

数字孪生背景下引水工程建设路径探析

翟天放 张天翼

吉林省水利科学研究院

DOI:10.12238/hwr.v7i6.4874

[摘要] 数字孪生概念提出后,数字孪生背景下水利工程建设成为水利行业重点建设方向之一。水利部及各级水行政主管部门陆续开展一系列水利工程数字孪生试点项目建设。为规范此类工程建设,统一建设标准,水利部陆续印发《数字孪生水利工程建设技术导则(试行)》等一批数字孪生建设标准。本文聚焦引水工程数字孪生建设,从数字孪生定义出发,探析其本质内涵,提出引水工程数字孪生建设内容及目标,进行建设要求分析,总结引水工程数字孪生建设框架结构并对数字孪生背景下引水工程建设步骤进行阐述。

[关键词] 数字孪生; 引水工程; 建设路径

中图分类号: TP391.98 **文献标识码:** A

Analysis on the Construction Path of Water Diversion Projects Under the Background of Digital Twins

Tianfang Zhai Tianyi Zhang

Jilin Provincial Institute of Water Resources Science

[Abstract] After the concept of digital twins was proposed, water conservancy engineering construction has become one of the key construction directions in the water conservancy industry under the background of digital twins. The Ministry of Water Resources and water administrative departments at all levels have successively carried out a series of digital twin pilot projects for water conservancy engineering. In order to standardize the construction of such projects and unify construction standards, the Ministry of Water Resources has successively issued a number of digital twin construction standards such as the "Technical Guidelines for Digital Twin Water Conservancy Engineering Construction (Trial)". This article focuses on the construction of digital twins in water diversion engineering. Starting from the definition of digital twins, it explores its essential connotation, proposes the content and objectives of digital twin construction in water diversion engineering, analyzes construction requirements, summarizes the framework structure of digital twin construction in water diversion engineering, and elaborates on the construction steps of water diversion engineering under the background of digital twins.

[Key words] digital twins; diversion engineering; construction path

引言

数字孪生,英文翻译Digital Twin。此概念由美国空军实验室2011年正式提出。2023年1月,全国水利工作会议提出:“大力推进数字孪生水利建设,支撑保障“四预”工作。数字孪生水利是水利高质量发展的重要标志。统筹建设数字孪生流域、数字孪生水网、数字孪生工程,构建具有四预功能的数字孪生水利体系”^[1]。同年2月,中共中央、国务院印发《数字中国建设整体布局规划》。《规划》指出构建以数字孪生流域为核心的智慧水利体系^[2]。

随着数字孪生概念的提出,全国开展一系列先行先试项目,

取得一些成果和经验。为指导项目实施,统一标准,利于集成,方便共享,水利部出台《数字孪生水利工程建设技术导则(试行)》(以下均简称“技术导则”)。《技术导则》为水利工程数字孪生实施明确了建设依据和技术标准,需要深入学习探讨。

引水工程作为水利工程建设一大分类,在数字孪生背景下如何建设也值得深入研究探索。

1 数字孪生水利工程定义及其内涵

《技术导则》中对数字孪生水利工程定义如下:以物理水利工程为单元、时空数据为底座、数学模型为核心、水利知识为驱动,对物理水利工程全要素和建设运行全过程进行数字映

射、智能模拟、前瞻预演,与物理水利工程同步仿真运行、虚实交互、迭代优化,实现对物理水利工程的实时监控、发现问题、优化调度的新型基础设施^[3]。

数字孪生水利工程是数字孪生技术在水利工程综合管理层面的广泛应用。其内涵本质在于实现水利工程物理实体虚拟化,实现物理世界与虚拟现实同构一致。利用BIM+GIS将水利工程在孪生平台中再现,各水利要素和控制节点一一对应,互相映射,信息采集及处理是个动态过程,存在于水利工程建设实施的全生命周期,覆盖设计、施工、管理、运行及维护等各个阶段提供面向不同需求的业务服务应用,满足工程管理所需,从而提升管理标准和决策水平。

2 引水工程的数字孪生建设目标及内容

按照水利部《“十四五”智慧水利建设规划》关于数字孪生的相关要求,遵循数字孪生水利工程建设原则,结合引水工程自身特点,确定建设目标为:通过构建数字孪生引水工程的信息基础设施、数字孪生平台、业务应用、网络安全体系和保障体系等五个部分,以数字孪生平台为核心,统筹设计、建设、运行等全过程,囊括业主、设计、施工、监理、监管等参建各方全角色,覆盖“人、机、料、法、环”全要素,获取工程内部和外部各类信息。通过感知层监测,网络层传输,业务层监控与调度,实现水利工程运行与水资源调配“四预”(预报、预警、预演、预案)功能,实现工程全过程虚实交互、相互映射,全范围实时感知、全天候预警决策、全节点精准调度、全方位自动控制、全层级高效管理,从而达到引水工程智能设计、智慧建设、高效运行的目的。探索出一条贯通工程全生命周期的“以实构虚(设计过程)、托虚向实(建设过程)、虚实交互(运行过程)、迭代优化(赋能过程)”的全新数字孪生工程建设路径,打造国内一流的数字孪生标杆工程。

建设内容方面主要有:

结合引水工程实际需求和总体要求,从丰富算据、强化算法、提升算力、赋能应用、保障安全五方面内容着力推进数字孪生水利工程建设。

2.1丰富算据。一方面,依托卫星遥感、无人机倾斜摄影、BIM+GIS等技术,全面覆盖工程总干线、干线和支线范围,采集精度为L3级。工程沿线基础地理环境、主要构筑物等重要节点全方位实景映射至虚拟空间。另一方面,工程沿线设置各类态势感知节点和监测设备,确保全程覆盖无死角。在布设压力、位移、应变、环境、水文等常规监测单元基础上,有针对性的布设分布式光纤测振、阴极保护监测、管线渗漏监测等新型感知设备,实时掌握隧洞、输水管道等工程安全状况;实时掌握各类闸、阀、泵等设备运行状态;实时掌握降水、温度等环境因素以及水量、水质等供水实况,从而保障引水工程数字孪生能够全面、精准、动态反映物理实体工程的状态变化。

2.2强化算法。针对工程运行维护,构建结构安全和设备健康诊断模型,实时监控工程运行状态,及时洞察缺陷,助力运行维护工作有的放矢,保障工程持久安全运行。针对水资源调度,

构建水资源优化配置仿真模型,通过调度运行过程孪生模拟,实现需水预报、缺水预警、调度预演、供水预案,实现以供定需、丰枯调剂,支撑水资源科学调配,保障水资源高效利用。

2.3提升算力。实现工程建设管理、运行管理以及水资源优化调度数字化场景的全面覆盖。同时,建设由业务内网、业务外网和控制专网组成的通信网络系统,确保传输安全与效率,保障各类数据得以及时、可靠地上传下达,实现“以网强算”。

2.4赋能应用。针对工程建设管理场景,研发基于工程数字模型的建造监控、信息共享、协同运作、业务分析和决策支持系统,实现质量、安全、进度、技术、物资、档案、移民、工地、投资和招标等十大领域全方位科学管控,运用“五化”工作法助力工程建设提质增效;针对工程运行维护场景,研发工程安全智慧化诊断和管护工作数字化管理系统,实现工程安全实时诊断、及时预警,促进管护工作标准化、精细化提升;针对水资源调度场景,围绕“调多少”、“怎么调”两大核心问题,一方面接入上游来水、关键断面水情与工况、下游受水区需水数据,融合水资源供需调配、泵站控运调配、水动力演进、大数据分析等模型技术,形成不同场景水资源联合优化调度方案,科学量化解决“调多少”的问题。另一方面通过与现实世界感知数据的实时交互,不断预演沿线输调水情况,动态评估输调水效果,覆盖调整调度指令,高效解决“怎么调”的问题。

2.5筑牢安全防线。加强人员、技术、制度三大要素信息安全保障体系构建,建设运行调度和数据灾备中心等措施,切实做好人员安全管理、设施安全管理、设备安全管理、数据安全、网络安全、软件安全管理、权限安全管理等,筑牢具备预警、保护、检测、响应、恢复五大功能的安全防线,守护信息安全底线,保障基于数字孪生系统的建设、运维和调度工作持续、有序地开展。

3 数字孪生引水工程的框架结构

数字孪生引水工程框架结构主要分为“三横两纵”。

第一横是实体工程。涵盖物理世界实际存在或拟建设的实体工程,包括引水口、输水隧洞、输水管道和泵站等。

第二横是数字孪生引水工程。它是建设任务主体和重点内容。可再细分为信息化基础设施和数字孪生平台。信息化基础设施主要解决各类水利工程信息要素的采集、传输、存储和控制等。通过布设各类监测感知单元采集各要素信息,通过公共或专用网络信道,利用工程自动化控制设备调控要素采集过程,最终将各水利要素存储在基础环境中的各类存储设备或单元中,形成数据资源备用。数字孪生平台通过数据引擎将数据底板数据抽取提供给模型库,通过知识引擎将数据导入至知识库产生各类情景或突发情况预案或处理建议。模型库、知识库通过模拟仿真引擎实现虚实互动,客观反映现实引水工程状态,为业务应用提供数据支撑和知识保障。

第三横是业务典型应用。业务应用是管理人员与数字孪生水利工程人机交互层级。根据不同业务需求和水利工程管理特点提供面向管理需求的各类业务应用。分为工程安全智能分析

预警、水资源智能调度、生产运营管理、巡查管护、综合决策支持等5类典型应用。通过各类典型业务应用即可满足日常管理需求如运营管理、智能调度、巡查管护,也可对突发险情实现以“预报、预警、预演、预案”为核心的四预功能。

第一纵是网络安全体系。作为数字孪生工程建设的重要支撑,保障网络安全、数据安全和环境安全。通过网络硬件设备和密码加密手段,确保网络基础环境和数据应用满足网络安全等级保护要求,保障系统和数据安全。网络安全等级至少应为等保三级,同时满足SL/T803—2020《水利网络安全保护技术规范》规范要求。

第二纵是保障体系。主要包括管理制度、标准规范、运维支撑等。因地制宜建立健全满足日常管理和应急处置所需的各类管理制度和预案,定期修订。编制符合本地、本部门的各类建设标准或技术规范,将水利部编制的各类相关技术标准或导则细化落实。明确落实运行维护经费和责任部门,分解任务到人,确保系统稳定正常使用并发挥效益。

4 数字孪生引水工程建设步骤

数字孪生引水工程计划分三步建设。

第一步,构建引水工程数字孪生平台。规划设计并着手搭建数字孪生平台,创建孪生引擎、模型库、知识库和数据底板。平台统筹设计、建设、运行全过程,实现智能化设计、建设和运行。通过不断迭代优化,实现数字孪生功能。

第二步,建设完善数字孪生分项内容。实体工程建设时,同步推进完善数字孪生引水工程的各分项内容建设。包括:信息基础设施主要包括监测感知设施、通信网络设施、自动化控制设施和信息基础环境等,为数字孪生平台提供及时可靠的数据信息,与实体工程建设同步进行;业务应用主要包括水资源调度、工程智慧巡查监管、综合决策支持等,与实体工程同步开始建设,并在工程运行期逐步完善;网络安全体系主要包括网络安全管理体系、技术体系、运营体系和监督体系,与实体工程同步建设,并不断强化;保障体系主要包括管理制度、标准规范、运维支撑等措施,与数字孪生平台同步建设并不断完善。现阶段主要完成以下内容:算据方面按建设管理要求布设各类数据采集和传感监控、传输设施等设备,确保态势感知和监测数据满足数字孪生建设管理需求。算力方面在总体框架下开展临时指挥中

心建设,购置设备适应数字孪生对计算能力的要求,满足建设初期指挥调度需求。算法方面与实体工程同步开展各种模型建设或研发,通过模型和算法的不断升级迭代,为数字孪生高效赋能。

第三步,推进数字孪生工程建管及验收。数字孪生工程建设作为引水工程建设的重要组成部分,要将数字孪生建设管理与实体工程建设管理同等对待,共同监管。在构建数字孪生平台时,充分考虑建设监管方需求,同步嵌入孪生工程建管子系统,开展包括数字孪生平台本身和信息基础设施、业务应用、网络安全体系、保障体系等各分项内容建设监管,确保数字孪生工程和实体工程建设监管同等对待,并同时通过工程验收。实现数字孪生平台与数字孪生各分项内容的无缝衔接,实现实体工程与孪生工程相互印证、共同演进、迭代优化、浑然一体,并作为全省智慧水利的有机部分共建共享。

5 结语

水利部强调要深入学习贯彻贯彻落实关于网络强国的重要思想、“十六字”治水思路和关于治水重要讲话指示批示精神,以时不我待的紧迫感、责任感、使命感,攻坚克难、扎实工作,大力推进数字孪生流域建设,积极推动新阶段水利高质量发展^[4]。

随着数字孪生建设不断深入,按照《技术导则》有关规定,开展符合当地实际所需的数字孪生工程建设,积累经验,探索道路,逐步实现数字孪生背景下引水工程的建设与应用。

[参考文献]

- [1]蔡阳.以数字孪生流域建设为核心构建具有“四预”功能智慧水利体系[J].中国水利,2022,(20):2-6+60.
- [2]中共中央国务院印发《数字中国建设整体布局规划》[N].人民日报,2023-02-28(001).
- [3]詹全忠,陈真玄,张潮,等.《数字孪生水利工程建设技术导则(试行)》解析[J].水利信息化,2022,(04):1-5.
- [4]部署数字孪生流域建设[J].中国水利,2021,(24):25.

作者简介:

翟天放(1980--),男,汉族,吉林省长春市人,工程硕士,高级工程师,研究方向:水利信息化,智慧水利建设。