

# 磨溪气田气水同采井水气比变化特征及机理

陈万钢<sup>1</sup>, 吕新东<sup>2</sup>, 衡勇<sup>1</sup>, 陈林<sup>1,3</sup>, 冯文光<sup>1</sup>

(1.成都理工大学能源学院, 四川成都 610059; 2.中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 广东湛江 524057;  
3.中国石油西南分公司川中矿区, 四川遂宁 629000)

**摘要:**底水气藏防止底水锥进时通常采用避射水层的生产方式,但四川部分气田的开发则采用射开气、水层且气水同采的生产方式。为进一步了解其生产动态特征与储层特征之间的关系,通过避射水层和气水同采2种模式特征之间的对比,总结出气水同采井的水气比曲线有平稳段、缓慢上升段、快速上升段、下降段和跳跃段5种类型,分析了每种类型对应的储层特征,绘制了水气比曲线变化图版;确定了研究区水气比线性分段函数斜率的取值范围。现场应用证明气水同采的生产动态特征与储层特征基本一致,表明该图版实用性强,有助于正确认识底水气藏地层水活动规律,而储层内部气、水两相渗流变化需要进一步研究。

**关键词:**底水气藏 避射水层 气水同采 水气比 磨溪气田  
**中国分类号:** TE349 **文献标识码:** A

文章编号: 1009-9603(2014)03-0092-03

底水气藏通常采用避射水层和控制合理产量的生产方式,在不同生产压差下,储层内气、水两相会发生不同的渗流情况。许多学者对其进行了相关研究,分析了不同储层特征所产生的影响,在底水气藏水侵分析中取得了较好效果<sup>[1-13]</sup>。目前,四川气田部分底水气藏采用射开气、水层且气水同采的生产方式,其生产曲线和相应的储层特征都发生了较大变化<sup>[14-16]</sup>,笔者通过射孔模式对比,总结磨溪气田的生产动态特征,分析了生产动态所对应的储层特征与前人研究<sup>[3]</sup>的异同,在实际应用中取得了较好效果。

$S_{wi}$  为原生水饱和度,%;  $S_{gr}$  为残余气饱和度,%;  $h$  为气藏厚度,m;  $q_g$  为产气量,  $m^3/d$ ;  $B_g$  为气体体积系数。

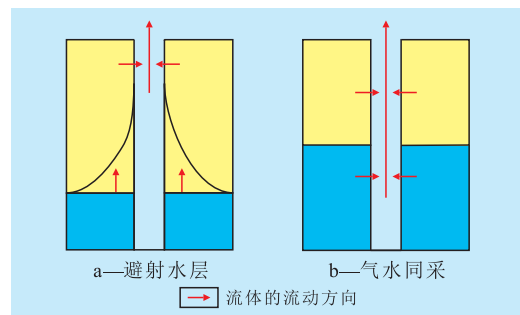


图1 避射水层与气水同采对比

## 1 避射水层与气水同采对比

### 1.1 射孔模式对比

对于底水气藏,采用避射水层的生产方式(图1a),气层形成压力亏空后底水会向上锥进,见水时间关系式<sup>[17]</sup>为

$$t_{bi} = M_{gw} \frac{K_h}{K_v} \times \frac{2\phi(1 - S_{wi} - S_{gr})\pi h^3}{3q_g B_g} \quad (1)$$

式中:  $t_{bi}$  为底水气藏见水时间,d;  $M_{gw}$  为气水两相流度比(简称气水比);  $K_h$  为平面渗透率,  $\mu m^2$ ;  $K_v$  为垂向渗透率,  $\mu m^2$ ;  $\phi$  为储层孔隙度,%;

从式(1)可知,避射水层的生产方式需要底水锥进至井底才见水,存在见水时间,并且垂向渗透率越大,见水时间越短。

底水气藏采用射开气、水层且气水同采的生产方式(图1b),地层水直接进入井筒,基本没有无水采气期,当气体能量不足以克制水体能量时,水体产出,有较短的无水采气期<sup>[18]</sup>。气藏见水更多反映的是水体和气体能量的关系,而不是式(1)中反映的见水时间与垂向渗透率的关系。磨溪气田采用该生产方式生产时,水气比出现了平稳、缓慢上升以及先平稳、后急剧增加等现象。

收稿日期:2014-03-24。

作者简介:陈万钢,男,在读博士研究生,从事油气田开发工程研究。联系电话:(028)84079430,E-mail:ugo2010@qq.com。

基金项目:国家科技重大专项“四川盆地岩性油气藏富集规律与目标评价”(2011ZX05001-005-03),国家自然科学基金“四川盆地西部致密低渗砂岩气藏储层致密化进程及储层形成机理研究”(41202097)。

何晓东等针对底水气藏的避射水层生产方式,总结出描述底水入侵的一次方型、二次方型和三次方型3个公式<sup>[3]</sup>。笔者将气水同采井的水气比曲线与何晓东图版进行对比(图2),二者存在差异,结果显示,何晓东图版并不完全适用于气水同采井。

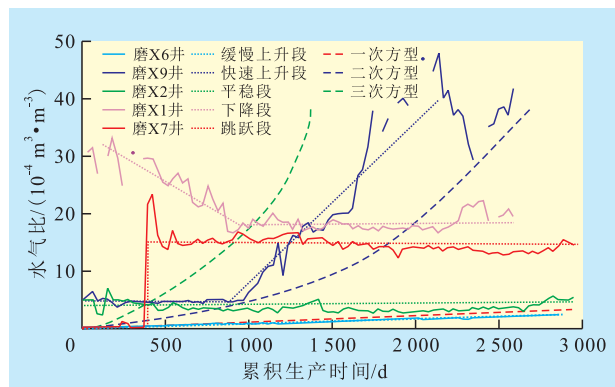


图2 水气比曲线图版

## 1.2 特征对比

磨X6井属于水气比缓慢上升、总体偏低型;磨X2井属于低水气比平稳型;磨X6井和磨X2井的水气比类型与何晓东提出的一次方型相同。

磨X7井生产初期水气比接近0,第360 d突然升高,随后稳定;磨X9井生产初期水气比稳定,后期急剧增加;磨X1井生产初期水气比高,生产840 d后逐渐下降,随后稳定。何晓东的二次方型和三次方型都不能准确地描述以上3种情况,但通过分段函数,即多段一次方型,即可准确地描述(图2)。从图2中即可看出,各直线段斜率直接反映了水气比变化特征,对矿场实际具有指导意义。

将上述井水气比变化特征,即图2中线段类型归纳为水气比与生产时间的一次方型(即线性关系),生产过程中,不同特征的储层有相应的线性关系,其表达式为

$$v = kt + b \quad (2)$$

式中: $v$ 为水气比, $10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^3$ ;  $k$ 为直线段斜率;  $t$ 为生产时间,d;  $b$ 为直线段截距,生产初期其为初始水气比,生产过程中其为阶段水气比, $10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^3$ 。

生产过程中压力波及不同特征的储层时, $k$ 值和 $b$ 值将发生相应的变化。生产初期, $b$ 值反映井筒连通的水体体积大小,与连通水体能量成正比。

根据何晓东一次方型公式<sup>[3]</sup>,结合实际生产曲线,生产过程中水气比曲线可以归纳为5种类型段:①平稳段;②缓慢上升段;③快速上升段;④下降段, $k$ 值小于0;⑤跳跃段, $b$ 值发生突变。

水气比曲线都可以由这5种类型段组成, $k$ 值和

$b$ 值根据生产动态确定。该方法操作简单,因2点即可确定一条直线,因此能在短时间内准确判断生产变化情况。

## 2 不同水气比曲线类型段的特征及机理

气水同采井生产时射开水层,气体和流体径向流入井筒,有效避免了气藏水侵。产水不能反映垂向渗透率,这与何晓东图版有区别。

不同水气比曲线类型段反映了与之相应的生产时间内压力波及区域内的特征,主要表现为:①平稳段。储层均质性较强,裂缝不发育,或发育微细网状缝,气和水能量基本相同。储层物性较好时, $b$ 值较大,即产水量较大;储层物性较差时, $b$ 值较小,即产水量较小,这与文献[3]的一次方型一致。②缓慢上升段。储层均质性较强,物性较好,裂缝不发育,或发育微细网状缝,地层水水体较大;该类型段与文献[3]的一次方型一致。③快速上升段。储层裂缝发育,连通性好,水体能量大;与文献[3]中的二次方型和三次方型相对应,但不能反映垂向渗透率与横向渗透率之间的关系。④下降段。 $k$ 值小于0,表明水体能量减弱。生产初期出现下降段,表明近井地带连通性好,但不能反映裂缝特征,水体能量有限。随着生产进行,地层水产出,水气比下降;该类型段在文献[3]中未出现。分析认为,采用避射水层生产方式需要有相当能量的地层水才能获得突破,产水后如果不采取调整措施,水量很难下降,使得水气比曲线不能下降。⑤跳跃段。生产过程中,当 $b$ 值出现跳跃,表明压力波及裂缝发育区,连通了新的水体,且水体能量大;该类型段在文献[3]中也未出现。

生产井射开气、水层进行气水同采,增加了井筒携液负担,当井筒出现积液甚至水淹时,不能像避射水层那样通过调整生产措施来进行治水。因此,开发生产初期充分认识储层和流体性质,分析井筒携液能力或者排水采气工艺效果非常重要。

## 3 实际应用

根据磨溪气田的生产数据确定了水气比曲线不同类型段 $k$ 值和 $b$ 值的取值范围:①平稳段, $k$ 值为0~0.2, $b$ 值小于3.6;②缓慢上升段, $k$ 值为0.2~0.45, $b$ 值小于3.6;③快速上升段, $k$ 值大于等于

0.45,  $b$  值小于 3.6; ④下降段,  $k$  值小于 0,  $b$  值小于 3.6; ⑤跳跃段,  $b$  值大于 3.6。

根据每种类型段  $k$  取值范围可以判断产水变化特征。如磨 X03 井, 产气量为  $2.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  (图 3), 临界携液流量大于  $1.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。该井投产初期,  $k$  值约为 0, 水气比约为  $1.1 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^3$ , 属于平稳段; 第 13 d,  $k$  值为 2.85, 水气比为  $18.2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^3$ , 属于跳跃段; 第 18 d,  $k$  值为 -0.6, 水气比为  $14.6 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^3$ , 属于下降段; 生产 20 d 后, 水气比为平稳段, 反映出储层均质性较强, 裂缝不发育, 与静态地质认识一致。投产至今产水量均在井筒携液能力范围内, 排除了井底积液的可能。

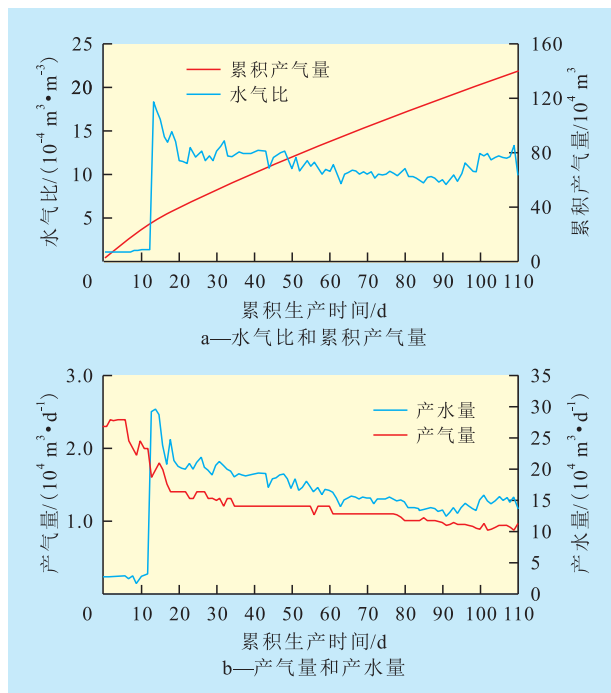


图3 磨 X03 井生产曲线

## 4 结束语

生产井射开气、水层且气水同采的水气比与避开水层生产井的水气比差别较大, 其水气比曲线主要分为平稳段、缓慢上升段、快速上升段、下降段和跳跃段 5 种类型。笔者绘制的水气比曲线图版简单易操作, 确定气藏的  $k$  和  $b$  值后, 即可判断生产曲线的变化, 现场应用情况较好。该图版应用时要求井筒具有足够的携液能力, 使其不发生井底积液。但

对于生产井射开气、水层且气水同采的储层内部压力变化所导致的渗流变化, 需要进一步加强研究。

### 参考文献:

- [1] 罗伯特沃 特恩伯格. 气藏工程 [M]. 王玉普, 郭万奎, 庞颜明, 等, 译. 北京: 石油工业出版社, 2007.
- [2] 谷建伟, 姜汉桥, 吴义志, 等. 无夹层底水油藏直井水锥定量描述 [J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(6): 78-81.
- [3] 何晓东, 邹绍林, 卢晓敏. 边水气藏水侵特征识别及机理初探 [J]. 天然气工业, 2006, 26(3): 87-89.
- [4] 刘启国, 王瑞, 李邗, 等. 考虑启动压力梯度和高速非达西效应的低渗透气藏水平井产能 [J]. 油气地质与采收率, 2010, 17(5): 53-56.
- [5] William B, Byrne Jr, Richard Morse A. The effects of various reservoirs and well parameters on water coning performance [R]. SPE 4287, 1973.
- [6] 孙薇, 王淑玉, 杨会朋, 等. 考虑水侵强度的裂缝性水驱气藏物质平衡方法 [J]. 油气地质与采收率, 2009, 16(3): 85-87.
- [7] 刘成川, 卜海, 张文喜. 新场气田蓬二段气藏二次开发调整研究 [J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(4): 46-48.
- [8] 王会强, 李晓平, 吴锋, 等. 边水气藏气井见水时间预测方法 [J]. 特种油气藏, 2008, 15(4): 73-74.
- [9] Zhang Liehui, Feng Guoqing, Li Xiaoping, et al. Water breakthrough simulation in naturally fractured gas reservoirs with water drive [J]. Journal of Hydrodynamics: Series B, 2005, 17(4): 466-472.
- [10] 朱圣举. 预测无隔板底水油藏油井见水时间的修正式 [J]. 新疆石油地质, 1999, 20(1): 56-57.
- [11] 何逸凡, 廖新维, 徐梦雅, 等. 低渗透气藏压裂水平井产能预测模型及其应用 [J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(4): 93-96.
- [12] 冯异勇, 贺胜宁. 裂缝性底水气藏气井水侵动态研究 [J]. 天然气工业, 1998, 18(3): 40-44.
- [13] 李骞, 李相方, 郭平, 等. 吐哈气田凝析气井产能影响因素分析及预测 [J]. 油气地质与采收率, 2010, 17(6): 82-84.
- [14] 陈家琅, 陈涛平. 石油气液两相管流 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2010.
- [15] 蒋平. 底水锥进预测及底水治理决策技术研究 [D]. 成都: 西南石油大学, 2006.
- [16] 陈万钢. 碳酸盐岩气藏开发早期连通性及治水对策研究——以四川 LG 气田为例 [D]. 成都: 成都理工大学, 2011.
- [17] 王怒涛, 黄炳光. 实用气藏动态分析方法 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2011.
- [18] 关文龙, 李敬松, 李相方. 低渗底水气藏射开水层气水合采新方法 [J]. 天然气工业, 2003, 23(5): 79-82.

编辑 王星