

某超高压气田气井生产动态异常数据 诊断和分析

刘晓华^{1,2}

1. 中国地质大学能源学院, 北京 100083
2. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北廊坊 065007

摘要 某超高压气田受井况影响, 气井在投产一段时间后出现流压下降速度快、流压变化趋势与产量不匹配等生产曲线严重失真现象, 影响了对气井真实动态特征的认识。这种异常生产曲线, 如何去伪存真并还原气井的真实生产动态是该气田动态分析中首先要解决的问题。建立了从异常生产曲线诊断筛选—正常数据跟踪分析解释—解释结果可靠性验证的一整套异常曲线分析方法。首先根据现代产量递减分析基本原理和超高压气藏 PVT 特征, 建立了简化的超高压气井标准流动特征曲线, 依据标准特征曲线对气井生产曲线异常数据点进行甄别与剔除, 筛选出正常生产数据点; 然后对正常数据点进行分析解释确定气井的储渗参数, 在此基础上建立单井动态模型对生产历史进行跟踪修正; 最后依据连通气藏特征建立了解释结果可靠性验证方法。实现了异常生产曲线的去伪存真和气井真实生产动态的还原。

关键词 动态异常; 数据诊断; 现代产量; 气藏; 超高压气田

中图分类号 TE33*2

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.13.004

Diagnosis and Analysis of Well's Abnormal Performance Data in an Over-pressured Gas Field

LIU Xiaohua^{1,2}

1. Energy Resources Institute, China University of Geosciences, Beijing 100083, China
2. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development-Langfang, Langfang 065007, Hebei Province, China

Abstract Due to the blocking of the screen section at the bottom of the tubing, the observed bottom-hole flowing pressure in the production wells of an over-pressured gas field might show an unexpected sudden drop, frequent fluctuations and some inconsistent changes with the flow rates, to mask the true behavior of the production wells. With the universal, everlasting poor quality of the flowing data, the identification of the abnormal data and the restoration of the true behavior are crucial in the well performance analysis. This paper proposes a simplified data diagnosis method based on the theory of the advanced production decline analysis and the PVT property of the over-pressed gas reservoir, to process the well production history data and to identify and filter the abnormal data. Then, the processed production data are analyzed through the type-curve matching to calculate the well and reservoir parameters, including the skin, the permeability, and the initial gas in the place. Based on these parameters, single well analytical models are built to generate the well true production history. In the end, the generated well production history is verified.

Keywords abnormal performance; production data diagnosis; modern production; gas reservoir; over-pressured gas reservoir

0 引言

中国西部某超高压气田, 储层埋深约 5000m, 原始地层压力 105MPa。该气田的气井投产一段时间后, 由于油管底部筛管堵塞, 增加了流动阻力, 导致计量的流动压力下降速度

快, 出现流压突降、压力与产量变化趋势不匹配等持续异常现象(图 1)。这种普遍存在的异常现象严重影响了对气井实际生产压差、井底流压变化趋势等生产动态的认识, 在没有采取有效的工艺措施之前, 气井很难监测到正常的生产曲

收稿日期: 2012-11-07; 修回日期: 2013-01-31

作者简介: 刘晓华, 高级工程师, 研究方向为气田开发, 电子信箱: lxh69@petrochina.com.cn

线。针对生产数据严重失真的普遍现象,如何对生产曲线进行真伪识别并还原气井的真实生产动态,是超高压气田开发研究中首先要解决的问题。

针对异常生产曲线的诊断与识别,Palacio 和 Blasingame 等在现代产量递减分析中建立了气井标准特征曲线,描述了气井生产过程中,没有进行调层、补孔、储层改造、外来能量补充等生产措施情况下,产量(拟压力规整化产量)随时间(物质平衡等效时间)的变化规律,并建立了相应异常生产曲线诊断图版,用于识别气井生产条件的变化和计量误差等,为异常生产数据的识别与筛选提供了依据^[1-4]。但该标准特征曲线图版的参数计算过程复杂,涉及相互迭代等,不利于日常分析计算。此外,由于该气田存在持续的、大量生产数据失真等情况,筛选后正常数据点分析结果可靠性如何进行检验,也是一个值得研究的问题。因此,需要针对该超高压气田特点建立一整套异常生产曲线诊断筛选—正常数据跟踪分析解释—解释结果可靠性验证的方法。

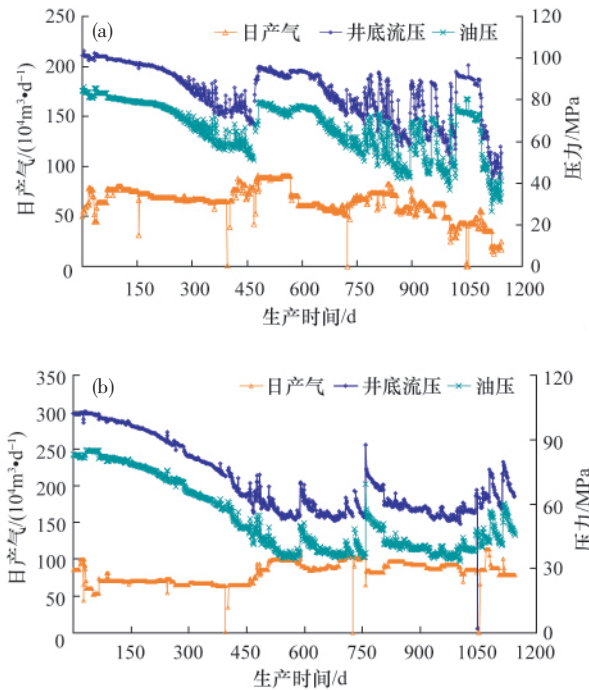


图 1 某超高压气田 G-5 井(a)和 G-6 井(b)生产动态曲线
Fig. 1 Well G-5 (a) and Well G-6 (b) production profiles in an over-pressured gas reservoir

1 异常生产动态数据识别与筛选

1.1 气井流动特征图版和诊断图版

1944 年,Arps^[5]在经验基础上,提出油气井产量的 3 种递减规律,即指数递减、调和递减、双曲递减。这 3 种递减规律描述了在定井底流压生产条件下,油气井产量随时间的变化规律。在后来的现代产量递减分析中,为了能够用 Arps 的递减规律描述不同流体类型(液体/气体)生产井在不同生产条

件(变产量/变井底流压)下的动态规律,对“产量”和“时间”的表示形式进行了相应的变化^[6,7]。针对气井,Palacio 和 Blasingame^[8]采用拟压力规整化产量 $q_g/\Delta p_p$ 和物质平衡拟时间 t_{ca} 分别代替气井实际产量 q_g 和实际生产时间 t 。

拟压力规整化产量 $q_g/\Delta p_p$ 的表达式为

$$\frac{q_g}{\Delta p_p} = \frac{q_g}{p_{pi} - p_{pmf}} \quad (1)$$

$$\text{其中, } p_{pi} = \left(\frac{\mu_g z_i}{p_i} \right) \int_0^{p_i} \frac{p}{\mu_g z} dp, p_{pmf} = \left(\frac{\mu_g z_i}{p_i} \right) \int_0^{p_{pmf}} \frac{p}{\mu_g z} dp。$$

物质平衡拟时间 t_{ca} 表达式为

$$t_{ca} = \frac{\mu_{gi} c_{ti}}{q_g} \int_0^t \frac{q_g}{\mu_g \bar{c}_i} dt \quad (2)$$

以规整化拟压力和物质平衡拟时间建立的气井的物质平衡方程和流动方程分别为^[8,9]

$$p_{pi} - \bar{p}_p = \frac{1}{G c_{ti}} q_g t_{ca} \quad (3)$$

$$\bar{p}_p - p_{pmf} = 10.683 \frac{\mu_{gi} B_{gi}}{kh} \left[\frac{1}{2} \ln \left(\frac{4}{e^\gamma} \frac{A}{C_A r_w^2} \right) \right] q_g \quad (4)$$

合并式(3)和式(4),得

$$\Delta p_p = p_{pi} - p_{pmf} = \frac{1}{G c_{ti}} q_g t_{ca} + 10.683 \frac{\mu_{gi} B_{gi}}{kh} \left[\frac{1}{2} \ln \left(\frac{4}{e^\gamma} \frac{A}{C_A r_w^2} \right) \right] q_g \quad (5)$$

其中, q_g 为日产气量, $10^3 \text{ m}^3/\text{d}$; p_i, p, p_{pmf} 分别为原始地层压力、平均地层压力和井底流压, kPa ; $p_{pi}, \bar{p}_p, p_{pmf}$ 分别为以规整化拟压力形式表示的原始地层压力、平均地层压力和井底流压, kPa ; Δp_p 为以规整化拟压力形式表示原始地层压力与井底流压之差, kPa ; $\mu_{gi}, \bar{\mu}_g, \mu_g$ 分别为原始地层压力、平均地层压力和任一地层压力下的气体黏度, $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$; B_{gi} 为原始地层条件下的气体体积系数, m^3/m^3 ; z_i, z 分别为原始地层压力和平均地层压力条件下的天然气压缩因子; t, t_{ca} 分别为时间和物质平衡拟时间, d ; c_{ti}, \bar{c}_i 分别为原始地层压力和平均地层压力条件下的总体压缩系数, kPa^{-1} ; G 为井控储量, 10^6 m^3 ; A 为井控面积, m^2 ; k 为储层渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$; h 为储层有效厚度, m ; γ 为欧拉常数, 0.577216 ; C_A 为形状因子; r_w 为井筒半径, m 。

式(5)是现代产量递减分析中最主要的流动方程。其物理意义是:气井达到拟稳定流动状态后,总压降(从原始地层压力到井底流压)由两部分组成,一部分是衰竭开采形成的压降 $\frac{1}{G c_{ti}} q_g t_{ca}$, 另一部分是气体从地层流向井底过程中的压

力损失 $10.683 \frac{\mu_{gi} B_{gi}}{kh} \left[\frac{1}{2} \ln \left(\frac{4}{e^\gamma} \frac{A}{C_A r_w^2} \right) \right] q_g$ 。

令 $b_{pss} = 10.683 \frac{\mu_{gi} B_{gi}}{kh} \left[\frac{1}{2} \ln \left(\frac{4}{e^\gamma} \frac{A}{C_A r_w^2} \right) \right], m_a = \frac{1}{G c_{ti}}$, 式(5)可进一步变为以下两种形式

$$\frac{q_g}{\Delta p_p} - b_{pss} = \frac{1}{1 + \left(\frac{m_a}{b_{pss}} \right) t_{ca}} \quad (6)$$

$$\frac{q_g}{\Delta p_p} = - \frac{q_g t_{ca}}{\Delta p_p} \cdot \frac{1}{b_{pss} G c_{ti}} + \frac{1}{b_{pss}} \quad (7)$$

气井生产过程中,没有进行调层、补孔、储层改造、外来能量补充等情况下, m_a 和 b_{ps} 为常数,由式(6)和式(7)可知,在对数坐标中拟压力规整化产量 $q_g/\Delta p_p$ 与物质平衡时间 t_{ca} 关系为单调递减曲线,在拟稳定流动段符合 Arps 调和递减规律(图 2(a));在直角坐标中拟压力规整化产量 $q_g/\Delta p_p$ 与拟压力规整化累产 $q_g t_{ca}/\Delta p_p$ 是一条单调递减的曲线,在拟稳定流动段这条曲线的斜率不变(图 2(b))。

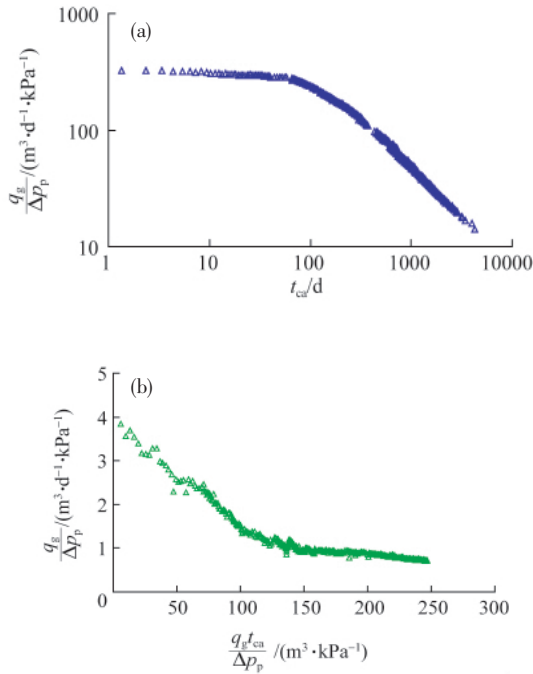
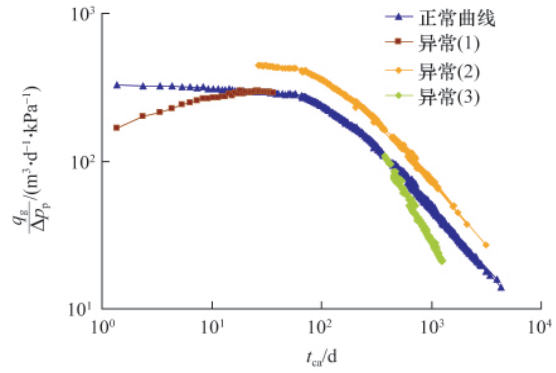


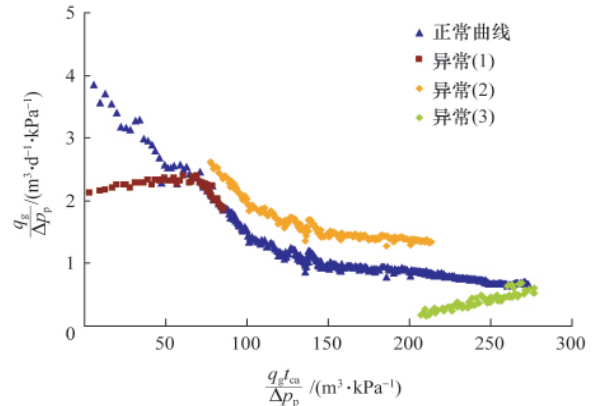
图 2 气井标准流动特征曲线
Fig. 2 Gas well rate decline type-curve

图 2 实际给出了在流动条件不发生变化情况下,气井产量、流动压力和采出程度之间的匹配关系。根据图 2 可以判断气井流动状态的变化、外来能量补充及计量误差等。常出现的异常情况有以下 3 种^[10-12](图 3):(1) 前期不稳定流动阶段曲线表现为上升趋势,说明井底流压下降趋势变缓,代表清井过程或井底流压折算偏高;(2) 如果出现两条不同的递减曲线,说明储层流动发生改变,如修井、补孔或是压力计量位置发生改变;(3) 在拟稳定流动阶段曲线斜率发生变化(变陡),说明井底流压下降趋势加快,主要原因有井间干扰、气井水侵(水体未提供驱动能量,储层发生水侵后,气相流动能力降低)、流动压力计量偏低等。

上述标准图版为气井流动特征的识别提供了依据。但标准特征曲线图版的参数计算过程复杂,尤其是物质平衡拟时间函数 t_{ca} 的计算,该参数与某一时刻的平均地层压力有关,即与井控储量有关,一般在分析过程中以隐式迭代的形式同时计算井控储量和物质平衡拟时间。在该气田存在大量生产数据失真的情况下,很难得到可靠的、一致的物质平衡拟时间函数。



(a) 归整化产量与物质平衡时间关系
(a) Diagnostic plot of normalized rate vs material balance time



(b) 归整化产量与拟压力归整化累产关系
(b) Diagnostic plot of normalized rate vs normalized cumulative production

图 3 气井异常动态特征诊断图版

Fig. 3 Diagnostic plots for abnormal well behaviors

1.2 超高压气井流动特征图版的简化

根据该超高压气田气体的 PVT 性质,在高压阶段(地层压力 $p > 60\text{MPa}$),拟压力 $m(p)$ 与压力 p 、 p/z 成近似直线关系(图 4、图 5),即

$$m(p) = a_1 p - b_1 \quad (8)$$

$$m(p) = a_2 p/z - b_2 \quad (9)$$

其中, a_1, a_2, b_1, b_2 为常数。

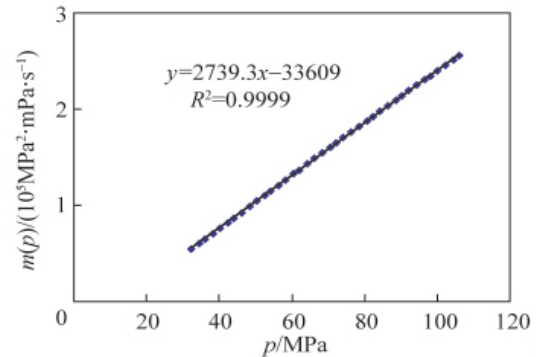


图 4 某超高压气藏拟压力 $m(p)$ 与 p 关系
Fig. 4 $m(p)$ vs p plot for gas reservoir

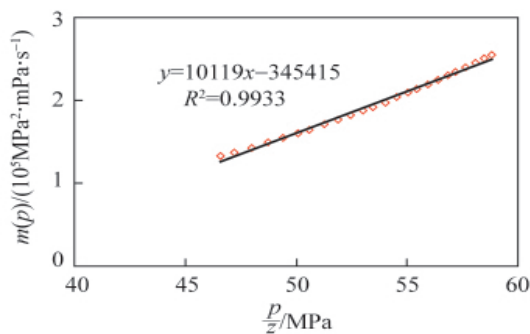


图5 某超高压气藏拟压力 $m(p)$ 与 p/z 关系
Fig. 5 $m(p)$ vs p/z plot for gas reservoir

由式(1)和式(8)可得

$$\frac{q_g}{\Delta p_p} = \frac{q_g}{p_{pi} - p_{wf}} = \frac{q_g}{\left(\frac{\mu_{gi} z_i}{p_i}\right) [m(p_i) - m(p_{wf})]}$$

$$= \frac{1}{\left(\frac{\mu_{gi} z_i}{p_i}\right) a_1} \cdot \frac{q_g}{\Delta p} \quad (10)$$

由式(3)和式(9)可推出:

$$t_{ca} = G c_{ii} \frac{(p_{pi} - \bar{p}_p)}{q_g} = G c_{ii} \left(\frac{\mu_{gi} z_i}{p_i}\right) a_2 \frac{p/z_i - \bar{p}/z}{q_g} = a_2 c_{ii} \mu_{gi} \frac{G_p}{q_g} \quad (11)$$

其中, G_p 为气井累积产气量, 10^3m^3 ; Δp 为原始地层压力与井底流压之差, kPa。

从式(10)和式(11)可知, 在对数坐标中 $q_g/\Delta p - G_p/q_g$ 关系曲线与 $q_g/\Delta p - t_{ca}$ 关系曲线具有相同的形状, 因此针对该超高压气藏, 可以用 $q_g/\Delta p - G_p/q_g$ 代替 $q_g/\Delta p - t_{ca}$ 。

根据上述方法, 利用式(10)和式(11)对式(7)进一步简化得

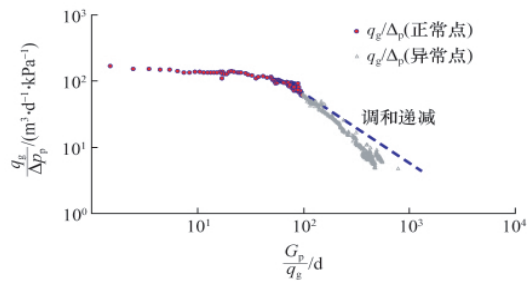
$$\frac{q_g}{\Delta p} = -\frac{G_p}{\Delta p} \cdot a_2 \mu_{gi} \frac{1}{b_{ps} G} + \frac{1}{b_{ps}} \cdot \frac{a_1 \mu_{gi} z_i}{p_i} \quad (12)$$

由式(12)可知, 在直角坐标中, 可以用 $q_g/\Delta p - G_p/\Delta p$ 曲线代替 $q_g/\Delta p - q_g t_{ca}/\Delta p$ 。通过上述变换进一步简化了标准曲线形式, 便于日常分析计算。

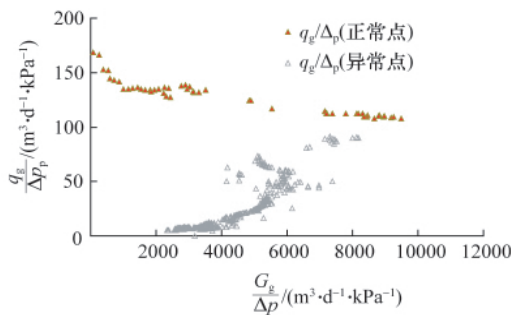
1.3 某超高压气田动态异常数据的诊断与筛选

利用简化后的标准曲线形式, 对某超高压气田生产曲线异常井进行诊断分析, 分别建立了单井 $q_g/\Delta p - G_p/q_g$ 关系图和 $q_g/\Delta p - G_p/\Delta p$ 关系图, 根据图中实际曲线与标准特征曲线差别来分析判断异常数据点, 并筛选正常数据点。图6给出了G-6井的动态诊断与筛选过程。从图中可以看出, 初始阶段曲线变化趋势符合曲线标准特征, 但到了后期, 拟稳定流动段曲线斜率发生变化, 实际生产曲线明显偏离正常趋势向下偏移。说明受筛管堵塞影响, 井筒摩阻损失增大, 计量的井底流压偏低。目前该超高压气田生产曲线异常井均表现为这一特征。

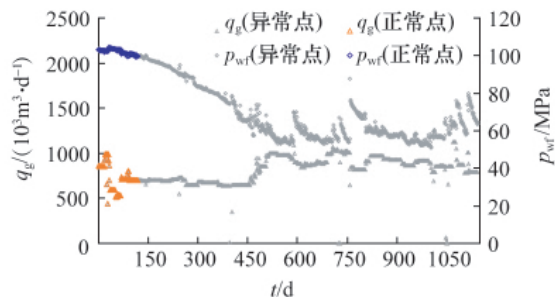
在诊断的基础上, 筛选了图版中表现正常的的数据点, 作为现阶段动态跟踪分析和预测的基础。



(a) $q_g/\Delta p$ 与 G_p/q_g 关系曲线
(a) $q_g/\Delta p$ vs G_p/q_g plot



(b) $q_g/\Delta p$ 与 $G_p/\Delta p$ 关系曲线
(b) $q_g/\Delta p$ vs $G_p/\Delta p$ plot



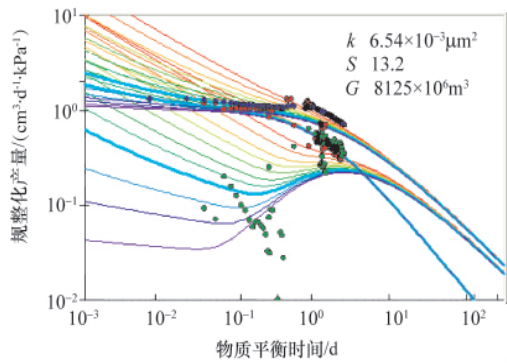
(c) 正常生产数据点筛选
(c) Production data filter

图6 G-6井异常生产动态数据诊断曲线

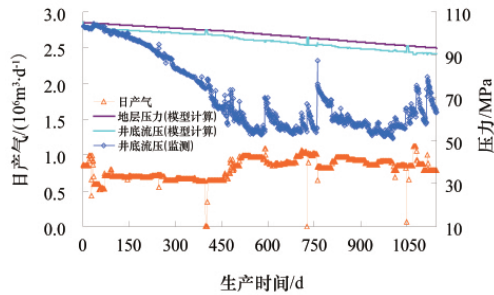
Fig. 6 Well G-6 production data diagnostics

2 正常数据点解释与单井生产历史修正

对筛选后的数据点利用现代产量递减法进行了分析解释, 初步确定了气井的渗透率、表皮系数和井控储量等参数, 利用这些参数建立了单井解析模型, 对气井生产历史进行跟踪模拟。通过单井跟踪模拟达到两个目的, 一方面对解释参数(井控储量、储层物性等)的可靠性进行检验, 以纠正某些井由于正常数据点比较少而带来的分析解释误差; 另一方面通过跟踪模拟还原气井的真实生产动态特征, 以判断气井目前的真实井底流压水平、生产压差等, 为气藏动态分析提供可靠的依据。在跟踪修正过程中, 除了利用正常数据点的分析解释之外, 还参考了部分井的不稳定试井解释结果、储层裂缝发育情况、岩心分析基质渗透率等参数。图7给出了G-6井正常数据点解释和跟踪模拟结果。



(a) G-6 井 Blasingame 特征图版拟合与参数解释
(a) Well G-6 Blasingame type curve analysis



(b) G-6 井计量井底流压与模型计算井底流压

(b) Observed and calculated flowing pressure for Well G-6

图 7 G-6 井正常数据点解释与生产历史跟踪模拟修正图

Fig. 7 Interpretation of selected production data and production history match for Well G-6

3 解释结果可靠性验证方法

由于该气田气井生产曲线异常现象比较普遍,而且持续时间长,在没有采取有效的工艺措施之前,气井很难监测到正常的生产曲线。在实际参考依据比较少的情况下,通过上述方法确定的单井储渗参数是否可靠、修正后的井底流压水平和下降趋势是否符合气井的实际变化趋势,也是一个值得研究的问题。在此提出了产能可靠性检验和单井动态储量计算结果可靠性检验。

(1) 产能可靠性验证。

根据气井进入拟稳态时的产能方程可得到气井无阻流量表达式^[13]

$$q_{AOF} = \frac{0.07852kh p_R^2}{\bar{\mu}_g z T \left(\ln \frac{r_e}{r_w} + S_i \right)} \quad (13)$$

其中, p_R 为气藏压力, kPa; r_e 为井控半径, m; S_i 为气井总表皮系数; T 为气藏温度, K。

由式(13)可知,对于某气田,气井的原始地层压力基本相同, q_{AOF} 与表征流动能力的参数 $kh/[\ln(r_e/r_w)+S_i]$ 具有正向关系。从该超高压气田气井分析结果来看,根据筛选后的数据点解释获得的储层流动参数 $kh/[\ln(r_e/r_w)+S_i]$ 与投产前测试的无阻流量 q_{AOF} 具有很好的相关性(图 8),说明解释的储层物

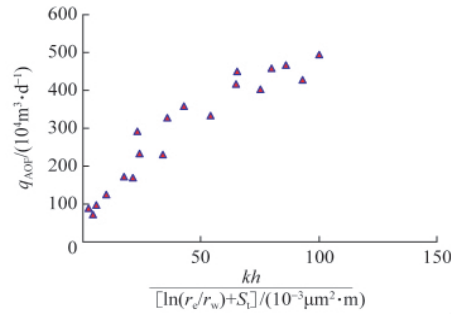


图 8 q_{AOF} 与 $kh/[\ln(r_e/r_w)+S_i]$ 关系图

Fig. 8 Relation between q_{AOF} and $kh/[\ln(r_e/r_w)+S_i]$

性参数是可靠的,能够反映气井的实际能力,产能关系到气井的生产压差,因此说明修正的井底流压水平是可靠的。

(2) 单井储量计算结果可靠性验证。

根据式(5)可知,当气井流动达到拟稳态后,在产量保持不变的情况下,井底流压下降趋势与井控储量有关。因此,单井控制储量计算结果直接影响修正的井底流压下降趋势的可靠性。

对于一个多井气藏,所有的井都以一定的产量进行生产,当生产进入拟稳态后,每口井建立起各自的井控范围,在井控范围内任一点的压力(拟压力形式)随时间的变化幅度相同^[4],此时在气藏范围内各点的压力随时间的变化幅度相同,也包括各井的井底流压,即

$$\frac{\partial m(p_{wf1})}{\partial t} = \frac{\partial m(p_{wf2})}{\partial t} = \dots = \frac{\partial m(p_{wfN})}{\partial t} \quad (14)$$

根据式(5)得到

$$\frac{\partial p_{wf}}{\partial t} = \frac{1}{G c_t} q_g \quad (15)$$

利用式(2)和规整化拟压力表达式对式(14)进一步简化后得到

$$\frac{\partial m(p_{wf})}{\partial t} = \frac{p_i}{z_i} \cdot \frac{q_g}{G} \cdot \frac{1}{\bar{\mu}_g \bar{c}_t} \quad (16)$$

根据该超高压气藏气体 PVT 性质确定 $\bar{\mu}_g \bar{c}_t$ 与地层压力关系(图 9),式(16)可以进一步表达为

$$\frac{\partial m(p_{wf})}{\partial t} = 56.82 \frac{p_i}{z_i} \cdot \frac{q_g}{G} p^{1.014} \quad (17)$$

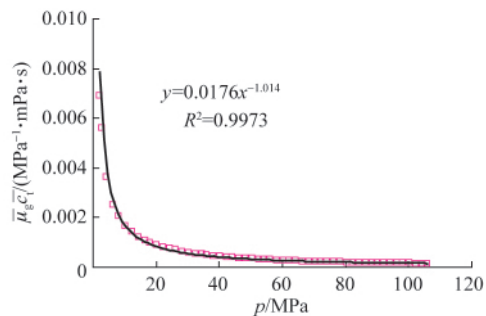


图 9 $\bar{\mu}_g \bar{c}_t$ 与压力 p 关系

Fig. 9 $\bar{\mu}_g \bar{c}_t$ vs p plot

由式(14)和式(16)可知,当气藏生产进入拟稳态后,各井的产量与该井控范围内平均地层压力的乘积 $q_g p^{1.014}$ 与井控储量 G 的比值相同。图 10 为该超高压气田通过单井跟踪模拟得到的气井井控储量 G 与 $q_g p^{1.014}$ 关系,数据点基本在一条直线上,与理论结果相符合,说明通过上述方法确定的井控储量是可靠的,由此可见修正后的井底流压变化趋势也是可靠的。

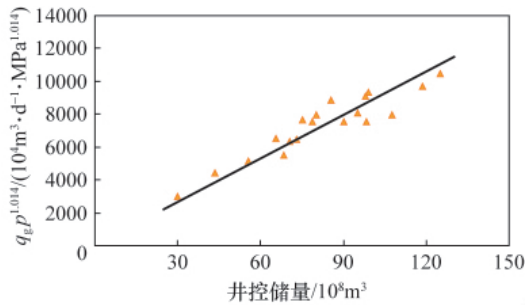


图 10 单井井控储量与产量关系

Fig. 10 Relationship between flow rate and reserves

4 结论

(1) 根据现代产量递减分析基本原理和超高压气藏 PVT 特征,建立了异常生产动态数据识别与筛选、正常数据点解释与生产历史跟踪修正、修正结果可靠性验证一系列超高压气田异常生产曲线诊断与分析方法,实现了异常生产曲线的真伪识别和气井真实生产动态的还原,为该超高压气藏在目前条件下生产动态分析提供了方法。

(2) 从该超高压气田气井异常生产动态数据的诊断分析结果看,由于工况异常导致井筒流动摩阻增加,使得计量的流动压力下降速度快,在特征曲线上表现为后期偏离标准曲线。如果不进行生产数据的真伪识别,会导致对气井生产压差和井底流压下降趋势的错误判断,为气井生产调控措施的制定带来风险。

(3) 随着该超高压气田开发井网的逐步完善和开发的深入,气田的生产动态会逐渐复杂化,应该改善气井的工艺状况,提高监测数据的质量,为全面、深入认识气藏生产特征提供准确的基础资料。

参考文献 (References)

- [1] Ahmed T H. Reservoir engineering handbook [M]. London: Butterworth-Heinemann, 2006.
- [2] Mattar L, Anderson D M. A systematic and comprehensive methodology for advanced analysis of production data [C]. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Denver, Colorado, USA, October 5-8, 2003.
- [3] Anderson D M, Stotts G W J, Mattar L, et al. Production data analysis—challenges, pitfalls, diagnostics [C]. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Texas, USA, September 24-27, 2006.
- [4] 刘晓华, 邹春梅, 姜艳东, 等. 现代产量递减分析基本原理及应用[J]. 天然气工业, 2010, 30(5): 50-54.
Liu Xiaohua, Zou Chunmei, Jiang Yandong, et al. Natural Gas Industry,

2010, 30(5): 50-54.

- [5] Arps J J. Analysis of decline curves [J]. Trans AIME, 1945, 160: 228-247.
- [6] Blasingame T A, McCray T L, Lee W J. Decline curve analysis for variable pressure drop/variable flow rate Systems[C]. SPE Gas Technology Symposium, Houston, Texas, January 23-24, 1991.
- [7] Fraim M L, Wattenbarger R A. Gas reservoir decline curve analysis using type curves with real gas pseudo-pressure and normalized time [C]. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Las Vegas, September 22-25, 1985.
- [8] Palacio J C, Blasingame T A. Decline—curve analysis using type curves—analysis of gas production data [C]. SPE Joint Rocky Mountain Regional and Low Permeability Reservoirs Symposium, Denver, April 26-28, 1993.
- [9] Anderson D M, Mattar L. Material-balance-time during linear and radial flow [C]. Petroleum Society's Canadian Petroleum Conference, Calgary, Alberta, Canada, June 10-12, 2003.
- [10] Anderson D M, Mattar L. Practical diagnostics using production data and flowing pressures [C]. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Houston, Texas, September 26-29, 2004.
- [11] FAST RTA technical document—theory and equations [EB/OL]. <http://www.fekete.com/software/rt/a/media/webhelp/index.htm>.
- [12] Ilk D, Mattar L, Blasingame T A. Production data analysis—future practices for analysis and interpretation [C]. Petroleum Society's 8th Canadian International Petroleum Conference, Calgary, Alberta, Canada, June 12-14, 2007.
- [13] 庄慧农. 气藏动态描述和试井[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009.
Zhuang Huinong. Well test interpretation and gas reservoir dynamic description [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009.
- [14] Marhaendrajana T, Blasingame T A. Decline curve analysis using type curves—Evaluation of well performance behavior in a multi-well reservoir system [C]. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, USA, September 30-October 3, 2001.

(责任编辑 刘志远)

《科技导报》征集“封面文章”

为快速反映我国最新科技研究成果,《科技导报》拟利用刊物最显著位置——封面将最新科研成果第一时间予以突出报道。来稿要求:研究成果具创新性或新颖性;反映该领域我国乃至世界前沿研究水平;可以图片形式予以反映,图片美观、清晰、分辨率超过 300dpi;文章篇幅不限,要说明研究的背景、方法、取得的结果,以及结论。在线投稿: www.kjdb.org。