

南疆灌区骨干工程节水改造设计探析

孙文博

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司，新疆乌鲁木齐，830001；

摘要：南疆灌区作为我国西北干旱地区重要的农业生产核心区域，骨干工程的节水改造是保障区域水资源高效集约利用、提升农业综合生产能力与可持续发展水平的关键举措。本文立足南疆灌区独特的自然地理特征与水资源开发利用现状，系统剖析骨干工程节水改造设计的核心原则与技术导向，深入探究改造设计过程中面临的水资源约束刚性、工程适配性不足、生态保护压力等现实挑战，进而从灌溉系统布局优化、多元节水技术集成、生态协同设计深化、运维机制长效构建四个维度提出针对性设计路径，为南疆灌区骨干工程节水改造的科学化、规范化推进提供技术参考与实践指引。

关键词：南疆灌区；骨干工程；节水改造；设计优化；水资源利用；精准调控

DOI：10.69979/3060-8767.26.01.040

引言

南疆地区深居内陆腹地，属于典型的干旱半干旱气候，降水稀少且蒸发强烈，水资源总量稀缺且时空分布极度不均。水资源短缺已成为制约区域农业可持续发展、生态环境修复与经济社会高质量发展的核心瓶颈。灌区骨干工程作为区域水资源调配、灌溉保障与农业生产支撑的核心载体，其运行效率与工程质量直接关系到水资源利用效益的提升、农业生产的稳定性与区域生态环境的可持续性。长期以来，受早期建设标准偏低、工程运行年限较长、技术工艺相对滞后、维护管理投入不足等多重因素影响，部分骨干工程逐渐出现渠道衬砌老化破损、输水渗漏损失严重、泵站设备效能衰减、调控调度能力不足等突出问题，进一步加剧了区域水资源供需矛盾。节水改造设计作为提升骨干工程综合效能的核心环节与关键抓手，需充分结合南疆灌区的水资源禀赋条件、作物种植结构特征与生态环境承载能力，通过科学的技术选型、系统的方案优化与精准的细节设计，实现水资源节约增效、农业生产提质、生态保护修复的协同发展。如何通过合理化、科学化的设计方案破解工程改造中的多重约束条件，构建高效运行、稳定可靠、生态友好的现代化灌区骨干工程系统，成为推动南疆灌区农业高质量发展与生态安全保障的重要课题。

1 南疆灌区骨干工程节水改造设计的核心原则与技术导向

1.1 核心原则

1.1.1 水资源高效利用原则

节水改造设计以提升水资源利用效率与效益为核心目标，通过对工程布局的系统优化、技术工艺的创新改进与管理模式的精准适配，最大限度减少输水、配水、用水全流程中的渗漏、蒸发与无效损耗，显著提高灌溉用水的转化率与利用效率，实现水资源的集约节约与可持续利用，有效缓解区域水资源供需紧张的突出矛盾。

1.1.2 工程适配性原则

改造设计需全面考量南疆灌区复杂的地形地貌、多样的土壤条件与既有工程的建设基础，确保改造方案与现有水利设施体系实现有效衔接与功能互补，避免盲目追求技术升级与重复建设造成的资源浪费。同时兼顾工程技术的可行性、经济投入的合理性与运营管理的便捷性，全面提升改造工程的实用性、稳定性与长效性。

1.1.3 生态协同保护原则

设计过程中始终坚守水资源开发利用与生态保护相平衡的核心理念，充分考量工程改造对区域水文循环、土壤环境、植被覆盖等生态要素的潜在影响，避免因工程建设引发地下水位异常波动、土壤盐渍化加剧、生态用水保障不足等生态问题。通过生态化设计措施的科学应用，维护灌区生态系统的完整性与稳定性，实现农业生产发展与生态环境保护的协同推进。

1.1.4 区域统筹适配原则

结合南疆灌区不同区域的水资源承载能力、作物种植结构差异与产业发展布局特点，进行差异化、精准化的改造设计。统筹兼顾粮食安全保障、经济作物提质、生态用水保障等多重需求，确保改造工程与区域发展战略、农业产业规划、生态保护目标相契合，实现区域资

源的优化配置与综合效益最大化。

1.2 技术导向

以节水增效、生态友好、长效稳定为核心目标，聚焦输水效率提升、配水精准度优化、用水合理性保障全流程，重点依托先进适用的防渗堵漏技术、智能化监测调控技术、生态化工程改造技术、标准化运维管理技术等，构建“节水型、生态型、高效型、长效型”的现代化灌区骨干工程体系。技术选型坚持成熟性与创新性的有机结合，优先采用经过长期实践验证、适配南疆极端气候与复杂地质条件的优质技术方案，同时适度引入智能化监测终端、精准配水算法、生态材料应用等新技术成果，全面提升工程的现代化水平、智能调控能力与综合适配性。

2 南疆灌区骨干工程节水改造设计的现实挑战

2.1 水资源约束刚性强，节水压力突出

南疆灌区水资源总量先天不足，地表水资源受气候波动影响年际变化显著，且地下水超采现象长期存在，导致区域水资源供需矛盾日益尖锐。节水改造设计需在严格保障农业灌溉用水基本需求、维护农业生产稳定的前提下，实现节水效率的显著提升与用水结构的优化调整。如何在有限水资源的刚性约束下，科学平衡生产用水与生态用水、短期经济效益与长期可持续发展的关系，成为设计过程中必须破解的核心难题。

2.2 现有工程基础薄弱，改造适配难度大

部分骨干工程建成年代久远，受早期设计理念、建设技术与资金投入限制，普遍存在渠道衬砌老化破损、裂缝渗漏严重、泵站设备陈旧落后、配套调控设施不完善等问题。同时，既有工程布局受早期地形条件与灌溉需求限制，与当前规模化农业生产、精准化灌溉调控的适配性不足。改造设计需在不中断正常灌溉功能、保障农业生产不受影响的前提下，实现旧工程的升级改造与功能优化，面临技术方案适配、施工组织协调、新旧设施衔接等多重挑战。

2.3 生态保护要求高，设计平衡难度大

南疆灌区地处生态脆弱区域，生态系统自我修复能力较弱，骨干工程改造作为大规模的水利工程建设活动，极易对区域生态环境产生扰动。设计过程中需同时兼顾节水工程的效益提升与生态环境的保护需求，既要通过工程改造减少水资源浪费，又要避免工程建设对土壤、植被、水生生物栖息地等生态要素的破坏；既要保障农

业生产用水供给，又要预留充足的生态基流，满足下游河道、湿地等生态系统的基本用水需求。如何实现工程改造效益与生态保护目标的动态平衡，成为设计中的重要约束条件。

2.4 技术适配性与运维能力不匹配

南疆部分灌区地处偏远地区，交通可达性差、技术推广渠道有限、专业人才储备不足，导致基层灌区管理单位的运维保障条件相对薄弱。先进节水技术与智能化设备的稳定运行，需要依托专业的技术人才队伍与完善的运维管理体系。而当前基层管理单位普遍存在技术人员数量不足、专业技能水平有限、运维设备简陋、资金投入不足等问题，导致部分技术先进但操作复杂、维护要求高的方案难以长期稳定运行。如何选取既符合改造需求又适配区域运维能力的技术方案，避免“重建设、轻运维”导致工程效益衰减，成为设计中需重点考量的现实问题。

3 南疆灌区骨干工程节水改造设计的优化路径

3.1 优化灌溉系统布局，提升输水效率

结合灌区地形地貌特征、灌溉范围分布与作物种植布局，对骨干渠道进行系统性规划与优化调整，减少渠道迂回绕行段落，缩短输水路径长度，降低输水过程中的能量损耗与渗漏损失。针对不同渠道的渗漏等级与破损程度，科学选用混凝土现浇衬砌、高强度土工膜防渗、浆砌石护面等成熟可靠的防渗技术，对破损渗漏严重的渠道进行全面修复与标准化防渗处理，构建多层次、全方位的防渗体系。合理增设与优化节制闸、分水闸、量水设施等调控节点布局，提升水资源的精准调配能力与均衡供给水平，实现灌溉用水的按需分配与高效利用。

3.2 集成多元节水技术，强化精准调控

全面推广应用低压管道输水、滴灌、喷灌、微灌等高效节水灌溉技术，结合不同作物的需水规律、生育期特点与土壤墒情条件，优化灌溉制度与灌溉模式，实现从传统“漫灌”“粗放灌溉”向“精准灌溉”“按需灌溉”的转型。引入物联网、大数据、自动化控制等先进技术，在骨干渠道、灌溉泵站、关键分水口等节点设置流量、水位、墒情、水质等多维度监测设备，构建覆盖全灌区的水资源智能化管理平台。通过实时数据采集、动态分析研判与智能算法优化，实现灌溉用水的动态调控、科学调度与精准供给，全面提升水资源利用的精准度与综合效益。

3.3 融入生态化设计理念, 保障生态安全

在渠道改造设计中积极采用生态护岸、生态防渗等生态化技术方案, 选用本地适应性强的乡土植被、生态混凝土、多孔砖等生态友好型材料, 替代传统单一的硬质衬砌结构, 增强渠道的生态廊道功能, 改善区域微生态环境与水文循环。科学核算区域生态基流需求, 合理预留生态用水通道与泄放设施, 保障下游河道、湿地、自然保护区等生态系统的基本用水需求, 避免因工程改造导致生态系统退化。在泵站、水闸等水利枢纽工程设计中, 充分考虑水生生物的迁徙习性与生存需求, 合理设置鱼道、生态流量泄放口等专用设施, 维护水生生态系统的完整性与生物多样性。

3.4 适配区域运维能力, 构建长效机制

技术选型严格遵循“成熟可靠、操作简便、维护便捷、成本可控”的核心原则, 优先选用本土化、标准化、模块化的节水设备与技术方案, 降低设备操作难度与日常维护成本。在改造设计中同步规划建设简易运维站点、设备存放库房、检修通道等运维配套设施, 配备必要的检修工具、监测仪器与应急设备, 为日常运维工作提供基础保障。建立健全技术培训与指导长效机制, 定期组织对基层灌区管理人员、技术人员的专业技能培训, 重点提升其设备操作、故障排查、日常维护与应急处置能力, 确保改造工程长期稳定发挥效益。

3.5 融合数字孪生技术, 构建智能设计与管控体系

数字孪生技术在水利工程领域的深度渗透与创新应用, 为南疆灌区骨干工程节水改造设计提供了系统化、智能化的升级路径。该技术通过整合工程全生命周期的多维数据资源, 构建与物理工程实体高度同源的数字镜像模型, 实现改造设计、建设实施与后期运维全流程的协同优化与动态调控。在设计阶段, 依托南疆灌区高精度的地形地貌数据、详细的水文地质勘察资料、既有工程的运行现状数据等多源异构数据, 搭建覆盖工程全域的高精度数字孪生模型。基于该模型对不同节水改造方案下的输水效率提升效果、防渗技术应用成效、生态环境影响程度等核心指标进行全方位模拟推演, 为技术选型的科学性、布局优化的合理性提供坚实的数据支撑, 有效降低设计决策过程中的经验依赖性与盲目性。通过数字孪生模型对渠道流量动态调控效果、防渗层结构受力状态、生态流量保障水平等关键技术指标进行实时动

态仿真分析, 精准识别设计方案中潜在的结构隐患、功能缺陷与适配不足等问题, 提前优化工程核心参数与结构形式设计。同时, 将数字孪生模型与工程实时监测系统进行深度联动与数据互通, 在改造工程建成投用后, 可通过数字孪生模型实时映射物理工程的运行状态, 动态反馈水资源利用效率、工程设施损耗程度、生态环境响应情况等关键数据, 为后续运维调度的精准化、维修养护的及时化提供科学依据。数字孪生技术的应用既高度适配南疆灌区复杂的地形地貌、水文地质与生态环境条件, 又能通过智能化、数字化手段弥补传统设计模式的局限性与滞后性, 推动节水改造设计从传统经验驱动向现代数据驱动转型, 为灌区骨干工程的长效稳定运行与水源的精细化管理提供强有力的技术赋能与支撑。

4 结语

南疆灌区骨干工程节水改造设计是破解区域水资源短缺困境、提升农业综合生产能力、保障生态环境安全的关键举措, 具有重要的现实意义与深远的战略价值。当前, 改造设计面临水资源约束刚性强、现有工程基础薄弱、生态保护要求高、运维能力不匹配等多重现实挑战, 需要以系统思维、科学理念统筹兼顾各方需求与约束条件。通过优化灌溉系统布局、集成多元节水技术、融入生态化设计理念、适配区域运维能力等优化路径, 能够有效提升改造工程的节水效能、生态效益、稳定性能与长效性。未来改造设计中, 需进一步结合南疆灌区发展实际, 持续推动技术创新、方案优化与模式升级, 实现水资源高效利用、农业可持续发展与生态保护修复的协同共赢, 为南疆灌区农业高质量发展、粮食安全保障与生态安全维护提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 孙雪涛. 当前我国灌区节水改造的问题与对策[J]. 中国工程科学, 2002, 4(9): 7.
- [2] 张会琴. 浅析灌区存在的问题和节水改造建设管理措施[J]. 甘肃农业, 2013(16): 2.
- [3] 南娜娜. 新形势下淅史杭灌区节水改造建设管理与思考[J]. 江淮水利科技, 2011(6): 2.
- [4] 刘吉明. 浅析灌区续建配套与节水改造工程建设管理[J]. 农业科技与信息, 2022(8): 4.
- [5] 宋平. 水利水电工程中灌区节水改造技术浅析[J]. 水电水利, 2019, 003(006): P. 41-42.