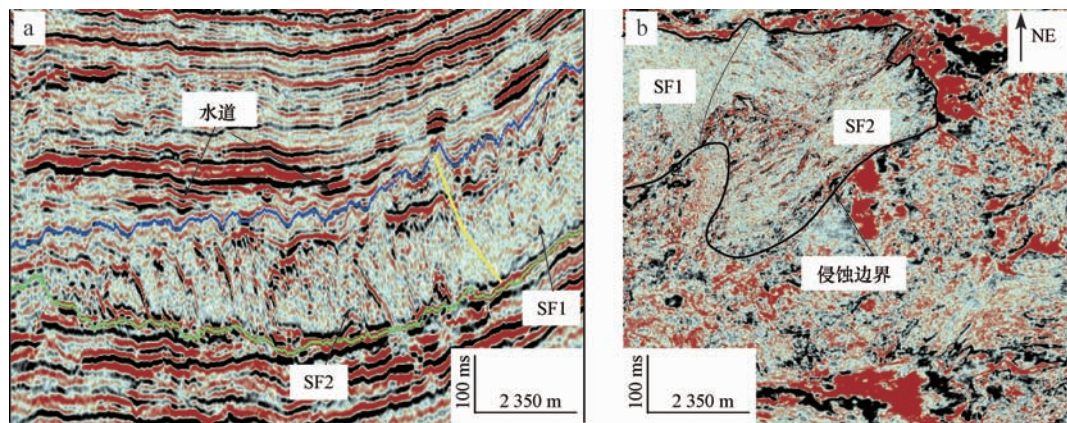


图 4 若开次盆块体搬运沉积弱振半透明杂乱地震相(SF1)及变振幅地震相(SF2)

Fig. 4 Low amplitude, semi-transparent and chaotic seismic facies(SF1) and variable amplitude seismic facies(SF2) of mass-transport deposition in Rakhine Sub-basin

相,地震剖面及其平面几何特征呈叠瓦状排列,弱反射为碎屑流响应特征,强振幅反射为多个逆断层层面响应,表明其遭受挤压变形,同沉积变形的证据(图 4),符合塑性流体的沉积特点,为典型的块体搬运趾部沉积。

SF3 为中-强振幅丘状地震相,具有向上凸起的丘状外部形态,与周围地震反射具有明显的边界,地震相内部反射振幅较强,有的比较杂乱,有的连续性相对较好,为块体搬运沉积内漂浮块体的响应特征(图 5)。在研究区,SF1 及 SF3 的分布范围极为广泛,SF3 主要分布于块体搬运沉积的南部地区,即块体搬运沉积的趾部,SF1 主要分布于北部地区,即物源来源方向(图 5)。但是 SF2 的分布范围极为局限,也不具有沉积规律,主要发育

于 SF1 地震相的内部,为团块状分布。

3 典型地质特征

块体搬运沉积在其不同部位表现出不同的重力流过程、不同的流态以及不同的应力情况,并影响其不同部位的顶、底界面及内部结构。所以本文主要对其顶、底界面以及内部特征进行分析。

3.1 底界面典型特征

由于块体搬运沉积形成过程中的剪切作用和下切作用,其底界面主要反映为侵蚀现象,在研究区表现为:侧向侵蚀边界、大型冲蚀沟以及侵蚀残留。

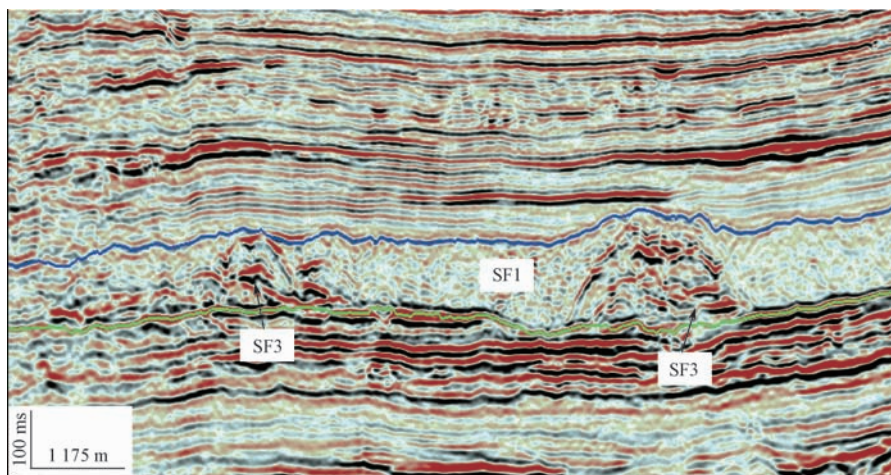


图 5 若开次盆块体搬运沉积中强振幅丘状地震相(SF3)

Fig. 5 Medium-high amplitude mound seismic facies(SF3) of mass-transport deposition in Rakhine Sub-basin

3.1.1 侧向侵蚀边界

侧向侵蚀边界几乎平行于块体搬运沉积搬运方向并限制了块体搬运沉积的搬运范围,成对出现。研究区由于地震覆盖范围较为有限,只观察到一侧的侧向侵蚀边界。侧向侵蚀边界相对较陡,界面两侧反射特征存在明显差异,图6 侵蚀边界右侧为块体搬运沉积的弱振杂乱反射,侵蚀边界左侧为水道或席状砂的强振连续反射,地势起伏可达200 m左右,走向为北东-南西向(图6),向下斜坡方向侵蚀边界的地势起伏逐渐减小。侵蚀边界的形成是由块体搬运沉积在搬运过程中剪切作用及下切作用造成的。

3.1.2 底界面大型冲蚀沟

块体搬运沉积底界面为剪切面,连续且平行于下伏地层,但是由于形成过程的下切作用,块体搬运沉积的底部发育一大型的冲蚀沟,宽度较大,底部比较平整,平面上呈线性展布,上倾方向较

窄,最窄处约7 000 m,下倾方向冲蚀沟宽度逐渐增加。冲蚀沟深约60~80 m,其走向几乎平行于侧向侵蚀边界(图6)。

3.1.3 侵蚀残留

由于侵蚀下切作用的程度不一,可形成一些侵蚀残留,表现为强振连续反射。侵蚀残留主要为早期的斜坡或深海沉积物,很可能为早期的水道-天然堤沉积或席状砂沉积,这些侵蚀残留被后期低孔低渗的块体搬运沉积所覆盖,可以形成有效的封堵,并形成一些地层圈闭(图7)。

3.2 顶界面特征

根据研究区顶界面的形态,可将顶界划分为两段:①为微凹凸不平的顶界面;②为由于挤压逆冲作用形成的地形起伏较大的挤压脊(图8)。微凹凸不平顶面为块体搬运沉积中段的顶界面典型特征,界面连续,平行于底界面,地形起伏很小,表现为微凹凸不平。挤压脊在平面上一般呈弧形,

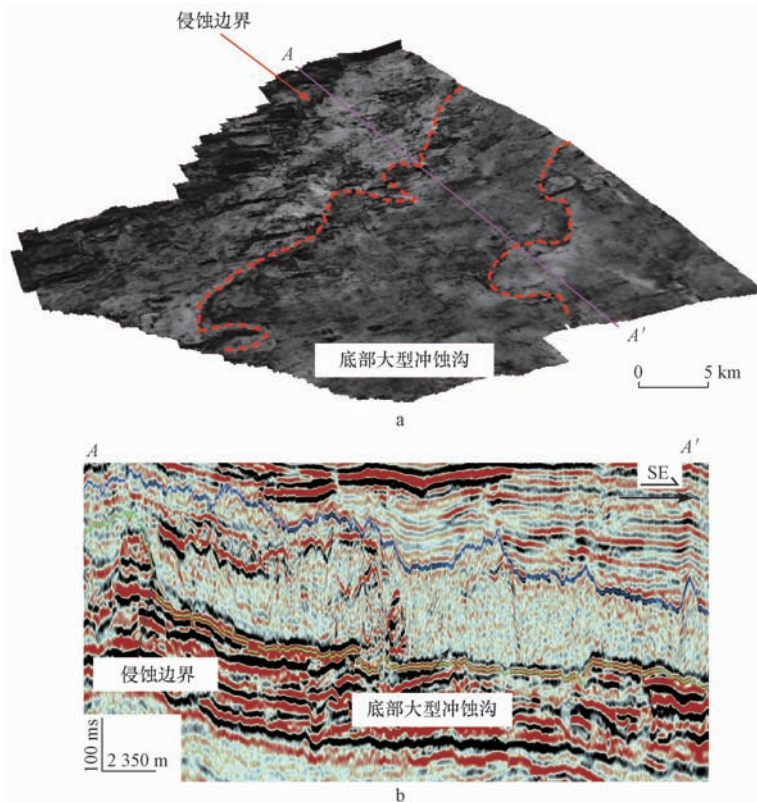


图6 若开次盆块体搬运沉积侧向侵蚀边界及底部大型冲蚀沟

Fig. 6 Lateral erosional boundary and basal scour of mass-transport deposits in Rakhine Sub-basin

a. 平面特征;b. 剖面特征

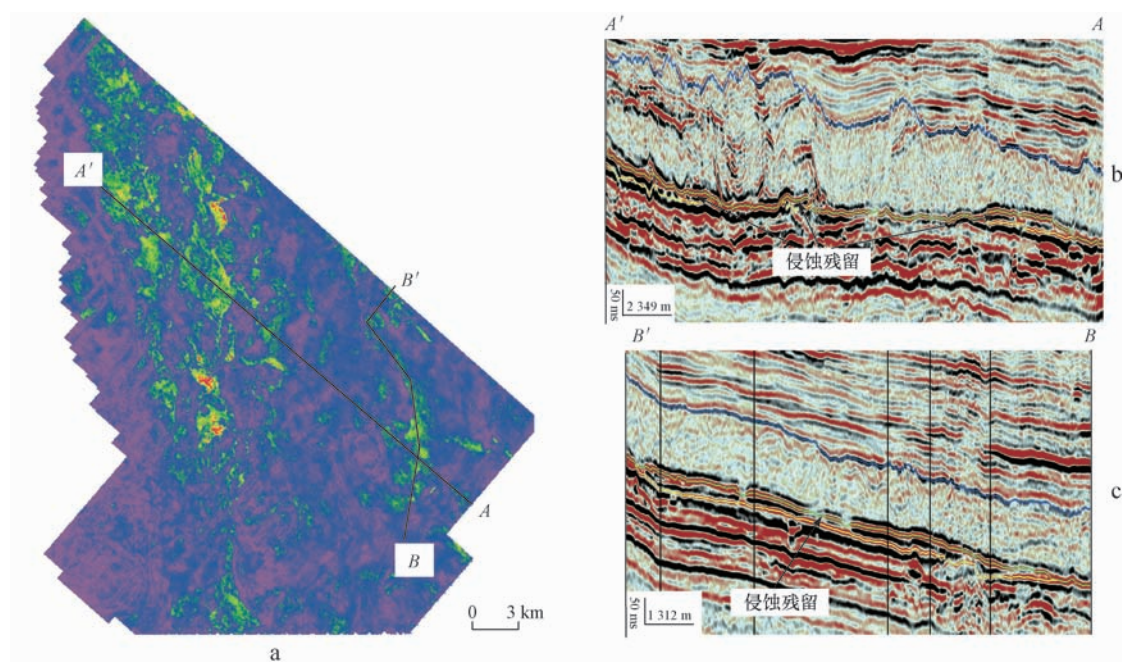


图7 若开次盆块体搬运沉积底部侵蚀残留

Fig. 7 Basal erosional remnants of mass-transport deposits in Rakhine Sub-basin

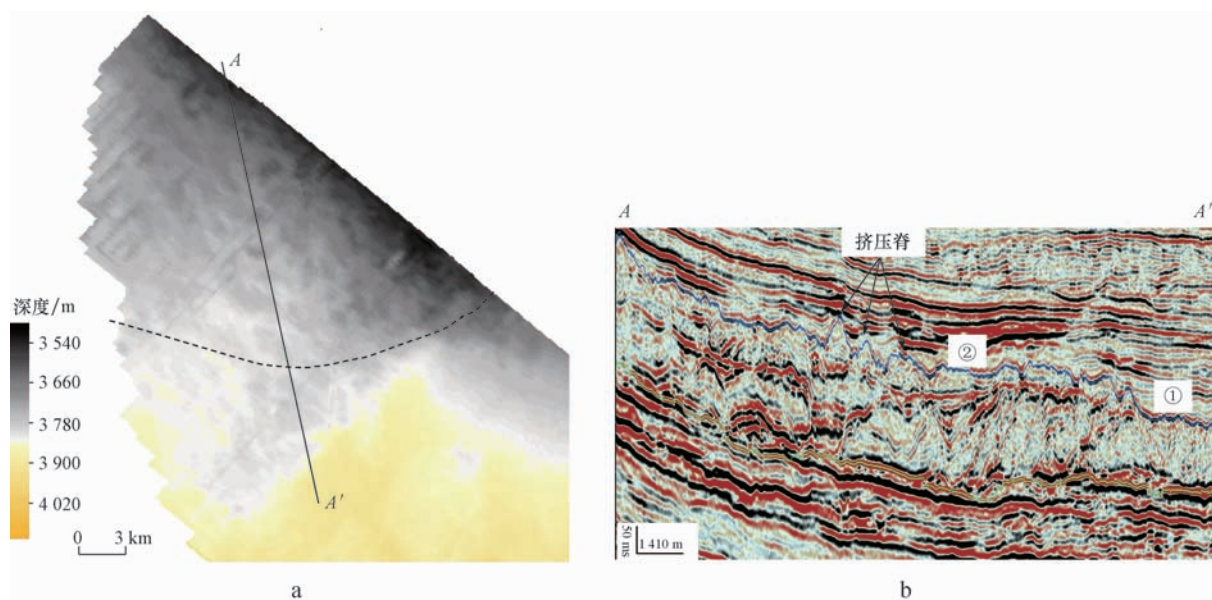


图8 若开次盆块体搬运沉积顶界面特征

Fig. 8 Characteristic of top boundary of mass-transport deposits in Rakhine Sub-basin

a. 顶界面时间构造; b. 地震剖面

且相互平行-亚平行,凸起方向为水流方向,在地震剖面上其地形起伏达到70~80 m。挤压脊一般为块体搬运沉积远段的典型特征。但是局部地形发生变化或者水流前进过程遭受阻挡也会形成局部性挤压脊。

3.3 内部特征

研究区块体搬运沉积内部及其伴生地质作用具有3种典型特征:漂浮岩块、褶皱及同沉积逆冲断层。

3.3.1 漂浮岩块

漂浮岩块在地震上较易识别,与周围沉积物的弱反射相比,表现为中强振幅反射,有的岩块内部反射比较杂乱,有的连续性相对较好,陡峭的向外倾斜的翼部将其与周围的沉积所分隔开。具有向上突起的外部几何形态,其组成为沉积物的粘结块体。漂浮岩块主要发育于块体搬运沉积中段,其大小不一,在研究区部分漂浮岩块长轴方向可达3 km(图9)。一般而言随着搬运距离的增长,漂浮岩块的长轴方向逐渐平行于水流方向且变形程度增加,但是如果漂浮岩块受到局部挤压或沉积于块体搬运沉积的末端,其长轴方向有可能垂直于水流方向。

3.3.2 褶皱

在块体搬运沉积体内可观察到不同形状的褶

皱,在块体搬运沉积中段,当搬运距离较短时,主要表现为垂直褶皱,但是随着搬运距离的增加,其变形程度增加,其形态也从垂直褶皱-倾斜褶皱-横卧褶皱转变。其形态特征的变化主要是由于随着搬运距离的增加,剪切作用会导致褶皱轴发生旋转使其平行于块体搬运沉积的顶底界面,褶皱枢纽的方向指向下斜坡方向。所以块体搬运沉积中段内发育褶皱可以用来识别搬运方向及古斜坡方向。图10为研究区块体搬运沉积内部一微倾斜褶皱,表现为丘状构造,顶界面为向上凸起的不连续反射,底界面为连续未变形剪切面,褶皱内部主要表现为一系列向上凸起的连续反射,部分也呈现出连续反射,说明其具有一定的塑性变形但是还保持着良好的连续性。

3.3.3 同沉积逆冲断层

同沉积逆冲断层断距小,分布密集,剖面中呈

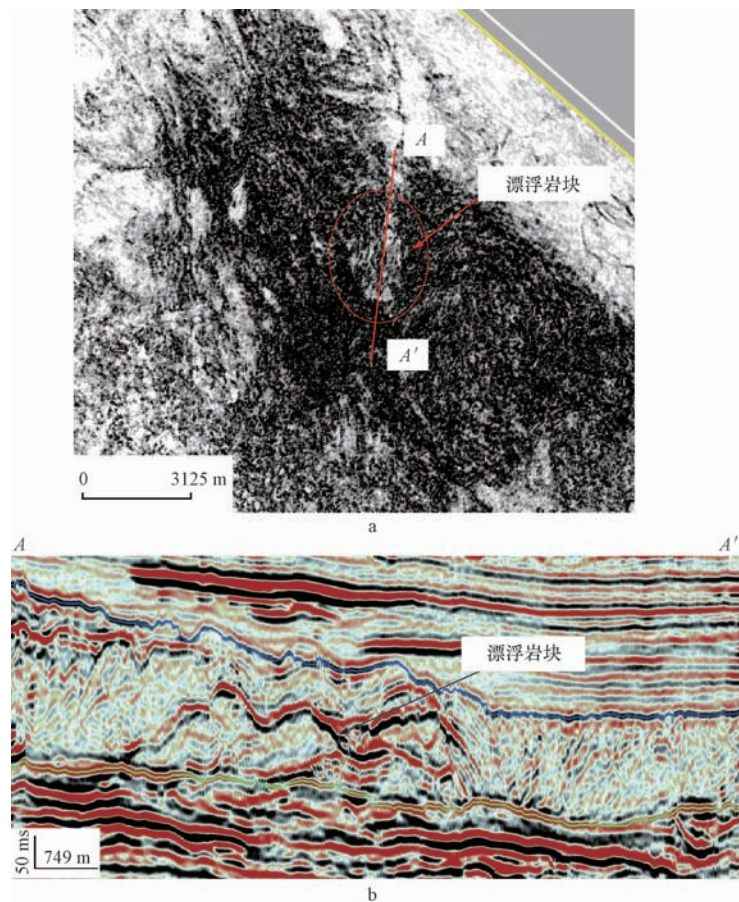


图9 若开次盆块体搬运沉积内部漂浮岩块

Fig. 9 Floating blocks in the interior of mass-transport deposits in Rakhine Sub-basin

a. 漂浮岩块相干切片;b. 漂浮岩块地震剖面

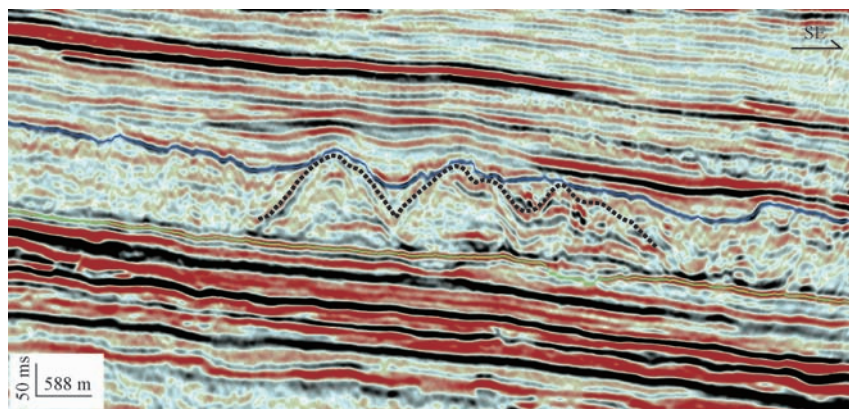


图 10 若开次盆块体搬运沉积内部褶皱

Fig. 10 Interior folds of mass-transport deposits in Rakhine Sub-basin

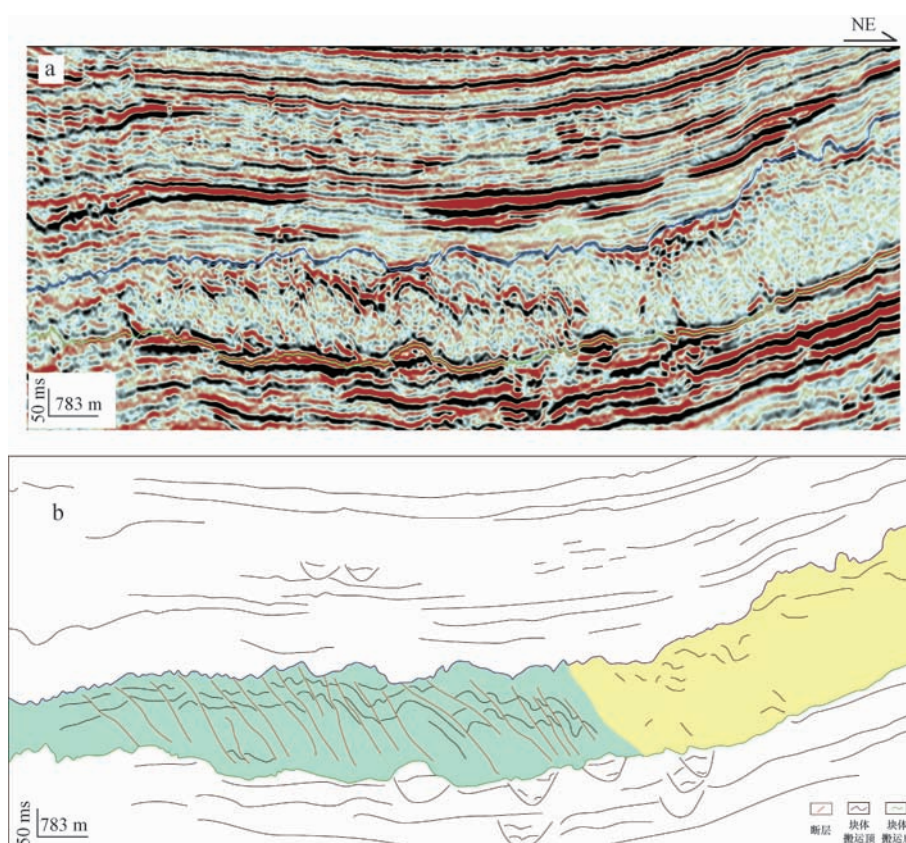


图 11 若开次盆块体搬运沉积内同沉积逆冲断层

Fig. 11 Syn depositional thrust faults within mass-transport deposits in Rakhine Sub-basin

叠瓦状分布(图 11)。叠瓦状逆冲断层的形成是局部限制性流体在向前搬运过程中,遭遇地形的阻挡,后来的流体对其造成挤压,使得流体物质向上逆冲,流体在不断挤压的过程中由于可容纳空间的限制,形成了一系列叠瓦状的逆冲断层。其前缘边界为陡坡。块体搬运方向垂直于逆冲断层

的走向。同沉积逆冲断层为塑性流体同沉积变形的标志,主要发育于块体搬运沉积的趾部。

4 结论

1) 块体搬运沉积总体表现为杂乱地震反射,

但是其内部又可以划分3种不同的地震相:弱振幅半透明杂乱地震相、强弱振幅变化叠瓦状的变振幅地震相及中强振幅丘状地震相。弱振幅半透明杂乱地震相为块体搬运沉积中段典型地震相;叠瓦状变振幅地震相为同沉积变形的证据,主要发育于块体搬运沉积的趾部;中-强振幅丘状地震相为漂浮块体的典型地震响应特征。

2) 由于块体搬运沉积形成过程的剪切作用和下切作用,所以其底界面主要表现为侵蚀特征,表现为侧向侵蚀边界、大型冲蚀沟和侵蚀残留。研究区块体搬运沉积表现为层状流态和塑性流态,其顶界面可以划分为两段,一段为微凹凸不平的顶部剪切面,另一段为地形起伏较大的挤压脊。块体搬运沉积内部特征主要表现为漂浮岩块、褶皱及同沉积逆冲断层。

参 考 文 献

- [1] Paul Weimer, Roger M. Slatt. Introduction to the petroleum geology of deepwater settings [M]. Tulsa: AAPG, 2007: 1-2.
- [2] 陈欢庆, 朱筱敏, 董艳蕾, 等. 深水断陷盆地层序地层分析与岩性-地层油气藏预测——以中国南海C盆地深水区古近系T组为例[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(5): 626-634.
Chen Huanqing, Zhu Xiaomin, Dong Yanlei et al. Sequence stratigraphy analysis and lithologic-stratigraphic reservoir prediction in deepwater faulted basins—an example from the Paleogene T Formation of the deepwater C Basin in South China Sea[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(5): 626-634.
- [3] Lorena Moscardelli, Lesli Wood, Paul Mann. Mass-transport complexes and associated processes in the offshore area of Trinidad and Venezuela [J]. AAPG, 2006, 90(7): 1059-1088.
- [4] Maslin M, Mikkelsen N, Vilela C, et al. Sea-level and gas hydrate-controlled catastrophic sediment failures of the Amazon Fan[J]. Geology, 1998, 26(12): 1107-1110.
- [5] Lorena Gina Moscardelli. Mass transport processes and deposits in offshore Trinidad and Venezuela, and their role in continental margin development [D]. Austin: The University of Texas, 2007.
- [6] Newton C, Wach G, Dalhousie U, et al. Mosher. Importance of mass transport complexes in the Quaternary development of the Nile fan, Egypt [C] // Annual Offshore Technology Conference. Houston, OTC Paper 16742, 2004: 10.
- [7] Maslin M, Owen M, Day S, et al. Linking continental-slope failures and climate change: testing the clathrate gun hypothesis [J]. Geology, 2004, 32(2): 53-56.
- [8] Hoffman J S, Kaluza M J, Griffiths R, et al. Addressing the challenges in the placement of seafloor infrastructure on the East Breaks slide—a case study: the Falcon field (EB 579/623): Northwestern Gulf of Mexico [C] // Annual Offshore Technology Conference. Houston, OTC Paper 16748, 2004: 17.
- [9] Lorena Moscardelli, Lesli Wood. New classification system for mass transport complexes in offshore Trinidad [J]. Basin Research, 2008, 20: 73-98.
- [10] Shipp R C, Nott J A, Newlin J A. Physical characteristics and impact of mass transport complexes on deepwater jetted conductors and suction anchor piles [C] // Annual Offshore Technology Conference. Houston, OTC Paper 16751, 2004: 11.
- [11] Pirmez C, Marr J, Shipp C, et al. Observations and numerical modeling of debris flows in the Na Kika Basin, Gulf of Mexico [C] // Annual Offshore Technology Conference. Houston, OTC Paper 16749, 2004: 13.
- [12] Suzanne Bull, Joe Cartwright, Mads Huuse. A review of kinematic indicators from mass-transport complexes using 3D seismic data [J]. Marine and Petroleum Geology, 2009, 26(7): 1132-1151.
- [13] Moscardelli, Wood L J, Mann P. Debris flow distribution and controls on slope to basin deposition, offshore Trinidad [C]. Dallas: AAPG Annual Meeting Program, 2004: 13, A100.
- [14] Schwenk T, Spieß V, Breitzke M, et al. The architecture and evolution of the Middle Bengal fan in vicinity of the active channel-levee system imaged by high-resolution seismic data [J]. Marine and Petroleum Geology, 2005, 22(5): 637-656.
- [15] James R, Cochran. Himalayan uplift, sea level and the record of Bengal fan sedimentation at the ODP Leg 116 sites [J]. Proceeding of the ocean drilling program, Scientific Results, 1990, 116: 397.
- [16] Ashraf Uddin, Neil Lunberg. Miocene sedimentation and subsidence during continent-continent collision, Bengal basin, Bangladesh [J]. Sedimentary Geology, 2004, 164(1): 131-135.

(编辑 张亚雄)