

梁杰, 刘培, 陈维涛, 等. 适用于改造型洼陷的烃源规模识别技术——以西江主洼为例[J]. 海洋地质前沿, 2022, 38(6): 78-87.

LIANG Jie, LIU Pei, CHEN Weitao, et al. Technology of identification for hydrocarbon source and its application in reformed sag: a case study of Xijiang Main Sag[J]. Marine Geology Frontiers, 2022, 38(6): 78-87.

适用于改造型洼陷的烃源规模识别技术

——以西江主洼为例

梁杰, 刘培, 陈维涛, 姚佳利, 唐明铭, 董小云

(中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 深圳 518054)

摘要:以西江主洼为例, 抓住洼陷结构控制沉积体系发育的核心思想, 在层序地层、生长地层、构造演化、剥蚀改造、地震相和沉积相等综合研究基础上, 总结了一套适用于改造型洼陷的烃源规模识别技术: ① 考虑控制沉积期湖盆分布广度和沉积厚度的构造参数, 拟合一套计算方法用来半定量计算烃源规模随控洼断裂走向的变化趋势; ② 在层序格架下, 以生长地层理论、构造演化分析和剥蚀改造模型为依据, 确立洼陷内不同位置差异构造活动特征, 并在此基础上从构造差异活动控差异沉积角度定性预测烃源岩的空间分布特征; ③ 半定量计算与定性分析相互佐证, 形成一套适用于改造型洼陷的烃源规模识别技术。利用该项技术对西江主洼的烃源规模进行评价, 对西江主洼及类似洼陷的油气勘探具有指导意义。

关键词:改造型洼陷; 烃源规模识别; 构造差异活动; A-L 曲线法; 西江主洼

中图分类号: P744.4; P618.13

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2021.246

0 引言

“改造型洼陷”即湖盆在沉积期或沉积后经历断层强烈活动或隆升改造, 形成湖盆现今结构复杂, 原型盆地识别难度大的洼陷。在此类改造型洼陷油气勘探中, 若无井或少井钻遇烃源岩, 能否准确评价生油区内烃源岩分布将对资源评价及整个勘探部署起到重要指示作用^[1-2]。

对于无井或少井区, 烃源规模预测方法和技术的发展现状主要体现在以下几个方面: ① 构造演化分析方法, 即从沉降速率、沉积速率/沉降速率、断层活动速率、伸展率等方面讨论了构造运动对烃源岩发育的控制作用^[3]; ② 层序地层分析识别方法, 即从层序地层学角度分析, 认为在最大湖泛期附近的沉积物是可能的烃源岩发育层段^[4-5]; ③ 利用地震相识别优质烃源岩^[6]。以上烃源规模预测方法相对

单一, 仅适用于原型盆地保存完整的洼陷, 而对于经历强烈构造作用改造的洼陷, 国内尚无系统总结烃源规模定性识别的方法。考虑用定量或半定量手段预测烃源规模, 本文在系统总结前人方法和技术的基础上, 加以扩展充实, 提出了一套适用于改造型洼陷的烃源规模识别技术。该套方法采用半定量与定性手段相互佐证, 烃源规模预测可信度更高, 应用于西江主洼, 有效指导了烃源规模识别, 以期能有效支持该区油气勘探。

1 烃源规模识别技术

在区域张裂构造环境中形成的盆地称为裂陷盆地。珠江口盆地发育此类新生代裂陷盆地, 其基本组成单元主要为半地堑^[7]。烃源研究证实烃源规模与湖盆可容纳空间正相关^[8-9], 而对于同一湖盆同一沉积时期, 烃源规模越大, 湖盆生烃强度越大, 因此, 研究半地堑可容纳空间对于了解湖盆沉积期烃源岩发育规模具有重要意义。

半地堑可容纳空间除了受湖盆沉积期外部因素即沉积物供给、气候等因素影响外, 其内因是由湖盆沉积沉降、区域应力场方向等因素综合作用造

收稿日期: 2021-12-01

资助项目: 中海石油(中国)有限公司科技项目“南海东部油田上产 2 000 万 t 关键技术研究”(CN00C-KJ135ZDXM37SZ)。

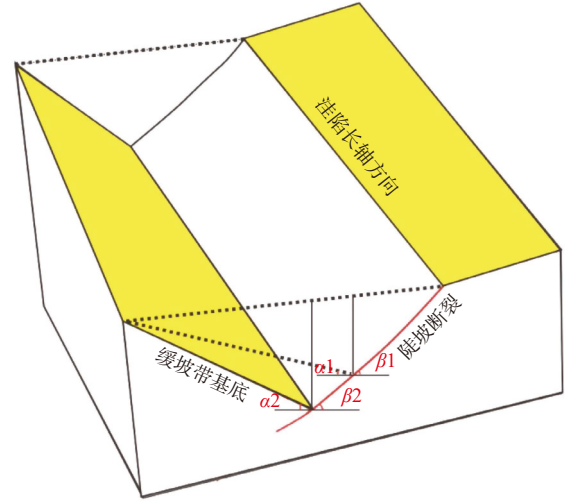
作者简介: 梁杰(1986—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事石油地质方面的研究工作。E-mail: liangjie6@cnooc.com.cn

成的。杨伟利^[10]在松辽盆地青山口组可容纳空间研究中认为, 构造沉降、沉积物供给和水体是影响可容纳空间的主要原因, 而这种研究仅限于二维横剖面, 若能将单一剖面可容纳空间的变化扩展到三维, 可从整体上揭示湖盆规模, 从而为烃源规模研究奠定基础。

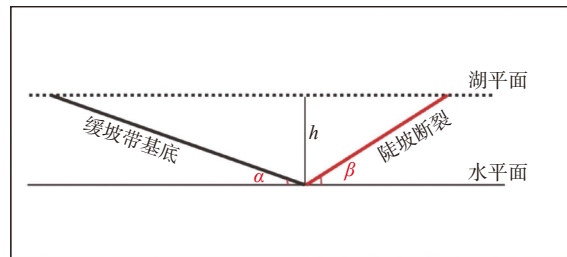
1.1 A-L 曲线法原理

区域规模正断层构成半地堑的边界断层, 断层下盘相对隆起, 断层上盘在均衡沉降的同时发生旋转变形形成半地堑盆地^[11](图 1a、b)。半地堑断陷湖盆中盆地或凹陷的主边界断层的几何形态和运动学特征差异, 导致伸展型断陷盆地的构造样式不同: 剖面上(图 1a、b), 半地堑盆地某一套地层沉积期湖盆可容纳空间由湖盆横断面面积(S)决定, 即在物源输入一定情况下, 湖盆横断面面积越大, 可容纳空间内湖盆深陷概率越大, 规模烃源发育概率越大; 几何学上, 湖盆横断面面积即由沉积地层真厚度、主边界断层和缓坡分别与湖平面间的倾角共同控制, 即沉积地层真厚度(h)一定情况下, 主边界断层倾角(β)和缓坡倾角(α)越小, 断裂面和缓坡分别与湖平面之间的分量($h \cdot \cot \alpha$ 或 $h \cdot \cot \beta$)越大, 横断面面积越大。平面上, ① 断层走向与区域伸展应力方向垂直($\theta=90^\circ$)时, 区域伸展应力作用最强($\sin \theta=1$), 此时主控边界断层所控制的湖盆可容纳空间最大(图 1c), 形成湖盆深陷环境概率最大, 规模烃源发育概率最大; ② 主断层走向与区域伸展应力方向斜交($0^\circ \leq \theta < 90^\circ$)时, 伸展边界主断层或多或少受到区域伸展应力剪切分量的作用^[11](图 1c), 即剪切分量越大(垂直分量($\sin \theta$)越小), 主控边界断层所控制的湖盆可容纳空间越小, 形成湖盆深陷环境概率越小, 规模烃源发育概率越小。综上, 湖盆横断面面积、区域伸展应力垂直主控边界断层走向方向上的分量与湖盆某一沉积时期可容纳空间内规模烃源发育概率具正相关关系。根据几何学相似及等比例原则: ① 沉积地层真厚度、主边界断层和缓坡分别与湖平面间的倾角近似构成三角形, 可选用计算三角形面积的公式(1)计算 S 的相对大小; ② 湖盆在某一特定历史时期, 区域伸展应力一定, 因此, 区域伸展应力垂直主控边界断层走向方向上的分量可选用 $\sin \theta$ (θ 为区域伸展应力与主控边界断层走向间的夹角)表征。考虑以上影响湖盆某一沉积时期可容纳空间内规模烃源发育概率的因素, 可以近似拟合一个快速计算湖盆烃源发育概率(A ,

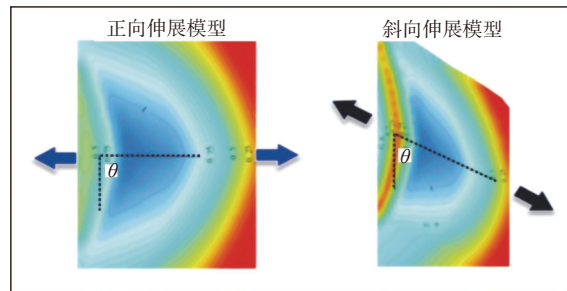
accommodation space)的公式(公式 2)来表征某一沉积期二维空间上湖盆的烃源规模, 统计二维空间上某一沉积期湖盆烃源发育概率随湖盆走向(L , long axis)的迁移特征(简称 A-L 曲线法), 是直接刻画湖盆某一沉积时期烃源在三维空间不同剖面位置发育概率的重要方法, 也是间接表征某一沉积期湖盆烃源规模在三维空间上分布特征的一个行之有效的有效的方法。



(a) 断陷湖盆三维模型



(b) 断陷湖盆二维剖面模型



(c) 不同方向区域应力作用下的湖盆展布特征

图 1 断陷湖盆可容纳空间影响因素

Fig.1 Influencing factors of accommodating space in rifted lake basins

A-L 计算公式如下:

$$S = \frac{1}{2} h \cdot (h \cdot \cot \alpha + h \cdot \cot \beta) \quad (1)$$

$$A = S \cdot \sin \theta \quad (2)$$

$$A' = S \cdot \sin\theta / 10\,000 \quad (3)$$

式中: A 为规模烃源发育概率(间接反映烃源规模);

S 为湖盆横断面面积近似值;

h 为某一沉积期垂向地层厚度, m;

α 为缓坡带地层倾角, ($^{\circ}$);

β 为陡坡断面倾角, ($^{\circ}$);

θ 为伸展应力方向与断层走向的夹角, ($^{\circ}$)(图 1)。

h 、 α 、 β 这几个参数可从洼陷构造、沉积研究成果图件中读取, 而 θ 由区域应力场方向决定。据已有研究成果^[12-15] 珠江口盆地东部区域应力场方向在主力烃源岩发育层段由文昌组下段 NW-SE 向转变为上文昌组为 NNW-SSE 向。

分别取 $h=100$ m, $\alpha=30^{\circ}$, $\beta=45^{\circ}$, $\theta=90^{\circ}$ 为例来计算某二维剖面的 $A=13\,670$, 由于 A 值数量级较大, 不方便对比, 因此, 将公式(2)计算结果统一除以 10 000 得到公式(3), 公式(3)计算所得 A' 值代表湖盆深陷程度, 可以表征洼陷某一沉积期烃源发育规模。

1.2 公式应证与评价标准

珠一坳陷位于南海北部珠江口盆地(东部), 古近系文昌组是其主要生烃层系, 以中深湖相泥质烃源岩为主^[9,16], 该坳陷内发育多个次级洼陷, 其中已钻井证实的富生烃洼陷包括 EP17 洼和 LF13E 洼,

施和生等^[12] 对这 2 个洼陷的生烃强度分布有过详细分析。本文利用 A-L 公式法分别对这 2 个已证实富生烃洼陷的主力烃源岩层段即文四段的规模烃源发育概率随湖盆走向的迁移特征进行计算, 并与文四段生烃强度平面分布的已有成果^[12] 进行类比(图 2)。

根据 EP17 洼文四段生烃规模平面分布图(图 2c), 采样距离为 6~32 km 生烃规模较大, 采样距离为 36~50 km 生烃规模较小; 同理, 据 LF13E 洼文四段生烃规模平面分布图(图 2d), 采样距离为 8~24 km 生烃规模最大, 采样距离为 0~6 km 和 26~30 km 生烃规模较小; A-L 曲线法计算出的 EP17 洼(图 2a)和 LF13E 洼(图 2b)文四段沉积期可容空间 A 沿控洼断裂走向 L 分布与烃源平面分布采样点具有正相关性, 即烃源规模大的采样点, 可容空间 A 值大, 据此建立 A-L 曲线法判识烃源规模的划分依据, 即 A-L 曲线中烃源规模 > 15 即可认定规模生烃, 且数值越大, 生烃能力越强; < 15 则生烃能力弱。

2 应用实例: 西江主洼

2.1 区域地质背景

西江主洼是珠江口盆地(东部)珠一坳陷内部

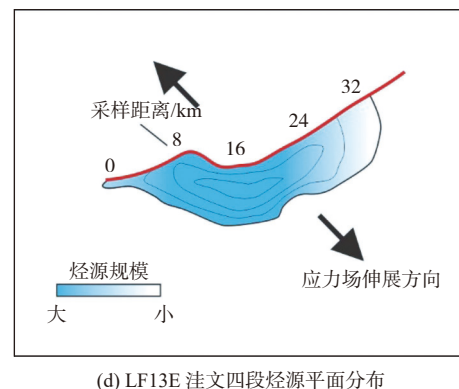
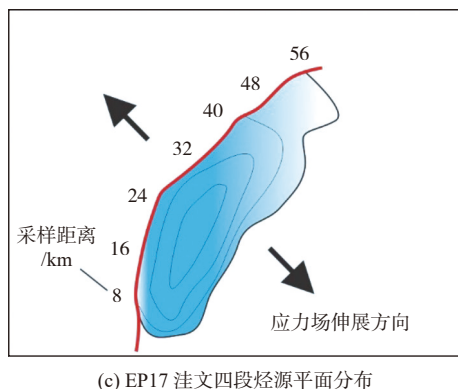
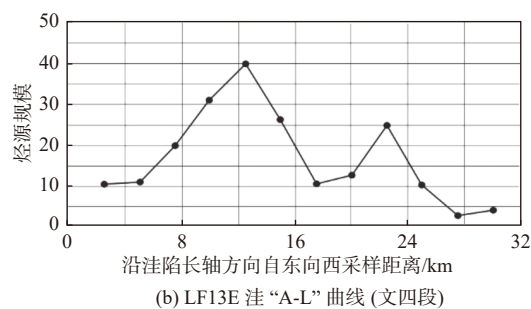
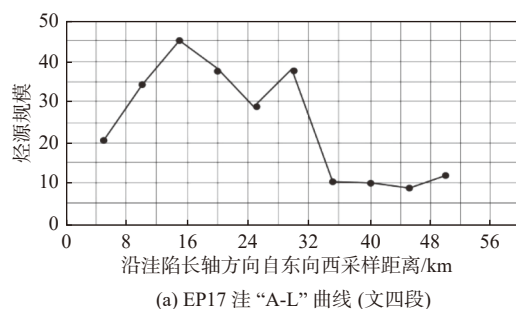


图 2 A-L 曲线法在 EP17 洼和 LF13E 洼文四段烃源识别中的应用

Fig.2 Application of A-L curves in the source identification in the EP 17 Sag and LF 13E Sag

的一个次级负向构造单元, 总体为 NE—SW 走向, 呈长条形箕状洼陷, 洼陷面积约 1 090 km²。二维剖面上, 受北部边界断层控制, 西江主洼整体表现为“北断南超”的箕状结构^[17-18]; 三维空间上, 受洼陷内西江 28 隆起和西江 32 隆起作用影响, 自东向西发育西江 28 洼、西江 33 东洼、西江 33 西洼、西江 32 洼 4 个次级洼陷(图 3), 构成西江主洼“两断三隆”复杂洼陷构造格局。受构造演化的控制, 西江主洼新生代沉积充填经历了“先陆后海”的沉积环境变迁, 裂陷期发育文昌组和恩平组 2 套地层, 以陆相沉积为主, 其中文昌组发育湖相泥岩夹砂岩,

是西江主洼主力烃源岩发育层系; 恩平期整体为河湖三角洲相砂岩, 是重要的储集层发育层段; 拗陷期, 以海相沉积为主, 发育珠海组、珠江组、韩江组、粤海组和万山组等 5 套地层^[12]。文昌期, 湖盆经历了开始沉降—强烈沉降—收缩沉降的裂陷过程。依据典型地震接触关系, 结合钻井资料, 文昌组自下而上可识别出 Tg、T84、T83、T82 和 T80 共 5 个地震反射界面, 自下而上依次将文昌组划分为文六+五段、文四段、文三段、文二+一段, 其中 Tg、T80 界面分别为文昌组顶、底界面, T83 界面为文昌组上段和下段的分界面(图 4)。

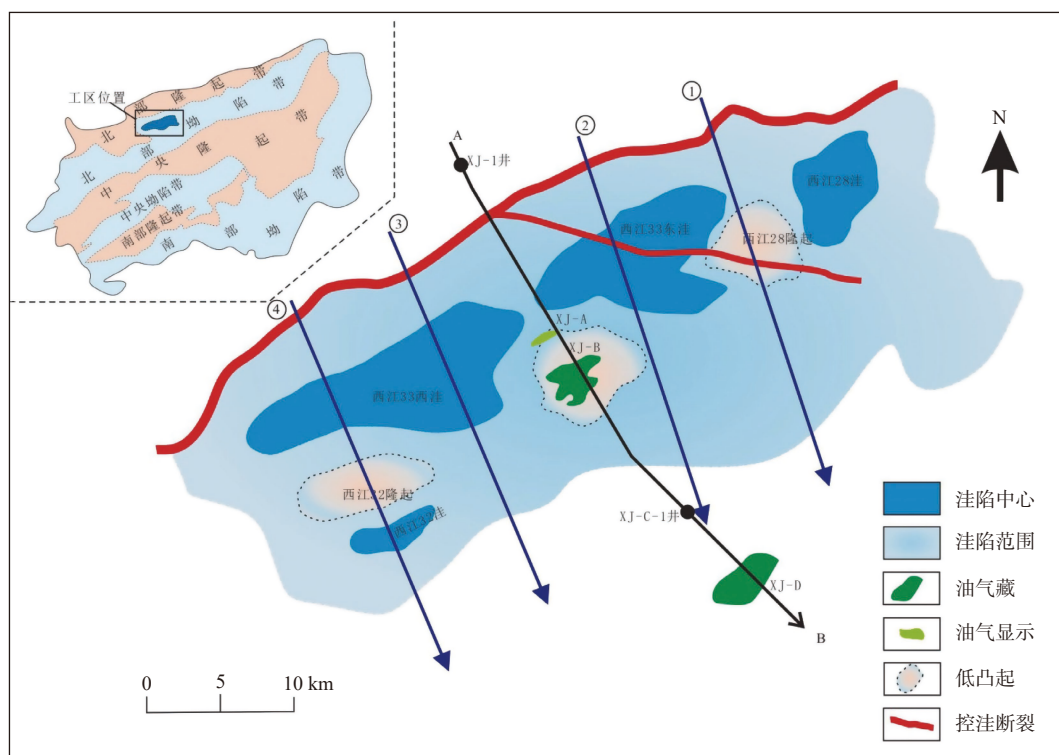


图 3 西江主洼及邻区构造单元划分

Fig.3 Division of tectonic units in the Xijiang Main Sag and its adjacent areas

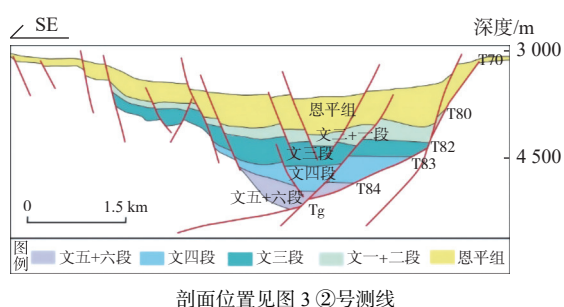


图 4 西江主洼典型地震剖面及地层划分

Fig.4 Typical seismic and stratigraphic division of the Xijiang Main Sag

截至目前, 该洼陷已钻遇 2 个含油构造(XJ-B、XJ-D), 证实该洼陷具备生烃潜力, 但该洼陷无井钻

遇湖盆中心地层, 且洼陷边部钻井也未揭示中深湖相泥岩, 因此, 该区中深湖相源岩分布及其控制下的生烃潜力发育规律, 将直接制约其下一步勘探部署方向。针对上述情况, 本文采用洼陷变迁控烃分析方法与 A-L 曲线半定量评价方法分别对该区的烃源岩规模进行预测与佐证, 以期能准确预测西江主洼生烃潜力分布规律, 进而指导该区油气勘探。

2.2 洼陷变迁控烃分析方法

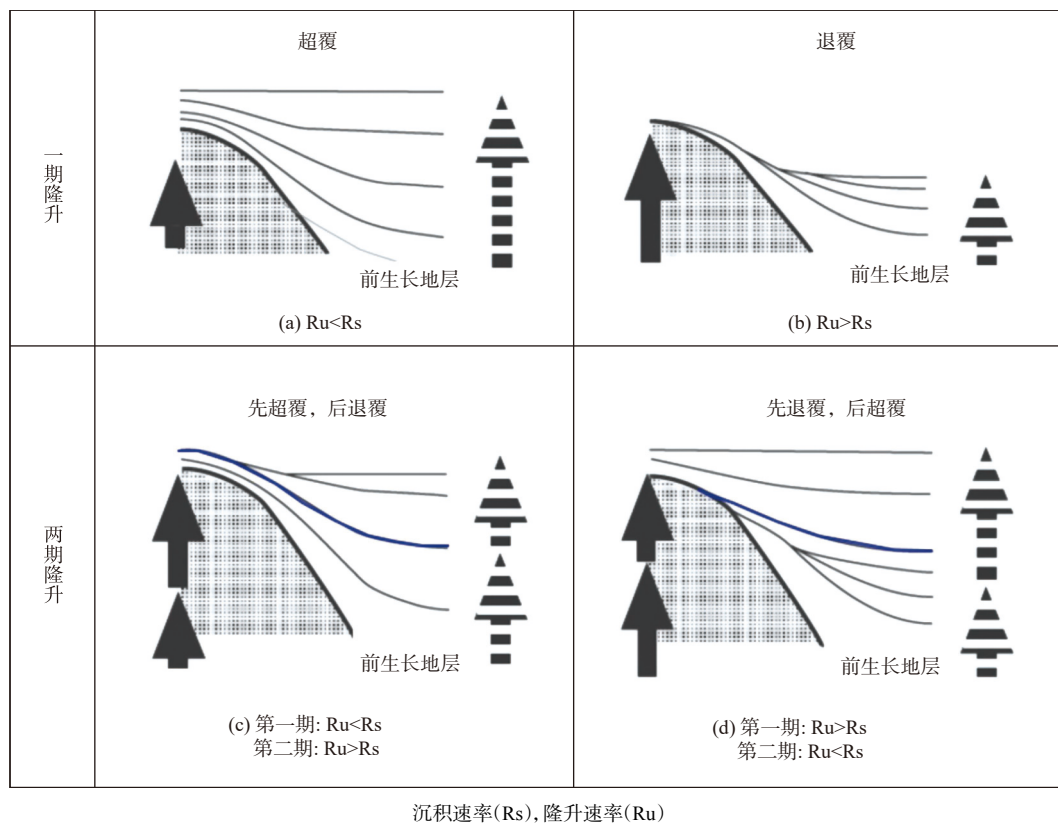
洼陷变迁控烃分析泛指动态分析主控断裂活动、洼内隆及洼陷结构的演变过程, 通过对洼陷内不同结构部位的构造演化过程分析, 明确其构造控

沉积响应特征,为沉积储层及烃源展布分析奠定基础。

2.2.1 隆起定型期识别

根据国内外隆起区野外露头 and 地震剖面特征^[19-20],前生长地层(隆起形成前发育的地层)与生长地层(隆起形成后发育的地层)呈不整合接触关系。据此判识变形的运动学过程:生长地层的底界年龄就是生长褶皱的起始形成年代;生长地层在沉

积过程中可能形成不同层次的超覆或退覆不整合面,可在一定范围内表示一次构造变形的结束,详细分析如下(图5):①一期隆升,当沉积速率 $>$ 隆升速率时,生长地层退覆沉积在前生长地层之上;当沉积速率 $<$ 隆升速率时,生长地层超覆沉积在前生长地层之上(图5);②两期隆升,可以表现为先超覆,后退覆特征,也可以表现为先退覆后超覆特征。



沉积速率(R_s), 隆升速率(R_u)

图5 构造活动幕次划分^[20]

Fig.5 Division of tectonic episodes^[20]

(1) 西江32隆起文昌期经历两期隆升作用,分别为下文昌组末期和上文昌组末期

根据地震资料详细解释,西江主洼西部发育T83和T80两个不整合界面,其中T83界面为洼陷内部发育的文昌组上段与下段分界面,具区域不整合界面性质,该界面之上可见明显地层超覆沉积特征,界面之下发育的下文昌组地层整体抬升并发育岩浆侵入作用,该现象记录了T83界面所代表的下文昌组末期存在一次强烈隆升作用(图6-①);T80界面为区域不整合界面,该界面之下见地层强烈剥蚀特征,界面之上地层具明显超覆沉积特征,表明文昌组末期存在一次强烈隆升作用(图6-②)。

(2) 西江28隆起为基底隆起,文昌组末期经历火山侵入

西江28隆起区周缘在文昌组内部未见不整合反射特征,而地震反射轴与基底界面Tg呈现超覆接触关系,这表明西江28隆起为基底古隆起,且在文昌组沉积过程中具有持续隆升特征(图6-③);西江28隆起区由于岩浆侵入作用,地层及隆起区呈锯齿状接触关系(图6-④),且文一+二段地层局部见明显的火山侵入特征,推断文昌组末期西江28隆起区存在一期火山活动。

2.2.2 西江主洼洼隆变迁特征

在确立西江主洼隆起形成时间的基础上,对西

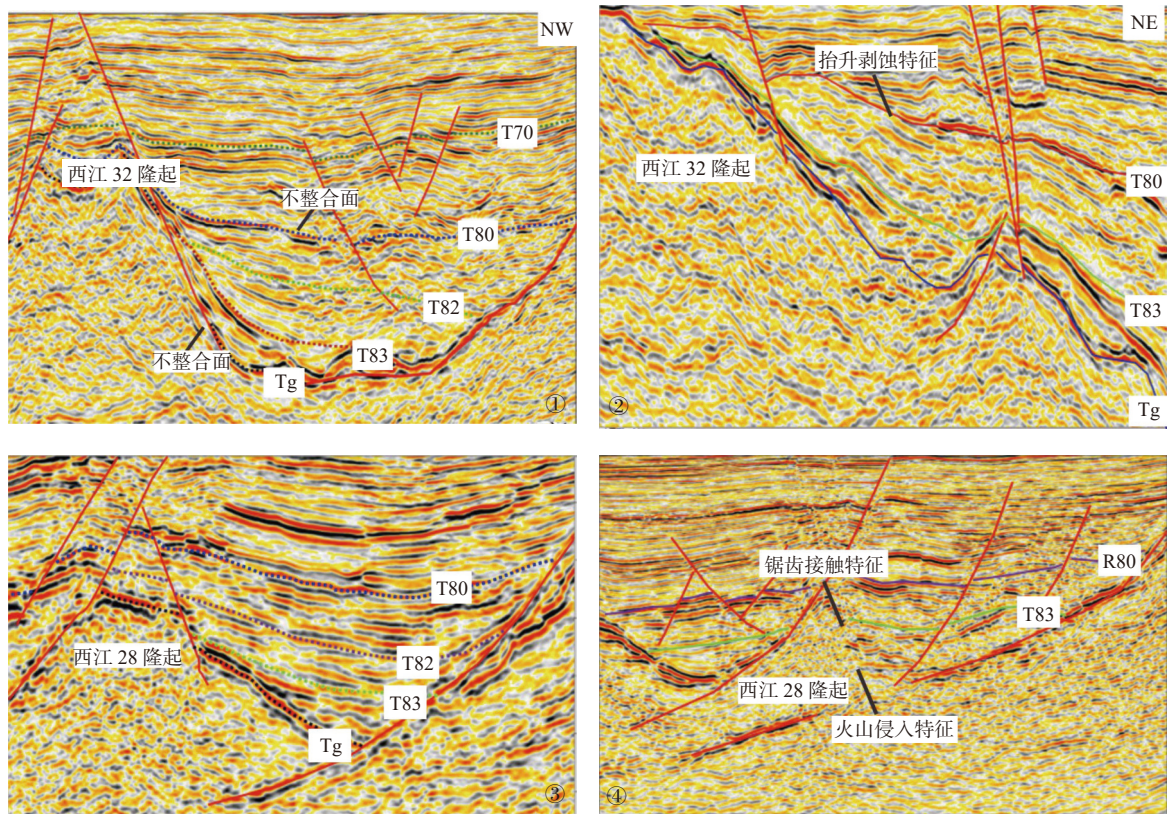


图 6 西江 32 隆起区和西江 28 隆起区地层接触关系

Fig.6 Stratigraphic conformity in the Xijiang 32 Uplift and Xijiang 28 Uplift

江主洼不同剖面结构进行详细分析, 可将西江主洼洼陷结构自东向西划分为 4 类剖面演化结构(图 7):

(1) 旋转多米诺式半地堑 主体由多条同向倾斜的主控断裂控制; 初始断陷期, 西江 28 隆起出露水面, 洼陷结构为多条同向倾斜断裂控制的孤立半地堑; 强烈断陷期早期, 主控断裂强烈活动, 西江 28 隆起发生旋转, 部分出露水面, 强烈断陷期晚期, 主控断裂活动加强, 湖盆水体加深, 西江 28 隆起被完全淹没; 弱断陷期, 主控断裂活动减弱, 此时西江 28 隆起处于水下环境, 西江 28 洼与西江 33 洼水体连片, 但此时水体分布面广, 水位偏浅(图 7-①)。

(2) 典型箕状半地堑 由一条主控断裂控制形成北断南超的箕状半地堑; 初始断陷期, 湖盆水体偏浅; 强烈断陷期, 主控断裂强烈活动, 缓坡带旋转, 水体加深处于欠补偿沉积环境; 弱断陷期, 主控断裂活动减弱, 湖盆范围广, 水体浅(图 7-②)。

(3) 缓坡剥蚀型箕状半地堑 与第②类演化模式相似, 但在文昌组晚期受构造运动的影响, 缓坡带地层遭受强烈剥蚀(图 7-③)。

(4) 隆起改造型箕状半地堑 初始断陷期, 由一条主控断裂控制形成北断南超的箕状半地堑; 强烈断陷期早期即文四段沉积期, 主控断裂活动仍较弱,

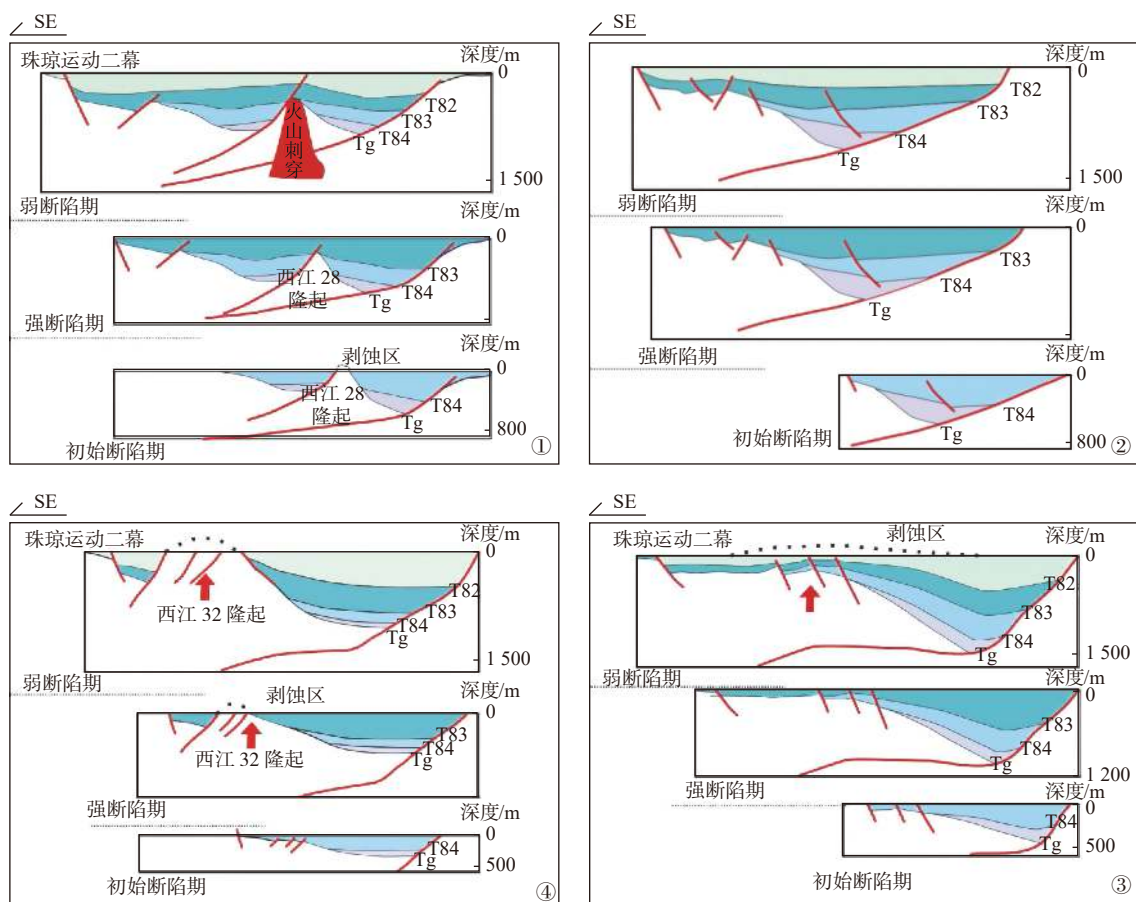
水体偏浅中深湖相不发育; 文四段沉积末期, 西江 32 隆起强烈抬升将西江主洼西部划分为西江 33 西洼和西江 32 洼, 受西江 32 隆起抬升作用和主控断裂强烈活动的影响, 西江 33 西洼呈现湖窄水深的特征; 弱断陷期, 主控断裂活动减弱, 但西江 32 隆起的形成不利于缓坡区物源注入, 水体仍处于欠补偿环境(图 7-④)。

2.2.3 不同次洼烃源规模分析

根据西江主洼 4 类剖面演化结构可将该区划分为 3 类构造-控沉积响应模式, 即旋转多米诺式半地堑、典型箕状半地堑和隆起改造型箕状半地堑(图 8)。根据龚再升等^[21]在研究近海湖盆时指出, 当裂陷期沉降速率在 200~400 m/Ma 时, 湖盆达到鼎盛期利于烃源岩发育。

(1) 旋转多米诺式半地堑 由多条同向倾斜的主控断裂控制, 分布在西江 28 洼和西江 33 东洼东部, 陡坡带在强烈陷早期即文四段沉积期其沉降沉积速率 > 200 m/Ma, 是该区烃源发育有利区。

(2) 典型箕状半地堑 由一条主控断裂控制形成北断南超的箕状半地堑, 分布在西江 33 东洼西部和西江 33 西洼西部; 强烈断陷期即文四段和文三段沉积期, 主控断裂强烈活动, 缓坡带旋转, 此时



剖面位置见图 3-①②③④

图 7 西江主洼洼隆演化模式

Fig.7 The tectonic evolution models of the Xijiang Main Sag

类型	主控机制	分布区域 及强烈陷期沉降速率	强裂陷期前后 结构变化及沉降速率 v 分布	沉积模式
旋转多米诺式 半地堑	多条同向 断裂联控型	西江 33 东洼东部 西江 28 隆起	(B1) 活动前 a b (B2) 活动后 a b $v < 200$ m/Ma $v > 200$ m/Ma 西江 28 隆起	SE NW 滨浅湖 T70 T80 辫状河三角洲 Tg 西江 28 隆起 中深湖相 扇三角洲
典型箕 壮半地堑	单条断裂主控型	西江 33 东洼西部 西江 33 西洼东部	(B1) 活动前 a b (B2) 活动后 a b $v > 200$ m/Ma	SE NW 滨浅湖 T70 T80 辫状河三角洲 Tg 中深湖相 扇三角洲
隆起改 造型半 地堑	断裂与隆起 联控型	西江 33 西洼西部	(B1) 活动前 a b (B2) 活动后 a b $v > 200$ m/Ma 西江 32 隆起	SE NW 滨浅湖 T70 T80 西江 32 隆起 辫状河三角洲 Tg 中深湖相 扇三角洲

图 8 西江主洼洼隆变迁控烃模式

Fig.8 The hydrocarbon-control models in the Xijiang Main Sag

湖盆中心沉降沉积速率 >200 m/Ma, 水体处于欠补偿沉积环境, 利于中深湖相烃源岩发育。

(3) 隆起改造型箕状半地堑 文四段沉积末期, 西江 32 隆起强烈隆升将西江主洼西部划分为西江 33 西洼和西江 32 洼, 受西江 32 隆起隆升作用和主控断裂强烈活动的影响, 西江 33 西洼呈现湖窄水深的特征, 沉降沉积速率 >200 m/Ma, 中深湖相烃源岩发育; 弱断陷期即文一+二段沉积期, 主控断裂

活动减弱, 但西江 32 隆起的形成不利于缓坡带地层物源注入, 水体仍处于欠补偿环境, 发育中深湖相烃源岩。

根据西江主洼文昌组不同区带构造-沉积响应模式, 同时考虑地震相沉积相特征, 分不同沉积时期对其烃源岩分布进行定性识别(图 9d、e、f), 以便与后续 A-L 曲线法半定量预测烃源岩规模(图 9a、b、c)进行对比分析。

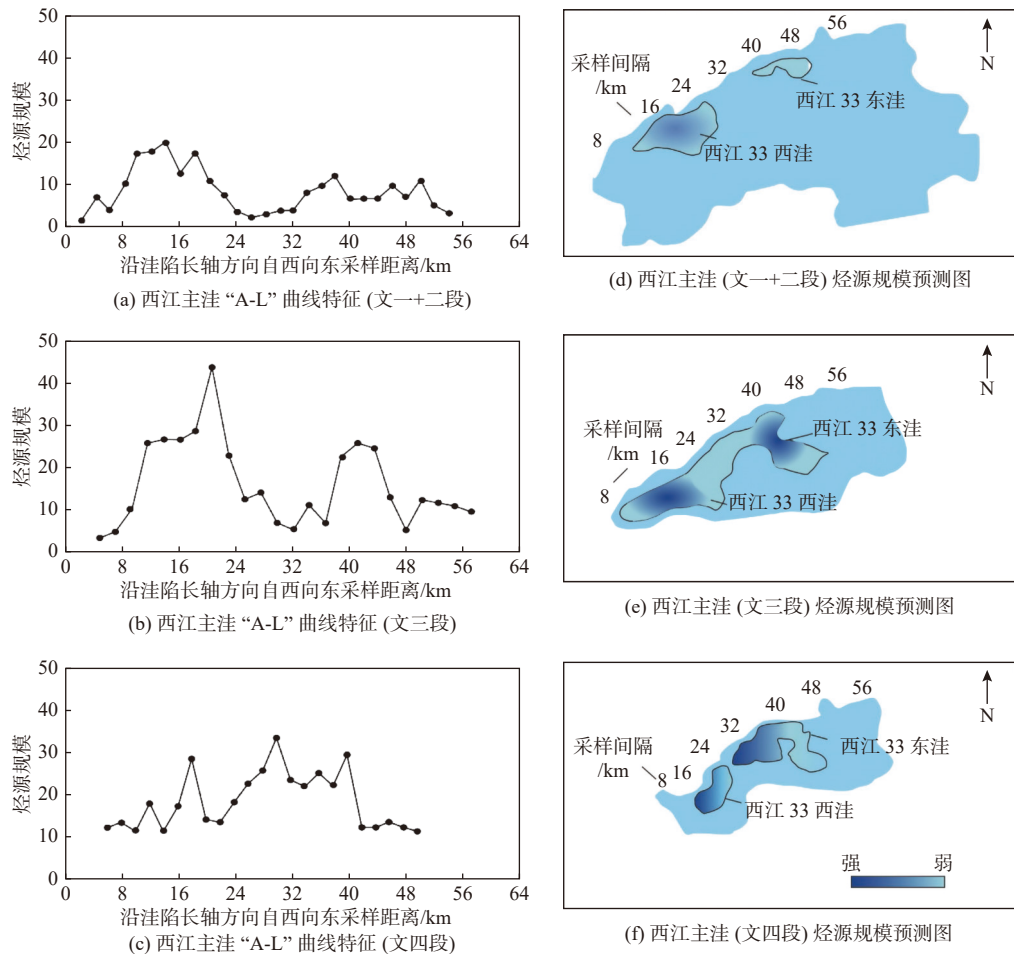


图 9 A-L 曲线法与烃源定性识别结果对比图

Fig.9 Comparison of "A-L" graphs method and qualitative recognition of hydrocarbon sources

2.3 "A-L" 曲线法预测西江主洼烃源规模

在建立 A-L 曲线判识烃源规模划分标准基础上, 对西江主洼的烃源规模进行预测(图 9a-c)。从西江主洼文昌组不同层段 A-L 曲线特征可以看出, 西江主洼文四、文三段及文一+二段均具生烃潜力。文四段沉积期采样距离 16~20 km、24~40 km 烃源规模大, 且西江 33 西洼烃源规模弱于西江 33 东洼; 文三段沉积期, 在采样距离 10~20 km、34~40 km 烃源规模最大, 同时西江 33 西洼烃源规模大

于西江 33 东洼; 文一+二段沉积期烃源规模明显减弱, 但西江 33 西洼仍有局部发育烃源岩。

将西江主洼文昌组不同层段 A-L 曲线特征与上述定性方法识别烃源岩分布特征(图 9d-f)进行对比, 二者具有很好的吻合性。整体而言, 西江主洼烃源规模由下文昌组向上文昌组具有自东向西迁移特征; 纵向上, 不同层段烃源规模具有差异性, 其中文四段西江 33 东洼烃源规模较大, 文三段时期西江 33 东西洼均发育规模烃源岩, 但西洼烃源规模大于东洼, 文一+二段时期西洼仍具一定烃源

规模(图9)。

3 结论

(1)本文以西江主洼为例,从构造差异活动控差异沉积角度定性预测烃源岩的空间分布特征;同时考虑控制沉积期湖盆分布广度和沉积厚度的构造参数,拟合一套计算方法即 A-L 曲线法 $A = \frac{1}{2} h \cdot (h \cdot \cot\alpha + h \cdot \cot\beta) \cdot \sin\theta$ 半定量计算烃源规模随控洼断裂走向的变化趋势。定性与半定量手段相结合,指明西江主洼具有规模烃源岩发育。

(2)整体而言,西江主洼烃源规模由下文昌组向上文昌组具有自东向西迁移特征;纵向上,不同层段烃源规模具有差异性:文四段时期,西江 33 东洼烃源规模较大;文三段时期,西江 33 东西洼均发育规模烃源岩,但西洼烃源规模大于东洼;文一+二段时期,西洼仍具一定烃源规模。

(3)烃源评价是新区勘探的难点和重点,本次研究采用定性分析与半定量化预测相结合的手段,形成一套适用于强改造型洼陷的烃源规模识别技术,可以快速识别新洼陷生烃潜力,提高新区油气勘探成功率。

参考文献:

- [1] 母国妍,钟宁宁,刘宝,等.湖相泥质烃源岩的定量评价方法及其应用[J].石油学报,2010,10(3): 218-226.
- [2] 王建,马顺平,罗强,等.渤海湾盆地饶阳凹陷烃源岩再认识与资源潜力分析[J].石油学报,2009,30(1): 51-55.
- [3] 姜雪,吴克强,刘丽芳,等.构造活动对富生油凹陷烃源岩的定量控制:以中国近海古近系为例[J].石油学报,2014,35(3): 455-461.
- [4] 薛良清.层序地层分析在裂谷盆地油气勘探中的应用[J].石油学报,2000,5(2): 7-11.
- [5] 刘震,常迈,赵阳,等.低勘探程度盆地烃源岩早期预测方法研究[J].地学前缘,2007,14(4): 159-168.
- [6] 吴玉坤,胡明毅,柯岭,等.利用地震相识别优质烃源岩:以辽中凹陷沙三段为例[J].沉积学报,2013,2(8): 366-373.
- [7] 茹克.裂陷盆地的半地堑分析[J].中国海上油气(地质),1990,4(6): 1-10.
- [8] 赵贤正,柳广第,金凤鸣,等.小型断陷湖盆有效烃源岩分布特征与分布模式:以二连盆地地下白垩统为例[J].石油学报,2015,36(6): 641-654.
- [9] 徐思煌,梁浩然,刘晓霞.生烃凹陷资源潜力快速评价新指标:烃源指数[J].地球科学与环境学报,2017,39(2): 238-248.
- [10] 杨伟利,姜在兴,操应长,等.陆相湖盆可容纳空间转换特征[J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),2010,32(2): 11-18.
- [11] 漆家福,夏义平,杨娇.油区构造解析[M].北京:石油工业出版社,2006,4(1): 25-39.
- [12] 施和生,舒誉,杜家元,等.珠江口盆地古近系石油地质[M].北京:地质出版社,2017.
- [13] 梁杰,张向涛,许新明,等.珠江口盆地番禺4洼古近系文昌组构造变形特征及成因机制[J].现代地质,2018,32(4): 750-759.
- [14] REN J, TAMAKI K, LI S, et al. Late Mesozoic and Cenozoic rifting and its dynamic setting in Eastern China and adjacent areas[J]. Tectonophysics, 2002, 344(3/4): 175-205.
- [15] NORTHROP C J, ROYDEN L H, BURCHFIELD B C. Motion of the Pacific plate relative to Eurasia and its potential relation to Cenozoic extrusion along the eastern margin of Eurasia [J]. Geology. 1995, 23(8): 719-722.
- [16] 龚晓峰,何家雄,莫涛,等.珠江口盆地珠一坳陷惠陆油区含油气系统与油气运聚成藏模式[J].天然气地球科学,2015,26(12): 2292-2303.
- [17] 刘培,张向涛,杜家元,等.低地温断陷构造-热演化过程及其石油地质意义:以珠江口盆地西江主洼为例[J].地质科技情报,2018,2(37): 149-156.
- [18] 杜家元,施和生,朱明,等.西江主洼相对低地温条件下油气成藏特征和勘探潜力分析[J].中国海上油气,2008,20(5): 287-292.
- [19] 郭卫星,漆家福.同沉积褶皱生长地层中沉积与构造关系[J].现代地质,2008,22(4): 520-525.
- [20] SUPPE J, CHOU G T, HOOK S C. Rate of folding and faulting determined from growth strata[M]. New York: Chapman & Hall, 1992: 105-122.
- [21] 龚再升,杨甲明.中国近海大油气田[M].北京:石油工业出版社,1997.

Technology of identification for hydrocarbon source and its application in reformed sag: a case study of Xijiang Main Sag

LIANG Jie, LIU Pei, CHEN Weitao, YAO Jiali, TANG Mingming, DONG Xiaoyun

(Shenzhen Branch of CNOOC (China) Ltd., Shenzhen 518054, China)

Abstract: Combing studies in sequence stratigraphy, growth strata, tectonic evolution, denudation transformation, seismic facies, and sedimentary facies, we summarized the technology for identification of hydrocarbon source rock applicable for reformed sags in the case of the Xijiang Main Sag of the Pearl River Mouth Faulted Basin. Based on the growth stratigraphy, tectonic evolution, and erosion history, differential tectonic activities were characterized at different locations of the sag in the sequence framework, on which the spatial distribution of source rocks were qualitatively predicted in perspective of differential tectonics and sedimentation. Meanwhile, considering the structural parameters controlling the distribution breadth and sediment thickness in the half-graben basins, an equation was established to semi-quantitatively calculate the tendency of variation of hydrocarbon source scale vs the strikes of controlling faults. In addition, the results of semi-quantitative calculation and qualitative analysis were compared and testified each other, from which a set of hydrocarbon source identification technology were proposed to evaluate the source rocks in the Xijiang Main Sag, and good results have been achieved.

Key words: reformed sags; source recognition; differential tectonic activity; A-L curve method; Xijiang Main Sag