

Judging the Water Source of Gas Wells in Condensate Gas Reservoirs with Edge and Bottom Water

Jing Sun^{1,2}, Dehua Liu^{1,2}, Haimin Xu³

¹School of Petroleum Engineering, Wuhan Hubei

²Key Laboratory of Oil and Gas Drilling and Production Engineering, Wuhan Hubei

³Petroleum Engineering Technology Research Institute, Zhongyuan Oilfield Company, Puyang Henan

Email: sunjing_email@163.com

Received: Dec. 1st, 2015; accepted: Jan. 7th, 2016; published: Mar. 15th, 2016

Copyright © 2016 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

During the progress of gas well production, the major factor which influences the gas well production is liquid loading, while as for the gas reservoirs with edge and bottom water, the contradiction is more serious. Therefore correctly predicting and timely and effectively recognizing the sources of water were of great significance for improving and stabilizing the gas wells production and improving the production effect in gas reservoirs. Taking Condensate Gas Reservoir A as the research background, this paper determined the type of gas well water production and the water characteristic of the liquid loading by calculating the water content in the condensate gas reservoir, gas production, water production and water and gas ratio of production wells, by which the reservoir structure and relation of gas and water distribution are correctly identified, and then the effective measures for water controlling can be taken.

Keywords

Condensate Gas Reservoir with Edge and Bottom Water, Condensate Water, Source of Water Production, Liquid Loading

边底水凝析气藏气井产出水来源判断方法

孙 敬^{1,2}, 刘德华^{1,2}, 徐海民³

¹长江大学石油工程学院, 湖北 武汉

²油气钻采工程湖北省重点实验室, 湖北 武汉

³中原油田分公司石油工程技术研究院, 河南 濮阳

作者简介: 孙敬(1984-), 女, 博士, 讲师, 现从事油气田开发方面的教学和科研工作。

Email: sunjing_email@163.com

收稿日期: 2015年12月1日; 录用日期: 2016年1月7日; 发布日期: 2016年3月15日

摘 要

气井生产过程中, 影响气井产量的主要因素是井筒积液, 而对于边底水凝析气藏这种矛盾表现得更为突出, 因此正确预测和及时有效识别出水来源, 对提高或稳定气井产量以及改善气藏开发效果有重要的意义。以A凝析气藏为研究背景, 通过产出气中凝析水含量计算, 生产井产气量、产水量、水气比等生产特征参数变化来确定气井具体的产水类型及井筒积液的来水特征, 从而正确认识储层构造特征和气水分布关系, 以利采取有效的控水措施。

关键词

边底水凝析气藏, 凝析水, 出水来源, 井筒积液

1. 引言

气井生产过程中, 影响气井产量的主要因素是井筒积液, 而对于边底水凝析气藏来说, 这种矛盾表现得更为突出。因此正确预测和及时有效地识别出水来源, 对提高或稳定气井产量以及改善气藏开发效果有重要的意义。气井出水主要来自于凝析水和地层水, 对于凝析水量计算和分析采用 Mcketta-Wehe 方法, 同时结合产出水矿化度进行分析。对于来自地层的产出水的判断主要依据生产动态数据, 水量大小可以影响生产井井筒积液, 导致减产或关井。正确判断气井积液或产出水的主要来源, 对控制井筒积液有重要作用。笔者以 A 凝析气藏实际生产数据为依据, 结合该气藏地质构造、气水分布特征, 提出了气井产水来源确定方法。

2. A 凝析气藏概况

A 属于具有边底水的凝析气藏, 2000 年投入开发, 目前有多口生产井因产水量大、井筒积液极大影响气井正常生产。该气田构造位置处于库车坳陷阳霞凹陷南缘的大涝坝构造带, 构造图如图 1 所示, 被亚南断裂分为 1、2 号构造气藏。1 号构造气藏为背斜, 由南北 2 个局部高点组成; 2 号构造气藏为断背斜, 构造形态完整。A 凝析气藏构造特征比较复杂: ① 纵向上层系众多, 主要分为苏维依组和巴什基奇克组; ② 由于气藏隔夹层多, 主要将苏维依组和巴什基奇克组分别分为上、中、下 3 个气层; ③ 1、2 号构造气藏均与水体沟通。

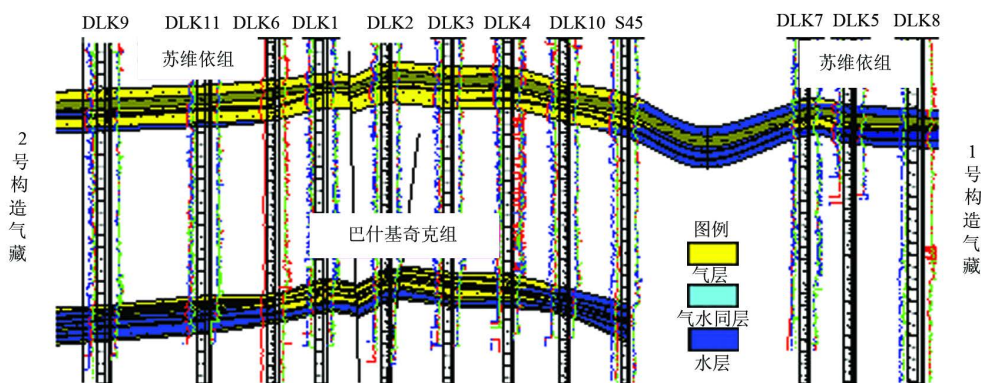


Figure 1. Structural map of gas condensate reservoir number 1 and 2
图 1. 1、2号凝析气藏构造图

3. 气井产出水来源判断方法

3.1. 采出气中凝析水含量确定

在对气井产出水进行判断时，首先需要判断气井产出水是否为凝析水。凝析水即为温度、压力的变化使部分水蒸汽凝结而成的液态水。如果实际产水量远远大于计算出的凝析水含量，则初步判断这些井已经开始产出地层水，反之则仅仅产凝析水[1]-[4]。主要以 Mcketta 和 Wehe 于 1958 年根据实测资料研制出的计算天然气中含水量相关图为基础进行计算[5]。通过图版以及公式可以计算出标准状况下单位体积气体在地层和地面条件下的水蒸汽含量，二者的差值即为气藏饱和状态下地面产出凝析水量，也就是最大凝析水量。

计算天然气含水蒸汽量的公式如下：

$$X = X_{0.6} \times C_s \times C_\beta \quad (1)$$

式中： X 为相对密度为 γ_g 的天然气中水蒸汽含量， g/m^3 ； $X_{0.6}$ 为相对密度 0.6 时的天然气中水蒸汽含量， g/m^3 ； C_s 为气体盐量校正系数，1； C_β 为气体相对密度校正系数，1。

取该气藏 S45 井测试资料进行计算，计算结果如表 1、表 2 所示。

S45 井地层条件下饱和蒸汽含量与分离器条件下饱和蒸汽含量的差值为 $6.65 \text{ g}/\text{m}^3$ ，即采出 1 m^3 天然气可采出凝析水 6.65 g 。将 S45 井实际生产数据每立方米天然气的含水量，与 $6.65 \text{ g}/\text{m}^3$ 相比较，若计算值比该值低，说明采出水为凝析水；若计算值比该值高，说明该气井从那个时刻开始产出地层水。采用这种计算方法对 A 凝析气藏凝析水含量进行计算，截止到 2011 年 12 月，1 号构造气藏 3 口生产井产出水为地层水，2 号构造气藏 2 口生产井产出水为凝析水、7 口生产井产出水为地层水。

3.2. 利用动态资料分析出水来源及出水特征

一般气井出水除了凝析水以外还有夹层水、边水、底水，不同的见水类型对气井生产和井筒积液有不同的影响[6]。下面主要根据生产井产气量、产水量、水气比等生产特征参数变化来确定气井具体的产水类型，从而正确认识储层气水分布关系，以利采取有效的控水措施，稳定气井产量。

3.2.1. 夹层水出水特征

该类生产井出水特征主要表现为：① 投产即见水；② 日产气量基本保持在一个稳定水平；③ 日产水量少且稳定；④ 产气量的增加不会引起产水量的大量增加；⑤ 水体能量较弱，生产过程稳定。夹层水渗流示意如图 2 所示；典型生产动态曲线如图 3 所示。

Table 1. Calculation results of saturated steam content of S45 well in formation**表 1.** 地层条件下 S45 井饱和蒸汽含量计算结果

地层压力/MPa	地层温度/°C	地层水矿化度/(g·L ⁻¹)	X _{0,g} /(g·m ⁻³)	C _β /1	C _γ /1	X/(g·m ⁻³)
55.14	137.3	247,500	9	0.99	0.79	7.04

Table 2. Calculation results of saturated steam content of S45 well under separator condition**表 2.** 分离器条件下 S45 井饱和蒸汽含量计算

地面分离器压力/MPa	分离器温度/°C	地层水矿化度/(g·L ⁻¹)	X _{0,g} /(g·m ⁻³)	C _β /1	C _γ /1	X/(g·m ⁻³)
0.95	-2	247,500	0.5	0.99	0.79	0.39

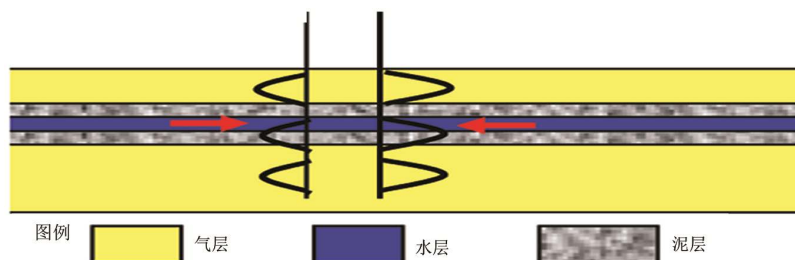
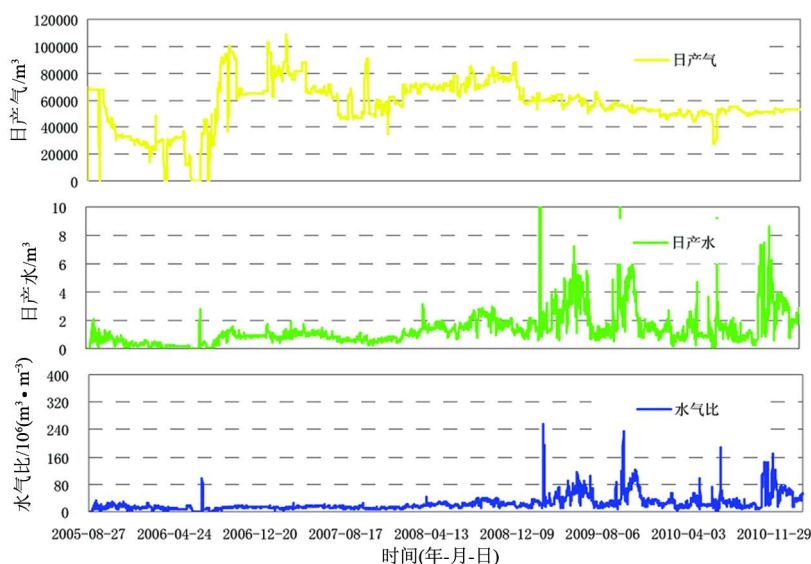
**Figure 2.** Schematic diagram: seepage of interbedded water**图 2.** 夹层水渗流示意图**Figure 3.** The actual production performance curve of DLK2 well**图 3.** DLK2 井实际生产动态曲线

图 3 为 A 凝析气藏 DLK2 井的实际生产动态曲线。该井 2005 年 8 月投产，生产层位为 2 号构造气藏巴什基奇克组，投产后产气量下降较快，油压也下降较多。2006 年 7 月上返苏维依组下气层后产气量保持相对稳定的状态，产水量较低，且水气比保持在相对稳定的状态，其产水量大于计算出的凝析水含量，同时产出水中氯离子的含量高达 140,000 mg/L，表明产出水为地层水。根据 DLK2 井苏维依组测井解释结果和射孔资料，断定该井在底水和气层之间有明显的隔层产出底水的可能性较小，同时测井解释显示射开的 2 个气层之间有夹层有水层，而且射开了水层，所以产水只有可能来自夹层水。夹层水一般存在于隔层之间，水体较小。由于有时会出现测井解释的不准确，气井投产时部分薄的水层被射开，会

出现气水同产，但一般水层规模小对气井生产影响较小。同时可以利用 DLK2 井动态曲线反映出的出水特征对测井资料的准确性进行判断以及对储层特征进行重新认识。

3.2.2. 底水出水特征

该类生产井出水特征主要表现为：① 存在无水采气期，无水采气期长短与储层特征和射孔位置等相关；② 日产气量急剧下降；③ 日产水量快速且持续上升，且产水量大；④ 水气比急剧上升；⑤ 带水采气时间短，极易造成井筒积液。底水锥进示意如图 4 所示；典型生产动态曲线如图 5 所示。

图 5 为 A 凝析气藏 DLK11 井的实际生产动态曲线。该井于 2008 年 12 月投产，生产层位为 2 号构造气藏巴什基奇克组，投产后日产气量低，不足 $2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。2009 年 9 月上返苏维依组下气层，上返后初期产气量达到 $8 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，生产 2 个月后产气量快速下降，日产水量急剧上升，水气比以较快的速度持续上升。由于此时实际生产的产水量远远大于凝析水量，产出水矿化度高，因此判断为地层水。结合 DLK11 井苏维依组的测井解释结果以及射孔资料，该井射孔深度距离水层深度 0.5 m，生产 2 个月即见地层水，充分说明该气井射孔段与底水沟通状况好，供给充足，水侵速度较快，从而判断该井产水为底水锥进。通过该井动态曲线反映出的出水特征可以对该井附近的储层特征以及气水分布特征进行反演，从而获得更准确的认识。

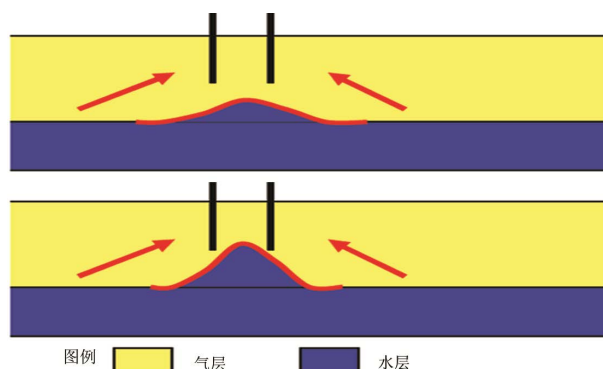


Figure 4. Schematic diagram of bottom water coning

图 4. 底水锥进示意图

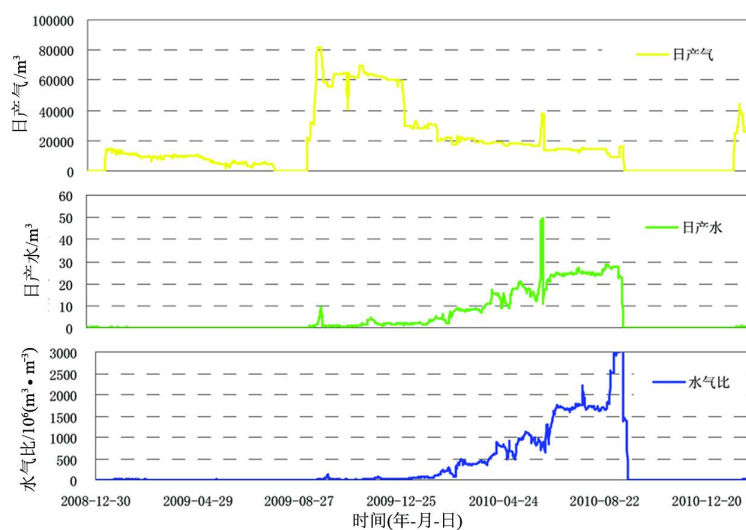


Figure 5. The actual production performance curve of DLK11 well

图 5. DLK11 井实际生产动态曲线图

3.2.3. 边水出水特征

该类生产井出水特征主要表现为：① 存在无水采气期，在类似的储层特征和工作制度条件下，无水采气期长于底水锥进气井；② 出水后产气量持续下降；③ 产水量相对稳定，有一段时间的稳定期，水气比缓慢上升；④ 带水采气时间较长；⑤ 采用补射下气层的生产方式，利用层间干扰，可以减少产水量。边水推进示意如图 6 所示；典型生产动态曲线如图 7 所示。

图 7 为 A 凝析气藏 S45 井的实际生产动态曲线。S45 井于 2000 年 1 月投产，生产层位为 2 号构造气藏苏维依组上气层。投产初期 S45 井几乎不产水，产气量也比较稳定。3 年后产水量上升一个台阶后保持稳定，伴随着产气量的持续下降以及水气比的小幅上升。从凝析水含量计算结果和矿化度测试资料判断此时开始产出地层水。而 S45 井位于构造的边部，测井解释结果显示该井苏维依组上气层测试井段没有水层存在，充分说明该井产出水只可能为边水。2007 年 6 月对苏维依组下气层进行了补孔措施，实现苏维依组上下气层合采。下气层启动后产气量有所上升，产水量大幅下降，说明利用层间干扰能有效抑制上层产水。

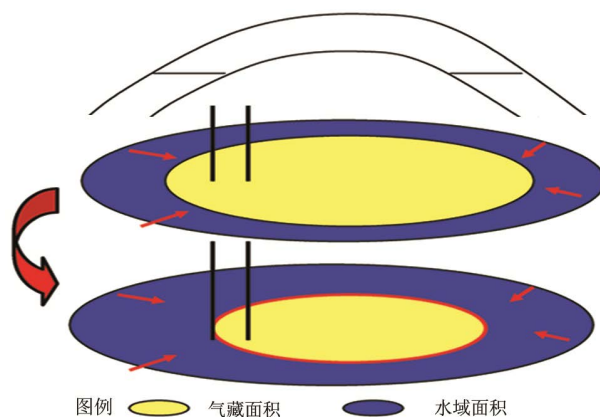


Figure 6. Schematic diagram of edge water advancement
图 6. 边水推进示意图

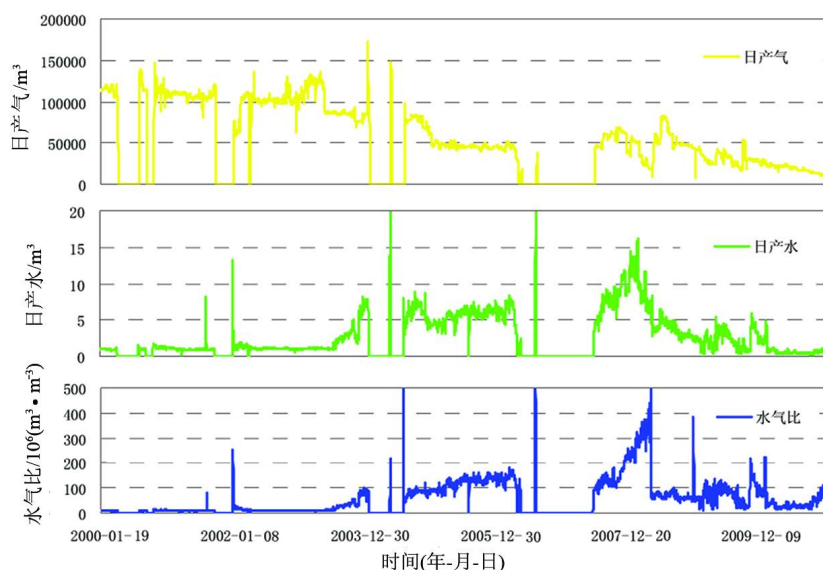


Figure 7. The actual production performance curve of S45 well
图 7. S45 井实际生产动态曲线

采用上述方法对其他产水气井也进行了详细分析，A 凝析气藏 9 口气井反映出了底水锥进的出水特征，1 口气井表现为边水推进的出水特征，同类出水特征的气井反映出相同的动态变化特征，充分说明分析结果可靠。其中 1 号构造气藏 DLK8 井，生产动态曲线除了表现出底水锥进的特征外，投产便产出大量地层水，测井资料和射孔资料显示该井射开了苏维依组下气层底水层，所以导致气水同出。在对各气井出水来源正确判断的基础上，可以对储层构造特征以及气水分布特点进行更精确的认识，有利于同区块新井正确预测出水来源及早采取控水措施。

4. 结论

1) 对气井出水来源进行判断时，首先需对产出凝析水量进行计算，即计算出每立方米天然气中凝析水的含量。

2) 利用气井实际生产动态曲线变化特征可以对同类气藏开发气井出水来源进行正确预测，以便及早采取相应措施，同时生产数据来源可靠，方法简单可行。

参考文献 (References)

- [1] 张丽囡, 李笑萍, 赵春森, 等. 气井产出水的来源及地下相态的判断[J]. 大庆石油学院学报, 1993, 17(2): 107-110.
- [2] 周守信, 孙福街, 张金庆, 等. 气藏粒间水产出量预测方法研究[J]. 中国海上油气, 2008, 20(6): 386-388.
- [3] 贾天泽, 熊钰, 刘泮东, 等. 含水汽凝析气体体系相态特征研究[J]. 海洋石油, 2006, 26(4): 56-60.
- [4] 孙业恒. 平湖凝析气藏一断块产水动态特征研究[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(3): 100-105.
- [5] 杨胜来, 魏俊之. 油层物理学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009: 42-44.
- [6] 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.