

PPP 模式赋能水利供水工程：岳阳县城乡供水一体化地埋钢管施工业主技术管理创新与实践

徐永荣

岳阳县水利局，湖南岳阳，414100；

摘要：PPP 模式为水利供水工程提供多元投融资与运营路径，对业主技术统筹、质量管控及协同治理能力提出更高要求。岳阳县城乡供水一体化 PPP 项目以 35km 地埋钢管施工为核心，针对长距离敷设、复杂地质、多参建方协同等难点，构建“前期-过程-协同-数字-季节”五位一体业主主导型技术管理体系。实践表明，该体系实现钢管防腐、焊接等关键指标全面达标，工程获评优良，工期提前 15 天竣工，建安成本较传统模式降低 6.8%，社会效益显著，可为同类 PPP 水利工程提供可复制范式。

关键词：PPP 模式；水利供水工程；地埋钢管；业主技术管理；全流程管控；数字化监测

DOI：10.69979/3060-8767.26.04.032

引言

供水管道是城乡供水一体化工程的核心，直接关系到输水安全与工程寿命，其施工质量是衡量水利基建标准化水平的重要指标。随着城乡供水一体化战略推进，长距离、大口径地埋钢管因适配性强、寿命长等优势广泛应用，但施工环节繁杂，对管控精度要求极高。

传统政府主导模式存在财政压力大、技术统筹弱、协同不畅等问题，难以适配精细化管控需求。PPP 模式实现投建运管一体化，可缓解财政压力、引入专业资源，却因参建主体多元、利益诉求差异，对业主方技术管控与风险防控提出新挑战，构建科学管理体系成为关键。

岳阳县城乡供水一体化 PPP 项目以铁山水库为水源，敷设 35km DN1400 地埋钢管干线，采用 BOT 模式、合作期 28 年，服务 20 万城乡群众。项目面临地质复杂、交叉作业多、冬雨季施工干扰大等难题，传统管理模式适配性不足。本文以该项目为研究对象，梳理业主技术管理痛点，提出创新优化路径，总结实践经验，为同类 PPP 模式下长距离地埋钢管施工的业主技术管理提供参考借鉴。

1 PPP 模式下业主技术管理背景与理论基础

1.1 项目概况

岳阳县城乡供水一体化 PPP 项目总投资 4.8 亿元，涵盖取水、净水厂扩建、35km 地埋钢管干线及配套管网改造，日供水规模 8 万 m³，建成后可实现铁山水库水源全域覆盖，解决县域供水不稳、水质不达标问题。项目干线途经多类复杂地质，沟槽开挖深度 2.0~4.0m，地下水位埋深 1.0~2.5m，地下水对混凝土及钢结构有弱腐蚀性，提升了管道防腐与基坑支护的施工难度。

业主方为政府与社会资本共建的岳阳县供水项目公司，统筹项目全生命周期，承担技术标准制定、质量管控等核心职责，是破解 PPP 模式下参建主体多元、技术管控脱节问题的关键。

1.2 核心理论支撑

(1) 全生命周期管理理论：该理论强调工程管理需贯穿设计、施工、验收、运维全阶段，打破“重建设、轻运维”的传统误区。结合 PPP 项目投建运一体化特点，业主方需以全生命周期视角统筹技术标准制定，将运维需求前置到设计与施工环节，优化管道敷设、防腐处理、接口衔接等关键技术方案，从源头减少后期运维隐患，提升工程全生命周期价值。

(2) 协同治理理论：PPP 模式下，项目涉及业主、设计、施工、监理、第三方检测及管线权属单位等多个参建主体，各方技术标准、利益诉求存在差异。协同治理理论为业主方搭建多方联动机制提供支撑，通过制度设计与平台搭建，实现各方技术标准统一、施工信息共享、问题协同处置，形成“业主主导、多方联动、协同高效”的技术治理格局。

(3) 委托一代理理论：针对 PPP 项目中业主方与社会资本方、施工单位等代理方存在的信息不对称问题，该理论为业主方技术管控提供了核心思路。业主方通过技术要求前置、施工过程旁站、第三方独立检测、关键指标全程管控等手段，规范代理方施工行为，降低道德风险与逆向选择风险，确保技术标准落地执行。

(4) 精细化管理理论：长距离地埋钢管施工工序繁杂、控制点分散，焊接、防腐、回填等关键工序的施工质量直接决定工程整体品质。精细化管理理论要求业主方聚焦关键工序与核心指标，制定标准化施工流程，

实施闭环管控，细化管控节点，确保每一道工序、每一项指标都符合技术规范要求。

1.3 核心挑战

共性挑战主要集中在三个方面：一是参建主体多元，设计、施工、监理等行业规范理解与执行口径不一，易造成施工衔接不畅、质量管控脱节；二是社会资本重进度与成本、轻质量与运维，易引发质量隐患；三是政府监管与项目公司管理边界模糊，技术决策流程繁琐，影响管控效率与问题处置时效。

个性挑战贴合项目实际特点：一是35km线路分段施工，各段地质、施工环境差异大，难兼顾管控统一性与针对性；二是复杂地质叠加丰富地下水，基坑支护及降水风险高，易影响管道敷设精度；三是焊接与防腐质量受环境影响大，冬雨季易出现焊缝缺陷、防腐层脱落等问题；四是沿线穿路穿河、与既有管线交叉多，与权属单位协调难度大，保护方案落地难；五是冬雨季施工干扰大，加剧质量与进度管控难度。

2 业主技术管理核心问题分析

2.1 前期技术策划不完善

前期技术策划是工程质量管控的基础，该项目前期技术管理存在诸多短板：一是部分路段地质勘察精度不足，对局部砂层、淤泥质土的分布范围与特性勘察不够细致，导致沟槽支护方案针对性不强，易出现边坡滑塌隐患；二是技术标准碎片化，未结合项目实际编制专用技术规范，行业通用规范与现场实操衔接不畅，各方执行口径不一，增加了质量管控难度；三是材料与设备技术审核流于形式，对钢管、防腐涂料等关键材料的性能指标审核不够严格，对施工与检测设备的适配性校验不到位；四是技术交底体系不健全，交底多停留在项目部层面，未传递至一线作业班组，导致一线操作人员对技术标准理解不透彻、操作不规范，易引发质量问题。

2.2 施工过程管控粗放

施工过程是质量形成的核心，该项目前期存在管控粗放问题：一是关键工序管控缺位，钢管防腐、除锈及焊接等核心指标把控不严，易出现防腐不达标、焊缝缺陷等问题；二是基坑支护与降水管控不足，未动态优化方案、及时维护设备，易引发边坡失稳等隐患；三是回填压实管控不规范，材料配比与压实工艺不当，易导致管道沉降、接口渗漏；四是隐蔽工程验收不规范，记录不全、签字不规范，质量追溯难，还存在“三边施工”违规行为。

2.3 参建方协同效率低

PPP项目多元参建主体的协同效率直接影响技术管理成效，该项目前期协同管理存在明显不足：一是信

息不对称问题突出，设计、施工、监理等各方未建立高效的信息共享机制，施工日志、检测报告、技术变更等资料传递滞后，导致技术变更执行偏差大；二是跨专业交叉作业统筹不足，管道敷设与道路施工、市政管线改造等交叉作业时序混乱，相互干扰严重，导致返工频繁，影响施工进度与质量；三是与既有管线权属单位沟通不畅，交叉段施工保护方案未充分征求权属单位意见，方案落地困难，易引发管线损坏事故；四是技术问题会商机制不健全，对施工中出现的技术难题，各方推诿扯皮，处置周期长，影响施工连续性。

2.4 季节适配与管控手段滞后

岳阳县属亚热带季风气候，冬冷夏热、降雨集中，季节因素对施工质量影响显著，而项目前期未建立完善季节性施工适配体系：冬季低温环境下，混凝土易出现冻害，焊接作业环境温度不达标，导致焊接质量下降；雨季降雨频繁，易引发沟槽积水、边坡滑塌，砂石含水率波动较大，影响混凝土配合比稳定性，进而影响施工质量。同时，管控手段较为传统，以人工巡查、纸质记录为主，对边坡位移、地下水位、焊接参数等关键指标缺乏实时监测，数据分散杂乱，难以支撑一体化决策与精准管控，多依赖“事后整改”，未能实现“事前预防、事中控制”。

3 业主技术管理创新实践方案

针对上述技术管理痛点，业主方以“标准统一、过程可控、协同高效、数字赋能、运维前置”为核心导向，构建五位一体全流程技术管理体系，强化业主主导地位，完善闭环管控机制，破解多元参建、复杂施工场景下的技术管理难题。

3.1 施工前期：搭建标准化管控体系

(1) 统一技术标准：业主方牵头联合设计、施工等多方，依据《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB50268-2019)，结合项目地质、施工及运维需求，编制专用技术手册，明确钢管除锈、焊接等关键工序的标准、流程及验收要求，将通用规范转化为实操指引，实现全项目技术标准统一管控，解决各方执行口径不一问题。

(2) 优化图纸会审：建立业主牵头、多方联审、全程留痕的会审机制，组建专业会审小组，重点审查复杂地质段、交叉作业段的支护方案及管道敷设设计，结合现场实操优化细节，累计完成23项设计变更，规避地质适配不足等隐患，节约工期约45天。

(3) 严控材料设备质量：对钢管、防腐涂料等关键材料实行“样品送检+进场抽检+第三方复检”三重核验，不合格材料严禁进场；对施工及检测设备进行进场

校验，要求操作人员持证上岗，关键设备建立“一机一档”，记录运行、维护及校验情况，实现全程可追溯。

(4) 完善分层技术交底：构建四级技术交底体系，业主方交底总体技术要求，施工单位负责工序专项交底，班组实行班前交底与样板引路，通过现场演示、培训及考核，确保一线人员掌握技术标准与流程，从源头规范施工行为。

3.2 施工过程：强化动态管控与数字赋能

(1) 关键工序三位一体管控：聚焦焊接、防腐、基坑支护、管道试压、回填压实五大关键工序，建立“业主旁站+监理平行检验+第三方检测”三位一体管控机制，业主方安排专业技术人员对关键工序实行全程旁站，监理单位开展平行检验，第三方机构进行独立检测，重点管控坡口角度、错边量、防腐层厚度、回填压实度等核心参数，每一道工序验收合格后方可进入下道工序，确保施工质量全程可控。

(2) 搭建数字化实时监测平台：引入物联网、大数据等数字化技术，搭建施工数字化监测平台，在地质

复杂段、高边坡段布设监测点位，对基坑边坡位移、管道轴线偏差、地下水位、施工环境温湿度及焊接参数等关键指标实行全天候自动化采集、实时传输与动态分析，设置多级预警阈值，当数据出现异常时，平台自动推送预警信息至各方技术负责人，快速启动应急处置预案，及时开展现场技术纠偏，将传统“事后整改”模式转变为“事前预防、事中控制”，有效降低了质量安全隐患，项目质量缺陷率较传统管控模式下降低约65%。

(3) 优化季节性施工适配：结合岳阳县气候特点，制定冬雨季施工专项技术方案，构建“预判—措施—管控—验收”全链条季节性施工管控体系，流程如图1所示。冬季搭建焊接保温棚，采用保温棉被、取暖设备等落实混凝土防冻养护措施，严格控制焊接作业环境温度，避免低温导致焊接缺陷与混凝土冻害；雨季完善基坑截排水系统，布设集水井与潜水泵实行24小时抽排，及时清理沟槽积水，动态监测砂石含水率，优化混凝土配合比，雨后对基底承载力、管道高程与轴线进行复核，确保特殊天气下施工质量与施工安全。



图1 岳阳县地理钢管施工季节性技术适配与动态调整流程

图注：构建全链条季节管控体系，防控冬雨季施工风险，保障施工连续性与质量。

3.3 参建方协同：构建一体化联动机制

(1) 搭建会商与信息共享平台：建立每周多方技术例会制度，由业主方牵头，组织设计、施工、监理、第三方检测及相关权属单位召开技术例会，通报施工进度与质量情况，会商解决施工中出现的技术难题；搭建线上协同信息共享平台，整合施工日志、检测报告、技术变更、验收记录等各类资料，实现各方信息实时同步、在线查阅，打破信息壁垒，提升沟通效率。

(2) 完善技术问题闭环管理：建立“发现—上报—会商—处置—复核—销号”六步技术问题闭环管理机制，明确各方问题上报时限与处置责任，一线施工人员发现技术问题后及时上报，业主方快速组织各方会商制

定处置方案，施工单位负责落实处置措施，监理与第三方机构负责复核，确保一般技术问题24小时内处置完毕，重大技术问题3日内拿出处置方案并推进落实，避免问题积累影响施工进度与质量。

(3) 统筹跨专业协同作业：成立跨专业协同管理小组，由业主方担任组长，统筹协调管道敷设与道路施工、市政管线改造等交叉作业，明确交叉作业时序、施工边界与安全保护要求；提前与既有管线权属单位沟通对接，共同制定交叉段施工保护方案，邀请权属单位全程参与施工监督，确保交叉段施工安全，有效降低了交叉作业返工率，返工率较前期下降约50%。

(4) 强化监督合力：明确监理单位全程监督职责，

要求监理人员对关键工序、隐蔽工程实行全程旁站监理，严格执行验收标准，对不合格工序坚决要求返工；引入第三方独立检测机构，负责对施工质量进行全程独立检测，检测结果作为工程验收与工程款支付的核心依据，形成“业主管控、监理监督、第三方背书”的三重质量保障体系，规范各方施工行为。

3.4 业主技术管控体系总体架构

结合项目全生命周期管理需求，业主方构建“前期策划—过程管控—多方协同—验收运维”四位一体闭环管控体系，覆盖技术标准、材料设备、施工工序、参建协同、数字化监测等全要素，实现技术管理标准化、精细化、数字化，体系架构如图2所示。

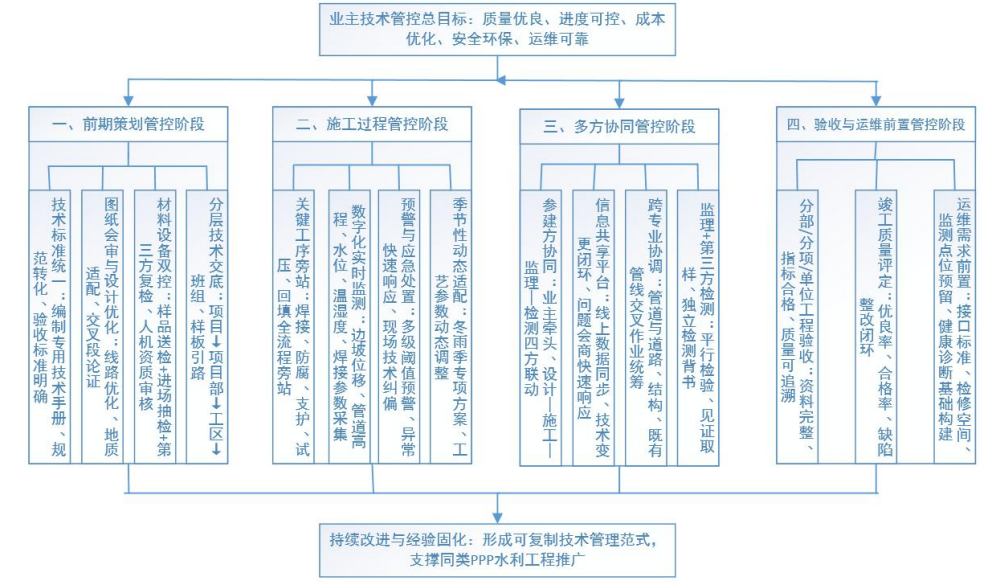


图2 岳阳县地理钢管施工业主技术管控体系（全流程闭环）

图注：以业主为核心，实现技术管理标准化、精细化、数字化，保障工程全生命周期价值。

4 创新实践成效

4.1 施工质量全面达标

通过全流程标准化管控与数字化赋能，项目关键质量指标均优于行业规范要求，彻底解决了前期焊接缺陷、

防腐层不达标、管道沉降等质量隐患。施工过程中，业主方全程跟踪管控，第三方机构独立检测验证，整体工程交工验收合格，竣工验收获评优良等级，为供水管道长期稳定运行筑牢了质量根基，具体关键质量指标对比见表1。

表1 地理钢管施工关键质量指标对比表

序号	控制项目	规范控制值	实际控制值	合格率	管控效果
1	钢管表面除锈等级	Sa2.5级	Sa2.5级	100%	优良
2	钢管表面粗糙度	40~75 μm	40~50 μm	100%	优良
3	防腐层总厚度	≥3.5mm	3.5~4.0mm	100%	优良
4	焊缝错边量	≤2mm	≤1.5mm	99.60%	优良
5	焊缝超声波检测	I级合格	I级一次合格率99.2%	99.20%	优良
6	管道轴线偏差	≤50mm	≤30mm	100%	优良
7	道路段回填压实度	≥95%	95%~98%	100%	优良
8	水压试验	压降≤0.05MPa	压降≤0.02MPa	100%	优良

表注：关键指标优于规范，整体质量达优良标准，保障管道长期安全运行。

4.2 施工效率大幅提升

通过前期设计优化与技术标准统一，大幅减少了施工过程中的技术变更与返工整改，有效压缩了工序衔接耗时；关键工序三位一体管控确保施工一次达标，避免了重复施工；冬雨季专项施工方案精准适配气候特点，最大限度降低了恶劣天气对施工的干扰，保障了施工连

续性；多方协同机制与信息共享平台的搭建，提升了工序衔接与问题处置效率，交叉作业返工率显著下降。最终，项目在24个月合同工期内圆满完成施工任务，较计划工期提前15天竣工，关键节点按期完成率达到100%，实现了质量与进度的双重提升。

4.3 综合效益显著提升

(1) 经济效益: 通过设计优化、减少返工整改与精准管控, 项目建安成本较传统管理模式降低约 6.8%, 累计节约建安投资约 1200 万元; 数字化监测平台的应用减少了人工巡查与纸质记录工作量, 降低了人工管理成本, 同时通过全生命周期质量管控, 预计项目全生命周期运维成本可降低约 10%, 实现了成本优化与效益提升的双重目标。

(2) 社会效益: 项目建成后, 实现了铁山水库优质水源全域覆盖, 县域供水保证率从原来的 75% 提升至 95% 以上, 水质达标率稳定保持 100%, 彻底解决了 20 万城乡群众的安全饮水问题, 有效提升了区域供水保障能力与民生福祉; 同时, 项目建设过程中规范施工、减少扰动, 最大限度降低了对周边群众生产生活的影响, 获得了当地群众的广泛认可。

(3) 环保效益: 业主方严格落实绿色施工要求, 制定扬尘、噪声与污水管控方案, 施工过程中采取洒水降尘、噪声降噪、固废分类处置等措施, 施工污水经处理达标后排放, 无环境污染投诉发生, 绿色施工达标率 100%, 实现了工程建设与生态环境保护的协同发展, 契合生态文明建设要求。

4.4 形成可复制推广的管理经验

项目构建的“业主主导、标准统一、过程闭环、数字赋能、多方协同”五位一体技术管理体系, 精准破解了 PPP 模式下长距离埋地钢管施工的技术管控难题, 兼顾了质量、进度、成本、安全与环保多重目标, 适配于长距离输水管道、城乡供水一体化等同类 PPP 水利工程。该体系的实践经验, 可为后续同类项目的业主技术管理提供可复制、可推广的实践范式, 助力提升 PPP 模式水利基础设施建设的标准化、精细化与数字化水平。

5 研究局限与未来展望

5.1 研究局限

本文以岳阳市城乡供水一体化 PPP 项目为单一研究对象, 聚焦长距离埋地钢管施工的业主技术管理, 研究结论的普适性仍需更多不同地质条件、不同规模的 PPP 水利工程进行验证; 数字化监测体系主要聚焦于施工阶段的关键指标监测, 与运营期智慧运维体系的融合不足, 未能实现全生命周期数字化协同管控; 同时, 本文未量化分析各方技术管理的权责边界与绩效考核激励机制, 相关制度设计仍需进一步深化完善, 以更好地适配多元参建主体的协同管控需求。

5.2 未来展望

未来, 将结合更多同类 PPP 水利工程实践, 进一步优化完善业主技术管理体系, 构建标准化、规范化的

PPP 模式水利工程专业技术管理指南, 推动行业技术管理水平提升; 深化 BIM+GIS+物联网技术融合应用, 整合施工阶段监测数据与运营期运维数据, 搭建全生命周期数字化管控平台, 实现管道施工、运维、检修的智能化管理; 加强长距离埋地钢管运维技术研究, 建立管道健康诊断与漏损预警体系, 提升管道长期运行稳定性; 完善参建各方技术管理绩效考核与激励机制, 明确权责边界, 充分调动各方积极性, 推动 PPP 模式水利工程质量发展, 更好地服务于城乡供水一体化与生态文明建设。

6 结语

岳阳市城乡供水一体化 PPP 项目的实践表明, 在长距离埋地钢管施工中, 业主方作为统筹核心, 通过构建全流程标准化管控体系、强化施工过程动态管控、搭建多元参建方协同机制、引入数字化赋能手段, 能够有效破解 PPP 模式下参建主体多元、技术标准不一、管控粗放等难题, 实现工程质量、进度、成本、安全与环保的多目标最优。本文总结的业主技术管理创新路径与实践经验, 可为同类 PPP 水利工程的业主技术管理工作提供有益借鉴, 助力水利基础设施高质量发展, 提升城乡供水保障能力, 增进民生福祉。

参考文献

- [1] 于洪恩, 王瑞锋, 吴婷, 等. 水利工程供水管道施工技术探究[J]. 建材发展导向, 2026, 24(01): 82-84.
- [2] 李文元. 基于分段施工的城市给水工程管道安装工艺[J]. 安装, 2025(06): 49-51.
- [3] 闫超. 水利工程建设中城镇供水管道安装和管理研究[J]. 现代工程科技, 2025, 4(07): 49-52.
- [4] 高学先. 水利工程供水管道安装施工中技术的应用[J]. 中国储运, 2024(09): 71-72.
- [5] 骆国柱. 水利供水工程供水管道施工技术探讨[J]. 黑龙江水利科技, 2022, 50(09): 84-87.
- [6] 张康, 李刚. PPP 模式下水利工程专业全过程管理要点研究[J]. 水利建设与管理, 2025, 45(02): 36-40.
- [7] 王军, 刘敏. 长距离输水钢管施工质量全过程管控技术[J]. 中国给水排水, 2024, 40(11): 102-107.
- [8] 周健, 胡静. 数字化技术在水利管道施工质量管控中的应用[J]. 水利信息化, 2025(03): 56-60.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 给水排水管道工程施工及验收规范: GB50268-2019[S]. 北京: 中国计划出版社, 2019.

作者简介: 徐永荣(196.02-), 男, 汉族, 大专学历, 研究方向: 工程项目管理。