

# Research on the Technology of Treating Reservoir Reinjection Water with Aluminum Silicate Filter Material

Yue Ma

Zhanjiang Branch of CNOOC(China) Co., Ltd., Zhanjiang, Guangdong, 524000, China

## Abstract

In order to effectively treat oilfield produced water and meet the A2 level reinjection water quality requirements, the gas flotation+three-stage filtration fine water treatment system was first applied in offshore oil fields, the OVX filter was used as the second stage of the three-stage filter, and active aluminum silicate was used as the filter material, after air flotation and dual medium (smokeless coal, quartz sand) filters, the oil and suspended solids content in the production water was further reduced. The device is designed according to the characteristics of filter material filtration and backwashing regeneration. In this paper, the flow field characteristics of the filter and the movement of suspended solids and filter materials with different particle sizes in the flow field are analyzed by CFD method under the design conditions. The research results can provide reference for the selection, design, on-site commissioning and working parameter optimization of fine water treatment equipment.

## Keywords

hydrocyclone; numerical simulation; aluminum silicate filter media; production of water treatment

## 硅酸铝滤料处理油藏回注水的技术研究

马粤

中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 中国·广东 湛江 524000

## 摘要

为有效处理油田采出水, 满足A2级回注水质要求, 气浮选+三级过滤精细水处理系统首次应用于海上油田, OVX过滤器作为三级过滤器中的第二级, 采用活性硅酸铝作为滤料, 在气浮和双介质(无烟煤、石英砂)滤器后进一步降低生产水中油和悬浮物含量。该装置针对滤料过滤和反洗再生特性进行设计。论文通过CFD的方法分析了设计工况下, 过滤器内部流场特征和悬浮物、不同粒径滤料在流场中的运移情况。研究结果可为精细水处理设备的选型、设计、现场调试和工作参数优化提供参考。

## 关键词

精细过滤; 数值模拟; 硅酸铝滤料; 生产水处理

## 1 引言

为将油田采出水处理至 A2 级回注水质, 以满足低渗、特低渗油藏回注要求, 对原有水处理系统进行改造升级, 新增一套气浮 + 三级过滤器的水处理系统。通过气浮选和双介质(无烟煤、石英砂)滤器对生产水进行初步处理, 将水中含油量降低至 20mg/L、悬浮物含量降低至 10mg/L<sup>[1]</sup>。为进一步降低水中油和悬浮物含量, OPTIMISED VELOCITY CROSS FILTER(简称 OVX 过滤器)装置被作为过滤系统的第二级。采用活性硅酸铝滤料作为介质, 可去除 0.45~200 $\mu\text{m}$  的悬浮物, 与无烟煤、石英砂<sup>[2]</sup>、核桃壳<sup>[3]</sup>、改纤维球<sup>[4]</sup>等通过孔隙截滤悬浮物的滤料不同, 硅酸铝质地坚硬, 通过静电吸附悬浮物, 滤料再生无需气源进行反洗, 且反洗水量较

小, 直接引下一级过滤器滤后水余压进行水反冲洗, 反洗水量、水压可通过控制阀进行调节<sup>[5]</sup>。论文根据真实尺寸建立了 OVX 过滤器的三维模型, 借助 ANSYS Fluent 进行数值模拟, 分析了过滤器的处理量、反洗水量对反冲洗效果及滤料损失情况进行分析<sup>[6]</sup>。

## 2 数学模型

### 2.1 模型的简化及假设

经过气浮选及双料滤器处理后的生产水中含油低于 20mg/L, 数值模拟时认为是水在过滤器中的单相流动, 通过 DPM 模型模拟不同直径的悬浮物以及滤料颗粒在流场中的运动轨迹。生产水的温度不发生变化, 假设水的物性(粘度、密度)是一定的, 水为连续相, 其密度为 1000 kg/m<sup>3</sup>, 动力粘度为 0.001 Pa·s, 离散相为悬浮物或滤料颗粒。

### 2.2 控制方程

采用 Standard k- $\epsilon$  湍流模型对连续相水相流场进行数值

【作者简介】马粤(1990-), 男, 中国辽宁朝阳人, 硕士, 工程师, 从事海洋油气工程建设、海上油气工艺研究。

模拟，不可压缩流体单相流动的控制方程包括连续性方程、动量方程、湍动能  $k$  方程、湍动能耗散方程。

### 2.3 网格划分及边界条件

过滤器装置由多个过滤器罐体组成，单罐罐体内部结构及调料床层如图 1 所示。罐体内径 2m，填料共分 4 层，自上而下分别装填比重为 2.4kg/L 粒径不同的 0#、1#、2#、3# 填料，如图 2 所示，各层填料性质如表 1 所示。滤料粒径细堆密度大，孔隙度小，流动阻力大截滤较细的悬浮物，下层粒径粗的滤料截滤性能降低，起到支撑作用，滤料连续级配，3# 滤料底为带过水器的隔板。

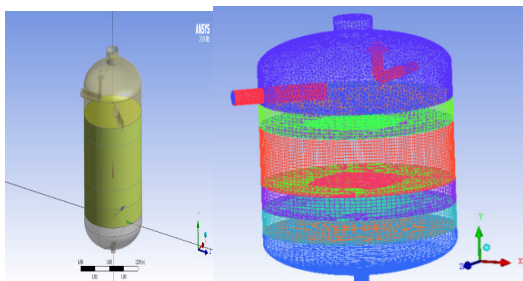


图 1 OVX 过滤器的几何模型及网格划分

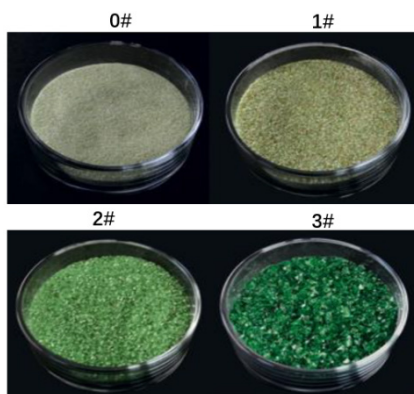


图 2 活性硅酸铝级配滤料

表 1 各层填料性质

	0#	1#	2#	3#
堆密度	1.28kg/L	1.25kg/L	1.23kg/L	1.22kg/L
粒径	0.25~0.5mm	0.4~1.0mm	1.0~2.0mm	2.0~4.0mm
有效粒径	0.32mm	0.46mm	1.3mm	2.6mm
填料高度	0.25m	0.25m	0.61m	0.25m

过滤水入口位于 0# 床层上方 0.2m 高度位置，DN150 管线插入罐体 0.5m 后接 45° 水平弯头。反洗水出口 DN100 通过 90° 弯管引至罐内高点，且配有伞形挡板。过滤水出口 DN150 位于罐底，同时也是反洗水入口。过滤和反洗流程通过气动控制阀进行切换。具体如图 3 所示。

过滤流程入口按处理量设置为速度入口，出口按操作压力设置为压力出口。反冲洗流程入口压力通过控制阀调节反洗水流量，设置为压力出口。

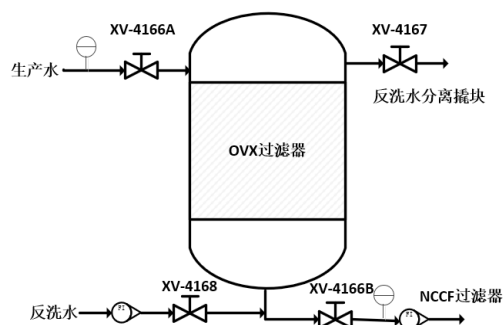


图 3 OVX 过滤器流程控制

## 3 模拟结果与讨论

填料床多孔介质压力梯度如公式 (1) 所示：

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{150(1-\epsilon)^2}{d^2\epsilon^3} \mu u + \frac{7(1-\epsilon)}{4d\epsilon^3} \rho u^2 \quad (1)$$

- 式中： $\frac{\Delta P}{L}$ ——单位长度压降；  
 $\epsilon$ ——填料床层空隙率；  
 $d$ ——填料颗粒有效粒径；  
 $\mu$ ——流体动力粘度；  
 $\rho$ ——填料的有效粒径。

### 3.1 过滤过程

过滤流程过滤器内部流线如图 4 所示，经上一级过滤器处理完成的生产水通过进水管汇分配到每一个过滤器，在罐内 1/2 半径位置切向进入罐内上部空间，在床层上方形成弱旋流。当遇到床层的阻挡同时在重力和压力差的驱动下，生产水均匀地流过各级床层，最终从底部出口流出。

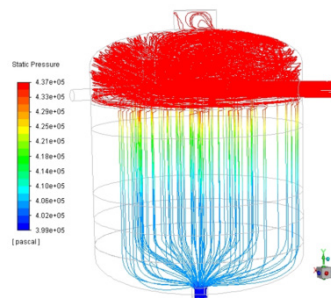


图 4 过滤流程流线图

生产水经过滤料床层，其中的悬浮物和油被滤料吸附，当吸附量达到床层容纳量时，应及时进入反洗流程使滤料再生。假设油和悬浮物全部由 0# 床层吸附，按设计工况：进口含油 20mg/L、含悬浮物 10mg/L，出口含油 6mg/L、含悬浮物 2mg/L 计算，0# 滤料床层空隙率、过滤器截油体积、截滤悬浮物体积和过滤压差随过滤时长的变化如图 5 所示。过滤 1 天的压差的变化较小约 36kPa。设计每天进行 1 次反冲洗。如果入口工况变化，需通过出口取样化验情况进行判断。

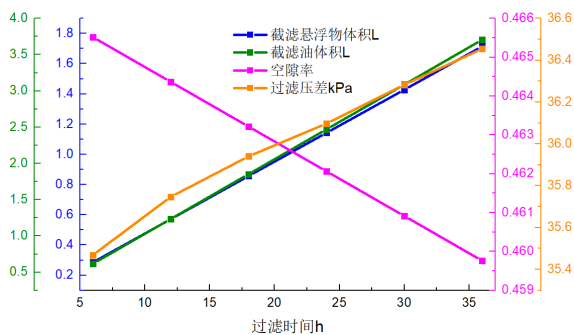


图 5 过滤时间与床层空隙率、过滤压差

### 3.2 反冲洗过程

反洗前过滤器静置 30~90s，使悬浮于介质床上部的介质在反冲洗开始之前沉淀下来，再开始反冲洗程序。反洗出口阀打开，背压降低，设备操作压力降低，100m<sup>3</sup>/h 水量反冲洗流程过滤器内部压力随流线分布如图 6 所示，经处理合格的 A2 级回注水从底部过滤器进入，通过床层底部挡板上的过水器，由下至上依次通过 3#、2#、1#、0# 号滤料床层，最后从反洗水管路流出。

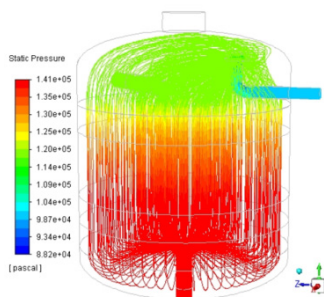


图 6 反洗流程压力随流线分布

过滤时水流方向向下，滤料在水流、自身重力和底部支撑的共同作用下被压实，反冲洗时，水流方向向上，与重力方向相反，床层膨胀，滤料间隙增大。吸附在各层的悬浮物由于压力变化、床层膨胀、水质改变、静置后流速和流向的改变而解脱，比重为 1.05、粒径为 200 $\mu$ m 的悬浮物在反冲洗水流作用下的迹线如图 7 所示，从滤料上脱离的悬浮物在反洗水流的带动下被带离过滤器，使床层再生，恢复纳污能力。

反冲洗水量越大，滤料间隙越大，反洗效果越好，但也会增大滤料的损耗，同时，反冲洗水经管路收集至反洗水分离撬，需二次处理。在满足床层再生需求的前提下，这部

分流体应尽可能地少。硅酸铝滤料硬度为 7mohs，与玻璃相当，长期在水流的作用下发生磨损，制备时粒径不合格的滤料或磨损产生的小粒径滤料，以及脱离的悬浮物在反洗水流作用下被收集进入反洗水分离设备，进行固液分离、固化等二次处理。

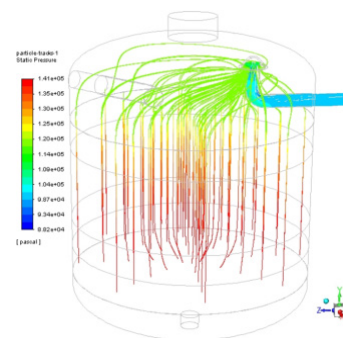


图 7 200 $\mu$ m 悬浮物反洗流程迹线图

## 4 结论

气浮选 + 三级过滤精细水处理系统首次应用于海上油田，OVX 过滤器被放置在气浮选和双介质滤器之后，可将生产水中含油从 20mg/L 降低至 6mg/L、悬浮物含量从 10mg/L 降低至 2mg/L。

活性硅酸铝作为水处理滤料质地坚硬，密度大，切向进入的生产水使床层上表面的滤料悬浮大大增加了滤料过滤面积，通过表面带负电吸附悬浮物。静置后用少量洁净水反冲洗，可除去解脱的悬浮物和因磨损产生的小粒径滤料，即可完成滤料床层的再生，过滤器结构简单高效。

### 参考文献

- [1] 杨炳华. 涠洲12-8W/6-12油田生产水处理技术研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2017.
- [2] 于忠臣. 基于油田组合滤料过滤器复合场反冲洗与过滤机制研究[D]. 黑龙江: 东北石油大学, 2019.
- [3] 王立秋, 董建宏, 张继伟, 等. 海上油田生产水核桃壳过滤器滤料的清洗再生探究[J]. 石油化工应用, 2019, 38(3): 49-53.
- [4] 杨航, 王秀军, 靖波, 等. 改性滤料对油田污水除油效果的影响研究[J]. 工业水处理, 2018, 38(10): 91-94.
- [5] 魏鸿健. 油田污染失效滤料性能及再生技术研究[D]. 黑龙江: 东北石油大学, 2020.
- [6] 宋磊. 油田含油污水反冲洗过滤器设计[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.