

JL 气田 HS 组气藏产水气井压力恢复试井解释

孙艳波

中国石油吉林油田分公司勘探开发研究院 吉林松原 138000

通讯作者:Email:sunyanbo@petrochina.com.cn

项目支持:国家重大专项“松辽盆地南部致密气有效技术开发关键技术研究”(2016ZX05047005-006)

引用:孙艳波. JL 气田 HS 组气藏产水气井压力恢复试井解释[J]. 油气井测试,2020,29(2):75-78.

Cite: SUN Yanbo. Well test interpretation of pressure bulid-up for water-producing gas wells in HS group gas reservoir of JL gas field [J]. Well Testing, 2020,29(2):75-78.

摘要 JL 气田 HS 组气藏为底水气藏,随着开采年限的增长,气水界面由 2010 年的-3 643 m 上升到 2017 年的-3 615 m,导致高含水气井数量越来越多。为此,提出高产水气井压力恢复试井解释方法。采用该方法对 JP 井进行压力梯度分析,判断井筒内气液界面在-1 000 m 处;该井压力恢复试井解释时双对数分析导数曲线开始下掉后又上升,有一个突然变化,为此采用内边界为变井筒储集试井解释模型,解释出地层压力 33.7 MPa,储层平均有效渗透率 12.5 mD,较好的处理了井筒中出现相态重新分布问题。该方法可有效提高高产水气井压力恢复试井解释结果的准确性。

关键词 底水气藏;产水气井;梯度分析;产能试井;压力恢复曲线;试井解释;气水界面;相态分布

中图分类号:TE353 **文献标识码**:B **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2020.02.013

Well test interpretation of pressure bulid-up for water-producing gas wells in HS group gas reservoir of JL gas field

SUN Yanbo

Exploration and Development Research Institute of Jilin Oilfield Branch, CNPC, Songyuan, Jilin 138000, China

Abstract: HS group gas reservoir in JL gas field is the type of bottom water gas reservoir. With the increase of production years, the gas-water interface rises from -3 643 m in 2010 to -3 615 m in 2017, which leads to more and more high water cut gas wells. Therefore, the interpretation method of pressure build-up test for high production gas wells is studied. This method is used to analyze pressure gradient of JP well and the gas-liquid interface in the wellbore is estimated at the depth of -1 000 m. The derivative curve of double logarithmic analysis firstly drops and then rises and there is a sudden change. For this reason, a well test interpretation model with variable wellbore storage reservoir is adopted, the formation pressure is estimated by 33.7 MPa, average effective permeability is 12.5 mD, which can well deal with the problem of phase redistribution in wellbore. This method can effectively improve the accuracy of interpretation results of pressure build-up test in high water-producing gas wells.

Keywords: bottom water gas reservoir; water-producing gas well; gradient analysis; productivity test; pressure build-up curve; well test interpretation; gas-water interface; phase distribution

2011 年以后,JL 气田 HS 组气藏水的矿化度开始上升,由低部位向高部位推进。整体表现为“低部位矿化度高,高部位矿化度低”的特征。HS 组气藏气井矿化度初期为 1 648 mg/L。从 2011 年开始,个别气井矿化度开始上升,上升幅度较大。目前,在 29 000 mg/L 左右,不同火山体之间差异较大。同时平均单井日产液由初期 2.4 m³ 上升到目前的 30.1 m³,水气比由 12.3 m³/10⁶ m³ 上升至 420 m³/10⁶ m³。带水采气井共有 16 口;水淹迹象

气井共有 4 口井;水淹井 1 口,产水,无气停产。

在这种情况下,JL 气田 HS 组气藏的产水气井压力恢复试井解释尤为重要^[1-3]。从试井解释的图形分析中可以看出^[4-5]:①流动压力梯度不均匀,反映井筒内流体为水的汽雾状和天然气的混合物;②模型诊断时关井初期,气井生产中携带液体时,在井筒中出现了相态的重新分布。对此试井解释利用图形识别与图形分析,内边界模型采用变井筒储集模型,较好的处理了井筒中出现了

相态的重新分布问题,使试井解释结果更加准确、更加符合实际。

1 测试简况

该井层位为 HS 组,水平井的裸眼^[6]+筛管井段^[7]3 300.0~4 913.0 m,气测异常段长度 1 274.97 m,储层厚度 10 m,A 点垂深 3 656.33 m。

2017 年 7 月 19 日~8 月 27 日进行试井测试,2017 年 7 月 19~20 日测流压、流温,2017 年 7 月 20 日~8 月 13 日关井进行压力恢复测试,2017 年 8 月 7 日测静压、静温梯度。2017 年 8 月 13~27 日产能测试,压力计下深 3 005.0 m。

2 试井解释

本次测试为该井第一次压力测试,目的是根据目前所取得的关井压力恢复数据^[8]确定了目前地层压力、天然气产能、建立产能方程、求取气层无阻流量以及储层渗流参数,为下步生产和区块评价提供理论依据。

2.1 压力梯度分析

2017 年 7 月 19 日进行流压梯度测试,从不同深度的流压梯度实测曲线以及梯度值显示在井筒 0~3 000 m 流压梯度不均匀(图 1),反映井筒内为水的汽雾状^[9-11](流动过程中浓度不均匀)和天然气的混合物(生产过程中产水量较多),通过压力梯度分析得出压力梯度为 0.225 MPa/100 m。

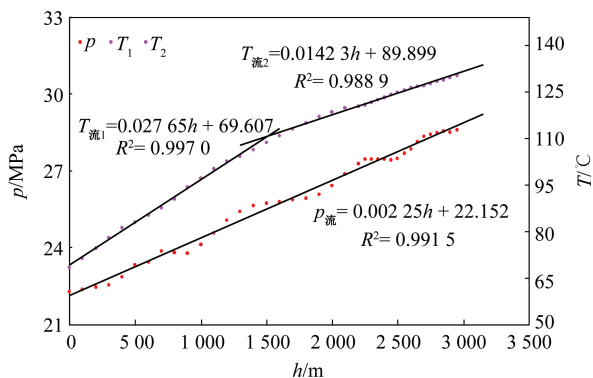


图 1 流压梯度、流温梯度深度回归曲线图

Fig.1 Depth regression curve of flow pressure gradient and flow temperature gradient

2017 年 8 月 7 日进行静压梯度测试,静压剖面回归曲线如图 2 所示,图上呈现两条回归直线 $p_{静1}$ 和 $p_{静2}$,两条直线交点在 1 000 m,从梯度值反映,在井筒 0~1 000 m 处的静压梯度略高于 1 000 m 以下静压梯度,两条回归直线斜率所代表的梯度值分别

为 0.002 18 MPa/m、0.001 85 MPa/m,分析认为井筒内气液界面在 1 000 m 处,1 000 m 以上为气体,以下为液体。

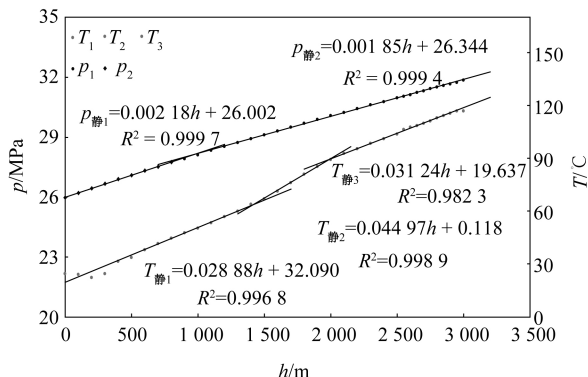


图 2 静压梯度、静温梯度深度回归曲线图

Fig.2 Depth regression curves of static pressure gradient and static temperature gradient

2.2 压力恢复试井

2017 年 7 月 20 日~8 月 13 日进行压力恢复试井,有效关井时间 579.2 h。

2.2.1 模型诊断

关井后压力恢复双对数-导数曲线图形^[12-13]特征诊断分析(图 3),井筒储集阶段导数曲线沿斜率 1 上升,中前期出现了明显径向流段,从特征曲线反映储层均质性较好。在关井初期,气井生产中携带液体时,在井筒中出现了相态的重新分布。从特征曲线反映在关井 5.1~27.2 h 之间,导数曲线开始下掉后又上升,有一个突然变化。当关井 5.1 h 时导数曲线开始下掉,井内存在着气体携带液体(气液混合流体)续流流动,在关井 27.2 h 导数曲线恢复平稳,液体发生沉降气液分离结束,重力分异达到一个新的气水平衡。

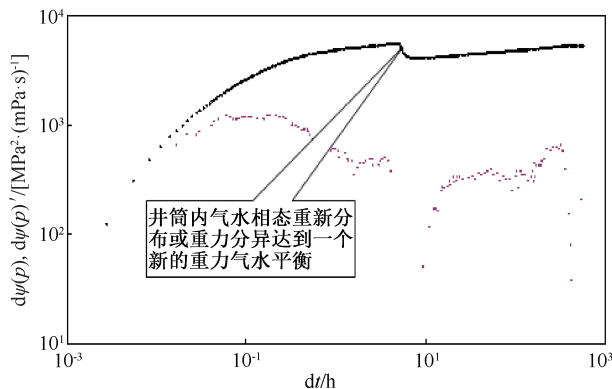


图 3 双对数分析图

Fig.3 Pressure build-up log-derivative analysis curve

从压力展开图看出(图 4),压力在 5.1 h 突然下降,后面以一定恢复速度继续上升,是由于该井

关井前产水量大,达到了 11.2 m³/d,通过静压、静温梯度分析,关井 5.1 h 时井筒内出现气水相态重新分布或重力分异。从而得出,气液界面在 1 000 m,压力计下深在气水界面以下。

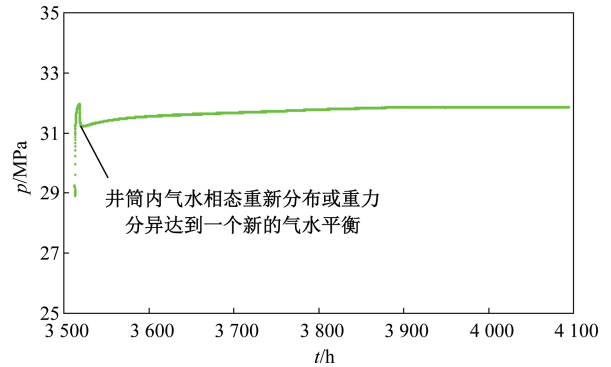


图 4 压力展开分析图
Fig.4 Pressure deployment analysis diagram

从关井压力展开曲线、双对数导数曲线、半对数曲线均显示,井筒内水的沉降、中后期又受到断层和邻井干扰影响(图 5),分析认为主要受 PF 井影响。在试井解释时,采用内边界变筒储集^[14-15]+水平井+均质气藏+一条不渗透边界和一条恒压边界(邻井干扰)模型进行分析。

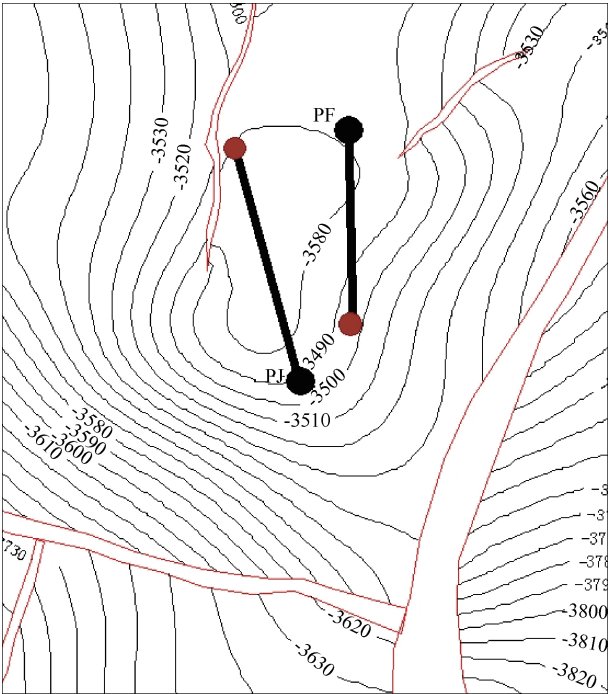


图 5 PJ 井地质构造图
Fig.5 Geological structure map of PJ Well

出水气井压力恢复试井解释与常规气井压力恢复试井解释只在模型诊断中进行甄别。前者压力恢复双对数中在关井初期,双对数和导数曲线同时开始下掉后又上升,有一个突然变化(图 3),后者

则没有这个变化双对数是一个上升趋势;在压力展开图中,前者压力在前期突然下降(图 4),后面以一定恢复速度继续上升,后者则没有突然下降,是一个上升趋势。

2.2.2 试井解释结果

通过模型诊断和图形分析^[16-18],进行现代试井理论拟合(图 6)、半对数拟合(图 7)、压力史拟合图(图 8),取得了储层参数分析成果。经过关井压力恢复解释,解释结果为地层压力 32.49 MPa(测点深度 3 005.0 m);根据压力梯度折算到气层中部地层压力为 33.7 MPa(储层中部深度 3 656.33 m)。K=12.5 mD,S=-1.08,r₁=205 m、r₂=663 m,K_z/K_r=0.000 023 7,C=1.94 m³/MPa,水平井段长度 1 089 m与井的基本情况相符。

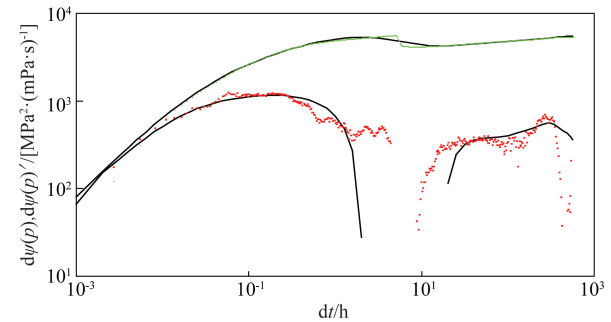


图 6 双对数曲线拟合图
Fig.6 Pressure build-up logarithmic curve fitting diagram

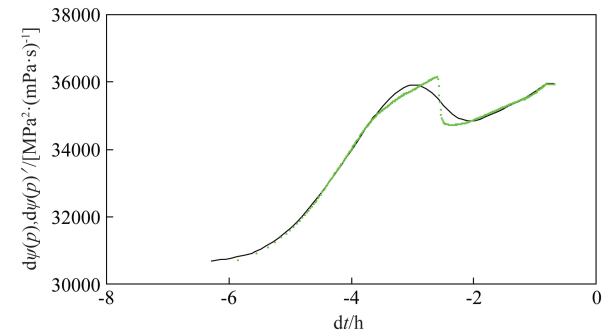


图 7 半对数曲线拟合图
Fig.7 Half logarithmic curve fitting

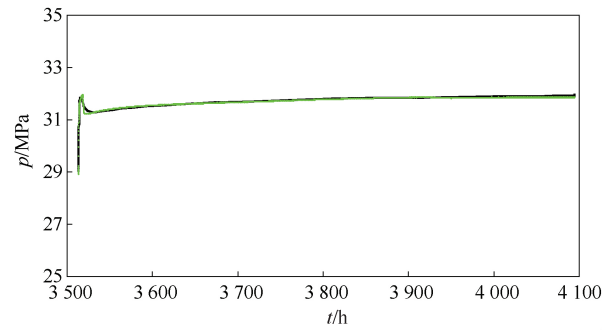


图 8 压力史曲线拟合图
Fig.8 Fitting diagram of pressure history curve

3 结论

(1) 根据试井曲线特征分析, 试井解释模型选用变井筒储集+水平井+均质气藏+一条断层和一条恒压边界(邻井干扰)模型进行分析, 解释地层压力为 33.7 MPa, 储层平均有效渗透率为 12.5 mD, 表明储层渗透性较好。

(2) 从流压梯度和静压梯度解释结果确定, 井筒内气水界面在 1 000 m。

致谢: 论文撰写过程中, 吉林油田勘探开发研究院各位领导给予了大力支持、天然气开发所高级工程师张英魁在试井解释方法上给予了指导和帮助, 在此表示感谢。

参考文献

- [1] 《试井手册》编写组. 试井手册[M]. 北京: 石油工业出版社, 1991: 126-135.
- [2] 刘能强. 实用现代试井解释方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 260-265.
- [3] 刘能强. 实用现代试井解释方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 42-47.
- [4] 《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: 123-205.
- [5] 庄惠农. 气藏动态描述和试井[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 161-205.
- [6] 张晓辉, 查文舒, 李道伦, 等. 水平井大规模压裂试井解释案例分析[J]. 油气井测试, 2017, 26(2): 23-27.
ZHANG Xiaohui, ZHA Wenshu, LI Daolun, et al. Numerical well testing case analysis for large scale fracture to horizontal well [J]. Well Testing, 2017, 26(2): 23-27.
- [7] 彭继, 游敏, 孙虎法, 等. 涩北气田水平井试井[J]. 中国石油和化工, 2014(4): 64-66.
PENG Ji, YOU Min, SUN Hufa, et al. Horizontal well testing in Sebei gas field [J]. China Petroleum and Chemical Industry, 2014(4): 64-66.
- [8] 赵志红, 魏瑞, 梁豪. 水平井分段压裂测试获取地层参数[J]. 油气井测试, 2015, 24(3): 31-34.
ZHAO Zhihong, WEI Rui, LIANG Hao. Multi-stage fracturing and test in horizontal well to acquire formation parameter [J]. Well Testing, 2015, 24(3): 31-34.
- [9] 廖作才, 熊海灵. 保护油气层技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 2012: 109-110.
- [10] 洪世铎. 油藏物理基础[M]. 北京: 石油工业出版社, 1985: 4-5.
- [11] 刘振宇, 赵春森, 殷代印. 油藏工程基础知识手册[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 75-80.

- [12] 刘鹰. 大庆深层气井不稳定试井曲线特征研究[J]. 油气井测试, 2015, 24(5): 21-24. LIU Ying. Research on unstable well test curve characteristics for the deep gas well of Daqing Oilfield [J]. Well Testing, 2015, 24(5): 21-24.
- [13] 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.
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.
- [14] 程时清, 刘斌, 李双, 等. 多段生产水平井试井解释方法[J]. 中国海上油气, 2014, 26(6): 44-50.
CHENG Shiqing, LIU Bin, LI Shuang, et al. A well test interpretation method of horizontal wells in multi-segment production [J]. China Offshore Oil and Gas, 2014, 26(6): 44-50.
- [15] 程时清, 夏位荣, 郭康良, 等. 变井筒储集效应的典型曲线特征及实例分析[J]. 油气井测试, 1992, 9(4): 11-19.
CHENG Shiqing, XIA Weirong, GUO Kangliang, et al. Typical curve characteristics and example analysis of reservoir effect in variable wellbore [J]. Well Testing, 1992, 9(4): 11-19.
- [16] 张英魁, 张兆武, 龚华立, 等. 起泵测试对试井解释中模型诊断及解释结果的影响[J]. 油气井测试, 2004, 13(3): 21-23.
ZHANG Yingkui, ZHANG Zhaowu, GONG Huali, et al. Influence of pulling pump test to the model diagnoses and the interpretation results in well testing explanation [J]. Well Testing, 2004, 13(3): 21-23.
- [17] 王建国, 张国华, 张英魁, 等. 油井稳定试井解释在吉林油田的应用[J]. 油气井测试, 2012, 21(4): 27-28.
WANG Jianguo, ZHANG Guohua, ZHANG Yingkui, et al. Application of steady well testing for oil wells in Jilin Oilfield [J]. Well Testing, 2012, 21(4): 27-28.
- [18] 张英魁. 试井技术在吉林油区发展历程及应用前景[J]. 石油科技论坛, 2011, 30(1): 15-17.
ZHANG Yingkui. Development and applications of well testing techniques in Jilin oil province [J]. Oil Forum, 2011, 30(1): 15-17.

编辑 穆立婷

第一作者简介: 孙艳波, 女, 1971 年出生, 工程师, 1995 年毕业于大庆石油学院油藏工程专业, 主要从事油气井开发研究工作。电话: 0438-6224101, 13364383182; Email: sunyanbo@petrochina.com.cn。通信地址: 吉林省松原市宁江区锦江大街 1 号, 邮政编码: 138000。