



引文格式: 李智, 李双建, 张志业, 等. 泌阳凹陷下二门地区生长断层控砂作用研究[J]. 西北地质, 2024, 57(1): 139-150. DOI: 10.12401/j.nwg.2023080

Citation: LI Zhi, LI Shuangjian, ZHANG Zhiye, et al. Study on Sand Bodies Controlled by Growth Faults in Xiaermen Area of Biyang Sag[J]. Northwestern Geology, 2024, 57(1): 139-150. DOI: 10.12401/j.nwg.2023080

## 泌阳凹陷下二门地区生长断层控砂作用研究

李智<sup>1,2</sup>, 李双建<sup>1,2</sup>, 张志业<sup>3</sup>, 王雷<sup>3</sup>, 安艳君<sup>3</sup>, 王雪梅<sup>3</sup>

(1. 中国石化深部地质与资源重点实验室, 北京 102206; 2. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 102206; 3. 中国石化河南油田分公司, 河南 南阳 473400)

**摘要:** 泌阳凹陷下二门地区油气资源丰富, 油藏类型以断层-岩性油气藏为主, 断裂特征与砂体展布的配置关系是该区油气勘探的主控因素。笔者综合 3D 地震、钻测井、岩心资料, 以古近系核桃园组三段 IV 油组 1 小层 ( $Eh_3IV1$ ) 为例, 通过精细构造解析、断层活动性定量分析和砂体展布特征刻画, 从构造活动-沉积响应的角度分析生长断层对辫状河三角洲砂体展布的控制作用。结果表明, 下二门地区主要发育一系列 SW-NE 转近 E-W 走向的北倾生长正断层, 剖面形态呈阶梯状断层组合, 各条断层沿走向活动性差异明显。研究区主要发育侯庄辫状河三角洲前缘亚相和前三角洲亚相, 平面上来自北部的分流河道砂体在断层转换带或同一断层活动性较弱部位易通过, 而在活动性较强部位受到限制或转向。垂向上, 通过活动性较弱区域砂体垂向连续叠置、加厚发育, 通过活动性较强区域砂体垂向间歇分散、减薄发育。该研究可为东部断陷盆地低序级生长断层发育区砂体展布规律认识和断层-岩性油气藏勘探开发提供一定借鉴。

**关键词:** 泌阳凹陷; 下二门地区; 核桃园组; 生长断层; 砂体展布

中图分类号: P618.130.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2024)01-0139-12

### Study on Sand Bodies Controlled by Growth Faults in Xiaermen Area of Biyang Sag

LI Zhi<sup>1,2</sup>, LI Shuangjian<sup>1,2</sup>, ZHANG Zhiye<sup>3</sup>, WANG Lei<sup>3</sup>, AN Yanjun<sup>3</sup>, WANG Xuemei<sup>3</sup>

(1. SINOPEC Key Laboratory of Geology and Resources in Deep Stratum, Beijing 102206, China; 2. SINOPEC Petroleum Exploration and Production Research Institute, Beijing 102206, China; 3. SINOPEC Henan Oilfield Company, Nanyang 473400, Henan, China)

**Abstract:** Xiaermen area of Biyang sag is rich in oil and gas resources. The reservoir type is mainly fault-lithologic reservoir. The configuration relationship between fault characteristics and sand body distribution is the main controlling factor of oil and gas exploration in this area. Based on 3D seismic, drilling, logging and core data, taking the Small layer 1 of IV oil formation in the third member of Paleogene Hetaoyuan Formation ( $Eh_3IV1$ ) as an example, through structure analysis, quantitative analysis of fault activity and characterization of sand body distribution characteristics, this paper analyzes the distribution characteristics of Braided River Delta

收稿日期: 2022-06-17; 修回日期: 2023-01-03; 责任编辑: 姜寒冰

基金项目: 国家自然科学基金企业重点联合基金“盆地深部地质作用过程与资源效应”(U20B6001), 国家自然科学基金企业创新发展联合基金“海相深层油气富集机理与关键工程技术基础研究”(U19B6003)联合资助。

作者简介: 李智(1989-), 男, 博士, 助理研究员, 从事盆地构造解析及石油地质综合研究。E-mail: lizhicug@163.com。

sand body controlled by growth fault from the perspective of tectonic activity sedimentary response. The results show that a series of North dipping growth normal faults with SW-NE turning to E-W strike are mainly developed in Xiaermen area. The profile forms a stepped fault combination, and the activity of each fault is obviously different along the strike. The study area mainly develops Houzhuang braided river delta front subfacies and pre delta subfacies. The underwater distributary channel sand body from the north is easy to pass through the fault transition zone or the weak part of the same fault activity, but is limited or turned in the strong part. Vertically, sand bodies in areas with weak activity are vertically continuously superimposed and thickened, while sand bodies in areas with strong activity are vertically intermittently dispersed and thinned. This study can provide some reference for the understanding of sand body distribution law and exploration & development in the low order growth fault development area of the eastern fault basin.

**Keywords:** Biyang sag; Xiaermen Area; Hetaoyuan formation; growth faults; sand body distribution

生长断层, 又名同沉积断层或同生断层, 是指沉积盆地内随沉积过程长期发育而逐渐“生长”起来的断层(Hardin et al., 1961; Duffy et al., 2015; 窦鲁星等, 2020)。生长断层断面形态在剖面上常呈上陡下缓、凹面向上的铲状; 下降盘地层较上升盘相应地层厚度明显增厚; 断距随深度增加而累积增大。其成因主要与基底断裂活动等构造运动因素和重力滑动、沉积压实等重力因素有关。生长断层规模大小不一, 根据发育位置可分为盆缘生长断层即控凹边界断裂和盆内生长断层即盖层断裂两类。生长断层的分段、分期差异活动对可容纳空间、沉积速率、物源体系类型及展布特征均具控制作用, 是断裂活动与沉积活动同期进行而形成的特殊构造形式, 包含了运动学和沉积学两方面因素, 是探索活动论构造-沉积耦合的理想对象(杨晓利等, 2014; 谢通等, 2015)。在世界范围内, 生长断层主要发育在海相陆缘地区(被动大陆边缘), 而在中国则主要发育在东部断陷盆地内。

前人针对生长断层的特征与分类、次生构造、研究方法、成因和演化机理等方面已开展了大量研究, 在生长断层控制沉积体系发育和砂体展布方面取得了大量成果(王苗等, 2014; 李占东等, 2016; 陈哲等, 2020)。但目前的研究多集中在盆地边缘的控凹边界断裂或盆地内规模较大的二级断裂, 而对盆地内影响水体迁移、古地貌形成和河道砂体展布的大量小规模低序级生长断层则缺少研究。无论是边界断裂还是低序级断裂, 沿走向多具有分段性, 其演化过程多是由多条小断层连接而成, 且断层不同段的发育具差异性, 其对河道砂体流向、叠置关系的控制作用应是一个分段、分区而不断变化的动态过程(Mulrooney et al., 2018; 刘玉虎等, 2020; 李智等, 2020a)。因此, 需要从

低序级生长断层精细刻画、断层活动性定量统计开始, 分析其对砂体展布的控制作用。

笔者以泌阳凹陷下二门地区的3D地震、钻井、测井、岩心资料为基础, 以活动论构造控制沉积展布为指导, 以古近系始新统核桃园组三段IV油组1小层( $Eh_3IV1$ )为研究对象, 井-震结合, 刻画下二门地区断裂展布和构造特征; 通过断层两盘IV油组1小层厚度的精细统计, 定量分析生长断层活动性; 综合岩心、测井资料, 建立 $Eh_3IV1$ 小层各单层沉积模式, 最终分析生长断层对水下分流河道砂体发育展布的控制作用, 对泌阳凹陷老区滚动勘探和探讨复杂断裂发育区生长断层对砂体的控制作用均具有一定借鉴意义。

## 1 区域地质概况

泌阳凹陷是位于秦岭-大别褶皱造山带之上的南襄盆地次级富油气断陷, 面积约为1 000 km<sup>2</sup>, 形态呈南断北超的扇状(李智等, 2020b, 2023)。其南部和东部为桐柏山, 西北部是社旗凸起, 东北部是伏牛山, 西部以唐河低凸起和南阳凹陷相隔(李智等, 2020c, 2022)。下二门地区位于泌阳凹陷南部陡坡带东段, 东临泌阳-栗园边界断裂, 北接泌阳凹陷北部斜坡带, 西部和南部靠近安棚-安店生油中心(图1)。下二门地区整体为一宽缓背斜, 发育一系列SW-NE转W-E向北倾正断层, 延伸距离为1.2~5.0 km, 将其切割形成多个断鼻或断块(图2a)。

下二门地区钻遇地层层序自下而上依次为古近系大仓房组、核桃园组(自下而上划分为核三段、核二段、核一段)、廖庄组, 新近系凤凰镇组和第四系平原组, 含油气层位分布在核桃园组-廖庄组。其中核

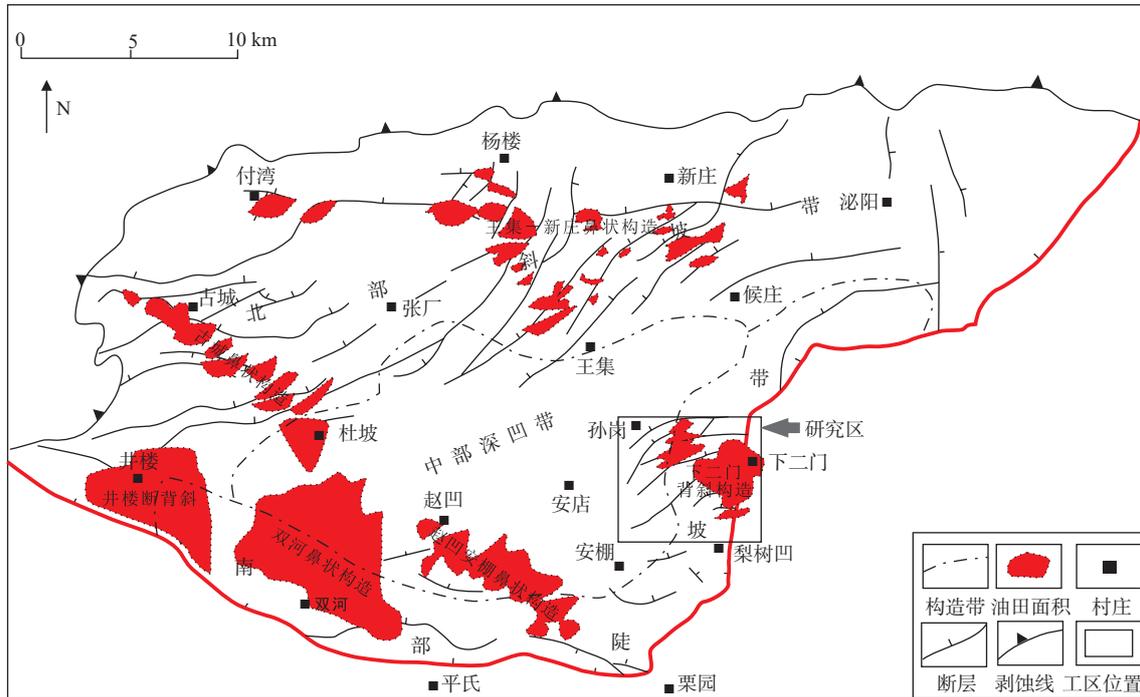


图1 研究区位置图

Fig. 1 Location map of study area

桃园组三段自下而上细分为 9 个油组( $Eh_3IX-Eh_3I$  油组), 岩性主要为含砾砂岩、细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩、白云质砂岩与泥岩、钙质泥岩、泥质白云岩、页岩、油页岩呈不等厚互层。笔者主要研究目的层为核三段IV油组 1 小层( $Eh_3IV1$ ), 其内部又可细分为 6 个单层(图 2b)。下二门地区物源主要来自北部社旗凸起(张建光等, 2011; 李智等, 2020b), 发育自北向南的侯庄辫状河三角洲沉积体系, 区内发育前缘亚相, 其中水下分流河道及前缘席状砂为主要微相类型。

下二门地区具有“前缘砂体控储、断层-岩性控圈、近源聚集控藏”的有利成藏条件, 近年来钻探发现的泌 426、泌 437 和泌 449 等多个高效油气藏均为断层-岩性油气藏, 可见砂体的精细刻画是该区高效滚动勘探的关键。但辫状河三角洲前缘亚相的水下分流河道砂体纵向厚度薄、横向迁移快, 有效储层表征难度大。因此, 从同生断层精细刻画和活动性分析入手, 分析其对河道砂体流向和展布的控制作用, 对该区滚动勘探开发具有重要意义。

## 2 生长断层对砂体展布的控制

### 2.1 生长断层活动性分布

文中使用 2019 年下二门 3D 地震资料高精度成

像处理成果, 地震资料信噪比高、断点清楚、断面清晰可靠, 地震反射波组特征清楚, 可追踪性好。通过对 3D 地震资料精细解释, 时深转换成图, 并利用钻井分层进行了深度校正, 准确落实了该区的断裂系统及局部构造特征, 编制了  $Eh_3IV1$  小层顶面构造图(图 2a)。可见下二门地区自南向北、自西向东逐渐抬升, 西部发育的 NE-SW 向和中东部发育的 SWW-NEE 向和近 E-W 向正断层将研究区切割为多个断鼻、断块。

在低井控地区, 可通过多井时-深转换联合标定  $Eh_3IV1$  小层顶底界面, 全区追踪解释, 通过断层两盘地层厚度关系来识别生长断层。从地震剖面可见, 研究区发育的多条北倾正断层上盘地层厚度均厚于下盘地层厚度, 断层生长特征明显(图 3)。在高井控地区, 也可以通过断层两盘钻井的连井地层对比剖面刻画生长断层并分析其活动性。例如,  $F_{12}$  号断层上盘的泌 160-2 井  $Eh_3IV1$  小层厚度明显大于下盘的泌 200 井, 且各单层亦继承性呈这种特征, 说明  $F_{12}$  号断层在  $Eh_3IV1$  小层沉积期“生长”特征明显(图 4)。

井-震结合开展断层生长特征定性分析的基础上, 在古落差法、断层活动速率法、滑距法和位移-长度关系分析等断层活动性分析方法中(王燮培等, 1990; 李勤英等, 2000; 赵勇等, 2003; 董进等, 2004; 卢异等,

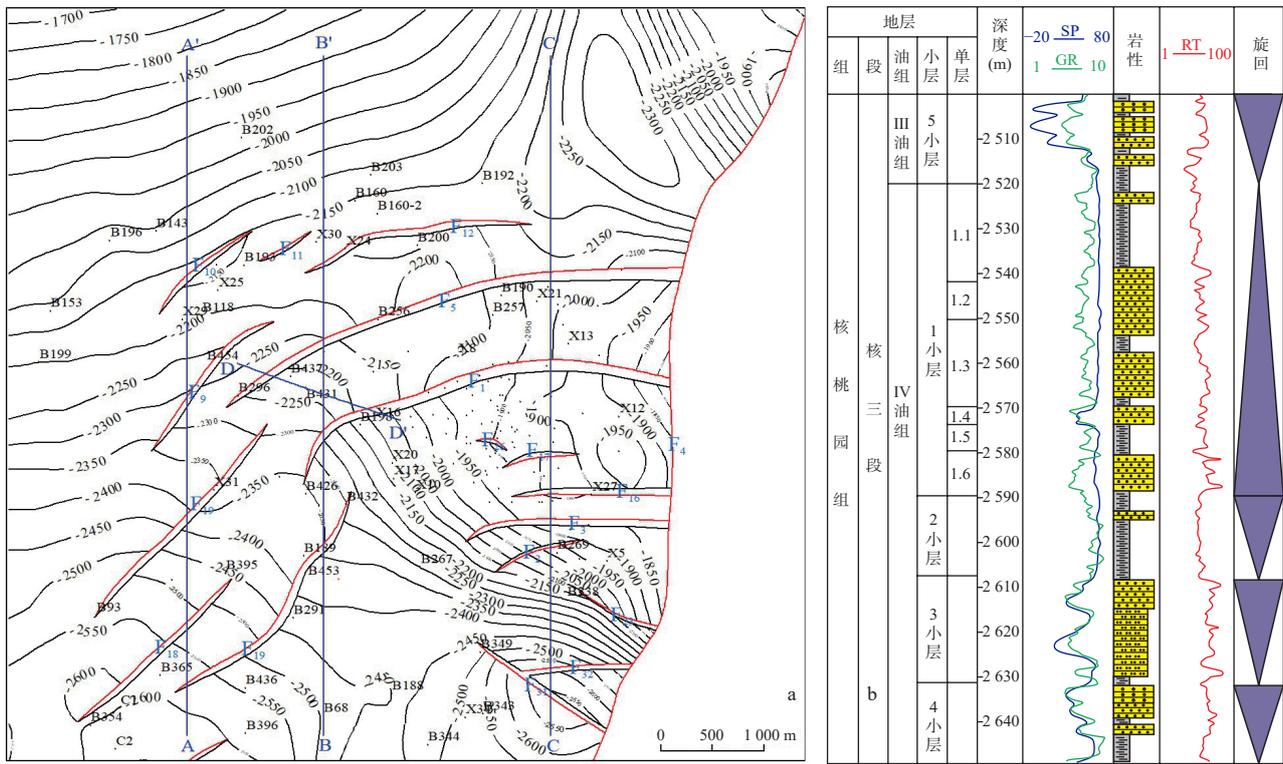


图2 下二门地区断层展布及E<sub>h3</sub>IV 1小层柱状图(泌189井)  
 Fig. 2 Fault distribution and E<sub>h3</sub>IV 1 sublayer histogram in Xiaermen area

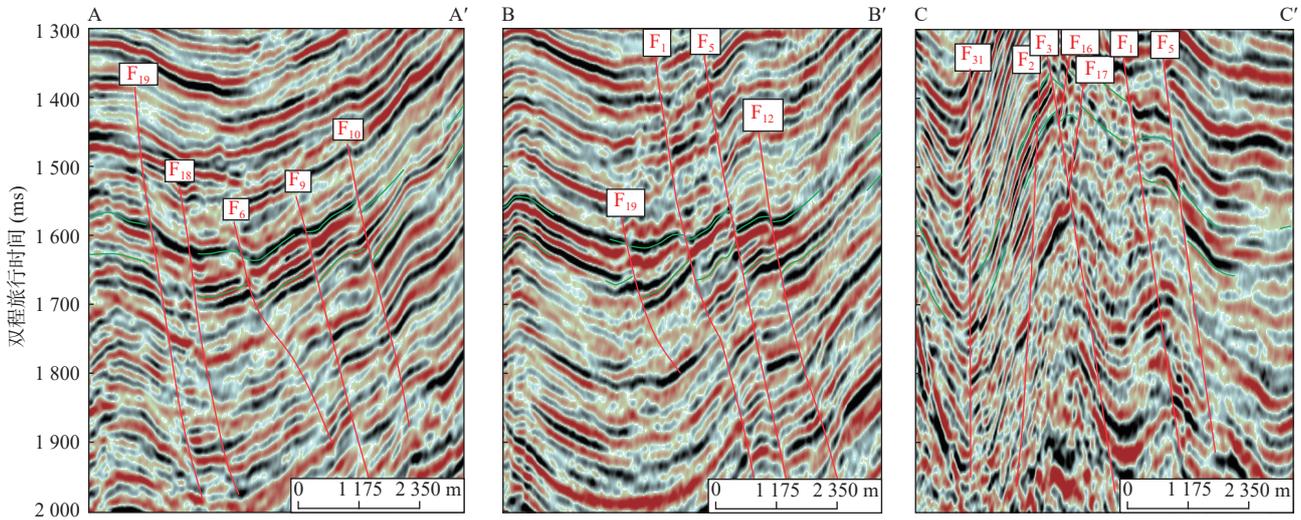


图3 下二门地区过生长断层地震剖面(剖面位置见图2)  
 Fig. 3 Seismic profile of over growth fault in Xiaermen area

2010), 优选生长指数法, 即断层两盘厚度比进行下二门地区生长断层活动性定量分析。通过研究可以看出, 下二门地区主要发育三级和四级生长断层, 断面多北倾, 延伸长度为0.9~4.9 km, 断层落差为10~140 m (表1)。沿断层走向, 可见断层活动性存在分段变化特征, 整体而言下二门地区东部断层活动性较弱, 西部活动性偏强; 同一断层内部活动性也呈现强弱相间

变化趋势(图5)。

### 2.2 沉积微相类型

通过对研究区岩心观察和测井相分析(图6), 并结合前人研究成果认为该区主要发育侯庄辫状河三角洲沉积的前缘亚相和前三三角洲亚相(陈亮等, 2006; 蔡佳等, 2009; 朱筱敏等, 2011; 廖纪佳等, 2012; 董艳蕾等, 2015)。

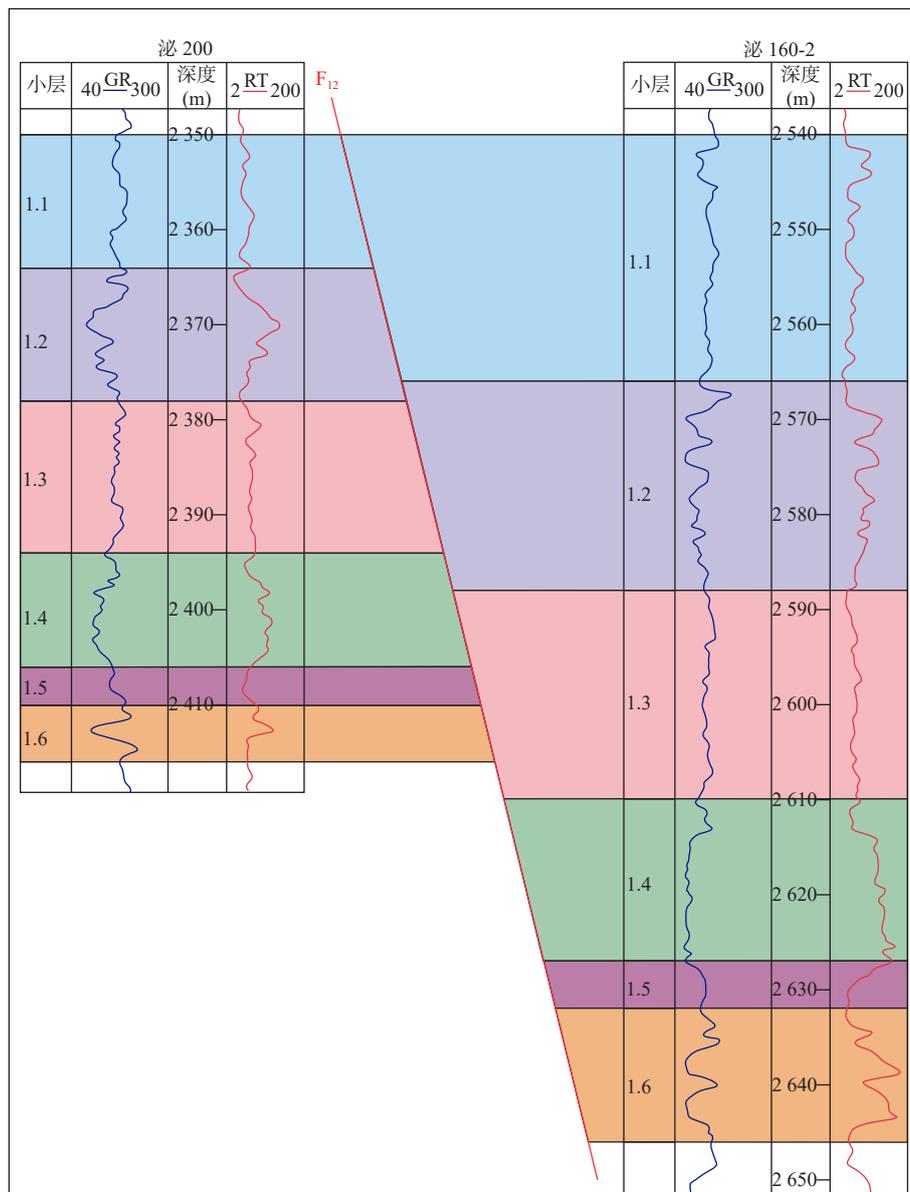


图4 下二门地区过 F<sub>12</sub> 生长断层的连井剖面

Fig. 4 Well connection profile passing through F<sub>12</sub> growth fault in Xiaermen area

表 1 下二门地区 E<sub>h3</sub>IV 油组生长断层要素统计表

Tab. 1 Statistical table of growth fault elements of E<sub>h3</sub>IV in Xiaermen area

序号	断层编号	走向	倾向	延伸长度(km)	古落差(m)	断层级别
1	F <sub>1</sub>	NEE-SWW	NNW	4.4	10~140	III
2	F <sub>5</sub>	NEE-SWW	NNW	4.9	10~120	III
3	F <sub>6</sub>	NE-SW	NW	2.7	10~80	IV
4	F <sub>9</sub>	NE-SW	NW	2.5	10~60	IV
5	F <sub>10</sub>	NE-SW	NW	1.8	10~40	IV
6	F <sub>11</sub>	NE-SW	NW	0.9	10~20	V
7	F <sub>12</sub>	NEE-SWW	NNW	2.9	10~50	IV
8	F <sub>18</sub>	NE-SW	NW	4.3	10~60	IV
9	F <sub>19</sub>	NE-SW	NW	2.8	10~20	IV

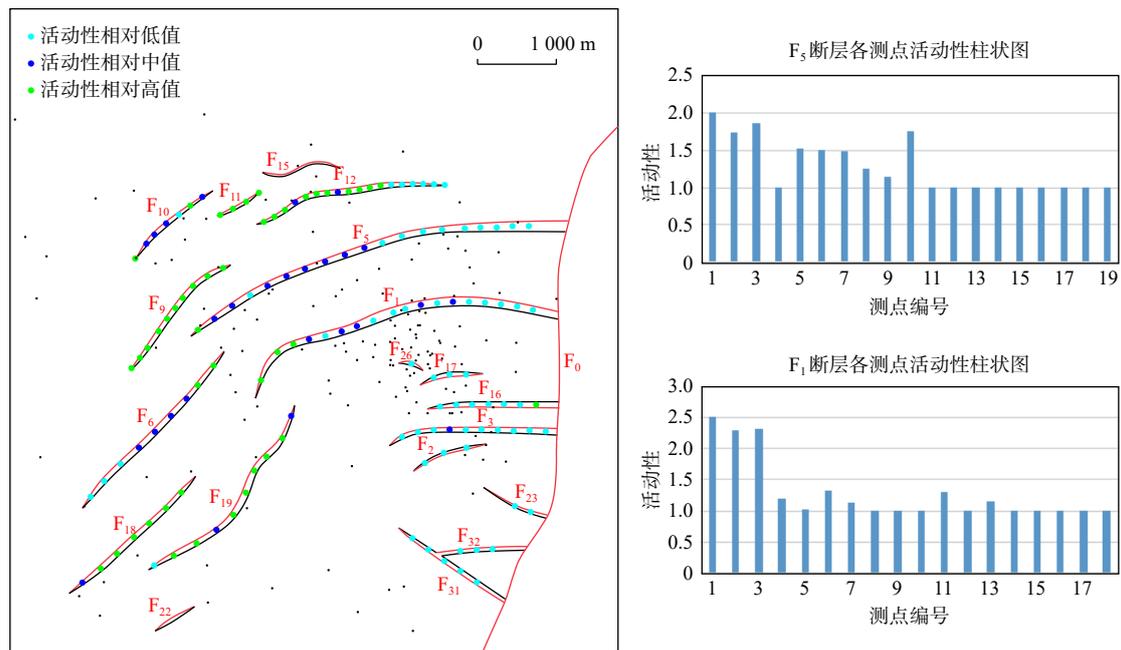


图5 下二门地区  $Eh_3IV1$  小层生长断层活动性定量分布图

Fig. 5 Quantitative distribution map of growth fault activity of  $Eh_3IV1$  in Xiaermen area

辫状河三角洲前缘亚相主要发育水下分流河道、河口坝、前缘席状砂和分流间湾等微相。水下分流河道岩性为中、厚层至块状砾岩、砾质砂岩、砂岩,发育平行层理、交错层理、浪成波痕,底面为凹凸不平冲刷面,颗粒分选中等,磨圆差到中等,自然电位曲线多呈箱状、刺刀状。累计粒度概率曲线主要表现为典型的两段式、一跳一悬加过渡式和高斜多跳一悬加过渡式3种类型(图7)。河口坝岩性为中、厚层细砂岩和粉砂岩,发育交错层理、压扁层理、波状层理、浪成波痕,自然电位曲线呈漏斗形。分流间湾岩性为泥岩、泥质粉砂岩,发育水平层理。

前三角洲亚相岩性为泥岩夹薄层砂岩、粉砂岩,发育水平层理和生物扰动构造,自然电位曲线为低幅度鼓包状或锯齿状。

### 2.3 生长断层控制沉积微相展布规律

在地层细分对比、岩心观察的基础上,采用地震波形指示反演算法开展相控约束反演研究,综合刻画河道砂体展布特征(图8)。以  $Eh_3IV1^6$  单层为例,红色和黄色色调代表水下分流河道砂体发育区,绿色色调代表席状砂发育区,结合单井砂体厚度统计,刻画各单层沉积微相特征。

由于下二门地区主要发育掉向与物源方向相同的北倾正断层,南掉正断层基本不发育。因此,生长断层对砂体的控制作用主要受断层沿走向活动性差

异的影响,具体表现为2个方面(图8、图9)。

(1)在北掉生长断层活动性较弱部位,由于断层南北盘间古地形高差较小,可形成优势水流方向,有利于水下分流河道砂体从此通过。这种情况,河道水流方向及形态变化均不大。例如,在下二门地区东部,生长断层活动性较弱或基本不发育生长断层,则各单层水下分流河道顺直通过断层向南,分流河道砂体流向及形态变化不大。

(2)在北掉生长断层活动性较强部位,由于断层生长活动在下降盘产生相对较低地势,断层两盘古地形落差大,形成低洼区拦截水体流动,导致河道水体方向被偏转,由各断层的软连接部位通过,且生长断层两盘河道砂体厚度和形态差异较大。例如,在下二门地区西部的  $F_{10}$ 、 $F_9$  和  $F_6$  等断层活动性较强,在断层的北盘形成地势相对低洼区,水下分流河道砂体受阻不易通过,其方向只能发生偏转,由各断层的软连接部位通过。由于断层活动性较强导致可容纳空间增大,断层北盘砂体展布方向与断层走向近似平行,且厚度增大。

### 2.4 生长断层对砂体垂向发育的控制作用

通过对过生长断层两盘连井剖面的精细对比可以看出,生长断层对辫状河三角洲前缘砂体垂向发育的控制作用主要表现在砂体叠置样式和砂体厚度变化上(图10)。



a. 块状层理粉细砂岩, 含碳屑, 2 544.19 m; b. 灰色粉砂夹碳屑质粉砂条带, 波纹层理, 2 533.19 m; c. 灰色泥质粉砂与粉砂质泥岩互层, 2 467.53 m; d. 灰色泥质粉砂夹少量粉砂质泥岩, 水平层理, 2 466.93 m; e. 粉砂岩夹灰黑色粉砂质泥岩条带, 含碳屑, 由波纹层理变为滑塌变形构造, 2 540.81 m; f. 含砾粗砂岩, 平行层理, 2 534.79 m; g. 正旋回, 由细砂到含砾粗砂岩, 2 470.03 m; h. 偏红色泥质粉砂夹灰白色钙质粉砂条带, 波状层理, 2 467.75 m; i. 含泥砾及粉砂质泥岩条带细砂岩, 泥砾, 2 477.68 m; j. 灰黑色粉砂质泥岩条带粉砂, 2 542.42 m; k. 灰黑色碳屑质粉砂, 波状层理, 2 532.46 m; l. 灰白色粉砂岩, 含碳屑, 2 474.10 m

图6 下二门地区核三段典型岩心照片

Fig. 6 Typical core photos of Eh3 in Xiaermen area

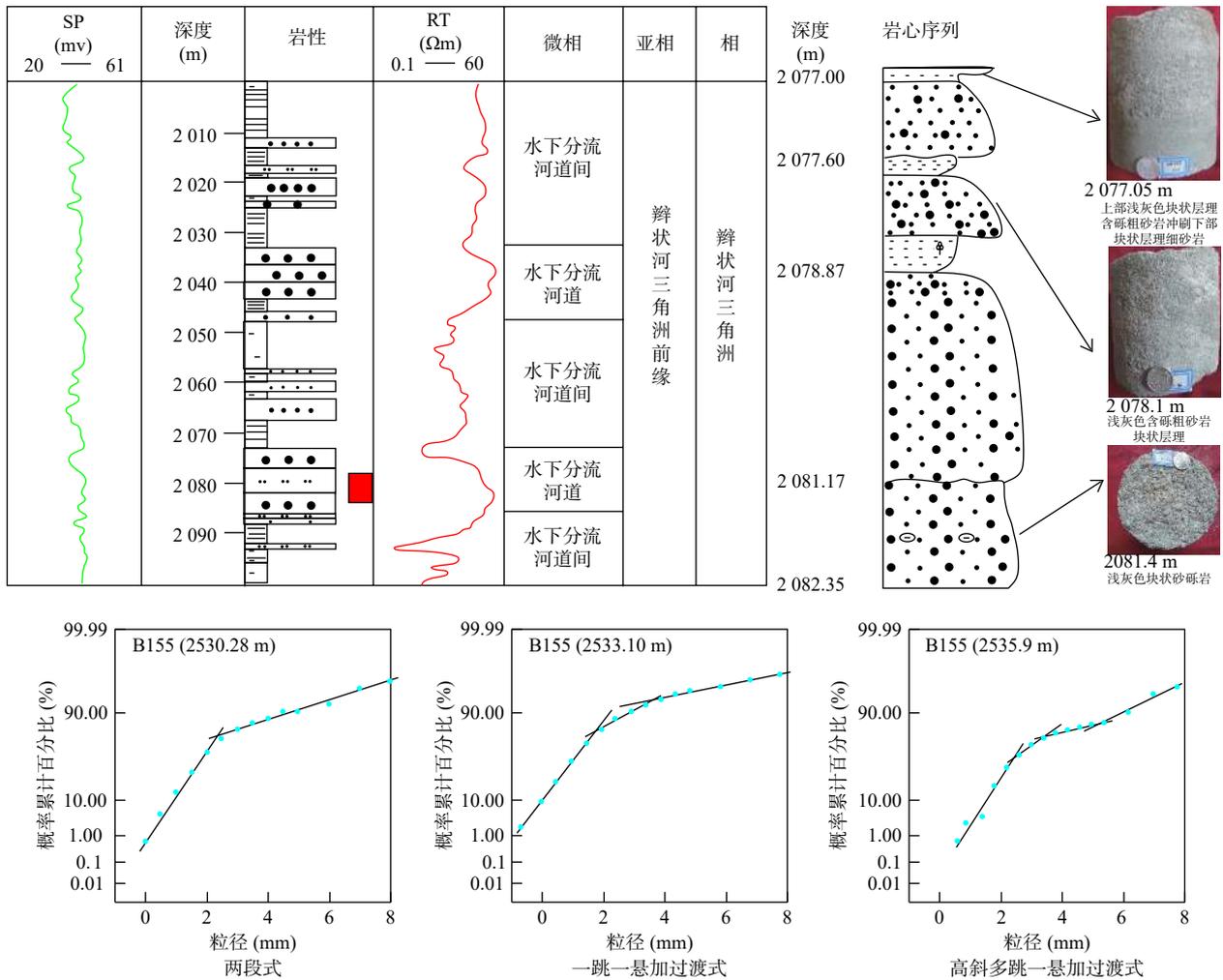


图7 下二门地区单井相图及水下分流河道砂体粒度曲线图(据廖纪佳等, 2012 修改)

Fig. 7 Phase diagram of single well and grain size curve of underwater distributary channel sand body in Xiaermen area

统计生长断层上、下两盘钻井的 E<sub>h3</sub>IV1 小层各单层单砂体个数和累计厚度可知, 生长断层上、下盘差异较大。在断层活动性较弱地区, 下盘可容纳空间略大, 砂体层数增多、厚度加厚。而在断层活动性较强地区, 在断层上盘形成较大可容纳空间, 有利于砂体堆积, 砂体叠置、加厚。例如, 位于活动性较强的 F<sub>5</sub> 断层段上盘的泌 454 井, E<sub>h3</sub>IV1 小层单砂体 16 层, 累计厚度为 39.8 m; 其下盘的泌 431 井 E<sub>h3</sub>IV1 小层单砂体 8 层, 累计厚度为 14.3 m; 过断层砂体间歇分散、厚度减薄。F<sub>1</sub> 断层活动性较弱, 下盘的下 16 井 E<sub>h3</sub>IV1 小层单砂体 9 层, 累计厚度 16.7 m; 相比较 F<sub>1</sub> 断层上盘的泌 431 井砂体叠置发育、厚度增加。

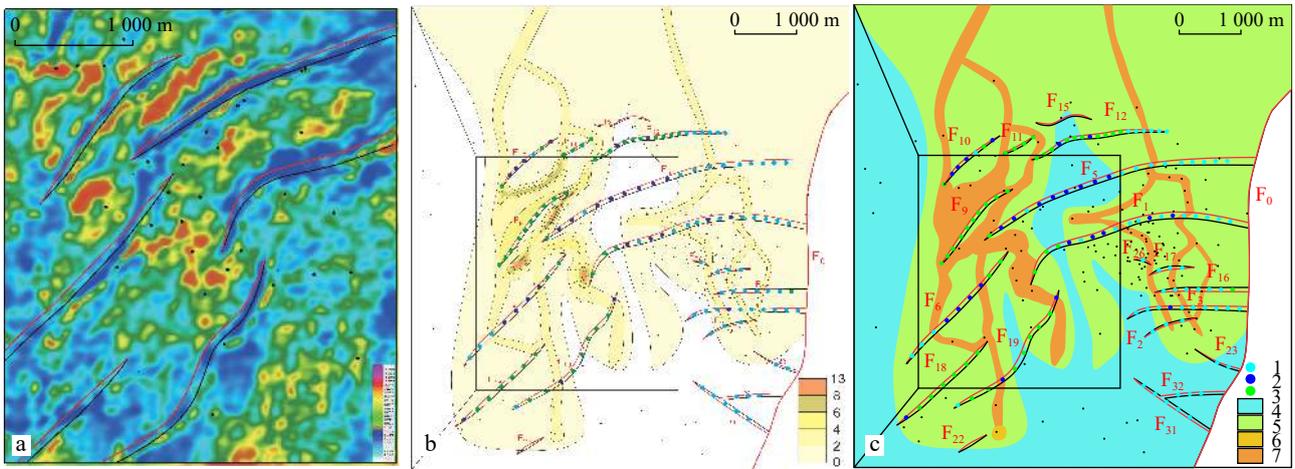
### 3 生长断层控砂模式及意义

综上所述, 对生长断层的精细刻画、断层活动性

统计及其对砂体平面、纵向展布规律的控制作用分析可见, 生长断层对辫状河三角洲前缘分流河道砂体的控制作用明显。下二门地区主要发育断层倾向与物源方向相同的北倾生长断层, 在断层附近水下分流河道砂体形态特征表现为两个方面。

(1) 在多条生长断层的连接部位或同一生长断层活动性较弱部位, 此处上、下盘古地形高差小, 对水下分流河道砂体的阻碍小, 是砂体通过断面的主要部位。相对而言, 其下盘表现为古地势的低点, 有利于通过断面后砂体的汇聚。因此, 这类生长断层相对而言控制砂体平面汇聚和纵向叠合、加厚(图 11a、图 11b)。

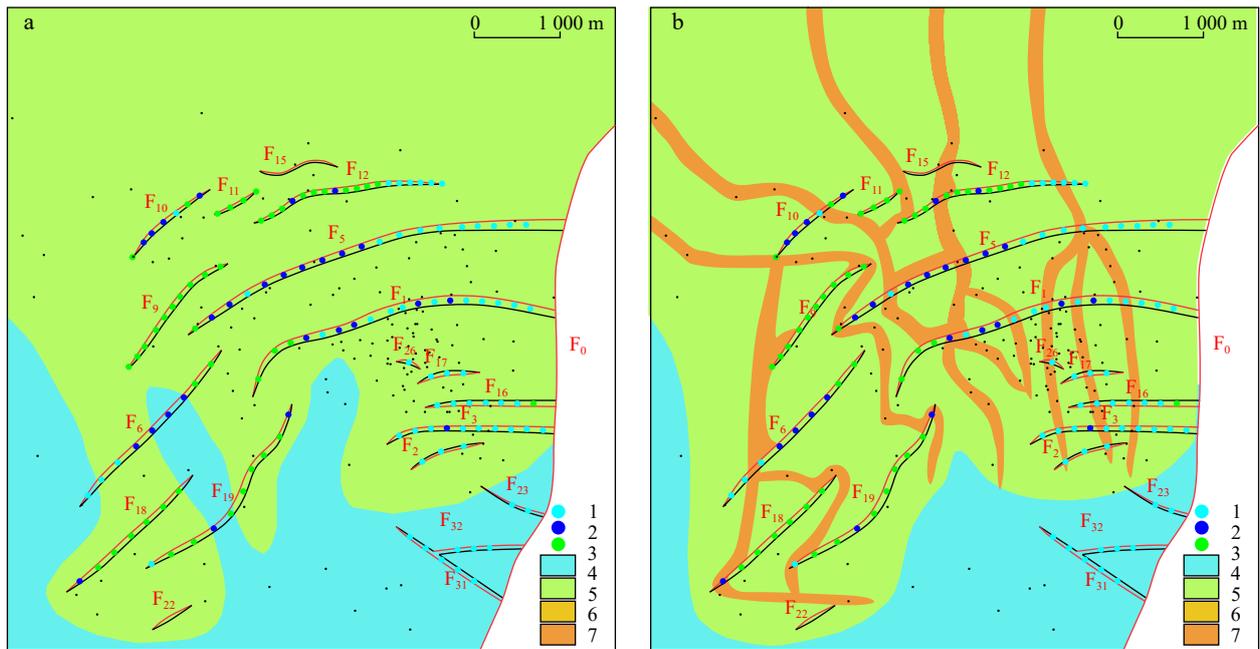
(2) 在生长断层活动性较强部位, 此处上、下盘古地形高差大, 对水下分流河道砂体的阻碍大, 导致砂体不易从该处通过断面。且该处上盘地形相对低洼, 形成较大可容纳空间, 导致水下分流河道砂体偏转、



a.  $E_h_3IV1^6$  单层地震波形指示反演; b.  $E_h_3IV1^6$  单层砂体展布图; c.  $E_h_3IV1^6$  单层沉积微相图; 1. 活动性相对低值; 2. 活动性相对中值; 3. 活动性相对高值; 4. 湖相; 5. 席状砂; 6. 河口坝; 7. 水下分流河道

图8 下二门地区  $E_h_3IV1^6$  单层生长断层控制的砂体展布图

Fig. 8 Sand body distribution controlled by growth fault of  $E_h_3IV1^6$  in Xiaermen area



a.  $E_h_3IV1^1$  单层沉积微相图; b.  $E_h_3IV1^6$  单层沉积微相图; 1. 活动性相对低值; 2. 活动性相对中值; 3. 活动性相对高值; 4. 湖相; 5. 席状砂; 6. 河口坝; 7. 水下分流河道

图9 下二门地区  $E_h_3IV1$  小层沉积微相展布图

Fig. 9 Distribution of sedimentary microfacies of each single layer of  $E_h_3IV1$  in Xiaermen area

转向在此汇聚; 而其下盘地形相对较高, 为古地形高点, 不利于砂体沉积。因此, 在断层活动性较强处由上盘到下盘, 砂体在平面转向和纵向分散、减薄(图 11c)。

综上所述, 建立了下二门地区生长断层控制辫状河三角洲前缘水下分流河道砂体分布的模式(图 12)。与传统的三角洲前缘水下分流河道沉积模式相比, 该

方案综合考虑了在断陷盆地斜坡带普遍发育的大量低序级次生断裂对砂体展布的控制, 分析了生长断层对河道砂体平面和纵向展布的影响, 更具实用性。例如, 在传统的三角洲前缘沉积微相研究中, 水下分流河道砂体均由高到低呈发散状均匀延伸; 而在生长断层控砂模式中, 则综合考虑了断层活动性差异导致的古地形差异对砂体分布的控制作用。活动性差异导

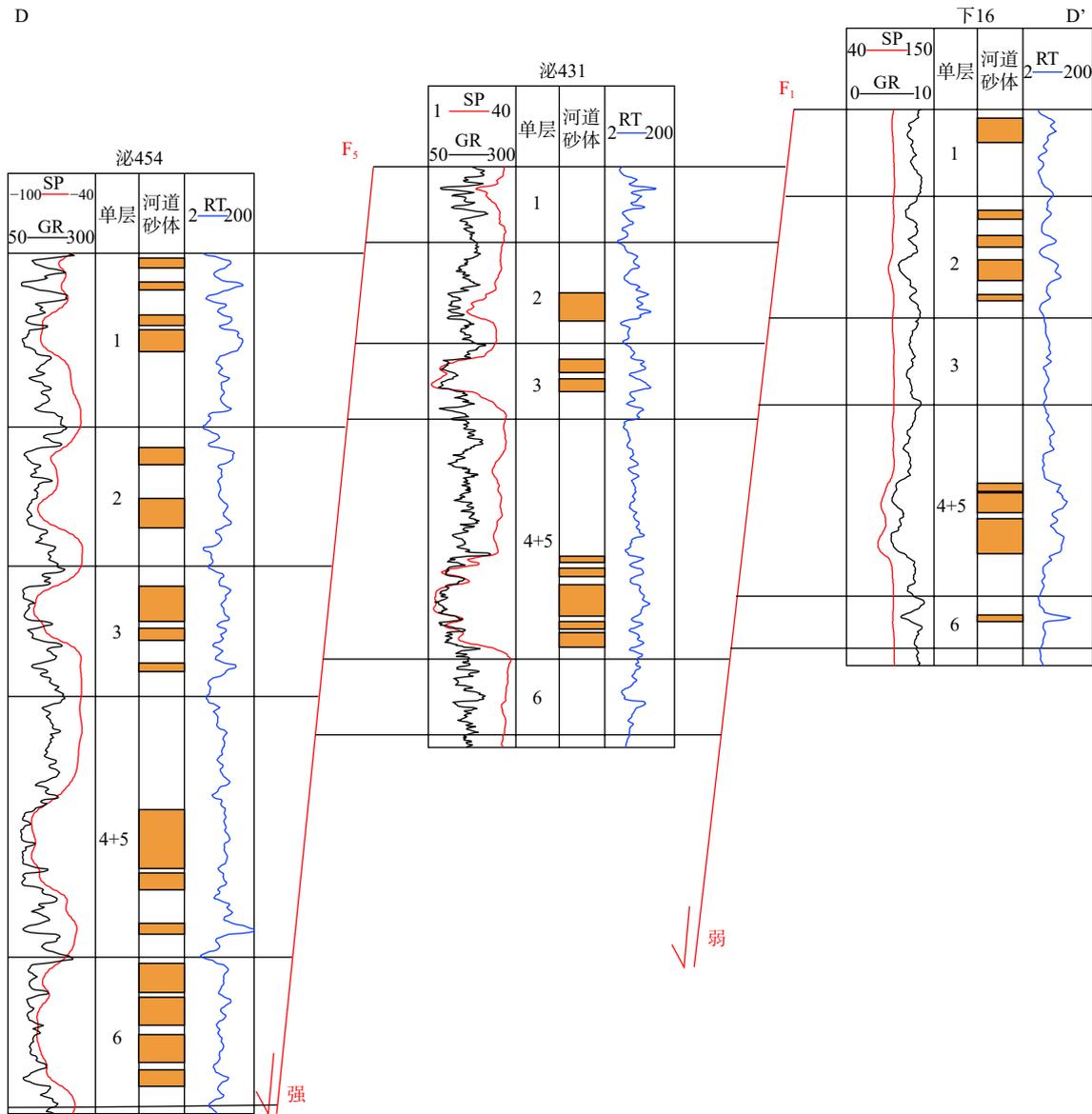
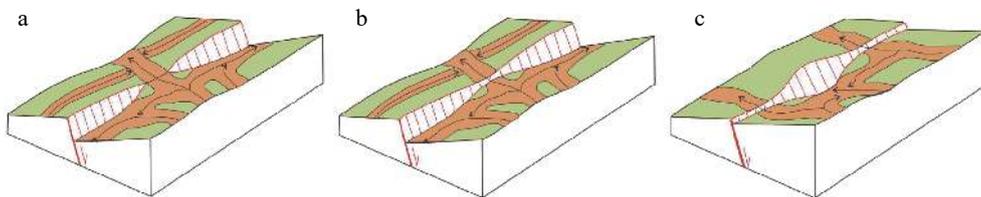


图10 下二门地区过生长断层的连井剖面

Fig. 10 Connecting-well profiles passing through growth faults in the Xiaermen area



a. 多条生长断层连接部位; b. 生长断层活动性较弱部位; c. 生长断层活动性较强部位

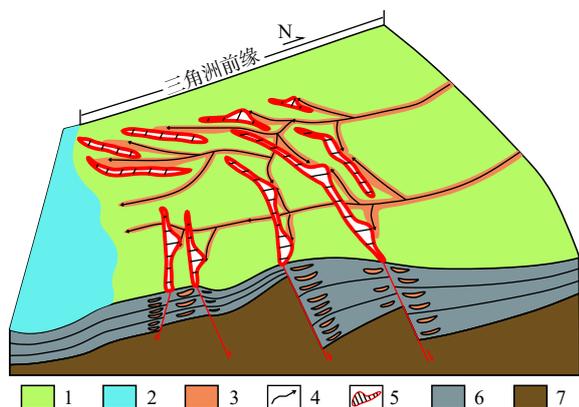
图11 下二门地区河道砂体过生长断层前后样式图(据窦鲁星等, 2020 修改)

Fig. 11 Pattern of channel sand body passing through growth fault in Xiaermen area

致河道砂体在平面易通过断面或在断层上盘转向、汇聚; 纵向上的叠置和厚薄关系也发生变化。

从上述分析可以看出, 在复杂断陷盆地勘探开发过程中, 基于活动论构造-沉积耦合观点的生长断层

控砂模式分析具有重要意义。例如, 下二门地区紧邻泌阳凹陷深凹区, 油源丰富, 生成的油气遇到有效圈闭几乎均可成藏。该地区地形自南向北逐渐抬升。因此, 生长断层的南侧即下盘圈闭类型以断层-岩性



1.三角洲前缘; 2.前三角洲; 3.水下分流河道;  
4.河道流线; 5.断层; 6.沉积盖层; 7.基底

图12 下二门地区生长断层控砂模式图

Fig. 12 Sand control model map of growth fault in Xiaermen area

圈闭和断鼻、断块等构造圈闭为主,那么在断层活动性较弱地区则更易寻找水下分流河道的主河道。而在断层北侧即上盘,河道砂体则更易在断层活动性较强地区汇聚、加厚。因此可见,开展低序级断裂的活动性统计和控砂模式分析,对复杂断块区勘探开发仍具模式意义。

## 4 结论

(1)泌阳凹陷下二门地区  $Eh_3IV1$  小层沉积期主要发育一系列 NE-SW 转近 E-W 走向的北倾生长正断层,剖面形成阶梯状断层组合。整体而言,西部地区断层活动性强,而东部地区较弱,且各条断层沿走向活动性差异明显。

(2)研究区主要发育来自北部的侯庄辫状河三角洲前三角洲亚相和前缘亚相的水下分流河道、前缘席状砂、河口坝和分流间湾等微相。

(3)平面上来自北部的水下分流河道砂体在断层转换带或同一断层活动性较弱部位易通过,而在活动性较强部位受到限制或转向。垂向上,通过活动性较弱区域砂体相对而言在垂向连续叠置、加厚发育,通过活动性较强区域砂体相对而言在垂向间歇分散、减薄发育。

## 参考文献(References):

蔡佳,罗家群,甘华军,等.南襄盆地泌阳凹陷隐蔽油气藏模式与富集规律[J].石油实验地质,2009,31(3):244-248.

CAI Jia, LUO Jiaqun, GAN Huajun, et al. Accumulation pattern and enrichment laws of subtle hydrocarbon reservoirs in Biyang Sag, Nanxiang Basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2009, 31(3): 244-248.

陈亮,王华,韩晋阳,等.泌阳凹陷下二门地区南部核三上亚段层序地层特征及地层-岩性圈闭预测[J].石油勘探与开发,2006,33(1):26-31.

CHEN Liang, WANG Hua, HAN Jinyang, et al. Sequence stratigraphy and stratum-lithology trap prediction of the  $Eh_3$  upper member of Hetaoyuan Formation in south Xia'ermen Oilfield, Biyang Sag[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2006, 33(1): 26-31.

陈哲,张昌民,侯国伟,等.东海陆架盆地西湖凹陷平湖组断层组合样式及其控砂机制[J].石油与天然气地质,2020,31(2):824-837.

CHEN Zhe, ZHANG Changmin, HOU Guowei, et al. Fault distribution patterns and their control on sand bodies in Pinghu Formation of Xihu Sag in East China Sea Shelf Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2020, 31(2): 824-837.

董进,张世红,姜永彪.正断层位移长度关系及其研究意义[J].地质前缘,2004,11(4):575-584.

DONG Jin, ZHANG Shihong, JIANG Yongbiao. The displacement-length relationship of faults and its significance[J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11(4): 575-584.

董艳蕾,朱筱敏,耿晓洁,等.泌阳凹陷东南部桃园组近岸水下扇与扇三角洲沉积特征比较及控制因素分析[J].石油与天然气地质,2015,36(2):271-279.

DONG Yanlei, ZHU Xiaomin, GENG Xiaojie, et al. Sedimentary characteristics comparison and controlling factors analyses of nearshore subaqueous fan and fan delta in the Hetaoyuan Formation of southeastern Biyang Sag[J]. *Oil & Gas Geology*, 2015, 36(2): 271-279.

窦鲁星,候加根,张莉,等.断陷湖盆同生断层发育区三角洲砂体分布模式[J].石油勘探与开发,2020,47(3):534-546.

DOU Luxing, HOU Jiagen, ZHANG Li, et al. Distribution pattern of deltaic sand bodies controlled by syn-depositional faults in a rift lacustrine basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2020, 47(3): 534-546.

李勤英,罗凤芝,苗翠芝.断层活动速率研究方法及应用探讨[J].断块油气田,2000,7(2):15-17.

LI Qinying, LUO Fengzhi, MIAO Cuizhi. Research on fault activity ratio and its application[J]. *Fault-block Oil & Gas Field*, 2000, 7(2): 15-17.

李占东,刘秋宏,李丽,等.同生断裂传递带控砂研究—以海拉尔盆地乌尔逊-贝尔凹陷为例[J].地球物理学进展,2016,31(2):537-544.

LI Zhandong, LIU Qihong, LI Li, et al. Study of the syngenetic fracture transfer zone sand control—take Urxun-Beir depression in Hailar basin for example[J]. *Progress in Geophysics*, 2016, 31(2): 537-544.

李智,岳欣欣,杨云飞,等.泌阳凹陷栗园地区基岩油藏石油地质特征[J].西北地质,2023,56(5):343-350.

LI Zhi, YUE Xinxin, YANG Yunfei, et al. Petroleum Geological Characteristics of Base Rock Pools in Liyuan Area, Biyang De-

- pression[J]. *Northwestern Geology*, 2023, 56(5): 343–350.
- 李智, 张志业, 何登发, 等. 南阳凹陷边界断层三维几何学及运动学特征[J]. *西南石油大学学报(自然科学版)*, 2020a, 42(5): 48–62.
- LI Zhi, ZHANG Zhiye, HE Dengfa, et al. 3D Geometrical and Kinematic Characteristics of the Boundary Fault in Nanyang Depression[J]. *Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition)*, 2020a, 42(5): 48–62.
- 李智, 张志业, 何登发, 等. 南襄盆地泌阳凹陷与南阳凹陷油气地质特征类比及勘探启示[J]. *地质科技通报*, 2020b, 39(2): 74–84.
- LI Zhi, ZHANG Zhiye, HE Dengfa, et al. Comparison in petroleum geology between Biyang Depression and Nanyang Depression in Nanxiang Basin and its exploration significance[J]. *Bulletin of Geological Science and Technology*, 2020b, 39(2): 74–84.
- 李智, 张志业, 何登发, 等. 唐河-栗园-泌阳断层的几何学和运动学特征—兼论桐柏造山带与泌阳凹陷的盆-山关系[J]. *地质科学*, 2020c, 55(3): 921–938.
- LI Zhi, ZHANG Zhiye, HE Dengfa, et al. Geometry and kinematics of the Tanghe-Liyuan-Biyang fault and its implication on the relationship between Tongbai orogenic belt and Biyang Depression[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2020c, 55(3): 921–938.
- 李智, 张志业, 李双建, 等. 南襄盆地地质结构与形成演化[J]. *西北地质*, 2022, 55(2): 116–127.
- LI Zhi, ZHANG Zhiye, LI Shuangjian, et al. Geological Architecture and Tectonic Evolution of Nanxiang Basin[J]. *Northwestern Geology*, 2022, 55(2): 116–127.
- 廖纪佳, 朱筱敏, 董艳蕾, 等. 南襄盆地泌阳凹陷深凹区核三段沉积特征及演化[J]. *地球学报*, 2012, 33(2): 167–175.
- LIAO Jijia, ZHU Xiaomin, DONG Yanlei, et al. Sedimentary Characteristics and Evolution of He-3 Formation in Deep Area of Biyang Sag, Nanxiang Basin[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2012, 33(2): 167–175.
- 刘玉虎, 曹春辉, 李瑞磊, 等. 边界断裂时空差异演化对断陷盆地的控制作用—以松辽盆地南部伏龙泉断陷为例[J]. *地球科学进展*, 2020, 35(1): 79–87.
- LIU Yuhu, CAO Chunhui, LI Ruilei, et al. The control of the spatial and temporal differential evolution of boundary faults on faulted basins—Taking the Fulongquan fault depression in the Southern Songliao Basin as an example[J]. *Advances in Earth Science*, 2020, 35(1): 79–87.
- 卢异, 王书香, 陈松, 等. 一种断裂活动强度计算方法及其应用[J]. *天然气地球科学*, 2010, 21(4): 612–616.
- LU Yi, WANG Shuxiang, CHEN Song, et al. Computing method about intensity of fault activity and its application[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2010, 21(4): 612–616.
- 王苗, 黄传炎, 左宗鑫, 等. 同沉积生长断层的控砂作用研究—以北部湾福山凹陷永安-白莲地区流沙港组一段为例[J]. *石油实验地质*, 2014, 36(2): 194–205.
- WANG Miao, HUANG Chuanyan, ZUO Zongxin, et al. Controls of synsedimentary faults on sedimentary filling of 1st member of Liushagang Formation in Yongan-Bailian areas in Fushan Sag, Beibuwan Basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2014, 36(2): 194–205.
- 王燮培, 费琪, 张家骅. 石油勘探构造分析[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990: 68–78.
- WANG Xiepei, FEI Qi, ZHANG Jiahua. Structural analysis of petroleum exploration[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1990: 68–78.
- 谢通, 黄传炎, 张宏伟, 等. 霸县凹陷断拗转换期同沉积断裂的特征及对砂体的控制作用[J]. *西安石油大学学报(自然科学版)*, 2015, 30(6): 1–9.
- XIE Tong, HUANG Chuanyan, ZHANG Hongwei, et al. Characteristics of syndepositional faults in Baxian Sag and control effects of them on sand bodies in the fault-depression transition period[J]. *Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition)*, 2015, 30(6): 1–9.
- 杨晓利, 张自力, 孙明, 等. 同沉积断层控砂模式—以南堡凹陷南部地区 Es1 段为例[J]. *石油与天然气地质*, 2014, 35(4): 526–533.
- YANG Xiaoli, ZHANG Zili, SUN Ming, et al. Models of contemporaneous fault controlling sandstone deposition: a case study of Es1 in southern Nanpu Sag[J]. *Oil & Gas Geology*, 2014, 35(4): 526–533.
- 张建光, 姚光庆, 陈亚兵, 等. 南襄盆地泌阳凹陷深水湖底扇厘定及碎屑锆石 U-Pb 年代学物源追踪[J]. *地球科学-中国地质大学学报*, 2011, 36(6): 1105–1118.
- ZHANG Jianguang, YAO Guangqing, CHEN Yabing, et al. Sub-Lacustrine Fan of Chengdian and Zircon U-Pb Ages and Constraint on Its Provenance in Biyang Depression, Nanxiang Basin, China[J]. *Earth Science-Journal of China University of Geoscience*, 2011, 36(6): 1105–1118.
- 赵勇, 戴俊生. 应用落差分析研究生长断层[J]. *石油勘探与开发*, 2003, 30(3): 13–15.
- ZHAO Yong, DAI Junsheng. Identification of growth fault by fault fall analysis[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2003, 30(3): 13–15.
- 朱筱敏, 董艳蕾, 胡廷惠, 等. 精细层序地层格架与地震沉积学研究—以泌阳凹陷核桃园组为例[J]. *石油与天然气地质*, 2011, 32(4): 615–624.
- ZHU Xiaomin, DONG Yanlei, HU Tinghui, et al. Seismic sedimentology study of fine sequence stratigraphic framework: a case study of the Hetaoyuan Formation in the Biyang Sag[J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(4): 615–624.
- Duffy O B, Bell R E, Jackson C A L, et al. Fault growth and interactions in a multiphase rift fault network: Horda Platform, Norwegian North Sea[J]. *Journal of Structural Geology*, 2015, 80: 99–119.
- Hardin F R, Hardin G C. Contemporaneous normal faults of gulf coast and their relation to flexures[J]. *AAPG Bulletin*, 1961, 45(2): 238–248.
- Mulrooney M J, Rismyhr B, Yenwongfai H D, et al. Impacts of small-scale faults on continental to coastal plain deposition: Evidence from the Realgrunnen Subgroup in the Goliat field, southwest Barents Sea, Norway[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2018, 95: 276–302.