

基于深水浊积水道构型的流动单元分布规律

万琼华^{1,2}, 吴胜和¹, 陈亮³, 林煜¹, 梁杰², 张佳佳¹, 路瑶¹[1. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249; 2. 中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 广东 广州 510240;
3. 中海石油研究总院, 北京 100028]

摘要:深水浊积水道发育位置与形成过程复杂,目前国内外学者致力于其沉积机理和模式的研究。相对于陆上沉积,这些研究成果尚不能高效地运用到油气田开发中。因此,将构型模式与流动单元研究相结合的意义重大,表现为:①已有的构型级别的划分能够有效地指导流动单元渗流屏障和连通体的层次分析;②已有的沉积模式研究能够约束流动单元的分布规律;③二者的结合能将构型模式研究成果运用到油气田开发中。为此,以西非尼日尔三角洲深水浊积水道储层为例,在储层构型级别划分的基础上,分级次识别了渗流屏障和连通体;并运用多参数流动单元的划分方法,将储层划分为A、B、C、D 4类流动单元;最后,在构型模式的指导下进行了流动单元的单井解释及单一水道剖面与复合水道平面的流动单元分布特征研究,并以此指导油气田开发。研究表明:在单一水道级别,不同类型的单一水道内部流动单元发育类型和分布特征存在差异,流动单元的分布规律受控于不同单一水道类型的分布规律;在复合水道级别,水道体系不同时期水道迁移与叠置样式的差异,造就了流动单元平面分布特征的差异性。

关键词:流动单元;渗流屏障;连通体;浊积水道;尼日尔三角洲

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Analysis of flow unit distribution based on architecture
of deep-water turbidite channel systemsWan Qionghua^{1,2}, Wu Shenghe¹, Chen Liang³, Lin Yu¹, Liang Jie², Zhang Jiajia¹, Lu Yao¹(1. College of Geoscience, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. Shenzhen Branch of CNOOC Ltd.,
Guangzhou, Guangdong 510240, China; 3. CNOOC Research Institute, Beijing 100028, China)

Abstract: The study of deep-water turbidite channels (with their wired locations and complicated forming process) has been mostly about their sedimentary mechanism and models. However, the study results could not be effectively applied in actual development of oil and gas fields. We suggest that a combination of architecture model with flow units of the channels be a better solution to the problem for the following reasons: ①available architecture division of the channels can be used to guide directly and effectively a hierarchy analysis of seepage barriers and interconnected bodies of flow units in the channels; ②existing sedimentary models can be resorted to constraint the distribution laws of the flow units; and ③a combination of ① and ② can be used to guide oil and gas development. We took a deep-water submarine fan reservoir of Niger delta in West Africa as an example to illustrate the idea. Based on available reservoir architecture division, we identified seepage barriers and interconnected bodies and divided the reservoir into 4 types (A, B, C and D) of flow units through multi-parameters-based flow unit identification. We then tried to interpret flow units of single well and study profile distribution characteristics of single channel and plain distribution characteristics of composite channels with the architecture model as a guidance. The results were finally applied to the development of oil and gas fields. The research shows that the types and distribution features of flow units of different single channels may vary greatly from one to another and the distribution of these flow units were controlled by the distribution pattern of different types of single channels. For composite channels, the migration and stacking patterns of the channels systems at different stages led to a difference in flow unit distribution characteristics.

Key words: flow unit, seepage barrier, interconnected sand body, turbidite channel, Niger Delta Basin

20世纪90年代以来,伴随着深水低位扇巨型油气田 在北美墨西哥湾盆地、南美坎波斯盆地、西非尼日尔三角

收稿日期:2014-10-15;修订日期:2015-02-27。

第一作者简介:万琼华(1986—),女,工程师,精细油藏描述及开发地质研究。E-mail:wanqh@cnooc.com.cn。

通讯作者简介:吴胜和(1963—),男,教授、博士生导师,储层地质学、油藏描述及三维地质建模。E-mail:reser@cup.edu.cn。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05030-005),(2011ZX05009-003);国家自然科学基金青年科学基金项目(40902035)。

洲以及中国南海等地区被接连发现,深水海底扇油气藏已成为当今油气勘探开发的热点之一^[1-5]。同时,由于深水浊积水道发育位置的特殊性与沉积过程的复杂性,国内外学者针对其沉积机理与构型模式展开了大量研究,并取得了一系列研究成果^[6-10]。但对于如何将该类研究成果高效运用到开发深水海底扇油气田中尚待探索。

流动单元研究作为油气田开发过程中油藏表征的关键,自 Hearn 1984 年首次提出流动单元的概念,国内外学者不断地更新流动单元的定义以及划分方法^[11-13],并以流动单元的分布规律指导油气田的后期开发与剩余油分布研究。但是,少有学者基于储层构型模式、结合动态资料来研究流动单元。精细的构型分析对于流动单元研究有着显著作用:首先,构型的研究是确定渗流屏障和连通体的基础;其次,由于不同构型单元沉积环境、成岩作用不同,本身也存在渗流差异,即构型单元的分布在一定程度上控制了流动单元的展布。

针对上述问题,本文以西非尼日尔三角洲深水浊积水道储层为例,综合利用研究区局部密井网资料、测井和取心资料、高品质地震资料以及少量的开发动态资料,在储层构型模式研究^[14]与流动单元划分的基础上,研究了流动单元的分布规律,以期指导油气田开发。通过本文的研究,能将储层构型模式运用到油气田开发中,不仅深化了流动单元的划分方法,而且更有效地运用了储层构型研究成果。

1 研究区概况

研究区 X 油田位于西非尼日尔三角洲盆地南缘的下陆坡深水区,储集体为整体海退背景下发育的深水浊积水道,工区北部距 Harcourt 港仅 200 km(图1)。尼日尔盆地是从早白垩世开始发育的被动大陆边缘盆

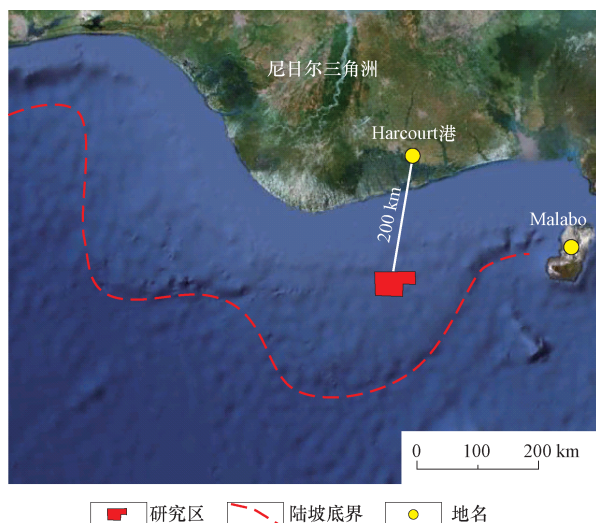


图1 X 油田地理位置及构造背景

Fig. 1 Location and tectonic settings of the study area in the X field

地,经历了裂谷期和漂移期两个构造演化阶段。自始新世以来,长期的海退环境形成了当今的尼日尔三角洲。三角洲前积过程中,受大陆边缘重力的影响,自北向南形成了伸展构造带、底辟构造带和逆冲推覆构造带^[15]。2000 年 4 月发现该油田,油田范围内水深 1 300 ~ 1 450 m。据统计,至今为止已经钻井 41 口,平均井距 2 500 m,最小井距能达 167 m,其中有 8 口水平井和 9 口取心井,取心与分析化验资料丰富。地震资料频带宽度为 5 ~ 70 Hz,主频 32 Hz。主力研究 A 油组:其中 AL 油组目前是五采三注,合采合注,边部注水,采出程度 13.4%,开发状况一般,井网不完善,储量动用程度不均衡;井组间压力维持差别大。因此,储层渗流屏障识别、连通体划分和流动单元研究对于改善油田开发效果意义重大。

2 基于储层构型模式的渗流屏障与连通体级次分析

2.1 渗流屏障与连通体的概念

渗流屏障包括 3 种类型,即泥岩屏障、胶结带屏障和封闭性断层屏障^[16]。其中较为常见的为泥岩屏障,它对油气田的形成与开发影响较大。泥岩屏障发育的位置往往在不同构型级次间的构型界面附近。不同级次的构型界面对应不同层次的渗流屏障,而不同层次的渗流屏障限定了不同层次的连通单元。

连通体的划分是在单砂体划分对比和沉积微相展布及储层构型分析的基础上,根据渗流屏障的分布规律进行的。其研究思路为:首先,根据各单井小层划分对比确定上、下砂体间的垂向渗流屏障,从而得到连通体的垂向关系;然后,根据沉积微相和构型分析的砂体横向尖灭性及断层的横向封堵性确定连通体的平面分布特征。

流动单元可分为 3 个层次:

1) 连通体——连通体是流动单元的第一级层次。在连通体的内部,储层质量和流体渗流性质可以存在差异,但是各处都是连通的。连通体的外缘被层间隔层、层内稳定夹层、横向稳定水道间泥岩、溢岸沉积以及封闭性断层所限定,连通体之间没有流体流动。

2) 连通单元——在连通体内部,不连续泥岩屏障以及泥质披覆沉积将连通体分隔成若干个部分连通的储集单元,即部分被泥岩屏障遮挡,但另一部分与其他单元相连通。

3) 渗流单元——在连通单元内部,往往因为岩石相充填的差异造成储层质量的差异。为了表现这种差异,需要将连通单元进一步细分,可以将连通单元分为若干个储层质量和渗流特征相似的单元,即渗流单元。因此,在连通单元内划分出的渗流单元为流动单元的

第三层次,即狭义的流动单元^[17]。

2.2 渗流屏障与连通体的层次分析

目前,关于浊积水道的级次划分国内外还没有形成统一的标准。本次构型级次的划分主要参照 Miall 提出的河流相构型单元分级系统,结合研究区浊积水道特征,提出了浊积水道体系的7级构型单元划分方案。同时,根据单一水道内部岩石相的充填特征以及水道发育的时期,将研究区划分为4类单一水道^[14]。Ⅰ类单一水道以泥质浊流沉积为主,底部发育少量块状砂砾岩和块状中-细砂岩,主体为泥质细粒沉积夹薄层交错层理细砂岩,顶部为泥岩披覆,垂向上粒度整体呈正韵律,沉积构造以交错层理和波状层理为主;测井曲线上,自然伽马、电阻率等呈齿化严重的钟形,内部回返明显。Ⅱ类单一水道以低密度砂质浊流沉积为主,底部主要发育块状砂砾岩和块状中-粗砂岩,主体为厚层块状中-细砂岩以及少量交错层理细砂岩,顶部为泥质细粒沉积,垂向上粒度呈典型正韵律,沉积构造以块状层理为主;测井曲线上,自然伽马和电阻率以漏斗形为主,内部存在回返,密度曲线以箱形-钟形组合为主。Ⅲ类单一水道以高密度砂质浊流沉积为主,底部发育厚层块状中-粗砂岩,可见明显冲刷面,主体由下到上依次为块状中-粗砂岩、块状中-细砂岩和交错层理细砂岩,顶部为少量薄层泥质细粒沉积,垂向上粒度呈正韵律,沉积构造以块状层理为主;测井曲线上,自然伽马与电阻率多表现为箱形、钟形,密度曲线呈漏斗形。Ⅳ类单一水道内部碎屑流沉积明显增加,是高密度浊流和碎屑流共同作用的产物,下切侵蚀能力极强,水道底部主要发育块状泥质不等粒砂岩(主要为碎屑流成因,物性极差),主体和顶部则为巨厚的块状砾质粗砂岩,细粒泥岩沉积较少发育,垂向上粒度呈反韵律;测井曲线上,自然伽马、电阻率等在水道下部幅度较低,呈齿化钟形或箱形,上部幅度较高,呈箱形(图2)。

本次流动单元的研究主要基于单一水道、水道复合体和复合体组合3个级次展开。其中,储层渗流屏障与连通体的确定原则为:不同级别的构型单元代表不同层次的连通体,而不同级别的构型界面可以作为不同层次连通体之间的渗流屏障。研究区钙质胶结带发育较少,断层开启,因此我们主要研究泥岩屏障。该区浊积水道沉积的渗流屏障与相应连通体级别为:

1) 垂向上,研究区A油组发育多期浊积水道砂体,水道侧向迁移和垂向叠置复杂。在水道复合体组合级次,不同水道复合体间往往发育稳定分布的泥质隔层,定为垂向一级渗流屏障,对应为五级构型界面

(⑤)。一级渗流屏障限制的储集层为连通体级别,其外缘被层间隔层、溢岸沉积或者封闭性断层所限定,连通体之间不存在流体流动。

2) 在水道复合体级次,由于单一水道侧向迁移和垂向演化的复杂性,其泥岩屏障往往为分布相对不稳定的垂向泥质夹层和水道边缘滑塌沉积。同时,当水道的溢岸沉积发育并以泥质充填为主时,也会成为较强的侧向泥岩屏障,将其定义为二级渗流屏障,对应为四级构型界面(④),其限定的储集层为连通单元级别。

3) 在单一水道级次,水道内部充填的泥质夹层与水道末期的泥质披覆沉积为三级渗流屏障,对应为三级(③)或者二级(②)构型界面,其限定的储集层为渗流单元,其内部再没有泥岩屏障的存在,渗流特征只受岩石相充填差异的影响(图3;表1)。

3 流动单元的划分与解释

3.1 流动单元的划分

根据取心井资料中的129个分析化验数据样本,结合开发中的动态资料(单井每米产油指数),将选定的参数与研究区采油井的每米采油指数进行相关性分析。结果表明:孔隙度、渗透率和泥质含量与采油井的每米采油指数具有很好的相关性,相关系数都在0.85以上,渗透率相关系数达到了0.95;但是,地层系数和流动带指标与每米采油指数相关性不好,相关系数分别只有0.49和0.10。因此,最后选取泥质含量、孔隙度和渗透率3个参数,应用聚类分析的方法进行流动单元的划分,将储层划分为A、B、C、D4类流动单元。其中每类流动单元的特征如下:

1) A类流动单元:储层质量最好,渗透率分布在 $1\,462.5 \times 10^{-3} \sim 2\,715.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均 $1\,727.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 孔隙度分布在 20.7% ~ 33.0%, 平均 27.4%; 泥质含量介于 2.9% ~ 16.6%, 平均 7.7%。A类流动单元的厚度一般大于8 m。

2) B类流动单元:储层质量较好,渗透率分布在 $827.8 \times 10^{-3} \sim 2\,090.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均 $1\,163.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 孔隙度分布在 18.8% ~ 27.6%, 平均 24.8%; 泥质含量介于 3.9% ~ 28.8%, 平均 10.2%。B类流动单元的厚度一般大于5 m。

3) C类流动单元:储层质量较差,渗透率分布在 $150.5 \times 10^{-3} \sim 1\,291.9 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均 $839.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 孔隙度分布在 15.1% ~ 26.4%, 平均 21.8%; 泥质含量介于 3.2% ~ 37.7%, 平均 21.6%。C类流动单元的厚度一般小于2 m。

4) D类流动单元:储层质量最差,渗透率分布在

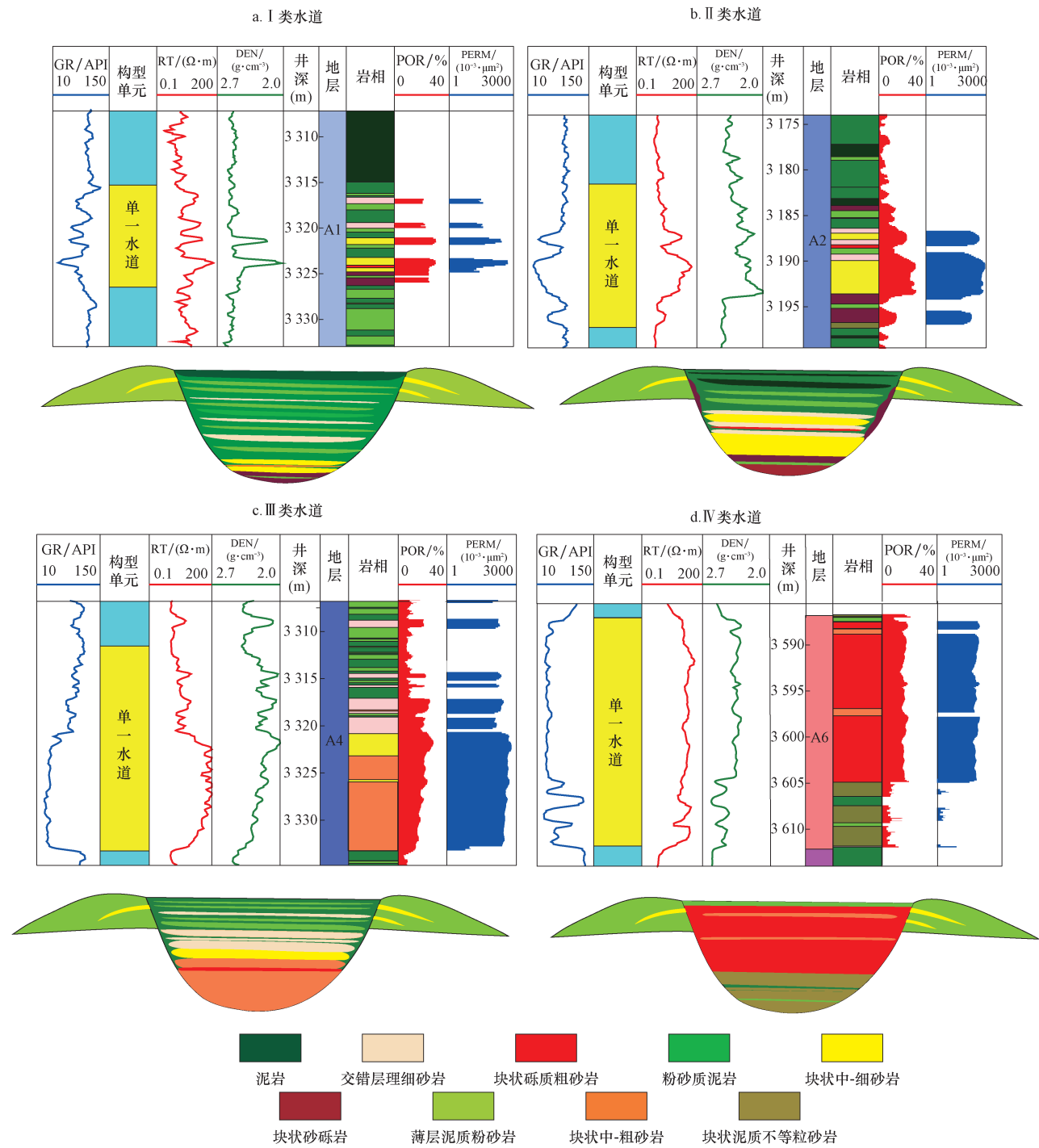


图2 不同单一水道类型岩石相充填特征与测井响应特征

Fig. 2 Characteristics and log responses of lithofacies-filling in different kinds of single channels

GR. 自然伽马; RT. 深侧向电阻率; DEN. 密度; POR. 孔隙度; PERM. 渗透率

$5.3 \times 10^{-3} \sim 625.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均 $346.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 孔隙度分布在 12.1% ~ 22.6%, 平均 18.3%; 泥质含量介于 10.9% ~ 53.6%, 平均 31.9%。D 类流动单元的厚度变化范围较大, 绝大多数小于 2 m, 但部分可大于 6 m。

在聚类分析的基础上, 根据 Fisher 准则, 通过判别函数分析原理, 可以建立每类流动单元的判别函数^[18]。

A 类流动单元:

$$Y = 73.811V_{sh} + 115.940\Phi + 0.069K - 102.229 \quad (1)$$

B 类流动单元:

$$Y = 67.039V_{sh} + 119.984\Phi + 0.052K - 66.198 \quad (2)$$

C 类流动单元:

$$Y = 42.130V_{sh} + 125.061\Phi + 0.032K - 37.283 \quad (3)$$

D 类流动单元:

$$Y = 27.810V_{sh} + 122.205\Phi + 0.014K - 20.805 \quad (4)$$

式中: Y 为储层流动单元判别函数, 无量纲; K 为样品点的渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$; Φ 为样品点的孔隙度, %; V_{sh} 为样品点的泥质含量, %。

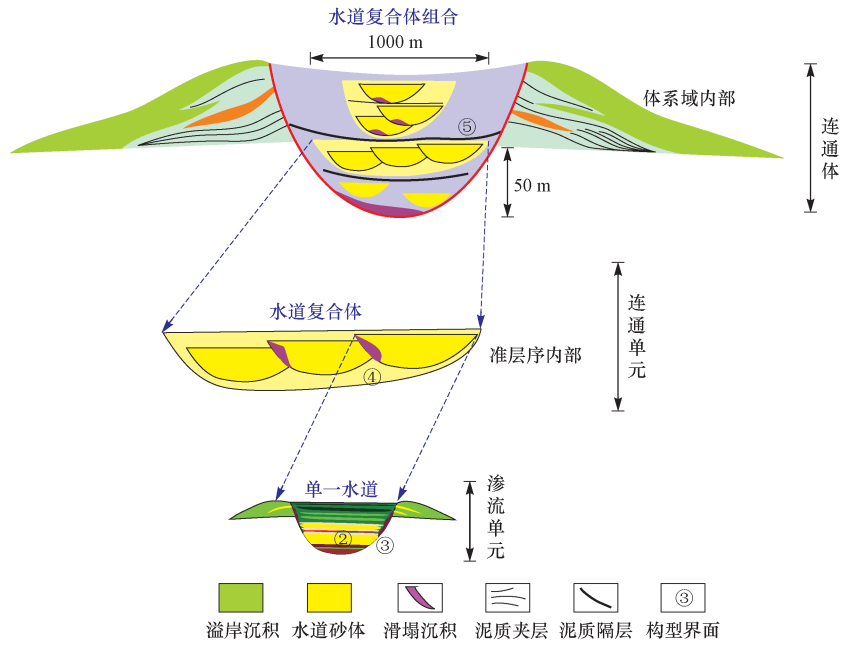


图 3 储层构型单元内渗流屏障与连通体分布特征

Fig. 3 Distribution characteristics of seepage barriers and interconnected sand bodies in reservoir architecture units

表 1 渗流屏障级别与储层构型关系

Table 1 Relationship between flow barrier hierarchy and reservoir architecture

渗流屏障级别	定义	划分原理	对应构型界面级别	连通体级别
一级	垂向不同期次水道复合体间的非渗透性边界	储层构型储层建模	五级 (⑤, 区域稳定沉积的泥质隔层)	连通体
二级	单一水道间的非渗透界面	储层构型储层建模	四级 (④, 溢岸沉积、水道边缘沉积、滑塌沉积等)	连通单元
三级	单一水道内部的非渗透界面	储层构型储层建模	三级或二级 (③或②, 单一水道内部夹层、水道末期泥质披覆沉积)	渗流单元

3.2 单井流动单元解释

单一水道内部流动单元的解释主要用来反映储层内部的渗流差异。单井流动单元的解释可分为两步：首先在垂向上划分为储层与非储层；然后对于储层，根据工区流动单元划分的相关参数（取心资料与测井资料结合）及分类标准，运用前期流动单元判别函数对单井流动单元进行解释。

单井划分结果显示：对于同一口单井，由于每个小层发育的水道形成于水道体系发育的不同时期，水道类型存在差异，其内部岩石相充填特征也就不同，最终造成流动单元类型与分布特征的差异；而对于不同的

井来说，即使在同一单层发育的水道，由于处于水道的位置不同，其岩石相充填样式也不同，流动单元的类型及分布特征差别就很大（图 4）。

4 构型控制下的流动单元分布规律

4.1 流动单元垂向分布规律

在一个完整的水道体系垂向演化过程中，由于每个时期浊积水道的物源、水动力和搬运方式存在较大的差别，不同成因机制发育的水道类型不一。由下往上，随着水体能量、物源的变化，4 类水道表现出Ⅳ类—Ⅲ类—Ⅱ类—Ⅰ类的演化趋势（图 5）。相应地，在局部密井网单一水道构型界面的控制下，对单一水道内部进行了井间流动单元的预测。研究发现，水道体系不同时期发育的水道类型不一样，造成流动单元的类型和分布特征存在差异，即流动单元的类型和分布规律受控于单一水道的垂向演化规律。具体表现在：

1) 从水道体系来看，储层质量较好的 A 类和 B 类流动单元主要分布于水道体系的中部，而质量较差的 C 类和 D 类流动单元则主要分布于水道体系的顶、底部。

2) 从单一水道级次来看，由于每类水道的成因机制不同，岩石相充填存在差异，造成不同类型单一水道内部的流动单元类型以及组合存在差异。4 类水道砂体中，Ⅰ类水道内部主要发育 D 类流动单元；Ⅱ类水道内部主要发育 B 类和 C 类流动单元；Ⅲ类水道内部主要发育 A 类和 B 类流动单元；Ⅳ类水道内部主要发育 B 类和 D 类流动单元（图 6）。

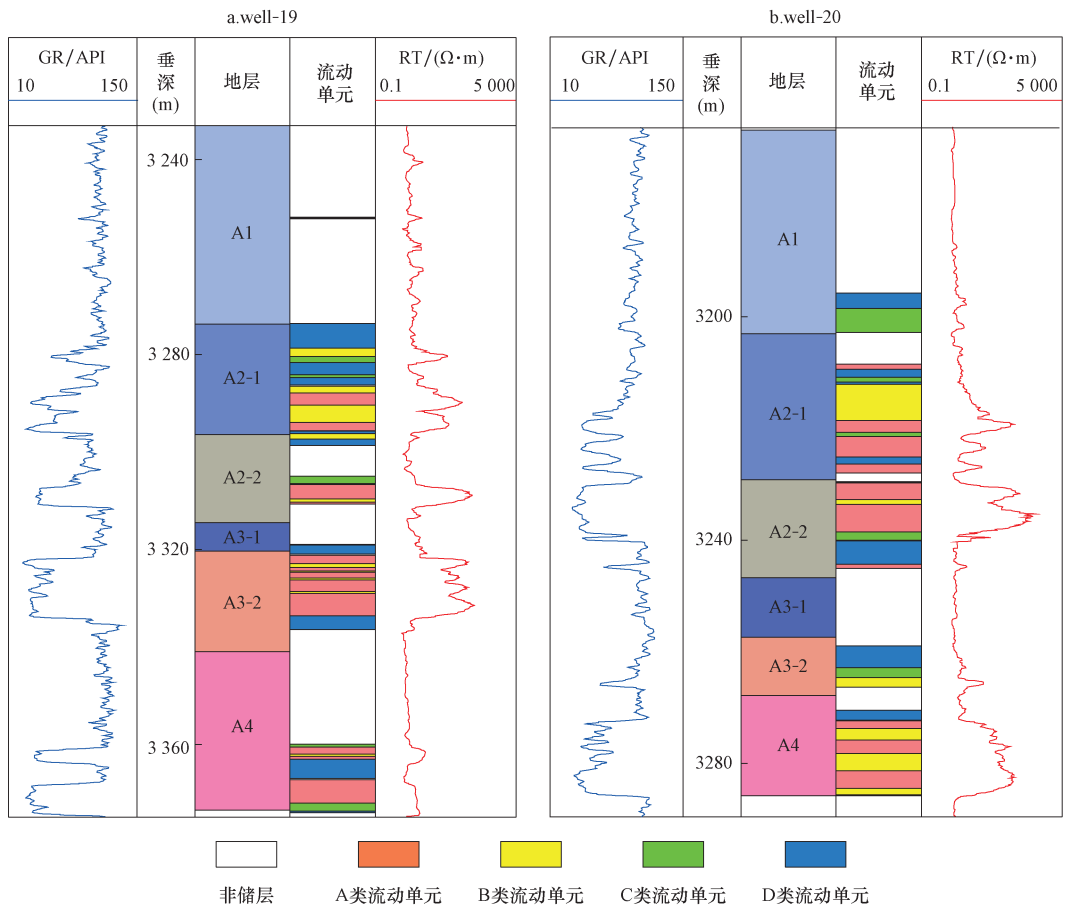


图 4 储层流动单元单井划分结果

Fig. 4 Flow unit division of reservoirs in single wells

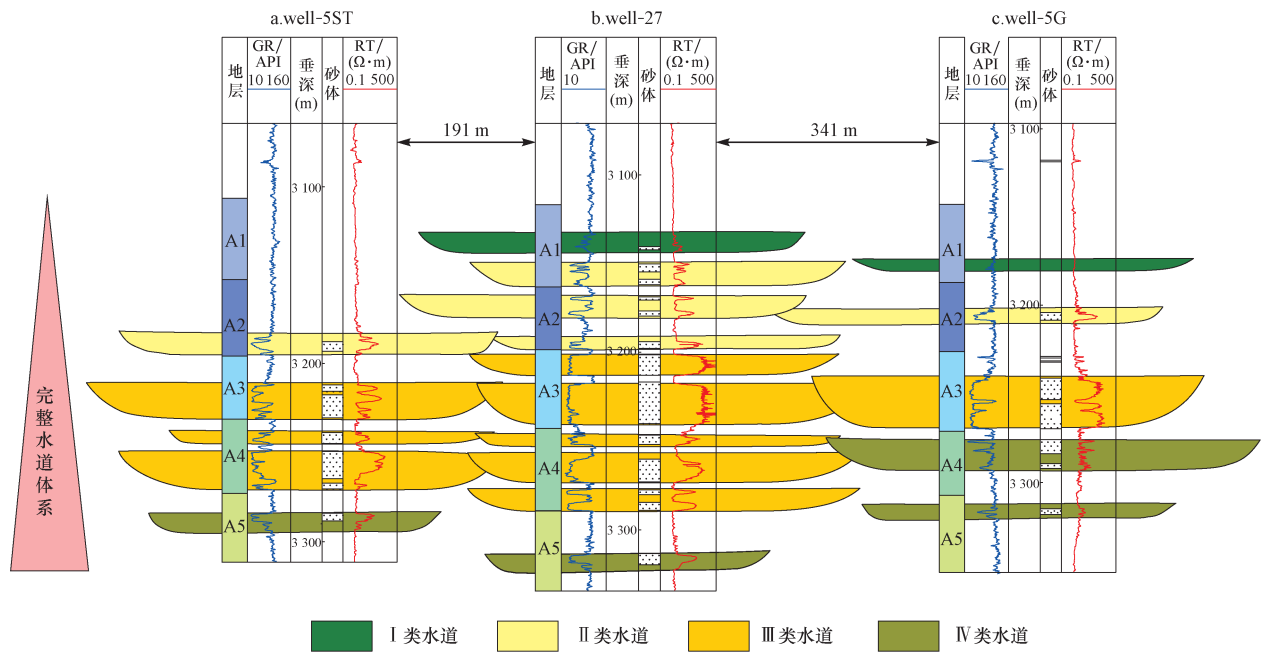


图 5 不同单一水道类型剖面分布特征

Fig. 5 Profile distribution characteristics of different kinds of single channels

4.2 流动单元平面分布特征

复合水道级次流动单元的特征是研究复合水道平

面上的渗流差异。流动单元的划分受控于复合水道构型单元之间的界面,这类泥岩屏障一般为规模较大的泥质隔层。复合水道内部渗流差异较大,主要是由于

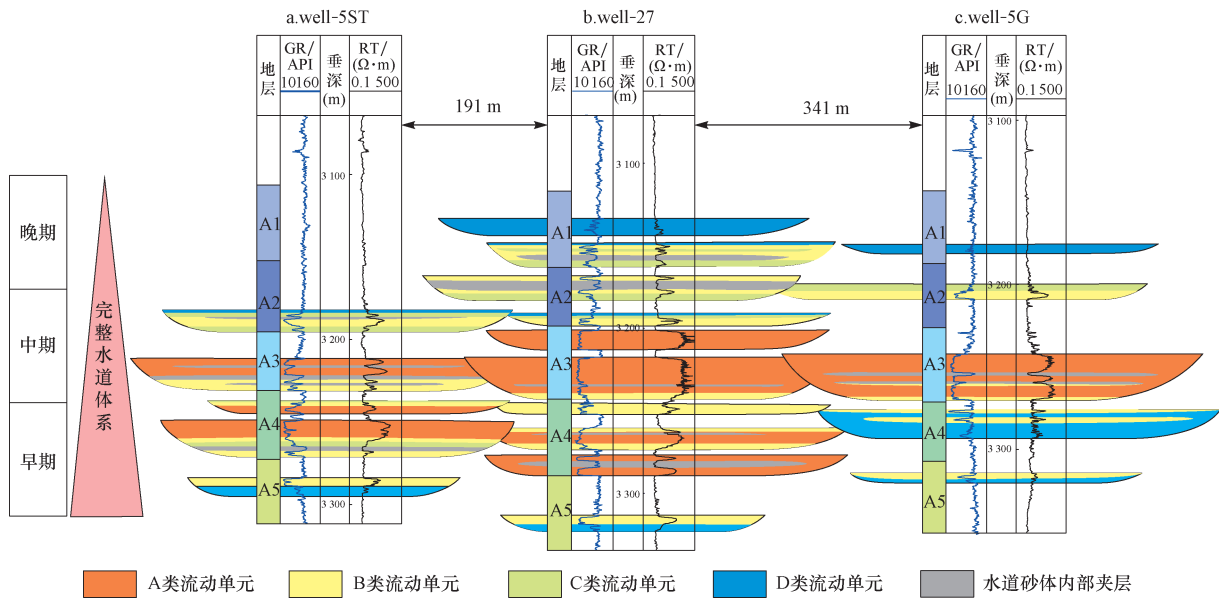


图6 单一水道内部流动单元剖面分布特征

Fig. 6 Distribution characteristics of flow units in single channels

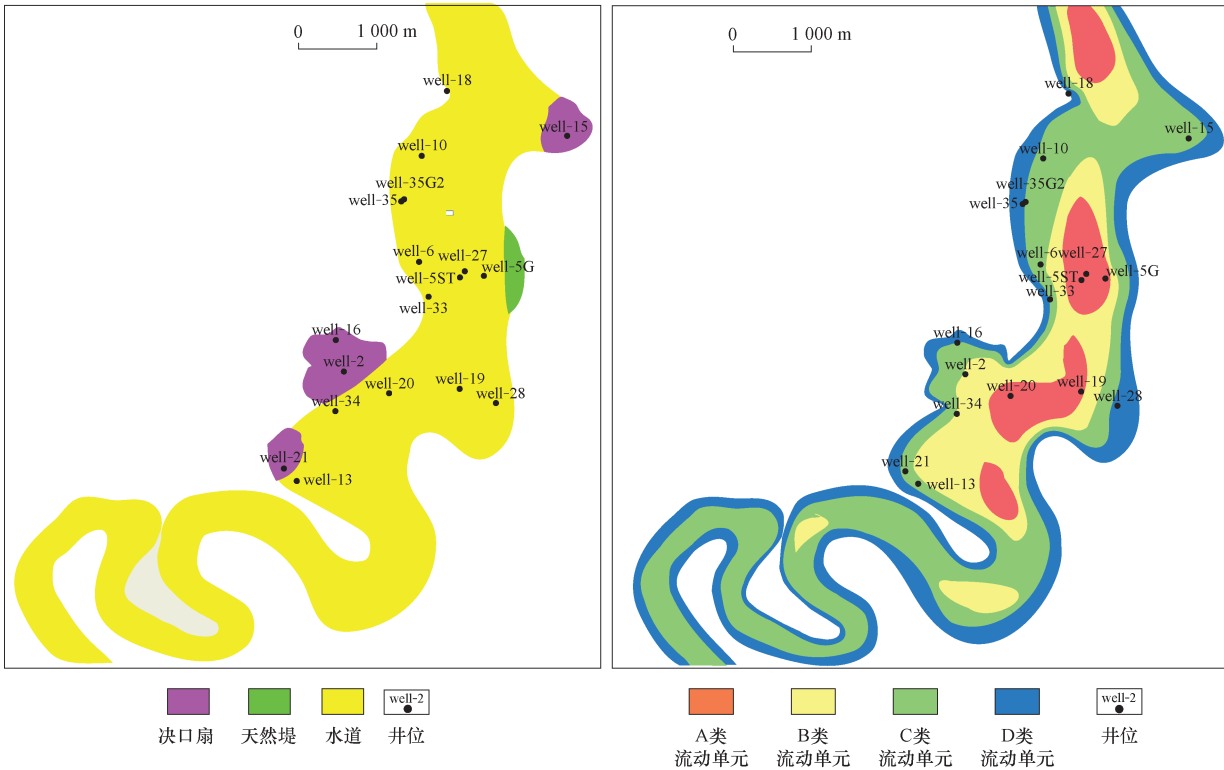


图7 浊积水道储层流动单元平面分布与构型单元平面分布对比(准层序 A3)

Fig. 7 Correlation of planar distributions of flow units and architecture elements(A3 subsequence)

不同单一水道的侧向拼接和垂向叠加程度不一造成的。

复合水道流动单元平面分布具有以下特点：

- 1) 平面上,A类和B类流动单元主要分布在水道砂体的轴部,而C类和D类流动单元主要分布于水道砂体的边缘以及溢岸砂体处。
- 2) 流动单元在平面上类型多、分布较不连续,并

且流动单元的储层质量越好、连续性越差,如A类流动单元在顺物源方向呈串珠状分布(图7)。

5 结论与认识

- 1) 确定了X油田深水浊积水道渗流屏障与连通体的层次性。本次研究首先划分出4类单一水道;然

后,针对构型级次单一水道、水道复合体和复合体组合,定义其对应连通体层次分别为渗流单元、连通单元和连通体。研究区连通体之间发育泥岩屏障,不同层次连通体之间渗流屏障级别不同,对应可分成3个不同层次,且不同层次的渗流屏障分别对应不同级次的构型界面。

2) 形成了针对复杂沉积机理的深水浊积水道多参数流动单元划分方法。运用聚类分析将储层划分为A、B、C、D 4类流动单元,并建立了流动单元的判别函数。其中,A类和B类储层质量最好,主要分布在水道主体。

3) 流动单元的类型和分布规律受控于单一水道类型的垂向演化规律。在水道体系内部,储层质量较好的流动单元主要分布于水道体系的中部。对于单一水道,不同的水道类型其流动单元的类型和分布特征不一样。

4) 各单期水道复合体平面非均质性很强,具体表现在流动单元类型多,并且流动单元分布不连续。一般在水道复合体的主体部位发育较好的流动单元类型,水道复合体的边缘发育较差的流动单元类型,渗流能力好的流动单元连续性最差。

参 考 文 献

- [1] 吕福亮,贺训云,武金云,等. 世界深水油气勘探现状、发展趋势及对我国深水勘探的启示[J]. 中国石油勘探,2007,(6):28-31.
Lü Fuliang, He Xunyun, Wu Jinyun, et al. Current situation and tendency of deepwater oil and gas exploration in the world[J]. China Petroleum Exploration, 2007, (6): 28-31.
- [2] 李大伟,李德生,陈长民,等. 深海扇油气勘探综述[J]. 中国海上油气,2007,19(1):18-24.
Li Dawei, Li Desheng, Chen Changmin, et al. An overview of hydrocarbon exploration in deep submarine fans[J]. China Offshore Oil and Gas, 2007, 19(1): 18-24.
- [3] 江怀友,赵文智,闫存章,等. 世界海洋油气资源与勘探模式概述[J]. 海相油气地质,2008,13(3):5-10.
Jiang Huaiyou, Zhao Wenzhi, Yan Cunzhang, et al. Review on marine petroleum resources and exploration models in the globe[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2008, 13(3): 5-10.
- [4] 张抗,董立,温友建. 俄罗斯-前苏联石油产区的战略接替及其启示[J]. 石油与天然气地质,2012,33(1):148-158.
Zhang Kang, Dong Li, Wen Youjian. Strategic replacement of oil producing area in Russia-former Soviet Union and its enlightenment[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 148-158.
- [5] 牛成民. 渤海南部海域莱州湾凹陷构造演化与油气成藏[J]. 石油与天然气地质,2012,33(3):424-431.
Niu Chengmin. Tectonic evolution and hydrocarbon accumulation of Laizhouwan depression in southern Bohai Sea[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(3): 424-431.
- [6] Wynn R B, Cronin B T, Peakall J. Sinuous deep-water channels: Genesis, geometry and architecture[J]. Marine and Petroleum Geology, 2007, 24: 341-387.
- [7] Beaubouef R T, Abreu V, Van Wagoner J C. Basin 4 of the Brazos Trinity slope system, western Gulf of Mexico[C]//Roberts H H, Rosen N C, Filton R H, et al. Shelf margin deltas and linked down slope petroleum system: Global significance and future exploration potential. Gulf Coast Section SEPM Foundation, the 23rd Annual Bob F. Perkins Research Conference, 2003: 45-66.
- [8] Mutti E, Normark W. Comparing examples of modern and ancient turbidite systems: Problems and concepts[M]. London: Graham and Trotman, 1987: 1-38.
- [9] Richard L. Integrated three-dimensional modeling approach of stacked turbidity channels[J]. AAPG Bulletin, 2007(11): 1603-1618.
- [10] 刘忠宝,杨圣彬,焦存礼,等. 塔里木盆地巴楚隆起中、下寒武统高精度层序地层与沉积特征[J]. 石油与天然气地质,2012,33(1):70-76.
Liu Zhongbao, Yang Shengbin, Jiao Cunli, et al. High resolution sequence stratigraphy and sedimentary characteristics of the Middle-Lower Cambrian in Bachu Uplift, the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 70-76.
- [11] Hearn C L, Ebanks W J, Tye R S, et al. Geological factors influencing reservoir performance of Hartog Draw Field, Wyoming[J]. Journal of Canadian Petroleum Technology, 1984, 36(9): 1335-1344.
- [12] Ebanks W J Jr. Flow unit concept-integrated approach to reservoir description for engineering projects[J]. AAPG Bulletin, 1987, 71(5): 551-552.
- [13] 计秉玉. 国内外油田提高采收率技术进展与展望[J]. 石油与天然气地质,2012,33(1):111-117.
Ji Bingyu. Progress and prospects of enhanced oil recovery technologies at home and abroad[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 111-117.
- [14] 林煜,吴胜和,万琼华,等. 深水浊积水道体系构型模式研究[J]. 地质论评,2013,59(3):510-520.
Lin Yu, Wu Shenghe, Wan Qianghua, et al. Research on architecture model of deepwater turbidity channel system: A case study of a deepwater research area in Niger Delta Basin, West Africa[J]. Geological Review, 2013, 59(3): 510-520.
- [15] 邓荣敬,邓运华,于水,等. 尼日尔三角洲盆地油气地质与成藏特征[J]. 石油勘探与开发,2008,35(6):755-762.
Deng Rongjin, Deng Yunhua, Yu Shui, et al. The oil and gas geology and accumulation characteristics of Niger delta basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(6): 755-762.
- [16] 吴胜和,王仲林. 陆相储层流动单元研究的新思路[J]. 沉积学报,1999,17(2):252-257.
Wu Shenghe, Wang Zhonglin. The new way of thinking in terrestrial facies of reservoir flow units[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(2): 252-257.
- [17] 吴胜和. 储层表征与建模[M]. 北京:石油工业出版社,2010:228-234.
Wu Shenghe. Reservoir characterization & modeling[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010: 228-234.
- [18] 万琼华,吴胜和,林煜,等. 深水浊积水道储层多参数流动单元划分方法及其分布规律研究[J]. 高校地质学报,2014,20(2):315-323.
Wan Qiong Hua, Wu Shenghe, Lin Yu, et al. Multi-parameter technology on the study of flow units division and their distribution in deepwater turbidity channel reservoir[J]. Geological Journal of China Universities, 2014, 20(2): 315-323.