

哈拉哈塘油田单井钻遇储集体类型及注水替油效果分析

薛江龙, 刘应飞, 朱文平, 李 阳

(中国石油塔里木油田分公司勘探开发研究院, 新疆库尔勒 841000)

摘 要:针对哈拉哈塘油田缝洞型油藏单井注水替油效果差异大的问题,在分析哈拉哈塘油田注水替油井动静态特征的基础上,建立了基于地球物理方法、录井响应特征、动态分析系统判别储集体类型的方法,将哈拉哈塘油田单井钻遇储集体划分为孤立洞穴+弱底水型、孤立洞穴+强底水型、裂缝孔洞型、裂缝孔洞+底部洞穴型等4种类型,并通过注水替油机理研究和矿场试验对不同类型缝洞体的注水替油效果进行了分析。该油田60口井注水替油的矿场实践结果表明,孤立洞穴+弱底水型、裂缝孔洞+底部洞穴型储集体宜采用注水替油方式开采,而裂缝孔洞型、孤立洞穴+强底水型储集体不适宜采用注水替油方式开采。研究结果对哈拉哈塘油田缝洞型油藏开发方式优选及改善单井注水开发效果有重要的指导作用。

关键词:碳酸盐岩油气藏;储集体;注水;裂缝;孔洞;哈拉哈塘油田

中图分类号:TE344 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-0890(2016)01-0085-05

The Types of Reservoirs Encountered by the Wells in the Halahatang Oilfield and Water Flooding Effects

XUE Jianglong, LIU Yingfei, ZHU Wenping, LI Yang

(Research Institute of Exploration and Development of PetroChina Tarim Oilfield, Korla, Xinjiang, 841000, China)

Abstract: In the fracture-vug reservoirs of Halahatang Oilfield, water flooding effects are quite different in different production wells. In order to solve this problem, a reservoir type discrimination method based on geophysical methods, logging response features, and dynamic analysis systems was established by analyzing dynamic and static characteristics of production wells in the process of water flooding. The reservoirs encountered by the wells in Halahatang Oilfield were divided into four types, i. e., isolated cavern+weak bottom water, isolated cavern+strong bottom water, fracture-vug and fracture-vug+bottom cavern. The water flooding effects in different types of fracture-vug reservoirs were analyzed by means of water flooding mechanism research and field test. This method was applied on site for water flooding operation at 60 wells in Halahatang Oilfield. And it was shown that the waterflooding method was suitable for isolated cavern+weak bottom water type and fracture-vug+bottom cavern type reservoirs instead of fracture-vug type and isolated cavern-strong bottom water type reservoirs. It was an important guidance for optimizing development modes of fracture-vug reservoirs and improving single-well water flooding effects in Halahatang Oilfield.

Key words: carbonate reservoir; reservoir; water flooding; fracture; vug; Halahatang Oilfield

哈拉哈塘油田是轮古—塔河—哈拉哈塘奥陶系碳酸盐岩大型油田群的一部分,是经历多期构造运动和古岩溶共同作用形成的岩溶缝洞型碳酸盐岩油藏群^[1]。该油田储层埋藏深,总体呈准层状,但形态多变,具有极强的非均质性,储层空间岩溶洞穴、孔洞、裂缝非常发育^[2-3],单井钻遇储层的类型(洞穴、孔洞、裂缝)制约和影响了其试采后期注水替油开发的效果。曹鹏等人^[4]将储集体划分为洞穴连通型、

孤立洞穴型、洞穴+裂缝型、孔洞+裂缝型等4种类型,并对不同储集体类型的单井控制单元注水替油

收稿日期:2015-06-26;**改回日期:**2015-12-12。

作者简介:薛江龙(1987—),男,山西永济人,2009年毕业于大庆石油学院石油工程专业,2013年获东北石油大学油气田开发工程专业硕士学位,工程师,现从事碳酸盐岩油藏工程方面的研究工作。E-mail: xuejianglong1987@163.com。

基金项目:国家科技重大专项“塔里木碳酸盐岩油藏重大开发试验”(编号:2011ZX05004-004)资助。

的效果及适应性进行了分析,还有研究人员从工艺特征、开发效果和开采机理等方面对注水替油开采方式进行了分析^[5-10]。在上述研究成果的基础上,笔者结合钻井资料、测井资料、地震资料和单井动态试采特征,将孤立洞穴型储集体进一步细分为孤立洞穴+弱底水型、孤立洞穴+强底水型2种类型,并对其他特征储集体重新进行了划分和归类,从而将哈拉哈塘油田注水替油井钻遇的储集体总体划分为孤立洞穴+弱底水型、孤立洞穴+强底水型、裂缝孔洞型、裂缝孔洞+底部洞穴型等4种类型,并对不同储集体类型的单井控制单元注水替油的效果及适应性进行了分析。

1 单井钻遇储集体的识别

根据岩心、钻井、常规测井、成像测井、单井动态试采特征等资料,对单井钻遇储集体的类型进行判别。综合成像测井资料、井径扩大情况、测井孔隙度解释曲线、钻井放空漏失状况等,可以判断单井钻遇的是洞穴型储层还是裂缝孔洞型储层。对于洞穴型储层,地震响应上为“串珠”相反射,钻井过程中会发生放空漏失,孔隙度曲线变化大,同时伴随扩径,井壁地层微电阻率成像测井图像上表现为所有极板均呈低阻暗色块状分布;偶极子声波成像测井(XMAC或DSI)变密度图在洞顶底界面上表现为入字形条纹,洞穴部分XMAC或DSI图像上波形杂乱;对于伴有强底水的孤立洞穴型储层,动态试采曲线上表现为两段式,试采初期表现弹性驱特征,后期表现强底水驱替特征(如哈拉哈塘油田某井强底水洞穴型储层累计产液量-油压降关系曲线明显分为2段,前期随着累计产液量增加,油压降逐渐增大;油井见水后快速上升至高含水期,油压降随着累计产液量增加而急剧升高)。因此,结合油井动态试采曲线特征能识别储层是强底水洞穴型储层还是弱底水储层。笔者将孤立洞穴型储集体细分为孤立洞穴+强底水型、孤立洞穴+弱底水型2种类型。

钻探实践表明,可将哈拉哈塘油田孔隙度不小于5.2%、地震响应为“串珠”相和片状相反射的储集体认为是洞穴型储集体,孔隙度为1.8%~5.2%(分别为孔隙度下限和上限)、地震响应为“串珠”相和片状相、杂乱相等反射的储集体认为是孔洞型储集体^[11]。裂缝孔洞型储层不仅在地震响应上表现了上述特征,在井壁地层微电阻率成像测井图像上也表现为低阻暗色的正弦曲线分布。单井钻遇裂缝

孔洞+底部洞穴型储层后,储层顶部地震响应呈片状相反射,裂缝十分发育,底部呈“串珠”状反射,钻进储层过程中会发生漏失和放空。综合地球物理、地质、测井、开发动态相关理论及实钻经验,将哈拉哈塘油田单井钻遇的主要储集体分为4种类型进行注水替油效果分析,即:孤立洞穴+强底水型、孤立洞穴+弱底水型、裂缝孔洞型、裂缝孔洞+底部洞穴型。

2 单井钻遇储集体注水替油机理

在缝洞型碳酸盐岩油藏中,单井钻遇的缝洞体规模有限,油井后期生产大都表现出天然能量不足的特征,通常采用注水替油作业来有效补充能量、提高油气采收率。储集空间由洞穴型、孔洞型和裂缝型组成,储层具有非均质性强、连续性差的特点,需要对单井钻遇不同储集体的注水替油机理进行分析,优选提高缝洞型油藏采收率的方式,提高原油产出程度和矿场注水利用率。

2.1 孤立洞穴+弱底水型储集体分析

单井钻遇孤立洞穴+弱底水型储集体时的注水替油机理如图1所示。

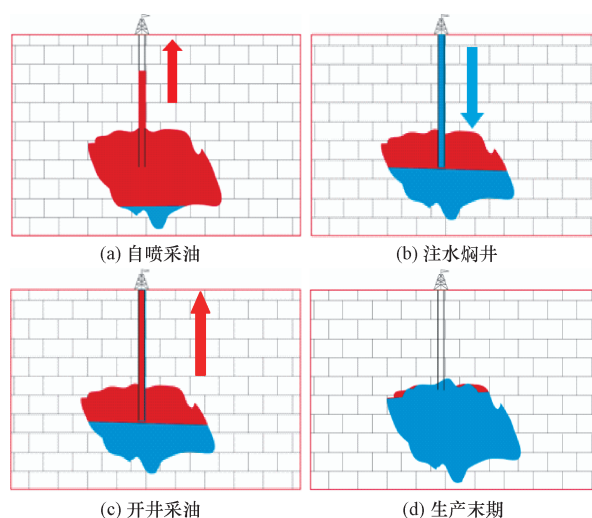


图1 孤立洞穴+弱底水型储集体注水替油机理示意

Fig.1 Sketch of water flooding mechanism for isolated cavern+weak bottom water type reservoirs

钻遇孤立洞穴+弱底水型储集体的油井,其试采曲线主要表现为:自喷期间油井未见水,累计产液量与油压降呈线性关系。储集体整体表现为底水能量不足,因此通过注水能有效补充地层能量、驱替洞穴内的剩余油。孤立洞穴内的油水流动类似于“活塞式驱替”,即驱替过程中2种流体之间存在明显的

分界面,该分界面像活塞一样向前移动。孤立洞穴内油水垂向驱替类似于“活塞式驱替”,洞穴内油水重力分异作用明显,油水置换效果好,注水替油效果好,能有效置换洞穴内的剩余油,适宜进行注水替油作业。

2.2 孤立洞穴+强底水型储集体分析

单井钻遇孤立洞穴+强底水型储集体时的注水替油机理如图2所示。

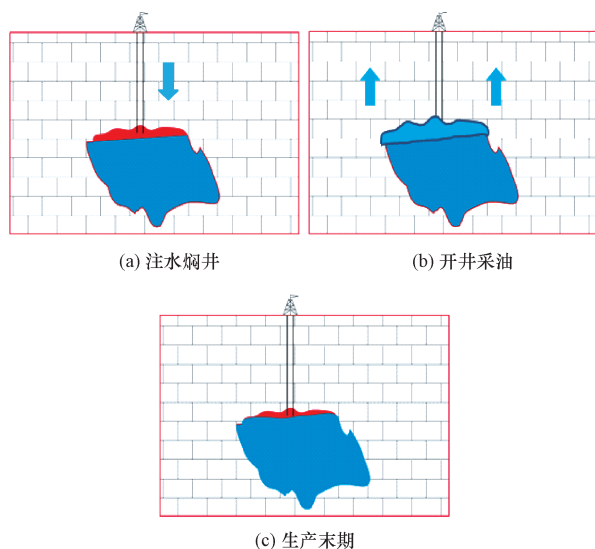


图2 孤立洞穴+强底水型储集体注水替油机理示意
Fig. 2 Sketch of water flooding mechanism for cavern reservoirs with strong bottom water

孤立洞穴+强底水型储集体的储集空间主要为洞穴,底水能量充足。钻遇该类型储集体的油井水能量充足,自喷期间油井含水率迅速上升;然后是底水锥进,当油水界面抬升到生产井段顶部时剩余油已较少或者形成“阁楼油”,注水替油效果相对较差,不适宜注水开发而适宜注气开发,以便在储层顶部形成气顶,驱替“阁楼油”。

2.3 裂缝孔洞型储集体分析

单井钻遇裂缝孔洞型储集体时的注水替油机理如图3所示。

裂缝孔洞型储集体不但溶蚀孔洞发育,而且裂缝发育,且伴随有裂缝的溶蚀扩大。孔洞是其重要的储集空间,而裂缝既是储集空间,也是连通通道。裂缝孔洞型储层类似于砂岩油藏,储层连片发育,同时大尺度缝与弥散缝也十分发育。裂缝渗透率一般为几百至几千毫达西,孔洞渗透率一般为几达西。储层内部裂缝与孔洞渗透率极差大,注入水沿裂缝将油井周围的油驱替到边部,造成剩余油在边部富

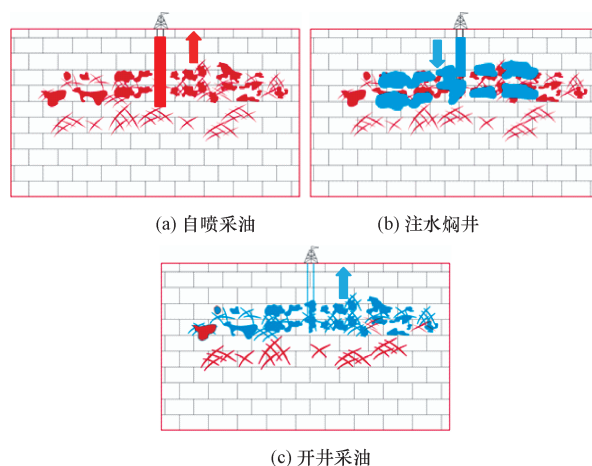


图3 裂缝孔洞型储集体注水替油机理示意

Fig. 3 Sketch of water flooding mechanism for fracture-vug reservoir type reservoirs

集,而注入水在油井周围滞留。储层孔洞基质内部的油水流动符合渗流规律,毛细管力作用比较明显,油水重力分异比较困难,随着注水驱替进行,井底周围含油饱和度降低,含水饱和度升高,开井后很快就达到高含水率,注水替油效果较差。裂缝孔洞型储层单井自喷采油期结束后,应以机械采油为主,利用储层边部与单井井底周围的压力差驱替原油。

2.4 裂缝孔洞+底部洞穴型储集体分析

单井钻遇裂缝孔洞+底部洞穴型储集体时的注水替油机理如图4所示。

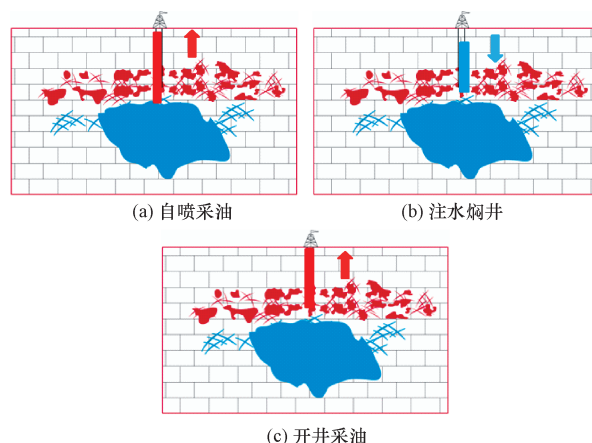


图4 裂缝孔洞+底部洞穴型储集体注水替油示意

Fig. 4 Sketch of water flooding mechanism for fracture-vug + bottom cavern type reservoirs

裂缝孔洞+底部洞穴型储集体上部为裂缝孔洞型储集体,下部为洞穴型储集体。在该类储集体中,天然裂缝沟通底部水体,油井生产初期以自喷为主,上部的裂缝孔洞型储集体利用压力差驱替原油至井

底周围,自喷期结束后采用注水替油方式开采剩余油。注入水沿着优势通道进入底部洞穴,洞穴内油水的重力分异作用明显,可形成强水体,从而对上部裂缝孔洞型储集体中的剩余油进行驱替,注水替油效果相对较好。

3 注水替油矿场应用效果分析

目前,哈拉哈塘油田已在奥陶系油藏的 60 口井进行了注水替油作业。下面以钻遇不同类型储集体的 A 井、B 井、C 井和 D 井为例,对注水替油效果进行分析。其中,A 井钻遇孤立洞穴+弱底水型储集体,B 井钻遇孤立洞穴+强底水型储集体,C 井钻遇裂缝孔洞型储集体,D 井钻遇裂缝孔洞+底部洞穴型储集体。

1) A 井。A 井在钻进 6 626.40~6 645.40 m 储层井段时发生井漏,累计产液量与油压降近似呈线性关系(见图 5),可见该井钻遇了孤立洞穴+弱底水型储集体。注水作业前该井日产油量 2.0 t,第一轮注水后该井日产油量 203.0 t,不含水;经过 40 轮注水,目前该井日产油量 3.0 t。注水替油前,A 井累计产油量 0.24×10^4 t,注水后累计产油量达到 3.51×10^4 t,增油效果明显。

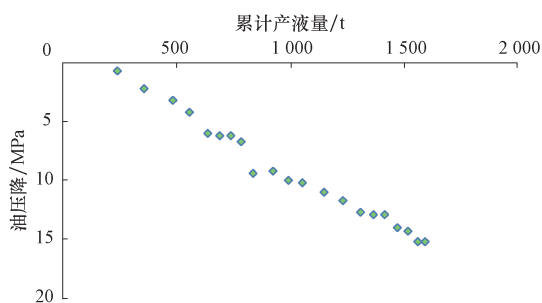


图 5 A 井累计产液量与油压降的关系曲线

Fig. 5 Relation curve between cumulative liquid production and tubing pressure drop of Well A

哈拉哈塘油田共有 29 口井在开发孤立洞穴+弱底水型油藏时采用了注水替油方式,平均单井累计增油量 0.942×10^4 t,吨油耗水率 $2.55 \text{ m}^3/\text{t}$,注水替油效果好。由此可见,孤立洞穴型+弱底水型储集体在开采时具有地层能量下降快、含水率低的特点,适合采用注水替油的方式开采,可明显提高原油采收率。

2) B 井。B 井钻至井深 6 925.49 m 时(储层井段)发生失返性井漏,其累计产液量与油压降的关系曲线呈两段式(见图 6)。该曲线第二段的斜率明显

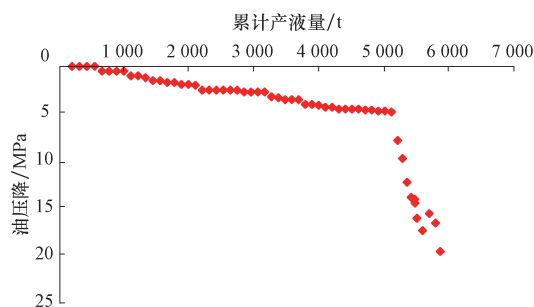


图 6 B 井累计产液量与油压降的关系曲线

Fig. 6 Relation curve between cumulative liquid production and tubing pressure drop of Well B

增大,表明有能量补充。该井试采曲线表现出油井见水后含水率迅速突破至高含水阶段的特征,结合成像测井资料判断 B 井钻遇典型的孤立洞穴+强底水型储集体。注水替油前,该井累计产油量 0.57×10^4 t,注水增油量 960 t,增油效果较差。

哈拉哈塘油田共有 8 口井在开发孤立洞穴+强底水型油藏时采用了注水替油方式,平均单井累计增油量 990 t,吨油耗水率 $15.74 \text{ m}^3/\text{t}$,注水替油效果较差。由此可见,孤立洞穴+强底水型储集体的地层能量强,底水锥进速度快,油井快速水淹,不适合采用注水替油的方式开采。

3) C 井。C 井钻遇典型的裂缝孔洞型储集体。该井开井后快速见水,含水率迅速突破至高含水阶段。分析认为,主要是因为注水替油时,油被注入水驱替到储集体边部,注入水替代了井周围的原油,导致油井开井后含水率快速升高。注水替油前,C 井累计产油量 1.21×10^4 t,注水增油量 0.28×10^4 t,增油效果较差。

哈拉哈塘油田共有 16 口井在开发裂缝孔洞型油藏时采用了注水替油方式,平均单井累计增油量 870 t,吨油耗水率 $4.35 \text{ m}^3/\text{t}$,注水替油效果较差。由此可见,裂缝孔洞型储集体不适合采用注水替油的方式开采。

4) D 井。D 井在钻进 6 716.52~6 718.72 m 储层井段时,发生失返性井漏,裂缝成像测井显示钻遇溶蚀孔洞,结合实钻与成像测井资料综合判断钻遇了裂缝孔洞+底部洞穴型储集体。该井自喷期间不含水,注水替油前累计产油量 0.11×10^4 t,注水后增油量 1.12×10^4 t,增油效果较好。

哈拉哈塘油田共有 7 口井在开发该类型油藏时采用了注水替油方式,平均单井累计增油量 0.323×10^4 t,吨油耗水率 $1.63 \text{ m}^3/\text{t}$,注水替油效果较好。由此可见,裂缝孔洞+底部洞穴型储集体适宜采用注

水替油的方式开采。

4 结 论

1) 结合钻井资料、测井资料、地震资料和单井动态试采特征,将该油田主要的储集体划分为孤立洞穴+强底水型、孤立洞穴+弱底水型、裂缝孔洞型、裂缝孔洞+底部洞穴型等4种类型。

2) 哈拉哈塘油田60口井的注水替油矿场实践表明,孤立洞穴+弱底水型、裂缝孔洞+底部洞穴型储集体宜采用注水替油开采方式,而裂缝孔洞型、孤立洞穴+强底水型储集体不适宜采用注水替油开采方式。

参 考 文 献

References

- [1] 陈方方,段新国,袁玉春,等. 塔里木油田缝洞型碳酸盐岩油藏开发特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2012,39(6): 606-610.
CHEN Fangfang, DUAN Xinguo, YUAN Yuchun, et al. Characteristics of exploration and development of fractured-vuggy carbonate rock oil pool in Tarim Oilfield of China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2012, 39(6): 606-610.
- [2] 李小波,荣元帅,刘学利,等. 塔河油田缝洞型油藏注水替油井失效特征及其影响因素[J]. 油气地质与采收率,2014,21(1): 59-62.
LI Xiaobo, RONG Yuanshuai, LIU Xueli, et al. Failure characteristics and influencing factors analysis on water injection for oil wells in fractured-vuggy reservoir[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(1): 59-62.
- [3] 张宏方. 碳酸盐岩油藏缝洞单元离散数值模拟方法研究[J]. 石油钻探技术,2015,43(2):71-77.
ZHANG Hongfang. Research on discrete numerical simulation of fracture-cave unit in carbonate reservoir[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2015, 43(2): 71-77.
- [4] 曹鹏,常少英,戴传瑞,等. 缝洞型碳酸盐岩油藏注水替油适应性浅析[J]. 石油与天然气学报,2014,36(3):121-125.
CAO Peng, CHANG Shaoying, DAI Chuanrui, et al. Brief analysis on water-flooding development of fractured-cavity type of carbonate reservoirs[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2014, 36(3): 121-125.
- [5] 李鹤,李允. 缝洞型碳酸盐岩孤立溶洞注水替油实验研究[J]. 西南石油大学学报(自然科学版),2010,32(1):117-120.
LI Shuang, LI Yun. An experimental research on water injection to replace the oil in isolated caves in fracture-cavity carbonate rock oilfield[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2010, 32(1): 117-120.
- [6] 杨坚,吴涛. 塔河油田碳酸盐岩缝洞型油气藏开发技术研究[J]. 石油天然气学报,2008,30(3):326-328.
YANG Jian, WU Tao. Technique of reservoir development in carbonate fracture-vug reservoirs in Tahe Oilfield[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2008, 30(3): 326-328.
- [7] 杨旭,杨迎春,廖志勇. 塔河缝洞型油藏注水替油开发效果评价[J]. 新疆石油天然气,2010,6(2):59-64.
YANG Xu, YANG Yingchun, LIAO Zhiyong. The assessment of water flooding in paleocave reservoir in the Tahe Oilfield[J]. Xinjiang Oil & Gas, 2010, 6(2): 59-64.
- [8] 詹俊阳,马旭杰,何长江. 塔河油田缝洞型油藏开发模式及提高采收率[J]. 石油与天然气地质,2012,33(4):655-660.
ZHAN Junyang, MA Xujie, HE Changjiang. Development scheme and EOR technique of fracture-vug reservoirs in Tahe Oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(4): 655-660.
- [9] 李爱芬,张东,高成海. 封闭定容型缝洞单元注水替油开采规律[J]. 油气地质与采收率,2012,19(3):94-97.
LI Aifen, ZHANG Dong, GAO Chenghai. Law of water injector production in fractured-vuggy unit with enclosed boundary and constant volume[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(3): 94-97.
- [10] 荣元帅,黄咏梅,刘学利,等. 塔河油田缝洞型油藏单井注水替油技术研究[J]. 石油钻探技术,2008,36(4):57-60.
RONG Yuanshuai, HUANG Yongmei, LIU Xueli, et al. Single well water injection production in Tahe fracture-vuggy reservoir[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(4): 57-60.
- [11] 赵宽志,张丽娟,郑多明,等. 塔里木盆地缝洞型碳酸盐岩油气藏储量计算方法[J]. 石油勘探与开发,2015,42(2):251-256.
ZHAO Kuangzhi, ZHANG Lijuan, ZHENG Duoming, et al. A reserve calculation method for fracture-cavity carbonate reservoirs in Tarim Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2015, 42(2): 251-256.

[编辑 令文学]