

# YC13-1气田生产水回注可行性研究

唐继<sup>1</sup> 江陵<sup>1</sup> 林飞<sup>1</sup>

**摘要:** YC13-1气田进入开发后期, 压力大幅递减导致生产水处理效果变差, 排海生产水含油量逐渐升高。为解决这一问题, 结合现场实际, 提出了生产水回注工艺的方案并做了可行性分析。分析结果表明: YC13-1气田生产水回注储集空间充足, 水质达标, 注入压力远低于底层破碎压力; 采用生产水回注方案是可行的, 回注后可完全避免生产水排放不达标的可能。

**关键词:** 生产水处理; 分离器; 回注工艺; 可行性研究

Doi:10.3969/j.issn.1006-6896.2016.2.015

## Feasibility Study on YC13-1 Gas Field Production Water Reinjection Process

Tang Ji, Jiang Ling, Lin Fei

**Abstract:** With YC13-1 gas field entered the development later stage, pressure sharply declined leading to bad effect of the production water treatment, and the oil content in discharged production water is gradually increased. To solve those problems, combined with the actual scene, this paper proposed using production water reinjection process scheme. The results showed that water reinjection reservoir space is sufficient and the water quality meets the standards in YC13-1 gas field, the injection pressure is far below the broken pressure of layer bottom. Reinjection is feasible and provides a way to solve the problem of unqualified production water discharge.

**Key words:** treatment of production water; separator water reinjection technology; feasibility study

YC13-1气田生产水处理的核心装置是水力旋流分离器。在高压差下, 生产水沿切线方向进入旋流管, 在离心力的作用下, 密度不同的油和水被分离, 从不同的出口流出, 实现油水分离。但随着气田进入开发后期, 压力大幅递减, 达不到水力旋流分离器需要的压差及流速, 油水分离效果变差, 排海生产水含油量逐步上升, YC13-1气田的生产水处理面临严峻挑战。平台现有生产水处理流程如图1所示。

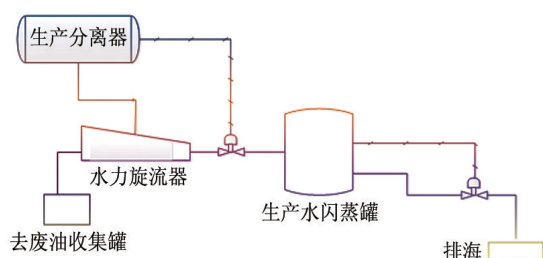


图1 YC13-1平台现有的生产水处理流程

## 1 处理工艺的选择

针对生产水处理效果变差的问题, YC13-1气田曾做过多次处理尝试。采取了如下措施:

(1) 在生产分离器上游注入清水剂、柴油等化学药剂, 以改进生产分离器的油水分离效果。试验结果表明, 注入化学药剂的成本和处理效果不满足经济可行条件。

(2) 测试使用纤维球式精过滤器, 通过聚结、过滤来处理以期达到降低水中油含量的目的。由于生产水处理系统中没有杂质过滤功能, 导致过滤器滤芯时常堵塞, 达不到设计要求。

(3) 给水力旋流器以及生产水闪蒸罐注入氮气, 以气浮选的方法来进行二次处理。由于受到氮气气源因素的制约, 该方案也未能成功。

(4) 利用螺杆泵给生产水增压, 提高通过水力旋流分离器的压差及流速, 恢复离心分离效果, 但实际应用效果并不十分理想。

<sup>1</sup>中海石油(中国)有限公司崖城作业公司

事实上，无论采用哪种处理工艺，都不能完全处理掉排放生产水中的油。随着开发条件的变化，生产水处理的条件也会随之而改变。没有哪一种处理方法能满足所有的工况。所以，为了一劳永逸，提出利用生产水回注工艺解决排放困扰。

生产水回注工艺是利用油气采出枯竭的油气藏作为地层水储集空间，借助于液柱压力和一定的附加压力把经特殊处理的生产水通过天然孔隙裂缝回注储集空间的有效孔隙空间中。这样，在生产的同时能完全不排放生产水，达到节能减排和环境保护的目的。

## 2 生产水回注工艺设计

A7井井位靠近边水，与同样主力开采陵水2段的A1、A3、A4、A5、A6井相比，最早见水。2007年，就由于出水和落鱼躺井，2011年底打捞落鱼并进行大量井下作业后恢复生产，2012年底再次因水淹躺井，至今无法恢复生产。故利用A7井井身经转注处理后作为生产水回注的注水井。回注流程如图2所示。

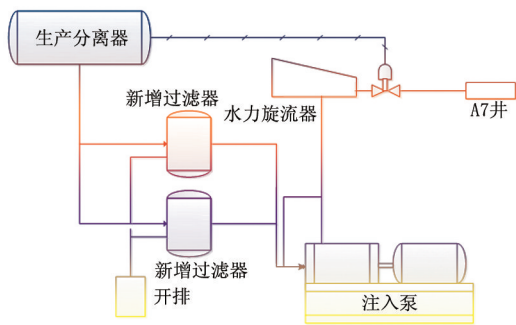


图2 生产水回注流程示意图

新增自带反洗功能的过滤器，避免长期使用造成过滤器堵塞。注入泵使用现有的生产水增压泵，旁通管线、水力旋流器以及液位控制阀都可以利用现有管线与设备，另外，从处理平台到井口平台的注水管线亦有闲置的燃料气管线可作为备选，因此新改造流程所需要的投资并不高。

## 3 回注可行性分析

为了满足处理能力和回注系统使用寿命的要求，生产水回注须遵循一定的原则<sup>[1]</sup>：

- (1) 有足够大的储集空间，能够容纳大量的注入水，并必须具有较高的渗透率和较好的吸水性能。
- (2) 注入压力不能高于储层的破裂压力，否则会造成注水窜层，影响其他产气层。
- (3) 回注的生产水水质必须达标，固体颗粒及

粒径，总铁、硫酸盐等含量不能超标，并且不会促进硫酸盐还原菌的繁殖，否则会影响注入效率，甚至堵塞地层。

### 3.1 储集空间校核

随着回注的进行，作为生产水储集空间的地层有效孔隙被充填导致地层压力回升，当地层压力上升到地面注入设备的工作压力与井筒内液柱压力之和时，生产水就注不下去了。其注入量受注入目的层的储集空间的大小影响。

A7井原主力开采层到地面注入设备的工作位为陵水2段，转注后，生产水将会有18 m厚的砂岩地层作为储集空间（图3）。由于陵水2段北区连通性好，巨大的储层能为生产水提供充足的空间。此外，由于A7井已经边水侵入水淹，生产水回注后，便成为了边水的一部分，对同区块生产井影响有限。

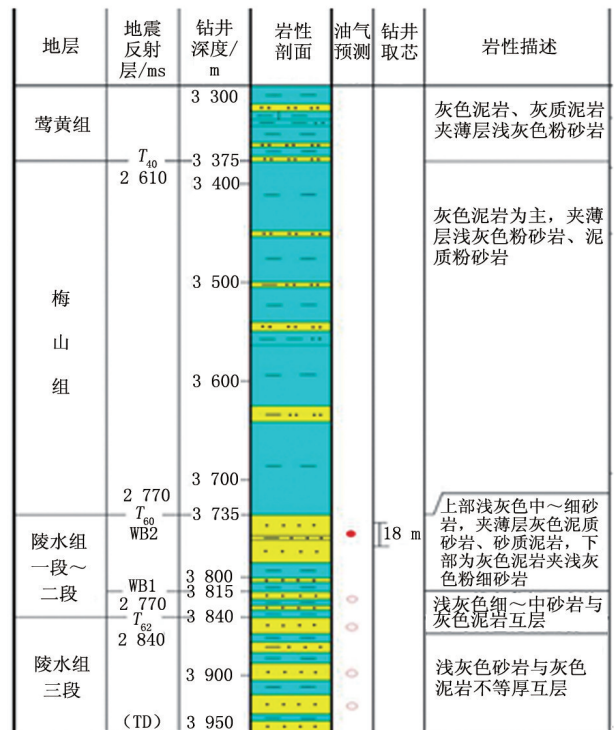


图3 A7井纵向剖面图

### 3.2 水质校核

为了防止注入液堵塞地层孔隙喉道，要求注入水与注入储层岩石以及地层液性质配伍。

#### 3.2.1 固体颗粒的含量

一般注水水质要求固体颗粒含量小于20 mg/L，粒径小于3 μm<sup>[2]</sup>。

目前测定YC13-1井的排海生产水的固体含量约为20~30 mg/L左右，粒径的大小现场无法检测，直接转注不符合回注标准。因此在回注工艺上添加

了两个并联的过滤器。过滤器滤芯孔吸附小于等于  $2\ \mu\text{m}$ , 固体颗粒去除效率高于95%, 保证了固体颗粒含量小于  $20\ \text{mg/L}$ 。

### 3.2.2 生产水中离子含量校核

生产水中含有铁元素会严重影响其注入效率, 气田产出水中的铁一般以二价铁盐[重碳酸亚铁  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ ]的形式存在。当其与生产水中溶解氧等氧化物接触时会发生反应生成  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 。  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  是极难溶于水的棕黄色胶体, 易凝聚沉淀, 所以生产水中的铁离子含量不能超过  $5\ \text{mg/L}$ <sup>[3]</sup>。YC13-1 气田的生产水铁离子含量为  $1\sim 2\ \text{mg/L}$ , 符合回注标准。

生产水回注的另外一个重要的影响因素是硫酸盐的含量,  $\text{SO}_4^{2-}$  容易与  $\text{Ca}^{2+}$  发生反应生成  $\text{CaSO}_4$ 。  $\text{CaSO}_4$  在水中饱和度低, 极易产生沉淀。而YC13-1 气田地层水为碳酸氢钠型, 钙离子和硫酸根离子含量低, 产生硫酸钙沉淀可能性小。

$\text{Cl}^-$  会与水中的溶解氧一起作用, 可对管线产生腐蚀。经封闭处理的生产水不含溶解氧, 不会产生这种腐蚀<sup>[4]</sup>。另外, A7 井的油管设计考虑了抗氯腐蚀, 所以回注水中  $\text{Cl}^-$  含量不必特别控制。

### 3.3 回注压力校核

根据圆形封闭边界平面径向流 Darcy 公式, 只要确定表皮系数等参数, 便可计算出注入量与井底流压间的关系。

由于 A7 井已经水淹, 关井压力不能反映地层压力。而同层位的生产井 A1、A3、A4、A6 现在还未见水, 关井压力约  $600\ \text{lb/in}^2$  (约  $4.138\ \text{MPa}$ )。由于陵水 2 段 (WB1) 北块连通性好, 故可推断 A7 井所在位置地层压力也在  $600\ \text{lb/in}^2$  左右。

根据资料, 可计算出 A7 井井底压力  $p_{wf}$  和注水量  $q$  的关系为

$$p_{wf} = kq + p_r \quad (1)$$

根据式 (1) ( $k=0.00545$ ,  $p_r=4.138\ \text{MPa}$ ) 绘制出 A7 井理论注水曲线, 如图 4 所示。

单串生产分离器设计处理水的能力为  $6\ 200\ \text{BPD}$  (两台分离器约  $1\ 972\ \text{m}^3/\text{d}$ ), 代入公式可以计算得出所需最大井底流压为  $14.883\ \text{MPa}$ 。

在不考虑摩阻的情况下, 泵压  $p_p = p_{wf} - p_{ic}$ 。

A7 井垂直井深约为  $3\ 900\ \text{m}$ , 如果灌满水, 计算得液柱压力  $p_{lc}$  最高可达到  $38.22\ \text{MPa}$ 。

由于所需的最大井底流压  $p_{wf}$  远远小于液柱压力  $p_{液柱}$ , 所以增压泵只需要将生产水输送到井筒

便可。

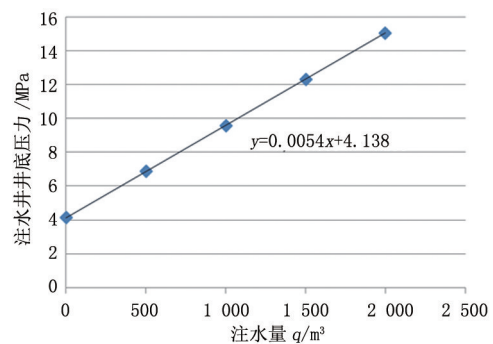


图4 A7井理论注水曲线

此外, A7 井使用的油管设计压力远远大于所需要的最大注入压力  $14.883\ \text{MPa}$ , 油管压力等级完全满足要求。A7 井所在层位开发之初压力系数大于 1, 推算地层所能承受的压力也远大于所需的最大注入压力, 不会对地层造成破坏。

## 4 结论

YC13-1 气田利用 A7 井井筒将生产水回注至地层, 并对回注的方案进行了校核。分析结果表明: 生产水回注储集空间充足、水质达标、注入压力远低于底层破碎压力; 回注方案可行, 回注后可完全避免生产水排放不达标的可能。

## 参考文献

- [1] 李长忠. 地层水回注新工艺探索[J]. 石油与天然气化工, 2005, 31 (5): 420-422.
- [2] 黄小琼, 何益杉, 武云云, 等. 龙岗气田水异层回注可行性研究[J]. 石油与天然气化工, 2010, 36 (6): 505-509.
- [3] 白海涛, 王新强, 吕乃欣, 等. 榆林某气田污水回注井堵塞原因分析[J]. 石油与天然气化工, 2011, 37 (6): 636-638.
- [4] 岳建伟, 帅永乾, 王倩, 等. 川西气田地层水回注选层研究[J]. 油气田环境保护, 2012, 22 (4): 31-33.

## 作者简介

唐继: 大学本科, 2013年毕业于成都理工大学, 从事海上油气田开发工作, 18682361998, 48712186@qq.com, 四川省营山县录井镇十村六组, 637000。

收稿日期 2015-09-22

(栏目编辑 张秀丽)