

文章编号:0253-9985(2012)03-0484-06

# 塔里木盆地塔河4区缝洞型油藏井间连通程度

杨 坚<sup>1</sup>,程 倩<sup>2</sup>,李江龙<sup>2</sup>,刘中春<sup>2</sup>,

(1. 中国地质大学,北京 100083; 2. 中国石化石油勘探开发研究院,北京 100083)

**摘要:**塔里木盆地塔河油田4区奥陶系碳酸盐岩储层以岩溶和构造运动形成的溶洞、溶蚀孔洞和裂缝系统为主。溶洞呈离散状分布,是主要的储集空间;裂缝是主要的流动通道。塔河4区奥陶系碳酸盐岩储层具有埋藏深、非均质性强和开发难度大等特点。例举塔河4区S48单元7口井的生产动态干扰特征,由静态资料分析油藏的4种储集空间类型,包括溶洞型、裂缝型、缝洞组合型和致密岩块型。据此,提出井间洞连通、裂缝连通、复合连通和不连通4种井间连通模式。最后,由类干扰试井理论结合示踪剂扩散理论分析井间综合流量系数,初步定量表征井间连通程度。由此倡导,缝-洞型油藏剩余油分析方法与挖潜措施需要结合井间连通模式和连通程度。

**关键词:**连通程度;连通模式;动态干扰;储集空间类型;缝-洞型油藏;碳酸盐岩储层;塔河油田

中图分类号:TE33

文献标识码:A

## Interwell-connectivity analysis for fracture-vug reservoirs in the block-4 of Tahe oilfield, Tarim Basin

Yang Jian<sup>1</sup>, Cheng Qian<sup>2</sup>, Li Jianglong<sup>2</sup> and Liu Zhongchun<sup>2</sup>

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. SINOPEC Exploration &amp; Production Research Institute, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The types of reservoir spaces of the Ordovician carbonate reservoir of the block-4 of Tahe oilfield in Tarim Basin are dominated by cavern solution pore and vug, and fracture systems formed by karstification and tectonic movement. The caverns are discrete and the main reservoir spaces, while the fractures are the major migration pathways. The typical characteristics of the carbonate reservoir in the study area are of large burial depth, strong heterogeneity and large difficulty in petroleum production and so on. This paper analyzes the interference features of production performance of 7 wells in S48 unit of block-4 in Tahe oilfield. Four types of reservoir spaces are recognized based on analysis of static datum, including cavern-, fracture-, fracture-vug- and tight-types. Based on the analysis, four types of inter-well communication model are proposed, including inter-well cavern communication, inter-well fracture communication, inter-well fracture and vug communication and inter-well non-communication. Finally, the interference well test theory and tracer diffusion theory are used to analyze the flow coefficient and quantify inter-well connectivity. It is pointed out that inter-well communication models and connectivity should be integrated into the prediction and production of residual oil in fractured-vuggy carbonate reservoir.

**Key words:** connectivity, communication model, dynamic disturbance, reservoir space, fractured-vuggy reservoir, carbonate reservoir, Tahe oilfield

塔里木盆地塔河油田4区缝洞型油藏单井生产措施调整,如注水、关井、新投产、油嘴放缩和酸压

收稿日期:2012-02-16;修订日期:2012-05-10。

第一作者简介:杨坚(1967—),男,教授级高级工程师、博士,油藏开发研究和管理。

基金项目:国家基础研究发展计划(“973”计划)项目(2011CB201006)。

等均造成邻井生产特征发生明显扰动<sup>[1-3]</sup>。据此,研究中例举塔河4区S48单元7口井的生产动态干扰特征,由静态资料分析油藏的4种储集空间类型,进一步划分井间连通模式,主要包括裂缝连通、溶洞连通、缝洞复合连通和不连通4种;并由干扰试井联合示踪剂扩散理论分析井间综合流量系数,初步定量表征井间连通模式类型和连通程度,结合油藏开发关键问题,倡导缝洞型油藏剩余油分析方法与挖潜措施需结合井间连通模式和连通程度。

## 1 油藏概况

### 1.1 地质概况

塔河油田4区奥陶系油藏是受构造断裂及在其基础上的多期岩溶控制的多套缝洞体系在三维空间上叠合形成的碳酸盐岩岩溶缝洞型油气藏。油藏埋藏深,储层发育受控因素多,储层非均质性极强、描述难度大,具有网络状油藏的特征<sup>[4-14]</sup>。储集空间以溶洞为主,裂缝网络是主要的导流通道,油藏基质岩块为非有效储层<sup>[15-17]</sup>。油藏油-水关系复杂,受不同缝-洞系统的控制,局部存在封存水,同时存在活跃的底水。

### 1.2 生产动态特征

倘若井间连通,则各井处于同一压力系统中。当油藏有新井投产时,会虚耗地层能量,使原有生产井平均地层压力下降,邻井受到新井投产的影响而使其产量降低,同时油压也下降<sup>[18-19]</sup>。2000年以前,S48单元共有7口油井投产。其中,TK411井1999年11月19日投产,T401井1999年11月25

日出现产量下降(图1)。T401井1999年11月25日产油开始波动,油压从9 MPa下降至7 MPa,日产油量由241.9 m<sup>3</sup>/d下降至214.9 m<sup>3</sup>/d。1999年12月8日至2000年1月9日期间,T401井和TK411井日产油变化特征十分类似。据此,TK411井的投产对邻井T401存在压力扰动,T401和TK411井连通。S48单元内其他井生产制度改变和调整对S48井的日产油和油压等参数干扰特征不明显。

## 2 井间连通模式

### 2.1 连通模式划分依据

油井钻遇的储集空间类型决定井间的连通模式。结合生产静态和动态资料分析,缝洞型油藏单井钻遇的储集类型主要有溶洞型、裂缝型、缝-洞组合型和致密岩块型等,其具体的划分依据如下。

#### 1) 溶洞型

单井在钻井过程中放空漏失严重,多裸眼完井;累产高,初产大,无水采油期长。如S48井,钻井过程中漏失泥浆及油田水约2 318.8 m<sup>3</sup>,截至2009年底累产油70 × 10<sup>4</sup> t,无水采油期为1 016天。

#### 2) 裂缝型

单井多酸压完井后才能建产,累产相当较低;油井见水后,含水上升快。如TK408井,该井裸眼完井诱喷失效,酸压完井后建产,初期日产270 t,见水后,暴性水淹。

#### 3) 缝-洞组合型

单井多酸压完井后建产,累产相对较高,含水

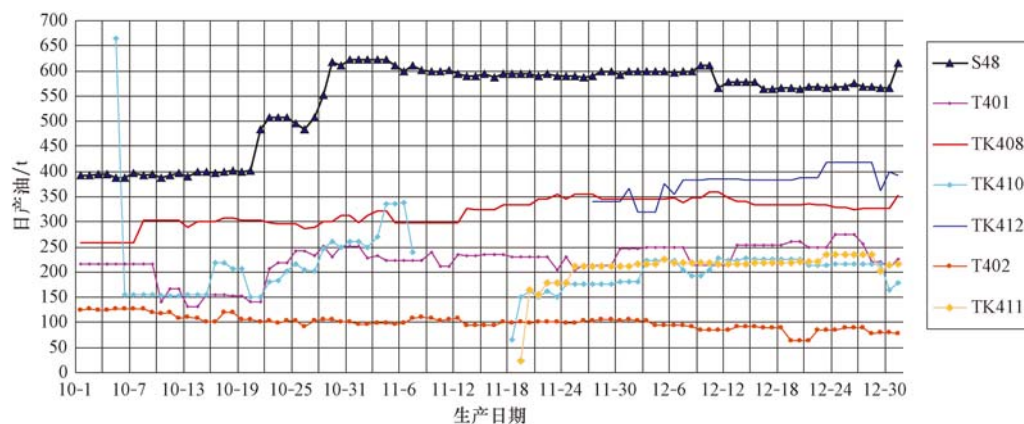


图1 塔河油田4区S48单元2000年前投产井产油曲线

Fig. 1 Production curves of wells brought into production before 2000 in S48 unit in block-4 of Tahe oilfield

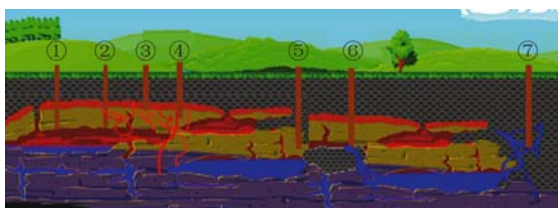


图2 塔河油田4区缝-洞型油藏井间基本连通模式

Fig. 2 Basic inter-well communication models of fractured-vuggy reservoir in block-4 of Tahe oilfield

(①,②,③,④,⑤,⑥,⑦为井号。蓝色为水体;红色为地下原油。)

明显呈台阶状上升。如 TK411 井,酸压完井后建产,初产 218 t/d,含水层呈台阶状上升。

#### 4) 致密岩块型

单井多表现为能量不充足,供液能力差,酸压后沟通溶洞可能建产,生产动态上一般视为干井。

### 2.2 井间基本连通模式

依据储集空间类型,将塔河4区的井间连通模式分为4类(图2)。

1) ①—②井间洞连通。生产过程中,对钻遇溶洞的①井和②井井底,仅存在较小范围的压力波动,两口井之间短期内不存在压力干扰。因此,对于此类连通,通过井间干扰信号短期不易判别。

2) ③—④井间缝连通。此类连通类似碎屑岩油藏的两口井之间,井底的压降漏斗相互重合,从而存在井间压力干扰。通过类干扰试井理论,可以判断井间的连通程度。

3) ⑥—⑦井间缝-洞复合连通。此类连通井间干扰取决于洞的大小。若洞内流体容积足够平衡压力波动,则不存在干扰。

4) ⑤井钻遇致密基质,与其他井均不连通。

以井间连通模式为基础、结合干扰试井理论和示踪剂特征的研究表明,示踪剂技术分析高度连通且井间生产动态强干扰的为缝或缝-洞复合连通;示踪剂分析高度连通但井间生产动态无干扰的为洞连通;示踪剂分析不连通且无动态干扰的为不连通。

## 3 井间连通程度定量表征

### 3.1 缝或缝-洞复合连通

基于连通井的生产动态特征,引入“综合流量系数”表征缝-洞型油藏单井间的连通程度。“综

合流量系数”反映井间地层允许流体通过的能力,其数值越大,井间连通程度越高;反之,则连通程度越低。

缝或缝-洞复合连通理论模型的基本假设如下:

① 无限大等效均质地层,地层流体成平面径向流;

② 油藏流体均质、单相,微可压缩;

③ 流体在地层中发生等温、不稳定渗流。

初始条件:  $t=0, r=\infty, p=p_i$ ;

边界条件:  $Q = \frac{2\pi Kh}{\mu} \left( r \frac{\partial p}{\partial r} \right)_{r=0}$ 。

基于以上假设,无限大地层中不稳定渗流早期地层压力为:

$$p(r, t) = p_i - \frac{Q\mu}{4\pi Kh} \left[ -E_i \left( -\frac{r^2}{4\eta t} \right) \right] \quad (1)$$

A 井独自定产量生产时,两井中点处的压力为:

$$p_A \left( \frac{L}{2}, t \right) = p_i - \frac{Q_A\mu}{4\pi Kh_A} \left[ -E_i \left( -\frac{L^2}{16\eta t} \right) \right] \quad (2)$$

B 井独自定产量生产时,两井中点处的压力为:

$$p_B \left( \frac{L}{2}, t \right) = p_i - \frac{Q_B\mu}{4\pi Kh_B} \left[ -E_i \left( -\frac{L^2}{16\eta t} \right) \right] \quad (3)$$

B 井以定产量  $Q_B$  投产  $t$  时间后, A 井和 B 井间发生干扰。由压降叠加原理,两井中点处压力为:

$$p \left( \frac{L}{2}, t \right) = p_A \left( \frac{L}{2}, t \right) + p_B \left( \frac{L}{2}, t \right) \quad (4)$$

同理, B 井投产, A 井井底流压为:

$$p'_A(r_w, t) = p_A(r_w, t) + p_B(L, t) \quad (5)$$

即有 A 井发生扰动后的产量为:

$$Q'_A = \frac{2\pi Kh_A}{\mu \ln \frac{L}{2r_w}} \left[ p \left( \frac{L}{2}, t \right) - p'_A(r_w, t) \right] \quad (6)$$

A 井产量变化为:

$$\frac{\Delta Q_A}{Q_B} \times \frac{h_B}{h_A} \times 2 \ln \frac{L}{2r_w} = E_i \left( -\frac{L^2}{16\eta t} \right) - E_i \left( -\frac{L^2}{4\eta t} \right) \quad (7)$$

新井投产对老井有压力干扰时,可按公式(7)计算无限大地层两口井间的综合流量系数,以此来表征井间连通程度。

### 3.2 洞连通

S48 单元 TK411 井于 2007 年 4 月 14 日至 2007 年 10 月 31 日注入示踪剂(BY-1),S48 井最先监测到明显示踪剂,水线推进速度为 294.6m/d,TK411-S48 井间连通性极好;但 TK411 井投产后,S48 井产量稳定,生产动态干扰不明显。分析认为,TK411 和 S48 井为典型的洞连通。

洞连通理论模型在建立数学模型前作如下假设:

- ①  $x$  轴与流速方向一致;
- ② 示踪剂与地层流体、岩石不发生化学反应;
- ③ 示踪剂连续注入,且扩散系数  $\lambda$  和流速  $v_1$  和  $v_2$  均为常数,不随坐标轴  $x$  而变化;
- ④ 忽略纵向上的弥散作用,示踪剂仅沿流速方向运移;

⑤ 流体为等温、不可压缩粘性流体;

⑥ 流体在裂缝中的流动为层流。

基于以上假设,有一维扩散方程如下:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + v \frac{\partial c}{\partial x} = \lambda \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (8)$$

初始条件: $c(1,0) = c_{\text{注}}$ ,  $c(i,0) = 0$ ;

边界条件: $c(L,t) = c_{\text{L}}$ 。

取: $n\Delta t = t, i\Delta x = L_i$ 。

方程(8)按显示差分后有:

$$\frac{c_{i+1}^n - c_i^n}{\Delta t} + v \frac{c_{i+1}^n - c_i^n}{\Delta x} = \lambda \frac{c_{i+1}^n - 3c_i^n + c_{i-1}^n}{\Delta x^2} \quad (9)$$

按显示分步计算法,代入初始条件,计算示踪剂推进前缘的浓度分布式为:

$$c_i^n = \left( \frac{\lambda \Delta t}{\Delta x^2} \right)^{\frac{(i-1)^2}{n}} c_{\text{注}} \quad (10)$$

变换形式后两边取对数有:

$$\ln \frac{c_i^n}{c_{\text{注}}} = \frac{(i-1)^2}{n} \ln \frac{\lambda \Delta t}{\Delta x^2} \quad (11)$$

观测井 1 和观测井 2 均取空间步长为  $\Delta x$ ,且有  $\Delta x \ll \min\left(\frac{L_1}{2}, \frac{L_2}{2}\right)$ ;时间步长为  $\Delta t$ ;  $\Delta x = \frac{L_1}{i_1} = \frac{L_2}{i_2}$ ,

$$\Delta t = \frac{t_1}{n_1} = \frac{t_2}{n_2}。$$

将观测井 1 和观测井 2 的参数代入公式(11)有:

$$\frac{\ln \frac{c_{L1}}{c_{\text{注}}}}{\ln \frac{c_{L2}}{c_{\text{注}}}} = \frac{t_2}{t_1} \times \frac{(L_1 - \Delta x)^2}{(L_2 - \Delta x)^2} \quad (12)$$

由于  $\Delta x \ll \min\left(\frac{L_1}{2}, \frac{L_2}{2}\right)$ ,则有  $\Delta x^2 \ll \min(L_1^2, L_2^2)$ ,

$\frac{2\Delta x}{L_1} \ll 1, \frac{2\Delta x}{L_2} \ll 1$ 。公式(12)近似处理为:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{L_2}{L_1} \times \frac{\ln \frac{c_{L1}}{c_{\text{注}}}}{\ln \frac{c_{L2}}{c_{\text{注}}}} \quad (13)$$

直角坐标下,不可压缩粘性流体在裂缝中的流速  $v$  为:

$$v = - \frac{w_f^2}{12000\mu} \nabla p \quad (14)$$

联立方程(13)和方程(14),有裂缝渗透率的比值:

$$\frac{w_{f1}^2}{w_{f2}^2} = \frac{\ln \frac{c_{L1}}{c_{\text{注}}}}{\ln \frac{c_{L2}}{c_{\text{注}}}} \times \frac{p_{\text{注}} - p_{wf2}}{p_{\text{注}} - p_{wf1}} \quad (15)$$

公式(15)为井组内综合流量系数劈分模型。缝或缝-洞连通的单井间存在明显生产动态干扰,由公式(7)可计算无限大地层两口井间的综合流量系数。洞连通的单井间生产动态干扰不明显,公式(7)联立公式(15)可定量表征井组内单井间的相对连通程度。

### 3.3 算例分析

S48 单元 TK411 井投产,T401 井出现产量波动;TK411 井注入示踪剂,T401 井监测 4 天突破,6 天达到峰值。据此,TK411-T401 井间为缝-洞或裂缝连通,基本参数如表 1 所示。

表 1 塔河油田 4 区 T401-TK411 井基本参数

Table 1 Basic parameters of T401 and TK411 wells in block-4 of Tahe oilfield

| 基本参数 | 井距/m  | 时间/s    | 体积系数 B | $h_{T401}/m$ | $h_{TK411}/m$ | $r_w/m$ | $c_i/MPa^{-1}$ | $\mu/(mPa \cdot s)$ | $Q_{T401,地下}/(cm^3 \cdot s^{-1})$ | $\Delta Q_{T401,地下}/(cm^3 \cdot s^{-1})$ |
|------|-------|---------|--------|--------------|---------------|---------|----------------|---------------------|-----------------------------------|------------------------------------------|
| 数值   | 816.5 | 345 600 | 1.12   | 217.00       | 67.50         | 0.10    | 0.001 095      | 24                  | 2 538.91                          | -368.75                                  |

注: $h$  为单井产层厚度,m; $r_w$  为油井半径,m; $Q_{T401,地下}$  为单井地下产油量, $cm^3/s$ ;  $\Delta Q_{T401,地下}$  为单井地下产油量变化, $cm^3/s$ ;  $c_i$  为油藏总压缩系数, $MPa^{-1}$ ;  $\mu$  为地层流体粘度, $mPa \cdot s$ 。

表2 塔河油田4区TK411井组井间连通程度参数

Table 2 Inter-well connectivity parameters of TK411 well-group in block-4 of Tahe oilfield

| 井号              | 井间综合流量系数/ $\mu\text{m}^2$ |
|-----------------|---------------------------|
| TK408 - TK411   | $3.20 \times 10^{-8}$     |
| TK428CH - TK411 | 0.33                      |
| T401 - TK411    | 3.78                      |
| S48 - TK411     | 20.44                     |
| TK424CH - TK411 | 1.48                      |
| TK467 - TK411   | 0.048                     |
| TK476 - TK411   | 0.22                      |
| TK457H - TK411  | 1.82                      |

基于上述数据和模型,求解 T401 - TK411 井之间的综合流量系数为  $3.78 \mu\text{m}^2$ 。

此外,TK411 井注入示踪剂,S48 井监测,3 天突破,8 天达到峰值。但是生产动态上,两井没有明显动态干扰,据此分析 S48 - TK411 井为洞连通。2007 年 4 月 14 日 TK411 井开始注示踪剂 (BY - 1), $\frac{c_L}{c_{\text{注}}}$  近似取单井回采率;基于上述计算模型(15),分析 S48 - TK411 洞连通的单井间连通程度为  $20.44 \mu\text{m}^2$ 。

分析 S48 单元 TK411 井组的井间连通程度(表2)。该井组以 S48 - TK411 井连通程度最高;其次是 T401 - TK411 井;TK408 - TK411 井连通性最差。

众所周知,缝-洞型油藏开发的关键在于搞清楚储层特征和流体分布规律。井间连通模式类型和连通程度直接影响剩余油的存在形式和分布特征。倡导缝-洞型油藏剩余油分析方法与挖潜措施需要结合井间连通模式和连通程度。

## 4 结论

1) 由单井钻遇的储集空间类型划分井间连通模式,其中裂缝连通、溶洞连通和缝-洞复合连通是塔河4区的主要连通模式。

2) 用类干扰试井联合示踪剂扩散理论分析井间综合流量系数,初步定量表征井间连通程度。

## 符号注释

$c$  为示踪剂浓度, g/mL;  
 $c(1,0)$  为 1 位置 0 时刻的示踪剂浓度, g/mL;  
 $c(i,0)$  为  $i$  位置 0 时刻的示踪剂浓度, g/mL;  
 $c(L,t)$  为  $L$  位置  $t$  时刻的示踪剂浓度, g/mL;  
 $c_{i-1}^n, c_i^n, c_{i+1}^n$  分别为  $i-1, i, i+1$  位置  $n$  时刻的示踪剂浓度, g/mL;  
 $c_L$  为示踪剂的突破浓度, g/mL;  
 $c_{L1}, c_{L2}$  分别为观测井 1, 2 的突破浓度, g/mL;  
 $c_{\text{注}}$  为示踪剂的注入浓度, g/mL;  
 $E_i$  为幂积分函数, 无量纲;  
 $h$  为产层厚度, cm;  
 $h_A, h_B$  分别为 A, B 井产层厚度, cm;  
 $i$  为位置节点个数, 个;  
 $i_1, i_2$  分别为观测井 1, 2 的位置节点个数, 个;  
 $K$  为地层综合渗透率,  $\mu\text{m}^2$ ;  
 $L$  为井距, cm;  
 $L_1, L_2$  分别为观测井 1, 2 与示踪剂投入井间的井距, m;  
 $L_f$  为裂缝长度, m;  
 $n$  为时间节点个数, 个;  
 $n_1, n_2$  分别为观测井 1, 2 的时间节点个数, 个;  
 $p$  为地层压力, MPa;  
 $p(r,t)$  为  $t$  时刻  $r$  处的地层压力, MPa;  
 $p_A(r_w, t)$  为 A 井  $t$  时刻井底处的地层压力, MPa;  
 $p_A\left(\frac{L}{2}, t\right)$  为 A 井  $t$  时刻  $\frac{L}{2}$  处的地层压力, MPa;  
 $p_B(L, t)$  为 B 井单独生产  $t$  时刻  $L$  处的地层压力, MPa;  
 $p_B\left(\frac{L}{2}, t\right)$  为 B 井  $t$  时刻  $\frac{L}{2}$  处的地层压力, MPa;  
 $p_i$  为原始地层压力, MPa;  
 $p\left(\frac{L}{2}, t\right)$  为 A, B 井同产  $t$  时刻  $\frac{L}{2}$  处的地层压力, MPa;  
 $p_{w1}, p_{w2}$  分别为观测井 1, 2 的井底流压, MPa;  
 $p'_A(r_w, t)$  为 A, B 井同产  $t$  时刻 A 井井底处的地层压力, MPa;

$P_{\text{注}}$  为注入压力,MPa;

$Q$  为油井地下日产量, $\text{cm}^3/\text{s}$ ;

$Q_A, Q_B$  分别为 A, B 油井地下日产量, $\text{cm}^3/\text{s}$ ;

$Q'_A$  为 A 井发生压力扰动后的产量, $\text{cm}^3/\text{s}$ ;

$r$  为泄油半径,m;

$r_w$  为油井半径,cm;

$t$  在缝或缝-洞复合连通模型中为 B 井生产时间,在洞连通模型中为扩散时间,s;

$t_1, t_2$  分别为观测井 1, 2 的突破时间,s;

$v$  为裂缝中流体的流速,m/s;

$v_1, v_2$  分别为观测井 1, 2 至示踪剂投入井间的流速, $\text{cm}/\text{s}$ ;

$w_1, w_2$  分别为裂缝 1, 2 的缝宽,mm;

$x$  为沿流速方向的扩散范围,m;

$\nabla p$  为压力梯度,MPa/m;

$\Delta Q_A$  为 A 井产量变化, $\text{cm}^3/\text{s}$ ;

$\Delta t$  为时间步长,s;

$\Delta x$  为位置步长,m;

$\eta$  为导压系数, $\text{cm}^2/\text{s}$ ;

$\lambda$  为扩散系数,无量纲;

$\mu$  为地层流体粘度,mPa · s。

### 参 考 文 献

- [1] 王曦莎, 闰长辉, 易小燕, 等. 塔河4区奥陶系碳酸盐岩油藏井间连通性分析[J]. 重庆科技学院学报, 2010, 12(3): 52-54.  
Wang Xisha, Yan Changhui, Yi Xiaoyan, et al. well connectivity analysis of Ordovician carbonate reservoir in the fourth zone of Tahe oilfield[J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2010, 12(3): 52-54.
- [2] 戚明辉, 姜民龙, 张小衡. 利用类干扰试井研究塔河油田井间连通关系[J]. 内蒙古石油, 2009, 23(2): 121-127.  
Qi Minghui, Jiang Minlong, Zhang Xiaoheng. Analysis interwell connectivity for Tahe oilfield by quasi-interference test[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2009, 23(2): 121-127.
- [3] 赵艳艳, 袁向春, 康志江. 缝洞型碳酸盐岩油藏油井产量及压力变化模型[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(1): 54-56, 62.  
Zhao Yanyan, Yuan Xiangchun, Kang Zhijiang. Flow rate and pressure variation modeling for production wells in fractured-vuggy carbonates reservoirs[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(1): 54-56, 62.
- [4] 周兴熙. 再论网络状油气藏与轮南潜山勘探对策[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(4): 4-9.  
Zhou Xingxi. My second discussion on network-like oil and gas pools and the exploration strategy for Lunnan buried-hill pools[J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(4): 4-9.
- [5] 涂兴万, 陈朝晖. 塔河碳酸盐岩缝洞型油藏水动力学模拟新方法[J]. 西南石油学报, 2006, 28(5): 53-56.  
Tu Xinwan, Chen Zhaohui. The simulation new method of hydraulic theory in Fractured-vuggy reservoirs for Tahe oilfield[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2006, 28(5): 53-56.
- [6] 李江龙, 黄孝特, 张丽萍. 塔河油田4区奥陶系缝洞型油藏特征及开发对策[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(5): 630-631.  
Li Jianglong, Huang Xiaote, Zhang Liping. Reservoir characteristics and development strategy of Ordovician fractured-vuggy reservoirs in block 4 of Tahe oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(5): 630-631.
- [7] 王禹川, 王怒涛, 袁晓满, 等. 碳酸盐岩缝洞型油藏产能评价方法探讨[J]. 断块油气田, 2011, 18(5): 637-640.  
Wang Yuchuan, Wang Nutao, Yuan Xiaoman, et al. Discussion on deliverability evaluation method of fractured-vuggy carbonate reservoir[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2011, 18(5): 637-640.
- [8] 陈青, 易小燕, 闫常辉, 等. 缝洞型碳酸盐岩油藏水驱曲线特征——以塔河油田奥陶系油藏为例[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(1): 33-37.  
Chen Qing, Yi Xiaoyan, Yan Changhui, et al. Water drive curves of fractured-vuggy carbonate rock reservoirs—taking the Ordovician carbonate reservoirs in Tahe oilfield as an example[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(1): 33-37.
- [9] 王黎栋, 万力, 于炳松. 塔中地区界面碳酸盐岩古岩溶发育控制因素分析[J]. 大庆石油地质与开发, 2008, 27(1): 34-38.  
Wang Lidong, Wan Li, Yu Bingsong. Analysis on development controlling factor of carbonate rock ancient karst in  $T_2^4$  interface of central Tarim area[J]. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing, 2008, 27(1): 34-38.
- [10] 杨园园, 朱玉波, 胡志方, 等. 塔中地区下古生界碳酸盐岩储层特点及预测方法[J]. 大庆石油地质与开发, 2006, 25(3): 7-9.  
Yang Yuanyuan, Zhu Yubo, Hu Zhifang, et al. The reservoir feature and forecasting techniques of carbonate reservoirs in Lower Palaeozoic for Tahe oilfield[J]. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing, 2006, 25(3): 7-9.
- [11] 荣元帅, 刘学利, 杨敏. 塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏多井缝洞单元注水开发方式[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(1): 28-32.  
Rong Yuanshuai, Liu Xueli, Yang Min. A discussion on water flooding in the multi-well fractured-vuggy units of carbonate reservoirs in Tahe oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(1): 28-32.

(下转第496页)

- 用——以大庆长垣北部油田为例[J]. 石油与天然气地质, 2011, 54(32): 797–806.
- Li Zhan-Dong, Zhao Wei, Li Yang, et al. The feasibility study and application of development seismic inversion—a case study from northern Changyuan oilfield of Daqing area[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 54(32): 797–806.
- [12] 朱定, 孙素琴, 蒋进勇. 分频解释技术在塔河油田储层预测中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(1): 49–53.
- Zhu Ding, Sun Suqin, Jiang Jinyong. Application of frequency division interpretation technique to reservoir prediction in Tahe oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(1): 49–53.
- [13] 张云银, 杨泽蓉, 孙淑艳, 等. 临南洼陷三角洲地震岩相解释方法[J]. 石油与天然气地质, 2011, 31(3): 404–410.
- Zhang Yunyin, Yang Zerong, Sun Shuyan, et al. Seismic lithofacies interpretation of delta deposits in the Linnan subsag[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 31(3): 404–410.
- [14] 尹兵祥, 杨剑萍, 尹克敏, 等. 东营凹陷永安地区地震反演及储层预测[J]. 石油物探, 2011, 50(1): 59–64.
- Yin Bingxiang, Yang Jianping, Yin Kemin, et al. Seismic inversion and reservoir prediction in Yongan area, Dongying Sag[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2011, 50(1): 59–64.
- [15] 彭才; 张延充; 梅燕; , 等. 川中地区飞仙关组高能鲕滩储层地震预测[J]. 石油物探, 2010, 49(5): 504–508.
- Peng Cai, Zhang Yanchong, Mei Yan, et al. Seismic prediction on high-energy oolitic-beach reservoir of Feixianguan Formation in central Sichuan Basin [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2011, (1): 504–508.
- [16] 江青春, 王海, 李丹, 等. 地震波形分类技术应用条件及其在葡北地区沉积微相研究中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2012, 3(1): 135–140.
- Jiang Qingchun, Wang Hai, Li Dan. Application conditions of seismic waveform classification technique and its use in the study of sedimentary microfacies of Pubei area[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 135–140.

(编辑 高 岩)

(上接第489页)

- [12] 丁勇, 彭守涛, 李会军. 塔河油田及塔北碳酸盐岩油藏特征与成藏主控因素[J]. 石油实验地质, 2011, 33(5): 488–494.
- Ding Yong, Peng Shoutao, Li Huijun. Features and main controlling factors of carbonate reservoirs in Tahe Oilfield and northern Tarim Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(5): 488–494.
- [13] 马学军, 费建博, 王建斌, 等. 塔中奥陶系缝洞系统成像的配套处理技术研究[J]. 石油物探, 2011, 50(6): 583–588.
- Ma Xuejun, Fei Jianbo, Wang Jianbing, et al. Study on the supporting processing techniques for the imaging of Ordovician fracture-cavity system in Tazhong area[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2011, 50(6): 583–588.
- [14] 鲁新便, 蔡忠贤. 缝洞型碳酸盐岩油藏古溶洞系统与油气开发——以塔河碳酸盐岩溶洞型油藏为例[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(1): 22–27.
- Lu Xinbian, Cai Zhongxian. A study of the paleo-cavern system in fractured-vuggy carbonate reservoirs and oil/gas development—taking the reservoirs in Tahe oilfield as an example[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(1): 22–27.
- [15] 程倩, 李阳, 熊伟, 等. 缝洞型碳酸盐岩油藏介质理论[J]. 大庆石油地质与开发, 2009, 28(4): 35–38.
- Cheng Qian, Li Yang, Xiong wei, et al. Theory of fracture-vuggy carbonate rock reservoir medium[J]. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing, 2009, 28(4): 35–38.
- [16] 程倩, 李阳, 熊伟, 等. 缝洞型碳酸盐岩油藏基岩块渗流特征初探[J]. 大庆石油地质与开发, 2010, 25(3): 98–100.
- Cheng Qian, Li Yang, Xiong wei, et al. Discussion on flow characteristics for the matrix rock of cavity-fractured carbonate oil reservoir[J]. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing, 2010, 25(3): 98–100.
- [17] 漆立新, 云露. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩岩溶发育特征与主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(1): 1–12.
- Qi Lixin, Yun Lu. Development characteristics and main controlling factors of the Ordovician carbonate karst in Tahe oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(1): 1–12.
- [18] 宋化明, 刘建军. 塔河油田四区缝洞性油藏缝洞单元划分方法研究[J]. 石油地质与工程, 2011, 25(3): 61–64.
- Song Huaming, Liu Jianjun. Study on fracture-cavity reservoir fracture-cavity unit division method in Tahe oilfield 4 block[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2011, 25(3): 61–64.
- [19] 陈志海, 马旭杰, 黄广涛. 缝洞型碳酸盐岩油藏缝洞单元划分方法研究——以塔河油田奥陶系油藏主力开发区为例[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(6): 847–855.
- Chen Zhihai, Ma Xujie, Huang Guangtao. Research on the fracture-vug unit division of fractured-vuggy carbonate rock oil pools—an example from the Ordovician oil pools in the principle producing area of Tahe oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(6): 847–855.

(编辑 李 军)