

引用格式:宋永斌,张继彪,马晓辉,等. PTFE 中空纤维超微滤膜对煤气化废水除硬的工程应用[J]. 煤化工,2026,54(1):61-64.

PTFE 中空纤维超微滤膜对煤气化废水除硬的工程应用

宋永斌¹,张继彪¹,马晓辉¹,吴 欢²,陈 东²,秦洁人²,朱 锐²,汤响成²,周子越²

(1. 盛虹炼化(连云港)有限公司,江苏 连云港 222065;
2. 南京中科碧盾新膜科技有限公司,江苏 南京 210032)

摘 要 采用 PTFE(聚四氟乙烯)中空纤维超微滤膜对煤气化废水进行了除硬处理。介绍了 PTFE 中空纤维超微滤膜的小试及工业运行试验情况,对比了同样废水处理量下管式陶瓷膜与该膜的设计配置与性能。运行数据分析表明,采用 PTFE 中空纤维超微滤膜系统的出水浊度小于 0.5 NTU,跨膜压差 0.05 MPa~0.08 MPa 且性能稳定可靠,满足后续循环利用的要求。

关键词 煤气化废水;PTFE 中空纤维膜;除硬;出水浊度;管式陶瓷膜

文章编号:1005-9598(2026)-01-0061-04 中图分类号:TQ051.8'93;X703 文献标识码:B

煤气化过程中产生大量高悬浮物、高氨氮、高硬度的废水^[1],该废水循环使用时,其中的钙、镁与悬浮物一同随装置的运转进入水中逐渐浓缩,扩散到整个系统内,并在管道、设备表面逐渐沉积,形成水垢,造成管道流量下降、阀门和设备损坏等问题,严重影响系统的正常运转。因此,必须对煤气化废水中的硬度进行去除。

化学沉淀法是工业上较成熟的除硬技术^[2],但存在反应后的出水浊度、SS 较高等问题,无法满足后续进膜要求。PTFE 材料全称为聚四氟乙烯(Polytetrafluoroethylene)材料,是一种由四氟乙烯单体通过聚合反应形成的高分子化合物材料。由 PTFE 材料制备的中空纤维超微滤膜属于有机膜,该膜具有微孔孔径均匀,化学稳定性、耐温性和抗污染性能优良等特点,还具有超低表面能和强疏水性,可用在 NF/RO 的预处理阶段,在化工、冶金、电镀、印染等行业的高难废水处理中也具有显著的优势和应用潜力。目前关于 PTFE 中空纤维超微滤膜除硬的相关报道较少,因此本研究以某大型石化煤气化废水经双碱反应后出

水为对象,采用南京中科碧盾新膜科技有限公司的 PTFE 中空纤维超微滤膜进行废水除硬测试,为废水除硬提供新的解决思路。

1 小 试

1.1 小试流程

测试水样为某大型石化煤气化废水经双碱反应后出水,测试水质指标见表 1。

表 1 试验水质数据

pH	氨氮质量浓度 /(mg·L ⁻¹)	TDS 质量浓度 /(mg·L ⁻¹)	COD _{Cr} /(mg·L ⁻¹)	浊度 /NTU
11.5	356	2234	580	76

小试采用一组 PTFE 中空纤维超微滤膜(含 2 支膜元件,共 4 m²),主要包括原水箱、进料泵、膜组件以及计量设备(流量计、压力表),工艺流程如图 1 所示。

1.2 试验结果

设置跨膜压差为 0.08 MPa、浓缩倍数 20 倍、水回

收稿日期:2025-09-23

第一作者:宋永斌(1982—),男,汉族,山东枣庄人,工程师,学士,2023 年本科毕业于青岛科技大学化学工艺专业,现从事污水处理方面工作,E-mail:13255457522@163.com;通讯作者:吴 欢(1990—),女,汉族,工程师,硕士,研究方向为 PTFE 中空纤维膜,E-mail:iwhuan@163.com。

DOI:10.19889/j.cnki.10059598.2026.01.016

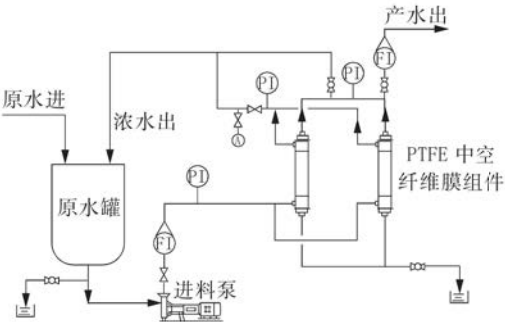


图1 PTFE中空纤维超微滤膜小试工艺流程图

收率 95%、水温为 20℃~25℃时,PTFE 中空纤维超微滤膜通量见图 2,产水浊度随时间变化趋势见图 3。

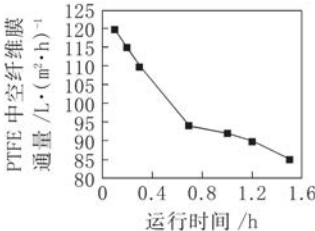


图2 PTFE中空纤维超微滤膜通量测试结果

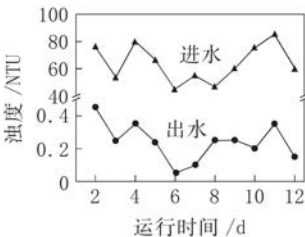


图3 PTFE中空纤维超微滤膜产水浊度随时间变化趋势

由图 2 可知,水回收率为 95%时,初始膜通量为 122.5 L/(m²·h);随着运行时间的延长,膜通量快速下降,运行到 0.7 h 时,膜通量下降趋势变缓;运行 1 h 后,膜通量维持在 92.5 L/(m²·h),故建议反洗周期不要超过 40 min,此时膜通量在 85 L/(m²·h)~125 L/(m²·h)。

由图 3 可知,运行期间,产水浊度基本在 0.2 NTU~0.35 NTU,此时去除率达到 99%以上,满足设计出水水质要求和废水零排放反渗透膜进水要求(浊度<1 NTU)。

王磊等^[3]以内蒙古某煤化工气化车间灰水为对象,使用过滤精度 50 nm、19 通道、长 500 mm、膜面积为 0.1 m² 的管式陶瓷膜设备进行实验,操作压力为 0.2 MPa,温度 60℃,循环流量为 3.5 m³/h,当浓缩倍数 20 倍时的瞬时通量为 833.3 L/(m²·h),产水浊度<1 NTU。对比看,管式陶瓷膜(操作压力 0.2 MPa)的通量是 PTFE 中空纤维超微滤膜(操作压力 0.08 MPa)的 9 倍以上,二者的出水都可以满足反渗透膜进水要

求,但管式陶瓷膜需要较大的循环流量和错流流速用以缓解管式陶瓷膜堵塞,因此在工程投资和能耗方面,PTFE 中空纤维超微滤膜更具优势。

2 工业化试验运行

根据前期小试结果,在该大型石化煤气化废水装置上进行了工业化试验运行。工业化装置总设计水量为 100 m³/h,膜通量取 62.5 L/(m²·h),即膜面积为 1 600 m²,选择单支膜填充面积为 16 m² 的膜组件。按照 5 组超滤膜装置设计,每组 20 支,即单组超滤设备处理量为 20 m³/h,运行压力为 0.08 MPa,具体的设备选型如表 2 所示。

表 2 PTFE 中空纤维超微滤膜设备选型

设备	设备选型
进料泵	Q=160 m³/h,H=30 m,两台,一用一备
撬装膜超滤膜设备	型号 PTFE-UMF-0860,5 组
膜元件	100 支(每组 20 支)
膜面积	1600 m²
清洗泵	Q=30 m³/h,H=30 m,两台
反洗水泵	Q=40 m³/h,H=20 m,两台,一用一备

PTFE 中空纤维超微滤膜组件规格参数见表 3。

表 3 PTFE-UMF-0860 中空纤维超微滤膜组件规格及参数

PTFE-UMF-0860	参数	规格 / 型号
膜组件	膜丝材质	聚四氟乙烯(PTFE)
	膜面积	16 m²
	过滤精度	0.1 μm
	膜丝内 / 外径	0.5 mm/1.0 mm
	组件尺寸×长度	Φ200×1200
	连接尺寸	DN50 拷贝林
使用条件	壳体材质	UPVC
	使用温度	4℃~45℃
	连续运行 pH 范围	0~14
	最大耐受 NaClO	10%
	最大操作压力	≤250 kPa
	进水浊度	≤500 NTU
设计参数	推荐流量	500 L/h~1500 L/h
	反洗流量	2000 L/h~3000 L/h
	气洗流量	10 m³/h
	气洗周期	20 min~30 min
	水反洗周期	30 min~90 min
	水反洗时间	30 s
	化学清洗周期	平均 30 d

图 4 为运行期间产水浊度的变化(2024 年 9 月 25 日—12 月 12 日)。由图 4 可知,运行期间产水的平均浊度小于 0.5 NTU,达到设计出水水质要求(浊度<1 NTU)。此结果表明 PTFE 中空纤维超微滤膜运行高效、可靠,能够有效去除悬浮物和胶体颗粒。

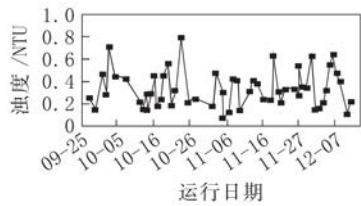


图 4 运行期间产水浊度变化

3 PTFE 中空纤维超微滤膜与管式陶瓷膜比较

以该大型石化煤气化废水设计产水量 100 m³/h 为基础,对管式陶瓷膜和 PTFE 中空纤维超微滤膜的设计选型和膜性能进行对比。

管式陶瓷膜:采用 2 台 250 m² 管式陶瓷膜设备,3 级串联,膜通量取 400 L/(m²·h);PTFE 中空纤维超微滤膜:采用 5 台 320 m² 超滤膜设备,膜通量取 62.5 L/(m²·h)。管式陶瓷膜和 PTFE 中空纤维超微滤膜设计选型见表 4。

表 4 管式陶瓷膜和 PTFE 中空纤维超微滤膜设计选型		
设备	管式陶瓷膜	PTFE 中空纤维超微滤膜
进料泵	Q=120 m³/h,H=25 m, 两台,一用一备, 单台泵功率 18 kW	Q=160 m³/h,H=30 m, 两台,一用一备, 单台泵功率 22 kW
循环泵	Q=550 m³/h,H=18 m, 两台, 单台泵功率 55 kW	
吨产水费用	0.83 元	0.14 元
台数	2 台	5 台
膜元件数量	1098 支	100 支
膜面积	500 m²	1600 m²
循环罐	6 m³	—
反冲洗罐	2 m³	—
反洗泵	—	Q=40 m³/h,H=20 m 两台,一用一备 单台泵功率 5.5 kW

注:图中“—”表示不涉及这些设备。

管式陶瓷膜设备运行功率为 128 kW,其电耗显著高于 PTFE 中空纤维超微滤膜(设备运行功率 27.5 kW),这主要源于两者在抗污染机理上的根本差异:管式陶瓷膜由于多层结构及膜表面特性^[4],在运行中更易发

生污染物沉积,存在结垢与堵塞的风险。因此,必须依赖“高强度连续错流过滤”模式,通过大流量循环形成的高剪切力持续冲刷膜面,从而控制污染、维持通量,这一过程虽有效,却直接导致了较高的运行能耗;PTFE 中空纤维超微滤膜得益于其表面光滑、不黏附的材料特性,具有优异的抗污染能力,污染物不易在膜表面附着,即使附着也易于通过物理或化学方式进行清洗再生,从而能够以更低的能耗维持高效、稳定的过滤性能。

管式陶瓷膜与 PTFE 中空纤维超微滤膜性能对比见表 5。

表 5 管式陶瓷膜与 PTFE 中空纤维超微滤膜性能对比		
项目	管式陶瓷膜	PTFE 中空纤维超微滤膜
强度	较强,脆性大	柔韧性好
使用寿命	5 年~10 年	5 年~10 年
使用 pH	0~14	0~14
抗污染能力	一般	较强,表面光滑不黏性
制造成本	高	相对较低
吨产水能耗	0.8 kW·h~1.5 kW·h	~0.3 kW·h
安装难度	较大	较小
组件重量	重	较轻

综合来看,管式陶瓷膜在机械强度与化学耐受性方面表现突出,尤其适合用于高温、强腐蚀、高固体含量等苛刻介质环境,但其能耗高、抗污染能力一般^[5]、安装复杂,更适合对材料稳定性要求极高、且可接受较高运行与维护成本的工业场景。

PTFE 中空纤维超微滤膜在运行经济性、抗污染能力与工程实施便利性方面优势明显,其表面光滑不黏、易清洗的特性可显著降低长期维护频率与成本,适用于一般工业废水处理及回用等领域。

4 结 论

(1)PTFE 中空纤维膜系统跨膜压差 0.05 MPa~0.08 MPa,膜通量在 85 L/(m²·h)~125 L/(m²·h)之间,工业化项目膜通量取 62.5 L/(m²·h),平均出水浊度小于 0.5 NTU,系统稳定运行。

(2)与 PTFE 中空纤维超微滤膜相比较,管式陶瓷膜的膜通量更大,但在产出相同量的水的情况下,管式陶瓷膜的吨水电耗成本更高,约是 PTFE 中空纤维超微滤膜 2.5 倍~5 倍。

(3)管式陶瓷膜在初期投资上成本较高,适用于更苛刻的环境;而 PTFE 中空纤维超微滤膜由于其较

低的初期投资和维护成本,以及良好的化学兼容性和抗污染能力,在某些应用中可能更具成本效益。

参考文献:

- [1] 宗凯强,翟 持. 煤气化废水处理工艺技术进展[J]. 煤化工,2023,51(4):19-23,28.
- [2] 赵 蓉,张 波,李晓鹏. 煤气化灰水提氨技术的探索与应用[J]. 氮肥与合成气,2023,51(2):31-33,37.
- [3] 王 磊,彭文博,吴正雷,等. 陶瓷膜-脱氨膜工艺处理气化灰水研究[J]. 广东化工,2020,47(5):78-80.
- [4] 姚吉伦,张 星,周 振,等. 陶瓷膜技术在水处理中的研究进展[J]. 重庆理工大学学报(自然科学),2016,30(12):69-74.
- [5] 王 珂,赵德智,王德慧,等. 陶瓷膜的污染与清洗技术进展[J]. 应用化工,2018,47(6):1296-1300.

Engineering application of PTFE hollow fiber ultra-microfiltration membrane for hardness removal in coal gasification wastewater

Song Yongbin¹, Zhang Jibiao¹, Ma Xiaohui¹, Wu Huan², Chen Dong², Qin Jieren², Zhu Rui²,
Tang Xiangcheng², Zhou Ziyue²

(1. Shenghong Refining & Chemical (Lianyungang) Co., Ltd., Lianyungang Jiangsu 222065, China;

2. Nanjing Zhongke Bidun New Membrane Technology Co., Ltd., Nanjing Jiangsu 210032, China)

Abstract PTFE (Polytetrafluoroethylene) hollow fiber ultra-microfiltration membranes were used for hardness removal in gasification wastewater treatment. The small-scale and industrial trial operations of the PTFE hollow fiber ultra-microfiltration membranes were introduced, and their design configuration and performance were compared with those of tubular ceramic membranes under the same wastewater treatment capacity. Analysis of operational data showed that the PTFE hollow fiber ultra-microfiltration membrane system produced effluent with a turbidity of less than 0.5 NTU and a transmembrane pressure differential of 0.05 MPa-0.08 MPa, demonstrating the stable and reliable performance, meeting the requirements for the subsequent recycling.

Key words coal gasification wastewater; PTFE hollow fiber ultra-microfiltration membrane (PTFE-UMF); hardness removal; effluent turbidity; tubular ceramic membrane

(上接第 54 页)

Development and application of high-parameter coke dry quenching waste heat power generation technology

Ji Bingquan, Lin Song, Zhao Henglin, Zhu Canpeng, Liu Xiaolin
(Beijing JC Energy & Environment Engineering Co., Ltd., Beijing 100040, China)

Abstract Compared with wet quenching, coke dry quenching (CDQ) boasts certain advantages in energy utilization and environmental protection. To improve the power generation efficiency of CDQ waste heat, the conventional CDQ waste heat power generation technology has evolved from the medium temperature medium pressure (MTMP) to high temperature high pressure (HTHP), and in recent years, CDQ waste heat power generation technology with even higher parameters (high temperature ultrahigh pressure (HTUHP) or ultrahigh temperature ultrahigh pressure (UHTUHP)) has been developed. The working principle and process of the high-parameter CDQ waste heat power generation technology equipped with a reheat system were elaborated, and a comparative analysis with the traditional power generation technologies of HTHP and MTMP parameters was conducted. The results showed that, in comparison with the existing HTHP technology, the HTUHP with reheat/UHTUHP with reheat CDQ power generation technology could increase the power output by approximately 15% to 17%, thus creating greater economic benefits for enterprises.

Key words coke dry quenching; waste heat power generation; medium temperature medium pressure; high temperature high pressure; high temperature ultrahigh pressure; ultrahigh temperature ultrahigh pressure; reheat boiler