

文章编号: 1000-0550(2008) 04-0632-08

地下曲流河道单砂体内部薄夹层建筑结构研究方法¹

马世忠¹ 孙雨¹ 范广娟¹ 郝兰英²

(1. 大庆石油学院地球科学学院 黑龙江大庆 163318 2. 大庆油田有限责任公司第五采油厂 黑龙江大庆 163513)

摘 要 单砂体内部薄夹层因规模小、薄、不稳定、参数与分布难于确定等, 致使覆盖盆地单砂体内部薄夹层及其建筑结构研究较少且难度很大, 为此, 本文以曲流河道沉积、建筑结构模式为指导, 充分利用岩芯、测井、密井网等油田现有资料, 提出了‘一整套地下曲流河道单砂体内部薄夹层建筑结构研究方法’, 特别是以‘侧积泥、侧积面、废弃河道的识别、恢复、测算; 河道几何学、河流工程参数计算, 建筑结构理论模式为基础的‘单一侧积泥岩薄夹层建筑结构参数(倾角、倾向、规模)三类 13 种提取方法’及薄夹层分布密度与河道侧积轨迹研究技术, 为这一难题的解决提供了可行的思路与方法。并以杏南油田 Piv 3₁₀单元为靶区, 应用该方法确定了曲流河道单砂体内部薄夹层及其建筑结构理论模式和研究区实际模式。

关键字 覆盖盆地 曲流河道 单砂体 侧积体 层内非渗透薄夹层 储层建筑结构

第一作者简介 马世忠 男 1963 年出生 博士 教授 博士生导师 沉积学 E-mail szm6503@sina.com

中图分类号 TE 122.2⁺ 21 **文献标识码** A

0 前言

以往被忽略的单砂体内部非渗透极薄夹层 (< 30 cm 厚)及其空间建筑结构 (architecture)对注入剂驱油及剩余油形成的影响越来越受到重视, 尤其是在高含水期、三次采油阶段, 对以薄夹层发育且非均质性严重的曲流河道砂体为主的我国陆相油层更为重要^[1~3]。

然而, 因单砂体内部薄夹层规模很小 (十几 ~ 百米)、极薄 (< 30 cm 厚)、极不稳定; 井间不可对比、地震资料无法识别; 产状、规模、分布难于确定, 研究难度很大, 致使目前单砂体内部薄夹层及其建筑结构研究基本集中于现代沉积和古代露头^[4~8], 系统的覆盖盆地地下单砂体内部建筑结构研究较少。为此, 本文以松辽盆地杏南油田 Piv 油层组 3₁₀单元曲流河道单砂体为例, 探讨并提出覆盖盆地曲流河道单砂体内部薄夹层建筑结构研究方法三类 13 种提取方法。

1 取芯井单砂体内部建筑结构体及界面级次垂向序列识别

取芯井因具有连续岩芯, 能详实、系统、直观地揭示单砂体垂向岩性、结构、构造序列及层面特征, 而成为覆盖盆地单砂体内部建筑结构体、界面级次、建筑结构要素、岩相类型及其垂向序列识别的重要依据。

1.1 单砂体成因及平面微相精细研究

不同成因单砂体具有不同的内部建筑结构, 单砂

体成因及平面沉积微相是单砂体内部建筑结构研究的前提, 需要首先对此进行研究。

通过对区内 X2-J375 密闭取芯井岩芯精细观察、描述、单井微相分析及 152 口井 Piv 3₁₀单元平面微相精细研究, 确定其为松辽盆地北部大型河流—浅水三角洲沉积体系三角洲分流平原亚相曲流型分流河道微相。

1.1.1 取芯井微相分析

X2-J375 取芯井 Piv 3₁₀单元发育 4.1 m 厚砂岩, 为典型曲流型分流河道微相, 主要表现为: 4.1 m 厚正旋回粉砂—细砂岩; 垂向层序自下而上为: 底部冲刷面 → 15 cm 厚含砾粉砂岩 → 大型楔状、板状交错、单向斜层理粉砂岩 → 小型楔状交错、单向斜层理过渡岩性; 底部冲刷面起伏达 2 cm; 底部见 30 mm × 30 mm 泥砾, 上部泥砾顺层理分布; 有 4 个夹层; 上下为陆上分流间杂色、灰绿色块状泥岩。

1.1.2 平面沉积微相及河道参数研究

通过区内 152 口小井距开发井 Piv 3₁₀单元平面沉积微相精细研究 (图 1)揭示: 其为一条南南西向大型曲流型分流河道 (记 Piv 3₁₀曲流河道)砂体, 其内部发育一条约 120 m 宽的高弯度废弃河道, 在区内形成 3 个曲流环, 发育 3 个曲流点坝砂体, X2-J375 井位于中部点坝的近坝头部位。由平面微相图 (图 1)取出 7 个河道参数, 请详见 3.1 部分。

上述特征充分揭示 Piv 3₁₀单元为松辽盆地北部

¹ 中国石油天然气股份有限公司科技风险创新研究项目 [编号: 油科函字 (2004) 32-KF3] 资助。

大型河流—三角洲沉积体系三角洲分流平原亚相高弯度曲流型分流河道砂体。

1.2 河道单砂体内部建筑结构界面、结构体识别与级次划分

建筑结构界面、结构体识别与级次划分是单砂体内部建筑结构研究的重要基础。对地下曲流河道砂

体而言, 4级界面及其结构体(侧积体)与其间薄夹层(侧积泥)尤为重要, 系统取芯井是地下砂体该项研究的最佳条件。

通过岩芯精细研究, 在 X2-J375 取芯井旋回厚度 5.18 m 的 P3_{1b} 曲流河道砂体内识别出 5 个 4 级结构体(侧积体)、4 个 B 级薄夹层(图 2)、4 个 4 级界面。

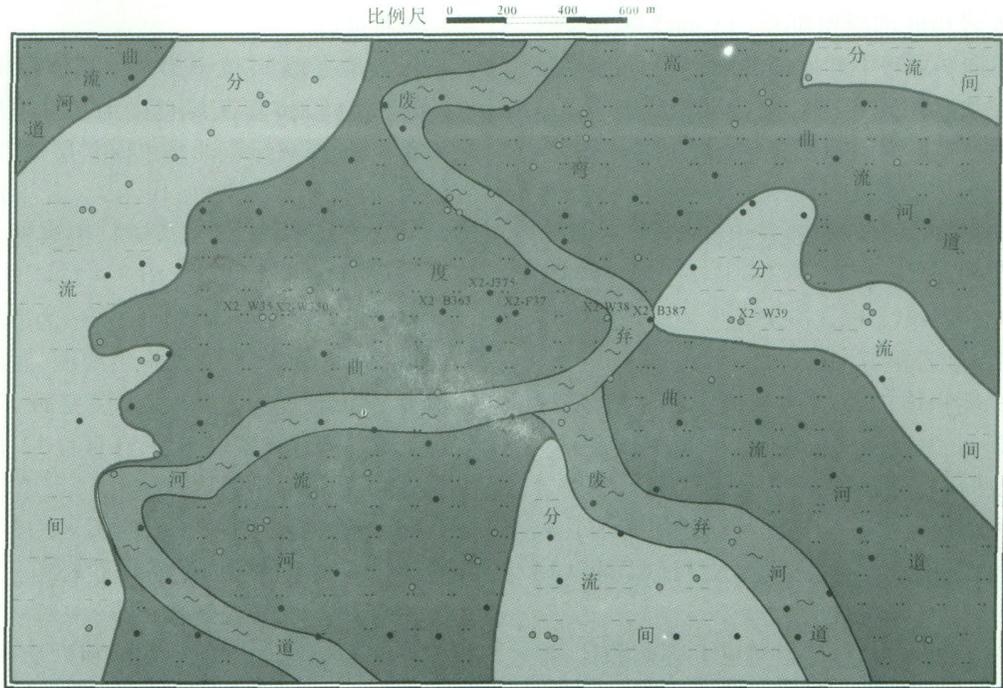


图 1 杏南油田 P3_{1b} 单元平面沉积微相图

Fig. 1 The plan microfacies map of P3_{1b} unit in Xingnan oil-field

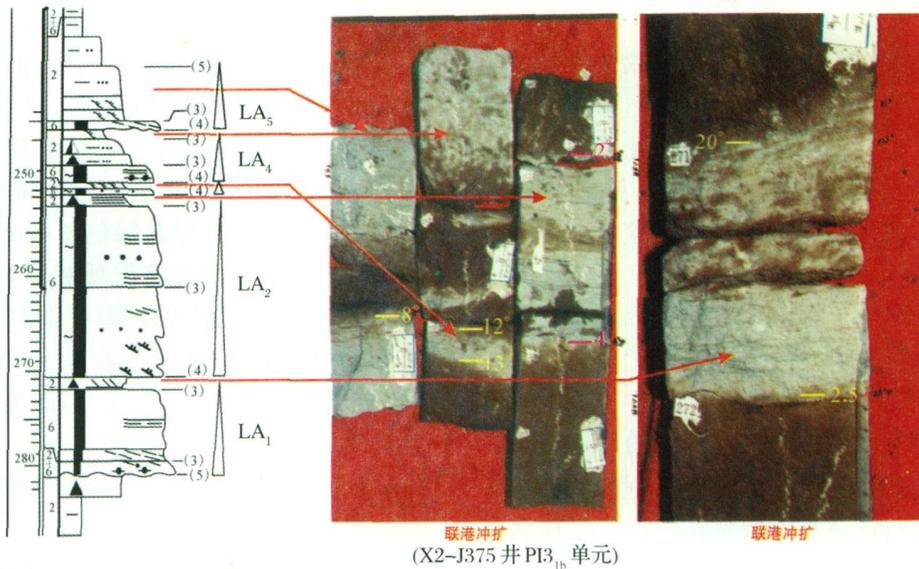


图 2 曲流河道砂体内部 5 个侧积体、4 个薄夹层及 4 级侧积界面倾角

Fig. 2 Five lateral accretion bodies, four thin interbeds, dip angle of 4th order boundary in meandering channel sandbody (P3_{1b} unit in X2-J375 well)

1.2.1 5个4级结构体—侧积体

在4.1 m厚的Piv 3_b河道砂体内识别出5个4级结构体—侧积体(图2),其特征为:

(1) 第一侧积体(LA₁):为河道底部侧积体,厚1.05 m,为突变型正韵律,垂向序列自下而上为:起伏2 cm的明显底部冲刷面→浅棕色强水洗含油块状层理含泥砾细砂岩相底部滞留沉积(13 cm)→浅棕色强水洗含油单向斜层理中砂质细砂岩相(8 cm)→棕褐色水洗含油块状层理含中砂细砂岩相(30 cm)→棕色水洗含油平行层理细砂岩相(4 cm)→棕褐色水洗含油块状层理中砂质细砂岩相(15 cm)→褐棕色水洗含油块状层理含中砂细砂岩相(20 cm)→棕色水洗含油块状层理细砂岩相(3 cm)→灰绿色微细水平层理泥质粉砂岩相(5 cm)→灰绿色油斑单向斜层理(20°)含泥粉砂岩相(7 cm)。

(2) 第二侧积体(LA₂):为河道中部侧积体,厚度最大达2.2 m,为突变型正韵律,垂向序列为:20°单斜底部突变面→棕褐色水洗含油楔状交错层理含中砂细砂岩相→棕色水洗含油楔状交错层理细砂岩相→灰绿色油斑微细水平层理泥质粉砂岩相(18 cm)。

(3) 第三侧积体(LA₃):为河道上部侧积体,厚0.18 m,为突变型正韵律,垂向序列为:底部近水平突变面→棕褐色水洗含油块状层理细砂岩相→13°单斜突变面→灰绿色油斑单向斜层理含泥粉砂岩相(3 cm)。

(4) 第四侧积体(LA₄):为河道上部侧积体,厚0.65 m,为渐变型正韵律,垂向序列:12°单斜底部突变面→褐棕色水洗含油隐平行层理含泥砾细砂岩相→浅棕色含油块状层理含泥细砂岩相→灰绿色油斑、油迹小型交错层理泥质粉砂岩相→灰绿色小型交错层理粉砂质泥岩相(15 cm)。

(5) 第五侧积体(LA₅):为河道顶部侧积体,厚1.1 m,为渐变型正韵律,垂向序列为:8°单斜底部突变面→褐棕色含油单向斜层理细砂岩相→13°单斜顶部突变面→灰绿色小型交错层理泥质粉砂岩相→灰绿色块状层理粉砂质泥岩相(37 cm)→灰绿色块状层理泥岩相(25 cm)→灰绿杂紫红色块状层理泥岩相(110 cm)。

1.2.2 4个B级薄夹层

依据Miall A D储层建筑结构界面分级^[6-8],将夹层分为4个级次^[9]:A级夹层:成因单砂体间夹层;B级夹层:成因单砂体内加积体(如4级侧积体)间的

夹层;C级夹层:加积体内增生体间的夹层;D级夹层:交错层系组间的夹层。其中B级夹层对单砂体内部建筑结构最为重要。

Piv 3_b曲流河道砂体5个正韵律侧积体的顶部皆为薄层细粒沉积即侧积泥,而形成4个单砂体内B级薄夹层(顶部侧积体的侧积泥直接连接分流间泥),其特征(图2)为:

(1) 薄夹层1:位于第一侧积体(LA₁)顶部,仅12 cm厚,为5 cm厚灰绿色微细水平层理泥质粉砂岩相和7 cm厚灰绿色油斑单向斜层理(20°)含泥粉砂岩相,后者孔隙度仅为19.4%(其下部侧积砂为25%~28%,平均值为26.7%),因渗透率极低无测量值(下部侧积砂为 $433 \times 10^{-3} \sim 2344 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$);而前者(泥质粉砂岩)则物性更差,为非渗透性。该夹层顶底面皆为岩性、含油性突变面,底面为2.5°极缓斜突变面,顶面为20°单斜型突变面。整个夹层在岩芯上呈清晰且典型的楔型,在直径12.5 cm的岩芯上,一侧10.2 cm厚,另一侧14.6 cm厚。

(2) 薄夹层2位于LA₂顶部,仅18 cm厚,为灰绿色油斑微细水平层理泥质粉砂岩相。其孔隙度仅为17.8%(其下部侧积砂为25%~27.6%),渗透率极低仅为 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (下部侧积砂为 $480 \times 10^{-3} \sim 2376 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$);顶底面皆为岩性、含油性突变面,底面为4°极缓斜突变面,顶面为2°近水平突变面。

(3) 薄夹层3位于LA₃顶部,仅3 cm厚;为灰绿色油斑单向斜层理含泥粉砂岩相;为非渗透夹层;顶底面皆为岩性、含油性突变面,底面为13°单斜型突变面,顶面为12°单斜型突变面。

(4) 薄夹层4位于LA₄顶部,50 cm厚;为11 cm厚灰绿色油斑含泥粉砂岩相、24 cm厚灰绿色油迹泥质粉砂岩相、15 cm厚灰绿色粉砂质泥岩相,皆为小型交错层理。中部油迹泥质粉砂岩相孔隙度仅为13.3%(其下部侧积砂为22.4和27%),渗透率极低仅为 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (下部侧积砂为 $827 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 和 $811 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$);底面渐变,顶面为8°缓斜型岩性、含油性突变面。

1.2.3 建筑结构界面识别及等级确定

在岩芯上可识别出5级界面:

(1) 2个5级界面:其为河道单砂体顶、底界面(图2)。岩芯上1.093.8 m处的起伏2 cm的明显河道底部冲刷面即为5级界面;1.088.75 m处的河道旋回顶面为第二个5级界面。

(2) 4个4级界面:4级界面在曲流河砂体中为

侧积体顶面(图 2)。上述薄夹层 1、2、3、4 的顶面即为 4 个 4 级界面,其特征请详见 1.2.2。

(3) 3 级界面: 其为大洪水期不同阶段的沉积界面。每个侧积体内皆可识别出几个 3 级界面。如第一侧积体上部薄夹层 1(灰绿色微细水平层理泥质粉砂岩相)的底面、底部浅棕色强水洗含油块状层理含泥砾细砂岩相底部滞留沉积与浅棕色强水洗含油单向斜层理中砂质细砂岩相界面即为 2 个 3 级界面。

(4) 2 级界面: 其为交错层系组界面。在相邻 3 级界面间可划出几个 2 级界面,如第一侧积体上部薄夹层 1 中的 5 cm 厚灰绿色微细水平层理泥质粉砂岩相和 7 cm 厚灰绿色油斑单向斜层理(20°)含泥粉砂岩相之间的界面即为 2 级界面。在含油砂岩中,多因含油层理不清而使 2 级界面不易识别。

(5) 1 级界面: 其为交错层系界面。在含油砂岩中,多因含油层理不清而使 1、2 级界面不易识别。

在河道单砂体中 4 级界面及 B 级薄夹层最为重要。

2 单一侧积泥岩薄夹层建筑结构参数提取方法

单一侧积泥岩薄夹层建筑结构是地下曲流河道砂体内部建筑结构研究的关键,其建筑结构参数(倾角、倾向、规模)提取也是该项研究中最重要且最困难的工作之一。本文提出地下曲流河道砂体内单一侧积泥岩薄夹层建筑结构参数提取的三类 13 种方法,即:

2.1 4 级侧积界面倾角提取方法

4 级侧积界面(B 级薄夹层顶面)倾角提取包括如下 5 种方法:

2.1.1 岩芯确定建筑结构界面倾角

主要提取井点处的 4 级侧积界面倾角,在井点构造近水平或暗色泥岩水平层理面与岩芯柱面垂直时,可在岩芯上直接测取界面倾角,否则,需进行构造倾角校正。

X2-J375 井 Piv 3_{1b} 曲流河道砂体的 4 个 4 级侧积界面倾角(图 2)为:

4 级侧积界面 1 为薄夹层 1 的顶面,为 20° 单斜型岩性、含油性突变面。该夹层底面为 2.5° 极缓斜岩性、含油性突变面。顶底面倾向相同。

4 级侧积界面 2 为薄夹层 2 的顶面,为 2° 近水平岩性、含油性突变面。该夹层底面为 4° 极缓斜突变面。

4 级侧积界面 3 为薄夹层 3 的顶面,为 12° 单斜型岩性、含油性突变面。该夹层底面为 13° 单斜型岩性、含油性突变面。顶底面倾向相同。

4 级侧积界面 4 为薄夹层 4 的顶面,为 8° 缓斜型岩性、含油性突变面。底面渐变。

2.1.2 对子井确定建筑结构界面倾角

在距离很近(一般 < 50 m)的对子井皆存在夹层且能确定为同一夹层的情况下,可确定夹层顶面的视倾角,当有三口、或三口以上的近距离井时,可确定夹层顶面的倾角及倾向。在研究区存在多处对子井,以下将对其进行夹层顶面倾角研究。

X2-W 35 井与 X2-W 350 井 Piv 3_{1b} 单元(图 3): 两井相距仅 32m,呈西东向,与侧积方向一致; Piv 3_{1b} 单元分别发育 5.8 m 和 5.6 m 曲流型分流河道砂体,且分别在中上部和中部发育一个 0.2 m 和 0.3 m 的夹层;在微电极曲线上,两井在河道顶部皆具 A、B 两个标志层,底部具 C 标志层,而精细准确地控制了两河道砂体的层位关系,为准确确定夹层产状奠定了很好地基础,由此测得两井夹层垂向差为 1.4 m;在假设两井夹层为同一层的情况下,其倾角为:

$$\arctg(1.4/32) = \arctg(0.0437) \approx 2^\circ 30'$$

由于两井连线方向恰为侧积方向,可见其为真倾角。又因该夹层位于河道砂体的中部而不是顶部,且远小于岩芯中河道中上部夹层顶面倾角(8°~20°),由此可以得出:两井夹层并非同层,而是相邻的两个夹层。

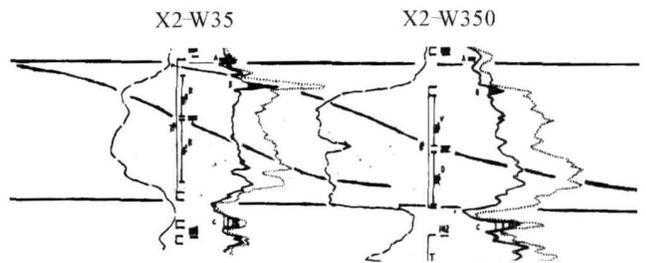


图 3 高弯度分流河道砂体内部薄夹层建筑结构分析(X2-W 35 井与 X2-W 350 井(相距 32m) Piv 3_{1b} 单元)

Fig 3 The architecture analysis of thin interbedded in high-sinuosity distributary channel sandbody (between Piv 3_{1b} unit in X2-W 35 and X2-W 350 (well spacing 32m))

同样,其它对子井普遍存在上述情况,由此可见,对曲流河道砂体而言,即使相距如此近的井都难以钻遇同一薄夹层,其夹层规模之小、研究之困难可体现于此。

2.1.3 废弃面确定建筑结构界面倾角

废弃面是指废弃河道底面或废弃前最后形成的侧积砂顶面。其实质是该河道最后一个侧积面,因此,可据此确定 4 级界面产状,当井剖面垂直废弃河道特别是位于滩头时,或有 2 口以上近距离井钻遇同一废弃面时,可确定 4 级界面(废弃面)的倾角、倾向。用此,对研究区进行研究。

Piv 3_{1b}单元 X2-B363 井—X2W 38 井—X2-B387 井—X2-W 39 井近东西向 5 井剖面(图 4)与其所在点坝侧积方向一致,且恰位于滩头,自西而东 X2W 363 井、X2-J375 井、X2-F37 井为点坝砂体;X2-W 38 井为废弃河道边部;X2-B387 井为废弃河道近中部;X2-W 39 井为分流间泥岩。由 X2-W 38 井与 X2-B387 井砂岩顶面的连线即为废弃面,两井砂岩顶面垂向层位差为 2.0m,井距为 145.5m,该废弃面倾向近 90°,倾角为:

$$\arctg(2.0/145.5) \approx 47'$$

同理,求取其它 4 条剖面的废弃面的倾角分别为 4°、24'、4°30'、1°20'。

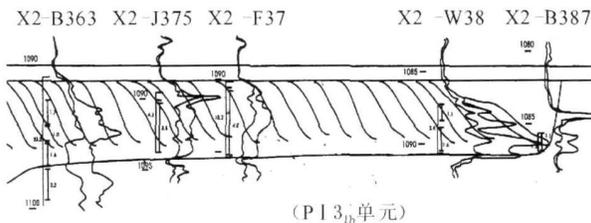


图 4 高弯度分流点坝内薄夹层建筑结构及废弃河道剖面图
Fig. 4 The architecture of thin interbedded and abandoned channel in high-sinuosity distributary channel (Piv 3_{1b} unit)

由上可见,与对子井确定夹层倾角类似,所求废弃面倾角太小,近距离对子井 < 5°,百米井 < 2°,其远小于岩芯中夹层顶面倾角(8°~20°)、前郭现代点坝夹层顶面倾角、点坝 4 级界面理论模型倾角(5°~30°)^[10],其原因是:

其一:在两邻井,一是完整点坝,另一是废弃河道时,废弃河道边界在两井之间,而用一井的完整点坝顶面与另一井最后侧积砂体顶面的连线作为废弃面,使废弃面倾角变小,在此情况下,可采用井距之半作为废弃河道边界,特别是在近距离井时,可求出近于真实的倾角。这样上述 1、3 剖面倾角可达 8°、9°,该倾角较为客观。而两井相距过大的 2、4 剖面,所求倾角仍较小。

其二:在两邻井,一是废弃河道边部,另一是废弃

河道中部时,两井最后侧积砂体顶面构成的废弃面是平面,而客观废弃面应是上缓中陡下缓的凹面,特别是在废弃河道的凸岸,在近废弃河道的外部可存在一个较宽的缓坡带。在两井井距较大时,特别是其中一井位于该缓坡带时,很易引起倾角求取误差,如图 4 中即是。此时,可按求出的废弃河道宽度,确定废弃河道和凸岸缓坡带位置后,再求废弃面倾角。

2.1.4 同河道不同 4 级界面的产状垂向序列确定同一建筑结构界面不同位置的倾角

曲流侧积面常为上缓中陡下缓的凹面,该面规模很小,井距相对大是较难确定地下该面产状的主要原因。本文提出:用同井同河道内部不同侧积面产状的垂向序列确定同一侧积面不同位置的产状。

如用 X2-J375 井 Piv 3_{1b}曲流河道砂(图 2)中第一、三、四侧积面的倾角分别是 20°、12°、8°反映同一侧积面中、中上、上部的倾角。

2.1.5 理论建筑结构模式确定建筑结构界面倾角

在缺少资料情况下,可以同类单砂体理论模式或原型建筑结构产状作参考。如侧积面倾角为 5°~30°及上缓中陡下缓模式等。

2.2 4 级侧积界面倾向提取方法

即 B 级薄夹层顶面侧积方向提取包括如下 4 种方法:

2.2.1 废弃河道平面分布揭示河道侧积方向

废弃河道平面分布是该河道发展阶段的最终轨迹,其曲流环是揭示河道侧积方向的最准确、全面的证据。

如 Piv 3_{1b}曲流河道砂体内部的废弃河道(图 1),形成 3 个曲流环,其中 X2-J375 井所在的中部曲流环,侧积方向为由西向东近 90°,即沿 X2-B36 井→X2-B363 井→X2W 38 井→X2-B387 井方向。

2.2.2 废弃面确定侧积方向

尽管当井距较大时,用废弃面确定侧积面倾角存在一定误差,但其可较好地反映侧积方向,特别是在井剖面垂直废弃河道且井钻遇废弃河道边部、中部时,如图 4

2.2.3 密井网解剖确定倾向

当有 2 个以上近距井钻遇废弃河道时,可用 3 点定面原理确定侧积方向。

2.2.4 岩芯确定相对倾向

在岩芯完整且茬口吻合前提下,可提取不同界面的相对倾向。

2.3 4 级结构体(侧积体)规模提取方法

4 级结构体规模提取包括如下 4 种方法:

2.3.1 平面微相提取 4 级结构体规模

采用平面沉积微相确定废弃河道宽度, 再计算侧积体宽度的方法。

如由 Piv_{3_{1b}} 单元平面微相图 (图 1), 据微相平面分布、相变邻井控制、密井网微相规模等求得, Piv_{3_{1b}} 曲流河道砂体内部的废弃河道宽度约为 120m。按 Ethridge Schumm 关系式^[10], 侧积体平面最大宽度 W_L 为:

$$W_L = 2W/3 \text{ (其中 } W \text{ 为满岸河宽)} \quad (1)$$

$$\text{则 } W_L = 2 \times 120/3 = 80 \text{ m}$$

由于侧积泥位于侧积体顶部, 易受下次洪水冲刷, 其宽度通常小于侧积体宽度, 由此得出, 该曲流河道砂体内部侧积泥岩 B 级薄夹层最大宽度为 80m。

2.3.2 密井组解剖提取 4 级结构体规模

即用极近距离密井组解剖侧积泥岩宽度。由于研究区侧积泥规模很小、符合解剖条件的 3 井以上密井组少, 因此, 用此完整解剖侧积泥受到一定限制, 但仍可揭示侧积泥的规模范畴。如相距仅 32m 的 X2-W 35 井与 X2-W 350 井 Piv_{3_{1b}} 单元 (图 3) 分别在中上部和中部发育一个 0.2m 和 0.3m 的夹层并非同一夹层可以看出: 其夹层规模较小, 应在 1~2 倍井距间, 宽度应在 30~60m 范畴。

2.3.3 侧积面产状等计算 4 级结构体规模

据研究区侧积面平均倾角 (α)、河流深度 (D)、侧积泥消失深度, 计算侧积泥宽度。其有利条件是: 不同于探区, 在油田开发区可准确详尽地确定河深及其平面变化、侧积面产状等。

以相距仅 32m 的 X2-W 35 井与 X2-W 350 井 Piv_{3_{1b}} 单元 (图 3) 为例, 两井及两侧的 X3-W 351 井、X2-W 356 井显示, 4 井处河深近等为 ($6.6 \times 110\% =$) 7.26m; X2-J375 密闭取芯并该单元侧积面平均倾角为 10.7° ; 则据此求出侧积泥最大宽度 W_M 为:

$$W_M = D \cdot \text{ctg}(\alpha) = 7.26 \text{ctg}(10.7^\circ) = 38.4 \text{ m}$$

这与相距仅 32m 的两井夹层彼此没有在邻井出现及前郭现代点坝侧积泥宽度仅 10m 的情况相吻合。

2.3.4 河工参数计算 4 级结构体规模

河流工程经验公式较多, 可求取的参数也较多, 所需已知的参数、条件也不同。在此, 所需求取得主要参数是河道宽度, 为此, 选取在油田开发区可取得的较可靠已知参数 (河弯跨度、粉泥质含量百分比) 的经验式, 并以 Piv_{3_{1b}} 曲流河道为例进行河工参数计

算。

(1) 舒姆 (Schumm) 关系式^[10]

$$F = 255M^{-1.08} \text{ (其中: } F = W/h \text{ 河道宽深比, } M = \text{粉泥质含量百分比)} \quad (2)$$

X2-J375 井 Piv_{3_{1b}} 单元河道砂平均粉泥质含量百分比为 11.4 且各样品皆在该值左右, 偏离不大。该河道旋回厚度平均 60m, 则河深 h 为 ($60 \times 110\%$) 66m, 由此求得: Piv_{3_{1b}} 曲流河道宽度 W :

$$W = 255M^{-1.08}h = 255 \times 11.4^{-1.08} \times 66 = 121.5 \text{ m} \quad (3)$$

(2) 中国科学院地理研究所关系式

$$W/h = 157M^{-0.9} \quad (4)$$

$$W = 157M^{-0.9}h = 157 \times 11.4^{-0.9} \times 66 = 115.9 \text{ m}$$

(3) 利凹波德 (Leopold) 关系式^[10]

$$L = 10.9W^{1.01} \quad (5)$$

(其中: L = 河弯跨度; W = 平滩河宽)

Piv_{3_{1b}} 曲流河道砂体内部具明显的废弃河道, 可测得较可靠的河弯跨度 (河曲波长) 为 1850m, 由此求得:

$$W = (L/10.9)^{0.99} = (1850/10.9)^{0.99} = 161 \text{ m}$$

由此可见, 以上 3 个关系式求得的河宽很相近, 特别是前 2 个关系式求得的 121.5m 和 115.9m 河宽与平面微相废弃河道求得的河宽 120m 很吻合, 因此, Piv_{3_{1b}} 曲流河道宽度取 120m, 按 Ethridge Schumm 关系式^[10], 侧积体平面最大宽度 W_L 为:

$$W_L = 2W/3 \text{ (其中 } W \text{ 为满岸河宽)}$$

$$= 2 \times 120/3 = 80 \text{ m}$$

3 曲流河道单砂体内部薄夹层建筑结构建立

据单一侧积泥岩薄夹层空间建筑结构及参数、B 级薄夹层统计分布密度、开发井夹层分布、河道侧积轨迹即可建立地下曲流河道单砂体内部薄夹层建筑结构。以 Piv_{3_{1b}} 单元中部大型高弯度分流曲流河道砂体为例。

3.1 单一侧积泥岩薄夹层 (4 级侧积界面)

应用 1.2 中方法, 可以得出: Piv_{3_{1b}} 单元中部分流河道为大型高弯度分流河道砂体 (图 1), 砂体宽度为 1500m, 厚度 4~7m, 河道宽度 120m (废弃河道) 弯度指数为 2.0 曲率为 1.73 河道砂体宽厚比为 250 曲流带宽/河宽为 12.5。其单一侧积泥岩 B 级薄夹层建筑结构参数为: 侧积方向 (倾向) 116° ; 平均倾角 10.7° 。同一侧积面中, 中上、上、顶部的倾角分

别为 20°、12°、8°、2°(图 2); 侧积泥岩夹层宽度为 30~80m。

3.2 B级薄夹层分布密度求取

据大中型高弯度分流河道砂体内部夹层统计结果,其夹层统计分布密度为:无夹层占 42.8%;有夹层为占 57.2%,其中:1、2、3、4、5个夹层分别占 26.4%、16.9%、10.4%、1.7%、1.7%;相应夹层厚度砂厚度比为 7.3%、14%、17.7%、20%、23%。

由此可见,以 1~3个夹层为主,占有夹层井的 94%,全井层的 53.7%,单砂体最高夹层数为 5,随夹层数由 1→5增多,其井层比例成倍递减(26.4%→1.7%),夹层厚度砂厚度比渐增(7.3%→23%)。

3.3 河道侧积轨迹

据现代沉积揭示的曲流河侧积轨迹,一般规律为:以曲流环两侧废弃河道拐点为轨迹集交点、以曲流环废弃河道为外界的向环心渐近且曲率渐小的弧线组。

3.4 曲流河道单砂体内部薄夹层建筑结构

单井薄夹层结合上述三方面即可恢复曲流河道单砂体内部 B级薄夹层建筑结构。

即剖面以上缓中陡下缓的凹面、平面呈新月形、以曲流环废弃河道拐点为轨迹集交点、以曲流环废弃河道为外界的向环心渐近且曲率渐小的弧线组,呈密集的斜列侧迭模式(图 4)。

4 结论

(1) 针对地下曲流河道单砂体内部 B级薄夹层规模很小、极薄、极不稳定;井间不可对比性、地震资料无法识别;产状、规模、分布难于确定,难于像现代沉积和古代露头一样连续追踪等难点,以曲流河道沉积、建筑结构模式为指导,提出了‘一整套地下曲流河道单砂体内部薄夹层建筑结构研究方法’,为这一难题的解决提供了可行的思路与方法。

(2) 岩芯井河道内部建筑结构体及界面级次垂向序列识别是基础。地下曲流河道单砂体内部单侧积泥岩薄夹层建筑结构参数的三类 13种提取方法是难点与关键。

(3) 用该方法建立了杏南 Piv 3_{1b}曲流河道单砂体内部薄夹层建筑结构实际模式,并揭示达 1500m宽的曲流河道砂体,其河道宽度仅 120m,1~30m厚的泥岩薄夹层宽度仅 30~80m。

(4) 曲流河道单砂体内部薄夹层建筑结构将对

单砂体内部非均质性、剩余油分布起到重要控制作用,并将对其研究产生本质性影响。

参考文献 (References)

- 1 马世忠,杨清颜. 曲流点坝沉积模式、三维构形及其非均质模型 [J]. 沉积学报, 2000, 18(2): 241-247 [Ma Shizhong Yang Qingyan The sedimentation model, 3-d architecture and heterogeneous model of point bar in meandering channels [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(2): 241-247]
- 2 裘怿楠. 石油开发地质方法论(一) [J]. 石油勘探与开发, 1996, 23(2): 43-47 [Qiu Yinan. The methodology of petroleum development geology (I) [J]. Petroleum Exploration and Development, 1996, 23(2): 43-47]
- 3 于兴河,王德法. 陆相断陷盆地三角洲相构形要素及其储层地质模型 [J]. 地质论评, 1997, 43(3): 226-231 [Yu Xinghe Wang Defa. The architectural elements of the deltaic system in the terrestrial faulted basin and the significance of its reservoir geological model [J]. Geological Review, 1997, 43(3): 226-231]
- 4 焦养泉,李思田. 陆相盆地露头储层地质建模研究与概念体系 [J]. 石油实验地质, 1998, 20(4): 346-353 [Jiao Yangquan Li Sitian. Geological modeling for outcrop reservoir of continental basin and the conceptual system [J]. Petroleum Experimental Geology, 1998, 20(4): 346-353]
- 5 张兴阳,罗平,顾家裕,等. 三级基准面旋回内三角洲砂体骨架模型的建立——以陕北安塞三角洲露头为例 [J]. 沉积学报, 2006, 24(4): 540-547 [Zhang Xinyang Luo Ping Gu Jiayu, et al. Establishment of the delta sandbody framework model in a 3rd order base-level cycle: taking Shanbei Ansei delta outcrop as example [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(4): 540-547]
- 6 Miall A D. Architecture-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits [J]. Earth Science Review, 1985, 22(4): 261-308
- 7 Miall A D. Architecture element and bounding surface in fluvial deposits of the Kayenta Formation (Lower Jurassic), South West Colorado [J]. Sedimentary Geology, 1988, 55: 233-262
- 8 Miall A D. Reconstructing fluvial macroform architecture from two-dimensional outcrops: examples from the Castlegate sandstone, Book Cliffs, Utah [J]. Journal of Sedimentary Research, 1994, 64(2): 146-158
- 9 马世忠,崔义,阎百泉等. 单砂体内部薄夹层级次、成因、类型研究 [J]. 大庆石油学院学报, 2006, 30(增刊): 1-3 [Ma Shizhong Cui Yi Yan Baiquan, et al. Study of thin interbed hierarchy, origin, type in monosandbody [J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2006, 30(Suppl): 1-3]
- 10 薛培华. 河流点坝相储层模式概论 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1991: 55-63, 125-128 [Xue Peihua. An Introduction on Reservoir Models of Point Bar Facies [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1991: 55-63, 125-128]

The Method for Studying Thin Interbed Architecture of Burial Meandering Channel Sandbody

MA Shi-zhong¹ SUN Yu¹ FAN Guang-jian¹ HAO Lan-yi²

(1 Geoscience College Daqing Petroleum Institute Daqing Heilongjiang 163318)

2 Oil Recovery Plant No. 5 Daqing Oilfield Corp. Ltd. Daqing Heilongjiang 163513)

Abstract Because the interbeds in monosandbody usually are very narrow, thin, unstable and hard to predict its attitude, scale, distribution, the researches on the underground thin interbed in monosandbody and its architecture are a few and very difficulty. This paper, taking the depositional model and architecture model of meandering channel as a guideline, fully using the core, log, closely well spacing and so on, puts forward the researching methods of thin interbed architecture of meandering channel sandbody in overburden basin, especially the three types and thirteen methods of extract architecture parameters (dip angle, dip scale) about thin interbeds of lateral accretion mudstone, the researching methods of interbed density and lateral accretion orbit basing on the distinguishing, restoring, measuring and calculating of lateral accretion mudstone, lateral accretion surface and abandoned channel, the calculation of the channel geometry and river engineering parameter and the theoretical model of channel-sandbody architecture. To overcome this difficult problem provides feasible idea and method. Using these technique, establishes the theoretic and practical model of thin interbed architecture of meandering channel sandbody in Piv 3_{1b} unit of Xingnan oilfield in Songliao Basin.

Key words overburden basin, meandering channel, monosandbody, lateral accretion body, intraformational impermeable thin interbed, reservoir architecture