

综述与专论

膜法水处理技术在火电行业中的应用

王 薇¹, 马晓丹¹, 张兴祥¹, 许白羽²

(1. 天津工业大学材料科学与工程学院, 天津 300387;

2. 德蓝水技术股份有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要:火电厂耗水量和废水产生量较高, 加快落实火电厂深度节水和废水零排放已成为必然趋势, 而传统废水处理工艺并不能完全满足零排放要求。膜处理工艺在火电行业得到了广泛应用, 本文针对膜处理工艺在火电厂循环冷却水、脱硫废水、含煤废水、生活污水处理中的应用情况进行分析, 提出相应的废水处理工艺流程, 为实施火电厂废水梯度利用及近零排放提供参考。

关键词:火电厂; 废水; 膜技术; 水处理; 工艺

中图分类号: X703

文献标识码: A

文章编号: 1006-8759(2018)04-0001-06

APPLICATION OF MEMBRANE WATER TREATMENT TECHNOLOGY IN THERMAL POWER INDUSTRY

WANG Wei¹, MA Xiao-dan¹, ZHANG Xing-xiang¹, XU Bai-yu²

(1. School of Materials Science and Engineering, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China; 2. Delan Water Technology Co., Ltd., Wulumuqi 830000, China)

Abstract: Thermal power plants consume and produce a large amount of water. It has become an inevitable trend to accelerate the implementation of water-saving and zero-emission treatment. Traditional wastewater treatment technologies, however, cannot satisfy the requirements of zero-emission. Membrane treatment technology has been widely used in thermal power industry. In this paper, the application situations of membrane technology in treatment of circulating cooling water, desulphurization wastewater, coal-containing wastewater and domestic sewage were analyzed. The corresponding wastewater treatment process flows were put forward to provide references for gradient utilization and near zero-emission treatment of wastewater in thermal power plants.

Key words: Thermal power plant; Wastewater; Membrane technology; Water treatment; Technology.

火电厂不仅是高耗水量行业, 也是高排水量行业^[1]。火电厂废水主要存在 pH 值、悬浮物、氟化物超标的问题。pH 值超标废水排入水体会使微生物的生长受到抑制, 影响水体的自净能力。悬浮物超标废水会使水的浊度增大、透光度减弱。氟化物

超标废水会引起氟污染、使动植物中毒, 对人体造成很大的危害^[2]。所以, 为了降低生产成本、减少环境污染, 排放污水符合《污水综合排放标准》(GB8978-1996)见表 1, 采用先进的废水处理工艺刻不容缓。目前膜技术因其出水水质稳定、结构紧凑、无酸碱废液、运行维护简单等优势, 在国内外火电行业中逐渐获得认可^[3-4], 膜技术在火电厂废水处理有着重大意义。

收稿日期: 2018-01-18

基金项目: 国家重点研发计划资助(2016YFC400509)

项目编号: 2016A03008

第一作者简介: 王薇(1971.2-), 女, 天津市人, 博士研究生, 教授
研究方向: 分离膜的制备与应用研究

表 1 火电厂污水排放最高允许排放标准 mg/L

时 段	pH	SS	COD _{Cr}	BOD ₅	石油类	氨氮	总 砷	磷酸盐	氟化物	硫化物	动植物油
第 1、2 时段	7~9	70	100	20	5	5	0.5	0.5	10	1.0	10
第 3 时段	7~9	50	50	10	1	1	0.15	0.1	5	1.0	5

注:第一时段为 1992 年 8 月 1 日前建成投产或初步设计通过审批的新、扩、改建火电厂;第 2 时段为 1992 年 8 月 1 日起至 1996 年 12 月 31 日期间通过建设项目环境影响报告书审批的新、扩、改建火电厂;第 3 时段为 1997 年 1 月 1 日起通过审批的新、扩、改建火电厂。

1 火电厂用水的分类

火电厂各系统用水由于用途不同、数量相差较大,且水质要求也各不相同^[5],其中火电厂耗水最多的是循环冷却水,占全厂水耗量的 60%~80%。各用水特点及占比见表 2。

表 2 火电厂用水特点

种 类	主要用途	用水量占比(%)	水质要求	备注
循环冷却水	汽轮机	60~80	悬浮物<20mg/L pH 7~9.2 硬度(mmol/L)≤13.0 硬度(mmol/L)≤11.0 钙硬(mmol/L)≤11.0 Cl ⁻ (mg/L)≤330 总磷(mg/L) 5.0~7.0	浓缩倍率
	凝汽器		3.5~4	
冲灰水	冲洗炉渣和除尘器排灰	20~40	冲灰水水质要求低	冲灰水用量的关键取决于灰水比,较多在 1:15 左右
锅炉补给水	锅炉生产蒸汽	3	总硬度≤0.03mmol/L; SS≤5mg/L pH≥7 COD≤0.1mg/L	-
生活用水	厂区生活	0.75	-	-

2 火电厂废水的分类

火电厂废水按其来源^[6]可分为:循环冷却水、灰渣废水、含煤废水、含油废水、工业冷却水、生活污水等。

按其流量特点,废水分为经常性废水和非经常性废水。火电厂废水排放特点如表 3:

3 膜处理工艺

现在大部分火电厂采用“清浊分流、污污分治”的废水处理方案,其目标是在节约用水的同时,不断减少废水排放,最终实现废水“零排放”。已在火电行业得到应用,对不同废水处理的以膜分离为核心的工艺流程如下:

3.1 循环冷却水

循环冷却水容易微生物污染、生物粘泥、引起设备结垢,针对这一问题,需要在预处理系统中加入适量混凝剂、杀菌剂和阻垢剂,而循环冷却水最重要的待解决问题是其含盐量较高。

针对循环冷却水排污水含盐量较高的特点,

表 3 火电厂废水排放特点^[7]

分 类	项 目	排放特征	杂质特征	占总厂排放量的比例/100%
循环冷却水	湿式冷却塔运行连续排污水	连续,定值	悬浮物含量高 含盐量高(Ca ²⁺ 、SO ₄ ²⁻ 、HCO ₃ ⁻) 生物粘泥随浓缩倍率增加	70~80
生活污水	生活区、生产区生活污水	连续水量变化系数 2.5	成分复杂(与居民生活习惯有关)	10
含硫废水	湿法烟气脱硫工艺	稳定	悬浮物、氟化物含量高 pH 4~6 含盐量高且变化大(30 000~60 000 mg/L)	
含油废水	油库油处理间有洗涤排水大小修或事故排放含油废水工业冷却水及杂用水排水	经常,不连续非经常性排水连续,基本定量	含量高但排量小 含量高但排放次数较小 含油量不定,但排量较大	5.5
煤场排水	输煤系统冲洗水煤场雨水	经常,不连续不定期	SS 高、PH 不定度和色度比较高	<1

在其回收利用工艺中,主要对其进行脱盐处理。目前可用于脱盐的工业化方法主要有离子交换法、反渗透法和电渗析法等。将三种脱盐技术进行对比(表 4),电渗析虽投资费用低但其处理水质较差;离子交换法虽产水水质较高,但其再生频繁,再生操作复杂,且日常运行需消耗大量酸碱,产生大量废水,如采用 Na 型树脂进行软化处理,则购置工业盐的成本较高,再生时可能带入大量 Cl⁻离子,增加了冷却水的腐蚀倾向。膜分离技术^[8-10]虽然前期投资较高,但其因为有减少水污染,节约用水,提高电厂主要设备锅炉、汽轮机、电气设备的效率,降低煤耗和风机等辅助设备的电耗,完善电厂热力系统及设备的优化配置的优点^[11],已经成为国内火电厂脱盐的主要技术。

目前,国内大多数火电厂采用的膜集成废水

表 4 膜法与离子交换法处理水的效果及费用比较^[12]

工艺方法	去除率(%)				费用(美元/m ³)		
	TDS	总硬度	COD	浊度	投资	运行	总计
反渗透	91	97	90	92	0.030	0.080	0.100
电渗析	34	52	30	50	0.014	0.046	0.060
离子交换	90	99	59	92	0.013	0.066	0.079

表 5 反渗透的进水水质

浊度 NTU	pH 值	SDI15	余氯/(mg/L)	全 Fe/(mg/L)
<0.11	7~9	<1.5	0.06	<0.03

处理工艺主要有二种：连续微滤 (CMF)-反渗透 (RO)、超滤 (UF)-反渗透 (RO) 工艺如下：

3.1.1 CMF-RO 工艺

CMF^[13]是传统微滤技术的深度发展,其在进水水质波动较大时,具有系统运行稳定、处理水质较好、场地投资小、维护设备费用低等优点,是反渗透的最佳预处理工艺。但是,CMF 技术^[14]不适用于含有机物较多的地表水,运行成本高,所以需要加以常规的澄清过滤来辅助,火电厂应视进水水质、投资成本等确定是否采用该技术。2000 年,大同第二发电厂^[15]用 CMF 处理火电循环冷却水,工艺流程如下：

循环冷却水排污水→预处理系统 (原水箱加氯杀菌、加入混凝剂、适量助凝剂和盐酸→压力提升泵→絮凝罐→微滤设备→清水箱后加适量还原剂、阻垢剂)→RO→产水

大同第二发电厂的循环水水质较好,为低浊水。在该电厂中 CMF 作为反渗透前的预处理代替常规的澄清过滤,经过预处理工艺的出水水质达到反渗透进水要求 (见表 5),其浊度<0.12 NTU,SDI<3.0。大部份悬浮物、不溶的 BOD/COD 可去除及对细菌、寄生虫等微生物去除率≥99.99%。

3.1.2 以 UF-RO 为主的膜集成处理工艺

在循环排污水中使用最多是 UF-RO^[16]工艺,产水作为电厂的循环冷却水和锅炉水的补给水。而不同火电厂的水质不同,其预处理工艺和后处理工艺也有差别,以下是一些火电厂的工艺流程：

(1) 循环水排污水→浅砂过滤→弱酸阳床→UF→RO→产水^[17]

甘肃某发电公司 2×300 MW 燃煤发电水冷却机组采用上述工艺,实践表明:该工艺流程不仅提高循环水的浓缩倍率至 4~5 之间,而且延长化学车间制水周期至 120~170 h。

对经弱酸阳床处理后的循环水做分级处理,一部分直接作为循环水的补充水,另一部分经后处理工艺后,直接作为锅炉补给水的水源补入阳床入口。

作为循环水的补充水,因其水质碱度降低,可减少设备结垢。经过后处理的水质较高,减轻锅炉补给水系统的工作,大幅度降低阳床再生,而且大

大降低了污水排放量。

(2) 石灰碳酸钠软化-UF-RO-EDR 浓缩-蒸发结晶

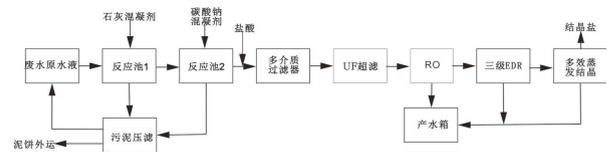


图 1 循环冷却水废水处理系统

宁夏某火力发电厂 (2×330 MW) 采用该工艺流程^[18-19],首先经过预处理阶段将废水浓缩 5 倍,产生极高含盐量的废水,通过石灰-碳酸钠软化系统降低废水的碱度和硬度,使其均降低到 0.5 mmol/L 以下。该阶段产生的淤泥可用于烧结制砖。废水再通过一级三段反渗透和 EDR 浓缩,其浓水排放量在 42 m³/h 左右,且水中含盐量比原水浓缩了将近四倍,达到近 1% 的含量,最终浓缩产生的结晶盐可外运至指定填埋场地,以固废形式填埋,减少环境污染。

该系统适用于含盐量高的火电厂污水,其废水回收率可达到 96% 以上。

3.2 膜法水处理技术在火电厂其它废水的应用

3.2.1 脱硫废水

火电厂湿法烟气脱硫废水中含有大量的悬浮物、Ca²⁺、Mg²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻等,不能直接回用,宜单独进行处理。主要处理工艺有化学沉淀法^[22-24]、烟道气处理^[25-28]、薄膜蒸发结晶^[29-32]。从投资预算、占地面积、工艺特点、运行效果、运行成本等多个方面来比较,脱硫废水处理工艺比较如表 6 所示。

各个电厂需要根据其含硫废水水质特点、经济条件及周围环境选择合适的脱硫废水处理工艺。其中蒸发结晶中膜处理技术 (正渗透) 和蒸发器的联用,因其处理水质好,其结晶盐可外运至指

表 6 脱硫废水处理工艺

项目	化学沉淀法	烟道气处理	蒸发结晶
总投资(万元)	>1 000	750	>6 000
占地面积	系统庞大,需建专用厂房	系统庞大,需建专用厂房	系统较小,无需专用厂房
工艺特点	工艺流程长,废水处理不彻底	可靠性高,自动化程系统回收率较高,降度高,无需其他能源,低了传热面结垢可同时提高机组脱硫效能,减少了抑制剂投率和除尘效率,但其加量;蒸发回收水运行不稳定,处理水质较好。但其运行所需能耗较高	需专用厂房
运行要求	设备较大,需有运行操作人员	智能化	智能化
运行成本	6.4/t	12.1/t	81.0/t
处理结果	无法直接排放 (需要深度处理)	近零排放	近零排放

注:以 10 m³/h 废水处理量计算

定填埋场的特点,在火电厂中开始受到重视。

3.2.2 含煤废水

含煤废水^[34]含大量煤粉等悬浮物,其 COD 含量较高。悬浮物和色度的去除是含煤废水处理工

艺中最主要的目的,其工艺流程需要满足以下条件:对悬浮物去除稳定、高效,其出水悬浮物为 10~20 mg/L,其水质可进行分级处理,最终满足达标排放又可满足回用。

表 7 脱煤废水处理工艺对比

工艺流程	沉淀+高效微孔陶瓷过滤 ^[35]	混凝+斜板沉淀+过滤 ^[36]	电子絮凝+离心沉淀+过滤 ^[37]	加药混凝+膜处理
系统稳定性	不稳定	稳定	稳定	稳定
出水水质(SS)/mg·L ⁻¹	≤50	10~20	10~20	10~20
处理出水色度	差	好	好	好
系统占地面积	小	大	小	大
排泥方式	人工+泥浆泵	抓斗+刮泥机	自动	自动
一次性投资/万元	105	160	190	200
年运行费用/万元	3	20	8.76	56.48
年费用/万元	18.02	42.88	35.93	85.08
主要优点	流程简单,管理方便,运行可靠,使用周期长,再生简易,运行费低,出水水质较好,易于旧火电厂改造	运行稳定,抗冲击负荷强,可间歇运行,出水水质好,满足回用要求。	不需要添加药剂,设备运行较稳定,操作简单,水质较好,满足回用要求。	化学稳定性好,低压过滤,过滤范围广,排泥含水率低,出水水质优,能满足回用要求。
主要缺点	过滤流速低,易堵塞,且不能满足回用要求。	投资较大,运行维护复杂,费用较高。	溶解性阳极材料消耗极大,极板容易钝化,处理效率下降,运行成本较高。	对水质适应性差,需人工定时添加药剂,运行维护费用高。
举 例	华能井冈山电厂	华能瑞金电厂	上海漕泾电厂	江西新昌电厂

注: 1)年固定分摊率 14.3%; 2)上表中的经济比较均按处理量 2×25 m³/h 含煤废水处理设备。

从表 7 比较得出,每个工艺都有优缺点,各电厂根据各自的含煤废水水质及经济要求选择适合的工艺。目前,电厂含煤废水处理的使用趋势是第三种和第四种,但膜处理技术因为投资高,现使用较少。

3.2.3 生活污水

火电厂生活污水^[38]与工业废水水质不同,其化学成分主要有蛋白质、脂肪和各种洗涤剂,且 COD 含量很高,水量也远远小于工业废水。根据其水质特点,污水处理适宜采用以生物法处理工

艺为主的复合技术。

将生活污水处理回用时,要综合考虑初期投资成本、规模大小、原水水质水量及出水回用要求等各方面因素,选择最佳的废水处理工艺流程。因为循环冷却水补给水、绿化用水、冲洗用水水质要求不高,所以大部分火电厂生活污水经处理后回用于此,在缺水地区,也有火电厂将高水质处理水作为锅炉补给水。

3.3 膜材料及膜组件的选择

3.3.1 膜材料

表 8 生活污水处理工艺对比^[39-46]

比较项目	BAF(曝气生物滤池处理)	SBR(间歇式活性污泥法)	氧化沟	MBR(膜生物反应器)
占地面积	小	小	大	小
一次投资	低	较高	低	高
运行费用	低	较低	较高	高
主要优点	系统稳定,流程短,管理简单,费用低,容积负荷、水力负荷大,水质较好,满足回用要求。	工艺设备简单,维护管理简单,运行费用低,无二次污染,耐冲击负荷,水质满足回用要求。	工艺流程简单,管理方便,水质较好,满足回用要求。	系统稳定,悬浮物去除率高,出水水质好,易实现自动控制。
主要缺点	对进水的 SS 要求高,进水提升较大,滤池需要进行反冲洗。	高粘性膨胀,污泥沉降性能下降,污水提升水头损失较大。	污泥膨胀、上浮,流速不均导致污泥沉积。	工程投资大,处理成本高,膜易污染、易堵塞,需要反冲洗。
适用电厂	大中型,现有生化处理工艺改造	电厂改造 有机物浓度低 (BOD>150mg/L)	中小规模,有机物浓度高	水质要求高

微滤膜(MF)的过滤孔径 0.1~1 微米之间,截留悬浮物、细菌类大分子有机物和蛋白质。超滤膜过滤孔径是 0.02~0.05 微米,截留细菌、胶体无机盐等。常用微、超滤膜为聚砜、聚醚砜、聚乙烯、聚偏氟乙烯等。反渗透的过滤孔径是 0.0001 微米,截留离子、有机物。常用反渗透膜为聚酰胺膜,且大部分火电厂为进口膜,如陶氏、科氏、海德能等。

3.3.2 膜组件

火电厂常用膜组件为管式组件、螺旋卷式、中空纤维式。

CMF 微滤膜选择为超高分子聚乙烯(UHMW-PE)管式膜,其具有水通量高、机械强度高,耐腐蚀、耐磨损、易检修的优点,对细菌、微生物的去除率 $\geq 99.9\%$ 。

超滤膜按运行方式分为内压式和外压式。内压式具有快速顺吸、快速去除表面污染物、膜通量高等优点,更适合应用在火电厂。

现在大多数火电厂废水处理系统使用的是普通的卷式反渗透,最新的反渗透膜组件是碟管式反渗透(DTRO),该组件具有简单预处理,占地面积小,可移动性强、最低程度的结垢和污染现象、膜使用寿命长、回收率高,能耗低、浓缩倍数高等优点,对火电厂高效处理废水有重要的意义。

4 结论

近年来,膜法水处理技术因其独特的技术特点在现在火电厂改造中得到广泛应用。尽管膜处理技术在对水质适应上,膜污染防治与再生方面还有待技术提高,但它又处理过程简单,能耗低,处理成本低等特点,在水处理中起到了举足轻重的作用。而火电厂废水处理工作是一项艰巨的任务,电厂应根据实际情况在选择处理工艺时,要遵守因煤制宜、因炉制宜、因地制宜,并统筹兼顾技术先进、经济合理、便于维护的原则,以实现经济效益、社会效益和环境效益的最大化。

参考文献

[1] 姜蓓蕾,王丽丽. 我国火电行业用水效率及节水措施分析[J]. 水利科技与经济, 2010, 16 (03): 264-266.

[2] Kelly D. Good, Jeanne M. VanBriesen. Current and potential future bromide loads from coal-fired power plants in the allegheny river basin and their effects on downstream concentrations[J]. Environ. Sci. Technol. 2016, 50: 9078-9088.

[3] Zheng Xiang, Zhang Zhenxing, Yu Dawei, et al. Overview of membrane technology applications for industrial wastewater treatment in China to increase water supply[J].

Conservation and Recycling, 2015, 105: 1-10.

[4] Bettina, Schurmann. Small wastewater treatment plants -Close to nature versus high tech solutions [J]. Concrete Plant and Technology, 2010, 76: 190-191.

[5] 王佩璋. 火力发电厂全厂废水零排放 [J]. 电力环境保护, 2003, 19(04): 25-29.

[6] 胡志光, 齐萌. 火电厂节水技术综述 [J]. 电力环境保护, 2007, 23 (03): 54-57.

[7] 闫玉. 高效反渗透技术处理电厂循环水排污水研究[D]. 北京化工大学, 2014.

[8] Kaliappan, Sathish, Nimalkumar. Recovery and reuse of water from effluents of cooling tower [J]. Indian Inst Sci, 2005, 85: 215-221.

[9] Choi Byeong Gyu, Zhan Min, Shin Kyungyong, et al. Pilot-scale evaluation of FO-RO

Osmotic dilution process for treating wastewater from coal-fired power plant integrated with seawater desalination [J]. Journal of Membrane Science, 2017, 540:78-87.

[10] Gayathri Naidu, Sanghyun Jeong, Youngkwon Choi, et al. Membrane distillation for wastewater reverse osmosis concentrate treatment with water reuse potential [J]. Journal of membrane science, 2017, 524: 565-575.

[11] 张迪. 反渗透技术在电厂水处理中的应用 [J]. 海峡科技与产业, 2016, 01 (03): 109-110.

[12] 莫莉萍. 双膜法回用电厂循环冷却排污水的研究 [D]. 华北电力大学(河北), 2005.

[13] 谢长血. 连续微滤技术在反渗透预处理系统中的应用[J]. 工业水处理, 2001, 21(12): 31-33.

[14] 沙中魁, 李永河, 王同春. 微滤膜及微滤技术用于反渗透预处理的研究[J]. 电力建设, 2001, 10(10): 26-29.

[15] Bruce Durbam, Tom Pankratz, et al. Membranes as pretreatment to desalination in wastewater reuse [J]. Membrane Technology, 2005, 143: 8-12.

[16] Pang Ruming. The zhuanghe power plants: taps the sea with ultrafiltration[J]. Water and wastewater international, 2008, 23: 40-41.

[17] 杨洁, 姜梅, 周志军等. 循环水排水处理的新工艺及其应用[J]. 电力科技与环保, 2012, 28(03): 49-51.

[18] 包伟, 黄勇, 张宁博. 基于“零排放”工艺的某火力发电厂高盐废水处理方案探究[J]. 水处理技术, 2017, 1(01): 130-133.

[19] 李栋. 反渗透技术在电厂水处理中的试验研究[D]. 华北电力大学(河北), 2010.

[20] 江海. 反渗透膜元件的清洗与再应用[D]. 天津城市建设学院, 2008.

[21] Min Luo, Zhansheng Wang. Complex fouling and cleaning-in-place of a reverse osmosis desalination system. Desalination, 2001, 141(1): 15-22.

[22] 陈国权, 徐锋军, 韩东浩. 火电厂脱硫废水处理系统设计优化及应用[J]. 资源节约与环保, 2016, 02(02): 16-18.

- [23]费锡智,张琪,杨茹,李焱等. 火电厂脱硫废水处理工程实例[J]. 水处理技术, 2015, 41 (05): 128-131+135.
- [24]周棚,周鹏. 火电厂脱硫废水处理设计与运行[J]. 安全、健康和环境, 2011, 11(02): 23-26.
- [25]郭静娟. 火电厂脱硫废水烟道处理技术研究[J]. 电力科技与环保, 2014, 30(05): 21-22.
- [26]李明波,范玺,孙克勤. 利用烟道气处理火电厂 WFGD 废水的技术应用[J]. 电力科技与保, 2010,26 (02): 53-55.
- [27]祁利明,赵全中,陈宏伟. 火电厂脱硫废水处理系统存在的问题及建议[J]. 工业用水与废水, 2015,46 (01): 46-48.
- [28]Ma Shuangchen, Yu Weijing, Jia Shaoguang, et al. Research and application progresses of flue gas desulfurization wastewater treatment technologies in coal-fired plants[J]. 2016, 35: 255-262.
- [29]李玉,张乔,王群. 蒸发结晶工艺在火电厂脱硫废水零排放中的应用[J]. 水处理技术, 2016, 42(11): 121-122.
- [30]王森,张广文,蔡井刚. 燃煤电厂湿法烟气脱硫废水"零排放"蒸发浓缩工艺应用综述[J]. 陕西电力, 2014, 42(08): 94-98.
- [31]Liang Zhengxing, Zhang Li, Yang Zhongqing, et al. Evaporation and crystallization of a Droplet of desulfurization wastewater from a coal-fired power plant [J]. Applied thermal engineering, 2017,119: 52-62.
- [32]Shuangchen Ma, Jin Chai, Gongda Chen, et al. Research on desulfurization wastewater evaporation : present and future perspectives[J]. Renewable and sustainable energy reviews, 2016, 58: 1143-1151.
- [34]黄家林,石庆宏. 火力发电厂含煤废水处理工艺探讨[J]. 江西煤炭科技, 2013, 04(04): 168-170.
- [35]郑小,姚向宁,张康年. 火力发电厂含煤废水处理工艺选择与方案探讨[J]. 江西电力职业技术学院学报, 2014, 27(01): 9-12.
- [36]曹建. 火电厂含煤废水处理技术分析[J]. 企业技术开发, 2013, 32 (08): 168-169.
- [37]王毅. 膜过滤技术在含煤废水处理中应用的探讨 [J]. 陕西电力, 2010,20 (09): 66-68.
- [38]宋晓红,陈君焱,宋国升. 河北南部电网火电厂生活污水处理及回用措施分析[J]. 电力环境保护, 2005, 21(02): 46-48.
- [39]褚贵祥. 火电厂生活污水回用循环冷却水的处理方法探讨[J]. 科技创新与应用, 2014, 10(01): 21-22.
- [40]张勤,钟运莹. 火电厂生活污水回用方案探讨[J]. 市政技术, 2010,28 (01): 105-108.
- [41]李智华. 国华定洲发电厂生活污水技术改造 [J]. 科学之友, 2010,35 (23): 11-13.
- [42]Moharram Fouad, Ahmed Ei-morsy. Sludge accumulation pattern inside oxidation ditch case study [J]. Water science and technology, 2014, 69: 2468-2475.
- [43]R.Hansen, T.Thegersen, F.Rogslla. Comparing cost and process performance of activated sludge and biological aerated filters over ten years of full scale operation [J]. Water science and Technology, 2007, 55: 99-106.
- [44]Hongjun Lin, Wei Peng, Meijia Zhang, et al. A review on anaerobic membrane bioreactors: applications, future perspectives [J]. Desalination, 2013, 314: 169-188.
- [45]Yongpeng Wang, Hailing Zhang, Weiwei Li, et al. Improving electricity generation and substrate removal of a MFC-SBR system through optimization of COD loading distribution, Biochemical engineering journal, 2014, 85: 15-20.
- [46]Moustapha Harb, Peiyong Hong. Molecular-based detection of potentially pathogenic bacteria in membrane bioreactor systems treating municipal wastewater : a case study [J]. Environ Sci Pollut Res, 2017, 24: 5370-5380.

(上接第 29 页)

可见,综合经济效益可达 114.56 万元/a。

4 结语

接触过滤技术在兴隆庄煤矿井下矿井水复用工程中进行了应用,其出水 SS 平均小于 3 mg/L,铁(Fe^{2+})平均小于 0.12 mg/L,平均去除率可达到 90%以上,具有很好的净化效果。

接触过滤技术与传统的过滤技术相比较,具有适合煤矿井下特殊空间、占地面积小、处理效率高优点。

采用接触过滤技术所构成的煤矿井下矿井水处理复用系统,具有工艺流程简短、出水水质好、

动力设备少、能耗低、运行成本低、操作管理简单等优点,适合在煤矿井下推广应用。

参考文献

- [1]曹祖民,高亮,崔岗,等. 矿井水净化及资源化成套技术与装备[M].北京:煤炭工业出版社,2003:1-5.
- [2]周如禄,高亮,陈明智. 煤矿含悬浮物矿井水净化处理技术探讨[J]. 煤矿环境保护, 2000, 14(1): 10-12.
- [3]周如禄,张广文,郭中权,等. 压力式气水相互冲洗滤池的开发与应用[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(2): 113-115, 120.
- [4]郭中权,王守龙,朱留生. 煤矿矿井水处理利用实用技术[J]. 煤炭科学技术, 2008, 36(7): 3-5.
- [5]何绪文,李福勤. 煤矿矿井水处理新技术及发展趋势[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(11): 17-22.
- [6]周如禄,高亮,郭中权,等. 煤矿矿井水井下直接处理及循环利用[J]. 中国给水排水, 2013, 29(4): 71-74, 79