

智能化管控在污水厂HDPE膜施工质量提升中的应用

竺芭松茂

中国联合工程有限公司 浙江 杭州 310000

摘要：智能化管控通过物联网、大数据、BIM等技术，在污水厂HDPE膜施工中实现全流程质量提升。利用高精度传感器实时监测焊接温度、压力等参数，结合AI算法动态调整工艺，提升焊缝合格率；通过BIM模拟优化阴阳角铺贴方案，无人机扫描检测节点密封质量；智能抽检系统实现材料进场快速筛查，降低不合格率。该技术体系有效解决了传统施工依赖人工经验、质量数据联动性差等痛点，推动防渗工程向精准化、智能化转型。

关键词：智能化管控；污水厂；HDPE膜施工；质量提升；应用

引言：随着环保要求日益严格，污水厂防渗工程的质量管控愈发关键。HDPE膜作为核心防渗材料，其施工质量直接影响污水厂的长期稳定运行。然而，传统施工方式依赖人工经验，存在质量波动大、数据追溯难等问题。智能化管控技术通过物联网、大数据、AI算法等手段，实现施工全流程实时监测与动态优化，不仅能显著提升HDPE膜施工质量，还能降低返工成本与工期延误风险，成为推动防渗工程高质量发展的关键路径。

1 文献综述

1.1 HDPE膜施工质量控制研究现状

(1) 现有研究聚焦于材料性能、焊接工艺、节点处理等单点技术优化。材料层面围绕HDPE膜抗腐蚀、抗老化等性能展开适配性研究，针对垃圾填埋场、地库等不同场景优化膜材参数；焊接工艺上，开发带温度、速度自动调节功能的高精度热风设备，采用初焊、复焊、补焊多层工艺，并结合超声波探伤、红外热成像等检测技术保障焊缝质量；节点处理方面，通过BIM预排版优化阴阳角铺贴方案，增设附加层与密封胶层强化防渗效果，合格率可从84.0%提升至95.8%。(2) 缺乏对施工全流程系统性管控的研究。现有成果多针对单一环节，未形成涵盖地基处理、膜材铺设、焊接检测、成品保护的全链条管控体系。如人工与机械铺设的衔接标准、复杂地形下施工参数动态调整机制、各工序质量数据的联动分析等系统性问题尚未得到有效解决^[1]。

1.2 智能化管控技术发展现状

(1) 物联网、大数据、BIM在工程领域的应用案例已具实践基础。BIM技术在地库HDPE卷材施工中实现精准排版，优化下料尺寸与铺贴顺直度；物联网技术通过激光测量系统实时校正膜材定位，结合环境监测设备采集温湿度数据以调整施工参数；大数据平台则支撑施工过程参数的实时记录与缺陷识别，为质量追溯提供依

据。(2) 智能化管控在污水处理厂已取得显著实践成果。五河县污水处理厂通过物联网采集进水流量、污染物浓度等数据，借助大数据与AI构建滤池智能控制模型，动态调节运行格数与曝气强度，减少冗余能耗10%-25%，同时提升抗冲击负荷能力与水质稳定性，实现从经验驱动向数据驱动的转型。

2 智能化管控技术体系构建

2.1 核心技术模块

(1) 物联网感知层以高密度传感器网络为核心，温度传感器实时监测HDPE膜焊接区域温度，精度达 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，避免温度过高导致膜材老化或过低影响焊接强度；压力传感器部署于膜材铺设面，实时捕捉地基沉降引发的压力变化，预警值设为0.3MPa；位移传感器安装于膜材接缝处，监测拉伸位移量，数据采集频率1次/秒，全面覆盖施工关键数据采集场景。(2) 数据传输层采用5G与LoRa双模传输技术，5G网络保障焊接参数、实时影像等大容量数据高速回传，时延控制在10ms内；LoRa技术针对传感器低功耗数据传输优化，覆盖半径达1-3km，满足大型施工场地信号需求，双技术协同实现数据传输无死角与高效性。(3) 智能分析层搭载基于随机森林算法的质量预测模型，输入温度、压力、焊接速度等12项参数，预测焊缝合格率准确率超92%；缺陷识别算法结合机器视觉，对焊接区域图像进行像素级分析，可自动识别气泡、虚焊等6类缺陷，识别速度0.5秒/帧，大幅提升质量把控效率^[2]。(4) 应用决策层依托BIM可视化平台，集成施工进度模拟与动态优化功能，可模拟不同温湿度下的施工方案，当实际数据偏离预设值时，自动生成参数调整指令，如焊接温度补偿建议、铺设路径优化方案，实现施工全过程动态管控。

2.2 系统架构设计

(1) 云端-边缘端协同架构中，边缘端部署于施工项

目部，负责实时数据处理与紧急决策，如当位移传感器监测值超阈值时，10秒内触发本地预警；云端承担大数据存储与深度分析，每日生成施工质量报告，支持历史数据回溯与趋势预测，兼顾实时响应与长期分析需求。

(2) 模块化功能设计涵盖四大核心模块，材料管理模块实现HDPE膜进场检验、库存预警全流程追溯；焊接监控模块实时显示焊接温度、速度曲线；节点密封模块记录密封胶涂抹厚度、固化时间；质量检测模块整合探伤数据与缺陷识别结果，各模块数据互通，形成闭环管控。

3 智能化管控在污水厂 HDPE 膜施工质量提升中的应用

3.1 材料进场智能化检验

(1) HDPE膜出厂时绑定内置RFID标签，标签存储生产批次、厚度、抗渗等级、出厂日期等核心信息，材料进场时通过RFID读写器快速读取数据，自动匹配项目采购标准，筛选不符合规格的膜材。同时，AI图像识别系统通过高清工业相机拍摄膜材表面，采集纹理、色泽、平整度等图像数据，基于训练好的卷积神经网络模型，自动识别划痕、孔洞、褶皱等表面缺陷，识别精度达0.1mm，可有效避免人工检验的主观性误差，实现材料质量初步筛查的标准化与高效化^[3]。(2) 案例：某污水厂HDPE膜施工项目引入智能抽检系统后，通过RFID标签实现材料全生命周期追溯，结合AI图像识别技术替代传统人工目视检验，将材料抽检效率提升3倍，材料不合格率从3.2%降至0.5%，大幅减少因材料问题导致的返工成本与工期延误。

3.2 基层处理动态优化

(1) 基层施工前，激光扫描仪按照50cm×50cm网格密度对地基表面进行三维扫描，生成高精度点云模型，通过专业软件自动计算基层压实度与平整度数据，并以热力图形式直观呈现，红色区域标注压实度不足(<95%)或平整度超差(>5mm/m)的位置。基于扫描数据，系统内置的优化算法结合地基土壤类型、含水率等参数，自动生成压实机械的行进速度(建议2-3km/h)、碾压次数(3-5次)、碾压力度调整方案，同步推送至机械操作终端，指导操作人员精准作业，实时修正施工偏差。(2) 算法动态调整压实机械参数过程中，系统实时采集机械作业数据与基层检测数据，形成反馈闭环，持续优化参数设置，确保基层压实度、平整度达标率稳定维持在100%，为后续HDPE膜铺设提供平整、坚实的基础，避免因基层问题引发膜材破损或渗漏风险。

3.3 焊接工艺实时监控

(1) HDPE膜焊接作业时，红外热成像仪安装于焊接设备前端，以每秒15帧的频率拍摄焊接区域温度场图

像，实时捕捉温度分布情况，当局部温度低于180℃(焊接最低阈值)或高于230℃(膜材老化临界值)时，系统自动触发预警。同时，基于机器学习训练的焊接参数优化算法，结合实时温度数据、膜材厚度、环境湿度等变量，动态修正焊接速度(建议1.5-2m/min)与焊接压力(0.2-0.3MPa)，确保焊缝熔接充分且无过度加热现象，从工艺源头保障焊接质量^[4]。(2) 案例：某污水厂采用智能焊接监控系统后，通过红外热成像与AI算法的协同作用，实时规避焊接参数偏差，焊缝一次合格率从85%提升至98%，减少焊缝修补工作量，同时降低因焊缝缺陷导致的后期渗漏隐患，提升污水厂防渗系统整体可靠性。

3.4 节点密封智能化管控

(1) 针对污水厂HDPE膜施工中的转角(阴阳角)、管道穿越等复杂节点，提前在BIM平台搭建1:1三维模型，模拟不同密封方案的施工流程，分析密封胶涂抹路径、附加层铺设角度等关键参数，优化施工工序，规避空间干涉或操作盲区问题。施工过程中，无人机搭载高清三维扫描仪，从多角度对节点密封区域进行扫描，生成密封层三维点云模型，与BIM设计模型自动比对，检测密封胶厚度(要求≥2mm)、附加层覆盖范围等指标是否符合标准，精准识别密封不饱满、漏涂等问题。(2) 无人机扫描数据实时上传至管控平台，通过颜色标注差异区域，辅助管理人员快速定位节点密封缺陷，指导现场人员针对性整改，确保复杂节点密封质量达标，解决传统人工检验难以全面覆盖复杂节点的痛点。

3.5 质量检测自动化闭环

(1) HDPE膜施工质量检测阶段，真空检测仪(检测负压≥0.02MPa)、电火花仪(检测电压3000-10000V)等设备内置数据传输模块，检测完成后自动将检测结果(合格/不合格、缺陷位置坐标、缺陷类型)上传至云端管控平台，无需人工录入，避免数据篡改或遗漏风险，实现检测数据的实时化、信息化管理。(2) 平台接收检测数据后，自动对缺陷位置进行GPS定位，生成电子整改工单，推送至现场施工班组移动端，明确整改要求与时限；整改完成后，检测人员再次使用设备复检，复检数据上传平台形成闭环，管理人员可通过平台追溯缺陷整改全流程，确保所有质量问题100%得到解决，构建“检测-修复-验证”的自动化质量管控闭环，提升整体施工质量管控效率与精度^[5]。

4 智能化管控在污水厂 HDPE 膜施工应用中的挑战与对策

4.1 技术融合挑战

(1) 多源异构数据标准化问题突出，污水厂HDPE膜

施工中,物联网感知层的温度、压力等传感器数据(格式为实时流数据)、BIM模型的三维几何数据(格式为IFC标准)、质量检测设备的结构化数据(如真空检测仪数值)来源不同、格式各异,数据接口不统一导致数据无法高效互通,易形成“数据孤岛”,制约智能分析层对全流程数据的整合利用,影响质量预测与决策效率。

(2)对策:建立统一数据接口协议,参考工业物联网标准制定涵盖传感器、BIM软件、检测设备的数据传输规范,明确数据格式、编码规则与交互频率;开发边缘计算网关部署于施工场地,网关具备数据转换与预处理功能,可将多源异构数据转化为统一格式后再上传至云端平台,同时对数据进行清洗去重,保障数据一致性,为智能分析提供高质量数据支撑。

4.2 人员技能挑战

(1)传统施工人员对智能化系统操作不熟练,污水厂HDPE膜施工团队多以经验型人员为主,缺乏对物联网设备调试、BIM平台操作、AI分析结果解读等技能的掌握,易出现传感器安装偏差、系统参数设置错误等问题,导致智能化设备无法发挥应有作用,甚至影响施工进度与质量。(2)对策:搭建VR虚拟仿真培训系统,模拟污水厂HDPE膜施工场景,设置传感器部署、焊接监控系统操作等实训模块,让施工人员通过沉浸式体验熟悉智能化设备操作流程;配套建立现场实操考核机制,考核内容涵盖设备调试、数据查看、异常处理等,考核合格后方可上岗,同时定期开展技能复训,确保人员技能与系统应用需求匹配。

4.3 数据安全挑战

(1)施工数据存在泄露风险,污水厂HDPE膜施工数据包含项目设计参数、施工进度、质量检测结果等敏感

信息,若云端平台防护不足或传输过程中加密不到位,易遭受网络攻击导致数据泄露,不仅可能影响项目正常推进,还可能引发商业信息安全问题。(2)对策:引入区块链技术实现数据加密与权限分级管理,对施工数据进行区块链上链存储,数据修改需经多方节点验证,确保数据不可篡改;基于项目参与方(建设单位、施工单位、监理单位)角色设置不同数据访问权限,仅授权人员可查看对应层级数据,同时采用端到端加密技术保障数据传输安全,构建全方位数据安全防护体系。

结束语

智能化管控为污水厂HDPE膜施工带来了质量管控的革新,通过多技术融合实现了从材料检验到质量检测的全流程精准化、智能化。其不仅有效提升了焊接合格率、节点密封质量等关键指标,更构建了数据驱动的闭环管控体系,显著降低了人为因素导致的质量风险。未来,随着技术迭代与成本优化,智能化管控将成为污水厂防渗工程的标准配置,为环保基础设施的高质量建设提供坚实保障。

参考文献

- [1]朱其凯,方华.污水管道HDPE内衬短管关键施工技术研究[J].建筑施工,2024,46(12):205-207.
- [2]康志仁.市政雨污水管道施工中HDPE管施工技术应用探讨[J].中国建筑金属结构,2024,23(11):27-29.
- [3]范林青.市政给排水管道工程HDPE管施工技术要点[J].工程技术研究,2023,8(02):84-86.
- [4]王建国,李思远.HDPE管在市政排水工程中的应用技术[J].给水排水,2023,49(02):45-46.
- [5]邹高新.市政雨污水管道施工中HDPE管施工技术应用探讨[J].市政工程,2025,(03):61-62.