

# 低压稳流核桃壳过滤器的开发及在油田废水处理中的应用

张逢玉<sup>1,2</sup>, 姜安玺<sup>1</sup>, 张雷<sup>1</sup>, 闫波<sup>1</sup>, 李芬<sup>1</sup>

(1. 哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090;  
2. 大庆石油学院四环科技开发有限公司, 黑龙江 大庆 163316)

**摘要:**为了解决现有核桃壳过滤装置反冲洗憋压、跑料、滤料再生困难的问题, 经过分析, 根据反冲洗理论, 对过滤器进行改造, 开发出低压稳流核桃壳过滤器。通过现场测试, 证明低压稳流核桃壳过滤器反冲洗压力可以由原来的 0.15~0.40 MPa 降低到 0.03~0.06 MPa, 且能够实现罐群水反冲洗, 反冲洗效果好, 滤料再生效果好。干净的滤料使进水压力由原来的 0.15~0.30 MPa 降到 0.10~0.20 MPa, 改善了出水水质, 含油质量浓度平均 < 10 mg/L。

**关键词:**核桃壳滤料; 低压稳流过滤器; 油田废水; 滤料再生

中图分类号: TQ051.85

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2007)01-0053-04

## Development of low-pressure and steady-flow walnut shell filter and application in oil field wastewater treatment

ZHANG Feng-yu<sup>1,2</sup>, JIANG An-xi<sup>1</sup>, ZHANG Lei<sup>1</sup>, YAN Bo<sup>1</sup>, LI Fen<sup>1</sup>

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China;  
2. Sihuan Scientific Development Co., Ltd., Daqing Shiyu University, Daqing 163316, China)

**Abstract:** In order to solve the problems in the running of the walnut shell filter, the reasons of hold back pressure, material escape, and regeneration difficulty of filtration material when backwashed were studied. Based on the theory of backwash, a kind of low-pressure and steady-flow walnut shell filter was developed. By remolding the filter at a wastewater treating station and testing in situ, the results indicated that the pressure of backwash dropped from 0.15-0.40 MPa to 0.03-0.06 MPa, the effect of filtration material regeneration was good as well, the clean filtration material made the head loss decrease, and the inlet pressure dropped from 0.15-0.30 MPa to 0.10-0.20 MPa, the oil content in the filtered water was less than 10 mg/L, outer water quality improved distinctly.

**Key words:** walnut shell filtration material; low-pressure and steady-flow filter; oil field wastewater; filtration material regeneration

油田采油废水经油水分离后, 进入混凝沉降池, 去除其中的大部分油和悬浮物, 再经过过滤进一步降低其中油和悬浮物的浓度, 以达到出水排放标准。一部分出水进入深度处理站经处理后作为回注水用于“水驱”采油, 另一部分直接排放。过滤是油田废水处理的最后一道工序, 过滤效果直接影响到出水水质。

含油废水过滤处理装置所用填料主要有石英砂、核桃壳以及纤维等。核桃壳过滤器是 20 世纪 80 年代后期在我国发展起来的, 是以核桃壳作为过滤介质, 带有浆搅拌装置的罐装压力式容器<sup>[1]</sup>。与普通滤料相比, 核桃壳滤料表面粗糙, 具有较强的吸油

纳污能力, 密度略大于水; 反冲洗时采用浆搅拌, 加大了滤料之间的摩擦, 反冲洗压力低, 清洗效果好。基于这些优点, 核桃壳过滤器广泛用于油田废水普通站和深度站过滤处理工艺中油和悬浮物的去除<sup>[2]</sup>。

## 1 原核桃壳过滤器

### 1.1 运转过程中出现的问题

大庆油田在 20 世纪 90 年代初开始使用核桃壳滤料过滤装置。运转初期该类过滤装置以巨大吸油除污能力而被广泛推广<sup>[2]</sup>。如某普通污水处理站于 2000 年开始运转, 核桃壳过滤器作为一级过滤装置, 在运转初期经过滤后的水中含油质量浓度

收稿日期: 2006-09-14; 修回日期: 2006-11-13

基金项目: 黑龙江省自然科学基金资助项目(E0302)

作者简介: 张逢玉(1959-), 男, 博士研究生; 姜安玺(1938-), 男, 博士生导师, 研究方向为水和大气污染控制, 通讯联系人, 0451-86282358, jax320@sohu.com。

< 20 mg/L, 通常能达到 10 mg/L。反冲洗水压力维持在 0.15 MPa, 出水效果较好。但随着“聚驱”采油技术的发展, 采油废水中聚合物浓度急剧增加。聚合物导致油和悬浮物与核桃壳的黏附力增强, 现有系统反冲洗工艺不能够达到去除核桃壳表面黏附的油污的要求, 反冲洗效果差, 滤料不能完全再生, 导致过滤器出现了以下问题:

(1) 过滤性能不稳定。该站核桃壳过滤装置运转初期出水含油平均质量浓度 < 20 mg/L, 出水水质达到国家标准。但随着设备老化和进水水质的变化, 自 2003 年起, 过滤后水中油质量浓度平均达到 35 mg/L, 最高达到 50 mg/L, 出水水质严重超标。

(2) 反冲洗装置憋压。核桃壳过滤装置采用水泵加压浆搅拌进行反冲洗。该站运转初期反洗压力维持在 0.15 MPa, 但自 2003 年起, 反冲洗装置开始憋压, 反冲洗压力由 0.15 MPa 急剧上升到 0.40 MPa, 反冲洗水量则由原来的 230 m<sup>3</sup>/h 下降到 100 m<sup>3</sup>/h, 有时甚至降为 0, 反冲洗强度不易调节。反冲洗过程的不稳定导致滤料无法实现彻底清洗, 再生困难。

(3) 跑料问题。由于搅拌桨叶结构方面的缺陷, 为了达到搅拌效果, 必须维持较大的桨叶线速度。而过大的线速度会导致反冲洗时大量滤料被搅拌桨打碎。反冲洗过程中打碎的滤料以及经摩擦粒径变小的滤料在无阻拦情况下穿过布水筛管之间的缝隙, 同出水一起由布水筛管排出, 滤料流失严重。

## 1.2 问题分析

### 1.2.1 油田废水水质变化

随着聚合物驱油技术的推广, 以及聚合物在地层中的扩散, 导致“聚驱”和“水驱”采出水中聚合物量急剧增加。“水驱”油井抽样化验结果显示: 聚合物平均质量浓度由 2001 年的 42 mg/L 升高到 2004 年的 150 mg/L。

核桃壳滤料是亲水性的物质, 水的润湿性能使水与核桃壳的接触面积增大, 而使油与核桃壳的接触面积减小。过滤水通过滤层、油污及悬浮的固体在通过滤料时被拦截在滤层表面, 但总有一部分被拦截下来的固体杂质使油滴直径逐步变大, 这就是“粗粒化”作用<sup>[3]</sup>, 聚合物的絮凝性有利于油滴的粘连<sup>[4]</sup>, 从而加速了这种作用。油滴粒径的增大增加了其与滤料的接触面积, 油品中的蜡质、胶质和沥青质附着在滤料上, 用水反冲洗时不易冲洗出去, 滤料不能达到完全再生。长时间运转致使滤料板结, 板结后的滤料黏结形成较大的颗粒状或块状而使滤层孔隙及缝隙变大, 从而失去过滤作用。因而油污是

造成滤料失效的关键因素, 聚合物浓度的增加又加快了滤料的板结速度, 改变了油和悬浮物与滤料结合的性质, 导致现有的反冲洗无法实现滤料的再生。

### 1.2.2 装置的结构问题

核桃壳作为过滤介质主要优点在于其密度小, 约为 1.25 × 10<sup>3</sup> kg/m<sup>3</sup>。由公式(1)可知, 反冲洗时较低的压力即可使滤层膨化, 成为沸腾床, 滤料之间摩擦剧烈, 反冲洗效果好<sup>[5]</sup>。

$$L_e = \frac{h}{(1 - \alpha_e)(\rho_s - \rho_w)} \rho_w \quad (1)$$

其中:  $h$  为反冲洗水头损失(m);  $L_e$  为滤层膨胀高度(m);  $\alpha_e$  为膨胀孔隙率;  $\rho_s$  为核桃壳密度(kg/m<sup>3</sup>);  $\rho_w$  为水密度(kg/m<sup>3</sup>)。

随着过滤的进行, 大量轻质的油污和悬浮物附着在核桃壳表面, 使其密度降低。经测量黏附有杂质的滤料密度平均约为 1.08 × 10<sup>3</sup> kg/m<sup>3</sup>。由式(1)可知,  $\rho_s$  越小, 滤料膨化所需压力越小。当  $\rho_s$  接近于  $\rho_w$  时, 微小的压力就能够导致滤层膨化, 此时  $h$  的微小增大, 将导致  $L_e$  的急剧上升。而现有反冲洗压力维持在 0.15 MPa 以上, 导致滤料膨化严重,  $L_e$  超过筛管高度。大量滤料和油污在没有阻拦情况下直接进入了布水筛管与罐顶之间的死角, 堵塞布水筛管, 致使反冲洗压力从 0.08 MPa 急剧上升到 0.40 MPa 以上, 反洗水量由 230 m<sup>3</sup>/h 下降到 0, 使反冲洗不能有效地进行, 滤料再生困难。在反洗结束后, 黏附于罐顶的大量油污落下, 又进一步加剧了布水筛管的堵塞。

### 1.2.3 搅拌系统的问题

核桃壳过滤器采用机械搅拌配合反冲洗过程。颗粒之间通过碰撞和摩擦产生的摩擦力是颗粒脱附的主要原因, 浆搅拌增大了滤料之间的摩擦力, 加速了反冲洗进程。但在其运转过程中也存在一些问题: ①滤料污染严重时, 搅拌器高速运行受阻, 造成电机电流过大, 电机容易损坏; 同时造成搅拌器桨叶脱落, 搅拌轴变形, 罐顶密封不严, 甚至直接冲击筛管, 造成筛管断裂。②桨叶边缘线速度过大, 严重损坏了核桃壳滤料, 粉碎的细小颗粒易流失或者堵塞筛管, 造成跑料和反冲洗憋压<sup>[6]</sup>。③由于结构方面的缺陷, 桨叶旋转导致了流场结构不合理<sup>[6]</sup>。一方面搅拌加速了滤料的上移, 滤料膨胀速度加快; 另一方面流场存在死角, 对超过搅拌桨叶的滤料无法进行搅拌, 反冲洗不彻底。

综上所述, 原有核桃壳过滤装置主要是由于进水聚合物浓度增加, 导致油和悬浮物与滤料的结合

强度增大,现有反冲洗系统难以实现滤料的完全再生。反冲洗效果不佳直接导致滤后水质下降,出水不达标。因此该厂对其装置结构进行了改造,并对工艺参数进行了优化。

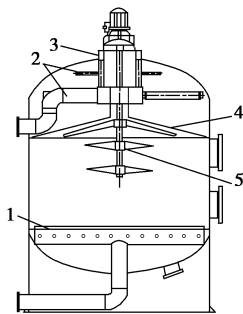
## 2 改造方案及工艺优化

针对上述问题,笔者提出了下述改造方案,并开发了新的低压稳流核桃壳过滤器。

### 2.1 改造方案

#### 2.1.1 过滤装置结构改造

在过滤器筛管和搅拌桨之间增加了防护筛板,筛板下增设刮扫器。防护筛板能有效地阻止反冲洗过程中滤料进入筛管和罐顶之间的死角。筛板下刮扫器一方面可以避免滤料黏附筛管,另一方面将滤料集中至过滤罐中下部,使搅拌桨叶能够充分分散滤料,达到脱落黏附在滤料上部的油污等杂质的目的。罐顶增设集油器,进入罐顶部的油经刮油机通过固定管道直接排入集油器,及时清除油污,防止罐顶油落下堵塞筛管。底部增加透水不锈钢砾石压板,能够防止反冲洗承托层中砾石由于水流量过大而被冲起失去承托作用。改造后的罐体结构如图1所示。



1—不锈钢砾石压板;2—立体布水器;3—集油器;  
4—防护筛板;5—搅拌系统

图1 低压稳流过滤器的罐体结构图

#### 2.1.2 布水系统改造

在原来单一横向筛管布水的基础上,增加竖式布水筛管,形成立体布水器。增加竖式布水筛管使布水更加合理,水量分布更加均匀。同时又能及时排除反洗水中油类等物质,克服罐顶积油下落造成筛管堵塞的问题。

#### 2.1.3 搅拌系统改造

改变桨叶结构,调整桨叶大小、形状以及桨叶间的角度,进而改变桨叶旋转时流场的结构,减缓滤料上升的速度,扩大搅拌的范围,减少搅拌死角。同时缩小桨叶与布水筛管之间的距离,由0.7 m减小到

0.5 m,加大其对上部滤料的搅拌。更换搅拌桨电机,改变桨叶的线速度,减少其对滤料的破坏。

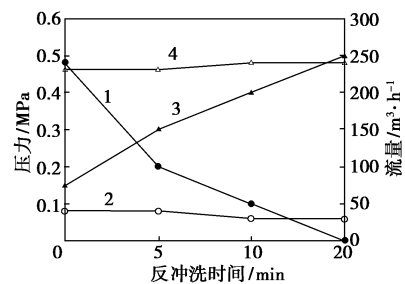
### 2.2 工艺参数优化

为了充分发挥核桃壳过滤器的潜力,进一步改善反冲洗效果,对改造后的过滤器反冲洗工艺参数进行了优化。反洗压力调整为0.03~0.08 MPa;反洗强度控制在7.0~9.7 L/(s·m<sup>2</sup>);反冲洗瞬时流量为180~280 m<sup>3</sup>/h;反冲洗用水量为100~150 m<sup>3</sup>/h;反冲洗时间为30 min;反冲洗周期为24~36 h。经过现场测试,发现在测试参数范围内反冲洗效果好,滤料再生效果好,为过滤提供了可靠保证。

## 3 改造后的过滤效果

为了进一步研究改造后核桃壳过滤器的处理效果,笔者在该站做了现场试验。首先对其一级过滤罐中的8#罐进行改造,并对改造前后过滤器的处理效果进行了比较。

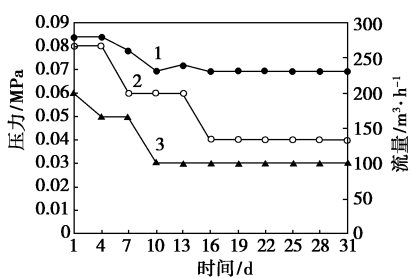
改造后的过滤器于2005年10月4日开始运行。正式运转后对反冲洗压力和水量进行了测试,并对改造前后的参数变化进行了对比,结果如图2所示。由图可知,改造后滤罐反洗压力稳定,维持在0.06~0.08 MPa,水量保持为230~240 m<sup>3</sup>/h。改造前出现的反冲洗过程中随着压力升高流量急剧降低的问题得到有效解决。同时由于反冲洗压力的降低,可以用总滤后水的余压直接进行反冲洗,实现罐群水反冲洗,节省了投资。



1—改造前反冲洗压力;2—改造后反冲洗压力;  
3—改造前反冲洗水量;4—改造后反冲洗流量

图2 改造前后反冲洗压力及流量变化图

过滤器连续运转过程中,测定了反冲洗压力和流量,其变化情况如图3所示。连续运转过程中压力稳定在0.03~0.08 MPa,未出现反冲洗憋压;流量也维持在230~280 m<sup>3</sup>/h,没有出现急剧的变化。开搅拌桨与不开搅拌桨相比压力平均降低0.02 MPa,说明改进的搅拌系统能够形成有效的流场,促进颗粒的流化,同时增加滤料之间的接触机会。这都为取得良好的反冲洗效果提供了可靠的保证。

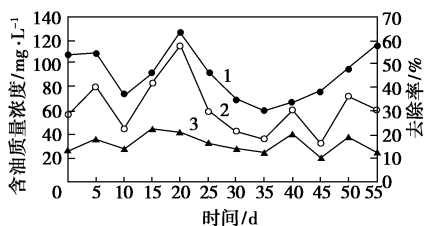


1—反冲洗流量;2—反冲洗压力;3—搅拌时反洗压力

图 3 改造后反冲洗压力和流量变化图

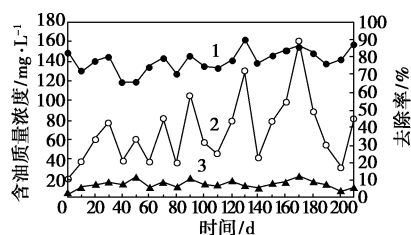
滤料的脱附主要是依靠水流剪切力和颗粒碰撞作用实现的<sup>[7]</sup>。稳定的反冲洗水流提供了足够的水流剪切力,而改进的搅拌系统又加大了滤料之间的摩擦力。在 2 种力共同作用下,黏附在滤料表层的油污和悬浮物得到了彻底的清洗。改造后的系统经反冲洗后,滤料呈明显的分散状态,表层干净,清洗彻底。而系统改造前经反冲洗后的滤料堆积在一起,表层被杂质覆盖,清洗效果差。

反冲洗好坏直接决定过滤器的过滤效果。在反冲洗改善的条件下,对低压稳流过滤器的过滤效果进行研究。在保持原有滤速 16 m/h 的前提下,过滤水压头损失减少,进水压力由原来的 0.15 ~ 0.30 MPa 下降到了 0.10 ~ 0.20 MPa。出水含油量明显降低,改造前后出水含油量变化见图 4 和图 5。从图中可知,改造前出水中油平均质量浓度达到 32.3 mg/L,平均去除率为 45.3%。改造后出水中油平均质量浓度为 13.4 mg/L,平均去除率为 78.1%。改造后出水中含油量达到国家标准,且去除率比改造前提高了 32.8%。在整个运转过程中滤料并未出现流失,



1—油去除率;2—滤前含油量;3—滤后含油量

图 4 8# 罐改造前出水情况分析图

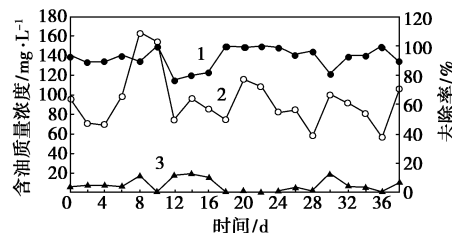


1—油去除率;2—滤前含油量;3—滤后含油量

图 5 8# 罐改造后出水情况分析图

且长时间运转条件下出水效果并未出现恶化,可见 8# 罐改造是成功的。

至 2006 年 3 月,8# 罐改造后稳定运转 150 天,运转情况一直较好,因此开始对该处理站的全部 12 个过滤罐进行改造,于 2006 年 6 月施工结束。在保持原有滤速 16 m/h 条件下,对改造后过滤总出水中含油量进行了监测,效果如图 6 所示。



1—油去除率;2—进水含油量;3—出水含油量

图 6 装置全部改造结束后总滤后水质情况分析

由图 6 可知:出水中油平均质量浓度达到 7.3 mg/L,最低至 0,去除率平均为 91.0%。而原有滤罐出水中平均油质量浓度为 34.0 mg/L,去除率为 48.0%。系统整体改造后出水中油去除率较改造前提高近一倍,较单一滤罐改造后的出水效果也有所改善。目前各滤罐都在正常运转,整体改造取得了良好的效果。

#### 4 结语

通过对油田废水处理核桃壳过滤器结构改造和工艺参数的优化,开发出低压稳流核桃壳过滤器,提高了油田废水的除油效率,改善了出水水质。该技术既可用于对原过滤器的改造,也可将开发的过滤器直接应用,对我国油田含油废水的深度处理和回注有重要的应用价值,有广阔的应用前景。

#### 参考文献

- [1] 王立国,高从■,王琳,等.核桃壳过滤-超滤工艺处理油田含油污水[J].石油化工高等学校学报,2006,2(19):23-26.
- [2] 刘凯文,谷玉洪,薛家慧,等.核桃壳过滤器设计参数试验研究[J].石油机械,2001,29(7):33-34.
- [3] 卢瑜林.核桃壳滤料污染后的清洗再生[J].油气田地面工程,2004,23(2):25.
- [4] 邓述波,周抚生.聚丙烯酰胺对聚合物驱含油污水中油珠沉降分离的影响[J].环境科学,2002,23(2):69-72.
- [5] Tchobanoglous G, Burton F L, Stensel H D. Wastewater Engineering: Treatment & Reuse[M]. 4th ed. New York: Metcalf & Eddy Inc, 2003: 1054-1056.
- [6] 杨清民,李雨静,李艳杰,等.核桃壳过滤器技术要求探讨[J].油气田地面工程,2001,20(6):98-99.
- [7] 乔铁军,孙国芬.饮用水生物滤池的反冲洗机理研究[J].净水技术,2006,25(1):39-42. ■