

试验研究

超滤和活性炭组合工艺流程位置的优化试验研究

江海

(凯天环保科技股份有限公司,湖南长沙410100)

摘要:以集成膜工艺处理回用钢铁废水现场试验为背景,介绍了超滤、活性炭于不同位置的预处理效果差异,分析了超滤、活性炭于工艺流程不同位置对 COD_{Cr} 去除效果、出水 SDI_{15} 及超滤稳定运行工况的差异及原因,提出了两者组合工艺用于反渗透预处理的建议和进一步研究方向。

关键词:集成膜工艺;超滤;活性炭;钢铁废水

中图分类号:X703

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2016)04-0016-04

STUDY ON ARRANGEMENT OF ULTRA-FILTRATION AND GRANULE ACTIVATED CARBON IN PILOT PLANT

JIANG Hai

(Kaitian Environmental Technology Co., Ltd, Changsha 410100, China)

Abstract:According to local test of steel mill wastewater treated by UF+RO, the changes of treating effect by varying the location of Ultra-filtration and Granule activated carbon (UF, GAC) were introduced. The reasons of COD_{Cr} removal rate's changing were analyzed. Some pieces of advice about the technology combined by UF and GAC for RO system's pretreatment and progressive research were discussed.

Key words: Integrated membrane system; Ultra-filtration; Granule activated carbon; Steel mill wastewater

工业用水的反渗透膜系统预处理工艺通常为介质过滤+活性炭吸附,但随着用水水质要求的逐步提高和水处理技术的不断进步,先进的超滤膜分离技术开始广泛应用于反渗透的预处理。超滤膜可高效除浊,但对溶解性有机物截留率较低,且有机物在膜孔内吸附、堵塞及其所引起的微生物污染严重影响膜系统的稳定运行。可有效吸附溶解性有机物的活性炭和超滤膜联用工艺因此成为膜法水处理领域的热点问题。

关于活性炭和超滤在反渗透预处理中的功能理解及相互关系问题,业界仍存争议,甚至片面地认为两者主要功能相同,应用时只是选取何者的

问题。实际上,活性炭和超滤工艺有各自的主要功能,所去除的目标污染物相差较大。活性炭的主要功能是去除有机物,而超滤的功能主要是脱除浊度、微生物等;从污染物分级处理角度而言,两者是相互补充的。关于活性炭和超滤工艺联用的研究更多的是粉末活性炭和超滤膜的联合使用^[1],而对于颗粒活性炭和超滤膜工艺位置关系优化的现场试验研究则不多。本研究以超滤+反渗透集成膜工艺深度处理回用钢铁废水现场试验为背景,进行了颗粒活性炭滤器(以下简称活性炭)、超滤于工艺流程不同位置条件下的预处理试验,比较分析了两种工艺方案的处理效果差异。

1 试验概述

1.1 试验水源与工艺

收稿日期:2015-12-18

作者简介:江海(1982-),男,湖南株洲人,硕士,工程师,从事水处理工程设计及工艺研究工作。

具体试验工艺流程见图1。试验以某钢铁厂总排污水处理厂沉淀池出水为水源,经气浮、双介质过滤等工艺前处理后,先按“活性炭+超滤”方案进行试验:原水首先进入活性炭过滤器,再经超滤膜过滤后进入反渗透系统,试验时间为46天;之后按照“超滤+活性炭”方案进行试验:原水先经超滤膜分离,再经活性炭吸附处理后进入反渗透系统,试验时间为50天。

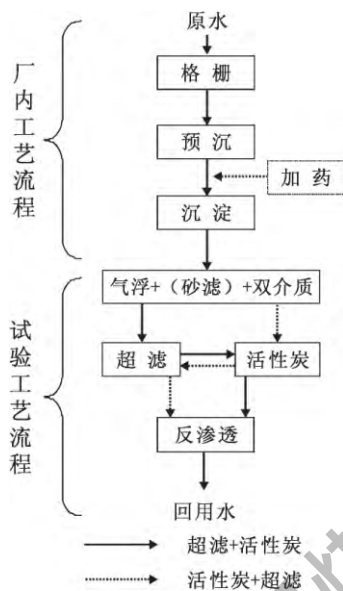


图1 试验工艺流程

为方便起见,图1仅给出示意性流程图并将气浮、双介质等单元工艺流程简化。活性炭过滤器罐体直径1000 mm,设计产水量 $6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$,滤层厚度为1500 mm,仅水力反洗。超滤采用美国某知名膜公司生产的内压式、亲水性聚醚砜材质的中空纤维膜组件一支,膜面积 46.5 m^2 ,分离孔径 $0.025 \mu\text{m}$,截留分子量为15万道尔顿。两种方案中超滤工艺的主要运行参数见表4。经气浮、双介质等单元处理后的优化试验进水水质情况见表1。

表1 试验进水主要水质指标

项目	SS $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	浊度 NTU	COD _{Cr} $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	总铁 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$
活性炭+超滤	71.4	1.1	33.5	0.25
超滤+活性炭	43.2	1.7	18.0	0.15

注:表中数据以平均值计。

1.2 测试指标与方法

试验主要测试指标包括COD_{Cr}、NTU、SDI₁₅等。COD_{Cr}采用美国哈希公司COD测试系统检测,分光光度计型号为DR4000;浊度采用美国哈希公

司2100系列便携式浊度仪检测;SDI₁₅用在线SDI仪器测试,所用膜片由美国Millipore公司生产,孔径为 $0.45 \mu\text{m}$ 。

2 结果与讨论

2.1 COD_{Cr}去除

活性炭和超滤对COD_{Cr}的去除效果与COD_{Cr}的组成、形态和有机物结构、分子量等因素密切相关^[2,3]。

活性炭主要对分子量为500~3000的溶解性有机物进行吸附脱除,分子量大于3000的有机物则可能由于位阻效应难以进入活性炭的微孔,吸附效率较低^[3];对于部分以颗粒形式存在的COD_{Cr}成分则会因机械过滤而去除一部分。此外,活性炭滤器内所形成的生物膜上附着的微生物对有机物的降解作用贡献一定的COD_{Cr}去除率^[4]。因此,活性炭去除COD_{Cr}的过程可能包括:吸附、机械过滤、生物降解等。

超滤膜对颗粒和胶体态COD_{Cr}、大于膜截留分子量的高分子有机物近乎绝对去除,而对于分子量较小的溶解性有机物去除率很低。但是,小分子有机物长时间在膜孔内的吸附和堵塞,会增加水的过膜阻力,并引起微生物污染。

超滤膜置于活性炭之前,预先去除绝大部分颗粒和胶体态物质,有利于活性炭充分发挥其对溶解性小分子有机物的吸附去除功能。作为反渗透预处理过程,超滤、活性炭于工艺流程不同位置的预期效果对比见表2。

表2 超滤和活性炭工艺于不同位置的预期效果对比

组合方案	超滤+活性炭	活性炭+超滤
技术特点	对污染物进行分级处理,利于充分发挥超滤膜高效脱浊、活性炭高效吸附去除有机物和余氯的功能;可不投加还原剂。	活性炭前处理可缓解超滤膜有机污染;超滤膜可截留活性炭过滤器内滋生的微生物和其他浊度成分,反渗透膜系统稳定性提高。
缺点	可能漏炭,超滤系统滋生微生物、运行负荷较高。	活性炭承担部分悬浊物截留负荷,对有机物吸附效率降低。
经济性	超滤系统运行负荷较高,需适当降低设计膜通量,工程初期投资增加;无需投加还原剂。	超滤初期投资较低,膜更换成本增加、水利用率降低;活性炭再生、反洗周期短;有机污染降低反渗透膜系统利用率,增加运行成本。

针对本研究中的钢铁废水,“活性炭+超滤”和“超滤+活性炭”两种不同组合方案对 COD_{Cr} 的实际去除效果见表 3、图 2。

综合上文论述及表 3、图 2,分析如下:两种方案中,超滤对 COD_{Cr} 去除率均低于 20%,活性炭对 COD_{Cr} 的去除效果也相对有限,推测

表 3 超滤和活性炭于不同位置时对 COD_{Cr} 的去除情况

项目	进水 COD _{Cr} (mg·L ⁻¹)	出水 COD _{Cr} (mg·L ⁻¹)	去除率 (%)	进水 COD _{Cr} (mg·L ⁻¹)	出水 COD _{Cr} (mg·L ⁻¹)	去除率 (%)	总去除率 (%)
超滤+活性炭	17.9	14.5	19.1	15.9	9.8	38.2	45.4
活性炭+超滤	26.4	14.7	44.5	11.5	9.5	17.7	64.2

备注:表中所给 COD_{Cr} 含量均为试验期间所测数据的平均值,去除率根据平均值计算。

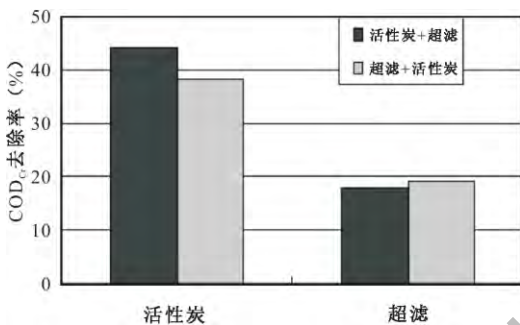


图 2 两种方案中超滤、活性炭的 COD_{Cr} 去除率对比

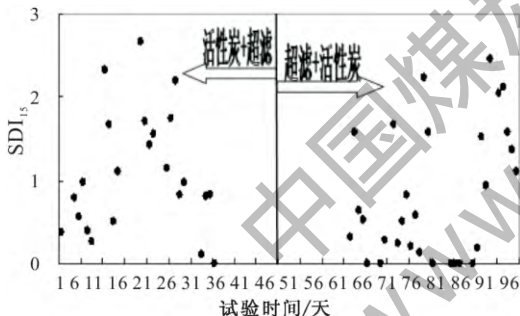


图 3 试验期间 SDI₁₅ 值变化

试验期间内进水中 COD_{Cr} 成分主要特点是:含少量非溶解态的有机或无机还原性物质;溶解性有机物的分子量主要位于区间[500, 3 000]之外、且低于超滤膜截留分子量。

超滤置于活性炭前,可截留更多的非溶解性 COD_{Cr} 成分,从而表现出相对较高的 COD_{Cr} 去除率。

超滤置于活性炭前,活性炭 COD_{Cr} 去除率较低的原因可能包括:

超滤膜脱除大部分非溶解态 COD_{Cr} 后,活性炭因机械过滤去除此部分 COD_{Cr} 的贡献相对较少。

超滤产水中的余氯(超滤给水加氯工艺导致)抑制了炭滤器内生物膜的生长,从一定程度上降

低了微生物降解有机物的作用。

活性炭吸附性能可能因为前期“活性炭+超滤”方案试验的运行而出现下降。

其他前处理单元的运行条件及效果差异可能影响后续的超滤、活性炭单元的运行情况,从而导致试验未达到预期效果。

试验进水 COD_{Cr} 含量变化(平均值由 26.4 mg·L⁻¹ 降为 15.9 mg·L⁻¹)及平均值计算数据样本选择影响平均去除率计算结果。

限于现场测试条件,以上仅基于 COD_{Cr} 指标进行讨论,而未对溶解性有机物含量、有机物分子量分布进行检测。

2.2 SDI₁₅ 变化

试验表明“活性炭+超滤”和“超滤+活性炭”两种方案的出水 SDI₁₅ 均值分别为 1.19 和 0.95(图 3),两种情况 SDI₁₅ 较为接近。活性炭置于超滤后并未因活性炭泄漏、微生物污染造成反渗透进水 SDI₁₅ 值升高。

2.3 超滤运行工况对比

就超滤运行情况而言,两种不同方案条件下,超滤系统的稳定运行工况主要差别体现于给水和反洗加氯、过滤周期、膜通量,具体情况见表 4。

表 4 两种方案下超滤膜系统稳定运行的工况对比

方案名称	超滤+活性炭	活性炭+超滤
过滤方式	全量过滤	
通量(L·m ² ·h ⁻¹)	51.6	68.8
过滤周期(min)	30	40
给水加氯(Cl ₂ 计)	1.0~1.5 mg·L ⁻¹	可不加氯
加氯反洗	每 4 个过滤周期进行 1 次	每天 1 次

采用“超滤+活性炭”方案,超滤膜表面有机物吸附污染相对较重,需适当采取给水加氯保证系统的稳定运行;过滤周期以 30 min 为宜;膜通量

较低。

采用“活性炭+超滤”方案,活性炭去除部分有机物,减轻超滤膜表面有机物污染程度,超滤系统几乎无需给水加氯即可稳定运行;过滤周期可延长至40 min;膜通量可适度提高。

3 结论与建议

就本研究项目而言,采用“活性炭+超滤”的组合方案更佳;对于其他应用场合,宜结合具体试验情况确定超滤与活性炭的工艺组合方案。本文总结如下建议供参考:

3.1 进水浊度较高条件下,推荐预处理采用“超滤+活性炭”方案,其理由如下:

超滤膜预先过滤去除绝大部分悬浊物、非溶解性有机物、大分子有机物,活性炭则高效吸附去除溶解性小分子有机物;超滤膜的主要功能是脱浊。

超滤给水加氯工艺产生的余氯可抑制活性炭过滤器内微生物的滋生,降低反渗透膜系统微生物污染的风险。

活性炭后置高效去除余氯,反渗透系统给水无需投加还原剂。

可避免因对悬浊物的机械截留而缩短活性炭的反洗、再生或更换周期。

3.2 进水浊度较低条件下,推荐预处理采用“活性炭+超滤”方案。活性炭对有机物的有效去除可降低超滤膜系统的有机物和微生物污染;超滤膜则高效截留活性炭过滤器内滋生的微生物、泄漏的炭以及其他浊度成分,对反渗透膜系统起到保护作用。

3.3 关于后续研究的建议:

COD_{Cr} 指标是反映有机物含量的非精确指标,受无机还原性物质影响较大;增加对非溶解态和溶解态有机物含量、有机物分子量分布变化的检测,更准确地掌握进、出水水质和两种方案对其中有机物的去除效果差异。

尽可能保证两种工艺组合方案的试验、计算条件的一致性。

针对特定水源,选择何种联用工艺方案作为反渗透膜系统的预处理,需根据现场试验结果,对不同方案的技术经济性进行综合评价。

参考文献

- [1]杨伟,金奇庭.活性炭-超滤膜联用技术的研究与进展[J].市政技术,2007,25(1):34-37.
- [2]朱长乐,主编.膜科学技术(第二版)[M].北京:高等教育出版社,2004:102.
- [3]侯延民,李松田,尚桂花,等.活性炭对水中有机物吸附的选择性[J].松辽学刊,2000,2(1):37-39.
- [4]陈洪斌,庞小东,高廷耀,等.炼油厂污水回用处理研究[J].环境科学学报,2002.5(22):570-575.

(上接第 24 页)

大干污泥量 130.9 t/d。设计一期污泥板框压滤机正常工作时间 12 h,应急工作时间 18 h;二期离心脱水机正常工作时间 10 h,应急工作时间 24 h。主要改造及新增构筑物和设备如表 1 所示。

表 1 污泥处理系统主要改造及新增构筑物和设备

名称	规格	数量	新增或改造	备注
脱水机房	1175m ²	1	改造	一期处理能力合计 (干泥)18t/d
板框压滤机	5t/d	2	改造,应急工作时间提高到 18h	
板框压滤机	8t/d	1	新增	二期处理能力合计 (干泥)36t/d
回收池	1000m ³	1	新增	
污泥池	1000m ³	1	新增	
污泥浓缩池	12.65×12.65m	2	新增	
污泥平衡池	2550m ³	1	新增	
脱水机房	1175m ²	1	新增	
离心脱水机	12t/d	4	新增(备用 1 台)	

通过新增一台板框压滤机使一期污泥处理能力(干泥)达到 18 t/d,同时改造现有一期设备使

应急工作时间提高到 18 h;二期新增 4 台(备用 1 台)离心脱水机,二期污泥处理能力为 36 t/d。正常水质情况下,一期、二期同时运行,可以保证污泥处理的稳定运行;恶劣水质情况下,一期压滤机每天工作 18 h,二期每天工作 24 h,处理能力可以达到 113.4 t/d,多余部分污泥 17.2 t/d 通过污泥池和平衡池调蓄。

改造方案充分发挥了现有设备的潜力,新增构筑物、设备投资较为节省,同时兼顾了正常水质及恶劣水质的运行条件,经济可行。

3.3 运行效果

通过上述工艺改造,污泥脱水车间进泥含固率 3%,板框压滤机泥饼含固率≥45%;离心脱水机泥饼含固率≥30%,实际回收池上清液回用量达到 3 800 t/d,回收池排泥量 400 t/d,原水利用率达到 96%以上,净水厂出厂水质优于国家标准及

(下转第 4 页)