

复杂气藏开发早期计算动态储量方法及其适用性分析

邓惠¹ 冯曦¹ 王浩¹ 胡世强² 何亚彬²

1. 中国石油西南油气田公司勘探开发研究院 2. 中国石油西南油气田公司川中油气矿

邓惠等. 复杂气藏开发早期计算动态储量方法及其适用性分析. 天然气工业, 2012, 32(1): 61-63.

摘 要 对储集类型、气水关系、连通性复杂的气藏, 在开发早期要准确计算其动态储量较为困难, 实际资料状况与计算方法所要求的条件之间存在难于避免的差距, 在采出程度较低时常导致储量计算结果出现较大偏差。为此, 重点分析了复杂气藏动态储量计算误差与地层压力数据的准确性、采出程度的敏感关系, 以及不同方法计算结果差异原因和由此反映出的气藏储量动用特征, 并对比分析了不同方法的适用条件。从提高压力计算准确性、优选计算方法、认识不同方法计算结果矛盾性的角度出发, 探讨了在气藏开发早期提高动态储量计算准确性的技术途径, 最后以四川盆地龙岗气田边部低渗透区的气井为实例有针对性地进行了储量评价, 为制定开发对策提供了重要的技术依据。

关键词 复杂气藏 开发 早期 动态储量 误差 评价 适用性 龙岗气田

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2012.01.012

从川渝油气田开发过去积累的经验看, 全气藏关井物质平衡分析法是计算气藏储量的较可靠方法, 但全面应用于复杂气藏仍存在诸多困难^[1-2]: ①在目前天然气供需矛盾突出的情况下, 全气藏关井测压计算气藏平均地层压力对生产影响过大, 难于普遍采用; ②强非均质气藏即使全气藏关井, 短期内也不易达到气藏压力平衡, 依据差异较大的单井地层压力计算气藏平均地层压力问题较多; ③在气藏开发早期采出程度较低的情况下, 由于计算气藏地层压力不可避免地存在误差, 常导致采用物质平衡法计算气藏储量误差超出容许范围。怎样评价计算结果的准确性和可靠性是研究的重点。

1 开发早期动态储量计算的问题分析

1.1 物质平衡法对压力误差的敏感性

以定容封闭气藏为例, 物质平衡方程式为:

$$\frac{p}{Z} = \frac{p_i}{Z} \left(1 - \frac{G_p}{G} \right)$$

式中 p 为当前地层压力, MPa; p_i 为原始地层压力, MPa; Z 为天然气偏差系数, 无因次; Z_i 为原始状态天然气偏差系数, 无因次; G_p 为累积采气量, 10^8 m^3 ; G 为天然气储量, 10^8 m^3 。

当关井测压时间不够长, 压力恢复未达到平稳状态时, 根据单井测压计算的气藏平均地层压力往往偏低。设其相对误差为 ϵ_p , 即

$$p_{\text{计算}} = (1 - \epsilon_p) p_{\text{真实}}$$

进一步设由于压力误差导致计算 p/Z 偏小的相对误差为 $\epsilon_{p/Z}$, 以常见的天然气组分和气藏温度进行计算, 从表 1 的结果可以看出, 当气藏地层压力较低时, $\epsilon_{p/Z}$ 与 ϵ_p 近似相等; 随着气藏地层压力的增大, $\epsilon_{p/Z}$ 逐渐小于 ϵ_p 。

表 1 不同地层压力条件下各偏小误差关系表

地层压力 / MPa	压力偏小 1.00%	压力偏小 3.00%	压力偏小 5.00%
20	0.92%	2.78%	4.65%
40	0.63%	1.91%	3.21%
60	0.51%	1.55%	2.62%

在原始地层压力数据准确的情况下, 推导得定容封闭气藏储量计算相对误差 (ϵ_r) 与 $\epsilon_{p/Z}$ 和气藏采出程度 (E_R) 的关系为^[3]:

$$\epsilon_r = - \frac{\epsilon_{p/Z}}{\epsilon_{p/Z} + E_R / (1 - E_R)}$$

基金项目: 国家科技重大专项项目“大型油气田及煤层气开发”(编号: 2008ZX05047)。

作者简介: 邓惠, 1981 年生, 助理工程师, 硕士; 主要从事气田开发动态分析及试井分析工作。地址: (610041) 四川省成都市高新区天府大道北段 12 号。电话: (028) 86015550。E-mail: dhui717@petrochina.com.cn

根据以上计算,从表2看出在气藏开发早期的平均地层压力计算误差会对气藏储量计算产生影响。

表2 储量计算误差(ϵ_{G})与 $\epsilon_{\text{p/z}}$ 、 E_{R} 关系表

$\epsilon_{\text{p/z}}$	E_{R}			
	5%	10%	20%	30%
1%	-15.97%	-8.26%	-3.85%	-2.28%
3%	-36.31%	-21.26%	-10.71%	-6.54%
5%	-48.72%	-31.03%	-16.67%	-10.45%

对于高酸性气藏,采用常规方法计算气体偏差系数存在误差,也会导致表2所示的储量计算误差情况。

1.2 单井数据推算结果与气藏状况的差异性

对于存在低渗透区的强非均质气藏,在开发早期稀井网条件下低渗透储量往往未充分动用,井控区域未完全覆盖整个气藏,而生产井区压降漏斗可能较大,因而采用单井地层压力计算气藏地层压力往往不准确,如前所述,由此导致采用物质平衡法计算气藏储量误差较大;而采用其他方法分别计算单井区域的储量,累加后并不一定能代表气藏储量状况。

1.3 不同方法计算结果的矛盾性

在理想情况下,不同方法计算气藏储量结果相近,据此能够判定方法和结果的可靠性。然而,在复杂气藏开发早期,常出现不同方法计算结果相差数倍的情况。除了方法的适用条件与实际情况吻合程度不同所产生的影响之外,不同方法计算结果代表的意义不同也是重要原因之一。实际气藏的储量值毕竟是唯一的,不同的计算结果令人困惑。

2 计算方法的适用性评价及优选应用

2.1 不同方法的适用条件及计算结果的意义

计算气藏储量的方法划分为针对气藏或单井、采用压力或产量的分析类型,不同方法推导过程中均有

一些理想化假设条件,即方法的严格适用条件(表3)。在实际工作中,往往难于完全满足方法的要求,资料情况、气藏特征与不同方法适用条件的差距程度不同,将导致不同方法计算结果不一致。

对于存在低渗透难动用储量的强非均质气藏,从理论上分析,采用基于平衡地层压力计算的方法,结果更能反映高、低渗介质整体储量状况,但由于低渗介质导致关井后期压力恢复缓慢,难于实现完全平衡条件下录取测试资料,计算的地层压力很容易偏低,实际计算结果往往仅代表关井期压力恢复充分波及范围内的储量。当配产相对较高、低渗透介质补给显著滞后时,Arps、Fetkovich、Blasingame、Agarwal-Gardner等^[4]基于产量变化分析方法的计算结果,通常代表能快速供给而支撑当前配产的高渗介质储量。弹性二相法^[5]通过分析定产量生产阶段井底压力的敏感性变化趋势,计算结果在一定程度上能反映稳定生产状态下低渗介质补给情况。

2.2 提高储量计算的准确性

2.2.1 提高气井地层压力计算的准确性

过去常采用关井后期点测、根据井口测压计算井底压力等传统作法计算气井地层压力,压力恢复未达平衡状态及井筒压力计算引起的误差时常较大。采用高精度电子压力计井下测试和现代试井分析技术,能大幅度消除上述误差。

2.2.2 提高气藏平均地层压力计算的准确性

过去常根据单井地层压力采用算术平均法计算气藏平均地层压力,当单井压降漏斗、供给条件差异较大时易产生较大误差。考虑井控范围、井区储集参数的差异,估算其孔隙体积,然后采用加权平均法计算气藏平均地层压力,能显著提高准确性。

2.2.3 提高气井井底流压计算的准确性

一些储量计算方法需要生产达拟稳态的井底流压变化数据,在目前技术经济条件下,尚难于对所有井均

表3 气藏储量计算方法及适用性对比表

方法	应用对象	采用数据类型	严格适用条件
物质平衡	气藏 单井	地层压力	物质平衡方程与实际气藏驱动类型相匹配
流动物质平衡	单井	井底流压	物质平衡方程与驱动类型相匹配
弹性二相法	单井	井底流压	定井底流压生产达到拟稳态
Arps	单井	产量	定产量生产达到拟稳态
Fetkovich	单井	产量	定井底流压生产达到拟稳态
Blasingame	单井	产量、井底流压	分阶段定井底流压生产达到拟稳态
Agarwal-Gardner	单井	产量、井底流压	分阶段定产量生产达到拟稳态

长期监测井底压力,因而大量应用根据生产过程中井口压力计算井底压力的方法。长期实践证明,按理论公式计算井底压力时常会出现较大误差,产液气井这一问题尤其突出。在传统井筒压力计算技术基础上,采用压力梯度实测试数据标定计算模型参数,能有效提高计算井底压力的准确性。

2.2.4 评价资料状况优选方法

在实际工作中,由于受测试成本、生产安排、气藏和气井特殊性等因素影响,并非都能高质量地录取储量计算方法所需的基础数据,这就需要适当转变先入为主确定计算方法的思维模式,而应该根据资料状况,分别评价不同方法的适宜性和可能误差,在此基础上优选主导计算方法。对于物质平衡法的应用,应侧重考虑地层压力的准确性以及采出程度较低情况下的误差敏感性;对于弹性二相法、流动物质平衡法的应用,应侧重考虑是否严格稳产且达到拟稳态,以及压力变化数据的质量;对于 Arps、Fetkovich 方法的应用,应侧重考虑是否是压力近似不变情况下的产量自然递减;Blasingame、Agarwal-Gardner 方法能处理压力、产量同时变化的情况,但较难判断每一产量阶段是否达到拟稳态,当存在存在低渗介质时,可能会出现不同配产条件下产量、压力综合递减关系有所变化的情况,应加以关注。

2.3 对储量计算结果的认识

除了强调数据质量和方法适用条件之外,传统上人们更倾向于从不同方法计算结果的一致性角度评价储量计算的可靠性,但也经常面临难于解释不同时期、不同方法计算结果差异的问题。事实上,上述差异正是复杂气藏储量可动性特征的表现之一,尽管一些计算结果并不能完整代表气藏储量状况,但反映出不同生产状态下与产量贡献相对应的储量动用状况,同样具有实用价值。

3 应用实例

以四川龙岗礁滩气藏试采区边部低渗区的某气井为例,该井储层孔隙度为 5.2%,有效厚度为 38.9 m,渗透率为 0.35 mD,含气饱和度为 90.1%。2009 年 7 月投产试采,初期配产 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,之后产量缓慢递减,2 年生产累积采气仅 $0.65 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。产生这种现象的主要原因是储层渗流能力所限还是井控储量不足,令人关注。

采用不同方法计算该井的井控储量,结果差异较

大;物质平衡法计算结果为 $4.34 \times 10^8 \text{ m}^3$;产量不稳定分析法计算结果为 $5.5 \times 10^8 \sim 6.54 \times 10^8 \text{ m}^3$;弹性二相法计算结果为 $10.38 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。详细分析不同方法的计算过程,物质平衡法采用的是累积采气仅 $0.29 \times 10^8 \text{ m}^3$ 时的关井测压数据,低渗透缓慢恢复条件下计算地层压力偏小,以及采出程度较低时的误差敏感性,使该方法计算结果偏低,可视为当时关井 12 d 内压力恢复充分波及范围内的储量;弹性二相法采用的是相对稳定生产状态下较长时间的压力变化数据,计算结果反映出一种相对供给平衡状态下的储量动用状况;Arps、Fetkovich、Blasingame、Agarwal-Gardner 等产量不稳定分析法采用所有生产数据进行分析,后期数据已显现低渗透介质及远井低渗区供给滞后的问题,计算结果代表贡献主要产量的近井区相对高渗介质内的储量状况。综合分析以上结果,可知该井目前有效动用的储量为 $10.38 \times 10^8 \text{ m}^3$,与目前配产相匹配的产量贡献源约为 $5 \times 10^8 \text{ m}^3$,另有约 50% 的井控储量只能在低配产条件下缓慢动用。

4 结束语

1)复杂气藏开采早期计算动态储量误差可能较大,并且常出现不同方法计算结果差距大的现象。严格按理论方法的要求录取数据,根据适用条件优选方法,能有效消除异常因素影响。

2)在难于严格满足方法适用条件的情况下,不同方法计算结果代表的意义有所不同,其差异化是气藏储量可动性特征的表现,同样具有参考价值。

参 考 文 献

- [1] 刘晓华.气藏动态储量计算中的几个关键参数探讨[J].天然气工业,2009,29(9):71-74.
- [2] 李治平,鄢云龙,青永固.气藏动态分析与预测方法[M].北京:石油工业出版社,2002.
- [3] 冯曦,贺伟,许清勇.非均质气藏开发早期动态储量计算问题分析[J].天然气工业,2002,22(增刊1):87-90.
- [4] BLASINGAME T A, MCCRAY T L, LEE W J. Decline curve analysis for variable pressure drop/variable flow rate systems[C]// paper 21513-MS presented at the SPE Gas Technology Symposium, 23-24 January 1991, Houston, Texas, USA. New York: SPE, 1991.
- [5] 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.