

# 简化修正等时试井在长庆气田的应用分析

赵继承<sup>1</sup> 苟宏刚<sup>1</sup> 宋述果<sup>1</sup> 宋向华<sup>2</sup> 王燕<sup>1</sup>

(1. 中国石油长庆油田公司 2. 西安石油大学)

赵继承等. 简化修正等时试井在长庆气田的应用分析. 天然气工业, 2006, 26(7): 88-90.

**摘要** 目前国内气井产能试井方法在不断朝着简捷的方向发展, 1986年就出现了修正等时试井的简化方法, 大大地缩短了测试时间。但由于其可靠性和有效性是有针对性的, 因此不能简单的套用已有的方法, 必须对其进行科学的理解和符合实际的应用, 否则将会引起较大的误差, 甚至造成重大的决策失误。为了验证简化修正等时试井方法的适用性和可靠性, 在长庆靖边气田选取 10 口典型井进行了对比分析。经过比较分析后发现, 对于均质地层气井, 简化修正等时试井确定的结果基本可靠; 对于非均质地层气井, 简化修正等时试井确定的结果偏大, 且误差较大。在统计分析的基础上, 提出“理想”绝对无阻流量的概念, 靖边气田 14 口非均质地层气井的“理想”绝对无阻流量较实际绝对无阻流量偏大 37.47%, 利用此统计值对气井的理想绝对无阻流量进行必要的系统校正后, 就可以得到能满足现场工程需要的结果, 则气井真实的产能方程和绝对无阻流量便可确定。同时通过比较  $q_{\text{AOF1}}$  和  $q_{\text{AOF}}$  的大小, 还可以分析储层的横向变化规律。

**关键词** 气井 试井 无阻流量 时间 靖边气田

## 一、引言

气井产能试井方法的进展是随着天然气工业及气井试井理论<sup>[1]</sup>的发展完善而不断向前发展的, 其发展的趋势是有效、实用、简捷。修正等时试井作为适合于低渗透气藏气井产能试井的方法, 有其测试时间短等优点, 在国内外气田得到了广泛应用。长庆气田自 1991 年起实施修正等时试井, 在理论研究、现场测试、系统分析的基础上, 使其得到了进一步的完善和发展<sup>[2-3]</sup>, 为长庆气田的勘探开发提供了可靠的动态依据。

尽管修正等时试井较其他多点产能试井所需的时间短, 但要求延续期产量生产持续到稳定条件, 这对于低渗透气藏仍需较长的时间。为进一步缩短时间, 国内外诸多学者都在修正等时试井的基础上进一步简化产能试井方法, 提出了利用等时不稳定资料建立气井稳定产能方程的方法, 其代表是 Poettmann<sup>[4]</sup>于 1986 年提出了修正等时试井的简化方法。简化后的修正等时试井方法, 只进行等时阶段的测试, 而不进行延续生产期的测试, 既大大地缩短了测试时间, 减少了天然气的消耗量, 而且经过适当校正后, 计算结果可以满足现场工程的需要。

## 二、基本原理

其基本原理是: 首先利用等时不稳定阶段的测试资料确定产能方程系数  $B$ ; 同时利用不稳定资料建立  $A_t - \log t$  关系曲线(如图 1 所示), 在井筒储集效应基本消失后, 均质地层气井的  $A_t - \log t$  将是一条直线。在给定气井供气半径( $r_e$ )的条件下, 计算所需的有效驱动时间( $t_d$ ), 即:

$$t_d = 0.02755 \varphi \mu C_t r_e^2 / K \quad (1)$$

式中:  $t_d$  为无因次时间;  $\varphi$  为孔隙度, 无因次;  $\mu$  为气体粘度,  $\text{mPa} \cdot \text{s}$ ;  $C_t$  为井筒储集系数,  $\text{m}^3 / \text{MPa}$ ;  $K$  为储层渗透率,  $\mu\text{m}^2$ 。

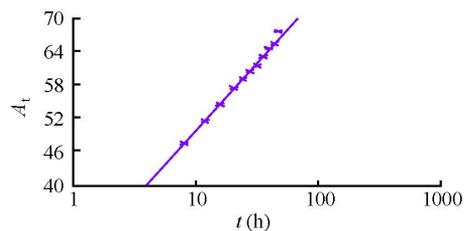


图 1 等时阶段  $A_t - \log t$  关系曲线图

将计算得到的  $t_d$  代入  $A_t - \log t$ <sup>[5]</sup> 的关系表达式, 便可获得稳定的产能方程系数  $A$ , 进而建立气井

的产能方程,达到利用等时不稳定测试资料建立气井稳定产能方程的目的。

### 三、应用分析

#### 1. 应用情况

为验证简化修正等时试井计算结果的可靠性,选用靖边气田有代表性的气井进行对比分析。

研究中选取均质储层气井和非均质储层气井各5口,表1、2分别为均质气井和非均质气井的简化修正等时试井和修正等时试井确定气井绝对无阻流量结果的对比表。从表1、2可以看出,对于均质地层

气井,简化修正等时试井确定的结果与修正等时试井结果基本吻合;但对于非均质地层气井,简化修正等时试井确定的结果偏大,且误差较大。究其原因主要是:对于非均质气井,当生产时间较短时(等时不稳定测试),获得的  $A_i - \log t$  关系曲线仅反映的是井筒附近的储层特征,未反映边界的影响。由前面的分析可知,当边界效应发生后,  $A_i - \log t$  曲线的斜率将急剧增大,在相同的  $t_d$  条件下,利用等时阶段获得的  $A_i - \log t$  表达式预测的  $A$  值将明显小于气井的真实值,故确定的气井产能偏大<sup>[6]</sup>。因此认为简化修正等时试井仅适用于均质地层气井。

表1 简化修正等时试井和修正等时试井确定结果对比表(均质情况)

井号	延续测试时间(h)	地层压力(MPa)	B	A			$q_{AOF}(10^4 m^3/d)$		
				实际	计算	误差(%)	实际	计算	误差(%)
L2	936	30.296	1.5439	15.891	13.37	15.86	19.77	20.43	3.36
S13	504	30.777	4.2336	88.145	90.98	3.2	8.21	8.07	1.71
S42	288	30.894	1.9968	27.921	26.736	4.24	15.96	16.17	1.32
S62	504	32.079	0.4885	9.1227	10.05	10.66	37.5	36.75	2.0
S93	240	32.687	0.2391	4.448	4.068	9.4	58.18	58.88	1.2

表2 简化修正等时试井和修正等时试井确定结果对比表(非均质情况)

井号	延续测试时间(h)	地层压力(MPa)	B	A			$q_{AOF}(10^4 m^3/d)$		
				实际	计算	误差(%)	实际	计算	误差(%)
S5	360	30.612	0.1431	15.597	10.73	31.2	43.0	51.7	20.22
S8	624	30.706	0.1199	24.178	11.754	51.39	33.45	52.31	56.38
S44	360	31.926	0.1169	22.524	10.747	52.29	37.8	58.11	53.73
S100	720	31.116	0.9297	76.604	24.476	68.05	11.13	21.69	94.88
S81	552	31.902	0.0805	22.84	8.5697	62.48	39.16	64.9	65.73

#### 2. 结果校正

为了将上述简化的修正等时试井用于实践,在统计分析的基础上,笔者提出“理想”绝对无阻流量的概念,即均质地层气井对应的绝对无阻流量,记作  $q_{AOFI}$ 。长庆靖边气田14口非均质气井的“理想”绝对无阻流量较实际绝对无阻流量偏大37.47%,利用此统计值对气井的理想绝对无阻流量进行校正,即

$$q_{AOF} = q_{AOFI} / 1.3747 \quad (2)$$

式中:  $q_{AOF}$  为无阻流量,  $10^4 m^3/d$ ;  $q_{AOFI}$  为理想无阻流量,  $10^4 m^3/d$ 。

为获得气井真实绝对无阻流量,可在投产后进行单一工作制度的生产至  $t_d$ ,通过点测井底流压( $p_{wf}$ ),进而得到产能方程系数  $A$ :

$$A = (p_R^2 - p_{wf}^2) / q_g - Bq_g \quad (3)$$

式中:  $p_R$  为地层压力, MPa;  $p_{wf}$  为井底流动压力,

MPa;  $q_g$  为井口产气量,  $10^4 m^3/d$ 。

则气井真实的产能方程和绝对无阻流量便可确定。

同时通过比较  $q_{AOFI}$  和  $q_{AOF}$  的大小,还可分析储层的横向变化规律。若  $q_{AOFI} \approx q_{AOF}$ ,则表明储层相对均质;若  $q_{AOFI} > q_{AOF}$ ,则表明储层物性向外变差或有边界存在,差异越大,非均质越严重,边界越复杂;若  $q_{AOFI} < q_{AOF}$ ,则表明储层物性有向外变好的趋势。

### 四、结论

(1)修正等时试井一般要求延续期产量要持续到稳定条件,这对于低渗透气藏来说需要较长的时间。试井技术的简化最直接的效果就是缩短测试时间,节约大量的人力、物力和财力,这对于生产现场和科研人员来说都是非常期望的。

(2)通过在靖边气田对简化的修正等时试井方法进行验算对比,发现对于均质地层气井来说,确定的产能比较准确,不存在争议;而对于非均质地层气井,该方法确定的结果偏大,但通过一段时间的摸索规律和统计分析,再进行必要的系统校正后,就可以得到能满足现场工程需要的结果。

(3)同时通过比较  $q_{AOF1}$  和  $q_{AOF}$  的大小,还可以分析非均质储层的横向变化规律。这对于判断井周储层变化特征有一定的指导意义。

#### 参 考 文 献

- [1] 童宪章,等.气井试井理论与实践[M].北京:石油工业出版社,1988.
- [2] 李跃刚,等.修正等时试井技术在长庆气田的应用与发展[J].天然气工业,2002,22(6):68-71.
- [3] 李跃刚,等.一种改进的修正等时试井分析方法[J].天然气工业,1998,18(5):56-59.
- [4] POTTMAN F H. Discussion of analysis of modified isochronal tests to predict the stabilized deliverability of gas wells without using stabilized flow data [J]. TPT, 1986(10):1122-1124.
- [5] 李跃刚,肖毅.修正等时试井的合理设计[J].油气井测试,1999,8(3):13-17.
- [6] 李跃刚,等.指数式产能方程预测气井产能偏大的因素分析[J].试采技术,1993(1):8-10.

(收稿日期 2006-04-05 编辑 韩晓渝)