|  |  |
| --- | --- |
| ICS | 93.160 |
| CCS | |  | | --- | | D:\000000部门项目\09标准化插件开发\程序源代码\StandardEditor_ShanDongKeXieYuan\团标首页面字母T.pngD:\000000部门项目\09标准化插件开发\程序源代码\StandardEditor_ShanDongKeXieYuan\团标首页面字母T后面的反斜杠.png XZBX |   P 55 |

西安市质量与标准化协会团体标准

T/XZBX 0108—2025

水利工程数字孪生系统建设技术规范

Specification for construction of digital twin systems in water conservancy projects

2025 - 09 - XX发布

2025 - 09 - XX实施

西安市质量与标准化协会  发布

目次

[前言 III](#_Toc207819985)

[引言 V](#_Toc207819986)

[1 范围 1](#_Toc207819987)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc207819988)

[3 术语和定义 1](#_Toc207819989)

[4 数字孪生系统建设要求 3](#_Toc207819990)

[5 系统实施与运营管理 5](#_Toc207819991)

[6 系统优化与升级 7](#_Toc207819992)

[7 系统评估与持续改进 9](#_Toc207819993)

1. 前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由西安市质量与标准化协会提出并归口。

本文件起草单位：郑州大学。

本文件主要起草人：路书祥。

1. 引言

随着信息化、数字化技术的迅猛发展，水利工程行业迎来了新的技术变革。数字孪生技术作为一项先进的数字化技术，已在众多领域得到了广泛应用。在水利工程中，数字孪生系统通过虚拟模型实时反映物理实体的状态，实现了工程建设、运行和维护的全生命周期管理。

数字孪生系统通过将水利工程的物理设施、环境数据、实时监控数据等整合到一个虚拟模型中，能够实现数据的实时同步与分析，为水利工程的设计优化、施工监控、运行维护等提供智能决策支持。水利工程数字孪生系统的建设，可以显著提高工程的智能化水平，降低风险，提高资源利用效率，并支持水利工程的可持续发展。

然而，数字孪生技术在水利工程领域的应用仍处于不断探索阶段，缺乏统一的技术标准和规范。为了推动数字孪生技术在水利工程中的有效应用，本文件依据当前国内外数字孪生技术的研究成果和应用实践，提出了一系列水利工程数字孪生系统的建设要求和技术规范。

本文件旨在为水利工程数字孪生系统的建设提供指导，帮助工程项目从设计、施工到运维等各个阶段实施数字孪生技术，提升水利工程的智能化水平，促进数字技术在水利领域的深度融合与应用。

水利工程数字孪生系统建设技术规范

* 1. 范围

本文件规定了水利工程数字孪生系统建设中的数字李生系统建设要求、系统实施与运营管理、系统优化与升级及系统评估与持续改进。

本文件适用于水库、大坝、泵站、渠道等各类水利工程，涵盖项目从设计阶段到建设、运营与维护阶段的数字孪生应用。

* 1. 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 50009—2012 建筑结构荷载规范

GB 50501—2007 水利工程工程量清单计价规范

GB/T 1.1—2020 标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则

GB/T 45393.1—2025 信息技术 建筑信息模型（BIM）软件 第1部分：通用要求

GB/T 50010—2010 混凝土结构设计规范

GB/T 50649—2011 水利水电工程节能设计规范

* 1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

数字孪生 digital twin

指通过物理实体的实时数据与虚拟模型的数字化映射，形成物理世界与数字世界的双向反馈系统。数字孪生系统通过采集和处理设备运行、环境变化等数据，实时反映物理对象的状态，支持智能分析、预测和决策。

数字孪生系统 digital twin system

是指基于数字孪生技术，将水利工程的物理实体（如水库、大坝、泵站等）通过虚拟模型进行映射与实时监控，形成与物理世界实时同步的数字化系统，用于支持工程设计、施工、运营和维护全过程的管理与优化。

物理实体 physical entity

在数字孪生系统中，物理实体是指实际存在的水利工程设施、设备、环境等，所有物理实体都可以通过传感器、测量设备等采集其状态数据并进行实时监控。

虚拟模型 virtual model

虚拟模型是数字孪生系统中建立的三维模型或二维数据模型，模拟和映射水利工程物理实体的结构、功能和状态。该模型通常通过BIM技术、CAD图纸等形式呈现，并与实际数据实时同步。

数据采集与传输 data acquisition and transmission

数据采集是通过传感器、物联网设备等技术，从水利工程的各类设备与设施中采集实时数据的过程。数据传输则是将采集到的数据通过网络传输到数字孪生系统进行存储、处理和分析的过程。

实时监控 real-time monitoring

实时监控是指通过数字孪生系统，基于物理实体的实时数据，动态跟踪和监测水利工程的运行状态，包括水流量、水位、气象数据等关键参数，以便实时调整和优化运行策略。

预测与优化 prediction and optimization

通过对历史数据的分析与建模，结合实时监控数据，数字孪生系统能够预测水利工程的未来运行状态，并根据预测结果对工程的运行进行优化。该过程包括风险评估、故障预测、能效优化等方面。

系统集成 system integration

系统集成是指将水利工程各类数据源、软件平台、硬件设备等进行有效整合，实现数据的无缝连接和功能的协同运作。数字孪生系统的集成包括传感器网络、BIM模型、数据分析平台等的有机结合。

虚拟仿真 virtual simulation

虚拟仿真是指利用数字孪生系统创建的虚拟模型进行实时模拟和仿真，通过模拟实际工程中可能发生的各种情形，评估不同操作方案的效果和风险，支持决策制定。

数字化管理 digital management

数字化管理指通过数字化手段和信息技术对水利工程的全生命周期进行高效管理，包括设计、施工、运营和维护等阶段的管理工作。数字化管理依托数字孪生系统和数据平台，实现对工程全过程的实时监控、数据分析与决策支持。

* 1. 数字孪生系统建设要求
     1. 总体架构要求
        1. 系统架构设计

数字孪生系统应采用分层架构设计，包括数据采集层、传输层、平台层、应用层等。数据采集层负责通过传感器、物联网设备等采集水利工程的各类实时数据；传输层通过网络协议进行数据传输；平台层负责数据存储、处理与分析；应用层根据处理结果提供决策支持和应用功能。

* + - 1. 模块化与开放性

数字孪生系统的建设应遵循模块化设计原则，确保不同功能模块之间的可拆分与重组。系统应具备开放性接口，能够与现有的水利工程管理系统、BIM平台、GIS系统等进行有效集成，支持数据的交换与共享。

* + - 1. 系统可靠性与安全性

数字孪生系统应具有高可靠性、冗余备份与容错设计，确保系统在关键时刻的稳定运行。同时，系统应具备严格的数据安全防护措施，保障敏感数据不被泄露或篡改。

* + 1. 数据采集与传输要求
       1. 传感器与设备选型

选择适用于水利工程的高精度传感器和设备，确保其能够长时间稳定运行，并准确采集水流量、水位、气象、土壤等数据。传感器应具备防水、防腐蚀等特性，适应水利工程的恶劣环境。

* + - 1. 实时数据采集

数字孪生系统应通过传感器和数据采集终端实时获取各类数据，并确保数据采集频率能够满足实时监控的需求。数据采集应实现自动化、无人值守，避免人工干预带来的误差。

* + - 1. 数据传输与处理

采集的数据应通过高效、安全的网络传输到数字孪生平台进行处理。系统应支持高带宽、低延迟的数据传输协议，确保数据能够及时、准确地传送到平台。数据处理平台应具备大数据处理和分析能力，能够实时分析数据，生成可操作的信息。

* + 1. BIM模型集成要求
       1. BIM模型的建立

水利工程项目应根据设计阶段的要求，使用BIM软件建立详细的三维模型，涵盖建筑、结构、机电、水利设施等各个专业的设计内容。BIM模型应包括空间、功能、设备和材料等各类信息，并确保模型数据的准确性与完整性。

* + - 1. BIM与传感器数据集成

数字孪生系统应能够将BIM模型与实际采集的传感器数据进行集成，实现实时数据与虚拟模型的动态同步。通过BIM平台，管理人员能够实时查看水利设施的状态，进行故障检测和维修计划制定。

* + - 1. BIM模型更新与维护

在工程建设与运营过程中，BIM模型应根据实际施工情况和运行数据进行实时更新，确保模型始终反映物理实体的实际状态。模型更新应通过BIM平台进行，并确保所有参与方能够访问最新版本的模型。

* + 1. 数据管理与分析要求
       1. 数据存储与管理

系统应采用分布式数据库技术，确保大规模数据的高效存储、管理与检索。数据应按照类型进行分类存储，并实现备份和冗余存储，以保障数据的安全性和可靠性。

* + - 1. 数据标准化

数字孪生系统中的数据应遵循统一的数据标准与格式，确保不同设备和系统之间的数据兼容性。数据的命名规则、存储格式、交换协议等应在系统建设初期进行明确，并在项目实施过程中严格执行。

* + - 1. 数据分析与预测

系统应具备强大的数据分析能力，能够对实时数据进行统计分析和趋势预测。通过数据挖掘与机器学习算法，系统能够实现对水利工程运行状态的智能化预测，为决策提供依据。

* + 1. 系统应用要求
       1. 实时监控与决策支持

数字孪生系统应具备实时监控功能，能够实时显示水利工程的各项数据，并提供基于数据的决策支持。系统应支持数据可视化，管理人员可通过图形界面实时查看设备状态、关键参数等信息。

* + - 1. 故障检测与预警

系统应能够实时检测水利工程中的异常情况，如设备故障、环境变化等，并通过预警机制提醒相关人员。通过对历史数据和实时数据的分析，系统应能够提前预测潜在的风险，制定相应的应急预案。

* + - 1. 运营与维护管理

数字孪生系统应为水利工程的日常运营和维护提供支持。系统应能根据设备运行数据自动生成维护计划，监控设备健康状态，并提供维护报告。通过优化资源配置，降低运营成本，提高水利工程的运行效率。

* 1. 系统实施与运营管理
     1. 系统实施流程
        1. 需求分析与系统规划

数字孪生系统的实施是一个复杂的过程，涉及到多个阶段的工作，从前期需求分析、系统设计到平台建设、数据集成和测试等。

在数字孪生系统实施前，项目团队应根据项目的需求，进行全面的需求分析，明确系统建设的目标、功能需求和性能要求。包括确定所需的监控指标、数据采集要求、分析模型等。通过需求分析，制定详细的实施计划和时间表。

* + - 1. 系统设计与架构搭建

根据需求分析结果，进行系统架构设计，确定数字孪生系统的技术架构、数据流转路径、信息交互方式、平台选型等。系统设计应涵盖硬件、软件、数据存储和传输等多方面的内容，确保平台能够满足数据采集、处理和实时反馈的需求。

* + - 1. 技术开发与集成

在系统架构设计基础上，进行系统开发和技术集成，包括BIM模型的集成、传感器数据的接入、数据存储与管理、系统功能开发等。系统开发应确保平台的稳定性、兼容性和数据处理能力。

* + - 1. 系统测试与调试

系统开发完成后，应进行全面的系统测试，包括功能测试、性能测试、安全测试等，确保系统的各项功能符合设计要求，并能够稳定运行。测试阶段应对数据采集、传输、处理、反馈等关键环节进行全面验证，及时发现和修复系统中的问题。

* + - 1. 上线与部署

经测试通过的系统应按计划进行上线和部署。部署过程中，平台的服务器、数据库、网络设施等应进行配置和调试，确保系统能够在真实环境中稳定运行。部署后，应进行现场调试，确保设备与系统的集成无误。

* + 1. 系统运营与维护
       1. 实时监控与数据更新

数字孪生系统的运营与维护是确保其长期稳定运行的关键。运营和维护的主要任务包括系统监控、数据更新、故障排除、性能优化等。

数字孪生系统应持续监控水利工程的运行状况，实时获取各类传感器数据，并进行数据分析。系统应根据实时数据调整分析模型和预测算法，确保工程运行的最优化。数据更新应定期进行，确保所有监控数据与模型的准确性。

* + - 1. 故障排除与问题处理

在系统运营过程中，可能会出现设备故障、数据传输异常等问题。系统应设有专业的技术支持团队，及时发现并处理故障。对于重大故障，系统应具备自动报警和备份机制，确保系统能够快速恢复正常状态。

* + - 1. 性能优化与更新

系统运行过程中，应定期进行性能评估，分析数据处理、模型运算、平台响应等方面的性能瓶颈。通过优化数据存储、计算资源、网络配置等，提高系统的运行效率。同时，技术团队应根据新的需求或技术发展对系统进行更新和优化，提升系统的性能和功能。

* + 1. 用户培训与技术支持
       1. 用户培训

在系统部署后，项目团队应定期为用户提供系统操作培训，确保操作人员能够熟练掌握系统的使用方法，包括数据查看、分析报告生成、报警处理等功能。培训应涵盖基础操作、高级功能使用和故障排除等方面内容。

* + - 1. 技术支持

在系统运营过程中，用户可能会遇到技术难题或操作问题。为了保障系统的持续稳定运行，项目团队应提供持续的技术支持服务，解答用户在使用过程中遇到的各种问题。技术支持可以通过在线客服、电话支持、现场指导等形式进行。

* + 1. 数据安全与隐私保护
       1. 数据加密与备份

系统中所有传输和存储的数据应采用加密技术，防止数据在传输过程中被窃取或篡改。同时，应定期对数据进行备份，确保在发生系统故障时能够及时恢复数据。

* + - 1. 访问权限管理

系统应设置不同的用户权限，根据角色和职责进行权限分配。只有授权人员才能访问和修改系统中的敏感数据。管理员应定期检查和调整权限设置，防止数据泄露。

* + - 1. 安全防护与监测

系统应部署防火墙、入侵检测系统等安全防护措施，确保系统免受外部攻击和非法入侵。同时，应对系统进行持续的安全监测，及时发现并处理安全漏洞。

* 1. 系统优化与升级
     1. 系统优化要求
        1. 性能优化

随着系统使用时间的增加，可能会遇到性能瓶颈，如数据处理速度下降、系统响应迟缓等问题。为此，必须定期对系统的硬件资源、数据库性能、计算能力等进行评估和优化。优化措施可以包括数据库索引优化、计算资源扩展、数据压缩等。

* + - 1. 数据更新与处理优化

随着项目数据的增加，系统可能面临数据存储和处理能力的挑战。应对数据处理流程进行优化，采用更高效的数据存储方案，增加数据处理的自动化程度，减少人工干预，提高系统的处理效率。

* + - 1. 用户界面优化

用户界面应根据实际使用反馈和需求，定期进行优化和调整。优化应包括提升界面友好度、操作便捷性，增加功能模块，提供个性化定制功能，使用户能够更加高效地使用系统。

* + 1. 系统升级要求
       1. 软件与硬件升级

随着技术的不断发展和业务需求的变化，数字孪生系统需要定期进行功能升级和技术更新，以保证系统始终处于先进状态，并能够满足新的应用需求。

数字孪生系统所依赖的硬件和软件应定期进行版本更新和技术升级。特别是BIM平台、数据存储和计算平台等核心组件，应跟随行业技术的发展进行更新，确保系统能够高效运行，并支持最新的技术标准和协议。

* + - 1. 新技术集成

随着新技术的涌现（如人工智能、机器学习、大数据分析等），数字孪生系统应具备集成新技术的能力。定期评估和集成新兴技术，能够提升系统的智能化水平，支持更复杂的数据分析和决策支持功能。

* + - 1. 功能模块扩展

随着业务需求的变化，数字孪生系统的功能可能需要扩展。项目管理团队应根据实际需求，增加新的功能模块，如环境监测、节能优化、风险评估等，确保系统能够支持更广泛的应用场景。

* + 1. 升级实施流程
       1. 需求分析与评估

在进行系统升级之前，必须进行全面的需求分析，评估现有系统的瓶颈和新需求。通过需求分析，明确升级的目标、范围和优先级，为后续的技术选型和实施方案提供依据。

* + - 1. 技术方案设计与选择

根据需求分析的结果，设计合理的技术方案。技术方案应涵盖软件、硬件、数据存储、网络架构等方面的升级内容。方案应考虑系统的兼容性、可扩展性和安全性。

* + - 1. 测试与验证

在正式实施升级前，应对升级方案进行全面的测试与验证。通过模拟运行、数据迁移测试等手段，确保升级过程中的所有问题能够被及时发现并解决。测试阶段的结果应对升级方案进行反馈和调整。

* + - 1. 系统部署与实施

升级方案通过测试后，应正式实施部署。部署过程中，应严格遵循系统安装、配置、调试等操作步骤，确保新系统能够顺利接管原有系统的功能。升级后的系统应与原有数据无缝对接，确保数据的完整性和连续性。

* + - 1. 培训与支持

在系统升级完成后，应对相关人员进行新的操作培训，确保他们能够熟练使用新系统的功能。同时，应提供持续的技术支持服务，帮助用户解决在使用过程中遇到的问题。

* + 1. 系统优化与升级的管理机制
       1. 优化与升级计划制定

系统优化与升级应纳入项目的长期发展规划。项目团队应定期制定优化与升级计划，明确时间节点、任务分配和责任人，确保各项任务按时完成。

* + - 1. 评估与监控机制

在优化与升级过程中，应建立定期评估和监控机制，跟踪系统的运行状态，评估优化效果。通过持续监控，确保系统能够满足新的业务需求，并在实际运行中发挥最大效益。

* + - 1. 反馈与改进机制

用户在使用过程中遇到的问题和反馈应及时收集，作为优化和升级的重要依据。项目管理团队应根据用户反馈进行问题分析，并根据实际情况对系统进行必要的改进。

* 1. 系统评估与持续改进
     1. 系统评估要求
        1. 性能评估

定期对系统的性能进行全面评估，主要评估系统的响应速度、数据处理能力、系统负载等关键性能指标。评估应根据项目实际应用的负载情况，及时发现和解决性能瓶颈，确保系统的高效运行。

* + - 1. 功能评估

评估数字孪生系统的功能是否满足水利工程管理的需求，检查现有功能的适用性和扩展性。评估应包括系统的实时监控、数据分析、预测与优化等功能模块是否正常运行，并根据评估结果提出改进建议。

* + - 1. 数据准确性与完整性评估

评估系统中的数据采集、传输、存储和处理过程，确保数据的准确性、完整性和一致性。特别是在实时监控和数据分析环节，应定期检查数据源的准确性，确保系统能够反映真实的物理实体状态。

* + - 1. 安全性评估

定期进行系统的安全性评估，检查系统是否存在潜在的安全漏洞，如数据泄露、非法访问等问题。评估应包括系统的网络安全性、数据保护机制以及权限管理等方面的内容，确保系统符合安全标准和法规要求。

* + 1. 持续改进机制
       1. 数据驱动的改进

通过对实时监控数据和历史数据的分析，识别系统中的潜在问题和改进空间。例如，通过分析系统运行中的瓶颈或故障原因，提出数据优化、模型改进或硬件升级等措施，确保系统的稳定性和效率。

* + - 1. 技术更新与升级

随着技术的不断发展，数字孪生系统的技术平台和应用场景可能会发生变化。因此，系统的持续改进应包括技术更新与升级，确保系统能够利用新技术（如人工智能、大数据分析等）提升其性能和功能。

* + - 1. 用户反馈机制

用户反馈是持续改进的重要来源，项目管理团队应定期收集用户的意见和建议，特别是工程管理人员、维护人员等直接使用系统的人员。通过分析用户反馈，发现系统在实际应用中的不足，及时调整和改进。

* + - 1. 优化工作流程

基于评估和反馈结果，优化系统的工作流程和操作界面，提升系统的使用体验。例如，优化数据展示方式、增强信息可视化、简化操作步骤等，提升用户的操作效率和决策质量。

* + 1. 持续改进的管理机制
       1. 改进计划的制定与执行

在系统评估过程中，根据评估结果制定具体的改进计划。改进计划应明确目标、任务、时间节点和责任人，并确保各项改进措施按时落实。

* + - 1. 跨部门协作

数字孪生系统的持续改进涉及多个方面，包括技术支持、数据管理、用户培训等。项目团队应通过跨部门协作，确保技术、管理和用户需求的有机结合，提升系统的整体性能。

* + - 1. 定期回顾与总结

项目团队应定期回顾系统的运行情况和改进效果，总结改进过程中的经验与不足，确保持续改进工作能够不断完善，并根据总结结果调整改进计划。

* + 1. 项目后评估与总结
       1. 实施效果评估

评估数字孪生系统在水利工程项目中的实施效果，重点评估系统是否达到预期目标，是否有效提升了工程管理效率和决策支持能力。评估应涵盖系统的功能实现、数据准确性、用户满意度等方面。

* + - 1. 项目总结报告

项目团队应编写项目总结报告，详细记录系统建设的过程、遇到的问题及解决方案、技术应用成果等。总结报告应为今后的类似项目提供参考与借鉴，推动数字孪生技术在水利工程领域的进一步发展。

* + - 1. 经验与教训总结

通过对项目实施过程的回顾，识别项目中存在的问题和挑战，总结经验教训，为未来的数字孪生系统建设提供指导。例如，系统部署的难点、数据整合的瓶颈、用户培训的不足等问题，都应在总结中进行详细说明，并提出改进措施。

