

文章编号: 0253-2697(2013)S2-074-09 DOI: 10. 7623/syxb2013S2009

琼东南盆地中央峡谷沉积充填特征与储层分布规律

李超^{1,2} 陈国俊¹ 沈怀磊³ 郑胜^{1,2} 吕成福¹ 梁建设³ 张义娜³

(1. 中国科学院油气资源研究重点实验室 甘肃兰州 730000; 2. 中国科学院大学 北京 100049; 3. 中海油研究总院 北京 100027)

摘要: 中央峡谷是平行于陆坡跨盆地发育的深水水道-天然堤体系。应用2D和3D地震数据,结合岩心和测录井资料,分析了琼东南盆地中央峡谷充填的岩性、砂体类型和特征、分布规律及控制因素。认为距今10.5~4.2 Ma期间,琼东南盆地中央峡谷内发育5期次级水道充填,沉积了浅灰色砾质细砂岩、厚层块状/粒序细砂岩、粉砂岩和灰黑色粉砂质泥岩、泥岩等,发育4种充填相,包括浊流、碎屑流、滑塌等重力流过程和半深海沉积。应用井-震对比并结合均方根振幅属性分析,识别出4种砂体类型,分别为峡谷轴部砂体、天然堤砂体、侧向加积砂体和侵蚀残余砂体。砂体类型在纵向上的分布具有分异性特征,即峡谷充填总体在底部—中部以砂岩为主,上部由粉砂岩构成,在不同次级峡谷充填内,同样是砂岩在下,向上渐变为粉砂岩的正旋回特征。另外,砂体在横向上的分布具有分段性特征,第1—3期峡谷充填砂体,主要发育在峡谷中游;第4、5期充填砂体仅发育在峡谷中上游。中央峡谷充填砂体分布主要受母源区岩性、长距离及多次搬运、初始流体规模及流态、次级水道的改造与破坏、中央峡谷发育方式和盆地构造等因素控制。

关键词: 中央峡谷;重力流;充填特征;储层分布;琼东南盆地

中图分类号: TE112.2 文献标识码: A

Depositional filling and reservoir distribution patterns of the central canyon in Qiongdongnan Basin

LI Chao^{1,2} CHEN Guojun¹ SHEN Hualei³ ZHENG Sheng^{1,2} LÜ Chengfu¹ LIANG Jianshe³ ZHANG Yina³

(1. Key Laboratory of Petroleum Resources Research, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. CNOOC Research Institute, Beijing 100027, China)

Abstract: The central canyon is a deep-water channel-levee system developed in parallel to the slope across Qiongdongnan Basin. This study investigated depositional filling characteristics of central canyon in terms of the lithological compositions, the types of sand bodies, the patterns of reservoir distribution, and the controlling factors using 2D/3D seismic data combined with core, drilling and well-logging data. The results show that during the period of 10.5-4.2 Ma, the canyon was filled with five-stage secondary channels and deposited with light-gray gravelly fine sandstone, massive and graded fine sandstone, siltstone, dark-black silty mudstone, and mudstone. Four types of depositional filling were developed with hemipelagic deposits and gravity flow of turbidity currents, debris, and slumps. Based on well-seismic calibration and root-mean-square seismic attribution analysis, four types of sand body were identified in the canyon, including canyon-axis sand bodies, natural levee sand bodies, lateral accretion sand bodies, and erosion residual sand bodies. These sand bodies show distinct variations in the vertical distribution. The canyon is mainly filled with sandstone in the bottom to middle part and siltstone in the upper part, with similar characteristics of positive cycles in the secondary fillings. Additionally, the sand bodies show segmented distribution horizontally. Stage 1-3 fillings of sandstone are distributed mainly in the middle reaches of the canyon, while stage 4 and 5 fillings of sandstones are mainly in the middle - upstream. Major factors controlling the distribution of sand bodies in the canyon include lithological composition of the provenance, distant and multiple transports, scale and flow pattern of initial gravity flows, destruction and reconstruction of secondary channels, development mode of the canyon, and tectonic framework of the basin.

Key words: central canyon; gravity flow; depositional characteristic; reservoir distribution; Qiongdongnan Basin

伴随全球油气勘探向深水(水深500~2000 m)、超深水(水深>2000 m)区推进,深水储层受到油气工业界的高度重视,同时,对深水沉积体系的研究也成为全球沉积学领域研究的热点和难点^[1-3]。深水水道-天然堤体系作为深水沉积体系的重要组成部分,是以大型河流或三角洲作为物源供给体系^[4-6],通过重力流将

陆架-上陆坡的碎屑物搬运至深海平原的重要通道^[7-10],是大陆边缘“由源到汇”研究的重要内容^[11]。近年来,前人应用露头分析、深水钻井和地震数据等资料,结合实验模拟和扫描成像等技术手段,分别从深水水道的成因、发育过程、演化历史、影响因素、充填特征、沉积格架及储层识别等角度,对发育在西非陆缘、墨西

基金项目:国家重大科技专项“海洋深水区油气勘探关键技术”(2011ZX05025-006)资助。

第一作者:李超,男,1987年12月生,2009年获成都理工大学能源学院资源勘查工程专业学士学位,现为中国科学院大学博士研究生,主要从事储层沉积学方面的学习和研究工作。Email: lichaomails@163.com

通信作者:陈国俊,男,1967年1月生,1986年获西北大学地质学专业学士学位,2010年获中国科学院研究生院博士学位,现为中国科学院兰州油气资源研究中心研究员、博士生导师,主要从事储层沉积学、油气地质学方面的研究工作。Email: gjchen@lzb.ac.cn

哥湾、南美东北缘、孟加拉湾和印度等地的古代、现代深水水道做了深入研究^[12-29]。深水水道在发育和演化过程中,浊流、碎屑流、滑塌、块体搬运沉积等重力流过程和半深海—深海沉积在水道内充填了砾质砂岩、砾质泥岩、块状/粒序砂岩、粉砂岩和泥岩沉积等^[12-16]。其中,位于深水水道轴部的粗粒沉积物、天然堤的细砂岩和粉砂岩可以作为深水环境中重要的油气储集体^[30]。

琼东南盆地中央峡谷是发育于南海西北陆架边缘的深水水道体系,具有典型发育特征:①亚平行于陆坡走向,而非垂直于陆架方向;②源头没有直接与大型河流或三角洲相接,而是碎屑沉积物经过远源搬运,从莺歌海盆地进入琼东南盆地;③仅发育单一水道,同期未见分支水道、朵叶体等其他深水扇要素。近年,随着国内深水油气勘探进程的推进,对中央峡谷的成因、形态特征、物源供给、沉积充填等方面做了初步研究^[31-34]。然而,目前对中央峡谷的研究仍然比较薄弱,峡谷沉积充填特征研究仍不甚深入,且中央峡谷充填储层如何分布尚未探索。笔者应用岩心、钻井、测录井资料、2D

或3D地震数据,分析中央峡谷充填储层的分布规律,以期为中国深水油气勘探提供参考。

1 地质背景

琼东南盆地是发育于南海西北陆架上的新生代断陷盆地,其形成与印度板块向欧亚大陆碰撞,造成南海发生海底扩张相关^[35-36]。北部与海南隆起以断裂相接,南以斜坡超覆带向西沙隆起过渡,西以红河断裂带与莺歌海盆地相邻,东北以断层与珠江口盆地相接^[36-37](图1)。盆内由一系列NE向和NEE向的凹陷、凸起构成两隆三凹的构造格局,纵向具有北断南超的结构特点。盆地演化经历早期断陷后期坳陷,早期发生多幕裂陷:第1幕,晚白垩纪—始新世初,广泛形成沿基底大断层分布的小型裂陷群,内部充填上白垩统—古新统红色地层;第2幕,始新世—早渐新世,分为中始新世—晚始新世快速沉降和始新世末—早渐新世相对稳定沉降两个阶段;第3幕,晚渐新世,再次快速沉降^[38]。新近纪,盆地进入快速的热沉降期。

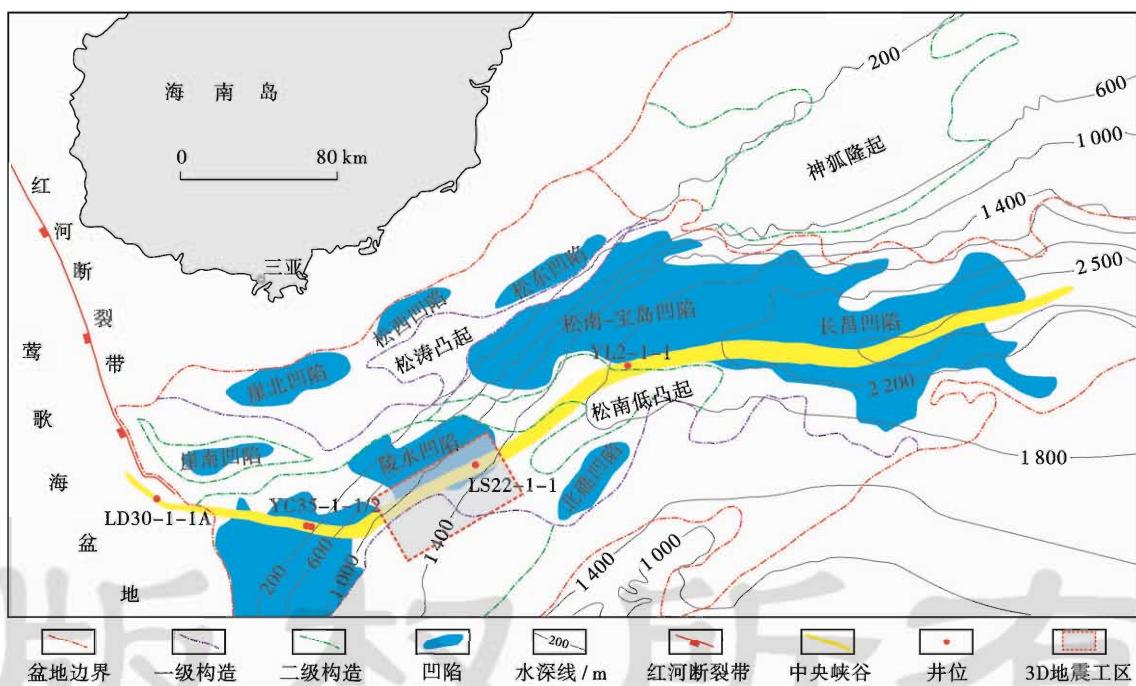


Fig. 1 Structure location of the central canyon in Qiongdongnan Basin

盆地基底是华南大陆向海域的延伸,基岩为古生界大理岩、片岩、石英岩等变质岩及火山碎屑岩,侏罗纪—白垩纪发育大量花岗岩侵入体^[38-39]。古近纪裂陷期,盆内充填分为始新统湖相、下渐新统崖城组海陆过渡相和上渐新统陵水组滨浅海相^[40],形成主要的陆相烃源岩(包括煤系)和储盖组合;新近纪坳陷期,盆内接受了从滨浅海到半深海的连续沉积,地层包括下中新统三亚组、中中新统梅山组、上中新统黄流组(N_h)、上新统莺歌海

组(N_y)和第四系^[41]。中央峡谷发育于晚中新世黄流组沉积期—早上新世莺二段沉积期(10.5~3.8 Ma)。

2 中央峡谷充填特征

2.1 充填期次划分

中央峡谷发育多期次级水道,细分出次级水道充填边界,利于分析峡谷不同时期的充填特征和储层分布规律。依据4个主要标志:①后期次级水道侵蚀早

期峡谷充填,与早期充填构成削截-侵蚀面上超充填接触[图 2(a)];②纵向侵蚀能力强的水道,对早期充填侵蚀深度大,其水道侧壁反射波振幅强而规则有形[图 2(b)];③纵向侵蚀能力弱的水道,侵蚀深度小或未侵蚀,会构成平行-上超充填接触,此接触关系多见

于峡谷充填晚期;④不同次级水道内地层倾角不同。首先对高分辨率地震三维区精细划分期次,建立期次间识别标志模式,然后向地震二维区扩展,最终在中央峡谷 10.5~4.2 Ma 层序界面间细分出 5 期次级水道[图 2(c)]。

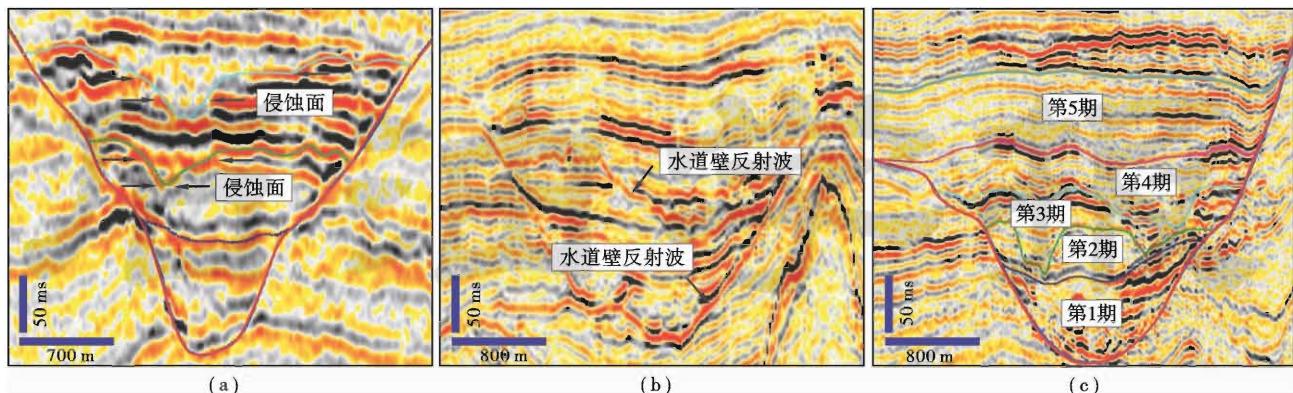


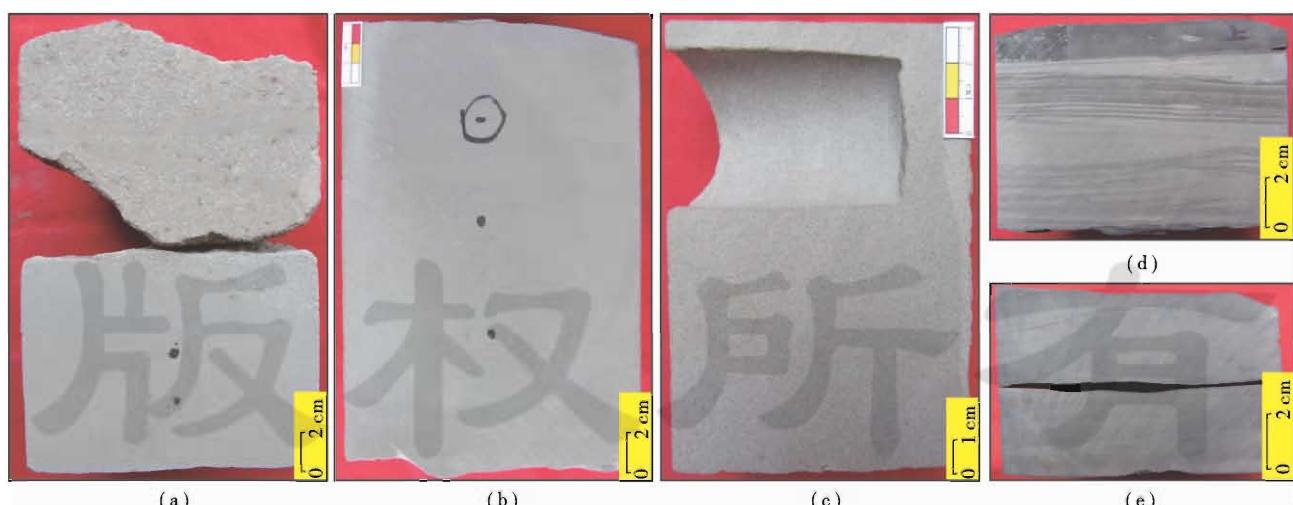
图 2 中央峡谷充填期次划分标志及结果

Fig. 2 The signs and result of central canyon filling sequence division

2.2 充填岩性特征

钻井揭示中央峡谷充填了浅灰色砾质细砂岩、厚层块状/粒序细砂岩、粉砂岩和灰黑色粉砂质泥岩、泥岩等。浅灰色砾质细砂岩仅在峡谷源头的 LD30-1-1A 井中见到,厚度约 10 cm,分选差。砾石为次棱角一次磨圆状,砾径 2~4 mm,呈漂浮状分布于细砂岩、粉砂岩基质中,发育逆粒序;而细砂岩、粉砂岩基质无粒序,底部与灰色粒序细砂岩呈突变接触

[图 3(a)],解释为砂质碎屑流成因。浅灰色细砂岩在中央峡谷广泛发育,多分布在峡谷轴部,发育粒序层理[图 3(a)]、块状层理[图 3(b)和图 3(c)]及平行层理[图 3(d)],认为是鲍马序列 a、b 段砂岩,解释为浊流沉积。粉砂岩和粉砂质泥岩分布在天然堤和越岸沉积位置,属于浊流漫溢沉积。灰黑色泥岩多发育在峡谷充填晚期,位于峡谷上部—顶部,为半深海相沉积[图 3(e)]。



(a)下段灰色细砂岩,块状层理,浊流沉积,上段灰色粗砂质细砂岩,逆粒序层理,砂质碎屑流沉积,LD30-1-1A 井,3 250.39~3 250.60 m, N₂y;(b)灰色细砂岩,块状层理,浊流沉积,LD30-1-1A 井,3 434.00~3 434.20 m, N₁y;(c)浅灰色中砂岩,块状层理,浊流沉积,YC35-1-1 井,4 115.20~4 115.33 m, N₁h;(d)下段灰色粉砂岩夹灰黑色粉砂质泥岩,波状交错层理,韵律层理,底流改造沉积,上段灰黑色粉砂质泥岩,平行层理,半深海沉积,YC35-1-1 井,4 118.75~4 118.83 m, N₁h;(e)灰黑色粉砂质泥岩,块状层理,半深海沉积,YC35-1-1 井,4 126.30~4 126.40 m, N₁h。

图 3 中央峡谷充填岩性特征

Fig. 3 Lithologic characteristic of central canyon filling

2.3 充填相

在岩心分析基础上, 经井-震对比, 分析了地震反射振幅、连续性、内部结构和外部构型等特征, 充

分结合前人对深水水道地震相的分析结果(表 1), 识别出 4 种充填相: 浊流、碎屑流、滑塌与半深海沉积。

表 1 深水水道充填相及识别标志(据文献[12-16, 19-21, 24, 27-29]统计)

Table 1 Identification sign of sedimentary processes developed in deep-water channel filling

水道位置	沉积类型	岩性解释	地震相识别标志			
			振幅	连续性	内部构型	外部形态
基底滞留	浊流	粗砂岩和砾岩	厚度较小, 常为几厘米到几米范围, 不能达到地震的分辨率	中—高	平行	席状
	碎屑流	泥屑砾岩、砾质泥岩				
水道轴部	上部 深海沉积	泥岩	中—高	高	亚平行—平行	上超充填状
	中部 浊流	向上变薄的砂、泥岩互层				
	下部 滑塌	泥岩至砾岩粒径				
水道边缘	浊流	厚层块状/粒序砂岩	弱—中	低	无或杂乱	充填状
	碎屑流	砾质泥岩、砾质砂岩、砂质泥岩				
侧向加积体	浊流、碎屑流	含泥屑砾岩、粗砂岩、含砾砂岩	中—强	中	平行前积	前积充填状
天然堤	浊流	泥岩、粉砂岩	弱	中	发散、波状	楔状

2.3.1 浊流

浊流在深水水道中广泛发育, 在深水水道充填中变化较大, Shanmugam^[3]对 DSDP96 航次取自密西西比河海底扇中水道的岩心研究表明, 浊流沉积约占 20%, ODP 第 155 航次取自亚马逊河海底扇水道的岩心表明浊流沉积约占 5%。LD30-1-1A 井和 YC35-1-1 井岩心揭示中央峡谷充填的浊流岩性为浅灰色块状/粒序细砂岩, 在 C-M 图中, 样品点平行 C=M 基线分布(图 4), 反映递变悬浮为主的沉积特点。YC35-1-2 井测井资料揭示其具有向上粒度逐渐变细、砂层厚度逐渐变薄的趋势。在地震剖面上表现为 3 种典型地震相: ①强振幅、连续性好、平行上超充填[图 5(a)]; ②波组的顶、底为强振幅、高连续反射特征, 而内部为弱振幅、空白反射特征[图 5(b)]; ③强振幅、连续性好、平行席状反射, 厚度较薄, 主要发育在 4.2 Ma 界面之上[图 5(c)]。

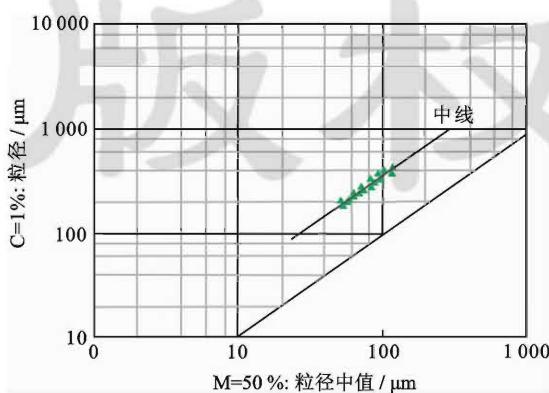


图 4 LD30-1-1A 井莺歌海组下段砂岩 C-M 图

Fig. 4 C-M plot of sandstone indicate deposits of gravity flow in the lower Yinggehai Formation of Well LD30-1-1A

2.3.2 碎屑流

碎屑流是深水水道充填的重要组成部分, 常比浊流沉积更为发育^[3, 14, 19], 在密西西比河海底扇中水道碎屑流沉积高达 45%, 而在亚马逊河海底扇水道充填中占 30%^[3]。多出现在水道底部, 岩性为砾质泥/砂岩^[14, 19], 对石油勘探来讲并非有效储层, 而可作为天然气储层^[42]。在地震剖面上, 位于峡谷充填底部, 底侵蚀界面之上, 呈弱振幅、低连续、杂乱充填状特征[图 5(d)], 这种相的宽度在 0.8~1.2 km, 厚度可达 150 m。同时在地震剖面上见弱振幅、杂乱平行前积特征的块体搬运沉积[图 5(e)], 该块体流本质属于碎屑流, 主要分布在松南—宝岛凹陷段, 纵向上位于峡谷充填顶部, 属于第 5 期峡谷充填, 在 4.2 Ma 界面之上, 即第 5 期次级水道之上发育规模更大。物源垂直于中央峡谷, 来自海南岛, YL2-1-1 井揭示岩性为纯泥岩, 不能作为有效储集层。

2.3.3 滑塌

滑塌过程在中央峡谷下游长昌凹陷段的顶部发育, 表现为水道壁的半深海泥岩发生滑塌。在地震剖面上表现为低—中振幅、杂乱—低连续席状反射, 其根部发育断裂。

2.3.4 半深海

半深海—深海泥在深水水道充填中比例最大, 在密西西比河海底扇水道中沉积比例高达 60%, 而在亚马逊河海底扇水道充填中约占 34%^[3]。5 口井均钻遇该套沉积, 泥岩层厚度可达百米, YC35-1-1 井岩心揭示为灰黑色泥岩、粉砂质泥岩。在地震剖面上, 多发育于峡谷充填上部—顶部及下游段, 呈中振幅、高连续性、平行席状充填相[图 5(f)], 顶部横向可超过中央峡谷宽度, 可作为区域性的有效盖层。

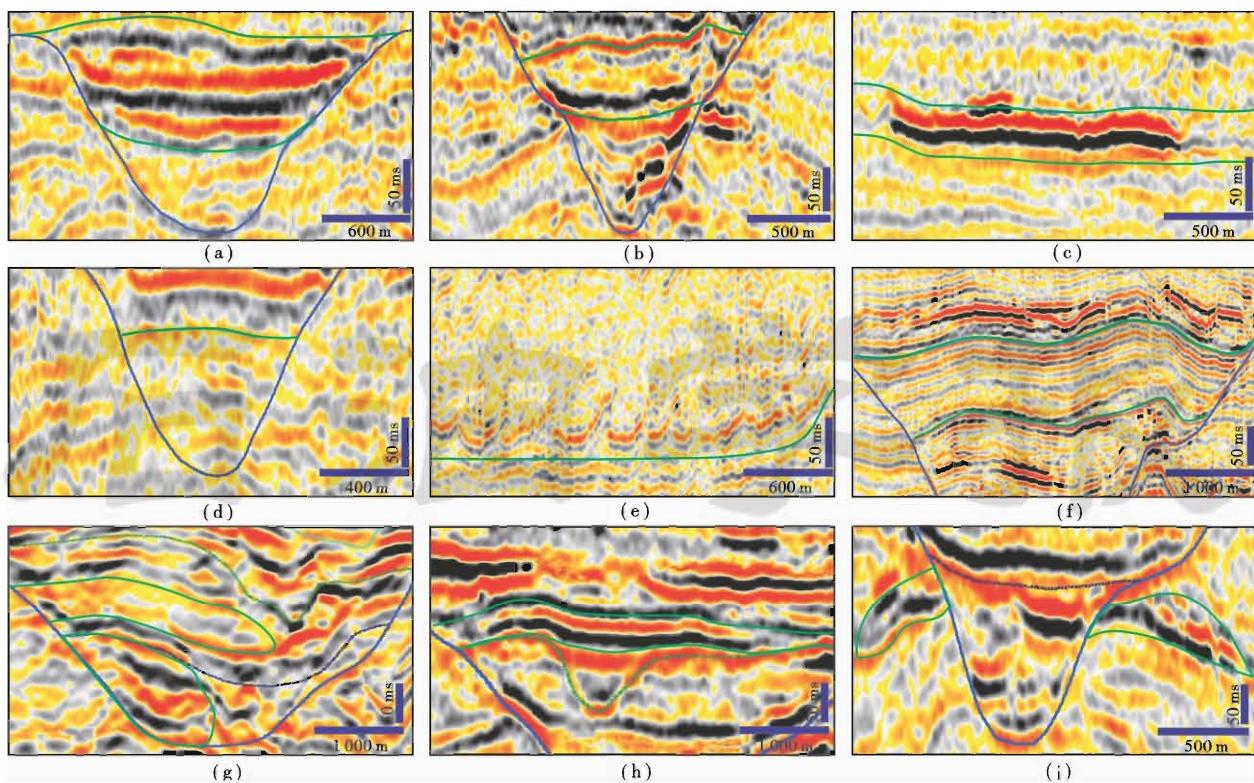


图 5 中央峡谷充填相及砂体类型

Fig. 5 Sedimentary facies and the type of sand body in the central canyon filling

3 中央峡谷充填储层分布规律

3.1 储层识别及类型

应用井-震对比,结合属性分析对中央峡谷充填砂体进行了识别。井-震对比发现,砂体在剖面上表现为反射振幅强、频率变化大、连续性好、平行席状上超、楔状构型等特征。多属性分析表明,均方根振幅能有效识别并刻画中央峡谷充填砂体的形态及分布规律,其均方根振幅强,而呈现为红色。依据砂体成因和分布位置,将中央峡谷砂体划分为 4 种:①峡谷轴部砂体[图 5(a)和图 5(b)];②侧向加积砂体[图 5(g)];③天然堤砂体[图 5(h)和图 5(i)];④侵蚀残余砂体[图 5(c)]。

3.2 砂体特征及成因

3.2.1 峡谷轴部砂体

LD30-1-1A 井浅灰色厚层块状细砂岩,多由鲍马序列 a 和 b 段构成,该类砂体由浊流形成,亦可由碎屑流、颗粒流等形成。钻井揭示该类砂体常夹薄层半深海泥岩,具有高砂/泥比特征,砂/泥比可达 3:1,砂层总厚度可达 160 m,最大单层厚度 59 m,最小单层厚度 12 m,砂层厚度具有向上逐渐变薄、粒度逐渐变细的沉积特征。在地震剖面中表现为强振幅连续、平行席状双向上超充填状[图 5(a)]和顶、底强振幅高连续、内部弱振幅低连续充填反射特征[图 5(b)]。国外露头研究表明,轴部砂体向深水水道边缘粒度有所变细,逐渐演变为泥岩

层^[14,16]。这类砂体是深水水道中最主要的储集层^[14-16,19]。

3.2.2 侧向加积砂体

侧向加积砂体为深水水道侧向迁移时所形成,岩性变化较大,由浊流、碎屑流等重力流作用形成,在地震剖面中呈强振幅平行前积充填状,地震反射同相轴平行于水道边缘、倾向于水道内部[图 5(g)]。

3.2.3 天然堤砂体

天然堤砂体是浊流上部的悬浮沉积物越过水道沉积于堤岸之上[图 5(h)和图 5(i)],所以主要由细粒沉积物构成,多为细砂岩和粉砂岩。粉砂岩厚度较薄,与泥岩呈薄互层叠置产出,是一类重要的油气储集体,但其同时也是油气开发过程中的一大难题。

3.2.4 侵蚀残余砂体

侵蚀残余砂体岩性为粉砂岩,厚度薄,且分布范围狭小,发育于峡谷充填晚期,在地震剖面上为强振幅中一高连续平行席状反射,该相常由 2 个同相轴构成,厚度相对较小[图 5(c)]。

3.3 砂体纵向分布规律

在地震剖面上划分峡谷充填期次界面后,应用井-震对比法,在单井上标定出相应的期次界面后,将单井同一期次界面相连,构建峡谷充填的期次格架,在此格架下研究沿峡谷走向不同期次充填的储层类型及其分布规律(图 6)。中央峡谷充填的储层岩性有 2 种,分别是砂岩和粉砂岩,砂体在横向上的分布具有分段性,

砂体类型在纵向上的分布具有分异性。即峡谷充填总体在底部—中部以砂岩为主, 在上部主要由粉砂岩构成, 而在局部某一期峡谷充填内, 同样表现为砂岩之下, 向上渐变为粉砂岩的正旋回特征。在峡谷上游未见第1、2期峡谷充填, 砂体主要发育在峡谷中游, 岩性以砂岩和粉砂岩为主, 砂层厚度较小, 砂层下部由细砂岩构成, 上部渐变为粉砂岩, 再向上为半深海泥岩, 第

1、2期峡谷充填储层总体呈频繁的砂、泥岩互层状产出。第3期充填砂体主要发育在峡谷中游, 岩性以块状细砂岩为主。而第4期充填砂体仅发育在峡谷上游, 岩性以厚层块状砂岩为主, 砂体厚度大, 至峡谷中游砂体快速停止发育, 而转变为半深海泥岩充填。在第5期充填中仅在上游发育厚层粉砂岩沉积, 中下游主要由半深海泥岩构成。

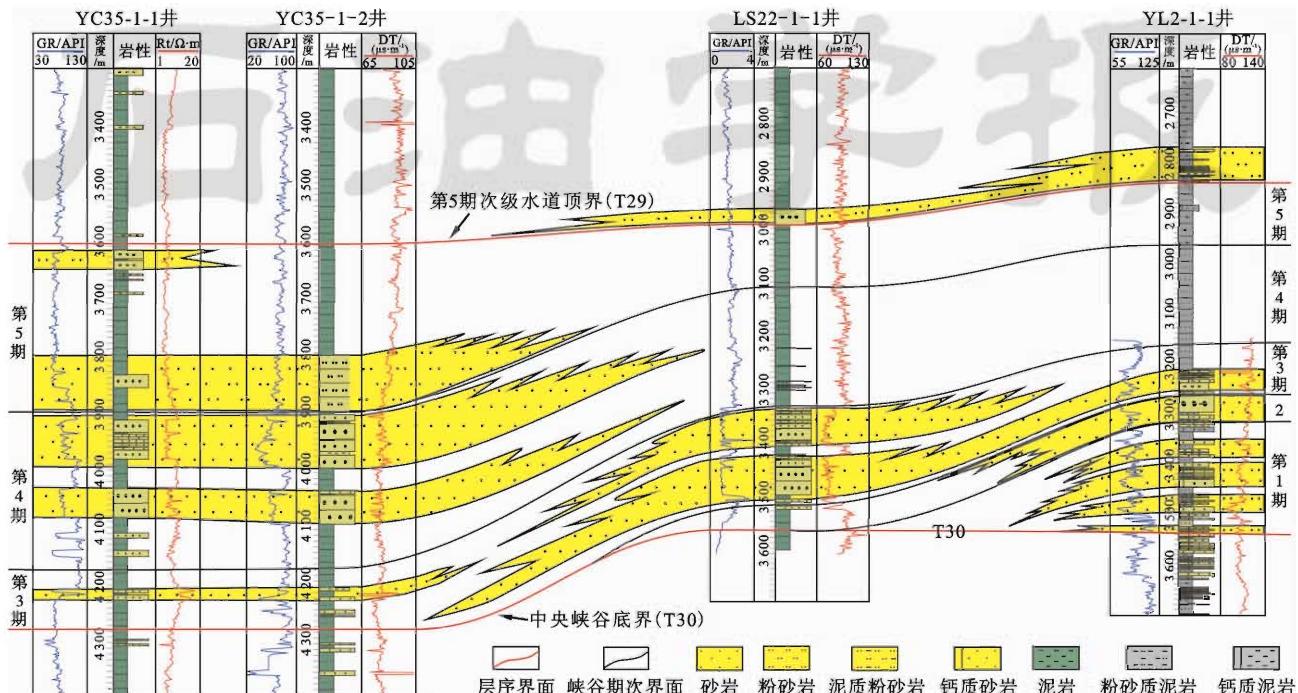


图6 中央峡谷走向纵剖面砂体分布规律

Fig. 6 The rule of sand body distribution along vertical section of central canyon

3.4 砂体平面分布规律

应用均方根振幅属性分析能很好地识别峡谷轴部砂体、侧向加积砂体、天然堤砂体和浊流侵蚀残余砂体在平面上的形态、规模、分布规律、侧向连续性及其相互配置关系。三维地震区位于峡谷中游(图1), 该段峡谷轴部砂体并不发育, 仅在第1、2期有所发育, 且规模较小[图7(a)和图7(b)]。侧向加积砂体较为发育, 中央峡谷为低曲率的深水水道, 所以图中其侧向加积体的规模较小, 分布在峡谷凸岸偏下游位置, 侧向连续性中等[图7(a)和图7(b)], 岩性以细砂岩为主。天然堤砂体在第3期比较发育[图7(c)], 在次级水道边缘形成规模较大的堤岸砂体, 砂体侧向连续性差, LS22-1-1井揭示岩性为细砂岩, 砂体厚度约140 m, 其中气层58.4 m, 平均孔隙度27%。侵蚀残余砂体在第4、5期发育, 以厚度薄、不规则的席状形态为特征[图7(d)和图7(e)], 岩性主要由粉砂岩构成。

3.5 砂体分布控制因素

3.5.1 母源区岩性及距离

前人研究表明, 中央峡谷充填的物源主要来自红

河流域^[33], 古红河水系源头在晚渐新世—中新世被长江和湄公河大规模袭夺后仅流经扬子克拉通地块^[43-45], 所以, 扬子克拉通地块是中央水道的主物源区。沉积物经红河水系搬运进入莺歌海盆地, 后经重力作用再次搬运, 最终进入琼东南盆地, 形成中央峡谷。沉积物的长距离和多次搬运决定了中央峡谷充填岩性粒度总体偏细。

3.5.2 初始流体规模及流态

青藏高原急剧隆升, 物源区剥蚀速率增大, 对莺歌海盆地沉积物供给量急剧增加, 同时琼东南盆地沉积速率相应迅速增大^[46], 初始流体规模较大, 利于中央峡谷砂体的发育。另外, 中央峡谷发育浊流和碎屑流作用, 且以浊流作用为主, 浊流搬运砂体的能力较强, 但砂体粒度较细, 所以也决定了中央峡谷充填粒度偏细。

3.5.3 次级水道的改造与破坏

中央峡谷早期充填物频繁遭受后期次级水道的侵蚀—再搬运改造[图2(b)], 早期峡谷轴部砂体遭受严重的破坏, 造成砂体主要分布在峡谷两侧, 且形态极不规

则,侧向连续性变差,天然堤砂体较发育[图 7(c)]。

3.5.4 峡谷发育方式及盆地构造

琼东南盆地总体呈 SW—NE 向分布,内部呈“S”形构造格局,中央峡谷平行于陆架坡折带沿盆地轴向

发育,以“S”形分布于盆地中央坳陷带,所以其长度大、曲率小,充填规模较大,侧向加积砂体发育较少。另外,在松南低凸起区域,泥火山对峡谷充填砂体的分布具有限制性影响(图 8)。

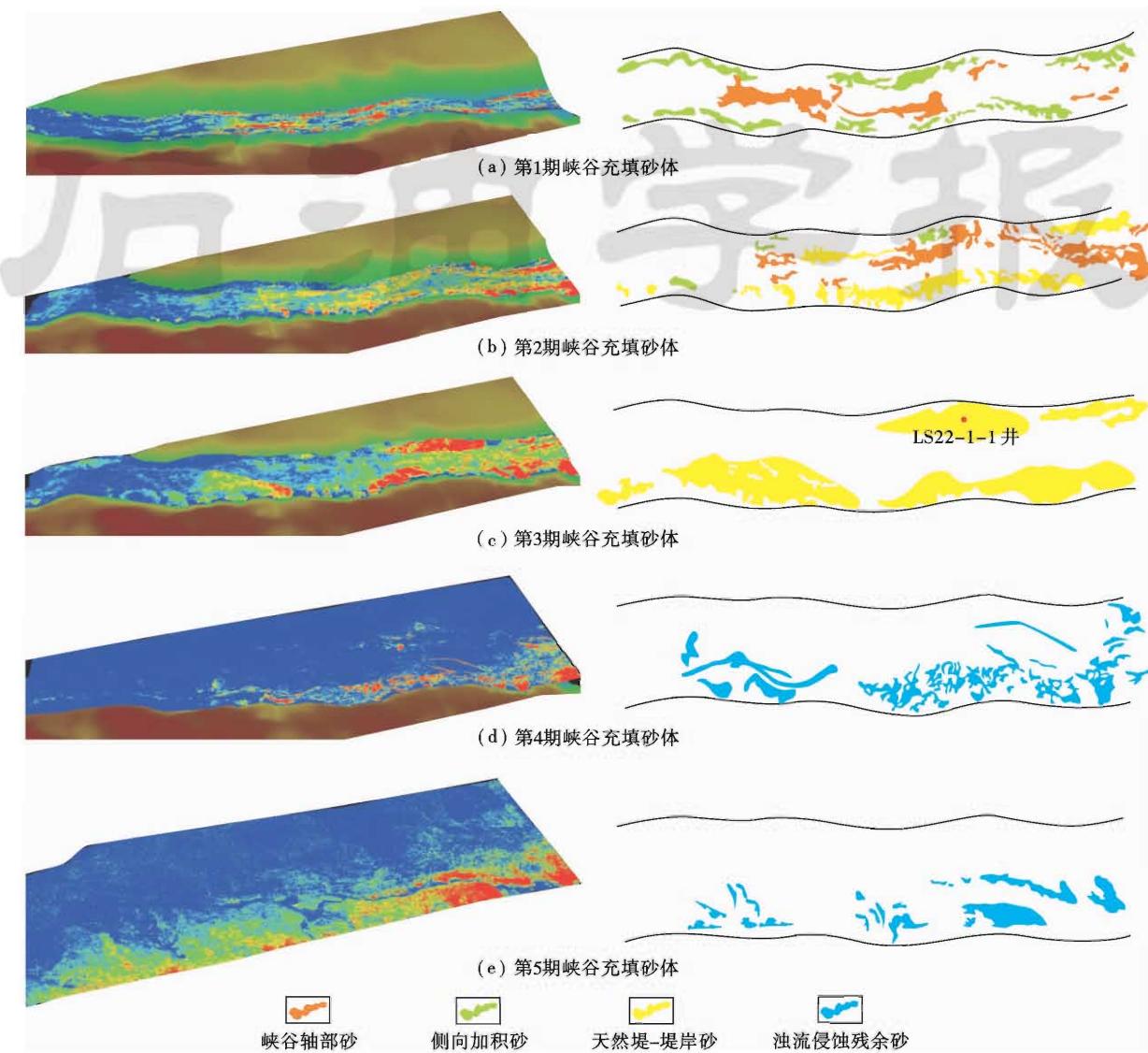


图 7 中央峡谷充填地震属性分析及砂体分布规律

Fig. 7 Seismic attribution analysis indicate the rule of plane sand body distribution in central submarine canyon

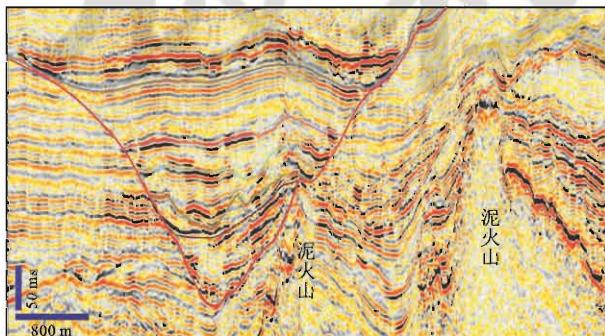


图 8 松南低凸起对峡谷充填砂体的影响

Fig. 8 The influence of Songnan low-uplift on the central canyon filling

4 结 论

(1) 中央峡谷充填发育 4 种充填相,包括浊流、碎屑流、滑塌等重力流过程和半深海沉积。

(2) 中央峡谷充填 4 类砂体:峡谷轴部砂体、天然堤砂体、侧向加积砂体和侵蚀残余砂体。第 1—3 期峡谷充填砂体,主要发育在峡谷中游;第 4、5 期充填砂体仅在峡谷中上游发育。平面上,峡谷充填砂体多分布在峡谷两侧,4 类砂体形态均极不规则,且侧向连续性较差。

(3) 中央峡谷充填砂体分布受母源区岩性、长距

离及多次搬运、初始流体规模及流态、次级水道的改造与破坏、中央峡谷发育方式及盆地构造等因素控制。

参 考 文 献

- [1] Chen Wei. Status and challenges of Chinese deepwater oil and gas development[J]. *Petroleum Science*, 2011, 8(4): 477-484.
- [2] 王英民,徐强,李冬,等.南海西北部晚中新世的红河海底扇[J].*科学通报*,2011,56(10):781-787.
Wang Yingmin, Xu Qiang, Li Dong, et al. Late Miocene Red River submarine fan, northwestern South China Sea[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2011, 56(14): 1488-1494.
- [3] Shanmugam G. Deep water process and facies models: implications for sandstone petroleum reservoirs[M]. Oxford: Elsevier, 2006.
- [4] Wonham J P, Jayr S, Mougamba R, et al. 3D sedimentary evolution of a canyon fill (Lower Miocene-age) from the Mandorove Formation, offshore Gabon[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2000, 17(2): 175-197.
- [5] Schwenk C, 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.
- [6] Ducassou E, Migeon S, Mulder T, et al. Evolution of the Nile deep sea turbidite system during the Late Quaternary; influence of climate change on fan sedimentation[J]. *Sedimentology*, 2009, 56(7): 2061-2090.
- [7] Kolla V, Bourges Ph, Urruty J-M, et al. Evolution of deep-water Tertiary sinuous channels offshore Angola (west Africa) and implications for reservoir architecture[J]. *AAPG Bulletin*, 2001, 85(8): 1373-1405.
- [8] Babonneau N, Savoye B, Cremer M, et al. Morphology and architecture of the present canyon and channel system of the Zaire deep-sea fan[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2002, 19(4): 445-467.
- [9] Canals M, Puig P, de Madron X D, et al. Flushing submarine canyons[J]. *Nature*, 2006, 444(7117): 354-357.
- [10] Harris P C, Whiteway C. Global distribution of large submarine canyons: geomorphic differences between active and passive continental margins[J]. *Marine Geology*, 2011, 285(1/4): 69-86.
- [11] 袁圣强,吴时国,姚根顺.琼东南陆坡深水水道主控因素及勘探应用[J].*海洋地质与第四纪地质*,2010,30(2):61-66.
Yuan Shengqiang, Wu Shiguo, Yao Genshun. The controlling factors analysis of Qiongdongnan slope deepwater channels and its significance to the hydrocarbon exploration[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2010, 30(2): 61-66.
- [12] Lien C, Walker R G, Martinsen O J. Turbidites in the upper carboniferous ross formation, western Ireland: reconstruction of a channel and spillover system[J]. *Sedimentology*, 2003, 50(1): 113-148.
- [13] Abreu V, Sullivan M, Pirmez C, et al. Lateral accretion packages (LAPs): an important reservoir element in deep water sinuous channels[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2003, 20(6/8): 631-648.
- [14] Beaubouef R C. Deep-water leveed-channel complexes of the Cerro Toro Formation, Upper Cretaceous, southern Chile[J]. *AAPG Bulletin*, 2004, 88(11): 1471-1500.
- [15] Kane I A, Dykstra M L, Kneller B C, et al. Architecture of a coarse-grained channel-levee system: the Rosario Formation, Baja California, Mexico[J]. *Sedimentology*, 2009, 56(7): 2207-2234.
- [16] Jobe Z R, Bernhardt A, Lowe D R. Facies and architectural asymmetry in a conglomerate-rich submarine channel fill, Cerro Toro Formation, Sierra Del Toro, Magallanes basin, Chile[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2010, 80(12): 1085-1108.
- [17] Shanmugam G, Shrivastava S K, Das B. Sandy debrites and tidalites of Pliocene reservoir sands in upper-slope canyon environments, offshore Krishna-Godavari Basin (India): implications [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2009, 79(9): 736-756.
- [18] Babonneau N, Savoye B, Cremer M, et al. Sedimentary architecture in meanders of a submarine channel: detailed study of the present Congo turbidite channel (Zaiango project) [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2010, 80(10): 852-866.
- [19] Mayall M, Jones E, Casey M. Turbidite channel reservoirs— Key elements in facies prediction and effective development[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2006, 23(8): 821-841.
- [20] Deptuck M E, Sylvester Z, Pirmez C, et al. Migration-aggradation history and 3-D seismic geomorphology of submarine channels in the Pleistocene Benin-major Canyon, western Niger Delta slope [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2007, 24(6/9): 406-433.
- [21] Peakall J, Amos K J, Keevil G M, et al. Flow processes and sedimentation in submarine channel bends[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2007, 24(6/9): 470-486.
- [22] Kidd R B, Lucchi R G, Gee M, et al. Sedimentary processes in the Stromboli Canyon and Marsili Basin, SE Tyrrhenian Sea: results from side-scan sonar surveys[J]. *Geo-Marine Letters*, 1998, 18 (2): 146-154.
- [23] Wu Shiguo, Takahashi N, Tokuyama H, et al. Geomorphology, sedimentary processes and development of the Zenisu deep-sea channel, northern Philippine Sea[J]. *Geo-Marine Letters*, 2005, 25(4): 230-240.
- [24] Clark J D, Pickering K C. Architectural elements and growth patterns of submarine channels: application to hydrocarbon exploration[J]. *AAPG Bulletin*, 1996, 80(2): 194-220.
- [25] Cronin B T, Akhmetzhanov A M, Mazzini A, et al. Morphology, evolution and fill: implications for sand and mud distribution in filling deep-water canyons and slope channel complexes[J]. *Sedimentary Geology*, 2005, 179(1-2): 71-97.
- [26] Omura A, Ikebara K. Deep-sea sedimentation controlled by sea-level rise during the last deglaciation, an example from the Kumano trough, Japan[J]. *Marine Geology*, 2010, 274(1/4): 177-186.
- [27] Gonthier E, Faugères J-C, Viana A, et al. Upper Quaternary deposits on the São Tomé deep-sea channel levee system (South Brazilian Basin): major turbidite versus contourite processes[J]. *Marine Geology*, 2003, 199(1/2): 159-180.
- [28] Hickson C A, Lowe D R. Facies architecture of a submarine fan channel-levee complex: the Juniper Ridge Conglomerate, Coalanga, California[J]. *Sedimentology*, 2002, 49(2): 335-362.
- [29] McHargue C, Pyrcz M J, Sullivan M D, et al. Architecture of turbi-

- dite channel systems on the continental slope: patterns and predictions[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2011, 28(3): 728-743.
- [30] Stow D A V, Mayall M. Deep-water sedimentary systems: new models for the 21st century[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2000, 17(2): 125-135.
- [31] 林畅松, 刘景彦, 蔡世祥, 等. 莺-琼盆地大型下切谷和海底重力流体系的沉积构成和发育背景[J]. *科学通报*, 2001, 46(1): 69-72.
Lin Changsong, Liu Jingyan, Cai Shixiang, et al. Depositional architecture and developing settings of large-scale incised valley and sub-marine gravity flow systems in the Yinggehai and Qiongdongnan basins, South China Sea[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2001, 46(8): 690-693.
- [32] 苏明, 解习农, 王振峰, 等. 南海北部琼东南盆地中央峡谷体系沉积演化[J]. *石油学报*, 2013, 34(3): 467-478.
Su Ming, Xie Xinong, Wang Zhenfeng, et al. Sedimentary evolution of the central canyon system in Qiongdongnan Basin, northern South China Sea[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2013, 34(3): 467-478.
- [33] 王永凤, 王英民, 李冬, 等. 琼东南盆地中央峡谷早上新世沉积物稀土元素特征及物源分析[J]. *石油天然气学报*, 2011, 13(6): 50-54.
Wang Yongfeng, Wang Yingmin, Li Dong, et al. Features and source analysis on early Pliocene sedimentary rare earth element (REE) in Central Canyon of Qiongdongnan Basin[J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2011, 33(6): 50-54.
- [34] Gong Chenglin, Wang Yingmin, Zhu Weilin, et al. The central submarine canyon in the Qiongdongnan Basin, northwestern South China Sea: architecture, sequence stratigraphy, and depositional processes [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2011, 28(9): 1690-1702.
- [35] 吴时国, 孙启良, 吴拓宇, 等. 琼东南盆地深水区多边形断层的发现及其油气意义[J]. *石油学报*, 2009, 30(1): 22-26.
Wu Shiguo, Sun Qiliang, Wu Tuoyu, et al. Polygonal fault and oil-gas accumulation in deep-water area of Qiongdongnan Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2009, 30(1): 22-26.
- [36] 朱伟林, 米立军, 张厚和, 等. 中国海域含油气盆地地图集[M]. 北京: 石油工业出版社, 2010: 110-111.
Zhu Weilin, Mi Lijun, Zhang Houhe, et al. Atlas of oil and gas basins, China Sea[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010: 110-111.
- [37] 张功成, 刘震, 米立军, 等. 珠江口盆地-琼东南盆地深水区古近系沉积演化[J]. *沉积学报*, 2009, 27(4): 632-641.
Zhang Gongcheng, Liu Zhen, Mi Lijun, et al. Sedimentary evolution of paleogene series in deepwater area of Zhujiangkou and Qiongdongnan Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(4): 632-641.
- [38] 李思田, 路凤香, 林畅松, 等. 中国东部及邻区中、新生代盆地演化及地球动力学背景[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997: 124-131.
- [39] Li Sitian, Lu Fengxiang, Lin Changsong, et al. The evolution and tectonic setting of Mesozoic and Cenozoic basin in the Eastern China and adjacent areas[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997: 124-131.
- [40] 米立军, 袁玉松, 张功成, 等. 南海北部深水区地热特征及其成因[J]. *石油学报*, 2009, 30(1): 27-32.
Mi Lijun, Yuan Yusong, Zhang Gongcheng, et al. Characteristics and genesis of geothermal field in deep-water area of the northern South China Sea[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2009, 30(1): 27-32.
- [41] 李绪宣, 刘宝明, 赵俊青. 琼东南盆地古近纪层序结构、充填样式及生烃潜力[J]. *中国海上油气*, 2007, 19(4): 217-223.
Li Xuxuan, Liu Baoming, Zhao Junqing. Paleogene sequence configuration depositional filling pattern and hydrocarbon generation potential in Qiongdongnan basin[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2007, 19(4): 217-223.
- [42] 邵磊, 李昂, 吴国瑄, 等. 琼东南盆地沉积环境及物源演变特征[J]. *石油学报*, 2010, 31(4): 549-554.
Shao Lei, Li Ang, Wu Guoxuan, et al. Evolution of sedimentary environment and provenance in Qiongdongnan Basin in the north South China Sea[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2010, 31(4): 549-554.
- [43] Olariu M I, Aiken C L V, Bhattacharya J P, et al. Interpretation of channelized architecture using three-dimensional photo real models, Pennsylvanian deep-water deposits at Big Rock Quarry, Arkansas [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2011, 28(6): 1157-1170.
- [44] Clark M K, Schoenbohm L M, Royden L H, et al. Surface uplift, tectonics, and erosion of eastern Tibet from large-scale drainage patterns[J]. *Tectonics*, 2004, 23 (1), TC1006, doi: 10.1029/2002TC001402.
- [45] Clift P D, Blusztajn J, Nguyen A D. Large-scale drainage capture and surface uplift in eastern Tibet-SW China before 24 Ma inferred from sediments of the Hanoi Basin, Vietnam[J]. *Geophysical Research Letters*, 2006, 33 (19), L19403, doi: 10.1029/2006GL027772.
- [46] Yan Y, Carter A, Huang C Y, et al. Constraints on Cenozoic regional drainage evolution of SW China from the provenance of the Jianchuan Basin[J]. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2012, 13(1): 1-12.
- [47] 王国芝, 王成善, 曾允孚, 等. 滇西高原的隆升与莺歌海盆地的沉积响应[J]. *沉积学报*, 2000, 18(2): 234-240.
Wang Guozhi, Wang Chengshan, Zeng Yunfu, et al. The uplift of the western Yun'nan plateau and the sedimentary response of the Yinggehai Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18(2): 234-240.

(收稿日期 2013-07-03 改回日期 2013-11-10 责任编辑 熊英)