

浅谈现代水利工程技术

张向往

河北省水务中心石津灌区事务中心 河北衡水 053000

摘 要: 现代水利工程技术在传统水利基础上,融合信息技术、材料科学、生态理念等多学科成果,实现了从“工程水利”向“生态水利”“智慧水利”的转型。其核心在于通过智能化监测、新型材料应用、生态友好型设计等技术手段,提升水资源调控效率、增强工程抗风险能力,并兼顾生态保护与可持续发展。本文综述现代水利工程在智慧监测、绿色施工、跨流域调水、防洪减灾等领域的技术突破,分析技术应用中的挑战,展望未来与数字孪生、低碳技术结合的发展趋势,为水利工程现代化建设提供参考。

关键词: 转型;智能化;应对风险;持续发展

1. 引言

水利工程作为人类改造自然、调控水资源的重要手段,其发展历程与技术进步紧密相连。从古代的都江堰、京杭大运河,到近代的葛洲坝、三峡工程,水利工程始终围绕“兴利除害”的核心目标,不断吸纳前沿技术成果。现代水利工程是指通过工程措施对水资源进行调控、管理和利用的系统工程^[1]。进入 21 世纪,随着全球气候变化加剧、水资源供需矛盾凸显及生态保护意识提升,根据调查研究,我国目前水资源现状严峻,人均水资源量仅为世界平均水平的 1/4,位列世界第 109 位,被列为 13 个水资源贫乏国家之一。在这种背景下,现代水利工程技术已突破传统“工程建设”范畴,现代水利工程已从传统的“工程水利”向“资源水利”转变,形成以“智慧化、绿色化、系统化”为特征的技术体系,强调水资源的合理配置和可持续利用,在保障水安全、促进可持续发展中发挥着关键作用^[2]。

2. 现代水利工程技术主要服务的方向

2.1 调控水资源: 通过建设水库、堤坝、水闸等设施,拦截、储存和分配地表水与地下水,解决地区性水资源时空分布不均的问题。同时也能有效拦蓄洪水,削减洪峰流量,大大降低下游地区遭受洪水侵袭的风险。例如,在一些河流的中下游地区,通过建设大型水利枢纽,在洪水期可以调节水量,避免了洪水泛滥对周边城市、农田、和居民生命财产的严重威胁^[3]。

2.2 灾害防治: 针对洪水、干旱等自然灾害,设计排涝渠道、疏浚河道、建立预警系统。例如南水北调工程缓解了

北方旱情,珠江三角洲的智能调度系统每年减少洪涝损失超 50 亿元。例如修建三峡大坝后,长江中下游防洪标准提升至百年一遇。

2.3 生态维护: 结合现代生态理念修复水域环境。一些水利工程在建设过程中,会兼顾生态保护,营造人工湿地、鱼类洄游通道等生态环境。例如,在大坝建设时,会专门修建过鱼设施,让鱼类能够顺利洄游产卵,保护了水生生物的多样性。同时,人工湿地的建设可以净化水质,增加水域生态系统的稳定性。

2.4 智慧水利系统建设: 运用物联网、大数据分析等技术,实现水资源管理数字化。2025 年国家重点研发计划中,智慧水利相关项目占比达 28%,涵盖洪水预警系统、水资源调度平台等。

3. 现代水利工程技术的核心领域与突破

现代水利工程技术的发展体现在多个维度,既包括硬件设施的升级,也涵盖管理理念的革新,其核心突破集中在以下领域:

3.1 智慧水利技术: 数字化与智能化转型

智慧水利是现代水利工程技术的核心方向,其依托物联网、大数据、人工智能等技术,实现水资源监测、调度、管理的全流程数字化。

智能监测系统: 通过布设传感器网络、无人机遥感、卫星监测等手段,实时采集降雨量、水位、水质、土壤墒情等数据,构建“空天地”一体化监测网络。例如,在长江流域,水利部门通过 thousands of 传感器实现流域内水文数据的分

钟级更新,为防洪决策提供精准依据。

数字孪生技术:利用三维建模与仿真技术,构建水利工程的“数字镜像”,模拟工程运行状态及极端天气下的响应。以黄河三角洲为例,数字孪生系统可模拟不同来水情景下的河道冲淤变化,为河道整治方案优化提供支撑^[4]。

智能调度算法:基于大数据分析的水资源调度模型,能够根据用水需求、气象预测等动态调整水库、闸门等水利设施的运行参数。如南水北调工程通过智能调度系统,实现长江水向北方地区的精准分配,年调水量稳定在100亿立方米以上,同时最大限度减少对调出区生态的影响。

3.2 跨流域调水与水资源优化配置技术

现代水利工程强调水资源的合理利用和优化配置。水资源水利的特点包括:有计划地合理取用、注重管理体制更新、符合生态环保要求。面对水资源时空分布不均的问题,现代跨流域调水技术通过工程创新与系统思维,实现水资源的高效配置。

(1) 长距离输水工程技术:解决高扬程、长距离输水中的渗漏、能耗问题。例如,南水北调中线工程采用预应力钢管混凝土管(PCCP),单管长度达50公里以上,渗漏率控制在0.5%以下;同时通过梯级泵站与自流渠道结合,降低输水能耗。

(2) 多水源联合调度技术:整合地表水、地下水、再生水等多水源,构建“丰枯互济、多源互补”的供水体系。以北京市为例,通过南水北调水、密云水库水、再生水的联合调度,全市水资源保障能力提升40%,有效缓解了缺水压力。

3.3 防洪减灾技术:韧性与风险防控升级

在气候变化背景下,极端天气引发的洪涝灾害频发,现代防洪减灾技术更注重“主动防控”与“韧性提升”。

(1) 洪水预报预警技术:基于气象大数据与机器学习模型,提高洪水预报的精度和预见期。例如,珠江流域采用AI洪水预报模型,将洪水预见期从传统的24小时延长至72小时,为人员转移和工程调度争取了宝贵时间。

(2) 堤防与坝体安全技术:通过新材料(如高性能土工合成材料)、结构优化(如加筋土堤防)提升工程抗灾能力。同时,利用无损检测技术(如雷达探测、声波监测)对坝体内部缺陷进行早期诊断,避免溃坝风险。

(3) 海绵城市技术:将水利工程与城市建设结合,通

过下沉式绿地、雨水调蓄池等“灰色+绿色”设施,增强城市对雨水的吸纳、蓄渗和缓释能力,缓解内涝压力。深圳光明区通过海绵城市改造,使区域内涝发生率降低60%以上。

3.4 智能化与网络化技术应用

水利工程传统管理依赖人工巡检水位、手动操作闸门,存在响应慢、风险高的问题。现在水利工程技术呈现智能化、网络化发展趋势。智能化技术使设备具备决策能力,可处理高风险问题,网络化技术则加速信息收集与处理,提高工程管理效率。

(1) 闸门和泵站远程控制:通过DO模块连接闸门启闭机、泵站电机,管理人员在云端平台下发指令,如水库水位超汛限时,远程开启溢洪道闸门,设定开启高度与速度,系统实时反馈闸门位置;灌区泵站根据土壤墒情自动启停,当含水量低于60%田间持水量时,泵站自动启动,灌溉达标后自动停机。

(2) 灌区工程联动控制:灌区的泵站、分水闸、计量闸通过系统联动,如某大型灌区,当1号泵站启动后,系统根据流量数据自动调节下游3处分水闸开度(如A闸开60%、B闸开40%),确保各片区水量均匀分配;通过超声波流量计记录各片区实际用水量,生成灌溉用水台账,实现“按量收费”,避免水资源浪费。

3.5 节水与循环利用技术:面对水资源短缺,现代水利工程注重节水技术与水循环利用。研究表明,通过优化灌溉系统,提高用水效率,可显著减少水资源浪费。

(1) 节水是水循环利用的基础。通过高效灌溉技术(如滴灌、喷灌)和工业废水回用,减少水资源消耗,为循环利用提供更多水源例如农业节水工程将灌溉水利用率提升至60%以上,剩余水量可纳入再生水系统

(2) 循环利用延伸节水效益。污水再生、雨水收集等技术将非常规水源纳入统一配置,形成“取水-节水-回用”闭环。如“三水共治”模式通过管网智能化改造,实现污水净化后用于灌溉,水资源重复利用率达90%

4. 现代水利工程技术应用中的挑战

尽管现代水利工程技术取得显著突破,但其应用仍面临多重挑战:

(1) 技术融合难度大:智慧水利涉及多学科技术整合,部分地区存在数据标准不统一、系统兼容性差等问题,导致“信息孤岛”现象。

(2) 生态影响的长期性: 大型水利工程对生态系统的影响具有滞后性和累积性, 如水库建设可能导致下游河道萎缩、鱼类种群减少, 相关生态修复技术仍需长期探索。

(3) 成本与效益平衡: 智慧化设备、绿色建材等成本较高, 对于经济欠发达地区, 技术推广存在资金障碍; 同时, 部分技术 (如跨流域调水) 的长期经济效益与生态成本难以量化评估。

(4) 全球气候变化的不确定性: 极端天气事件的频率和强度增加, 现有水利工程的设计标准 (如防洪水位、抗旱库容) 可能无法适应未来变化, 技术升级需兼顾“弹性设计”。

(5) 管理制度不完善影响技术发展: 管理制度不完善主要体现在制度缺少前瞻性、执行力度不足以及监管机制不健全等方面。自些, 许多水利工程的管理制度还停留在传统的模式上, 未能适应现代水利化发展的需要, 导致管理效率低下。例如: 一些水利工程的管理和维护仍然采用人工方式, 缺乏自动化和智能化的支持, 这不仅增加了管理成本, 还降低了管理效率。其次, 管理体制的执行力度不足也是一个突出问题, 一些水利工程管理单位没有执法权, 工作上执行起来束手束脚, 导致管理效果大打折扣。随着科技的不断进步, 水利工程管理的技术需求也在不断提高, 然而, 目前许多水利工程仍采用传统的管理方法和技术手段, 导致管理效率低下, 无法满足现代水利工程的技术需要。

(6) 老旧设备更新改造压力大

资金投入需求高: 改造工程规模庞大, 需大量资金支持, 但财政资金有限, 难以覆盖所有维护需求。涉及范围广且协调难度大: 改造涉及防洪排涝、供水、灌溉等多领域, 需跨部门协作, 但实际操作中仍面临管理边界不清、管护责任划分困难等问题。技术升级成本高: 传统人工巡检成本占工程预算的 25%–40%, 数字化转型虽能提升效率, 但初期投入大, 部分地区地质条件复杂进一步增加施工成本。自然灾害频发加剧风险: 暴雨、干旱等极端天气频发对设施稳定性要求更高, 进一步加重维护压力。

5. 未来发展趋势与展望

未来, 现代水利工程技术将朝着更精准、更绿色、更协同的方向发展:

(1) 数字孪生与元宇宙融合: 构建全要素、全生命周期的水利工程数字孪生体, 结合元宇宙技术实现工程运行的沉浸式模拟与交互, 提升决策效率。

(2) 低碳技术深度应用: 推广光伏水利 (如水库水面光伏电站)、氢能泵站等低碳能源方案, 推动水利工程从“耗能”向“产供能”转型。

(3) 跨境水利协同技术: 针对跨境河流的水资源分配与生态保护, 发展跨境数据共享、联合调度技术, 促进国际合作与争议解决。

(4) 社区参与式技术创新: 通过移动端 APP、微信小程序等工具, 让公众参与水资源监测与节水管理, 形成“政府 + 市场 + 公众”协同的水利治理模式。

(5) 智能监测系统: 通过传感器网络、物联网技术实现水位、流量、闸门开度等参数的实时监测, 结合 AI 算法进行风险预警和优化调度。

(6) 远程控制与无人化运维: 采用计算机、光纤网络通讯、传感器和测控软件等先进技术支持闸门远程启闭, 并逐步推广无人机巡检、机器化施工等技术

6. 结论

现代水利工程技术正经历从传统工程向资源管理、从单一功能向综合效益、从人工操作向智能控制的转变。现代水利工程技术的发展是多学科交叉、多技术融合的结果, 其核心目标已从“满足生存需求”升级为“保障水安全、促进生态平衡、支撑可持续发展”。从智慧监测到绿色施工, 从跨流域调水到防洪减灾, 每一项技术突破都体现了人类对水资源规律的更深理解与更负责任的态度^[5]。未来水利工程技术发展将更加注重与生态环境的协调, 强调技术创新和管理优化, 以应对日益严峻的水资源挑战。面对未来挑战, 需进一步加强技术研发、完善管理制度、加强政策支持、推动技术管理、推动国际合作, 让现代水利工程技术在保障水资源安全、应对全球水危机、促进经济社会发展、构建人与自然生命共同体中发挥更大作用。

参考文献:

- [1] 王浩, 周祖昊. 现代水利工程技术发展与展望 [J]. 水利学报, 2020, 51(3): 257–268.
- [2] 陈雷. 智慧水利建设的理论与实践 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2021.
- [3] 郑守仁, 钮新强. 大型水利工程生态保护技术研究 [J]. 土木工程学报, 2019, 52(8): 1–10.
- [4] Liao H, Zhang J. Sustainable Water Resources Management: Technological Innovations and Practices [J]. Journal

of Hydrology, 2022, 605: 127325.

[5] 水利部. 中国水利发展报告 (2023)[R]. 北京: 中国水利水电出版社, 2023.

作者简介: 张向往 (1980 年 8 月), 男, 汉族, 籍贯:

河北衡水, 本科学历, 高级工程师, 现就职于河北省水务中心石津灌区事务中心, 主要从事于工程建设与运行、农业灌溉、供水管理方面的工作。