

琼东南盆地东西部块体流沉积 内部结构特征的差异性

何云龙^{1,2}, 解习农¹, 李俊良³, 张成¹, 张建新³

1. 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室, 武汉 430074

2. 中国科学院边缘海地质重点实验室/广州地球化学研究所, 广州 510640

3. 中海石油有限公司湛江分公司, 广东 湛江 524057

摘要: 利用南海北部琼东南盆地的高精度 2D 和 3D 地震资料, 对盆地不同区域里的陆坡到深水盆地的块体流沉积特征进行了研究。结果发现, 琼东南盆地东部和西部陆坡体系发育的块体流沉积表现出不同的特征: 盆地东部陆坡体系下块体流沉积头部以变形程度较小的滑移体的广泛发育为特征, 整体规模较小; 盆地西部块体流沉积头部以变形强烈的杂乱反射为特征, 侵蚀作用强烈, 规模较大, 同时在其趾部变形强烈的地层中发育有一系列平行、亚平行的逆冲断层。琼东南盆地东西部块体流沉积特征差异性产生的原因有: 1) 盆地东西部陆坡沉积格架不同, 西部的陡倾陆坡比东部的宽缓陆坡更加有利于块体流沉积的发育; 2) 盆地地貌特征对块体流沉积发育的制约, 琼东南盆地南部隆起对块体流沉积起到遮挡的作用, 阻止了西部块体流的运动。陆架边缘断层活化相关的地震活动是块体流沉积的一个重要触发机制。

关键词: 琼东南盆地; 块体流; 陆坡体系; 地貌差异; 沉积学

中图分类号: P588.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5888(2013)01-0049-08

Differences of MTDs Characteristics Between Eastern and Western Part of Qiongdongnan Basin

He Yunlong^{1,2}, Xie Xinong¹, Li Junliang³, Zhang Cheng¹, Zhang Jianxin³

1. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Key Laboratory of Marginal Sea Geology/Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou 510640, China

3. China National Offshore Oil Corporation Limited, Zhanjiang 524057, Guangdong, China

Abstract: Based on high-resolution 2D and 3D seismic data in Qiongdongnan basin, in northern South China Sea, the characteristics of mass turbidity depositions (MTDs) in different parts of the basin, from the slope system to abyssal plain, have been studied. The result shows that the characteristics of MTDs are different from the eastern to western part in Qiongdongnan basin. In eastern part, the head of MTDs is characterized by the slides, with little or no deformation, and the MTDs are of small scale. While in the western part, chaotic seismic facies and intense erosion are the main features of the head of MTDs, and the MTDs are of large scale, meanwhile, there is a series of parallel or sub-

收稿日期: 2012-07-29

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(91028009); 中国科学院边缘海地质重点实验室和广州地球化学研究所开放基金项目(MSGL11-04); 国家自然科学基金青年基金项目(41002031); 中国地质大学(武汉)中央高校基本科研业务费专项基金(2011029060); 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项目(TPR-2012-07)

作者简介: 何云龙(1983—), 男, 博士研究生, 主要从事海洋沉积学及其能源效应研究, E-mail: heyunlong06@163.com.

parallel thrusts in the strongly deformed strata in the toe of MTDs. There are mainly two reasons for the differences. Firstly, comparing to the eastern part, the western part of the basin has steeper slope gradient, which is favourable for the development of MTDs. The second lies in the morphology of the basin. The southern high stops the MTDs transporting along the slope. According to the relationship between the head of MTDs and the faults along the shelf margin, the earthquake related to reactivity of the faults is one of the triggers for the development of MTDs.

Key words: Qiongdongnan basin; MTDs; slope system; differences in morphology; sedimentology

0 引言

深海块体流沉积 (mass-transport deposits, 简称 MTDs) 是指深海环境中在一定的触发机制下, 原始的沉积地层重力失稳而导致大规模重力流的发生, 产生大规模复合沉积体, 通常包括滑移体 (slide)、滑塌体 (slumping) 和碎屑流 (debris flow) 等重力流沉积类型。通过世界范围内的深海沉积研究发现, 块体流沉积是大陆边缘沉积的重要组成部分^[1-2]。世界著名深水油气勘探区, 例如墨西哥湾盆地、南美及西非被动大陆边缘盆地、北海盆地、地中海沿岸等地都有大规模块体流沉积的发育^[3-5]。在某些区域, 块体流沉积的体积甚至可以达到整个深海沉积物体积的 70%~90%^[4,6]。

国内于 20 世纪 90 年代开展块体流活动对南海北部陆架边缘海底稳定性的研究^[7]。近年, 随着深水钻井岩心和高精度的地震资料的增多, 研究人员除了能够对块体流的岩性特征进行研究之外^[8], 对块体流沉积地震反射特征的认识也取得了更多的认识^[9-10]。特别是三维地震资料的应用, 使块体流沉积的内部结构特征和平面形态特征得到了进一步的展示^[11-13]。

本文利用区域分布的二维地震资料结合高精度的三维地震资料, 对琼东南盆地东西部块体流沉积的不同特征进行精细刻画和对比, 分析这种差异特征的成因, 指出研究区块体流沉积可能的触发机制, 这对于进一步认识南海西北部深水沉积体系的空间展布特征和深水油气勘探具有重要的意义。

1 区域地质概况

伴随中生代以来的南海张裂过程, 在南海北部形成了一系列的准被动大陆边缘盆地。多年的油气地质研究和勘探实践表明, 这些盆地具有相当丰富的油气资源潜力, 而且随着南海深水油气勘探的进一步开展, 南海北部成为全球深水油气勘探的又一

个新的热点区域^[14-15]。

琼东南盆地作为南海北部大陆边缘典型的叠合盆地之一, 沉积了巨厚的地层, 最大沉积物厚度超过 8 km。琼东南盆地的发育经历了断陷期和坳陷期两大沉积充填阶段。其中, 由于沉降速率的变化, 盆地的坳陷阶段又可以分为早期的沉降期和晚期的加速沉降期^[16]。琼东南盆地沉积环境的演化与整个南海的形成演化过程密切相关。尽管汪品先等^[17]根据大洋钻探 184 航次取得的岩心分析指出, 南海深水海盆沉积环境在南海扩张初期就已经出现。但是, 众多针对南海北部大陆边缘的研究发现, 在中新世以后南海北部大陆边缘才出现典型的深水陆坡沉积体系, 且南海东北部的深水陆坡沉积体系发育时间早于南海西北部^[18-19]。琼东南盆地陆架陆坡体系和深水盆地中, 发育着大规模的块体流沉积。

2 块体流沉积特征

在琼东南盆地陆坡发育的初始阶段, 琼东南盆地东部陆架坡折点沿着琼东南盆地的重要断层发育^[18,20]。由于陆坡发育时期地质背景的差异性, 在琼东南盆地发育了不同特征的陆架陆坡体系^[21]。如图 1 所示, 利用区域分布的二维地震数据得到的立体图显示了琼东南盆地东西部不同陆坡体系的地貌特征。在盆地东部缓坡和西部较陡的陆坡 2 种不同的陆坡体系下, 块体流的发育表现出不同的特征。

2.1 盆地东部块体流沉积特征

琼东南盆地东部为宽缓的陆坡体系, 陆坡倾角较小, 为 $1^{\circ}\sim 2^{\circ}$, 没有明显的陆架坡折点。块体流沉积头部典型的重力成因的张性滑移断层在上陆坡位置非常发育 (图 2)。上陆坡滑移块体的内部结构非常清晰, 内部地震反射的连续性非常好, 地层变形非常微弱。在滑移体内部不同块体之间存在一系列重力流成因的以小断距为主要特征的犁式滑移断层; 同时, 这些断层的规模也通常比较小, 而且断层的下端多终止于一个连续性较好、地震反射较强的界面

附近,此面即为块体流的底部剪切面(basal shear surface),当块体流对底部有侵蚀的时候这个面可以被称为侵蚀基准面^[22]。根据滑移断层的小断距和断层下端终止于块体流底部剪切面的特征,可以将滑移断层与构造成因的断裂相区别。

根据经典的块体流沉积二分模式,在块体流沉积的下端或者趾部地层内部应当是挤压应力环境,具体表现为块体流趾部的挤压脊^[23-24]。在块体流沉积趾部,沉积物由于其能量的降低而使其向前运动的趋势逐渐趋于停滞,但其头部和体部的沉积物却仍然具有较强的能量,向前运动的趋势较强,会对其趾部已经趋于停滞的沉积体产生挤压的作用,因此便会在块体流沉积的趾部形成局部的挤压应力,表现为沉积物内部逆冲断层的发育。相应的,在块体流沉积内部的运动趋势不强、能量较弱的情况下,对前段趾部产生这种挤压应力弱,表现为发育挤压脊的可能性就较小或者不发育。

在琼东南盆地东部缓坡体系下块体流趾部的挤压应力特征表现不甚明显。如图 3a 所示,在深水盆地块体流趾部的方差体沿层切片平面图中,块体流沉积的杂乱特征与深海细粒沉积的均一特征之间界限非常清晰。块体流沉积在平面切片上多表现为一种杂乱的斑点特征,反映出块体流沉积内部的杂乱结构,而且块体流沉积的表面也会表现出不规则的表面形态特征。在图 3b 中,块体流与周围的正常深海泥质沉积之间表现出上超的地震反射结构,体现出块体流沉积对周围地层并未产生严重的变形扰动和侵蚀作用,反映了在宽缓陆坡体系下的下陆坡位置,块体流沉积的规模相对较小、能量较弱的特征。

2.2 盆地西部块体流沉积特征

琼东南盆地西部的陆架坡折线在平面和剖面上特征明显,陆坡具有相对较陡的坡度,平均为 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 。西部陆坡区块体流头部的沉积特征与东部陆坡区相比,具有很大的差异性,陆坡上的沉积特征也更加丰富。如图 4 所示,上陆坡块体流头部的地震反射以杂乱反射为特征。在杂乱反射中偶尔会出现连续性好的强反射“块体”,并伴随着一定程度的“块体”内部地层变形;同时,其产状与其他未变形的地层产状明显不同。这种“块体”被解释为块体流沉积中从上陆坡或者陆架边缘滑塌形成的大规模搬运块体。

此外,西部陆坡块体流头部的杂乱沉积中还时常出现一个地震发射连续性较好、振幅较强的面,此

为晚期块体流沉积对早期块体流沉积进行冲蚀的侵蚀基准面。与东部缓坡体系下的剪切面不同,西部陆坡区的侵蚀基准面的倾角更大,如图 4 中的侵蚀基准面的倾角跟原始沉积地层之间表现出较大的交角,体现了较强的侵蚀能力。同时,盆地西部陆坡体系中还发育一系列的浊积水道。与周围的块体流杂乱反射特征不同,陆坡浊积水道以连续性好、强振幅以及“U”或者“V”型的几何形态为特征。陆坡是沉积物重力流发育的有利场所,因此,多期次发育的浊积水道在垂向上的相互叠置和迁移非常普遍。这些水道发育过程中反复的沉积-侵蚀过程使其中单个水道的特征不明显,而突出表现为水道复合体的整体特征。

与盆地东部不同,在盆地西部的深水盆地地区,块体流趾部表现出不同的特征。块体流沉积的规模更大,单期块体流沉积厚度可以达到 100 m 以上,如图 5a;同时,大规模块体流顶部的不规则形态在剖面上表现的更加清晰,在块体流沉积顶部的下凹区,往往会“捕获”一些后期发育的浊流沉积,形成一些具有不规则平面形态的浊积砂体。在底部,块体流还显示出较强的侵蚀特征,具体表现为上覆块体流将下伏地层直接冲蚀、截断(图 5b)。另外,在块体流趾部挤压变形严重的地层中发育一系列的逆冲断层,这些逆冲断层在剖面上呈平行、亚平行展布。强烈的变形和逆冲断层的发育体现出在块体流趾部仍然存在很强的挤压应力,反映了块体流沉积具有相对较强的能量(图 5c)。

3 讨论

3.1 块体流沉积触发机制

块体流沉积的触发机制有多种,但是通过对其他深水环境中块体流沉积的研究发现,最普遍的触发机制包括构造运动导致的地震活动和天然气水合物溶解导致的流体活动^[25-27]。已经有众多的研究表明,琼东南盆地天然气水合物的溶解与陆坡不稳定性有着重要的关系^[28-29]。笔者着重讨论断层活化导致的地震活动这一触发机制对于研究区内块体流发育的影响。

地震作为块体流沉积的重要触发机制之一:一方面本身对于沉积地层就有个破坏作用,能够引起大规模的块体流沉积的发生;另一方面,地震还能造成沉积物液化和地层强度降低,从而产生有利于 MTDs 的发生条件。中新世以来,琼东南盆地断裂

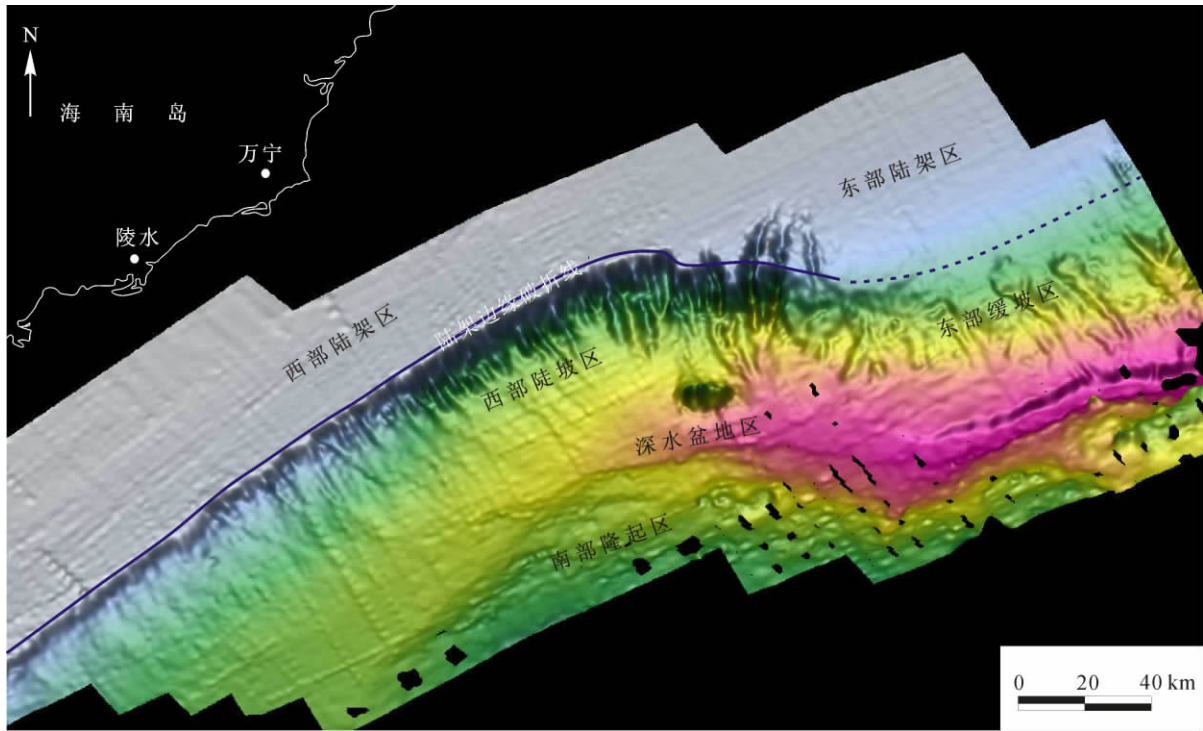


图 1 琼东南盆地现今海底三维立体图

Fig. 1 3D view of seabed of Qiongdongnan basin

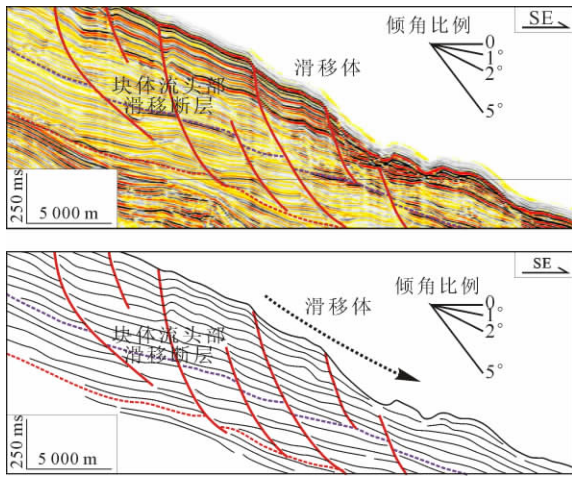


图 2 琼东南盆地东部上陆坡块体流头部发育特征

Fig. 2 Head characteristics of MTDs in upper slope in eastern part of Qiongdongnan basin

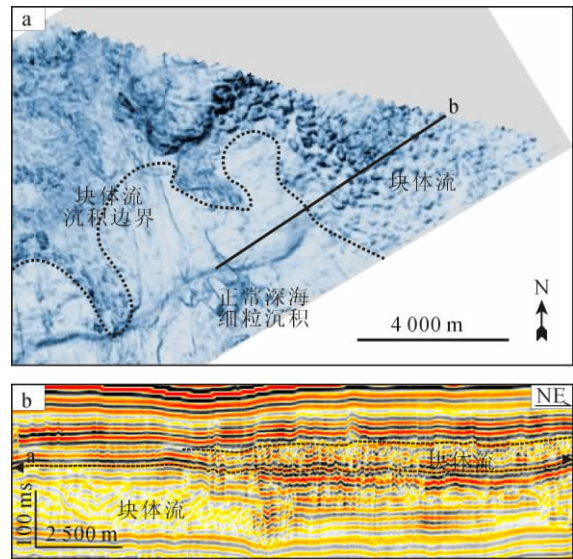


图 3 琼东南盆地东部深水平原发育的块体流沉积特征

Fig. 3 Characteristics of MTDs in the abyssal plain in eastern part of Qiongdongnan basin

的活动性与盆地裂陷期相比,总体上具有活动性减弱、活动断裂数量减少的特征^[30]。尽管如此,琼东南盆地裂后期仍然有少数隐伏断裂的活动。在盆地的南部,一些隐伏断裂的活动导致了盆地深部流体向上覆地层的疏导^[31]。本次研究中笔者发现琼东南盆地陆坡附近的隐伏断层也显示出较弱的活动性

(图 6)。虽然这些断裂的规模并不如盆地断陷期断裂发育的规模大,断裂对于沉积的控制作用也相对更弱,但这些断层的活化以及可能伴随的地震活动对于盆地北部陆坡的不稳定性具有重要的影响。多

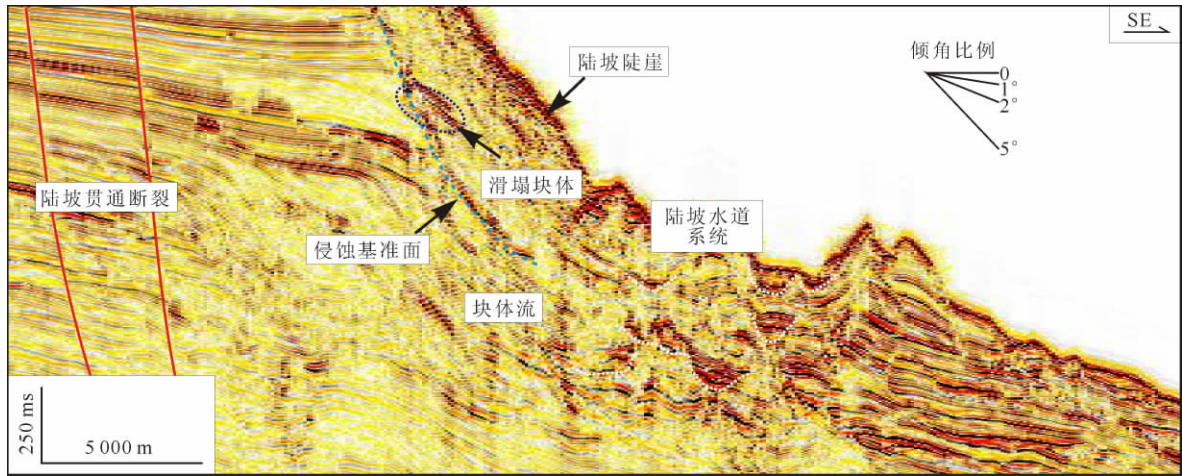


图 4 琼东南盆地西部上陆坡块体流头部发育特征

Fig. 4 Head characteristics of MTDs in upper slope in western part of Qiongdongnan basin

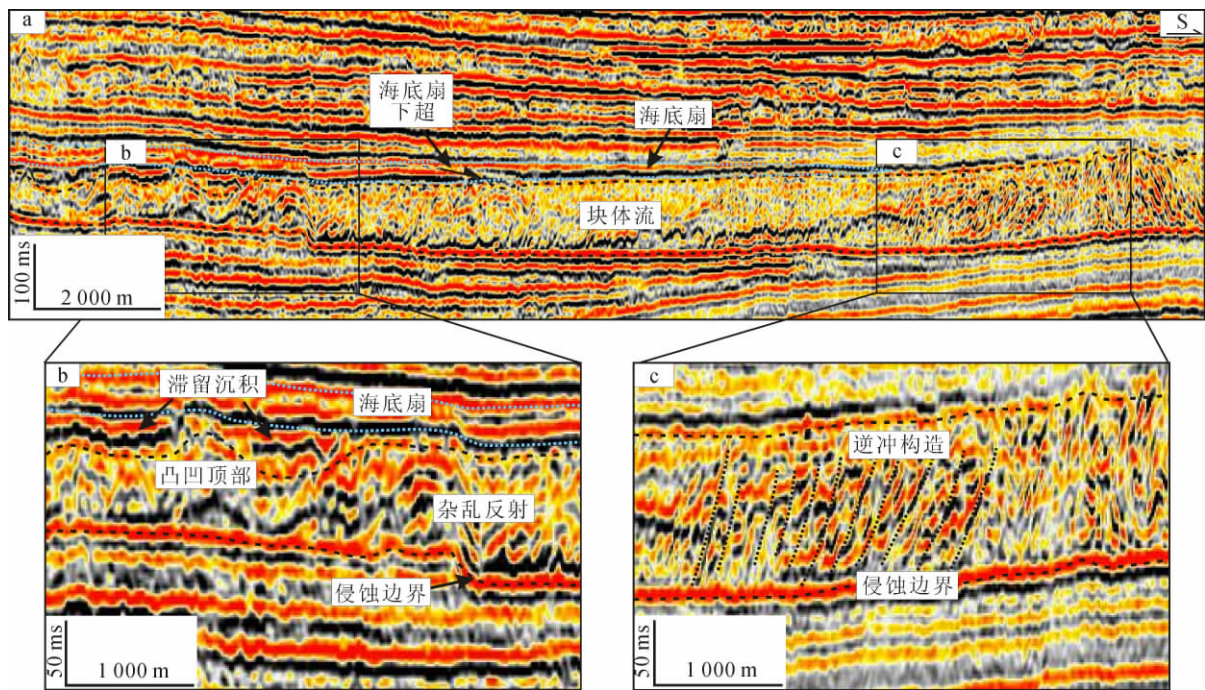


图 5 琼东南盆地西部深水平原块体流沉积特征

Fig. 5 Characteristics of MTDs in the abyssal plain in western part of Qiongdongnan basin

数块体流发育的头部陡壁带都是以断层为边界,这种现象在较新的地层中表现得更为明显。

另一方面,根据 1067—1986 年间的历史记载,在不到 1 000 a 的历史中,南海北部发生 4 级以上地震 273 次,其中 6 级以上地震 40 次^[32]。因此,可以推断南海北部的地震活动是比较频繁的,这些地震活动对于触发陆架边缘的块体流发育具有重要的作用。

3.2 块体流沉积特征差异性成因

通过以上盆地东西部陆坡以及对应深水盆地区域块体流沉积对比发现,琼东南盆地东西部的块体流沉积表现出不同的特征。对于块体流头部沉积特征,东部主要以无变形和变形微弱的滑移体为主,块体流底部侵蚀不明显,底部剪切面的产状相对较缓,主要是顺层滑动;而西部的块体流头部以变形强烈的杂乱反射为主,不同期次块体流之间的侵蚀强烈,

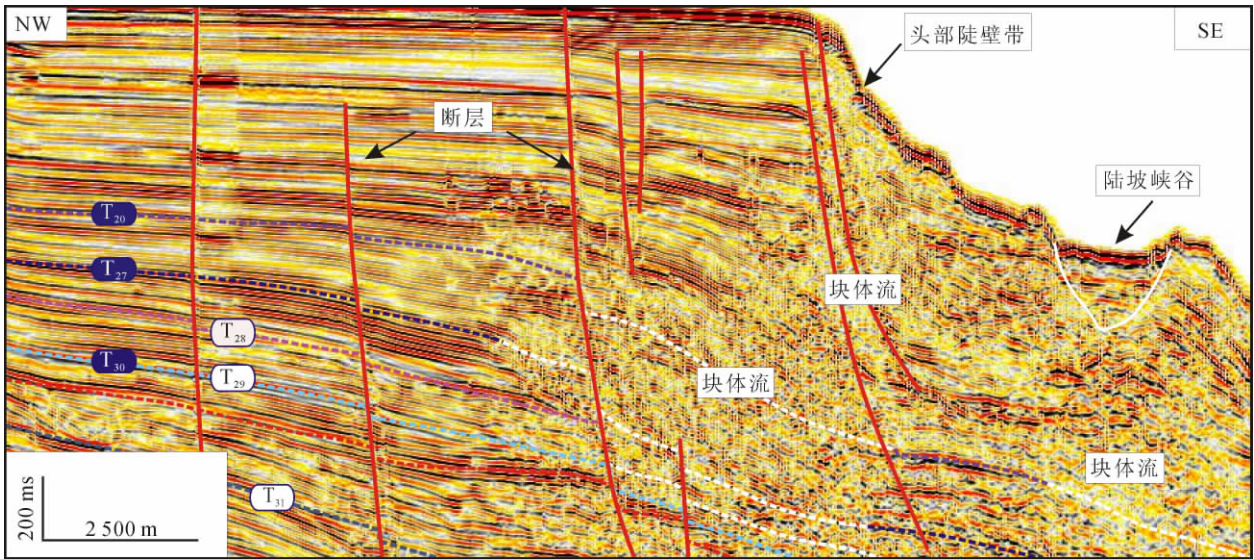


图 6 琼东南盆地陆坡体系断裂系统与块体流沉积

Fig. 6 Relationship between MTDs and faults in the slope system in Qiongdongnan basin

侵蚀基准面产状陡倾。东西部深水盆地块体流趾部特征也存在一定的差异：东部主要块体流沉积厚度较小，表现出超覆的特征；西部块体流规模较大，对底部地层的侵蚀强烈，而且块体流地层挤压变形严重，逆冲断层发育。

盆地东西部块体流沉积特征的差异性都表现出盆地西部块体流沉积的规模相对较大，同时也具有更强的能量。产生这种东西部块体流沉积特征差异性的原因为陆坡体系差异性以及盆地南部地貌差异性的制约。通过现今海底地貌图可以发现，盆地东部的陆坡坡度要明显小于盆地西部，如图 1 所示。较大的陆坡角度更加有利于沉积物重力流的发生，使盆地西部块体流的发育相对更容易。同时，断层活化相关的地震活动是本研究区块体流沉积的重要触发机制之一，盆地西部陆坡区的基底贯通断裂更发育，因此地层在断层活动下表现出的不稳定性应当会更加强烈，为盆地西部块体流的发育再增加一个有利因素。

琼东南盆地东西部地貌差异性的存在，是产生块体流沉积东西部差异性的另一个重要原因。如图 6 所示，盆地块体流沉积的南部边界都以中央拗陷带和南部隆起之间的界限为界。西部陆坡体系上块体流的规模大于东部陆坡体系上发育的块体流，而由于南部隆起的存在，西部大规模的块体流沉积运动受阻，然而其内部仍然具有较强的能量。因此，块体流内部较强的能量会驱使其对底部地层进行侵蚀

以及对前端地层的强烈挤压，造成块体流底部地层的冲蚀和趾部逆冲断层的发育。东部陆坡体系下的块体流发育规模较小，且相对于西部沉积物可容纳空间更大，因此，块体流沉积趾部表现为能量较弱的超覆特征。

4 结论

1) 块体流沉积在盆地东西部深水区分表现出不同的特征：东部深水区块体流沉积规模较小，块体流头部以地层变形程度较小的滑移体的发育为特征，并伴随一系列的滑移断层；西部深水区块体流沉积规模较大，块体流头部变形和侵蚀作用强烈，趾部以挤压应力产生逆冲断层的发育为特征。陆坡沉积格架和南部地貌差异是产生块体流沉积特征的原因。

2) 琼东南盆地块体流头部多位于贯通断裂附近，这种现象对于较新地层中发育的块体流表现得更加明显，因此，发育于陆架边缘断层的活化而导致的地震活动可能是琼东南盆地块体流发育的重要触发机制之一。

参考文献(References):

- [1] Moscardelli L, Wood L, Mann P. Mass-Transport Complexes and Associated Processes in the Offshore Area of Trinidad and Venezuela[J]. AAPG Bulletin, 2006, 90(7): 1059-1088.
- [2] McAdoo B G, Pratson L F, Orange D L. Submarine

- Landslide Geomorphology, US Continental Slope[J]. Marine Geology, 2000, 169(1/2): 103-136.
- [3] Alves T M. 3D Seismic Examples of Differential Compaction in Mass-Transport Deposits and Their Effect on Post-Failure Strata[J]. Marine Geology, 2010, 271(3/4): 212-224.
- [4] Adeogba A A, McHargue T R, Graham S A. Transient Fan Architecture and Depositional Controls from Near-Surface 3-D Seismic Data, Niger Delta Continental Slope[J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(5): 627-643.
- [5] Bryn P, Berg K, Forsberg C F, et al. Explaining the Storegga Slide[J]. Marine and Petroleum Geology, 2005, 22(1/2): 11-19.
- [6] Taylor J, Dowdeswell J A, Kenyon N H, et al. Morphology and Late Quaternary Sedimentation on the North Faeroes Slope and Abyssal Plain, North Atlantic[J]. Marine Geology, 2000, 168(1/2/3/4): 1-24.
- [7] 冯文科, 石要红, 陈玲辉. 南海北部外陆架和上陆坡海底滑坡稳定性研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1994, 14(2): 89-94.
Feng Wenke, Shi Yaohong, Chen Linghui. Research for Seafloor Landslide Stability on the Outer Continental Shelf and the Upper Continental Slope in the Northern South China Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1994, 14(2): 89-94.
- [8] 李前裕, 郑洪波, 钟广法, 等. 南海晚渐新世滑塌沉积指示的地质构造事件[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2005, 30(1): 19-24.
Li Qianyu, Zheng Hongbo, Zhong Guangfa, et al. Tectonic Events Indicated by Late Oligocene Slumped Deposits from the South China Sea[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2005, 30(1): 19-24.
- [9] 李成钢, 范奉鑫, 阎军. 东海陆架前缘斜坡北部的滑塌带[J]. 海洋科学, 2007, 31(5): 90-92.
Li Chenggang, Fan Fengxin, Yan Jun. The Slipping Zone in the North of the Shelf Break in the East China Sea[J]. Marine Sciences, 2007, 31(5): 90-92.
- [10] 刘保华, 李西双, 赵月霞, 等. 冲绳海槽西部陆坡碎屑沉积物的搬运方式: 滑塌和重力流[J]. 海洋与湖沼, 2005, 36(1): 1-9.
Liu Baohua, Li Xishuang, Zhao Yuexia, et al. Debris Transport on the Western Continental Slope of the Okinawa Trough: Slumping and Gravity Flowing[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2005, 36(1): 1-9.
- [11] 孙运宝, 吴时国, 王志君, 等. 南海北部白云大型海底滑坡的几何形态与变形特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2008, 28(6): 69-77.
Sun Yunbao, Wu Shiguo, Wang Zhijun, et al. The Geometry and Deformation Characteristics of Baiyun Submarine Landslide[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2008, 28(6): 69-77.
- [12] 刘军, 庞雄, 颜承志, 等. 南海北部陆坡白云深水区深水沉积结构要素[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2011, 41(4): 992-998.
Liu Jun, Pang Xiong, Yan Chengzhi, et al. Deepwater Depositional Elements in Baiyun Deepwater Area of the Northern Continental Slope, South China Sea[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2011, 41(4): 992-998.
- [13] 何云龙, 解习农, 陆永潮, 等. 琼东南盆地深水区块体流构成及其沉积特征[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2011, 36(5): 905-913.
He Yunlong, Xie Xinong, Lu Yongchao, et al. Architecture and Characteristics of Mass Transport Deposits (MTDs) in Qiongdongnan Basin in Northern South China Sea[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2011, 36(5): 905-913.
- [14] 周蒂, 孙珍, 陈汉宗. 世界著名深水油气盆地的构造特征及对我国南海北部深水油气勘探的启示[J]. 地球科学进展, 2007, 22(6): 561-572.
Zhou Di, Sun Zhen, Chen Hanzong. Tectonic Features of World's Major Deep-Water Oil/Gas Fields and Their Enlightenment to Deep-Water Exploration in Northern South China Sea[J]. Advance in Earth Science, 2007, 22(6): 561-572.
- [15] 解习农, 张成, 任建业, 等. 南海南北大陆边缘盆地构造演化差异性对油气成藏条件控制[J]. 地球物理学报, 2011, 54(12): 3280-3291.
Xie Xinong, Zhang Cheng, Ren Jianye, et al. Effects of Distinct Tectonic Evolutions on Hydrocarbon Accumulation in Northern and Southern Continental Marginal Basins of South China Sea[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2011, 54(12): 3280-3291.
- [16] 李思田, 林畅松, 张启明, 等. 南海北部大陆边缘盆地幕式裂隙的动力过程及 10 Ma 以来的构造事件[J]. 科学通报, 1998, 43(8): 797-810.
Li Sitian, Lin Changsong, Zhang Qiming, et al. Dynamic Process of Episodic Rifting in Continental Marginal Basin and Tectonic Events Since 10 Ma in South China Sea[J]. Chinese Science Bulletin, 1998, 43(8): 797-810.
- [17] 汪品先, 翦知潜, 赵泉鸿, 等. 南海演变与季风历史的深海证据[J]. 科学通报, 2003, 48(21): 2228-

- 2239.
- Wang Pinxian, Jian Zhimin, Zhao Quanhong, et al. Evolution of the South China Sea and Monsoon History Revealed in Deep Sea Records[J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(23): 2549-2561.
- [18] Xie X N, Muller R D, Ren J Y, et al. Stratigraphic Architecture and Evolution of the Continental Slope System in Offshore Hainan, Northern South China Sea[J]. Marine Geology, 2008, 247(3/4): 129-144.
- [19] 庞雄, 陈长民, 吴梦霜, 等. 珠江深水扇系统沉积和周边重要地质事件[J]. 地球科学进展, 2006, 21(8): 793-799.
- Pang Xiong, Chen Changmin, Wu Mengshuang, et al. The Pearl River Deep-Water Fan Systems and Significant Geological Events[J]. Advance in Earth Science, 2006, 21(8): 793-799.
- [20] Chen P P H, Chen Z Y, Zhang Q M. Sequence Stratigraphy and Continental-Margin Development of the Northwestern Shelf of the South China Sea [J]. AAPG Bulletin, 1993, 77(5): 842-862.
- [21] 何云龙, 解习农, 李俊良, 等. 琼东南盆地陆坡体系发育特征及其控制因素[J]. 地质科技情报, 2010, 29(2): 118-122.
- He Yunlong, Xie Xinong, Li Junliang, et al. Depositional Characteristics and Controlling Factors of Continental Slope System in the Qiongdongnan Basin[J]. Geological Science and Technology Information, 2010, 29(2): 118-122.
- [22] Frey-Martinez J, Cartwright J, James D. Frontally Confined Versus Frontally Emergent Submarine Landslides: A 3D Seismic Characterisation[J]. Marine and Petroleum Geology, 2006, 23(5): 585-604.
- [23] Lewis K B. Slumping on a Continental Slope Inclined at 1°-4°[J]. Sedimentology, 1971, 12(1/2): 97-110.
- [24] Frey-Martinez J, Cartwright J, Hall B. 3D Seismic Interpretation of Slump Complexes: Examples from the Continental Margin of Israel[J]. Basin Research, 2005, 17(1): 83-108.
- [25] Gee M J R, Gawthorpe R L, Friedmann S J. Triggering and Evolution of a Giant Submarine Landslide, Offshore Angola, Revealed by 3D Seismic Stratigraphy and Geomorphology[J]. Journal of Sedimentary Research, 2006, 76(1/2): 9-19.
- [26] Tripsanas E K, Piper D J W, Campbell D C. Evolution and Depositional Structure of Earthquake-Induced Mass Movements and Gravity Flows: Southwest Orphan Basin, Labrador Sea[J]. Marine and Petroleum Geology, 2008, 25(7): 645-662.
- [27] Micallef A, Masson D G, Berndt C, et al. Development and Mass Movement Processes of the North-Eastern Storegga Slide[J]. Quaternary Science Reviews, 2009, 28(5/6): 433-448.
- [28] Liu F, Wu S G, Sun Y B. A Quantitative Analysis for Submarine Slope Instability of the Northern South China Sea Due to Gas Hydrate Dissociation[J]. Chinese Journal of Geophysics: Chinese Edition, 2010, 53(4): 946-953.
- [29] Wang X, Wu S, Yuan S, et al. Geophysical Signatures Associated with Fluid Flow and Gas Hydrate Occurrence in a Tectonically Quiescent Sequence, Qiongdongnan Basin, South China Sea[J]. Geofluids, 2010, 10(3): 351-368.
- [30] 雷超, 任建业, 裴健翔, 等. 琼东南盆地深水区构造格局和幕式演化过程[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2011, 36(1): 151-162.
- Lei Chao, Ren Jianye, Pei Jianxiang, et al. Tectonic Framework and Multiple Episode Tectonic Evolution in Deepwater Area of Qiongdongnan Basin, Northern Continental Margin of South China Sea [J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2011, 36(1): 151-162.
- [31] 何云龙, 解习农, 陆永潮, 等. 琼东南盆地南部梅山组强振幅体成因及油气地质意义[J]. 石油学报, 2012, 33(4): 617-624.
- He Yunlong, Xie Xinong, Lu Yongchao, et al. Origin of High-Amplitude Reflections in Meishan Formation of the Southern Qiongdongnan Basin and Its Significance in Hydrocarbon Exploration [J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(4): 617-624.
- [32] 吴时国, 姚伯初. 天然气水合物赋存的地质构造分析与资源评价[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 16-20.
- Wu Shiguo, Yao Bochu. Analysis of Geology Tectonic and Evaluation to Gas Hydrate Resources [M]. Beijing: Science Press, 2008: 16-20.