

黑帝庙气藏气井动态储量现代产量递减分析方法

王晓蔷

中国石油大庆油田有限责任公司勘探开发研究院 黑龙江大庆 163712

通讯作者:Email:wxq2000@petrochina.com.cn

项目支持:大庆油田有限责任公司科研项目“黑帝庙气藏精细描述及开发潜力研究”(dqp-2015-yc-ky-004)

引用:王晓蔷. 黑帝庙气藏气井动态储量现代产量递减分析方法[J]. 油气井测试,2020,29(5):68-73.

Cite: WANG Xiaoqiang. Modern production decline analysis method for evaluating dynamic reserves of gas wells in Heidimiao reservoir [J]. Well Testing, 2020,29(5):68-73.

摘要 黑帝庙浅层气藏大多数气井仅有生产动态数据而无测压资料,应用传统物质平衡法、弹性二相式法等无法评价气井动态储量。收集气藏特征、流体性质参数,产量、压力及井筒完井相关数据,剔除不合理的压力、产量数据,采用垂直管流计算公式,将井口压力折算成井底压力,诊断结果合理准确后,应用现代产量递减分析软件 RTA 评价井的可动用储量。经对 XQ7 井和 XQ15 井动态储量进行评价,评估储量范围分别为 $(1.07 \sim 1.33) \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $(0.47 \sim 0.55) \times 10^8 \text{ m}^3$,与物质平衡法和国际 SEC 准则静态法评估结果基本一致。该方法对无测压资料的气井动态储量评价具有一定的准确性,而对评价产水或存在井底积液的气井尚待研究。

关键词 黑帝庙气藏; 动态储量; 地层压力; 产量递减分析; 物质平衡法; 静态法

中图分类号:TE353 文献标识码:B DOI:10.19680/j.cnki.1004-4388.2020.05.012

Modern production decline analysis method for evaluating dynamic reserves of gas wells in Heidimiao reservoir

WANG Xiaoqiang

Research Institute of Petroleum Exploration and Development of PetroChina Daqing Oilfield Co. Ltd., Daqing, Heilongjiang 163712, China

Abstract: There are only dynamic production data other than pressure data for most of the gas wells in Heidimiao shallow gas reservoir. It is impossible to evaluate gas well dynamic reserves using traditional material balance method and elastic two-phase method. The relevant data of gas reservoir characteristics, fluid property parameters, production, pressure and wellbore completion after removing the unreasonable pressure data and production data were used to convert the wellhead pressure into bottom-hole pressure by vertical pipe flow calculation formula. After doing all this, the available reserves of a well with modern production decline analysis software RTA were evaluated. The dynamic reserves of Well XQ7 and XQ15 were evaluated, and the estimated reserves range was $(1.07 \sim 1.33) \times 10^8 \text{ m}^3$ and $(0.47 \sim 0.55) \times 10^8 \text{ m}^3$ respectively, which was basically consistent with the results of the material balance method and the static method from international SEC criterion. This method has certain accuracy for dynamic reserve evaluation of gas wells without measured pressure data, but it is still need to be studied for the evaluation of gas wells with water production or bottom-hole fluid accumulation.

Keywords: Heidimiao gas reservoir; dynamic reserves; formation pressure; production decline analysis; material balance method; static method

传统评价气井的可动用储量方法主要有物质平衡法、弹性二相式法等^[1-3],这些方法需要测试气井压力数据,耗时长、费用高,其应用受到限制^[4-7]。

现代产量递减分析方法是近年来油气藏工程的研究热点之一,是进行单井、井组动态预测的新兴技术^[8-9]。该方法以不稳定渗流理论为基础,以

Blasingame 等典型递减曲线拟合分析为代表,利用油气井的日常生产数据,首先通过产量递减特征曲线拟合获取储层参数、计算井控储量,通过全历史压力及产量拟合来降低分析结果的多解性,进而通过建立的生产动态模型进行单井或井组的动态预测。国内的很多学者进行了这方面的研究与应用。

刘晓华等^[10]针对现代产量递减分析方法进行了详细的论述,并进行了实例分析测算。孙贺东等^[11-13]、Mattar L. 等^[14]分别在矩形气藏、数值模型等多方面,对现代产量递减分析方法进行了深化和认识。牛雪等^[15]应用现代产量递减分析方法,结合Topaze 软件进行了气井动态储量评价。刘春枚^[16]提出了一种将现代产量递减分析方法用于评价储层物性的新方法。本文结合国际 SEC 准则等多种方法动静结合综合评价可动用储量规模^[17-21],使评价结果更加合理,同时也充分证明了现代产量递减分析方法评估储量的合理性。

1 现代产量递减分析方法

现代产量递减分析方法包括多种分析方法,主要有 Blasingame 分析方法、AG 分析方法、FMB 分析方法、NPI 分析方法等多种评价方法^[22]。

Blasingame 分析方法引入了物质平衡拟时间函数,使边界流阶段的递减曲线变成了一条调和递减曲线。同时该图版考虑到了产量和井底流压的变化以及气体 PVT 性质随压力的变化;通过图版拟合计算渗透率、表皮系数、地质储量等。产量积分后求导形式的应用,使导数曲线平滑便于判断。该方法的缺点是产量积分对早期数据点的误差非常敏感。

AG 分析方法利用拟压力规整化产量、物质平衡时间和不稳定试井中的无因次参数关系,建立产量递减分析图版,由于无因次定义不同,该图版曲线前期部分较 Blasingame 图版相对分散,因此降低了拟合的多解性。但是该方法对数据质量要求高,如果实际生产数据比较分散会使导数曲线失去分析的意义。

FMB 流动物质平衡分析方法是根据气井流动达到拟稳态条件下储层内压降分布特征,利用井底流压代替平均地层压力,建立关系曲线来计算气井的动态储量。该方法的优点就是不需要长时间关井测压,只需要流体流动达到拟稳态条件或者边界控制状态。

NPI 方法则是利用产量规整化压力的积分形式。该方法通过积分后建立一种比较可靠的、不受数据分散影响的分析方法。NPI 递减曲线典型图版的横坐标为物质平衡拟时间,纵坐标为产量规整化拟压力,为了辅助分析又增加了产量规整化拟压力积分和产量规整化拟压力积分求导两条曲线。

2 垂直管流计算

利用平均温度和平均压缩系数计算方法计算垂直管流,可以得到自喷气井井口压力与井底压力关系式^[23],即井底静压计算公式和井底流压计算公式:

$$p_{ws} = p_{whs} e^{0.03148 \gamma_g h / (\bar{T} \bar{Z})} \quad (1)$$

$$p_{wf} = (p_{wh}^2 e^{2s} + 1.324 \times 10^{-18} f(q_{sc} \bar{T} \bar{Z})^2 (e^{2s} - 1) / D^5)^{1/2} \quad (2)$$

式中: p_{ws} , p_{wf} 分别为井底静压和流压, MPa; p_{whs} , p_{wh} 分别为井口静压和流压, MPa; γ_g 为气体相对密度; h 为井口到气层中部深度, m; \bar{T} 为井筒内气体平均温度, K; \bar{Z} 为井筒内气体平均偏差系数; f 为地层温度和压力下摩阻系数, 小数; q_{sc} 为标准状态下气体体积流量, m^3/d ; D 为油管内径, m; s 为无因次指数。

由于偏差系数 Z 中隐含压力 p , 因此需要采用迭代法求解, 迭代法可以以整个井深为步长计算。为了提高计算的准确性, 可以将 H 分为多个节点进行计算, 井筒温度考虑沿井深线性分布, 逐步计算各井段的平均温度, 将上一个节点的 p_{ws} 作为下一个节点的 p_{whs} 值即可。

3 技术流程与思路

黑帝庙浅层气井由于投产时间较早, 气井的测压资料不全, 大多数气井仅有气井生产动态数据而无测压资料, 很难应用传统方法评价气井的动态储量。因此在评价气井动态储量中存在着较大的困难。通过气田气井的动态、静态资料, 综合对比分析动态储量评价方法, 可为评价类似区块的动态储量提供依据。

(1) 数据准备。主要收集气藏特征、流体性质参数, 产量、压力以及井筒完井相关数据等。储量性质参数主要包括孔隙度、渗透率、饱和度, 以及岩石压缩系数等; 天然气物性参数主要包括气体相对密度、偏差系数、压缩因子等; 产量数据主要包括气井产气量、产水量数据。

动态数据要求需要投产时间较长, 产量、压力数据记录完整准确。压力数据主要包括评价井的井口油压、套压, 气藏中部测压、关井测静压数据, 以及原始压力数据等; 井筒完井数据包括井深、井筒内外径数据等。

(2) 数据检查与诊断。在使用数据之前, 对数据进行检查与诊断, 剔除不合理的压力产量数据, 否则直接影响评价结果的合理性和可靠程度。具

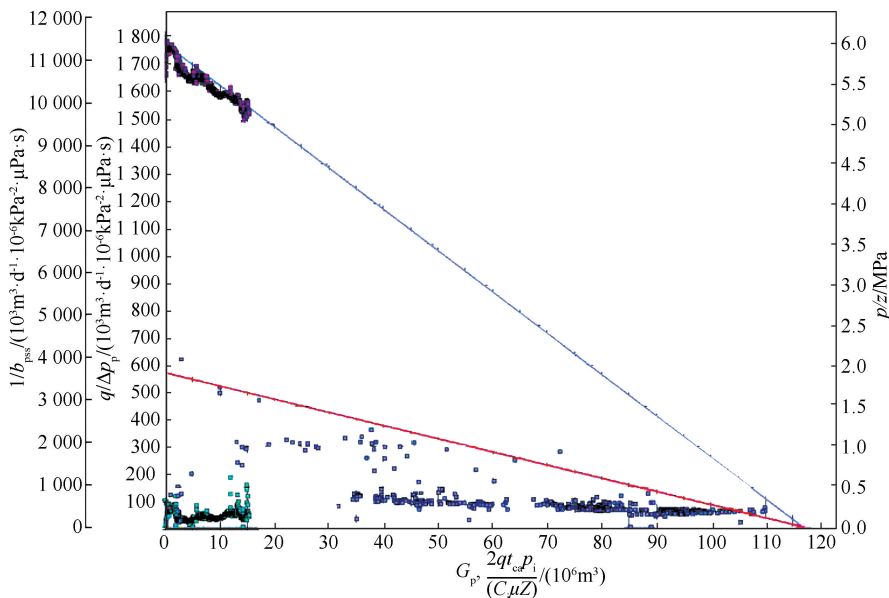


图 4 FMB 分析模型

Fig. 4 FMB analysis model

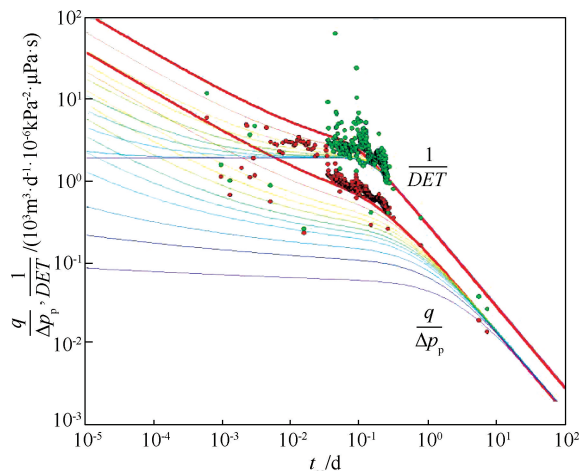


图 5 AG 分析模型

Fig. 5 AG analysis model

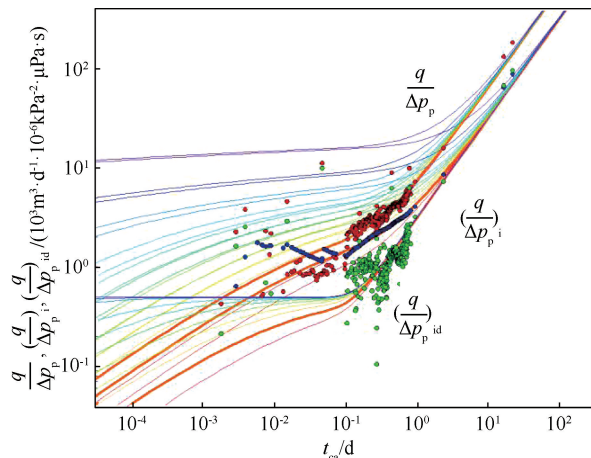


图 6 NPI 分析模型

Fig. 6 NPI analysis model

从图 3~6 可以看出, Blasgame、FMB、AG、NPI 分析模型曲线拟合效果较好, 不同方法评估动态储量评估结果基本一致。

同时,为了验证收集现代产量递减分析方法的准确性,分别采用物质平衡法和国际 SEC 准则下的静态法进行评价。

(1) 采用物质平衡法进行评估

收集气井的所有测压数据,采用物质平衡方法分别计算 XQ7 井、XQ15 井的动态储量,即根据 p/Z (视地层压力) 与各测试阶段 G_p (累积产气量) 的关系,回归一条曲线,在当纵坐标视地层压力为零时,所得储量即为物质平衡法计算的可动用储量(图 7)。

计算结果 XQ7 井可动用储量 $1.15 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、XQ15 井可动用储量 $0.47 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

(2) 采用国际 SEC 准则静态法进行评估

黑帝庙气藏油水井很多,开发井井距在 50~150 m 之间;利用过路油水井标准测井资料,建立有效厚度解释标准,解释出过路油水井有效厚度;采用井点差值方法,绘制出该区块有效厚度等值图;结合该井区成本、税费、气价等经济参数,计算该地区的经济极限有效厚度下限为 1.6 m,圈定该井的含气面积 1.97 km²,计算可动用地质储量 1.57×10⁸ m³ (表 3)。

(3) 对储量评估方法进行对比分析

应用传统的物质平衡法评价 2 口气井动态储量分别为 $1.15 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $0.47 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。该方法对于

有 3 个测压数据点的气井来说,评价结果较为可靠。
同时,应用国际上市储量评价方法中的 SEC 准则静态法评估了 2 口气井评价储量分别为 $1.57\times$

10^8 m^3 和 $0.45\times 10^8\text{ m}^3$,评价结果中充分考虑了有效厚度下限以及严谨的圈定面积方法,评估结果较为可信。

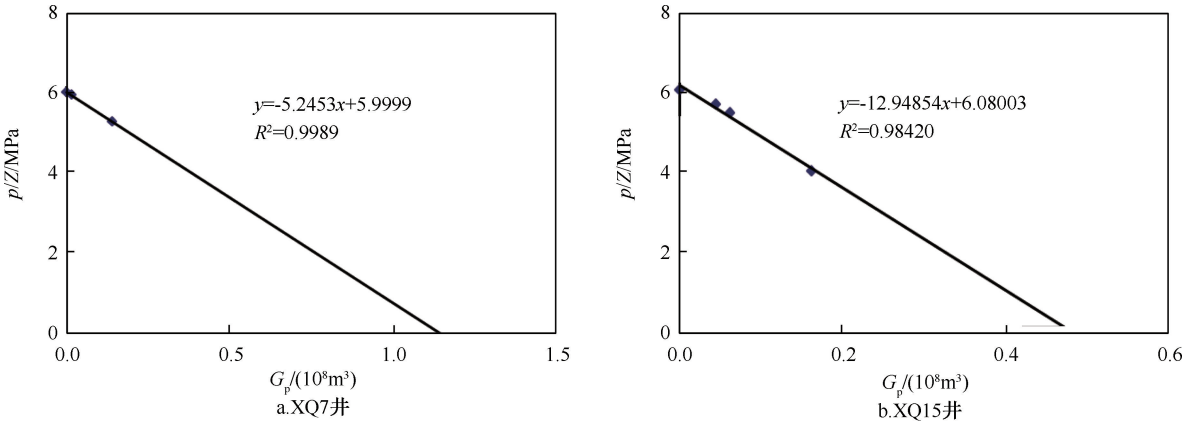


图 7 物质平衡法计算图
Fig. 7 Calculation diagram with material balance method

表 3 储量计算参数表
Table 3 Parameters for reserves calculation

井号	含气面积/ km^2	有效厚度/m	有效孔隙度/%	含气饱和度	体积系数	地质储量/ (10^8 m^3)
XQ7	1.97	6.28	31.9	0.708	0.017 84	1.57
XQ15	1.20	2.98	31.9	0.708	0.017 84	0.45

将现代产量递减分析评估结果与上述两种方法进行对比发现,XQ7 井评估储量范围为 $(1.07\sim 1.33)\times 10^8\text{ m}^3$;XQ15 井评估储量范围 $(0.47\sim 0.55)\times 10^8\text{ m}^3$,表明现代产量递减分析与前两种评价结果基本一致,分析结果可信、可靠,可以将该方法应用到无地层压力资料的气井中评价动用储量。

5 结论

(1)通过对有测压资料气井进行现代产量递减分析、物质平衡法,以及国际 SEC 准则静态法对比分析,三种方法评价的气井可动用储量基本一致,表明现代产量递减分析评价气井可动用储量具有很好的准确性。

(2)动态资料与静态资料结合,采用多种方法评价气井可动用储量,可降低动用储量评价的不确定性。

(3)本文仅对不产水气井动态储量现代产量递减分析方法进行了论证,对于产水或者存在井底积液的气井尚待进一步研究。

致谢:在论文的编写过程中,得到了天然气研究室中浅层项目组技术支持与帮助,同时也得到了科室内领导的指导,在此一并表示感谢。

参考文献

[1] 李士论. 天然气工程[M]. 北京:石油工业出版社, 2000:234-238.
[2] 杨川东. 采气工程[M]. 北京:石油工业出版社, 2001:36-41.
[3] 张枫,李静,秦建敏. 弹性二相法在油藏储量评价中的应用[J]. 油气井测试,2003,12(1):9-10.
ZHANG Feng, LI Jing, QIN Jianmin. The application of elasticity second-phase method in reservoir evaluation [J]. Well Testing, 2003,12(1):9-10.
[4] 陈元千. 油气藏工程实用方法[M]. 北京:石油工业出版社,1999:442-453.
[5] 王俊魁,万军,高树棠. 油气藏工程方法研究与应用[M]. 北京:石油工业出版社,1998:85-100.
[6] 高维衣,郝建中,陈红玲,等. 井底压力的计算方法[J]. 油气井测试,2002,11(6):42-43.
GAO Weiye, HAO Jianzhong, CHEN Hongling, et al. A calculation method to the reasonable bottom hole pressure [J]. Well Testing, 2002,11(6):42-43.
[7] 向蜀东. 平均压力的评价方法[J]. 油气井测试,2014, 23(5):33-35.
XIANG Shudong. Evaluation of average pressure [J]. Well Testing, 2014,23(5):33-35.
[8] 孙贺东. 油气井现代产量递减分析方法及应用[M]. 北京:石油工业出版社,2013:62-100.
[9] 刘宝华,杨东. 现代产量递减分析方法求取安达凹陷试采气井储层参数[J]. 油气井测试,2019,28(6):59-65.

- LIU Baohua, YANG Dong. Using modern production decline analysis to obtain the gas well reservoir properties in Anda sag [J]. Well Testing, 2019, 28(6):59-65.
- [10] 刘晓华, 邹春梅, 姜艳东, 等. 现代产量递减分析基本原理与应用[J]. 天然气工业, 2010, 30(5):50-54.
- LIU Xiaohua, ZOU Chunmei, JIANG Yandong, et al. Theory and application of modern production decline analysis [J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(5):50-54.
- [11] 孙贺东. 具有补给的气藏物质平衡方程及动态预测[J]. 石油学报, 2011, 32(4):683-686.
- SUN Hedong. A balance equation of gas materials with recharge capacity and their performance prediction [J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(4):683-686.
- [12] 孙贺东, 毛小平, 康博. 矩形气藏的产量递减规律及动态预测方法[J]. 天然气工业, 2011, 31(7):40-42.
- SUN Hedong, MAO Xiaoping, KANG Bo. Dynamic production performance prediction and decline laws of rectangular gas reservoirs [J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(7):40-42.
- [13] 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.
- [14] MATTAR L, ANDERSON D M. A systematic and comprehensive methodology for advanced analysis of production data [C]. SPE 84472, 2003.
- [15] 牛雪, 张辉, 吴旭东, 等. 井口压力 Topaze 生产分析技术在 DF1-1 气田的应用[J]. 油气井测试, 2015, 24(1):38-40.
- NIU Xue, ZHANG Hui, WU Xudong, et al. Application of well-head pressure testing technology for DF1-1 gas field [J]. Well Testing, 2015, 24(1):38-40.
- [16] 刘春枚. 一种评价气井储层物性及边界特征的新方法[J]. 油气井测试, 2017, 26(6):34-36.
- LIU Chunmei. A new method for evaluating the properties and boundary characteristics of gas wells [J]. Well Testing, 2017, 26(6):34-36.
- [17] 王永祥, 段晓文, 徐小林, 等. SEC 准则油气证实储量判别标准与评估方法[J]. 石油学报, 2016, 37(9):1137-1144.
- WANG Yongxiang, DUAN Xiaowen, XU Xiaolin, et al. Determination criterion and the estimation methods for the proved reserves under the US. SEC regulation [J]. Acta Petrolei Sinica, 2016, 37(9):1137-1144.
- [18] 韩永新. 低渗致密气藏气井动态分析研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2006.
- HAN Yongxin. Dynamic analysis of gas wells in tight gas reservoirs with low permeability [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2006.
- [19] 卢晓敏, 何晓东. 气藏动态预测物质平衡法研究[J]. 天然气勘探与开发, 1999, 22(3):29-39.
- LU Xiaomin, HE Xiaodong. Research on gas balance dynamic prediction method [J]. Natural Gas Exploration and Development, 1999, 22(3):29-39.
- [20] 邹春梅, 刘晓华, 刘华林, 等. 非均质高压气藏动态储量评价方法[J]. 天然气勘探与开发, 2017, 40(3):84-89.
- ZOU Chunmei, LIU Xiaohua, LIU Hualin, et al. A new method for evaluating the dynamic reserves of high-pressure heterogeneous gas reservoirs [J]. Natural Gas Exploration and Development, 2017, 40(3):84-89.
- [21] 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.
- [22] 刘能强. 实用现代试井解释方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008:157-166.
- [23] 孙贺东, 朱忠谦, 施英, 等. 现代产量递减分析 Blasingame 图版制作之纠错[J]. 天然气工业, 2015, 35(10):71-77.
- SUN Hedong, ZHU Zhongqian, SHI Ying, et al. A note on the Blasingame type curve plotting of production decline analysis [J]. Natural Gas Industry, 2015, 35(10):71-77.

编辑 刘振庆

第一作者简介:王晓蕾,女,1985年7月出生,工程师,2007年毕业于中国石油大学(华东)信息与计算科学专业,主要从事气藏工程及储气库评价工作。电话:0459-5508887, 15845930716; Email: wxq2000@petrochina.com.cn。通信地址:黑龙江省大庆市让胡路区科学路13号大庆油田勘探开发研究院天然气研究室,邮政编码:163712。