

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.02.014

侧向流倒V型斜板沉淀池用于中型水厂扩建

李土雄, 杨峰, 张伟德, 蔡翌望, 陈程
(深圳市深水宝安水务集团有限公司, 广东 深圳 518000)

摘要: 深圳某中型水厂设计规模为 $16\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,本期扩建规模为 $16\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,为克服传统斜管沉淀池老化、积泥等问题,扩建工艺采用新型侧向流倒V型斜板沉淀池工艺。生产运行结果表明,在相同投药量下,侧向流倒V型斜板沉淀池沉后水浊度比传统斜管沉淀池降低30%;侧向流倒V型斜板沉淀池刮泥、排泥对沉淀池出水浊度的影响可控;斜板正向冲洗对沉淀池出水浊度影响较大,且沉后水浊度恢复至0.5 NTU的时间长达2.5 h,需将正向冲洗时间设置在制水低谷期;出水稳流区存在返混、“跑矾”现象,可通过降低刮泥机运行速率、优化斜板分布进一步提升运行效果。

关键词: 侧向流倒V型斜板沉淀池; 出水浊度; 正向冲洗; 出水稳流区

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)02-0089-06

Application of Side-flow Lamella Tank in Expansion of a Medium-sized Waterworks

LI Tu-xiong, YANG Feng, ZHANG Wei-de, CAI Yi-wang, CHEN Cheng
(Shenshui Bao'an Water Group Co. Ltd., Shenzhen 518000, China)

Abstract: The design capacity of a waterworks in Shenzhen is $16\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, and the expansion capacity is $16\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$. To solve the problems of aging and sludge accumulation in the traditional inclined tube sedimentation tank, a new type of side-flow lamella tank is adopted in the expansion process. The operation results show that the effluent turbidity of the side-flow lamella tank is 30% lower than that of the traditional inclined tube sedimentation tank with the same dosage. The influence of sludge scraping and discharging is controllable. The forward flushing of side-flow lamella has a great influence on the effluent turbidity of the sedimentation tank, and it takes 2.5 h for the effluent to recover to 0.5 NTU. So, the forward flushing must be set at non-rush hour. There are back mixing and alum escaping phenomena in the steady effluent zone. It is suggested to reduce the running speed of the sludge scraper and optimize the distribution of lamella to further improve the operation effect of the process.

Key words: side-flow lamella tank; effluent turbidity; forward flushing; steady effluent zone

1 工程概况

1.1 项目简介

深圳某中型水厂设计规模为 $16\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,分两期建设,每期设计规模为 $8\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,一期工程于

2002年投产,二期工程于2004年投产,供水水源为东江经水库调蓄水。为满足区域发展需要,提升供水水质,2021年起对该水厂进行扩建,扩建的三期设计规模为 $16\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,并同步对全厂进行深度处

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2015ZX07406)

通信作者: 杨峰 E-mail: 532742429@qq.com

理改造。

1.2 水源水质

该水厂原水浊度维持在3~10 NTU,最大值为35 NTU,最小值为1.1 NTU,平均值为8.24 NTU。原水藻类呈现季节性波动,维持在 $2.9 \times 10^6 \sim 9.7 \times 10^7$ 个/L,平均值为 2.5×10^7 个/L。原水pH波动较大(5~9.3),平均值为7.23。原水高锰酸盐指数偶发偏高,基本处于2~4 mg/L之间,平均值为2.79 mg/L,最大值为13.25 mg/L,最小值为0.74 mg/L。原水氨氮基本处于0~0.25 mg/L之间,平均值为0.1 mg/L,最大值为0.37 mg/L。

经过长期监测,该厂原水除总磷、总氮、耗氧量偶有超标外,其余指标均优于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅱ类水质要求。因此,常规工艺的选择重点在于应对高藻低浊原水水质。

1.3 扩建工艺选择

1.3.1 现状水厂工艺分析

水厂现状采用常规工艺:格栅-水力混合-网格絮凝-斜管沉淀池-V型滤池-次氯酸钠消毒。采用传统上向流斜管沉淀池,其优点在于池容小、占地面积少、应用案例多。在实际使用过程中存在以下问题:①斜管受太阳辐射后容易老化,特别是对于沉后水浊度较低的水厂,斜管老化更加严重,沉淀池排泥水中带有大量的斜管碎片;②传统斜管沉淀池水流向上流动、沉泥向下滑落,水力条件差,跑矾现象严重;③对沉淀池配水要求高,沉淀池长、宽受限,底部配水不均匀,容易发生短流和斜管不均匀沉降现象;④斜管内部易堵塞,需将沉淀池排空后人工定期冲洗,运行维护不便。因此,本期扩建时考虑调整混凝沉淀工艺,提高沉淀效率,降低运营维护成本。

斜管沉淀池沉降及积泥情况见图1。



图1 斜管沉淀池沉降及积泥情况

Fig.1 Settlement and sludge accumulation of inclined tube sedimentation tank

1.3.2 侧向流倒V型斜板沉淀池的特点

侧向流倒V型斜板沉淀池是基于浅池沉淀原理形成的新型沉淀构筑物,水流方向为水平推流向前,沉泥颗粒向下运动,水力流态优于传统的斜管沉淀池^[1]。该工艺的特点如下:①通过框架竖直结构,将落泥通道前后端封闭,使颗粒滑离斜板短边后,落入一个相对独立的竖直通道内重力沉降,泥水分流,互不干扰。②斜板设置有横扫式除泥装置,该设备采用低压水流对侧向流斜板进行水平扫洗,使斜板运行时无需停水、无需放空,可自动在线清洗,降低人力成本。③池型长、宽、高比例没有严格限制,总平面布置比较灵活方便。④斜板采用全新的固结方式,避免了因单块斜板受力变形而引起斜板组整体变形问题^[2]。

1.3.3 扩建工艺选择

根据水源水质及现状水厂运行管理经验,扩建工艺采用“格栅+臭氧预氧化+机械混合+折板絮凝+侧向流斜板沉淀+V型砂滤池过滤+主臭氧氧化+活性炭滤池过滤+次氯酸钠消毒”。根据原水水质,辅助设置石灰、盐酸pH调节设施和高锰酸钾及次氯酸钠预氧化等预处理设施。改造后全厂工艺流程见图2。

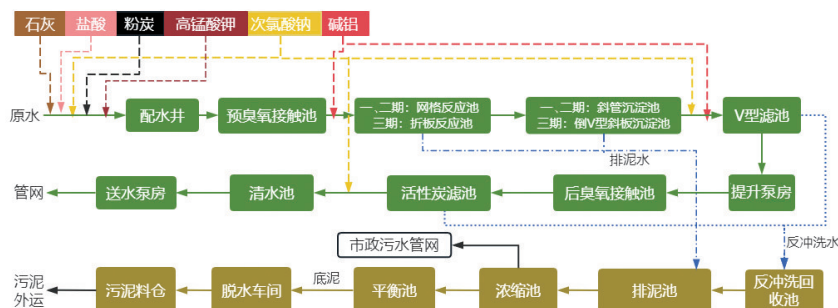


图2 改造后水厂净水工艺流程

Fig.2 Flow chart of water purification process after reconstruction

1.4 絮凝沉淀

1.4.1 混合池

新增2座混合池,单座规模为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,设计停留时间为60 s。单座平面尺寸为 $20 \text{ m} \times 4 \text{ m}$,有效水深为5 m,每座分为2组。每组均配有立式混合搅拌机,实际转速为113 r/min,桨叶直径为1 092 mm,池底设DN300排泥管。

1.4.2 絮凝池

絮凝池分为2座,单座规模为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,单座尺寸为 $13.1 \text{ m} \times 12.6 \text{ m}$,采用单通道串联的立式折板絮凝池,分为2个独立单元,共12个通道。每个通道依水流方向由多级串连折板组成三级反应区,总絮凝停留时间约20 min,分为3段,每段设计参数见表1。

表1 折板絮凝池设计参数

Tab.1 Design parameters of flocculation tank

絮凝区	折板峰距 b_1/m	折板谷距 b_2/m	水头损失/m	T/min	G/s^{-1}	GT值
第一段	0.17	0.57	0.249	5.62	84.71	28 587
第二段	0.24	0.64	0.145	8.72	51.87	27 132
第三段	0.50	0.86	0.014	6.75	18.00	7 293
合计			0.408	21.09	55.94	70 798

折板材质为不锈钢,厚3 mm,单组折板宽2 050 mm,长3 000~5 000 mm。平均速度梯度 $G=55.94 \text{ s}^{-1}$ 、GT值为70 798。池底采用DN300穿孔排泥管排泥。

折板絮凝池与沉淀池之间设有过渡区,过渡区宽2 m。

1.4.3 侧向流斜板沉淀池

倒V型斜板沉淀池由进水稳流区、倒V型斜板沉淀区、出水稳流区、出水区组成^[3]。侧向流斜板沉淀池分4个单元,沿水流方向每单元均设2组斜板,共8组,斜板组总有效长度8 m。沉淀池总长26.19 m、单组宽6.55 m,其中进水稳流区1.5 m、沉淀区10.4 m(单组斜板长2 m、组与组间检修间隔为0.8 m);出水稳流区12.79 m;剩余部分为集水区。

沉淀段有效水深为3.3 m,设计颗粒沉降速度为0.17 mm/s,水平流速为11.6 mm/s,颗粒沉降时间为8.33 min,沉淀区的液面负荷为 $9.33 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

斜板采用 64° 水平倾角,且沿着20 cm短程滑泥,便于脱落,斜板表面不易集泥。A型斜板材质为聚丙烯,单片A型斜板向长200 mm、底长169 mm、

高度181 mm,斜板竖向间距85 mm、水平间距为30 mm、垂直间距36 mm。

采用机械排泥,共设8台单轨式链条式水下刮泥机,排泥通道高度为0.8 m,跨度6.55 m,根据池内积泥厚度自动定时排泥,排泥周期为1次/6 h。

侧向流倒V型斜板沉淀池平面及剖面见图3。

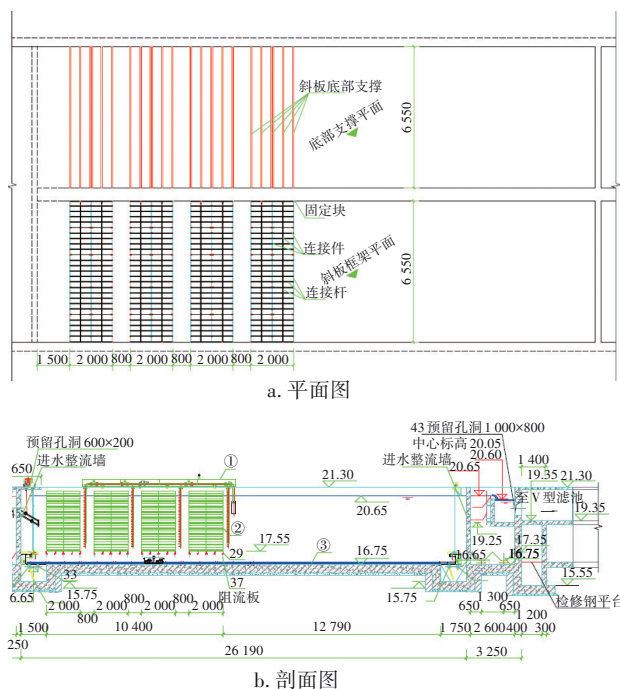


图3 侧向流倒V型斜板沉淀池平面及剖面图

Fig.3 Plan and vertical section of side-flow lamella tank

2 与传统上向流斜管沉淀池的对比

2.1 经济性比较

侧向流倒V型斜板由于结构复杂、配件多,设有自动横向冲洗设备,设备总投资是传统上向流塑料斜管设备投资的2倍,略低于传统上向流不锈钢斜管,侧向流倒V型斜板沉淀池、传统上向流塑料斜管沉淀池和上向流不锈钢斜管沉淀池三种工艺寿命期内综合成本基本一致。

2.2 运行效果比较

该水厂现状上向流斜管沉淀池单组设计规模为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,本期新增的侧向流斜板沉淀池单组设计规模同样为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,新旧工艺差异见表2。

经现场沉降试验对比可知,上向流斜管沉淀池进水与新增侧向流斜板沉淀池絮凝效果相当。将2组工况进行平行比较,以2024年1月生产在线数据进行分析。测试期间原水浊度为4~5 NTU,藻类为 1.1×10^7 个/L,pH在7.0~7.3之间波动,高锰酸盐指

数约2.8 mg/L,氨氮为0.1 mg/L。斜管沉淀池和斜板沉淀池的单组处理水量为1 900~2 200 m³/h,平均负荷率约63%,混凝剂均采用10%聚合氯化铝原液投加,投加有效浓度(以Al₂O₃计)约1.6 mg/L。

表2 各期构筑物的工艺参数对比

Tab.2 Comparison of process parameters of structures in each phase

构筑物	数量	主要工艺参数
格栅井及预臭氧接触池	1座4格	接触时间约5 min
机械混合池	4座8格	一、二期停留时间40 s,三期60 s
反应池	网格反应池2座,4组(一、二期)	网格反应池反应时间21.7 min
	折板反应池2座,每座2个独立单元(三期)	折板反应池反应时间20.4 min
沉淀池	斜管沉淀池2座(一、二期)	沉淀时间为1.5 h,水平流速12 mm/s
	倒V型斜板沉淀池4座(三期)	三期颗粒沉降时间为8.33 min,沉降速度0.17 mm/s,水平流速11.6 mm/s

测试期间原水水质较好,且由于处于冬季设施未达到满负荷运行,在相同的处理水量下,上向流斜管沉淀池出水浊度为0.13~0.42 NTU,平均值为0.2 NTU;侧向流斜板沉淀池的出水浊度为0.07~1.24 NTU,平均值为0.14 NTU,沉后水浊度相比于传统上向流斜管沉淀池降低了30%。

从运行稳定性来看,上向流斜管沉淀池和侧向流倒V型斜板沉淀池出水浊度均受到排泥、冲洗等因素影响^[4],具体见图4。

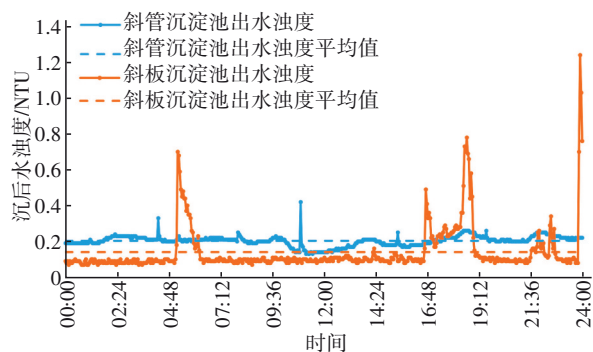


图4 斜管沉淀池与侧向流倒V型斜板沉淀池出水浊度对比

Fig.4 Comparison of effluent turbidity between inclined tube sedimentation tank and side-flow lamella tank

由图4可知,上向流斜管沉淀池排泥导致出水

浊度短时间上升至0.4 NTU左右,但15 min内基本可恢复正常;侧向流倒V型斜板沉淀池受到排泥和自动冲洗干扰,对沉后水影响更大,出水浊度最高上升至1.2 NTU,最长影响时间为3 h。沉后水浊度的短时波动均未对滤后水浊度造成影响。

3 侧向流倒V型斜板沉淀池的运行特点

3.1 除浊效果分析

原水浊度在3.1~5.3 NTU之间波动时,经过第一组折板沉淀后,浊度下降至0.6~1.7 NTU,第一组折板的平均去除率为74%;第二组折板沉淀后,浊度下降至0.38~0.53 NTU,第二组折板的平均去除率为59%,总去除率为89%;第三组折板沉淀后,浊度下降至0.29~0.45 NTU,第三组折板的平均去除率为16%,总去除率为91%;第四组折板沉淀后,浊度下降至0.3~0.36 NTU,第四组折板的平均去除率为10%,总去除率为92%。由此可见,进水浊度高时,折板的沉淀效率较高,当后端折板进水浊度下降时,除浊效果也大幅下降,特别是第三组、第四组折板已趋近平衡浓度。折板组数对浊度去除效果的影响见图5。

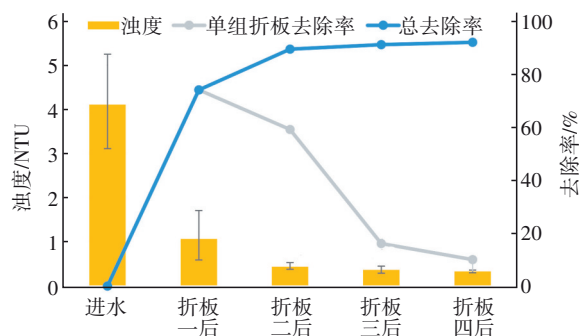


图5 四级折板对浊度去除效果的分析

Fig.5 Analysis of turbidity removal efficiency of four-stage folded plate

根据陈滨^[5]的研究,侧向流翼片折板的去除效果存在一个平衡浓度,其大小与进水浊度、主流区流速、翼片斜板性能无关,而与水中颗粒絮凝特征粒度、密度有关。侧向流倒V型折板也存在与翼片折板同样的特征,当出水浊度达到平衡浓度时,增加折板组数也无法提高除浊效果。

3.2 斜板深度对除浊效果的影响

在沉淀池出口断面上,池面出水浊度略低,池体中部和下部出水浊度相当,不同水深处最大浊度波动小于0.1 NTU,这说明斜板层与层之间沉淀效

果相差不大,上层沉淀物落下后直接滑入竖向沉淀通道,保证了沉淀池出水断面水质的稳定性。水下3 m处浊度略低于水下1、2 m处,这也说明倒V型折板沉淀池底部加装的阻流板有效缓解了沉淀区与排泥区交界处的短流问题。侧向流斜板不同深度出水浊度的变化见图6。

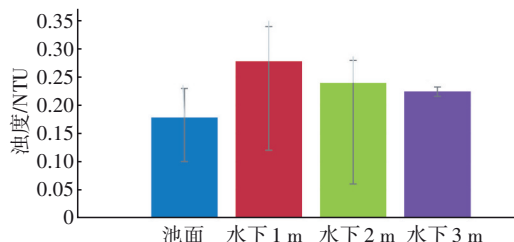


图6 侧向流斜板不同深度出水浊度的变化

Fig.6 Turbidity variation of effluent at different depth of side-flow lamella tank

3.3 排泥及冲洗对斜板沉淀池的影响

侧向流斜板沉淀池刮泥频率为1次/6 h,一天4次,全程刮2次,半程2次,一次全程、一次半程交替刮泥。刮泥机运行对倒V型斜板沉淀池出水影响见图7。

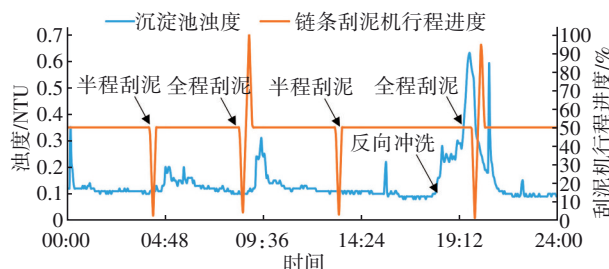


图7 刮泥机运行对侧向流倒V型斜板沉淀池出水的影响

Fig.7 Influence of sludge scraper operation on effluent of side-flow lamella tank

斜板冲洗分为逆向和正向,逆向冲洗从出水端往进水端进行,与沉淀时水流方向相反,冲洗频率为1次/d,冲洗启动时间为17:30;调试初期,仅依靠反向冲洗斜板积泥现象较为严重。为了保障水质、缓解斜板积泥问题,增设正向冲洗模式。正向冲洗时冲洗水流方向与沉淀时水流方向一致,频率为每周两次,设定在凌晨01:00—03:00。04:00、13:00刮泥机半程运转时,出水浊度短时由0.1 NTU上升至0.2 NTU;08:30刮泥机全程运转时,对出水浊度的影响略大于半程刮泥,浊度短时由0.1 NTU上升至0.31 NTU,可见刮泥机对出水浊度的影响较小。自18:00起,出水浊度由0.1升至0.63 NTU,经历3.5 h恢复至0.1 NTU,主要由于斜板逆向冲洗和刮

泥相互影响叠加。

斜板正向冲洗对出水浊度影响较大,凌晨01:30对斜板进行正向冲洗,沉淀池出水浊度瞬时由0.1 NTU升至3.83 NTU,经历2.5 h恢复至0.5 NTU以下,4 h后浊度稳定恢复至0.11 NTU。主要由于正向冲洗时,斜板间流速短时间升高,沉积于斜板上的颗粒物被水流带出,导致出水浊度突然上升。冲洗停止时,由于斜板间絮体被带出,絮体间再絮凝作用减弱,沉淀恢复时间较长。因此,为了避免正向冲洗对沉淀池出水浊度的影响,建议冲洗时间控制在夜间制水负荷较低时,同时增加沉淀池分组,错开正向冲洗时间,降低对滤池过滤的影响。正向冲洗对倒V型侧向流斜板沉淀池出水的影响见图8。

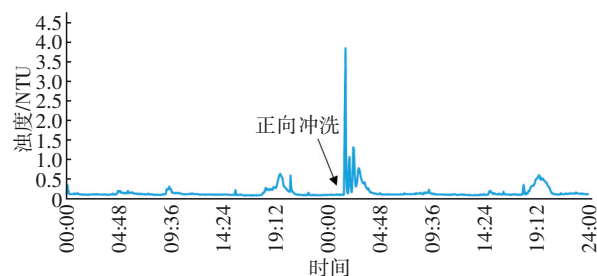


图8 正向冲洗对侧向流倒V型斜板沉淀池出水的影响

Fig.8 Influence of forward flushing on turbidity removal effect of side-flow lamella tank

3.4 出水稳流区返混现象

沉淀区与出水花墙之间的水平距离作为出水稳流及斜板冲洗后絮体沉降的缓冲区,理论上出水稳流区越长,对沉淀除浊的影响越小。在不受排泥、冲洗干扰时,侧向流倒V型斜板沉淀池出水稳流区出现异常返混现象,经过侧向流斜板沉淀后,沉后水浊度降至0.36 NTU,但在出水稳流区呈现先上升后下降趋势,出水稳流区中段浊度最高,上升至0.91 NTU。出水稳流区存在大量未沉淀矾花,且底部也存在积泥问题。出水稳流区的浊度变化见图9。

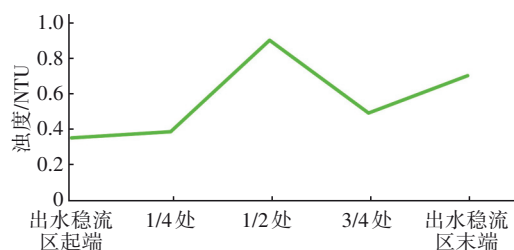


图9 出水稳流区的浊度变化

Fig.9 Turbidity change in the steady effluent zone

分析原因,可能由于侧向流斜板沉淀是基于“浅池沉淀”理想沉淀池模型设计的,理想沉淀模型的一个重要假设条件是颗粒沉淀至底部即被认为去除,不再返回水流中。在实际运用中,颗粒通过侧向流斜板之间的竖向滑泥通道沉淀至底部后,在刮泥机刮泥的干扰下,沉淀不稳定的絮体重新返回水流中,在斜板区可以再次沉淀,但是在出水稳流区没有斜板强化沉淀,导致出水稳流区浊度高于斜板出水浊度。因此,建议在后续侧向流斜板应用过程中进一步优化斜板分布,降低刮泥机运行速率,提高侧向流倒V型斜板的沉淀效率。

4 结论

① 相比于传统上向流斜管沉淀池,侧向流倒V型斜板沉淀池沉后水浊度在相同投药量下降低了30%。

② 侧向流倒V型斜板水下刮泥机运行中沉淀池出水浊度上升,但仍低于该水厂沉后水0.5 NTU的内控标准;斜板正向冲洗对沉后水浊度影响较大,沉后水浊度瞬时高达3.83 NTU,经历2.5 h恢复至内控标准,4 h方可恢复至正常运行工况,因此需将正向冲洗时间设置在制水低谷期,错开各组斜板的正向冲洗时间,降低对后续工艺的影响。

③ 通过底部加装的阻流板,能够减轻侧向流倒V型斜板沉淀池短流现象,但出水稳流区存在明显返混现象,有待进一步优化提升。

参考文献:

- [1] 中国工程建设标准化协会. 侧向流倒V型斜板沉淀池设计标准:T/CECS 587—2019[S]. 北京:中国计划出版社,2019:17-18.
China Association for Engineering Construction Standardization. Design Specification for Side-flow

Lamella Tank:T/CECS 587—2019[S]. Beijing: China Planning Press,2019:17-18 (in Chinese).

- [2] 孙潭,徐舜开,严晓江,等. 侧向流倒V型斜板沉淀工艺设计与应用[J]. 给水排水,2023,49(9):1-4,11.
SUN Tan, XU Shunkai, YAN Xiaojiao, *et al.* Design and application of side flow inverted V-shaped plate sedimentation tank [J]. Water & Wastewater Engineering,2023,49(9):1-4,11(in Chinese).
- [3] 金华增,王丛笑. 一种侧向流斜板沉淀池斜板除泥池底排泥一体化装置:CN209500905U[P]. 2019-10-18.
JIN Huazeng, WANG Congxiao. An Integrated Device for Slope Plate Mud Removal at the Bottom of Lateral Flow Inclined Plate Sedimentation Tank:CN209500905U [P]. 2019-10-18(in Chinese).
- [4] 彭尧,朱波,周远航,等. 侧向流斜板沉淀工艺在水厂提标改造中的应用:以合肥市某水厂为例[J]. 净水技术,2022,41(7):179-183.
PENG Yao, ZHU Bo, ZHOU Yuanhang, *et al.* Application of side-flow lamella sedimentation process in upgrading and reconstruction: case of a WTP in Hefei City[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(7): 179-183(in Chinese).
- [5] 陈滨. 影响侧向流翼片斜板沉淀去浊效果因素的分析[J]. 给水排水,1992,18(1):15-18,2.
CHEN Bin. Analysis on the factors affecting the settling efficiency of lateral flow wing inclined planes with fins [J]. Water & Wastewater Engineering, 1992, 18(1): 15-18,2(in Chinese).

作者简介:李士雄(1988—),男,广东茂名,人,硕士,工程师,主要研究方向为给排水技术及运营管理。

E-mail:532742429@qq.com

收稿日期:2024-04-15

修回日期:2024-05-22

(编辑:衣春敏)