

Construction application of granulation fluidized bed in treating initial rainwater and wastewater

Jinfa Hong

Shenzhen Guanghuiyuan Water Conservancy Construction Engineering Co., Ltd., Wuchuan, Guangdong, 518000, China

Abstract

This paper expounds the construction application of granulation fluidized bed in treating primary rainwater wastewater. This paper introduces the core mechanism by which this technology forms dense flocs by controlling coagulation conditions and hydrodynamic parameters, as well as its adaptability to the initial rain with low biodegradability and high SS fluctuations. It also analyzes the process connection with the pretreatment and catalytic oxidation units. Elaborate on the installation norms of core equipment, the configuration of auxiliary systems and the control of construction processes, and propose quality control, safety and environmental protection, and operation parameter guarantee measures to provide technical references for the initial rainwater treatment in cities.

Keywords

Granulation fluidized bed Initial rainwater Construction application; Sewage treatment Renovation of the regulating and storage tank

造粒流化床处理初雨污水的施工应用

洪金发

深圳市广汇源水利建筑工程有限公司, 中国 · 广东 吴川 518000

摘 要

本文阐述造粒流化床处理初雨污水的施工应用。介绍该技术通过控制混凝条件与流体动力学参数形成致密絮凝体的核心机制, 及其对低可生化性、高 SS 波动初雨的适配性, 分析与预处理及催化氧化单元的工艺衔接。详述核心设备安装规范、辅助系统配置及施工流程控制, 提出质量控制、安全环保及运行参数保障措施, 为城市初雨处理提供技术参考。

关键词

造粒流化床; 初期雨水; 施工应用; 污水处理; 调蓄池改造

1 引言

城市初期雨水携带大量污染物, SS、COD 等指标远超地表水标准, 直接排放易引发水体富营养化等问题。传统处理工艺因初雨可生化性差、水质波动大等特点难以适配, 而造粒流化床技术通过物理化学作用实现高效处理, 且占地小、集成度高, 契合城市建成区场地约束。结合调蓄池改造需求, 探究该技术的原理适配性、施工关键技术及实施保障, 对提升初雨污染治理效能具有重要意义。

2 造粒流化床技术原理与工程适配性

2.1 技术核心机制

造粒流化床技术的核心在于通过精准控制混凝化学条件与流体动力学参数, 改变传统絮体颗粒的随机成长模式, 促使初始颗粒以逐一附着的方式与同类母絮体结合, 在增大颗粒粒径的同时保持密度基本恒定, 形成结构致密的絮

凝体。这种成长模式通过优化混凝反应条件实现, 如控制 PAC 投加量 35mg/L、PAM 投加量 1.5mg/L, 配合特定的搅拌强度, 使絮体维持最紧密构造, 提升固液分离效率。为保障稳定性, 系统增设颗粒循环装置, 持续回流部分成熟絮体作为“母粒”, 确保造粒区流化床维持稳定流化状态。单台反应器直径 3200mm, 高度 6000mm, 采用 304 不锈钢材质, 处理流量 210m³/h, 集成 10kw 搅拌系统, 优化流体动力学环境。

2.2 初雨污水适配特征

传统生物处理工艺难以发挥作用, 而该技术通过物理化学作用实现污染物去除, 无需依赖微生物代谢, 完全适配此类水质特征。在污染物浓度适应范围上, 该技术可有效处理 SS≤200mg/L 的初期雨水, 当 SS 浓度超过 200mg/L 时, 通过调整药剂投加量 (如 PAC 增至 40mg/L) 仍能保持稳定处理效果, 适配我国城市初期雨水 SS 浓度波动大的特点^[1]。处理规模方面, 单套系统设计处理能力为 1 万 m³/d, 与笔架山调蓄池升级改造工程的需求高度匹配, 其主体设备总占地面积约 290 m², 附属设施占地面积约 451 m², 整体布局可

【作者简介】洪金发 (1989–), 男, 中国广东吴川人, 本科, 从事给排水施工研究。

在调蓄池内分割的 900 m²空间内完成，无需额外占用地面土地资源，完美契合城市建成区场地紧张的现状。

2.3 工艺衔接逻辑

前端预处理采用回转式格栅除污机，槽宽 2m，总长度 7.2m，配备 5.0kw 机械清渣装置，拦截悬浮物及大颗粒物；提升泵选用 3 台钢制混流泵，单台流量 210m³/h，扬程 25m，功率 22kw（2 用 1 备），确保污水顺利进入反应器形

成稳定流态。流化床出水进入催化氧化压力式滤罐（直径 4000mm，高度 5000mm），罐内填充 0.8-1.2mm 活性滤料（填充高度 1.5m），进一步去除氨氮，使出水 NH₃-N≤2.0mg/L，满足设计标准。“流化床+催化氧化”组合工艺形成完整处理链条，覆盖初期雨水主要污染指标控制需求。如图流化床及催化氧化罐图：

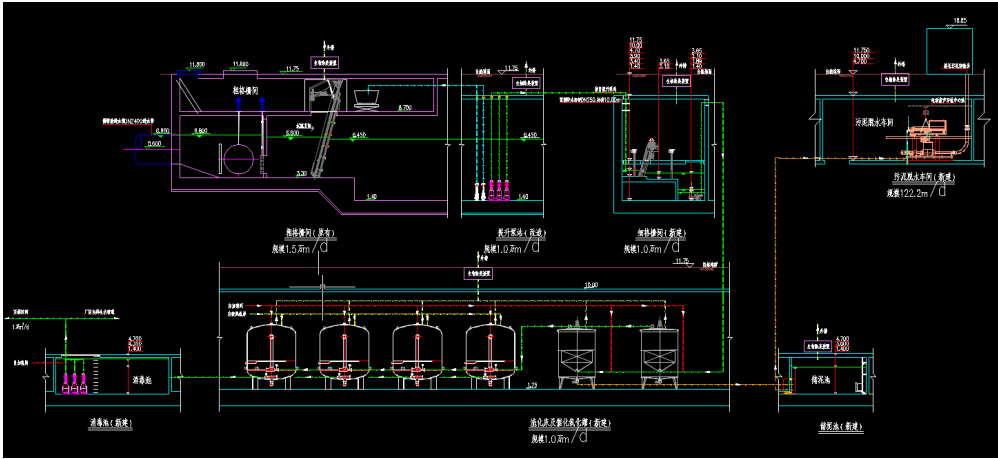


图 1：流化床及催化氧化罐

3 施工关键技术与方案设计

3.1 核心设备安装规范

流化床反应器的安装精度直接影响运行效果，其垂直度偏差需严格控制在 0.5mm/m 以内，通过激光测平仪实时监测调整，确保反应器主体垂直，避免因倾斜导致流态分布不均。搅拌系统安装是关键环节，搅拌轴与反应器中轴线的同轴度误差不超过 1mm，叶轮与反应器底部的间距需精确控制在 50-100mm 范围，间距过小易造成底部磨损，过大则会导致池底流速不足、颗粒沉积，安装后需通过试运转验证搅拌均匀性，确保池内无明显死水区。布水系统采用多孔管式结构，主管直径 DN200，支管间距 500mm，开孔率严格控制在 8%-10%，孔口直径 10mm，确保孔口流速维持在 1.5-2.0m/s，既保证水流均匀分布，又避免流速过高造成絮体破碎。安装时需对布水管进行水平度校准，偏差不大于 2mm/m，通过水平仪逐段测量调整，确保每段管道的水头损失一致，为流化床内均匀布水奠定基础。

3.2 辅助系统配置

PAC 投加系统采用一体化配制装置（400L/h，3kw），将固体 PAC 配制 12.5% 的溶液，通过 2 台 200L/h（0.37kw）计量泵（1 用 1 备）投加至流化床前端，当进水 SS≤200mg/L 时投加量为 35mg/L，SS>200mg/L 时自动增至 40mg/L，计量泵流量精度误差控制在 ±5% 以内。PAM 投加系统与之类似，配置 1 套 2400L/h（3kw）一体化溶解装置，制备 0.1% 的 PAM 溶液，通过 2 台 1200L/h（1.5kw）螺杆泵投加，投

加量随 PAC 同步调整（1.5-2.0mg/L），确保絮凝效果稳定。颗粒投加系统包括活性炭与微砂投加装置：活性炭投加采用湿式连续投加方式，投加量 80mg/L，配备 1 套 4kw 的螺旋输送式投加装置，将粉末活性炭均匀送入流化床；微砂投加为间歇投加，单套装置功率 4kw，根据进水浊度变化启动，通过补充微砂提高絮体密度，强化固液分离效果^[2]。

3.3 施工流程控制

施工周期严格划分为三个阶段，总工期 180 日历天。设备安装阶段（60 天）需完成反应器、格栅、提升泵等核心设备的就位固定，以及各类管路（含 DN200-DN400 的不锈钢管）的焊接与法兰连接，管道安装后需进行 1.5 倍设计压力的水压试验，保压 30 分钟无渗漏方可验收。调试阶段（40 天）分为单机调试与系统联动调试：单机调试重点校验搅拌机转速（100-300r/min 可调）、加药泵流量精度及阀门启闭灵活性；系统联动调试需完成 10 次工况切换测试，包括雨天高负荷（1.2 倍设计流量）与旱天低负荷（0.5 倍设计流量）的转换，每次切换响应时间不超过 10 分钟，验证 PLC 控制系统的联动可靠性。试运行阶段（60 天）按 1 万 m³/d 设计规模连续进水，每日监测进出水水质（SS、TP、COD 等指标）及设备运行参数（如流化床上升流速、药剂投加量），期间完成 3 次满负荷测试（每次 24 小时）。关键节点控制中，活性滤料制备需在调试前 3-4 周启动，通过原位培养使石英砂表面形成活性铁锰氧化物膜，确保滤料填充高度达 1.5m（单台用量 35 吨），投用前需检测滤料的催化活性，保障氨氮去除效果。如图：

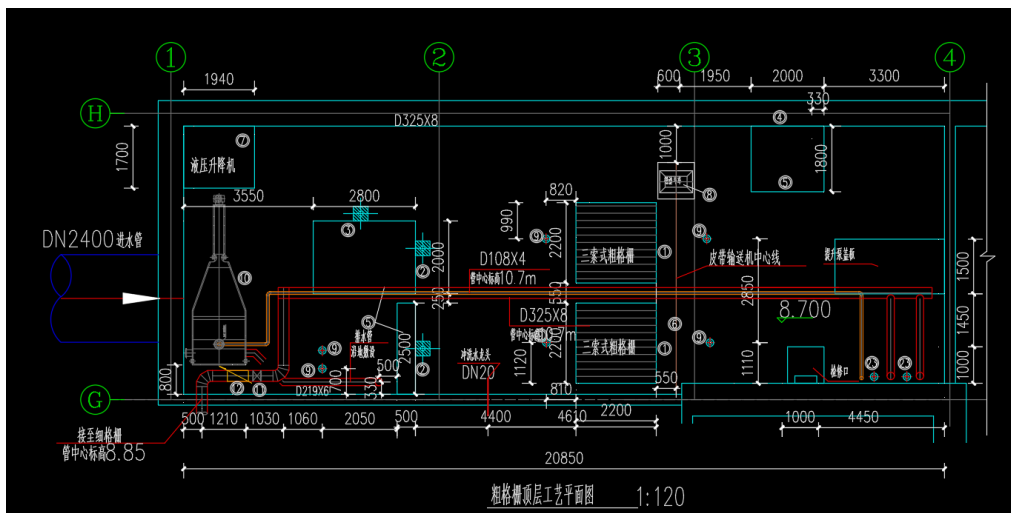


图 2：粗格栅顶层工艺平面图

4 工程实施保障与性能验证

4.1 质量控制措施

精度校验贯穿施工全过程，在线监测系统需进行严格校准：浊度计（测量范围 0-500NTU）误差控制在 $\pm 2\text{NTU}$ 以内，流量计（0-300m³/h）采用标准流量计标定，误差 $\leq 2\%$ ，所有仪表信号传输至 PLC 系统的响应时间不超过 5s，确保数据实时性。加药泵流量精度通过计量桶法校验，在 50%-100% 量程范围内，实测流量与设定流量的偏差不大于 5%，并通过变频调节实现 0-100% 范围内的连续可调，满足不同水质条件下的药剂投加需求。流态优化是保障处理效率的核心，通过调整进水阀门开度与循环泵频率，将流化床上升流速精确控制在 10-15m/h，颗粒循环量维持在处理水量的 30%-50%，通过安装在反应器不同深度的压力传感器监测流场分布，确保形成均匀稳定的流化状态^[1]。同时，在反应器内设置 3-4 块导流板（高度 1.5m，厚度 10mm），引导水流形成螺旋上升流，强化絮体与药剂的接触反应，减少短流现象。

4.2 安全与环境管控

设备防腐措施针对性强，与污水及药剂接触的部件均采用 304 不锈钢材质，其铬镍合金成分确保在 pH4-9 的范围内具有良好耐腐蚀性，使用寿命可达 15 年以上。管路系统采用防腐涂层处理，先涂刷 725-H06-01 环氧封闭底漆（干膜厚度 30 μm ），再涂覆 4 道 725-H45-ZF101G 重防腐涂料（总干膜厚度 850 \pm 50 μm ），最后涂刷 1 道 725-SN99-01 丙烯酸聚氨酯面漆（60 μm ），涂层附着力需达到 GB/T5210 标准中的 5 级要求。污泥处置严格遵循减量化原则，流化床排出的污泥（含水率 90%-95%）先进入贮泥池（11 \times 6m，有效水深 2.5m）暂存，再通过加药浓缩一体化离心脱水机（处理能力 7.64m³/h）脱水至含水率 $< 80\%$ ，脱水后泥饼由专用车辆外运至指定处置场所。项目预留污泥深度脱水至 40% 的场地（约 50 m²），为后续污泥处置升级提供条件，避免

二次污染。

4.3 运行参数保障

供电系统配置可靠，采用双回路电源供电，设置 2 台 630kVA 干式变压器（SCB13 系列），一用一备，负荷率控制在 56.5%，确保在单回路断电时能快速切换。为保障自控系统连续运行，配备 10kVA/60min UPS 电源，在断电情况下可维持 PLC 控制柜、在线监测仪表等关键设备运行，避免数据丢失与系统失控。应急调节机制完善，当在线监测系统检测到进水 SS $> 200\text{mg/L}$ 时，自动触发调节程序：PAC 投加量从 35mg/L 增至 40mg/L，PAM 投加量从 1.5mg/L 增至 2.0mg/L，同时流化床上升流速调至 12m/h，颗粒循环量提高至 50%，通过多参数协同调整应对水质冲击。此外，设置反冲洗系统（反洗水泵流量 362m³/h，扬程 15m），定期对催化氧化滤罐进行气水联合反冲洗（气强度 15L/(m² · s)，水强度 4L/(m² · s)），确保滤料活性，维持系统长期稳定运行。

5 结语

造粒流化床技术应用于调蓄池提标改造，契合初雨处理需求。其通过精准控制混凝与流态参数，适配低可生化性、高波动水质，与预处理及催化氧化单元协同形成完整处理链。施工中严格把控设备安装精度、系统配置及流程节点，辅以质量与安全管控，可实现稳定运行。该技术为城市密集区初雨治理提供可行方案，助力提升调蓄池功能，推动水环境质量改善。

参考文献

- [1] 薛章哲,胡瑞柱,李凯,等.斜管强化循环结团造粒流化床处理水质多变地表水中试研究[J].水处理技术,2025,51(07):113-117+124.
- [2] 陈书科,谢春敏,刘熹.化学结晶造粒流化床软化造纸废水的试验研究[J].轻工科技,2025,41(03):128-131.
- [3] 徐嘉琪,黄廷林,文刚,等.循环造粒流化床去除不同特性有机物的效果及强化[J].中国给水排水,2025,41(03):58-64.