

缝洞型碳酸盐岩储层储集类型判别方法

蔡明金^{1,2}, 王守峰³, 尹国君³, 刘林⁴, 王智忠⁴, 高炎⁴

1. 中国石油塔里木油田分公司博士后工作站 新疆库尔勒 841000

2. 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

3. 中国石油吉林油田油气工程研究院 吉林松原 138000

4. 中国石油新疆油田分公司百口泉采油厂 新疆克拉玛依 834000

通讯作者: Email: caimingjin115@sina.com.cn

项目支持: 国家科技重大专项“动静态结合碳酸盐岩气藏精细描述和开发机理完善与应用”(2016ZX05053005-001)、中国博士后科学基金(2011M500403)、中国博士后科学基金第五批特别资助(2012T50140)

引用: 蔡明金, 王守峰, 尹国君, 等. 缝洞型碳酸盐岩储层储集类型判别方法[J]. 油气井测试, 2018, 27(4): 7-14.

Cite: CAI Mingjin, WANG Shoufeng, YIN Guojun *et al.* Reservoir type identification method for fractured-vuggy carbonate reservoirs [J]. Well Testing, 2018, 27(4): 7-14.

摘要 针对静态手段判别储集类型的局限性,以试井、酸压、试采等动态响应资料为主,结合地震、测井、钻录井等静态资料,建立了孔洞型储层、裂缝孔洞型储层和洞穴型储层的动静态判别标准,形成了从静态特征、试井特征、酸压曲线、试采特征四个方面判别缝洞型碳酸盐岩储层类型的方法。C井为塔里木盆地奥陶系鹰山组碳酸盐岩油藏上一口评价井,该井钻井过程中有放空、漏失,地震解释为串珠反射,测井解释为裂缝孔洞型、孔洞型;酸压停泵压降曲线呈管流特征,停泵井底压力接近地层压力,酸压判断为洞穴型储层;酸压后压力恢复试井双对数曲线为多缝洞特征;累计产油量与累积压降曲线为多直线段,判断为沟通多个洞穴的洞穴型储层。采用本文方法综合判断,该井为洞穴型储层,与静态认识基本一致,验证了该方法的可靠性,为开发技术政策的制定提供可靠依据。

关键词 碳酸盐岩储层;缝洞型;储集类型;判别标准;试井;酸压;试采

中图分类号: TE344

文献标识码: A

DOI: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2018.04.002

Reservoir type identification method for fractured-vuggy carbonate reservoirs

CAI Mingjin^{1,2}, WANG Shoufeng³, YIN Guojun³, LIU Lin⁴, WANG Zhizhong⁴, GAO Yan⁴

1. Postdoctoral Scientific Research Workstation, PetroChina Tarim Oilfield Company, Korla, Xinjiang 841000, China

2. Exploration and Development Research Institute, PetroChina Tarim Oilfield Company, Korla, Xinjiang 841000, China

3. Oil Gas Engineering Institute, PetroChina Jilin Oilfield Company, Songyuan, Jilin 138000, China

4. Baikouquan Oil Production Plant, PetroChina Xinjiang Oilfield, Karamay, Xinjiang 834000, China

Abstract: Due to the limitations of static methods in identifying the reservoir types, this paper used dynamic data (such as well test, acid pressure, and test production) and static data (such as seismic, logging, drilling and mud logging data) to determine the dynamic and static reservoir identification standard for vuggy reservoir, fractured-vuggy reservoir and cavernous reservoir. Meanwhile, an identification method for fractured-vuggy reservoir was also established based on the four aspects of static characteristics, test characteristics, acid pressure curves, and test production characteristics. This paper gives an example of an appraisal well (Well C) in the carbonate reservoir of the Yingshan Formation of the Ordovician system in the Tarim Basin. Drilling break and leakage happened in this well while drilling. The seismic data show that it is a 'ball chain' reflector, and logging interpretation result are fractured-vuggy reservoirs and cavernous reservoirs. Moreover, the pressure decline curve after the acid fracturing is characterized by the pipe flow characteristics and the bottom pressure is close to the formation pressure, both of them indicate the reservoir type is cavernous reservoir. After the acid fracturing, the pressure recovers. The double logarithmic curve of the testing is the characteristics of the multi-fractured vuggy reservoir. Since the cumulative oil production and cumulative pressure drop curves are multi-straight features, it is considered that the reservoir type is a cavernous reservoir and is in communication with each other. The results of reservoir types obtained by using the criteria and methods established in this paper are basically consistent with the static understanding, which verifies the reliability of the method and provides a reliable basis for the development technical plan.

Keywords: carbonate reservoirs; fractured-vuggy reservoir; reservoir type; identification criteria; test well; acid fracturing; production test

缝洞型储层^[1]是塔里木盆地、四川盆地奥陶系碳酸盐岩油气藏最常见的储层类型,其储渗空间以大型洞穴为主,也局部存在溶蚀孔洞及裂缝,是目前增储上产的主力军,其储集类型研究具有极其重要的作用。早在2002年,陈清华等^[2]归纳和探讨了碳酸盐岩缝洞系统研究的现状和发展方向,使缝洞系统研究进一步得到深化。2005年、2006年,邬光辉等^[3]、周新源等^[4]分析了塔中I号构造带复杂的构造特征和油气富集的差异性,论述了塔中碳酸盐岩大油气田的勘探历程、主要地质特征,以及对海相碳酸盐岩勘探的启示。2007年,陈景山等^[5]、陈新军等^[6]对塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩古岩溶作用与储层分布规律,以及塔中奥陶系大型不整合面与风化壳岩溶发育等进行了探讨,综合分析了控制奥陶系碳酸盐岩储层形成的关键要素。2011年,韩剑发等^[7]运用多种储集层预测技术对塔中地区鹰山组风化壳缝洞储集层纵横向分布进行预测和成图,利用大量地震信息,预测了无井区的储集层及油气分布规律。显而易见,准确认识碳酸盐岩储层储集空间类型是科学制定其开发技术政策的前提,是高效或有效合理开发的基础。测井一般将碳酸盐岩储集类型分为孔洞型、裂缝孔洞型和洞穴型三种类型。缝洞型碳酸盐岩储层,由于大型洞穴和构造、溶蚀裂缝发育,在钻井过程中,伴随着放空和漏失,一般都会未钻遇目的层而提前完钻^[8-10]。因此,钻录测手段无法全面反映储层特征,测井、取芯处的储集类型不能完全代表生产井供液处的储集类型。同时,地震正演表明,缝洞储层发育到一定规模时,在地震上均可以形成串珠状反射,地震手段分辨率有限^[11]。因此,地震作为最常用的静态手段也无法完全确定储集体类型。为突破传统动静态分离确定储集类型局限性,经过长期攻关,通过塔里木盆地缝洞型碳酸盐岩百余口井的储集类型的识别,综合研究出一套以试采、试井、酸压等动态资料为主^[12-18],结合地震、钻录测静态信息判别储集类型的方法。

1 动态法判断储集空间类型

由于地震、钻井、录井、测井等静态手段判别储集类型的方法国内外已进行了广泛研究,本文将不

再赘述。下面将在前人研究^[19-22]的基础上,重点研究试井、酸压、试采等判别缝洞型碳酸盐岩储层储集类型的动态方法。

1.1 试井判断储集空间类型

孔洞型储层在试井曲线上表现为视均质,动静态认识基本是一致的;而裂缝孔洞型和洞穴型储层试井曲线形态是相似的,无法从测试曲线特征上来划分储集类型。但通过统计发现,洞穴型储层具有以下典型特征:①放空漏失井试井解释,试井解释井筒储集系数远大于理论井储;②能量衰竭极快,关井压力几乎无恢复。

(1)放空漏失井试井解释,井筒储集系数较大,远大于理论井储。

因为洞穴型储层洞穴与井筒连通,洞穴成为井筒的一部分,相当于扩大了井筒的体积,因此,洞穴型储层井筒储集系数普遍较大。从图1可以看出,井储系数大小与漏失量具有一定正相关性。因此,可以将井筒储集系数大小作为判断洞穴储层的一个指标。从理论上讲,经计算,5 000.0~6 000.0 m井筒,理论井储系数最大不超过0.8 m³/MPa。

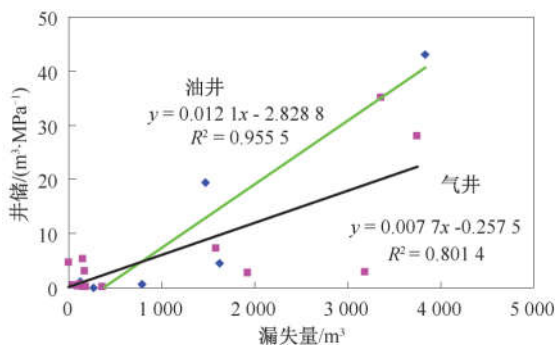


图1 井储与漏失量关系图

Fig.1 Relationship between well reserves and leakage

(2)洞穴储层能量衰竭极快,关井压力几乎无恢复。

A井是位于塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩储层局部构造上的一口预探井。该井地震显示为串珠,钻井过程中放空3.8 m,开井初期先用9 mm、8 mm、7 mm、6 mm、5 mm油嘴放喷求产各8 h后,用5 mm油嘴50.8 mm孔板求产。9 mm、8 mm、7 mm、6 mm油嘴求产折日产油分别为302 m³、195 m³、143 m³、107 m³。从求产曲线来看(图2(a)),流压曲线呈现急剧下掉趋势,测试总时间400 h,流压下降将近32 MPa。每次关井最终压力远低于开井初始压力,且

关井后再开井,压力又会继续下降。由于该井直接正中串珠,有较大放空漏失,试井解释井筒储集系数 $45.0 \text{ m}^3/\text{MPa}$,远大于理论井储。综合该井动静态信息,可以判断该井为洞穴型储层(图 2(b))。

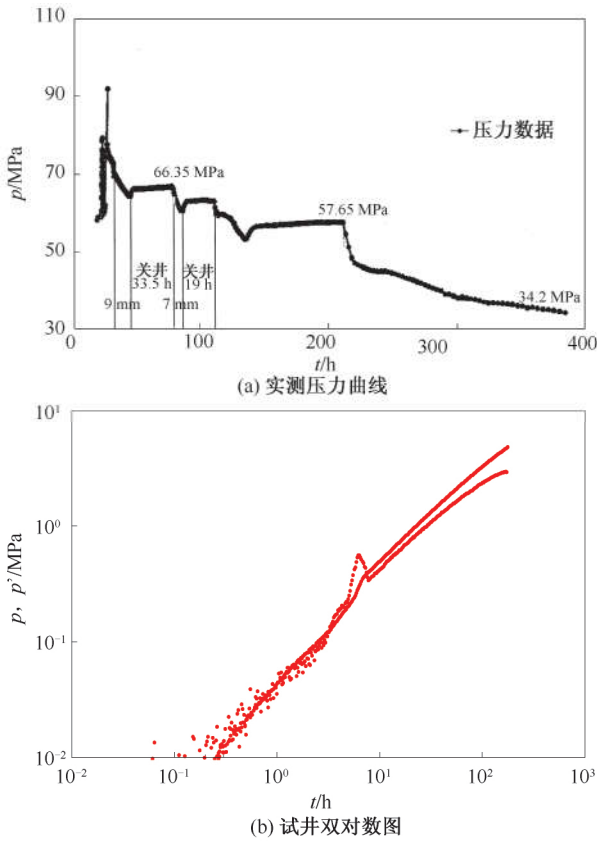


图 2 A 井测试曲线
Fig.2 Test curve of Well A

通过以上综合分析,洞穴型储层与孔洞型和裂缝孔洞型储层最大区别在于,压力衰竭速度极快,关井压力恢复幅度小,井筒储集系数大。

1.2 酸压井停泵压降曲线判断储集空间类型

停泵压力是井底压力与静液柱压力之差,是停泵瞬间的井口压力,也是停泵后测定压力降落曲线的起始点,停泵压力值的高低和压降的快慢反映了储层缝洞发育状况的差异。因此,通过对停泵压力降落曲线进行分类统计分析,可有效判断缝洞型碳酸盐储层的储集类型。通过统计,总结出如下规律:停泵压降曲线水平,停泵井底压力接近地层压力(压差一般小于 10 MPa)为洞穴型;停泵压降曲线呈弧形下降,停泵压降大,停泵井底压力高于地层压力(压差一般大于 10 MPa 、小于 20 MPa)为裂缝孔洞型;停泵压降曲线平直,停泵压降小,停泵井底压力远高于地层压力(压差一般大于 20 MPa)为孔洞型。

1.3 试采数据判断储集空间类型

缝洞型碳酸盐岩油气藏物理模拟实验是开发机理研究的基础和保障,塔里木盆地开展了缝洞型碳酸盐岩油气藏孔洞型、裂缝孔洞型和洞穴型储层生产物理模拟实验,不同类型储层物理模型示意图如图 3 所示。

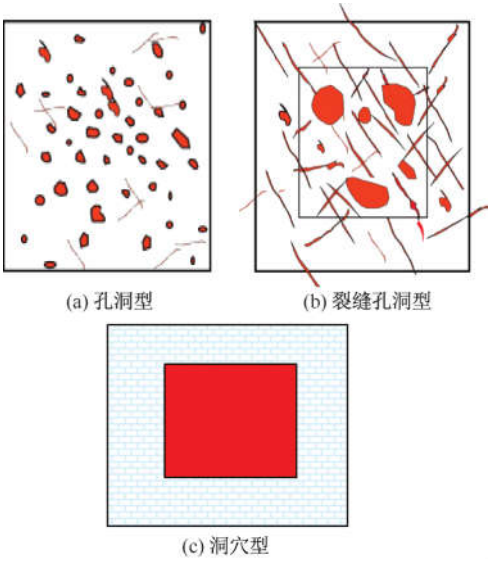


图 3 不同类型储层物理模型示意图
Fig.3 Schematic diagram of different types of reservoir physical models

从同一流体在不同储层条件下模拟结果可以看出(图 4),自喷期累积产液量—累积压降曲线开始都呈现出直线段特征,直线斜率即单位压降采出量。不同之处:裂缝孔洞型早期斜率非常小,累积产量低;洞穴储层累积产量高,如果洞穴封闭,曲线呈单一直线段;如果洞穴不封闭,曲线初期呈直线段,晚期向上弯曲。

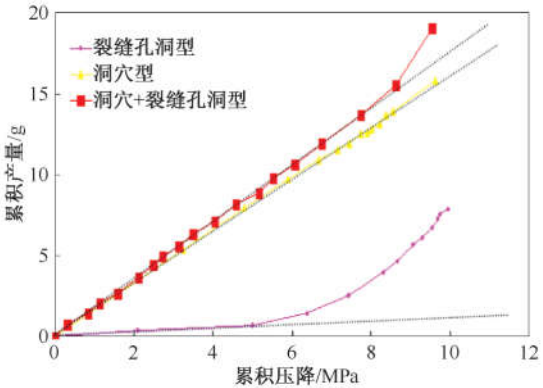


图 4 不同类型储层累积产量与压降关系图
Fig.4 Relationship between cumulative production and pressure decline in different types of reservoirs

通过以上分析可以看出,不同储集类型其累积产量与累积压降曲线形态不同。因此,可以用试采曲线来判别储集类型。

B井是塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩油藏上一口探井,为洞穴型储层典型井。钻井过程中放空段14.68 m,累计漏失钻井液476.2 m³。地震解释为串珠反射。测井解释结果为裂缝孔洞型:34 m/9层;裂缝型:11 m/6层;孔洞型:6 m/5层。该井进行完井试油1层,6 mm油嘴求产折日产油132 m³,日产气14 850 m³,测试结论为稠油层。

该井自喷投产,开井初期平均日产油359 t,不含水,累产油38 671 t。投产以来,日产油359 t下降到38.4 t,油压35 MPa下降到0。图5是该井累积产量与累积压降关系曲线图。

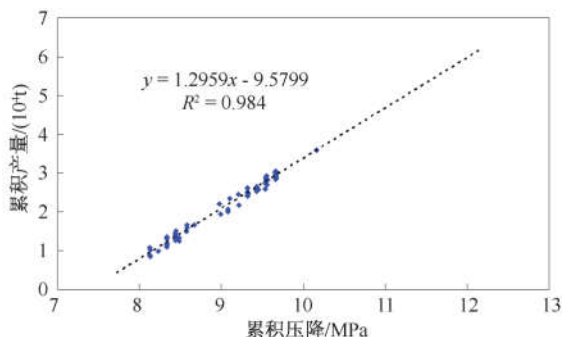


图5 B井累积产量与累积压降曲线图

Fig.5 Curve of cumulative production and cumulative pressure decline for Well B

从图5中可以看出,累积产量与累积压降曲线呈近似直线关系,与生产物理模拟实验结果基本一致,也与地质静态认识一致。

2 动静态综合判别储集类型的标准

综合试井、酸压及试采动态资料,结合地震、地质、测井等静态资料,可建立一套缝洞型碳酸盐岩储层储集类型综合判别标准。

2.1 孔洞型储层动静态综合判别标准

孔洞型储层物理模型如图3(a)、渗流模式如图6所示。

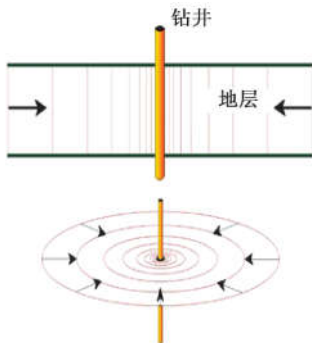


图6 孔洞型储层渗流模式示意图

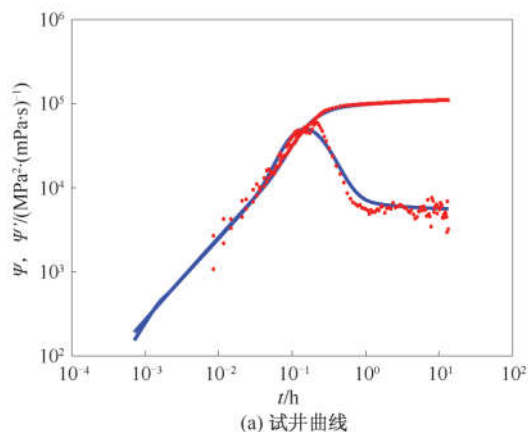
Fig.6 Schematic diagram of percolation model of vuggy reservoir

静态特征:无放空漏失或漏失量小,地震反射非串珠;测井解释一般为孔洞型。

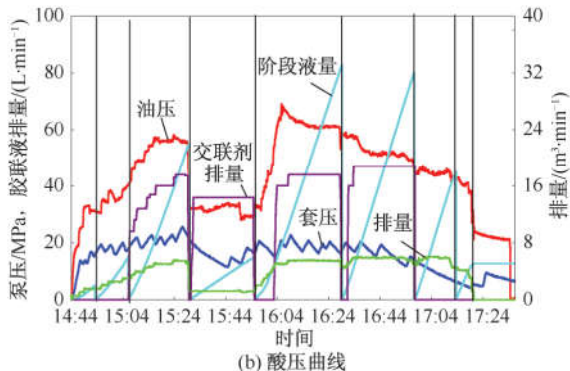
试井特征:如图7(a)所示,为视均质,径向流明显,中低渗,地层系数 Kh 小于 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \cdot \text{m}$ 。

酸压曲线:从图7(b)可以看出,压降曲线水平或缓慢下降,压降小,呈现渗流特征,停泵井底压力远高于地层压力。

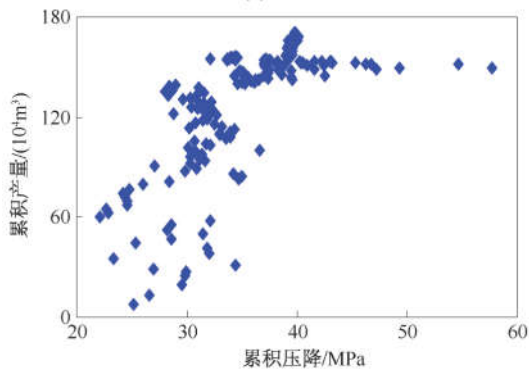
试采特征:如图7(c)所示,试油中低产,生产压差大(一般大于10 MPa),累积产量与累积压降无线性关系。



(a) 试井曲线



(b) 酸压曲线



(c) 试采曲线

图7 孔洞型储层测试曲线

Fig.7 Test curve of vuggy reservoir

2.2 裂缝孔洞型储层动静态综合判别标准

裂缝孔洞型储层物理模型如图3(b)、渗流模式如图8所示。

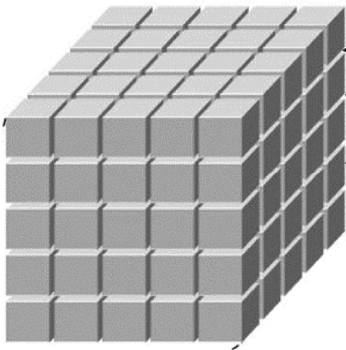


图 8 裂缝孔洞型储层渗流模式示意图
Fig.8 Schematic diagram of percolation model of fractured-vuggy reservoir

静态特征:大多有漏失,无放空,测井解释为裂缝孔洞型。

试井特征:如图 9(a),一般双孔或低渗状,压力恢复幅度大(一般大于 10 MPa)。

酸压曲线:如图 9(b),停泵压力呈弧形下降,下降幅度大,呈现渗流特征,停泵井底压力高于地层压力。

试采特征:如图 9(c),试油中低产,生产压差大于 10 MPa,初期产量高,产量递减快,后期产量递减缓慢。

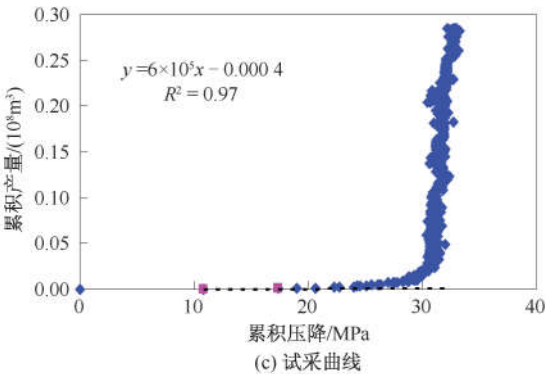


图 9 裂缝孔洞型储层测试曲线
Fig.9 Test curve of fractured-vuggy reservoir

2.3 洞穴型储层动静态综合判别标准

洞穴型储层物理模型如图 3(c)、渗流模式如图 10 所示。

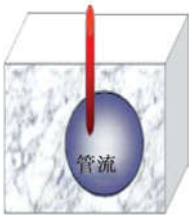


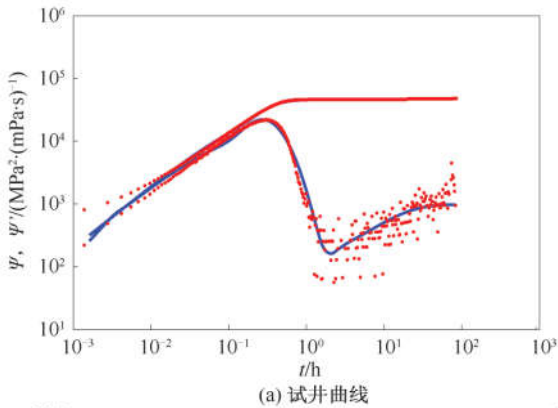
图 10 洞穴型储层渗流模式示意图
Fig.10 Schematic diagram of percolation model of cavernous reservoir

静态特征:有放空、漏失,地震反射为串珠,测井解释大多为裂缝孔洞型、洞穴型。

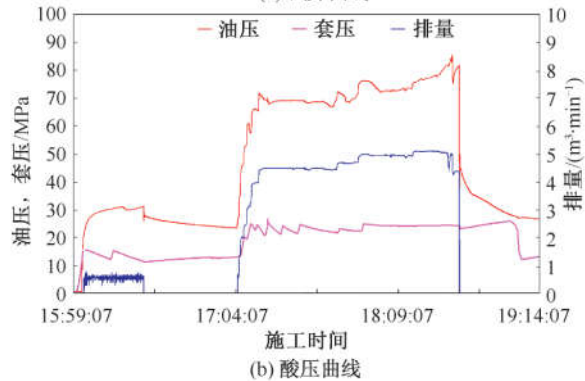
试井特征:如图 11(a),一般视均质或复合,井储大于理论井储,关井压力恢复幅度小。

酸压曲线:如图 11(b),停泵压降曲线水平,停泵井底压力接近地层压力,呈现管流特征。

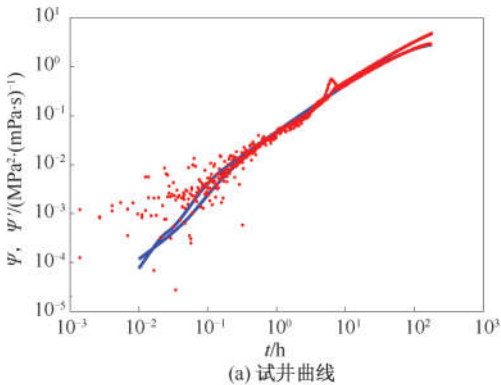
试采特征:如图 11(c),试油一般中高产,生产压差小于 10 MPa,累积产量与累积压降呈直线,能量衰竭极快。



(a) 试井曲线



(b) 酸压曲线



(a) 试井曲线

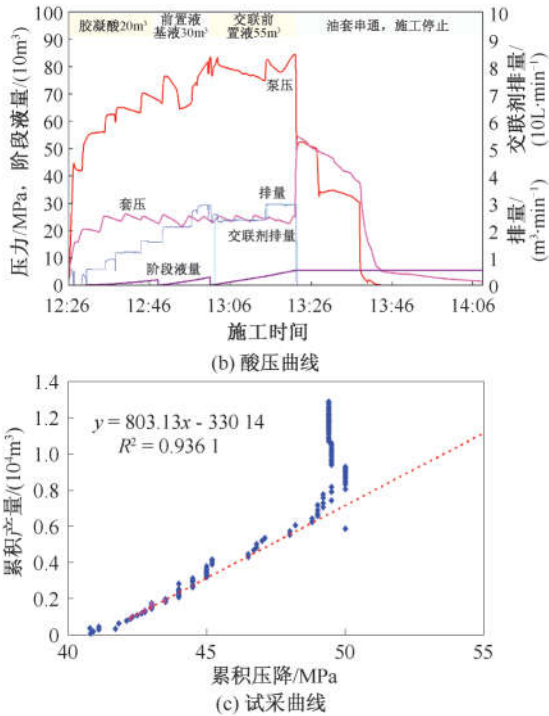


图 11 洞穴型储层测试曲线
Fig.11 Test curve of cavernous reservoir

3 应用实例

C 井是塔里木盆地奥陶系鹰山组碳酸盐岩油藏上一口评价井,钻井过程中有放空、漏失,地震解释为串珠反射,测井解释:裂缝孔洞型 34.5 m,孔洞型 9.0 m。该井试油期间进行测试,无产出,压力恢复试井双对数曲线呈现低渗状特征(图 12),之后进行酸压改造,酸压曲线如图 13 所示。

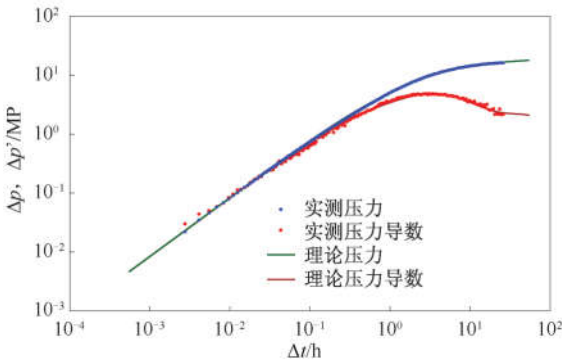


图 12 C 井压前试井双对数图
Fig.12 Double logarithm diagram of well C test before fracturing in Well C

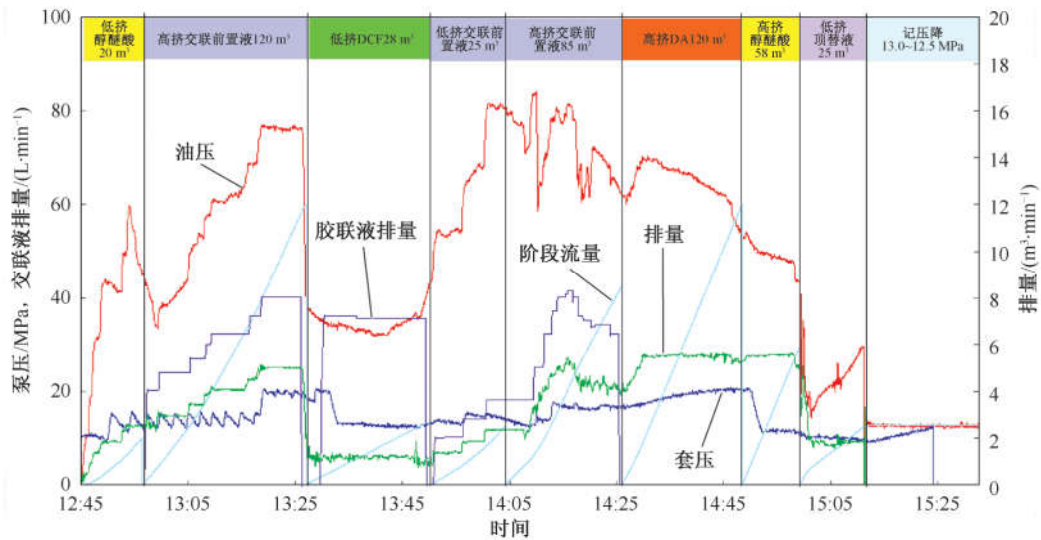


图 13 C 井酸压曲线图
Fig.13 Acid fracturing curve of Well C

绘制其停泵压力降落曲线,停泵压力仅 8.1 MPa,停泵压力降曲线呈管流特征,将停泵压力计算至井底。如图 14 所示,停泵井底压力接近地层压力,酸压判断为洞穴型储层。

该井酸压后日产油 116.11 t,日产气 $5.8 \times 10^4 \text{ m}^3$,压力恢复试井的压力及其导数双对数曲线如图 15 所示。由图 15 可以看出,压力导数曲线出现两个“凹子”,表现出多缝洞特征。通过酸压前、后试井曲线特征对比认为,酸压沟通了多缝洞体。

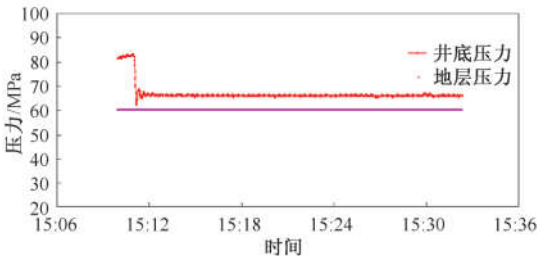


图 14 C 井折算停泵压降曲线图
Fig.14 Converted pressure drop curve of pump stop in Well C

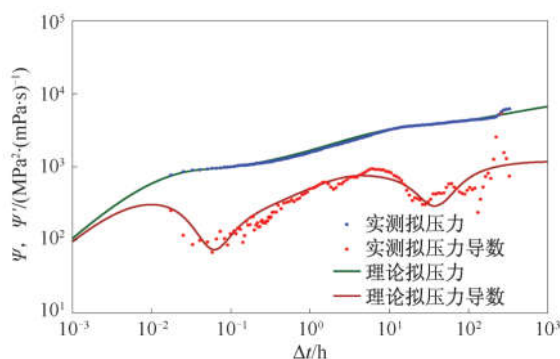


图15 C井压后试井双对数图

Fig.15 Double logarithm diagram of well test after fracturing in Well C

该井自投产至今,累计产油 16.6×10^4 t,产气 5.3×10^8 m³。作累计产油量与累积压降曲线(图16),为多直线段特征,试采曲线特征判断为沟通多个洞穴的洞穴型储层。

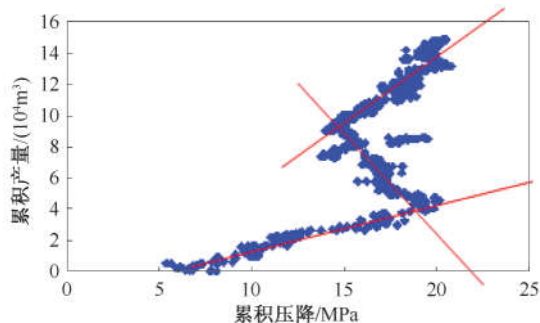


图16 C井累积产量与累积压降曲线图

Fig.16 Curve for cumulative production and cumulative pressure drop of Well C

动静态资料结合,综合判断该井为洞穴型储层,与静态认识基本一致。

4 结论

(1)形成了以试井、酸压、试采等动态资料为主,结合地震、钻录井、测井等静态资料,综合判断储集类型的集成方法,为开发技术政策制定提供依据和技术支持,并以实例井综合验证了该判别方法的可靠性。

(2)建议在开采初期,以试井和酸压方法为主,结合地震、钻井、测井的成果认识判别储集类型;开采中期,再结合开发特征判别储集类型;开采后期则以开发特征为主判别储集类型;逐步提高储集类型判别的准确性。

致谢:在本文的研究过程中,参考了国内外学者的重要著作文献,在此向这些前辈表示衷心的感谢;感谢重大专项“动静态结合碳酸盐岩气藏精细描述和开发机理完善与应用”、

中国博士后科学基金提供的资助。

参考文献

- [1] 张抗.塔里木盆地塔北隆起油气勘探领域[J].新疆石油地质,2003,24(3):188-192.
ZHANG Kang. Analysis of hydrocarbon prospecting domain in Tabei uplift of Tarim basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2003,24(3):188-192.
- [2] 陈清华,刘池阳,王书香,等.碳酸盐岩缝洞系统研究现状与展望[J].石油与天然气地质,2002,23(2):196-202.
CHEN Qinghua, LIU Chiyang, WANG Shuxiang *et al.* Study on carbonate fracture-cavity system-status and prospects [J]. Oil & Gas Geology, 2002,23(2):196-202.
- [3] 邬光辉,李启明,张宝收,等.塔中1号断裂坡折带构造特征及勘探领域[J].石油学报,2005,26(1):27-30,37.
WU Guanghui, LI Qiming, ZHANG Baoshou *et al.* Structural characteristics and exploration fields of No.1 Faulted Slope Break in Tazhong area [J]. Acta Petrolei Sinica, 2005,26(1):27-30,37.
- [4] 周新源,王招明,杨海军,等.塔中奥陶系大型凝析气田的勘探和发现[J].海相油气地质,2006,11(1):45-51.
ZHOU Xinyuan, WANG Zhaoming, YANG Haijun *et al.* Tazhong ordovician condensate field in Tarim basin [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2006,11(1):45-51.
- [5] 陈景山,李忠,王振宇,等.塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩古岩溶作用与储层分布[J].沉积学报,2007,25(6):858-868.
CHEN Jingshan, LI Zhong, WANG Zhenyu *et al.* Paleokarstification and reservoir distribution of Ordovician Carbonates in Tarim basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007,25(6):858-868.
- [6] 陈新军,蔡希源,纪友亮,等.塔中奥陶系大型不整合面与风化壳岩溶发育[J].同济大学学报(自然科学版),2007,35(8):1122-1127.
CHEN Xinjun, CAI Xiyuan, JI Youliang *et al.* Relationship between large scale unconformity surface and weathering crust karst of Ordovician in Tazhong [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2007,35(8):1122-1127.
- [7] 韩剑发,周锦明,敬兵,等.塔中北斜坡鹰山组碳酸盐岩缝洞储集层预测及成藏规律[J].新疆石油地质,2011,32(3):281-284.
HAN Jianfa, ZHOU Jinming, JING Bing *et al.* Prediction of carbonate fractured-vuggy reservoir and hydrocarbon accumulation pattern of Yingshan formation of lower ordovician in North slope of Tazhong area, Tarim basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2011,32(3):281-284.
- [8] 刘晓敏.基于常规测井资料的礁滩相储层储集类型分类[J].测井技术,2014,38(1):99-103.
LIU Xiaomin. Identification of reef flat carbonate reservoir with conventional log data [J]. Well Logging Technology, 2014,38(1):99-103.

- [9] 陈利新,程汉列,杨文明,等. 哈拉哈塘油田碳酸盐岩储层类型识别及应用[J]. 油气井测试, 2015, 24(6): 21-24.
CHEN Lixin, CHENG Hanlie, YANG Wenming *et al.* Identification of carbonate reservoir types in Halahatang oilfield and its application [J]. Well Testing, 2015, 24(6): 21-24.
- [10] 李功强,赵永刚,江子凤,等. 塔河油田托普台区碳酸盐岩储层类型判别方法及应用[J]. 工程地球物理学报, 2013, 10(3): 338-343.
LI Gongqiang, ZHAO Yonggang, JIANG Zifeng *et al.* Identification of Carbonate reservoir types in Tahe oilfield of Tuoputai region and its application [J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2013, 10(3): 338-343.
- [11] 胥洪俊,孙贺东,张万能,等. “串珠”状地震反射与试井分析“串珠”模型关系探讨[J]. 油气井测试, 2015, 24(5): 6-9.
XU HongJun, SUN Hedong, ZHANG Wanneng *et al.* Discuss on relationship between “beaded” seismic reflection and “beaded” model at well test analysis [J]. Well Testing, 2015, 24(5): 6-9.
- [12] 刘应飞,刘建春,韩杰,等. 溶洞型碳酸盐岩油藏试井曲线特征及储层评价[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(6): 121-126.
LIU Yingfei, LIU Jianchun, HAN Jie *et al.* Well test curve characteristic and reservoir evaluation for vuggy carbonate reservoirs [J]. Science Technology and Engineering, 2014, 14(6): 121-126.
- [13] 熊钰,滕鹏,牛新年,等. 塔里木油田缝洞型油藏试井解释新模型研究[J]. 油气井测试, 2017, 26(3): 1-4.
XIONG Yu, TENG Peng, NIU Xinnian *et al.* Research on new well testing interpretation model for fracture cavity type reservoir in the Tarim oilfield [J]. Well Testing, 2017, 26(3): 1-4.
- [14] 蔡明金,张福祥,杨向同,等. 碳酸盐岩洞穴型储层试井解释新模型[J]. 特种油气藏, 2014, 21(2): 98-101.
CAI Mingjin, ZHANG Fuxiang, YANG Xiangtong *et al.* New model of well test interpretation in cavernous carbonate reservoirs [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2014, 21(2): 98-101.
- [15] 陈利新,程汉列,朱轶,等. 缝洞型碳酸盐岩储层酸压后不稳定试井分析[J]. 油气井测试, 2016, 25(2): 33-36.
CHEN Lixin, CHENG Hanlie, ZHU Yi *et al.* Transient well testing evaluation of fractured vuggy Carbonate reservoir after acid fracturing [J]. Well Testing, 2016, 25(2): 33-36.
- [16] 杨敏,孙鹏,李占昆. 塔河油田碳酸盐岩油藏试井曲线分类及其生产特征分析[J]. 油气井测试, 2004, 13(1): 19-21.
YANG Min, SUN Peng, LI Zhankun. Testing curve's classification for carbonate reservoir in Tahe oilfield and its characteristics analysis [J]. Well Testing, 2004, 13(1): 19-21.
- [17] 毛国扬,杨怀成,张文正. 裂缝性储层压降分析方法及其应用[J]. 石油天然气学报, 2011, 33(7): 116-118.
MAO Guoyang, YANG Huaicheng, ZHANG Wenzheng. Pressure drawdown analysis method and its application in fractured reservoir [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2011, 33(7): 116-118.
- [18] 缪立南,邸士莹. 利用测试资料评价压裂措施效果[J]. 油气井测试, 2017, 26(4): 33-35.
MIAO Linan, DI Shiyong. Using the data of test to evaluate fracturing effect measures [J]. Well Testing, 2017, 26(4): 33-35.
- [19] 郜国玺,田东江,牛新年,等. 碳酸盐岩储层酸压停泵压降特征与缝洞规模关系[J]. 断块油气田, 2013, 20(5): 652-655.
GAO Guoxi, TIAN Dongjiang, NIU Xinnian *et al.* Relationship of pump-stopping pressure drop characteristics of acid fracturing and hole size for carbonate reservoirs [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2013, 20(5): 652-655.
- [20] 窦之林. 论碳酸盐岩缝洞型油藏的滚动开发[J]. 新疆石油地质, 2013, 34(3): 300-302.
DOU Zhilin. On rolling development of fractured-vuggy carbonate reservoirs [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2013, 34(3): 300-302.
- [21] 田东江,牛新年,郜国玺,等. 库车山前大北地区裂缝性气藏储层改造评价研究[J]. 油气井测试, 2012, 21(5): 21-23.
TIAN Dongjiang, NIU Xinnian, GAO Guoxi *et al.* Reservoir stimulation evaluation of Dabeif fractured sandstone gas reservoirs of Kuqa foreland [J]. Well Testing, 2012, 21(5): 21-23.
- [22] 常宝华,强小龙,杨亚涛,等. 低渗透气藏压裂水平井试井曲线特征及影响因素[J]. 油气井测试, 2018, 27(2): 1-6.
CHANG Baohua, QIANG Xiaolong, YANG Yatao *et al.* Well testing curves of fractured horizontal wells in low permeability gas reservoirs: characteristics and influencing factors [J]. Well Testing, 2018, 27(2): 1-6.

编辑 王 军

第一作者简介:蔡明金,男,1980年出生,博士,高级工程师,2011年毕业于西南石油大学油气田开发专业,主要从事碳酸盐岩油气藏工程研究工作。电话:0996-2176157, 18699606191; Email:caimingjin115@sina.com.cn。通信地址:新疆巴音郭楞蒙古自治州库尔勒市石化大道123号信箱,邮政编码:841000。