

文章编号:0253-9985(2011)04-0625-06

塔河油田奥陶系缝洞型油藏储量分类评价技术

杨敏^{1,2}, 靳佩²

(1. 成都理工大学 油气藏地质及开发工程重点实验室, 四川 成都 610042;

2. 中国石化 西北油田分公司, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要:塔河油田缝洞型油藏由于储集体的空间分布、规模大小、储集性能具有较强的非均质性,按照碎屑岩油藏计算方法提交的探明储量具有一定的不确定性。因此从开发的角度,考虑缝洞型油藏的非均质性,利用地震反射特征、地震振幅变化率大小及实钻井的产能差异对提交的探明储量进行了分类评价,把未开发储量划分为落实未开发储量,待评价一类储量、待评价二类储量、待核销储量4个小类,并论述了界定不同类别储量边界的多种技术方法。由于每种技术方法都有一定的局限性,因此需综合利用多种技术方法进行储量的评价。通过对塔河碳酸盐岩缝洞型油藏探明储量的分类评价,能够有效指导开发井位的部署,优先动用优质储量,加强待评价一类储量的评价工作,提高此类油藏的建产率,单井产能及储量动用程度。

关键词:储量分类评价;储量边界;奥陶系;缝洞型油藏;塔河油田

中图分类号:TE155

文献标识码:A

Reserve classification and evaluation of the Ordovician fractured-vuggy reservoirs in Tahe oilfield

Yang Min^{1,2} and Jin Pei²

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610042, China; 2. SINOPEC Northwest Oilfield Branch Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: The fractured-vuggy reservoirs in Tahe Oilfield are characterized by strong heterogeneity in spatial distribution, size, and quality of reservoirs, thus their proven reserves calculated with method formulated for clastic reservoirs are inaccurate. Therefore, their proven reserves are classified and evaluated based on the seismic reflectance signature, rate of seismic amplitude variation and difference of the measured deliverability among wells. Undeveloped reserves are divided into proved underdeveloped reserves, unevaluated Class I reserves, unevaluated Class II reserves, and reserves to be cancelled after verification. Various approaches are introduced for defining boundaries of reserves of different categories. As each approach has its only limitations, it is necessary to integrate multiple methods for evaluating reserves. These classification and evaluation approaches are used in the fractured-vuggy carbonate reservoirs in Tahe oilfield. The results show that they can effectively guide the emplacement of development wells, give priority to the producing of high quality reserves, strengthen evaluation of the unevaluated Class I reserves, enhance single-well deliverability and ratio of producing reserves.

Key words: reserve classification and evaluation, boundary of reserves, Ordovician, fractured-vuggy reservoirs, Tahe oilfield

塔河油田属于缝洞型碳酸盐岩油藏,油藏类型十分特殊,主要储集空间以构造变形产生的构造裂缝与岩溶作用形成的孔、洞、缝为主,其中大型洞穴是最主要的储集空间,裂缝既是主要的储

集空间,也是主要的连通通道^[1-4]。由于其储集体空间分布的复杂性,连通方式的多样性,提交的探明储量只能说明有油气存在,而不能说明油气的分布及富集状况。

收稿日期:2011-05-27。

第一作者简介:杨敏(1968—),男,博士研究生,油田开发。

经过十年的开发,塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏储量动用程度为52%,还有近一半储量没有得到动用,如何认识缝洞型油藏的储量状况一直是困扰塔河油田科学高效开发的问题之一,也是塔河油田缝洞型油藏急需解决的问题之一。

1 前期储量分类及评价方法

对于碎屑岩油藏动用储量的界定^[5-6],可以分为两种情况。

1) 独立开发方案涉及单元内投产开发井(或井控储量)比例:构造油气藏达到70%以上,岩性油气藏达到80%以上,该开发单元可全部标定为动用储量。

2) 对于投产开发井(或井控储量)未达到规定比例的油藏,其动用储量的界定,根据已投产井的泄油半径所控制的范围内的储量为已动用储量,泄油半径外的储量为未动用储量。

塔河碳酸盐岩缝洞型油藏,由于其储集空间为大型溶洞,难以刻画其三维形态^[7-8],因此借用了碎屑岩油藏计算动用储量的方法,即考虑井控范围内的储量为动用储量。由于井距多在1 500 m左右,因此取井距之半为泄油半径,井控范围1.5 km²左右。考虑到油藏的特殊性,储量丰度存在较大差异,溶洞发育区储量丰度较高,因此产能高的井(日产大于80 t/d),大型溶洞发育,井控储量丰度在区块平均储量丰度的基础上乘以1.5倍系数;中产井(日产30~80 t/d)由于溶洞发育规模减小,井控范围取1.0 km²,井控储量丰度在区块丰度的基础上乘以1.0倍系数,低产井(日产小于30 t/d),井控范围取0.5 km²,井控储量丰度在区块丰度的基础上乘以0.5系数。

从上述方法可以看出,前期塔河碳酸盐岩缝洞型油藏已开发储量标定采用的是井控与单井产能、储量丰度关联的方法,虽然考虑到了缝洞型油藏储集体在空间分布的复杂性及储量丰度的差异性,但这些参数多是定性的或靠经验取值,具有较大不确定性。不能满足缝洞型油藏开发的要求,更不能指导下步的开发工作。

2 塔河缝洞型油藏开发储量的分类

参考国内外文献^[9-12],同时结合塔河缝洞型

油藏开发实践,在探明储量分成二类(已开发储量和未开发储量)的基础上,同时从开发的角度进一步把未开发储量细分为四小类。

2.1 已开发储量

在探明储量区内,已获工业油气流(累计产量大于1 000 t)的钻井所控制缝洞体的储量为已开发储量。

对于塔河稠油(原油密度大于0.95 g/cm³,井深大于5 300 m)油藏已获工业油气流是指单井累计产量大于或等于1 000 t。统计发现累计产量小于1 000 t的井通过后期储层改造等措施后,多数井仍能获得较好的产能,因此认为这些井控制范围内储量已得到动用,属于已开发储量。

2.2 未开发储量

未开发储量进一步细分为4小类。

1) 落实未开发储量

在探明储量区内,地震剖面上具有明显的强能量反射异常特征(图1)及地震强振幅变化率(图2)^[1-2,4],与邻井已建产井地震属性具有相似特征,拟直接部署开发井所控制范围内的储量。

2) 待评价一类储量

在探明储量区内,地震剖面上具有较明显的强能量反射异常特征(图3)及地震振幅变化率较强(图4),结合地质认识认为可能油气成藏,但还

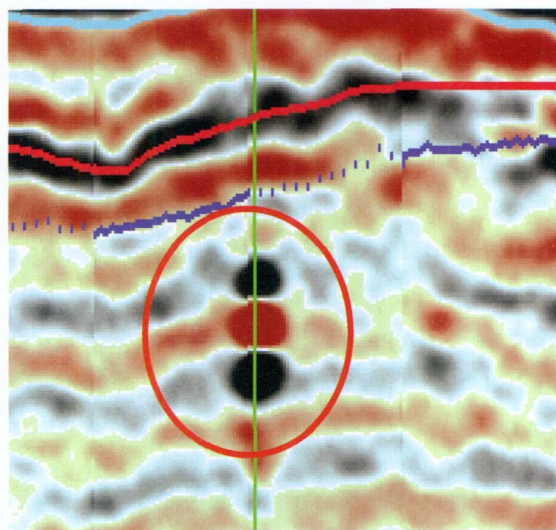


图1 落实未开发储量地震反射特征(强能量串珠状反射特征)

Fig. 1 Seismic reflectance signature of the proved undeveloped reserves

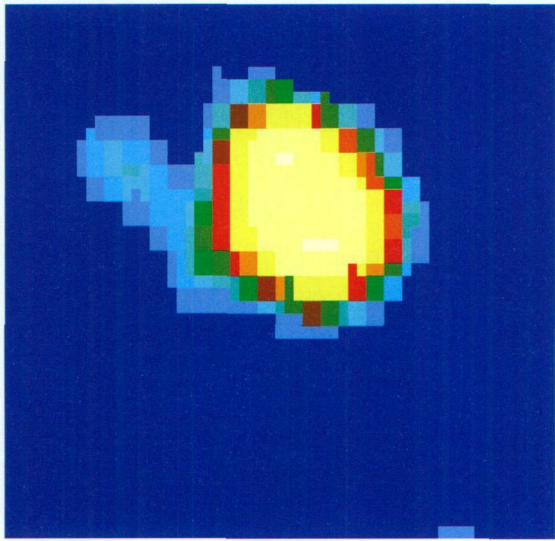


图 2 落实未开发储量振幅变化率特征
(强振幅变化率特征)

Fig. 2 Amplitude variation of proved undeveloped reserves

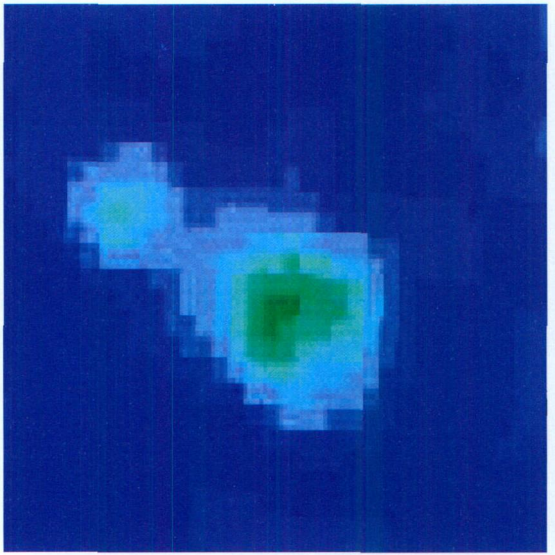


图 4 待评价一类储量振幅变化率特征
(较强振幅变化率)

Fig. 4 Amplitude variation of unevaluated Class I reserves

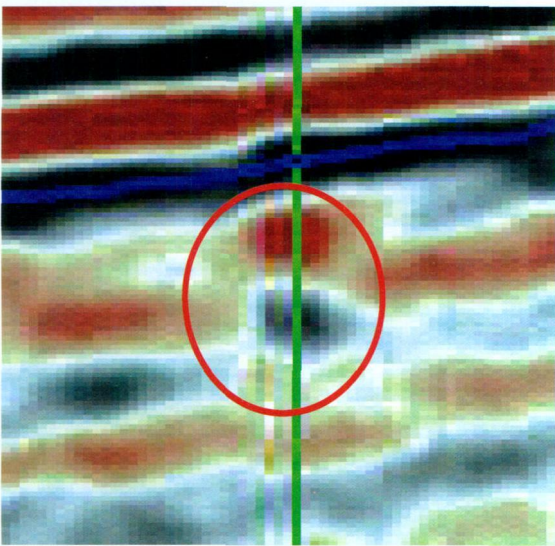


图 3 待评价一类储量地震反射特征
(较强能量串珠状反射特征)

Fig. 3 Seismic reflectance signature of unevaluated Class I reserves

不能直接部署开发井或部署开发井风险较大的范围控制的储量。

3) 待评价二类储量

在探明储量区内,在现有的技术条件下无明显地震反射特征及振幅变化率没有异常,与背景值一样,地质认识上也不能判断其成藏的可能性的范围所控制的储量。

4) 待核销储量

在探明储量区内,具有明显的地震异常特征

及强的振幅变化率,但经过实钻后证实钻遇水层及干层控制的范围,需要核销的储量。

3 塔河缝洞型油藏储量边界界定技术

塔河油田开发实践表明,在上奥陶统剥蚀区以地表风化淋滤岩溶为主,断裂和裂缝普遍密集发育,岩溶发育强度大,期次多,多发育大型的溶洞。古溶洞系统发育呈现为片状和网状,溶洞之间的连通性较好,古溶洞系统的展布范围广、连通规模大。由于其溶洞发育的规模大,连通性好,因此生产动态上表现出能量较强,单井的产能高,稳产期长,累计产量高,注水效果好等特点^[13]。

在上奥陶统覆盖区,这些区块面积大,岩溶发育受控于断裂、构造变形,与断裂有较好的匹配关系,岩溶的规模及强度减弱,溶洞的规模较小,溶洞系统以树枝状、河道状的形式出现,平面上沿断裂发育的缝洞体呈中-小规模团块状分布,多为3~5口井连通的缝洞单元,孤立的定容单元增多。深部也发育溶洞,但多为水洞。由于该部位溶洞发育的规模变小,连通性变差,因此生产动态上表现出单元能量变弱,单井产能变低,高产井数量减少。

现有确定均质程度较高的碎屑岩油藏已开发储量的计算方法,显然不能应用到非均质性极强

的缝洞型碳酸盐岩油藏中。虽然整体看塔河缝洞型碳酸盐岩油藏非均质性极强,油藏的储集空间类型,油水关系,储集体的空间形态极其复杂,但在局部范围内,可认为油藏相对均一,具有相对统一的油水界面。这个相对小的范围我们定义为“缝洞发育带”。因此进行缝洞发育带边界的划分是已开发储量评价的关键,确定了缝洞带边界即确定了已开发储量边界。

3.1 已开发储量边界界定依据

主要有以下技术方法^[14-16]界定已开发储量边界。

1) 利用古岩溶资料界定

通过对探明储量区石炭系巴楚组下部泥岩段厚度统计分析,应用层拉平技术确定岩溶区的古构造-古岩溶模型,即不同岩溶地貌(高地、斜坡、洼地、沟谷)的范围。岩溶残丘、岩溶相对较高或斜坡部位、断裂、裂缝发育部位,岩溶作用较强,是缝洞发育带发育的主体部位;反之,岩溶低部位,往往是古地表水系的主河道,冲蚀严重或垮塌充填严重,容易形成致密隔档,可作为已开发储量的边界。

2) 利用钻、测井资料界定

从钻井取心上可以识别溶洞的充填情况,如果没有取心,则可以利用测井曲线进行溶洞充填的识别,塔河油田洞穴内多为砂泥质填集,因而表现出与泥岩层相似的电性特征,即高自然伽马读数(一般高于40API),低的电阻率,远比一般储层高的时差和低的密度、高中子,在综合测井曲线图上很容易加以识别。

钻、测井提供了大量的各类溶蚀缝、洞(充填、未充填)发育资料,未建产井或充填洞发育处可能是已开发储量的边界。

3) 利用地震属性资料界定

由于溶洞发育带具有弱振幅、强振幅变化率、弱相干、低阻抗、低速度等地震响应特征,而碳酸

盐岩储层内幕裂缝、溶洞发育带具有强振幅、高振幅变化率、弱相干、低阻抗、低速度等地震响应特征,因此可利用这些属性来进行已开发储量边界的划分。通常情况下,已投产井,其振幅变化率大于200的范围内为已开发储量,同时可利用波形技术直接刻画已投产井缝洞体的三维空间形态从而得到已开发储量的边界。通过实钻溶洞与波阻抗值的标定,当波阻抗值小于15 000为溶洞发育,因此在当波阻抗值小于15 000范围内为已开发储量。由于每种属性得到已开发储量的边界都存在一定的差异,因此需要多种属性共同使用,综合考虑最终得到已开发储量的边界。

4) 利用流体资料界定

塔河油田缝洞型油藏流体性质分区性较明显,储集体的非均质性、连通程度等是流体分布的主要控制因素。因此,流体性质变化强烈的部位,很有可能就是由于储集体连通性较差引起的,有可能为已开发储量的边界。

5) 利用断裂界定

在缝洞油藏开发中发现,断裂对油气具有一定的隔挡作用,可以作为开发储量的边界,如TP-1井,S97-1井均为断层遮挡油气成藏。

3.2 落实未开发储量边界界定依据

1) 振幅变化率值大于200所控制的区域

落实未开发储量边界划分主要依据振幅变化率值来确定,从统计累计产油量大于 3×10^4 t井的振幅变化率值来看,高产井的振幅变化率值多分布在200~400之间,占统计总井数的64.7%。从统计的结果看(表1),振幅变化率值在200~400,对应的缝洞最为发育,单井平均的产量较高。因此认为振幅变化率值大于200的范围是落实未开发储量边界。

2) 曲率变化较大的区域

利用趋势面分析技术,可以提取 T_7^4 顶面构造曲率,不同的区块由于 T_7^4 深度存在差异,因此趋势线取值不同,但只要在曲率大于5的区域一般

表 1 塔河油田奥陶系油藏不同振幅变化率值对应的累计产量
Table 1 Cumulative production of the Ordovician reservoirs in Tahe Oilfield correlated with rate of amplitude variation

振幅变化率值	井数/口	单井平均产油量/(10 ⁴ t)	单井平均产液量/(10 ⁴ t)	所占比例, %
<200	35	3.4	4.6	19.0
200~300	73	5.1	6.7	39.7
300~400	46	5.8	7.3	25.0
>400	30	3.6	4.2	16.3

处于构造相对高部位,缝洞较发育,因此曲率变化大的区域可作为落实未开发储量的范围。

3) 断裂夹持的区域

如果强地震反射异常(图 1)落在两断裂之间,则认为断裂之间夹持的区域为落实未开发储量的范围。

3.3 待评价一类储量边界界定依据

待评价储量边界划分在参考振幅变化率值的同时,需要结合地震反射特征。由于其可靠程度较落实未开发储量低,因此只要振幅变化率上存在异常(振幅变化率值为 74~200)的范围认为是待评价储量的边界。

3.4 待评价二类储量边界界定依据

已开发,落实未开发、待评价一类、待核销储量边界外的区域为待评价二类储量的边界。

3.5 待核销储量边界界定依据

待核销储量由于实钻证实是出水井或干井,因此其储量边界的界定原则可参考已开发储量的边界确定原则。

塔河油田缝洞型油藏储量边界界定较为复

杂,必须综合利用地质、物探及生产动态资料,综合利用多种技术方法来确定储量的边界。

通过上述储量分类评价技术,对塔河油田 8 区奥陶系油藏探明储量进行了分类评价,首先是利用各种动静态资料划分五类储量的边界,其次是确定五类储量的储量计算参数,最后采用容积法进行储量计算。通过储量分类评价得到塔河油田 8 区缝洞型油藏已开发储量 $5\,631\times 10^4\text{ t}$,落实未开发储量 $228\times 10^4\text{ t}$,待评价一类储量 $202\times 10^4\text{ t}$,待评价二类储量 $559\times 10^4\text{ t}$,待核销储量 $94\times 10^4\text{ t}$ 。不同储量类别平面分布见图 5。

4 结论

1) 把探明储量分为已开发储量和未开发储量,未开发储量按可靠程度、动用次序进一步细分为四类,即落实未开发储量、待评价一类储量、待评价二类储量和待核销储量。

2) 利用古岩溶资料、钻、测井资料、地震属性资料、流体资料、断裂界定了已开发储量的边界;根据振幅变化率、曲率变化及断裂特征界定了四类未开发储量的边界,并通过容积法进行了储量计算,为下步开发动用计划的制定提供了可靠依据。

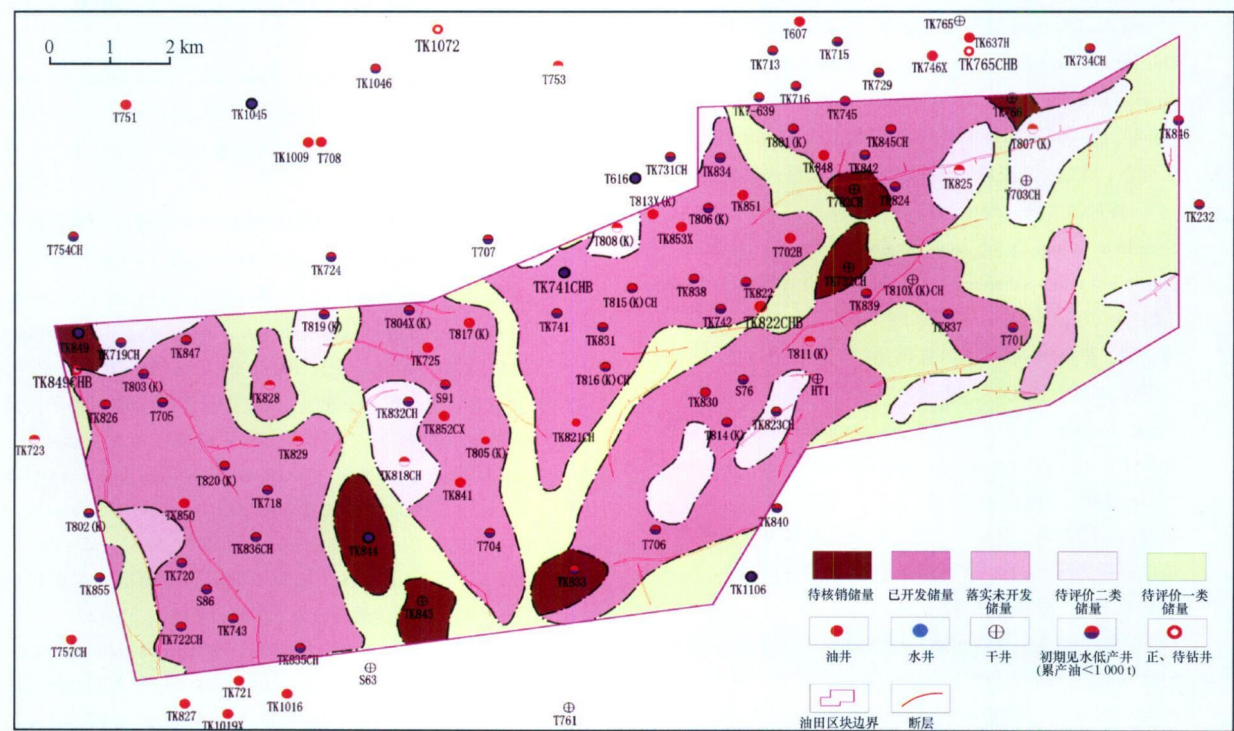


图 5 塔河油田 8 区奥陶系油藏储量分类评价

Fig. 5 Reserve classification and evaluation of the Ordovician reservoirs in Block 8 of Tahe Oilfield

3) 塔河油田缝洞型油藏储量边界界定较为复杂,必须综合利用地质、物探及生产动态方法技术综合确定。对于复杂的缝洞型油藏,储量的认识、评价将是一项长期、艰巨的工作,需要综合利用多种技术手段进行储量评价,本文所提出的方法技术还有待于进一步完善。

参 考 文 献

- [1] 王士敏,鲁新便. 塔河油田碳酸盐岩储层预测技术[J]. 石油物探, 2004, 43(2): 153-158.
Wang Shimin Lu Xinbian. Prediction techniques for deep carbonate reservoirs in Tahe Oilfield[J]. Geophysical Prospecting For Petroleum, 2004, 43(2): 153-158.
- [2] 陈清华,孙述鹏. 缝洞识别技术在塔河油田的综合应用[J]. 西部探矿工程, 2004, 16(11): 69-70.
Chen Qinghua, Sun Shupeng. Application of fractured vuggy recognition techniques in Tahe Oilfield[J]. West-China Exploration Engineering, 2004, 16(11): 69-70.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 宋立新,陈超,赵庆辉. 已探明未动用储量评价方法研究[J]. 特种油气藏, 2001, 8(2): 6-50.
Song Lixin, Chen Chao, Zhao Qinghui. Evaluation methods for proven but untapped reserve[J]. Special Oil & Gas Reservoirs 2001, 8(2): 6-50.
- [6] 张为民,薛培华. 探明未开发储量的灰色评价方法[J]. 石油学报, 1999, 20(4): 29-33.
Zhang Weimin, Xue Peihua. Gray estimate method for the proved non-predicting reserve evaluation[J]. Acta Petrolei Sinica, 1999, 20(4): 29-33.
- [7] 赵迎月,顾汉明,李宗杰,等. 塔中地区奥陶系典型地质体地震识别模式[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2010, 6(40): 1262-1270, 1286.
Zhao Yingyue, Gu Hanming, Li Zongjie, et al. The seismic wave field recognition mode of typical geological bodies in the ordovician in Tazhong area[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2010, 6(40): 1262-1270, 1286.
- [8] 孙东,潘建国,潘文庆,等. 塔中地区碳酸盐岩溶洞储层体积量化正演模拟[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(6): 871-878, 882.
Sun Dong, Pan Jianguo, Pan Wenqing, et al. Quantitative forward modelling of cavity volume in carbonate reservoirs in Tazhong area[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(6): 871-878, 882.
- [9] 龙喜彬. 塔河油田缝洞型油藏未动用储量评价及开发对策探讨[J]. 内蒙古石油化工, 2009, 13: 124-127.
Long Xibin. Discussion for evaluation and development policies of non-producing reserves of the crack and hole reservoir of Tahe oilfield[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2009, 13: 124-127.
- [10] 牛彦良,吴畏. 未动用储量优选评价分析方法[J]. 石油学报, 2006, 27(Z1): 115-118.
Niu Yanliang, Wu Wei. Optimized selection and evaluation method for nonproducing reserves[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(Z1): 115-118.
- [11] 何鲜,石占中,周宗良. 难动用储量油藏评价方法[M]. 北京:石油工业出版社, 2005, 1-196.
He Xian, Shi Zhazhong, Zhou Zhongliang. Exploitation technologies difficult-to-production reserves[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2005, 1-196.
- [12] 曲丽,徐宏. 桩西采油厂未开发储量评价及对策[J]. 油气井测试, 2004, 13(3): 27-30.
Qu Li, Xu Hong. Evaluation and strategy for no exploit reserves in ZhuangXi production factory[J]. Well Testing, 2004, 13(3): 27-30.
- [13] 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.
- [14] 李珂,李允,刘明. 缝洞型碳酸盐岩油藏储量计算方法研究[J]. 石油钻采工艺, 2007, 29(2): 103-104.
Li Ke, Li Yun, Liu Ming. Study on reserves calculating method of fractured-cavernous carbonate reservoirs[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2007, 29(2): 103-104.
- [15] 刘子良,司云革,于孝玉,等. 吉林油田未动用难采储量评价技术方法[J]. 中国石油勘探, 2003, 8(3): 65-68.
Liu Ziliang, Si Yunge, Yu Xiaoyu, et al. Evaluation methods for non-producing difficult-to-recover reserves in jilin oilfield[J]. China Petroleum Exploration, 2003, 8(3): 65-68.
- [16] 姜福聪. 长垣南部扶余油层未动用储量储层评价及优选[J]. 大庆石油地质与开发, 2005, 24(6): 31-32.
Jiang Fucong. Study on economic producing of unproducing reserves in Fuyu reservoirs in southern placanticline[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2005, 24(6): 31-32.

(编辑 董立)