

尼日尔三角洲坡脚逆冲带沉积样式及构造控制

李磊^{1,2}, 王英民^{1,2}, 张莲美³, 黄志超⁴

1. 中国石油大学资源与信息学院, 北京 102249

2. 中国石油大学油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249

3. 中国矿业大学资源与地球科学学院, 江苏徐州 221008

4. 中石化上海海洋油气分公司研究院, 上海 200092

摘要: 研究尼日尔三角洲深水坡脚逆冲带沉积样式、构造对沉积的控制可以揭示深水沉积分布与演化特征。运用生长地层翼旋转机理和地震相分析技术对研究区的沉积类型、构造与沉积关系进行了分析。认为在深水陆坡重力滑动作用所形成的微盆地内, 层序边界表现为微盆地边缘上超不整合面或重力流对下伏地层的侵蚀不整合; 逆冲构造隆升速率与沉积速率共同控制了重力流可容空间和沉积充填样式; 沉积垂向演化以块状搬运复合体—浊积扇—深海披覆泥或浊积扇—深海披覆泥为特征。在充分考虑构造隆升和沉积速率影响因素的基础上, 建立了单一微盆地和多个微盆地的沉积演化模式。

关键词: 尼日尔三角洲; 坡脚逆冲带; 生长地层; 构造控制; 地震相。

中图分类号: P618.13

文章编号: 1000-2383(2008)05-0643-08

收稿日期: 2008-03-28

Sedimentary Patterns and Structural Control across Toe Thrust Belts, Niger Delta

LI Lei^{1,2}, WANG Ying-min^{1,2}, ZHANG Lian-mei³, HUANG Zhi-chao⁴

1. Faculty of Natural Resources & Information Technology, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

2. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

3. School of Resources & Geosciences, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, China

4. Institute of SINOPEC Shanghai Offshore Oil & Gas Company, Shanghai 200092, China

Abstract: Researches on sedimentary patterns and structural control across toe thrust belts can demonstrate the distribution and evolution of deep-water sediments. In this paper, mechanism of limb rotation in growth strata and technique of seismic facies analysis are used. There are three features in the minibasins induced by gravitational sliding on the slope: the firstly, feature is surface of unconformity developed by onlap on minibasin margins or surface of unconformity truncated by mass-transport-complex are sequence boundary in the study area; the secondly, accommodation of gravity flow is controlled by uplift rate and sedimentation rate, and styles of filling in the minibasins are dominated by the interrelationship between the two factors; and the third, there are two stacking patterns that consists of upward of turbidite fan-hemipelagic drape mud or mass-transport complexes-turbidite fan-hemipelagic drape mud. Models showing evolution of sediment in Single minibasin and in multiple minibasins are built based on the study of uplift and rate of deposition.

Key words: Niger Delta; toe thrust belts; growth strata; structural control; seismic facies.

0 引言

深海沉积产物及过程已成为当前和今后沉积学

研究最受关注的4个热点领域之一(李忠, 2006)。深水海域由于缺乏可直接观测描述的地面露头剖面以及钻探成本高昂等原因, 深水海域更多的是依靠地

震资料来获得对地下地质条件的认识和推测。从陆坡到盆地深水区日益增长的勘探活动和成功实例促使学者们对三维地震数据所显示的近地表浊流体系进行研究 (Beaubouef and Friedmann, 2000; Davies, 2003; Deptuck *et al.*, 2003; Fonnesu, 2003; Posamentier and Kolla, 2003; Adeogba *et al.*, 2005; Gervais, 2005; Mayall *et al.*, 2006; Moscardelli *et al.*, 2006; 钟广法等, 2006; 王存武等, 2007)。通过构造作用来了解沉积的动力过程, 局部构造活动影响地貌形态并控制沉积物的分布与演化。关于深水陆坡区泥刺穿活动所形成的池状可容空间内沉积样式及沉积充填模式已进行了大量的研究 (Satterfield and Behrens, 1990; Winker, 1996; Prather *et al.*, 1998; Weimer *et al.*, 1998; Beaubouef and Friedmann, 2000; Beaubouef *et al.*, 2003; Badalini *et al.*, 2000; Shannon *et al.*, 2005; Mallarino *et al.*, 2006)。断层相关褶皱理论在尼日尔深水逆冲褶皱带的构造样式及形成机制的研究中得到了充分应用 (Shaw *et al.*, 2004, 2005; Corredor *et al.*, 2005)。构造活动对沉积和层序控制作用的精细研究是目前学术界关注的研究课题, 对其规律的总结和分析有可能揭示深水沉积分布与演化特征, 并对深水油气储层预测以及储盖评价提供指导。

1 区域地质背景

尼日尔三角洲位于西部非洲边缘的几内亚湾, 是世界上最大的海退型三角洲之一 (Doust and Omatsola, 1990)。始新世至上新世末期, 海平面整体上处于下降期, 更新世晚期, 由于冰期之后冰川融化, 导致了一期短暂海侵。尼日尔三角洲东部以喀麦隆火山线为边界, 西部以达荷美盆地和 4 000 m 等深线为界。尼日尔三角洲的形状和内部结构由沿洋壳的断裂带 (如 Charcot 断裂带) 所控制, 表示成海槽和洋脊 (形成于早侏罗—白垩的南大西洋张开期)。尼日尔三角洲深水陆坡区和深海平原由于重力滑动作用而产生一系列褶皱冲断带 (图 1)。这些褶皱冲断带是由于欠压实的陆坡泥岩沿盆地方向上缺乏侧向支撑, 斜坡失稳形成的。尼日尔三角洲第三系地层从下到上主要由 3 套进积型的岩性地层单元 (阿卡特组、阿格巴达组和贝宁组) 组成 (Doust and Omatsola, 1990)。

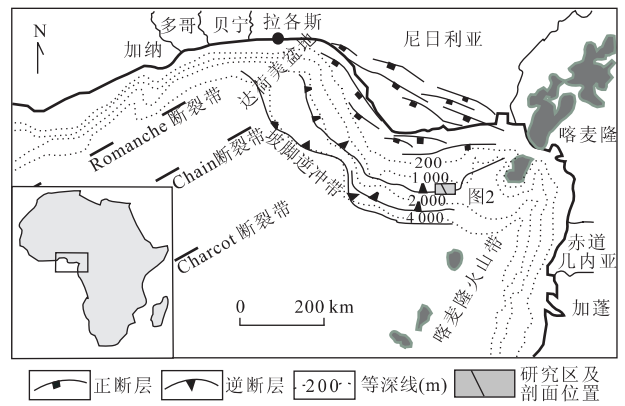


图 1 尼日尔三角洲主要构造特征示意图 (据 Corredor *et al.*, 2005, 修改)

Fig. 1 Sketch map of the Niger Delta region showing the main tectonic features (modified after Corredor *et al.*, 2005)

2 研究区构造特征

研究区位于尼日尔三角洲陆坡脚处, 平均水深 1 500 m (图 1), 主要位于内褶皱带 (Corredor *et al.*, 2005)。逆冲构造带是由下陆坡重力滑动作用所致, 具有复杂的逆冲构造样式。构造样式主要是断层转折褶皱及其组成的逆冲叠瓦系列 (图 2a)。逆冲断层多处错断阿格巴达组, 在阿卡特组顶部附近变缓成为拆离面。尼日尔三角洲深水重力逆冲构造活动开始于中新世 (Doust and Omatsola, 1990)。构造活动前地形平缓。重力逆冲构造开始后, 断层相关褶皱后翼形成背驮式微盆地。这些微盆地同墨西哥湾内陆坡盆地由于盐刺穿所形成池状盆地 (ponded basin) 类似。在深水沉积作用与持续的重力褶皱活动的共同作用下, 在微盆地 (minibasin) 边缘形成大量的生长地层。

生长地层是指构造变形过程中所沉积的地层。生长地层变形样式记录了地层形成时间和运动过程。断裂作用、褶皱作用、隆升剥蚀作用与地层沉积作用 (或称为生长作用) 之间的定量几何学与运动学模型为研究构造活动与沉积作用之间的关系提供了新的思路与方法 (Suppe *et al.*, 1992)。

断层相关褶皱后翼生长地层显示了渐变翼旋转作用 (limb rotation) (图 2a, 2b)。生长地层由几个以不整合面和整合面为边界的层序组成, 这些层序上超在褶皱翼之上 (图 2b)。层序倾角向上变小, 表明了褶皱在这些沉积单元间的扩大。T1-T2、T2-T3

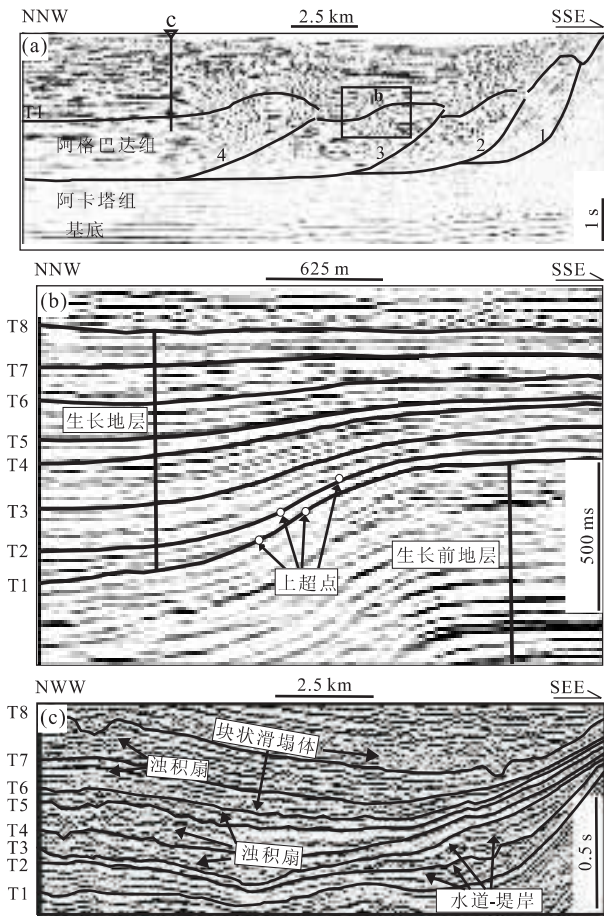


图 2 研究区典型地震剖面

Fig. 2 Typical seismic section in the study area

a. 主要构造样式地震剖面; b. 典型生长层地震剖面; c. 典型地震相解释剖面

两套地层分别上超在不整合面 T1、T2 之上,地层倾角向上变小. 这两套层序生长地层反映了沉积速率小于逆冲褶皱隆升速率,翼旋转形成逆冲褶皱. T3 以上层序组成的生长地层,地层倾角向上变小,地层向褶皱脊变薄而无明显的尖灭或上超特征. T3 以上层序组成的生长地层由于沉积速率大于褶皱隆升速率所形成.

3 地震相研究

3.1 研究区主要沉积类型的地震相分析

尼日尔三角洲是一个大型进积型三角洲,物源供给充分. 自始新世以来,研究区一直处于深海平原和陆坡脚处,主要沉积类型以深海平原泥质沉积和深水重力流沉积为主. 重力流体系一般由杂乱或透明反射地震相的块状搬运复合体和丘状地震相的

浊流沉积组成. 丘状地震相在其他地区被解释为浊积扇、分支水道朵叶复合体、深水扇的水道堤岸复合体(Prather *et al.*, 1998; Beaubouef and Friedmann, 2000; Adeogba *et al.*, 2005; Moscardelli *et al.*, 2006). 这两种地震相被披覆、高连续反射复合体的深海沉积所分割,深海沉积往往在浊流沉积静止期间堆积而成. 研究区三维地震剖面重复出现的沉积叠加样式:块状搬运复合体——分支水道朵叶复合体、水道堤岸复合体——深海披覆复合体,3 种沉积体系构成了本区的主要相类型(图 2c).

(1) 杂乱或透明地震相 在世界范围内的古代和现代深水盆地地层中,块状搬运复合体是组成地层的重要部分. 块状搬运复合体呈杂乱、丘状地震相和扇状几何形态. 海底地形强烈地影响块状搬运复合体的面积和厚度. 块状搬运复合体通常由于相对海平面下降造成的陆坡失稳所引起的(Coleman *et al.*, 1983; Kolla and Macurda, 1988; Dam and Sonderholm, 1994; Cronin *et al.*, 1998). 海平面的相对下降也会导致峡谷壁的失稳,产生块状搬运复合体.

杂乱、丘状或透明的地震反射体同碎屑流沉积、滑塌或其他的块状搬运沉积反射特征相似(Beaubouef and Friedmann, 2000; Posamentier and Kolla, 2003; Moscardelli *et al.*, 2006). 其中一部分有可能来自局部隆起,其他部分大概由于较大规模的事件,如陆架边缘和上陆坡的垮塌,可以根据它们的厚度和面积来判断. T6、T8 界面之上所发育的块状搬运复合体厚度大且分布整个微盆地(图 2c). 推测这些块状搬运复合体来自尼日尔三角洲陆架边缘和上陆坡的垮塌. 这些垮塌是由于相对海平面下降造成陆坡失稳所引起的. 在搬运过程中,块状搬运复合体对底部地层发生侵蚀(图 2c). 大多数杂乱反射体以暗或透明反射为特征,造成这些反射特征有以下 3 种原因:碎屑流沉积中的块体和碎屑物;泥质占主体,砂岩含量变化大;差异压实导致相对围岩较高的阻抗值.

(2) 水道及水道—堤岸复合体充填相 水道作为沉积物搬运通道具有长期侵蚀特征(图 2c). 水道不再作为传输沉积物通道时,它们开始充填. 水道带以侵蚀通道为基底,边缘为楔型的外堤岸. 水道体系的地震相特征为:侵蚀通道,通常为杂乱的强振幅反射,解释为水道形成早期在侵蚀通道内的半限定流沉积;外堤岸,楔型外形,溢出的细粒浊积物与深海沉积互层;内堤岸,地震反射特征表现为弱—强振幅

连续性反射或弱—强振幅杂乱反射. 水道内的强振幅反射解释为粗粒沉积 (Deptuck *et al.*, 2003; Posamentier and Kolla, 2003).

(3) 深海披覆相 披覆地震相的平行反射以只有厚度或反射特征的逐渐变化的方式, 披盖了沉积同期地形, 从而提示了与地面起伏无关的均一沉积作用. 这种地震相形成了比较薄的、分布广泛的席状平行反射, 正常情况下在顶底面呈整一关系. 有时也会表现为对底部的同沉积地形的轻微上超. 反射连续性很高, 周期宽度通常一致地变窄. 这种平行席状披盖相的半远海粘土和软泥, 常常发现它和浊积岩以及块状搬运复合体互层.

3.2 地震相与沉积过程的关系

地震几何形态指示沉积过程并且记录各种可容空间充填过程 (Prather *et al.*, 1998). 尼日尔三角洲深水陆坡脚区地震相特征不仅反映研究区深水沉积类型, 同时也揭示了深水沉积作用与构造活动相互作用、可容空间的演化特征. 浊积扇沉积在盆地边缘常呈收敛底超相和收敛减薄相, 褶皱翼部微盆地边缘所形成的生长地层, 具有收敛底超和收敛减薄两种典型的地震相特征 (图 3).

(1) 收敛底超相. 收敛相通常出现在微盆地的边缘. 收敛底超相在地震剖面上表现为: 同相轴向褶皱脊减薄, 且同相轴超覆在褶皱的翼部. 同相轴超覆在盆地边缘表明可容空间的大小和形状控制着单个深海扇的几何形态. 收敛底超相反映了限定性沉积特征: 逆冲断层所形成的微盆地对沉积样式起了很强的控制作用, 对浊积扇进行捕获和阻塞. 收敛底超相

反映了褶皱隆升速率大于沉积速率时翼旋转形成的生长地层样式. 此时, 褶皱活动为重力流提供充足的容空间, 在褶皱后翼微盆地形成块状滑塌体或浊积扇沉积, 沉积物上超在盆地边缘. 收敛底超相在典型的内陆坡盆地非常常见, 特别是在较深盆地充填序列. 相对连续的、低阻抗砂体与硬的粉砂质页岩毗邻造成的波阻抗差异产生这些底超强反射特征 (Posamentier and Erskine, 1991).

(2) 收敛减薄相. 收敛减薄相在地震剖面上表现为: 同相轴向褶皱脊减薄但无明显的超覆特征. 收敛减薄相反映了褶皱隆升速率小于沉积速率时翼旋转形成的生长地层样式. 此时, 褶皱活动为重力流提供的容空间远远低于重力流卸载所需的容空间大小. 沉积物越过褶皱脊在下一个容空间沉积.

4 池状可容空间沉积演化分析

很多学者利用地震数据对泥刺穿所形成微盆地的沉积充填特征进行了研究 (Satterfield and Behrens, 1990; Prather *et al.*, 1998; Weimer *et al.*, 1998; Beaubouef and Friedmann, 2000; Badalini *et al.*, 2000; Beaubouef *et al.*, 2003; Mallarino *et al.*, 2006), 并提出了不同的沉积充填模式, 这些微盆地沉积特征与尼日尔三角洲深水重力滑动所形成的微盆地沉积特征有所类似.

重力滑动作用在尼日尔三角洲深水坡脚处形成一系列逆冲断层. 逆冲断层的后翼形成一系列微盆地. 这些微盆地构成了尼日尔三角洲深水陆坡坡

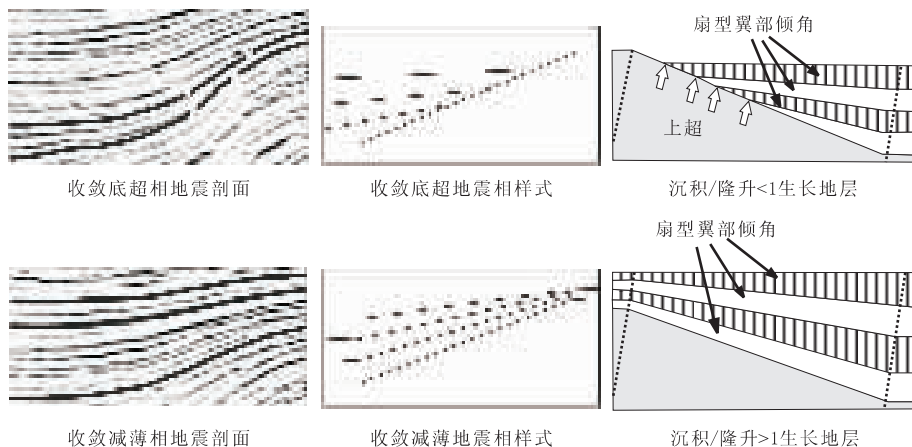


图 3 盆缘地震相与翼旋转形成生长地层关系

Fig. 3 Sketch map showing the relationship between seismic facies on minibasin margins and growth strata that develop by limb rotation

脚重力流池状可容空间(图 2a)。相对 2 号、3 号、4 号逆冲断层,快速隆升且持续时间最长的 1 号逆冲断层控制了整个研究区的地貌形态。研究区整体可容空间受 1 号断层作用控制。2、3、4 号断层分别控制各自微盆地池状可容空间的沉积充填过程。

4.1 单一微盆地沉积演化分析

褶皱变形作用影响生长地层中岩石组成。在隆升速率大于沉积速率的情况下,断层和褶皱形成表面陡坡带,它控制了沉积可容纳空间,而且还影响沉积体系(Burbank *et al.*, 1996)。重力滑动作用在陆坡坡脚形成一系列断层转折褶皱,褶皱的隆升在其翼部形成微盆地,微盆地构成了重力流可容空间(图 4a)。褶皱隆升的同时,发生一期重力流沉积活动(重力流沉积垂向上以块状搬运复合体—浊积扇叠加样式为特征)。褶皱迅速隆升,重力流在其翼部微盆地内发生沉积,沉积速率小于或等于褶皱隆升时,重力流沉积物超覆在褶皱的翼部(图 4b)。重力流活动间歇期间发生深海披覆沉积(图 4c)。深海披覆泥披盖沉积同期地形,地层的厚度与地面起伏无直接关系。正常情况下,地层与顶底面呈整合接触。有时也会表现为对底部的同沉积地形的轻微上超。褶皱活动持续隆升,新一期重力流活动在褶皱翼部微盆地内形成新的沉积(图 4d)。重力流沉积(块状搬运复合体、浊积扇)与深海披覆沉积构成一套完整的层序。重力流沉积在盆地边界所形成的上超不整合面或块状搬运复合体所形成的局部削蚀不整合面构成了层序界面(图 4d)。

一般情况下,相对海平面上升会在陆架边缘形成上超不整合。深水陆坡坡脚处的微盆地边缘所形成的上超不整合原因与陆架边缘上超不整合面形成原因有所不同。当重力流沉积速率小于或等于褶皱隆升速率且两者保持恒定时,在微盆地边缘形成上

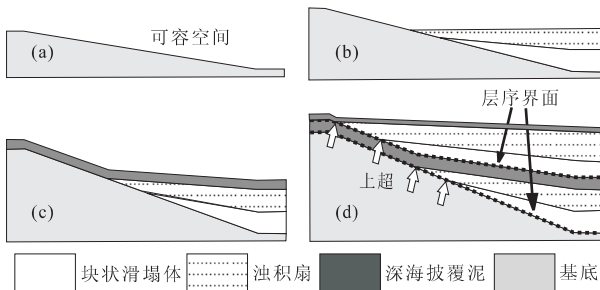


图 4 单一微盆地沉积演化模式

Fig. 4 Sketch model showing evolution of sediment in single minibasin

超不整合面。重力流沉积往往与相对海平面下降相联系,因此,微盆地边缘的上超不整合面则与相对海平面下降相联系。研究区层序发育模式为低位体系域发育重力流沉积(块状搬运复合体、浊积扇)、海侵—高位体系域发育深海披覆沉积。每套层序在垂向上的叠加样式为:块状搬运复合体—浊积扇—深海披覆泥或浊积扇—深海披覆泥(图 4)。

4.2 多个微盆地沉积演化分析

中新世开始,重力滑动作用在尼日尔三角洲深水陆坡坡脚处形成大量的逆冲断层和收缩断层相关褶皱(图 1, 2a)。褶皱的翼部形成一系列微盆地,这些微盆地构成了深水重力流可容空间。微盆地构成的重力流可容空间同墨西哥湾内陆坡盆地由泥刺穿作用所形成的池状可容空间类似。以研究区的典型构造样式地震剖面为基础(图 2a),根据微盆地边缘生长地层样式对构造活动和沉积活动的关系进行分析(图 5)。

第 1 期(图 5a):构造活动开始后,2、3、4 号逆冲断层均开始活动并在其后翼形成 3 个微盆地,这些微盆地构成研究区重力流可容空间。2、3、4 号断层活动强度不同,对深水重力流沉积作用所产生的影响也有所不同,并产生不同的生长地层样式。4 号断层活动较弱,褶皱隆升速率小于沉积速率,所形成的可容空间相对较小。重力流在褶皱后翼发生过路沉积,生长地层倾角向上变小,地震相呈收敛减薄相且

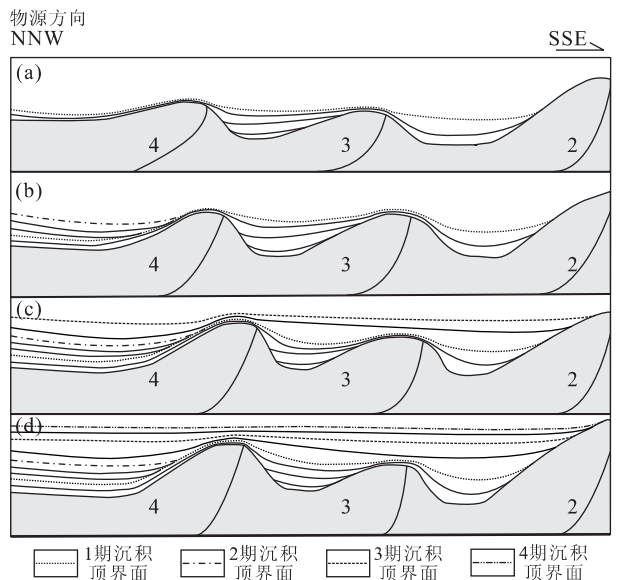


图 5 多个微盆地沉积演化模式

Fig. 5 Sketch model showing evolution of sediment in multiple minibasins

无明显的上超特征。重力流越过 4 号褶皱脊后,到达 3 号褶皱后翼微盆地。起初,3 号褶皱隆升速率高于沉积速率,沉积物在褶皱翼部形成扇型生长地层,地震相呈收敛底超相。但随着沉积物在 3 号褶皱后翼微盆地大量堆积,可容空间相对减小。当褶皱隆升速率相对变弱,沉积速率超过褶皱隆升速率时,重力流越过 3 号褶皱脊,在下一微盆地发生沉积。3 号褶皱后翼微盆地上部地层地震相以收敛减薄相为特征。2 号褶皱隆升速率相对较高,2 号褶皱控制后翼微盆地形态同时其又控制整个盆地的形态。重力流经过前几个微盆地到达 2 号褶皱后翼微盆地时,沉积速率整体减小,且小于 2 号褶皱隆升速率。褶皱后翼形成上超扇型生长地层,地震相以收敛底超相为特征。

第 2 期(图 5b):4 号褶皱活动加强,褶皱隆升速率加快,4 号褶皱后翼微盆地形成的可容空间加大。此时,沉积速率小于褶皱隆升速率,重力流在 4 号褶皱后翼发生沉积,沉积作用仅局限于 4 号褶皱后翼微盆地。生长地层上超在褶皱的后翼,地层倾角向上变小,地层呈扇型。地震相呈收敛底超相。

第 3 期(图 5c):3 号逆冲断层基本停止活动,4 号断层活动强度也有所减弱,2 号断层的活动控制了盆地的形态。此时,对于 4 号褶皱后翼微盆地,沉积速率大于褶皱隆升速率,沉积物向褶皱顶部减薄。地震相以收敛减薄相为主,无明显超覆特征。重力流越过 4 号褶皱,在 4 号褶皱的前翼、2 号褶皱的后翼所形成的微盆地发生沉积,沉积物上超在 2 号褶皱的翼部。

第 4 期(图 5d):此时,3、4 号逆冲断层活动基本静止,持续快速活动的 2 号逆冲断层控制整个盆地的形态,同时也控制了盆地的沉积活动。沉积速率小于 2 号褶皱的隆升速率,沉积物在整个盆地发生沉积,沉积物超覆在褶皱的翼部,形成生长地层。

5 结论

(1) 中新世以来,重力滑动作用在尼日尔三角洲深水陆坡脚和深海平原形成一系列逆冲断层和收缩断层相关褶皱。褶皱翼部所形成的一系列微盆地构成了坡脚逆冲带重力流可容空间。重力流可容空间由构造隆升速率与沉积速率共同作用,二者的相互关系影响着微盆地沉积充填样式。

(2) 深水陆坡脚处的微盆地边缘所形成的上超不整合原因与陆架边缘上超不整合面形成原因有

所不同,微盆地边缘的上超不整合面与相对海平面下降相联系。微盆地边缘上超不整合面或重力流对下伏地层的侵蚀不整合面可以作为层序边界。

(3) 深水陆坡区沉积垂向叠加样式以块状搬运复合体—浊积扇—深海披覆泥或浊积扇—深海披覆泥为特征。

References

- Adeogba, A. A., McHargue, T. R., Graham, S. A., 2005. Transient fan architecture and depositional controls from near-surface 3-D seismic data, Niger Delta continental slope. *AAPG Bulletin*, 89(5): 627—643.
- Badalini, G., Kneller, B., Winker, C. D., 2000. Architecture and processes in the Late Pleistocene Brazos-Trinity turbidite system, Gulf of Mexico continental slope. In: Weimer, P., Slatt, R. M., Coleman, J., et al., eds., *Deep-water reservoirs of the world: Gulf Coast Section SEPM 20th Annual Research Conference*, 16—34.
- Beaubouef, R. T., Friedmann, S. J., 2000. High-resolution seismic/sequence stratigraphic framework for the evolution of Pleistocene intra slope basins, western Gulf of Mexico: Depositional models and reservoir analogues. In: Weimer, P., Slatt, R. M., Coleman, J., et al., eds., *Deep-water reservoirs of the world: Gulf Coast SEPM Section 20th Annual Research Conference*, 40—60.
- Beaubouef, R. T., Abreu, V., Van Wagoner, J. C., 2003. Basin 4 of the Brazos-Trinity slope system, western Gulf of Mexico: The terminal portion of a Late Pleistocene lowstand system tract. In: Roberts, H. H., Rosen, N. C., Fillon, R. H., et al., eds., *Shelf margin deltas and linked down slope petroleum systems: Global significance and future exploration potential. Proceedings of the 23rd Annual Research Conference, Gulf Coast Section SEPM Foundation*, 45—57.
- Burbank, D., Meigs, A., Brozovic, N., 1996. Interactions of growing folds and coeval depositional systems. *Basin Research*, 8(3): 199—223.
- Coleman, J. M., Prior, D. B., Lindsay, J. F., 1983. Deltaic influences on shelfedge instability processes. In: Stanley, D. J., Moore, G. T., eds., *The shelf break: Critical interface on continental margins. SEPM Special Publication*, 33: 121—137.
- Corredor, F., Shaw, J. H., Bilotti, F., 2005. Structural styles in the deep water fold and thrust belts of the Niger Delta. *AAPG Bulletin*, 89(6): 753—780.
- Cronin, B., Owen, D., Hartley, A., et al., 1998. Slumps, deb-

- ris flows and sandy deep-water channel systems: Implications for the application of sequence stratigraphy to deep water clastic sediments. *Journal of the Geological Society*, 155: 429—432.
- Dam, G., Sonderholm, M., 1994. Lowstand slope channels of the itilli succession (Maastrichtian-lower Paleocene), Nuussuaq, West Greenland. *Sedimentary Geology*, 94(1—2): 49—71.
- Davies, R. J., 2003. Kilometer-scale fluidization structures formed during early burial of a deep-water slope channel on the Niger Delta. *Geology*, 31(11): 949—952.
- Deptuck, M. E., Steffens, G. S., Barton, M., et al., 2003. Architecture and evolution of upper fan channel-belts on the Niger Delta slope and in the Arabian Sea. *Marine and Petroleum Geology*, 20(6—8): 649—676.
- Doust, H., Omatsola, E., 1990. Niger Delta. In: Edwards, J. D., Santogrossi, P. A., eds., *Divergent/Passive margins basins*, AAPG Memoir, 48: 201—238.
- Fonnesu, F., 2003. 3-D seismic images of a low-sinuosity slope channel and-related depositional lobe (West Africa deep offshore). *Marine and Petroleum Geology*, 20: 615—629.
- Gervais, A., Savoye, B., Mulder, T., et al., 2005. Sandy modern turbidite lobes: A new insight from high resolution seismic data. *Marine and Petroleum Geology*, 23(4): 485—502.
- Kolla, V., Macurda, D. B. Jr., 1988. Sea-level changes and timing of turbidity-current events in deep-sea fan systems. In: Wilgus, C. K., Hastings, B. S., Kendall, C. G. St. C., et al., eds., *Sea level change: An integrated approach*. SEPM Special Publication, 42: 381—392.
- Li, Z., 2006. From the highest to the deepest: A review on research frontiers of sedimentology reflected from 17th international sedimentological congress. *Acta Sedimentologica Sinica*, 24(6): 928—933 (in Chinese with English abstract).
- Mallarino, G., Beaubouef, R. T., Droxler, A. W., et al., 2006. Sea level influence on the nature and timing of a minibasin sedimentary fill (northwestern slope of the Gulf of Mexico). *AAPG Bulletin*, 90(7): 1089—1119.
- Mayall, M., Jones, E., Casey, M., 2006. Turbidite channel reservoirs—key elements in facies prediction and effective development. *Marine and Petroleum Geology*, 23(8): 821—841.
- Moscardelli, L., Wood, L., Mann, P., 2006. Mass-transport complexes and associated processes in the offshore area of Trinidad and Venezuela. *AAPG Bulletin*, 90(7): 1059—1088.
- Posamentier, H. W., Erskine, R. D., 1991. Seismic expression and recognition criteria of ancient submarine fans. In: Weimer, P., Link, M. H., eds., *Seismic facies and sedimentary processes of submarine fans and turbidite systems*. Springer-Verlag, New York, 197—222.
- Posamentier, H. W., Kolla, V., 2003. Seismic geomorphology and stratigraphy of depositional elements in deep-water settings. *Journal of Sedimentary Research*, 73: 367—388.
- Prather, B. E., Booth, J. R., Steffens, G. S., et al., 1998. Classification, lithologic calibration, and stratigraphic succession of seismic facies of intraslope basins, deep-water Gulf of Mexico. *AAPG Bulletin*, 82(5A): 701—728.
- Satterfield, W. M., Behrens, E. W., 1990. A later Quaternary canyon/channel system, northwest Gulf of Mexico continental slope. *Marine Geology*, 92(1—2): 51—67.
- Shannon, P. M., Stoker, M. S., Praeg, D., et al., 2005. Sequence stratigraphic analysis in deep-water, underfilled NW European passive margin basins. *Marine and Petroleum Geology*, 22(9—10): 1185—1200.
- Shaw, J. H., Novoa, E., Connors, C. D., 2004. Structural controls on growth stratigraphy in contractional fault-related folds. In: McClay, K. R., ed., *Thrust tectonics and hydrocarbon systems*. AAPG Memoir, 82: 400—412.
- Shaw, J. H., Hook, S. C., Suppe, J., 2005. Pitas point anticline, California, U. S. A. In: Shaw, J. H., Connors, C., Suppe, J., eds., *Seismic interpretation of contractional fault-related folds: An AAPG seismic atlas*. American Association of Petroleum Geologists Studies in Geology, 53, 60—61.
- Suppe, J., Chou, G. T., Hook, S. C., 1992. Rates of folding and faulting determined from growth strata. In: McClay, K. R., ed., *Thrust tectonics*. Chapman & Hall, London, 105—121.
- Wang, C. W., Chen, H. H., Chen, C. M., et al., 2007. Characteristics of the Baiyun deep-water fan and main accumulation controlling factors in Pearl River Mouth basin, South China Sea. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 32(2): 247—252 (in Chinese with English abstract).
- Weimer, P., Varnai, P., Budhijanto, F. M., et al., 1998. Sequence stratigraphy of Pliocene and Pleistocene turbidite systems, northern Green Canyon and Ewing Bank (offshore Louisiana), northern Gulf of Mexico. AAPG

Bulletin, 82(5B): 918—960.

Winker, C. D. , 1996. High-resolution seismic stratigraphy of a late Pleistocene submarine fan ponded by salt-withdrawal minibasins on the Gulf of Mexico continental slope: 28th Annual offshore technology conference proceedings, offshore technology conference, Richardson, Texas, 1, OTC 8024: 619—662.

Zhong, G. F. , Liu, X. F. , Deng, C. N. , et al. , 2006. Middle-Upper Ordovician seismic sequences and submarine fan deposits in west tadong uplift, Tarim basin, northwest China. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 31(3): 366—371 (in Chinese with English

abstract).

附中文参考文献

李忠, 2006. “从最高到最深”——从第 17 届国际沉积学大会看沉积学研究前沿. *沉积学报*, 24(6): 928—933.

王存武, 陈红汉, 陈长民, 等, 2007. 珠江口盆地白云深水扇特征及油气成藏主控因素. *地球科学——中国地质大学学报*, 32(2): 247—252.

钟广法, 刘学锋, 邓常念, 等, 2006. 塔里木盆地塔东凸起西部中上奥陶统地震层序与海底扇沉积. *地球科学——中国地质大学学报*, 31(3): 366—371.