

# 基于反褶积技术的 S 气井不稳定试井解释

魏 聪, 陈宝新, 刘 敏, 李海明, 张建业, 仝可佳

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

通讯作者: Email: weicong-tlm@petrochina.com.cn

项目支持: 国家重大专项“库车坳陷深层-超深层天然气田开发示范工程”(2016ZX05051004)、“复杂天然气开发关键技术”(2016ZX05015006-004)

引用: 魏聪, 陈宝新, 刘敏, 等. 基于反褶积技术的 S 气井不稳定试井解释[J]. 油气井测试, 2018, 27(1): 73-78.

Cite: WEI Cong, CHEN Baoxin, LIU Min *et al.* Interpretation of pressure transient well testing data of S gas well based on deconvolution technique[J]. Well Testing, 2018, 27(1): 73-78.

**摘要** 塔里木盆地库车坳陷的 S 气井所在气藏表现为超高压低孔低渗砂岩凝析气藏特征, 现场关井测试时间较短, 导致未出现径向流或边界特征, 采用常规试井解释方法进行不稳定试井资料的解释时呈现多解性。因此, 针对该井历次测试中的压力恢复数据, 对比分析“直井+有限导流+均质+矩形封闭边界”模型和“直井+有限导流+均质+平行封闭边界”模型常规试井解释的全程压力史拟合结果发现, 选用“直井+有限导流+均质+矩形封闭边界”模型对历次压力恢复双对数特征曲线及压力历史拟合较好, 与反褶积试井解释结果所表现出的全封闭边界特征吻合。结果表明, 反褶积试井综合了多次压力恢复测试及生产数据, 获取了比单次压力恢复常规试井更多、更全的边界信息, 能更好地拟合整个生产历史, 提高了试井解释结果的准确性和工作效率, 对低渗透油气藏的不稳定试井解释具有指导意义。

**关键词** 低孔低渗气藏; 高压井; 反褶积试井; 双对数曲线; 油藏边界; 压力历史拟合; 压力恢复曲线; 径向流

中图分类号: TE353 文献标识码: B DOI: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2018.01.012

## Interpretation of pressure transient well testing data of S gas well based on deconvolution technique

WEI Cong, CHEN Baoxin, LIU Min, LI Haiming, ZHANG Jianye, TONG Kejia

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

**Abstract:** Well S is a wildcat well drilled on the Ilac Structure of Wushi Sag in Kuqa Depression of the Tarim basin, to develop the condensate sandstone gas reservoirs with ultra-high pressure, low porosity and low permeability. The ambiguity of interpretation for well testing using conventional interpretation method exists because of lack of radial flow phase or boundary information due to the short testing period. Therefore, for the three intervals of the pressure build-up test available, the "vertical well + finite conductivity + homogeneity + parallel boundary" model and "vertical well + finite conductivity + homogeneity + rectangular boundary" model were used to interpret these data. After analyzing the matching results of the full-course production history of the gas well of these two methods, it was found that the conventional well testing technique together with the "vertical well + finite conductivity + homogeneity + rectangular boundary" model was used for repeated tests to realize satisfactory matching for log-log curves and pressure history, which is in accordance with the entire was used for interpretation. The results show that the deconvolution testing technique can integrate multiple pressure buildup test data and production data to provide richer information related to boundaries, so as to achieve accurately and satisfactory matching of production history. This method can cover the shortages of conventional well testing technique and provide suggestions for well testing interpretation of low-permeability reservoirs.

**Keywords:** low porosity and low permeability; high pressure well; deconvolution well testing; log-log curve; boundary information; pressure historical matching; pressure build-up curve; radial flow

不稳定试井是获取油气藏静、动态特性参数的一种非常重要的技术手段, 在压力恢复和压力下降过程中, 通过分析压力随时间变化的关系可以得到

油气藏和井的评价参数<sup>[1]</sup>, 使得基于压力导数的常规试井分析方法得到了广泛应用。邵锐<sup>[2]</sup>等人利用压力恢复资料深化了储层特征认识, 确定了单井

井控储量。刘鹏超<sup>[3]</sup>等人研究提出了利用压力恢复曲线求取油井控制储量的新方法。崔迪生<sup>[4]</sup>等人利用不稳定试井技术对千米桥潜山凝析气藏单井酸化、压裂改造效果进行了分析评价。但是,在某些情况下,由于考虑到测试费用和产量需求,现场关井测试时间一般较短,使得压力恢复时间不足,导致压力和压力导数的径向流或边界特征未出现,影响了解释模型的选取<sup>[5]</sup>。且常规方法主要对单个压恢段数据进行分析,这导致常规试井解释获取的油气藏信息十分有限,多解性强<sup>[6]</sup>。S井所在气藏属于低孔低渗高压气藏,由于储层物性差,压力恢复所需时间长,导致常规试井解释方法也难以得到准确的解释结果。

近些年来,在Schroeter等<sup>[7]</sup>解决了反褶积计算方法上的稳定性问题后,反褶积方法被成功的应用于试井解释<sup>[8]</sup>。反褶积试井技术能够充分利用油气井全程的压力生产史,根据叠加原理得到测试全部历程的压力响应,从而获取更多的储层信息,为储层边界的识别提供可靠的依据,对不稳定试井解释技术是一个很好的补充和完善<sup>[9]</sup>。李勇<sup>[10]</sup>等人应用反褶积试井方法对DN1气田早期地层测试资料进行解释,获得了可靠的基岩-裂缝的储容比及窜流系数。张建民<sup>[11]</sup>、张利军<sup>[12]</sup>、严涛<sup>[13]</sup>、林炳南<sup>[14]</sup>等人应用反褶积试井方法较好地解决了海上油气田关井压力恢复测试时间短,常规试井方法难以准确解释油气藏外边界的问题。阳晓燕<sup>[15]</sup>等人应用反褶积试井技术有效指导了复杂油气田不稳定试井解释。任超群等人<sup>[16]</sup>利用反褶积试井解释技术解决了南海西部油气田的测试时间短和后期边界特征不明显的问题。周照静等人<sup>[17]</sup>认为反褶积技术在解释长期变产量(多产量)测试资料中弥补了常规试井解释技术的不足。

为此,文章基于反褶积技术进行了S气井的不稳定试井解释,为低渗透油气藏地层测试资料的综合解释和录取提供了参考经验。

## 1 反褶积试井技术原理

反褶积试井就是把变产量压力数据转换成在整个变产量时间内以恒定产量生产获得的压降数据进行解释,这就是压力—产量的反褶积方法。

根据杜哈美(Duhamel)原理,可以得出压力恢复和压力降落的褶积方程<sup>[18]</sup>:

$$p(t) = p_i - \int_0^t q(\tau) \Delta p'_u(t - \tau) d\tau \quad (1)$$

式中: $t$ 为试井开井生产时间,h; $p_i$ 为原始地层压力,MPa; $p(t)$ 为开井生产 $t$ 时刻井底压力,MPa; $q(t)$ 为测试井产量, $m^3/d$ ; $\Delta p_u$ 为重整压力或单位稳定产量下重整压力响应,MPa/ $m^3$ 。

式(1)的压力—产量反褶积是通过变产量条件下测试得到的压力 $p(t)$ 和产量 $q(t)$ 数据重建,得到定产量情况下的压力降落响应 $\Delta p_u(t)$ 。由于解释过程中要用到 $d(\Delta p_u)/d(\ln t) = t\Delta p'$ ,根据最优化理论,利用实测压力和产量资料求取该函数的过程就是反褶积运算<sup>[19-20]</sup>。

反褶积不是一个新的解释方法,而是一种处理产量和压力的新工具,其实质是为整个生产过程提供一个定产量的压力响应,取得相当于定产量压力降落试井资料得到的压力响应曲线,然后通过与经典图版进行拟合,求取测试层和测试井的各项参数。反褶积的理论技术决定了它在使用时需满足叠加原理、解释模型始终保持不变等条件。因此,该技术不能用于物质平衡、非线性流及多相、增产改造和邻井干扰等情况<sup>[21]</sup>。

尽管如此,由于反褶积的探测范围比测试历程中任何一段压力恢复都大得多,更有利于反映泄流区地层边界特性。而且,不存在简化产量和叠加计算等带来的影响,也不存在由于产量史不完整产生的偏差<sup>[22-25]</sup>。因此,反褶积能够获得比常规试井技术更多、更可靠的解释结果。

## 2 应用效果分析

S井是位于塔里木盆地库车坳陷乌什凹陷依拉克构造上的一口预探井。该井于2012年9月24日完钻,完钻井深6100m,钻遇主要气层系为白垩系舒善河组,测井解释有效厚度44m/10层,有效孔隙度13.36%。岩性以细砂岩、含砾砂岩为主,沉积相为扇三角洲前缘。气藏地层温度127.7℃,地温梯度2.01℃/100m,地层压力114.5MPa,压力系数1.94。井口分离器PVT取样分析,露点压力54.56MPa,地面凝析油含量为490.3g/ $m^3$ ,表现为超高压低孔低渗砂岩凝析气藏特征。

该井于2012年10月30日开始对白垩系舒善河组6002.0~6018.0m井段(共16m/1层)进行完井常规测试,随管柱一起下入两支存储式电子压力计,此过程中主要经历2次开、关井测试,累计测试时间约70d(如图1)。

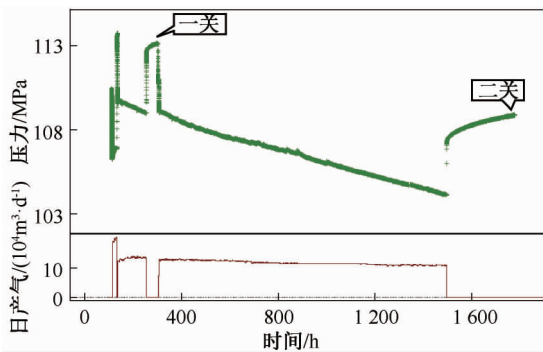


图 1 二开二关完井测试产量压力曲线

Fig.1 Curves of pressure and production rate with time during two-open and two-shut-in testing

2013 年 2 月 23 日开始试采,至 2014 年 6 月 11 日对该井进行井下关井压力恢复试井,关井时间为 34.5 h(如图 2)。

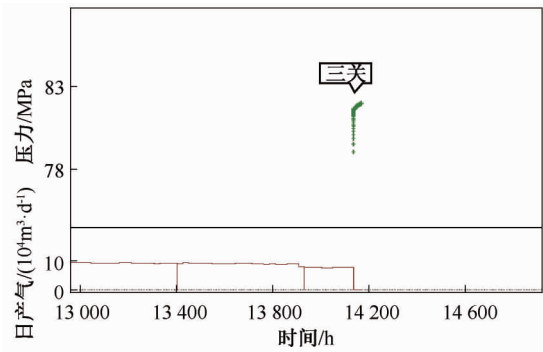


图 2 试采中不稳定试井产量压力曲线

Fig.2 Curves of pressure and production rate with time during pressure transient well testing

历次测试过程中,井下压力计均工作正常,录取资料准确可靠。截止 2014 年底,该井累计产气  $0.58 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,产油  $4.41 \times 10^4 \text{ t}$ ,整个生产过程中产量相对稳定,但油压下降较快,从 82.8 MPa 下降至 44.9 MPa(如图 3)。

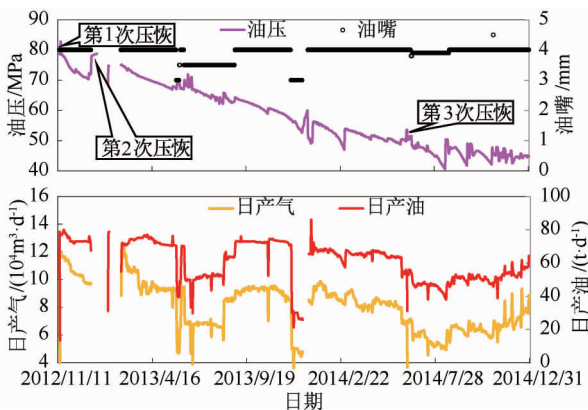


图 3 S 井试油-试采生产曲线

Fig.3 Production curve for S well during testing

## 2.1 反褶积试井分析

S 井历次测试中共有 3 段压力恢复数据可供解释,且该井 3 次关井压恢的压力导数曲线形态特征一致(如图 4),说明测试过程中解释模型自始至终均未发生变化,故可用反褶积方法进行试井解释。考虑到凝析气井的特殊性,在进行反褶积试井分析中,主要采用单相拟压力方法对井口采出的凝析油进行换算来得到气井的整个质量产出<sup>[26]</sup>。

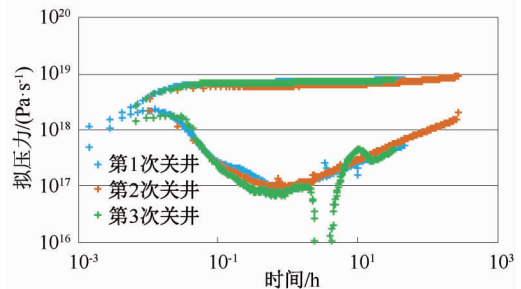


图 4 S 井 3 次关井压力及其导数双对数曲线

Fig.4 Log-log curves of pressure and pressure derivative of S well during three times pressure-buildup testing

运用 Saphir 4.10 试井软件中的反褶积模块,输入 S 井的井半径 0.089 m、储层有效厚度 44 m、有效孔隙度 13.36%、PVT 参数表及所有压力产量数据,然后选取整个生产阶段的产量数据和 3 次关井压力恢复段进行反褶积运算。从得到的压力及其导数双对数特征曲线来看(图 5),在径向流出现之前曲线斜率为  $-1/2$ ,表现为部分射开的球形流动特征;在径向流出现后曲线斜率为  $1/2$ ,表现出渠道流动特征;最后曲线斜率为 1,表现出明显的全封闭边界气藏特征。因此,结合储层及井筒实际条件,选择“直井+有限导流+均质+矩形封闭边界”模型进行解释,双对数特征曲线与全程压力历史都得到了很好的拟合效果(如图 5 和图 6)。

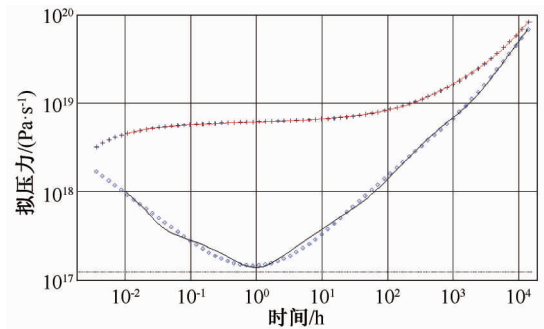


图 5 反褶积试井双对数特征曲线拟合图

Fig.5 Log-log double logarithm matching curve of deconvolution testing

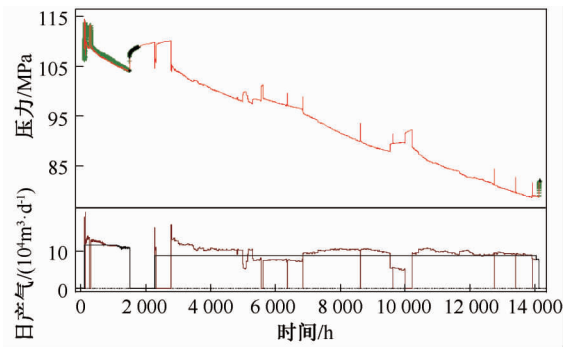


图6 反褶积试井压力史拟合曲线  
Fig.6 Pressure historical matching curve of deconvolution testing

## 2.2 常规试井分析

基于压力导数双对数曲线分析的常规试井方法,简单易用,且能解释非线性及多相流等各种复杂情形,是试井解释人员最为常用的研究方法之一。因此,针对S井也进行了常规试井分析。S井3次关井的压力及其导数双对数曲线形态特征一致(如图4)。由于第2次关井时间最长(约280 h),更能反映储层边界信息。因此,按照常规方法,选取二关压力恢复段数据进行试井分析。从得到的压力及其导数双对数特征曲线来看(如图4中黄色曲线),前期表现出来的球形流、径向流和渠道流动特征与反褶积试井解释结果完全一致,但后期曲线斜率一直保持 $1/2$ 不变,表现为平行封闭边界气藏特征。结合储层及井筒条件,选用“直井+有限导流+均质+平行封闭边界”模型进行解释,压力及其导数双对数曲线拟合结果很好;用该模型去解释第1次和第3次关井的资料,也可以得到类似的拟合结果。但是,当进行全程压力史拟合检验时,发现解释结果显然不合理(如图7)。

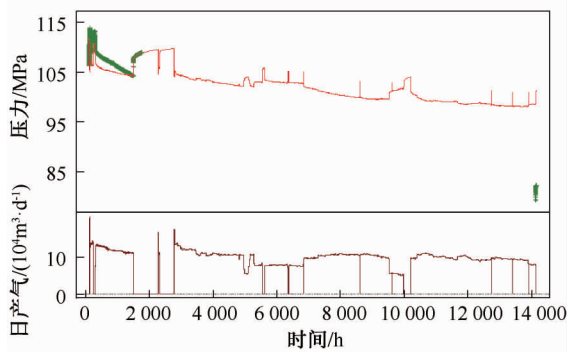


图7 全程生产压力史拟合曲线  
Fig.7 Full-course pressure matching curve

压力的明显衰竭表明,气藏的边界可能是“U”型封闭或全封闭的,而不仅仅是平行封闭边界。这

个边界信息对于低渗透气藏而言,仅从单次短时间的压力恢复数据是无法体现出来的。因此,在反褶积试井的指导下,选用“直井+有限导流+均质+矩形封闭边界”模型,利用常规试井方法,经过多次反复试验,实现了对该井历次的压力恢复双对数特征曲线和压力历史的完美拟合(如图8、图9)。

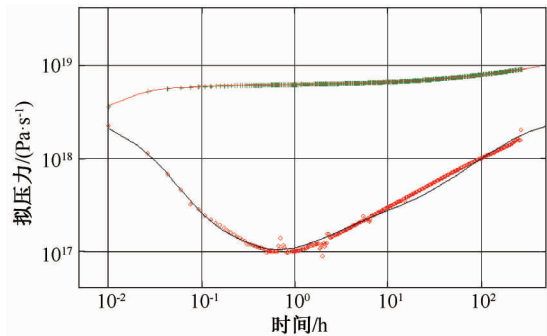


图8 常规试井双对数特征曲线拟合图(二关井)  
Fig.8 Log-log matching curve using conventional well test interpretation method (Second shut-in)

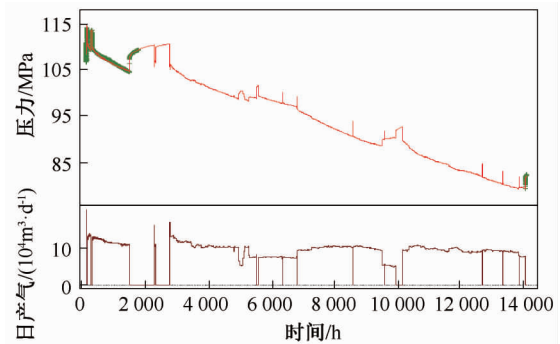


图9 常规试井全程生产压力史拟合图  
Fig.9 Full-course pressure matching curve using conventional well test interpretation method

## 2.3 解释结果分析

表1为反褶积试井与常规试井解释结果,通过对比发现,反褶积试井各项主要参数的解释结果与综合3次关井的常规试井解释结果基本一致,仅用单次关井(二关)压力恢复数据解释得到的平行封闭边界模型不能正确解释原始地层压力,结果明显偏低(近3 MPa)。利用反褶积试井求得井与矩形边界距离分别为: $W_1 = W_2 = 50$  m,  $W_3 = 272$  m,  $W_4 = 2000$  m。结合地质资料认为,该井所钻遇储层可能为河道砂体,延伸到一定距离开始歼灭(从距离该井1.3 km处新部署的一口评价井的失利得到证实),此结论与该井区受岩性控制的气藏特征相吻合,说明反褶积试井解释结果是可靠的。

表 1 不同解释方法下试井解释结果对比表

Table 1 Comparison table for interpretation of well testing using different interpretation methods

解释方法	模型	边界	表皮系数	原始地层压力/MPa	地层系数 $/(10^{-3}\mu\text{m}^2\cdot\text{m})$	渗透率 $/(10^{-3}\mu\text{m}^2)$	井距矩形边界距离			
							边界 1	边界 2	边界 3	边界 4
反褶积试井	有限导流+均质	矩形封闭边界	12.5	114.50	281	6.38	50.0	50.0	272	2 000
常规试井 (1 次关井)	限导流+均质	平形封闭边界	14.7	111.52	302	6.86	49.2	49.7	/	/
常规试井 (3 次关井)	有有限导流+均质	矩形封闭边界	13.0	114.50	284	6.45	51.1	51.3	285	1 980

由以上分析可知,反褶积试井相当于综合了整个生产阶段的 3 次关井压力恢复测试及所有产量数据,获取了比单次压力恢复常规试井更多、更全的边界信息,能更好地拟合整个生产历史,试井解释结果的准确性和工作效率都大大提高。

### 3 结论

(1)利用反褶积试井技术对 S 井 3 次分散的关井压力恢复测试及全程生产历史数据进行叠加分析,得出了比单次压恢常规试井更多、更全的储层信息,解释结果准确、可靠,弥补了常规不稳定试井解释方法的不足。

(2)针对低渗透储层,地层压力恢复缓慢,往往由于关井时间不足,导致基于单次压力恢复的常规试井方法的探测范围非常有限,解释结果存在片面性。因此,建议运用反褶积方法或综合历次关井的常规试井方法进行解释;同时对于此类油气藏,宜分阶段进行井下压恢资料录取,以保证不稳定试井解释结果的准确性。

(3)通过实际应用,证实了反褶积技术在储层认识中的优势,特别是针对开发早期有岩性或断层边界等特征影响的低渗透油气藏,能够帮助解释人员快速、准确的确定解释模型,降低开发布井风险,值得推广应用。

致谢:感谢中国石油塔里木油田分公司对论文研究工作所提供的支持。

### 参 考 文 献

- [1] 刘能强.实用现代试井解释方法[M].北京:石油工业出版社,2008:28-71.  
LIU Nengqiang. Practical modern well test interpretation [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008: 28-71.
- [2] 邵锐,唐亚会,毕晓明,等.徐深气田火山岩气藏开发早期试井评价[J].石油学报,2006,27(S1):142-146.  
SHAO Rui, TANG Yahui, BI Xiaoming *et al.* Initial evaluation for well testing of volcanic gas reservoir in Xushen gas field [J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(S1): 142-146.
- [3] 刘鹏超,唐海,吕栋梁,等.利用压力恢复曲线求取油井

控制储量的新方法[J].岩性油气藏,2010,22(3):106-109.

LIU Pengchao, TANG Hai, LYU Dongliang *et al.* A new method for single well controlled reserves by using pressure build up curve [J]. Lithologic Reservoirs, 2010, 22(3): 106-109.

- [4] 崔迪生,徐建平,贺子伦,等.利用不稳定试井分析千米桥潜山凝析气藏酸压效果[J].天然气地球科学,2003,14(4):302-305.

CUI Disheng, XU Jianping, HE Zilun *et al.* Analysis of acidified-fracturing effect by transient well test for Qianmiqiao buried hill condensated gas reservoir [J]. Natural Gas Geoscience, 2003, 14(4): 302-305.

- [5] 陈伟,朱礼斌,方全堂.试井早期资料解释方法[J].油气井测试,2009,18(4):17-19.

CHEN Wei, ZHU Libin, FANG Quantang. Interpretation method for early time data of well test [J]. Well Testing, 2009, 18(4): 17-19.

- [6] 庄惠农.气藏动态描述和试井[M].北京:石油工业出版社,2004:9-14.

ZHUANG Huinong. Dynamic characterization and well test interpretation for gas field [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004: 9-14.

- [7] SCHROETER T V, HOLLANDER F, GRINGARTEN A C. Analysis of well test data from permanent down-hole gauges by deconvolution[C]. SPE77688, 2002.

- [8] MICHAEL M, LEVITAN B P. Practical considerations for pressure-rate deconvolution of well test data [C]. SPE90680, 2004.

- [9] GRINGARTEN A C, IMPERIAL C. From straight lines to deconvolution: the evolution of the state of the art in well test analysis[C]. SPE102079, 2006.

- [10] 李勇,李保柱,胡永乐,等.反褶积法在气井早期地层测试解释中的应用[J].石油学报,2010,31(2):298-301.

LI Yong, LI Baozhu, HU Yongle *et al.* Application of deconvolution algorithm to early formation interpretation of gas wells [J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(2): 298-301.

- [11] 张建民,阳晓燕,张宏友,等.反褶积试井技术在渤海复杂油气藏中的应用[J].油气井测试,2015,24(3):21-23.

ZHANG Jianmin, YANG Xiaoyan, ZHANG Hongyou *et*

- al. Application of deconvolution well test interpretation in BoHai complex oil & gas reservoir [J]. Well Testing, 2015, 24(3): 21-23.
- [12] 张利军, 田冀, 朱国全, 等. 反褶积试井在海上短时试井中的应用[J]. 油气井测试, 2015, 24(4): 21-23.  
ZHANG Lijun, TIAN Ji, ZHU Guoquan *et al.* Application of deconvolution well testing in short time well test on offshore well [J]. Well Testing, 2015, 24(4): 21-23.
- [13] 严涛, 刘海涛. 反褶积试井解释方法在东海油气田中的应用[J]. 油气井测试, 2015, 24(2): 35-37.  
YAN Tao, LIU Haitao. Application of deconvolution well testing method in Eastsea oil & gas field [J]. Well Testing, 2015, 24(2): 35-37.
- [14] 林炳南, 李清旺, 李岳胜. 压力与产量反褶积在海上探井资料解释中的应用[J]. 油气井测试, 2012, 21(4): 19-22.  
LIN Bingnan, LI Qingwang, LI Yuesheng. The application of pressure and producing rate deconvolution on offshore exploratory well test data interpretation [J]. 2012, 21(4): 19-22.
- [15] 阳晓燕, 张建民, 张宏友, 等. 反褶积试井技术指导复杂油气田高效开发[J]. 长江大学学报(自科版), 2015, 12(11): 67-70.  
YANG Xiaoyan, ZHANG Jianmin, ZHANG Hongyou *et al.* Guiding the high efficient development in complex oil and gas fields by using deconvolution well testing [J]. Technique Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2015, 12(11): 67-70.
- [16] 任超群, 李文红, 李树松. 反褶积试井解释技术在南海西部油气田中的应用与实践[J]. 油气井测试, 2017, 26(3): 22-24.  
REN Chaoqun, LI Wenhong, LI Shusong *et al.* Application and practice of deconvolution well testing interpretation technology deconvolution well testing interpretation technology in oil and gas field of the western China sea [J]. Well Testing, 2017, 26(3): 22-24.
- [17] 周照静, 鲁秀芹, 高晓成, 等. 反褶积试井解释方法在低渗透气藏中的应用[J]. 油气井测试, 2017, 26(5): 36-38.  
ZHOU Zhaojing, LU Xiuqin, GAO Xiaocheng *et al.* Application of deconvolution well test technology in low permeability gas reservoir [J]. Well Testing, 2017, 26(5): 36-38.
- [18] 戴卫华, 王佩文, 张迎春. 试井分析中时间函数处理新方法[J]. 油气井测试, 2010, 19(1): 21-23.  
DAI Weihua, WANG Peiwen, ZHANG Yingchun. New method research about time function application in well test analysis [J]. Well Testing, 2010, 19(1): 21-23.
- [19] 刘能强. 反褶积及其应用[J]. 油气井测试, 2007, 16(5): 1-4.  
LIU Nengqiang. Deconvolution and its application [J]. Well Testing, 2007, 16(5): 1-4.
- [20] GRINGARTEN A C. Practical use of well-test deconvolution [C], SPE134534, 2010.
- [21] 邓惠, 曾令卓, 徐伟, 等. 反褶积试井解释方法在低渗气藏开发中的应用[J]. 天然气勘探与开发, 2016, 39(4): 36-39.  
DENG Hui, ZENG Lingzhuo, XU Wei *et al.* Application of deconvolution well testing interpretation to low-permeability gas reservoirs [J]. Natural Gas Exploration & Development, 2016, 39(4): 36-39.
- [22] ONUR M, KUCHUK F J. A new pressure-rate deconvolution technique based on pressure derivatives for pressure transient test interpretation [C]. SPE134315, 2010.
- [23] 胡小虎, 郑世毅, 高远. 无原始地层压力下的反褶积试井方法研究[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2010, 32(3): 89-92.  
HU Xiaohu, ZHENG Shiyi, GAO Yuan. Study of deconvolution algorithm without initial reservoir pressure for well test [J]. Journal of South west Petroleum University (Science & Technology Edition), 2010, 32(3): 89-92.
- [24] 胡小虎, 郑世毅, 龙胜祥. 新的基于压力导数的反褶积模型研究[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2012, 34(6): 113-117.  
HU Xiaohu, ZHENG Shiyi, LONG Shengxiang. A new deconvolution algorithm based on pressure derivative [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2012, 34(6): 113-117.
- [25] 张建军, 贾永禄, 张烈辉. 长时压力监测数据处理新方法与应用研究[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2010, 32(2): 133-137.  
ZHANG Jianjun, JIA Yonglu, ZHANG Liehui. A new method for processing of long-term pressure data and its application [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2010, 32(2): 133-137.
- [26] 郑世毅, 裴法健, 张艳玉. 反褶积在凝析气中的应用[J]. 陕西科技大学学报, 2010, 28(1): 50-53.  
ZHENG Shiyi, NIE Fajian, ZHANG Yanyu. Analysis of condensate gas well test data by deconvolution [J]. Journal of Shanxi University of Science & Technology, 2010, 20(1): 50-53.

编辑 王 军

第一作者简介:魏聪,男,1983年出生,硕士,工程师,2010年毕业于中国石油大学(北京)油气田开发专业,现主要从事油气藏建模与数模、试井分析等研究工作。电话:0996-2174029,18799808197;Email: weicong-tlm@petrochina.com.cn。地址:新疆库尔勒市石化大道26号,邮政编码:841000。