

曾晓华,周伟,肖大志,等. 北部湾盆地涠西南凹陷 W 区流沙港组储层非均质性研究及应用[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(3): 50-59.

# 北部湾盆地涠西南凹陷 W 区流沙港组 储层非均质性研究及应用

曾晓华,周伟,肖大志,袁凌荣,张晓禹,李伟

(中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 广东湛江 524057)

**摘要:** 基于沉积微相研究和测井精细解释数据统计分析,开展了涠西南凹陷 W 区古近系始新统流沙港组储层非均质性研究。W 区储层为流一段和流三段,沉积微相研究表明,流沙港组主要为正常三角洲相和扇三角洲相沉积。储层夹层岩性主要为泥岩、粉砂质泥岩,主要成因为分流水道间、水下分流河道与砂坝、砂坝与砂坝、辫流坝与辫状水道、辫状水道间的泥质沉积物。非均质性研究以沉积微相为基础进行,通过比较不同沉积微相的非均质性差别,分析储层的空间物性变化。非均质性研究表明,WA 油田流一段夹层厚度 $>5$  m 的占 51.4%,单层夹层层数 $>5$  个的占 27.4%,变异系数平均值 $>1.2$ ,整体上非均质性很强;WB 油田流三段夹层分布均匀,东南部平面非均质性弱,西北部平面非均质性强;WC 和 WD 油田流三段整体上夹层多,但平面非均质性弱。依据非均质研究成果,对密井网的 WA 油田主力层进行了剩余油分布预测,并部署了 2 口调整井挖潜,实施后累增油 $4.2\times 10^4$  t,采收率提高了 2.3%。表明储层夹层分布和平面非均质性研究可以为油田剩余油挖潜提供依据,对油田高效开发具有重要意义。

**关键词:** 储层非均质性;正常三角洲沉积;扇三角洲沉积;夹层;平面非均质性

中图分类号:P618.13;P744.4

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2020.181

## 0 引言

北部湾盆地是中国南海最重要的含油气盆地之一,对于北部湾盆地涠西南凹陷流沙港组储层研究较多<sup>[1-5]</sup>,但没有针对 W 区古近系始新统流沙港组储层非均质性的专项研究成果。为更好地表征储层在不同层次属性的变化规律和分布特点,为提高油田开发效益,对油田开展储层非均质研究非常必要。储层非均质性作为储层最重要的属性之一,在研究中一直是工作的焦点<sup>[6-10]</sup>,目前有地质成因分析、实验研究、地质统计学、测井解释、地震预测、数值模拟和生产动态分析等方法<sup>[11-17]</sup>。本次研究主要利用测井精细解释数据,结合沉积微相和岩性

特征,对 W 区古近系始新统流沙港组储层非均质性进行系统分析,以期为整个涠西南凹陷流沙港组有利储层预测、剩余油挖潜和开发井网设计提供参考。

## 1 地质概况

北部湾盆地以海南隆起与琼东南盆地相隔,盆地的外部轮廓近 EW 向,主体部分在北部湾海域之中,向东延伸到海南岛北部和雷州半岛,是一个在古生代基底上发展起来的新生代拉张盆地。涠西南凹陷位于北部湾盆地北部坳陷带的北部(图 1)。研究区 W 区位于涠西南凹陷的中部,目前在古近系始新统流沙港组勘探发现了 WA、WB、WC、WD 4 个油田,其中 WA 和 WB 油田已经建平台开采。

涠西南凹陷古近系沉积受区域构造活动的控制,具有多次裂陷和伸展特征<sup>[18]</sup>。第 1 次发生于晚白垩世末—始新世早期,为初始阶段,主要形成小型陆相半地堑和地堑群,以红色碎屑岩沉积为主,发

收稿日期:2020-11-18

资助项目:中海油(中国)有限公司科技项目(CNOOC-KJ 135 ZDXM 38 ZJ 01 ZJ)

作者简介:曾晓华(1982—),女,硕士,工程师,主要从事油气田开发地质方面的研究工作。E-mail:zengxh1@cnooc.com.cn

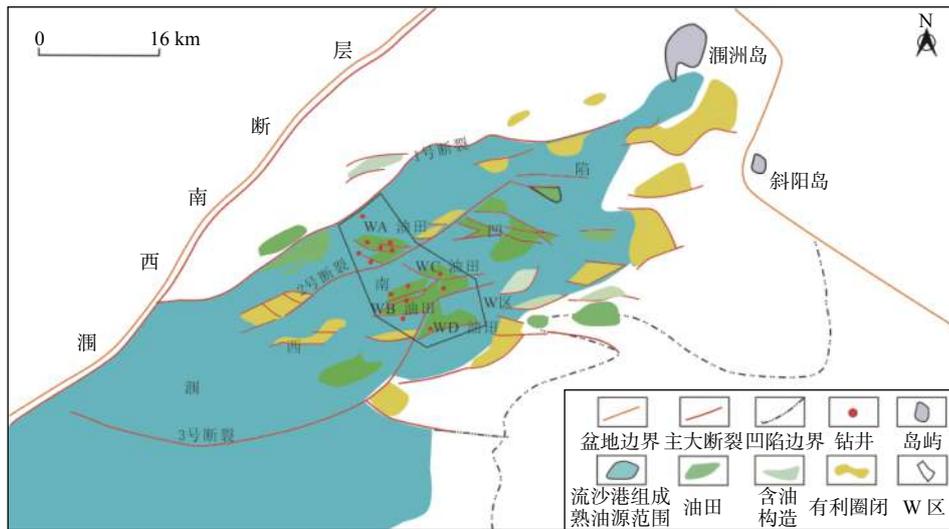


图 1 北部湾盆地涠西南凹陷位置与构造样式

Fig.1 Location and tectonic pattern of Weizhou Southwest Depression in Beibu Gulf Basin

育长流组;第 2 次分两部分,始新世中晚期为快速沉降期,基底沉降大,形成较深湖环境,发育流沙港组。始新世—渐新世为稳定沉降期,沉积与沉降均衡,水体变浅,发育滨浅湖相,发育涠洲组;第 3 次裂陷发生于晚渐新世。

流沙港组是本次研究的主要层系,自上而下可划分为流一段(简称 L1)、流二段(简称 L2)和流三段(简称 L3)。其中流一段是主力油藏发育层段,流二段发育大套泥页岩,为优质烃源岩生油层段,流三段上部为厚层岩页岩,下部砂体发育,为良好的油气储集层<sup>[19]</sup>。

本次研究的 W 区处在涠西南凹陷中部,包括 WA、WB、WC、WD 4 个油田(图 1),研究储层段为 L1 和 L3,依据全区高分辨率层序地层格架、地震追踪、测井曲线和旋回对比将 L1 分为 L1 上、L1 中、L1 下 3 部分,并在中期旋回基础上将 L1 上进一步细分为 L1 上-I、L1 上-II 油组,L1 中细分为 L1 中-I、L1 中-II、L1 中-III、L1 中-IV 油组,L1 下细分为 L1 下-I、L1 下-II、L1 下-III 油组;L3 细分为 L3-I、L3-II、L3-III A、L3-III B、L3-IV 油组(图 2)。本次研究主要针对 WA 油田 L1 中-II 油组、WC、WD 油田 L1 下-II、WB 油田 L3-III A 油组和 WC、WD 油田 L3-II 油组的 4 个重点生产层进行。

## 2 沉积微相特征

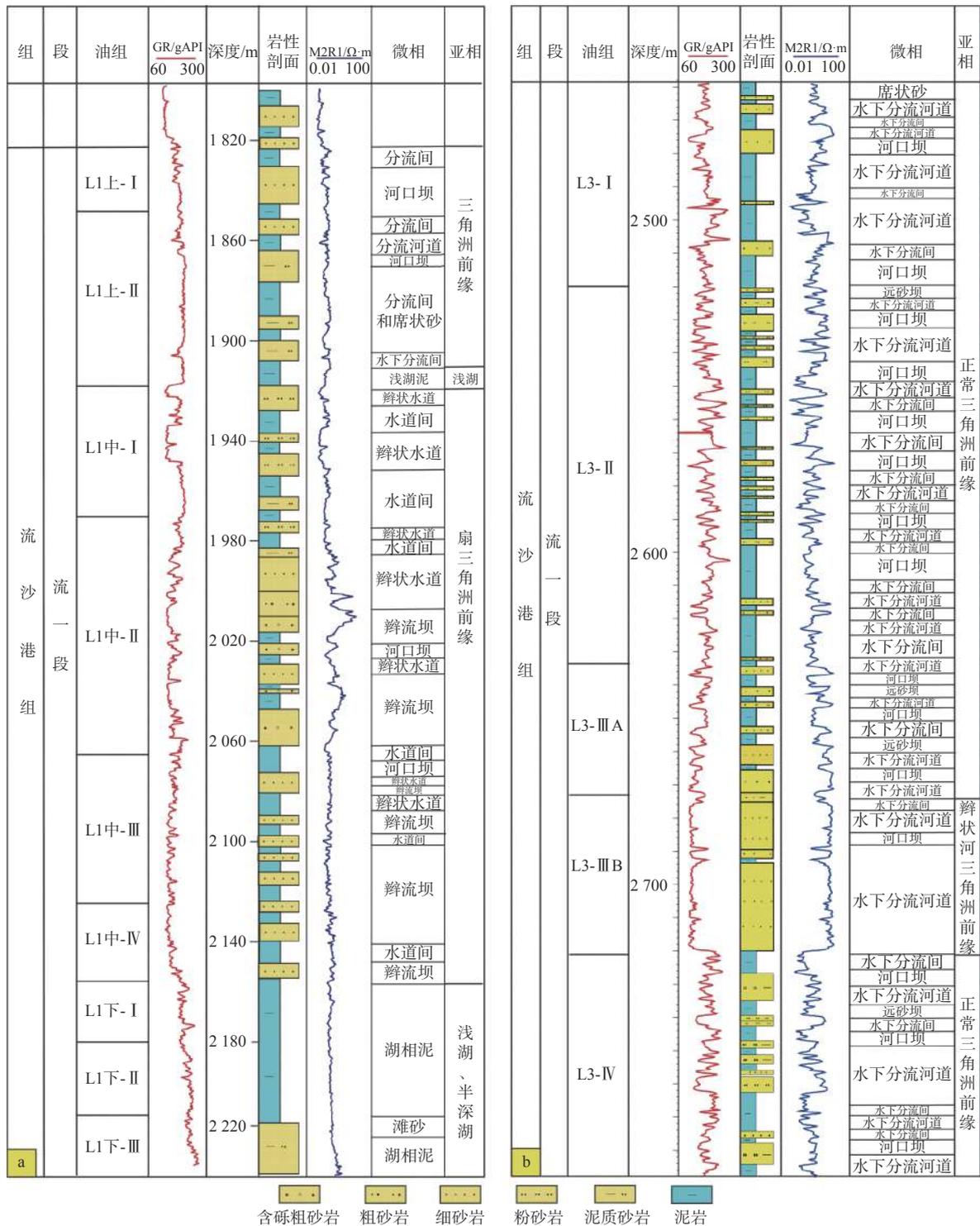
从岩心精细描述出发,结合钻井、测井资料分析,再进行单井微相划分,最后进行剖面与平面的

微相划分与确定。对 W 区 WA 油田 3 口井 L1 中取心段、WC 油田 2 井 L1 上取心段、WC 与 WD 油田 L1 下 4 口井取心段和 WB、WC 和 WD 油田 L3 段共 5 口取心井,共 20 取心井取心段进行精细观察与描述,为 W 区流沙港组沉积微相的识别提供了可靠的依据。

依据单井岩心岩性和沉积构造的精细描述,对 W 区流一段和流三段 20 口取心井取心段沉积特征和测井曲线特征进行了分析,建立了 W 区流一段和流三段的典型测井相模板,并对 W 区流沙港组 L1 和 L3 的沉积微相进行了详细划分(图 2)。

WA 与 WC 油田 L1 上、WB 油田 L3 段主要发育正常三角洲和滨浅湖相,主要沉积微相为水下分流河道、河口坝、远砂坝、席状砂、水下分流间和浅湖泥。①水下分流河道:GR 曲线为中型中幅微齿状钟形和箱型,底部突变顶部渐变;②河口坝:GR 曲线为典型的微齿中幅漏斗形,顶部突变底部渐变,反韵律;③远砂坝:垂向上位于河口坝之下,GR 曲线为小型微齿略低幅漏斗型;④席状砂:GR 曲线为低幅、齿化指状,无明显韵律,为泥包砂的特征;⑤水下分流间:GR 曲线为低幅微齿线型,多以泥岩为主,可见砂质条带等(图 2)。

WA 油田 L1 中、WC 和 WD 油田的 L1 下和 L3 段为扇三角洲相,主要沉积微相有辫状河道、辫流坝、河口坝、水道间和席状砂沉积。①辫状水道:GR 曲线为中—高幅锯齿钟形,顶渐变底突变;②辫流坝:GR 曲线为中—高幅箱形或微齿箱形,顶、底部均为突变接触;③分支水道:GR 曲线上为中幅锯齿钟形,顶部渐变底部突变;④河口坝:GR 曲线为中



(a) WA 油田 2 井流一段沉积微相图; (b) WB 油田 2 井流三段沉积微相模板

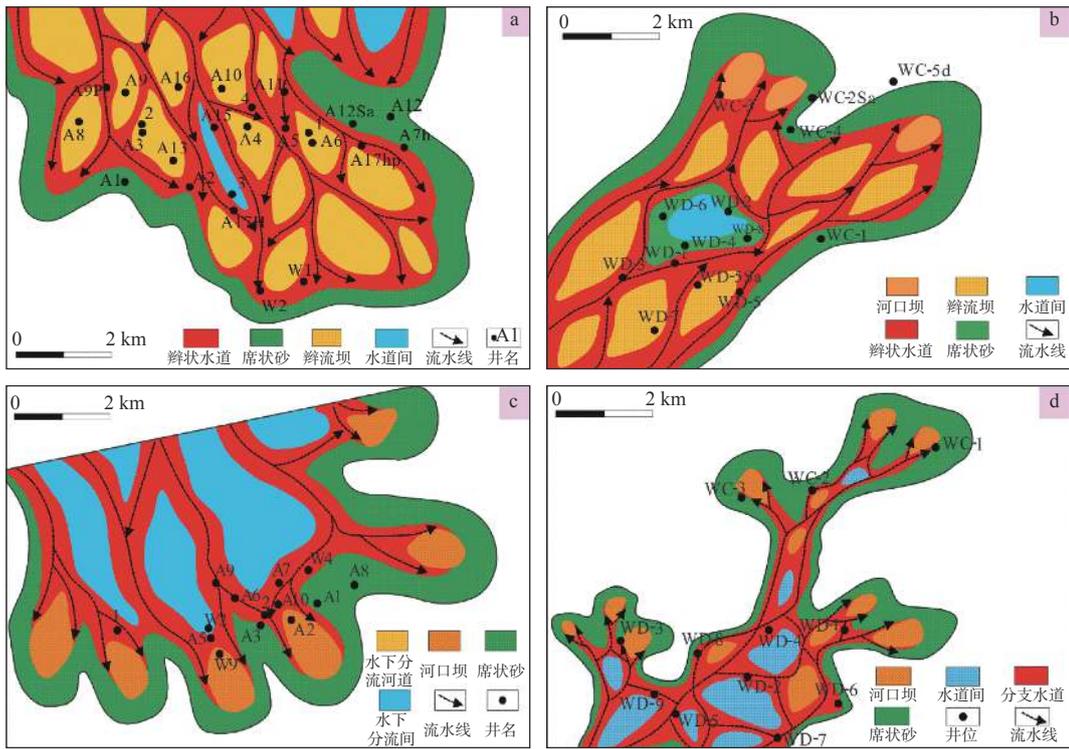
图 2 研究区流一段和流三段单井沉积微相图

Fig.2 Single-well sedimentary microfacies diagram of the Member 1 and 3 of Liushagang Formation in the study area

高幅漏斗形,顶部突变底部渐变,反粒序;⑤席状砂: GR 曲线为低幅、微齿指形,顶、底部与泥岩呈突变接触,厚度较薄;⑥水道间: GR 曲线值在泥岩基线附近,低幅、微齿,相对较为平滑(图 2)。

在层序划分的基础上,结合单井相、剖面相分

析和各井各小层砂岩厚度统计结果,并参考地震属性特征,精细刻画出了油田 WA 油田 L1 中-II、WC 和 WD 油田 L1 下-II、WB 油田 L3-III A、WC 油田和 WD 油田 L3-II 4 个重点产油小层的沉积相平面展布(图 3)。



(a) WA 油田 L1 中-II 沉积微相平面图; (b) WC 和 WD 油田 L1 下-II 沉积微相平面图;  
(c) WB 油田 L3-III A 沉积微相平面图; (d) WC 油田和 WD 油田 L3-II 沉积微相平面图

图 3 研究区流一段和流三段主力油层位沉积微相平面图

Fig.3 Sedimentary microfacies map of main oil-producing reservoirs of the Member 1 and 3 of Liushagang Formation in the study area

WA 油田 L1 中发育河控扇三角洲前缘沉积, 由于离物源近, 供给充足, 整体表现为储层砂岩厚度大, 范围广, 主要砂体类型为辫状水道和辫流坝沉积。L1 中-II 小层在 A9p、A9、A8、A3、2 和 A13 井一带, 以及 A10、A4、A5、1、A6 井和 W4 井一带砂岩累积厚度较大, 集中在 20~39 m, 而外围砂岩厚度约为 15 m, 扇体主体部位位于西部和东南部, 坝体呈近菱形的特点(图 3a)。

WC 和 WD 油田 L1 下-II 小层为扇三角洲前缘沉积物, 全区可以分为内前缘和外前缘, 内前缘主要以辫状水道、辫流坝沉积为主。水道间和席状砂沉积在本层的分布范围局限于 WD-6、WD-2、WD-4 和 WD-8 井附近, 反映了该层沉积时期的水动力条件和物源供给较强。而外前缘则表现为辫状水道、河口坝、席状砂沉积物。辫状水道宽度约 100~450 m, 主要分布在 WD-1、WD-2Sa 和 WC-3 井区, 砂厚 6~9 m。其他井区, WD 油田以内前缘辫流坝为主, 砂厚 8~25 m, WC 油田则以外前缘席状砂、河口坝为主, 砂厚 2~14 m(图 3b)。

WB 油田 L3-III A 小层为正常三角洲前缘沉积, 物源为北方向, 以水下分流河道为主, 水下分流间湾范围较大。河道较窄, 一般为 200~500 m。在

W9 井和 A2 井区河口坝发育, 坝宽为 500~800 m。砂岩厚度以中部 A10 井区最厚, 达 16 m(图 3c)。

WC 油田和 WD 油田 L3-II 小层为扇三角洲外前缘沉积, 识别出多条小型分支水道, 皆呈近 SN 向展布, 以分支水道、河口坝沉积微相为主, 呈 SN 向展布。在 WD 油田砂体主要分布在 WD-5 井、WD-9 井、WD-3 井和 WD-2 井、WD-4 井、WD-1 井区, 砂岩厚度为 5.5~12.3 m, 沉积微相以分支水道为主, 河道宽度为 300~800 m。WC 油田砂体主要分布在 WC-3 井、WC-2 井和 WC-1 井区, 砂岩厚度为 20.1~22.2 m, 沉积微相以分支河道为主, 河道宽度为 200~1 000 m(图 3d)。

### 3 夹层特征

L1 夹层岩性多为泥岩、粉砂质泥岩以及某些砂岩致密层, 厚度较小, 稳定性和连续性较差, 主要成因为不同微相之间的泥质沉积物。本次在 W 区 L1 重点研究了储层的泥岩夹层特征, 包括各层的泥岩夹层厚度、层数、密度和频率。夹层分布频率指单位厚度的储层内泥质夹层的层数; 夹层分布密度指单位厚度的储层内泥质夹层的厚度<sup>[20]</sup>。

依据地层划分与对比和测井精细解释成果,对W区目的层夹层进行划分和统计。统计结果显示,WA和WC油田L1上夹层厚度>5 m的占75.9%,

单层夹层层数>5个的占20.0%,夹层分布频率在0~0.2,夹层密度>5的占25.5%,总体表现为夹层较多,总厚度较大(表1)。

表1 WA和WC油田L1上夹层数据统计表

Table 1 Statistical table of interlayer data of WA and WC oilfields on upper Member L1

夹层厚度			夹层个数			夹层分布频率			夹层分布密度		
范围/m	个数	占比/%	个数	层数	占比/%	范围	个数	占比/%	范围	个数	占比/%
0	24	16.6	0	24	16.6	0	24	16.6	0	47	32.4
0~1	1	0.7	1	33	22.8	0~0.1	67	46.2	0~1	27	18.6
1~2	2	1.4	2	27	18.6	0.1~0.2	36	24.8	1~2	12	8.3
2~3	3	2.1	3	10	6.9	0.2~0.3	12	8.3	2~3	9	6.2
3~4	3	2.1	4	14	9.7	0.3~0.4	4	2.8	3~4	6	4.1
4~5	2	1.4	5	8	5.5	0.4~0.5	1	0.7	4~5	7	4.8
>5	110	75.9	>5	29	20	>0.5	1	0.7	>5	37	25.5

WA油田L1中夹层厚度>5 m占51.4%,单层夹层层数>5个的占27.4%,夹层分布频率在0~

0.2的占81.7%,夹层分布密度绝大多数<2,总体表现为夹层较多,总厚度较大(表2)。

表2 WA油田L1中夹层数据统计表

Table 2 Statistical table of interlayer data of WA Oilfield on middle of Member L1

夹层厚度			夹层层数			夹层分布频率			夹层分布密度		
范围/m	层数	占比/%	层数	层数	占比/%	范围	层数	占比/%	范围	层数	占比/%
0	0	42.5	0	90	42.5	0	90	42.5	0	102	48.1
0~1	1	0.5	1	15	7.1	0~0.1	22	10.4	0~1	46	21.7
1~2	2	0.9	2	9	4.3	0.1~0.2	61	28.8	1~2	31	14.6
2~3	5	2.4	3	11	5.2	0.2~0.3	26	12.3	2~3	15	7.1
3~4	1	0.5	4	10	4.7	0.3~0.4	10	4.7	3~4	8	3.8
4~5	4	1.9	5	19	9	0.4~0.5	3	1.4	4~5	2	0.9
>5	109	51.4	>5	58	27.4	>0.5	0	0	>5	8	3.8

WC和WD油田L1下夹层厚度>5 m的占60.9%,单层夹层层数<3个的占69.6%,夹层分布频率在

0~0.3占85.9%,夹层分布密度绝大多数<2,总体表现为夹层较少,但总厚度较大(表3)。

表3 WC和WD油田L1下夹层数据统计表

Table 3 Statistical table of interlayer data of WC and WD oilfields on lower Member L1

夹层厚度			夹层层数			夹层分布频率			夹层分布密度		
范围/m	层数	占比/%	层数	层数	占比/%	范围	层数	占比/%	范围	层数	占比/%
0	22	17.2	0	22	17.2	0	22	17.2	0	58	45.3
0~1	1	0.8	1	43	33.6	0~0.1	32	25	0~1	20	15.6
1~2	4	3.1	2	24	18.8	0.1~0.2	41	32	1~2	19	14.8
2~3	6	4.7	3	18	14.1	0.2~0.3	15	11.7	2~3	9	7
3~4	15	11.7	4	12	9.4	0.3~0.4	10	7.8	3~4	6	4.7
4~5	2	1.6	5	6	4.7	0.4~0.5	6	4.7	4~5	2	1.6
>5	78	60.9	>5	3	2.3	>0.5	2	1.6	>5	14	10.9

WB油田L3夹层厚度在5 m以上的占41.6%,单层夹层层数>5个占15.0%,夹层分布频率0~

0.2的占85.7%,夹层分布密度在3以下的占76.0%,总体表现为夹层层数分布较均匀,总厚度相对较大

(表 4)。

WC 和 WD 油田 L3-III 油组夹层厚度在 5 m 以上的占 67.8%, 单层夹层层数 > 5 个的占 20.4%,

夹层分布频率介于 0~0.3 的占 86.0%, 夹层分布密度在 2 以下的占 72%, 总体变现为夹层层数较多, 总厚度相对较大(表 5)。

表 4 WB 油田 L3 段夹层基础数据统计表

Table 4 Statistical table of interlayer data of WB Oilfield on Member L3

夹层厚度			夹层层数			夹层分布频率			夹层分布密度		
范围/m	层数	占比/%	层数	层数	占比/%	范围	层数	占比/%	范围	层数	占比/%
0	139	49.5	0	139	49.5	0	139	49.5	0	143	50.9
0~1	3	1.1	1	16	5.7	0~0.1	44	15.7	0~1	43	15.3
1~2	9	3.2	2	28	10	0.1~0.2	63	22.4	1~2	33	11.7
2~3	8	2.9	3	22	7.8	0.2~0.3	31	11	2~3	14	5
3~4	3	1.1	4	18	6.4	0.3~0.4	4	1.4	3~4	10	3.6
4~5	2	0.7	5	16	5.7	0.4~0.5	0	0	4~5	8	2.9
>5	117	41.6	>5	42	15	>0.5	0	0	>5	30	10.7

表 5 WC 和 WD 油田 L3 段夹层基础数据统计表

Table 5 Statistical table of interlayer data of WC and WD oilfields on Member L3

夹层厚度			夹层层数			夹层分布频率			夹层分布密度		
范围/m	层数	占比/%	层数	层数	占比/%	范围	层数	占比/%	范围	层数	占比/%
0	19	16.1	0	19	16.1	0	19	16.1	0	21	17.8
0~1	2	1.7	1	7	5.9	0~0.1	14	11.9	0~1	41	34.8
1~2	3	2.5	2	22	18.6	0.1~0.2	33	28	1~2	25	21.2
2~3	5	4.2	3	19	16.1	0.2~0.3	35	29.7	2~3	10	8.5
3~4	1	0.9	4	16	13.6	0.3~0.4	13	11	3~4	9	7.6
4~5	8	6.8	5	11	9.3	0.4~0.5	3	2.5	4~5	7	5.9
>5	80	67.8	>5	24	20.4	>0.5	1	0.9	>5	5	4.2

#### 4 层内非均质性特征

从 W 区流沙港组储层成因出发, 以沉积微相划分为基础, 对比沉积微相与储层非均质性之间的关系, 比较不同微相的非均质性差别, 统计不同微相渗透率平均值、变异系数、突进系数及级差, 从而了解各微相的非均质性差别。

WA 油田 L1 中-I 油组为扇三角洲外前缘沉积, 沉积微相主要为分支河道、河口。从统计结果来看(图 4a), 分支河道的平均渗透率最大, 达到  $1\ 330.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 非均质性弱; 河口坝非均质性次之; 席状砂的平均渗透率最小, 非均质性最强。这是由于分支水道水动力比较强, 沉积的颗粒分选、磨圆相对较好, 所以渗透率好; 而席状砂中的泥质夹层, 使它非均质性变强。

WA 油田 L1 中-II 油组主要为扇三角洲内前缘

沉积, 沉积微相主要为辫状水道和辫流坝。从统计的结果来看(图 4b), 辫状水道的平均渗透率最大, 达到  $140.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 非均质性弱; 辫流坝非均质性次之; 席状砂平均渗透率最小。

WC 和 WD 油田 L3-II 油组主要为扇三角洲外前缘沉积, 沉积微相主要为分支水道和河口坝。从统计的结果来看(图 4c), 该层平均渗透率都很低, 分支水道平均渗透率为  $2.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 河口坝的平均渗透率为  $3.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 席状砂的平均渗透率为  $3.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 属于特低渗; 平均变异系数分支水道为 1.1, 河口坝为 1.0, 席状砂为 0.8, 总体非均质比较强。

WB 油田 L3-III A 油组主要为正常三角洲前缘沉积, 沉积微相主要为水下分流河道和河口坝。从统计的结果来看(图 4d), 河口坝的平均渗透率最大, 达到  $321.9 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 非均质性弱; 水下分流河道的平均渗透率次之, 为  $92.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ; 席状砂的平均

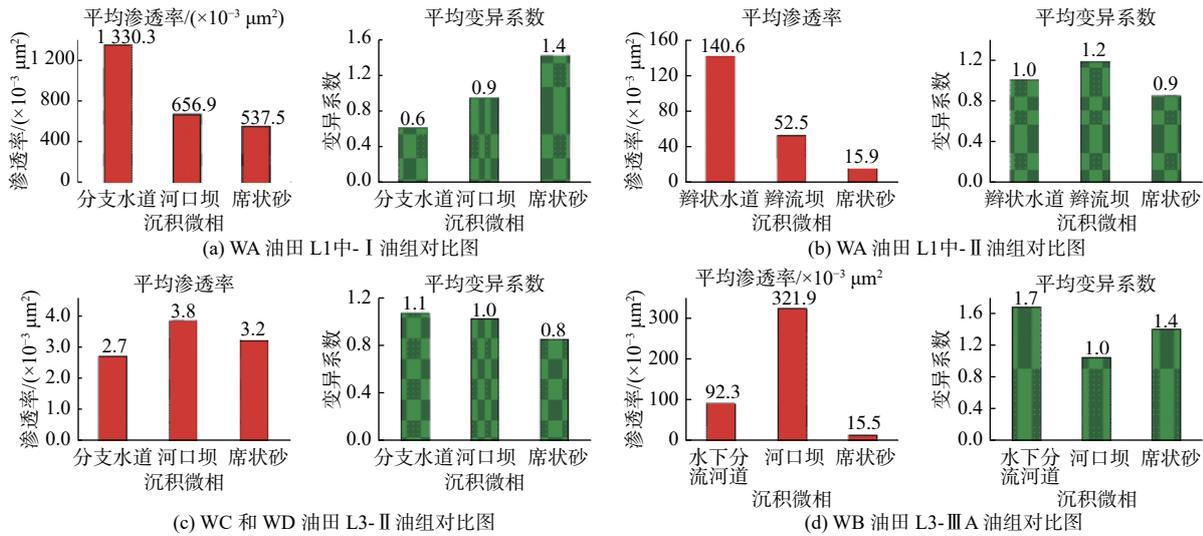


图 4 不同沉积微相与储层非均质性对比图

Fig.4 Comparison of sedimentary microfacies and reservoir heterogeneity

渗透率最小, 为  $15.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

### 5 平面非均质性特征

储层平面非均质性是指砂体的几何形态、连续性、连通程度、砂体孔隙度和渗透率的平面变化及渗透率的方向性等<sup>[20]</sup>。本次平面非均质性研究选取的非均质参数均针对砂层本身的均质性状况, 不包含泥岩。

变异系数是最常用的反映渗透率非均质性的参数<sup>[20]</sup>, 其定义如下:

$$V_k = \frac{\sqrt{\sum (K_i - \bar{K})^2 / n}}{\bar{K}}$$

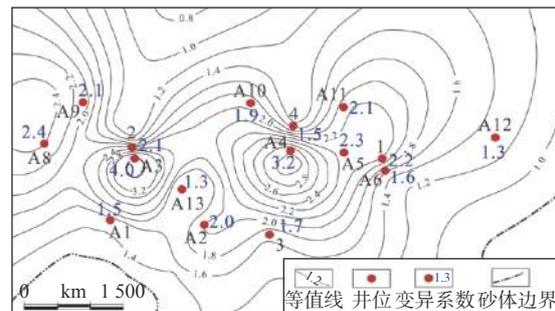
式中:  $V_k$  为单元内某样品的渗透率值,  $\mu\text{m}^2$ ,  $\bar{K}$  为单元内所有样品渗透率平均值,  $\mu\text{m}^2$ ,  $n$  为单元内所有作品渗透率个数, 个。

本次主要针对 WA 油田 L1 中-II 油组、WC、WD 油田 L1 下-II 油组、WB 油田 L3-III A 油组和 WC、WD 油田 L3-II 油组的 4 个重点生产层绘制了变异系数平面分布图, 进而分析 W 区储层非均质性的平面分布特征与沉积相的关系。

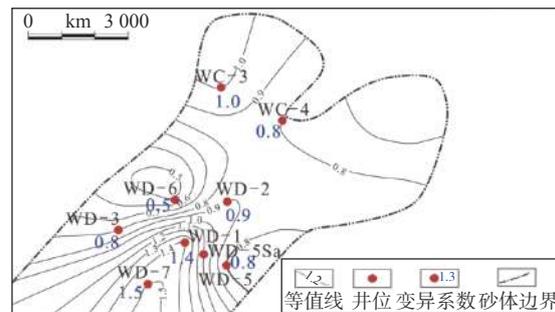
WA 油田 L1 中-II 油组储层变异系数平均值  $> 1.2$ , WA-A12 井最小, 为 1.2, WA-A3 井最大, 为 4, WA-A4 井次之, 为 3.2。变异系数平面分布整体趋势复杂, 说明该层储层的整体平面非均质性比较强 (图 5a)。对比沉积微相平面图 (图 3a) 看出, 油田 L1 中为扇三角洲前缘沉积微相, 处于席状砂微相沉积的 A12 井和 A5 井变异系数值小, 表明储层非均

质弱。但因储层厚度薄, 泥质夹层多, 分布范围小, 物性差, 不是好储层; 处于 A3 井和 A4 井区的辫流坝微相沉积受水动力影响, 沉积粒度差异大, 分选不好, 泥质含量高, 因此变异系数变化大, 非均质性强; 处于辫状水道沉积微相储层厚度大, 分选较好, 非均质中等, 是较好的储层, 如 4 井、A11 井与 A5 井区。

WC 和 WD 油田 L1 下-II 油组储层变异系数平均值小部分  $> 1$ , WD-7 井最大, 为 1.5, WD-6 井



(a) WA 油田 L1 中-II 变异系数平面分布图



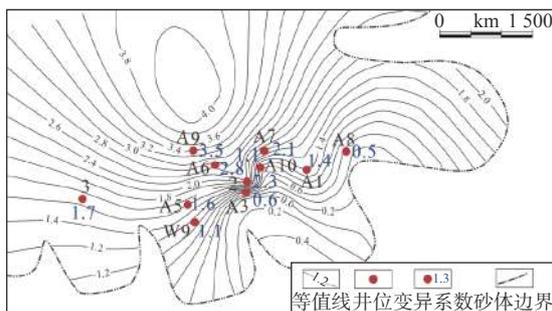
(b) WC 和 WD 油田 L1 下-II 变异系数平面分布图

图 5 各油田 L1 变异系数平面分布图

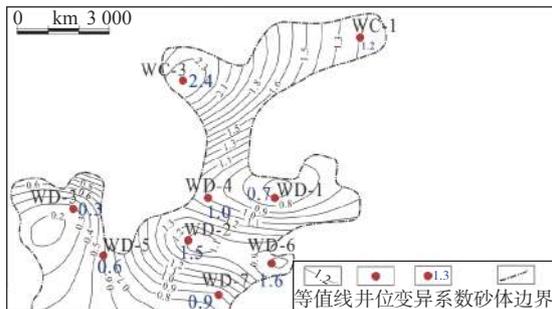
Fig.5 Spatial distribution of variation coefficients of oilfields on Member L1

最小, 为 0.5, 南部和北部非均质较强, 中部变异系数平均值为 0.6~0.8, 非均质性弱, 说明该层储层整体平面非均质性比较强(图 5b)。对比小层沉积微相平面图可以看出(图 3b), 处于席状砂微相的 WC-4 井、WD-2 井和 WD-6 井区变异系数大, 非均质弱; 处于 WD-7 井和 WD-5sa 井区辫流坝微相储层变异系数大, 非均质较强; 处于 WD-3 井、WD-5 井辫状水道微相沉积和 WC-3 井区河口坝沉积微相储层变异系数中等, 非均质性弱, 为有利储层。

WB 油田 L3-III A 油组储层变异系数平均值为 0.5~3.5, WB-A2 井最小, 为 0.2, WB-A9 井最大, 为 3.5, 平面非均质性总体表现为东南部非均质性弱, 变异系数平均值 < 0.8, 西北部非均质性较强(图 6a)。非均质性表现与沉积微相一致, 该层为正常三角洲前缘亚相沉积, 东南部为水下分流河道和河口坝微相, 非均质性弱; 西北部为间湾和河道沉积, 非均质强。



(a) WB 油田 L3-III A 变异系数平面图



(b) WC 油田和 WD 油田 L3-II 变异系数平面图

图 6 各油田 L3 变异系数平面分布图

Fig.6 Spatial distribution of variation coefficients of oilfields on Member L3

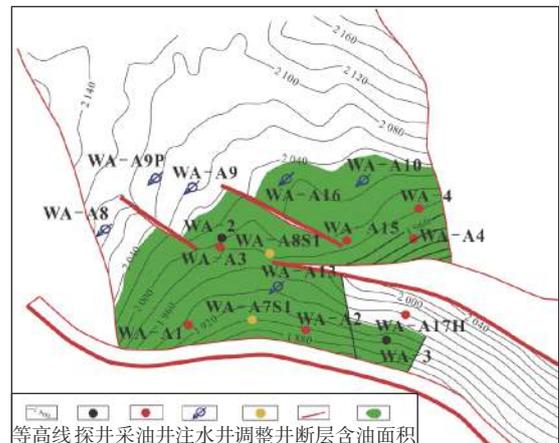
WC 和 WD 油田 L3-II 油组储层变异系数平均值为 0.3~1.6, WC-3 井最大, 为 1.4, WD-3 井最小, 为 0.3, 南部变异系数平均值 < 1, 非均质性弱; 西南部变异系数约为 0.4, 非均质性弱, 北部较差, 该层平面非均质性弱(图 6b)。该小层为扇三角洲外前缘沉积, 整体上为分支水道和河口坝微相沉积, 储层粒度细, 分选好。河口坝微相沉积变异系数小,

非均质更好; 分支河道次之, 整体上储层厚度大, 分布广, 非均质性弱。

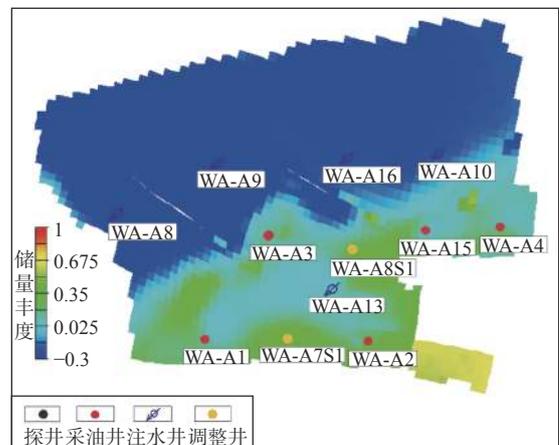
## 6 非均质性研究在油田开发中的应用

储层夹层对流体起隔挡作用, 直接控制单砂层内注入及采出; 砂体成因、物性变化及差异等非均质性制约着油田的采出程度, 井网部署应该充分重视储层非均质性的空间分布规律。如果注采井之间储层非均质性比较强, 势必导致注采对应关系比较差, 开发效果变差。

W 区 WA 油田的主力生产层位为 L1 中-II 油组, 为扇三角洲前缘沉积, 主要沉积微相为辫状水道和辫流坝, 储层厚度大。本次非均质性研究成果得出, L1 中-II 油组夹层较多, 厚度大。平面上 WA-A3、WA-A15 与 WA-A4 井非均质性强, 变异系数 > 3; 而 WA-A1 与 WA-A2 井非均质弱(图 7)。该层 WA-A3 井区有采油井 WA-A1、WA-A2 与 WA-



(a) L1 中-II 油组调整井部署图



(b) 剩余可动储量丰度图

图 7 WA 油田主力生产层 L1 中-II 油组调整井部署图

Fig.7 Location of adjustment well map for main horizon in WA Oilfield

A3井,注水井有WA-A9与WA-A13井,该区动用储量大,但采出程度仅为9.9%;WA-4井区采油井有WA-A4与WA-A15井,注水井有WA-A10与WA-A16井,采出程度为8.6%,整个L1中-II油组采出程度低,生产动态与非均质研究相符。

依据平面非均质性特征,结合夹层属性建模和动态数模研究显示,在WA-A3井与WA-A15井井间,WA-A13井与WA-A1井、WA-A2井井间夹层分布连通复杂,非均质性强,井间剩余油富集。因此在WA-A1、WA-A2井间部署WA-A7S1采油井,在WA-A3、WA-A15井间部署WA-A8S2采油井(图7),挖潜井间剩余油。实施后,2口调整井配产及产能均超出预期,累增油 $4.2 \times 10^4$  t,原油采收率提高了2.3%,取得了很好的经济效益。

## 7 结论

(1)流沙港组夹层的岩性多为泥岩、粉砂质泥岩或部分泥质粉细砂岩以及某些砂岩致密层;夹层的主要成因为三角洲前缘水道间、水下分流河道与砂坝之间、砂坝与砂坝之间的泥质沉积物。

(2)层内非均质性研究表明WB油田流三段为正常三角洲前缘沉积中,席状砂非均质性最强,水下分流河道次之,河口坝非均质最弱;在WA、WC、WD流一段为扇三角洲前缘沉积中,席状砂非均质性最强,辫流坝非均质性次之,辫状水道非均质性最弱。

(3)平面非均质研究认为,WA油田L1中-II层储层的变异系数平均值大部分 $>1.2$ ,整体上非均质性很强,应该特别注意。对于WC油田和WD油田L1下-II油组储层变异系数平均值小部分 $>1$ ,非均质性弱。河口坝、分支河道和辫状水道分布区域平面非均质较好,辫流坝次之,为有利储层。

(4)依据本次非均质性研究成果,刻画了WA油田井间区域剩余油分布范围,并部署了WA-A7S1井和WA-A8S2采油井。实施后调整区累产油增加 $4.2 \times 10^4$  t,提高采收率2.3%,提高了油田开发效果。

### 参考文献:

[1] 张辉,李茂,蒋利平,等. 储层非均质性评价技术研究及应用:以涪洲A油田流一段为例[J]. 中国海上油气, 2011, 23(3): 175-

- 178.
- [2] 姚光庆,张建光,姜平,等. 涪西南凹陷11-7构造区流沙港组中深层有效储层下限厘定[J]. 地质前缘, 2012, 19(2): 102-109.
- [3] 张辉,姜平,蔡军,等. 涪西南凹陷流沙港组一段储层物性影响因素研究[J]. 海洋石油, 2013, 33(2): 8-14.
- [4] 张辉,周伟,孙乐,等. 北部湾盆地W油田流一下亚段储层特征及主控因素[J]. 资源与产业, 2017, 19(2): 66-75.
- [5] 彭志春,杨丽,汪新光,等. 北部湾盆地乌石17-X油田流沙港组三段砂砾岩储层物性主控因素研究[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(10): 6-12.
- [6] 刘超,马奎前,陈剑,等. 旅大油田非均质性定量表征及开发调整[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(5): 88-90, 103.
- [7] 刘文超. 码头庄油田储层非均质性及其与剩余油分布的关系[J]. 岩性油气藏, 2012, 24(2): 111-116.
- [8] 田景春,刘伟伟,王峰,等. 鄂尔多斯盆地高桥地区上古生界致密砂岩储层非均质性特征[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(2): 183-189.
- [9] 王越,陈世悦,李天宝,等. 扒楼沟剖面二叠系辫状河砂体构型与非均质性特征[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2016, 40(6): 1-8.
- [10] 陈欢庆,王珏,杜宜静. 储层非均质性研究方法进展[J]. 高校地质学报, 2017, 23(1): 104-116.
- [11] 许建红,钱俪丹,库尔班. 储层非均质对油田开发效果的影响[J]. 断块油气田, 2007, 14(5): 29-31.
- [12] 汪立君,陈新军. 储层非均质对剩余油分布的影响[J]. 地质科技情报, 2003, 22(2): 71-73.
- [13] 严科,杨少春,任怀强. 储层非均质对油田开发效果的影响[J]. 石油学报, 2008, 29(6): 870-874.
- [14] 张满郎,李熙喆,谷江锐,等. 鄂尔多斯盆地中东部山2段储层精细评价[J]. 岩性油气藏, 2010, 22(3): 71-77.
- [15] 张铭,樊孝峰,方勇. 濮城油田东区沙二段下亚段沉积微相与储层非均质性及剩余油分布的关系[J]. 中国海上油气, 2003, 17(3): 176-180.
- [16] ALIZAD B, RASHID E, ZARASVANDI I, et al. Hydrocarbon vertical continuity evaluation in the Cretaceous reservoirs of Azadegan Oilfield, Southwest of Iran: implications for reservoir geochemistry[J]. Acta Geologica Sinica, 2020; 94(3): 847-860.
- [17] PANG Z L, TAO S Z, ZHANG Q, et al. Evaluation methods of profitable tight oil reservoir of lacustrine coquina: a case study of Da'anzhai Member of Jurassic in the Sichuan Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2020; 94(2): 418-429.
- [18] 龚再升,李思田. 南海北部湾大陆边缘盆地分析与油气聚集[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 66-68.
- [19] 杨玉卿,崔维平,蔡军,等. 北部湾盆地涪西南凹陷WZ油田古近系流沙港组一段沉积相[J]. 古地理学报, 2012, 14(5): 607-616.
- [20] 姚光庆,蔡忠贤. 油气储层地质学原理与方法[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2005: 123-126.

## RESERVOIR HETEROGENEITY OF THE LIUSHAGANG FORMATION AND ITS SIGNIFICANCE IN THE W AREA OF SOUTHWEST WEIZHOU DEPRESSION OF BEIBU GULF BASIN

ZENG Xiaohua, ZHOU Wei, XIAO Dazhi, YUAN Lingrong, ZHANG Xiaoyu, LI Wei

(Zhanjiang Branch of CNOOC (China) Ltd., Zhanjiang 524057, Guangdong, China)

**Abstract:** Detailed microfacies study and statistical analysis of fine well logging data are carried out for reservoir heterogeneity of the Liushagang Formation in the W area of the Southwest Weizhou Depression of the Beibu Gulf Basin. So far there have found four oilfields in the W area namely WA, WB, WC and WD respectively. Reservoirs mainly occur in the Member 1 and 3 of the Liushagang Formation. Sedimentary microfacies of the interlayers of the reservoir suggests that the Liushagang Formation is composed of normal delta front and fan delta front deposits including distributary channel deposits, sand bar deposits, barrier deposits and braided channel sandstones and mudstones. Sedimentology of the fan deltas is studied upon the basis of fine stratigraphic division and correlation. It shows that the interlayers in the Member 1 are dominated by mudstone, silty mudstone with argillaceous silty sandstone and some thin tight layers of sandstone. The interlayer is mainly formed in argillaceous depositional environments between the fluvial deltaic channels or between underwater distributary channels, and/or between sandy bars. Through the comparative study of reservoir heterogeneity based on microfacies, the spatial change in physical properties of reservoirs is revealed. From the statistical results of the fine-interpreted data, it is observed that the reservoirs in the Member 1 of Liushagang Formation in the WA Oilfield has more and thicker interlayers and higher heterogeneity in general; the WB Oilfield has uniformly distributed interlayers, heterogeneity is low in the southeast and high in the northwest. The Member 3 of Liushagang Formation in the oilfields WC and WD have abundant interlayers, but heterogeneity is low in general. Based on the study results of reservoir heterogeneity, prediction is made for the remaining oil of the main reservoir layers in the WA Oilfield. Then two adjustment wells were deployed to tap the remaining oil. The cumulative production is increased for  $4.2 \times 10^4$  t, about 2.3% of enhanced oil recovery. This successful application shows that interlayer and plane heterogeneity study has provided solid scientific foundation for tapping the remaining oil out. It is of great significance for efficient oilfield development.

**Key words:** reservoir heterogeneity; normal delta deposit; fan delta deposit; interlayer; plane heterogeneity