

ICS 07.040

CCS A78

TB

团

体

标

准

T/CSGPC XXX-202X

城镇污水管网数字孪生建设技术导则

Technical Guide for the Construction of Digital Twin Urban Sewer Networks

(征求意见稿)

202X-XX-XX发布

202X-XX-XX实施

中国测绘学会 发布

目录

前 言	3
1 范围	4
2 规范性引用文件	4
3 术语和定义	4
3.1 污水管网数字孪生 digital twin of sewer systems	4
3.2 数据底板 data base	5
3.3 模型库 model hub	5
3.4 知识库 knowledge base	5
4 缩略语	5
5 基本规定	5
6 技术框架	6
7 数字孪生等级	6
8 智能基础设施	7
8.1 监测感知体系	7
8.2 通信网络	9
8.3 算力基础设施	9
8.4 可视化设备	9
9 数据底板	10
9.1 一般规定	10
9.2 数据内容	10
9.3 数据管理	11
9.4 数据等级	11
10 模型库	11
10.1 一般规定	11
10.2 模型库类别	12
10.3 模型等级	12
11 知识库	12
11.1 一般规定	13
11.2 规划设计知识库	13
11.3 工程建设知识库	13
11.4 工程安全知识库	13
11.5 运行调度知识库	14
11.6 运维管理知识库	14
11.7 管网资产管理知识库	14
11.8 知识库技术要求	14
12 业务应用	15
12.1 一般规定	错误！未定义书签。
12.2 建设期管理应用	错误！未定义书签。
12.3 运维期管理应用	错误！未定义书签。
13 评估与验收	15
13.1 一般规定	21
13.2 评估	22
13.3 验收	23
附录	错误！未定义书签。
参考文献	错误！未定义书签。

前 言

本文件按照GB/T1.1—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。

本文件由中国测绘学会提出并归口。

本文件主要起草单位：

本文件主要起草人：

城镇污水管网数字孪生建设技术导则

1 范围

本文件规定了城镇污水管网数字孪生的系统架构、孪生等级、数字化基础设施、数据底板、模型库、知识库、业务应用和评估体系。

本文件适用于城镇污水管网数字孪生（含合流制管网）的设计、建设和运行管理。

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。

仅列出本导则接引用的标准，按照标准号从小到大排列

- GB 50014-2021 《室外排水设计标准》
- GB 50268-2008 《给水排水管道工程施工及验收规范》
- GB 50318-2017 《城市排水工程规划规范》
- GB 51174-2017 《城镇雨水调蓄工程技术规范》
- GB/T 15782 《水文测量传感器 水位测量传感器》
- GB/T 41368 《水文自动测报系统技术规范》
- GB/T 43441.1 《信息技术 数字孪生 第1部分：通用要求》
- CJJ 61 《城市地下管线探测技术规程》
- CJJ 68 《城镇排水管渠与泵站运行、维护及安全技术规程》
- CJJ 143 《埋地塑料排水管道工程技术规程》
- CJJ 181 《城镇排水管道检测与评估技术规程》
- CJJT 210 《城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程》
- CJ/T 252 《城镇排水水质水量在线监测系统技术要求》
- T/CECS 1764 《城镇污水管网入流入渗监测与评估标准》

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 污水管网数字孪生 digital twin of sewer systems

污水管网数字孪生是以物理污水管网（含合流制管网）为单元、时空数据为底座、数学模型为核心、专业知识为驱动，对物理污水管网（含合流制管网）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，与物理污水管网（含合流制管网）同步仿真运行、虚实交互、迭代优化，实现对物理污水管网（含合流制管网）的实时监控、发现问题、优化调度的新型基础设施。

3.2 数据底板 data base

数据底板是专为污水管网数字孪生定制的基础性、结构化、标准化数据集合。通过整合多源、多维度数据并标准化处理，实现对物理管网的精准虚拟映射，最终支撑孪生系统的仿真分析、智能运维与科学决策。

3.3 模型库 model hub

模型库是由专业模型、可视化模型组成污水管网数字孪生模型库，为污水管网业务应用提供支撑。

3.4 知识库 knowledge base

由工程知识库、安全知识库、运行调度知识库、运维管理知识库、管网资产健康管理知识库等组成污水管网数字孪生知识库，为污水管网建设、运行及管理提供技术方案。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

NB-IoT 窄带物联网 **Narrow Band Internet of Things**

SCADA 数据采集与监视控制系统 **Supervisory Control and Data Acquisition**

4G Cat. 1 第四代移动通信用户设备类别1 **4th Generation Cellular User Equipment Category 1**

VOCs 挥发性有机物 **Volatile Organic Compounds**

ORP 氧化还原电位 **Oxidation-Reduction Potential**

GDB 地理数据库 **Geodatabase**

CRC 循环冗余校验 **Cyclic Redundancy Check**

CMA/CNAS 中国计量认证 / 中国合格评定国家认可委员会 **China Metrology Accreditation / China National Accreditation Service for Conformity Assessment**

5 基本规定

5.1 污水管网数字孪生建设应紧密围绕污水管网建设与运维的实际业务需求，充分利用现有数字化基础，避免重复建设，深入挖掘污水管网数字孪生应用场景，提升污水管网管理的智慧化层次，保障污水管网运行安全，实现精细化管理和科学决策。

5.2 污水管网数字孪生建设应统一采用时空基准，保障空间定位和时间标识的一致性，实现多源数据的高效融合与协同应用。

5.3 污水管网数字孪生建设应规范数据与模型接口，实现各类数据、模型之间的高效互联与协同，提升系统的兼容性和可扩展性。

5.4 污水管网数字孪生建设应按照相关法律法规和标准规范要求，构建安全可靠的网络安全体系，保障网络基础设施、数据和信息系统的安全，优先采用自主可控软硬件产品。

5.5 污水管网数字孪生系统应建立健全的更新与归档管理机制，定期或按需更新并维护各类资源，落实安全备份，确保其准确性、完整性和可追溯性，防止数据丢失。

5.6 污水管网数字孪生建设应强化安全保密措施，落实数据采集、传输、存储、处理和应用等环节的安全管理，防范数据泄露和滥用，切实保障数据和模型的安全性及保密性。

5.7 污水管网数字孪生建设应建立完善的质量验证机制，各类资源应进行测试、验证和校核，确保满足精度

和质量要求。建设内容应符合国家和行业相关技术标准规范。

5.8 污水管网数字孪生平台应具备高效的数据处理和可视化能力,支持多种部署方式和资源动态调配,满足系统运行和应用需求。

5.9 知识库应在共享现有知识库的基础上,构建覆盖全业务、可供应用调用的知识库体系。该体系应建立持续迭代、更新与淘汰的管理机制,并预留标准接口,以支持共建共享和跨系统互通,防止数据孤岛化。

5.10 污水管网数字孪生建设应建立应用效果评估机制,定期或按需对系统建设成效和应用效果进行评估,持续优化和改进系统性能。

6 技术框架

污水管网数字孪生技术框架由智能基础设施、数字孪生平台、业务应用和评估与验收四部分组成。智能基础设施提供基础支撑和算力保障;数字孪生平台包含数据底板、模型库和知识库,为系统分析、虚拟仿真和决策提供支持;业务应用分为建设期和运维期管理;评估与验收确保系统功能、性能及安全符合设计目标。污水管网数字孪生架构如图1所示。

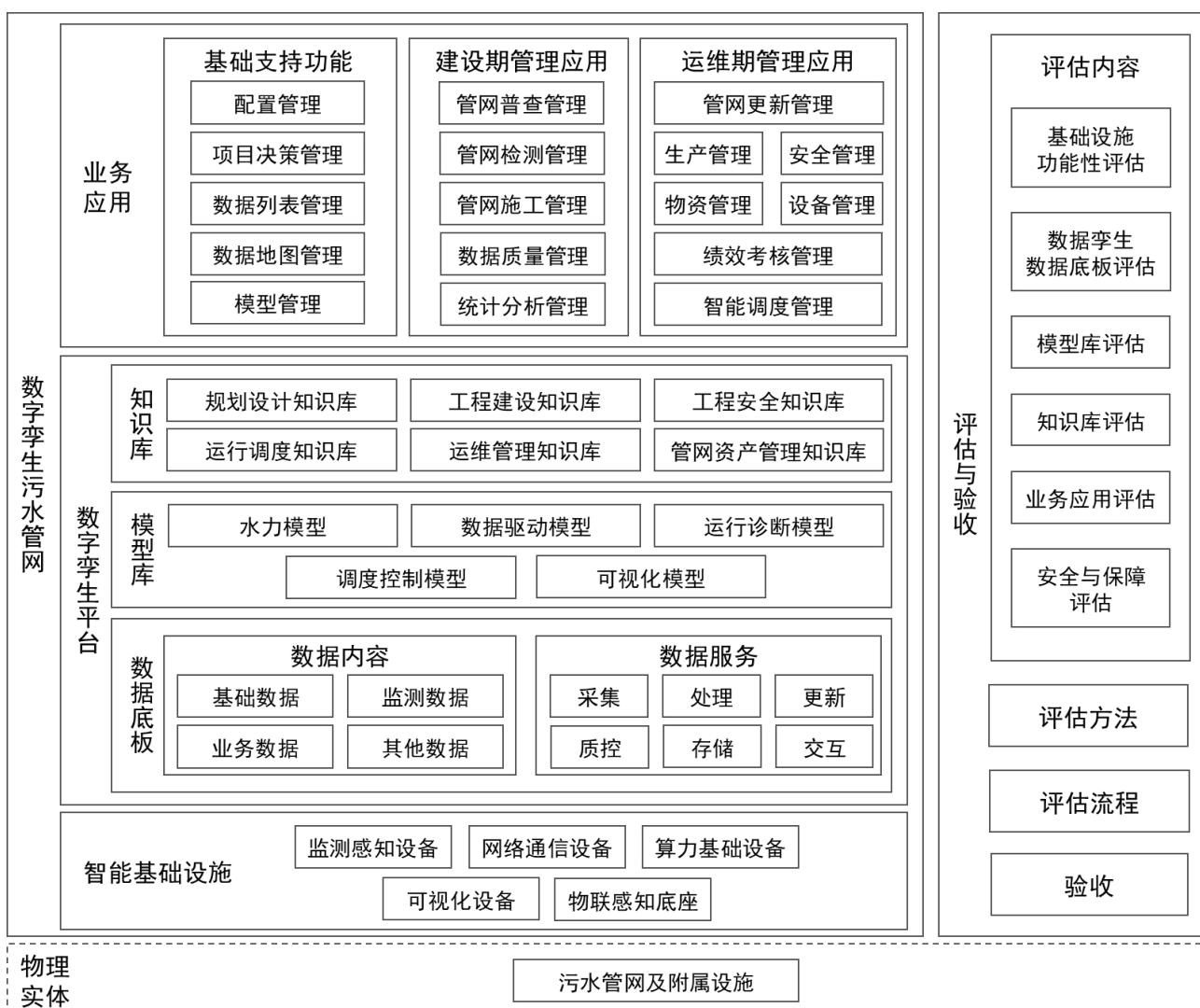


图1 污水管网数字孪生架构图

7 数字孪生等级

污水管网数字孪生各类资源应根据典型特征和技术场景进行分层分级管理，明确范围和适用条件，并匹配对应数字孪生等级（L1 动态监控、L2 自动控制、L3 智能调控、L4 智慧预测、L5 虚实共生），如表 1 所示。

表 1 数字孪生等级划分

等级	名称	核心能力	典型特征	典型技术和场景
L1	动态监控	实时状态映射，以虚映实。	1. 实现物理管网与数字模型的单向数据交互； 2. 实时采集关键节点数据（流量、液位），模型动态展示运行状态。	通过 IoT 传感器、物联网、SCADA，实现厂站网运行监控、资产数字化等。
L2	自动控制	设备闭环控制，以虚控实。	1. 数字模型可反向控制物理设备； 2. 实现“监测-分析-控制”的闭环，如自动调节泵站水泵频率。	通过 PLC、规则引擎，初步实现厂站网的核心设备、工艺段自动化控制、自动化调度、应急响应等目标。
L3	智能调控	自动诊断和智能调度，以虚驱实。	1. 基于历史数据与物理模型进行预测仿真，考虑环境因素影响； 2. 具备故障预警、寿命预测等前瞻性能力。	运用仿真算法、机器学习等技术，构建模型，实现故障预警、方案评估及与其他部门协同调度等。
L4	智慧预测	预测性分析，以虚预实。	1. 基于多目标优化算法生成最优策略； 2. 实现厂网河联合调度及与上下游产业协同。	利用大数据、智能算法，构建厂-网-河联合调度模型，实现一体化运行，提升厂站网运行效率、低碳运行及经济效益等。
L5	虚实共生	自主协同进化，虚实共生。	1. 数字孪生与物理系统深度融合，具备自主学习与决策能力； 2. 系统可根据环境变化自优化，实现“虚实协同进化”与城市生态协同。	利用生成式 AI、自主进化算法，实现城市级的全流域治理、自愈式运维、自主决策及城市生态协同等目标。

8 智能基础设施

8.1 监测感知体系

8.1.1 一般规定

8.1.1.1 监测感知包括水位监测、流量监测、水质监测、气体监测、井盖监测、结构健康监测、环境检测识别等。

8.1.1.2 应在现有标准基础上，科学规划监测感知设备，按需配置监测指标、监测密度和监测频次，设备安装后应进行定期维护和校验，满足数据应用需求，为数据底板提供全要素实时感知数据。

8.1.1.3 监测感知设备应具备自动测报、多种通信、断电存储、故障报警、低功耗等功能。应根据安装环境，满足防水、防爆、防腐、防盗等防护要求。

8.1.1.4 监测感知设备应选择 NB-IoT、4G Cat. 1、5G 等无线网络或有线网络以实现数据传输。

8.1.1.5 应建设统一的监测汇集平台，集中接收、管理各类监测感知数据，并采取措施保障数据安全，支持对监测设施远程运维管理。

8.1.2 液位监测

8.1.2.1 应根据污水管网工况选择适合管道浅流、非满流、满流、管道过载或淹没溢流中一种或多种工况的传感器，包括静压式水位计、超声水位计、雷达水位计等，可通过组合使用不同传感器避免出现测量盲区。

8.1.2.2 液位监测传感器应安装于污水检查井内，根据测量方式的不同，接触式液位传感器应安装于检查井井底，非接触式液位传感器应安装于检查井井口。液位监测频次宜为 1 分钟，应具备远程调整通信频次的功能，其中旱季通信频次不宜大于 15 分钟，雨季通信频次不宜大于 5 分钟。

8.1.3 流量监测

8.1.3.1 应根据监测需求和现场工况选择合适的传感器，应采用电磁流量计、超声波流量计或雷达流量计。

8.1.3.2 流量监测传感器应安装于污水管道内，根据测量方式的不同，电磁流量计宜采用插入式方式安装于满管带压管道，超声波流量计宜安装于非满管或满管重力流管道管底，雷达流量计宜安装于非满管重力流管道管顶。流量监测频次宜为1分钟，应具备远程调整通信频次的功能，其中旱季通信频次不宜大于15分钟，雨季通信频次不宜大于5分钟。

8.1.4 气体监测

监测指标可包括污水管网中的硫化氢、氨气、甲烷、典型 VOCs 和氧气等气体。

8.1.5 水质监测

8.1.5.1 包括 pH 值、温度、电导率、ORP、固体悬浮物、化学需氧量、氨氮、总磷、总氮等。应根据监测需求和现场工况选择原位监测或分流监测的方式。

8.1.5.2 原位监测通过传感器与监测水体直接接触进行监测，传感器应安装于检查井井底并淹没于污水中。分流监测通过抽水装置将污水管内水样输送至监测装置中进行监测，抽水口应安装于检查井井底并淹没于污水中。采用原位监测的水质监测频次不宜大于15分钟，通信频次不宜大于30分钟；采用分流监测的水质监测频次和通讯频次不宜大于120分钟。

8.1.6 井盖监测

应结合污水管网监测需求和现场条件，设置井盖监测设备。井盖监测设备应具备固定坐标、监测井盖开闭状态、异常情况报警和身份识别等功能。

8.1.7 结构健康监测

应包括应变、应力、变形、渗漏和耐久性等监测。

8.1.8 环境检测识别

8.1.8.1 环境检测识别设备包括高清摄像头、三维激光雷达、多波束成像声呐、红外热成像仪以及管道机器人等。

8.1.8.2 环境检测识别设备应符合现有行业标准《城镇排水管道检测与评估技术规程》CJJ 181 有关规定。

8.1.9 物联感知底座

8.1.9.1 应建设统一物联感知底座，承担海量异构终端接入、数据处理及应用接入等功能。

8.1.9.2 物联感知底座应支持主流工业通信协议，兼顾自定义协议的灵活扩展功能。根据不同数据孪生等级需求，宜包含数据加密、安全证书等安全管理功能。

8.1.9.3 底层设备接入与上层应用服务通过标准 API 接口实现松耦合交互，应提供开放能力 API 接口，满足数据共享、调用等需求。数据流转层内置流式处理引擎，提供实时数据清洗、异常值过滤等预处理功能，保障管网压力、流量、水质等监测数据的有效性与一致性。

8.1.10 智能基础设施等级要求

表 2 监测感知等级

等级	监测设备	条件
L1	液位、流量	覆盖主要设施和主干管网 (DN800 以上)
L2	液位、流量	覆盖主要设施和主干管网 (DN800 以上)、支次管网分区 (DN400-800)
	水质	覆盖主要设施和主干管网 (DN800 以上)

L3	液位、流量	增设覆盖主要设施和主干管网（DN800 以上）、支次管网分区（DN400-800）、源头管网（DN100-400）及源头排水户排放口（10%-20%）
	水质	增设覆盖主要设施和主干管网（DN800 以上）、支次管网分区（DN400-800）、源头管网（DN100-400）及源头排水户排放口（10%-20%）
	气体、结构、环境	覆盖部分点位
L4	液位、流量	持续增设覆盖主要设施和主干管网（DN800 以上）、支次管网分区（DN400-800）、源头管网（DN100-400）及源头排水户排放口（10%-20%）
	水质	持续增设覆盖主要设施和主干管网（DN800 以上）、支次管网分区（DN400-800）、源头管网（DN100-400）及源头排水户排放口（10%-20%）
	气体、结构、环境	持续增设覆盖部分点位
L5	液位、流量	监测感知实现污水管网全面覆盖，与城市生态系统数据交互
	水质	监测感知实现污水管网全面覆盖，与城市生态系统数据交互
	气体、结构、环境	监测感知实现污水管网全面覆盖，与城市生态系统数据交互

8. 2 通信网络

8. 2. 1 网络分区

8. 2. 1. 1 应按系统功能不同分为业务网、工控网等网络。

8. 2. 1. 2 业务网应分为信息管理区和互联网服务区。信息管理区用于部署数字孪生平台、生产管理系统等；互联网服务区用于部署对互联网提供服务的系统。

8. 2. 1. 3 工控网应分为实时控制区和过程监控区（非实时控制区）。实时控制区用于部署控制工程设备运行的系统，如 PLC、SCADA 等；过程监控区用于部署工控系统监测与管理系统，如运行监测系统、故障诊断系统、生产数据分析系统等。

8. 2. 3 业务网连接

业务网应采用防火墙等网络安全措施进行隔离，宜采取加密措施进行数据传输加密。应通过租赁专线、自建光纤等方式连接，连接带宽应满足服务调用和数据共享的需求，原则上不低于 50Mbps。

8. 2. 4 工控网连接

应将实时控制区与过程监控区分别连接，应采用防火墙等网络安全措施进行隔离，应采取加密措施进行数据传输，应通过租用电路、自建光纤等方式连接。

8. 3 算力基础设施

8. 3. 1 应结合污水管网数字孪生算力需求，采用自建云、物理服务器，共享行业云、政务云等方式，构建污水管网数字孪生计算存储环境。

8. 3. 2 可根据污水管网数字孪生模型计算等高精度计算场景需求，在通用计算基础上，加强高性能计算能力建设。

8. 3. 3 可根据数字孪生平台模型训练、过程推理等场景计算需求，配备必要的 AI 算力。

8. 3. 4 应建设完善本地备份系统，根据业务需要建设异地备份中心，异地备份中心可按需建设。

8. 3. 5 计算存储资源宜在当前需求基础上预留冗余和发展空间，满足后续功能扩展升级需要。

8. 3. 6 应充分考虑汛期或出现其他突发情况时，现地计算能力不足的情况，可通过云计算资源解决。

8. 4 可视化设备

8. 4. 1 可视化设备包括高分辨率显示设备、可视化工作站、虚拟现实（VR）和增强现实（AR）设备等。

- 8.4.2 高分辨率显示设备用于展示数字孪生模型的仿真结果和可视化数据。
- 8.4.3 可视化工作站专门用于处理复杂图形和数据的计算机设备。
- 8.4.4 虚拟现实（VR）和增强现实（AR）设备用于用户在虚拟环境中与数字孪生模型进行交互，观察模型的内部结构、运动状态等。

9 数据底板

9.1 一般规定

- 9.1.1 数据底板宜整合多源异构数据，提供时空基准、动态感知和业务协同能力，支撑管网监测、模拟、调度等业务场景。
- 9.1.2 数据底板中数据内容应满足实时性和准确性要求，数据兼容性、可访问性、数据质量及数据多样性应满足各数字孪生等级要求。
- 9.1.3 数据底板中数据服务应覆盖从数据采集到数据交互的全生命周期管理，并满足实时性、准确性、安全性等要求。

9.2 数据内容

- 9.2.1 数据类型宜包括基础数据、监测数据、业务数据和其他数据，各类数据内容见表3。
- 9.2.2 基础数据应描述城镇污水管网物理实体特征及空间关系的静态数据。基础数据的范围包括：地理空间数据、管网资产数据、外部关联数据等。
- 9.2.3 监测数据应反映管网实时运行状态的动态数据。监测数据的范围包括：管网运行监测数据、设施状态监测数据、环境关联监测数据等。
- 9.2.4 业务数据应支撑管网规划、建设、运维、应急调度等业务的结构化与非结构化数据。业务数据的范围包括：基础支撑数据、建设期管理数据、运维期管理数据等。
- 9.2.5 其他数据宜支持模型构建、知识库构建、用户分析决策等的辅助数据。其他数据的范围包括：模型库相关数据、知识库相关数据等。

表3 污水管网孪生平台数据内容

数据类型	数据子类	数据内容
基础数据	地理空间数据	包括但不限于地形地貌（ $\Delta E M / \Delta \Sigma M$ ）、行政区划、排水管网拓扑、三维实景模型、管网设计图纸、雨污分流规划图、防洪排涝标准。
	管网资产数据	包括但不限于管道（管径、材质、埋深、坡度、使用年限等）、管点（位置坐标、井深、井盖类型、附属设备等）、泵站（装机容量、服务范围、控制模式等）、拓扑结构（管网层级关系、节点连接关系等）管网缺陷数据。
	外部关联数据	包括但不限于河流水文（河道断面数据、水位-流量关系曲线、水文站监测数据等）、土地利用（建设用地类型、地下空间占用情况数据等）、城市内涝（地表径流系数、地下空间排水能力数据等）。
监测数据	管网运行监测数据	包括但不限于实时监测数据（流量、水位、水质参数等）、异常监测数据（异常预警数据、异常中断缺少数据等）。
	设备设施监测数据	包括但不限于泵站与阀门（启停状态、水位、能耗数据、阀门开度等数据）、监测设备（设备类型、技术参数、监测指标、监测频次、安装位置、安装时间、维护记录等数据）、管网健康评估（结构性缺陷、功能性缺陷等数据）。
	环境关联监测数据	包括但不限于气象数据（降雨强度、气温、风速等数据）、重点区域视频监控数据等。

业务数据	基础支撑数据	对污水管网数字孪生各项业务提供流程、权限、展示等相关数据，包括项目、人员、菜单、角色、权限、流程、地图等污水管网数字孪生相关数据。
	建设期管理数据	反映污水管网工程建设全业务过程，涵盖前期规划、存量管网普查、新建改造方案设计、建设施工、监理管控等阶段数据。
	运营期管理数据	反映污水管网系统健康运行和考核管控需求相关数据。
其他数据	模型库相关数据	水力、水质模型：曼宁系数、糙率曲线、管道阻力参数、降解速率、混合系数、污染物迁移规律等数据。
	知识库相关数据	专家经验库（管网抢修典型案例、故障诊断规则），政策法规库（排水许可标准、黑臭水体治理要求）等数据。

9.3 数据管理

- 9.3.1 数据底板中数据管理宜包括数据的采集、处理、更新、质控、存储、交互等数据全生命周期管理要求。
- 9.3.2 数据采集宜通过实时采集、周期性采集、一次性采集、跨系统对接等方式实现多源异构数据的全面感知与高效汇聚。
- 9.3.3 数据处理宜实现数据标准化、结构化与语义化，构建可用的城镇污水管网数字孪生数据资产。
- 9.3.4 数据更新宜确保数据的时效性与一致性，支持动态业务场景。
- 9.3.5 数据质控宜保障数据准确性、完整性与合规性。
- 9.3.6 数据存储宜采用分层存储方式对不同形式数据进行高效存储。
- 9.3.7 数据交互宜实现跨系统、跨层级的数据共享与业务协同，支撑监测预警、模拟推演、应急调度等核心场景，保障数据交互的实时性、安全性与可扩展性。

9.4 数据底板等级要求

- 9.4.1 L1~L5级数字孪生均应建立相应数据底板，并符合表4数据底板要求规定：

表4 数据底板等级要求

等级	数据底板要求
L1	宜支持单向数据流入，建立监测数据类数据底板，满足实时报警需求。
L2	宜支持双向数据交互，建立监测数据、生产数据类相关的数据底板，满足分级分类报警、工艺段闭环需求，数据实时性较高，满足自动控制需求。
L3	宜支持双向数据交互，建立监测数据、生产数据类相关的数据底板，数据质量、实时性较高，满足智能控制、数据驱动模型要求，引入环境因素数据。
L4	宜支持双向数据交互，建立多模态数据类数据底板，各类数据内容丰富，打破工控系统和信息化系统的数据孤岛，与上下游产业数据共享频繁，满足多目标预测和优化要求。
L5	宜支持双向数据交互，建立多模态数据类数据底板，各类数据内容丰富，数据质量稳定可靠，数据清洗算法成熟，满足自适应学习，生成式AI需求，实现产业链数据融合

10 模型库

10.1 一般规定

- 10.1.1 模型库应支持排水系统规划、设计、运行、维护、调度、评估及应急响应等应用，通过模拟、预测、优化等手段为业务决策提供技术支撑。
- 10.1.2 模型库构建应明确模型类型、精度等级和适用条件，模型应进行参数率定和精度验证，满足相关技术标准要求。

10.1.3 模型库应建立运行维护机制,定期进行模型校准、性能评估和版本管理,并采用费效比、同比、环比等指标评估应用效果,持续优化模型性能。

10.2 模型库类别

10.2.1 模型库宜分为:水力模型、数据驱动模型、运行诊断模型、调度控制模型和可视化模型。

10.2.2 水力模型基于水力学原理,用于模拟管网设施水流状态及污染物迁移转化过程。

10.2.3 数据驱动模型用于管网运行状态预测与分析,模型精度应达到同等机理模型的精度要求。

10.2.4 运行诊断模型用于管网系统异常识别、风险分析及设施状态评估。

10.2.5 调度控制模型用于优化管网运行策略及应急响应方案。

10.2.6 可视化模型用于直观展示管网物理实体、运行状态和分析结果。应建立二维模型作为底座,宜构建三维模型。

10.3 模型等级要求

10.3.1 模型等级要求见表4。各等级应构建二维可视化模型作为底座,并将运行诊断模型和调度控制模型的数据进行空间关联。

10.3.2 机理模型精度、验证与校核应符合《室外排水设计标准》GB50014。

10.3.3 数据驱动模型精度应达到同等机理模型精度要求。

表5 污水管网孪生平台模型等级要求

等级	模型类别	具体要求
L1(动态监控)	水力模型、数据驱动模型、运行诊断模型、可视化模型	水力模型:应建立框架模型,条件允许时宜建立概化模型。 数据驱动模型:宜用于运行状态监测和实时报警。 运行诊断模型:应根据具体需求建立。 可视化模型:应建立二维模型作为底座。
L2(自动控制)	水力模型、数据驱动模型、运行诊断模型、调度控制模型、可视化模型	水力模型:应建立概化模型,宜建立精细模型。 数据驱动模型:宜用于自动控制决策支持。 运行诊断模型:宜用于分级分类报警。 调度控制模型:应支持厂站网核心设备、工艺段自动化控制。 可视化模型:应建立二维模型作为底座。
L3(智能调控)	水力模型、数据驱动模型、运行诊断模型、调度控制模型、可视化模型	水力模型:应建立概化模型和实时在线模型,宜建立精细模型。 数据驱动模型:应用于预测仿真,宜结合历史数据和物理模型。 运行诊断模型:应具备故障预警、寿命预测能力。 调度控制模型:应支持智能调度和方案评估。 可视化模型:应建立二维模型作为底座,宜构建三维模型。
L4(智慧预测)	水力模型、数据驱动模型、运行诊断模型、调度控制模型、可视化模型	水力模型:应建立概化模型、实时在线模型,宜建立精细模型。 数据驱动模型:应用于多目标预测和优化。 运行诊断模型:应具备预测性诊断和事故后果模拟能力。 调度控制模型:应支持厂-网-河联合调度。 可视化模型:应建立二维模型作为底座,宜构建三维模型。
L5(虚实共生)	水力模型、数据驱动模型、运行诊断模型、调度控制模型、可视化模型	水力模型:应全面建立精细模型。 数据驱动模型:应具备自适应学习能力。 运行诊断模型:应支持自愈式运维。 调度控制模型:应具备自主决策能力,支持城市级全流域治理。 可视化模型:应构建动静态结合模型,利用数字孪生、虚拟现实等技术实现虚实共生。

11 知识库

11.1 一般规定

11.1.1 知识库的建设应以已有资料为基础，宜共享相关市政水务管理部门、水司机构等已有的知识库。

11.1.2 应在共享的基础上，构建覆盖污水管网规划设计、工程建设、工程安全、运行调度、运维管理、管网资产管理等业务的知识库。

11.1.3 知识库应供各业务应用调用，并在后续运行维护过程中不断积累和迭代更新并及时淘汰过期知识。

11.1.4 为避免形成信息孤岛，应加强知识库的共建共享，并预留标准接口，以支持跨系统、跨部门的数据与知识共享。

11.2 规划设计知识库

11.2.1 规划设计知识库应聚焦污水管网全生命周期的规划设计需求。

11.2.2 知识库内容应包括以下内容：

- a) 排水相关的政策与法规，包括国家、行业及地方的行政规定；
- b) 规划方案，包括城市排水规划、管网布局现状与原则、可持续设计维护要点等；
- c) 设计方案，包括可研、初设、施工图及竣工相关的设计资料。

11.2.3 规划设计知识库需基于行业技术发展和政策导向进行动态更新。

11.3 工程建设知识库

11.3.1 工程建设知识库内容应包括以下内容：

- a) 工程对象知识图谱，囊括管道、泵站、调蓄池等设施的材质、形态尺寸和功能；
- b) 施工方案与标准，包括施工工艺、技术标准、质量规范、施工工法等；
- c) 建设管理知识，包括施工过程管理、质量控制、风险防范、进度成本控制等方案；
- d) 其他相关资料，如材料设备清单、供应商信息、施工验收标准、历史施工数据等。

11.3.2 工程建设知识库应根据建设运维单位的实践、标准规范的更新和相关管理要求及时更新。

11.4 工程安全知识库

11.4.1 工程安全知识库应以施工安全、设施结构安全、运行维护安全为核心，将管道、检查井、泵站、调蓄池及操作人员等纳入安全业务对象范围。

11.4.2 知识库内容构建应包含以下内容：

- a) 行业安全标准与操作规程；
- b) 危险源辨识与风险评估方法、工程风险隐患；
- c) 安全检查规程、安全监测资料整编规程；
- d) 安全应急预案；
- e) 其他相关资料，如安全设备清单与维护要求、人员安全培训资料等。

11.4.3 工程安全知识库应根据建设运维单位的实践、标准规范的更新和相关管理要求及时更新。

11.5 运行调度知识库

11.5.1 运行调度知识库内容应包括:

- a) 管网运行模式（如旱季、雨季、节假日等）；
- b) 调度与控制策略，如泵站群调度、闸门控制、管网调蓄优化、溢流控制等；
- c) 调度方案与规程，包括正常、应急、运检维修等场景下的操作规程，并对调度对象、目标、权限等进行结构化处理；
- d) 其他辅助知识，如内涝风险等级划分标准、水力模型参数、历史运行数据分析、专家调度经验、预警阈值设置规则等。

11.5.2 应对调度方案的执行效果进行评价，并根据评价结果动态更新方案。随着数据底板的完善，宜每年开展关键参数率定修正，并同步更新方案库。

11.6 运维管理知识库

11.6.1 运维管理知识库内容应包括:

- a) 运行规程与手册，涵盖巡检检测、设备操作、清淤清掏、养护维修等；
- b) 诊断与预警规则，包括冒溢、淤积、入流入渗、污染溯源等诊断规则，以及流量、水质、恶臭气体等预测预警规则；
- c) 管理流程与标准，如故障诊断流程、工单管理流程、绩效考核标准等；
- d) 其他支撑信息，如备品备件清单、供应商信息、历史故障及维修记录等。

11.6.2 应将相关法律法规、规范规程、技术标准等内容进行结构化数字化处理，以规范管网运维管理流程。

11.6.3 运维管理知识库应结合实际情况进行定期更新。

11.7 管网资产管理知识库

11.7.1 管网资产管理知识库应包含设备与管网本身的健康管理知识。

11.7.2 知识库内容应包括:

- a) 设备健康管理，如设备运行状态监测、故障预测与识别、老化预警指标、健康评估方法、检修方案等；
- b) 管网健康管理，如结构性退化预测、缺陷预测预警、塌陷预测预警、病害图谱等；
- c) 相关技术规范与案例，如检测评估技术规范、非开挖修复技术案例等。

11.7.3 随着管网设备健康数据的不断更新完善，宜每年对管网资产管理知识库进行更新迭代。

11.8 知识库等级要求

应根据所处的孪生等级建立相应知识库，不同等级在知识粒度、更新频率及应用场景上要求不同，具体见表 X。

表6 知识库等级要求

等级	知识库类别	具体要求
L1（动态监控）	管网资产管理知识库、	管网资产管理知识库：建立资产台账级框架知识，包括管

	工程建设知识库、运维管理知识库、工程管理知识库	径、材质、埋深等核心字段。 工程建设知识库：收录竣工验收资料框架索引。 运维管理知识库：建立常规运维作业指导框架。
L2（自动控制）	管网资产管理知识库、工程建设知识库、运维管理知识库、工程安全知识库	管网资产管理知识库：补充资产检测、维修、改造履历等静态信息。 工程建设知识库：建立施工图纸、变更、质检报告条款级全文库。 运维管理知识库：补充典型故障处置案例及工艺控制类相关知识。 工程安全知识库：建立重大危险源清单及管控措施。
L3（智能调控）	规划设计知识库、管网资产管理知识库、工程建设知识库、运维管理知识库、工程安全知识库、运行调度知识库	规划设计知识库：建立动态更新版本。 管网资产管理知识库：接入实时监测数据与资产状态联动更新。 工程建设知识库：实现施工缺陷与运行异常关联分析知识。 运维管理知识库：实现运维工单与实时监测联动知识。 工程安全知识库：建立风险实时评估与预警知识。 运行调度知识库：建立调度规则与经验库，应涵盖与其他部门协同调度案例。
L4（智慧预测）	规划设计知识库、管网资产管理知识库、工程建设知识库、运维管理知识库、工程安全知识库、运行调度知识库	规划设计知识库：建立动态更新版本。 管网资产管理知识库：实现资产剩余寿命预测知识条目。 工程建设知识库：支持施工质量对后期运维影响的量化评估条目。 运维管理知识库：支持运维策略优化知识条目。 工程安全知识库：支持事故后果模拟与应急资源匹配知识。 运行调度知识库：支持多情景调度方案比选知识，纳入经济效益和社会效益分析知识。
L5（虚实共生）	规划设计知识库、管网资产管理知识库、工程建设知识库、运维管理知识库、工程安全知识库、运行调度知识库	规划设计知识库：建立动态更新版本。 管网资产管理知识库：实现资产孪生体全生命周期知识自进化。 工程建设知识库：实现工程建设知识图谱化，支持自然语言问答式检索。 运维管理知识库：实现运维知识自适应更新与预测性维护知识生成。 工程安全知识库：实现安全知识图谱与孪生体联动，支持沉浸式演练。 运行调度知识库：实现调度知识自适应优化与策略自动生成，包含城市生态系统协同知识。

12 业务应用

12.1 基础支撑功能

基础支撑功能，应能对污水管网数字孪生各项业务提供流程、权限、展示等通用能力，宜包括配置管理、项目决策管理、数据列表管理、数据地图管理等功能。

12.1.1 配置管理

宜按照业务需要，对用户、流程等进行灵活配置，应包括以下功能：

- a) 用户管理，用于管理系统的用户信息以及权限分配，应支持对用户名、账号密码、组织机构、角色权限等信息进行管理，确保系统与孪生数据的安全性与操作的合规性。
- b) 任务流程管理，用于管理系统的各业务审批流程、任务消息，应可根据业务需求进行配置维护。

12.1.2 项目决策管理

依据不同阶段特点以项目多层级维度对孪生数据进行管理,应包括以下功能:

- a) 项目管理,对项目名称、任务范围、管理层级、相关责任单位等信息进行管理,应充分考虑各业务阶段项目管理特点。
- b) 项目统计分析,应支持以位置地图、数据信息表等统计方式展现项目整体情况,支持对项目数据质量、进度、考核、交付等管理指标进行分析。

12.1.3 数据列表管理

支持以列表的形式对孪生数据进行统一标准化管理,应包括以下功能:

- a) 数据导入,支持管网数据批量导入操作,应提供标准化的数据导入模板,宜包括数据批次名称、数据阶段、所属片区、关联项目、上传数据文件、上传电子图纸等信息。
- b) 数据导出,支持将批次数据、整体数据进行导出,应包括原上传文件、**CAD**、**GDB**等多种格式。
- c) 数据操作,支持对于数据批次进行相关操作,应包括下载、筛选、查看详情、删除、地图查看、发起质检、数据拼接、发起入库流程等功能。

12.1.4 数据地图管理

支持以**GIS**地图的形式对孪生数据进行查看分析,应包括以下功能:

- a) 数据选择,支持灵活选择系统数据进行地图查看,应包括单批次数据、整体普查数据、整体设计数据、整体竣工数据、成果数据等。
- b) 图层管理,支持多维度图层控制管理,应包括按分区、类别、等级、管点线类型等方式进行筛选、显示控制。
- c) 专题图管理,支持构建多种专题图,宜包括资产一张图、监测一张图、缺陷一张图、质检一张图、调度一张图等。

12.1.5 模型管理

模型管理应结合数据阶段与业务需求。在建设期,侧重于构建可视化模型,实现普查、检测、施工等数据的二三维一体化展示。在运维期,则应依据核心业务场景构建专项分析模型:针对污水提质增效,宜建立水质模型;面向城市内涝防汛,应建立水动力模型;为支撑监测调度,宜建立运行诊断与调度溯源模型。

12.2 建设期管理应用

建设期管理应用功能,将建设期关键业务数据进行数据孪生管理,应涵盖前期规划、存量管网普查、新建改造方案设计、建设施工、监理管控等建设期业务阶段,宜包括普查数据管理、检测数据管理、施工数据管理、数据质量管理、成果统计分析管理等功能。

12.2.1 管网普查管理

针对管网探测普查业务特点,将相关数据进行采集、编辑从而生成孪生数据,对内业数据编辑与外业数据采集两大核心环节进行支持。

12.2.1.1 内业数据编辑,基于电脑端应用对内业数据编辑提供支持,应包括以下功能:

- a) 表格编辑:提供标准格式的表格,支持管点线、管网设施、专项调查等数据的表格式录入、编辑;
- b) 实际点线采集:支持基于地图的实际点线信息录入、编辑;
- c) 辅助点线采集:支持基于地图的厂址红线、井室轮廓线、示意线等辅助点线信息录入、编辑;
- d) 线上加点:基于地图,可在管线上直接添加管点,自动将线打断并更新拓扑关系、属性、编号;

- e) 模板式录入：提供管点、管线自定义模板，可按照配置后的模板进行快速录入；
- f) 属性编辑：构建符合现场工作习惯且满足标准要求的对象属性编辑功能；
- g) 混接点调查：支持混接点专项调查相关信息的录入、编辑；
- h) 排水口调查：支持排水口专项调查相关信息的录入、编辑；
- i) 水质水量调查：支持水质水量专项调查相关信息的录入、编辑；
- j) 测量库：对全站仪、光学测量仪器等设备采集数据，提供模板式批量上传功能，支持坐标、自然路面标高等信息一键替换。

12.2.1.2 外业数据采集，基于 APP 移动应用对外业数据采集提供支持，应包括以下功能：

- a) 实际点线采集：在外业环境中，通过 GPS 定位、拍照记录等方式，采集管网的实际点线数据；
- b) 虚拟点线采集：支持以虚拟点线的形式，对未确认的过程数据进行录入编辑；
- c) 虚实转换：当虚拟点线数据确认后，支持一键转换为实际点线；
- d) 测量收点：在外业现场完成测量工作后，可将管点线定义为已收点，可根据测量收点状态进行筛选、查看、定位；
- e) RTK 直连：支持与 RTK 设备的数据接口连接，实现高精度定位数据的实时采集与传输；
- f) 辅助功能宜包含辅助点线采集、线上加点、模板式录入、快速选取、属性编辑、混接点调查、排水口调查、水质水量调查等。

12.2.2 管网检测管理

针对管网缺陷检测业务特点，将相关数据进行挂载、判读从而生成孪生数据，对检测、挂载、判读、统计分析等环节进行支持，应包括以下功能：

- a) 缺陷检测与修复检测：支持管网缺陷修复前后两个环节，支持基于管点线部件标识码的修复前后对比展示。
- b) 检测数据挂载：将检测信息、视频等数据与管网唯一编码进行关联，支持模板式批量挂载。
- c) 缺陷视频人工判读：构建符合现场工作习惯且满足标准要求的，基于缺陷视频的人工判读功能。
- d) AI 智能判读：宜基于图像识别、机器学习等 AI 技术，构建缺陷视频智能分析判读功能，提高判读效率。
- e) 检测一张图：基于地图直观展示缺陷信息，应包括位置、名称、等级等。
- f) 检测详情：支持通过详情页、数据表等方式，对缺陷信息详情进行查看。
- g) 检测分析：支持对于管段、工单等多维度的评估分析。
- h) 检测统计：对检测结果进行统计汇总，支持统计报告导出。

12.2.3 管网施工管理

针对管网改造、新建、修复等施工业务特点，将相关数据进行记录从而生成孪生数据，对设计变更、施工过程记录、监理审批等环节进行支持，应包括以下功能：

- a) 管网匹配：宜通过二维码扫码等形式，将管网材料码与安装位置部件码进行关联，确保管网匹配准确。
- b) 施工数据采集：支持新建、改造修复、历史遗留的施工管网属性录入、编辑。
- c) 白图施工：支持在没有详细设计图的特殊情况下的施工过程记录。
- d) 设计变更：支持设计变更发起、审批等流程记录。

- e) 施工日志填报：记录施工日志，应包括施工进度、问题、监理意见等。
- f) 施工过程记录：详细记录施工过程中的各项活动，应包括时间、人员、材料使用等。
- g) 工作联系单记录：与施工涉及的第三方沟通、对接时，支持工作联系单记录、附件上传。

12.2.4 数据质量管理

数据质量管理应包含内业质检与外业复核通过自动化的质检算法和流程，对污水管网系统中的数据进行检查和验证，确保数据的准确性和完整性，全面提升数据质量。

12.2.4.1 内业质检应符合以下要求：

- a) 内业质检功能应包含：异常值规则设置、全局规则设置、质检流程发起、质检报告导出、质检历史管理、质检一张图查看、质检详情查看等；
- b) 采用图数据库技术进行质检时，质检算法应包含：管点地面高程质检、管点底高程质检、管点属性突变质检、管道属性突变质检、大管接小管质检、管道埋设坡度质检、孤立节点质检、管点出或入流落差过大质检、重复探测质检、上下游截面积质检、孤立管道（单）、孤立管网（群）环状节点质检等；
- c) 采用关系型数据库技术进行质检时，质检算法应包含：重合节点、孤立节点、重合管线、孤立管线、管线逆坡、大管接小管、管线相交、雨污混接、无下游管线、环状管线等。

12.2.4.2 外业复核应符合以下要求：

- a) 支持探测质量检查、测量质量检查、对图质量检查等形式，功能应包含外业复核一张图、外业复核详情和外业复核报告等；
- b) 基于国家、行业、企业等相关标准，结合当地管网权属单位管理要求进行外业复核。

12.2.5 各阶段数据孪生成果应支持 Excel、gdb、cad、报告等格式，宜包含地下管线探测、综合管线数据成图、管道缺陷检测、混接专项调查、排水口专项调查等成果类型，实现数据的多形式展示和存档管理。

12.2.6 统计查询管理

通过多样化的查询方式，实现对污水管网系统各类孪生数据的全面统计与查询，提升数据管理的便捷性和效率，应包括以下功能：

- a) 综合查询：提供多维度的管网数据查询功能，支持用户根据不同的需求进行综合数据检索；
- b) 分类查询：允许用户根据管网类型进行分类检索；
- c) 条件查询：提供自定义查询条件，以便用户根据特定参数筛选数据；
- d) 按道路查询：实现按道路名称或编号查询相关管网信息的功能；
- e) 资产统计：统计管网资产信息，包括数量、位置、状态等；
- f) 缺陷统计：统计管网中的缺陷情况，包括缺陷类型、数量、位置等；
- g) 空间统计：利用 GIS 技术进行空间数据的统计分析，支持全局、按片区、自定义范围等方式；
- h) 时段统计：按时间范围统计管网数据，分析管网随时间的变化趋势；
- i) 租户统计：统计不同租户、项目中管网数据的上传、提交、入库情况；
- j) 全局查询：实现全网范围内的快速查询功能，支持模糊搜索和精确匹配；
- k) 自定义统计查询导出：允许用户根据需要自定义统计查询，并支持查询结果的导出功能。

12.2.7 管网分析

通过专业的分析模型和方法，对污水管网系统内孪生数据的各维度进行深入分析，为用户全面了解数据情况提供支持，应包括以下功能：

- a) 横剖面分析：通过横剖面图展示管网结构，分析管道的横截面特征；
- b) 纵剖面分析：利用纵剖面图分析管道的纵向特征，如坡度、深度等；
- c) 连通性分析：评估管网的连通性，确保水流路径的正确性；
- d) 上下游分析：分析管网中各节点的上下游关系，为管网优化提供依据；
- e) 区域拓扑分析：进行管网区域的拓扑结构分析，识别关键节点和路径；
- f) 年限分析：根据管网建设年限进行分析，评估管网的老化程度；
- g) 最短路径分析（无权重）：根据管长属性，分析计算管网中两点间的最短路径；
- h) 最短路径分析（带权重）：结合管径、管长等属性及其权重比例，分析计算最短路径；
- i) 最近设施分析：分析并找出距离特定点最近的某类管网设施；
- j) 混接分析：识别并分析管网中的混接情况；
- k) 溯源分析功能：追踪污水源头，分析污染传播路径；
- l) 交叉点碰撞分析：分析管网交叉点的碰撞风险，确保管网安全；
- m) 排水口倒灌分析：评估排水口倒灌风险，为防洪措施提供参考；
- n) 排水管道运行情况统计及展示：对排水管道的水量、水质等运行状况进行统计分析与可视化展示。

12.3 运维期管理应用

运维期管理应用功能，应充分考虑污水管网系统健康运行和考核管控需求，将数据孪生成果与运维业务相结合，支持业务数字化转型，宜包括管网更新管理、生产管理、安全管理、物资管理、设备管理、绩效考核管理、智能调度管理等功能。

12.3.1 运维数据管理

针对管网运维业务特点，对相关孪生数据的运维摸排、数据更新与审核、运维台账、数据关联等环节进行支持，应包括以下功能：

- a) 运维摸排工单：建立运维摸排工作流程与标准，对过程进行记录，应包括范围、时间、执行人等。
- b) 运维数据更新与审核：建立统一的运维数据更新机制预审核流程，对更新情况、审核反馈进行记录。
- c) 运维信息台账：建立符合运维业务的运维信息台账，在建设期字段的基础上对运维唯一标识、运维分区、所属运维项目等信息进行维护，应包括管线基础信息台账、井类基础信息台账、箅子基础信息台账、排水口基础信息台账、排水泵站基础信息台账、调蓄池基础信息台账、其他管点基础信息台账、易涝点基础信息台账等。
- d) 运维数据关联：基于运维唯一标识，将管点线的运维记录与基础信息进行关联，应包括巡检记录、养护记录、维修记录、缺陷历史等。

12.3.2 生产管理

利用数字孪生成果，对管网运维生产过程中的基础业务进行支持，应包括以下功能：

- a) 运行监测：对生产运行状态进行实时监控与数据分析，通过采集平台类型管理，确保数据采集的规范性与统一性应包括监测首页、数据分析、监测点管理及监测指标管理等功能；
- b) 视频监控中心：对生产现场视频监控进行支持，应包括分组管理、监控管理及电视墙等功能；
- c) 报警管理：建立标准化报警等级与响应流程，应包括报警设置、报警记录及视频报警等功能；
- d) 值班管理：规范值班管理流程，应包括排班管理、交接班日志及值班数据分析等功能；

- e) 化验室填报：将化验派单与数据进行记录，应包括采样管理、化验管理、模板管理及外部取样管理等功能；
- f) 水质水量检测：根据国家、行业标准，对水质与水量检测、记录、分析提供支持；
- g) 排水户管理：对排水户信息进行全面记录，应包括排水户信息、纳管点信息、排水许可等，支持多维度排水户统计分析；
- h) 缺陷中心：建立缺陷标准，对运维过程中的问题缺陷管理进行支持，应包括问题上报、转工单、缺陷消除等功能；
- i) 工单中心：构建符合现场业务的工单管理体系，宜包括转运联单管理、工单管理、工单统计、异常工单管理、计划管理、路线管理、虚拟点位管理、工作内容管理、表单关联、普通工作票、操作票管理、工作联系票管理、安全作业票管理及工作票人员管理等功能；
- j) 安全管理：建立全面的安全管理体系，支持安全相关活动标准化管理与全过程记录，应包括安全资质管理、危险源隐患管理、安全检查、应急演练、安全费用管理、安全制度管理、职业健康管理、安全事故事件等。

12.3.3 物资管理

- 利用数字孪生成果，对实物资产管理进行支持，应包括以下功能：
- a) 基础信息管理：对储备基地、物资仓库、项目、供应商单位等基础信息的维护管理进行支持；
 - b) 物资编码管理：建立实物资产标准体系，对物资进行唯一编码，应包括台账查询、分类统计、简易工器具管理、工装设备管理、备品备件管理等功能；
 - c) 物资需求管理：对物资需求计划和采购计划进行支持，确保运营所需物资的及时供应。通过需求管理，优化库存水平，减少浪费；
 - d) 到货验收管理：制定物资收发货统一标准流程，对到货、发货、验收的上报、审核进行全过程记录；
 - e) 仓储管理：构建生产药剂、物资的仓储标准化管控流程，对存量物资初始化、退库、领料、发料、退料、物资转移、物资调拨、物资报废和物资盘点等环节进行支持。

12.3.4 设备管理

- 利用数字孪生成果，对逻辑设备管理进行支持，应包括以下功能：
- a) 设备台账管理：建立逻辑设备标准体系，对设备进行唯一标准码，支持设备台账信息的全面记录，应包括设备名称、型号、规格、生产厂家、安装位置等。
 - b) 设备设施规程管理：针对管网系统中的各类设备设施，根据业务需要，制定与设备编码相对应的维护保养规程与标准，应支持手动编辑、模板下载、批量导入等功能。
 - c) 基础信息配置：支持用户根据业务需要对设备基础信息进行配置管理，应包括规程类型配置、管网设施属性字段配置、设备通用信息配置、设备属性字段管理、设施设备编码管理、位置编码管理等。
 - d) 设备评估分析：建立设备设施运行状态评估分析标准体系，通过收集设备工况数据、监测数据、维护记录等信息，运用数据分析技术，对设备性能、健康状况进行评估预测。

12.3.5 绩效考核

- 利用数字孪生成果，基于运维项目的政府、单位、部门、员工考核要求，对运维周期内的生产管理工作进行全面、客观的评估，应包括以下功能：

- a) 考核指标管理：根据考核要求设定具体、可量化的多层级考核指标及其评分要求与标准，应支持手

动录入、模板下载、批量导入等功能。

b) 模板管理：对各层级、各类型考核模板进行维护管理，应包括考评对象、时间类型、自评类型、考评类型、分数等级、关联考核指标等信息。

c) 考核报告：按照考核模板定期生成对应的考核报告，相关人员、部门可根据要求进行自评、考评，支持分数自动计算、附件上传、统计分析等功能。

12.3.6 智能调度管理

应根据项目实际情况，基于本文中提到的孪生数据与各类模型，构建符合业务需要的智能调度模型。应将模型与业务应用相结合，根据模型预测、分析结果指导运维生产。

12.4 业务应用等级要求

表7 业务应用等级要求

等级	业务应用要求
L1（动态监控）	应建立： 基础支撑功能：配置管理、数据列表管理、数据地图管理、动态监控模型 建设期管理应用：管网普查管理、管网检测管理、管网施工管理 运维期管理应用：运维数据管理、生产管理、物资管理、设备管理
L2（自动控制）	在上一级的基础上，应建立： 基础支撑功能：自动控制模型 建设期管理应用：数据质量管理、成果编制管理、统计查询管理 运维期管理应用：绩效考核
L3（智能调控）	在上一级的基础上，应建立： 基础支撑功能：项目决策管理、智能调控模型 建设期管理应用：管网分析 运维期管理应用：智能调度管理
L4（智慧预测）	包含全部业务应用，且实现厂、网、河联动，并建立智慧预测模型
L5（虚实共生）	包含全部业务应用，且实现自主智能管理，并建立虚实共生模型

13 评估与验收

13.1 一般规定

13.1.1 污水管网数字孪生建设完成后，应依据本导则及相关标准规范开展系统化评估与验收，确保其功能、性能及安全要求符合设计目标。

13.1.2 评估与验收工作应贯穿项目建设全生命周期，包括以下阶段：

- a) 设计阶段：对系统架构、技术路线、数据标准进行预评估，确保与业务需求及标准规范一致；
- b) 实施阶段：分节点开展阶段性验收（如数据底板构建完成、模型库部署完成等），验收内容应覆盖数据完整性、模型准确性、设备部署合规性；
- c) 试运行阶段：系统试运行不少于3个月，期间需连续记录运行日志、故障处理记录及用户反馈，作为最终验收依据；
- d) 最终验收：基于试运行数据及功能验证结果，组织专家评审并形成验收结论。

13.1.3 评估与验收应基于数据底板、模型库、知识库及业务应用的完整性、准确性、实用性，结合孪生等级要求进行分级评价，并形成可追溯的文档记录。

13.2 评估

13.2.1 安全与保障评估

13.2.1.1 网络安全等级：通过等保三级测评，漏洞修复率100%；高危漏洞修复周期≤24小时，中危漏洞≤72小时。

13.2.1.2 数据加密：敏感数据采用SM4国密算法加密，密钥实行“双人分段保管+动态轮换”，更新周期≤90天，并建立密钥使用审计台账。

3 运维保障：核心系统故障恢复时间≤1小时（含数据回滚验证），普通故障≤4小时，关键系统可用性≥99.9%。

4 数据备份与恢复：支持每日增量备份和每周全量备份，且数据恢复时间应≤4小时。

13.2.2 评估方法

13.2.2.1 定性评估

- a) 组建专家评审组（含行业专家、用户代表、第三方机构），按《数字孪生系统评估指南》打分；
- b) 开展场景压力测试（如暴雨模拟、设备故障模拟），验证系统鲁棒性。L3级需模拟暴雨（50年一遇）下的模型仿真能力、L5级需模拟管网局部坍塌后的虚实协同处置能力；
- c) 收集用户反馈，重点评估功能易用性、报警准确率、决策支持效果。

13.2.2.2 分级评估

- a) 对照表1（数字孪生等级特征），逐项核查功能实现情况；
- b) L3级及以上系统需通过AI算法自学习能力测试（如模型参数自适应优化）。

13.2.2.3 定量评估

- a) 通过自动化测试工具（如JMeter、LoadRunner）验证系统性能；
- b) 采用数据校验算法（如CRC、哈希值比对）检查数据一致性；
- c) 模型精度通过历史数据回测及现场实测对比验证。

13.2.3 评估流程

13.2.3.1 计划制定

评估范围应明确以下核心要素：

- a) 应包含系统功能、性能指标、数据完整性、网络安全及防汛应急响应能力等；
- b) 规划时间节点应包含自检、第三方检测、专家评审三阶段，总周期不超过45天，并明确建设单位、监理单位、第三方检测机构及行业主管部门的职责分工；
- c) 量化评估指标应包含功能覆盖率≥95%、数据准确率≥99%、系统响应时间≤3秒等；

13.2.3.2 系统自检

建设单位根据《评估方案》中的评估范围和指标，对系统进行全面自检，包括功能测试、性能测试、数据核对等，记录自检结果并整理原始数据，形成《自检报告》。

13.2.3.3 第三方检测

委托具备CMA/CNAS资质的第三方检测机构，依据《评估方案》中的评估指标，按照《城镇污水管网流入渗监测与评估标准》开展专项检测，重点检测系统功能、性能、安全性、数据准确性等，并出具《检测报告》。

13.2.3.4 专家评审

评审会专家组应包含给排水工程、信息技术、标准化等领域专家，其中高级职称占比 $\geq 60\%$ ，结合《自检报告》《检测报告》及系统现场演示，对系统进行全面质询与评分，重点评估系统是否符合设计要求、是否满足业务需求、是否存在潜在风险等。

13.2.3.5 问题整改与闭环管理

建设单位应在10个工作日内完成算法逻辑错误、核心功能缺失等重大缺陷整改，一般缺陷整改周期不应超过20个工作日。整改过程需留存可追溯记录（含代码修改日志、测试用例、复测数据），并编制附整改前后对比数据的《缺陷整改报告》。

13.2.3.6 评估过程备案

评估全过程文件应按《建设工程文件归档规范》电子化存储，保存期限不少于10年，并按要求向相关部门备案。整改记录需包含“问题描述 - 原因分析 - 整改措施 - 验证结果 - 责任人”，形成完整闭环台账。

13.3 验收

13.3.1 总体合规性验收要求：对照项目合同条款，验证功能模块、性能指标、交付物完整性与合同一致性。

13.2.2 验收流程

- a) 申请提交：建设单位完成试运行及整改后，向验收组织单位提交验收申请及相关文件；
- b) 文件审核：验收组核查文件完整性、规范性，确认是否满足验收条件；
- c) 现场核查：实地检查设备运行状态、系统功能演示、数据交互有效性，抽样验证数据准确性与模型精度；
- d) 综合评审：验收组结合文件审核与现场核查结果，形成验收意见，明确是否通过验收；
- e) 后续要求：通过验收的项目，建设单位提交完整归档资料；未通过的，限期整改后重新申请验收。

13.3.3 在专项验收过程中，应提交下列文件和资料：

- a) 平台建设报告；
- b) 平台源文件；
- c) 临时数据采集工作需提供采集数据包及其质量分析报告；
- d) 相关图件与数据集；
- e) 平台运行测试报告。

13.3.4 数据应包含污水管网结构、降雨数据、流量与水位变化过程、地面高程数据、实测数据、验证与判定结果、以及平台的运行输出等。

13.3.5 归档数据应以平台软件支持的标准格式进行提交，并附加清晰的说明文档。

13.3.6 归档的图件和数据集应根据项目具体要求进行整理和归档，可能包括但不限于：项目区域背景图、现有污水管网图、管网规划图、数字孪生平台的管网拓扑配置图以及计算与分析结果的专题图等。

