

井口产量不当调节对气藏产能预测影响的研究

刘华¹ 李相方¹ 张益^{1,2} 王洋³

(1. 中国石油大学石油工程教育部重点实验室 2. 西安石油大学石油工程学院 3. 中国石油辽河油田锦州采油厂)

刘华等. 井口产量不当调节对气藏产能预测影响的研究. 天然气工业, 2007, 27(2): 95-97.

摘要 气藏产能试井要求每一工作制度下的压力和产气量都必须保持恒定, 在实际试井过程有时通过频繁地调节针型阀来保持工作制度的稳定, 同时在试井解释过程中也常在其他参数不变的情况下, 将变化的产气量或压力值仅进行简单平均后就直接带入方程进行计算, 这些都会导致试井解释结果不准确, 给气藏的合理配产及开发带来不利影响。基于气藏产能试井模型, 阐述了二项式产能方程的适用条件, 从机理上分析了频繁调节针型阀和仅将产气量和压力值进行简单平均对产能预测所造成的影响, 并通过实例进行验证。结果表明: 对产气量仅进行简单平均后就直接带入方程将改变二项式产能方程的系数, 其系数 B 随计算所用产气量值的减小而增大, 计算得到的无阻流量值随计算所用产气量数据的增加而增加, 产气量增加 1%, 无阻流量增加约 1.5%; 对压力进行简单平均后带入方程有可能使二项式特征曲线出现异常。

关键词 气藏 生产能力 不稳定试井 产量 预测 影响

一、引言

气藏产能试井都要求每一工作制度下的压力和产气量保持稳定, 但由于工作制度设计不合理和储层物性等多方面的原因, 试井过程中的工作制度不易保持稳定。目前国内在一些关键地区关键井的测试时, 常在出气阀门后面安装针型阀调控通过的气量, 并在井口安装流量计加以调配, 将产气量和压力的变化控制在一定范围内即认为产气量和压力是稳定的^[1-3]。但在实际操作过程中, 有时候这种调节超过了范围或过于频繁; 同时在试井解释时, 将产气量或压力的变化仅进行简单平均后就作为产气量或压力值直接带入方程进行计算, 这都会导致试井解释结果不准确, 给后期的产能建设和气田开发带来不利影响, 降低气田的开发效果和经济效益。为此, 从产能方程的适用条件上展开分析并举例进行验证。

二、模型及其适用条件

1. 气井产能试井模型

众所周知, 常用的气井产能试井模型为^[1]:

$$q_{sc} = \frac{774.6Kh(p_e^2 - p_{wf}^2)}{T\mu Z \left(\ln \frac{0.472r_e}{r_w} + S + Dq_{sc} \right)} \quad (1)$$

式中: q_{sc} 为标准状态下的产气量, m^3/d ; K 为渗透

率, $10^{-3} \mu m^2$; μ 为气体黏度, $mPa \cdot s$; Z 为气体平均偏差系数; T 为气层平均温度, K ; h 为气层有效厚度, m ; r_w 为井底半径, m ; r_e 为气井的供气半径, m ; p_e 为地层压力, MPa ; p_{wf} 为井底流压, MPa ; D 为惯性系数; S 为表皮系数。

方程的假设条件是水平、均质、等厚的圆形气层中心的一口井, 气体径向流入井底。此方程是拟稳定状态气井产能公式的常用表达形式, 常用于处理产能试井资料^[1-3]。

2. 产能试井方程适用条件

产能方程的适用条件是气井流动进入拟稳态^[1]。从方程式(1)可以看出, 在地层压力及其他参数不变的情况下, 一个井底流压对应一个产气量, 即井底流压和产气量是一一对应的关系, 在试井解释过程中就是根据这种对应关系来建立产能方程。

在产能试井过程中, 为了保持工作制度的稳定, 常通过针型阀来调节产气量^[2], 将产气量和压力变化控制在一定范围内即认为产气量和压力是稳定的, 这种调节按照行业标准在一定范围内是可以的^[4-6], 但如果过于频繁地调节针型阀, 产量的变化必然引起压力变化, 会对气体在井筒和地层中的流动造成影响, 使压力不能保持稳定, 达不到产能方程所要求的拟稳态; 同时压力变化会使气藏的一些物

作者简介: 刘华, 1972年生, 讲师, 博士研究生, 现从事油气田开发方面研究工作。地址: (102249) 北京市昌平区中国石油大学 251 信箱。电话: (010) 89734340。E-mail: liuhua_xapu@163.com

性参数也随之发生变化,如气体平均偏差系数、非达西程度和表皮系数等,但在实际计算过程中这些参数都被认为是常数,这显然存在一定的误差。因此通过频繁调节针型阀来保持产气量稳定会导致计算结果不准确。

在产能试井过程中,每一工作制度下一个井底流压对应一个产气量,在分析过程中应将实际对应的压力和产气量值代入方程进行分析^[3-7]。从方程式(1)可以看出,如果对产量进行平均而流压不变,会导致方程中压力与产量不对应,也就是说在该压力下的实际产气量值不是所带入的产气量值,这样计算出来的结果肯定存在偏差;如果对流压进行平均而产量不变,也会导致方程中压力与产量不对应,同时由于流体黏度、气体偏差系数和气体等温压缩系数等参数都是压力的函数,对于应力敏感气藏,渗透率与压力还呈指数式函数关系,而在实际计算过程中这些参数却被看成常数,这样会导致方程中的很多参数失真(与实际不吻合)而使计算结果很不准确;如果将产量和流压都进行平均也会导致同样的结果。

三、试气过程中不适当调节产气量对产能预测的影响

1. 对二项式产能方程的影响

为了进一步说明不适当调节产气量对产能试井分析及解释的影响,现举例予以说明。某气井产能试井基础数据见表1。

表1 某气井产能试井基础数据表

序号	$Q(10^4 \text{ m}^3)$	$p^2 (\text{MPa}^2)$
1	16.0	1395.7696
2	24.0	1391.8122
3	32	1386.3708
4	40.80	1378.7854

注:地层压力的平方值为1399.76 MPa²。

图1是在表1产能试井基础数据上对产气量作相应调整后的二项式特征曲线。在实测基础上,将产气量分别减小2%、3%和增加1%、3%、5%,而井底压力值不变,同时与实际的产气量数据进行对比就得到图2所示的产能曲线。从图中可以看出,每一工作制度下的4个测试点都具有较好的线性关系,但几条直线均不重合。产气量减小3%所得直线位于最上方,产气量增加5%所得直线位于最下方,

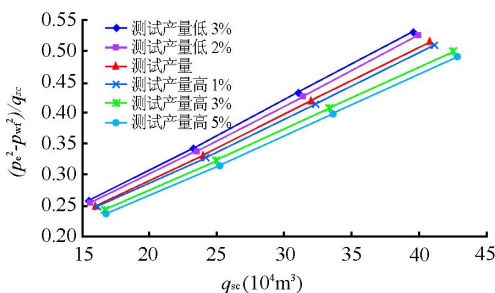


图1 产气量变化情况下的二项式曲线图

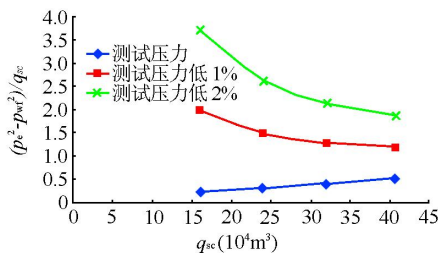


图2 井底压力变化情况下的二项式曲线图

即产气量值越小,直线位于实际数据线的上方并越偏离实际数据线,其直线斜率,也就是二项式系数 B 越大;产气量值越大,直线位于实际数据线的下方并越偏离实际数据线,即二项式系数 B 越小。也就是说,在产能试井过程中通过针型阀频繁调整产量或将产气量取平均值都会不同程度给试井解释带来误差。

图2是在表1产能试井基础数据上对井底压力数据作相应调整后的二项式特征曲线。在实际数据基础上,将压力数据分别减小1%、2%(井底压力数据不能增加,否则将超过地层压力),而产气量不变,可以得到产能曲线。从图中可以看出,根据实际数据得到一条线性关系较好的直线,而将压力数据减小1%、2%情况下得到的二项式特征曲线出现异常(斜率为负值),在试井解释中不能使用。

2. 对二项式产能方程系数和无阻流量的影响

为了进一步表明这种调节和简单平均对产能试井的影响程度,将上述不同工作制度定义为不同的测试模式,进一步分析其对二项式产能方程系数 A 、 B 和无阻流量的影响。表2为不同产气量测试模式对应表。

表2 不同测试模式对应表

模式序号	产气量值	模式序号	产气量值
1	产气量减小3%	4	产气量增加1%
2	产气量减小2%	5	产气量增加3%
3	实际产气量值	6	产气量增加5%

图 3-a 为不同测试模式下得到的二项式产能方程系数 A 、 B 关系曲线。系数 A 、 B 值是对图 2 的直线进行线性回归所得。从图中可以看出,随着产气量数据的增加,系数 A 、 B 不断减小。图 3-b 为不同测试模式下用二项式产能方程计算得到的无阻流量与测试模式关系曲线,计算无阻流量过程中运用图 2 中的系数 A 、 B 值。从图中可以看出,随着产气量数据的增加,无阻流量不断增加。通过计算得出:产气量增加 1%,无阻流量大致增加 1.5%。

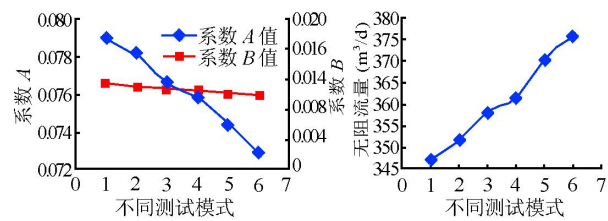


图 3 不同测试模式下系数 A 、 B 和无阻流量关系曲线图

从上面的分析和计算可以看出,试井过程中在其他参数不变情况下,将变化的产气量或压力仅进行简单处理就直接带入方程进行计算,会导致最终试井解释结果不准确。

四、结 论

(1)目前的产能方程是建立在稳定条件下,产能试井过程中不适当调节井口产气量和对产气量或压力的变化仅进行简单平均后就进行计算,这会给产能分析带来误差。

(2)如果计算所用的产气量值与实际值不一致,所得二项式特征曲线与实际曲线不吻合。计算所用产气量值越小,二项式系数 B 越大;反之亦然。

(3)随着计算所用产气量数据的增加,计算得到的无阻流量不断增加。产气量增加 1%,无阻流量增加约 1.5%。

(4)对压力进行简单平均后带入方程很可能造成二项式特征曲线异常。

参 考 文 献

[1] 李士伦.天然气工程[M].北京:石油工业出版社,2000:117-152.

[2] 庄惠农.气藏动态描述和试井[M].北京:石油工业出版社,2004:52-97.

[3] R V 史密斯.实用天然气工程[M].北京:石油工业出版社,1989:107-125.

[4] 李相方,隋秀香,等.高温高压气井测试合理工作制度设计理论与方法[J].中国海上油气:工程,2003,15(5):30-32.

[5] 郝玉鸿,王方元.地层压力下降对气井产能方程及无阻流量的影响分析[J].天然气工业,2000,20(1):71-74.

[6] 李晓平,李允.气井产能分析新方法[J].天然气工业,2004,24(2):76-78.

[7] 廖代勇,边芳霞,林平.气井产能分析的发展研究[J].天然气工业,2006,26(2):100-101.

(修改回稿日期 2006-10-16 编辑 韩晓渝)