

吉林探区压力监测资料解释技术

张洪峰

中国石油集团大庆钻探工程公司试油测试公司 吉林松原 138000

通讯作者:Email:115587244@qq.com

引用:张洪峰. 吉林探区压力监测资料解释技术[J]. 油气井测试, 2019, 28(6): 73-77.

Cite: ZHANG Hongfeng. Pressure monitoring data interpretation technology in Jilin prospecting area [J]. Well Testing, 2019, 28(6): 73-77.

摘要 为准确获得产能、液性、地层参数等资料,采取压力监测资料解释技术,避免了传统试井方法生产周期长、施工费用高等问题。该技术主要基于 Blasingame 提出的产量递减分析方法,引入物质平衡时间,将变压力/变产量的关系转换为变压力/定产量的关系,利用类似试井的典型曲线拟合方法进行拟合。吉林探区 C37 井 34 号层动态监测与传统地层测试解释结果基本一致说明,压力监测解释结果可靠,符合储层真实情况,是认识地层、评价储层的手段之一。

关键词 压力监测; 试井解释; 变压力; 定产量; 物质平衡时间; 重整压力; 重整流量; Blasingame 曲线

中图分类号:TE353

文献标识码:B

DOI:10.19680/j.cnki.1004-4388.2019.06.013

Pressure monitoring data interpretation technology in Jilin prospecting area

ZHANG Hongfeng

Oil Testing Company of CNPC Daqing Drilling Engineering Company, Songyuan, Jilin 138000, China

Abstract: In order to accurately obtain the data of productivity, fluid property and formation parameters, pressure monitoring data interpretation technology is adopted to avoid the problems of long production cycle and high construction cost of traditional well testing methods. The technology is mainly based on the production decline analysis method proposed by Blasingame. The material balance time is introduced to transform the relationship between variable pressure and variable output into the relationship between variable pressure and constant output. The curve fitting method similar to well testing interpretation is used to fit the relationship. The result of dynamic monitoring of No. 34 formation in C37 well in Jilin exploration area is basically consistent with that of traditional formation testing interpretation. The result of pressure monitoring interpretation is reliable and conforms to the real situation of reservoir. It is one of the means of understanding and evaluating reservoir.

Keywords: pressure monitoring; well test interpretation; variable pressure; constant production; material balance time; reforming pressure; reforming flow rate; Blasingame curve

压力监测解释是继常规试井解释之后出现的一种地层评价方法。Blasingame 在 1993 年提出了用物质平衡时间来处理实际时间与实际产量之间的变化关系,将变产量转化为定产量进行分析^[1]。之后,姚长江^[2]利用物质平衡时间,建立圆形封闭油藏复合气藏定压生产数学模型,最终形成复合气藏 Blasingame 产量递减曲线分析方法,扩大了应用范围。通过进一步研究,陈民锋等^[3]提出考虑应力敏感影响的改进 Blasingame 产量递减分析方法,解释结果更加符合低渗、应力敏感储层的实际。孙贺东等^[4]研究了基于数值模型的气井现代产量递减分析及动态预测。此外,王建良等^[5]、郝英芝等^[6]、李波等^[7]、林加恩等^[8]对压力监测解释方法和应用

做了大量的研究。为了更好的应用于生产,本文在研究压力监测解释的同时,结合吉林探区实际情况,验证了压力监测解释的可靠性,阐述了压力监测解释失败的原因,主要是生产时间短、流压波动大等,最终对压力监测解释及现场施工提供指导及理论依据。

1 压力监测解释理论基础

Blasingame 提出“物质平衡时间”概念,利用井实际产出数据与流压数据,建立重整流量与物质平衡时间之间的函数关系^[9-10],从 Blasingame 曲线与地质资料分析井控地层的流动状态,选择合适的模型进行解释,从而获得地层参数及地层压力。

1.1 物质平衡时间方程

物质平衡时间为

$$t_c = Q(t)/q(t) \quad (1)$$

式中: t_c 为物质平衡时间, d; $Q(t)$ 为时间 t 的累计产量, m^3 ; $q(t)$ 为时间 t 的日产量, m^3/d 。

物质平衡时间的提出,使得油气井的生产动态分析可以独立于生产限制条件(如产量或压力的无规律变化等)进行。

1.2 Blasingame 曲线

重整流量定义如下:

$$PI(t) = \frac{q(t)}{p_i - p_{wf}} \quad (2)$$

式中: $PI(t)$ 为重整流量, $\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{MPa})$; p_i 为原始地层压力, MPa; p_{wf} 为流动压力, MPa。

为了改进曲线拟合的分析效果,同时对导数曲线进行分析。导数曲线虽不能真正区分流动阶段,但对模型的识别很有用处^[11-12]。在实际应用过程中,因生产数据往往波动很大,故不是对重整流量 $PI(t)$ 求导,而是将其积分后再求导,以达到消除生产数据噪音的目的^[13-14]。

重整流量积分:

$$PI_{\text{int}} = \frac{1}{t_{ca}} \int_0^{t_{ca}} PI(\tau) d\tau = \frac{1}{t_{ca}} \int_0^{t_{ca}} \frac{q(\tau)}{p_i - p_{wf}} d\tau \quad (3)$$

式中: p_i 为原始地层压力, MPa; p_{wf} 为流动压力, MPa。

重整流量积分导数:

$$PI'_{\text{int}} = \frac{\partial(PI_{\text{int}})}{\partial \ln(t_{ca})} \quad (4)$$

Blasingame 曲线即是把重整流量与物质平衡时间在双对数坐标上作图^[15-17]。当流动处于拟稳态流动阶段时,会出现斜率为-1 的直线段(图 1)。

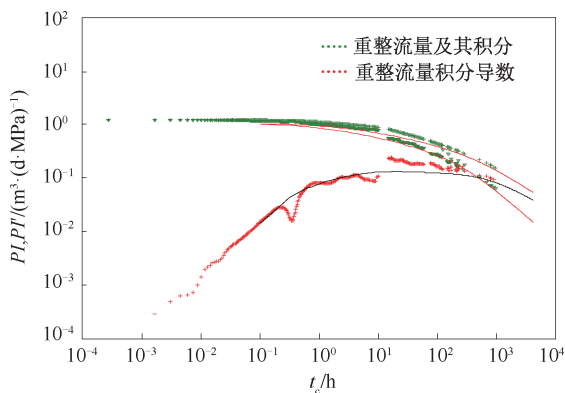


图 1 压力监测 Blasingame 曲线图

Fig.1 Blasingame curve of reforming pressure

$$p_Q = \frac{p_i - p_{wf}}{q(t)} \quad (5)$$

在重整压力双对数曲线上(图 2),边界控制流动段就会出现斜率为 1 的直线段,相当于试井解释中的拟稳定流状态。据此,可以计算获得动用的地层范围边界大小^[18-20]。进一步,再绘制重整压力导数曲线,不稳定段将会出现斜率为 0 的直线段,相当于试井解释中的径向流段。据此,可以计算获知储层流体的流量 K/μ ,从而得到渗透率 K ^[21-22]。

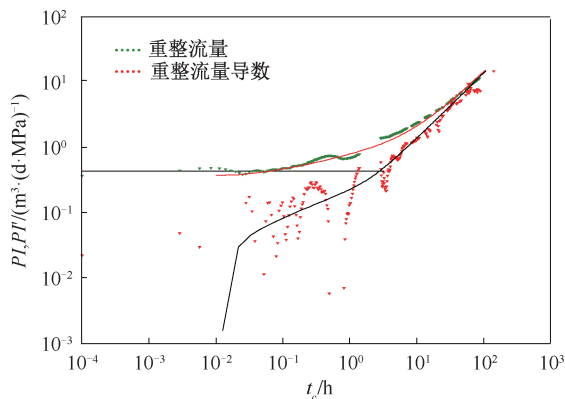


图 2 压力监测双对数拟合图

Fig.2 Logarithmic fitting diagram of reforming pressure

2.1 C37 井 34 号层

C37 井位于吉林省乾安县余字乡,该井 34 号层电测解释为油水同层。该层射孔后压裂,压裂液总液量 263 m^3 ,陶粒 40 m^3 。压裂后抽汲求产 14 d,抽汲深度 2 050 m,抽次 12 次/d,日产油 0.7 m^3 ,日产水 1.97 m^3 ,实产水 13.24 m^3 。

本层在抽汲期间进行了压力监测,并进行了压力监测解释。从双对数曲线上看(图 3),后期未出现明显斜率为 1 的直线段,但存在出现斜率为 1 直线段的趋势。

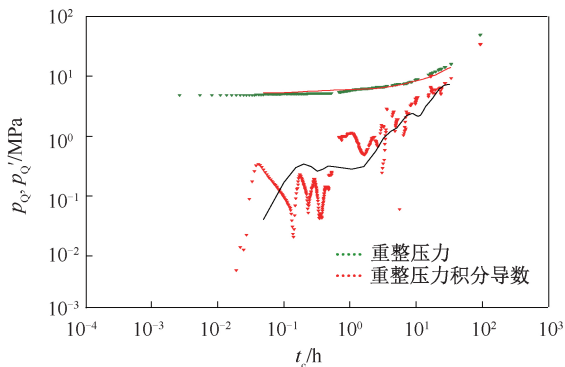


图 3 C37 井 34 号层压力监测双对数曲线拟合图

Fig.3 Bilogarithmic curve fitting diagram of reforming pressure in Layer 34 of Well C37

针对该层试油过程中的压裂情况,选择无限导流垂直裂缝模型,通过 Topaze 软件对压力、产量数

据模拟分析(图 4),得到如下参数:储层压力 31.874 MPa,水相渗透率 $0.12\times10^{-3}\text{ }\mu\text{m}^2$,裂缝半长 15.8 m,总表皮系数-3.51。

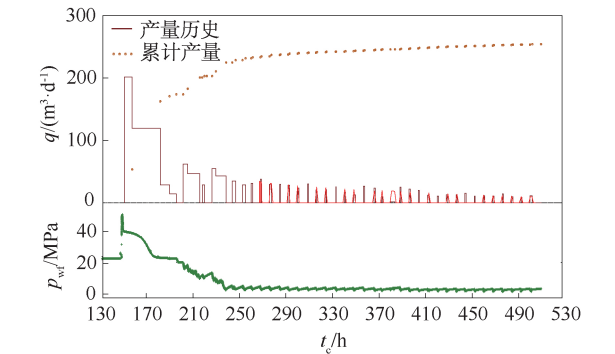


图 4 C37 井 34 号层压力监测产量、压力历史拟合图
Fig.4 Production and pressure history fitting diagram of reforming pressure in Layer 34 of Well C37

抽汲求产后进行 MFE 常规测试,一开一关工作制度。从压力恢复双对数图来看(图 5),后期出现双线性流曲线特征。结合本井实际情况,选择无限导流垂直裂缝模型进行解释。计算储层油相渗透率为 $0.1\times10^{-3}\text{ }\mu\text{m}^2$,裂缝半长 15.5 m,裂缝表皮系数 1.37,总表皮系数-3.45,模拟地层压力 28.556 MPa,调查半径 31.6 m。

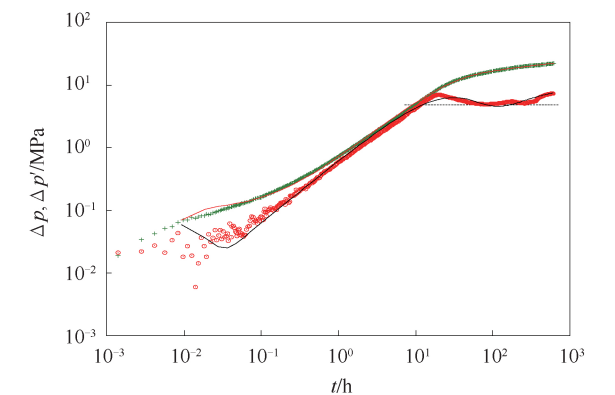


图 5 C37 井 34 号层地层测试双对数图
Fig.3 Bilogarithmic curve of testing in Layer 34 of Well C37

分析对比 C37 井 34 号层压力监测解释与测试解释结果(表 1),两者解释的相态不同,压力监测解释用总液量当作水相解释,测试解释是单用油相进行解释;压力监测解释的储层压力偏高,为 31.874 MPa,高于测试解释的 28.556 MPa,这是由于压力监测解释是全程解释,从排液到求产,此时压裂液还未排完,储层内的压力未完全平衡,井周平均压力高于储层真实压力,而测试解释是采用油相,没有考虑水相,解释的储层压力也受到储层压力未完

全平衡。解释的储层压力 28.556 MPa,也是略微偏高,压力系数 1.25。但从压力监测解释出来的水相渗透率、裂缝半长与测试解释的油相渗透率、裂缝半长对比来看,基本上是相符合的。

表 1 C37 井 34 号层压力监测与测试解释对比数据表
Table 1 Comparisons of pressure monitoring and testing interpretation in Layer 34 of Well C37

解释类型	模拟地层压力/ MPa	有效渗透率/ ($10^{-3}\text{ }\mu\text{m}^2$)	裂缝半长/ m	总表皮系数
压力监测解释(水相)	31.874	0.12	15.8	-3.51
测试解释(油相)	28.556	0.10	15.5	-3.45

2.2 Q227 井 28、25 号层

Q227 井位于吉林省前郭县新兴屯。其 28、25 号层电测解释结果为油层。该两层射孔后混压,总液量 187.44 m^3 、陶粒 24.8 m^3 。压裂后试采 63 d,试采情况见表 2。

表 2 Q227 井 28、25 号层试采数据表
Table 2 Production test data table of Layer 28 and 25 in Well Q227

日期	冲数* / (次·min ⁻¹)	日产量/(t·d ⁻¹)		动液面/ m
		油	水	
08.05~08.24	6.0	7.69	5.44	1 335
08.25~09.03	2.5	2.83	0.73	852
09.04~09.11	3.5	4.50	1.00	883
09.12~09.18	4.5	6.20	1.82	1 096
09.19~10.04	5.5	5.40	1.80	1 254

* 泵挂深度 1 400.81 m,冲程 3 m。

根据 Blasingame 曲线看(图 6),后期未出现斜率为-1 的直线段。考虑压裂井层此时流动未达到拟稳态,结合本层压裂的实际情况,解释中选用“内边界为具有井筒储集、表皮效应和垂直有限导流裂缝”模型,外边界为“均质平行边界储层”模型。

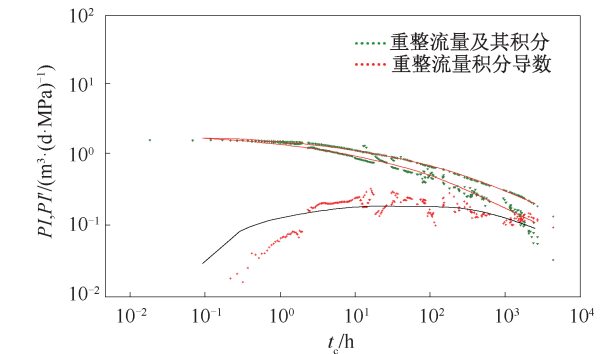


图 6 Q227 井 28、25 号层压力监测 Blasingame 曲线
Fig.6 Blasingame curve of reforming pressure for Layer 28 and 25 in Well Q227

通过 Topaze 软件对压力、产量数据模拟分析(图 7),取得了储层有关参数,即有效渗透率 $1.57\times10^{-3}\text{ }\mu\text{m}^2$,裂缝半长 69.5 m,无因次导流能力

2.969,裂缝表皮系数 0.331,总表皮系数-5.56,平行断层距离 60.1 m、71.5 m。

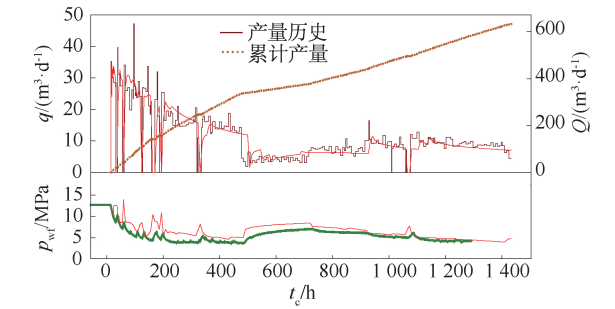


图 7 Q227 井 28、25 号层压力监测产量、压力历史拟合曲线
Fig.7 Production and pressure history fitting curve of reforming pressure in Layer 28 and 25 of Well Q227

有效渗透率 $1.57\times10^{-3}\mu\text{m}^2$,储层物性好;平行边界距离 60.1 m、71.5 m,与地质情况相符;在试采过程中,套管放气造成压力波动,对解释干扰较大;该层有溶解气,但未计量,影响解释结果;且在拟合中采用的是总液量,解释参数偏大,但有参考价值。

3 吉林探区压力监测解释情况分析

近两年来,吉林探区压力监测解释 89 层,可解释层 20 层,可解释率达 22.5%,监测解释所得地层参数符合当时储层内的真实情况。而对解释失败情况进行统计分析可以看出(表 3),生产时间短、流压不稳定是无法对压力监测数据解释的主要原因。尤其在探井试油过程中,为加快求产进度,往往进行 3~5 d 的抽汲或水力泵求产作业,短时间的压力监测导致出现无法拟合的现象,如需求取地层参数,则应适当延长求产周期;另外,抽汲或水力泵工作制度更换频率高的情况下,导致流压波动大,在双对数曲线上出现无规则离散的点,资料无法利用。施工过程中,应避免采用使井底流压剧烈波动的措施;产量计量不准确,导致拟合效果不好,应缩短产量计量周期,同时解决溶解气计量问题。

表 3 吉林探区压力监测解释失败原因统计表		
Table 3 Statistical table for failure reasons of pressure monitoring interpretation in Jilin exploration area		
解释失败原因	解释失败层数	所占比例/%
生产时间短	31	44.93
流压波动大	25	36.23
产量计量不准确	13	18.84

4 结论

(1)通过吉林探区同一层压力监测数据解释与地层测试数据解释的对比,所得的地层参数基本一

致,说明压力监测解释结果是可靠的,符合当时储层内的真实情况的。

(2)通过吉林探区压力监测数据解释失败原因分析认为,长期生产井的解释结果相对可靠。

(3)在试采过程中,有溶解气时,如能计量气产量,会使求得的参数更可靠。并建议稳定试井结束后,选择合理制度进行长时间试采,以确定储层递减规律。

(4)如果产量计量有误差,会造成解释困难,甚至无法解释。因此,建议增加产量计量精度和缩短产量计量时间间隔,尽可能使井底流压变化与产量变化相对应,提高解释精度和可解释率。

致谢:感谢大庆钻探试油测试公司同意本论文公开发表。

参考文献

[1] 夏建华. 现代油气井产能分析理论和方法研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2006.
XIA Jianhua. Art of modern productivity analysis for oil and gas field [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2006.

[2] 姚长江. 复合气藏 Blasingame 产量递减曲线分析方法研究与应用[J]. 中外能源,2015,20(7):55-58.
YAO Changjiang. Research and application of Blasingame analysis method of production decline curve for composite gas reservoirs [J]. Sino-Global Energy, 2015, 20(7): 55-58.

[3] 陈民锋,王兆琪,孙贺东,等. 考虑应力敏感影响的改进 Blasingame 产量递减分析方法[J]. 石油科学通报, 2017,2(1):53-63.
CHEN Minfeng, WANG Zhaoqi, SUN Hedong, et al. Improved Blasingame production-decline analysis method considering stress sensitivity [J]. Petroleum Science Bulletin, 2017,2(1):53-63.

[4] 孙贺东,欧阳伟平,张冕. 基于数值模型的气井现代产量递减分析及动态预测[J]. 石油学报,2017,38(10): 1194-1199.
SUN Hedong, OUYANG Weiping, ZHANG Mian. Advanced production decline analysis and performance forecasting of gas wells based on numerical model [J]. Acta Petrolei Sinica, 2017,38(10):1194-1199.

[5] 王建良,邢艳娟. 利用压力监测资料进行压裂酸化效果评价[J]. 油气井测试,2015,24(1):31-33.
WANG Jianliang, XING Yanjuan. Using pressure monitoring data to evaluate fracturing and acidizing effect [J]. Well Testing, 2015,24(1):31-33.

[6] 郝英芝,蒋凯军,郭权. 利用生产资料分析水平井流动阶段[J]. 油气井测试,2017,26(4):30-32.
HAO Yingzhi, JIANG Kaijun, GUO Quan. Using production data to analyze flow stage of horizontal well [J]. Well Testing, 2017,26(4):30-32.

- [7] 李波,姜伟华,赵梅庆. 利用生产数据获取地层压力的方法探讨[J]. 油气井测试,2012,21(5):26-28.
LI Bo, JIANG Weihua, ZHAO Meiqing. Discussions on methods of estimating formation pressure by using production data [J]. Well Testing, 2012,21(5):26-28.
- [8] 林加恩,王倩. 低渗透油藏连续监测数据分析方法研究[J]. 油气井测试,2012,21(1):1-3.
LIN Jia'en, WANG Qian. Study on analysis method of the continuous monitoring data of low-permeability reservoir [J]. Well Testing, 2012,21(1):1-3.
- [9] 钟飞翔,罗成栋,代万波,等. 长时间压力监测试井解释在海上油田的应用[J]. 断块油气田,2007,14(3):85-86.
ZHONG Feixiang, LUO Chengdong, DAI Wanbo, et al. Application of well test analysis with long pressure monitoring data in offshore oilfield [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2007,14(3):85-86.
- [10] 汪益宁,李洪,肖伟,等. 生产数据分析在哈拉哈塘油田储层评价中的应用[J]. 钻采工艺,2016,39(6):46-49.
WANG Yining, LI Hong, XIAO Wei, et al. Application of production data analysis in carbonate reservoir evaluation at Halahatang oilfield [J]. Drilling & Production Technology, 2016,39(6):46-49.
- [11] 唐圣来,姚远,王禹川,等. 对 Topaze 模块应用的认识[J]. 油气井测试,2013,22(2):20-21,24.
TANG Shenglai, YAO Yuan, WANG Yuchuan, et al. An opinion on application of Topaze software [J]. Well Testing, 2013,22(2):20-21,24.
- [12] 赵润冬,王锦昌,周瑞立,等. 大牛地气田分段压裂水平井压力恢复试井曲线特征[J]. 油气井测试,2017,26(4):22-24.
ZHAO Rundong, WANG Jinchang, ZHOU Ruili, et al. Curve characteristics of pressure build up welling test for staged fracturing to horizontal well in Daniudi gas field [J]. Well Testing, 2017,26(4):22-24.
- [13] 房立文,许峰,卢国军,等. 基于生产数据分析的潜山储集性能评价[J]. 油气井测试,2012,21(6):22-24.
FANG Liwen, XU Feng, LU Guojun, et al. Storage evaluation of buried hill type reservoir based on production analysis [J]. Well Testing, 2012,21(6):22-24.
- [14] 孙达. 油气井压力恢复试井解释关键技术[J]. 油气井测试,2018,27(6):73-77.
SUN Da. Key technologies for oil and gas well pressure buildup test interpretation [J]. Well Testing, 2018,27(6):73-77.
- [15] 孙达,夏平,张英魁,等. 坨17井生产数据动态分析与井控储量计算[J]. 油气井测试,2010,19(5):20-23.
SUN Da, XIA Ping, ZHANG Yingkui, et al. Analysis of performance and calculation of reserves controlled by the well from production data of Well Tuo17 [J]. Well Testing, 2010,19(5):20-23.
- [16] 曾桃,郑永健,李跃林,等. 溶解气驱油藏水平井生产数据分析技术研究[J]. 油气井测试,2016,25(3):23-26.
ZENG Tao, ZHENG Yongjian, LI Yuelin, et al. Production data research on dissolved gas drive reservoir of horizontal well and its technology analysis [J]. Well Testing, 2016,25(3):23-26.
- [17] 李忻洪,宋林珂. Topaze 软件应用过程中的几点认识[J]. 西部探矿工程,2010,22(12):34-35,37.
LI Xinhong, SONG Linke. Understandings in the application of Topaze software [J]. West-China Exploration Engineering, 2010,22(12):34-35,37.
- [18] 冯松,李祖友,严小勇,等. 新场沙溪庙气藏不关井确定地层压力研究[J]. 内蒙古石油化工,2015,41(21):22-26.
FENG Song, LI Zuyou, YAN Xiaoyong, et al. The determination of the method to calculate formation pressure of gas well on non-shut conditions in Xinchang gas reservoir [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2015,41(21):22-26.
- [19] 杨志浩,李治平,陈奎,等. 产能递减分析新方法及应用——以大牛地致密气藏为例[J]. 断块油气田,2015,22(4):484-487.
YANG Zhihao, LI Zhiping, CHEN Kui, et al. New method and application for deliverability decline analysis: Taking Daniudi tight gas reservoir as an example [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2015,22(4):484-487.
- [20] 赵敏,刘丽,刘巍,等. 压力监测解释实例分析[J]. 油气井测试,2011,20(2):35-37.
ZHAO Min, LIU Li, LIU Wei, et al. Interpretation of the pressure monitor and its actual example analysis case study [J]. Well Testing, 2011,20(2):35-37.
- [21] 刘青山,赵海洋,邹宁,等. Blasingame 产能分析方法在塔河油田的应用[J]. 油气井测试,2010,19(5):33-34.
LIU Qingshan, ZHAO Haiyang, ZOU Ning, et al. Application of Blasingame's deliverability analysis method in Tahe Oilfield [J]. Well Testing, 2010,19(5):33-34.
- [22] 程敏华,陆程,王军磊,等. 低渗致密气藏垂直裂缝井生产数据分析方法[J]. 新疆石油地质,2017,38(5):620-624.
CHENG Minhua, LU Cheng, WANG Junlei, et al. Methods of production data analysis for wells with vertical fractures in low-permeability tight gas reservoirs [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2017,38(5):620-624.

编辑 王军

第一作者简介:张洪峰,男,1970年出生,硕士,工程师,1996年毕业于石油大学(华东)石油工程专业,2014年获东北石油大学石油与天然气工程在职硕士学位,现主要从事试油测试技术工作。电话:0438-6293520,13943877672;Email:115587244@qq.com。通信地址:吉林省松原市宁江区大庆钻探工程公司试油测试公司,邮政编码:138000。