

解决水利工程养护难题与促进工程建设水平提升研究

海亮

新疆白杨河流域水利管理中心

DOI:10.32629/hwr.v9i11.6627

[摘要] 水利工程作为国民经济和社会发展的关键基础设施,其建设质量与长期养护效能直接关系到水资源安全、防洪保障、生态平衡与国计民生。本文立足于水利工程规模宏大、结构复杂、运行环境恶劣、功能综合性强等特点,深入剖析了当前水利工程在养护管理方面面临的系列难题,系统性提出了从源头提升工程建设质量的策略,并构建了“建管结合”的全生命周期管理体系。研究强调,通过强化工程全生命周期质量意识、推动新材料与新工艺的应用、构建智慧水利技术体系、完善养护市场化机制与标准化建设等路径,能够有效破解养护困境,并以高标准的养护需求反哺和驱动工程建设水平的整体跃升,最终实现水利工程的安全、长效、高效运行。

[关键词] 水利工程; 工程养护; 建设水平; 全生命周期; 智慧水利; 建管结合

中图分类号: TV **文献标识码:** A

Research on Solving Maintenance Challenges in Hydraulic Engineering and Promoting Construction Quality

Liang Hai

Xinjiang Baiyang River Basin Water Resources Management Center

[Abstract] As critical infrastructure for national economic and social development, the construction quality and long-term maintenance efficiency of hydraulic engineering are directly related to water resource security, flood control, ecological balance, and the national welfare and people's livelihood. Based on the characteristics of hydraulic engineering, such as large scale, complex structures, harsh operating environments, and strong functional comprehensiveness, this paper thoroughly analyzes the series of challenges currently faced in the maintenance and management of hydraulic engineering. It systematically proposes strategies for improving engineering construction quality from the source and establishes a full life-cycle management system that integrates "construction and management." The study emphasizes that by strengthening quality awareness throughout the entire life cycle of the project, promoting the application of new materials and technologies, building a smart water conservancy technology system, and improving market-oriented maintenance mechanisms and standardization, maintenance difficulties can be effectively resolved. Furthermore, high-standard maintenance requirements can, in turn, feedback and drive the overall leap in engineering construction levels, ultimately ensuring the safe, long-term, and efficient operation of hydraulic engineering.

[Key words] Hydraulic engineering; Engineering maintenance; Construction level; Full life cycle; Smart water conservancy; Integration of construction and management

引言

水是生命之源、生产之要、生态之基。水利工程是调控水资源时空分布、优化水资源配置、防御水旱灾害的关键手段。新中国成立以来,我国兴建了数以万计的水库、堤防、水闸、泵站、灌区等水利工程,形成了世界上规模最为宏大的水利基础设施体系,为经济社会持续健康发展提供了坚实支撑。然而,与辉煌的建设成就相比,水利工程的运营维护与管理养护工作却相对

滞后。许多工程,特别是中小型水利工程及早期建设的工程,正逐步进入“老龄化”阶段,设施老化、病害频发、功能退化等问题日益凸显。这不仅制约了工程效益的充分发挥,更埋下了不容忽视的安全隐患。

水利工程的养护管理与工程建设是相辅相成、辩证统一的整体。高质量的工程建设是降低后期养护成本、延长工程寿命的基础;而科学、精准、高效的养护管理,则是保障工程设计功

能得以实现、暴露工程建设潜在缺陷、并反馈指导新建工程实践的关键环节。因此,将养护管理的前瞻性需求融入工程建设阶段,以提升养护效能为导向驱动工程建设水平进步,已成为当前水利行业亟待深入研究与实践的重大课题。本文旨在从水利工程的独有特点出发,系统梳理养护难题的根源,并探索一条通过“建管结合”实现工程建设与养护管理协同高质量发展的有效路径。

1 水利工程的核心特点及其对养护管理的内在要求

水利工程的养护难题根植于其自身固有的特点,只有深刻理解这些特点,才能精准把握养护管理的重点与难点。

1.1 工程规模宏大,结构隐蔽性强

大型水库大坝、长距离输水渠道、深埋式隧洞等水利工程,往往具有巨大的体量和复杂的空间结构。其基础、坝体、地下涵管等关键部位长期处于水下或地下,可视性差,检测与监测难度极大。例如,土石坝的渗流路径、混凝土坝的深层裂缝、水下建筑物的冲刷与空蚀情况,难以通过常规手段及时发现。这一特点要求养护管理必须具备强大的“透视”能力,依赖于精密的内外部监测仪器和先进的无损检测技术,对工程内部状态进行实时感知与诊断。

1.2 运行环境恶劣,荷载条件复杂

水利工程长期暴露在自然环境中,承受着水压力、渗透压力、温度应力、冻融循环、风化腐蚀、地震荷载等多种物理、化学作用的交变影响。水位涨落带来的干湿交替、高速水流导致的空蚀与磨蚀、北方地区的冻胀破坏等,都对工程材料的结构耐久性构成严峻挑战。这种动态、恶劣的运行环境,要求养护管理不能是简单的“坏了再修”,而必须是一种基于对材料性能退化规律深刻理解的、预见性的主动维护体系。

1.3 功能综合性强,社会影响深远

一座大型水利枢纽往往兼具防洪、供水、灌溉、发电、航运、生态等多重功能。其养护工作的安排,必须在保障工程安全的前提下,统筹协调各功能需求,尽量减少对下游生活、生产、生态用水的影响。例如,水库除险加固施工窗口期的选择,需要紧密结合流域汛期、用水高峰期等因素。这使得水利工程的养护管理不仅是技术问题,更是一个涉及社会、经济、生态的复杂系统工程,要求管理者具备高度的综合协调能力。

1.4 系统关联度高,单一病害易引发连锁反应

水利工程是一个有机的整体,上下游、左右岸相互关联。一个闸门的失灵、一段堤防的溃决,都可能引发灾难性的连锁反应。因此,养护工作必须树立系统思维,不能孤立地看待某个构件或部位的问题。对局部病害的修复,需评估其对整体结构安全性和功能完整性的影响,确保养护方案的系统性与全局性。

2 当前水利工程养护管理面临的主要难题

水利工程养护是为保障水利设施长期安全运行与功能完好,所进行的系统性、持续性检查、监测、维护与修理工作。其核心在于通过预防性维护和及时修复,应对水流冲刷、材料老化、隐蔽病害等特有挑战,确保工程持续发挥防洪、供水、灌溉等效益,并延长使用寿命,是实现水利设施“建管并重”和可持续发展的关键环节。当前我国水利工程养护管理在实践中面临着诸多严峻挑战。

益,并延长使用寿命,是实现水利设施“建管并重”和可持续发展的关键环节。当前我国水利工程养护管理在实践中面临着诸多严峻挑战。

2.1 “重建轻管”观念根深蒂固,管理机制不畅

长期以来,在政策考核和投资导向的驱动下,部分地区仍存在“重建设、轻管理,重枢纽、轻配套,重骨干、轻末级”的倾向。有限的资源和精力主要投向新项目的立项与建设,而对建成后工程的长期运维投入不足。在管理体制上,建设与养护常常分属不同部门,缺乏有效的沟通与协作机制,导致养护部门难以提前介入建设过程,建设阶段遗留的“先天不足”问题为后期养护埋下了巨大隐患。

2.2 养护资金保障不足且来源单一

水利工程,特别是公益性较强的防洪、灌溉等工程,其养护经费主要依赖财政拨款,缺乏稳定的、市场化的资金补充渠道。随着工程数量的不断增加和老化程度的加剧,财政资金常常捉襟见肘,导致许多工程只能进行“救火式”的应急抢险,而无法开展系统性的预防性养护和周期性大修。资金短缺已成为制约养护工作正常开展的最核心瓶颈。

2.3 养护技术手段相对传统,智能化水平不高

目前,许多基层管理单位的养护工作仍依赖于人工巡检、简单工具测量等传统方式,效率低下且主观性强。对于内部隐患和深层缺陷,缺乏高效、精准的探测与诊断技术。在数据分析方面,未能充分利用监测数据构建预测模型,实现安全预警与风险精准防控。智慧水利技术的应用多停留在示范层面,尚未在养护管理实践中大规模、深度落地。

2.4 专业化人才队伍短缺,技术支撑乏力

水利工程养护是一项技术密集型工作,需要从业人员既懂工程结构、水力学、材料学,又熟悉监测、检测、评估与修复技术。然而,当前养护一线普遍面临人才断档问题:高水平技术人才更倾向于流向设计与建设单位,基层养护队伍年龄结构老化、知识更新缓慢,难以适应现代化、精细化的养护管理要求。

2.5 标准化与信息化建设滞后

尽管已出台部分水利工程养护技术规程,但在具体操作的细化、不同工程类型的差异化标准等方面仍存在空白。养护工作的流程、质量、验收等缺乏统一、量化的标准。同时,各类水利工程的基础信息、监测数据、维修记录等管理分散,未形成统一的数据库和信息管理平台,“信息孤岛”现象普遍,阻碍了养护决策的科学化进程。

3 “建管结合”的全生命周期管理体系

破解养护难题,必须从源头抓起,将全生命周期成本最低、长期运行安全可靠的理念贯穿于工程规划、设计、施工的全过程。

3.1 强化全生命周期质量意识,推动“建管结合”理念落地

必须在项目决策和立项阶段,就明确工程的长期运维责任和成本。推行“建设为管理服务”的理念,建立建设方与未来运维方的早期沟通机制。在工程设计和招标阶段,要求设计单位充分考虑可检性、可达性、可修性、可换性。例如,在坝体内预设

监测廊道和仪器管道,在结构中预留检修通道和更换空间。在施工阶段,引入未来运维单位参与关键工序的验收,确保施工质量符合长期运行要求。

3.2 大力推动新材料、新工艺与智能结构的应用

工程建设阶段是应用创新技术的黄金时期。应积极推广使用高耐久性混凝土、自修复防水材料、高性能防腐涂层等,从材料层面提升工程的“先天免疫力”。在施工工艺上,采用更精准的温控措施防治大体积混凝土裂缝,应用新型止水带安装工艺确保接缝密封质量。同时,探索在新建工程中植入光纤传感器、微机电系统(MEMS)等智能传感元件,打造“带体检表出生”的智能水利工程,为后续的智慧养护奠定坚实的物理基础。

3.3 构建基于BIM技术的数字化资产

在工程建设阶段,全面应用建筑信息模型(BIM)技术,构建与实体工程完全对应的精细化数字孪生模型。该模型应集成几何信息、材料参数、设备属性、施工过程记录等全要素数据。工程竣工交付时,同步移交完整的数字化资产。此举将彻底改变传统依赖纸质图纸的粗放管理模式,使养护人员能够随时随地调取任一构件的全部信息,为病害诊断、维修方案模拟、备品备件管理提供强大的数据支撑。

3.4 完善工程质量终身责任制

严格落实水利工程建设各方主体的质量终身责任,将工程长期运行性能纳入考核追责体系。通过建立可追溯的档案制度和严厉的惩戒机制,倒逼设计单位进行更审慎的设计、施工单位采用更规范的工艺、监理单位履行更严格的监督,从制度上保障工程建设的初始质量,减少因“先天缺陷”导致的后期养护负担。

4 创新养护管理模式,实现工程可持续运行

在提升工程建设水平的同时,也必须对现有的养护管理模式进行深刻变革。

4.1 构建“天-地-地下”一体化的智慧养护技术体系

综合利用卫星遥感(RS)、无人机(UAV)、物联网(IoT)、机器人等现代化技术,构建立体化、智能化的工程监测与巡查网络。(1)宏观层面(天)。利用InSAR卫星遥感技术,对大范围库区边坡、大坝坝体、长距离输水线路的地表形变进行毫米级精度的周期性监测,及时发现不稳定区域。(2)中观层面(地)。利用无人机搭载高清相机、多光谱相机、激光雷达(LiDAR),对坝面、护坡、闸室等区域进行高效、高精度的巡检,生成实景三维模型,自动识别裂缝、渗漏、植被异常等表观病害。(3)微观与内部层面(地下/水下)。利用水下机器人(ROV)检测坝前、消力池等水下部位的冲刷与损坏情况;利用爬壁机器人、管道机器人进入狭小空间进行检查;利用分布式光纤传感技术感知结构内部的应变与温度场变化。

4.2 发展基于大数据与人工智能的预测性维护

整合各类监测、检测、巡检及历史维修数据,构建水利工程

健康诊断与安全预警大数据平台。利用机器学习和深度学习算法,挖掘数据背后隐藏的规律,建立工程性能退化模型与风险预测模型。实现对结构剩余寿命的预测、对险情发生概率的评估,从而将养护策略从“定期检修”和“事后维修”转变为基于实时状态的“预测性维护”,科学指导养护资源的优化配置。

4.3 探索多元化资金保障与市场化运营机制

积极拓宽养护资金渠道。对于准公益性和经营性水利工程,应建立“谁受益、谁补偿”的机制,通过水价、电价的合理构成,反哺工程养护。推广“工程保险+养护”模式,利用保险市场机制约束和提升工程安全水平。同时,在具备条件的地区,积极探索通过政府购买服务、委托专业公司运营、组建区域性集约化养护中心等市场化方式,提升养护工作的专业化水平和经济性。

4.4 加强标准化建设与专业化人才培养

加快修订和完善覆盖不同工程类型、不同养护环节的技术标准、定额标准和考核标准。建立常态化的技术人员培训体系,与高等院校、科研机构合作,开展定向培养和在职培训。设立首席技师、技术带头人等岗位,畅通养护技术人员的职业发展通道,吸引和留住高素质人才投身于水利工程养护事业。

5 结论

水利工程的养护与建设,犹如一体之两翼、驱动之双轮,共同构筑着国家水安全的坚实基础。本研究系统论证,破解当前严峻的养护难题,必须超越“就养护论养护”的局部视野,将其置于工程全生命周期管理的宏大框架下进行系统性统筹。结论表明:观念转变是前提,须从根本上确立“建管并重”的指导思想;源头管控是关键,通过建管结合、数字孪生等手段,从设计施工源头根除隐患;技术创新是动力,发展“天-地-地下”一体化的智慧养护体系以应对工程复杂性;机制保障是基础,依赖多元化投入与市场化运营确保养护工作的可持续性。唯有构建“建设为养护创造条件,养护为建设反馈提升”的良性闭环,方能从根本上提升我国水利工程的整体品质与长效运维能力,推动水利事业从规模增长向高质量发展转型,确保每一项水利工程都成为经得起历史检验的百年丰碑,为实现中华民族的永续发展提供更为坚实的支撑。

【参考文献】

- [1]李宏恩,何勇军,徐海峰,等.水利工程安全监测物联网技术研究与应用进展[J].水利学报,2020,51(11):1297-1310.
- [2]王仁钟,李雷,盛金保.我国水库大坝安全评价与风险管理的现状与展望[J].水利水电科技进展,2018,38(1):1-8.
- [3]刘六宴,毛跃辉.我国水闸工程安全管理与养护维修存在的问题及对策[J].中国水利,2019(15):55-57.

作者简介:

海亮(1990—),男,回族,新疆乌鲁木齐人,本科,水利工程师,研究方向为水利工程。