文章编号:1000-0550(2015)04-0809-08

琼东南盆地中央峡谷西段莺歌海组沉积演化及储层预测^①

黄卫1 解习农2 何云龙2,3 吴景富1 赵志刚1 王西杰4

(1.中海油研究总院 北京 100028;2.中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室 武汉 430074;3.中国地质大学丝绸之路沿线地质资源国际研究中心 武汉 430074;4.中海石油(中国)有限公司天津分公司渤海石油研究院 天津 300452)

摘 要 发育于琼东南盆地乐东凹陷、陵水凹陷、松南低凸起的中央峡谷西段,早期充填了厚达 700 m 的深海重力流 沉积。基于两口钻井和两块三维地震资料,对研究区内中央峡谷早期的沉积演化进行了研究。通过分析地震剖面波 组特征和对比井震资料,将峡谷充填划分为 5 个沉积期次;在井震对比的基础上,结合反射特征、地震切片及属性分 析,识别出四种主要的沉积类型:水道复合体、水道—天然堤、浊积席状砂、块体流。沉积期次 1 主要为水道复合体,沉 积期次 2 和 3 主要为水道—天然堤,沉积期次 4 主要为块体流和水道—天然堤,沉积期次 5 主要为块体流和浊积席状 砂。峡谷 DS1~DS3 主要受轴向物源控制,以浊流沉积为主,富砂;DS4~DS5 逐渐受北部陆坡物源控制,以块体流沉积 为主,富泥。浊流沉积是峡谷内优良的储集体,普遍发育于峡谷充填下部,与上部块体流沉积可以形成良好的储盖组 合,具有较好的油气勘探潜力。

关键词 中央峡谷 莺歌海组 沉积演化 沉积期次 琼东南盆地 第一作者简介 黄 卫 男 1987年出生 硕士 海洋沉积学及其能源效应研究 E-mail:huangwei9@ cnooc.com.en 中图分类号 TE121.3 P631.4 文献标识码 A

0 引言

深水峡谷广泛发育于大陆边缘,它不仅是沉积物 向深海搬运的主要通道,还是深海粗粒碎屑沉积的主 要场所^[1-3]。人们对海底峡谷开展研究,一方面是因 为大型海底峡谷记录了丰富的古气候、海平面变化和 区域构造演化信息,另一方面也因为它常常蕴育着深 水油气的重要储层^[4-5]。南海北部的琼东南盆地历经 多年勘探,已证实了中央峡谷体系的存在,其主体位 于盆地中央坳陷带内,与现今陆架坡折大致平行^[6-7]。 前人对中央峡谷体系已进行了多年的研究,取得了关 于峡谷形态^[8-10]、沉积充填^[6,11-14]及成因演化^[6,8]的 诸多认识。Gong 等^[15]和李冬等^[12]利用相关的三维 地震资料和并资料对峡谷演化进行了较深入的研究, 将其划分为四个侵蚀—充填阶段,并指出峡谷演化早 期的莺歌海组大量发育与浊流相关的富砂沉积。

尽管如此,前人尚未利用不同区段的三维工区对 中央峡谷的沉积演化进行空间上的横向对比;而且对 中央峡谷早期的富砂沉积的沉积类型及空间展布刻 画得也不够,而这对于系统、准确地认识中央峡谷的 沉积演化及储层分布极为必要。笔者基于录井、测 井、古生物资料和不同区段的高精度三维地震资料, 结合剖面反射和平面属性特征,划分了峡谷西段莺歌 海组的内部沉积期次,识别出峡谷充填的典型沉积类 型,探讨了各沉积期次的沉积构成及平面展布特征, 进一步阐明了中央峡谷的西段的沉积演化历史,在此 基础上还对研究区内的有利储层分布进行了预测。



the distribution of Central Canyon

①国家自然科学基金重点项目(批准号:91028009)、教育部高等学校博士学科点博导类科研基金项目(编号:20100-145110002)、中国博士后科学基金(编号:2013M542088)与构造与油气资源教育部重点实验室开放基金项目(编号:TPR-2012-07)联合资助收稿日期:2014-07-15;收修改稿日期:2014-10-28

1 区域地质

琼东南盆地位于南海北部,整体呈 NE 向展布, 总面积约 4×10⁴ km²,是在中生代基底之上发育的一 个大型新生代裂谷型大陆边缘盆地^[16-17],可划分为 北部坳陷带、中部隆起带、中央坳陷带和南部隆起带 4 个一级构造单元。盆地的裂后沉降期始于早中新 世,并于晚中新世进入到加速沉降期^[18]。琼东南盆 地深水沉积体系即形成于加速沉降期^[19-20],并在盆 地东西部形成不同的陆架—陆坡体系^[20-21]。中央峡 谷西起莺歌海盆地,东至西沙海槽,整体呈"S"型 NE 向展布,其长约 570 km,宽 6~15 km,充填了厚达 700 m的深海重力流沉积^[6],W1、W2、W3 三口探井均 钻遇了峡谷段沉积。本次研究的中央峡谷西段,为 W、E两个三维地震工区及之间的峡谷段,经过乐东 凹陷、陵水凹陷和松南低凸起^[16],全长约180 km,宽 6~8 km。

2 沉积期次及沉积类型

目前,研究人员认为与浊流相关的浊积水道、天 然堤、席状砂和块体流沉积是中央峡谷中主要的深水 沉积类型。深水沉积体系的演化不仅包括浊流沉积、 块体流沉积及深海泥质沉积等沉积类型,也包括沉 积、过路不沉积以及侵蚀等地质作用^[22-23]。沉积类 型的不同、地质作用的交替极有可能导致地震波组特 征的差异,因此可以根据峡谷充填的地震波组特征, 并结合代表地质作用的反射界面,来推测其演化 历史。



图 2 中央峡谷轴向剖面沉积期次划分(剖面位置见图 1)





图 3 钻井—地震标定及沉积类型(过井剖面位置见图 1)

Fig.3 Seismic-well tie and depositional types (the well-pass profile locations are shown in Fig.1)

上新世以来琼东南盆地进入加速沉降阶段,海平 面整体呈现上升趋势,共经历了4期长期海平面升降 旋回,莺歌海组沉积(S30~S29)对应于第一期海平面 升降旋回^[12,15]。中央峡谷西段发育于上新世早期, 在短期海平面变化、盆地加速沉降、物源供给充足的 综合控制下[6],峡谷内部的莺歌海组发育了一系列 次级沉积旋回,并整体表现为下细上粗的粒序特征。 大量剖面显示峡谷西段的莺歌海组存在多个侵蚀界 面,这些界面所限定的地质体普遍存在水道的下切侵 蚀和垂向叠置,波组特征差异显著,代表了不同的沉 积类型和演化历史。据此,在 S30 和 S29 之间,我们 主要依据界面的侵蚀特征,将峡谷充填自下而上划分 为五个沉积期次 DS1、DS2、DS3、DS4、DS5,各期次顶 界面分别为 S1、S2、S3、S4、S29(图 2)。琼东南盆地 中央峡谷充填主要包括浊积水道、浊积席状砂、天然 堤及越岸沉积、块体流及深海泥质沉积等沉积类 型^[10]。

通过结合区内两口钻井的录井、测井、古生物资 料和过井剖面的反射特征,认为本区主要发育水道复 合体、水道—天然堤、浊积席状砂及块体流沉积这4 种沉积类型。水道复合体沉积在 W3 井岩性上表现 为砂泥岩频繁互层,伽马曲线上表现为起伏较大的锯 齿形,剖面上对应着一套连续性中等的强振幅反射。 水道—天然堤沉积两口井均钻遇,岩性为大套砂岩夹 薄层泥岩,伽马曲线具有明显齿化箱型的特征,剖面 上表现为与水道复合体类似的强振幅反射,但连续性 相对更好。W3 井钻遇了多套夹在厚层泥岩中的薄 层浊积席状砂,厚度为1~10 m,剖面上表现为杂乱— 空白反射背景下的中—强振幅反射,连续性好,测井 上表现为平缓背景下的尖凸起。块体流沉积是在峡 谷充填中占比最高的沉积类型,W2、W3 井均有钻遇。 由于块体流沉积富含泥质,因此伽马曲线上表现为平 缓的低值背景,这与深海泥岩的特征类似。深水块体 流沉积是重力失稳的产物,具有曲型的剖面特征:杂 乱一空白反射或叠瓦状逆冲构造或强振幅的残余块 体。在合成地震记录的基础上,对W2、W3 井进行了 期次界面的精细标定,并综合分析了各沉积期次的沉 积类型。通过反射特征对比和平面属性研究发现:沉 积期次1主要为水道复合体,沉积期次2和3主要为 水道—天然堤,沉积期次4主要为块体流和水道—天 然堤,沉积期次5主要为块体流和浊积席状砂。

3 峡谷沉积演化

3.1 期次1(S30~S1)沉积特征

沉积期次1位于峡谷底部.是峡谷演化早期的产 物。在 E 工区的剖面上,该期次内部普遍可以见到 水道的标志性反射特征——"眼球状"强振幅反射, 宽度约700 m,时间厚度约100 ms;测井曲线上表现 为多个"钟型"的垂向叠加形态(图3)。为了研究该 期次在平面上的展布特征,在 E 工区内拾取了 3 928 ms、3 904 ms、3 872 ms的方差体时间切片,显示期次 内部发育有3期叠置的水道,构成了图中所示的水道 复合体(图 4d)。W 工区内,该沉积期次在地震剖面 上主要表现为低频、中等连续的强振幅反射,可见沿 峡谷轴向侧向迁移的水道形态(图 4a,c)。W3 井揭 示的沉积期次1位于水道复合体的凸岸,表现为大套 的砂泥岩互层,其中砂岩均厚约5m,净厚度近100m (图2),推测为水道边滩沉积。综合可知,水道复合 体在 W 工区和 E 工区的沉积期次 1 都普遍发育,且 该沉积期次为轴向物源控制的富砂沉积。



图 4 沉积期次 1 反射剖面及地震切片特征 Fig.4 Characteristics of DS1 on reflection profile and seismic slice

3.2 期次 2 和期次 3(S1~S3) 沉积特征

沉积期次2在地震剖面上均表现为一套连续性 好的中一强振幅反射,普遍存在典型的"海鸥翼"状 (图 4a)反射特征,解释为沿峡谷轴向展布的水道— 天然堤沉积。E工区内W3井揭示了期次2的大套 砂岩,在测井上呈现出典型的箱型特征,更进一步证 实了水道体系的存在。然而,W工区内的W2井在期 次2仅钻遇了一套泥岩,这可能是井位过于靠近峡谷 边坡,天然堤的细粒沉积逐渐过渡为泥岩导致的。综 合而言,W工区和E工区的沉积期次2均普遍发育 富砂的水道—天然堤沉积,同样为轴向物源控制。

沉积期次3在剖面上整体表现为低频、连续性好 的强振幅反射(图5)。CC'剖面中,期次3呈现出与 期次2类似的"海鸥翼"状反射,指示该期次同样为 水道——天然堤沉积。因此, AA'、BB' 剖面中 S3 界面 的"侵蚀凹槽"可能代表着具有侵蚀作用的水道。 W2 井位于水道北侧的强振幅区域,揭示了天然堤沉 积为大套的砂岩夹薄层泥岩,砂岩总厚 146 m,平均 砂地比高达84.3%。这套天然堤沉积在伽马曲线表 现为典型的齿化箱型特征(图3),说明砂体纯净、分 选好。通过提取 W 工区内期次 3 的 RMS 属性(图 5),发现水道为沿峡谷轴向展布的弱振幅条带,宽度 可达2500m;天然堤沉积呈片状分布于水道两侧,边 界清晰,中一强振幅。由于 W2 井证实了期次 2 的天 然堤沉积富砂,因此其余具有相似反射特征的6块沉 积体可能同样富含砂质。自西向东,剖面上期次3的 厚度逐渐加大,天然堤沉积体的振幅能量也逐渐增 强,据此推测自西向东,水道逐渐由侵蚀为主转向沉

积为主。在 E 工区, 期次 3 在工区西部往往具有与 W 工区类似的剖面反射特征, 表现为水道—天然堤 沉积; 而在东部则渐变为杂乱—空白反射, 表现为块 体流沉积。E 工区内 W3 井由于远离水道主体, 因此 揭示的期次 3 为大套泥岩, 剖面上表现为杂乱反射, 测井曲线上为低幅锯齿状(图 3)。

3.3 期次 4(S3~S4) 沉积特征

沉积期次4在W、E工区内都有发育,但其顶界 面 S4 在 W2 井附近及井眼以西被部分削截(图 4a), 因此 W2 井未钻遇 S4 界面。E 工区以虚线为界,西 部强振幅广泛分布,东部则以弱振幅为主。W3 井位 于 E 工区东部,钻遇了期次 4 的一套厚层泥岩,顶部 发育薄砂层。根据过井剖面的"海鸥翼"形态可知, 这是该期次末期发育的富砂的水道——天然堤沉积 (图 4b)。实际上,被 W3 井钻遇的水道——天然堤在 整个 E 工区都是发育的, RMS 属性图显示该期水道 自西向东横贯 E 工区, 宽度约 1 500 m(图 6)。在 E 工区的西部,该水道为多期复合水道,表现为平面上 相互交叉的强振幅条带:水道复合体两侧还分布有天 然堤,表现为平面上不规则片状强振幅;在水道的凸 岸,还发育有3个"鸟爪状"的决口扇朵体,也表现为 强振幅。在 E 工区东部,峡谷底 S30 时间地貌上可 以清晰看到北部陆坡上存在多处滑塌痕,指示了下方 发育有大量滑塌堆积(图6)。属性图上显示的大片 弱振幅反射紧邻北部陆坡分布,与滑塌痕有着良好的 对应关系。结合剖面上的杂乱反射特征(图 4b)以及 滑塌痕和弱振幅的对应关系推测,E工区东部主要发 育块体流沉积。W工区的期次4也有类似的特征,



图 5 W 工区沉积期次 3 反射剖面及层间 RMS 属性特征 Fig.5 Characteristics of reflection profile and interval RMS attributes for DS3 in W survey







图 7 沉积期次 5 剖面特征(剖面位置见图 5、图 6) Fig.7 Profile features of DS5(profile locations are shown in Fig.5 and Fig.6)

剖面上主要表现为来自北部陆坡的杂乱反射,向南逐 渐过渡为强振幅反射。综合可知,沉积期次4主要为 块体流沉积和水道—天然堤,其中块体流主要来自北 部陆坡,水道—天然堤依然为峡谷轴向物源供给。

3.4 期次 5(S4~S29) 沉积特征

W、E工区内的沉积期次5均被钻井揭示,为大 套泥岩夹薄层砂岩。根据剖面特征和测井曲线形态, 将大套泥岩解释为块体流,其中夹杂的薄层砂岩则解 释为浊积席状砂。图7a显示,W工区内期次5主要 由多期块体流组成,峡谷南坡发育有少量浊积席状 砂。块体流的杂乱反射表现为北厚南薄、向南逐渐尖 灭的特点,而且块体流与席状砂呈突变接触关系,说 明块体流来自北部陆坡,可能在向南运动的过程中侵 蚀了早期沉积的席状砂。同样的,E工区内期次5也 主要由块体流组成,少量席状砂覆盖在块体流之上表 现为层状中一强反射;块体流也表现为北厚南薄的特 点,说明其来自北部陆坡。综合而言,在期次5的充 填过程中,块体流来自北部陆坡,而且逐步取代轴向 物源成为峡谷充填的主要控制因素。期次 5 中的块体流可能只是中央峡谷块体流发育演化的序幕,后期规模巨大的块体流自北部陆坡向南运动,在块体流趾部形成了壮观的叠瓦状逆冲构造(图 7)。

3.5 中央峡谷西段东西部沉积差异性

虽然中央峡谷西段的沉积演化在东、西两个工区 之间具有一致性,但同时也表现出一定的差异性。首 先,水道体系类型东、西有别:西部主要表现为侵蚀型 水道,东部主要表现为过渡型—沉积型水道。最具代 表性的是期次3,W工区剖面上错断的同相轴和属性 图中清晰的强弱振幅边界指示了西部强烈的水道侵 蚀作用(图5),而东部E工区剖面上水道—天然堤的 "海鸥翼"特征普遍,指示沉积作用占据主导地位。 苏明等^[6]指出中央峡谷是随着陆坡的向西迁移而逐 渐向西上溯形成的。那么西侧作为水道体系上游,其 侵蚀能力要强于东侧,这种侵蚀—沉积能力的相对变 化可能是导致本区西侧偏侵蚀、东侧偏沉积的重要原 因。其次,块体流的发育规模在东部要大于西部。峡 谷演化晚期(期次4~期次5)块体流非常发育并逐渐 占据主导地位。E工区内期次4、期次5在剖面上普 遍显示为大套的杂乱反射(图4b),这说明本区东部 的块体流分布更为广泛。图5,图6显示峡谷北坡在 E工区也更为陡峭,滑塌痕也更为普遍,这可能是造 成东、西部块体流发育规模差异的原因之一。

4 中央峡谷西段演化特征及有利储层预测

中央峡谷西段充填了厚达700m的重力流沉积. 并总体表现为下部浊流沉积为主,上部块体流沉积为 主的格局。期次1至期次3均为水道体系,其中的水 道充填和天然堤在峡谷轴向大剖面上表现为侧向连 续性较好的强振幅反射(图2),这说明轴向水道体系 在峡谷早期是广泛发育的。剖面上表现为高连续、强 振幅的水道充填和天然堤已被 W2、W3 井证实为大 套的砂质沉积(图3),平均孔隙度25%以上,物性良 好。另外,峡谷头部的 W1 井在峡谷下部钻遇了大套 的水道沉积,自下而上表现为中细砾岩—砂岩—粉砂 岩的沉积序列,这进一步证实了峡谷早期(期次1~ 期次3)轴向物源供给充分且为富砂背景,具备发育 大量优质砂岩储层的潜力。因此在本区寻找有利储 层的应该着眼于水道充填、天然堤这类富砂的浊流沉 积类型。中央峡谷下部的期次1至期次3与浊流演 化密切相关,而浊流受重力的驱动,通常沉积于海底 的低洼地带,整体形态也受其控制^[24]。因此,在综合 优势沉积类型的前提下,要优选地势低洼处的高连 续、强振幅区域。

对有利储层的选择,还应该考虑到块体流的影 响。一方面,块体流在其运动的过程中会对下伏地层 造成强烈的侵蚀,破坏原始地层的内部结构。在琼东 南盆地深水区发育有大规模的块体流沉积^[25],其对 中央峡谷内部发育海底扇的侵蚀,使得扇体原始沉积 物遭到破坏,并导致后期地质流体在侵蚀部位发生逸 散^[26],研究区内,北部陆坡块体流对峡谷顶部的浊积 席状砂就造成了强烈的侵蚀作用(图7)。另一方面, 块体流的厚层泥岩也可作为有效的局部甚至区域盖 层,与下伏的砂质储层构成良好的储盖组合。所以在 对中央峡谷内部发育有利储集体进行评价时,还应当 关注上覆块体流沉积的影响。

5 结论

(1) 琼东南盆地中央峡谷西段莺歌海组的内部 充填包括5个沉积期次,自下而上依次为:水道复合 体(DS1)、水道—天然堤(DS2~DS3)、水道天然堤和 块体流(DS4)、块体流和浊积席状砂(DS5),整体表 现为下部浊流沉积为主,上部块体流沉积为主的二元 结构。

(2)峡谷充填早期(DS1~DS3)主要受轴向物源 控制,表现为富砂的浊流沉积;峡谷充填晚期(DS4~ DS5)轴向物源的控制作用减弱,北部陆坡物源控制 作用增强,主要表现为富泥的块体流沉积。

(3)峡谷充填早期的水道充填和天然堤是峡谷内的优质砂岩储层,剖面上表现为高连续、强振幅反射特征,因此寻找有利储层的关键是找到水道体系中具类似反射特征的区域,同时还要注意上覆块体流沉积侵蚀前期浊积砂体而形成的不整合面对于油气保存的不利影响。

参考文献(References)

- Shepard F P. Submarine canyons: multiple causes and long-time persistence [J]. AAPG Bulletin, 1981, 65(6): 1062-1077.
- 2 Normark W R, Carlson P R. Giant submarine canyons: Is size any clue to their importance in the rock record? [C]// Chan M A, Archer A W. Extreme Depositional Environments: Mega End Members in Geological Time. Boulder, Colorado: Geological Society of America, 2003, 370: 175-190.
- 3 Harris P T, Whiteway T. Global distribution of large submarine canyons: Geomorphic differences between active and passive continental margins[J]. Marine Geology, 2011, 285(1/4): 69-86.
- 4 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.
- 5 Mayal M, Lonergan L, Bowman A, et al. The response of turbidite slope channels to growth-induced seabed topography[J]. AAPG Bulletin, 2010, 94(7): 1011-1030.
- 6 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.]
- 7 He Y L, Xie X N, Kneller B C, et al. Architecture and controlling factors of canyon fills on the shelf margin in the Qiongdongnan Basin, northern South China Sea[J]. Marine and Petroleum Geology, 2013, 41: 264-276.
- 8 袁圣强. 南海北部陆坡区深水水道沉积体系研究[D]. 青岛:中国 科学院研究生院(海洋研究所),2009. [Yuan Shengqiang. Sedimentary system of deepwater channel, the slope area of northern South China Sea[D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2009.]
- 9 苏明,李俊良,姜涛,等. 琼东南盆地中央峡谷的形态及成因[J]. 海洋地质与第四纪地质,2009,29(4):85-93. [Su Ming, Li Junlia-

ng, Jiang Tao, et al. Morphological features and formation mechanism of Central Canyon in the Qiongdongnan Basin, northern South China Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2009, 29(4): 85-93.]

- 10 王振峰. 深水重要油气储层—琼东南盆地中央峡谷体系[J]. 沉 积学报,2012,30(4):646-653. [Wang Zhenfeng. Important deepwater hydrocarbon reservoirs: the Central Canyon system in the Qiongdongnan Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2012, 30(4): 646-653.]
- 11 李冬,王英民,王永凤,等. 块状搬运复合体的识别及其油气勘探 意义——以琼东南盆地中央峡谷区为例[J]. 沉积与特提斯地质, 2011,31(3):58-63. [Li Dong, Wang Yingmin, Wang Yongfeng, et al. Identification of mass transport complexes and their implications for hydrocarbon exploration: An example from the Central Canyon area in Qiongdongnan Basin[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2011, 31(3): 58-63.]
- 12 李冬,徐强,王永凤,等. 琼东南盆地中央峡谷西段充填体系沉积演化与砂体分布[J]. 石油地球物理勘探, 2013, 48(5):799-803. [Li Dong, Xu Qiang, Wang Yongfeng, et al. Filling evolution and sand distribution in the west part of Central Canyon, Qiongdong-nan Basin[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2013, 48(5): 799-803.]
- 13 李伟,吴时国,王秀娟,等. 琼东南盆地中央峡谷上新统块体搬运 沉积体系地震特征及其分布[J]. 海洋地质与第四纪地质,2013, 33(2):9-15. [Li Wei, Wu Shiguo, Wang Xiujuan, et al. Seismic characteristics and distribution of Pliocene mass transport deposits in Central Canyon of Qiongdongnan Basin[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2013, 33(2): 9-15.]
- 14 许怀智,蔡东升,孙志鹏,等.琼东南盆地中央峡谷沉积充填特 征及油气地质意义[J].地质学报,2012,86(4):641-650.[Xu Huaizhi, Cai Dongsheng, Sun Zhipeng, et al. Filling characters of central canyon in the Qiongdongnan Basin and its significance of petroleum geology[J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(4): 641-650.]
- 15 Gong C L, Wang Y M, Zhu W L, 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.
- 16 姚伯初,万玲,刘振湖. 南海海域新生代沉积盆地构造演化的动力 学特征及其油气资源[J]. 地球科学,2004,29(5):543-549. [Yao Bochu, Wan Ling, Liu Zhenhu, et al. Tectonic dynamics of Cenozoic sedimentary basins and hydrocarbon resources in the South China Sea [J]. Earth Science, 2004, 29(5): 543-549.]
- 17 龚再升. 中国近海含油气盆地新构造运动与油气成藏[J]. 地球

科学,2004,29(5):513-517. [Gong Zaisheng. Neotectonics and petroleum accumulation in offshore Chinese basins[J]. Earth Science, 2004, 29(5): 513-517.]

- 18 李思田,林畅松,张启明,等. 南海北部大陆边缘盆地幕式裂陷的 动力过程及 10Ma 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. The dynamic process of screen rift of continental marginal basin in the northern South China Sea and the tectonic events since 10 Ma[J]. Chinese Science Bulletin, 1998, 43(8): 797-810.]
- 19 Xie X N, Müller R D, Li S T, et al. Origin of anomalous subsidence along the Northern South China Sea margin and its relationship to dynamic topography[J]. Marine and Petroleum Geology, 2006, 23(7): 745-765.
- 20 Xie X N, Müller 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.
- 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 Shanmugam G. Slides, Slumps, Debris Flows, and Turbidity Currents [J]. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, 2013, doi: 10.1016/B978-0-12-409548-9.04380-3.
- 23 Shanmugam G. 50 years of the turbidite paradigm (1950s-1990s): deep-water processes and facies models—a critical perspective [J]. Marine and Petroleum Geology, 2000, 17(2): 285-342.
- 24 Kneller B, McCaffrey W. Depositional effects of flow non uniformity and stratification within turbidity currents approaching a bounding slope: deflection, reflection, and facies variation[J]. Journal of Sedimentary Research, 1999, 69(5): 980-991.
- 25 解习农,陈志宏,孙志鹏,等. 南海西北陆缘深水沉积体系内部构成特征[J]. 地球科学,2012,37(4):627-634. [Xie Xinong, Chen Zhihong, Sun Zhipeng, et al. Depositional architecture characteristics of deepwater depositional systems on the continental margins of northwestern South China Sea[J]. Earth Science, 2012, 37(4): 627-634.]
- 26 何云龙,解习农,陆永潮,等. 琼东南盆地深水块体流构成及其沉积特征[J]. 地球科学,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, 2011, 36(5): 905-913.]

Evolution and Reservoir Prediction of Yinggehai Formation in western Central Canyon in Qiongdongnan Basin

HUANG Wei¹ XIE XiNong² HE YunLong^{2,3} WU JingFu¹ ZHAO ZhiGang¹ WANG XiJie⁴ (1. CNOOC Research Institute, Beijing 100028;

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

3. International Research Center for Geology and Resources along the Silk Roads, Wuhan 430074;

4. Bohai Oil Research Institute of Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin 300452)

Abstract: The west segment of Central Canyon in Qiongdongnan Basin, which wanders from Ledong, Lingshui depression to Songnan low uplift, received over 700 m of gravity flow deposits in the early stage. Mainly based on 2 wells and 2 blocks of 3D seismic data, this paper studied the sedimentary architectures and evolution stages of Yinggehai Formation in the canyon. The canyon infill were divided into 5 depositional sets (DS) vertically according to seismic wave group and seismic-well tie; 4 significant depositional types were recognized by analyzing reflection features, seismic slice and attribute analysis: channel complex (CC), channel-levee(C-L), sheet-like turbidity sand(STS) and mass transport deposits (MTDs). DS1 was primarily CC, DS2 and DS3 were mainly C-L, DS4 consisted of both MTDs and C-L while DS5 was mostly MTDs and STS. During early stages (DS1~DS3), the canyon was dominated by axial sand-rich turbidity currents, while in later stages (DS4~DS5), the canyon was gradually controlled by mass transport deposits from northern slope and rich in mud. Turbidite deposits are ideal reservoir which lays in the lower parts of the canyon, together with the upper MTDs can form perfect reservoir-seal assemblage, thus shows great potential for hydrocarbon exploration.

Key words: Central Canyon; Yinggehai Formation; sedimentary evolution; depositional sets; Qiongdongnan Basin