

智慧水利背景下工程施工管理模式创新研究

杨玉霞

定西市水务投资(集团)有限公司, 甘肃 定西 743000

[摘要]智慧水利建设促使工程施工管理由经验驱动转变为数据驱动。数字孪生、BIM、物联网和 AI 技术的融合应用正在改变水利工程施工的组织逻辑以及控制流程。传统的模式存在着数据孤岛、协同效率低、质量追溯难等问题, 必须依靠数据贯通来推动管理模式的革新。从数字化协同、智能感知管控、数据驱动决策、信息共享贯通四个方面提出创新路径, 从基础设施、制度机制、监测能力、人才保障四个方面构建实施保障。管理创新的本质不是技术叠加, 而是用数据流推动管理流程的再造。

[关键词]智慧水利; 水利工程; 施工管理; 模式创新

DOI: 10.33142/hst.v9i8.20427

中图分类号: TV51

文献标识码: A

Research on Innovation of Construction Management Mode under the Background of Smart Water Conservancy

YANG Yuxia

Dingxi Water Investment (Group) Co., Ltd., Dingxi, Gansu, 743000, China

Abstract: Smart water conservancy construction promotes the transformation of engineering construction management from experience driven to data-driven. The integration of digital twins, BIM, Internet of Things and AI technology is changing the organizational logic and control processes of water conservancy construction. The traditional mode has problems such as data silos, low collaboration efficiency, and difficult quality traceability, and must rely on data connectivity to promote the innovation of management mode. Propose innovative paths from four aspects: digital collaboration, intelligent perception and control, data-driven decision-making, and information sharing and integration. Construct implementation guarantees from four aspects: infrastructure, institutional mechanisms, monitoring capabilities, and talent safety. The essence of management innovation is not the superposition of technology, but the use of data flow to drive the reengineering of management processes.

Keywords: smart water conservancy; water conservancy engineering; construction management; model innovation

引言

水利工程施工管理正在发生着深刻的变革。数字孪生、BIM、物联网、人工智能等技术的运用使得水利领域感知手段、信息载体、决策方式发生了根本性的改变, 由原来的“人工巡检”变成了现在的“泛在监测”, 由原来的“纸质台账”变成了现在的“数据模型”, 由原来的“经验判断”变成了现在的“算法推演”。但是技术条件的改善并没有自动带来管理效能的同步提高。传统的条块分割、层级传递、事后补救的管理模式同智慧水利所要求的实时感知、数据贯通、协同决策之间存在着结构上的矛盾。破解这一张力, 就要用数据贯通推动管理流程再造, 把技术优势转化为管理效能。

1 智慧水利背景下工程施工管理模式创新的基础

智慧水利的技术底座由数字孪生、BIM+GIS 融合、

物联网感知和人工智能分析这四个部分组成。数字孪生技术凭借数据整合、模拟仿真、智能分析这些特性, 给水利工程建设管理赋予了全新的途径, 它的本质就是创建起一个虚拟的空间, 把实体工程实时地映射到其中, 从而达成对全部要素的可视化展示以及可推演的管控。BIM 和 GIS 集成可以解决水利工程由于空间跨度大、地形复杂而造成的信息整合困难的问题, 用精确的三维建模和实时的数据监控给施工组织提供数据驱动的决策支持。从管理学角度来说, 智慧水利给施工管理带来的理论冲击就是改变了在信息不对称条件下协调机制。传统的管理模式依靠的是层级传递、书面报告来弥补信息的鸿沟, 但是数字化平台使得各个参与方几乎可以同时得到相同的数据库。由此而来的改变是管理理论由控制型向赋能型转变, 由事后追查转为过程穿透。在此理论框架之下, 施工管理的创新方向已经从原来只看技术层面的工具引进转变成了对组织逻辑、

决策程序以及责任体系进行整体调整的过程。

2 智慧水利背景下工程施工管理模式的现状与创新需求

2.1 智慧水利对工程施工管理模式的影响

智慧水利建设给施工管理带来的影响,最直接的体现就是管控颗粒度的细化。传统的施工质量控制方式是以单元工程、分部分项工程为基本单位,事后抽检为主。数字孪生系统可以对混凝土浇筑温度、碾压轨迹和压实度、灌浆压力和流量等进行实时监测,使质量评价由抽样推断转变为全量感知。某大型水库工程研发的混凝土智能拌和系统,可以对原材料、出机口温度、含水率等进行自动采集、分析、评价、预警、调控。其智能碾压系统依靠北斗高精度定位和机载传感器,用厘米级精度记录碾压轨迹、速度、振动频率,及时发现漏碾、超速或者压实不够等问题。管控方式也发生了改变。该流域治理工程搭建的数字化体系给近两千名务工人员颁发了专属的数字化电子身份证,施工现场管理实现了从人盯人到云管人的转变。另外一项枢纽工程将信息化团队配置、智能监测设备配备、系统填报等数字化要求写入合同,在履约检查中严格履行,用制度的力量推动管理方式的转变。

2.2 传统水利工程施工管理模式存在的问题

传统管理模式的结构性困境,在智慧水利背景之下更加明显。传统管理模式对于复杂多变的水利工程项目来说,存在着信息不畅、数据孤岛、资源调配效率低下的诸多弊端。就具体而言,参建各方所使用的各种信息平台以及数据格式不同,设计、施工、监理之间数据的流转依靠人工传递,形成了数据烟囱。质量追溯的粗放性属于第二个困境。传统模式下,隐蔽工程验收、原材料质检、工序交接等重要信息都用纸质台账来记录,分散存放在各个地方,查找起来十分麻烦,一旦出现质量问题,就容易造成追溯链条的断裂。水利工程建设过程中管理模式体制僵化、管理粗放、监管体系不健全、智能化水平低等问题已经不能满足高质量发展的要求。进度与资源配置的经验依赖是第三重困境,土石方调配、材料库存、设备调度等决策大多依靠管理人员的经验来做出,没有实时数据的支持。抽水蓄能电站土石方工程量大、施工强度大、作业面相互影响、挖填配合不好,是传统资源调配模式存在的局限性的一种体现形式。

3 智慧水利背景下工程施工管理模式创新方向

3.1 基于数字化平台的施工协同管理模式创新

传统的施工协同的障碍就是信息传递的串行性和失真性。设计变更由提出到到达施工班组,一般要经过设计、

监理、总包、分包、班组等几个环节的传递,每一个环节都会造成信息的延迟或者衰减。数字化平台把协同流程由人传人变成点对点,从而消除上述问题^[1]。供水能力提升项目的实践可以给一般的工程管理提供一个典型的案例。该项目以 BIM 一体化协同管理平台为依托,整合建筑、结构、机电、水力等各专业设计力量,用统一模型开展并行设计,将跨单位沟通响应时间从传统的 48h 缩短到现在的 6h。实质就是信息传递路径扁平化,所有的参建方都在同一个模型上工作,那么变更的影响范围可以立即被看到,相关的各方可以同时作出反应而不是逐级通知。大型水库工程图纸审核流程也证明了该逻辑——审核环节上线之后,数据信息点对点传递,发起图纸审核和派发人确认之间就形成了参建各方之间的直接通道。协同效率的提高不但可以缩短沟通的时间,还可以保证设计意图在传递的过程中不被破坏,减少由于信息失真造成的返工和变更。

3.2 基于智能感知的施工质量与安全管理模式创新

智能感知技术对于质量安全的改造,并不是单纯的监测本身,而是把管控节点从检验前移到了过程之中。传统的质量控制逻辑是事后抽检、不合格返工,智能感知使实时纠偏、预防偏离成为可能。某大型引调水工程所建立的智慧管理体系,依靠数字孪生平台把全域感知数据、专业分析模型和知识规则融合起来并加以协同使用,较好地应对了大直径深埋长隧洞施工中地质复杂、协同难、安全风险大的难题。就安全控制而言,该枢纽工程所设置的上千个定位装置遍布于所有的在岗人员和作业车辆之中,隧洞施工环境里各种有害气体能够 24h 不间断地被感知并且联动风机自动排风,数百路监控以及可视化广播系统实现了全工区的打通。某地试点项目把监管物的不安全状态转变为动态监管人的不安全行为,用 AI 慧眼对未戴安全帽、高空作业防护缺失等隐患进行实时识别和即时预警^[2]。在质量控制上,混凝土浇筑温度、碾压轨迹和压实度、灌浆压力和流量等重要参数也被持续收集并加以预警,从而使质量评定由抽样推断变为全量感知。管控逻辑由原来的静态达标检验变为动态行为干预,这是智能感知对于安全管理范式的一种根本性改变。

3.3 基于数据驱动的施工进度与资源配置管理模式创新

进度管理与资源配置是施工管理中联系最密切的两个环节,资源配置是否合理直接影响到进度能否实现,进度出现偏差又会促使资源重新分配。在传统的模式下,两者的决策依据主要是依靠计划工程师的经验判断以及定期的报表来决定的,存在很大的滞后性。数据驱动模式的

关键改进就是创建起感知、分析、调配的闭环。该抽水蓄能电站项目把无人机航拍得到的高精度地形数据同 BIM 模型融合起来,准确算出各个区域的土石方量,采用仿真算法对各个作业区的工程量以及运输路线实施智能调配。测量收方效率提高 5 倍以上,采用数智化技术对施工方案、设计进行优化,已创效约 1000 万元。某流域治理工程智慧土方调度系统用电子围栏、规范运输路线、车辆动态监管等方式,共安全完成几百万吨土方调运,保证数十万趟次运输作业安全有序地进行。

表 1 智慧水利背景下施工管理模式创新方向与效能对比

创新维度	核心技术	典型应用场景	管理效能提升
协同管理	BIM 一体化平台	多专业并行设计、在线变更	沟通响应时间压缩 87.5%
智能感知	物联网+AI 识别	人员定位、气体监测、行为预警	隐患处置率 100%,复发率降低
数据驱动	无人机+BIM+仿真算法	土石方调配、进度可视化	测量收方效率提升 5 倍
信息贯通	数字化交付平台	电子档案、全流程追溯	隐蔽工程 100%可追溯

从表 1 可知,四个创新方向的技术路线和效能提升各不相同,但是都存在着同一个共同点,即用数据的自动流转代替人工传递,用算法的实时分析来辅助经验判断。

3.4 基于信息共享的施工组织与全过程管控模式创新

施工组织的核心问题就是正确的时间、正确的资源、正确的地点。在传统的组织模式之下,实现这一目标需要依靠调度人员的经验以及经常性的现场协调,而信息不对称又造成窝工和抢工互相交替。信息共享对施工组织进行改变有两个方面。第一,可知,某枢纽工程正在推进的数字档案馆建设,对数万个单元工程逐一建立了数字化档案,包含设计图纸、隐蔽验收影像、监理举牌记录、原材料质检报告、混凝土浇筑温度等资料,将来会和 BIM 模型联动挂接,点开模型任意部位就可以调取对应的电子资料,实现全流程可追溯^[3]。第二,可控,该水利枢纽工程数字化设计交付平台是以云架构为基础搭建起来的,已经完成了几十套 BIM 模型、施工图纸、技术文档等各类在线协同审查和报告的自动生成,有效地消除了各个参建单位之间的数据壁垒。信息共享的深层价值就是施工组织由被动响应转变为主动预控,当各个环节的数据实时可见的时候,组织决策的依据就从“发生了什么”变成“正在发生什么”和“将要发生什么”。

4 智慧水利背景下工程施工管理模式创新的实施路径

4.1 完善智慧施工管理平台与数字化基础设施建设

平台建设首先要解决的就是参建各方系统之间连通

性的问题。某枢纽工程数字化设计交付平台的建设经验显示,水利工程数字化交付存在参建单位多、各设计单位的设计平台不能统一、BIM 应用水平参差不齐、数据格式和编码方式不同等现实问题,必须用工程全生命期、全要素管理的思想来开展系统的架构设计。基础设施建设要遵照统一标准、分步接入的准则,先创建数据标准和接口规范,然后慢慢融合各个专业系统,防止出现重复建设和数据割裂的情况。大型水库工程制定 BIM 交付、GIS 融合应用等数据标准的做法,为之后全生命周期数字孪生平台的建立打下了基础。

4.2 健全施工管理制度与多主体协同管理机制

技术平台效能发挥要靠制度保障。枢纽工程把数字化要求写入合同并严格履约检查的做法,给一条可复制的制度化路径。多主体协同机制的建立要确定各个参建方在数字化平台上所承担的职责范围和权利义务,即设计方的模型交付标准、施工方的数据填报责任、监理方的在线审批权限、业主方的数据调阅范围等,在管理制度中加以规定。某地推行的清单、专班、销号监督机制,把数十个项目、上百个参建单位纳入到省级监管平台动态管理当中,给多主体在线协同监管提供制度框架。同时要创建数据质量考核和责任追究制度,把平台使用状况当作履约评定要素之一,保证制度约束和技术支撑互相配合。

4.3 强化施工过程智能监测与数据分析应用

智能监测的价值不是数据的多少,而是数据到决策的转化率。目前部分项目监测系统只停留在“看”的层面,数据只是用来展示,并没有进行分析。某大型水库工程在智能温控领域实践出更深层次的应用,即创建大坝混凝土拌合质量智能分析、预测和调控方法与模型,从而达到从监测到调控的转变。采用自动设备或者人工操作的方式对时段化精准调控进行控制,包含智能出机口温度预警决策、仓面温度控制、通水冷却调控和保温预警决策全过程,使大坝施工期的工作状态可知、可控。数据分析应用的深入方向是把描述性分析转变为预测性分析、处方性分析。

4.4 加强专业人才培养与智慧施工管理保障体系建设

复合型人才短缺成了智慧水利施工管理落地的又一重大障碍。水利行业推进数字孪生,必须要有懂水利专业知识又会信息化技术的复合型人才。枢纽工程信息化部专员兼有系统设计员和产品经理的双重身份,其工作就是挖掘一线业务需求,提出设计方案,最后交给技术部门完成代码落地,这是目前最缺少的人才角色。人才培养要两条腿走路,一方面依靠在职培训提高现有管理人员的数字化水平,某枢纽工程加大一线操作人员技能培训力度的做法

可以借鉴;另一方面在高等教育阶段加强水利工程和信息技术交叉培养,从源头上储备复合型人才。

5 结语

智慧水利背景下的施工管理模式创新,它的主要命题不是技术的引进,而是管理逻辑的转变。数字孪生使得工程状态可以实时看到、BIM 平台使参建方的数据统一、智能感知使质量、安全控制从抽检变为全量,传统的管理模式依靠信息不对称的假设已经不再成立。管理创新方向应该顺应而不是抗拒这种变化,用数据贯通代替层级传导,用实时协同代替事后协调,用算法辅助代替经验独断。某大型引调水工程工序循环效率提高 30%,工期缩短 15% 的实践证明,转换效能释放是明显的。但是技术效能的充分发挥要靠制度设计的跟进、人才结构的匹配、组织文化

转型来实现。管理模式的革新,最终都是人的认识、行为的更新。

[参考文献]

- [1]周阳宗,陶少雄,吴仕红.数字孪生引江补汉工程建设与应用实践[J].中国水利,2025(23):58-65.
- [2]李涛.水利工程建设中管理模式的创新与质量提升[J].水资源保护,2026,42(1):281.
- [3]李进军.基于数字孪生的水利工程动态信息映射技术[J].信息记录材料,2026,27(12):165-168.

作者简介:

杨玉霞(1986—),女,汉族,甘肃省定西市人,本科学历,西北民族大学水利水电工程专业毕业,现就职于定西市水务投资(集团)有限公司,党委办组织人事工作。