

基层水利工程建设问题分析与对策研究

刘跃辉

新疆伊宁市水利局

DOI:10.12238/hwr.v9i4.6253

[摘要] 基层水利工程作为国家水网体系的末端单元,承载着区域水资源配置、农业灌溉保障、防洪减灾等重要功能。其技术特征体现为工程规模与自然条件的强耦合性、建设标准与区域经济水平的适应性、施工工艺与地方材料资源的匹配性。当前基层水利工程建设面临四大技术困境:地理空间异质性导致的规划失衡、水文地质复杂性引发的结构病害、材料性能局限性造成的耐久性缺陷、施工技术滞后性带来的质量风险。这些技术问题的累积效应已严重影响工程效益的可持续发挥,亟待构建系统化的技术治理体系。

[关键词] 关键词: 基层水利工程; 建设管理; 技术优化; 质量控制; 数字化管理

中图分类号: TV **文献标识码:** A

Analysis of Problems and Countermeasure Research in Grassroots Water Conservancy Project Construction

Yuehui Liu

Water Resources Bureau of Yining City

[Abstract] Grassroots water conservancy projects, as the terminal units of the national water network system, undertake critical functions such as regional water resource allocation, agricultural irrigation support, flood control, and disaster mitigation. Their technical characteristics are manifested in the strong coupling between project scale and natural conditions, the adaptability of construction standards to regional economic levels, and the compatibility of construction techniques with local material resources. Currently, grassroots water conservancy projects face four major technical challenges: planning imbalances caused by geospatial heterogeneity, structural defects induced by hydrogeological complexity, durability deficiencies due to limitations in material performance, and quality risks stemming from lagging construction technologies. The cumulative effects of these technical issues have severely impacted the sustainable performance of project benefits, urgently necessitating the establishment of a systematic technical governance system.

[Key words] Grassroots water conservancy projects; Construction management; Technical optimization; Quality control; Digital management

引言

基层水利工程是保障农业生产、改善农村生活条件的重要基础设施,其建设质量直接关系到水资源的有效利用和工程的安全运行。随着乡村振兴战略的深入实施,基层水利工程建设规模不断扩大,但同时也暴露出诸多技术管理问题。据统计,2022年全国基层水利工程合格率仅为86.3%,远低于大中型水利工程95%以上的合格率水平。这种质量差距很大程度上源于基层水利工程建设管理中的技术短板。本文从专业技术角度,深入剖析基层水利工程建设管理中的关键技术问题,提出系统化的解决方案,旨在为提升基层水利工程建设管理水平提供理论依据和技术支撑。

1 基层水利工程概述

1.1 基层水利工程建设的功能

基层水利工程作为国家水网体系的末端单元,承载着区域水资源配置、农业灌溉保障、防洪减灾等重要功能。具体如下:(1)在区域水资源配置方面,基层水利工程是实现水资源科学调配与精准供给的关键环节。它依据区域水资源分布特点和用水需求,通过建设水库、泵站、渠道等水利设施,对地表水、地下水进行合理开发、储存、输送和分配,有效缓解了水资源时空分布不均的矛盾,保障了城乡居民生活用水、工业生产用水和生态环境用水的合理需求,促进了水资源的可持续利用和区域经济的协调发展。(2)基层水利工程通过完善农田灌溉体系,建设灌

溉渠道、机井、喷灌、滴灌等设施,将水源引入农田,为农作物生长提供了必要的水分条件,提高了农业抗御自然灾害的能力,确保了粮食安全和农业增产增收。同时,高效节水灌溉技术的应用,还有助于提高水资源利用效率,减少水资源浪费。(3)洪水、暴雨等自然灾害对人民生命财产安全构成严重威胁,而基层水利工程作为防洪减灾体系的重要组成部分,通过修建堤防、水库、蓄滞洪区等防洪工程,以及完善排水系统、加强洪水预警预报等措施,有效拦蓄洪水、削减洪峰、分泄洪水,减轻了洪水灾害对区域经济社会的影响,为人民群众的生命财产安全提供了坚实保障。

2 基层水利工程建设技术特征

2.1 工程规模与自然条件的强耦合性

基层水利工程建设规模与所在区域的自然条件密切相关,呈现出高度的耦合性特征。自然条件,如地形地貌、气候特征、水文条件等,直接决定了工程的设计参数、施工难度及运行管理要求。以新疆为例,新疆地处干旱区,水资源时空分布极不均衡,天山、昆仑山等山脉的冰雪融水与季节性洪水成为核心水源。针对这一特点,水利工程布局需与地形地貌深度协同:在山前冲积扇区域,采用多级沉砂池与梯形引水渠系,有效调控含沙量高的融雪水流;在塔克拉玛干沙漠边缘,则通过地下暗渠与小型蓄水池组合,减少蒸发损耗。例如,克州阿合奇县采用“高线引水+梯级调蓄”模式,沿托什干河峡谷布设22公里压力管道,将水源输送至海拔落差800米的灌区,实现山体陡峭区与水系匮乏带的精准匹配。

2.2 建设标准与区域经济发展水平的适应性

基层水利工程建设标准需与所在区域的经济水平相适应,以实现经济效益与社会效益的最大化。例如,新疆水利工程呈现显著的“梯度适配”特征。在北疆经济较发达地区,如昌吉州玛纳斯河灌区,采用C30高性能混凝土预制构件,单位投资强度达1800元/m³;而在南疆贫困县,如莎车县小型农田水利工程,采用水泥土防渗技术,就地取材降低成本,单位投资控制在600元/m³。政策层面,《2025年自治区党委水资源管理委员会工作要点》明确要求:重大战略产业用水需求优先保障,地下水超采区压缩开采量,通过“节水为关键、蓄水为基础”原则,实现水资源配置与区域发展动态平衡。

2.3 施工工艺与地方材料资源的匹配性

基层水利工程的施工工艺选择需充分考虑地方材料资源的可获得性与经济性,实现施工工艺与地方材料资源的有效匹配。例如,吐鲁番盆地延续改良“坎儿井”技术,采用机械竖井掘进与传统暗渠衬砌结合,利用当地丰富的砾石、红柳枝等材料,单公里造价较全混凝土结构降低45%。阿克苏河灌区创新“就地模袋混凝土”工艺,将河道疏浚产生的砂石直接用于预制生态护坡模块,材料运距缩短至3公里内。在和田地区,水利工程广泛应用“芦苇束+卵石”的生态护岸技术,既保持90%以上的抗冲强度,又较钢筋石笼节约造价60%。

3 基层水利工程建设存在的问题

当前基层水利工程建设面临四大技术困境:地理空间异质性导致的规划失衡、水文地质复杂性引发的结构病害、材料性能局限性造成的耐久性缺陷、施工技术滞后性带来的质量风险。以上问题既是自然条件与工程技术矛盾的集中体现,也是区域特殊性与普适性技术标准冲突的产物。以新疆为例,详细阐述如下:

3.1 地理空间异质性导致的规划失衡

新疆地貌垂直分异显著,同一灌区内常存在高山冰雪区、山前砾漠带、冲积平原绿洲三级梯度,传统均质化规划模式难以适应。例如,塔里木河下游灌区按统一间距布设机井,导致冲积扇顶部井群出水量不足而扇缘地下水位持续下降;伊犁河谷因未精准识别水系拓扑关系,造成23%的支渠末端供水稳定性不足。遥感监测显示,全疆约35%的灌区存在工程布局与水系运移规律错位问题,导致水资源利用效率降低12%~18%。

3.2 水文地质复杂性引发的结构病害

准噶尔盆地南缘膨胀土区渠道衬砌因干湿循环产生>3cm裂缝;塔克拉玛干沙漠南缘盐渍土带混凝土结构氯离子渗透深度年均增长1.2mm;阿勒泰高寒区冻融循环造成30%的梯形渠道底板鼓胀破坏。监测数据显示,和田地区盐渍化渠段平均服役寿命仅6.8年,较设计年限缩短43%;天山北坡灌区冻害修复成本占年度维护费用的57%。

3.3 材料性能局限性造成的耐久性缺陷

现有材料体系难以适应极端环境,例如南疆芦苇束防渗体在强紫外线照射下,2年内抗拉强度开始衰减;北疆混凝土渠道因昼夜温差(日均波动35℃以上)导致的温度应力,使结构有效寿命缩短至设计值的65%。有实验数据表明,吐鲁番盆地传统沥青防渗层在70℃高温下软化变形达8mm,年维护频次增加2.3倍;喀什盐渍土区普通钢筋混凝土结构5年碳化深度超保护层厚度,钢筋锈蚀率高达29%。

3.4 施工技术滞后性带来的质量风险

传统施工工艺存在明显短板,南疆60%的防渗渠仍采用人工夯实施工,密实度波动范围达±15%;山区输水管道焊接合格率仅83%,年爆管事故率0.7次/百公里。统计显示,阿克苏河灌区人工衬砌渠道渗漏量达28m³/(km·d),超标准值3倍;塔城地区冻土区管道基础沉降差异率达12%,导致接口泄漏率上升至17%。此外,戈壁料场骨料级配合格率不足75%,直接影响混凝土结构抗渗等级降低1~2个标号。

4 基层水利工程建设问题的解决对策

基层水利工程作为国家水安全保障体系的重要基石,正面临前所未有的技术挑战。在新型城镇化推进和气候变化加剧的双重压力下,传统建设模式已难以适应高质量发展需求。下文将针对当前凸显的四大技术困境,构建系统性解决方案,通过技术创新与管理优化双轮驱动,探索现代水利工程的转型升级路径。

(1)在规划层面,基层水利工程受制于地形破碎度和水文单元分割,常出现工程布局与自然水系不匹配现象。首先,要建立完善的前期勘测技术体系。大力推广无人机航测技术,凭借其高

效、精准的优势,实现1:500比例尺地形图的全覆盖,为规划设计提供详细、准确的地形基础资料。同时,严格规范地质勘察工作,明确要求每个工程点位至少布置3个勘探孔,且取样间距不大于2米,确保能够全面、深入地了解工程区域的地质条件。其次,引入BIM技术平台,整合地质、水文、气象等多源数据,构建三维工程模型。该模型能够直观呈现工程区域各类信息,为规划设计提供多维度的参考,有助于设计人员更全面地考虑各种因素,优化设计方案。再者,采用蒙特卡洛模拟法进行水文计算。通过大量的随机模拟,充分考虑水文参数的不确定性,提高设计参数的可靠性,使工程设计能够更好地应对复杂多变的水文情况。另外,建立动态设计机制。考虑到施工过程中可能会遇到各种实际情况,允许在施工过程中根据实际情况对设计方案进行合理调整,确保设计方案始终与实际需求相匹配。最后,推行标准化设计。制定适用于不同区域的典型工程设计图集,力求覆盖80%以上的常见工程类型。标准化设计有助于提高设计效率、保证工程质量,同时便于施工管理和后期维护。通过以上多方面的优化措施,全面提升基层工程规划设计的水平。(2)结构病害防控方面,基层工程普遍存在渗漏、冻胀、冲刷等典型问题。渗漏破坏多源于防渗体系失效,传统上采用的粘土心墙,其渗透系数普遍高于 $1 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ 。为解决这一问题,建议改用纳米膨润土复合防渗材料。这种新型材料具有优异的防渗性能,其渗透系数可降至 $1 \times 10^{-9} \text{ cm/s}$ 量级,能够显著降低水分渗透的风险,有效提升工程的防渗能力。针对冻胀破坏,应建立冻深-含水率-冻胀力耦合计算模型,通过精确计算不同条件下冻胀力的大小,为防控措施提供科学依据。同时,采用相变储能材料(PCM)进行温度场调控。相变储能材料能够在温度变化时吸收或释放热量,从而有效调节基础周围的温度,将基础冻胀位移控制在 3 mm/m 以内,减轻冻胀对工程的影响。冲刷防护需改进消能工结构,研发非对称渐缩式消力坎,通过计算流体动力学(CFD)模拟技术,对非对称渐缩式消力坎进行优化设计,调整其形状和尺寸,使消能效率提升至85%以上,有效降低水流对工程结构的冲刷作用,保障工程的安全运行。(3)材料性能提升路径上,重点突破传统建筑材料的性能瓶颈。研制矿渣-粉煤灰基绿色混凝土,通过粒径级配优化使抗压强度达到C40等级,氯离子扩散系数低于 $2 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 。开发玄武岩纤维增强聚合物(BFRP)筋材替代钢筋,其抗拉强度可达 1200 MPa ,且完全消除锈蚀风险。对于土石坝填筑料,采用微生物诱导碳酸钙沉淀(MICP)技术进行改性,使土体无侧限抗压强度提高3-5倍,渗透系数降低1个数量级。(4)施工技术革新方向应聚焦智能建造与精准控制。推广基于BIM的4D施工管理系统,集成北斗定位与无人机航测技术,实现填筑碾压轨迹的毫米级监控。BIM作为数字化工具,以三维模型集成工程各类信息,4D

施工管理系统在此基础上融入时间维度,实现施工过程的动态模拟与管理。而北斗定位技术凭借高精度定位能力,无人机航测技术依靠高效的数据采集优势,二者与4D系统集成后,能对填筑碾压轨迹进行毫米级监控,极大提升施工精度与质量,推动施工技术迈向智能化、精准化新阶段。(5)质量保障体系构建需融合现代检测技术与预测模型。应用地质雷达(GPR)与高密度电法进行隐蔽工程检测,建立介电常数-含水率-密实度关系图谱,检测分辨率达到 5 cm 级。开发基于机器学习的质量风险预警系统,输入15项关键工艺参数即可预测结构服役性能,模型预测准确率超过92%。实施全寿命周期健康监测,布置FBG光纤传感网络,实时捕获结构应变、渗压、位移等参数,采样频率可达 100 Hz 。(6)运维管理技术升级应着重数字化与智能化转型。构建数字孪生运维平台,该平台集成了水文预报、工程响应、调度决策三大关键模块,水文预报模块可精准模拟和预测水文变化,为工程运维提供前瞻性的数据支撑;工程响应模块能依据实时监测信息,快速评估工程状态并做出相应调整;调度决策模块则结合前两者数据,制定科学合理的调度方案。通过三大模块的协同运作,平台实现了“监测-分析-处置”的闭环管理,可及时发现并解决工程运维中的问题,保障水利工程安全、高效、稳定运行。开发自适应调度算法,基于改进粒子群优化(PSO)算法进行多目标水资源配置,求解效率比传统方法提高60%。推广光伏驱动智能闸门系统,采用MPPT最大功率点跟踪技术,确保在阴雨天气仍能持续工作72小时。

5 结束语

通过上述技术体系的系统集成,可显著提升基层水利工程的本质安全水平和综合效益。未来需重点突破多场耦合数值模拟技术、自修复材料研发、边缘计算智能终端等关键技术,构建覆盖“规划-建设-运维”全链条的技术标准体系。建议建立省级基层水利工程技术协同创新中心,完善“产学研用”转化机制,定期开展技术适宜性评估与迭代升级,最终形成具有地域适应性的技术解决方案集群。

[参考文献]

- [1]马宁.水利工程建设管理中关键问题探讨[J].水上安全,2023(8):151-153.
- [2]吕建华.浅析农田水利工程建设与管理存在的问题及对策[J].农业科技与信息,2019,(12):95-96.
- [3]郭宏斌.基层水利工程质量管理的优化措施研究[J].工程技术研究,2019,(4):075.

作者简介:

刘跃辉(1975--),女,汉族,新疆伊宁市人,大专,中级工程师,研究方向为水政水资源、水利工程建设管理。