施工营地生活污水处理技术研究进展与展望

文 兴 代海波 何天豪
四川电力设计咨询有限责任公司 四川 成都 610041

【摘 要】：施工营地生活污水产源分散、水量小且波动大、排放临时间歇，普遍存在设施建成即闲置、运行难达标的问题。本文梳理了其水量水质特征、六类主要处置方法及存在的问题，综述了电化学耦合、模块化一体化装备、气驱式 SBR、生物转盘、蚯蚓强化人工湿地及资源化与智慧管控等新技术进展，并展望了差异化精准选型、装备低碳化耐低温、资源化全循环、全过程监管和标准资金体系建设等发展方向。

【关键词】：施工营地；生活污水；一体化处理设备；人工湿地；资源化利用

DOI:10.12417/2705-0998.26.14.030

引言

随着交通强国与水网建设推进，公路、铁路、桥梁、水利水电及装配式建筑等大型建设项目沿线设立的施工营地集中了大量人员，其生活污水成为施工期水环境的主要污染源之一。营地多位于偏远山区或生态敏感区，污水直接排放将影响沿线水体、土壤与生态系统。

当前施工营地污水处理存在六方面问题。一是产源分散、水量小而波动大，水量波动剧烈，时变化系数达 2.87[5]，城市集中处理模式难以直接移植；二是设施与营地的临时属性不匹配，营地使用期满须恢复土地原状，传统生化构筑物投资高、难以搬迁，多数营地仅建简易化粪池或沉淀池；三是环保意识与专业人才薄弱，设施多由后勤人员兼管，重建轻管；四是技术选型与现场条件错配，高原高寒地区低温低氧，生物处理更难达标；五是标准规范与资金保障不足，尚无针对临时性排污点的技术指南与排放标准；六是污泥处置缺失，污泥多随意堆放或就地填埋，存在二次污染风险[1]。

1 施工营地生活污水的特点

施工营地污水是施工期废水的组成部分。以铁路工程为例，施工期废水分为营地生活污水、机械冲洗污水与隧道施工污水三类，需分别对待；生活污水属典型生活污水，但水量规模与运行环境更趋极端。

1.1 水量特点

营地生活污水产生量约为人均 0.15～0.40 m^3/d[3]；偏远小型营地日污水量仅数立方米，甚至低于一体化设备最小处理量[7]。日排放量集中在早、中、晚三个时段，实测分别占最高日产水量的 7.77%、17.80%和 21.45%，时变化系数达 2.87，要求系统具备良好的水量调节与抗冲击能力。冬季 COD 与 TP 浓度较夏季分别高出约 26%和 168%[5]；寒旱地区冬季低温易导致处理不达标，雨季降雨汇入存在外溢风险。

1.2 水质特点

营地污水由生活污水与施工废水组成，占比约 80%与 20%，前者以 COD、BOD_5和氨氮为主，后者以悬浮物为主。生活污水 COD 通常为 400～600 mg/L、BOD_5为 180～250 mg/L、氨氮约 45 mg/L[6]；其 BOD_5/COD 大于 0.4，可生化性良好，基本不含重金属与难降解有机物[8]。食堂、洗车等含油污水需先经隔油池预处理，否则影响后续生物处理[3]。

1.3 排放去向与受纳环境

污水排放去向包括接入市政或园区管网、达标排入地表水体、回用于营地杂用与绿化灌溉，以及集中收集后由吸污车外运或就地贮存、蒸发、下渗消纳。营地多位于水源涵养区与生态敏感区，受纳水体自净能力弱，部分区域明确要求零排放[4]，对处理深度要求更高。

2 施工营地生活污水的主要处置方法及存在问题

2.1 现有主要处置方法

（1）纳管转运与集中处置。周边有管网的营地可直接纳管，也可设大型化粪池集中存放后定期外运，重点是合理确定池容并做好防渗；如不具备纳管条件也可将污水经设备预处理后由吸污车转运处置。

（2）化粪池。化粪池构造简单、造价低，是营地最普遍的初级设施，但有机物去除能力有限、出水难以达标，清掏不及时会造成出水恶化。将其与人工湿地组合后，对 COD 去除率达 80.83%～88.99%、对 TP 达 74.02%～95.91%，出水可满足回用标准[4]。

（3）好氧生物处理。生物接触氧化法去除率高、产泥量少、管理方便；浙江某营地与锦屏水电站 3#营地采用二级接触氧化与“缺氧水解—接触氧化”工艺，陕西某工程以改进型一体化 A/O 工艺强化反硝化。

（4）MBR 与一体化设备。MBR 以膜组件替代二沉池，出水水质好、占地小，但膜需定期清洗更换、能耗较高；SBR 集均化、降解与沉淀于一池，耐冲击负荷，可达一级 A 标准；一体化设备高度集成，适配营地临时性需求[6]。

（5）生态处理。人工湿地建设运行成本低、维护简单，但占地大、受气温影响显著、易堵塞；稳定塘造价与运行费用

极低，但占地大、效率较低；蚯蚓强化人工湿地通过蚯蚓摄食与掘穴改善填料通透性，提高处理效率与抗堵塞能力[4]。

（6）贮存消纳与生产废水回用。干旱缺水或冬季生物处理难以稳定运行的地区可采用贮存、蒸发消纳；机械冲洗废水经多级沉淀后循环回用，混凝土罐车冲洗水宜先经砂水分离[3]。

2.2 现有处置方法存在的主要问题

现有方法的问题体现在：选址与容量设计不合理，防渗不到位会污染地下水，雨季降雨汇入易造成外溢；处理效果难以稳定达标，简易化粪池对溶解性污染物基本无去除效果，MBR 易发生膜堵塞，生物膜法冬季对氨氮去除不稳定[3]；传统构筑物占地大、投资高，与营地临时性不匹配[6]；低温、低气压与低氧抑制微生物生长，常规生物处理难以满足高标准要求[5]；重建轻管、专业人才匮乏；缺乏针对临时性排污点的技术指南与排放标准；污泥多随意堆放或就地填埋，剩余污泥长期不清掏会导致污泥上浮、出水恶化[1]。

3 施工营地生活污水的新处理方法

3.1 物化强化与电化学耦合技术

针对营地污水仅靠曝气生物滤池难以达标的问题，祁建民等研发了电化学耦合曝气生物滤池技术，以沸石为填料强化氨氮吸附，并利用电絮凝与电催化强化脱氮除磷[8]。中试表明，出水 COD、氨氮、总氮、总磷分别降至 50、1、15、0.5 mg/L 以下，去除率分别为 90%、99%、80%、98%，达到 GB 18918—2002 一级 A 标准；该工艺自动化程度高、占地小、抗冲击负荷能力强[8]。

3.2 高集成一体化与模块化可搬迁技术

（1）移动式一体化设备。马强等开发的适合黄河施工营地的移动式设备采用 A/O 工艺，产泥量较传统方法减少 50%～80%，吨水电耗仅 0.5～0.65 kW·h，一周内可完成现场安装调试[7]。（2）模块化适配设计。闫红霄提出“工艺优化选型—模块化设备适配—资源化路径优化”框架，设备分为预处理、生化、深度处理与控制四大模块，可快速拆装；雄安新区装配式住宅营地设备日处理 50 m³、占地 36 m²，出水稳定达一级 A 标准，投资回收期 4.2 年[6]。（3）抗低温成套装备。李长春等发明的抗低温一体化装备采用缺-厌氧池与好氧池嵌套布置实现硝化液自动回流；好氧池设平板膜组件，抗污染能力强，出水优于 GB 18918 一级 A 标准。

3.3 低能耗与耐低温生化技术

（1）气驱式混合污泥序批生物反应器。针对高原铁路营地污水分散、波动大、缺专业人才的问题，王碧军采用半地埋式气驱式 SBR，通过自动控制实现进水、曝气、沉淀与排泥等阶段[5]。排泥比 40%～60%时，COD 平均去除率达 90%以上，氨氮与总氮平均去除率分别达 90%和 70%以上，出水符合一级 A 标准；吨水能耗仅 1～1.09 kW·h，而接触氧化工艺高达 1.75 kW·h，优势显著[5]。（2）生物转盘工艺。孔德浩等针对高寒缺氧的西藏高原营地采用“格栅—调节池—一体化生物转盘（PAC 加药）—清水池”工艺，以 PAC 除磷、紫外消毒，系统可自动抽水与加药，并采取保温房、盖板防护等措施保障冬季运行[4]。

3.4 生态强化与资源化利用

（1）生态强化。“化粪池＋人工湿地”组合工艺利用营地分布分散、周边土地相对充裕的特点，以低建设成本与低能耗实现达标处理，适合土地充裕、气候温暖的地区；桥梁工程采用钢板桩围堰可显著减轻施工对河水水质的影响[2]。（2）资源化利用。处理出水可回用于冲厕、绿化、道路与车辆冲洗及降尘，生活污水经 MBR 处理后回用率达 60%，施工废水经混凝沉淀过滤后回用率达 80%；厌氧处理可将有机物转化为沼气用于炊事照明[8]；污泥经脱水稳定化与好氧堆肥可制成有机肥，实现零填埋[6]。（3）智慧管控。工程普遍采用 PLC 自动控制，可随水质水量变化调节曝气与排泥并实现无人值守[7]；物联网与远程预警已成为重要方向。

4 施工营地生活污水处置的未来发展方向

4.1 差异化精准选型

具备纳管条件的营地宜采用化粪池预处理后纳管或集中外运；用地紧张、环境敏感的大型营地宜采用以 MBR 或 SBR 为核心的一体化生化处理；土地充裕、气候温暖的地区可选用人工湿地、稳定塘等生态处理，并制定分级排放标准。

4.2 装备低碳化与耐低温

应发展模块化、可快速拆装的一体化装备，通过统一接口实现模块互换与整体转运，使设备在工程结束后可转移至下一项目；推广低能耗与自充氧工艺，如吨水能耗仅 1～1.09 kW·h 的气驱式序批生物反应器；采用半地埋或地埋布置并辅以保温措施，保障冬季与高原环境稳定运行[7]。

4.3 资源化全循环

应构建“分质收集—分级处理—定向回用”的全循环模式：源头对含油废水、黑水与灰水分类收集处理；回用环节将达标出水用于施工降尘、车辆冲洗、绿化与冲厕；物质回收环节通过厌氧消化回收沼气，并将污泥制成有机肥，实现零填埋。

4.4 全过程监管

应构建覆盖设计、施工、运营与验收的监管体系：招标与合同环节明确环保经费；实施环节推行施工自查、监理巡查、业主抽查与环保监查的四查机制；验收环节对施工期环保效果进行综合评估。崇启长江大桥工程签订环保专项责任书、设立专项经费并聘请高校力量指导全过程管理的做法值得借鉴。

4.5 标准与资金体系

一是编制施工营地污水处理技术指南，为不同条件项目提供选型与设计指导；二是在项目概算中设立施工期环保专项经费，建立“以奖代补”激励机制；三是完善运行管理规范，明确设施运行、监测与污泥处置要求，并鼓励研发低成本、模块化的处理设备与快速检测仪器。

5 结语

施工营地生活污水产源分散、水量小而波动剧烈、排放临时间歇、水质随季节变化显著，城市集中式工艺难以直接移植。化粪池与简易沉淀设施长期是主要手段，普遍存在达标困难、设施与临时属性不匹配、低温与高原适应性不足、运维监管缺位、标准与资金保障缺失、污泥处置不规范等问题。近年发展的电化学耦合曝气生物滤池、模块化一体化装备、气驱式 SBR、生物转盘、蚯蚓强化人工湿地等新技术展现出良好效果与适应性。未来应立足差异化精准选型，发展模块化、可搬迁、低碳耐低温装备，构建资源化全循环模式，健全全过程监管与标准资金保障机制，形成投资省、占地小、运行稳、可循环的专用技术体系。

参考文献：

[1] 何吉成,刘梦丹.高速公路施工营地生活污水处理现状、问题与对策研究[J].中国科技成果,2026(10):42-45.

[2] 周伯明.大型建设项目施工营地污水处理技术——以崇启长江大桥为例[J].现代交通技术,2013,10(3):87-90.

[3] 封国强.铁路工程施工期水环境污染分析与控制[J].铁路节能环保与安全卫生,2021,11(5):25-28.

[4] 史志翔.宝汉高速公路施工水环境保护研究[D].西安:长安大学,2012.

[5] 王碧军.气驱式混合污泥序批生物反应器处理高原铁路建设营地生活污水中试研究[D].兰州:兰州交通大学,2024.

[6] 闫红霄.基于一体化污水处理技术的装配式建筑施工营地污水治理技术研究[J].建设科技,2026(2):108-111.

[7] 马强,贾士强,赵兴光,等.一种适合黄河施工营地的移动式一体化污水处理设备:CN 206940693 U[P].2018-01-30.

[8] 祁建民,张玉佩,邱勇军,等.电化学耦合曝气生物滤池处理施工期生活污水[J].南京师大学报（自然科学版）,2023,46(4):125-130.