

# 夹层倾角计算新方法及其在滩坝砂泥质夹层描述中的应用

吴小斌<sup>1,2</sup>, 侯加根<sup>2</sup>, 王大兴<sup>3</sup>, 崔智林<sup>1</sup>, 李树庆<sup>4</sup>

1. 延安大学石油与环境工程学院, 延安 716000
2. 中国石油大学(北京)地球科学院, 北京 102249
3. 中国石油大港油田分公司采油二厂, 天津 300280
4. 中国石油大港油田分公司采油一厂, 天津 300280

**摘要** 为了研究滩坝砂体内部剩余油分布模式, 定量描述泥质夹层的发育规律, 揭示夹层发育模式对剩余油的控制作用, 以港中油田沙一段滩坝砂为例, 在岩心资料、测井资料及青海湖现代滩坝砂沉积考察基础上, 对滩坝砂内部夹层3种类别进行了识别和划分。基于精细三维构型模型和倾角测量原理基础上提出“三维层面扫描最大值法”计算夹层倾角的计算新方法, 实现了对“小井距对子法计算方法”的改进。该方法在滩坝砂体内部夹层的定量描述中得到了初步应用, 最终建立了泥质夹层发育模式。研究表明, 滩坝砂单一坝内部侧向泥质夹层倾角在 $2^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 之间, 夹层平均密度为1条/70 m, 坝内增生体的规模在60~90 m。

**关键词** 滩坝砂; 夹层发育模式; 倾角计算新方法; 港中油田

**中图分类号** TE112.23

**文献标志码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.12.007

## New Calculation Method for Interlayer Dip and Its Application in Beach-bar Sand Mud Interlayer Depiction

WU Xiaobin<sup>1,2</sup>, HOU Jiagen<sup>2</sup>, WANG Daxing<sup>3</sup>, CUI Zhilin<sup>1</sup>, LI Shuqing<sup>4</sup>

1. College of Energy & Environment Engineering, Yan'an University, Yan'an 716000, China
2. College of Earth Sciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China
3. Second Oil Industry, Dagang Oil Field, PetroChina, Tianjin 300280, China
4. First Oil Industry, Dagang Oil Field, PetroChina, Tianjin 300280, China

**Abstract** In order to study the distribution of the internal residual oil in a beach-bar sand body, and to reveal the interbed development pattern, the mud interlayer should be described quantitatively. This paper considers three interbed types of bar sand bodies, using the core data, the logging data in the Gangzhong oilfield and the sedimentation investigation results in Qinghai Lake. With a 3D architecture model and the principle of the dip angle measurement, a new approach of calculating the dip angle of the interbed within a single bar sand body is proposed: Scanning of the maximum along the interface in the 3D model. The twin well spacing calculation method is improved. The development pattern of the interbed is obtained by using a quantitative description of the interlayer. A new understanding of the interbed of the bar sand body is achieved. In the Gangzhong oilfield, the muddy interbed is mainly developed within a single bar sloping to the center of the basin, and the dip angle is between  $2^{\circ}$  and  $5^{\circ}$ . Meanwhile, there is one muddy interbed every 70 m. The scale of the hyperplasia sandbody is about 60-90 m.

**Keywords** beach-bar sand; development pattern of interlayer; new calculation method of dip; Gangzhong oilfield

收稿日期: 2013-09-26; 修回日期: 2014-03-17

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05010-001); 陕西省高水平大学建设专项(2013SXTS03); 延安大学专项科研项目(YDK2012-1)

作者简介: 吴小斌, 讲师, 研究方向为油气田开发地质, 电子信箱: WXBLQC@163.com

引用格式: 吴小斌, 侯加根, 王大兴, 等. 夹层倾角计算新方法及其在滩坝砂泥质夹层描述中的应用[J]. 科技导报, 2014, 32(12): 48-53.

在开发中后期,运用多种方法对储层内部构型解剖研究<sup>[1-6]</sup>,进而建立夹层的发育模式,探讨对剩余油的控制作用是该阶段油气田开发地质领域中研究的重要内容和前沿课题之一。目前,对滩坝砂夹层的认识存在两种观点。早期认为,中国东部中、新生代湖盆滩坝砂体是分选较好,层内渗透率比较均匀,层内夹层相对不发育的均质储层<sup>[7]</sup>。如杨国安等<sup>[8]</sup>认为坝砂体由多期正反韵律砂层叠加而成,中间无泥质夹层,一般厚5 m,最厚达30 m。然而,随着研究的深入表明,湖泊滩坝砂体内部发育不同岩性(泥质、灰质、白云质)及不同的颜色的夹层<sup>[9-11]</sup>。

近年来,随着典型露头、现代沉积、密井网构型解剖工作的深入,夹层描述已经进入一个从单井划分到井间预测、从定性规律统计到定量参数计算的新阶段,从而为确定夹层空间分布模式及夹层的定量描述提供了新的思路和方法。其中,利用小井距对子井计算夹层倾角的方法,已经得到广泛的应用<sup>[12,13]</sup>。然而同期砂体内部由于夹层所处位置不同或观测的方位的不同,所反映出的夹层的形态、长度、厚度及角度可能不同<sup>[14-17]</sup>。有学者认为,小井距对子法计算的夹层倾角实际为视倾角,在实际应用中应该对结果予以校正,可以通过构型平面图和水平井资料来校正<sup>[18]</sup>。本研究在基于精细三

维构型模型和倾角测量原理基础上,提出对“小井距对子法计算方法”的改进办法,建立“三维层面扫描最大值法”来计算夹层倾角的计算新方法,并在滩坝砂体内部夹层的定量描述中进行初步应用。

## 1 滩坝砂体内部夹层研究

### 1.1 单一坝内夹层分类及识别

通过露头 and 地下井资料,由二维到三维对隔夹层的成因、分类、井点上识别和井间的预测,国内外学者做了大量的研究工作。通过港中油田沙一下段典型井岩心资料,研究表明滩坝砂内部有泥岩夹层、钙质夹层和物性夹层3类,主要通过岩心及电测响应特征进行单井上的识别(图1)。

泥质夹层是滩坝砂内部最主要的一种夹层类型。在湖平面短暂上升过程中,水体加深,可容空间相对增大,细粒的沉积物在砂体上沉积形成泥质夹层。港中油田泥岩夹层一般有浅灰绿色和红褐色两种。浅灰绿色泥岩夹层,是正常浅湖的泥质沉积;而红褐色的泥岩夹层,应该与滨岸洪水漫流沉积或湖水对滨岸紫红色泥岩改造有关<sup>[9]</sup>。在测井曲线上,泥质夹层的自然电位曲线略有回返,泥质含量升高,伽马曲线正异常,声波曲线小幅下降。

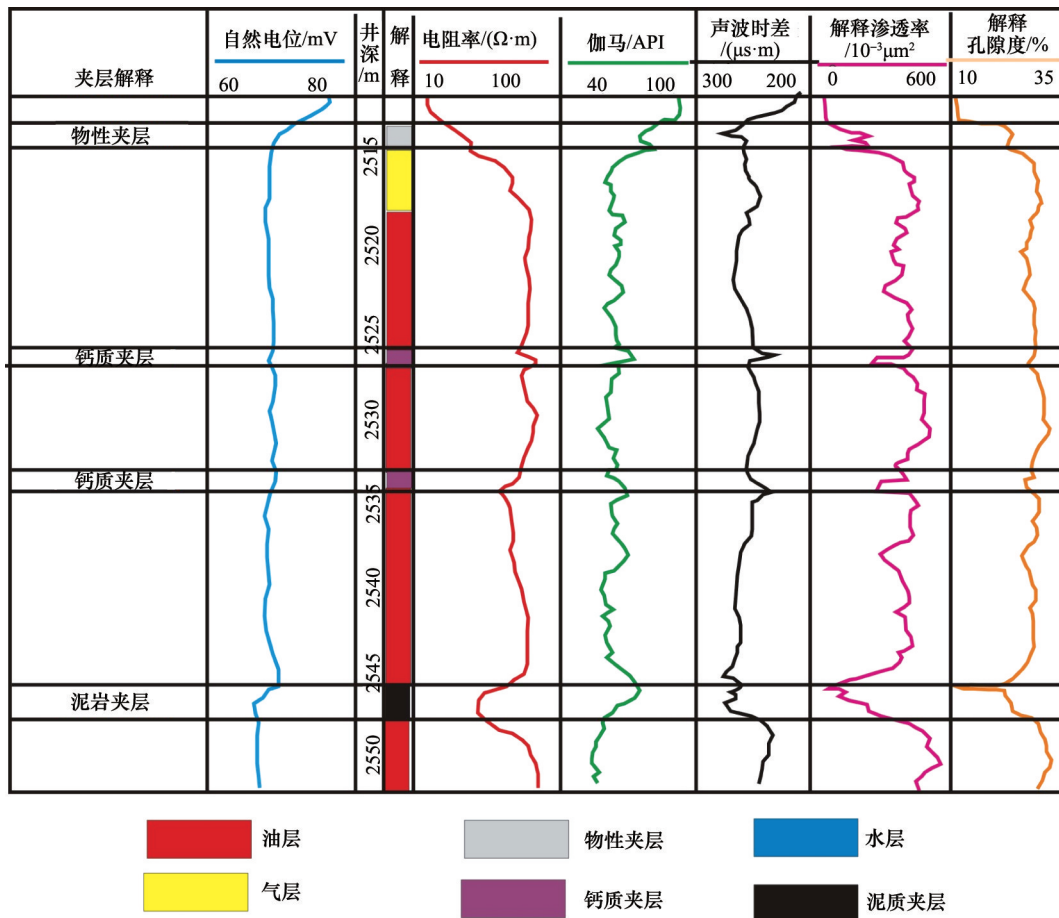


图1 港中油田沙一段湖泊滩坝砂内部夹层分类及识别

Fig. 1 Division and identification of interbed of lacustrine beach-bar sand in Gangzhong oilfield

滩坝砂体内部的钙质夹层,在青海湖现代沉积及测井曲线上都有所体现。钙质夹层在电阻率曲线为异常高值,常呈尖峰指状,声波时差增大,泥质含量较低,解释孔隙度和渗透率曲线出现曲线突变。其成因主要有:1)在沉积初期,湖水下降,湖水含盐度升高,类似一个蒸发泵机制使得湖水中的盐分及其他矿物质不断浓缩,使砂质沉积物,在早期胶结成岩;2)受后期成岩作用的影响,在砂岩与泥岩的接触面,形成钙质胶结。

物性夹层是由于沉积时期水动力条件的变化,泥质含量增高、沉积物粒度变细沉积的泥质粉砂岩、粉砂岩等。物性夹层有一定的渗透率和孔隙度,但是未达到有效砂层孔隙度和渗透率的下限值。在测井曲线上,电阻率较低,但比泥质夹层的电阻率高,自然伽马呈中等幅度,解释孔隙度和渗透率曲线有一定幅度的下降。在单井上,物性夹层可参考储层物性标准下限值来划分。

### 1.2 单一坝内夹层倾向

从青海湖现代沉积、美国大盐湖滩坝露头及滩坝砂沉积演化模式<sup>[20,21]</sup>可以分析总结出,在单一坝靠近岸线一侧,泥岩夹层发育,并且近水平方向展布;在单一坝的中心及靠近湖方向,泥岩夹层也较发育,其倾向一般向湖盆方向倾斜,倾角多比较低缓;但是同时在回流带,部分泥岩受潮浪水流的冲刷而不易保存下来(图2)。

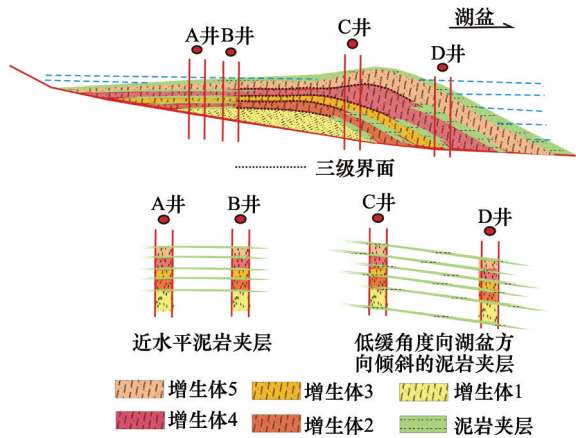


图2 滩坝砂泥岩夹层倾向模式  
Fig. 2 Dip pattern of interbed of beach-bar sand

## 2 夹层倾角计算及新方法

夹层倾角的计算方法一般有以下6种方法:依据典型露头、现代沉积剖面直接测量<sup>[22]</sup>;通过岩心泥岩夹层测量<sup>[23]</sup>;利用地层倾角测井资料读取计算<sup>[13]</sup>;针对河流相,利用河流的宽深比来预测地下侧积层的倾角<sup>[13,24,25]</sup>;在密井网区,通过对子井钻遇同一夹层的高度差、井间距数据计算<sup>[12,13,17,18]</sup>;利用水平井钻遇夹层资料计算<sup>[18]</sup>。

### 2.1 岩心测量

依据港中油田中10-57井滨I5单砂层滩坝砂发育的泥

岩夹层(图3),可以测量出泥岩的倾角为15.5°,扣除构造变动影响,其泥岩夹层倾角大约为5.5°。



图3 港中油田中10-57井泥岩夹层—低缓倾角(滨I5)  
Fig. 3 Mud interbed from the well Zhong 10-57 in Gangzhong oilfield—the gentle dip angle

### 2.2 对子井计算及校正方法

据统计港中油田有34口更新井和对子井,选择距离断层远、井距小的对子井来定量计算夹层的倾角。中10-57井和中新10-57-1井为对子井,通过井斜校正、层拉平后,测量出滨I5单砂层上两井点的水平间距 $D$ 为30.08 m,借助界面的识别,计算出两井点夹层距上一个等时界面的高程差 $H$ 为1.33 m,并反算出泥岩的倾角为2.53°(图4)。这一结果也与该井同一深度段用泥岩岩心测量的倾角数据5.5°比较吻合,两种方法得到了相互印证。

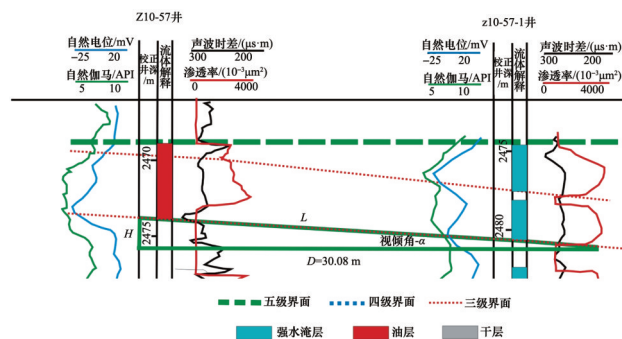


图4 小井距对子井方法计算泥质夹层倾角  
Fig. 4 Mud interbed dip calculation using twin wells method

结合倾向、倾角的测量方法,不难发现通过对子井来简单计算出夹层的倾角,并不是真实的倾角;因为并不能保证两井连线的方向为夹层的倾向。从理论上讲,只有两井的连线和夹层的倾向一致,测量计算出的倾角才是夹层的真倾角。虽然,视倾角和真倾角二者在倾角大小上,相差不大,但是对视倾角进行校正的工作在科学理论探讨方面很有意义。

Fabuel-perez等<sup>[22]</sup>借助露头测量,认为砂岩厚度、宽度、倾角数据要通过古流向、剖面走向等方面的校正,并且给出了砂岩宽厚比、倾角等定量数据一系列可能的值。周新茂等<sup>[18]</sup>通过曲流河的构型,提出应该把两井间的连线投影到泥岩夹层的法线方向,从而得到一个投影角 $\beta$ ;最后把视倾角 $\alpha$ ,经过校正得到真实的倾角 $\theta$ 。该方法在构型研究的夹层倾角定量计算中很有开拓意义,尤其在利用二维平面构型图进行夹层真倾角计算比较便利。而该方法不足之处在于把两井间的连线投影到泥岩夹层的法线方向这一环节,存在不确定性,投影角 $\beta$ 也可能存在多个结果。

### 2.3 三维模型层面扫描最大值法计算倾角

综合上述研究,本文提出“三维模型层面扫描最大值法”计算泥岩夹层的倾角(图5)。方法的原理是沿层面倾向方向分别测定出的倾角计算参数,并且得到在沿倾向方向高程下降率最快的参数。方法步骤:1)以层面A井点为固定点,A井、B井之间斜面的井间距 $L$ (在三维空间是已知的)为固定扫描半径,沿泥岩层面扫描;2)当扫描到D井处,寻找最大的高程差 $(H+\Delta h)$ ;3)计算夹层真倾角 $\theta=\arcsin(H+\Delta h)/L$ 。运用该方法,对中10-57井和中10-57-1井滨I5的泥岩夹层校正后得到泥岩夹层倾角为 $2.94^\circ$ ,与相同对子井的计算泥岩倾角 $2.53^\circ$ 相比,略有增大。该方法与周新茂等<sup>[18]</sup>的校正方法相比,在原理上一致。本文提出的“三维模型层面扫描最大值法”步骤简单,不足之处在于需要三维模型支持,夹层的倾角精度依赖于模型的精度和夹层的地质认识。

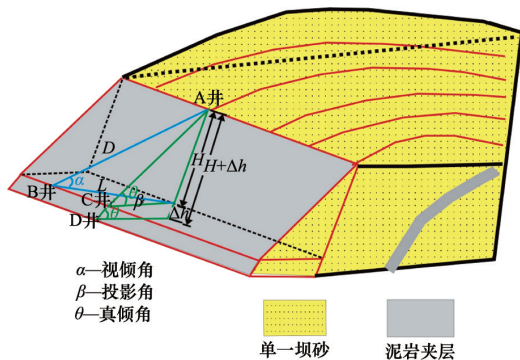


图5 泥岩夹层真倾角计算示意

Fig. 5 Cartogram of calculation of true dip angle of mud interbed

## 3 新方法在滩坝砂夹层研究中的应用

### 3.1 增生体规模的推算

单一坝内部两个3级泥岩界面夹层之间为坝内增生体的规模,应用对子井单井增生体的厚度差和夹层的倾角,可以推算增生体最小延伸规模。泥岩夹层沿倾向在平面上与单一坝顶面相交,并在平面上的投影距离即为泥岩夹层的水平间距。如图4所示,中10-57井两个3级泥岩界面的增生体砂体厚度为3.33 m;泥岩夹层的真倾角为 $2.94^\circ$ ,计算出增生体水平延伸距离为65 m。

### 3.2 在水平井组构型解剖中的应用

水平井资料是分析井间泥岩夹层发育模式不可多得的资料。港359井组共有钻井11口,其中注水井4口,7口油井。油井中有2口水平井,其中港359H(水平井段336.9 m)和港359-1H(水平井段75.8 m)(图6)。

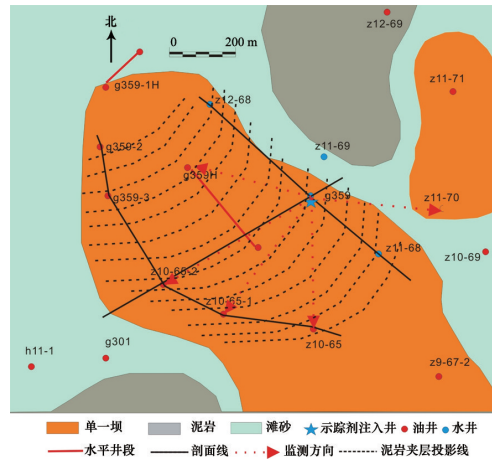


图6 港中油田北三断块港359井组单一坝内部构型解剖(滨I1)

Fig. 6 Internal architecture of single bar in Gang 359 wellgroup of Bin I 1 in North third fault block in Gangzhong oilfield

港359H水平井钻遇同一单一坝内部多个泥岩夹层和增生体,客观的揭示出坝复合体内部的砂体构型形态。水平井港359H,以港359井滨I1单一坝为目标层,共钻遇4段油层、1段差油层,泥岩夹层4段,刻画出滩坝砂体的内部构型形态(表1,图7)。从图7中可知,泥质夹层界面在短轴方向为水平方向,在长轴方向为低缓倾角先湖盆方向倾斜;泥岩夹层平均厚度为4 m,水平井段泥岩夹层每间隔70 m发育1条。泥质夹层界面内为单一坝的增生体,实际井资料证实增生体的规模在60~90 m之间,平均为70 m左右,这一数据也与对子井推算出增生体65 m的规模比较吻合。

表1 港中油田港359H水平井段滨I1岩性及解释结果

Table 1 Lithology and interpretation in horizontal well of Gang 359H of Bin I 1 in Gangzhong oilfield

序号	顶深/m	底深/m	长度/m	岩性	解释结果
1	2639.80	2712.06	72.26	细砂岩	油层
2	2712.06	2715.99	3.93	泥岩	泥质夹层
3	2715.99	2788.32	72.33	细砂岩	油层
4	2788.32	2792.73	4.41	泥岩	泥质夹层
5	2792.73	2808.63	15.90	细砂岩	油层
6	2808.63	2815.46	6.83	泥岩	泥质夹层
7	2815.46	2884.29	68.83	粉细砂岩夹泥质条带	低产油层
8	2884.29	2889.02	4.73	泥岩	泥质夹层
9	2889.02	2976.80	87.78	细砂岩	油层

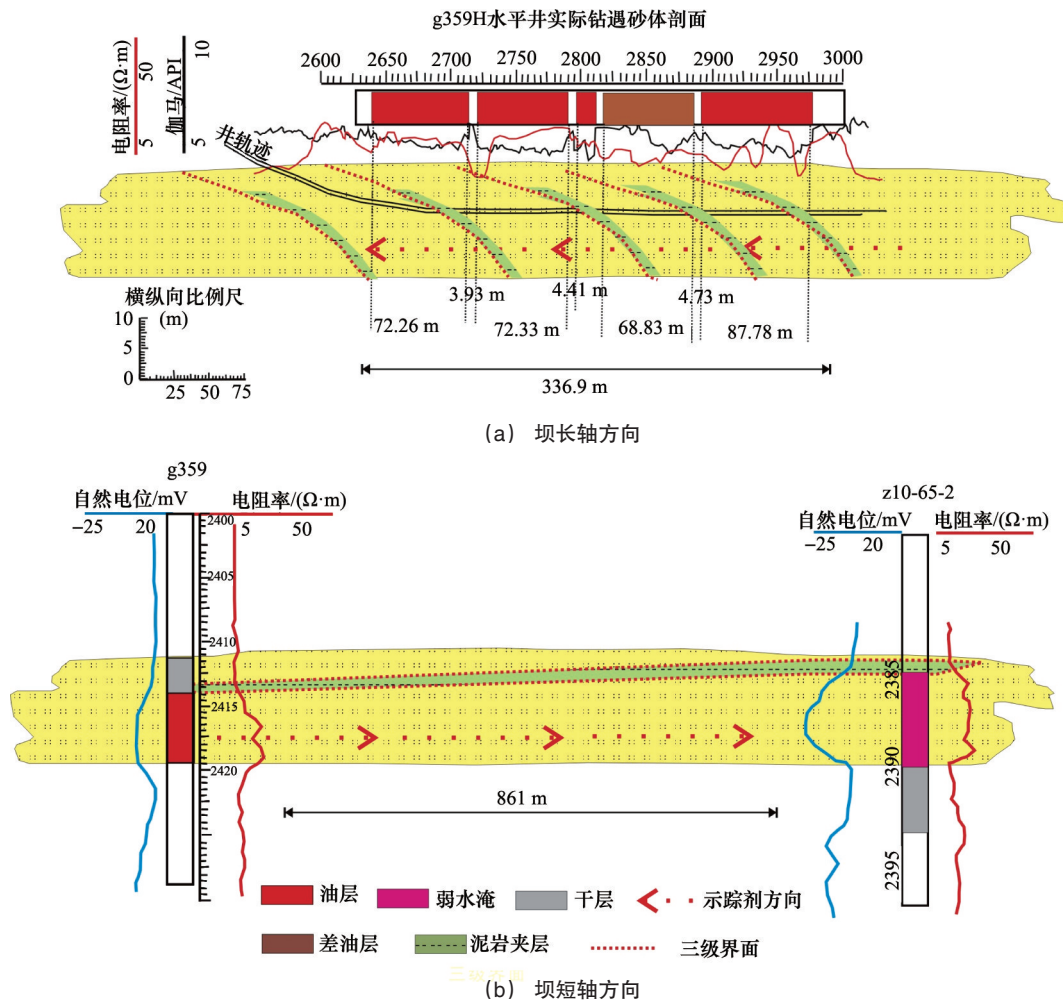


图7 港359井区过水平井的单一坝砂体内部构型解剖(滨11)

Fig. 7 Internal architecture of single bar crossing horizontal well of Gang 359H

综合前面构型解剖定性认识和定量结果可知:港中油田滩坝砂单一坝内部的泥岩夹层的倾角一般较小,在 $2^{\circ}\sim 5^{\circ}$ 之间。经水平井资料证实,认为坝内增生体的规模在 $60\sim 90$  m左右,侧向泥岩夹层密度大约为1条/70 m。最后按照剖面上构型的认识,结合水平井资料,把泥岩夹层投影到平面上,形成单砂体平面的构型结果,建立了港中油田滩坝砂内部夹层发育模式(图7)。

#### 4 结论

1) 通过岩心及测井资料研究,识别出港中油田滩坝砂夹层主要有泥质、钙质及物性夹层3种类别。

2) 基于精细三维构型模型和倾角测量原理基础上提出对“小井距对子法计算方法”的改进办法,提出用“三维层面扫描最大值法”计算夹层倾角的计算新方法。

3) 利用新方法,推算出港中油田滩坝砂内部增生体水平延伸距离为65 m,并结合水平井分析,建立了滩坝砂内部泥质夹层的发育模式,认为单一坝内部侧向泥质夹层,倾角在

$2^{\circ}\sim 5^{\circ}$ 之间,侧向泥岩夹层平均密度为1条/70 m,坝内增生体的规模在 $60\sim 90$  m。

#### 参考文献(References)

- [1] 李阳. 我国油藏开发地质研究进展[J]. 石油学报, 2007, 28(3): 75-79.  
Li Yang. Progress of research on reservoir development geology in China [J]. Acta Petrole Sinica, 2007, 28(3): 75-79.
- [2] Seifert D, Fensen J L. Using sequential indicator simulation as a tool in reservoir description. Issues and uncertainties[J]. Mathematical Geology, 1999, 31(5): 527-550.
- [3] Kupfersberger H, Deutsch C V. Methodology for integrating analog geologic data in 3-D variogram modelling[J]. AAPG Bulletin, 1999, 83(8): 1262-1278.
- [4] Eoker M D, Glfand A E. Bayesian modelling and inference for geometrically anisotropic spatial data[J]. Mathematical Geology, 1999, 31(1): 67-83.
- [5] Strebelle S. Conditional simulation of complex geological structures using multiple point statistics[J]. Mathematical Geology, 2002, 34(1): 1-21.

- [6] Maharaja A, Journel A G. Hierarchical simulation of multiple-facies reservoirs using multiple-point geostatistics[C]. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas Texas, October 9-12, 2005.
- [7] 裘泽楠, 许仕策, 肖敬修. 沉积方式与碎屑岩储层的层内非均质性[J]. 石油学报, 1985, 6(1): 41-49.  
Qiu Yilan, Xu Shice, Xiao Jingxiu. Mode of deposition and intraformational anisotropic property of reservoir of clastic rock[J]. Acta Petrologica Sinica, 1985, 6(1): 41-49.
- [8] 杨国安, 邢卫东, 刘广华, 等. 港中开发区沙河街组沉积微相与油气分布[J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2004, 34(1): 93-96.  
Yang Guoan, Xing Weidong, Liu Guanghua, et al. The lacustrine reservoir microface modes and gas-oil distribution in Shahejie formation of Gangzhong oilfield[J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 2004, 34(1): 93-96.
- [9] 王金铎, 许淑梅, 于建国, 等. 用波形分析法预测滨浅湖滩坝砂岩储层: 以东营凹陷西部地区沙-4上亚段为例[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2008, 33(5): 627-634.  
Wang Jinduo, Xu Shumei, Yu Jianguo, et al. Prediction of beach-bar sand reservoirs using waveform analysis: A case study on Es4s in the west area of the Dongying Sag[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2008, 33(5): 627-634.
- [10] 王萍, 钟建华, 邱隆伟, 等. 东营凹陷陈官庄地区沙四段下亚段储层沉积相[J]. 油气地质与采收率, 2009, 16(2): 30-32.  
Wang ping, Zhong Jianhua, Qiu Longwei, et al. Alfred chuang Chen area in dongying sag under the four section reservoir sedimentary facies [J]. Oil and Gas Geology and Oil Recovery, 2009, 16(2): 30-32.
- [11] 邓宏文, 马立祥, 姜正龙, 等. 车镇凹陷大王北地区沙二段滩坝成因类型、分布规律与控制因素研究[J]. 沉积学报, 2008, 26(5): 716-724.  
Deng Hongwen, Ma lixiang, Jiang Zhenglong, et al. Sand bank generation types and its controls on their distribution, the second member of Shahejie formation, lower Tertiary, Dawangbei, Chechen depression[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(5): 716-724.
- [12] 温立峰, 吴胜和, 王延忠, 等. 河控三角洲河口坝地下储层构型精细解剖方法[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2011, 42(4): 1072-1078.  
Wen Lifeng, Wu Shenghe, Wang Yanzhong, et al. An accurate method for anatomizing architecture of subsurface reservoir in mouth bar of fluvial dominated delta[J]. Journal of Central South University: Natural Science Edition, 2011, 42(4): 1072-1078.
- [13] 周银邦, 吴胜和, 计秉玉, 等. 曲流河储层构型表征研究进展[J]. 地球科学进展, 2011, 26(7): 695-701.  
Zhou Yinbang, Wu Shenghe, Ji Bingyu, et al. Research progress on the characterization of fluvial reservoir architecture[J]. Advances in Earth Science, 2011, 26(7): 695-701.
- [14] Keumsuk L, Zeng X X, George A M, et al. A ground-penetrating radar survey of a delta-front reservoir analog in the wall creek member, frontier formation[J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(9): 1139-1155.
- [15] 张善平, 刘波, 陈国飞, 等. 水平井岩心侧积夹层初探[J]. 大庆石油地质与开发, 2007, 26(6): 56-60.  
Zhang Shanyan, Liu Bo, Chen Guofei, et al. Primary research on lateral accretion with horizontal well core samples[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2007, 26(6): 56-60.
- [16] 徐建华, 朱德怀, 陈宝树, 等. 利用水平井电阻率测井资料判断油水界面和薄夹层[J]. 石油地球物理勘探, 1996, 31(4): 541-545.  
Xu Jianhua, Zhu Dehuai, Chen Baoshu, et al. Determining both oil-water contact and thin interbed by analysing the resistivity log data of horizontal borehole[J]. Oil Geophysical Prospecting, 1996, 31(4): 541-545.
- [17] 周银邦, 吴胜和, 岳大力, 等. 点坝内部侧积层倾角控制因素分析及识别方法[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2009, 33(2): 7-11.  
Zhou Yinbang, Wu Shenghe, Yue Dali, et al. Controlling factor analysis and identification method of lateral accretion shale beddings angle in point bar[J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2009, 33(2): 7-11.
- [18] 周新茂, 高兴军, 田昌炳, 等. 曲流河点坝内部构型要素的定量描述及应用[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(6): 421-426.  
Zhou Xinmao, Gao Xingjun, Tian Changbing, et al. Meandering river point bar and a quantitative description of internal configuration elements and applications[J]. Natural Gas in Earth Science, 2010, 21(6): 421-426.
- [19] 王萍, 钟建华, 邱隆伟, 等. 东营凹陷陈官庄地区沙四段下亚段储层沉积相[J]. 油气地质与采收率, 2009, 16(2): 30-32.  
Wang Ping, Zhong Jianhua, Qiu Longwei, et al. Sedimentary facies of lower Sha4 member reservoir in Chenguanzhuang area, Dongying depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2009, 16(2): 30-32.
- [20] 王升兰. 博兴洼陷沙四上亚段滩坝沉积体系研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2008.  
Wang Shenglan. Boxing four member of the Shahejie formation in the upper submember beach bar system research[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2008.
- [21] 陈世悦, 杨剑萍, 操应长. 惠民凹陷西部下第三系沙河街组两种滩坝沉积特征[J]. 煤田地质与勘探, 2000, 28(3): 1-4.  
Chen Shiyue, Yang Jianping, Cao Yingchang. Sedimentary characteristics of two kinds of beach-bars of Oligocene Shahejie formations in western Huimin depression[J]. Coal Geology & Exploration, 2000, 28(3): 1-4.
- [22] Ivan F, David H, Jonathan R. A new approach for outcrop characterization and geostatistical analysis of a low-sinuosity fluvial-dominated succession using digital outcrop models: Upper Triassic Oukaimeden sandstone formation, central High Atlas, Morocco[J]. AAPG Bulletin, 2009, 93(6): 795-827.
- [23] 李志鹏, 彭学红, 林承焰, 等. 高浅南区明化镇组单砂体夹层对剩余油的控制作用[J]. 石油天然气学报, 2011, 33(9): 23-26.  
Li Zhipeng, Peng Xuehong, Lin Chengyan, et al. High light for the southern district Ming town set of single sand body interlayer control function of remaining oil[J]. Oil & Gas Journal, 2011, 33(9): 23-26.
- [24] 吴胜和. 储层表征与建模[M]. 北京: 石油工业出版社, 2010.  
Wu Shenghe. Reservoir characterization and modeling[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010.
- [25] 于德水. 萨北油田曲流型河道砂体建筑结构研究[J]. 断块油气田, 2011, 18(1): 30-33.  
Yu Deshui. Study on architecture of meander channel sandbody in Sabei oilfield[J]. Fault-block Oil Gas Field, 2011, 18(1): 30-33.

(责任编辑 刘志远)