

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.12.021

深圳长流陂水厂网格絮凝池提升改造应用实践

黄孟斌, 武洋, 王梅芳, 杨峰, 范丹, 张伟德
(深圳市深水宝安水务集团有限公司, 广东 深圳 518001)

摘要: 为应对城市快速发展带来的饮用水供需矛盾问题,提升水厂保障水质安全的能力,深圳市长流陂水厂于 2018 年 8 月进行了 4 期网格絮凝池提升工程改造,主要是应用水力旋流絮凝器进行技术提升和池体改造,在不同絮凝段增加水力旋流网格絮凝器,改造后运行效果显著,实际产水量由 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 增至 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,沉后水浊度保持在 0.41 NTU 左右,增加水量的投资为 55 元/ m^3 ,PAC 制水成本下降了 0.005 元/ m^3 。此项工程改造内容少,无新增建设用地,投资成本低,产能提升明显,水质保障效果好,可为类似用地紧张的自来水厂产能提升改造提供参考。

关键词: 自来水厂; 网格絮凝池; 水力旋流絮凝器; 投资成本; 产能提升

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)12-0116-05

Application Practice of Grid Flocculation Tank Upgrading and Reconstruction in Shenzhen Changliupi Waterworks

HUANG Meng-bin, WU Yang, WANG Mei-fang, YANG Feng, FAN Dan,
ZHANG Wei-de

(Shenzhen Baoan Water Group Co. Ltd., Shenzhen 518001, China)

Abstract: In order to cope with the contradiction between drinking water supply and demand brought by rapid urban development and improve the waterworks' ability to guarantee water quality and safety, the fourth phase upgrading project of grid flocculation tank was carried out in Shenzhen Changliupi waterworks in August 2018. The hydrocyclone grid flocculator was added in different flocculation sections for technical upgrading and the tank functional transformation. The operation effect after transformation is remarkable, the actual production capacity of the waterworks is increased from $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ to $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, and the water turbidity after sinking is kept at about 0.41 NTU. The unit investment for incremental water volume is 55 yuan/ m^3 , and the unit water production cost of PAC has dropped by 0.005 yuan/ m^3 . This project has few reconstruction contents, no additional construction land, low investment cost, obvious capacity improvement, and good water quality guarantee effect, which provides a reference for the improvement of similar waterworks with limited land use.

Key words: waterworks; grid flocculation tank; hydrocyclone flocculator; investment cost; capacity enhancement

随着深圳市社会和国民经济的迅速发展,城市日用水量也持续保持高幅增长的态势,特别是宝安

区大空港地区的快速建设发展,导致自来水供需矛盾日趋凸显。深圳市长流陂水厂建于1996年,分4期建成,其中4期设计规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,实际运行水量为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,而水厂短时间改扩建的方案不可行,亟需对现有构筑物进行扩容改造。

在查阅水厂图纸、分析水质数据、反复试验后发现,对4期网格絮凝池设计参数优化后,产能可以达到设计规模,该部分冗余产能可以利用。2019年1月,通过对4期网格絮凝池的改造调试,达到了增产 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的目的,探索出了一整套净水厂应用水力旋流絮凝器的方法和经验,实现了保水质、提水量的目标,为缓解自来水供需矛盾提供了新的方法与工具^[1]。

1 工程概况

长流陂水厂位于沙井街道东部,设计规模为 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,出厂水压力为0.30 MPa,共分4期建设,1、2期为回转式隔板絮凝池+斜管沉淀池+V型滤池;3、4期为网格絮凝反应池+斜管沉淀池+V型滤池。净水工艺流程见图1。

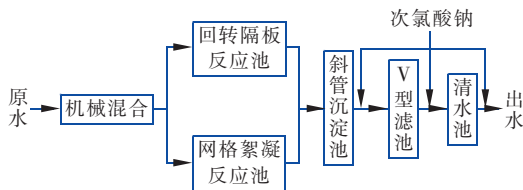


图1 净水厂工艺流程

Fig.1 Flow chart of waterworks process

该厂4期网格絮凝池分为1座2组,采用竖井式絮凝池,实际运行水量为 $8.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,超出该

水量运行时流程水质变差,无法满足沉后水浊度控制在1.00 NTU以内的生产要求。4期工艺池产能测试过程中沉后水浊度变化见图2。

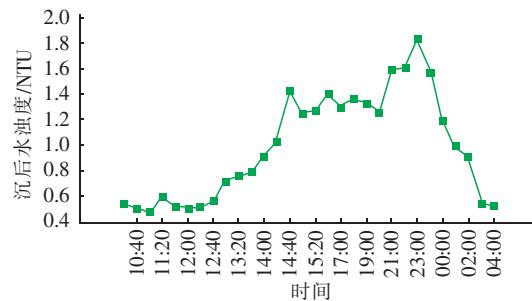


图2 4期工艺池不同水量对应的沉后水浊度

Fig.2 Turbidity of sedimentation tank effluent corresponding to different water volumes in the fourth-stage project

由图2看出,由于19:00—23:00为本地区用水高峰期,通过供水管网压力调整4期进水流量,根据管道流量计实时反馈流量大小,14:00水量增至 $4\,100 \text{ m}^3/\text{h}$,沉后水浊度逐渐上升,19:00—23:00进水量维持在 $4\,400 \text{ m}^3/\text{h}$ 左右,沉后水浊度维持在1.20~1.60 NTU,最高升至1.82 NTU;23:00之后沉后水浊度随着进水流量降低逐渐下降,观察沉淀池水面漂浮大量细小的矾花,沉降效果差,在斜管表面也聚集大量矾花绒体,此时滤前水水质恶化,滤池处理能力急剧下降。

2 前期参数调查

网格絮凝池共设置4级,其中1#~12#为第1级,13#~24#为第2级,25#~33#为第3级,34#~35#为第4级,当运行水量为 $4\,400 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,絮凝段过水孔洞水头损失及构筑物G值计算见表1。

表1 改造前网格絮凝池参数

Tab.1 Parameters of grid flocculation tank before transformation

分级	单个洞宽/m	单个洞高/m	流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	总水头损失/kPa	开孔比	构筑物G值/ s^{-1}
第1级	2.300 0	0.600 0	0.419 4	3.227	0.500 0	79.55
第2级	2.300 0	0.800 0	0.314 5	1.815	0.600 0	59.66
第3级	2.300 0	1.200 0	0.209 7	0.605	0.700 0	39.78
第4级	2.300 0	1.200 0	0.104 8	0.034	0.800 0	14.06

从表1得出,网格絮凝池整体G值偏高,总水头损失为5.681 kPa,相较正常的絮凝池水头损失偏大,主要原因是水流在网格间上下翻转的过程中,孔洞流速过大,第1级的孔洞流速为0.419 4 m/s,远大于规范推荐值上限(0.300 0 m/s),第2级的孔洞流速为0.314 5 m/s,远大于规范推荐上限(0.200 0 m/s),第3级孔洞流速为0.209 7 m/s,远大于规范

推荐上限(0.140 0 m/s),且网格尺寸较细密,导致过网流速增大,絮凝过程中水头损失偏大,最终导致G值、GT值偏大。

对构筑物参数进行核算,反应时间满足要求,但絮凝段过水孔洞较小,过孔洞流速较高,水头损失过大,造成在改造前未更换絮凝装置的情况下,构筑物局部水头损失过大,最终会产生对水流的剪切作用,

破坏长大的絮体,使絮体沉降性能变差,导致沉后水浊度上升。

3 技术改造

3.1 总体改造思路

① 由于竖井过墙孔洞内流速过高,计划对过墙孔洞进行改造,增大絮凝段过水孔洞面积,降低过孔流速,从而减少局部水头损失对絮体的剪切作用。

② 在池内敷设水力旋流絮凝器,为水中悬浮物、胶体等颗粒的碰撞创造水流动力学条件,为矾花提供更加良好的形成条件,第1、2、3级井内放置水力旋流絮凝装置,第4级不放置絮凝装置,通过合理分配絮凝装置密度,调节各段絮凝速度梯度由大到小均匀递减,保障沉淀出水浊度逐渐减小。

3.2 水力旋流絮凝器基本原理

该设备是专门提供水流紊动条件的絮凝装置,可依据池型条件提供符合絮凝规律的速度梯度,满足反应段水力条件。其工作原理及现场安装见图3。

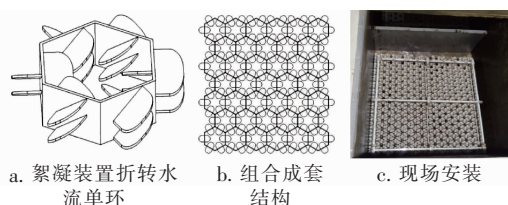


图3 水力旋流絮凝器原理及工程现场安装

Fig.3 Principle diagram and engineering installation diagram of hydrocyclone flocculator

涡流网格絮凝装置,其特征在于整个装置由三角组件、斜棱板两部分拼装而成,斜棱板通过三角组件拼接成多组六边型,水流通过六边形时,斜棱板上的斜板对水流方向折转,形成单元流体紊动,从而造成“宏观水流碰撞减弱,微观水流碰撞加剧”的颗粒碰撞水力学环境。该装置拼接灵活,可安装于竖井、廊道中,提供絮体集聚的微动力条件,从而增加颗粒接触碰撞的几率,使矾花尽快达到理想的尺度,又不致使已形成的絮粒破碎。

采用多层次缓阻方式,控制速度梯度由大到小平稳而均匀地变化,进而控制矾花颗粒的合理成长速度,矾花逐步成长的同时,又能够受到适度的揉搓而变得更加均匀和密实,以有效提高沉淀分离效率。

4 工程改造相关计算

4.1 搅拌试验参数的确定

取原水为试验水样,浊度为3.48 NTU,进行六

联搅拌试验,根据改造前各阶段的 G 值,通过单一因素控制法调试出适合本次工程改造的 G 值。

试验结果发现,对1、2、3级 G 值分别进行搅拌试验,出水浊度基本维持在1.05~1.15 NTU,此时对应的 G 值分别为50、29.5、20.0 s^{-1} ,这说明在现有构筑物参数条件下,网格絮凝池前三阶段 G 值的改变无法将沉淀池出水浊度控制到1.00 NTU以下。使1、2、3级 G 值保持稳定,进行混凝搅拌试验,测定第4级 G 值改变对出水浊度的影响。

第4级 G 值对应的浊度变化见表2。

表2 第4级 G 值对应的浊度变化

Tab.2 Turbidity change corresponding to the fourth-level G value

序号	G_1/s^{-1}	G_2/s^{-1}	G_3/s^{-1}	G_4/s^{-1}	出水浊度/NTU
1	50	29.5	20	15.0	3.48
2	50	29.5	20	13.9	0.76
3	50	29.5	20	12.6	0.65
4	50	29.5	20	10.5	0.59
5	50	29.5	20	8.6	0.52
6	50	29.5	20	6.2	0.42

由表2可知,随着第4级 G 值逐渐减小,出水浊度逐渐减小,最低为0.42 NTU,满足水厂的生产要求,分析原因是通过合理调节各段絮凝速度梯度由大到小均匀递减,在絮凝池中大幅增加湍流涡旋的比例,可以大幅增加颗粒碰撞次数,从而有效地改善絮凝效果^[2],降低出水浊度。

4.2 改造后的水力参数

为保证絮凝反应效果,基于搅拌试验的最佳 G 值进行合理设计和工程改造,并充分利用水力旋流絮凝器的技术优势,同时对改造后的构筑物各项水力参数进行实测,结果见表3。

表3 改造后网格絮凝池的参数

Tab.3 Parameters of grid flocculation tank after transformation

分级	单个洞宽/m	单个洞高/m	流速/ ($m \cdot s^{-1}$)	总水头损失/kPa	构筑物 G 值/ s^{-1}
第1级	2.300 0	0.750 0	0.349 5	2.330	49.67
第2级	2.300 0	1.200 0	0.209 7	0.807	29.25
第3级	2.300 0	1.500 0	0.167 7	0.387	20.24
第4级	2.300 0	1.200 0	0.104 8	0.034	6.00

分析表3可以看出,改造后随着过水断面的面积增加,各项水力参数逐步降低,水体流速降低20.66%,水头损失下降37.38%,构筑物的 G 值下降45.50%,各阶段 G 值均接近试验结果,对应的流速也接近推荐上限值,说明改造后的构筑物各项参

数都达到了最佳的状态。絮凝段速度梯度设计计算 见表4。

表4 絮凝段速度梯度设计计算

Tab.4 Design calculation of velocity gradient in flocculation section

分级	流速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	网格板面 积/ m^2	过水面 积/ m^2	竖井过水 面积/ m^2	开孔比	竖井 设备数/座	实际水头 损失/kPa	反应时 间/s
第1级	0.191 6	5.062 5	2.793 5	3.021 0	0.551 8	5	3.428	438.77
第2级	0.160 5	5.062 5	3.378 2	3.605 7	0.667 3	3	1.275	438.77
第3级	0.138 1	5.062 5	3.962 9	4.190 4	0.782 8	2	0.582	329.08
第4级	0.104 8	5.062 5	5.062 5	5.062 5	1.000 0	0	0.034	146.26

由表4可知,总反应时间为1 352.88 s,总水头损失为5.319 kPa,计算水力梯度 G 值为 62.06 s^{-1} , GT 值为83 959.7,因此调整后絮凝段 G 值符合规范要求,亦证明本次改造设计合理。

5 运行效果及改造投资

5.1 对浊度的去除效果

2019年1月4期网格絮凝池改造完成投入运行后,进行了前后一年的数据收集,对比分析沉后水浊度的变化情况,结果见图4。

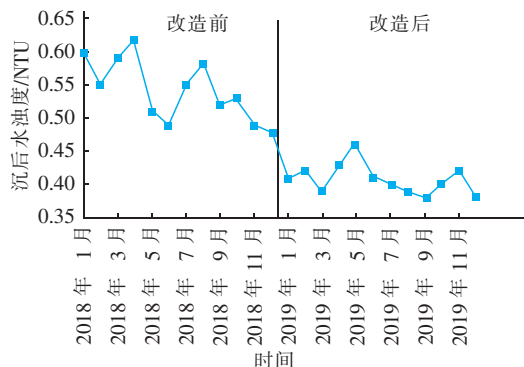


图4 改造前、后沉后水浊度变化

Fig.4 Change of water turbidity after sinking before and after transformation

改造前的沉后水浊度为0.47~0.65 NTU,平均值为0.54 NTU;改造后的浊度为0.37~0.45 NTU,平均值为0.41 NTU,滤后水的浊度基本为0.10 NTU,减轻了后续V型滤池的运行负荷,表明通过改造穿孔旋流絮凝池,涡流网格产生紊动,使水流产生多层次微动力扰动,提供各级反应所需的速度梯度,促进矾花的形成与结合,提高了絮凝效果^[3],从而降低了沉后水浊度,保障了出厂水水质安全。

5.2 经济分析

经过改造后,4期工程的实际产水量从 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 提高到 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,生产水量增加了25%,

且工艺运行稳定,整个改造工程总投资为110万元,单位投资为11元/ m^3 ,增加水量的单位投资为55元/ m^3 ,远低于目前同等规模改扩建水厂项目的投资^[4]。

在水量提升和水质改善的前提下,改造前、后反应段PAC投加量由3.51 mg/L下降到2.95 mg/L,降低了16%,药剂成本下降了0.005元/ m^3 ,节约药剂成本18.25万元/a,表明在絮凝池中应用水力旋流絮凝器具有经济优越性,工程改造效果明显。

6 结语

利用水力旋流絮凝技术,在原有网格絮凝池中增加水力旋流絮凝器,可以明显提高絮凝沉淀效果,结合池体的局部改造,在运行水量增加25%的情况下,PAC投加量和沉后水浊度大大降低,该改造工程项目不增加占地面积,改造内容少,投资成本低,施工工期短,可以最大限度地利用原有处理设施的功能,为类似用地紧张的净水厂产能提升改造提供参考。

参考文献:

- [1] 张超. 已建自来水厂制水能力评估与提升——以苏州新区某水厂为例[D]. 苏州:苏州科技大学,2019.
ZHANG Chao. Evaluation and Promotion of Water Production Capacity of Existing Waterworks—Taking a Water Plant in Suzhou as an Example [D]. Suzhou: Suzhou University of Science and Technology, 2019 (in Chinese).
- [2] 高佳祺,田一梅,孟露,等. 再生水梯级调时絮凝及其参数优化[J]. 中国给水排水,2019,35(3):66-70.
GAO Jiaqi, TIAN Yimei, MENG Lu, et al. Cascade time-varying flocculation of reclaimed water and its parameter optimization [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35 (3): 66-70 (in Chinese).
- [3] 张先斌,李丽,杨海梅,等. 个旧市松矿水厂穿孔旋流

(下转第123页)