

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.10.013

# 高出水标准要求下高含氟工业废水处理实践

王小兵<sup>1</sup>, 曾佳玮<sup>1</sup>, 汤 钟<sup>2</sup>

(1. 广东省建筑设计研究院有限公司, 广东 广州 510150; 2. 深圳市城市规划设计研究院有限公司, 广东 深圳 518000)

**摘 要:** 某液晶面板厂的高含氟高硬度废水处理厂的进水分含氟废水及有机废水两股, 含氟废水经过混凝沉淀+MBBR硝化预处理, 降低硬度、 $F^-$ 及 $NH_3-N$ 浓度后与有机废水混合, 再采用生化处理+臭氧高级氧化+曝气生物滤池+高效沉淀+消毒组合工艺处理, 最终出水水质稳定达到地表水Ⅳ类标准。该项目规模为 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 吨水投资约5 935元/ $\text{m}^3$ , 单位占地面积为 $0.619 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$ 。

**关键词:** 含氟废水; 高硬度废水; 除钙高效沉淀池; 除氟高效沉淀池; 深度处理

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)10-0083-07

## Practice of High Fluorine Industrial Wastewater Treatment under the Requirement of High Effluent Standard

WANG Xiao-bing<sup>1</sup>, ZENG Jia-wei<sup>1</sup>, TANG Zhong<sup>2</sup>

(1. Guangdong Architectural Design & Research Institute Co. Ltd., Guangzhou 510150, China; 2. Urban Planning & Design Institute of Shenzhen, Shenzhen 518000, China)

**Abstract:** The high fluorine and high hardness influent of a wastewater treatment plant in a liquid crystal panel factory includes fluorine containing wastewater and organic wastewater. The fluorine containing wastewater is pretreated by coagulation, precipitation and MBBR nitrification to reduce the hardness,  $F^-$  concentration and ammonia nitrogen, and then mixed with the organic wastewater. The mixed wastewater is eventually treated by a combined process consisting of biochemical treatment, ozone advanced oxidation, biological aerated filter, high efficiency precipitation and disinfection. The final effluent quality stably reaches the requirements of surface water class IV limitations. The capacity of this plant is  $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , the investment is approximately 5 935 yuan/ $\text{m}^3$ , and the footprint area is  $0.619 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$ .

**Key words:** fluorine containing wastewater; high hardness wastewater; high efficiency calcium removal settling tank; high efficiency fluorine removal settling tank; advanced treatment

近年来LCD、OLED等液晶显示面板产业产能增长迅速,液晶面板生产会产生大量的含氟废水及有机废水,含氟废水为环保严格管控的危废品,《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)规定排放水中 $F^-$ 浓度不超过10 mg/L,针对具体项目还可能会提出更严格的标准要求。

某市OLED项目,针对其生产废水配套建设了

KXC水质净化厂。

### 1 工程背景

#### 1.1 项目基本情况

该OLED项目是当地重点引进的液晶显示面板工业项目,对区域经济发展具有重要意义,KXC水质净化厂是该项目配套的环保设施,由财政投资建设,为满足环评及“三同时”要求,须在OLED项目投

产前建设完成。

OLED项目生产废水分为7类,包括含氟废水、含 $\text{H}_2\text{O}_2$ 废水、含氮废水、高氮废水、含磷废水、有机废水以及公辅设施废水和生活排水,拟采用“工厂内预处理+KXC水质净化厂深度处理”的工艺路线,各类废水工厂内预处理情况如下:

① 含氟废水:设计水量 $11\,800\text{ m}^3/\text{d}$ ,单独收集,混凝沉淀法除氟处理后,进入含氟废水排放池。

② 含 $\text{H}_2\text{O}_2$ 废水:设计水量 $3\,300\text{ m}^3/\text{d}$ ,单独收集,还原、除磷处理后,并入有机废水一同处理。

③ 含氮废水:设计水量 $7\,800\text{ m}^3/\text{d}$ ,含高浓度氨氮和高浓度有机物,通过硝化、反硝化去除氨氮后,并入有机废水一同处理。

④ 高氮废水:设计水量 $700\text{ m}^3/\text{d}$ ,含更高浓度氨氮和更高浓度有机物,通过硝化、反硝化去除氨氮后,进入含氮废水池合并再处理。

⑤ 含磷废水:设计水量 $1\,200\text{ m}^3/\text{d}$ ,磷酸盐浓度高,除磷处理后并入有机废水一同处理。

⑥ 有机废水:预处理后的含 $\text{H}_2\text{O}_2$ 、含氮、高氮、含磷及其他有机生产废水,总设计水量 $42\,350\text{ m}^3/\text{d}$ ,采用“厌氧+缺氧+好氧”工艺预处理后,进入有机废水排放池。

⑦ 公辅设施废水、生活排水:设计水量 $680\text{ m}^3/\text{d}$ 。公辅设施废水包括实验室废水、纯水制备废

水等;公辅设施废水、生活排水排入有机废水排放池。

综上所述,OLED项目生产废水厂内预处理后,分含氟废水和有机废水两股,分别由提升泵输送至KXC水质净化厂,其中含氟废水水量 $11\,800\text{ m}^3/\text{d}$ ,有机废水水量 $43\,030\text{ m}^3/\text{d}$ 。

KXC水质净化厂尾水接纳水体现状为地表劣V类水,环境容量已饱和。OLED项目生产排放的含氟废水<sup>[1]</sup>及有机废水成分复杂,含氟废水中F主要以HF、氟硅酸盐等形式存在,处理难度大<sup>[2]</sup>,且氟已被WHO列为第三大能引起重大疾病的污染物质(仅次于砷和硝酸盐),如不妥善处理会威胁人体生命健康<sup>[3]</sup>。为避免影响流域内水环境质量,保障区域水环境整治成果,OLED项目环评批复要求:KXC水质净化厂尾水排放执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中Ⅳ类水标准。

## 1.2 设计水量、水质及其他工程目标

### 1.2.1 设计水量

考虑10%的安全系数,本净化厂设计规模为 $6\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,其中含氟废水 $1.3\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,有机废水 $4.7\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。

### 1.2.2 设计进、出水水质

根据环评批复及OLED项目确认,KXC水质净化厂设计进、出水水质指标见表1。

表1 KXC水质净化厂设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality of KXC wastewater purification plant

项 目	pH	COD/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	BOD <sub>5</sub> / ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	SS/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	氨氮/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	TP/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	F <sup>-</sup> / ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	溶解性固体/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )
有机废水进水	6~9	400	200	250	25	5.0	0.8	
含氟废水	进水	6~9	130	50	30	100	5.0	17
	预处理后	6~9	≤130	≤50	≤20	≤20	≤5.0	≤4
预处理含氟废水与有机废水混合后水质	6~9	≤340	≤167	≤200	≤24	≤5.0	≤1.5	≤65
最终出水	6~9	≤30	≤6	≤10	≤1.5	≤0.3	≤1.5	

### 1.2.3 其他工程目标

① 污泥处理目标:本工程产生的生化剩余污泥与混凝沉淀物化污泥,经浓缩、调质、脱水处理至含水率不超过60%后委托有资质单位外运处置。

② 臭气处理目标:本工程厂界恶臭执行《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—1993)厂界标准值中的二级标准(新改扩建)要求。

③ 噪声:本工程噪声设计达到《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB 12348—2008)Ⅱ类标准

要求。

④ 中水回用:中水回用作为厂区溶药、生物滤池及板框压滤机反洗用水、绿化及洗地用水、周边工厂生产用水等,预测中水回用规模最高可达 $4.2\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。

## 2 处理工艺工程方案

### 2.1 工艺方案论证

工艺方案论证的目的是根据水量、进出水水质

及污染成分等基础数据,基于技术可靠、投资节省、运维成本低等原则,选用效费比最优的工艺技术。本工程处理系统在降解有机物的同时,既要达到脱氮除磷的目的,又要满足氯化物的出水指标。

① 含氟废水进水 $F^-$ 浓度为17 mg/L,尾水排放要求 $F^-$ 浓度不超过1.5 mg/L。含氟废水经过除氟预处理后,与有机废水混合均匀,再进入设有除氟功能的生化处理+深度处理系统,且含氟废水量占比达21.67%,只有其预处理系统出水 $F^-$ 浓度不超过4 mg/L,才能确保尾水 $F^-$ 达标,因此含氟废水预处理系统需要审慎选择工艺参数,确保预处理效果。

② 含氟废水进水溶解性固体浓度为2 000 mg/L,易导致后续系统结垢、堵塞,应设置除硬工序。

③ 含氟废水进水 $NH_3-N$ 浓度为100 mg/L,常规二级生化处理工艺难以有效去除如此高浓度的 $NH_3-N$ ,需考虑在主体生化工艺前对 $NH_3-N$ 进行预处理,将其转化为 $NO_3^-$ ,以减轻后续系统的脱氮压力。

④ 进水来自OLED项目工厂内预处理后的工业废水,水中残留的有机物生化性差,需考虑提高难降解有机污染物的可生化性。

⑤ 由于OLED项目工厂内预处理系统出水水质会有一定程度的波动,而本净化厂尾水排放要求稳定达到地表Ⅳ类水标准,同时厂区用地紧张,吨水占地面积仅 $0.619\text{ m}^2/(\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1})$ ,因此应选择技术可靠、耐冲击负荷、占地节省、适应性强的工艺方案。

⑥ 要求尾水中TP不超过0.3 mg/L,生化系统对TP去除有限,须考虑设置物化工艺,以强化TP的去除。

## 2.2 含氟废水预处理工艺选择

### ① 除硬度

含氟废水进水溶解性固体浓度为2 000 mg/L,需设置除硬设施。除硬工艺有化学法、离子交换法、膜分离法、电渗析法等。化学法通过投加石灰、纯碱等药剂,生成 $CaCO_3$ 、 $Mg(OH)_2$ 等沉淀物去除水中硬度,可有效降低水中含盐量,但只能去除碳酸盐硬度和碱度,如要求降低水中非碳酸盐硬度,可采用联合投加工艺<sup>[4]</sup>。离子交换法通过树脂离子交换去除水中 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 等离子,工艺成熟,多用于食品行业制饮料用水和热电产业。膜分离法采用反

渗透膜去除水中硬度,操作简便,除盐及去除污染物效率高,给水工程、海水淡化应用较多,投资高,运行成本高。电渗析法在外加直流电场作用下,水中阴、阳离子分别通过阴、阳离子交换膜向阳极和阴极移动,达到净化目的,常用于初级纯水制备。电渗析法投资省,处理能力强,维护方便,运行费用最高。

结合以上各除硬工艺的分析比较,本项目含氟废水硬度去除选择化学法,含氟废水预处理系统设置除钙高效沉淀池,通过投加纯碱、PAC、PAM、惰性载体微砂,设置污泥循环,使水中大部分 $Ca^{2+}$ 生成 $CaCO_3$ 沉淀去除,除硬处理后出水溶解性固体浓度降低至不超过300 mg/L。

### ② 除氟

除氟工艺有沉淀法、吸附法、膜分离法、离子交换法等<sup>[5]</sup>。沉淀法通过投加 $Ca^{2+}$ 药剂,形成 $CaF_2$ 沉淀而去除 $F^-$ ,传统 $CaF_2$ 沉淀工艺出水 $F^-$ 浓度一般为10 mg/L左右。参考类似工程经验,通过投加适当药剂及惰性载体、设置污泥循环等手段,可将出水 $F^-$ 浓度降低至不超过4 mg/L。吸附法将活性氧化铝、骨炭等吸附剂装入填充柱,采用动态吸附方式去除 $F^-$ ,操作简便、效果稳定,但吸附容量低、处理水量小、吸附过程慢、再生困难。膜分离法采用反渗透膜去除 $F^-$ ,效率高,产水率低,投资高,运行成本高。离子交换法通过树脂离子交换去除 $F^-$ ,树脂对 $F^-$ 的选择性差,对进水水质要求苛刻,脱附液需要再处理。

对比分析以上除氟工艺的优缺点及适用条件,去除 $F^-$ 以沉淀法最为经济常用,本工程选择混凝沉淀法。在含氟废水预处理系统中设置除氟高效沉淀池,考虑到进水中已含有过量 $Ca^{2+}$ ,本单元投加PAC、PAM、惰性载体微砂,设置污泥循环,以增大 $CaF_2$ 颗粒粒径,加快其沉淀速度而去除水中 $F^-$ 。根据类似工程数据,只要PAC及PAM投加量、微砂粒径、污泥循环流量选择适当,能将出水中 $F^-$ 浓度降低至不超过4 mg/L。

### ③ 除氨氮

含氟废水进水 $NH_3-N$ 浓度为100 mg/L,为提高主体工艺系统的脱氮效率,设置含氟废水预硝化工序。由于硝化菌世代期长、活性低,常规生化处理工艺要保证硝化效果,通常需加大曝气池容积,降低有机负荷,导致反应池占地面积大。如在MBBR



硝化池中投加悬浮填料,则悬浮载体上硝化菌群丰度大大增加,某运行项目镜检显示悬浮载体上硝化菌群丰度达28.56%,为系统内活性污泥的14倍<sup>[6]</sup>,MBBR系统硝化效率比常规生化工艺提高不少,因此该项目含氟废水预硝化采用MBBR硝化池。

综上,含氟废水预处理工艺流程见图1。



图1 含氟废水预处理推荐工艺流程

Fig.1 Recommended process flow chart of fluorine containing wastewater pretreatment

## 2.3 其余处理工艺的比选与确定

### 2.3.1 混合废水处理工艺选择

预处理后含氟废水与有机废水均匀混合后进入二级生物处理工艺,经微生物氧化分解,能基本去除可降解的有机污染物,但要实现出水稳定达到地表Ⅳ类水标准,必须设置深度处理系统,本工程采用二级生化处理+深度处理的组合工艺<sup>[7]</sup>。

对以下处理方案进行比选:①工艺组合方案一,MBR生物反应池+高级氧化+曝气生物滤池+紫外线消毒;②工艺组合方案二,多段AO生物反应池+二沉池+高级氧化+曝气生物滤池+高效沉淀池+接触消毒池。

MBR工艺处理后水质优于常规生化工艺,占地面积小、污泥泥龄长、产泥率低,不受污泥膨胀影响;但MBR反应池前需设置膜格栅,建设投资高<sup>[8]</sup>;膜吹扫空气消耗量大;膜需要定期清洗、定期更换,运行成本高<sup>[9]</sup>;同时混合废水仍存在一定硬度,有膜堵塞风险。

多段AO生物反应池+二沉池为常规处理工艺,投资、运行费用均低于MBR工艺。基于水质分析,并参考类似工程数据,若优化选择工艺参数,强化脱氮除磷效率,可确保出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级B甚至更优的标准。深度处理采用高级氧化+曝气生物滤池+高效沉淀池,比方案一增加了高效沉淀池,进一步拦截曝气生物滤池泄漏的SS,强化去除水中COD、SS、TP,可确保尾水稳定达标。

本工程推荐方案二:多段AO生物反应池+二沉池+高级氧化+曝气生物滤池+高效沉淀池+接触消毒池。

## 2.3.2 污泥处理工艺

本工程要求处理后污泥含水率不超过60%,而混凝沉淀物化污泥占比超过60%,物化污泥有机质含量低,难以消化处理,设计中以下处理方案进行比选:脱水+干化工艺、加碱稳定+脱水工艺。两种方案均成熟、可靠。脱水+干化系统建设投资、运行成本均比加碱稳定+脱水工艺高10%以上,且配套设施复杂。加碱稳定+脱水工艺需投加石灰乳、 $\text{FeCl}_3$ 等药剂,处理后干污泥量增加20%~30%。

经比较,加碱稳定+脱水工艺更具经济性,系统管理简单,因此本工程污泥处理采用重力浓缩+加碱稳定+板框压滤脱水机工艺。

## 2.4 最终工艺方案

含氟废水经除钙+预硝化+除氟预处理后与有机废水均匀混合,再经多段AO生物反应池+二沉池+臭氧高级氧化+曝气生物滤池+高效沉淀池+次氯酸钠消毒处理后,达标排放。废水处理产生的污泥,经浓缩+污泥调质+脱水处理,至含水率不超过60%后外运,具体处理工艺流程见图2。

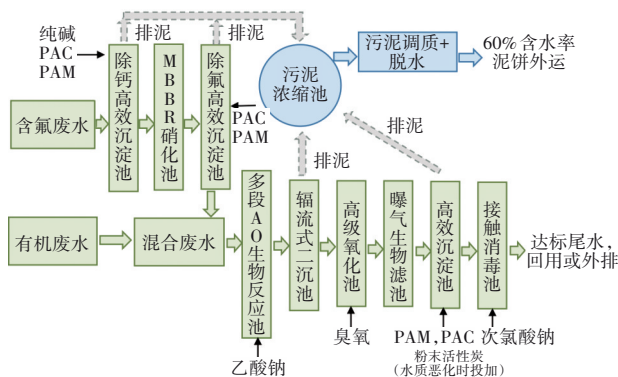


图2 工艺流程

Fig.2 Process flow chart

## 3 主要构筑物设计

① 除钙高效沉淀池:通过投加纯碱、PAC、PAM及惰性载体微砂,将出水中的溶解性固体含量降低至不超过300 mg/L。整体尺寸为21.40 m×9.20 m×(3.25~5.75) m,包括反应池、混凝池、絮凝池、沉淀池,2个系列并联运行。

反应池单系列有效容积75.0 m<sup>3</sup>,水力停留时间16.31 min,10%纯碱溶液最大投加量1300 mg/L,30.5% NaOH最大投加量1230 mg/L。混凝池单系列有效容积15.6 m<sup>3</sup>,水力停留时间3.45 min,10% PAC溶液最大投加量200 mg/L。絮凝池单系列有效

容积 $23.06\text{ m}^3$ ,水力停留时间 $5.10\text{ min}$ ,PAM最大投加量 $1.0\text{ mg/L}$ 。沉淀池单系列直径 $4.0\text{ m}$ ,斜管区面积 $8.80\text{ m}^2$ ,上升流速 $31.88\text{ m/h}$ ,单系列污泥循环流量 $40\text{ m}^3/\text{h}$ ,沉淀池出水槽浓硫酸最大投加量 $390\text{ mg/L}$ 。

② MBBR硝化池:池内投加HDPE悬浮填料载体,与悬浮活性污泥相嵌合,形成泥膜复合工艺,在降解有机物的同时,将水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 经硝化反应生成 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NO}_2^-$ ,出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 不超过 $20\text{ mg/L}$ 。整体尺寸 $26.40\text{ m}\times 25.80\text{ m}\times 6.7\text{ m}$ ,2个系列并联运行。

硝化池空床水力停留时间 $6.7\text{ h}$ ,硝化负荷为 $0.56\text{ kgNH}_4^+\text{-N}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ ,设计池内DO为 $4\text{ mg/L}$ 。

HDPE填料投加率为 $53.4\%$ ,填料有效比表面积不小于 $800\text{ m}^2/\text{m}^3$ ,密度为 $(0.95\pm 0.02)\text{ g/cm}^3$ ;填料标称尺寸 $\varnothing 25\text{ mm}$ ,厚度 $3\sim 4\text{ mm}$ ;填料抗压强度不小于 $50\text{ N/mm}$ ,紫外损失值不超过 $0.015\%$ 。

③ 除氟高效沉淀池:以去除 $\text{F}^-$ 为主要目的,出水 $\text{F}^-$ 不超过 $4.0\text{ mg/L}$ 。整体尺寸 $26.30\text{ m}\times 11.20\text{ m}\times (4.75\sim 6.75)\text{ m}$ ,包括接触池、混凝池、絮凝池、沉淀池,2个系列并联运行。

接触池单系列有效容积 $150.50\text{ m}^3$ ,水力停留时间 $33.32\text{ min}$ ,预留 $\text{Ca}^{2+}$ 药剂投加功能。混凝池单系列有效容积 $150.50\text{ m}^3$ ,水力停留时间 $33.32\text{ min}$ , $10\%$  PAC溶液最大投加量 $1\,150\text{ mg/L}$ 。絮凝池单系列有效容积 $36.09\text{ m}^3$ ,水力停留时间 $7.99\text{ min}$ ,PAM最大投加量 $1.0\text{ mg/L}$ 。沉淀池单系列直径 $4.0\text{ m}$ ,斜管区面积 $8.00\text{ m}^2$ ,上升流速 $31.88\text{ m/h}$ ,单系列污泥循环流量 $40\text{ m}^3/\text{h}$ 。

④ 多段AO生物反应池:以降解有机物、脱氮、除磷为目的,整体尺寸 $101.20\text{ m}\times 85.20\text{ m}\times 7.20\text{ m}$ ,水深 $5.75\sim 6.00\text{ m}$ ,包括厌氧池、兼氧池、好氧池,2个系列并联运行。

生物反应池按3段缺氧-好氧区设计,三段进水量分别为总水量的 $55\%$ 、 $30\%$ 、 $15\%$ ,总计水力停留时间 $19.0\text{ h}$ ,各段水力停留时间:厌氧池为 $1.46\text{ h}$ 、缺氧池1为 $3.765\text{ h}$ 、好氧池1为 $5.225\text{ h}$ 、缺氧池2为 $2.85\text{ h}$ 、好氧池2为 $2.85\text{ h}$ 、缺氧池3为 $1.425\text{ h}$ 、好氧池3为 $1.425\text{ h}$ 。

反应池污泥浓度 $4\,200\sim 5\,000\text{ mg/L}$ ;污泥负荷 $0.09\sim 0.104\text{ kgCOD}/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$ ;污泥回流比 $50\%\sim 100\%$ ;混合液内回流比 $200\%$ ;系统设计泥龄约 $25\text{ d}$ 。

⑤ 二沉池:采用周进周出圆形辐流式沉淀池,与污泥泵房、提升泵房合建。

二沉池尺寸 $\varnothing 42\text{ m}\times (5.20\sim 5.70)\text{ m}$ ,水深 $4.40\sim 4.90\text{ m}$ ,2个系列并联运行,表面水力负荷 $0.90\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ,沉淀时间 $3.75\text{ h}$ 。

污泥泵房尺寸 $5.40\text{ m}\times 14.80\text{ m}\times 7.65\text{ m}$ ,污泥回流量 $1\,250\sim 2\,500\text{ m}^3/\text{h}$ ,设置污泥回流轴流泵3台;剩余污泥流量为 $60\text{ m}^3/\text{h}$ ,设置剩余污泥潜污泵4台。

提升泵房尺寸 $11.80\text{ m}\times 6.20\text{ m}\times 7.80\text{ m}$ ,额定提升流量 $2\,500\text{ m}^3/\text{h}$ ,设置提升轴流泵3台。

⑥ 高级氧化池:利用臭氧催化氧化将绝大部分难生物降解COD转化为BOD,与曝气生物滤池合建,总尺寸 $27.5\text{ m}\times 19.5\text{ m}\times 8.10\text{ m}$ ,水深 $6.96\sim 7.32\text{ m}$ ,2个系列并联运行。高级氧化池水力停留时间 $55\text{ min}$ ,采用钛板曝气方式,臭氧投加量 $25\sim 50\text{ mg/L}$ 。

⑦ 曝气生物滤池:与高级氧化池合建,进一步去除COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、SS、TP等污染物。总尺寸 $37.5\text{ m}\times 24.5\text{ m}\times 6.85\text{ m}$ ,水深 $6.25\text{ m}$ ,共分8格,单格滤池面积 $72\text{ m}^2$ 。

设计滤速 $6.51\text{ m/h}$ ,强制滤速 $7.44\text{ m/h}$ ,内回流比 $50\%$ ;反冲洗周期为 $36\sim 72\text{ h}$ ,采用气水反冲洗,反冲洗程序及参数如下:降水位,历时 $2\text{ min}$ ;气洗,强度 $70\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ,历时 $4\text{ min}$ ;气洗+水洗,气洗强度 $70\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ,水洗强度 $18\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ,历时 $6\text{ min}$ ;水洗,强度 $18\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ,历时 $10\text{ min}$ 。

⑧ 高效沉淀池:投加PAC、PAM,水质恶化时投加粉末活性炭,进一步去除COD、SS及TP。总尺寸 $44.15\text{ m}\times 21.20\text{ m}\times (5.70\sim 8.20)\text{ m}$ ,水深 $4.70\sim 6.92\text{ m}$ ,包括活性炭接触池、混凝池、絮凝池、沉淀池,2个系列并联运行,与消毒池合建。

活性炭接触池单系列有效容积 $365\text{ m}^3$ ,水力停留时间 $17.52\text{ min}$ ,水质恶化时 $5\%$ 粉末活性炭投加量 $20\sim 50\text{ mg/L}$ 。混凝池单系列有效容积 $49\text{ m}^3$ ,水力停留时间 $2.40\text{ min}$ , $10\%$  PAC溶液投加量 $47\sim 250\text{ mg/L}$ 。

絮凝池单系列有效容积 $249\text{ m}^3$ ,水力停留时间 $12.00\text{ min}$ ,PAM投加量 $0.5\sim 1.0\text{ mg/L}$ 。沉淀池单系列直径 $8.0\text{ m}$ ,斜管区面积 $44.64\text{ m}^2$ ,上升流速 $28.0\text{ m/h}$ 。每个系列污泥循环流量 $60\text{ m}^3/\text{h}$ 。

⑨ 消毒池:消毒池尺寸 $44.15\text{ m}\times 21.20\text{ m}\times 6.80\text{ m}$ ,水深 $5.50\text{ m}$ 。消毒剂采用 $10\%\text{ NaClO}$ 溶

液,加氯量5~10 mg/L,接触时间45 min,出水大肠菌群数不超过20 000个/L。

⑩ 污泥浓缩池:4个系列并联运行,每个系列尺寸12 m×12 m×(5.00~5.686) m,水深4.00~4.686 m。

生化系统剩余污泥量900~1 065 m<sup>3</sup>/d,污泥含水率99.2%~99.3%,干污泥量7.45 tDS/d;物化系统排泥量600~785 m<sup>3</sup>/d,污泥含水率98.5%,干污泥量9~11.75 tDS/d。浓缩池固体通量33.3 kgDS/(m<sup>2</sup>·d),浓缩时间约18 h,浓缩后污泥含水率约97%。

⑪ 污泥脱水:设置2台污泥调质箱,并联运行。每台调质箱分3格,第1、2格为反应区,有效容积均为23.5 m<sup>3</sup>,依次投加38%~40%FeCl<sub>3</sub>溶液、10%石灰乳,污泥停留时间均为36 min;第3格为调理区,有效容积94 m<sup>3</sup>,污泥停留时间145 min。石灰、FeCl<sub>3</sub>溶液投加量分别为干污泥量的25%、15%。

设置6台板框压滤脱水机,正常运行时同时工作,每天运行3个周期,每个周期历时3 h。每台脱水机配置76片规格为1 500 mm×1 500 mm的滤板,运行时压榨压力<160 N/cm<sup>2</sup>。

## 4 实施效果及经济分析

### 4.1 工程进度及现场图片

该工程于2018年11月开始施工,2020年2月底通过竣工验收,2020年11月通过环保验收,目前一直运行稳定,最终尾水水质优于地表水Ⅳ类标准。部分现场构筑物照片见图3。



图3 部分构筑物

Fig.3 Some structures

### 4.2 水量及水质

由于OLED项目生产线未满载运行,含氟废水进水量为5 000~6 700 m<sup>3</sup>/d,有机废水进水量为(2~2.4)×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,均为设计值的50%左右,因此目前KXC水质净化厂运行一条处理工艺线,另一条线备用。

含氟废水及有机废水的实际进水水质见表2。

表2 含氟废水及有机废水的进水水质

Tab.2 Influent quality of fluorine containing

wastewater and organic wastewater mg·L<sup>-1</sup>

项目	COD		F <sup>-</sup>		NH <sub>3</sub> -N		TP	
	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值
含氟废水	85~130	115	11~16	14	65~98	85	2.1~3.5	3.0
有机废水	270~350	330	0.5~0.8	0.7	17~22	20	3.3~4.5	4.1

2020年8月1日—10月31日,连续3个月的尾水水质见表3。可见,各指标均优于设计值。

表3 尾水水质

Tab.3 Effluent quality

mg·L<sup>-1</sup>

项目	COD	F <sup>-</sup>	NH <sub>3</sub> -N	TP
范围	3.8~13.8	0.4~1.2	0.12~1.15	0.08~0.2
平均值	8.7	0.91	0.43	0.15

### 4.3 经济分析

包括3个月试运行费用在内,该水质净化厂总投资为35 607.57万元,吨水建设投资约为5 935元/m<sup>3</sup>。占地面积3.714 3×10<sup>4</sup> m<sup>2</sup>,吨水占地面积为0.619 m<sup>2</sup>/(m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>)。经核算,吨水直接运行费用为2.02元/m<sup>3</sup>。

## 5 结论及建议

该水质净化厂处理规模6×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,接收OLED项目液晶面板生产产生的高硬度、高含氟、高NH<sub>3</sub>-N、可生化性差的废水,经过除硬除氟等预处理、二级生化处理及深度处理,出水稳定达到地表水Ⅳ类标准。

其中多段AO生物处理+二沉池+高级氧化+曝气生物滤池+高效沉淀池组合处理工艺适应性强、耐冲击负荷、占地节省,出水水质稳定达标。

不同液晶面板生产线排放废水的浓度、成分、污染物形态会稍有差别,因此对于含氟废水预处理系统药剂选择、加药量等参数,建议通过烧杯试验,



结合进水水质分析确定。

由于工人误操作、生产设备仪表损坏等因素,工厂废水排放水质存在恶化的可能,因此建议工业废水净化厂设置应急措施。该OLED项目工厂内设置有3 000 m<sup>3</sup>事故水池,KXC水质净化厂内的高效沉淀池设置有粉末活性炭投加、尾水排放管上设置自动阀门等设施。

#### 参考文献:

- [1] 郑家传. 半导体行业含氟废水处理应用研究[J]. 广东化工, 2021, 48(3): 96-97.  
ZHENG Jiachuan. Fluoride-containing wastewater treatment project in semiconductor plant wastewater[J]. Guangdong Chemical Industry, 2021, 48(3): 96-97 (in Chinese).
- [2] 蒯杰, 赵宇. 含氟工业废水处理技术现状[J]. 资源节约与环保, 2020(6): 105-106.  
KUAI Jie, ZHAO Yu. Present situation of treatment technology of fluorine-containing industrial wastewater [J]. Resources Economization & Environmental Protection, 2020(6): 105-106 (in Chinese).
- [3] 于波, 任桐, 都兴红, 等. 含氟废水处理工艺研究[J]. 中国资源综合利用, 2020, 38(11): 192-195.  
YU Bo, REN Tong, DU Xinghong, *et al.* Study on the treatment process of fluorine-containing wastewater [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2020, 38(11): 192-195 (in Chinese).
- [4] 冯丽霞, 牟洁, 魏铮, 等. 集成技术处理光伏行业生产废水工程实例[J]. 工业水处理, 2020, 40(5): 118-121.  
FENG Lixia, MOU Jie, WEI Zheng, *et al.* A project example on integrated technology for production wastewater treatment of photovoltaic industry [J]. Industrial Water Treatment, 2020, 40(5): 118-121 (in Chinese).
- [5] 余琴芳, 镇祥华, 邹磊, 等. 含氟工业废水深度处理工艺方案[J]. 净水技术, 2020, 39(5): 140-146.  
YU Qinfang, ZHEN Xianghua, ZOU Lei, *et al.* Solutions of advanced treatment process for industrial fluoride wastewater [J]. Water Purification Technology, 2020, 39(5): 140-146 (in Chinese).
- [6] 栾志翔, 吴迪, 韩文杰, 等. 北方某污水厂MBBR工艺升级改造后的高效脱氮除磷效果[J]. 环境工程学报, 2020, 14(2): 333-341.  
LUAN Zhixiang, WU Di, HAN Wenjie, *et al.* Effect of high efficiency nitrogen and phosphorus removal in a wastewater treatment plant in north China [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2020, 14(2): 333-341 (in Chinese).
- [7] 金月清, 曾旭. 两级沉淀法处理液晶面板生产中含氟废水的研究[J]. 中国给水排水, 2019, 35(21): 109-112.  
JIN Yueqing, ZENG Xu. Treatment of fluoride wastewater in liquid crystal panel production by two-stage precipitation method [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(21): 109-112 (in Chinese).
- [8] 刘丽, 刘杨华, 常亮, 等. 水解/改良A<sup>2</sup>O/转盘滤池工艺处理工业园含氟废水[J]. 中国给水排水, 2019, 35(20): 78-81.  
LIU Li, LIU Yanghua, CHANG Liang, *et al.* Pretreatment/hydrolysis acidification/modified A<sup>2</sup>O/rotary filter pond for treatment of industrial park wastewater containing fluorine [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(20): 78-81 (in Chinese).
- [9] 李德强. 薄膜液晶显示器生产废水深度处理工艺探讨[J]. 建材与装饰, 2016(20): 116-118.  
LI Deqiang. Discussion on advanced treatment process of wastewater from thin film liquid crystal display production [J]. Construction Materials & Decoration, 2016(20): 116-118 (in Chinese).

**作者简介:**王小兵(1971—),男,湖南祁东人,本科,高级工程师,注册公用设备工程师(给水排水),从事给排水管道、给水处理、污水处理、黑臭水体整治、消防、固废处置等领域的工程项目设计及项目建设管理工作。

**E-mail:** 1291042166@qq.com

**收稿日期:** 2021-04-11

**修回日期:** 2021-10-11

(编辑:孔红春)