

文章编号:1001-6112(2012)S1-0087-04

# 雅克拉白垩系凝析气藏水侵特征及影响因素分析

何云峰,姚田万,袁锦亮,张艾,王利刚

(中国石化西北油田分公司雅克拉采气厂,新疆库车 842017)

**摘要:**雅克拉白垩系凝析气藏位于塔里木盆地雅克拉断凸,是一个整装砂岩凝析气藏。自投产以来生产矛盾不断凸显,边底水不断侵入,部分气井凝析水含量较高,部分气井已经见地层水,严重影响了气藏开发效果。该文通过对水体能量评价、研究水侵特征、识别气井见地层水前的动态响应,最终分析了影响水侵主要因素,找出了影响气藏开发的主要矛盾,提出均衡开发的建议。

**关键词:**水侵特征;均衡开发;凝析气藏;白垩系;雅克拉;塔里木盆地

中图分类号:TE34

文献标识码:A

## Characteristics and influencing factors of water invasion in Yakela Cretaceous Condensate Gas Reservoir

He Yunfeng, Yao Tianwan, Yuan Jinliang, Zhang Ai, Wang Ligang

(Yakela Gas Production Plant, SINOPEC Northwest Company, Kuqa, Xinjiang 842017, China)

**Abstract:** The Yakela Cretaceous Condensate Gas Reservoir is an integral gas field of sandstone, located in the Yakela Faulted Uplift, the Tarim Basin. Production contradictions have continued to appear ever since the beginning of exploitation. Edge and bottom water keep invading. Condensate water is in high content and even formation water is found in some wells, seriously influencing development efficiency. In this paper, water energy, water invasion feature, and the dynamic response before meeting formation water were analyzed. The main influencing factors of water invasion were concluded, and the main contradictions in gas reservoir development were found out, providing suggestions for balanced development.

**Key words:** water invasion characteristics; balanced development; condensate gas reservoir; Cretaceous; Yakela; Tarim Basin

雅克拉白垩系凝析气藏位于塔里木盆地沙雅隆起雅克拉断凸,是一个整装砂岩凝析气藏<sup>[1-2]</sup>。自2005年全面投入开发以来,生产矛盾不断凸显,边底水不断侵入,部分气井凝析水含量较高,部分气井已经见地层水,其中YK14H井已经高含水停喷。因此开展雅克拉白垩系气藏水侵特征研究,找出影响水侵的主要因素,对下步控水治水对策的研究具有重要意义。

### 1 水体能量评价

雅克拉白垩系构造被其南翼的轮台大断裂、北部倾斜部位的雅二断层所夹持,构造东北端和托库构造以鞍部分开,西南倾伏端和东河4号构造以鞍部为界,圈闭面积226.2 km<sup>2</sup>(图1)<sup>[3]</sup>。容积法计算上气层水体倍数为9.7倍,水体不活跃;下气层水体倍数为20.2倍,水体较活跃。

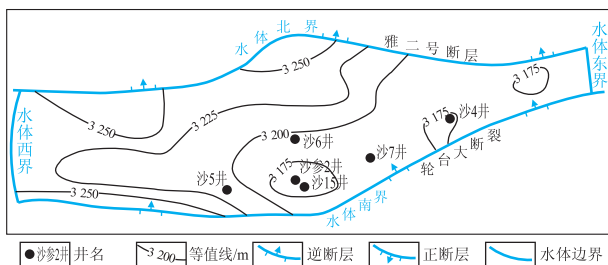


图1 塔里木盆地雅克拉凝析气田水体面积

Fig. 1 Water area of Yakela Condensate Gas Reservoir in Tarim Basin

### 2 气藏水侵特征

在水驱气藏的开发中,由于边底水的侵入而造成气井出水,不仅会增加气藏的开发难度,而且会造成气井产能下降,降低气藏采收率,影响气藏开发效益<sup>[4]</sup>。水侵动态的准确判断,特别是早期

收稿日期:2011-11-14;修订日期:2012-01-15。

作者简介:何云峰(1984—),男,助理工程师,从事油气田开发研究。E-mail:heyunfeng101@163.com。

水侵识别,是主动有效地开发气藏的基础。

## 2.1 气藏水侵识别

### 2.1.1 生产指示曲线法

封闭气藏生产指示曲线(拟压力与累产关系曲线)呈线性关系。如果气藏存在水侵,则生产指示曲线就不是一条直线,而是一条上翘的曲线,由此可以判断气藏是否存在水侵<sup>[5]</sup>。

雅克拉白垩系气藏上、下气层拟压力与累产气数据的计算采用参考文献[5]中的公式,生产指示曲线见图 2。可以看出:曲线明显上翘,表明上层和下气层都是非封闭的,上层和下气层在开发过程中均发生了明显的水侵现象,特别是下气层,水侵现象更为明显。

### 2.1.2 采出程度法

如果气藏为封闭气藏,则无水侵,也不会产出地层水,则存水体积系数为 0。此时,对比压力与天然气采出程度关系曲线将沿对角线呈直线。如果对比压力与天然气采出程度关系曲线在对角线上方,则气藏存在水侵,关系曲线越偏离对角线,水侵强度越大<sup>[5]</sup>。

雅克拉白垩系气藏上、下气层对比压力与天然气采出程度数据的计算公式见文献[5],关系曲线见图 3。可以看出:曲线均在对角线上方,上层和下气层均明显存在水侵作用,特别是下气层,水侵作用更为明显,水侵强度更大。

### 2.1.3 视地质储量法

若把气藏的视地质储量与累产气量作图,则会

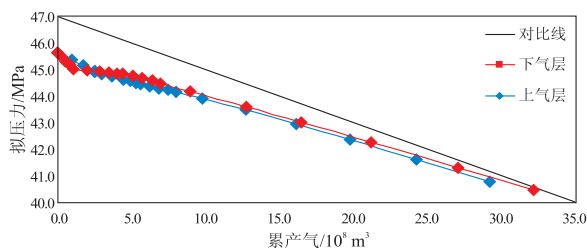


图 2 雅克拉白垩系气层生产指示曲线

Fig. 2 Production indicative curves of Cretaceous gas formation in Yakela

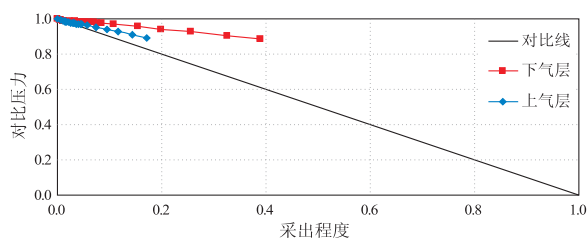


图 3 雅克拉白垩系气层采出程度与对比压力关系曲线

Fig. 3 Relationship between recovery percent and reduced pressure of Cretaceous gas formation in Yakela

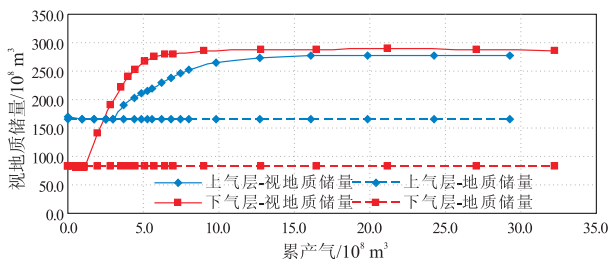


图 4 雅克拉白垩系气层视地质储量变化曲线

Fig. 4 Changing curves of apparent geologic reserves of Cretaceous gas formation in Yakela

得到一条视地质储量的变化曲线。对于封闭气藏,由于不存在水侵作用,则视地质储量恒等于地质储量,视地质储量为一条水平线。若气藏存在水侵,则气藏的视地质储量变化曲线就不是一条水平线,而是一条上翘的曲线<sup>[5]</sup>。

雅克拉白垩系气藏上、下气层视地质储量的计算采用文献[5]中的公式,其变化曲线见图 4。可以看出:上层和下气层的视地质储量变化曲线均不是一条水平线,均是一条上翘的曲线,这说明上层和下气层都存在水侵。

## 2.2 水侵量计算

根据天然水驱不封闭凝析气藏物质平衡方程<sup>[5]</sup>计算得到雅克拉白垩系气藏的水侵量。雅克拉白垩系气藏上层水侵强度相对较小,目前水侵量为  $0.0326 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,下气层水侵强度相对较大,目前水侵量为  $0.0653 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,为上气层的 2 倍。

## 2.3 气藏驱动机制

把气藏开采过程中某一种驱动能量占总驱动能量的百分数,定义为气藏的驱动指数。雅克拉白垩系气藏上层水体倍数为 9.7 倍,水体活跃程度相对较低,目前天然气驱动指数仍高于水驱指数,天然气弹性驱仍占据主导地位。下气层水体倍数为 20.2 倍,水体活跃,目前水驱指数超过天然气驱动指数,水驱占主导地位(表 1)。

## 3 气井见水特征

### 3.1 天然气中饱和蒸汽水含量确定

为了研究雅克拉气藏产水规律,进行了定容衰

表 1 雅克拉白垩系气藏驱动指数计算成果

Table 1 Calculation results of drive index of Cretaceous gas formation in Yakela

气层	$DI_g$	$DI_c$	$DI_e$
上气层	0.543	0.056	0.402
下气层	0.26	0.025	0.715

注:时间为 2011-05-01; $DI_g$  为天然气驱动指数, $DI_c$  为气藏容积的驱动指数, $DI_e$  为水侵能量的驱动指数,计算公式见文献[5]。

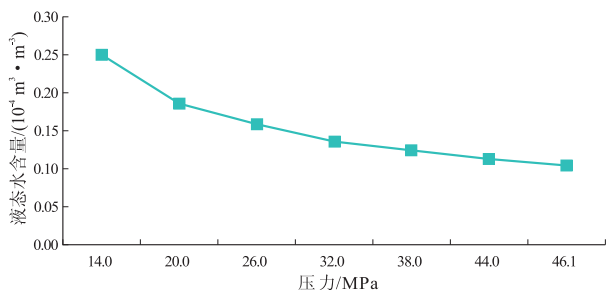


图 5 雅克拉气藏 YK1 井采出气中气态可凝析水含量实验

Fig. 5 Experiment of condensate water content in gas from well YK1, Yakela Condensate Gas Reservoir

竭过程井流物含水量测试(图 5)。YK1 井在衰竭开采过程中,随压力的降低,采出气中气态可凝析水含量逐渐上升,并且上升速度越来越快。在压力降至 14 MPa 时,天然气中折算的液态水量上升至  $0.251 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^3$ 。

### 3.2 氯根及水气比变化

凝析气藏开发过程中,随着地层压力的下降,产出水有凝析水和地层水两种类型。雅克拉凝析气田气井产凝析水的氯根含量很小,一般小于 5 000 mg/L,而产地层水的氯根含量都较大,在  $(6 \sim 10) \times 10^4 \text{ mg/L}$  左右。

对比分析见地层水井、见凝析水井、未见水井的水气比、氯根变化可知(图 6-图 8):1)见地层水井 YK9X 见地层水后,水气比和氯根快速上升,水气比远大于理论水气比,化验氯根值达到地层水氯根含量。2)见凝析水 YK2 井见凝析水前水气比在  $0.2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^3$  以内,氯根矿化度低。2009 年 10 月见凝析水后,水气比突然增大且波动较大,日化验含水差别较大,取样占较大因素,但氯根含量低,水性仍为凝析水。3)未见水井 YK5H 水气比一直在  $0.2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^3$  以内,水气比较为稳定,和理论计算的水气比相当,氯根含量低。

### 3.3 产能变化

由于边底水的侵入,使孔隙中的水膜增厚,导

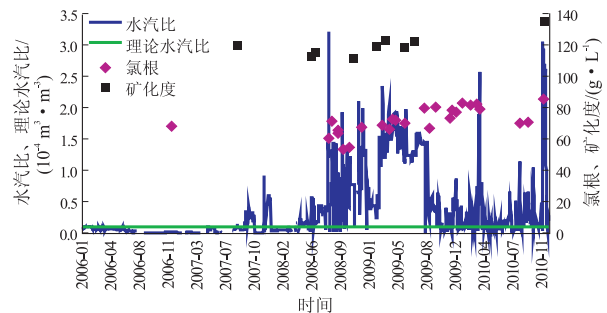


图 6 雅克拉气藏 YK9X 井水气比和氯根变化

Fig. 6 Variation diagram of moisture ratio and chloride in well YK9X, Yakela Condensate Gas Reservoir

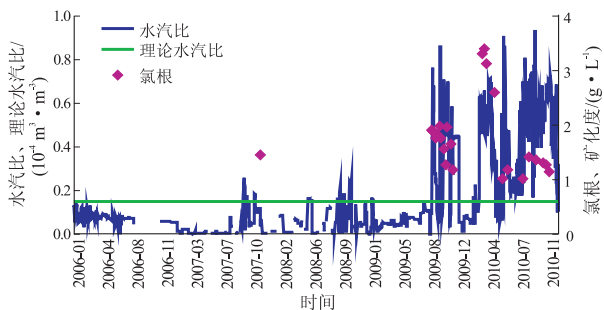


图 7 雅克拉气藏 YK2 井水气比和氯根变化

Fig. 7 Variation diagram of moisture ratio and chloride in well YK2, Yakela Condensate Gas Reservoir

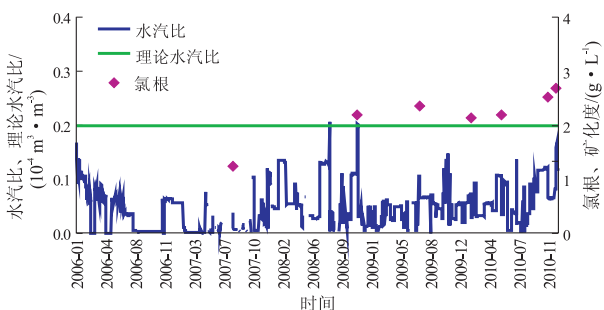


图 8 雅克拉气藏 YK5H 井水气比和氯根变化

Fig. 8 Variation diagram of moisture ratio and chloride in well YK5H, Yakela Condensate Gas Reservoir

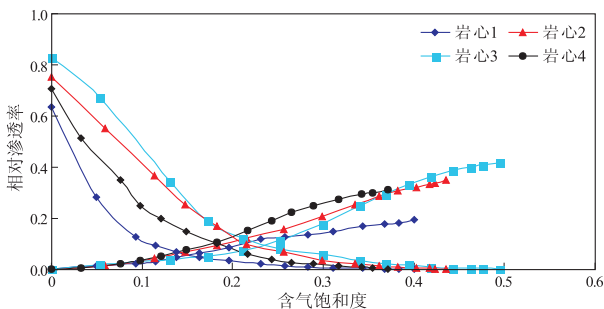


图 9 水驱气过程水和气相对渗透率变化曲线

Fig. 9 Changing curves of relative permeabilities of water and gas during water drive

致油气渗透率下降。由图 9 可知:气藏原始束缚水饱和度为 35%,水侵后束缚水饱和度可达 50% ~ 62%,气相相对渗透率下降到 0.191 5 ~ 0.417 9。

气井见水后,产能大幅下降,YK14H 井见水后,含水从 20% 快速上升到 80%,日产油从 59 t 下降到 7 t,日产气从  $32 \times 10^4 \text{ m}^3$  下降到  $6 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,并最终停喷。

## 4 水侵影响因素

边底水推进的主要因素分为地质因素和动态因素两部分。地质因素主要如:边底水强度、避水高度、储层非均质性、储层物性等;动态因素如:采

油速度、采出程度、压力保持程度等。

#### 4.1 水体能量大小

水体能量大,更容易发生水侵。根据计算的雅克拉白垩系气藏水体大小和水体活跃程度评价可知:白垩系上层水体倍数为 9.7 倍,边水活跃程度为不活跃;下气层水体倍数为 20.02 倍,边水活跃程度为较活跃。下气层水体能量大,水体活跃,更容易发生水侵。

#### 4.2 避水高度

边水水体分布于气藏气水界面外围,开发过程中,气藏压力下降,理想状态下,水体整体上呈环状横向推进,气水界面前缘逐渐向气藏高部位驱动。位于构造边部的气井,由于离气水界面近,更容易见水。YK9X、YK10 井位于构造边部,距离气水界面近,边水容易突进到井底,目前已见地层水。YK6H、YK9X、YK10、YK14H 井的避水高度分别为 50.58、17.89、16.77、53.45 m。

#### 4.3 储层非均质性

渗透率是影响水侵的重要因素,边水水体推进过程中首先沿渗透率高的通道横侵纵窜。

雅克拉白垩系下气层渗透率为  $120.08 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,几乎是上层渗透率  $62.67 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  的一倍,这也将导致白垩系下气层边水快速推进。

YK14H 井虽然避水高度高,但层内非均质性严重,平均渗透率  $15.22 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,最高渗透率  $172.69 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,渗透率极差 616.7,水体沿高渗透带突进,含水快速上升,水淹停喷。

#### 4.4 开采强度

气藏开采强度大,压力下降速度快,水体能量补充,造成水侵速度加快。雅克拉白垩系下气层采速(7%)远高于上层(2%),下气层开采强度大,在高采速下,边水加快侵入,边部井见水(图 10)。

#### 4.5 采出程度

气藏采出程度高,亏空大,造成水侵速度加快。目前上层采出程度为 16.83%,含水 4.77%;下气层采出程度为 40.59%,含水 20.07%。

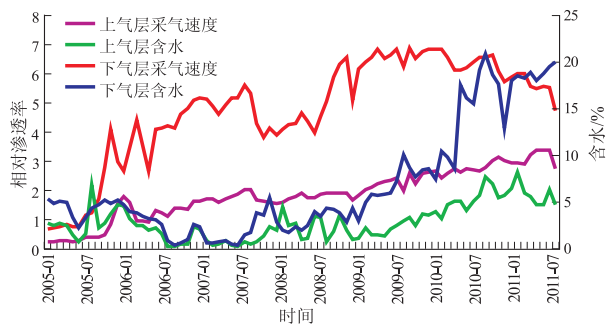


图 10 雅克拉白垩系上、下气层采速与含水关系

Fig. 10 Relationship between recovery speed and water cut in upper and lower gas formations in Cretaceous, Yakela

## 5 结论及建议

1) 雅克拉白垩系上层水体不活跃,水侵强度相对较小,天然气弹性驱仍占据主导地位;下气层水体活跃,水侵强度相对较大,水驱占据主导地位。

2) 凝析气井生产过程中水气比升高、氯根增加是见地层水前的动态响应,边底水侵入后,气相渗透率下降,气井产能大幅下降甚至停喷。

3) 雅克拉白垩系气藏水侵的影响因素有:水体能量大小、避水高度、储层非均质性、开采强度和采出程度。

4) 鉴于雅克拉白垩系上下气层采速不均衡,且下气层水侵严重,建议进行层间调整,均衡开发。

#### 参考文献:

- [1] 王月蕾,陈红汉,张希明,等.塔里木盆地雅克拉断凸白垩系—古近系油气成藏过程[J].天然气工业,2011,31(5):49-54.
- [2] 王英民,王改云,张雷,等.雅克拉地区下白垩统亚格列木组沉积特征及主控因素[J].断块油气田,2011,18(3):293-296.
- [3] 周丽梅.雅克拉—大涝坝开发方案[R].库车:中国石化西北油田分公司雅克拉采气厂,2004-2005.
- [4] 苟文安,杨雪刚,郭睿玲.高峰场气田石炭系气藏水侵特征分析[J].天然气勘探与开发,2004,27(4):18-22.
- [5] 李士伦,王鸣华,何江川.气田与凝析气田开发[M].北京:石油工业出版社,2004.

(编辑 徐文明)