

涪西南凹陷F油田流一段储层沉积微相及砂体连通性研究

曾晓华,胡 威,肖大志,陈之贺,张晓禹
(中海石油(中国)有限公司海南分公司 海南 海口 570312)

摘要:涪西南凹陷F油田处于开发中后期,主要含油层段为古近系流沙港组流一段,现今产量下降快,稳产难度大,急需进行注采优化调整。通过对沉积相和砂体叠置关系研究,分析了储层连通性,厘清储层分布和连通关系。通过岩心相和测井相分析,在扇三角洲前缘亚相背景下,细分出4种微相,采用连井剖面微相对比、储层地震反演及连通性分析刻画了沉积微相平面展布特征,并划分出切叠型、叠加型、接触型和孤立型等4种砂体叠置类型,不同砂体叠置关系具有不同的连通特征。依据沉积微相展布特征、砂体叠置关系和地震储层反演综合研究形成储层连通性地质初判,结合生产动态、监测资料 and 软件模拟结果对连通初判进行验证与完善,并创新采用注采对应率对储层连通性进行定量表征,最终得到油田各油层储层连通性评价成果。储层沉积微相和砂体连通性研究成果有效地指导油田的生产调整优化,解决了老油田稳产增产的迫切需要。

关键词:沉积相;地震反演;砂体叠置关系;储层连通性;涪西南凹陷

中图分类号:TE122 **文献标志码:**A

Study on reservoir sedimentary microfacies and sand body connectivity of the first member of Liushagang Formation in F Oilfield of Weixinan Sag

ZENG Xiaohua, HU Wei, XIAO Dazhi, CHEN Zhihe, ZHANG Xiaoyu
(Hainan Branch of CNOOC (China), Haikou 570312, China)

Abstract: The F Oilfield of the Weixinan Depression is in the middle and late stage of development, and the main oil-bearing interval is the first member of the Liushagang Formation of the Paleogene system. At present, production is declining rapidly, and it is difficult to stabilize production, so there is an urgent need to optimize and adjust the injection and production. Through the study of sedimentary facies and sandbody stacking relationship, the reservoir connectivity was analyzed, and the reservoir distribution and connectivity relationship was clarified. Based on the analysis of the core phase and logging phase, four types of microfacies were subdivided under the subfacies background of the fan delta front, and the planar distribution characteristics of sedimentary microfacies were described by the microfacies comparison of connecting well profiles, seismic inversion of the reservoir, and connectivity analysis. Four types of sand body stacking, including cut-and-stack, superimposed, contact, and isolated were also classified. Different sand body overlaps have different connectivity characteristics. Based on the sedimentary microfacies distribution characteristics, sand body superposition relationship and seismic reservoir inversion, a comprehensive study was conducted to form a preliminary judgment of reservoir connectivity, which was verified and improved by combining the production dynamics, monitoring data, and software simulation results and an innovative injection and production correspondence rate was used to quantitatively characterize reservoir connectivity, and finally, the results of reservoir connectivity evaluation for each oil layer were obtained. The research results of reservoir sedimentary microfacies and sand body connectivity can effectively guide the production adjustment and optimization of oilfields, and solve the urgent need for stable and increased production in the old oilfield.

Key words: sedimentary facies; seismic inversion; sand body superposition relationship; reservoir connectivity; Weixinan Sag

引用格式:曾晓华,胡威,肖大志,等.涪西南凹陷F油田流一段储层沉积微相及砂体连通性研究[J].复杂油气藏,2023,16(3):293-300.

ZENG Xiaohua, HU Wei, XIAO Dazhi, et al. Study on reservoir sedimentary microfacies and sand body connectivity of the first member of Liushagang Formation in F Oilfield of Weixinan Sag [J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2023, 16(3): 293-300.

北部湾盆地涪西南凹陷内古近系流沙港组一段含油丰富,已开发油田十几个,对流一段沉积相与储层研究较丰富^[1-10]。根据前人研究进展,目前涪西南凹陷流沙港组流一段沉积相背景基本确定,

收稿日期:2022-10-18;改回日期:2022-12-01。

第一作者简介:曾晓华(1982—),工程师,主要从事油气田开发地质学工作。E-mail: zengxh1@cnooc.com.cn。

但对具体F油田的沉积微相刻画、砂体叠置关系和井间储层连通性等问题未有详细研究。目前开发挖潜存在诸多问题,流一段储层横向变化快,部分含油区块油水关系矛盾,砂体边界认识不清,新钻调整井个别油组实钻情况与钻前认识差异较大,储层连通复杂,注水受效差,产量递减快。这些问题制约了油田后续调整井研究及注采优化,使油田稳产难度大。

为了分析储层砂体叠置关系和井间砂体连通关系,参考了地震储层预测、地震反演技术、地震波形及地震沉积学等方法对储层砂体空间与平面展布的刻画^[11-17],不同沉积储层类型下的砂体叠置类型与识别、叠置关系的判定、叠置模式的构型及定量刻画等方法^[18-22],以及储层连通性识别判定、动静态结合分析储层连通性等方法^[23-31]。综合应用前人储层沉积相与连通性的相关研究思路和方法,结合F油田新钻井资料及生产动态开展了储层沉积相研究,明确砂体展布范围与叠置方式,并创新结

合生产动态和软件模拟分析储层连通性,指导优化调整方向,满足老油田稳产增产的迫切需要,同时为涪西南凹陷相似老油田的开发提供借鉴。

1 油田概况

F油田构造较完整,位于一花状断块构造北翼,从南到北受F1、F2两条断层控制。其中中部的F2断层未将构造完全分割,也使南北格局形成(见图1a)。在层序格架控制基础上,以岩心描述、测井解释及地震层序的精细解释为依据,利用新处理的高分辨率地震成果,井震结合对整个流一段(L_1)进行油组划分与对比,并在沉积模式指导下进行了地震层位追踪,实现砂体的进一步细分解。根据测井曲线中短期旋回特征、砂体期次、隔夹层分布和动态响应,将流一段划分为 L_1 I、 L_1 II_上、 L_1 II_下、 L_1 IV_上和 L_1 IV_下5个油组和15个小层(见图1b),其中 L_1 II_上(L_1 II_上-1、 L_1 II_上-2)油组为油田主力油层,是本次重点研究描述层。

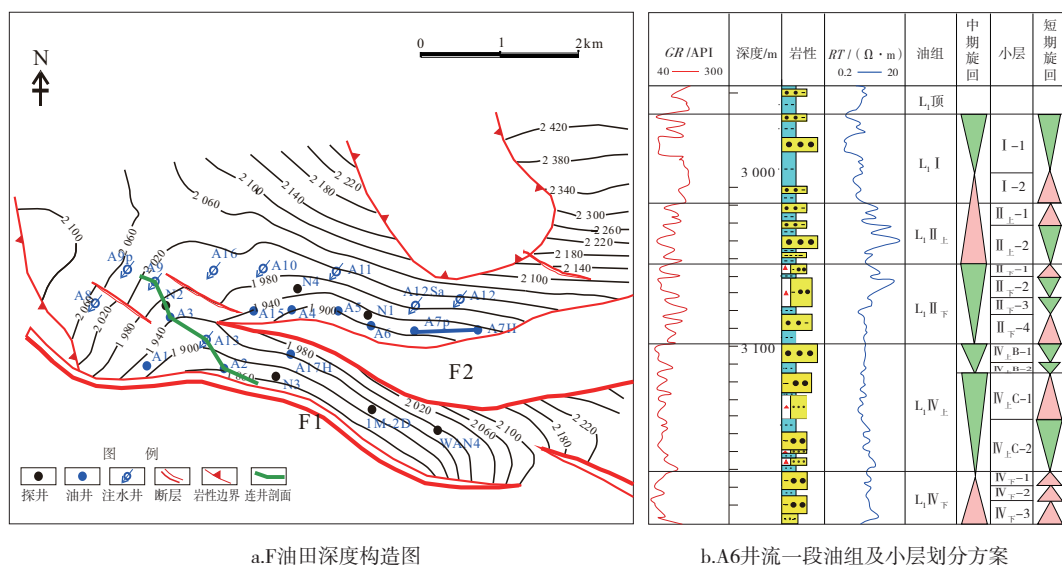


图1 北部湾涪西南凹陷F油田地质概况

2 沉积微相特征

2.1 沉积微相识别与划分

F油田共有五口取心井(N2井、N3井、N4井、A3井、A4井),岩性主要为砂砾岩、砾岩、粗砂岩、中粗砂岩、细砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩。在扇三角洲前缘沉积背景下,依据岩心观察描述和对应的测井曲线特征,细分出水下分流河道微相、河口坝微相、前缘席状砂微相、河道间和湖泥微相4种沉积微相。

2.2 单井相与连井相特征

通过对5口取心井的岩心特征描述,以测井相模式为指导,完成29口井的单井相识别与划分。连井剖面沉积相分析是确定沉积相横向展布和垂向演化的重要基础工作,也是介于连接单井相分析和平面相分析的重要纽带^[32]。结合区域物源和沉积背景,在单井剖面相分析的基础上,建立了垂直和顺物源剖面的连井微相划分对比,刻画了不同成因单砂体纵向的接触关系。本次仅选取顺物源连井

剖面进行详细分析描述。

从西部顺物源剖面(见图2)上分析得出: $L_1IV_{下}$ 油组仅在远物源端A13井、A2井钻遇,发育席状砂、河口坝微相,砂体厚度薄。 $L_1IV_{上}$ 油组均有钻遇,发育水下分流河道沉积,砂体厚度大。 $L_1II_{下}$ 油组发育多期水下分流河道沉积;早期 $L_1II_{下-4}$ 小层时期仅在近物源端的A9井、N2井钻遇,A9井发育多层席状薄层砂,N2井发育水下分流河道末端; $L_1II_{下-3}$

小层在A3—A13井发育薄层席状砂体,在A9—A3井发育箱形水下分流河道沉积; $L_1II_{下-2}$ 小层仅在A2井没有钻遇,其它井区发育水下分流河道沉积; $L_1II_{下-1}$ 小层主要发育水下分流河道沉积,A9井、N2井发育箱形—钟形复合型分流河道沉积。 $L_1II_{上}$ 油组早期在A9井、N2井、A3井、A13井发育箱形水下分流河道沉积,在远物源端A2井发育河口坝沉积。

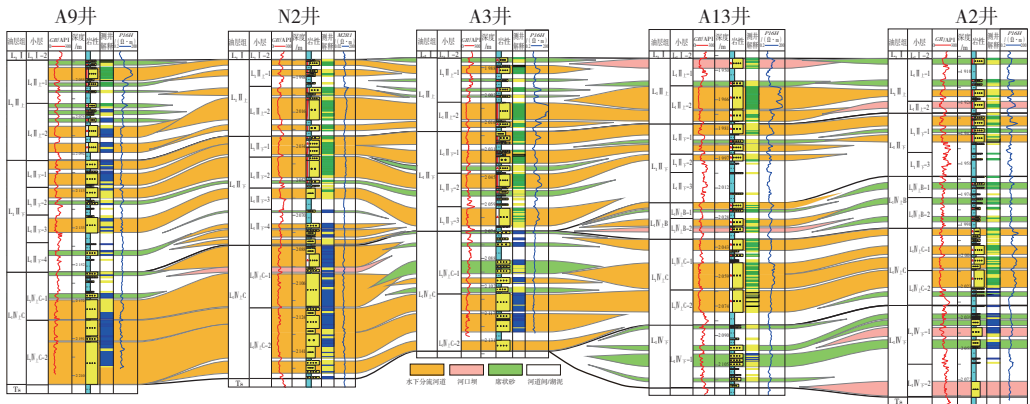


图2 顺物源连井微相对比剖面

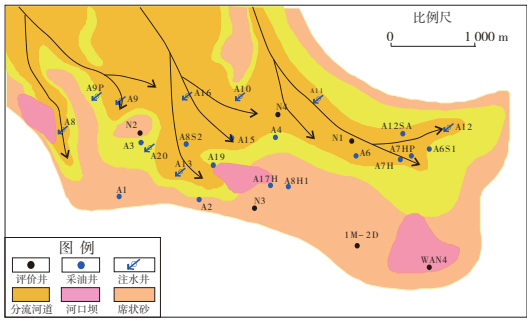
2.3 沉积微相平面特征

在沉积背景下,以单井相认识为基础,利用储层反演储层展布趋势约束微相边界,通过连井沉积相剖面对比、连通性分析认识加以修正完善。主力油层 $L_1II_{上}$ 油组两个小层沉积微相平面展布特征如下:

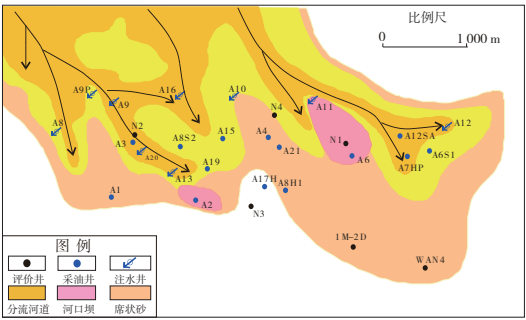
$L_1II_{上-1}$ 小层时期水体逐渐抬升,发育水下分流河道沉积,远物源端A1—N3—2D井发育席状砂

微相,局部发育河口坝微相。26口井钻遇该层,单井砂体钻遇厚度1.5~22.3 m;砂体在西北部最为发育,顺物源方向呈片状分布(见图3a)。

$L_1II_{上-2}$ 小层时期水体开始上升,砂体向近物源端退积,发育水下分流河道,河口坝微相发育在A2井、N1—A6井附近(见图3b)。25口井钻遇该层,单井钻遇厚度0.7~19.0 m;西北部砂体最为发育,呈条带状顺物源连片分布,向远物源端减薄。



a. $L_1II_{上-1}$ 沉积微相平面图



b. $L_1II_{上-2}$ 沉积微相平面图

图3 主力油组小层沉积微相平面图

3 砂体叠置关系研究

3.1 砂体叠置类型

根据连井砂体空间展布特征,确定油田砂体叠置关系有切叠型、叠加型、接触型和孤立型等4种类型

(见图4),不同砂体叠置关系具有不同的连通特征。

孤立型砂体:岩性为泥质细砂岩,GR曲线呈指状、微齿状;地震反演剖面上反映砂体与砂体之间互不连通。此类型砂体以席状砂为主,砂体发育范围较小。

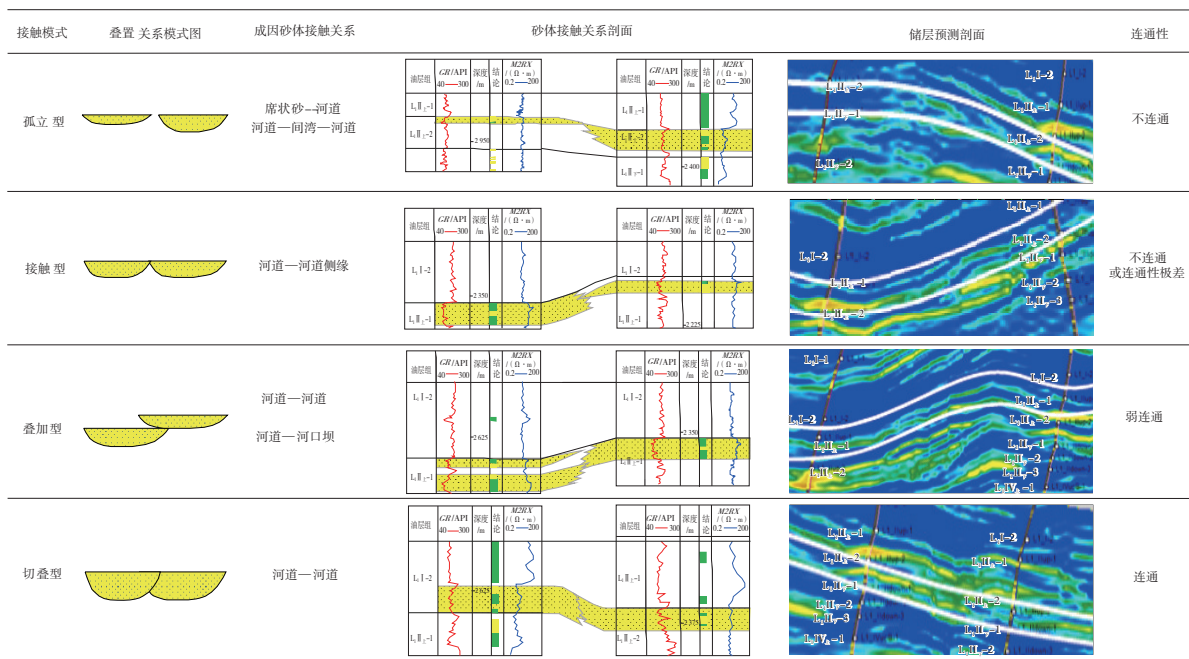


图4 F油田流一段砂体叠置类型

接触型砂体:岩性为含砾砂岩,粗砂岩,正粒序,底部见冲刷面;GR曲线呈钟形、齿化钟形,常见顶渐变、底突变;地震反演剖面上反映砂体与砂体之间相互拼接,不连通或连通性极差。此类型砂体以水下分流河道侧缘为主,砂体平面上呈条带状。

叠加型砂体:岩性为含砾砂岩、粗砂岩、细砂的多种组合,复合粒序;GR曲线呈钟形、齿化钟形、漏斗形;地震反演剖面上反映砂体与砂体之间相互叠加,砂体弱连通。此类型砂体以河道、河口坝为主,砂体平面上呈条带状、片状。

切叠型砂体:主要岩性为含砾砂岩,砂砾岩,正粒序,底部见冲刷面;GR曲线为中高幅箱形、齿化箱形,顶、底部常见突变接触;地震反演剖面反映砂体与砂体之间相互对接,多以同相轴、同相轴交叉形式在反演剖面上体现,砂体连通性好。此类型砂体

以河道为主,砂体平面上呈条带状。

3.2 砂体叠置关系分析

油田连井剖面和储层反演成果表明,孤立型砂体发育在水动力较弱时期,平面上位于远物源区及河道两侧。 $L_1 II_{上}$ 油组主要以切叠型、叠加型为主,局部发育接触型砂体。接触型砂体平面上主要发育在远物源端。

$L_1 II_{上-1}$ 小层发育3条河道,河道之间分支相互连通。地震反演剖面表明,纵向上储层砂体与相邻砂体之间接触型、叠加型、切叠型并存,砂体连通关系复杂(见图5)。

$L_1 II_{上-2}$ 小层发育3条主要河道及多条分支河道,河道之间以相互叠加或分支方式相互连通。地震反演剖面表明,纵向上相邻砂体以接触型、叠加型为主,砂体连通性中等或较好(见图5)。

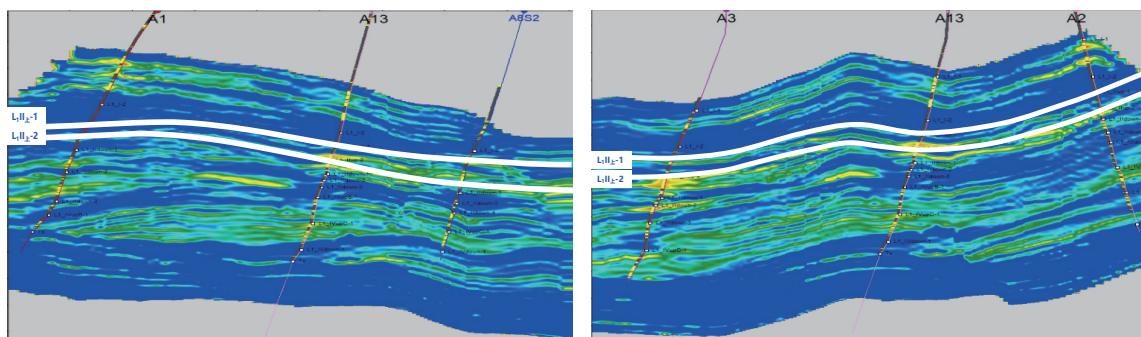


图5 井间地震反演剖面

4 储层连通性研究

以油田现有的地震、地质、测井、生产、动态监测等资料情况,筛选出比较适合的地震反演预测法、沉积相控法、注采井动态响应分析法、注采数据动态反演法四种方法,综合应用于本区的连通性分析研究工作。

根据小层沉积微相平面展布、砂体叠置关系、地震反演剖面成果,综合研究形成储层连通性地质初判,结合生产动态、监测资料、软件模拟结果进行连通性初判的验证与完善,最终形成储层的连通性认识。

4.1 连通性判别

4.1.1 连通性地质初判

根据单井砂体沉积微相划分及平面展布进行邻井砂体接触关系与连通预判,利用单井储层发育情况结合储层地震反演成果形成小层储层连通性初判成果。初判依据有:

(1)沉积相依据。同时期同相带的砂体连通性好于不同相带的砂体;同时期同相带下,顺物源砂体连通性好于垂物源。

(2)砂体接触关系依据。见砂体叠置关系分析。

(3)油水关系依据。同时间单元内,邻井出现油水界面不统一,对应砂体不连通。

4.1.2 生产动态响应验证与完善

生产井的动态响应以注采井的砂体射孔对应为基础,充分利用注水井吸水测试剖面分析成果、采油井产液测试剖面分析成果、注采井生产曲线、压力监测数据以及产量劈分到小层的软件模拟结果,综合判断注采井组储层的井间连通性,对地质认识进行验证和完善,取得全面的连通性认识成果,指导生产应用。

4.1.3 连通定量表征

注采对应率是指现有井网条件下与注水井连通的采油井射开有效厚度与井组内采油井射开总有效厚度之比^[33]。用注采对应率来表征注采井组的连通程度,注采对应率计算方法为:注采对应率=(与注水井连通的射孔油层厚度/射开油层总厚度)×100%。

4.2 井组间连通性分析

本次连通性分析以地质沉积认识、储层地震预

测成果为基础依据,充分结合动态分析及监测数据进行以注采井组一小层为最小单元进行分析,共完成了6个注采井组38个小层单元的连通性分析。下面选取A13注采井组对主力油组小层砂体连通性进行详细分析描述:井组共有5口井,注水井1口(A13井),采油井4口(A1井、A2井、A3井、A8S2井),其中3口采油井(A2井、A3井、A8S2井)与注水井A13井存在注采射孔对应。A13井与A3井连线顺物源方向,A13井与A2井连线顺物源方向,A13井与A1井连线垂物源方向,A13井与A8S2井连线近垂物源方向。

井组共11个小层单元有采油井生产,其中8个小层单元存在注采射孔对应。综合分析认为, $L_1\text{ II}_{上-2}$ 小层连通程度最高,注水井A13井与3口采油井(A2井、A3井、A8S2井)连通。 $L_1\text{ II}_{下-3}$ 小层、 $L_1\text{ II}_{下-4}$ 小层无连通;其余各层不同程度的连通。

4.2.1 井组 $L_1\text{ II}_{上-1}$ 小层连通性

地质连通性初判:从小层平面沉积微相分布图3a上分析得出,A13井与顺物源方向的A3井、A2井处于同一水下分流河道的不同部位。A13井 $L_1\text{ II}_{上-1}$ 小层顶底发育两套砂体,上下独立存在。位于水下分流河道侧缘的A3井、A2井纵向上发育多套单砂体;结合储层地震反演剖面(见图5),A3井与A13井、A2井与A13井的砂体间呈切叠式接触为主,受储层发育位置的影响,储层连通性较差。A1井发育薄层席状砂体,与A13井井距788 m,砂体间无接触连通关系。A8S2井与A13井处于同一分流河道主体部位,井距仅322 m,砂体连通性好;底部砂体为同时期同一河道砂体,连通性好;顶部砂体与A13井侧向切叠式接触,接触面积大,连通较好。顶部砂体与A13井顶部砂体之间侧向切叠式接触,接触面积大,连通较好;两口井油层发育对比性强,储层连通性好。分析得出,A13井与A8S2井连通最好,A13井与A2井、A3井连通次之,A13井与A1井无连通。

动态验证与完善:从A13井组注采曲线分析(见图6),注水井A13井与采油井A3井、A2井、A8S2井存在不同程度的响应,表明存在连通关系。A13井注水,A2井生产异常,同时A8S2井井底流压上升、日产液量上升,连通响应明显;A3井反应不明显。利用井间连通性评价软件模拟(见图7),A8S2井与A13井注采响应程度最高,为0.48;A2井与A13井次之,为0.34;A3井与A13井注采响应程度为0.18。

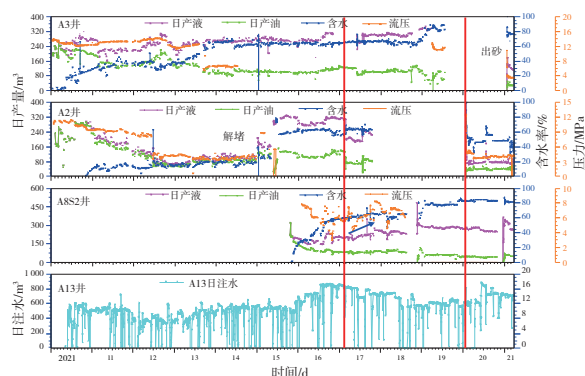


图6 A13注采井组 L_1II_2-1 油组生产曲线

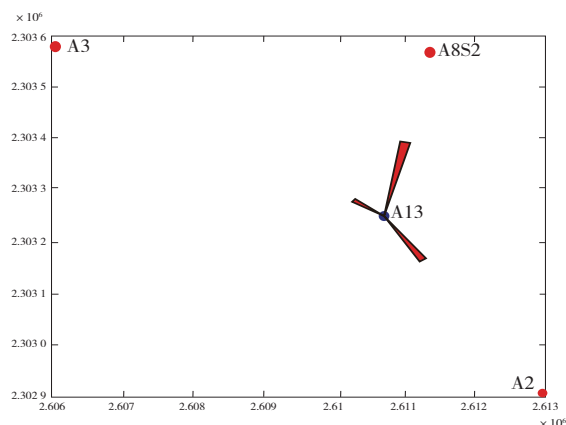


图7 L_1II_2-1 小层动态模拟成果示意

连通量化表征:A13井组 L_1II_2-1 小层为一注三采的井组,射开油层总厚度为23.3 m,与注水井连通的油层厚度为16.8 m,注采对应率为71.9%,即该井组该小层的连通程度为71.9%。

4.2.2 井组 L_1II_2-2 小层连通性

地质连通性初判:从小层沉积微相平面图3b得出,顺物源方向A13井与A3井为同一分流河道的不同部位,A2井与A13井处于不同相带;A1井位于席状砂,A8S2井位于分流河道侧缘。根据单井的砂体发育、井距、储层地震反演成果(见图5),A1井砂体发育薄,与A13井无连通关系;A8S2井与A13井井距小,砂体对应切叠接触,储层连通;A2井与A13井砂体切叠接触,储层连通较好;A13井与A3井为同一砂体,井间储层连通。

动态验证与完善:从A13井组注采曲线(见图6)分析得出,A13井与A3井、A2井、A8S2井存在不同程度的响应,表明存在连通关系。A13井注水,A2井生产异常,同时A8S2井井底流压上升,连通响应明显;A3井反应不明显。利用井间连通性评价软件模拟(见图8),A8S2井与A13井注采响应程度为0.49;A2井与A13井注采响应程度为0.27;A3井与A13井注采响应程度为0.23。

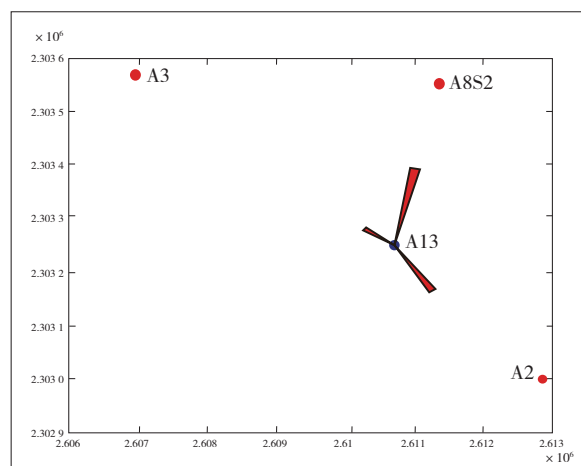


图8 L_1II_2-2 小层动态模拟成果示意

连通性量化表征:A13井组为一注三采的井组,射开油层总厚度为14.5 m,与注水井连通的油层厚度为12.2 m,注采对应率为84.5%,连通程度为84.5%。

4.3 储层连通性评价

综合各井区小层连通状况进行工区整体评价,从油田流一段 L_1II_2-1 小层平面连通示意图9上可以看出,注水井A9井与采油井A3井、A8S2井连通;注水井A13井与采油井A3井、A8S2井、A2井连通;注水井A16井与采油井A15井连通;注水井A10井与采油井A15井、A4井连通;注水井A11井与采油井A6井连通。

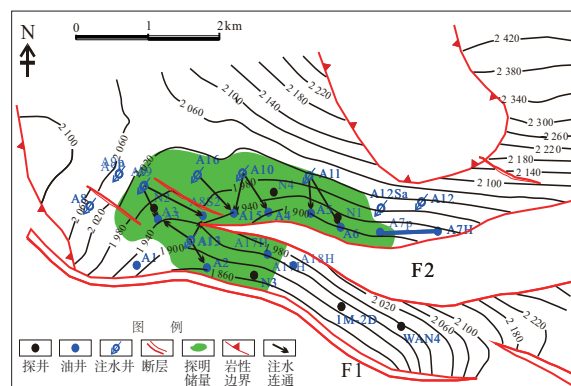


图9 流一段 L_1II_2-1 小层平面连通示意

从油田流一段连通状况统计结果(见表1)得出, L_1II_2-1 小层参与统计油井6口,射开油层总厚度52.9 m,与注水井连通的射开油层厚度40.0 m,小层平面连通程度75.6%。流一段参与统计油井8口,射开油层总厚度278.9 m,与注水井连通的油层厚度182.5 m,连通程度65.5%。整体上,全油田仅 L_1IV_2-2 小层、 L_1II_2-2 小层两个小层连通程度较低,水驱控制程度小于50%;其他小层平面连通程度较高,水驱控制程度均大于85%;而 L_1IV_2-1 、 L_1II_2-4 两个小层无注水对应连通层。

表 1 F 油田流一段小层连通情况统计

油组	小层	油井射孔 油层厚度/ m	与注水井连通 油层厚度/ m	水驱控制程度/ %	与统计 油井数/ 口	参与统计油井
L _I I	L _I I-1	33.8	30.8	91.1	2	A1、A2
L _I II _上	L _I II _上 -1	52.9	40.0	75.6	6	A2、A3、A4、A6、A8S2、A15
	L _I II _上 -2	29.9	18.7	62.7	6	A2、A3、A4、A6、A8S2、A15
L _I II _下	L _I II _下 -1	45.5	27.8	61.0	7	A1、A2、A3、A4、A8S2、A15、A19
	L _I II _下 -2	15.7	7.0	44.8	2	A1、A3
	L _I II _下 -3	13.2	7.1	54.0	5	A1、A2、A3、A8S2、A15
	L _I II _下 -4	10.5	0.0	0.0	1	A8S2
L _I IV _上 B	L _I IV _上 B-1	21.7	12.5	57.9	4	A2、A4、A15、A19
	L _I IV _上 B-2	11.6	10.3	88.9	2	A1、A2
L _I IV _上 C	L _I IV _上 C-1	8.6	8.6	100.0	1	A2
	L _I IV _上 C-2	5.7	5.7	100.0	1	A2
L _I IV _下	L _I IV _下 -1	4.0	0.0	0.0	2	A4、A6
	L _I IV _下 -2	17.5	5.7	32.2	2	A4、A6
	L _I IV _下 -3	8.2	8.2	100.0	1	A4
合计		278.9	182.5	65.5		

通过对 6 个注采井组 38 个小层单元进行连通性分析,纵向上表明各井组大部分小层连通,局部小层不连通。平面上,A9—A13 井区 L_II、L_III_上、L_IIV_上油组连通程度高,A16—A10 井区 L_III_下、L_IIV_下油组连通程度高,A11 井组连通较差。

5 结论

(1)F 油田流一段为滨浅湖扇三角洲前缘亚相,发育河口坝、水下分流河道、席状砂和河道间微相。主力油层 L_III_上油组发育 3 条分流河道带,分流河道带间交错叠置,砂体发育广,砂体厚度较大,呈条带状。

(2)储层砂体叠置模式复杂,有孤立型、接触型、切叠型、叠加型 4 种类型,其中主力油层 L_III 油组以切叠型、叠加型为主,局部发育接触型砂体。

(3)全油田仅 L_IIV_下-2 小层、L_III_下-2 小层两个小层连通程度较低,水驱控制程度小于 50%。流一段储层纵向上各井组大部分小层连通,局部小层不连通;平面上,A9—A13 井区 L_II、L_III_上、L_IIV_上油组连通程度高,A16—A10 井区 L_III_下、L_IIV_下油组连通程度高,A11 井组连通较差。

参考文献:

[1] 董贵能. 涪西南凹陷流一段扇三角洲沉积特征及其对隐蔽油气藏形成的控制作用[J]. 中国海上油气, 2008,

20(5):298-301.

[2] 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.

[3] 李茂,李胜利,姜平,等. 北部湾盆地涪西南凹陷涪 11 区流一段扇三角洲沉积特征及控制因素[J]. 现代地质, 2013,27(4):915-924.

[4] 刘杰,操应长,王健,等. 涪西南凹陷 A 井区古近系流沙港组一段砂体沉积特征及分布规律[J]. 沉积学报, 2013,31(1):56-66.

[5] 姜平,张建光,姚光庆,等. 涪西南凹陷 11-7 区块流沙港组沉积体系构成及演化特征[J]. 地质科技情报, 2013,32(2):97-104.

[6] 董贵能,邓勇,盖永浩,等. 北部湾盆地涪西南凹陷湖底扇的沉积特征[J]. 沉积学报, 2014,32(2):218-227.

[7] 王心怿. 涪西南凹陷流沙港组古地貌特征及砂体分布[D]. 青岛:中国石油大学(华东), 2018.

[8] 严恒,王丽君,高凌,等. 涪西南凹陷流一段沉积相研究及岩性地层圈闭识别[J]. 中国矿业, 2017, 26(S2): 207-212, 217.

[9] 李勇,张辉,曾小明. 涪 A 油田流沙港组一段 II 油组沉积微相及优质储层预测[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(22): 182-190.

[10] 魏峰,李跃林,马光春. 南海西部涪 11-1N 油田流沙港组一段扇三角洲储层构型建模[J]. 中国海上油气,

- 2019, 31(2):93-102.
- [11] 崔名喆, 郭诚, 穆朋飞, 等. 基于地震波形及属性优选的优势储层预测——以渤海湾盆地A油田为例[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2019, 16(1):15-20.
- [12] 梁立锋, 张宏兵, 刘秀娟, 等. 惠州某区薄储层反演技术研究及应用[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2017, 45(3):230-234.
- [13] 赵海波, 唐晓花, 李奎周, 等. 基于地震岩石物理分析与叠前地质统计学反演技术的齐家地区致密薄储层预测[J]. 石油物探, 2017, 56(6):853-862.
- [14] 钱银磊, 胡清雄, 王晓辉, 等. 地震波形指示反演在薄储层预测中的应用[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2017, 19(6):17-20.
- [15] 曾洪流, 朱筱敏, 朱如凯, 等. 陆相拗陷型盆地地震沉积学研究规范[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(3):275-284.
- [16] 杨帅, 陈洪德, 侯明才, 等. 基于地震沉积学方法的沉积相研究——以涪西南凹陷涪洲组三段为例[J]. 沉积学报, 2014, 32(3):568-575.
- [17] 杨川, 林承焰, 孟征, 等. 地震沉积学在辫状河沉积相研究中的应用——以奥里诺科重油带JN4区块Merecure组为例[J]. 东北石油大学学报, 2019, 43(6):105-117.
- [18] 赵汉卿, 刘美佳, 陈存良, 等. KL油田沙三上亚段沉积特征及砂体叠置类型[J]. 断块油气田, 2021, 28(4):475-480.
- [19] 文佳涛, 严皓, 韩雪芳, 等. JZ气田湖底扇岩性砂体叠置模式与连通关系[J]. 大庆石油地质与开发, 2020, 39(4):143-149.
- [20] 郝睿林, 黄文辉, 胡广成, 等. 南苏门答腊盆地J区中新统进积三角洲成因砂体叠置样式[J]. 油气地质与采收率, 2020, 27(4):52-62.
- [21] 李威, 居字龙, 朱义东, 等. 辫状河三角洲砂体叠置演化规律及其在调整井实施中的应用——以珠江口盆地陆丰凹陷A油田恩平组为例[J]. 中国海上油气, 2021, 33(4):94-102.
- [22] 田景春, 张兴良, 王峰, 等. 鄂尔多斯盆地高桥地区上古生界储集砂体叠置关系及分布定量刻画[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(6):737-742, 815.
- [23] 马立民, 于忠良, 余成林, 等. 基于节点分析劈分法的多层油藏井间动态连通性分析[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(11):4335-4343.
- [24] 黄艳梅, 徐莎, 屈宏, 等. 岩性油藏储层连通性及剩余油分布研究[J]. 复杂油气藏, 2020, 13(1):48-52, 57.
- [25] 王任一. 基于生产动态数据的井间储层连通性识别方法[J]. 石油与天然气地质, 2019, 40(2):443-450.
- [26] 郭丽娜, 王龙, 陈培元, 等. 渤海P油田河流相多层砂岩油藏储层连通性分析[J]. 海洋地质前沿, 2020, 36(5):57-63.
- [27] 郭建洪, 牟中海, 魏成章, 等. 昆北油田切六区路乐河组储层连通性研究[J]. 地质科技情报, 2015, 34(6):125-130.
- [28] 王秀坤, 崔传智, 王鹏, 等. 砾岩油藏井间动态连通性判定方法[J]. 特种油气藏, 2015, 22(4):118-120.
- [29] 冯其红, 陈存良, 杨光龙, 等. 利用注采数据研究岔15油田井间连通性[J]. 特种油气藏, 2014, 21(6):87-89.
- [30] 赵辉, 姚军, 吕爱民, 等. 利用注采开发数据反演油藏井间动态连通性[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2010, 34(6):91-94, 98.
- [31] 路琳琳, 杨作明, 孙贺东, 等. 动静态资料相结合的气井连通性分析——以克拉美丽气田火山岩气藏为例[J]. 天然气工业, 2012, 32(12):58-61.
- [32] 于新, 李玲玲, 何川, 等. 舍女寺地区孔二段沉积体系研究[J]. 石油地质与工程, 2018, 32(6):29-32.
- [33] 华溱, 张昂昂, 呼园平, 等. 一种新的注采连通研究方法在南泥湾油田偏桥区的应用[J]. 石化技术, 2019, 26(5):40-41.

(编辑 卞 炜)