

暗管排水系统施工质量控制及其对水资源节约的贡献分析

张军

平罗县陶乐吉兴水利水电工程有限公司

DOI:10.32629/etd.v6i11.17475

[摘要] 本文系统梳理了暗管排水系统的工程原理与技术特点,深入剖析了施工过程中影响工程质量的关键控制点,包括材料选择、沟槽开挖、管道铺设、滤料回填及系统验收等环节。在此基础上,通过理论分析与案例研究相结合的方式,定量评估了高质量暗管排水系统在减少无效蒸发、优化灌溉制度、提升作物产量等方面的水资源节约效应。研究表明,科学严谨的施工质量控制不仅可显著延长系统使用寿命、降低维护成本,更能通过改善田间水文环境,实现单位面积灌溉用水量减少,水分利用效率提升。最后,本文提出了强化全过程质量监管、推广标准化施工工艺、完善后期运维机制等政策建议,以期为我国高标准农田建设和农业节水增效提供技术支撑与决策参考。

[关键词] 暗管排水; 施工质量控制; 水资源节约; 农田水利; 盐碱地改良

中图分类号: TU992.02 **文献标识码:** A

Analysis of Construction Quality Control for Subsurface Drainage Systems and Their Contribution to Water Resource Conservation

Jun Zhang

Pingluo Taole Jixing Water Conservancy and Hydropower Engineering Co., Ltd.

[Abstract] This paper systematically reviews the engineering principles and technical characteristics of subsurface drainage systems and provides an in-depth analysis of key control points affecting project quality during construction, including material selection, trench excavation, pipeline installation, filter backfilling, and system acceptance. Based on this, through a combination of theoretical analysis and case studies, it quantitatively evaluates the water resource conservation effects of high-quality subsurface drainage systems, such as reducing ineffective evaporation, optimizing irrigation schedules, and increasing crop yields. The research results indicate that rigorous construction quality control not only significantly extends the system's service life and reduces maintenance costs but also improves field hydrological conditions, leading to reduced irrigation water usage per unit area and enhanced water use efficiency. Finally, this paper proposes policy recommendations, including strengthening whole-process quality supervision, promoting standardized construction techniques, and improving post-construction operation and maintenance mechanisms, aiming to provide technical support and decision-making references for high-standard farmland construction and agricultural water-saving efficiency enhancement in China.

[Key words] Subsurface Drainage; Construction Quality Control; Water Resource Conservation; Farmland Water Conservancy; Saline-Alkali Land Improvement

引言

水资源是生存与发展的基础性战略资源。全球农业用水占淡水消耗超70%,传统灌溉水分利用效率低,水资源浪费严重。我国人均水资源仅为世界平均1/4,分布不均,农业用水矛盾突出,宁夏引黄灌区因大水漫灌等致土壤次生盐渍化,制约耕地生产力与水资源可持续利用。在此背景下,发展高效节水农业、推广现代农田排水技术是破解“水-土-粮”矛盾的关键。暗管排水

系统作为地下封闭式排水网络,能改善根区土壤环境,用于盐碱地改良等,较传统明沟排水优势明显。但暗管排水系统运行效果与施工质量紧密相关,施工不规范会引发管道堵塞等问题,削弱排水功能,加剧盐渍化风险。因此,研究其施工质量控制要点、评估节水贡献,有重要价值。本文旨在构建“施工质量—系统效能—节水效益”链条,为提升农田排水工程建设与资源利用效率提供依据。

1 暗管排水系统的基本原理与技术特点

1.1 工作原理

暗管排水系统主要由吸水管(集水管)、集水干管、检查井及出水口组成。吸水管通常采用带孔波纹塑料管(如PVC或HDPE),按一定间距平行埋设于作物根系层以下,一般深度为0.8至1.5米。当地下水位上升至吸水管高程时,多余水分在重力与毛细作用下渗入管内,经由干管汇集后排出田外。这一过程实现了对地下水位的动态调控,避免土壤过湿或盐分随毛管水上升至地表,从而维持根区土壤良好的水气平衡状态。该系统本质上是一种被动式排水机制,无需额外能耗,依靠自然水势差完成排水任务,具有运行稳定、维护简便的特点。

1.2 技术优势

暗管排水系统相较于传统明沟排水展现出多方面的综合优势。首先,由于管道完全埋设于地下,田面无任何沟渠障碍,有效耕作面积可增加5%至10%,显著提升了土地利用效率。其次,良好的排水条件改善了土壤的通气状况,促进了微生物活动和有机质分解,增强了作物根系的呼吸与养分吸收能力。第三,在盐碱地区,通过将地下水水位控制在临界深度以下(通常为1.2至1.5米),可有效阻断盐分随毛管水上升的路径,从根本上抑制次生盐渍化的发生与发展。此外,平整的田面为大型农业机械作业提供了便利条件,有利于精准播种、施肥与收获等现代农业技术的实施。最后,暗管排水还能减少地表径流对氮、磷等养分的冲刷流失,降低农业面源污染风险,具有明显的生态效益。此外,在需强排区域(如低洼盐碱地),通过配套建设太阳能驱动的智能排水泵站,可实现无电网依赖下的自动启停与远程监控,不仅降低运行电费成本,还显著减少碳排放,契合农业绿色低碳发展要求。此类“光伏+排水”模式已在宁夏部分暗管排水项目中试点应用,展现出良好的经济与环境协同效益。

2 暗管排水系统施工质量控制关键环节

2.1 材料质量控制

材料是构成暗管排水系统的基础,其性能直接决定系统的耐久性与排水效能。管材应优先选用高密度聚乙烯(HDPE)或硬聚氯乙烯(PVC-U)制成的双壁波纹管,这类材料具备优异的耐腐蚀性、抗压强度和柔韧性,能够适应不同地质条件下的长期埋设需求。规范要求其环刚度不低于 4kN/m^2 ,开孔率控制在8%至12%之间,以兼顾过水能力与结构稳定性。包裹管材的滤料同样至关重要,通常采用级配良好的天然砂砾或专用土工布,其有效粒径需与管材孔径匹配,确保既能阻挡细颗粒进入管道造成堵塞,又不妨碍水分顺利入渗^[1]。所有进场材料必须附有出厂合格证明,并按批次进行抽样复检,严禁使用劣质或不符合设计参数的产品,从源头上杜绝质量隐患。

2.2 测量放线与沟槽开挖

精确的测量放线是确保系统按设计意图实施的前提。施工前应依据详细的设计图纸,采用RTK-GPS或全站仪等高精度仪器进行管线定位,严格控制管道的埋深、间距及纵向坡度(通常为0.1%至0.3%)。沟槽开挖宜使用专用液压开沟机作业,以保证沟

底平整、边坡稳定,避免对原状土造成过度扰动。开挖过程中需实时监测沟深与沟宽,偏差应控制在 ± 2 厘米以内,既不能超挖导致回填量过大,也不能欠挖影响管道安装。尤其在黏土或淤泥质土层中,更应注意防止沟壁坍塌,必要时采取临时支护措施,确保施工安全与沟槽几何尺寸的准确性。

2.3 管道铺设与连接

铺设时应严格按照设计坡向进行,确保每段管道顺坡就位,严禁强行弯曲或踩踏管体,以免造成结构性损伤。管道之间的连接方式通常采用承插式橡胶圈密封或热熔对接,前者适用于PVC管,后者多用于HDPE管,无论何种方式,均需确保接口严密、无渗漏。在地下水水位较高的区域,铺设完成后应尽快回填,防止浮力作用导致管道上浮变形^[2]。此外,施工人员需定期使用水准仪复核已铺管道的坡度,及时纠正局部反坡现象,避免形成“死水区”,影响整体排水效率。

2.4 滤料回填与压实

正确的做法是先在沟底铺设一层细砂作为垫层,然后将管道居中放置,再均匀包裹滤料至管顶以上10至15厘米,最后回填原状土。滤料层厚度不应小于10厘米,且需确保完全包裹管道,不留空隙。回填过程中,管顶50厘米范围以内严禁使用重型机械碾压,应采用人工或小型夯实设备分层轻夯,以防止管道受压破裂。同时,回填土的密实度需控制在85%至90%(按轻型击实标准),过高的密实度会阻碍水分入渗,过低则可能导致地面沉降,影响后续耕作。整个回填过程应连续进行,避免长时间暴露管道于潮湿环境中。

2.5 系统验收与试运行

验收工作应包括隐蔽工程记录核查、材料检测报告审查及现场实体检测。其中,闭水试验是对干管系统密封性的关键检验,可通过注水观察水位下降情况判断是否存在渗漏。通水测试则模拟实际降雨或灌溉情景,观测系统排水响应时间、流量及均匀性,验证其是否达到设计排水能力^[3]。此外,完整的竣工资料(包括竣工图、施工日志、质检报告等)应归档保存,为后续运维管理提供依据。只有通过全面验收并试运行正常的系统,方可正式交付使用,确保其长期稳定发挥节水与改良土壤的双重功能。

3 施工质量对系统效能的影响机制

施工质量的优劣直接决定了暗管排水系统能否长期高效运行。若在材料选用、沟槽开挖、管道铺设或回填等环节存在疏漏,极易引发一系列功能性缺陷。例如,滤料级配不当或回填土含泥量过高,会使细颗粒随水流进入管道内部,逐渐沉积并堵塞孔隙,大幅降低过流能力;回填不实或机械碾压过度会造成管道变形甚至断裂,缩短系统使用寿命;更为严重的是,一旦系统因施工质量问题提前失效,地下水水位将重新回升,盐分随毛管水持续上移并在地表累积,反而加剧次生盐渍化风险,背离工程初衷。

4 暗管排水系统对水资源节约的贡献分析

4.1 减少无效蒸发与深层渗漏

高质量的暗管排水系统通过精准调控地下水水位,显著减少

了农田水分的无效损耗。在传统排水不良区域, 地下水位常接近地表, 强烈的毛管蒸发导致大量水分白白散失。而暗管系统能将水位稳定控制在作物根系临界深度以下(如小麦为1.2至1.5米), 有效切断蒸发通道。同时, 良好的排水条件使土壤结构疏松、通透性增强, 灌溉水更容易被根区吸收利用, 减少了因土壤饱和而产生的深层渗漏, 提高了水分在有效土层中的滞留时间与利用效率。

4.2 提高灌溉水利用效率 (IWUE)

暗管排水改善了田间水文环境, 为精准灌溉创造了有利条件。在排水通畅的田块, 土壤入渗速率提高, 灌溉均匀度显著改善, 农户可根据实时墒情数据实施按需灌溉, 避免过去“大水压盐”或“宁多勿少”的粗放做法^[4]。这种精细化管理不仅节约了灌溉水量, 还优化了作物生长环境。

4.3 优化种植制度与复种指数

排水条件的根本性改善, 使得原本因涝渍或盐碱而难以耕作的土地得以恢复生产力, 甚至支持更高强度的种植模式。例如, 在平罗县灵沙乡紧邻黄河土地盐碱化严重, 实施暗管排水前, 冬春季节土壤返盐严重, 仅能种植耐盐杂草或撂荒; 工程实施后, 地下水位得到有效控制, 冬小麦—夏玉米一年两熟轮作制度得以稳定推行。虽然复种导致年总耗水量略有增加, 但由于总产出大幅提升, 单位产品耗水量(即生产每公斤粮食所需的水量)显著下降, 整体水资源利用效率得到优化。这种由“不能种”到“种得好”的转变, 体现了暗管排水在拓展农业发展空间、提升水土资源协同利用水平方面的深远意义。

4.4 案例分析: 宁夏引黄灌区某高标准农田项目

宁夏引黄灌区的某高标准农田项目总面积6000亩, 吸水管采用 $\phi 80$ PE单壁波纹管, 集水管采用管径 $\phi 90\sim 250$ mm的PVC管, 吸水管开孔率10%, 埋深1.4~1.6米, 间距50~70米, 施工全过程严格执行质量控制标准。针对项目区地势低洼、无法自流排水的特点, 工程配套建设了2座太阳能排水泵站, 采用光伏板+储能电池组合供电, 实现集水井水位自动感应、水泵智能启停, 并接入县级智慧水利平台进行远程运维。系统运行五年后, 排水功能依然良好, 未出现明显堵塞或沉降。监测数据显示, 项目区年均灌溉定额由实施前的 $480\text{m}^3/\text{亩}$ 降至 $360\text{m}^3/\text{亩}$, 节水率达25%; 小麦平均亩产由420公斤增至520公斤, 增幅达23.8%; 水分生产率由 $0.88\text{kg}/\text{m}^3$ 提升至 $1.44\text{kg}/\text{m}^3$, 提高幅度高达63.6%。同时, 太阳能泵站年均节约约1.2万度, 减少二氧化碳排放近10吨, 实现了节水、增产与减碳的多重目标。

5 存在的问题与对策建议

尽管暗管排水技术优势明显, 但在推广应用仍面临诸多

现实挑战。首先是初期投资较高, 每亩造价约800至1500元, 远高于明沟排水, 农民自筹意愿普遍不足; 其次是施工队伍专业化程度参差不齐, 部分地区由缺乏经验的非专业队伍承建, 难以保证施工精度与工艺规范; 再次是后期维护机制缺失, 许多工程建成后缺乏定期清淤、检修和监测, 导致系统功能逐年衰减; 最后, 部分地方存在“重建设、轻质量”的倾向, 技术标准执行不严, 监管流于形式。

针对上述问题, 亟需采取系统性对策。应强化全过程质量监管, 建立从设计、施工到验收、运维的全链条责任体系, 引入第三方检测机构进行独立评估; 大力推广标准化施工包, 制定适用于不同区域土壤与气候条件的施工工法图集与操作手册, 并开展面向基层技术人员的系统培训; 完善财政补贴与激励机制, 将施工质量与补贴发放挂钩, 鼓励采用优质材料与先进设备; 鼓励在具备光照条件的灌区优先采用太阳能排水泵站, 将可再生能源应用纳入高标准农田建设补助范畴, 推动“绿色排水”技术规模化落地; 同时, 加强节水效益宣传, 通过建设示范工程, 直观展示暗管排水在节水、增产、改土方面的长期成效, 提升农户与地方政府的认同感与参与度。

6 结语

暗管排水系统作为现代农业水利基础设施的重要组成部分, 其节水潜力巨大, 但这一潜力的释放高度依赖于施工阶段的质量控制。本文研究表明, 科学规范的施工工艺可确保系统长期稳定运行, 有效调控地下水位, 减少无效耗水, 显著提升灌溉水利用效率与作物水分生产率。在宁夏引黄灌区、东北等水资源紧张且盐碱化严重的区域, 高质量暗管排水系统的推广应用, 不仅是改良中低产田的有效手段, 更是实现农业绿色低碳转型、保障国家水安全的战略举措。未来, 应进一步推动暗管排水技术与智能灌溉、数字农田等现代信息技术融合, 构建“排水—灌溉—管理”一体化的智慧水管理系统, 为我国农业高质量发展和水资源可持续利用提供坚实支撑。

[参考文献]

- [1] 薛期颖. 暗管排水在高标准农田建设工程中的实例应用[J]. 黑龙江水利科技, 2022, 50(06): 206-210.
- [2] 洪万礼. 暗管排水与高效节水农田灌溉技术的协同作用及推广策略[J]. 江西农业, 2025, (10): 128-130.
- [3] 郭宸耀, 伍靖伟, 陈林, 等. 中国农田暗管排水排盐技术研究进展[J]. 农业资源与环境学报, 2024, 41(6): 1241-1250+1236.
- [4] 董啸鹏. 沟灌与暗管排水协同作用对水盐运移的影响[J]. 海河水利, 2024, (10): 95-101.