

# 雅克拉白垩系凝析气藏剩余油研究

张 绘, 张 奎

(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属于深层高温高压边水凝析气藏, 2005 年投入开发至今已稳产 10 年, 目前边水推进增速, 气藏控水治水难度较大, 产量下降明显, 气藏稳产形势严峻。通过精细小层对比, 结合剩余油饱和度测井资料, 进行剩余油分布研究, 提出存在 4 种类型的剩余油, 即: 顶部层间剩余油、底部层间剩余油、层内剩余油(上层底部)和水淹(水锁)剩余油。这为后期开展剩余油挖潜工作奠定了基础。

**关键词:** 精细小层对比; 剩余油; 白垩系; 雅克拉地区

**中图分类号:** TE327

**文献标识码:** A

## Residual oil in Yakela Cretaceous condensate gas reservoir

Zhang Hui, Zhang Kui

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

**Abstract:** Yakela Cretaceous condensate gas reservoir is a deep gas reservoir with high temperature, high pressure, and edge water. It has been keeping stable production for 10 years until now. Since the advance speed of edge water is increasing, the water control of gas reservoir is difficult and the production is declining apparently. The gas reservoir is hard to maintain a stable situation now. By carrying out a fine contrast of small layers, and integrating with the logging information of residual oil saturation, we studied residual oil distribution, and proposed four types of residual oil: interlayer residual oil in the Upper Cretaceous, interlayer residual oil in the Lower Cretaceous, intralayer residual oil (at the bottom of upper gas layer), and water-flooded residual oil. It laid a foundation for residual oil development in the future.

**Key words:** fine contrast of small layer; residual oil; Cretaceous; Yakela area

雅克拉白垩系凝析气藏天然气地质储量  $275.13 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 可采储量  $162.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ ; 凝析油地质储量  $516.27 \times 10^4 \text{ t}$ , 可采储量  $205.7 \times 10^4 \text{ t}$ , 截至 2014 年 11 月, 凝析油采出程度 39.34%, 天然气采出程度 33.59%。目前已进入开发中后期, 掌握剩余油分布及储量是下步进行开发调整的重要依据。目前常用的剩余油研究方法有: 调整井研究剩余油富集程度、油藏工程综合分析、油藏数值模拟研究剩余油定量分布等<sup>[1]</sup>。本文通过层序地层划分、砂体划分及隔夹层分布研究, 并结合生产动态、剩余油饱和度测井资料等, 对雅克拉凝析气藏剩余油进行研究。

## 1 雅克拉气田地质概况

雅克拉凝析气田位于新疆库车县东南约 50 km 处, 构造上位于塔里木盆地东北坳陷区沙雅隆起雅克拉断凸中部。雅克拉白垩系凝析气藏平面上分为主构造及 S4-S7 井区(图 1)。气藏储层为

白垩系亚格列木组( $K_1y$ ), 厚约 50 m, 中间为一套绿灰、棕红色泥岩夹浅绿灰、灰白色粉砂岩、泥岩隔层, 将气藏分为上、下气层。

## 2 层序地层旋回划分

### 2.1 标准井

选取研究层段地层齐全、没有断层、旋回特征明显、标志层岩性及电测特征典型、取心资料较为完整的直井, 选取 YK16、YK1 井作为标准井。

### 2.2 标志层

雅克拉白垩系凝析气藏上、下气层之间的泥岩隔层相对比较稳定, 在全区范围内广泛分布, 测井响应等特征明显, 易于识别, 因此选取上、下气层之间的泥岩隔层作为标志层。

### 2.3 中期旋回标志

根据短期旋回的进积、加积和退积叠加样式不同来识别中长期基准面旋回, 以较大规模的冲刷面

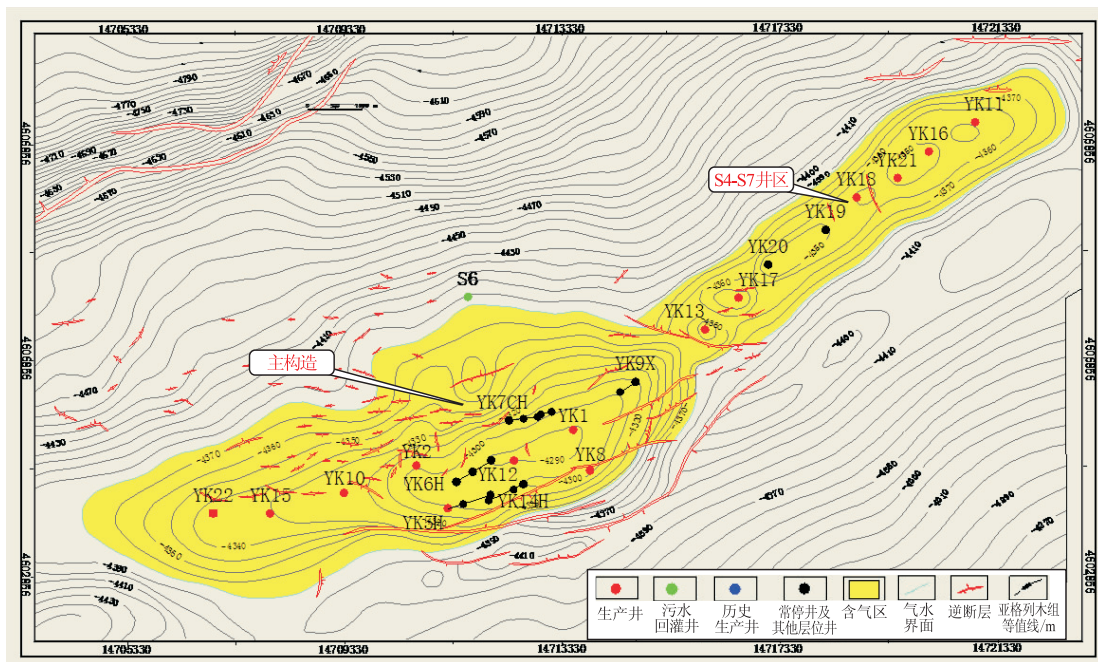


图 1 雅克拉地区白垩系凝析气藏含气区

Fig.1 Gas-bearing area of Yakela Cretaceous condensate gas reservoir

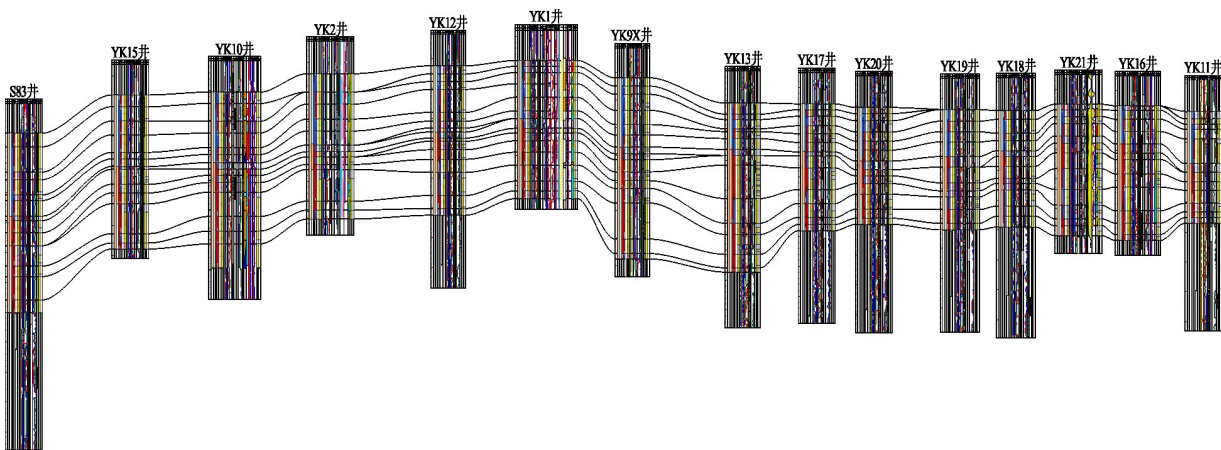


图 2 雅克拉地区沿构造长轴方向地层格架对比

Fig.2 Stratigraphic framework contrast of Yakela area along with the long axis direction of the structure

或洪泛面为界限<sup>[2]</sup>。结合测井曲线和岩石类型变化从下至上分为 3 个中期旋回,分别命为 MSC1, MSC2 和 MSC3。

## 2.4 短期旋回标志

### 2.4.1 小型冲刷面及其上覆滞留沉积物

亚格列木组小型冲刷面及上覆的滞留沉积物有 2 种类型:①砾石滞留物,冲刷面滞留物为砾石,向上岩性逐渐变细,冲刷面为短期旋回界面;②泥砾滞留物,泥砾滞留物为早期水下分流河道对支流间湾的冲刷。岩性为砂砾岩、含砾粗—细砂岩,冲刷面滞留物为砾石,向上岩性逐渐变细,冲刷面为短期旋回界面。为分流间湾与水下分流河道界面或支间湾界面。

### 2.4.2 相组合和岩相类型垂向上的转换位置

由水体向上变深的相序或相组合向水体逐渐变浅的相序或相组合的转换处,形成粒度向上变细转为粒度向上变粗的岩相组合。

### 2.4.3 砂泥岩原生色突变位置

砂、泥岩原生色较深反映沉积水深较浅,砂、泥岩原生色较浅反映沉积水深较深,砂、泥岩原生色突变界面可反映沉积水体水进或水退,原生色突变界面可作为短期基准面识别标志。

### 2.4.4 剩余油饱和度测井曲线韵律突变位置

实际开发过程中,通过对剩余油饱和度测试发现,原先测井曲线划分出的短期旋回内,动态上仍然可以表现出若干个小旋回。这些旋回突变的界

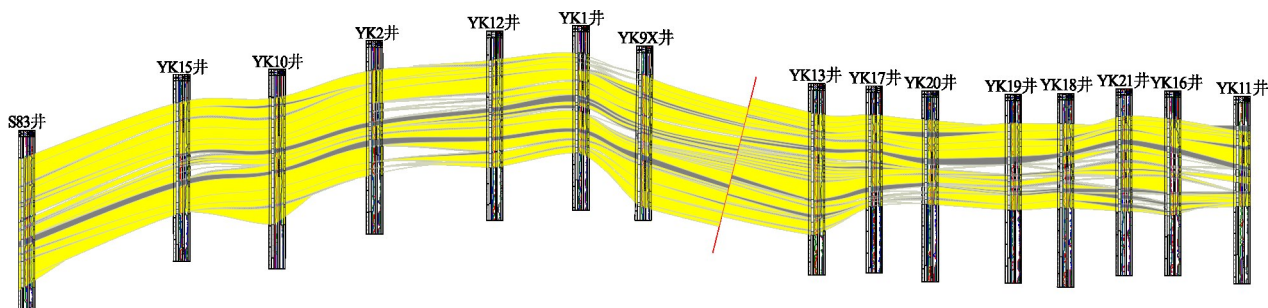


图3 雅克拉地区沿雅克拉主构造长轴方向连井砂体对比

Fig.3 Well-tie sand body correlation along with the long axis direction of Yakela main structure

限,也是沉积环境的变化,主要是由河道的摆动、水平面的小规模进退造成的。

### 2.5 雅克拉白垩系凝析气藏地层格架

以短期旋回为基本单元进行井间地层对比与追踪,建立雅克拉区块等时地层对比格架(图2)。

## 3 砂体划分及隔夹层分布

根据测井曲线划分层段,利用层序地层学原理和生产动态资料、剩余油饱和度测井资料指导小层对比。将高 GR、高 SP 层分为泥岩层和泥砾层。划分依据为层厚、与上下层接触关系、平面分布范围等,即将大范围分布稳定的泥岩特征层划分为泥岩,而将厚度小、分布范围小、有被其他层剥蚀切割特征的层划分为泥砾层。泥岩层对油气水的运移具有良好封隔性,而泥砾层只能对油水的流动起到局部阻挡或延长运移路线的作用,对气的阻隔作用不大。

由于受沉积环境变化等因素影响,砂岩在垂向上的分布各有其不同的特点。选取近于垂直物源和平行物源各 2 条不同方向的短期旋回层序地层对比剖面。从气藏主剖面上看(图3),发育 2 条稳定泥岩隔层,横向上 S4-S7 井区泥岩、泥砾夹层分布广,纵向上下气层夹层密度大,非均质性强,对油气水、剩余油具有遮挡及控制作用。

## 4 剩余油研究

在砂体对比基础上,结合 PNN 测井资料、数值模拟结果,确定亚格列木组剩余油气分布情况。研究认为,工区内目前存在 4 种剩余油模式:顶部层间剩余油、底部层间剩余油、层内剩余油(上层底部)、水淹(水锁)剩余油。

### 4.1 顶部层间剩余油

(1)未动用依据。雅克拉白垩系上下气层为独立的气层,YK9X 井在下气层生产,其邻井 YK1 虽在上气层生产,但从静态砂体对比可知,YK1-

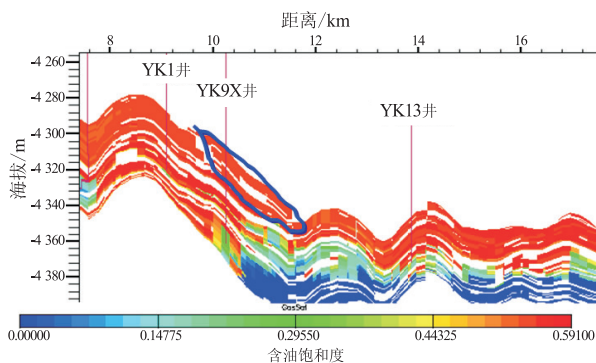


图4 雅克拉地区白垩系顶部层间剩余油分布

Fig.4 Distribution of interlayer residual oil in the upper Cretaceous in Yakela area

YK9X 井间砂体不连通;邻井 YK13 井顶部构造海拔-4 350 m,对 YK9X 井(顶部海拔-4 308 m)油气基本不产生影响。因此,在 YK9X 井构造顶部存在未动用剩余油。

(2)剩余油分布。YK9X 井上气层未生产,但是从数值模拟结果来看,上气层底部已经有一定程度水淹迹象,所以剩余油分布在上气层顶部(图4)。

### 4.2 底部层间剩余油

(1)未动用依据。雅克拉白垩系上下气层为独立的气层,对 YK15, YK10 和 YK2 井 PNN/TNIS 测试和数值模拟结果显示,下气层尚存在一定数量的剩余油。砂体对比可知,YK11 井附近砂体与西部砂体连通性差,下气层存在未动用剩余油。

(2)剩余油分布。YK15 和 YK11 井下气层未生产,从剩余油饱和度测井资料来看,井下气层剩余油饱和度高(图5)。YK1, YK16 和 YK20 井下气层底部未生产,具有剩余油气分布。

### 4.3 层内剩余油

(1)未动用依据。雅克拉主构造多口生产白垩系上气层的井,由于射孔井段在中上部,通过饱和度测井资料可以看出,上气层底部具有未动用的剩余油。

(2)剩余油分布。该类型剩余油分布在雅克



表 1 雅克拉地区剩余油储量

Table 1 Reserves table of residual oil in Yakela area

剩余油类型	分区	含气面积/ km <sup>2</sup>	有效厚度/ m	有效孔隙度/ %	原始含气饱和度/ %	原始气体偏差系数	气油比/ (m <sup>3</sup> ·m <sup>-3</sup> )	凝析油相对密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	天然气储量/ 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	凝析油储量/ 10 <sup>4</sup> t
顶部层间 剩余油	MSC1-YK9X	3.06	4.54	0.139	0.5	1.299	5 008	0.793	3.133	4.961
	MSC2-YK15	2.67	4.1	0.139	0.62	1.299	5 008	0.793	3.061	4.848
	MSC2-YK11	1.4	5.11	0.15	0.519	1.27	3 150	0.793	1.765	5.434
底部层间 剩余油	MSC3-YK15	1.904	5.42	0.139	0.62	1.299	5 008	0.793	2.877	5.401
	MSC3-YK1	3.77	6.61	0.139	0.62	1.299	5 008	0.793	6.947	13.042
	MSC3-YK20/16	4.37	4.34	0.15	0.519	1.27	3 150	0.793	4.678	14.406
	MSC3-YK11	0.176	0.5	0.15	0.519	1.27	3 150	0.793	0.022	0.067
层内剩余油	MSC1 底部	15.67	3.04	0.139	0.62	1.299	5 008	0.793	13.322	21.095
合计									35.805	69.254

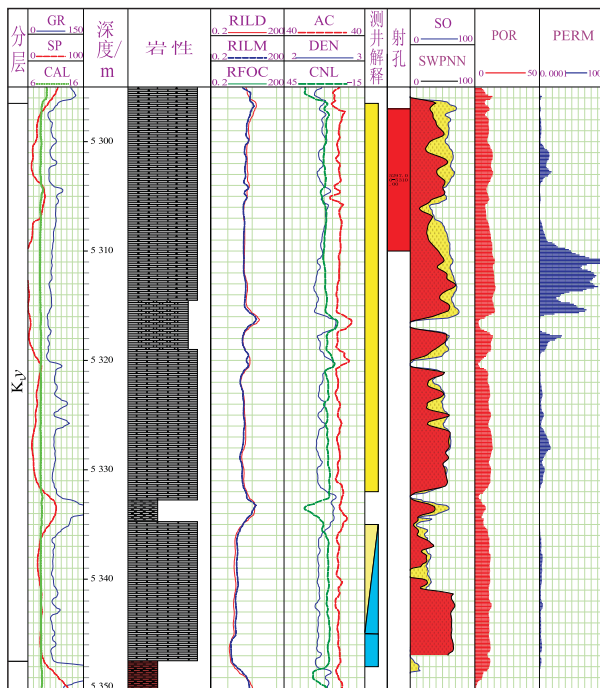


图 5 雅克拉地区 YK15 井 PNN 测井成果

Fig.5 PNN logging diagram of well YK15 in Yakela area

拉主构造生产井上气层底部(YK15, YK10, YK2 和 YK6H 井)。

#### 4.4 水淹(水锁)剩余油

(1)未动用依据。数值模拟结果显示,凝析气井见水后,形成的“水封气”,在目前工艺条件下难以采出(YK6H, YK1 和 YK18 井等)。

(2)剩余油分布。该类型剩余油分布在现阶段见水停喷井井周。

#### 4.5 剩余油地质储量

在各种类型剩余油研究的基础上,采用静态法对分布在各个区域的剩余油进行计算(表 1)。由于各井水淹剩余油饱和度无法确定,尚未计算其储量。

## 5 结论

(1)通过精细地层格架对比,将亚格列木组划分为 3 个中期旋回和 16 个短期旋回。

(2)精细划分了 16 个小层,其中隔夹层测井特征为高 GR、高 SP,岩心特征表现为隔层以泥岩层为主,夹层以泥岩层和泥砾层为主。全区分布 2 套较完整隔层,平面上 S4-S7 井区夹层分布广,纵向上下气层夹层分布密度较大。

(3)建立了 4 种剩余油模式:底部层间剩余油、顶部层间剩余油、层内剩余油和水淹剩余油。未动用的层间、层内剩余油气储量中,凝析油储量为  $69.254 \times 10^4$  t,天然气为  $35.805 \times 10^8$  m<sup>3</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 冉启佑.剩余油研究现状与发展趋势[J].油气采收率技术, 2003, 10(5): 49-51.
- [2] 宋万超,刘波,宋新民.层序地层学[M].北京:石油工业出版社, 2013.

(编辑 黄娟)