

# 塔河缝洞型油藏试井曲线特征及储集体识别

杨敏<sup>1</sup>, 龙喜彬<sup>1</sup>, 潜欢欢<sup>1</sup>, 程洪<sup>2</sup>

1. 中国石油化工股份有限公司西北油田分公司勘探开发研究院 新疆乌鲁木齐 830013

2. 中国石油化工股份有限公司西北油田分公司采油三厂 新疆库车 842012

通讯作者: Email: 16899612@qq.com

项目支持: 国家科技重大专项“塔里木盆地碳酸盐岩油气田提高采收率关键技术示范工程”(2016ZX05053)、中石化重大项目“塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏降低自然递减技术”(ZDP17002)

引用: 杨敏, 龙喜彬, 潜欢欢, 等. 塔河缝洞型油藏试井曲线特征及储集体识别[J]. 油气井测试, 2020, 29(3): 64-70.

Cite: YANG Min, LONG Xibin, QIAN Huanhuan, et al. Well test curve characteristics and reservoir identification of fractured carbonate reservoir in Tahe Oilfield [J]. Well Testing, 2020, 29(3): 64-70.

**摘要** 塔河缝洞型油藏储层结构复杂, 非均质性极强, 试井曲线形态差异大, 储集体类型难以识别。通过对试井曲线特征分析, 结合单井静态地质资料和生产动态数据, 认识了油藏流体的流动特征, 将塔河缝洞型油藏不稳定试井曲线按形态分为六类, 分别对应6种不同流动特征和储集体类型, 形成了一套试井曲线与储集体类型对应的分类识别方法。应用该方法对T7井进行试井分析, 认为该井所连通储集体规模较大, 缝洞结构以串珠溶洞为主, 产能较好, 与地震等资料得到的储层特征相匹配。该方法为具有类似特征的试井资料选取合适解释模型、获取准确储集体特征信息奠定了基础, 为单井合理开发政策的制定提供了参考依据。

**关键词** 塔河油田; 缝洞型油藏; 试井曲线; 流动特征; 储集体识别; 缝洞结构; 分类方法

**中图分类号**: TE353 **文献标识码**: B **DOI**: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2020.03.011

## Well test curves and identification of fractured-vuggy reservoirs in Tahe Oilfield

YANG Min<sup>1</sup>, LONG Xibin<sup>1</sup>, QIAN Huanhuan<sup>1</sup>, CHENG Hong<sup>2</sup>

1. Petroleum Exploration & Production Research Institute, Sinopec Northwest Oilfield Company, Urumqi, Xinjiang 830013, China

2. The Third Oil Production plant, Sinopec Northwest Oilfield Company, Kuche, Xinjiang 842012, China

**Abstract:** The fractured-vuggy reservoirs in Tahe Oilfield have complicated structures and strong heterogeneity, so that the well test curves are very different, and the reservoir types are difficult to identify. After analyzing the characteristics of the well test curves, and considering the static geological data and dynamic production data of individual wells, we understood the flow characteristics of the reservoir fluid, and divided the unstable well test curves of the fractured-vuggy reservoirs into six categories which correspond to six flow regimes and reservoir types, and finally we built a classification and identification method by relating well test curves with reservoir types. Using this method to analyze the test data of Well T7, it's found that the well connects reservoirs on a large scale, and the reservoir space is dominated by bead-like karst vugs, and the productivity is good. This conclusion is well consistent with the result of seismic interpretation. This method is helpful to selecting suitable interpretation models for well test data with similar characteristics and obtaining accurate reservoir information. It also provides a reference to developing well development plan.

**Keywords:** Tahe Oilfield; fractured-vuggy reservoir; well test curves; flow characteristics; reservoir identification; fractured-vuggy structure; classification method

塔河油田奥陶系油藏是经过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<sup>[1]</sup>。油藏储集体以构造变形产生的构造裂缝与岩溶作用形成的溶孔、溶洞、溶隙为主, 其中大型洞穴是最主要的储集空间, 裂缝是不同洞穴系统的连通通道, 同时大量规模不等的裂缝本身也是储集空

间。碳酸盐岩基质基本不具有储渗意义。由于缝洞储集空间形态多样、大小悬殊、分布不均, 具有很强的非均质性<sup>[2-3]</sup>, 储集体组合类型多种多样, 从而导致试井曲线形态复杂, 识别难度大<sup>[4]</sup>。

对于缝洞型油藏的试井方法已有很多学者进行了研究。姚军等、杨坚等、杜箫笙等、王子胜等学

者将溶洞裂缝基质系统视为三重孔隙介质模型进行求解<sup>[5-8]</sup>,但没有考虑到基质基本没有储渗能力的问题。彭小龙等、刘洪等、熊钰等、张福祥等学者分别建立了各种储层情况试井模型<sup>[9-12]</sup>,均只针对某种储层情况进行分析,对于多种储集体组合情况,考虑不够全面。

同时,也有许多学者在缝洞型油藏储集体识别方面做了大量的研究工作。赵裕辉等、李明等、温志新等、蔡明金等根据地球物理响应特征,结合地质、钻井、测井及生产测试等资料对缝洞型储集体进行识别<sup>[13-16]</sup>。李新华等、韩长城等、孙东等在地震反射特征分析的基础上,识别储集体特征,并预测储集体空间分布<sup>[17-19]</sup>。李阳等、陈利新等采用动静结合手段对缝洞型碳酸盐岩储层类型进行识别<sup>[20-21]</sup>。但这些研究主要限于一些特别理想条件下的解释数学模型方法及正演这些模型试井曲线特征分析研究,包括对这些组合形式和规模的宏观定性分析,缺少缝洞油藏实测试井资料的分析与认识,已有研究不足以认识缝洞油藏地质特征及复杂性。

因此,本文以塔河油田缝洞型油藏为例,全面系统地分析了塔河缝洞型油藏的实际试井资料,并结合静态地质资料和生产动态资料,对塔河缝洞型油藏的试井曲线进行定性分类研究,基于试井理论本身的压力响应规律,落实不同地质背景下的流动特征、储集体类型与产能特征的认识。通过分类识别,找出了缝洞型油藏试井曲线形态、生产特征与储集体特征的对应关系,这对指导生产实践具有重要意义。

## 1 试井曲线特征及生产动态

试井数据是对地下油藏压力的直接测量,所以可以说试井曲线是对地下压力场的直接反映。而生产曲线则是根据油井地面生产测量参数绘制的,包括油压、日产油、含水等,如果不考虑井筒因素,这些地面参数是对地下油水流体场以及压力场的间接反映。因此,无论油井的试井曲线,还是生产曲线,都是对地下油水流动和压力变化的直接或间接反映,它们从不同侧面反映了储量规模和油水关系的原始差异和过程变化。因此,从逻辑上讲,生产曲线与试井曲线之间应该是有对应关系的,也就是说具有相似试井曲线形态的油井,其生产特征可能相似。因此,可以对一口新投产油井进行试井测

试,并通过它的试井曲线形态对其累产、含水等生产特征进行预测,以便在生产过程中进行差异化

管理。

基于上述思路,本文对塔河油田缝洞型油藏测得的104井次不稳定试井资料进行统计分析,从试井曲线形态上将其划分归纳为六类,并对每一类油井的试井曲线形态特征及油井的生产特征进行归纳描述。

### 1.1 上升1/2型

这类试井双对数曲线压力导数呈现单一上升,斜率为1/2,且斜率变化不大。一般认为,该类型曲线表现的是裂缝线性流。在缝洞型油藏中,该类曲线表示井筒附近存在单条(而非多条)裂缝或断裂的高渗通道,压力波呈现单一方向线性传播。

图1为T11井压力恢复试井压差及其导数双对数曲线拟合图,测试日期2013年7月26日-8月8日。图中没有出现明显的径向流,整个测试过程,压力导数基本上是以1/2斜率持续上翘,表现出明显的裂缝线性流特征。

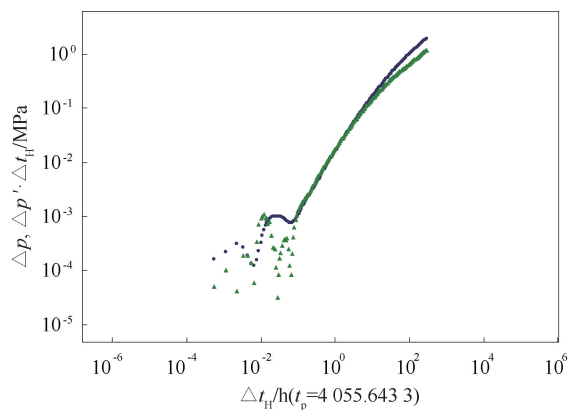


图1 T11井压力恢复试井双对数曲线

Fig. 1 The log-log curve of pressure buildup test of Well T11

塔河油田表现出裂缝线性流动类型的井,若裂缝与远端水体沟通,生产过程中地层水沿单方向高渗通道突进,极易造成暴型水淹。

由T11井录井资料可知,钻井过程中无放空漏失,该井并未钻遇溶洞体、酸压投产。图2开发曲线显示,该井生产初期不含水、但产量较低,两年半后暴性水淹。由此可知,该井附近存在单方向裂缝,并与水体沟通。该类型井储层供液能力一般,很快不能自喷而转机抽生产,而且后期需要注水替油生产,该井累产油 $1.0 \times 10^4$  t、累产水 $0.7 \times 10^4$  t。

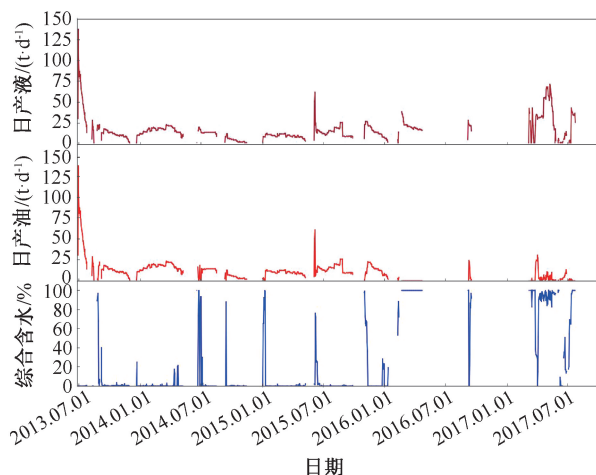


图2 T11井综合开发曲线

Fig. 2 The comprehensive development curve of Well T11

### 1.2 长上反“厂”字型

此类试井双对数曲线呈现较长的水平径向流段,反映类径向流动,单井控储规模较大,边界相对较远,油井供液相对充足。

图3为T12井压力恢复试井压差及其导数双对数曲线拟合图,测试日期2002年11月2-10日。由于塔河缝洞型油藏基质几乎不参与渗流,图3中出现的径向流动段较长,表示井周水平各个方向裂缝发育,流体由四周多个通道流入井底。

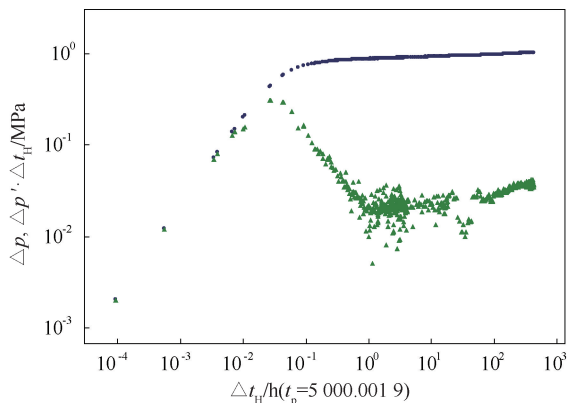


图3 T12井压力恢复试井双对数曲线

Fig. 3 The log-log curve of pressure buildup test of Well T12

T12井录井资料显示,该井钻遇溶洞,钻开奥陶系目的层系91.5 m,进入目的层深度41.5~91.5 m共漏失泥浆355 m³,自然完井投产。由图4所示开发曲线可得知,该井开井后产量较高,生产初期不含水,随着生产进行产油量逐渐下降,含水缓慢上升直至水淹,累产油12.2×10⁴ t、累产水6.9×10⁴ t。

该类型储层供液能力较强,井有可能钻遇裂

隙或溶洞、储量规模相对较大、累产较高,并在周围各个方向均存在多个供液通道,储层呈似均质特征。

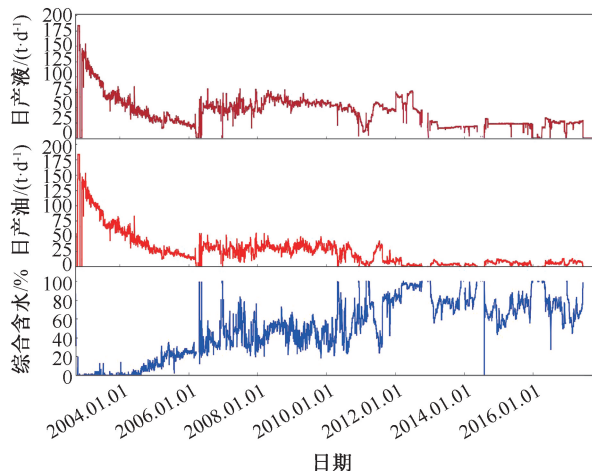


图4 T12井综合开发曲线

Fig. 4 The comprehensive development curve of Well T12

### 1.3 “V”字型

如图5所示,T33井压力恢复试井压差及其导数双对数曲线,测试日期2011年5月1-9日。该类型井双对数曲线导数波峰之后出现较大幅度下凹,呈现“V”字型。这类试井曲线表现出了部分打开的球形流特征,表示储集体纵向供液能力充足,此类井多为纵向上储集体板状发育的断溶体油藏类型。

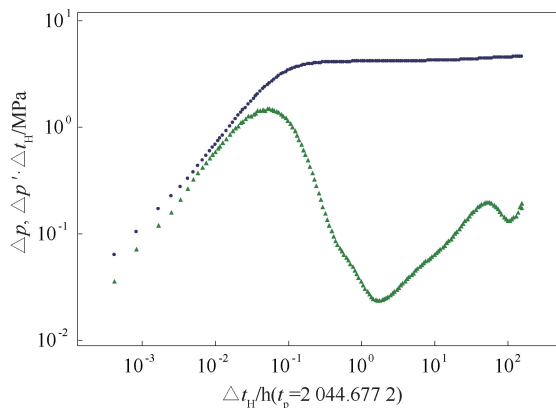


图5 T33井压力恢复试井双对数曲线

Fig. 5 The log-log curve of pressure buildup test of Well T33

T33井录井资料显示,该井钻开奥陶系目的层115.5 m,进入目的层深度24.5~115.5 m发生漏失,到完钻时共漏失泥浆1 531 m³,自然投产。地震资料显示,该井板状储集体发育。由图6所示开发曲线可知,该井开井后产量较高,生产初期不含水,能在一定时期内保持无水高产(60~80 t/d)。但一旦见水,则含水快速上升,油井在短期内迅速水淹,

该井累产油  $2.3\times10^4$  t、累产水  $0.9\times10^4$  t。

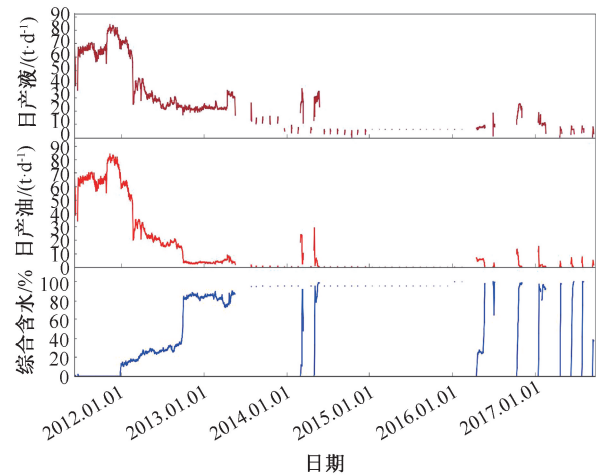


图 6 T33 井综合开发曲线  
Fig. 6 The comprehensive development curve of Well T33

该类型储层供液能力较强,断溶体纵向上存在总规模较大的串珠状溶洞。需控制生产压差,避免油井过早水淹,保持油井稳产。

1.4 倒“S”型

如图 7 所示,T44 井压力恢复试井压差及其导数双对数曲线,测试日期 2002 年 8 月 22–30 日。该类型井试井双对数曲线呈现 2 个下凹,具有储集体规模较大、供液充足特点,在塔河油田主体开发区存在较多。一般该类型井钻进过程中没有大的放空、漏失现象发生。

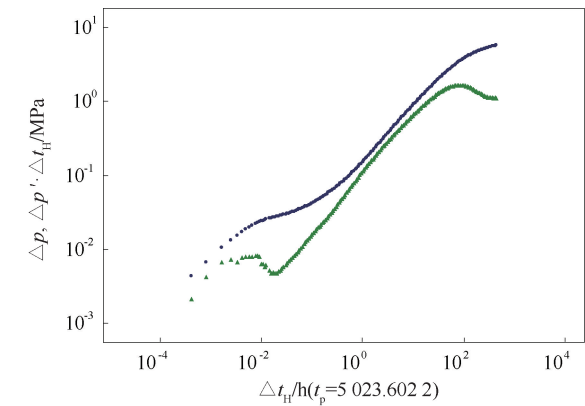


图 7 T44 井压力恢复试井双对数曲线  
Fig. 7 The log-log curve of pressure buildup test of Well T44

该类型井压力波传播过程中,出现 2 个不同的介质区域,或者串连、并连 2 个洞。由图 8 所示开发曲线可知,由于钻井直接钻遇溶洞、漏失  $234\text{ m}^3$ ,自然投产,且供液充足,无水采油期较长,具有高产、稳产特征。

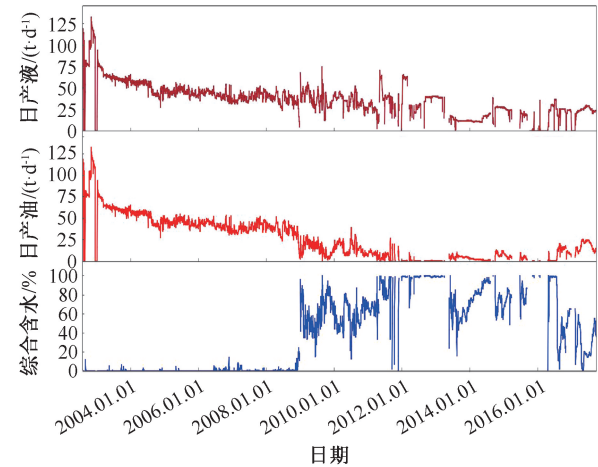


图 8 T44 井综合开发曲线  
Fig. 8 The comprehensive development curve of Well T44

1.5 下反“厂”字型

如图 9 所示,T55 井压力恢复试井压差及其导数双对数曲线,测试日期 2002 年 2 月 27 日–3 月 6 日。该类型井压力双对数曲线后期压力导数曲线呈现下掉情况,说明远端物性变好,储集体规模相对较大,供液充足。

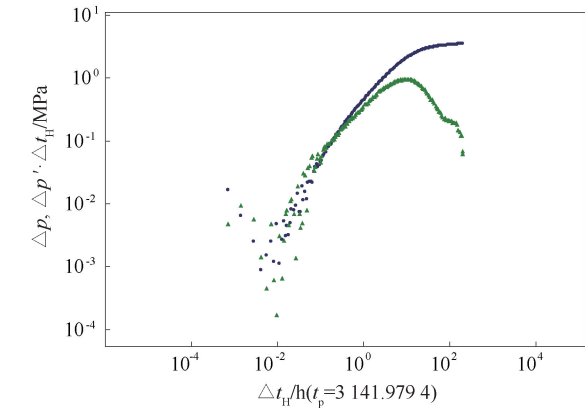


图 9 T55 井压力恢复试井双对数曲线  
Fig. 9 The log-log curve of pressure buildup test of Well T55

该类型井近井地带储集体规模较小,远井地带储集体规模大;在远端存在底水或者边水,通过高渗通道与井底连通。压力波传播过程中,由于远端物性变好,压力导数曲线下掉。

如图 10 开发曲线所示,该类型井由于周围存在水体,故见水往往较早,且容易暴性水淹。

1.6 闭合型

如图 11 所示,T16 井压力恢复试井压差及其导数双对数曲线,测试日期 2016 年 3 月 27 日–4 月 5 日。该类型井试井双对数曲线呈现下凹之后末期上翘闭合,表现的是定容型储集体,且储集体规模



有限,供液较差。

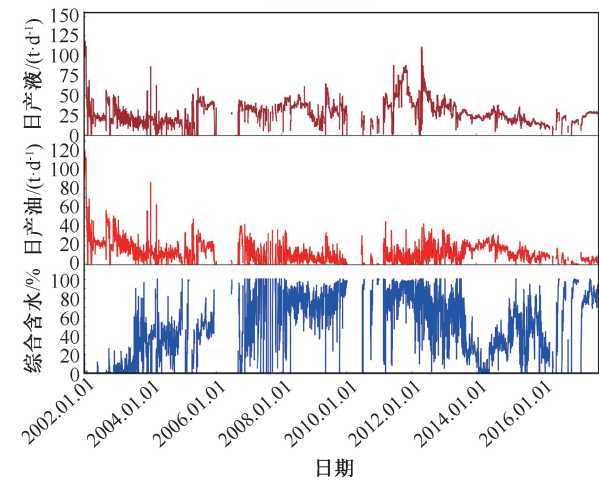


图 10 T55 井综合开发曲线

Fig. 10 The comprehensive development curve of Well T55

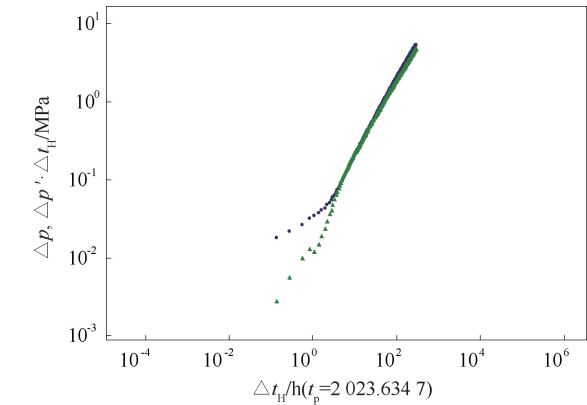


图 11 T16 井压力恢复试井双对数曲线

Fig. 11 The log-log curve of pressure buildup test of Well T16

该类型井可能钻遇溶洞,但储集体总体规模较小,且与远端储集体未沟通,属于定容洞型。如图 12 开发曲线所示,生产上表现为累产量较低。

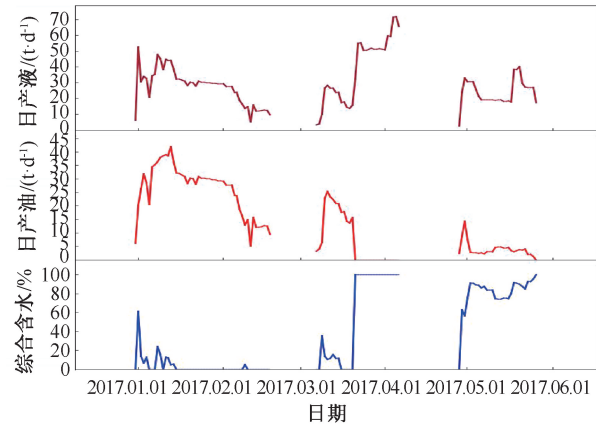


图 12 T16 井综合开发曲线

Fig. 12 The comprehensive development curve of Well T16

## 2 试井曲线特征对应储集体类型

以上列举出的塔河油田缝洞型油藏目前存在的六类试井曲线,分别对应了不同的储集体规模、缝洞结构、产能及生产特征,见表 1。总结这些油藏特征,对生产管理及开发部署具有重要的指导意义。

表 1 塔河油田缝洞型油藏试井曲线及油藏特征  
Table 1 The well test curves and reservoir characteristics of fractured-vuggy reservoirs in Tahe Oilfield

序号	试井曲线类型	储集体规模	缝洞结构	产能评价
I	上升 1/2	一般	裂缝为主	一般
II	长上反“厂”	较大	裂缝为主	较好
III	“V”字	较大	串珠溶洞	较好
IV	倒“S”	一般	缝洞相间	一般
V	下反“厂”	较大	先缝后洞	较好
VI	闭合	较小	小型孔洞	较差

下面以实际试井曲线验证分类结果的可靠性。图 13 为塔河油田 T7 井的压力恢复试井双对数曲线,测试日期 2014 年 6 月 21 日~7 月 22 日。从双对数曲线可以看出,曲线在波峰后出现下凹,属于“V”字型的试井曲线类型。根据前面的研究可知,该井所连通储集体规模较大,缝洞结构以串珠溶洞为主,产能较好。

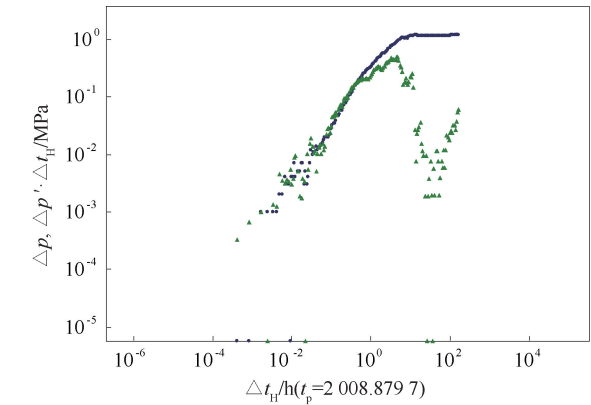


图 13 T7 井压力恢复试井双对数曲线  
Fig. 13 The log-log curve of pressure buildup test of Well T7

通过地震等资料可以验证该井的储层情况。图 14~15 分别是该井的地震资料、酸压测试资料。其中,地震资料呈现较强的“串珠状”响应特征,储集体非均质性明显;酸压曲线指示酸压沟通较大规模储集体;地震资料表明,该井附近缝洞储集体发育,与通过试井曲线分析得到的储层特征相匹配。

同时,该井在钻井过程中,钻至 5 556.0 m 发生漏失,强钻至 5 566.5 m 出现放空,放空井段 5 566.5~

5 570.0 m, 强钻至 5 578.0 m 井口失返, 累计漏失 105.96 m<sup>3</sup>, 也表明该井钻遇较大储集体。

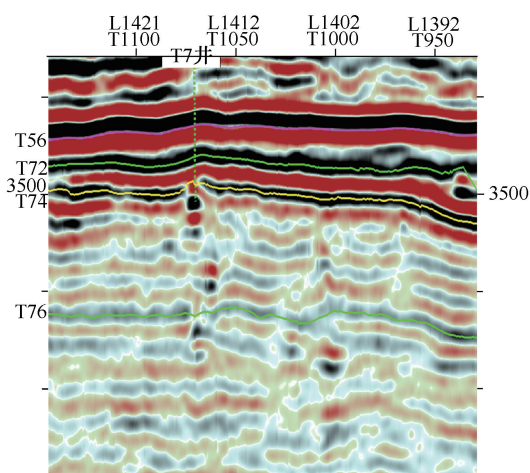


图 14 T7 井地震资料  
Fig. 14 Seismic data of Well T7

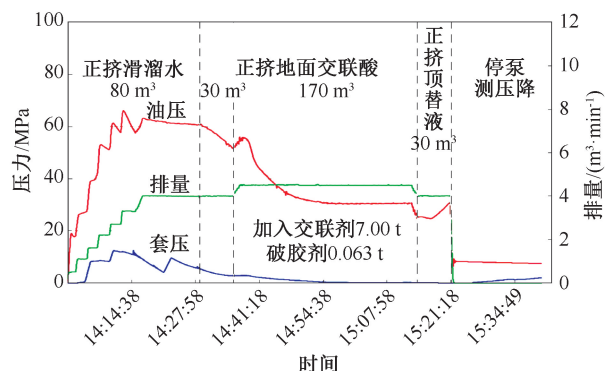


图 15 T7 井酸压测试曲线  
Fig. 15 The acid fracturing test curve of Well T7

因此,对于塔河油田缝洞型油藏,可以通过不同的试井曲线形态特征,识别出油藏的缝洞结构和规模。在此基础上,可以预测不同的累产规模和见水特征,从而进行差异化的配产,从而达到更高效的开发缝洞型油藏的目的。

### 3 结论

(1) 塔河奥陶系缝洞型油藏储集体类型,根据其缝洞规模和结构可分为六类,分别对应了 6 种不同的试井曲线形态,也就是说本文通过试井曲线验证了地震、钻井及生产资料描述的储集体特征。

(2) 依照试井曲线形态,六类储集体中,长上反“厂”、下反“厂”、“V”字三种曲线形态识别的储集体规模较大;上升 1/2、倒“S”两种曲线识别的储集体规模一般;闭合型曲线储集体规模较小。对于规模较大的储集体,往往高产、稳产、无水采油期长,但需要注意边底水侵入,防止暴性水淹;对于规模

较小的定容型储集体,需要进行水力扩容以增产。

(3) 六类储集体,按照缝洞连通结构,可分为裂缝为主、似均质储集体、定容洞、大型溶洞等几类。本文以实例详述了通过试井曲线识别缝洞结构的方法,可供认识新井区域的储集体参考。

(4) 塔河缝洞型油藏的试井曲线形态,还能够定性评价产能情况,可以为油井的配产、调产提供参考。

致谢:感谢中石化西北油田分公司李冬梅、曾清勇等在论文编写期间给予的指导和帮助。

### 参考文献

- [1] 林忠民. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层特征及成藏条件[J]. 石油学报, 2002, 23(3): 23-26.  
LIN Zhongmin. Carbonate rock reservoir features and oilgas accumulating conditions in the ordovician of Tahe Oilfield in Northern Tarim basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2002, 23(3): 23-26.
- [2] 荣元帅. 基于示踪技术的缝洞型油藏井间连通结构识别与表征研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2016.  
RONG Yuanshuai. Connectivity identification and characterization of well connectivity in fracture-cavity reservoir using tracer method [D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2016.
- [3] 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.
- [4] 杨磊, 凌涛, 胥猛生, 等. 英买 2 缝洞型碳酸盐岩油藏试井曲线特征分析[J]. 油气井测试, 2012, 21(6): 15-17.  
YANG Lei, LING Tao, XU Mengsheng, et al. Well test curve analysis of YM2 fracture-cave carbonate reservoir [J]. Well Testing, 2012, 21(6): 15-17.
- [5] 姚军, 戴卫华, 王子胜. 变井筒储存的三重介质油藏试井解释方法研究[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2004, 28(1): 46-51.  
YAO Jun, DAI Weihua, WANG Zisheng. Well test interpretation method for triple medium reservoir with variable wellbore storage [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2004, 28(1): 46-51.
- [6] 杨坚, 姚军, 王子胜. 三重介质复合油藏压力动态特征研究[J]. 水动力学研究与进展(A 辑), 2005, 20(4): 418-425.  
YANG Jian, YAO Jun, WANG Zisheng. Study of pressure-transient characteristic for triple-medium composite reservoirs [J]. Journal of Hydrodynamics, 2005, 20(4): 418-425.
- [7] 杜箫笙, 杨正明, 程倩, 等. 缝洞型碳酸盐岩油藏试井分

- 析[J]. 油气井测试, 2009, 18(4): 14-16.
- DU Xiaosheng, YANG Zhengming, CHEN Qian, et al. Well test analysis in cavity-fractured carbonate reservoirs [J]. Well Testing, 2009, 18(4): 14-16.
- [8] 王子胜, 姚军, 戴卫华. 缝洞型油藏试井解释方法在塔河油田的应用[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2007, 22(1): 72-74.
- WANG Zisheng, YAO Jun, DAI Weihua. Application of the well test interpretation method for fracture-vug reservoir in Tahe Oilfield [J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2007, 22(1): 72-74.
- [9] 彭小龙, 刘学利, 杜志敏. 缝洞双重介质数值模型及渗流特征研究[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2009, 31(1): 61-64.
- PENG Xiaolong, LIU Xueli, DU Zhimin. Numerical model and the characteristics of flowing through porous media of fracture and vug dual-media [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2009, 31(1): 61-64.
- [10] 刘洪, 王新海, 任路, 等. 含大尺度溶洞缝洞型油藏试井图版[J]. 特种油气藏, 2012, 19(2): 79-81.
- LIU Hong, WANG Xinhai, REN Lu, et al. Well testing chart of large scale fracture-cavern reservoir [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2012, 19(2): 79-81.
- [11] 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.
- [12] 张福祥, 陈方方, 彭建新, 等. 井打在大尺度溶洞内的缝洞型油藏试井模型[J]. 石油学报, 2009, 30(6): 912-915.
- ZHANG Fuxiang, CHEN Fangfang, PENG Jianxin, et al. A well test model for wells drilled in big-size cavity of naturally fractured vuggy carbonate reservoirs [J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(6): 912-915.
- [13] 赵裕辉, 胡建中, 鲁新便, 等. 碳酸盐岩缝洞型储集体识别与体积估算[J]. 石油地球物理勘探, 2010, 45(5): 720-724.
- ZHAO Yuhui, HU Jianzhong, LU Xinbian, et al. Identification of carbonate fractured-vuggy reservoir and volume estimation [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2010, 45(5): 720-724.
- [14] 李明, 李守林, 赵一民. 塔里木盆地某地区碳酸盐岩裂缝储层预测研究[J]. 石油物探, 2000, 39(2): 24-35.
- LI Ming, LI Shoulin, ZHAO Yimin. The study of fractured carbonate reservoir prediction in an area in Tarim basin [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2000, 39(2): 24-35.
- [15] 温志新, 王红漫, 漆立新, 等. 塔河油田奥陶系缝洞型碳酸盐岩储层预测研究[J]. 地学前缘, 2008, 15(1): 94-100.
- WEN Zhixin, WANG Hongman, QI Lixin, et al. Research on the prediction of ordovician carbonate reservoir of fissure-cave type in the Tahe Oilfield [J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(1): 94-100.
- [16] 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.
- 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.
- [17] 李新华, 鲁新便, 何成江, 等. 塔河油田碳酸盐岩缝洞储集体地震反射特征量化识别研究与开发应用[J]. 石油天然气学报, 2012, 34(8): 78-83.
- LI Xinhua, LU Xinbian, HE Chengjiang, et al. The research and development application of quantitative recognition of seismic reflection characteristics for fracture-cavity reservoirs in Tahe Oilfield [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2012, 34(8): 78-83.
- [18] 韩长城, 林承焰, 任丽华, 等. 基于地震波形指示的碳酸盐岩储集体反演方法——以塔河油田中-下奥陶统为例[J]. 石油与天然气地质, 2017, 38(4): 822-830.
- HAN Changcheng, LIN Chengyan, REN Lihua, et al. Waveform-indication-based seismic inversion of carbonate reservoirs: A case study of the lower-middle ordovician in Tahe Oilfield, Tarim basin [J]. Oil & Gas Geology, 2017, 38(4): 822-830.
- [19] 孙东, 杨丽莎, 陈娟, 等. 塔里木盆地深层碳酸盐岩缝洞储集体地震响应特征[J]. 新疆石油地质, 2018, 39(6): 633-642.
- SUN Dong, YANG Lisha, CHEN Juan, et al. Seismic response characteristics of fractured-vuggy reservoirs in deep carbonate horizons of Tarim basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2018, 39(6): 633-642.
- [20] 李阳. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩溶洞型储集体识别及定量表征[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2012, 36(1): 1-7.
- LI Yang. Ordovician carbonate fracture-cavity reservoirs identification and quantitative characterization in Tahe Oilfield [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2012, 36(1): 1-7.
- [21] 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.

编辑 王 军

第一作者简介: 杨敏, 男, 1968 年出生, 博士, 教授级高工, 2013 年毕业于成都理工大学油气藏开发工程专业, 长期从事碳酸盐岩缝洞型油藏开发工作。电话: 0991-3160696; Email: yangm.xbsj@sinopec.com。通信地址: 新疆乌鲁木齐新市区长春南路 466 号, 邮政编码: 830013。