

城镇污水处理厂设计优化经验分享

——以洋湖再生水厂为例

湖南先导洋湖再生水有限公司技术部 杨淇棕





目录

CONTENTS

- 一、公司简介
- 二、项目介绍
- 三、获批荣誉

01

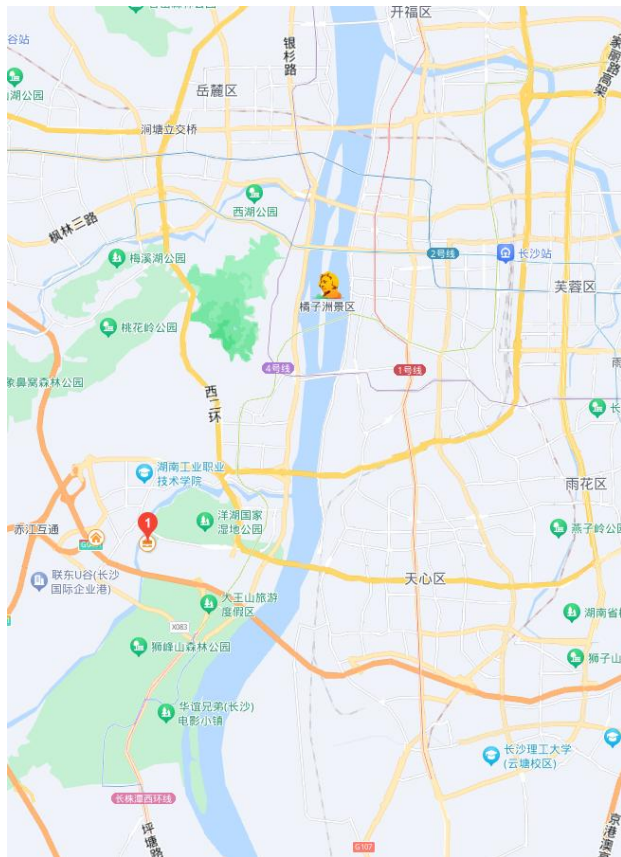
公司简介

◆ 再生水公司简介：

2011年2月成立，是长沙城市发展集团有限公司全资子公司，属于城市运营板块，注册资本1亿元。

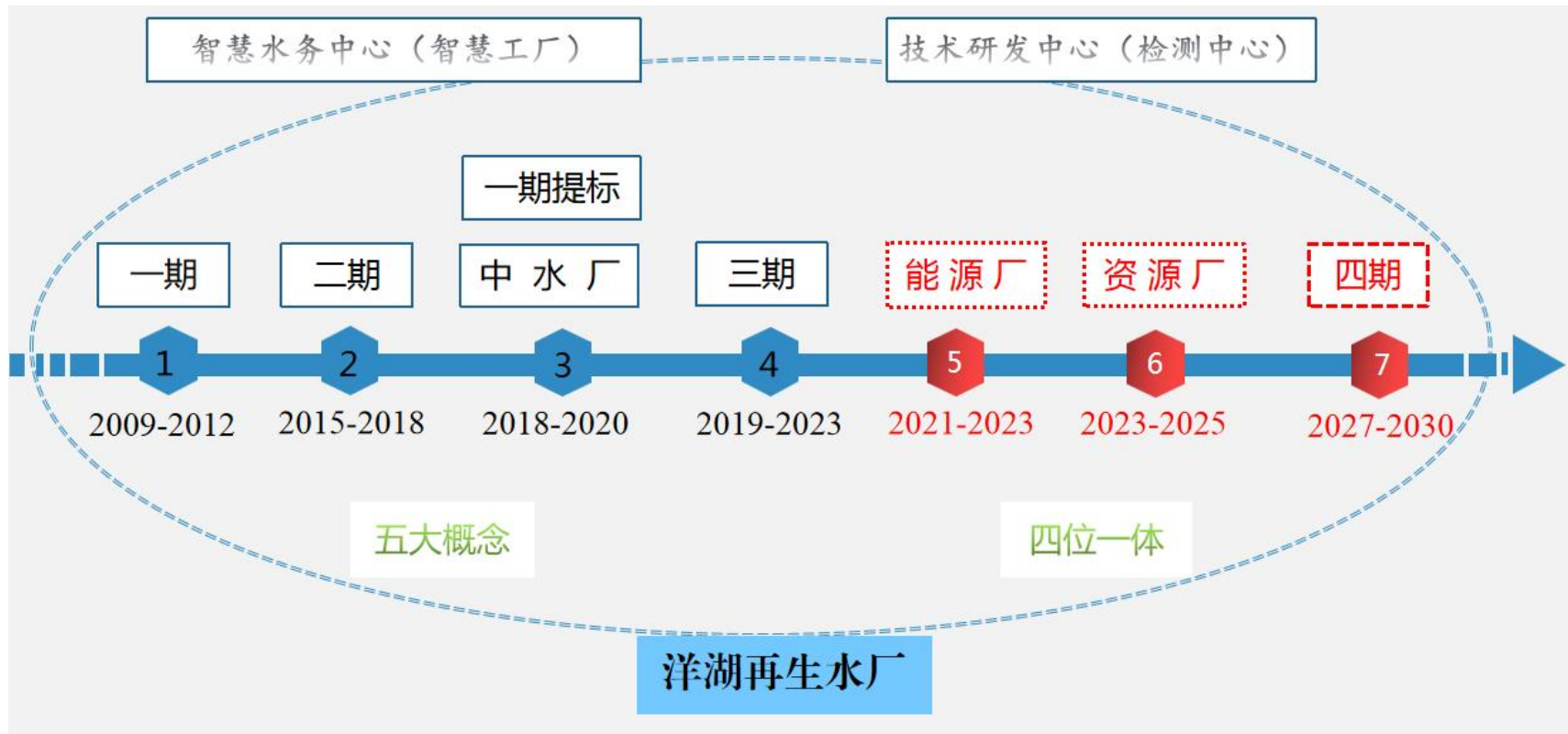
公司是中国环境科学学会等单位理事单位，获批国家高新技术企业、湖南省专精特新中小企业、长沙市科技创新小巨人企业，获认定长沙市企业技术中心，拥有环保工程专业承包叁级、CMA、ISO9001等资质。

公司坚持“一体两翼”业务布局（以污水、中水、水环境运营业务为“主体”，以水环境治理工程技术服务和第三方环境检测业务为“两翼”），目前运营项目主要包括洋湖再生水厂、洋湖中水回用示范项目、洋湖湿地水环境维护项目等。



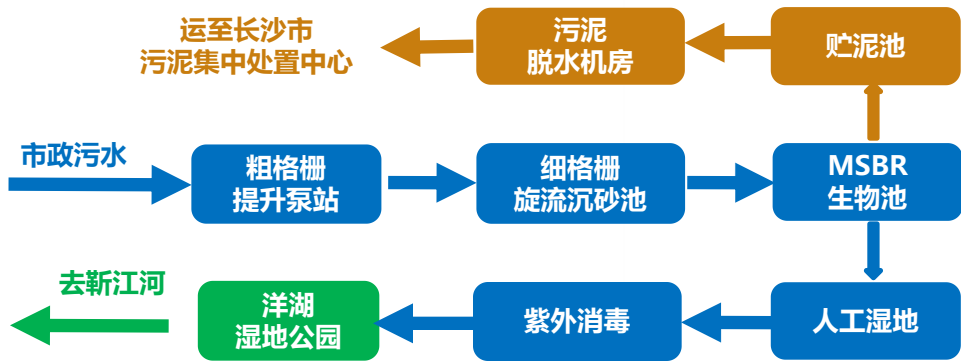
- 洋湖再生水厂位于长沙市湘江新区洋湖大道以南、靳江河以东，纳污范围为洋湖、含浦及大王山北部3个片区，共约46平方公里，规划服务人口约50万。项目占地约420亩，总规模30万吨/日，分四期建设。







项目介绍



- ◆ 一期规模4万吨/日，总投资约2.23亿元，采用“粗格栅+细格栅+旋流沉砂池+MSBR+人工湿地”组合工艺，出水执行一级A排放标准，出水作为洋湖湿地生态补水，实现污水全部再生利用，于2012年投运。

□ 一期项目遇到的主要问题

- (1) 排放标准仅为一级A，脱氮除磷效果有待提升
- (2) 预处理隔渣效果不佳
- (3) 启动初期水量偏小情况下，进水流量控制不均匀
- (4) 启动初期水量偏小情况下，好氧曝气风量不匹配
- (5) 缺少加药系统，耐冲击负荷效果不佳
- (6) 自控系统/智慧水务建设标准有待提升
- (7) 人工湿地作为工艺单元运维管控难度较大
- (8) 缺少中水回用系统



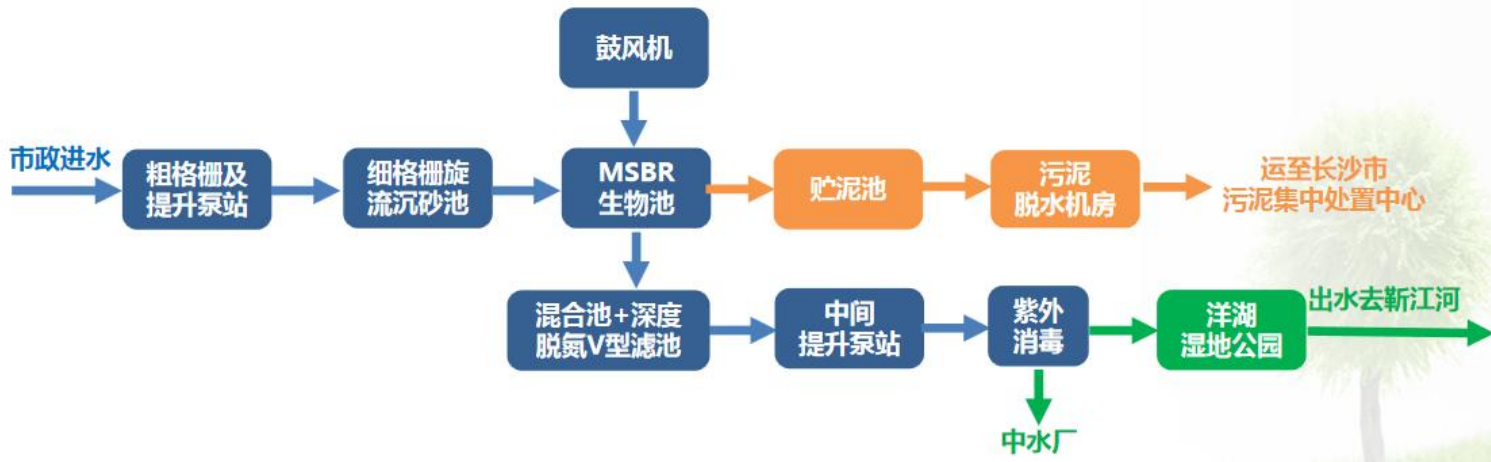


一期人工湿地实景

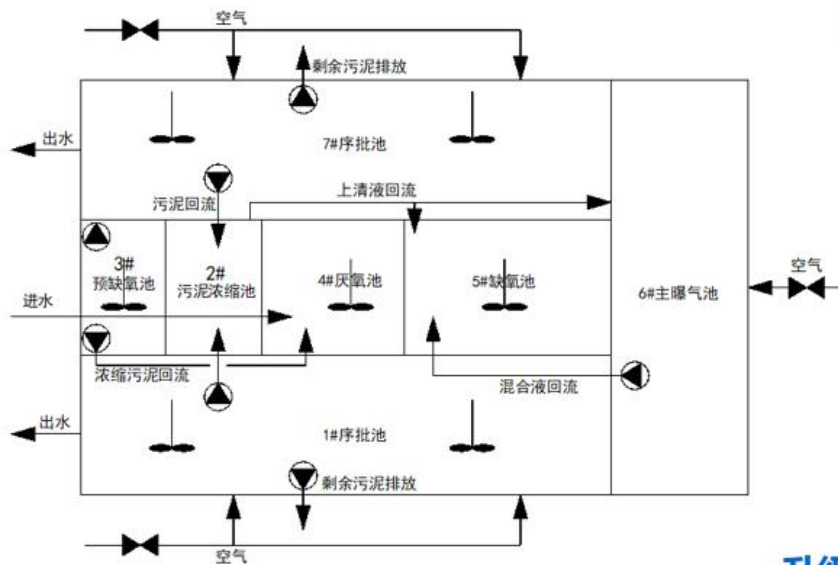
2.二期项目

二期设计规模为8万m³/d，出水水质达到准地表水IV类排放标准，于2018年建成投运，设计进出水水质如下：

项目	COD _{Cr} (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	SS (mg/L)	TN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TP (mg/L)
设计进水水质	250	120	220	40	30	3.0
设计总出水水质	≤30	≤6	≤5	≤10	≤1.5	≤0.3

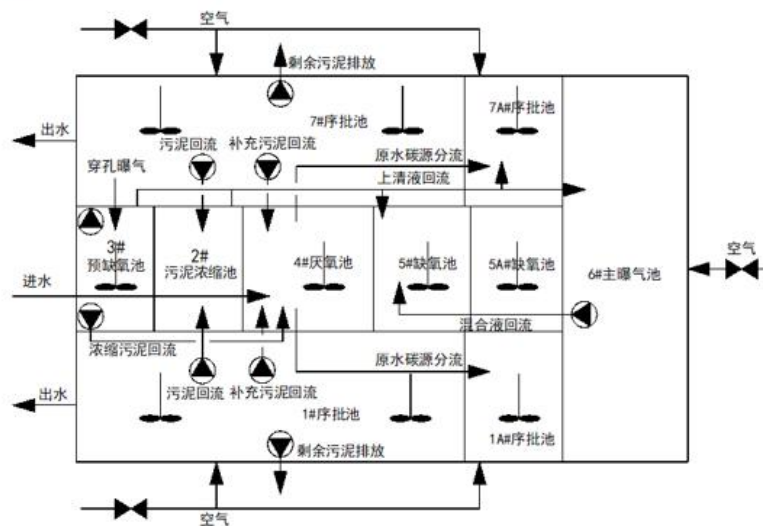


二期项目主要设计优化



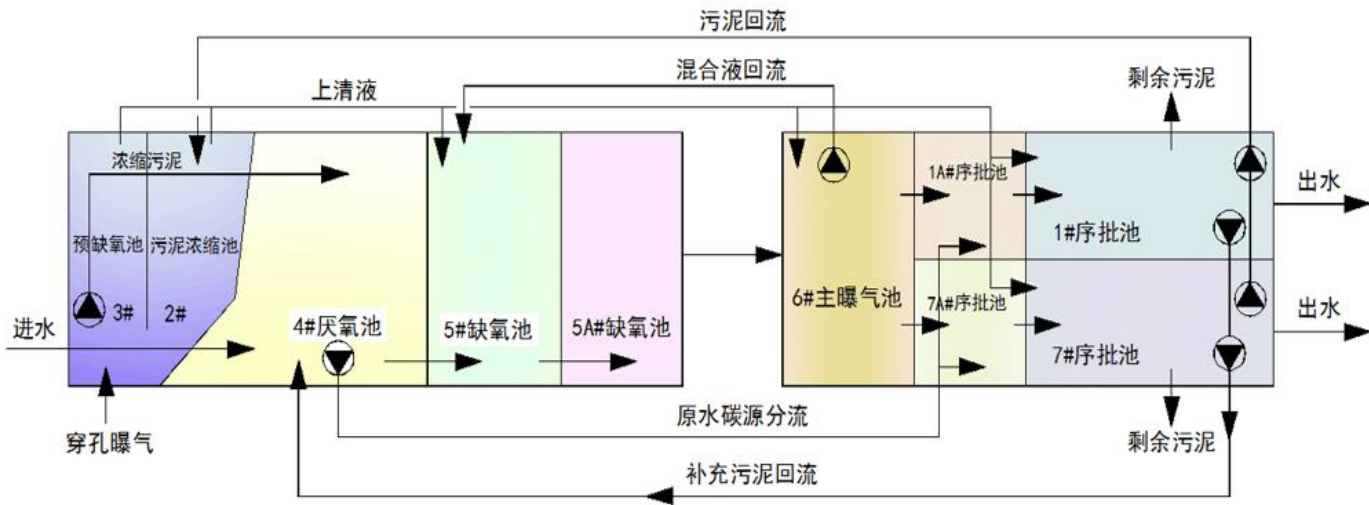
七单元MSBR工艺平面布置图

升级



十单元MSBR工艺平面布置图

二期项目主要设计优化



MSBR工艺流程图

增加了5A缺氧池、1A和7A序批池，实际增加了缺氧段的总停留时间（约3h），生化段出水TN相比一期平均低约2-3mg/L。

□ 二期项目主要设计优化



增加了反硝化滤池，考虑同步降低出水SS、TN和TP（需投加碳源和PAC）：

- 设计滤速：7.4m/h
- 滤料：球形陶粒滤料
- 滤料有效粒径：2mm
- 滤层厚度：2m
- 出水SS：<5mg/L
- 出水TN：稳定<10mg/L
- 出水TP：稳定<0.3mg/L

□ 二期项目主要设计优化



预处理进水提升泵由一期的四台同样型号，改为两大两小搭配，其中：

- 大泵设计 $Q=2167\text{ m}^3/\text{h}$ ， $H=15\text{m}$ ；
 - 小泵设计 $Q=1084\text{ m}^3/\text{h}$ ， $H=15\text{m}$ ；
- 中间提升泵同样采用两大两小搭配，其中
- 大泵设计 $Q=2167\text{ m}^3/\text{h}$ ， $H=6.5\text{m}$ ；
 - 小泵设计 $Q=1084\text{ m}^3/\text{h}$ ， $H=6.5\text{m}$ ；
- 注：一期水泵 $Q=833\text{ m}^3/\text{h}$ ， $H=12\text{m}$ 。

□ 二期项目主要设计优化



- 粗格栅采用回转式，安装角 75° ，
 - 栅条间隙15mm，渠宽1.8m。
- 细格栅采用内进流孔板式细格栅，
 - 宽度2m，间隙3mm。
 - 增加了维修平台，方便人员操作。
 - 注：一期粗格栅采用回转式，间隙20mm。
 - 细格栅采用转鼓式格栅，间隙5mm。

□ 二期项目主要设计优化



鼓风机由一期的三台同样型号，改为两大两小搭配，其中：

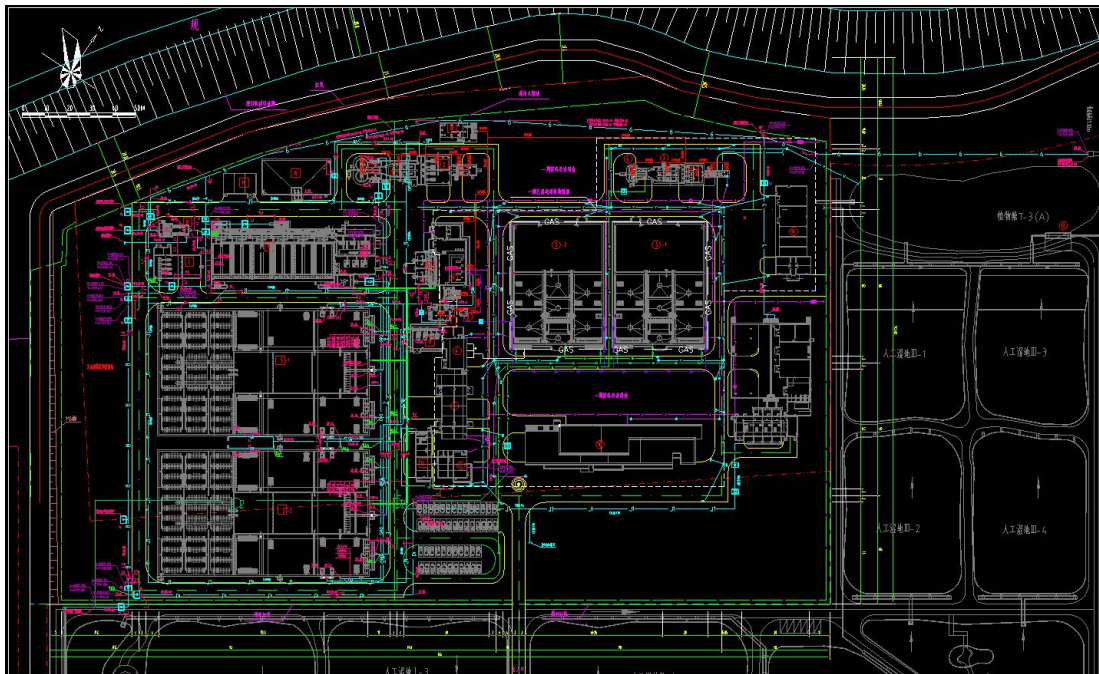
- 大风机设计 $Q=131\text{m}^3/\text{min}$ ， $H=70\text{kPa}$ ；
 - 小风机设计 $Q=65.5\text{m}^3/\text{min}$ ， $H=70\text{kPa}$ ；
 - 增加了散热排风管，有利于夏季降低室内温度。
- 注：一期风机设计 $Q=86.6\text{m}^3/\text{min}$ ， $H=70\text{kPa}$ 。

□ 二期项目主要设计优化：建立智慧水务管理体系



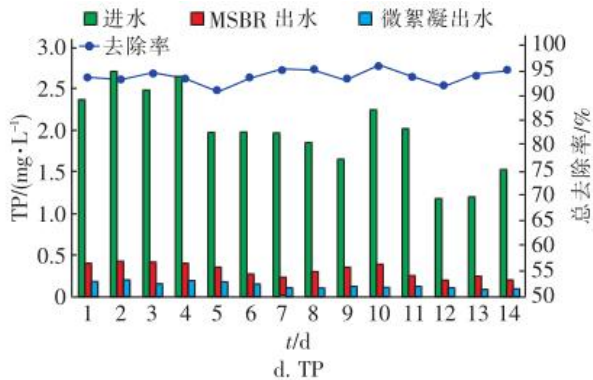
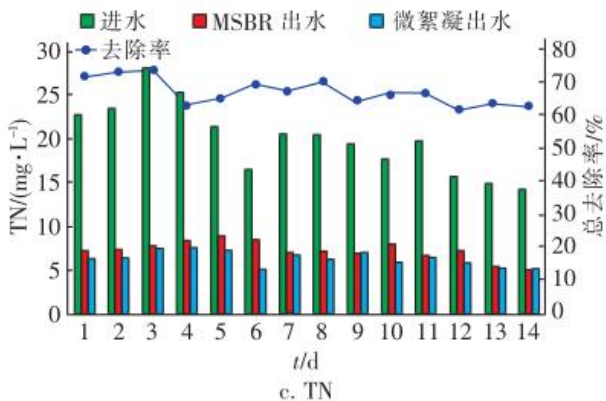
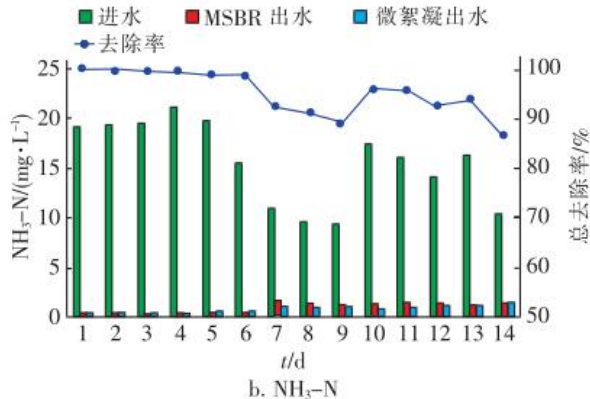
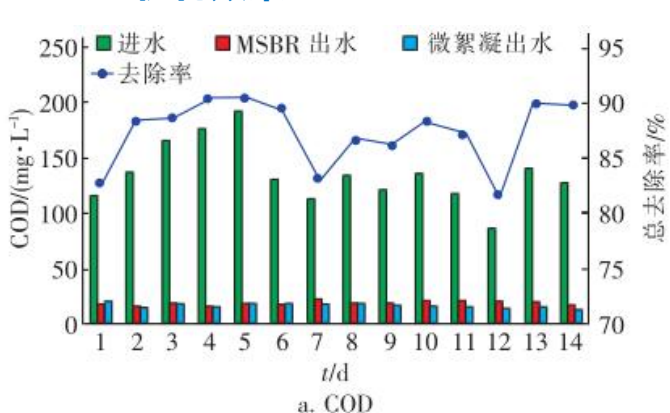
基于物联网、大数据、云计算等先进技术，初步建成省内首个“一平台+四系统+N项目”的智慧水务管理体系，通过智慧管理一平台集成自动控制、运营管理、视频监控、厂区管理四系统，实现对投运项目的统一调度管理，对全厂主要设备的远程操控和调节，对重要运营数据的自动分析和辅助决策。定制开发手机APP，管理人员可进行远程监管，遥控指挥。

二期项目其它设计优化：



- 全厂布置中水干管
- 增加检修电源接口数量
- 增加冲洗/反洗水点位
- 采用污泥料仓
- 配电柜就近设置
- 加药系统改用液体药剂投加
- 加药系统增设流量计
- 储药池钢格栅盖板增加软垫
- 取消池上庭院灯，改用高杆灯
- 轴流风机增加防护网
- 增设废水池及废水泵
- 绿化引入海绵城市理念
- 替换部分苗木为果树

优化效果



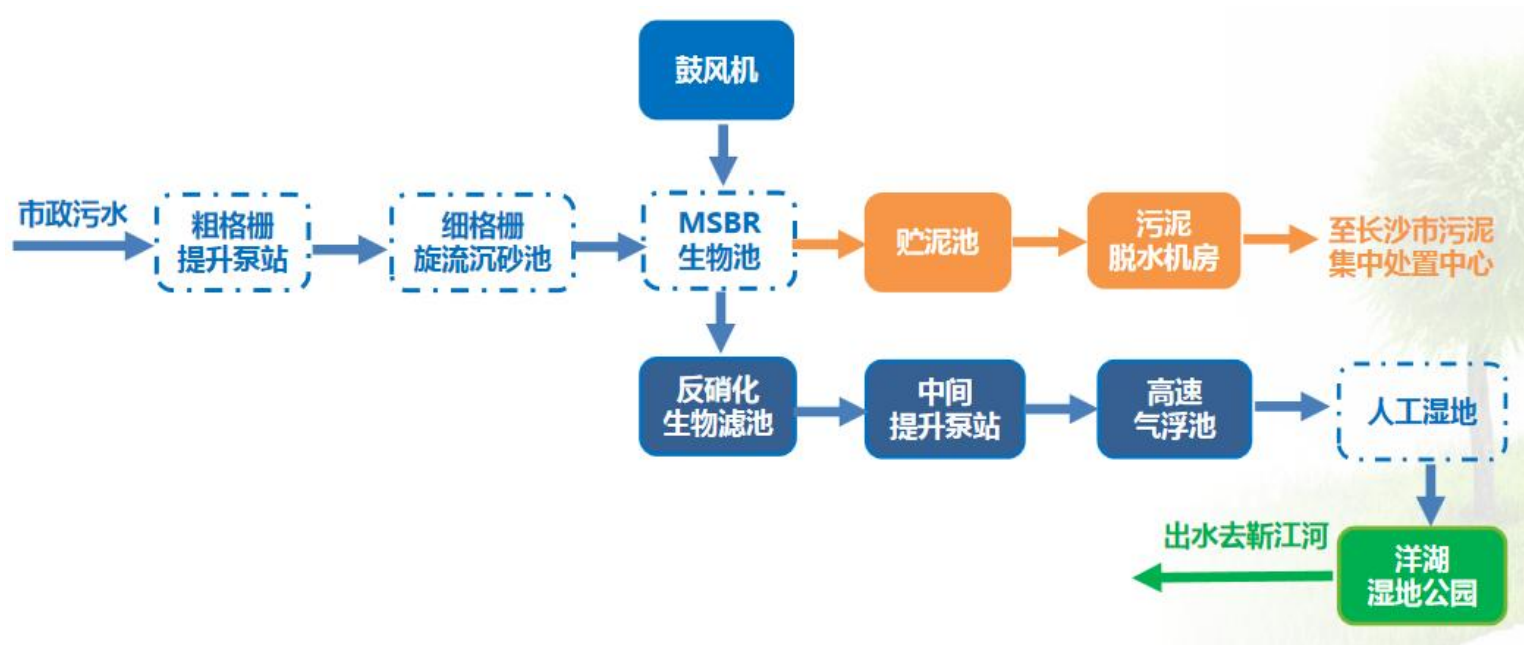
借助于强化MSBR脱氮除磷、增加反硝化滤池等措施，及优化设备配置模式及设计参数，实现二期项目长效稳定运行，及出水达标排放目标。同时，还增加了投药系统、及建成智慧水务平台，管理人员可轻松实现对全厂的运营管控，一线操作人员减轻了劳动强度，工作环境也得到提高。

设计规模为4万m³/d，;提标改造后出水水质达到准地表水IV类排放标准，于2021年完成提标投运，主体工艺采用：MSBR工艺+反硝化生物滤池+高速气浮池。

一期提标项目设计进出水水质：

项目	COD _{Cr} (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	SS (mg/L)	TN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TP (mg/L)
设计进水水质	250	120	220	40	30	3.0
设计总出水水质	≤30	≤6	≤5	≤10	≤1.5	≤0.3

- ◆ 一期提标改造工程采用改造和新建相结合的方式，厂区提标改造出水由原MSBR池一级B提高到高速气浮池出水省地标一级（ $TN \leq 10\text{mg/L}$ ），预期人工湿地提质改造后出水由原一级A提标到地表水准IV或准III类。



□ 厂区主要优化内容：

(1) 对预处理进行改造，更换粗细格栅为间隙15mm回转式格栅除污机，细格栅采用栅隙为3mm的内进流孔板格栅，沉砂池在放空清掏后，对其旋流和排砂系统进行更换改造。

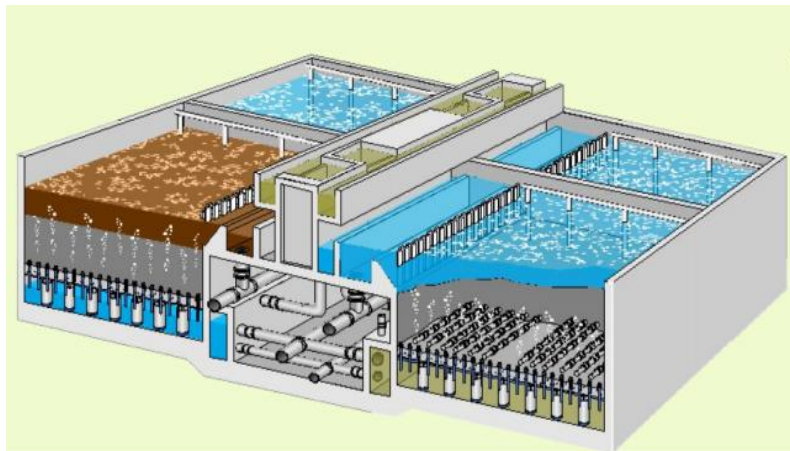
(2) 在原有MSBR池体内通过改造隔墙，更换曝气系统，强化搅拌混合效果等方式增强其处理能力，使其出水主要水质指标达到一级A标准（SS、TP除外），并预留远期可加入固定床载体的位置，以备后续出水有更严格要求的时候还能继续深度挖潜。

(3) 后端新增深度处理工艺，确保出水达到准IV类标准，同步集成投药系统。

(4) 一期按智慧水务管理升级改造。

(5) 景观绿化局部提质。

新增反硝化生物滤池



特点：

- 固定生物膜技术
- 采用陶粒滤料
- 滤料较深，截污能力比较强
- 处理负荷高
- 工艺稳定，出水水质好

性能：

- 上升流速可达15-35m/h
- 出水SS可以 $<10\text{mg/L}$
- 投加碳源时可稳定 $\text{TN} < 10\text{mg/L}$
- 占地面积可节约50%以上

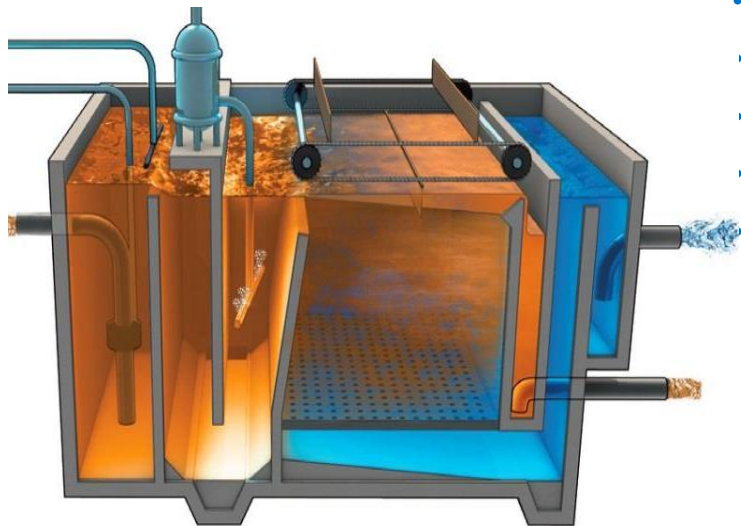
原理：

- 上向流过滤，气水同向
- 微生物在滤料上附着生长
- 滤料表面发生反硝化反应
- 滤料间隙截留悬浮物
- 定期强制反洗，恢复过滤能力

主要设计参数：

- 平均滤速：11.2m/h
- 最大滤速：13.8m/h
- 一格反洗时最大滤速:18.3m/h
- 滤料：陶粒滤料
- 滤料有效粒径：4.2-5mm
- 滤层厚度：3m

新增高速气浮



特点：

- 可用于污水澄清和深度除磷
 - 高速反应，上升流速更快
 - 机械设备少，出错概率低
 - 加药量少，成本更低
 - 特殊结构设计，气泡产生更均匀
- 气浮效果更好

性能：

- 絮凝反应时间约5-10分钟
- 回流量约10%
- 上升流速最高可达20-30m/h
- 出水SS可以稳定 $<10\text{mg/L}$
- 出水TP $<0.3\text{mg/L}$
- 占地面积可以节约50%以上

原理：

- 投加铁盐或者铝盐
- 反应产生微小絮体
- 回流水进行增压溶气
- 在浮选区形成微气泡浮渣层
- 快速进行泥水分离
- 水力或者机械排泥排渣

主要设计参数：

- 气浮池数量： 3座
- 单池气浮区面积： 42m^2
- 气浮区平均负荷： $13.2\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$
- 气浮区最大负荷： $17.2\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$
- 溶气水回流量： 10%



**一期提标改造工程
于2019年11月开工建设，
至2021年12月项目顺利
通过竣工验收。**

3. 一期提标项目

运行至今，一期提标改造工程厂区出水可稳定达到《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）准IV类水质标准（TN≤10mg/L）。

表2 湖南湘江新区洋湖再生水厂进出水水质月报表

报送单位：湖南湘江新区洋湖再生水厂 月份：5月

序号	项目	进水水质			出水水质			备注
		均值	最高值	最低值	均值	最高值	最低值	
1	水温(°C)	18.8	23.5	13.2				
2	pH值	7.33	7.80	7.10	7.49	8.00	7.19	
3	化学需氧量 COD _{Cr} (mg/L)	166	315	29	11	20	6	
4	生化需氧量 BOD ₅ (mg/L)	93.8	161	19	0.7	1.3	0.5	
5	悬浮物SS(mg/L)	155.77	352.00	12.00	4.68	10.00	3.00	
6	氨氮NH ₃ -N (mg/L)	14.91	24.00	5.40	0.18	0.30	0.09	
7	总氮TN(mg/L)	20.98	28.30	6.49	6.42	8.84	3.90	
8	总磷TP(mg/L)	2.85	4.58	0.81	0.19	0.23	0.16	
9	粪大肠菌群 (CFU/L)				52	660	2	
10	色度				2			
11	石油类(mg/L)				0.08			
12	动植物油(mg/L)				0.06L			
13	阴离子表面活性剂 (mg/L)				0.05			
14	六价铬(mg/L)				0.01			
15	总铜(mg/L)				0.0001			
16	总铬(mg/L)				0.03L			
17	总汞(mg/L)				0.0002			
18	总砷(mg/L)				0.0024			
19	总铅(mg/L)				0.028			

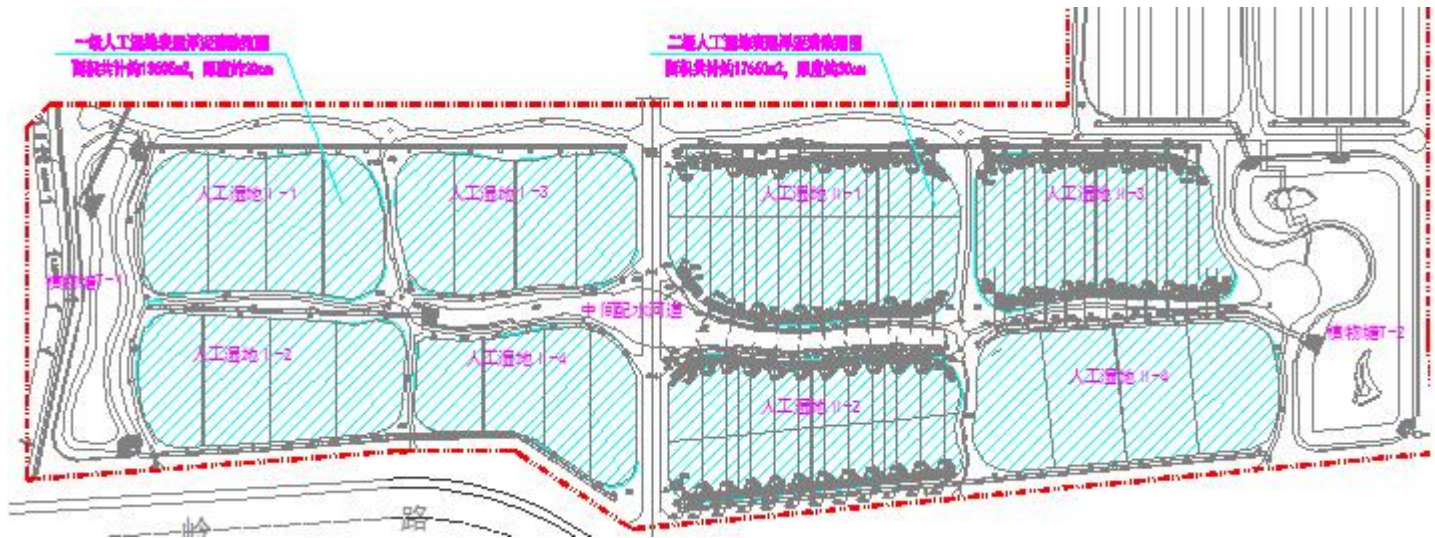
审核人：[Signature]
联系电话：85996258

填表人：[Signature]
报送日期：2023年6月5日

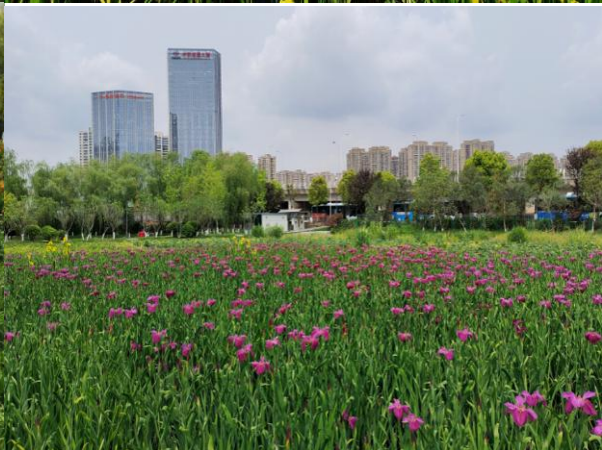


□ 人工湿地主要优化内容：人工湿地8-9年持续运行，部分区段出现淤塞现象。本次提标重点恢复系统过水能力和净化功能。

- (1) 一级和二级人工湿地填料表层淤泥较多，需清理；
- (2) 一、二级人工湿地部分区域填料缺失，表面易长水绵、青苔等，需补充碎石填料；
- (3) 布水、集水管道更换；湿地排空管道更新；二级人工湿地流向改造；阀门井、检查井修复；湿地植物品种优化。



改造后人工湿地实现长效稳定运行，峰值处理水量达到6万吨/日，远超设计规模。



3. 一期提标项目



人工湿地在不耗能耗药的情况下，实现了尾水深度净化，还具有生态景观、科普教育、改善人居环境，提供居民休闲活动场所等多重城市服务功能。

(1) 一期提标改造工程采用“MSBR+反硝化生物滤池+高效气浮池”组合工艺，出水水质达到了地表IV类水质标准（ $TN \leq 10\text{mg/L}$ ）；通过一运营管理平台+自控、运营、监控智慧水务的实践基本实现全厂设备远程监控和启停，做到少人值守甚至无人值守。

(2) 对持续运行8-9年的人工湿地进行提质改造，改善了人工湿地沉积物造成的填料堵塞和污水净化效率，峰值处理水量达到6万吨/日以上，远高于设计要求的4万吨/日规模。本次项目经验对于研究和探索国内人工湿地项目的长效稳定运行具有较强借鉴指导和推广意义。

(3) 构建了“MSBR+人工湿地+自然湿地”城市水环境生态再生工艺系统，在解决了治污问题的同时实现了污水再生利用；也增加了城市生态景观、减轻了城市热岛效应，并保护了城市生物多样性。

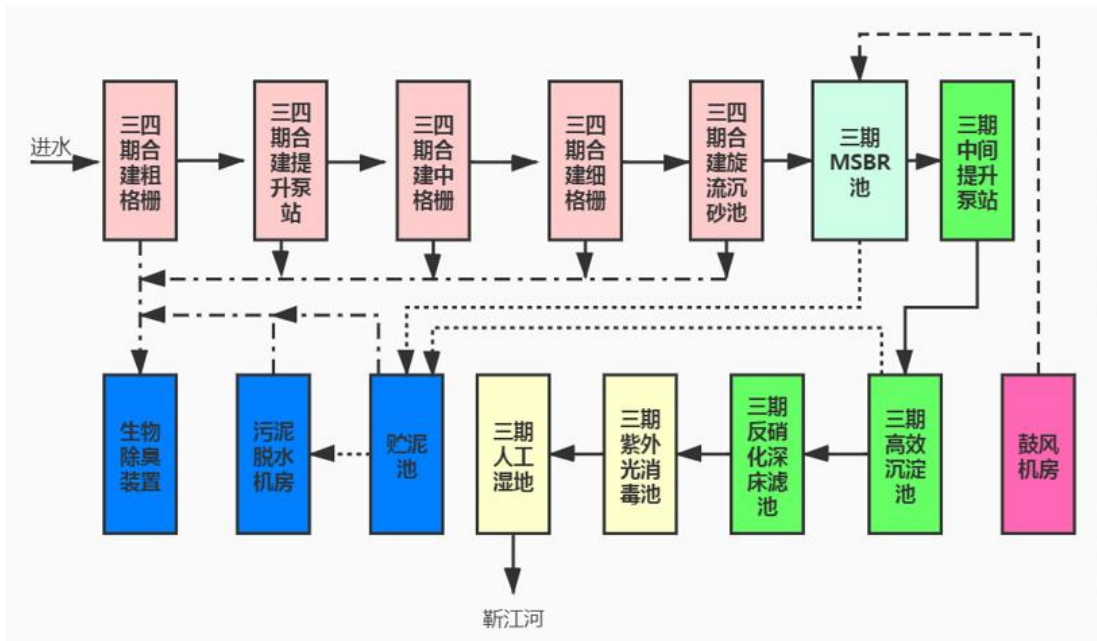
4. 三期项目

设计规模为10万m³/d，出水水质达地表水准IV标准，主体工艺采用：
MSBR工艺（10池型）+高效沉淀池+反硝化深床滤池。

三期项目设计进出水水质：

项目	COD _{Cr} (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	SS (mg/L)	TN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TP (mg/L)
设计进水水质	250	120	220	40	30	3.0
设计总出水水质	≤30	≤6	≤10	≤10	≤1.5	≤0.3

- ◆ 三期规模10万吨/日，采用“十单元MSBR+高效沉淀池+反硝化深床滤池+人工湿地”组合工艺，滤池出水达到省地标一级标准，再经人工湿地净化后排入靳江河。



4. 三期项目

□ 三期项目主要设计优化

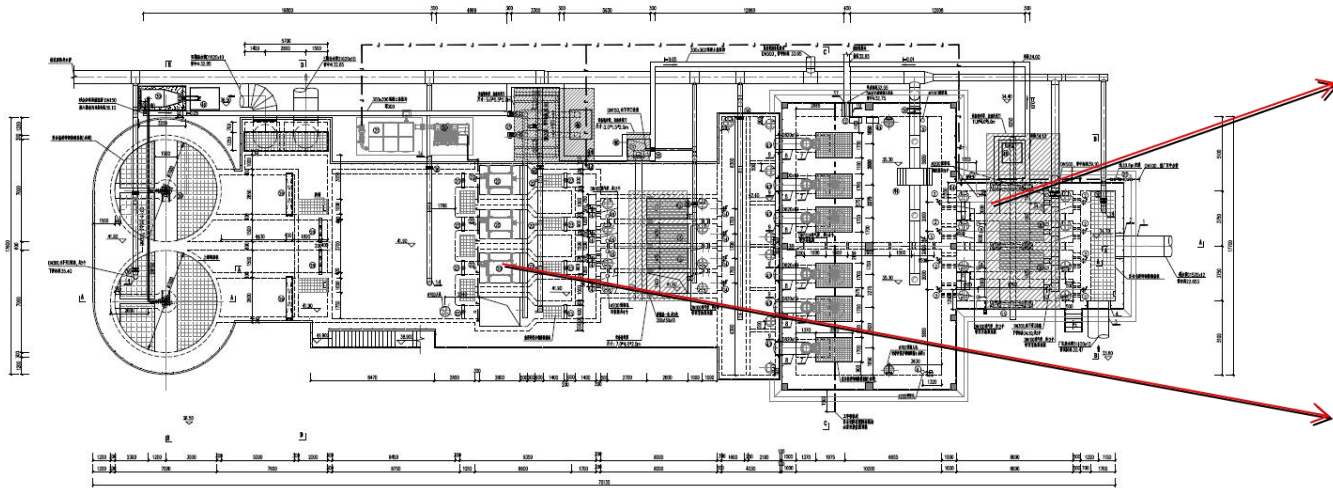


预处理采用三级格栅，加强拦截：

- 粗格栅，抓斗式，格栅间隙20mm
- 进水提升泵站
- 中格栅，回转式，格栅间隙10mm
- 细格栅，内进流，格栅间隙3mm
- 旋流沉砂池

4. 三期项目

三期项目主要设计优化：预处理设备配置考虑余量



顶层平面图 1:100



粗格栅



细格栅

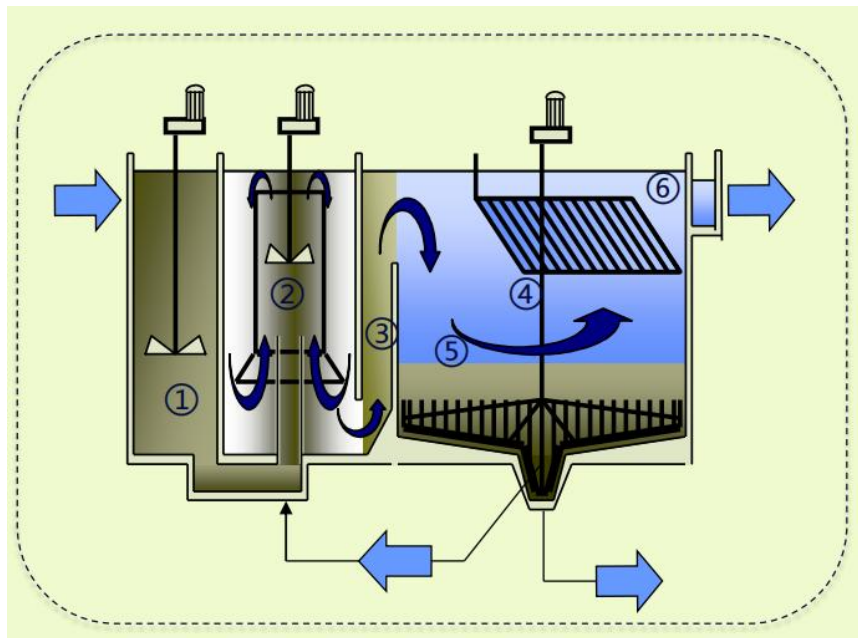
□ 三期项目主要设计优化



MSBR池设计局部优化，可应对2倍峰值水量冲击：

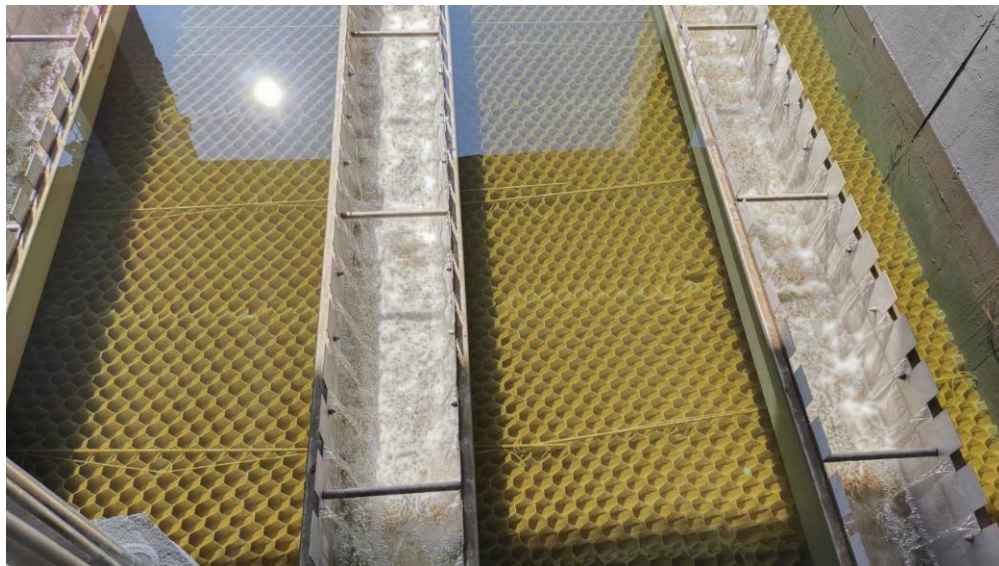
- 优化空气堰的出水负荷
- 调整隔墙位置，优化水力流态
- 优化内回流设置
- 提高局部位置搅拌曝气强度
- 优化排泥设置
- 强化浮渣控制
- 优化过程仪表配置
- 增加水池深度，减少占地面积
- 减少池面巡视通道上的障碍物

采用高效沉淀池

原理：

- 投加铁盐或者铝盐
- 絮凝反应生成污泥
- 投加PAM促使污泥颗粒变大
- 在过渡区强化絮凝
- 快速进行泥水分离
- 污泥浓缩后排放或者回流

采用高效沉淀池

主要设计参数（三期）：

- 混合时间： $T=1.84\text{min}$
- 絮凝时间： $T=8.53\text{min}$
- 沉淀池液面负荷： $17\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$
- 带自动反洗功能

污泥回流泵： $Q=90\text{m}^3/\text{h}$ ， $H=20\text{m}$
 $N=18.5\text{kW}$ ，2组，每组1用1备。

污泥排放泵： $Q=90\text{m}^3/\text{h}$ ， $H=20\text{m}$
 $N=18.5\text{kW}$ ，1用1备。

采用反硝化深床滤池

主要设计参数（三期）：

- 正常滤速：7.72m/h
- 强制滤速：8.83m/h
- 反冲洗水洗强度：20m³/m².h
- 反冲洗气洗强度：75m³/m².h
- 滤料：陶粒滤料
- 滤料有效粒径：2.5mm
- 滤层厚度：1.8m

4. 三期项目

三期项目主要设计优化：自控系统/智慧水务全面升级，扩大管控范围，提高系统响应速度，优化控制逻辑，优化显示画面，增加智能工艺，争取逐步实现智能控制替代人工控制。



4. 三期项目

三期项目主要设计优化：引入全过程BIM技术应用，对设计、施工和运营进行优化提升。

设计阶段BIM数据创建和应用

- 厂区三维实景模型
- 土建、工艺、机电、总图管线BIM模型
- 图纸校核、总图管线综合、辅助图纸内审

施工阶段BIM数据应用

- 现场施工交底、场布方案模拟、建设时序模拟
- 模型渲染漫游及处理工艺介绍视频

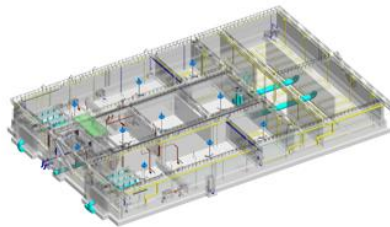
运维阶段

◆ 数据基础及优势

- BIM数据全生命周期应用：项目信息基于BIM模型实现设计、施工、运维全流程传递
- 真实尺寸三维空间、应用场景定位准确
- BIM模型可结合编码实现数据结构化，挂接资产动态及维保数据

◆ 信息化平台建设契机

- 结合信息化平台建设工作，打造数字孪生模块
- 通过**游戏引擎提升视觉效果（好看）**
- 集成生产运行、视频监控、设备和水质报警等业务逻辑信息，**场景化应用与交互（好用）**



4. 三期项目

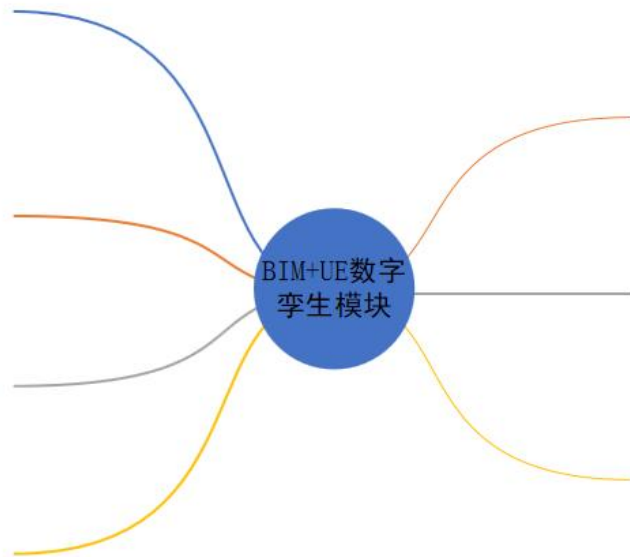
三期项目主要设计优化：引入全过程BIM技术应用，对设计、施工和运营进行优化提升。

场景展示
根据既定路线自动漫游和手动漫游，漫游中，以弹出框的形式自动展现对应工艺单元和设备的实时数据

工艺仿真
模拟总图各生产管线水流运动方向及主要工艺设备运动，分工艺系统标记水流、物料流（污泥、药剂）颜色

设备报警
获取生产运营管理系统设备报警信息，在虚拟漫游中进行设备定位与展示，采用弹出框方式显示详细信息

水质报警
获取生产运营管理系统实时水质监测信息，超过水质阈值限制时自动报警，通过弹出框的方式显示详细信息



实时监控集成

获取生产运营管理系统各个工艺单元的实时运行指标数据（包括水质指标、设备运行状态等数据），以弹出框的形式在系统中相应位置展示

统计数据集成

获取生产运营管理系统统计数据（包括水质、水量统计，设备运行统计等），以弹出框的形式在系统中相应位置展示

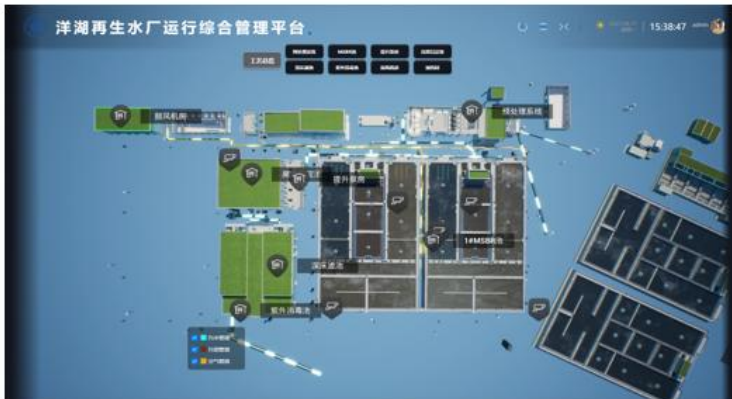
视频监控集成

通过生产运营管理系统，获取前端摄像头实时画面，并在水厂地图、厂区虚拟巡检功能当中标记摄像头位置，调取实时监控画面

以BIM作为数据连接和流转的载体

三期项目主要设计优化：基于BIM技术进行二次开发设计，打造数字孪生水厂。

生产运行三维展示



工艺管道总览

厂区全景浏览



第一人称漫游



其它优化：

- 电力负荷均匀分配
- 鼓风机增加廊道及过滤装置
- 设备控制柜增设独立房间
- 设置加药管沟
- 降低无效空间
- 深度处理加遮阳棚
- 全厂预留中水干管
- 绿化景观提升
- 设置中水微喷系统
- 优化巡视路线

5. 三期人工湿地

三期人工湿地通过构建库塘、垂直潜流、河流和湖泊等多样性的湿地生态系统，对三期尾水进行深度处理，出水作为靳江河生态补水。

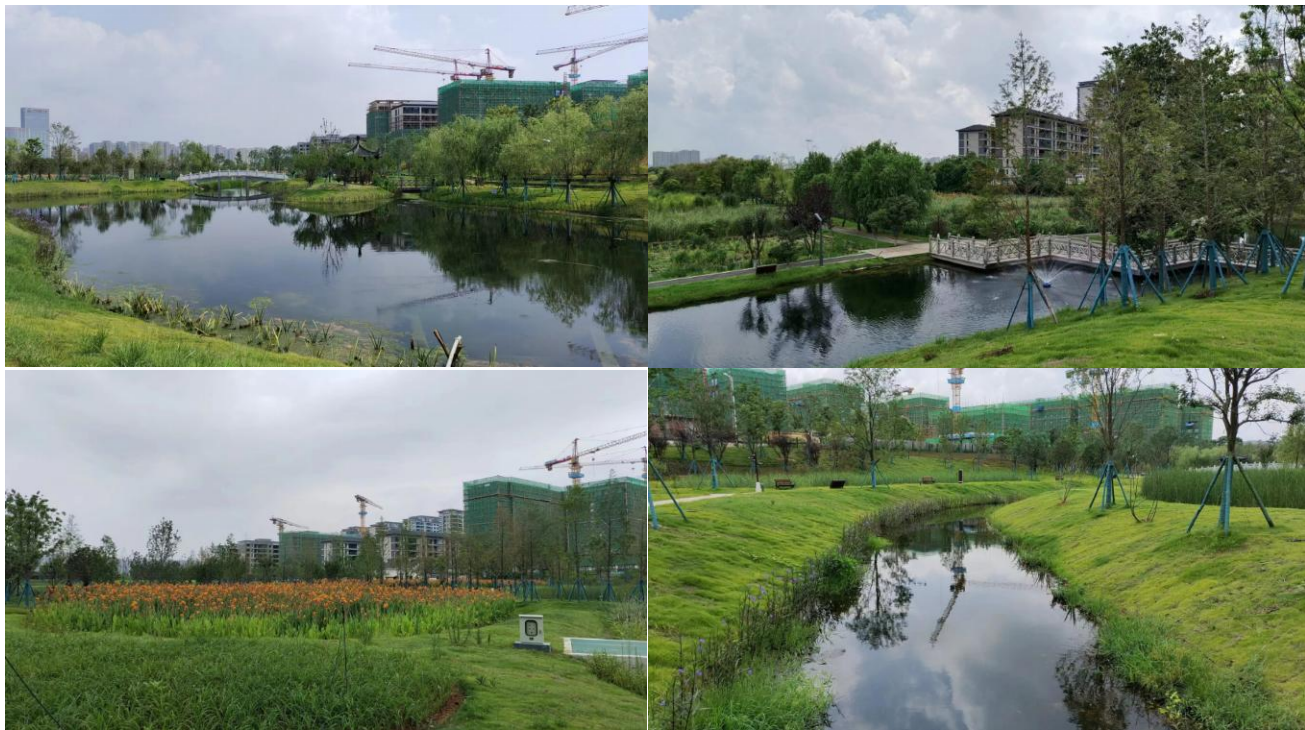


三期人工湿地定位为兼具削减污染物质、净化水体、美化环境和科普教育功能于一体的人工湿地示范项目。



构建了以水为轴，以微地形为骨架，以库塘、垂直潜流、河流和湖泊等多样性湿地生态系统。





建立了完善稳定的植物群落，提升了鸟类、昆虫等动物生境，改善了城市生态品质和人居环境。

5. 三期人工湿地



人工湿地增设了中水回用系统，主要游线两侧采用中水微喷浇灌，有效的提高了施工过程中的植物成活率。

5. 三期人工湿地



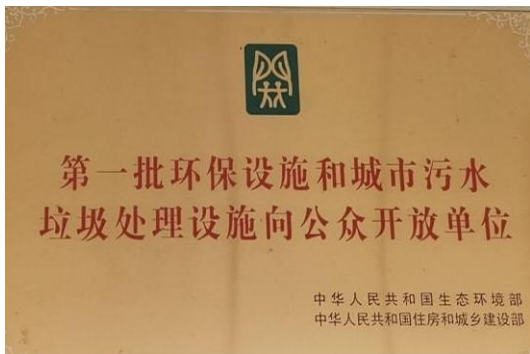
人工湿地参照
公园标准设置
了夜景照明
(亭院灯为太
阳能)、设置
了导览牌和科
普解说牌。

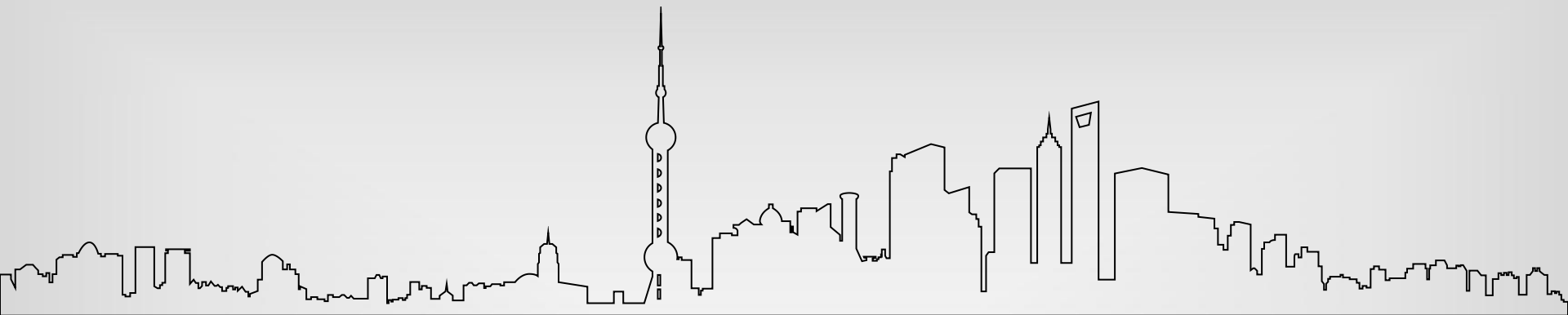


获批荣誉

- 2017年，一期项目获中国环境保护产业协会全国重点环境保护实用技术示范工程；
- 2020年，二期项目获湖南省环境保护产业协会湖南省环境保护先进技术示范工程；
- 2021年，一期提标改造工程获湖南省环境治理行业协会优秀工程；
- 2021年，二期项目获湖南省排水行业协会优秀工程项目案例；
- 2022年，一期提标改造工程获湖南省环境治理行业协会湖南省环境保护示范工程；
- 2023年，一期提标改造工程获环境保护行业协会湖南省环境保护示范工程；
- 2023年，一期提标改造工程获湖南省排水行业协会典型工程项目案例；
- 2023年，洋湖水治理项目（含一期提标改造）获湖南省生态文明研究与促进会湖南省生态文明建设典型案例（湖南省生态产品价值实现典型案例）。

- 2014年，获长沙市两型办**节能减排示范基地**；
- 2015年，获长沙市科技局**污水处理科学技术普及基地**；
- 2016年，获湖南省环保厅**湖南省环境教育基地**；
- 2016年，获湖南省科技厅**湖南省污水处理科普基地**；
- 2017年，获长沙市两型办**长沙市两型示范项目/单位**；
- 2018年，获湖南省发住建厅**湖南省园林式单位**；
- 2018年，获湖南省发改委**湖南省资源循环利用典型案例**；
- 2018年，入选住建部、生态环境部**第一批环保设施和城市污水垃圾处理设施面公众开放单位**；
- 2018年，获亚欧水资源中心**水生态修复试验示范（长沙）基地**；
- 2021年，获长沙市水利局、市节约用水办公室**长沙市水情教育基地**；
- 2023年，获湖南省水利厅**湖南省节水教育基地**；





谢谢！