

团体标准

T/CAMIE 21—2024

污水处理设施 数字孪生 通用要求

Wastewater treatment facilities—Digital twin technology—
General requirements

2024-06-26 发布

2024-09-01 实施

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 技术框架	1
5 数字孪生等级	2
6 污水处理设施	2
6.1 在线设备	2
6.2 网络通信	2
6.3 控制执行设备	3
7 数字孪生数据	3
7.1 数据内容	3
7.2 数据服务	3
8 数字孪生模型	4
8.1 模型构建	4
8.2 地理模型精度	4
8.3 模型评估	5
9 应用服务	5
9.1 一般要求	5
9.2 可视化交互	5
9.3 状态监控	5
9.4 智能化控制	5
9.5 智慧化决策	6
9.6 健康管理	6
10 安全要求	6
10.1 环境安全	6
10.2 数据安全	6
附录 A (规范性) 数字孪生等级指标	7
附录 B (资料性) 数字孪生系统数据传输网络	12
附录 C (资料性) 智能化控制常规监测数据要求	13
图 1 数字孪生通用技术框架	2
表 1 数字孪生技术等级及服务能力	2

表 2 孪生数据平台数据内容·····	3
表 A.1 数字孪生等级分级要求·····	7
表 A.2 数字孪生等级指标要求·····	8
表 B.1 数字孪生系统适用数据传输网络·····	12
表 C.1 智能化控制常规监测数据·····	13

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。

本文件由中国环保机械行业协会提出并归口。

本文件起草单位：浙江沃乐科技有限公司、安徽泛湖生态科技股份有限公司、青岛思普润智能系统有限责任公司、北京金控数据技术股份有限公司、恩迪（深圳）能源环境有限公司、上海昊沧系统控制技术有限责任公司、中机国际工程设计研究院有限责任公司、北京第三方环境工程有限公司、武汉森泰环保股份有限公司、苏州水星环保工业系统有限公司、深圳市深水生态环境技术有限公司、葛洲坝集团生态环保有限公司、北控水务集团有限公司、长江生态环保集团有限公司、上海铂尔怡环境技术股份有限公司、苏州达道环保科技有限公司、中国计量大学、中国市政工程西北设计研究院有限公司。

本文件主要起草人：陆慧锋、俞言文、杜平、门艳辉、杨斌、马小蕾、刘国欢、杨丹丹、郭洪瑞、韩少唐、李梦遥、侯方东、于晓利、洪平、张兴尔、岳文春、沈怡、吕伟、王钊、郭志寰、刘小梅、刘煜、熊朝阳、王强、李建、戴之希、齐北萌、张明、戴雨茜。

本文件为首次发布。

污水处理设施 数字孪生 通用要求

1 范围

本文件规定了污水处理设施数字孪生（以下简称“数字孪生”）的技术框架、数字孪生等级、污水处理设施、数字孪生数据、数字孪生模型、应用服务和安全要求。

本文件适用于污水处理设施的数字孪生技术的设计、开发和运营。

2 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/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求

GB/T 35273 信息安全技术 个人信息安全规范

GB/T 43441.1 信息技术 数字孪生 第1部分：通用要求

3 术语和定义

GB/T 43441.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

在线设备 real-time equipment

用于实时监测、采集和传输污水处理设施运行数据的设备。

3.2

智能化控制 intelligent control

通过信息技术获得最佳运行参数，并向自动控制系统发出指令，在无人干预情况下使污水处理过程达到更优化、更可靠、更高效的运行目标。

3.3

智慧化决策 smart decision

针对污水处理设施的业务场景，通过模拟仿真、预警预测、智能诊断方法，辅助制定科学、精准、有效的决策方案，实现复杂污水处理业务的预判规划、优化调度、应急管理功能。

4 技术框架

数字孪生包括污水处理设施和数字实体。污水处理设施包括在线设备和控制执行设备，数字实体包括数字孪生数据、数字孪生模型和应用服务。通用技术框架见图1。

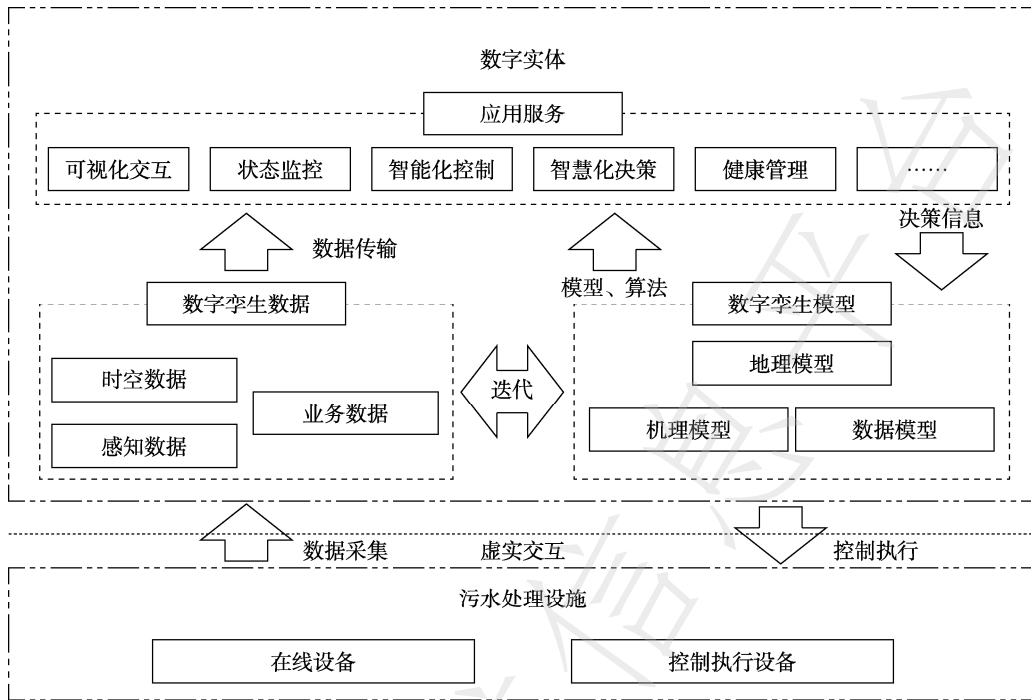


图 1 数字孪生通用技术框架

5 数字孪生等级

5.1 数字孪生按服务能力由低到高划分为监视级、控制级、自动级、智能级、智慧级 5 个级，各级代号和服务能力要求见表 1。

表 1 数字孪生技术等级及服务能力

级名称	级代号	服务能力
监视级	L1 级	可实现污水处理设施的可视化
控制级	L2 级	可实现污水处理设施自动化运营
自动级	L3 级	可实现污水处理设施数字化运营
智能级	L4 级	可实现污水处理设施的智能化运营
智慧级	L5 级	可实现污水处理设施智慧化运营

5.2 数字孪生各等级技术要求见附录 A。

6 污水处理设施

6.1 在线设备

6.1.1 在线设备的数量和类型应按需布置并满足数字孪生技术等级要求。

6.1.2 在线设备的供电系统应安全可靠，工作环境应满足设计要求和环境适用要求。

6.2 网络通信

6.2.1 数据传输网络应支持在线设备多种感知信息的传输，应包括水质、水量、液位、压力、声音、图像和视频信息的在线通信能力。

6.2.2 数字孪生应构建数据服务的统一通信通道，实现协议、格式、标准不同数据统一传输。

6.2.3 数据传输网络宜选择固定网络、窄带物联网、4G LTE 网络、4G 及以上通信技术及其他满足需求的多种通信方式进行部署，常规传输网络选择见附录 B。

6.2.4 网络通信技术应支持 IPv4/IPv6 双栈技术，有条件情况下宜支持 IPv6 单栈技术。

6.3 控制执行设备

数字孪生采用的控制执行设备应满足下列规定：

- a) 响应时间、执行效率、时延满足数字孪生等级要求，各级要求见附录 A；
- b) 具备执行结果反馈的能力。

7 数字孪生数据

7.1 数据内容

7.1.1 数据内容应满足实时性和准确性要求，对存在异常数据的监测点位应尽快进行现场核实和整改，并采取应对措施，保证生产过程监控连续性。

7.1.2 数据内容应包括时空数据、感知数据、业务数据和其他数据，数据内容见表 2，不同级数字孪生系统可获取的数据应满足各级需求。

表 2 孪生数据平台数据内容

数据类目	数据环节	数据来源
时空数据	地形影像	地理空间数据和建构物模型时空数据
	建筑模型	
	设施设备	
	管网管线	
感知数据	生产数据	在线监测设备
	工艺过程数据	
	设备状态数据	
业务数据	企业信息	备案数据
	气象数据	气象部门、互联网数据
	预案	备案数据
	事故	历史数据
	设备台账数据	历史数据
	专项业务（运营管理、设备运维）	历史数据
	视频	视频监控数据
	人员定位	人员定位数据
智慧决策	智慧决策数据	

7.2 数据服务

7.2.1 一般要求

7.2.1.1 数据兼容性、可访问性、数据质量及数据多样性应满足各等级技术的要求。

7.2.1.2 数据应提供统一的集中监管及数据质控机制，对数据资源进行全程监控，宜包括全局数据监控、部门数据监控、数据存储使用监控和数据异常监控。

7.2.2 数据治理

7.2.2.1 数据平台应对各类数据进行全生命周期的治理，应至少支持数据标准化、转换、预处理、分类、关联、集成、融合、质量分析功能。

7.2.2.2 数字孪生数据清洗宜采用逻辑清洗、冗余清洗、异常值清洗和缺失值清洗方法，去除数据集中的冗余和错误，识别或删除离群点并填补缺失的数据项，确保数据的正确、完整、无冗余。

7.2.2.3 数据转换应按污水处理各阶段间业务交互的需求，将原始数据转换为不同阶段业务系统能够理解和识别的格式，提升数据分析的效率。

7.2.3 数字资产管理

7.2.3.1 数据平台应对污水处理过程中产生的时空数据、感知数据和业务数据建立对应的资产目录，并根据数据的特征采取合适的存储方式。

7.2.3.2 数据平台应保证数据的完整性和一致性，确保数字孪生数据不可篡改、全程留痕、可跟踪、可追溯。

7.2.3.3 数字资产管理应按不同的数据来源、价值和敏感度对数据进行级划分，可按下列规则进行划分：

- a) 保密数据：污水处理核心工艺流程产生的数据。
- b) 共享数据：根据主管部门要求或智慧城市要求，行业间和行业内部互通共享的数据。
- c) 公开数据：需对公众进行公布或有义务进行公开的数据。
- d) 交易数据：污水处理过程中可带来经济效益的，价值较高的业务数据。

8 数字孪生模型

8.1 模型构建

8.1.1 模型应在获取污水处理时空数据、感知数据和业务数据的基础上，建立对污水处理设施形状和规律的数字化映射。

8.1.2 地理建模应在满足应用要求的前提下，对已有的模型进行简化、轻量化、贴图处理。

8.1.3 机理模型应基于污水处理设施运行管理中经实践验证可行的数学、物理、化学、逻辑关系。

8.1.4 自动级（L3级）及以上等级数字孪生应构建多类型数据分析模型，实现基于污水处理流程和复杂问题进行仿真模拟、判断分析和科学决策。

8.2 地理模型精度

8.2.1 模型应具备特写区域、重要区域、一般区域和氛围区域的模型。

8.2.2 特写区域模型应包括但不限于仪表、泵、搅拌器、刮泥机设备模型，模型应包含污水处理设施的外形、纹理，体现全部大于 2 cm 的设备结构细节。材质应包括但不限于写实贴图（PBR 材质）、漫反射、粗糙度、金属度、法线。

8.2.3 重要区域模型应包括工艺单元内部、水管、气管、药管、泥管厂区构筑物、管道模型，模型应包含污水处理设施的外形、纹理，并体现全部大于 10 cm 的结构细节及台阶、柱子、砖面建筑细节。材质应包括但不限于写实贴图（PBR 材质）、漫反射、粗糙度、金属度、法线。

8.2.4 一般区域模型应包括道路、办公楼、大门、花坛厂区环境模型，模型应包含污水处理设施的外形、纹理，并体现全部大于 1 m 的设备结构细节。材质应包括但不限于写实贴图、漫反射、粗

糙度、金属度。

8.2.5 氛围区域模型应对厂区外一定区域内建筑、天际线进行建模。

8.3 模型评估

8.3.1 模型应进行有效性评估，宜包括仿真精确性、分析预测准确性、模型故障发生率、响应时间。

8.3.2 模型应对污水处理性能及运行状态与数字实体的仿真模拟结果进行评估，以检验污水处理设施-数字实体状态的一致性。在出现不一致时，应综合评判其产生原因，及时进行修正。

8.3.3 模型建立完成后应对使用与维护过程进行管理和控制，应包括模型的评审、模型的发放与传输、模型间信息交互与集成、模型接口的连接与通信和模型存储管理。

9 应用服务

9.1 一般要求

各等级数字孪生应具备可视化交互、状态监控功能，集成级（L3级）及以上等级数字孪生应具备对设备和工艺运行风险的预测和模拟功能，优化级（L4级）及以上等级数字孪生应具备智能化控制和智慧化决策功能。

9.2 可视化交互

9.2.1 数字孪生应支持在微型计算机、虚拟现实、增强现实、混合现实设备一种或多种终端设备进行数据可视化的动态展示和交互操作。

9.2.2 数据孪生应保证可视化交互展示信息与目标实体状态实时同步，支持数据的实时动态更新，提供多维数据叠加展示能力。

9.2.3 可视化展示内容宜包括：

- a) 仿真和数据分析结果，支持点、线、面、表的实时动态监控画面；
- b) 全局视角监控、局部视角监控、追踪视角监控、环视视角监控；
- c) 地下、水下的设施及管线。

9.3 状态监控

数字孪生应具备对危险要素进行识别并实时监控，当超过所设定的阈值时，或其未来发展趋势为危险时，应具备及时报警提示或进行相应自动控制。

9.4 智能化控制

9.4.1 智能化控制宜具备下列能力：

- a) 泵组优化智能控制；
- b) 智能曝气；
- c) 智能内回流；
- d) 智能污泥回流及排放；
- e) 智能加药除磷；
- f) 智能碳源投加；
- g) 智能加药调理；
- h) 智能污泥转运。

9.4.2 智能化控制应用常规监测数据要求见附录 C。

9.4.3 智能化控制应用宜增加人工干预机制，自动控制出现故障时，可启用人工干预机制。

9.5 智慧化决策

9.5.1 智慧化决策应具备需求生成、博弈运筹、仿真推演、智能决策、分析评估能力，可为运行态势实时分析、规划方案科学制定、治理手段科学决策、资源配置合理优化、应急处置研究训练提供平台工具支持。

9.5.2 数字孪生系统应对影响目标实现的因素进行分析、计算和判断，基于模型预测评估污水处理设施的健康状态以及未来变化趋势，在其故障发生之前进行诊断、预测和决策。

9.5.3 数字孪生应具备在自主决策和辅助决策之间进行切换。

9.6 健康管理

9.6.1 数字孪生应具备预测性维护能力，其能力应满足下列基本要求：

- a) 基于污水处理设施关键部件的损伤和退化机理，实时分析关键部件内部损伤状态；
- b) 根据故障诊断模型，预测未来可能发生的故障模式及其失效原因。

9.6.2 数字孪生应按预测性维护结果，确定维护方案，并及时执行，包括备件更换、保养、运行参数调整。

9.6.3 数字孪生对污水处理设施各设备的维修维护和备件信息应记录完整、准确。

9.6.4 数字孪生宜可采用增强现实、虚拟现实、混合现实辅助技术手段进行污水处理设施设备的远程维修指导。

10 安全要求

10.1 环境安全

10.1.1 数字孪生部署环境应满足对信号防干扰、防屏蔽、防阻挡的要求。

10.1.2 数字孪生应布设网络防火墙，网络环境的安全保护能力应满足 GB/T 22239 的要求。

10.2 数据安全

10.2.1 数据平台应建立分层分类数据安全存储机制，应满足下列要求：

- a) 逻辑存储安全性，建立分层的逻辑存储授权管理规则和授权操作规范，实现多租户数据存储的安全隔离，对需共享数据的单位进行注册、密钥生成、密钥验证、权限校验操作；
- b) 严格访问控制权限，用户需通过身份认证进入数字孪生操作系统；
- c) 具备数据存储冗余备份及恢复策略、数据备份和恢复管理操作规程，及统一的数据备份与恢复技术工具；
- d) 数字孪生系统中用户数据隐私满足 GB/T 35273 中规定的个人信息的收集、存储、使用要求。

10.2.2 污水处理设施和数字实体之间以及数字实体和服务应用之间交互的数据宜采用加密方式进行传输。

10.2.3 设备认证与授权应满足下列要求：

- a) 使用唯一的逻辑标志符区分和引用每个设备，为每个设备分配唯一的身份 ID；
- b) 在所有连接点提供相互身份验证和加密；
- c) 支持基于证书的设备认证，以及加密通信机制，实现物联网设备的数据接入和反向控制。

附 录 A
(规范性)
数字孪生等级指标

数字孪生等级划分分级要求见表 A.1，各等级指标要求见表 A.2。

表 A.1 数字孪生等级分级要求

数字孪生等级指标		L1	L2	L3	L4	L5
污水处理设施	控制	≥1 级	≥2 级	≥3 级	≥4 级	=5 级
	传感器	≥2 级	≥2 级	≥3 级	≥3 级	=4 级
	数据接口与网络设备	≥3 级	≥4 级	≥4 级	≥4 级	=5 级
数字孪生模型	完整度	≥1 级	≥3 级	≥3 级	≥3 级	=5 级
	标准化程度	≥2 级	≥2 级	≥3 级	≥3 级	=5 级
	数据接口	≥3 级	≥3 级	≥4 级	≥4 级	=5 级
	整体性	≥2 级	≥2 级	≥3 级	≥4 级	=5 级
	灵活性	≥2 级	≥2 级	≥2 级	≥3 级	=5 级
数字孪生数据	丰富性	≥2 级	≥3 级	≥4 级	≥4 级	=5 级
	兼容性	≥2 级	≥3 级	≥3 级	≥3 级	=5 级
	可访问性	≥2 级	≥3 级	≥4 级	≥4 级	=5 级
	质量	≥2 级	≥3 级	≥3 级	≥4 级	=5 级
连接交互	方式	≥2 级	≥3 级	≥3 级	≥3 级	=5 级
	时延	≥2 级	≥2 级	≥2 级	≥4 级	=5 级
	对象和范围	≥2 级	≥3 级	≥3 级	≥3 级	=5 级
	质量	≥2 级	≥3 级	≥4 级	≥4 级	=5 级
功能服务	多样性	≥2 级	≥2 级	≥3 级	≥4 级	=5 级
	集成度	≥3 级	≥3 级	≥3 级	≥4 级	=5 级
	灵活性	≥2 级	≥2 级	≥3 级	≥3 级	=5 级

表 A.2 数字孪生等级指标要求

等级指标	等级	指标要求
控制	1级	污水处理设施不可数控，运行需全手动操作
	2级	污水处理设施的部分行为可数控，运行需全手动操作
	3级	污水处理设施的部分行为可数控，可实现半自动化运行
	4级	污水处理设施的全部行为可数控，可实现半自动化运行
	5级	污水处理设施的全部行为可数控，可实现全自动化运行
传感器	1级	有传感器，种类不全，数量不足，感知数据需人工读取
	2级	有传感器，种类不全，数量不足，可自动读取部分感知数据
	3级	有传感器，种类和数量满足需求，可自动读取部分感知数据
	4级	有传感器，种类和数量满足需求，可自动读取全部感知数据，传感器可重配置
数据接口与网络设备	1级	无数据接口，无网络设备
	2级	有部分数据接口，无网络设备
	3级	有部分数据接口，以及用于获取部分传感器数据的网络设备
	4级	有满足当前需求的数据接口，以及用于获取部分传感器数据、支持多机协作和支持远程管控的网络设备
	5级	有满足需求的数据接口，以及满足各种数据传输需求的网络设备
完整度	1级	有几何模型、物理模型、行为模型、规则模型的任意一类，精准描述污水处理设施的某个方面
	2级	有几何模型，以及物理模型、行为模型、规则模型的任意一类，精准描述污水处理设施的多个方面
	3级	有几何模型、物理模型、行为模型和规则模型，精准描述污水处理设施的多个方面
	4级	有几何模型、物理模型、行为模型和规则模型，精准描述污水处理设施的多个方面，外观、内部结构、物理学特性和行为逼真
	5级	有几何模型、物理模型、行为模型和规则模型，在相同的输入下能够输出与污水处理设施相同的结果，且解释中间过程的机理和知识完备
标准化程度	1级	非标准，难兼容，难解析，难复用
	2级	数据接口标准化，难兼容，难解析，难复用
	3级	数据接口和参数标准化，可与其他模型兼容，可自动解析，行业内可复用
	4级	数据接口、参数和格式标准化，可与其他模型兼容，可与标准化模型自动兼容，可自动解析，产业内可复用
	5级	数据接口、参数、格式和描述文本标准化，可与其他模型兼容，可自动解析，易迁移复用
数据接口	1级	无数据接口
	2级	有部分静态参数的输入和输出接口
	3级	有部分动态和静态参数的输入和输出接口
	4级	有满足当前需求的动态和静态参数的输入和输出接口
	5级	有全部动态和静态参数的输入和输出接口，具备对接口的再配置功能

表 A.2 数字孪生等级指标要求（续）

等级指标	等级	指标要求
整体性	1级	各子模型相互独立
	2级	各子模型在数据层面上有效融合
	3级	各子模型在数据和特征信息层面上有效融合
	4级	各子模型在数据、特征信息和基于模型的决策层面上有效融合
	5级	各子模型在数据、特征信息和基于模型的决策层面上有效融合，新增模型与现有模型在数据、特征信息和基于模型的决策层面上有效融合
灵活性	1级	不可配置，不可组装，不可重构
	2级	能进行人工配置、组装和重构
	3级	能进行自动配置，能进行人工组装和重构
	4级	能进行自动配置，并辅助人工组装和重构过程
	5级	能进行自动配置、组装和重构
丰富性	1级	污水处理设施的设计和制造阶段的数据
	2级	污水处理设施的设计、制造和运行阶段的数据，连接交互的配置数据
	3级	污水处理设施的设计、制造和运行阶段的数据，数字孪生模型的运行数据，连接交互的配置数据
	4级	污水处理设施的设计、制造和运行阶段的数据，数字孪生模型的运行数据，连接交互的配置数据，功能服务对现有数据进行处理得到的新数据
	5级	五个维度的全生命周期数据，包括直接从五个维度获取的原始数据、功能服务维度产生的新数据和数据演变过程的中间数据
兼容性	1级	数据非标，且难兼容
	2级	部分数据标准化，单一功能所需的数据可兼容
	3级	部分数据标准化，紧耦合功能所需的数据可兼容
	4级	大部分现有数据标准化，现有功能所需的数据可兼容
	5级	现有数据标准化，现有功能所需的数据兼容，新增数据可自动解析并兼容
可访问性	1级	可访问本地数据库和模型文件中的数据
	2级	可访问本地数据库、模型文件和污水处理设施运行环境中的数据
	3级	可访问本地数据库、模型文件、污水处理设施运行环境和数字孪生模型运行环境中的数据
	4级	可访问本地数据库、模型文件、污水处理设施运行环境、数字孪生模型运行环境、信息系统、软件功能模块和云平台中的数据
	5级	可访问所有需要的数据
质量	1级	原始数据可能存在重复、缺漏、歧义和错误现象
	2级	原始数据无重复、错误和歧义现象，可能存在缺漏现象
	3级	原始数据无重复、缺漏、歧义和错误现象，功能服务维度产生的数据无重复、错误和歧义现象，可能存在缺漏现象，存在动态监测、验证、评估和预警机制
	4级	原始数据和功能服务维度产生的数据无重复、缺漏、歧义和错误现象，存在动态监测、验证、评估和预警机制
	5级	原始数据和功能服务维度产生的数据无重复、缺漏、歧义、错误现象，动态监测、验证、评估和预警机制完善

表 A.2 数字孪生等级指标要求（续）

等级指标	等级	指标要求
方式	1级	完全人工
	2级	人工进行连接配置，环境不变时交互过程自动进行
	3级	辅助人工连接配置过程，无法自动进行交互时主动请求人工介入
	4级	自适应连接配置，与已有交互对象的交互及重构过程全自动
	5级	自适应连接配置，与已有交互对象的数据交互及重构过程全自动，自动解析并连接新增的交互对象
时延	1级	平均天级，强调实时性的数据传输时延大于1分钟
	2级	平均小时级，强调实时性的数据传输时延小于1分钟，满足以虚映实、以虚控实和以虚预实对交互的实时性需求
	3级	平均分钟级，强调实时性的数据传输时延小于1秒钟，满足以虚映实、以虚控实和以虚预实对交互的实时性需求
	4级	平均秒级，强调实时性的数据传输时延小于200毫秒，满足以虚映实、以虚控实、以虚预实和以虚优实对交互的实时性需求
	5级	平均毫秒级，强调实时性的数据传输时延小于50毫秒，交互完成时全部数据仍然有效，可根据应用需求进行自适应连接配置以调整交互时延，无法满足需求时能够对连接交互本身进行重构升级
对象和范围	1级	包括现有污水处理设施本体和数字孪生模型
	2级	包括现有污水处理设施、数字孪生模型和功能服务
	3级	包括现有污水处理设施、数字孪生模型、数字孪生数据、功能服务和人
	4级	包括现有污水处理设施、数字孪生模型、数字孪生数据、功能服务、人、信息系统、云平台和其他污水处理设施
	5级	包括现有、新生成、新接入的污水处理设施、数字孪生模型、数字孪生数据、功能服务、人、信息系统、云平台和其他污水处理设施
质量	1级	存在漏传、重复传、错传和阻塞延误情况
	2级	基本无漏传、重复传和错传现象，存在阻塞延误情况
	3级	无漏传、重复传和错传现象，基本没有阻塞延误现象
	4级	无漏传、重复传、错传和阻塞延误现象，能应对常规高并发和高吞吐量情况，存在动态监测、评估或预警机制
	5级	无漏传、重复传、错传和阻塞延误现象，时延稳定，能灵活应对高并发和吞吐量情况，动态监测、评估、预警和自适应调节机制完备
多样性	1级	包括对污水处理设施的控制，以及对数字孪生模型的配置、控制和可视化。能够基于人工进行虚实交互，实现离线仿真
	2级	包括对污水处理设施的感知和控制，对数字孪生模型的配置、控制和可视化，以及对数字孪生数据的传输和预处理。能够利用实时数据驱动数字孪生模型复现污水处理设施的运行过程和状态，以及利用实时数据驱动污水处理设施执行控制指令
	3级	包括对污水处理设施的感知、远程控制和预测，对数字孪生模型的配置、控制和可视化，对数字孪生数据的传输、预处理和挖掘，以及对连接交互和功能服务的配置。能够基于数字孪生模型和数据进行时效分析和在线预测推演
	4级	包括对污水处理设施的感知、远程控制、预测、诊断和智能管控，对数字孪生模型的配置、控制、可视化、评估和验证，对数字孪生数据的传输、预处理、挖掘、融合和生成，以及对连接交互和功能服务的配置。能够实现决策优化和智能管控

表 A.2 数字孪生等级指标要求（续）

等级指标	等级	指标要求
多样性	5级	包括对污水处理设施的感知、远程控制、预测、诊断、智能管控和重构，对数字孪生模型的配置、控制、可视化、评估、验证和重构，对数字孪生数据的传输、预处理、挖掘、融合和生成，以及对连接交互和功能服务的配置和重构。能够实现自主孪生和迭代进化
集成度	1级	各功能服务独立，软件环境不统一
	2级	针对单一维度的紧耦合服务在可兼容的软件环境下集成
	3级	运维阶段的大部分紧耦合功能服务在可兼容的软件环境下集成
	4级	运维阶段的功能服务在可兼容的软件环境下集成，部分紧耦合且强调实时性的功能服务在同一软件环境中集成
	5级	数字孪生全生命周期全部功能服务在可兼容软件环境下集成，新增功能服务自动解析并兼容
灵活性	1级	不易配置和调用
	2级	可进行人工配置、匹配、调用和优化
	3级	可进行人工配置和优化，以及自动的请求、匹配和调用
	4级	自动进行自动的配置、请求、匹配和调用，辅助人对功能服务进行封装、组合、优化和重构
	5级	能够自主发现新功能，并自动进行服务封装、配置、请求、匹配、调用、组合、优化和重构

附录 B
(资料性)
数字孪生系统数据传输网络

数字孪生系统适用数据传输网络见表 B.1。

表 B.1 数字孪生系统适用数据传输网络

序号	终端类型	传输网络
1	安装环境隐蔽、无供电条件、位置固定、小数据量和时延不敏感特点的终端	窄带物联网技术
2	集中器和流量计采集频率高，或者有实时下行控制需求的中低速率物联网应用场景设备	4G LTE 网络技术
3	针对高清摄像头、机器人及人工智能巡检高带宽和低时延的物联网应用场景设备	4G/5G 和有线专线技术

附录 C

(资料性)

智能化控制常规监测数据要求

数字孪生系统智能化控制常规监测数据要求见表 C.1。

表 C.1 智能化控制常规监测数据

序号	智能化控制应用		监测数据
1	泵组优化智能控制	机组	功率、转速、机组前后压力
		泵房	前池液位、进出流量、出站压力、加压控制点压力
2	智能曝气		进水流量、进水水质（酸碱度、水温、化学需氧量、氨氮、总氮）、好氧区溶解氧和污泥浓度、单池曝气量、出水水质（酸碱度、水温、化学需氧量、氨氮、总氮）
3	智能内回流		进水量、进水氨氮、进水总氮、缺氧区硝态氮、好氧区硝化液回流处溶解氧、硝态氮
4	智能污泥回流及排放		污泥沉降比（SV）、污泥容积指数（SVI）、污泥浓度、活性污泥表观特征
5	智能加药除磷		污水处理设施进水总磷、生化池出水总磷、高效池进出水总磷及固体悬浮物浓度、温度、酸碱度
6	智能碳源投加		生化池进水流量、化学需氧量、氨氮、碳氮比，缺氧区硝态氮、溶解氧、好氧区氨氮、化学需氧量
7	智能加药调理		进泥流量、污泥浓度、泥位计、含水率以及脱水后泥饼含水率
8	智能污泥转运		车辆位置、车辆轨迹、车辆状态、污泥载量



标准实施反馈与服务

中国环保机械行业协会团体标准
污水处理设施 数字孪生 通用要求
T/CAMIE 21—2024

*

北京科学技术出版社出版发行
(北京西直门南大街16号 邮编: 100035)

新华书店经销

河北泓景印刷有限公司印刷

版权专有 不得翻印



155714660

开本 880 × 1230 1/16 印张 1.25 字数 25 千字
2024年7月第1版 2024年7月第1次印刷

*

书号: 155714 · 660 定价: 42.00 元