

文章编号:1001-6112(2012)S1-0068-05

# 凝析气藏凝析水产出机理及其对开发的影响

袁锦亮,柳春云,吕晶,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:**在原始地层高温、高压条件下,地层水以气态水和游离水的方式与油气烃类体系共存达到相态平衡。气井生产过程是一个降温、卸压的过程,会引起体系中水相发生蒸发或凝析现象。研究表明储层渗流过程以水相蒸发为主,井筒举升过程以水相凝析为主,从而造成气井凝析水的产出。针对雅克拉白垩系凝析气藏部分生产井凝析水含量异常升高且波动的现象,对气藏开发过程中凝析水产出机理进行了研究和探讨,同时论证了凝析水对凝析气藏开发的影响。

**关键词:**凝析水;水相相态;产出机理;雅克拉凝析气藏;塔里木盆地

中图分类号:TE372

文献标识码:A

## Mechanism of condensate water producing and its influence on development in condensate gas reservoir

Yuan Jinliang, Liu Chunyun, Lü Jing, Wang Ligang

(Yakela Gas Production Plant, SINOPEC Northwest Company, Kuqa, Xinjiang 42017, China)

**Abstract:** In the initial formation with high temperature and pressure, formation water coexisted and was balanced with hydrocarbon as vaporous and free water. Both temperature and pressure decreased during production, leading to the evaporation or condensation of water. In reservoir seepage and flow, water mainly evaporated. And in wellbore lifting, water mainly condensed. In the Yakela Cretaceous Condensate Gas Reservoir, condensate water content increased and decreased abnormally. In view of this phenomenon, the mechanism of condensate water producing and its influence on development were studied.

**Key words:** condensate water; morphology of water phase; producing mechanism; Yakela Condensate Gas Reservoir; Tarim Basin

雅克拉白垩系凝析气藏位于新疆塔里木盆地北部,1991年进行试采,2005年正式投入开发,含气面积38.6 km<sup>2</sup>,为背斜构造、孔隙型砂岩、层状、未饱和、中—高凝析油含量的边水凝析气藏,其凝析油含量189~285 g/m<sup>3</sup>,天然气甲烷含量在81.47%~90.35%之间,C<sub>2+</sub>含量小于12%,CO<sub>2</sub>含量为1.76%,地层水矿化度120 000 mg/L左右,Cl<sup>-</sup>含量70 000 mg/L左右,水型均为CaCl<sub>2</sub>型,属于封闭环境下高矿化度卤水。

随着开发的进行,该气藏部分气井出现凝析水含量异常升高且波动的特征,同时与边水推进特征相比,凝析水含量的升高对气井产能影响较小,主要是降低凝析油的产量。目前,高矿化度边底水对开发的影响,已形成较为明确的认识,而低矿化度的凝析水产出对开发的影响,业内研究分析较少。为此,系统研究气藏开发过程中凝析水产出机理及

其对开发的影响显得尤为重要。本文以雅克拉白垩系凝析气藏为例进行探讨。

### 1 气井产水特征

#### 1.1 气井产水分类

雅克拉白垩系凝析气藏在开发过程中,伴随着地层压力的下降,各气井均有不同类型水产出,在生产现场中通常采用Cl<sup>-</sup>含量、含水率资料划分为三类:凝析水、混合水、地层水(表1),其中混合水指气井初见地层水至全面见地层水过程中产出的水。由于含水率往往受取样位置、井筒积液等因素影响波动较大,因此把氯根离子含量作为主控指标,而含水率作为辅助指标进行判别。

#### 1.2 气井产水生产特征

结合各气井构造位置和生产历史过程中含水率变化特征,将气井产水所表现的生产特征归纳为

表 1 雅克拉白垩系凝析气藏产水分类

Table 1 Classification of water product in Yakela Cretaceous Condensate Gas Reservoir

水型分类	主控指标	辅助指标
	$\rho(\text{Cl}^-)/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	含水率/%
凝析水	<5 000	<40
混合水	5 000 ~ 70 000	5 ~ 40
地层水	>70 000	>5

以下 3 种。

### 1.2.1 低含凝析水型

目前有 3 口井(YK1、YK5H、YK12 井)属于低含凝析水型,主要特征为:①自投产以来正常生产过程中含水率、氯根含量始终稳定在低水平,含水率保持在 5% 左右,氯根含量在 5 000 mg/L 左右;②位于构造高部位,离边底水较远(图 1)。

### 1.2.2 高含凝析水型

目前有 4 口井(YK2、YK6H、YK7CH、YK15 井)属于高含凝析水型,主要特征包括:①自投产以来正常生产过程中含水率呈上升趋势且上下波动,但氯根含量稳定在 5 000 mg/L 左右;②含水的升高对气井产能影响很小,通过控制生产压差或降低产层采速,一定程度上可降低含水率;③气井关井后再开井,短期内凝析水含量有较大幅度上升;④位于构造边部或随开发进行边水过渡带已推进至井底附近(图 2)。

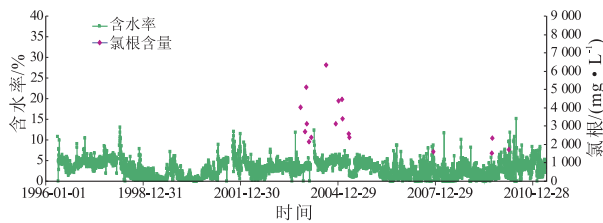


图 1 雅克拉白垩系凝析气藏 YK1 井含水率与氯根含量关系

Fig. 1 Water content vs. chlorinity in well YK1, Yakela Cretaceous Condensate Gas Reservoir

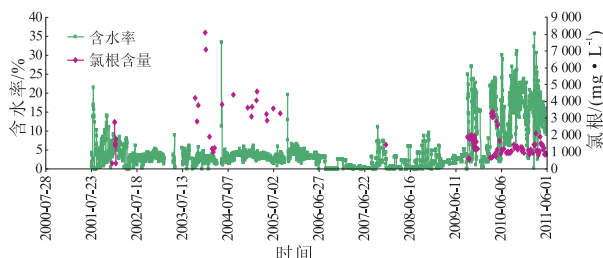


图 2 雅克拉白垩系凝析气藏 YK2 井含水率与氯根含量关系

Fig. 2 Water content vs. chlorinity in well YK2, Yakela Cretaceous Condensate Gas Reservoir

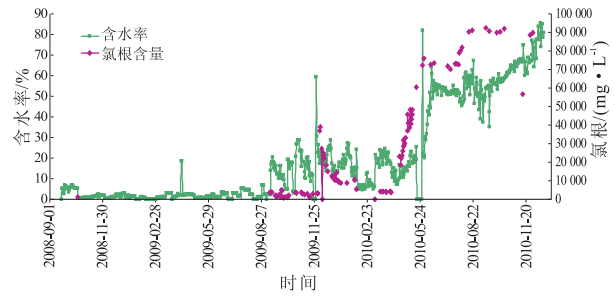


图 3 雅克拉白垩系凝析气藏 YK14H 井含水率与氯根含量关系

Fig. 3 Water content vs. chlorinity in well YK14H, Yakela Cretaceous Condensate Gas Reservoir

### 1.2.3 地层水型

目前有 3 口井(YK9X、YK10、YK14H 井)属于见地层水型,主要特征包括:①自投产以来正常生产过程中含水率呈上升趋势,同时氯根含量持续上升至地层水氯根值后稳定,部分井在氯根含量升高前有高含凝析水阶段;②含水上升后气井产能下降明显;③位于构造边部(图 3)。

## 2 凝析水产出机理

在原始地层高温、高压条件下,由于地层中总是存在原始地层束缚水、边水或底水,气藏中溶有大量的气态凝析水,而丰富的边、底水和隙间水也饱和了大量的天然气,地层水以气态水和游离水的方式与油气烃类体系共存达到相态平衡,相平衡过程中,随温度降低地层水相体积趋于升高,随压力降低地层水相体积趋于降低<sup>[1-4]</sup>。

### 2.1 渗流过程中水相相态变化

地层流体渗流可以视为等温卸压过程,故渗流过程中气态水含量主要是压力的函数,随压力不断降低,地层水相会不断蒸发为气相。故理论上,渗流过程即气井正常生产过程中只会发生水相蒸发过程,储层中不会有液态凝析水产出;当气井关井或者大幅缩小工作制度,近井地带压力出现一定恢复,此时近井地带才会有液态凝析水析出。

事实上,对于边底水气藏,开发过程中边底水推进是必然趋势,因此对于一口气井来说,生产过程中地层水相蒸发可分为以下 2 个过程。

#### 2.1.1 边底水未推进至近井带

此时地层水相中只存在近井带束缚水蒸发。随着束缚水的蒸发,一方面降低了孔隙喉道中含水饱和度,有利于气井产能的提高;另一方面,会导致剩余地层水的矿化度升高。当矿化度超过地层水的盐溶解度时,会发生盐析,这将堵塞渗流通道,伤

害地层<sup>[4]</sup>。

### 2.1.2 边底水推进至近井带

此时地层水首先润湿喉道及岩石壁面,补充前期已被转换为气态水的液态水空间,达到束缚水饱和度后液相才开始流动。由于水侵作用,近井带气相压力迅速下降,导致液态水向气态水加速蒸发,气相内凝析水含量迅速上升,直至达到饱和后稳定。这个过程中,随气井产能和水侵速度的变化,会造成含水率的波动,若侵入的地层水量小于天然气饱和和所需的量,则气井所产水依然为低氯根值的凝析水,反之随水侵量大幅上升,气井所产水中便包含了高氯根值的液态地层水。

### 2.2 井筒中水相相态变化

地层流体进入井筒到排出井口过程是一个降温和卸压的综合过程,温度的下降会降低气态水含量,而压力的下降则是增加气态水的含量。通过不同温度压力条件下的烃水相平衡模拟计算<sup>[4]</sup>,井筒内温度是影响气态水含量的主要因素,水相相态变化总体是一个气相中水蒸气发生凝析的过程,从而造成井口凝析水的产出。

### 2.3 天然气饱和和水蒸气含量计算

实验和理论研究<sup>[5-6]</sup>证明,天然气中水蒸气含量主要与地层温度、压力、采气速度、气体组成及液态水的含盐量有关。温度越高、采气速度越快则水蒸气含量越高,压力越高、水中含盐量和天然气中重质组分含量越高,水蒸气含量越低。

通过图版法、经验公式法、实验测试法等方法<sup>[7-8]</sup>,获取雅克拉白垩系凝析气藏目前地层条件下的天然气饱和水蒸气含量;图表法为 0.127 5,经验公式法为 0.115 4,实验测试法为 0.104 2。应用天然气中水蒸气含量求解方法可以计算各气井的理论水气比即天然气达到饱和和凝析水含量下的水气比。图 4 是 YK2 井的水气比关系曲线,可以看出目前该井水样氯根含量在 2 000 mg/L 以下,产出水为凝析水,但生产水气比远大于理论水气比,生产水气比大幅上升主要发生在 2009 年 9 月份短暂关井重新开井后,并且含水率呈波动状态。

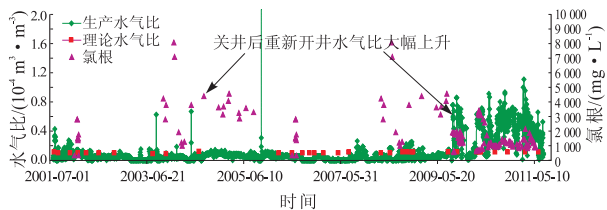


图 4 雅克拉白垩系凝析气藏 YK2 井水气比关系曲线

Fig. 4 Water vs. gas in well YK2, Yakela Cretaceous Condensate Gas Reservoir

## 3 凝析水产出影响因素

### 3.1 地层压力降低、下气层采速过高

随着开发的进行,地层压力逐渐下降,故天然气中气态水含量逐渐上升。和开井初期相比,目前产凝析水的单井含水率及水气比均有一定上升(表 2)。

自 2006 年以来,雅克拉白垩系下气层采速就远大于上气层(图 5),造成下气层压力下降较快,目前凝析水含量出现异常升高的井也主要分布在下气层。

### 3.2 储层反凝析

目前气藏的地层压力已经低于露点压力,整个地层已进入反凝析状态,反凝析造成凝析气中重组分在地层中析出,造成天然气中的重质组分含量下降,从而使得天然气中饱和水蒸气含量升高。由图 6 可以看出,当地层压力开始低于露点压力后,生产水气比有上升趋势。

### 3.3 边水推进

雅克拉白垩系凝析气藏为边水气藏,气井生产过程中,当边水未推进至近井时,束缚水先进行蒸发,由于束缚水含量有限,甚至天然气水蒸气含量未达到饱和,使得一定时期生产水气比小于理论水气比;随着边水逐渐推进,地层边水加速蒸发,天然

表 2 雅克拉白垩系凝析气藏产凝析水井水气比对比  
Table 2 Water vs. gas in condensate water producing wells, Yakela Cretaceous Condensate Gas Reservoir

气层	井名	初期凝析水		目前凝析水	
		含水/%	水气比/ (10 <sup>-4</sup> m <sup>3</sup> · m <sup>-3</sup> )	含水/%	水气比/ (10 <sup>-4</sup> m <sup>3</sup> · m <sup>-3</sup> )
下	YK1	1.01	0.01	4.8	0.12
下	YK2	3.2	0.05	20	0.33
上	YK5H	0.93	0.01	3.2	0.06
下	YK6H	3.5	0.06	10	0.18
下	YK7CH	4.9	0.1	15	0.21

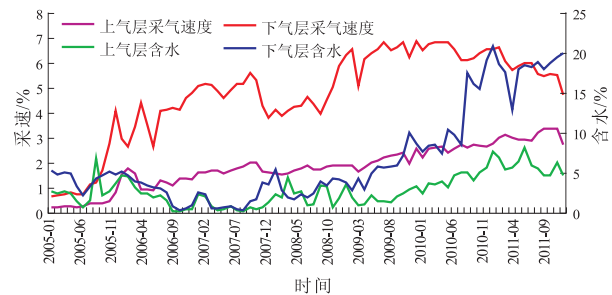


图 5 雅克拉白垩系凝析气藏上、下气层采速与含水关系

Fig. 5 Exploitation velocity vs. water content in upper and lower formations, Yakela Cretaceous Condensate Gas Reservoir

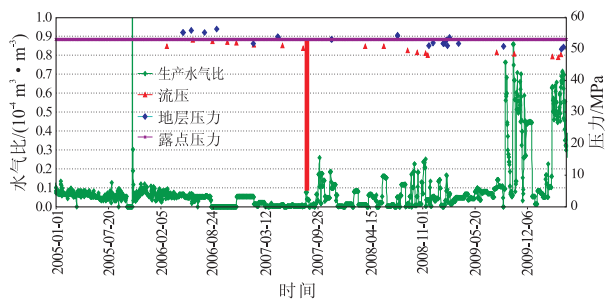


图 6 雅克拉白垩系凝析气藏 YK2 井水气比与压力的关系

Fig. 6 Water/gas ratio vs. pressure in well YK2, Yakela Cretaceous Condensate Gas Reservoir

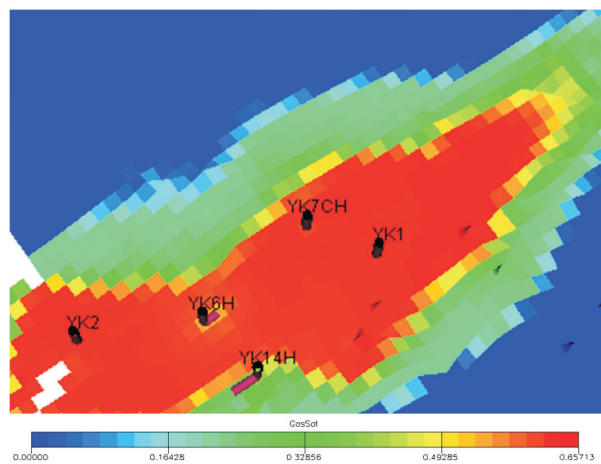


图 7 雅克拉白垩系凝析气藏下气层含气饱和度分布

Fig. 7 Distribution of gas saturation in lower formation, Yakela Cretaceous Condensate Gas Reservoir

气中水蒸气含量因为有了物源而大幅升高(图 4)。根据数值模拟结果(图 7),随着开发的进行,目前下气层边水已推进至 YK2、YK6H、YK7CH 井附近。另外, YK14H 井见地层水前凝析水含量上升(图 3)也说明了边水推进是造成凝析水含量上升的重要原因。

### 3.4 关井影响

根据 2.1 节论述,气井关井会造成近井地带压力迅速恢复,容易造成近井地带储层有凝析水析出,

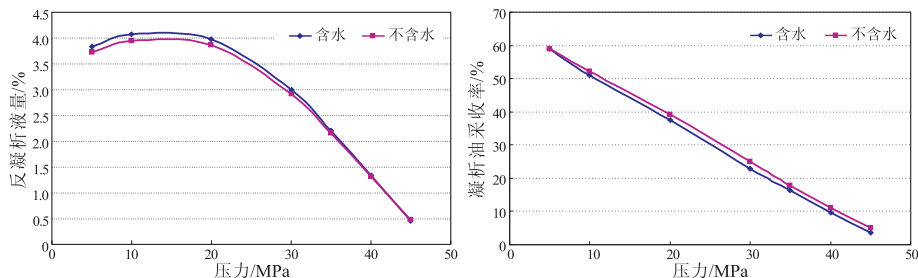


图 8 雅克拉白垩系凝析气藏 YK5H 井 CVD 过程反凝析液量和凝析油采收率对比

Fig. 8 Retrograde condensed liquid amount vs. condensate oil recovery rate during CVD, well YK5H, Yakela Cretaceous Condensate Gas Reservoir

这便是生产井关井重新开井后初期凝析水含量上升的原因(图 4)。

## 4 凝析水对凝析气藏开发的影响

### 4.1 凝析水对凝析油气相态的影响

2010 年 5 月开展了高温高压富含气态地层水的凝析油体系特殊 PVT 相态实验(表 3,图 8),实验表明:气态水的存在降低了凝析气体体系的露点压力,增大了地层反凝析过程中的反凝析液量,降低了凝析油的采收率。研究表明<sup>[3]</sup>,由于水相的强极性,气态水不但使凝析气中重质烃更多地反凝析出来,而且相对来说也使凝析气中较轻烃类组分发生反凝析,从而降低了凝析油最终的采收率。

### 4.2 凝析水对地层流体渗流的影响

(1)有利方面:①边底水未推进至近井带之前,束缚水的蒸发引起孔隙中含水饱和度降低,提高了近井地带气相相对渗透率,改善近井储层的渗流能力,一定程度上可以提高气井产能;②边底水推进至近井地带后,地层水首先润湿喉道及岩石壁面,补充被转换为气态水的液相水,达到束缚水饱和度后再进行蒸发直至天然气水蒸气含量达到饱和后才以液态相进入井筒,因此这在一定程度上延缓了地层水的推进。

(2)不利方面:①由于凝析气藏在进入反凝析后会有凝析油凝析出来吸附在地层中,而研究表明<sup>[9]</sup>,束缚水的存在对提高凝析油临界流动饱和度、降低残余凝析油饱和度有一定作用,由于近井

表 3 雅克拉白垩系凝析气藏 YK5H 井露点压力测试数据

Table 3 DPP in well YK5H, Yakela Cretaceous Condensate Gas Reservoir

温度/℃	含水露点压力/MPa	不含水露点压力/MPa	差值/MPa
134(地层)	47.9	48.51	-0.61
110.0	48.79	48.96	-0.17
100.0	48.96	49.17	-0.21



地带束缚水发生蒸发,若在边底水推进前地层即发生反凝析,则会造成更多凝析油损失;②由于气态水的存在提高了地层反凝析过程中的反凝析液量,因此提高了近井地带渗流阻力,会进一步降低气井产能,并最终降低凝析油采收率;③地层水的蒸发导致剩余地层水的矿化度升高,当矿化度超过地层水的盐溶解度时,会发生盐析,这将堵塞渗流通道,伤害地层,降低气井产能<sup>[5]</sup>。

#### 4.3 凝析水对井筒流态的影响

根据2.2节论述,井筒流动过程中天然气中水蒸气是一个凝析的过程,液相凝析水含量在井筒最上部达到最大。高凝析水含量会增加气井临界携液气量,当气井产气量小于临界携液气量时,气井就会发生井筒积液现象,降低气井产能。同时,井底积液若未能及时排除,特别是当气井关井后,会发生近井地层凝析水反渗析现象,造成水锁效应导致气井重开井启动困难,甚至导致气井死井。

## 5 结论和建议

1)在原始地层高温、高压条件下,地层水以气态水和游离水的方式与油气烃类体系共存达到相态平衡,天然气中气态水含量主要受压力和温度影响,气井生产过程是一个降温、卸压的过程,会引起体系中水相发生蒸发或凝析现象,其中井流物在储层渗流过程以水相蒸发为主,在井筒举升过程以水相凝析为主,从而造成气井凝析水的产出。

2)雅克拉白垩系凝析气藏凝析水含量的变化主要受地层压力下降、高采速、储层反凝析、边水推

进以及关井影响,其中高采速、边水推进及关井是造成部分井凝析水含量异常升高的主要原因。建议保持合理采速和合理生产压差进行生产,同时尽量减少气井关井。

3)总体来看,凝析水不利于凝析气藏的开发,主要表现为增大了反凝析液量,提高了近井地带的渗流阻力和气井临界携液量,降低了凝析气藏的采收率。

#### 参考文献:

- [1] Kokal S K, AL-Dokhi M, Sayegh S. Phase behavior of gas condensate water system[R]. SPE 62931, 2000.
- [2] 刘建仪,郭平,李士伦,等.异常高温凝析气藏地层水高压物性实验研究[J].西南石油学院学报,2002,24(2):9-11.
- [3] 石德佩,孙雷,刘建仪,等.高温高压含水凝析气相态特征研究[J].天然气工业,2006,26(3):95-97.
- [4] 汤勇,孙雷,杜志敏,等.异常高温气井凝析水产出机理及动态研究[J].西安石油大学学报(自然科学版),2007,22(1):68-71.
- [5] 汤勇,杜志敏,张哨楠,等.高温气藏近井带地层水蒸发和盐析研究[J].西南石油大学学报(自然科学版),2007,29(2):96-99.
- [6] 樊建明,郭平,邓垒,等.气中水含量对气藏流体相态与渗流的影响[J].西南石油大学学报(自然科学版),2008,30(1):100-102.
- [7] 诸林,白剑,王治红,等.天然气含水量的公式化计算方法[J].天然气工业,2003,23(3):118-120.
- [8] 车继明,郭平,樊建明,等.高温气藏及凝析气藏气中水含量测试与计算[J].天然气勘探与开发,2008,31(2):44-48.
- [9] 孙风景,郭平,杜建芬,等.束缚水和衰竭速度对凝析油临界流动饱和度的影响[J].新疆石油地质,2006,27(4):456-458.

(编辑 徐文明)