

·油气地质·

琼东南盆地崖南凹陷崖城组辫状河三角洲 沉积特征及油气地质意义

尚鲁宁^{1,2,3}, 吕大炜⁴, 李增学⁴, 张训华^{2,3}, 张功成⁵

(1.中国海洋大学 海洋地球科学学院, 山东 青岛 266100; 2.国土资源部 海洋油气资源与环境地质重点实验室, 山东 青岛 266071; 3.国土资源部 青岛海洋地质研究所, 山东 青岛 266071; 4.山东科技大学 地质科学与工程学院, 山东 青岛 266510; 5.中海油研究总院, 北京 100027)

摘要:通过岩心成分、粒度及沉积构造特征综合分析,对琼东南盆地崖南凹陷西北部渐新统崖城组的沉积特征进行了研究。结果表明,研究区崖城组发育辫状河三角洲沉积,岩性以粗碎屑岩为主,夹多层薄煤层并含有海相自生矿物海绿石;粒度累积概率曲线类型多样,兼有牵引流和沉积物重力流成因特点;层理类型包括平行层理、沙纹交错层理、均质层理和潮汐层理等,此外还发育冲刷面及变形构造,反映了复杂多变的水动力环境。对测井曲线特征进行分析并结合前人研究成果,建立了研究区崖城组辫状河三角洲的沉积模式,主要发育辫状河三角洲平原和前缘亚相,为断陷早期平衡充填背景下发育于箕状断陷主断裂隐没端附近的海陆交互相沉积,物源主要来自海南隆起和崖城凸起。研究区辫状河三角洲沉积中的煤层可作为良好的气源岩,与以粗碎屑岩为主的储层组成了有利的生储配置,对崖城13-1气田的形成具有重要意义。

关键词:辫状河三角洲 沉积特征 油气地质 崖城组 琼东南盆地

中图分类号: TE112.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2013)05-0004-06

琼东南盆地是南海北部大陆边缘重要的新生代含油气盆地,自1983年发现崖城13-1气田以来,其油气勘探一直未获得重大突破。虽然研究区的油气勘探重点开始逐步向半深水和深水区转移,但综合目前的研究成果认为,崖南凹陷及其周边地区仍为琼东南盆地最有利的勘探区带^[1-2]。

油—源、气—源对比表明,崖南凹陷尤其是周边斜坡带^[3]的崖城组煤系地层是崖城13-1气田的主力烃源岩之一^[1,4-9],具有较大的生烃潜力。多位学者对琼东南盆地崖城组进行了沉积学研究,认为崖城组沉积早期以冲积扇和扇三角洲沉积为主^[5,10-13];但冲积扇和扇三角洲沉积均不利于煤层的形成和保存^[14-23],与研究区崖城组广泛分布的煤层矛盾。为此,笔者通过对崖南凹陷西北部的钻井、测井资料进行分析,认为研究区崖城组沉积早期主要发育辫状河三角洲沉积,并对其沉积模式和油气地质意义进行了论述,以期对琼东南盆地的油气勘探提供依据。

1 区域地质概况

琼东南盆地位于海南隆起和西沙隆起之间,是南海北部大陆边缘的新生代伸展盆地,现今具有隆坳相间的构造格局^[24]。新生代以来,琼东南盆地经历了古近纪断陷和新近纪—第四纪拗陷2个演化阶段,形成了典型的下断上拗双层结构的沉积盆地。

崖南凹陷位于琼东南盆地的西北部,平面上呈向北张开的喇叭状,剖面上为典型的箕状断陷。其北部以3号断层为界与崖城凸起相邻,地层向西和东南分别超覆于崖城脊和崖21低凸起之上。崖南凹陷目前尚无井钻遇始新统,地震资料显示,代表盆地前古近系基底顶面的S100界面较清晰,而未见明显的S80界面(始新统顶面),表明研究区的断陷活动始于始新世末期—早渐新世初期,始新统可能遭受剥蚀或仅在局部地区沉积。崖南凹陷崖城组为断陷初期凹陷充填的产物,地震资料显示其在凹

收稿日期:2013-07-01。

作者简介:尚鲁宁,男,在读博士研究生,从事海洋地质、构造地质及沉积学研究。联系电话:13793294916, E-mail:shang1924@163.com。

基金项目:国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室开放基金项目“南海琼东南盆地古近纪层序地层及沉积机制研究”(MRE201010),山东省优秀中青年科学家科研奖励基金项目“大型陆表海盆地海侵事件沉积及事件古地理特征——以华北板块晚古生代盆地为例”(BS2011SF017)。

陷中心保存较完整,在周边斜坡和凸起由于裂陷后发生构造抬升作用而遭受不同程度的剥蚀。崖城凸起缺失崖城组,陵水组或上部地层直接覆盖于前古近系基底之上;崖21低凸起缺失崖城组一段(崖一段);崖南凹陷西北部仅残留崖城组三段(崖三段)。

2 辫状河三角洲沉积特征

辫状河沉积体系是以冲积扇—辫状河—曲流河为主的陆相河流发展演化的重要组成部分,辫状河三角洲与曲流河三角洲和扇三角洲既有可比性又存在显著差别,可视为二者之间的过渡类型。总的来说,辫状河三角洲属于近物源沉积体系,沉积物的成分成熟度和结构成熟度介于扇三角洲和曲流河三角洲之间,搬运流体性质随季节变化较为明显,以牵引流为主,但洪水期以沉积物重力流为主。

2.1 沉积相标志

崖南凹陷西北部地区勘探程度较高,是琼东南盆地钻井最密集的地区。崖三段钻遇厚度大,部分井钻穿崖三段直达前古近系基底;且取心井段长,资料丰富,为沉积特征的研究奠定了基础。

2.1.1 岩性特征

崖三段岩性垂向差异较大。上部岩石粒度较细,为灰白色砂岩与深灰色泥岩互层夹薄煤层;向下粒度逐渐变粗,以灰白色、浅灰色粗砂岩或含砾砂岩为主,局部夹薄层深灰色粉砂质泥岩;底部普遍发育厚层砾岩或含砾砂岩。其中,上部煤岩的硬度中等,含少量黄铁矿;砂岩含少量云母、海绿石、黄铁矿和长石,结构成熟度较低;所含孢粉以陆相淡水孢粉为主,也有少量海相孢粉,表明沉积环境以近海淡水环境为主,受海平面波动的影响显著。下部砂岩长石含量较高,分选和磨圆均较差,含少量海绿石、云母、黄铁矿和高岭石等。

2.1.2 粒度特征

碎屑岩的粒度、分布及分选等特征反映了介质的搬运营力和搬运方式,是判别沉积环境及水动力条件的良好标志^[25-27]。通过对研究区多口探井的岩心样品进行粒度分析,绘制出粒度累积概率曲线并对其进行分类,主要包括宽缓上拱式、低斜一跳一悬式、高斜一跳一悬式、两跳一悬加过渡式和低斜一段式等,不同类型的粒度累积概率曲线具有其典型的特征。

宽缓上拱式 其岩性主要为砾岩或含砾粗砂岩,粒度较粗,分选较差。曲线整体呈宽缓上拱的弧形,跳跃总体含量较高,超过90%,与悬浮总体之间无明显的交切点,呈弧形过渡,反映出较强水动力条件下沉积物的快速堆积。

低斜一跳一悬式 其粒度整体较粗,分选较差。曲线的滚动总体不发育,跳跃总体含量较高,约为70%~80%,悬浮总体含量较低,跳跃与悬浮总体交切点 ϕ 值约为2.5~3,反映出较强的牵引流特征。

高斜一跳一悬式 其岩性主要为中、细砂岩,缺少粗粒物质,细粒物质较富集,分选较好。滚动总体不发育,跳跃总体含量约为70%,悬浮总体含量中等,跳跃与悬浮总体交切点 ϕ 值约为4~4.5(图1a),反映出较弱的水动力条件。

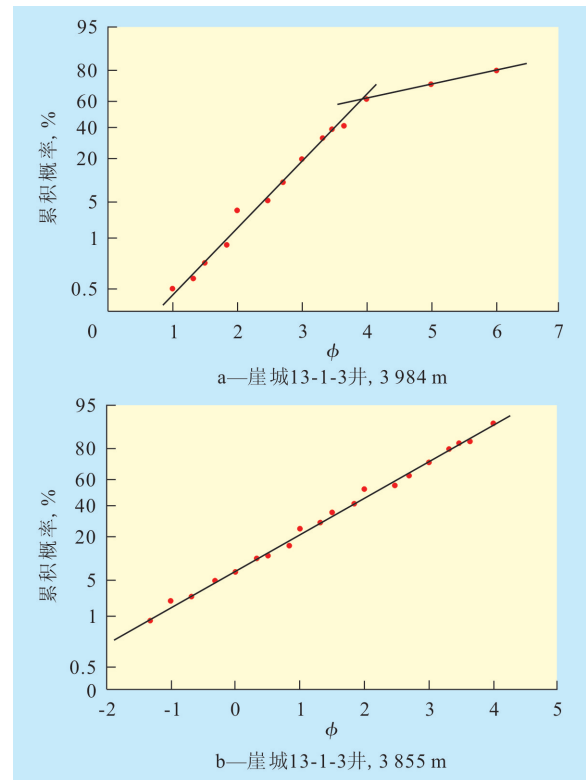


图1 崖城组碎屑岩粒度累积概率曲线特征

两跳一悬加过渡式 其岩性主要为粗砂岩或含砾粗砂岩,粒度整体较粗。跳跃总体含量约为60%~70%,可分为粗粒和细粒2个次总体;粗粒次总体含量约为10%~20%,分选差,与细粒次总体交切点 ϕ 值为-0.5~0;细粒次总体分选相对较好,与过渡段交切点 ϕ 值约为1.5。悬浮总体与过渡段交切点 ϕ 值约为2.5~3,反映出粗粒物质的快速堆积,且双跳组分及过渡段的存在反映流水和波浪的共同作用。

低斜一段式 其岩性主要为杂砂岩,粒度较

粗。曲线表现为低斜率直线段(图1b), ϕ 值的范围较大,约为-2~4.5,具有典型的重力流特征。

2.1.3 沉积构造特征

沉积构造直接反映了沉积时的水动力条件,沉积后的埋藏及成岩过程对其影响较小,因此具有较好的指相性^[28]。岩心观察发现,研究区发育丰富的沉积构造类型,包括平行层理、交错层理、均质层理、粒序层理、潮汐层理、冲刷面构造以及变形成因的滑塌和揉皱构造。

平行层理主要发育于浅灰、灰白色中—粗砂岩中,纹层厚度为5~10 mm,且相邻纹层颜色不一、清晰可辨。

槽状或板状交错层理主要发育于灰白色粗砂岩和含砾粗砂岩中。该类层理在岩心观测时不易识别,但根据颗粒间不同的定向排列可识别出不同层纹层的切割关系,进而判断交错层理的存在。

沙纹交错层理主要发育于含泥质粉砂岩或细砂岩中。该类层理反映悬浮载荷与底载荷的比例关系,沉积物快速堆积和静水环境的周期性交替有利于沙纹交错层理的形成。

研究区所见均质层理可分为细粒和粗粒2种。细粒均质层理主要发育于灰色、紫色粉砂岩或粉砂质泥岩中,反映较弱的水动力条件下粉砂质或泥质的堆积。粗粒均质层理(图2a)的颗粒以砾石和粗砂为主,粒径变化较大,砾石分选和磨圆均较差,排列不具有定向性,反映较强的牵引流或沉积物重力流沉积。粒序层理为向上变细的正粒序层理。层理下部砾石颗粒之间充填大量细粒物质,分选较差,为快速整体堆积的结果,反映沉积物重力流特征。

潮汐层理在研究区的岩心中大量出现(图2b),包括压扁、波状和透镜状层理。潮汐层理的形成与潮汐韵律有关,正常潮间带潮汐层理多发育于粉砂质泥岩和泥质粉砂岩中,而研究区潮汐层理中砂质较粗,多为中—细砂岩,偶见粗砂岩。

冲刷面的典型特征是自下而上粒径突变,明显增大,反映水动力条件突然增强。冲刷面可分为2种类型:一种冲刷面主要发育于灰白色砂砾岩中,含泥质较少或几乎不含泥质,冲刷面之下为细砂岩至粗砂岩,之上的砾石以石英和长石等矿物碎屑为主,无泥砾;另一种冲刷面上、下含大量泥质,其中下部主要为泥质细砂岩和粉砂岩,上部含大量冲刷泥砾(图2c)。

滑塌构造(图2d)的内部岩性混杂,含大量不连续泥质条带,为滑塌过程中形成的泥块经后期压实作用形成;滑塌构造层之下多为含砾砂岩,之上为泥质粉、细砂岩或粉、细砂质泥岩。揉皱构造主要发育于泥质粉砂岩或粉砂质泥岩中,其内部纹层多发生弯曲和小规模褶皱,但纹层连续性相对较好,为液化沉积物流所形成。

2.2 沉积亚相类型及特征

通过对岩性、沉积构造等进行分析,结合古生物、测井资料及地层垂向叠置特征的研究认为,研究区崖三段主要发育辫状河三角洲平原和前缘亚相,前辫状河三角洲亚相不发育(图3),并进一步识别出7种沉积微相。

2.2.1 辫状河三角洲平原亚相

辫状河三角洲平原亚相是辫状河三角洲沉积中几乎不受波浪和潮汐作用影响的水上部分,以发育辫状河道骨架砂岩为主,河道间发育泛滥平原和泥炭沼泽。与高度限定性曲流河三角洲平原分河道相比,辫状河道不稳定,容易迁移和摆动,因此普遍缺失堤岸微相,发育辫状河道、泛滥平原和沼泽3种沉积微相。

辫状河道微相具有经常性水流,但流量的季节性变化明显。搬运流体性质亦随季节变化而发生明显变化,枯水期以牵引流为主,洪水期以沉积物重力流为主。沉积物以灰白色、杂色砂、砾岩为主,发育冲刷面,粒度较粗,自下而上粒度变化较小,不具备曲流河的二元结构特征,砂岩中不同成分和大小颗粒相互混杂,分选较差。牵引流形成的沉积构造包括大型槽状、板状交错层理以及平行层理,测井曲线呈齿化箱形,粒度累积概率曲线表现为宽缓上拱式和低斜一跳一悬式;平行层理砂岩的粒度

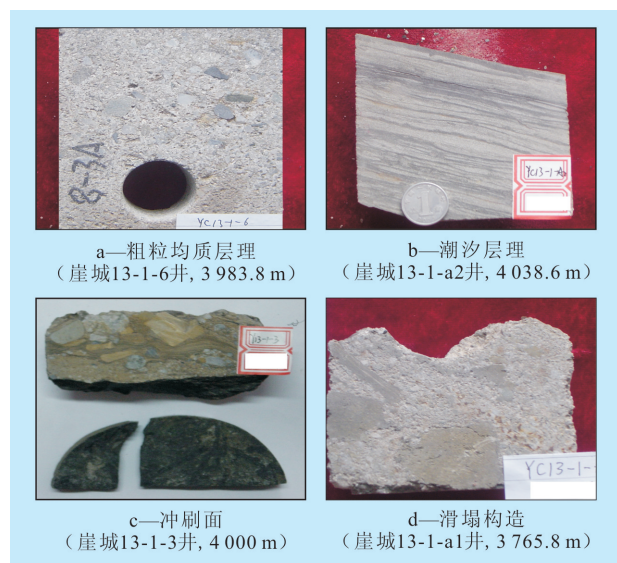


图2 崖城组岩心典型沉积构造

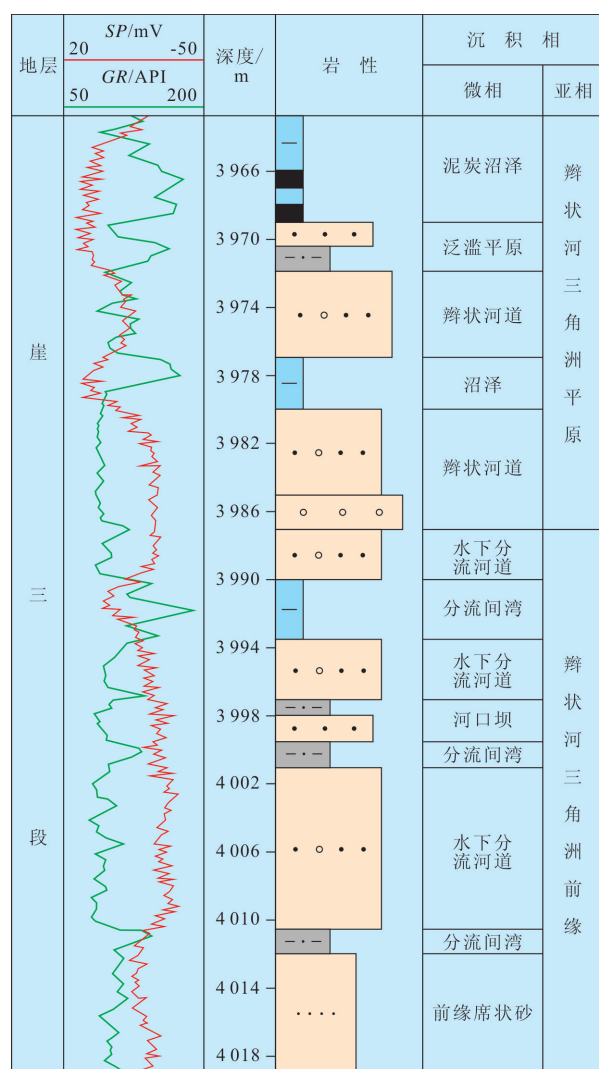


图3 崖城13-1-6井沉积相类型及测井响应

相对较细,以灰白色中—细砂岩为主,发育于辫状河道冲积岛沉积序列上部。沉积物重力流形成的沉积构造以粒序、粗粒均质层理和滑塌构造为代表,粒度累积概率曲线表现为低斜一段式。

泛滥平原微相位于辫状河道间,由河道的迁移和摆动形成,受洪流和片流影响较为显著。以发育与辫状河道相似的粗粒沉积为主,但细粒组分增多,粒度变化较大。垂向上,自下而上呈逐渐变细的正粒序,局部发育由洪水期越岸流形成的冲刷面,与辫状河道沉积不易区分。

沼泽微相的岩性以泥岩和粉砂岩为主,夹薄层细砂岩,部分可演化为泥炭沼泽,夹薄煤层和煤线;含黄铁矿结核,化石以淡水孢粉为主,局部可见海相孢粉,表明古沉积环境受海平面波动的影响显著。主要发育水平和细粒均质层理,局部可见滑塌和揉皱构造。沼泽沉积受辫状河道迁移影响较大,季节性洪流可形成冲刷面,在冲刷面上含大量泥砾。

2.2.2 辫状河三角洲前缘亚相

受河流、波浪和潮汐作用的共同影响,辫状河三角洲前缘亚相发育水下分流河道、河口坝、前缘席状砂和分流间湾4种沉积微相。

水下分流河道微相为辫状河三角洲平原亚相的辫状河道在水下的延伸部分,其沉积物粒度细于辫状河道,主要为粗砂岩或含砾粗—中砂岩。辫状河道水流进入稳定水体后发生混合作用,能量减弱,加之波浪的簸选作用,使水下分流河道沉积物的分选性好于辫状河道。单个水下分流河道沉积体呈自下而上粒度变细的正旋回,主要发育大型槽状、板状交错层理和平行层理。

由于辫状河道的迁移和摆动,河口的位置不稳定,加上水流具有季节性变化的特点,难以形成稳定的河口坝,致使其仅发育小规模薄层透镜状砂体,与曲流河三角洲前缘亚相以河口坝砂体为主的沉积特征明显不同。其岩性以砂岩为主但粒度变化较大,砾石含量明显减少,发育平行层理和沙纹交错层理,粒度累积概率曲线表现为高斜—跳—悬式或两跳—悬加过渡式。

前缘席状砂微相为水下分流河道、河口坝砂体受波浪和潮汐改造所形成,在距岸较远的一定水深范围内连片分布,在分流河道间等河流建设性较弱的区域也有分布。其岩性以灰色、黄绿色中—细砂岩为主,较纯净,结构成熟度较高,是辫状河三角洲前缘亚相重要的储集砂体。

分流间湾微相位于辫状河道间、滨线附近的海陆过渡带。其岩性以粉砂岩和泥岩为主,受波浪和潮汐的共同影响,以发育潮汐层理为典型特征。向辫状河三角洲平原方向,分流间湾可逐渐过渡为钙质超微化石和海相孢粉化石含量均较高、主要发育细粒均质层理的沼泽。

2.3 沉积模式

在始新世—早渐新世裂陷幕,崖北凹陷与崖南凹陷均为北断南超的箕状断陷,崖城凸起为二者之间的构造转换带^[29]。崖三段形成于崖南凹陷断陷初期,地震反射结构呈似发散状,由凹陷中部向周边斜坡仅有微弱的收敛,表明该时期断块旋转作用较弱^[30]。崖北凹陷的初始裂陷时间早于崖南凹陷^[30],来自北部海南隆起的大部分碎屑物质被崖城凸起阻挡,难以向南输入崖南凹陷,仅在崖北凹陷发育以扇三角洲为主的沉积。崖南凹陷北侧3号断裂的活动性较弱但呈逐渐增强的趋势,致使断层两侧地形高差增大,崖城凸起成为崖南凹陷的主要剥

蚀物源区,在崖南凹陷北部陡坡带形成以冲积扇、扇三角洲和近岸水下扇为主的沉积。此外,由于初始裂陷期崖南凹陷的宽度较窄(约为10~20 km^[29]),面积有限,因此,北侧边缘沉积相带的影响范围得以扩展至包括南部缓坡带在内的整个凹陷。在丰富的物源供给和有限的可容纳空间增量的共同控制下,崖南凹陷水体较浅,沉积与沉降过程基本达到平衡状态。

作为控凹断裂的3号断裂在横向上的活动性存在差异,中部活动强烈,断裂落差较大,向两侧逐渐减小。崖南凹陷西北部邻近3号断裂端部,地形高差较小,受冲积扇和扇三角洲沉积的影响较弱。而崖城组及以上地层的物源分析结果^[31]表明,崖三段稀土元素配分模式与海南隆起的存在相似性^[32],二者均富含轻稀土,且重稀土元素含量稳定;差别在于研究区崖三段存在轻微Eu富集,而海南隆起呈微弱的Eu亏损,表明崖南凹陷西北部物源主要来自西北部的海南隆起,此外,基性岩成分(Eu富集)较多的崖城凸起也是崖南凹陷西北部重要的物源区^[32]。

综上所述,崖南凹陷西北部崖城组辫状河三角洲为断陷早期、平衡充填背景下、发育于箕状断陷主断裂隐没端附近的海陆交互相沉积(图4)。在海南隆起和崖城凸起西部形成的冲积扇,向南延伸逐渐过渡为辫状河沉积,在崖南凹陷西北部注入崖南凹陷稳定水体中,形成辫状河三角洲沉积。崖南凹陷西北部地区古生物资料研究结果表明^[32],崖三段沉积环境从淡水滨岸环境逐步演化为滨浅海环境;崖三段沉积早期为近岸过渡环境,晚期开始发生明显的海侵;因此,崖三段沉积时期崖南凹陷西北部辫状河三角洲前积水体由淡水湖泊转变为浅海沉积。辫状河三角洲沉积发育区是受海陆相互作用影响最为强烈的地区之一,盆地沉积基准面的变化对其相带的平面展布和垂向叠置模式具有显著影

响。在不断增加的可容纳空间和充足的沉积物供给条件下,辫状河三角洲的发育在平面上表现为随时间的推移,其沉积亚相快速向海推进或向陆后退,但变化幅度较小;垂向上表现为辫状河三角洲平原和前缘亚相的交替出现,包括进积式辫状河三角洲沉积序列和退积式辫状河三角洲沉积序列。

3 油气地质意义

在崖城组沉积早期,研究区主要的成煤沉积体系为辫状河三角洲沉积^[33],煤层主要发育于辫状河三角洲平原亚相的沼泽微相。与曲流河三角洲平原亚相的成煤环境相比,辫状河三角洲平原亚相煤层的形成及保存条件均较差;辫状河道的频繁摆动和迁移控制了煤层的宏观展布和结构^[34],物源供给和海陆作用影响了煤岩的组分、元素及矿物特征^[33,35]。钻井揭示,研究区崖城组煤层的单层厚度薄、横向连续性差且展布范围较小;不同地区发育的煤层层数和厚度均存在明显差异,可对比性较差,反映出辫状河道对沼泽的改造;煤层中较高的灰分和矿物质含量反映了近物源沉积的特点,而较高的黄铁矿和硫含量以及海相孢粉化石的存在表明煤层沉积过程中曾受到海水的影响。因此,研究区主要的聚煤环境为辫状河三角洲平原亚相的沼泽微相,其位于辫状河道间,可能与分流间湾呈连续过渡,或直接由废弃的辫状河道发育形成。

由于崖城组煤层广泛发育,且辫状河三角洲沉积形成的粗碎屑岩的原生孔隙度较高,可作为储层,若有良好的盖层条件则可形成“自生自储”式气藏;若以粗碎屑岩作为输导层,则有利于气体向上运移形成“下生上储”式气藏。崖城13-1气田天然气以甲烷为主,二氧化碳和氮气等非烃类气体含量较低,天然气中汞蒸汽含量高,属于典型的煤层气^[4]。油—源和气—源的对比结果表明^[1,4-9],研究区崖城组煤系地层是崖城13-1气田的主力烃源岩之一,说明研究区辫状河三角洲沉积具有重要的油气地质意义。

4 结束语

琼东南盆地崖南凹陷西北部崖城组岩性以粗碎屑岩为主,粒度累积概率曲线类型多样,且发育多种类型的沉积构造,具有典型的辫状河三角洲沉积特征。研究区辫状河三角洲位于箕状断陷主断

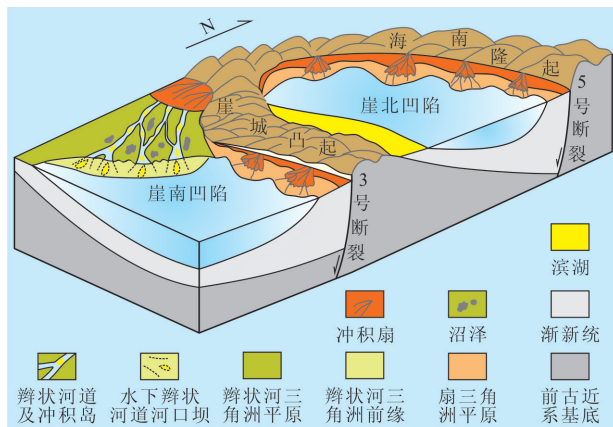


图4 琼东南盆地西北部早渐新世构造及古地理格局

裂隐没端附近,主要发育辫状河三角洲平原和前缘亚相,物源来自海南隆起和崖城凸起。辫状河三角洲平原亚相的沼泽微相为良好的聚煤环境,形成了多层薄煤层,为良好的气源岩,以粗碎屑岩为主的岩性配置又为油气的运移提供了有利条件。由于同裂陷期断陷盆地边缘及内部负向构造单元边缘的沉积发育特征具有可对比性,因此,对崖南凹陷西北部崖城组辫状河三角洲沉积的分析为琼东南盆地内相同或类似构造部位的沉积特征研究提供了参考,但对于盆地内缺乏钻井控制的其他地区,仍须借助地震地层学、层序地层学和地震沉积学等进行深入的研究。

参考文献:

- [1] 黄保家.琼东南盆地天然气勘探潜力及有利勘探方向[J].天然气工业,1999,19(1):34-39.
- [2] 何家雄,夏斌,孙东山,等.琼东南盆地油气成藏组合、运聚规律与勘探方向[J].石油勘探与开发,2006,33(1):53-58.
- [3] 胡忠良,肖贤明,黄保家,等.琼东南盆地崖13-1气田气源区圈定与成藏运聚模式[J].地球化学,2005,34(1):66-72.
- [4] 何家雄,陈伟煌,李明兴.莺一琼盆地天然气成因类型及气源剖析[J].中国海上油气:地质,2000,14(6):398-405.
- [5] 解习农,葛立刚.琼东南盆地断陷层序地层模式[J].地质科学,1997,32(1):47-55.
- [6] 马文宏,何家雄,姚永坚,等.南海北部边缘盆地第三系沉积及主要烃源岩发育特征[J].天然气地球科学,2008,19(1):41-48.
- [7] 董伟良,黄保家.南海莺一琼盆地煤型气的鉴别标志及气源判别[J].天然气工业,2000,20(1):23-27.
- [8] 傅宁,于晓果.崖13-1气田油气混合特征研究[J].石油勘探与开发,2000,27(1):19-22.
- [9] 刘正华,陈红汉.琼东南盆地天然气成因类型及其烃源探讨[J].石油实验地质,2011,33(6):639-644.
- [10] 解习农,李思田,葛立刚,等.琼东南盆地崖南凹陷海湾扇三角洲体系沉积构成及演化模式[J].沉积学报,1996,14(3):64-71.
- [11] 王根发,吴冲龙,周江羽,等.琼东南盆地第三系层序地层分析[J].石油实验地质,1998,20(2):124-128.
- [12] 陈景山,唐青松,代宗仰,等.特征不同的两种扇三角洲相识别与对比[J].西南石油大学学报:自然科学版,2007,29(4):1-6.
- [13] 李增学,张功成,王东东,等.海域区古近系含煤地层基准面旋回识别与对比:以琼东南盆地为例[J].现代地质,2010,24(6):1178-1185.
- [14] 杨勇,陈世悦,王桂萍,等.准噶尔盆地南缘雀儿沟剖面白垩系地层特征及沉积环境[J].油气地质与采收率,2012,19(3):34-37.
- [15] 易定红,裴明利,曹正林,等.柴达木盆地西部北区新近纪沉积体系演化及其控制因素[J].油气地质与采收率,2012,19(1):19-23.
- [16] 焦里力,俞昊,任涛.长岭凹陷腰英台油田腰西区块青山口组储层沉积微相研究[J].石油实验地质,2011,33(3):249-254.
- [17] 才巨宏.乐安油田草4块沙三段—沙二段储层沉积特征与非均质性研究[J].油气地质与采收率,2011,18(3):24-28.
- [18] 纪友亮,蒙启安,单敬福,等.塔南—南贝尔凹陷南屯组下部沉积体系平面展布特征[J].石油实验地质,2011,33(3):260-265.
- [19] 杨勇,陈世悦,王桂萍.准噶尔盆地车排子地区古近系沉积相研究[J].油气地质与采收率,2011,18(3):5-9.
- [20] 杨瑞召,王萍,张志强,等.塔里木盆地巴什托地区泥盆系克孜尔塔格组钻测井沉积相分析[J].石油实验地质,2011,33(4):341-347.
- [21] 孙铭赫,程璐,田继军.古城油田泌123和泌124区块核三段IV砂组沉积微相[J].油气地质与采收率,2013,20(2):34-38.
- [22] 李友强,李珂.蒙古国宗巴音凹陷三维区下白垩统沉积相[J].油气地质与采收率,2013,20(2):42-44,51.
- [23] 王军,宋明水,姜素华,等.哈密凹陷三叠系层序地层与沉积特征[J].油气地质与采收率,2013,20(1):11-15.
- [24] 王东东,李增学,张功成,等.琼东南盆地渐新世崖城组基准面旋回划分与转换机制[J].中国矿业大学学报,2011,40(4):576-583.
- [25] 牟汉生,孙钰,姜在兴.胜坨地区沙二段辫状河三角洲沉积特征[J].特种油气藏,2007,14(3):24-27.
- [26] 袁静,杜玉民,李云南.惠民凹陷古近系碎屑岩主要沉积环境粒度累积概率曲线特征[J].石油勘探与开发,2003,30(3):103-106.
- [27] 王国光,王艳忠,操应长,等.临邑洼陷南斜坡沙河街组三角洲沉积微相粒度累积概率曲线组合特征[J].油气地质与采收率,2006,13(6):30-32.
- [28] 赵澄林,朱筱敏.沉积岩石学[M].北京:石油工业出版社,2001:72.
- [29] 李绪宣,钟志洪,董伟良,等.琼东南盆地古近纪裂陷构造特征及其动力学机制[J].石油勘探与开发,2006,33(6):713-721.
- [30] 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.
- [31] 白振华,李胜利,苏燕,等.琼东南盆地崖城13-1气田渐新统陵三段沉积物源综合分析[J].中国地质,2011,38(2):384-392.
- [32] 邵磊,李昂,吴国璋,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):548-552.
- [33] 李增学,何玉平,刘海燕,等.琼东南盆地崖城组煤的沉积学特征与聚煤模式[J].石油学报,2010,31(4):542-547.
- [34] 李莹,张功成,吕大炜,等.琼东南盆地崖城组沉积特征及成煤环境[J].煤田地质与勘探,2011,39(1):1-5.
- [35] 张功成,李增学,何玉平,等.琼东南盆地煤地球化学特征[J].天然气地球科学,2010,21(5):693-699.