

压力恢复异常资料精细二次试井解释方法

王秉合¹, 杨沛林¹, 李景², 魏涛¹, 李峰¹

- 1. 中国石油玉门油田分公司勘探开发研究院 甘肃酒泉 735019
- 2. 中国石油玉门油田分公司老君庙采油厂 甘肃酒泉 735200

通讯作者:Email:ymwangbh@petrochina.com.cn

项目支持:中国石油玉门油田分公司科技研发项目“玉门老区产能建设方案研究及开发井位部署”

引用:王秉合, 杨沛林, 李景, 等. 压力恢复异常资料精细二次解释方法[J]. 油气井测试, 2021, 30(6):66-70.

Cite: WANG Binghe, YANG Peilin, LI Jing, et al. Secondary fine well test interpretation method of abnormal data of pressure recovery [J]. Well Testing, 2021, 30(6):66-70.

摘要 试井资料初次解释局限于常规内容,对特殊资料有必要结合地质与各项动态资料开展精细二次解释,尽可能获得更多更准确信息。YC202 井 K_{1g2} 层压力恢复测试资料 157~164 h 时段测点温度和压力异常升高,测点与地层压力恢复速度不同步,不能正确反映地层压力变化。进行精细二次解释,先对数据多次校正再解释,直至形成连续正常的双对数曲线。结合地质与动态资料综合分析认为,该井符合多层模型特征,存在压力不同的油层、水层供液。对该井实施封堵后,含水降至 10%,平均增油 9 t/d,堵水增油获得成功,解释结果与生产动态、地质认识较符合。通过精细二次解释,重新认识了 YC202 井 K_{1g2} 层油藏北部油水分布规律,提高了试井资料利用率。

关键词 多层模型;试井解释方法;异常资料;二次解释;数据校正;堵水;增油;渗流特征

中图分类号:TE353 **文献标识码**:B **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2021.06.012

Secondary fine well test interpretation method of abnormal data of pressure recovery

WANG Binghe¹, YANG Peilin¹, LI Jing², WEI Tao¹, LI Feng¹

- 1. Exploration and Development Research Institute, PetroChina Yumen Oilfield Company, Jiuquan, Gansu 735019, China
- 2. Laojunmiao Oil Production Plant, PetroChina Yumen Oilfield Branch, Jiuquan, Gansu 735200, China

Abstract: The initial interpretation of well testing data is limited to conventional content. For special data, it is necessary to carry out fine secondary interpretation in combination with geology and various dynamic data to obtain more and more accurate information as much as possible. According to the pressure recovery test data of Well YC202 in K_{1g2} layer, the temperature and pressure of the measuring points increased abnormally during 157~164 h, and the pressure recovery speed of the measuring points and formation were not synchronized, which could not correctly reflect the change of formation pressure. During the secondary fine interpretation, the data shall be corrected for many times before interpretation until a continuous normal double logarithmic curve is formed. Comprehensive analysis combining the geological and dynamic data showed that the well conforms to the characteristics of multi-layer model and there are oil and water layers with different pressures for liquid supplying. After plugging the well, the water cut decreased to 10% and the average oil increased by 9 t/d. It means that the water plugging and oil enhancing were successful, and the interpretation results were in good agreement with the production performance and geological understanding. Through fine secondary interpretation, the oil-water distribution law in the northern part of K_{1g2} layer of Well YC202 is re-recognized, and the utilization rate of well test data is improved.

Keywords: multilayer model; well testing interpretation method; abnormal data; secondary interpretation; data correction; water plugging; oil enhancing; seepage characteristics

鸭儿峡构造带位于酒泉盆地西西拗陷青西凹陷东部,在鸭儿峡鼻状构造的北部被北西向及北东向逆冲断层切割,形成断块圈闭,构造条件较为有利^[1-2]。储集层以扇三角洲平原亚相棕红色细砂

岩、粉砂岩及灰色泥质粉砂岩为主,储集空间以孔隙和孔隙-裂缝为主。测井解释有效储层平均孔隙度 11%,平均渗透率 4.1 mD,属于中孔、低渗储层^[3]。鸭儿峡鼻状构造北部的 YC109 井压裂 K_{1g2}

段后获高产,为进一步证实北部扩边的潜力,部署评价井 YC202。对 YC202 井 K_{1g_2} 段试油,呈高含水特征,而测井解释结论为差油层与干层,与试油结论不符。为进一步落实储层液性等,进行压力恢复试井,试井资料出现异常。

试井资料能够直接反映油藏内部的渗流特征,是油(气)田勘探开发过程中认识油(气)藏和油(气)井特性、确定油(气)层特性参数的重要资料^[4-7]。林加恩^[8]、张文昌等^[9]认为,从目前国内各油田的应用现状来看,存在试井资料的解释可信度不高,未能解释出一些关键信息,资料利用率不高等问题,从而降低了试井资料的使用价值。这些问题主要是由于测试工艺问题、生产井况复杂性及储层复杂性的影响所致^[10]。若受到前两种因素影响,所采集到的压力数据不能真实地反映油藏的压力传播动态信息,试井压力曲线往往出现异常。田新建等^[11]分析多种“异常”试井曲线并证实是由于封隔器失封、管柱漏失等工程因素导致。蒋裕强等^[12]分析了气井压力恢复试井资料出现异常现象的原因,认为除了测试工艺与储层因素外,还有井筒温度变化、积液、相态变化、水击现象、非达西流动效应等。宋黎明等^[13]在分析油、气井相态分异不同特征的基础上,归纳总结出相应的识别方法。张家富^[14]、韩凤蕊^[15]、毕全福等^[16]针对因油气水相态分异导致的异常试井资料,提出了针对性的修复处理方法。

在我国多数油田含油层系多且较薄,各油层物性差异大,呈复杂的多层油藏特点。对多层油藏试井模型的构建和求解研究也较多^[17-20]。王月杰等^[21]通过引入有效井径模型和无因次井储时间,修正了多层合采系统数学模型,获得了多层油藏典型井底压力曲线图版。姚志良等^[22]建立了单相三层油气藏考虑井内转渗的直井合采流入动态模型,并将其推广到任意多层油藏,满足了工程要求。贾英兰^[23]建立了无层间窜流的复合油藏模型,并求解获得试井样板曲线。本文通过实例分析了井筒内发生油、水相置换的试井异常资料的特点,在二次解释时经过校正处理,选择无窜流多层油藏模型解释,提高了试井资料解释的准确性,并以此指导堵水增油获得成功,发挥出了试井资料的应用价值,为油田勘探开发决策提供依据^[24]。

1 测试井基本概况

YC202 井 2020 年 2 月射孔 K_{1g_2} 段 2 750.0 ~

2 796.6 m, 12.3 m/4 层,获自喷产能,初产液 75 m³/d,初产油 6 t/d,含水 90%。试油结论为油水同层。测井解释试油段为差油层与干层,与试油结论不符。储层测井解释结果见表 1。

表 1 YC202 井测井解释结果及射孔情况统计表
Table 1 Logging interpretation results and perforation statistics of Well YC202

井段/m	厚度/m	测井解释	射孔情况
2 750.0~2 752.1	2.1	差油层	已射孔
2 778.8~2 780.7	1.9	干层	已射孔
2 786.6~2 790.2	3.6	差油层	已射孔
2 791.9~2 796.6	4.7	差油层	已射孔
2 798.0~2 813.9	15.9	油水同层	未射孔

为进一步落实储层液性等情况,2020 年 3 月下电子压力计至 2 700 m,关井测压力恢复。测试资料出现异常:流压与静压梯度明显差异(图 1);测压第 157 h 至 173 h,压力温度异常升高(图 2);半对数图呈斜率一致的两段状(图 3)。

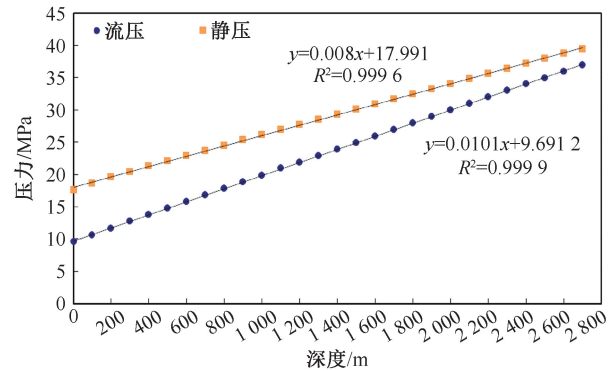


图 1 YC202 井流压与静压对比图
Fig. 1 Comparison diagram of flow pressure and static pressure of Well YC202

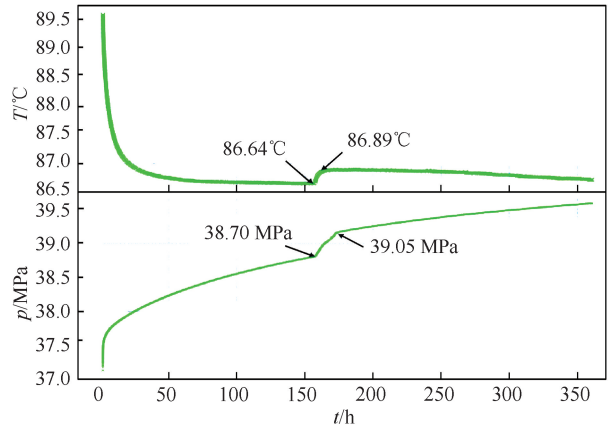


图 2 YC202 井压力恢复段原始曲线
Fig. 2 Original curve of pressure recovery section of Well YC202

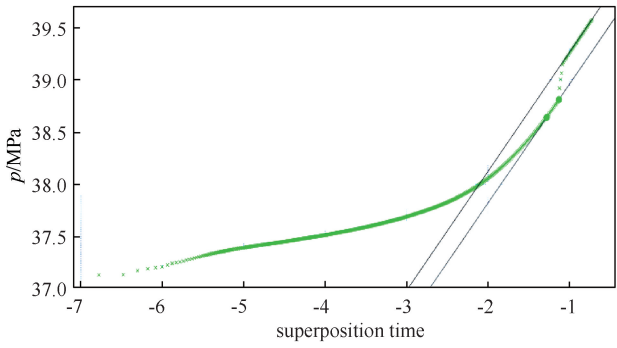
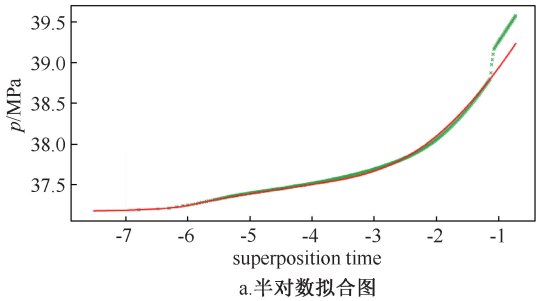


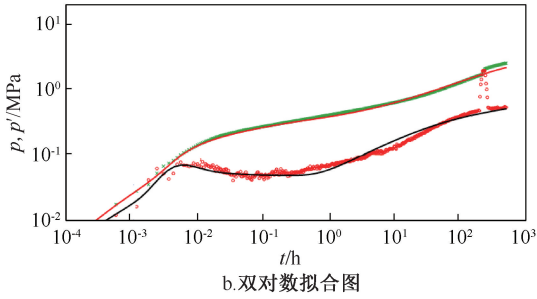
图 3 YC202 井压力恢复半对数图

Fig. 3 Semi-logarithmic diagram for pressure recovery of Well YC202

压力数据 157 h 后出现异常,初次解释拟合时未选用,半对数与双对数拟合图如图 4 所示。由双对数图可以看出,早期经过短暂的井筒储集段后,出现径向流段,之后导数曲线出现上翘。选用“变井储+复合油藏”模型进行拟合,解释结果:表皮系数 -2.24,外推压力 40.331 MPa,渗透率 18.144 mD,复合半径 46.46 m,流度比 16.933,扩散比 64.251。



a. 半对数拟合图



b. 双对数拟合图

图 4 YC202 井曲线

Fig. 4 Curves for initial interpretation of Well YC202

2 精细二次试井解释

2020 年 6 月该井进行了产液剖面测试,测试结果见表 2。4 号射孔段为主供液层,1 号射孔段为次供液层,其他层段几乎不供液。而 4 号射孔层下部紧邻的 5 号层厚度大、岩性纯、电阻率低,且 2 780.0 ~ 2 800.0 m 井段固井质量较差。综合分析认为,该井可能存在不同的油层与水层供液。

表 2 产液剖面测试结果表

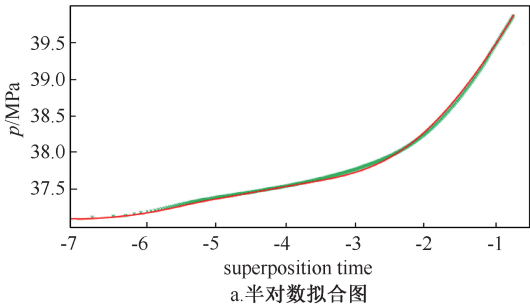
Table 2 Test results of liquid production cross section

井段/m	厚度/m	产液量/(m ³ ·d ⁻¹)	相对产量/%
2 750.0~2 752.1	2.1	11.9	32.6
2 778.8~2 780.7	1.9	1.6	4.4
2 786.6~2 790.2	3.6	0	0
2 791.9~2 796.6	4.7	23.0	63.0

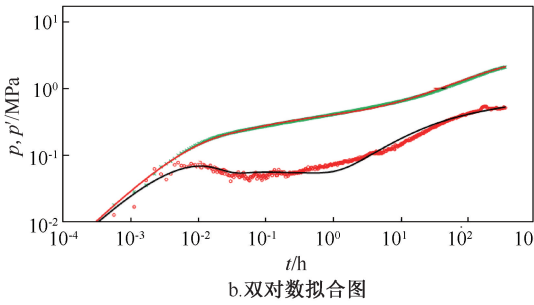
该井在测试过程中存在油水置换过程。随着油水界面的下移,压力计与油层中部之间(2 700.0 ~ 2 773.3 m)的介质由水相被置换为油相,密度降低压力变小,导致 157~164 h 时段测点的温度与压力异常升高,测点与地层的压力恢复速度不同步^[25]。压力计数值不能正确反映地层压力变化,需经过校正后再解释。

半对数图呈斜率一致的两段状,可认为后期的压力计数值变化能够反映地层压力真实变化情况,但与前期段压力值不一致。校正思路是将后期段压力计数值调整至与前期段一致。即后期段压力计数值减去密度差异造成压力差值,前期段不变。将校正的数据做双对数图,多次校正,直至成为连续正常的双对数曲线。

结合生产动态资料及地质认识,对校正处理后的资料进行二次解释,选用“变井储+多层油藏”模型解释。校正后半对数拟合图与双对数拟合图如图 5 所示。精细二次试井解释结果见表 3。



a. 半对数拟合图



b. 双对数拟合图

图 5 校正后试井解释曲线

Fig. 5 Well test interpretation curves after correction

表 3 精细二次试井解释结果
Table 3 Fine secondary interpretation results

射孔段	油藏类型	表皮系数	外推压力/MPa	渗透率/mD	复合半径/m	流度比	窜流系数
1 号	均质	-0.30	41.78	5.21	/	/	/
4 号	复合	-1.60	40.28	17.27	35.80	16.24	50.00

1 号射孔段即主产油层外推压力相对较高,渗透率较低,呈“高压低渗”特征;4 号射孔段即主产水层为复合油藏模型,内外区物性差异较大,可能是外区砂体变薄所致。解释结果与生产动态、地质认识较符合,认为可封堵产水层,进一步解放产油层潜力。

2020 年 10 月,对 4 号射孔段实施封堵、转抽后,含水降至 10%,平均增油 9 t/d。证实 1 号射孔段为主产油层,也表明了二次解释的准确性,运用试井资料指导堵水增油获得成功。

依据压力恢复试井解释结果,YC202 井 K_1g_2 段上部的 1 号射孔层段折算地层压力系数 1.56,渗透率 5.2 mD,属高压低渗储层。储层砂体在区内较为发育,区内邻井对应层位有 1 口井试油,初产液 6 m³/d,含水 16%,呈低含水特征。其他邻井对应层位深侧向测井电阻率值介于 6~10 $\Omega\cdot m$ 之间,与该井相当,具有补孔对应层位的潜力。

该井堵水增油的成功证实了在鸭儿峡 K_1g_2 油藏北部的高压低含水储层,改变了对北部高含水的认识,初步落实有利建产面积 0.6 km²。

3 结论

(1) 合层试油无法准确反映各小层产能及液性,易把油层误认为水层,应结合地质与生产动态资料综合分析,充分挖掘各小层潜力。

(2) 压力恢复试井资料易出现异常波动,应认真分析出现异常的原因。因压力计至油层中部流体相态变化造成的异常波动资料可通过校正后,得到正常连续试井分析曲线,能更准确地反映出油藏内部的渗流特征。

致谢:感谢玉门油田分公司同意本文公开发表;感谢苗国政副经理给予的相关指导。

参考文献

[1] 苑伯超,肖文华,魏浩元,等. 酒泉盆地鸭儿峡地区白垩系下组 $K_1g_1^3$ 沉积相及有利储层预测[J]. 岩性油气藏,2017,29(3):52-65.
YUAN Bochao, XIAO Wenhua, WEI Haoyuan, et al. Sedimentary facies and favorable reservoir prediction of Cretaceous Xigou Formation $K_1g_1^3$ in Ya' erxia area,

Jiuquan basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2017,29(3): 52-65.
[2] 陈建平,陈建军,倪云燕,等. 酒泉盆地西西坳陷油气成藏控制因素与有利勘探方向[J]. 石油学报,2019,40(11):1311-1330.
CHEN Jianping, CHEN Jianjun, NI Yunyan, et al. Controlling factors of petroleum accumulation and favorable exploration area in the Jiuqi depression, Jiuquan basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2019,40(11):1311-1330.
[3] 陶永富,许瑞,乔梁,等. 应用物质平衡法评价鸭儿峡 M 油藏地层压力[J]. 油气井测试,2019,28(1):72-78.
TAO Yongfu, XU Rui, QIAO Liang, et al. Evaluation of formation pressure in M reservoir of Yaerxia Oilfield by material balance method [J]. Well Testing, 2019,28(1): 72-78.
[4] 刘能强. 实用现代试井解释方法[M]. 北京:石油工业出版社,2008:1-6.
[5] 周鹏遥,刘洪涛,杨向同,等. 试井资料与生产数据结合进行措施井效果评价的新方法[J]. 油气井测试,2016,25(5):16-19,23.
ZHOU Pengyao, LIU Hongtao, YANG Xiangtong, et al. A new method of combining well testing data with production data to evaluate the well effect [J]. Well Testing, 2016,25(5):16-19,23.
[6] 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.
MIU Linan, DI Shiyong. Using the data of test to evaluate fracturing effect measures [J]. Well Testing, 2017,26(4): 33-35.
[7] 李原杰,魏明达,王晶. 利用试井资料快速求取复合型储层气井产能[J]. 油气井测试,2017,26(1):24-26.
LI Yuanjie, WEI Mingda, WANG Jing. Using well test data to quickly get the gas well deliverability of composite reservoir [J]. Well Testing, 2017,26(1):24-26.
[8] 林加恩. 油气井试井资料的价值及作用[J]. 油气井测试,2016,25(4):38-40,43.
LIN Jia'en. Value and function of oil & gas well testing data[J]. Well Testing, 2016,25(4):38-40,43.
[9] 张文昌,罗沛,郝宁,等. 试井资料多解性来源的探讨[J]. 断块油气田,2003,10(4):86-88.
ZHANG Wenchang, LUO Pei, HAO Ning, et al. Discussion on more explain character of well test results [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2003,10(4):86-88.
[10] 高绍琨,王杰. 试井测试曲线异常原因分析[J]. 油气井测试,2014,23(6):22-24.
GAO Shaokun, WANG Jie. Analyzing causes of abnormal

- well testing curve [J]. Well Testing, 2014, 23(6): 22-24.
- [11] 田新建, 廖伟伟, 补璐璐, 等. 利用“异常”试井曲线分析油水井工程问题[J]. 油气井测试, 2018, 27(4): 67-72.
TIAN Xinjian, LIAO Weiwei, BU Lulu, et al. Utilizing the “abnormal” well test curve to analyze the engineering problems in oil and water wells [J]. Well Testing, 2018, 27(4): 67-72.
- [12] 蒋裕强, 李成勇, 曹成惠, 等. 高产气井试井压力资料异常原因分析[J]. 天然气工业, 2008, 28(7): 90-92.
JIANG Yuqiang, LI Chengyong, CAO Chenghui, et al. reason analysis on abnormal pressure data from high-productivity gas well testing [J]. Nature Gas Industry, 2008, 28(7): 90-92.
- [13] 宋黎明, 胡宗武, 李新峰, 等. 油气井筒相态分异特征识别及处理[J]. 油气井测试, 2011, 20(2): 20-24.
SONG Liming, HU Zongwu, LI Xinfeng, et al. Feature identification for phase differentiation of oil and gas wellbore and its treatment [J]. Well Testing, 2011, 20(2): 20-24.
- [14] 张家富. 井筒内流体变化对压力恢复资料的影响与修复处理[J]. 新疆石油地质, 2014, 35(4): 434-436.
ZHANG Jiafu. The influence of wellbore fluid changes on pressure buildup date and the processing of date restoration [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2014, 35(4): 434-436.
- [15] 韩凤蕊. ZX165井压力恢复曲线异常分析与处理[J]. 油气井测试, 2011, 20(4): 27-28.
HAN Fengrui. ZX165 abnormal pressure buildup curve analysis and processing [J]. Well Testing, 2011, 20(4): 27-28.
- [16] 毕全福, 陈超峰, 胡广军, 等. 克95井地层测试中“相态重新分布”现象分析[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2006, 28(2): 92-93.
Bi Quanfu, CHEN Chaofeng, HU Guangjun, et al. The phenomenon analysis of phase state redistribution in K-95 well by wellbore formation testing [J]. Journal of Oil and Gas (Journal of Jiangnan Petroleum Institute), 2006, 28(2): 92-93.
- [17] 张望明, 韩大匡, 连淇详, 等. 多层油藏试井分析[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(3): 63-66.
ZHANG Wangming, HAN Dakuang, LIAN Qixiang, et al. Well test analysis in multi-layer reservoir [J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(3): 63-66.
- [18] 张璐. 多层压裂井试井分析方法研究[D]. 西安: 西安石油大学, 2011.
- ZHANG Lu. A study on well testing analysis for fractured well in multilayered reservoir [D]. Xi'an: Xi'an Shiyou University, 2011.
- [19] 吴明录. 多层油藏流线数值试井解释方法[D]. 北京: 中国石油大学, 2007.
WU Minglu. Streamline numerical well testing interpretation method for layered reservoirs [D]. Beijing: China University of Petroleum, 2007.
- [20] 王磊. 多层油藏渗流规律研究及其应用[D]. 安徽: 中国科学技术大学, 2008.
WANG Lei. Theory and application on flow in multi-layer reservoir [D]. Anhui: University of Science and Technology of China, 2008.
- [21] 王月杰, 陈晓明. 多层合采试井模型适用性研究及矿场实例分析[J]. 中国海上油气, 2017, 29(2): 78-86.
WANG Yuejie, CHEN Xiaoming. Applicability study and case analysis of multi-layer commingled production well test model [J]. China Offshore Oil and Gas, 2017, 29(2): 78-86.
- [22] 姚志良, 李明忠, 曹飞, 等. 直井多层油藏合采流入动态特性[J]. 油气田地面工程, 2010, 29(4): 22-24.
YAO Zhiliang, LI Mingzhong, CAO Fei, et al. Inflow performance characteristics of combined production in vertical well multi-layer reservoir [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2010, 29(4): 22-24.
- [23] 贾英兰. 多层油气藏复杂渗流理论与试井分析方法研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2014.
JIA Yinglan. Research on the theory of complicated porous flow and analysis method of well test for multilayer reservoirs [D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2014.
- [24] 《中国油气井测试资料解释范例》编写组. 中国油气井测试资料解释范例[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994: 6-9.
- [25] 刘能强, 王葳, 朱红权. 测试资料在油气田开发中的应用[J]. 油气井测试, 2004, 13(1): 15-18.
LIU Nengqiang, WANG Wei, ZHU Hongquan. Application of well testing data for oilfield development [J]. Well Testing, 2004, 13(1): 15-18.

编辑 穆立婷

第一作者简介:王秉合,男,1973年出生,高级工程师,1997年毕业于大庆石油学院油藏工程专业,现主要从事油气田开发研究工作。电话:0937-3925385,13830709229;Email: ym-wangbh@petrochina.com.cn。通信地址:甘肃酒泉市油田指挥中心2号楼1105室,邮政编码:735019。