

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2026.12.010

污水处理厂污泥活性影响因素分析及优化策略

王光辉^{1,2}, 李雪怡^{3,4}, 张行¹, 许世伟¹, 袁硕², 赵凯²,
刘锐平²

(1. 北京首创生态环保集团股份有限公司, 北京 100044; 2. 清华大学环境学院, 北京 100084; 3. 北京恒润慧创环境技术有限公司, 北京 100044; 4. 北京工业大学环境科学与工程学院, 北京 100024)

摘要: 我国60%以上城镇污水处理厂面临生化单元活性污泥浓度过高且活性偏低的问题(MLVSS/MLSS均值50%,显著低于70%~75%的理论值),污水处理效率下降、能耗攀升及运维成本增加。本文基于对北方22座典型污水处理厂的运行数据及国内外文献的系统分析,从进水特性、预处理效能、生化反应机制、深度处理及污泥处置全流程切入,揭示污泥浓度过高的核心诱因。研究发现,进水高无机颗粒负荷(ISS/SS均值39.85%,粒径 $\leq 100\ \mu\text{m}$ 的细微颗粒占比约70%)、预处理单元除砂效率不足(旋流/曝气沉砂池对细微砂粒的去除率 $< 50\%$)、化学污泥回流及污泥龄调控失当(污泥龄延长至90 d导致污泥浓度激增135%)等多重因素存在耦合效应,因此提出“源头控砂-工艺优化-智慧调控”技术体系,旨在为城镇污水处理厂提质增效与绿色发展提供理论支撑与实践范式。

关键词: 污水处理; 污泥活性; 除砂效率

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2026)12-0064-07

Analysis and Suggestions on the Causes of High Biochemical Sludge Concentration in Typical Municipal Sewage Treatment Plants in China

WANG Guanghui^{1,2}, LI Xueyi^{3,4}, ZHANG Xing¹, XU Shiwei¹, YUAN Shuo²,
ZHAO Kai², LIU Ruiping²

(1. Beijing Capital Eco-Environmental Protection Group Co. Ltd., Beijing 100044, China;
2. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3. Beijing Heng-run
Hui-chuang Environmental Technology Co. Ltd., Beijing 100044, China; 4. College of
Environment Science and Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100024, China)

Abstract: Over 60% of municipal sewage treatment plants in China face excessive mixed liquor suspended solids (MLSS) concentrations coupled with low sludge activity (MLVSS/MLSS ratio $\approx 50\%$, significantly below the theoretical optimal range of 70%–75%) in biochemical treatment units, leading to reduced treatment efficiency, increased energy consumption and operational costs. This study systematically analyzes operational data from 22 sewage treatment plants in northern China and global literature to identify root causes of elevated MLSS across the entire treatment process, including influent characteristics, pretreatment efficiency, biochemical reaction mechanisms, advanced treatment, and sludge disposal. Key findings reveal three interdependent factors, including high inorganic particle

loading in influent (ISS/SS = 39.85%, with about 70% of fine particles $\leq 100 \mu\text{m}$), inadequate grit removal efficiency in pretreatment units (fine particle removal in cyclonic/aerated grit chambers, $<50\%$), chemical sludge recirculation, and improper sludge retention time (SRT) regulation (135% MLSS surge at SRT= 90 days). To address these challenges, an integrated “source control–process optimization–smart regulation” strategy is proposed, aiming to provide a theoretical foundation and practical paradigm for improving treatment quality and efficiency, and green development in municipal sewage treatment plants.

Keywords: sewage treatment; sludge activity; grit removal efficiency

随着我国生态文明建设的不断推进,城镇污水处理行业在经历大规模的基础设施建设后,如今正加速向精细化、高效化方向转型。住房和城乡建设部发布的《2020年城乡建设统计年鉴》表明,截至2020年底,全国城市污水处理厂已达到2 168座,日处理能力突破1.92亿 m^3 ,污水处理率提升至97.53%。在基础设施日趋完善的背景下,行业重心已从“增量建设”转向“存量优化”,着力破解已建污水处理厂“高能耗、高成本、低活性”的运行瓶颈。作为污水处理的核心单元,生化系统通过活性污泥的代谢作用去除90%以上的有机物及氮磷污染物,其运行效能直接取决于污泥活性(混合液挥发性悬浮固体MLVSS与混合液悬浮固体MLSS比值,MLVSS/MLSS)与污泥浓度的动态平衡。然而,当前生化污泥普遍存在浓度偏高、活性偏低的问题,这不仅影响污水处理厂的运行效率,还会严重制约“双碳”目标下污水处理厂的低碳转型。

1 高浓度污泥影响及问题分析

调研数据显示,全国178座污水处理厂中,生化单元污泥浓度普遍偏高,超半数污水处理量的污泥浓度 $>5\,000\text{ mg/L}$,高于常规活性污泥浓度(3 000~4 000 mg/L)。污泥MLVSS/MLSS比为30%~65%,加权平均值仅为50.54%,远低于70%~75%的理论值^[1]。高浓度低活性污泥不仅加剧氧传质限制与设

备磨损(曝气头堵塞率增加40%、泵体寿命缩短50%),还会导致水处理能耗攀升25%~35%。

污泥浓度过高引发的系统性问题可归纳为两类:一是工艺本身的生化效能问题;二是由此导致的能耗增加、设备损耗加剧的运行问题。具体包括:①污泥浓度过高,溶解氧供需失衡,氧总转移系数下降;氧传递受限,局部缺氧区扩大。②污泥浓度过高易使污泥膨胀及污泥沉降性能变差,生化池表面出现浮泥,以及二沉池出水SS浓度升高,影响后续深度处理效果。③高污泥浓度下异养菌对碳源的争夺可能引起反硝化碳源不足和聚磷菌释磷受限,增大投加碳源的可能性。④污泥浓度过高,为维持系统内部均匀的污泥悬浮状态,需加大搅拌推流设备动力,并提高曝气强度和频率,增大污水处理厂的运行能耗。⑤污泥浓度过高易导致污泥曝气头堵塞、污泥在池底淤积,水力停留时间缩短,生化系统处理效果减弱,增大出水超标风险。⑥污泥浓度过高且含砂量较大,会加剧动力设备和管道的磨损,增加设备设施的清理养护费用。

2 高污泥浓度原因分析

为厘清污泥性能劣化成因,本研究选取北方22座典型污水处理厂,系统检测进水–预处理–生化–深度处理全流程(见图1)泥砂分布特性,并结合工艺运行参数分析,揭示污泥浓度升高的内在机制。

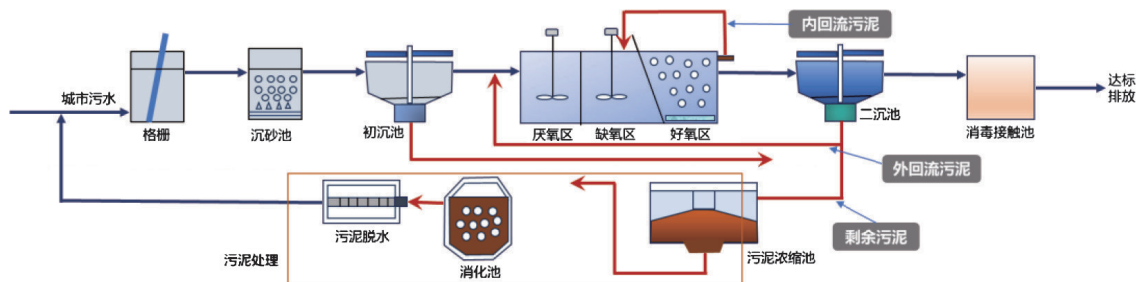


图1 污水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of sewage treatment process

2.1 污水处理厂进水

2.1.1 污水水质特征分析

污水水质对污水处理厂的工艺设计、运行维护及处理能耗至关重要。我国污水处理厂进水普遍具有3个特征:①无机悬浮固体含量高;②有机物浓度低;③碳氮比低^[2]。研究表明,我国城镇污水处理厂进水无机悬浮固体占总悬浮固体的比例(ISS/SS)为51%~72%,显著高于美国生活污水的ISS/SS(21%~24%)^[2-3]。针对污水固体的“无机化”特性,进一步对其粒径分布进行了文献调研。美国大多数污水处理厂进水SS主要为粒径>150 μm 的悬浮颗粒,其占比甚至高达100%^[3]。姜宁^[4]检测了重庆市5座污水处理厂进水中泥砂的粒径,其平均粒径为70 μm ,粒径中值为45.85 μm 。王颖^[5]对国内13座污水处理厂污水进行采样分析,其中悬浮固体的体积平均粒径为47.72~73.89 μm 。

本文对采用厌氧-缺氧-好氧工艺、氧化沟等主流活性污泥工艺的22座污水处理厂进水悬浮物进行取样检测。结果显示,进水ISS/SS为9.38%~72.79%,平均为39.85%。进一步分析发现,无机砂粒平均粒径为21.84~137.07 μm ,其中,粒径为0~50 μm 的无机砂粒平均占比为48.69%,粒径为50~100 μm 的平均占比为20.68%,粒径为100~150 μm 的平均占比为12.68%,粒径为150~200 μm 的平均占比为5.82%,粒径为200 μm 以上的平均占比仅为12.14%。

综上,我国污水处理厂进水无机颗粒物含量较高,且70%左右的颗粒粒径 $\leq 100 \mu\text{m}$ 。

2.1.2 排水体制等外部环境对水质的影响

污水水质一般受污水处理厂的地理位置、气候特征、居民生活习惯、经济发展程度以及排水体制等综合因素的影响。其中,排水体制对污水中的泥砂含量和污染物浓度影响尤为显著。段庄等^[6]对珠海浅丘地区合流制改造前后的污水水质进行调研,发现改造前污水处理厂各项指标均值均高于雨季,改造后污水处理厂进水污染物浓度显著提升。本次调研的22座污水处理厂中有8座为分流制,14座为合流制,其中,分流制系统平均进水SS为203.60 mg/L,合流制系统平均进水SS为232.98 mg/L,可见,合流制排水系统进水SS浓度明显高于分流制排水系统。

除排水体制外,排水管道损坏导致地下水携带

泥砂进入管道,以及施工管理不规范将未处理泥浆排入排水管网,也是污水处理厂进水SS浓度偏高的主要原因。因此,对于污水收集系统为合流制的污水处理厂,需特别关注进水含砂情况。对于进水含砂量过高的项目,还需同步关注收纳区域排水管网的状况及施工管理情况,以便采取针对性措施加以改善。

2.2 预处理单元

常规来说,城市污水处理厂主要的除砂单元为“沉砂-初沉”系统。

2.2.1 沉砂池

沉砂池是目前城市污水处理厂预处理段的主要处理构筑物,是位于细格栅之后的主要除砂设备。常用沉砂池根据结构形式和除砂原理可分为平流沉砂池、旋流沉砂池和曝气沉砂池3种。

平流式沉砂池主要由进水渠、沉砂区、出水渠、集砂斗等部分组成,根据理想沉淀池原理进行设计,当污水在沉砂池中的运行停留时间大于或等于目标去除的砂粒沉降时间,可实现对目标砂粒的拦截,所以水平流速是影响平流式沉砂池除砂效率的关键因素。平流式沉砂池仅对大颗粒物质(粒径 $\geq 0.6 \text{ mm}$)的去除效果好,当颗粒粒径 $< 0.6 \text{ mm}$ 时,砂粒很容易被水流带走。在沉砂池的发展过程中,平流式沉砂池已被运营管理方便、占地面积小、机械化程度高的旋流沉砂池和功能更具优势的曝气沉砂池取代。

旋流式沉砂池主要是在无机砂粒的重力和机械搅拌桨产生的离心力共同作用下达到除砂和有机物分离的目的。目前,较常用的两种旋流沉砂池分别是来自英国的钟式沉砂池和美国的比氏沉砂池。

曝气沉砂池为一种长方形渠道,池内设有曝气设备,曝气作用使水流产生垂直于主流方向的速度,进而与水平流产生的横向环流形成螺旋型流态,污水中密度相对较大的无机颗粒会通过旋流运动产生的离心力甩向外侧并下沉。美国清水及污水协会曾测试曝气沉砂池和旋流沉砂池对不同粒径砂粒的除砂效率,结果表明,普通沉砂池针对200 μm 以上粒径砂砾的去除效果会更理想。

笔者调研了国内近200座污水处理厂的沉砂池类型,其中旋流沉砂池占比最高,为57%;其次为曝气沉砂池,占比32%。超过80%的污水处理厂除砂

效果处于非正常范围(0.015~0.030 L砂/m³水)。由于沉砂池除砂效果不理想,大量泥砂淤积在池底、堵塞泵口和提砂管、搅拌设备和排泥泵磨损极高,维修频繁,严重影响污水处理厂的正常运行。

我国现行旋流沉砂池技术规范——《环境保护产品技术要求 旋流除砂装置》(HJ 2538—2014),对沉砂池设计只规定了200 μm以上颗粒的去除率,即对粒径>1.0 mm的颗粒去除率达到95%、粒径为0.5~1.0 mm的颗粒去除率达到85%、粒径为0.2~0.5 mm的颗粒去除率达到65%。邵超^[7]通过模型研究发现,曝气沉砂池在现有运行状态下,对0.2 mm以下的砂粒去除率为40%左右,对0.2~0.3 mm的砂粒去除率达62%。张春艳等^[8]比较了郑州市五龙口污水处理厂一期旋流沉砂池和二期曝气沉砂池的除砂效果,结果表明旋流沉砂池对粒径≥0.3 mm的无机砂粒的去除率高于曝气沉砂池,曝气沉砂池对粒径分别为0.100 mm左右和0.055 mm左右无机砂粒的去除率高于旋流沉砂池。刘梁等^[9]采集了6座不同城市污水处理厂的沉砂池进、出水,实测发现曝气沉砂池或旋流沉砂池的除砂目标粒径为150~212 μm,加权平均除砂率为9.16%~52.02%。

对22座污水处理厂沉砂池的进、出水样进行检测,发现无机砂含量以及粒径变化均未呈现明显的改善趋势,甚至个别污水处理厂的无机砂含量还出现轻微的升高。结果表明,无论曝气沉砂池还是旋流沉砂池,在无机砂的去除效果方面均未达到预期目标。此外,推测部分沉砂池底部可能存在泥砂沉积情况,当水流经过时,可能会将底部沉积的泥砂重新卷起并带出,从而影响沉砂池的正常运行效果。

从理论上来看,传统的曝气沉砂和旋流沉砂工艺主要适用于粒径>200 μm的无机砂砾。然而,在实际运行过程中,污水处理厂的进水无机颗粒以粒径≤100 μm的细微颗粒为主,这一粒径范围远低于沉砂池的设计去除粒径,因此无论采用曝气沉砂还是旋流沉砂工艺,其实际的除砂效果都不理想。

2.2.2 初沉池

初沉池设置在沉砂池后,主要用于进一步去除沉砂池出水中的悬浮物。初沉池在合理设置和运行下,可以去除进水中50%~70%的悬浮固体物质和25%~40%的BOD₅。袁泉^[10]对某污水处理厂初沉池进、出水SS的研究表明,初沉池对SS具有较好的

去除作用,去除率为45%~76%,全年平均为61%。何莉^[2]研究分析了重庆市某污水处理厂进、出水细微泥砂浓度及粒径变化,通过初沉池后,SS浓度由(1 048.7±335.7) mg/L降至(317.6±125.0) mg/L,体积平均粒径由(57.58±8.15) μm降至(49.56±7.73) μm。对本次调研的22座污水处理厂中沉砂池的除砂效率进行分析,发现初沉池对SS的平均去除率达到34.41%,无机砂平均去除率达到67.12%。

虽然初沉池对无机砂有一定的去除效果,但仍有一部分泥砂进入生化系统。在实际项目运行中,许多污水处理厂为了满足严格的氮磷等营养物质排放标准,往往选择保留进水中的有机物,而舍弃初级污泥沉降这一环节。这一做法虽然有助于满足排放要求,但也间接导致生化池中无机泥砂含量升高的风险进一步增加^[11]。

2.3 生化单元

刘紫威^[12]研究表明,当进水中无机固体浓度较高时,活性污泥中约4/5的无机成分来自进水中的无机物,这可使MLVSS/MLSS比值从70%降至50%。进入生化单元的无机砂粒径通常较小,其中一部分悬浮在泥水混合液中,从而降低了活性污泥的MLVSS/MLSS比值。污水处理厂进水中无机悬浮固体浓度高、无机颗粒粒径小以及沉砂池除砂效率低是活性污泥MLVSS/MLSS比值偏低的主要原因。当MLVSS/MLSS比值降低后,为了维持足够的有效污泥浓度,MLSS必然会上升。此外,粒径较小的无机砂粒进入生化单元后,一部分沉积在生化池底部,其中采用氧化沟和不设初沉池的AAO工艺污水处理厂运行1~2年后,其生化单元底部会淤积0.5~2.0 m深的泥砂^[13~14]。

边德军等^[14]研究发现,随着排泥量的减少和污泥龄的增加,污泥浓度也会随之上升。当污泥龄从50 d增加到90 d时,初始污泥浓度从3 880 mg/L增至9 180 mg/L。胡小兵等^[15]还发现,纯氧曝气的污泥浓度高于空气曝气,稳定期的纯氧曝气和空气曝气的污泥浓度分别为4 225.57、3 915.71 mg/L。李久义等^[16]采用序批式活性污泥反应器(SBR)研究氯化铁(FeCl₃)对活性污泥絮体结构的影响,结果表明,在进水中投加100 mg/L的FeCl₃后,泥水混合液的MLVSS/MLSS比值从0.78降至0.50。进一步调研发现,除磷剂的投加位置对生化池的MLVSS/MLSS比值也有显著影响。相较于在二沉池入口处

投加除磷剂的污水处理厂,在二沉池后投加除磷剂的污水处理厂,其平均 MLVSS/MLSS 比值高出 4.12%。

此外,季节变化对污泥活性也有显著影响。春夏两季,随着温度升高,微生物的生命活动和繁殖能力增强;而秋冬两季,尤其是冬季,气温降低,污泥活性受到明显抑制。为保障出水达标,不得不提高污泥浓度。

综上所述,除污水原水特性和预处理除砂效果外,污泥龄、供氧纯度、除磷剂投加量和投加位置以及气候引起的环境温度变化等因素,均会对污泥浓度和污泥活性产生显著影响。

2.4 深度处理

为确保污水处理厂出水能够满足严格的排放标准,许多污水处理厂在生化单元后端增设了深度处理单元,以进一步去除 COD、SS、氮、磷等污染物。我国大多数污水处理厂常用的深度处理工艺主要有高效沉淀池、砂滤池、混凝沉淀池、纤维转盘滤池等,通常单独或组合使用混凝剂以增强处理效果。

经过二级生化处理后的出水,其 SS 一般低于 30 mg/L,其中的无机颗粒含量已显著降低,对深度处理单元的影响相对较小。然而,在部分污水处理厂的设计中,除磷剂被投加在深度处理单元,并且产生的化学污泥被直接或间接回流至生化池,从而降低生化系统活性污泥的 MLVSS/MLSS 比值。

国内常用的除磷剂为铝盐和铁盐。研究表明,每去除 1 mg 的磷,铝盐和铁盐分别会产生 6.50、8.30 mg 的化学污泥。因此,深度处理单元去除的磷越多,产生的化学污泥量越大,经过污泥回流后对生化系统活性污泥的影响也越显著。

2.5 污泥脱水

污泥的高含水率严重制约其无害化处理,因此脱水成为污泥处置的关键环节。然而,污泥直接脱水难度很大,在脱水前需先进行浓缩和调理。

污泥浓缩的主要目的是去除污泥中的间隙水,我国常用技术包括浮选浓缩、机械浓缩和重力浓缩等,其中重力浓缩因成本较低而应用广泛。浓缩后的污泥含水率仍高达 98% 左右,通常需进行调理以改善其脱水性能。污泥调理主要分为化学调理、物理调理和生物调理 3 种,其中化学调理应用最广泛,常用的调理药剂包括高分子絮凝剂、无机絮凝剂和氧化剂[如聚电解质、Fe(II)、Fe(III)、Al(III)和

石灰]^[17-18]。

目前,我国主要采用机械脱水方式。机械脱水通常先通过投加无机盐或高分子混凝剂等对污泥进行调理处理,改善其脱水性能后,再利用板框压滤机、离心脱水机和带式压滤机等机械设备进行脱水,其中带式脱水污泥含水率为 80%~85%,离心脱水污泥含水率为 75%~80%,板框脱水污泥含水率为 60%~75%。研究表明,污泥的理化性质会直接影响其脱水性能,而稳定脱水过程较困难,且运行成本较高^[19]。

无论是污泥浓缩还是脱水,都需要通过添加药剂对污泥进行调理。尤其是大量无机药剂的添加,在沉降、压滤和冲洗过程中产生的污水回流可能会重新进入污水处理系统,这不仅会增加系统的处理负担,还可能在一定程度上提高无机污泥的比例。

污泥脱水是污水处理厂实现污泥减量的主要手段。然而,无机颗粒物浓度高、进水水质浓度提升以及排放标准趋严,均会显著增加污泥产生量,导致部分污水处理厂原有脱水设施处理能力不足。目前,部分污水处理厂的脱水污泥存在产量大、含水率高、有机质含量低、热值不高等问题,严重制约了污泥的最终处置出路^[19]。污泥出路受限,加之脱水设备处理能力不足,使得污水处理厂不得不减少排泥量,从而进一步推高了生化池的污泥浓度,形成恶性循环,给污水处理厂的稳定运行带来了更大的挑战。

3 结论与建议

3.1 结论

综合调研分析结果表明,我国城镇污水处理厂普遍存在的污泥浓度高(MLSS>5 000 mg/L)、活性低(MLVSS/MLSS≤50%)等问题,是多重工艺环节协同作用的结果,主要包括以下几个方面:

① 进水特征:高无机颗粒负荷(ISS/SS均值为 39.85%)、细微砂粒(粒径≤100 μm 的颗粒占比约为 70%)为主,形成源头压力。

② 预处理短板:沉砂池对细微颗粒的去除率不足 50%,污水超越初沉池会进一步增大泥砂浓度升高的风险。

③ 生化系统调控失当:污泥龄过长(>50 d)、化学除磷剂投加干扰(投加 FeCl₃使 MLVSS/MLSS 比值降低超过 4%)、低温活性抑制等问题加剧污泥浓

度升高。

④ 系统耦合效应:深度处理化学污泥回流、污泥脱水单元产能不足、污泥出路受限导致剩余污泥滞留,形成“高浓度-低活性-高能耗”恶性循环。

3.2 建议

鉴于污水处理厂运行中泥砂问题对系统效率、能耗、维护成本及出水水质的多重负面影响,提出如下建议:

① 强化预处理,截留细微砂粒,减轻生化负荷。针对粒径 $\leq 100\ \mu\text{m}$ 的颗粒,采用精密除砂装备,提升除砂率至80%以上,从源头减少泥砂进入生化系统;在具备条件的区域,对合流制管网进行精准调控,及时修复管网破损区域,减少外源泥砂进入污水系统。

② 提升污泥活性,控制污泥浓度。通过在线污泥浓度监测和污泥龄动态控制,结合人工智能算法预测污泥浓度和活性变化,实现精准调控。推动技术改造,降低系统对高污泥浓度的依赖,优化生化处理效能。

③ 避免化学污泥或无机污泥回流。将除磷剂投加点位调整至二沉池后,确保深度处理单元产生的化学污泥独立脱水,避免无机污泥回流至生化系统,降低对活性污泥性能的影响。

④ 打通污泥处理处置出路,阻断恶性循环。增加污泥脱水设备产能,确保污泥及时脱水外运;采用化学调理、物理调理和生物调理相结合的方式,改善污泥脱水性能。积极协调多元化外部独立或协同处置方式,确保污泥外运出路畅通,避免由处置受限导致的排泥减少和生化池污泥浓度上升。

参考文献:

- [1] 曹业始,郑兴灿,刘智晓,等.中国城市污水处理的瓶颈、缘由及可能的解决方案[J].北京工业大学学报,2021,47(11):1292-1302.
CAO Y S, ZHENG X C, LIU Z X, et al. Bottlenecks and causes, and potential solutions for municipal sewage treatment in China[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2021,47(11): 1292-1302(in Chinese).
- [2] 何莉.生化处理系统无机固体分布特性及累积机制研究[D].重庆:重庆大学,2014.
HE L. Distribution Characteristics and Accumulation Mechanisms of Inorganic Suspended Solids in Wastewater Treatment Biochemical System [D].

Chongqing: Chongqing University, 2014(in Chinese).

- [3] INC E M. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse [M]. 4th ed. US: McGraw Hill Higher Education Press, 2002.
- [4] 姜宁.污水处理厂预处理段除砂能力及细微泥砂强化去除技术[D].重庆:重庆大学,2015.
JIANG N. Grit Removal Ability Evaluation of Sewage Disposal Pretreatment Plant and Removal Technique of Fine Sediment [D]. Chongqing: Chongqing University, 2015(in Chinese).
- [5] 王颖.细微泥沙粒径对活性污泥MLVSS/MLSS的影响及预测研究[D].重庆:重庆大学,2016.
WANG Y. The Effect of Fine Grit Particle Size on Activated Sludge MLVSS/MLSS and Prediction Research [D]. Chongqing: Chongqing University, 2016(in Chinese).
- [6] 段庄,陈诗浩,姚娟娟,等.珠海浅丘地区城中村合流制排水的水量和水质特征[J].中国给水排水,2020,36(13):101-105.
DUAN Z, CHEN S H, YAO J J, et al. Wastewater quantity and quality characteristics of combined sewer system in urban village in shallow hilly region of Zhuhai City [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(13): 101-105(in Chinese).
- [7] 邵超.曝气沉砂池除砂效率实验研究[D].合肥:合肥工业大学,2012.
SHAO C. The Experimental Study on Desanding Efficiency of Aerated Grit Chamber [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2012(in Chinese).
- [8] 张春艳,董涛,乔万玺,等.旋流沉砂池和曝气沉砂池除砂效果对比[J].水处理技术,2014,40(2):54-56.
ZHANG C Y, DONG T, QIAO W X, et al. Application practice of rotary filter in wastewater treatment plant [J]. Technology of Water Treatment, 2014, 40(2): 54-56 (in Chinese).
- [9] 刘梁,刘伟华,刘智晓.城市污水含砂特征及不同沉砂池除砂效率研究[J].中国给水排水,2023,39(21):61-66.
LIU L, LIU W H, LIU Z X. Characteristics of grit distribution in municipal wastewater and grit removal efficiency of different grit chambers [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(21): 61-66(in Chinese).
- [10] 袁泉.城市污水厂初沉池的设置方式及运行效果[J].环境科学与管理,2008,33(1):126-128,132.
YUAN Q. The first clarifier of circulate result and establish a way inquiry into in WWTP [J].

- Environmental Science and Management, 2008, 33(1): 126-128, 132(in Chinese).
- [11] 戴晓虎, 赵玉欣, 沙超, 等. 我国污水处理厂污泥含砂特征及成因调研[J]. 给水排水, 2014, 40(增刊1): 75-79.
- DAI X H, ZHAO Y X, SHA C, et al. Investigation on the status and cause of sludge sand content of wastewater treatment plants in China [J]. Water & Wastewater Engineering, 2014, 40(S1): 75-79(in Chinese).
- [12] 刘紫薇. 利用ASM1模型分析进水颗粒无机物对污水厂运行的影响[D]. 扬州:扬州大学, 2021.
- LIU Z W. Using ASM1 Model to Analyze the Influence of Inorganic Particles in Influent on the Operation of Sewage Treatment Plant [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2021(in Chinese).
- [13] 范剑平. 生化池不同粒径细微泥沙的悬浮特性及其分离技术[D]. 重庆:重庆大学, 2016.
- FAN J P. Suspension Properties of Fine Grit with Different Particle Sizes in Bioreactors and Separation of Fine Grit from Bioreactors [D]. Chongqing: Chongqing University, 2016(in Chinese).
- [14] 边德军, 赵乐欣, 王宁, 等. 超长污泥龄对MPR工艺脱氮除磷效果的影响[J]. 环境工程学报, 2021, 15(5): 1735-1743.
- BIAN D J, ZHAO L X, WANG N, et al. Effects of ultra-long sludge retention time on denitrification and phosphorus removal by MPR process [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2021, 15(5): 1735-1743(in Chinese).
- [15] 胡小兵, 刘孔辉, 赵鑫. 纯氧曝气活性污泥浓度与沉降性能研究[J]. 环境科技, 2014, 27(1): 53-56.
- HU X B, LIU K H, ZHAO X. Study on concentration and settle ability of activated sludge in SBR with pure oxygen aeration [J]. Environmental Science and Technology, 2014, 27(1): 53-56(in Chinese).
- [16] 李久义, 吴晓清, 陈福泰, 等. Fe(III)对活性污泥絮体结构和生物絮凝作用的影响[J]. 环境科学学报, 2003, 23(5): 582-587.
- LI J Y, WU X Q, CHEN F T, et al. Effects of Fe(III) on floc surface properties and bioflocculation of activated sludge[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2003, 23(5): 582-587(in Chinese).
- [17] ZHEN G Y, YAN X F, ZHOU H Y, et al. Effects of calcined aluminum salts on the advanced dewatering and solidification/stabilization of sewage sludge [J]. Journal of Environmental Sciences (China), 2011, 23(7): 1225-1232.
- [18] REN W C, ZHOU Z, JIANG L M, et al. A cost-effective method for the treatment of reject water from sludge dewatering process using supernatant from sludge lime stabilization [J]. Separation and Purification Technology, 2015, 142: 123-128.
- [19] 吴春旭, 唐明悦, 张鸿涛, 等. 我国不同地区市政污泥理化性质及其对脱水性能的影响[J]. 环境工程学报, 2021, 15(1): 271-278.
- WU C X, TANG M Y, ZHANG H T, et al. Effect of the physicochemical properties of municipal sludge from different areas in China and their influence on dewatering performance [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2021, 15(1): 271-278(in Chinese).

作者简介:王光辉(1981—),男,山东沂水人,工学硕士,正高级工程师,北京首创生态环保集团股份有限公司副总经理,中国城镇供水排水协会教育委副主任,擅长领域为水务技术、投资、建设和运营等,主持并参与多项行业、地方标准的编制及审查,参与多项国家、地方科研课题的研究,先后荣获国家现代化创新管理二等奖,北京市现代化创新管理一等奖、二等奖,华夏建设科学技术奖二等奖等多项省部级奖励,发表论文20多篇,申请多项国家专利。

E-mail: wangh@capitalwater.cn

收稿日期: 2024-11-19

修回日期: 2025-06-25

(编辑:丁彩娟)