

文章编号:1000-0550(2017)04-0763-09

doi: 10.14027/j.cnki.cjxb.2017.04.010

# 东非鲁武马盆地海底水道—朵体体系粗粒浊流沉积物波特征及主控因素

孙辉,刘少治,马宏霞,鲁银涛,许小勇

中国石油杭州地质研究院,杭州 310023

**摘要** 海底水道—朵体体系内粗粒沉积物波的研究可以深化浊流搬运过程的认识。利用先进的地球物理成像技术,通过地震地貌分析,对东非鲁武马盆地海底水道—朵体体系内这种后期易被改造的特殊沉积体进行识别和解释,结合粗粒沉积物波的形态、尺度、移动方式、厚度变化、平面分布等特征,探讨其成因和影响因素。鲁武马盆地近海底水道—朵体体系内的粗粒浊流沉积物波具有多变的地貌和逆行砂丘的底形。水道内粗粒沉积物波规模较小,分布范围局限;水道—朵体过渡带的粗粒沉积物波规模大,波高约45~110 m,波长可达一千余米,总体规模大于其他地区已识别出的粗粒深水沉积物波。构造活动、超临界流产生的水跃作用、地形地貌的变化以及底流作用是鲁武马盆地粗粒浊流沉积物波形成的主控因素。

**关键词** 鲁武马盆地;水道—朵体体系;粗粒浊流沉积物波;特征;主控因素

**第一作者简介** 孙辉,女,1969年出生,本科,高级工程师,地震深水沉积及储层研究,E-mail:sunh\_hz@petrochina.com.cn

**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

## 0 引言

沉积物波是位于水下或近海底的一种大规模(波长通常几十米到几千米,波高几米)的波状沉积底形<sup>[1]</sup>。深水沉积物波的形成模式及原因较多<sup>[2]</sup>,Wynn *et al.*<sup>[3]</sup>将深水沉积物波划分为四种类型:粗/细粒底流成因沉积物波,粗/细粒浊流成因沉积物波。根据其描述的各种沉积物波的特征,通过对地震资料的详实分析,认为本区存在于水道及水道—朵体过渡带内的沉积物波为浊流成因的粗粒沉积物波。作为深水沉积的重要组成部分,深水沉积物波的研究对于理解深水沉积过程具有重要的科学意义,同时粗粒深水沉积物波后期改造深埋后也可以成为有利的深水储层,对于深水油气勘探具有一定的经济价值。近海底的三维地震资料具有高品质、高分辨率的特点,各种沉积现象保存完好,利用先进的地球物理成像技术,通过地震地貌分析,可以对特殊的深水沉积体进行识别和解释,特别有利于对一些后期易被改造的深水沉积物沉积过程的分析。针对鲁武马盆地公开发表的文章中<sup>[4-7]</sup>,缺少针对这种粗粒沉积物波的研究成果。本项研究通过描述粗粒沉积物波的形态、尺度、移动方式、厚度变化、平面分布等,探讨其形成原

因和影响因素,以期对该学科的科学性及该地区的油气勘探发挥一定的借鉴作用。

## 1 概况

鲁武马盆地(Ruvuma Basin)是东非被动大陆边缘的主要含油气盆地之一。它横跨坦桑尼亚东南沿岸和莫桑比克的东北部,东部为凯端巴斯盆地(Kerimbass Basin),西部为莫桑比克褶皱带,出露前寒武纪基底,北部以鲁武马转换带为界,与坦桑尼亚的曼达瓦次盆(Mandawa Sub-Basin)分隔(图1)。深水区主要沉积了中侏罗世到新生代地层<sup>[9]</sup>,发育丰富的深水沉积体系,古近系和新近系砂岩是重要的储层<sup>[10]</sup>,低位域深水沉积物源自研究区以西数十公里以外的陆架边缘三角洲,经峡谷/水道体系在下陆坡及盆底形成富砂的重力流沉积。此外,东非被动大陆边缘沉积受由南向北流动的南极洲底流(AABW)影响<sup>[11]</sup>,底流对深水重力流沉积特征造成显著影响。研究区面积约600 km<sup>2</sup>,水深1 300~2 900 m,距离陆地四十余公里,横跨西部莫辛布瓦(Mocimboa)冲断带和东部凯瑞巴斯(Kerimbass)地堑,为一平缓东倾的斜坡构造,沉积物组成相对简单,以深水重力流沉积及半深海—深海泥岩沉积为主。研究资料以叠前时间偏移

收稿日期:2016-04-06;收修改稿日期:2016-12-22

基金项目:中国石油天然气集团公司科学研究与技术开发项目(2016D-4303)[**Foundation:** Scientific research and technology development project of China National Petroleum Corporation, No. 2016D-4303]

地震资料为主,海底地震资料主频可达 40 Hz,层速度 1 500 m/s。叠前深度偏移地震资料被用于统计和计算地层倾角和沉积物波的一些参数。

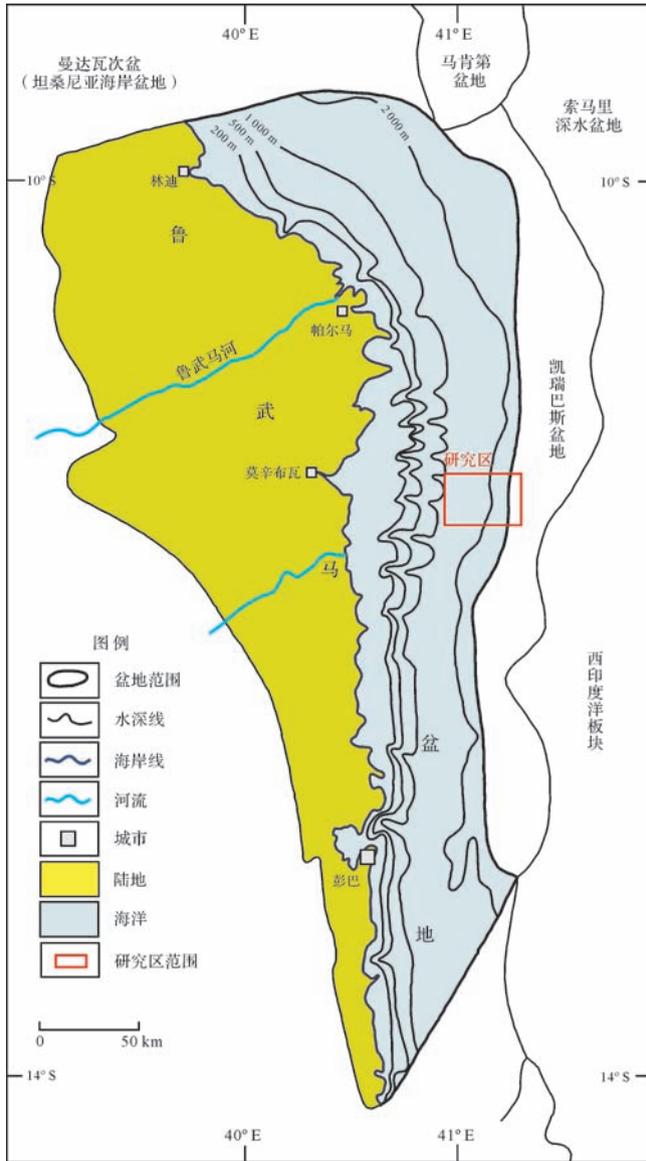


图1 东非鲁武马盆地位置图(据 IHS, 2009 修改)<sup>[8]</sup>

Fig.1 Location map of Rovuma Basin, East Africa  
(modified from IHS, 2009)<sup>[8]</sup>

## 2 鲁武马盆地深水沉积物波的基本特征

鲁武马盆地物源来自西部,通过陆坡弯曲狭长的水道体系负地貌区,输送到东部平缓而广布的深海盆地。渐新统取芯结果证实,水道及朵体内的储层以中—粗砂岩为主,伴有为数众多、以孤立方式存在的细砾。发育多处碟状构造和泄水构造,以及滑塌成因的变形构造等,单砂层垂向上多具有正韵律和粗尾粒序层理构造,为浊流成因的粗粒深水沉积。地震剖面

上,砂体顶界面具有明显的强振幅反射特征。上述的岩芯及地震反射特征为近海底深水沉积的研究提供了借鉴。研究区观察到的深水沉积物波位于沿陆坡向下延伸的水道—朵体体系内(图2)。在过水道—朵体沉积区最厚部位的地震剖面 AA' 上,根据浊流沉积的分布及地层倾角的变化将水道—朵体体系分为四个区:第一陆坡区、水道浊流沉积区、第二陆坡区、过渡带浊流沉积区,前三者位于莫辛布瓦冲断带上,过渡带浊流沉积区主体位于凯瑞巴斯地堑内,第一、第二陆坡区内沉积物以过路为主(图2a),文中所有地震剖面上黄色虚线为本文研究的粗粒深水浊流沉积的底面。过渡带浊流沉积区发育一条走向为南北向的正断层 F1,它分隔了过渡带与朵体沉积区,断层倾角约 14°~19°。两处浊流沉积时间域海底地貌图上存在波状及凹凸不平的地貌形态(图2b),地震属性图上呈现出的强振幅分布特征(图2c)。在两处浊流沉积区内,可以观察到粗粒沉积物波特征:刻槽—波脊交互分布,波脊呈断线状,排列方式及走向具有一定的规律性。

### 2.1 水道—朵体过渡带浊流沉积物波

#### 2.1.1 沉积环境和地貌特征

水道—朵体过渡带是介于朵体和水道之间的独立单元,位于水道口的下陆坡方向,西部与水道口相连,东部以 F1 正断层为界,整体处于凯瑞巴斯地堑内,平面呈开口向东的喇叭形。在这一区域,浊流经历了从限制型向开阔型的水体跃迁,导致了流体的迅速扩散和紊流程度的增加,众多侵蚀型刻槽和线形构造形成的横向底形是该区域的特征之一。它们总体表现出正弦或弯曲波峰的起伏底形,偏离浊流流动垂直方向呈直线排列,具有不同程度的非对称性,规模显著大于其他的水下底形(波纹和沙丘)。

依据沉积物波形及波脊的分布特征将该区域划分为南、北两个沉积区:北部的平行波脊区和南部的内聚内敛波脊区(图3a,图3b),沉积厚度由靠近水道部位向喇叭口逐渐减薄(图3c),可以观察到浊流对下伏地层明显的蚀刻的图像(图3d)。不同区带的特征见表1。

#### 2.1.2 沉积物和迁移方式

尽管缺少岩芯样品及露头资料的直观证据,但水道—朵体过渡带内的沉积物波地震剖面上表现出强振幅的地震反射特征,预示着该区域以粗粒沉积为主。内聚内敛波脊区与平行波脊区相比,地震反射能量更强,说明两个区域的粗粒沉积物存在一定差别。

两条高质量成像地震剖面展示了向上陆坡叠瓦

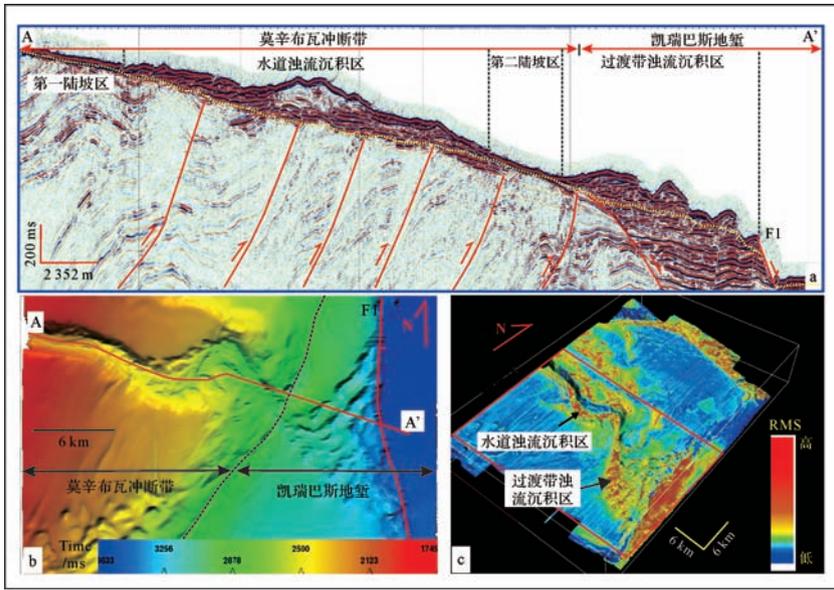


图2 水道—朵体体系的海底地貌及区带分布

a. 沿着水道—朵体体系的地震剖面; b. 水道—朵体体系时间域海底地貌图; c. 沿海底向下 28 ms 沿层均方根振幅属性图, 强振幅(红色)代表粗粒沉积。

Fig.2 Bathymetric map of the study area based on 3D seismic data and seismic profile showing compartment of channel-lobe system a. an arbitrary seismic profile along a channel-lobe system; b. channel-lobe system in time bathymetric map; c. a horizon slice, 28 ms below the seafloor through a RMS cube, strong amplitudes (red) represent coarse-grained sediments.

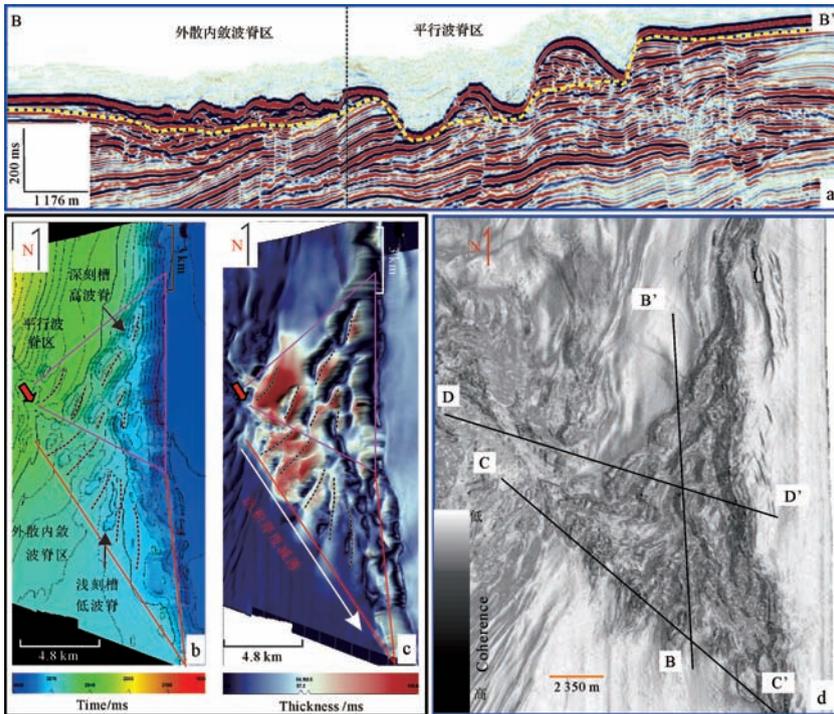


图3 水道—朵体过渡带内的粗粒沉积物波成像

a. 过水道—朵体过渡带的地震剖面; b. 过渡带时间域海底地貌图; c. 过渡带内粗粒沉积物波时间域厚度分布图; d. 过渡带沿海底相干切片

Fig.3 Images of the coarse sediment waves in channel-lobe transition zone

a. S-N-oriented seismic line showing a strike view across the channel-lobe transition zone; b. channel-lobe transition zone in time bathymetric map; c. coarse sediment waves in channel-lobe transition zone in time thickness map; d. seafloor horizontal coherence slice across channel-lobe transition zone

表1 水道—朵体体系分区及主要参数表

Table 1 Summary of channel-lobe system section and attributes

沉积位置	第一陆坡区	水道浊流沉积区	第二陆坡区	过渡带浊流沉积区
构造位置		莫辛布瓦冲断带		凯瑞巴斯地堑
坡度	1.4°~1.6°	1.3°~1.4°	2.7°~3.0°	1.9°~2.7°
形态	U形水道	条带状(陆坡倾向延长)	U形水道	喇叭状(陆坡走向延长)
沉积区规模				
面积/km <sup>2</sup>	—	31	—	120
延伸长度/km	—	12	—	8
最大宽度/km	—	3	—	16

状前积地震反射特征(图4a,b),证明沉积迁移方向与水流方向相反,具有逆行砂丘的底形。较大的单波由多期沉积构成,存在与水流方向相反的多期沉积形成的叠瓦状前积和不同沉积期次的界面(图4b)。

### 2.1.3 规模

北部平行波脊区具有深刻槽、高波脊的特征(图4b),波长长,波高大,沿着D—D'线方向波高及波长均呈减小趋势(图5),波脊彼此平行排列;南部为浅刻槽、低波脊,波高较小(图4a),波长沿着C—C'线

方向呈增加趋势,其中③和⑤号波均为复波,两期难以准确区分,在单一波长统计时按总波长的一半计算。北部平行波脊区的波高大于南部的外聚内敛波脊区的波高(图5)。单期沉积物波的波长最大约1.7 km,主要为350~950 m,波高约30~70 m。与Wynn *et al.*<sup>[3]</sup>描述的粗粒沉积物波的主要参数相比,本区水道—朵体过渡带内的沉积物波波长与其他部分地区值域范围接近,波高明显偏大(表2),具有多期性,异于其他地区深水沉积物波。

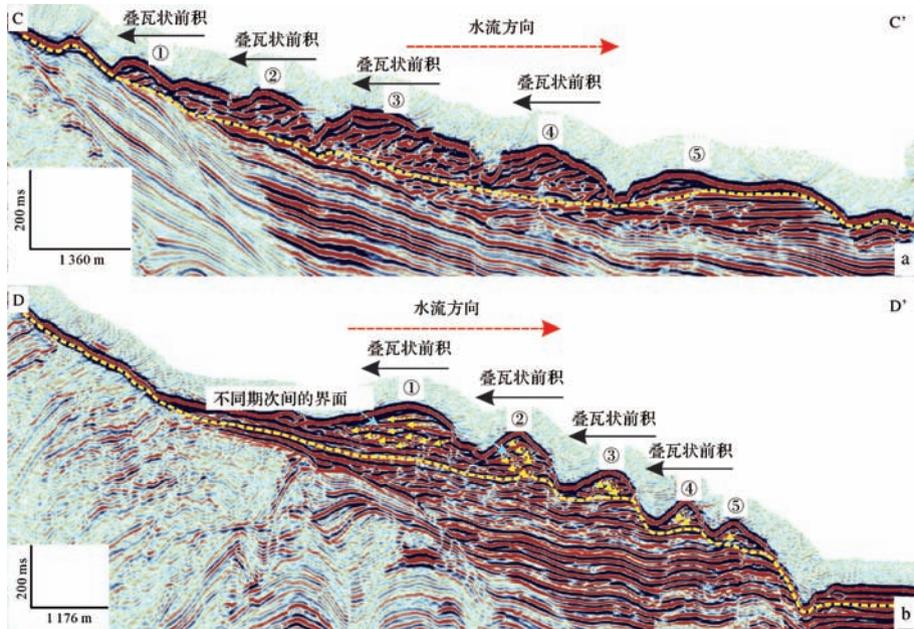


图4 过水道—朵体过渡带不同位置沉积物波的地震剖面

Fig.4 Seismic profile across the sediment waves in different position of the channel-lobe transition zone

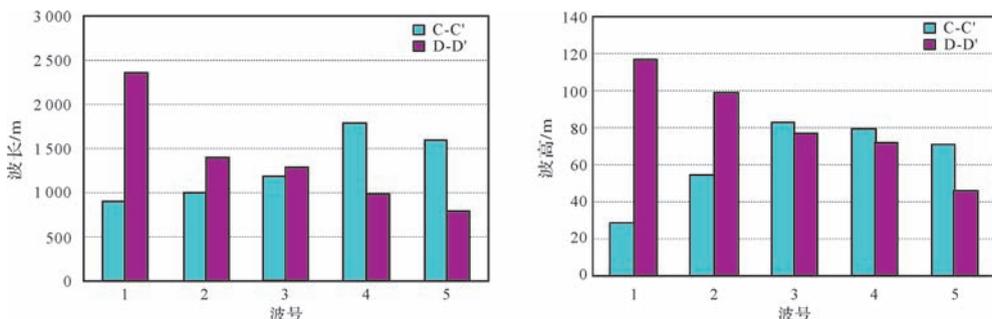


图5 水道—朵体过渡带沉积物波的波长和波高变化趋势直方图

Fig.5 Graphs showing the changing trend of wavelength and wave height of sediment waves in channel-lobe transition zone

表 2 水道和水道—朵体过渡带粗粒沉积物波特征(据 Russell et al.,2002 修改)<sup>[3]</sup>

Table 2 Characteristics of coarse-grained sediment waves in channels and channel-lobe transition zones (modified from Russell et al.,2002)<sup>[3]</sup>

位置	波高/m	波长/m	沉积物	参考文献	
水道	E1 Julan, Canary 岛	6	400~1 200	粗粒?	Wynn et al., 2000a
	Icod, Canary 岛	?	600~1 500	粗粒?	Wynn et al., 2002
	Stromboli 峡谷	2~4	20~200	砾/砂	Kidd et al., 1998
	Monterey 扇	?	100	粗粒?	Masson et al., 1995
	Valencia 水道	?	80	粗粒?	Morris et al., 1998
	Laurentian 扇	1~10	30~100	砾/粗砂	Piper et al., 1985
	Var 扇	1.5~5	35~100	砾	Piper et al., 1993
	Corinth 地堑(古代)	2~6	50~100	砾	Piper et al., 1994
	Lago Sofia, Chile(古代)	4	?	砾	Winn et al., 1979
	鲁武马水道	45~60	760~1 230	粗粒?	本文
水道—朵体过渡带	Laurentian 扇	4	300	粗砂?	Piper et al., 1988
	Agadir 峡谷	?	?	粗粒?	Wynn et al., 2002
	Lisbon 峡谷	?	500~2 000	粗粒?	Wynn et al., 2002
	Valencia 扇	?	70	粗粒?	Morris et al., 1998
	鲁武马水道—朵体过渡带	50~110	800~2 400	粗粒?	本文

2.2 水道内浊流沉积物波

除了水道—朵体过渡带发育粗粒沉积物波以外,研究区还存在两种与水道相关的波形地貌:粗粒浊流沉积物波和浊流侵蚀后的残余波状地貌。两条地震剖面(图 6a,b)可以清楚地反映两种波的剖面形态。水道内的粗粒沉积物波分布范围非常小,位于水道上

游浊流初始沉积的水道口一端(图 6a),向上紧邻沉积物过路区,处于曲率相对较小的水道内部靠近凹岸一侧的浊流沉积区(图 6d),侵蚀刻槽呈半月形凸向上游(图 6e)。它由 4 列波组成,每一列波均表现为向上游迁移的逆行砂丘底形。波长变化无规律,波高由水道的上游向下游方向逐渐增加(图 7)。

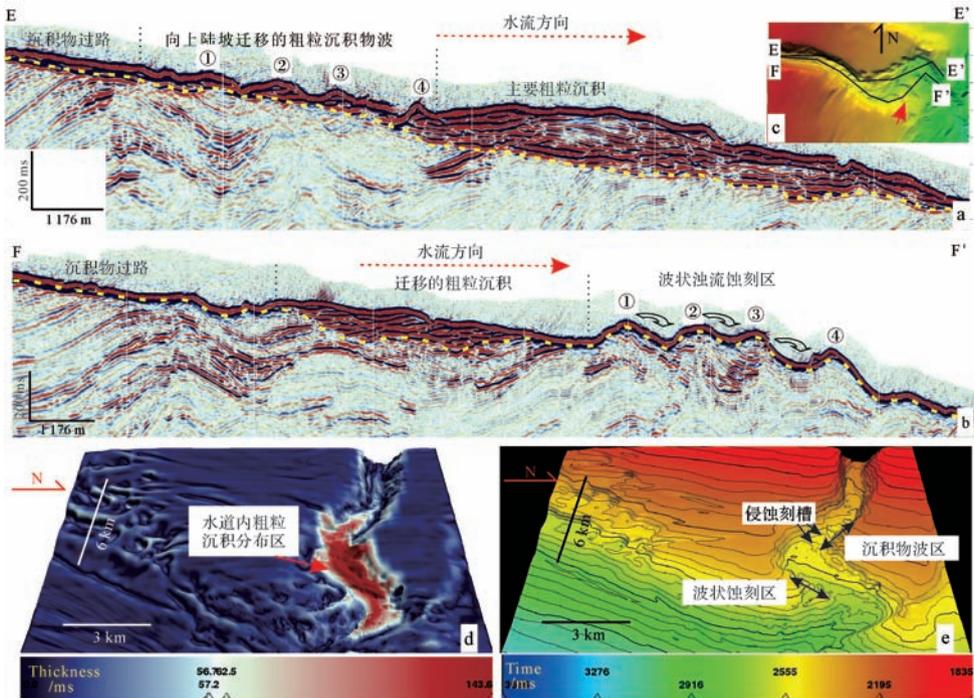


图 6 水道内的粗粒沉积物波特征

a, b.沿水道延伸的地震剖面;c, e.水道的海底地貌图;d.水道内粗粒沉积物波厚度分布图

Fig.6 Images of the coarse sediment waves in channel

a, b. W-E-oriented seismic lines showing a dip view across the channel; c, e. channel in time bathymetric map; d. coarse sediments in channel in time thickness map

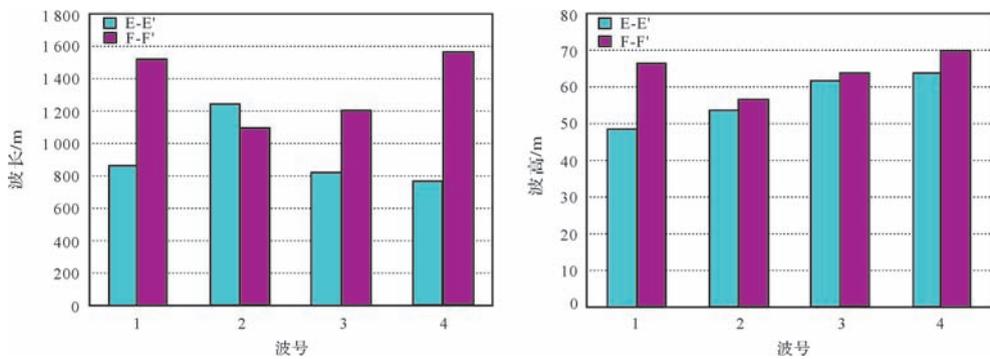


图7 与水道相关的两种波参数变化趋势直方图

Fig.7 Graphs showing the changing trend of wavelength and wave height of two types of waves in connection with the channel

与水道相关的另一种波形地貌是浊流侵蚀后的残余波状地貌。它位于近水道—朵体过渡带水道弯曲度变大的部位,受水道内浊流的不断冲蚀,在水道的凹岸一侧形成多个近NW—SE走向的凹槽。由4组波组成,波下部地层地震反射特征与早期地层产状一致(图6b),波长显著大于E—E'剖面的沉积物波,波高比E—E'剖面的沉积物波稍大(图7)。

### 3 鲁武马盆地深水粗粒沉积物波形成的主控因素

通过对研究区水道—朵体体系内两种粗粒沉积物波的形态、尺度、移动方式、厚度变化、平面分布等主要特征的描述,结合本区粗粒沉积物波分布的空间位置的独特性、形成深刻槽—波脊的水动力条件、平面异常的分布形态、水道与水道—朵体过渡带内粗粒沉积物波规模的差异分析可能的主控因素。同时参考前人对粗粒沉积物波产生的原因及现象的分析,以及该地区地质条件的研究,认为构造活动、超临界流产生的水跃作用、地形地貌的变化以及底流作用是鲁武马盆地粗粒浊流沉积物波形成的主控因素。

#### 3.1 构造活动

鲁武马盆地重力滑脱形成的莫辛布瓦褶皱冲断带主要发育于中新世—上新世,第四纪构造变形较弱<sup>[5]</sup>,褶皱冲断带顶部遭受剥蚀,现今海底峡谷地形坡度约为 $1.3^{\circ}\sim 3.0^{\circ}$ ,冲断变形导致研究区西部发生相对隆升,形成了海底陡坡区。陡坡条件下重力大于剪切力的重力加速度,当坡度变缓,流速降低时,会发生沉积物骤然卸载,形成各种类型的重力流沉积物。凯瑞巴斯地堑始于中新世,现今海底形成断层坎F1表明断层仍然强烈活动。断层上、下盘的沉积表现出差异的形态:正断层下盘为粗粒浊流沉积物波,正断

层上盘为正常深水朵体沉积。深水粗粒浊流沉积物波仅分布于冲断变形陡坡区的相对坡度较小的水道内,以及陆坡坡脚到正断层F1所夹持的水道—朵体过渡带内,即构造分区形成的构造地貌控制了粗粒沉积物波分布范围。

#### 3.2 超临界流向亚临界流转化过程中的水跃作用

通常浊流体系中的粗粒沉积物波在大规模高密度流之上形成,最典型的特征就是深刻槽和冲蚀水道,主要以峡谷/水道中的限制流,或水道—朵体过渡带中的扩展流存在<sup>[1]</sup>。Kenyon *et al.*<sup>[12]</sup>将此种现象归因于陆坡降低和流体扩散形成的水跃。水跃形成的这种特殊地貌并非在所有水道—朵体过渡带内都存在,George *et al.*<sup>[13]</sup>通过实验证实,该现象只存在于超临界流体系<sup>[14-15]</sup>,而在亚临界流体系<sup>[16]</sup>则不会产生水跃现象。逆行砂丘的存在说明弗劳德数为 $0.84\sim 1.77$ ,而对于粗粒沉积物波而言,弗劳德数接近或大于1,此时流体的性质为急流或超临界流,处于高流态。Sequeiros<sup>[17]</sup>认为坡度大于 $1^{\circ}$ 的陆坡利于形成超临界流沉积。研究区从水道口到水道—朵体过渡带陆坡坡度均大于 $1^{\circ}$ (表1),具备形成超临界流沉积条件。

#### 3.3 地形地貌

就粗粒浊流沉积物波形成的规模而言,两段陆坡坡度差及限制条件决定了最终形成浊流沉积物波的规模。研究区第一陆坡区( $1.4^{\circ}\sim 1.6^{\circ}$ )向水道浊流沉积区( $1.3^{\circ}\sim 1.4^{\circ}$ )变化时,两者仅存在较小的坡度变化,在水道受限区域内发育了规模较小的粗粒浊流沉积,而粗粒沉积物波的分布范围更加有限;第二陆坡区坡度较陡( $2.7^{\circ}\sim 3.0^{\circ}$ ),水道—朵体过渡带( $1.9^{\circ}\sim 2.7^{\circ}$ )为开阔的非限制区域,两者坡降较大,浊流产生较大的惯性力并迅速散开,形成大规模分布的深水粗

粒沉积物波。此外,地形坡度控制浊流流速的变化,而浊流的流速直接影响粗粒沉积物波的尺度<sup>[3]</sup>,使水道内沉积物波的尺度小于水道—朵体过渡带沉积物波(表2、图5,7)。

### 3.4 底流改变粗粒浊流沉积物波的平面分布及影响沉积物的分异

Fonnesu *et al.*<sup>[18]</sup>和 Denis *et al.*<sup>[19]</sup>通过对鲁武马盆地地下第三系的 Mamba Complex 和 Coral Complex 的岩芯、测井以及地震资料的观察,充分证实了底流对该地区深水沉积具有显著的影响作用。尽管研究区海底附近缺少岩芯等直观资料,但地震资料的成像结果同样反映了底流的存在及其对深水重力流沉积的影响。由南向北运动的南极洲底流(AABW)一方面改变了浊流沉积物的分布区域,同时也使由西向东进入深水的浊流沉积物分布发生分异。通常情况下,沉积物波的波脊排列成行并垂直于主要流动方向,形状

会以水道出口垂直于陆坡走向位置为中心向两侧对称分布。但研究区水道—朵体过渡带内粗粒沉积物波的分布区域逆时针旋转了一个 $\theta$ 角(图8), $\theta$ 角的大小可能与浊流与底流间水动力强度差相关。此外,北部的平行波脊区地震反射能量弱于南部的的外聚内敛波脊区,推测可能部分细粒低密度浊流受底流作用向北部的平行波脊区方向运动,而较粗粒的高密度浊流沉积物则留在了南部的的外聚内敛波脊区内,沉积物粒度可能相对前者更粗。这与底流作用下产生的单向迁移水道原理相似(细粒天然堤在水道一侧建造,水道向反方向迁移)。因此,底流作用使过渡带内粗粒沉积物的岩性、物性产生分异,当经过深埋成岩作用后,位于南部原粗粒沉积物波分布区的储层对于油气的存储更加有利。当然目前仍缺乏一些直接的证据来证明底流对该地区水道—朵体过渡带粗粒沉积物波的影响作用。

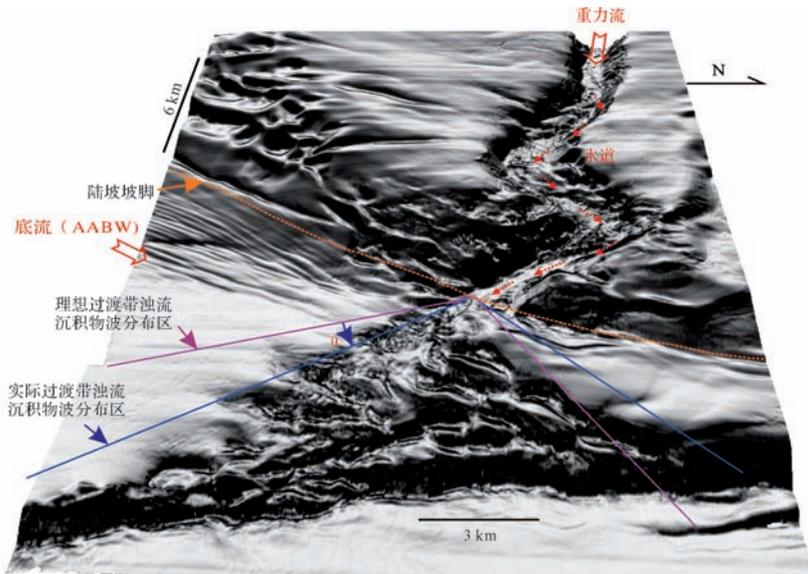


图8 海底沿层相干切片显示了被底流改变后的水道—朵体过渡带内粗粒沉积物波的分布

Fig.8 Semblance horizon slice of the seafloor in the study area, showing the distribution of coarse sediment waves changed by bottom current in channel-lobe transition zone

## 4 结论

(1) 地球物理综合分析方法可以用于大型深水沉积物波的识别和解释,在精细研究沉积物波的形态、尺度、移动方式、厚度变化、平面分布等方面可以取得明显的效果。

(2) 粗粒浊流沉积物波具有多变的地貌和逆行砂丘的底形,不同位置的沉积物波表现出不同的特点:水道内粗粒沉积物波的侵蚀刻槽呈半月形凸向上

游,具有规模较小,分布范围局限的特征;水道—朵体过渡带的粗粒沉积物波呈现出为数众多的侵蚀刻槽和线形构造的底形,其规模大,范围广,南部与北部沉积形态特征存在差异;与其他地区已识别出的粗粒沉积物波相比,水道—朵体过渡带内的沉积物波波长值域范围接近,波高明显偏大,异于其他地区。

(3) 从粗粒沉积物波独特的分布位置和异常分布形态、形成深刻槽—波脊的水动力条件、水道与水道—朵体过渡带内粗粒沉积物波规模分析出发,认

为构造活动、超临界流产生的水跃作用、地形地貌的变化以及底流作用是鲁武马盆地粗粒浊流沉积物波形成的主控因素。

致谢 感谢审稿人提出的修改意见,感谢编辑老师的帮助。

### 参考文献(References)

- [1] Wynn R B, Weaver P P E, Ercilla G, et al. Sedimentary processes in the Selvage sediment-wave field, NE Atlantic; new insights into the formation of sediment waves by turbidity currents[J]. *Sedimentology*, 2000, 47(6): 1181-1197.
- [2] 高平,何幼斌. 深海大型沉积物波的研究现状与展望[J]. *海洋科学*, 2009, 33(5): 92-97. [Gao Ping, He Youbin. Status and prospect of the study on deep-sea large-scale sediment waves[J]. *Marine Sciences*, 2009, 33(5): 92-97.]
- [3] Wynn R B, Piper D J W, Gee M J R. Generation and migration of coarse-grained sediment waves in turbidity current channels and channel-lobe transition zones[J]. *Marine Geology*, 2002, 192(1/2/3): 59-78.
- [4] Coffin M F, Rabinowitz P D. Reconstruction of Madagascar and Africa; evidence from the Davie fracture zone and western Somali Basin[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1987, 92(B9): 9385-9406.
- [5] Mahanjane E S, Franke D. The Rovuma delta deep-water fold-and-thrust belt, offshore Mozambique[J]. *Tectonophysics*, 2014, 614: 91-99.
- [6] Salazar M U, Baker D, Francis M, et al. Frontier exploration offshore the Zambezi Delta, Mozambique[J]. *First Break*, 2013, 31(6): 135-144.
- [7] 周总瑛,陶冶,李淑筠,等. 非洲东海岸重点盆地油气资源潜力[J]. *石油勘探与开发*, 2013, 40(5): 543-551. [Zhou Zongying, Tao Ye, Li Shujun, et al. Hydrocarbon potential in the key basins in the East Coast of Africa[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2013, 40(5): 543-551.]
- [8] IHS. Basin monitors: Ruvuma basin[DB/CD]. Houston: IHS Inc, 2009.
- [9] Salman G, Abdula L. Development of the Mozambique and Ruvuma sedimentary basins, offshore Mozambique[J]. *Sedimentary Geology*, 1995, 96(1/2): 7-41.
- [10] 孔祥宇. 东非鲁武马盆地油气地质特征与勘探前景[J]. *岩性油气藏*, 2013, 25(3): 21-27. [Kong Xiangyu. Petroleum geologic characteristics and exploration prospect in Rovuma Basin, East Africa[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2013, 25(3): 21-27.]
- [11] Faugères J C, Mulder T. Contour currents and contourite drifts [M]//Heiko H, Thierry M. *Developments in Sedimentology*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 2011: 149-214.
- [12] Kenyon N H, Millington J, Droz L, et al. Scour holes in a channel-lobe transition zone on the Rhône Cone[M]//Pickering K T, Hiscott R N, Kenyon N H, et al. *Atlas of Deep Water Environments: Architectural style in Turbidite Systems*. Netherlands: Springer, 1995: 212-215.
- [13] Postma G, Hoyal D C, Abreu V, et al. Morphodynamics of supercritical turbidity currents in the channel-lobe transition zone[M]//Lamarche G, Mountjoy J, Bull S, et al. *Submarine Mass Movements and their Consequences*. Switzerland: Springer, 2016: 469-478.
- [14] Hoyal D C J D, Sheets B A. Hydraulic jumps as controls on the evolution of distributary channel networks on experimental submarine fans[C]//The 33rd International Association of Hydraulic Engineering & Research Congress. London, 2009.
- [15] Hamilton P B, Strom K B, Hoyal D C J D. Hydraulic and sediment transport properties of autogenic avulsion cycles on submarine fans with supercritical distributaries [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2015, 120(7): 1369-1389.
- [16] Fernandez R, Cantelli A, Pirmez C, et al. Growth patterns of subaqueous depositional channel lobe systems developed over a basement with a downdip break in slope: laboratory experiments [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2014, 84(3): 168-182.
- [17] Sequeiros O. Estimating turbidity current conditions from channel morphology: a Froude number approach [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2012, 117(C4): C04003.
- [18] Fonnesu F. The Mamba Complex supergiant gas discovery (Mozambique): an example of turbidite fans modified by deepwater tractive bottom currents[C]//The 12th PESGB/HGS Conference on African E&P. London: PESGB, 2013.
- [19] Palermo D, Galbiati M, Famiglietti M, et al. Insights into a new super-giant gas field-sedimentology and reservoir modeling of the coral reservoir complex, offshore northern Mozambique [C]//Offshore Technology Conference-Asia. Kuala Lumpur, Malaysia: Offshore Technology Conference, 2014: 1-8.

# Characteristics and Controlling Factors of Coarse-Grained Turbidite Sediment Waves in Submarine Channel-Lobe System of the Ruvuma Basin, East Africa

SUN Hui, LIU ShaoZhi, MA HongXia, LU YinTao, XU XiaoYong

PetroChina Hangzhou Research Institute of Geology, Hangzhou 310023, China

**Abstract:** Research of coarse-grained turbidite sediment waves in submarine channel-lobe system can deepen the geological understanding of deep-water transporting process. The special sedimentary bodies, which are easy to be re-worked later found in a submarine channel-lobe system of the Ruvuma Basin, East Africa, are identified and explained through the use of advanced geophysical imaging technologies and the analysis of the seismic relief. The causes and influencing factors are discussed by describing the shape, scale, migration style, thickness variations, and distribution of the coarse sediment waves. The coarse-grained turbidite sediment waves which are found in submarine channel-lobe system in Ruvuma Basin have various morphology and antidune bedforms. The small scale sediment waves with limited extension are mainly developed in the channel. While, large inclusive sediment waves distributes in channel-lobe transition zone, wave heights are in the region of 45~110 m, and wavelengths are up to over one thousand meters. The overall scale is larger than the coarse-grained sediment waves that have been identified in worldwide other regions. The coarse-grained turbidite sediments waves in the Ruvuma Basin were mainly controlled by tectonic deformation, hydraulic jumps of the supercritical flow, topography and bottom current activities.

**Key words:** Ruvuma Basin; channel-lobe system; coarse-grained turbidite sediment waves; characteristics; controlling factors