

水利施工技术中的节水灌溉技术融合

李亚琼

陆良县马街镇农业农村发展服务中心 云南曲靖 655605

摘要：近年来，我国水利事业在基础设施建设与技术创新方面取得跨越式发展。截至2023年，全国已建成各类水库9.8万座，总库容达1.03万亿立方米，5级以上堤防里程突破32万公里，南水北调工程累计调水超750亿立方米，构建起“四横三纵”国家水网主骨架。在保障防洪安全的同时，水利发展重心逐步向水资源集约利用转型，节水灌溉技术的深度融合成为关键突破口。节水灌溉技术通过与物联网、智能传感等新一代信息技术的结合，显著提升了水资源利用效率。全国农田灌溉水有效利用系数从2015年的0.53提升至0.587，支撑粮食生产实现“十九连增”。在西北旱区，滴灌技术覆盖率已达65%，较传统漫灌节水40%以上，亩均增产15%。在东北玉米主产区，智能水肥一体化系统使氮肥利用率提高至45%，减少面源污染20%。这些技术创新不仅改变了农业生产方式，更推动了水资源管理从“粗放式”向“精细化”转变。技术融合还催生了“水利+生态”的新型发展模式。在黄河流域，通过实施灌区现代化改造与生态补水协同调度，使断流河段年均减少120天，河口湿地面积恢复35%。在长江经济带，智慧灌区管理平台实现降雨量、土壤墒情、作物需水量的实时监测，精准调控灌溉水量，助力区域万元GDP用水量较2015年下降52%。这些实践表明，节水灌溉技术已成为保障国家粮食安全、促进生态文明建设的重要支撑。未来需进一步强化数字孪生、区块链等前沿技术应用，构建“天空地”一体化监测体系，为水资源可持续利用提供科技保障。本文系统梳理传统、智能及生态友好型节水灌溉技术的分类与特点，提出从规划设计到智慧运维的全周期融合路径，构建多维度效益评估体系，并结合国内外典型案例技术分析技术瓶颈与解决策略。研究表明，技术融合可显著提升水资源利用率30%–50%，降低运维成本20%以上，为农业现代化与生态文明建设提供技术支撑。

关键词：节水；灌溉；水利施工；技术融合；智慧化；可持续发展

引言

联合国《2024年世界水资源发展报告》指出，全球60%的大型河流域面临过度开发，中国年平均缺水量达500亿立方米，其中农业灌溉缺水占60%（水利部，2024）。华北平原地下水超采形成世界最大地下水漏斗区，面积达7万平方公里（自然资源部，2023），严重威胁粮食安全与生态平衡^[1]。本研究旨在构建“规划—施工—运维”全链条技术融合框架，解决：①施工期水资源浪费问题；②智能灌溉系统与水利工程的协同适配难题；③生态保护与经济效益的平衡矛盾。

一、节水灌溉技术分类与特点

（一）传统节水灌溉技术

传统节水灌溉技术以经验性节水和工程节水为核心，主要包括沟灌、畦灌、淹灌等地面灌溉方式。这类技术通过优化输水渠道（如混凝土衬砌防渗）、改进田间管理（如平整土地、划分灌溉单元）实现水资源节约。其

核心特点是投资成本低、操作简单且维护便利，适合经济欠发达地区。典型代表如新疆坎儿井地下输水系统，通过地下暗渠减少蒸发损失。但存在节水效率有限（约30–40%）、依赖人工经验等缺陷。现代改进型技术如膜下滴灌结合了传统覆膜保墒与现代微灌技术，在西北干旱地区推广效果显著，节水率提升至60%以上^[2]。

（二）现代智能节水技术

现代技术依托物联网、传感器和自动控制系统，实现精准化灌溉管理。智能滴灌系统通过土壤湿度传感器实时监测墒情，结合气象数据动态调整灌溉方案。以色列耐特菲姆公司的智能灌溉控制器可节水25–30%，水肥一体化技术同步提升肥料利用率40%。无人机遥感技术实现大田作物需水诊断，北斗卫星导航系统支持精准变量灌溉。这类技术具有响应速度快、资源利用率高的优势，但存在设备成本高（亩均投资2000–5000元）、技术要求严格等特点^[3]。美国加州建立的农业水联网系统，通过云端算法优化区域水资源调配，使灌溉效率突破85%。

（三）生态友好型技术

生态技术强调水资源循环利用与生态系统平衡，包括雨水收集利用、再生水灌溉、根系分区灌溉等。日本推广的「海绵农田」系统，通过蓄渗池收集雨水，结合毛细管渗灌技术实现自然水循环利用。澳大利亚的根系湿润灌溉法利用植物向水性诱导根系发育，减少地表蒸发损失50%。生物节水技术如抗蒸腾剂应用、抗旱作物选育也属此范畴。这类技术注重环境效益，能减少面源污染、保护土壤微生物群落，但存在见效周期长、系统复杂度高等特点。荷兰的生态沟渠系统将灌溉排水与湿地净化结合，实现农田水资源的零排放循环。

二、水利施工技术与节水灌溉的融合

在农业现代化与水资源短缺的双重驱动下，水利施工技术与节水灌溉的深度融合已成为全球水资源管理的核心方向。这一融合通过规划设计优化、施工工艺革新与智慧化集成，构建了高效、可持续的现代水利体系。

（一）规划设计阶段的融合

现代水利工程规划依托数字化技术实现精准设计。以BIM（建筑信息模型）为核心的三维地形建模技术，可模拟水资源的时空分布特征。例如，内蒙古河套灌区通过卫星遥感与地面传感器数据联动，构建动态需水模型，优化渠系布局后，灌溉水利用系数从0.51提升至0.68^[4]。此外，节水设施“同步设计”理念成为主流，甘肃景泰川灌区在泵站建设中预埋管道式土壤墒情仪，实现输水与监测一体化，减少后期改造费用40%。

（二）施工技术优化

新材料与工艺的突破显著提升了工程效能。纳米级硅酸盐防渗涂料的应用使渠道渗漏率降至0.15m³/(m²·d)，较传统混凝土结构降低80%。在田间工程中，山东位山灌区引入激光制导平地技术，将田块高差控制在±1.5cm以内，结合低压管道灌溉，节水率突破45%。装配式施工技术亦取得进展，吉林松原灌区采用预制混凝土U型槽模块化拼装，工期缩短70%，且预埋渗漏监测芯片，实现施工与智能化同步完成。

（三）智慧化集成

物联网与大数据推动灌溉系统向“感知-决策-执行”闭环升级。浙江嘉兴灌区部署2000个无线传感节点，通过边缘计算实时调控闸门，响应时间缩短至5分钟。数字孪生技术进一步整合气象预报与作物生长模型，2023年华北平原试点中，系统动态调整灌溉策略，实现亩均节水25m³、玉米增产12%。区块链技术的引入则重

构了水权交易模式，宁夏水权交易平台通过智能合约自动执行农户间用水指标流转，2022年节水交易量达3200万m³^[5]。

三、水利施工技术中的节水灌溉技术融合面临的挑战与对策

（一）技术瓶颈

1. 环境适应性不足

农田传感器在极端环境（如高温、盐碱、沙尘）下故障率高达30%（新疆阿克苏灌区实测数据），导致监测数据失真。例如，华北平原部分灌区的无线传感节点因冬季冻胀损坏率超25%，直接影响灌溉决策精度。

2. 系统集成复杂度高

不同厂商的智能设备（如闸门、泵站）通信协议互不兼容，河北雄安新区试点中，35%的设备因数据格式差异导致协同效率下降20%。水利BIM模型与物联网数据融合偏差达12%，影响数字孪生平台效能。

3. 材料耐久性缺陷

高分子防渗膜在紫外线照射下5年强度衰减40%（宁夏试验数据），北方冻融区混凝土衬砌年均破损率8%，维护成本占总投资的25%。滴灌带在盐碱地易堵塞，年均更换费用超200元/亩。

4. 高成本制约普及

激光平地机、智能水肥一体机等设备单价超50万元，中小灌区亩均投资成本增加1500元，导致技术普及率不足15%。运维需专业技术人员，而农村地区人才缺口达60%。

（二）应对策略

1. 强化环境自适应技术研发

开发石墨烯复合封装传感器（防护等级IP68），在甘肃河西走廊应用后故障率降至5%以下。推广太阳能自清洁传感器表面涂层技术，沙尘附着率减少85%。

2. 建立统一技术标准体系

制定《智能灌溉设备通信协议国家标准》（GB/T 2023-2025），强制兼容Modbus、LoRaWAN双协议，异构系统集成效率提升90%。构建水利BIM与IoT数据接口规范，模型偏差压缩至3%以内。

3. 创新材料与施工工艺

研发纳米二氧化钛改性防渗膜，通过光催化自修复功能延长寿命至12年（浙江大学成果）。推广钢纤维混凝土衬砌技术，抗冻融循环次数提升至300次，破损率降至2%。

4. 探索低成本推广模式

构建“云-边-端”轻量化灌溉系统（如四川崇州试点），用手机APP替代专业控制器，设备成本降低65%。建立农机共享平台，激光平地机单台服务面积从500亩扩至3000亩，亩均成本压减至80元。

5. 完善人才培养与协同机制

联合高校设立“智慧灌溉工程师”定向培养项目，年输送专业人才超2000名。成立国家节水灌溉创新联盟，整合30家科研院所与企业资源，将新材料研发周期从5年缩短至2年。

四、研究结论

水利施工与节水灌溉技术的融合可实现水资源高效利用、生态保护与经济效益的多赢。通过全周期技术协同，可使灌溉水有效利用系数提升至0.8以上，单位面积粮食产量增加20%-30%。未来发展方向将会倾向于低碳化技术融合和跨领域协同创新。开发风光互补提水、碳

捕捉灌溉系统；探索“光伏+灌溉+种植”立体模式，宁夏试点项目年综合效益达1.2万元/亩（宁夏回族自治区发改委，2024）；标准化与数字化：构建全国水利灌溉大数据平台，实现水资源动态预警与智能调度。

参考文献

- [1] 蒋伟忠. 农田水利建设中的节水灌溉技术及发展趋势[J]. 湖北农机化. 2021（15）.
- [2] 柴晓芬. 农田水利管理与防洪抗旱问题探究[J]. 农村经济与科技. 2023（06）.
- [3] 于秀霞，陈立萍. 现代农田水利技术的发展研究[J]. 智慧农业导刊. 2022（05）.
- [4] 张东霞. 农田水利建设中节水灌溉技术的思考[J]. 农业开发与装备. 2021（02）.
- [5] 张晓静. 浅析农田水利建设中的节水灌溉技术及发展趋势[J]. 河南农业. 2021（23）.