

DB61

陕西省地方标准

DB 61/T XXXX—XXXX

水电及抽水蓄能工程数字孪生  
建设技术规范

Technical Specifications for Digital Twin Construction of Water Conservancy  
and Hydropower and Pumped Storage Projects  
(征求意见稿)

2024 - XX - XX 发布

2024 - XX - XX 实施

陕西省市场监督管理局 发布

# 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 建设原则 .....	1
4.1 同步性原则 .....	1
4.2 一致性原则 .....	1
4.3 安全性原则 .....	1
4.4 可持续原则 .....	1
5 数字孪生架构 .....	2
5.1 基础架构 .....	2
5.2 功能实现 .....	2
6 数字孪生数据 .....	3
6.1 数据资源构建 .....	3
6.2 勘察设计数据 .....	3
6.3 施工建造数据 .....	3
6.4 运行维护数据 .....	4
6.5 数据资源管理 .....	4
7 数字孪生平台 .....	4
7.1 平台定位 .....	4
7.2 支撑功能 .....	5
7.3 性能保障 .....	5
7.4 安全服务 .....	5
7.5 共享服务 .....	5
8 数字孪生服务 .....	5
8.1 勘察设计服务 .....	5
8.2 施工建造服务 .....	5
8.2.1 重点建造服务 .....	6
8.2.2 建造进度服务 .....	6
8.2.3 建造质量服务 .....	6
8.2.4 建造安全服务 .....	6
8.3 运行维护服务 .....	6
8.3.1 调度管理 .....	6
8.3.2 机电管理 .....	6
8.3.3 安全作业 .....	7
8.3.4 水工管理 .....	7
8.3.5 检修维护 .....	7

8.3.6 仿真培训 .....	7
8.3.7 智能巡检 .....	7
8.3.8 智慧管理 .....	7

# 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。

本文件由陕西省水利厅提出并归口。

本文件起草单位：中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司

本文件主要起草人：

本文件由中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司负责解释。

本文件首次发布。

联系信息如下：

单位：中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司

电话：029-89810100

地址：西安市长安区城南大道18号

邮编：710100

# 水电及抽水蓄能工程数字孪生建设技术规范

## 1 范围

本文件提供了水电及抽水蓄能工程数字孪生建设的原则、数字孪生架构、数字孪生数据、数字孪生平台、数字孪生服务。

本文件适用于指导勘察设计单位、施工建造单位、运行维护单位关于水电及抽水蓄能工程全生命周期的数字孪生建设，其他类似数字孪生水电工程建设可参照执行。

## 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 22239-2019 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求

NB/T 11010-2022 水电工程信息模型分类与编码规程

NB/T 10508-2021 水电工程信息模型设计交付规范

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**数字孪生数据 Digital twin data**

是数字孪生系统中连接物理实体与数字实体、支撑实时同步、预测分析和闭环控制的核心信息载体，在规划、勘察、设计、施工、运行不同阶段数字孪生工程所涉及的数据。

### 3.2

**数字孪生平台 Digital twin platform**

具备数字孪生数据归集整合、融合治理、共享交换、服务监控能力的平台。

## 4 建设原则

### 4.1 同步性原则

4.1.1 数字孪生工程与水电及抽水蓄能实体工程之间应双向实时同步动态数据，同步的频率和精度应满足实际应用需求。

### 4.2 一致性原则

4.2.1 数字孪生工程与水电及抽水蓄能实体工程应保持几何特征、物理属性、相关约束以及逻辑规则的一致性。

### 4.3 安全性原则

4.3.1 数字孪生工程的安全性，应依据《信息安全技术—网络安全等级保护基本要求》(GB/T 22239)，构建完善的安全组织管理体系、安全技术体系、安全运维体系和监督检查体系，加强数据安全和数字孪生服务安全保护，全面保障数字孪生工程数据安全、系统安全和网络安全。

### 4.4 可持续原则

4.4.1 可持续包括可验证性、可追溯性和可扩展性三个方面：

- a) 可验证性：数字孪生工程应能够对数字孪生模型与数据的正确性进行验证。
- b) 可追溯性：数字孪生工程应保存工程勘察设计、施工建造、运行维护各阶段的历史记录和实时数据，当系统出现预警或故障信息时，应能追本溯源，实现水电及抽水蓄能工程全生命周期的数字孪生同步仿真应用。
- c) 可扩展性：数字孪生工程应随着工程建设的不同阶段，具备逐步拓展、优化迭代、支撑服务的功能。

5 数字孪生架构

5.1 基础架构

数字孪生架构宜由实体工程、物联感知、通信网络、数字孪生数据、数字孪生平台、数字孪生服务和安全保障体系 6 层 7 部分组成。

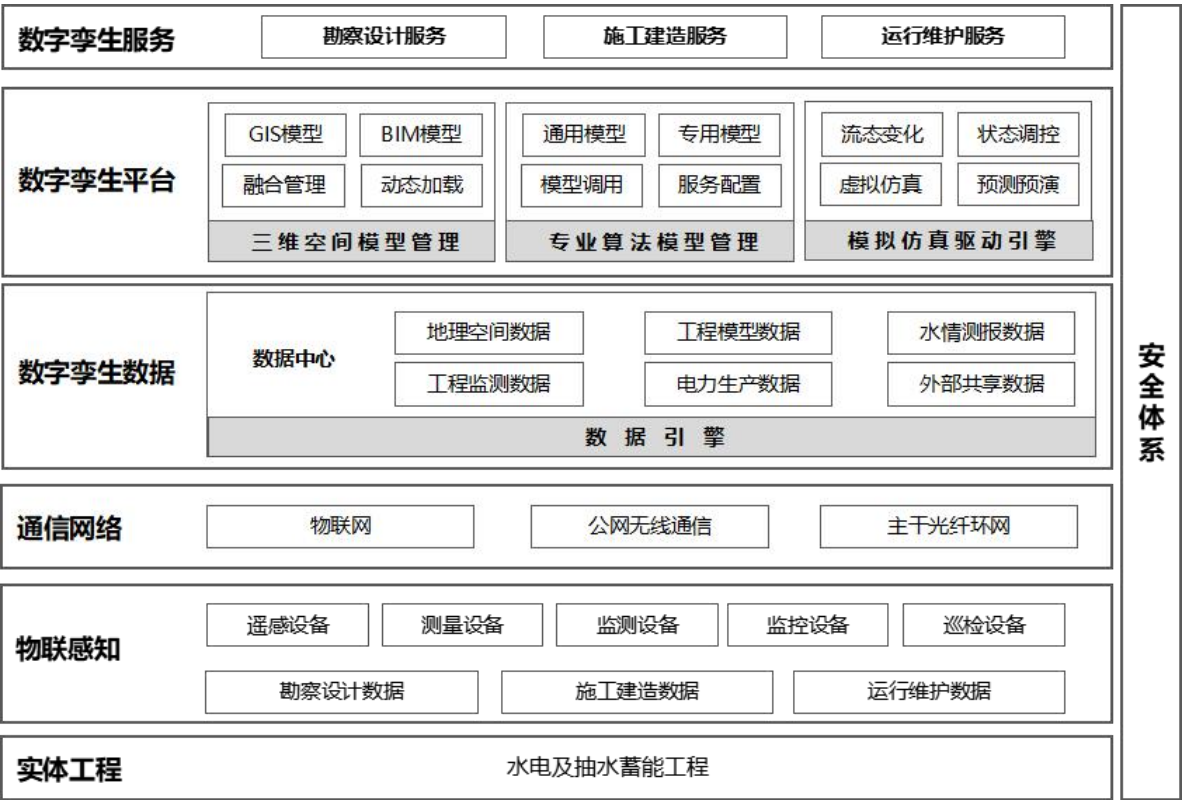


图 1 数字孪生架构图

5.2 功能实现

- a) 实体工程层：水电及抽水蓄能实体工程；
- b) 物联感知层：依据水电及抽水蓄能工程勘察设计、施工建造、运行维护需求，基于天空地水工一体化感知监测体系，实现主体工程、机电设备、工程环境数据的全面采集与存储服务；
- c) 通信网络层：基于通信专网、运营商专线、公网有线/无线通信，支撑数据传输与智能控制，实现数据的上下贯通与业务协同处理；
- d) 数字孪生工程层：以专业模型、仿真模型、知识驱动引擎为核心，通过构建数字孪生工程三维动态可视化应用场景，融合实时动态监测数据，实现实体工程与数字孪生工程同步仿真运行的功能，为强化工程建设与管理提供强力支撑；
- e) 数字孪生服务层：基于数字孪生工程层提供的数字化精准映射、智能化仿真推演、精准化智能应用功能，支撑工程全生命周期智慧化监控管理服务；
- f) 安全体系：包括网络安全、数据安全、组织管理、安全技术、安全运维及监督检查等。

## 6 数字孪生数据

### 6.1 数据资源构建

6.1.1 数据资源由勘察设计数据、施工建造数据、运行维护数据组成，应涵盖工程建设、管理、运行维护各阶段的数字化模型、设计文件、技术文档、实时监测和动态监控数据，应根据工程项目所处不同阶段及其数字孪生应用的具体特点动态更新，并随着工程进展有效传递和数据共享。

### 6.2 勘察设计数据

6.2.1 勘察设计数据宜包括：地理空间三维模型、工程建筑物三维模型、机电设备三维模型及其属性数据，以及勘察设计文件、设计计算分析报告数据。

#### 6.2.2 三维模型数据：

a) 空间数据应采用 2000 国家大地坐标系 (CGCS2000)，高程基准应采用 1985 国家高程基准，时间系统应采用公历纪元和北京时间；

b) 空间三维模型可采用卫星遥感、无人机倾斜摄影、激光雷达扫描建模等融合技术，构建数字高程模型 (DEM)、正射影像图 (DOM)、数字表面模型 (DSM)、倾斜摄影模型、水下地形等地理空间三维模型；

c) 工程建筑模型宜按照《水电工程信息模型分类与编码规程》(NB/T 11010-2022)，构建水工建(构)筑物、机电设备 BIM 模型；

d) 工程勘察设计信息模型交付，宜按照设计阶段，结合工程实际应用需要，渐进式交付工程勘察设计信息模型；交付的模型应满足《水电工程信息模型设计交付规范》(NB/T 10508-2021) 交付标准和不同阶段的设计深度、模型精度要求；有条件或应用要求较高的工程，可适当提高设计深度、模型精度；

e) 工程建筑模型交付文件宜采用通用 ifc (Industry Foundation Classes) 等模型格式；

f) 工程建筑模型应在主体工程重要部位发生较大变化或在工程除险加固时，及时更新模型。

#### 6.2.3 工程属性数据：

a) 工程属性数据应基于明确的标识符、属性名称、分类代码，与模型中的具体元素或构件实现一对一或一对多的精准关联，确保属性数据的可追溯性和可验证性；

b) 工程属性数据宜采用通用 ifc 模型数据格式。

#### 6.2.4 设计文件数据：

a) 设计图纸宜采用 dwg、pdf 等图纸格式呈现，并为工程 BIM 建模提供数据资源；

b) 设计报告宜按照《水电工程信息模型设计交付规范》(NB/T 10508-2021)，建立合理的设计文件编码规则和专门的电子文件体系，以确保设计文件数据的有效管理和 BIM 建模的高效利用。

#### 6.2.5 设计计算分析报告：

a) 设计计算分析报告宜采用 doc、docx、pdf 等文档格式，并为基于工程 BIM 建模的优化设计提供数据；

b) 设计计算分析报告宜按照《水电工程信息模型分类与编码规程》(NB/T 11010-2022)，建立合理的设计文件编码规则和专门的电子文件体系，确保设计计算数据的有效管理和有高效利用。

### 6.3 施工建造数据

6.3.1 施工建造数据应包括：施工工程建筑模型、地理空间数据、施工进度数据、施工质量数据、施工安全数据，以及工程施工设施设备运行监测数据、施工管理文档数据。

#### 6.3.2 施工建造数据：

a) 施工工程建筑模型宜结合工程建造实际应用需要，深化工程建造施工模型，模型应满足《水电工程信息模型设计交付规范》(NB/T 10508-2021) 对施工阶段模型深度、模型精度的要求；

b) 地理空间数据应包含建设期工程枢纽区及周边地貌、山体、河道的倾斜摄影数据；

c) 施工进度数据宜包含总施工总进度计划、年度施工进度计划、月施工计划等相关施工进度计划数据；

d) 施工质量数据宜包含原材料出厂合格证书及进场检验报告、施工实验报告及见证检测报告、施工质量验收记录、隐蔽工程验收记录、施工质量整改记录、施工记录等相关施工质量数据；

e) 施工安全数据宜包含安全生产管理资料、安全技术交底资料、安全检查记录、临时用电安全资料、机械设备安全资料、安全隐患排查资料、安全隐患整改资料等数据；

f) 工程施工设施设备运行监测数据宜包含视频监控数据、人员定位数据、车辆定位数据、施工环境监测数据、施工安全监测数据、大坝机主要建筑物安全监测数据、水文水情监测数据等；

g) 施工管理文档数据宜包含施工组织设计、施工方案、专项施工方案、图纸会审交底记录、施工变更记录、技术交底记录、施工测量资料、过程验收资料、工程验收资料等。

## 6.4 运行维护数据

6.4.1 运行维护数据应包括工程运行建筑模型、机电设备运行监测数据、工程安全监测数据、电力生产监测数据，以及外部共享数据等。

6.4.2 工程运行建筑模型宜包括：工程运行涉及范围地表模型、工程建筑外部模型、工程建筑内部及设施设备模型、单台水轮发电机组高精度模型等。

6.4.3 机电设备运行监测数据宜包括：键相、振动和摆度、轴向位移、压力脉动、定子铁心振动、发电机空气间隙、发电机磁通密度、局部放电、设备温度，以及设备运行的各类开关量、模拟量等动态监测数据。

6.4.4 工程安全监测数据宜包括：降雨量、气温、水温、水位、变形、渗流、应力、应变、地震等动态监测数据。

6.4.5 电力生产监测数据宜包括：安全数据、生产数据、运行数据、水能数据 4 类动态监测数据。

a) 安全数据宜包括人员安全、设备故障、设备事故数据；

b) 生产数据宜包括等效可用系数、机组非计划停运次数、机组检修后连续可调天数、自动开机成功率、继电保护及安全自动装置投入率、继电保护及安全自动装置正确动作率、AGC 投入率、综合厂用电量等数据；

c) 运行数据宜包括计划发电量、实际发电量、机组利用小时、发电计划完成率、发电收益等数据；

d) 水能数据宜包括非汛期发电耗水率、水能利用率、水量利用率、综合利用系数、水情自动测报系统畅通率、洪水预报准确率等数据。

6.4.6 外部共享数据宜包括：上级部门下达的调度指令、外部相关突发事件、生态环境监测、气象监测、卫星遥感、航运、过鱼系统等相关部 门及其他机构的共享数据。

## 6.5 数据资源管理

6.5.1 数据资源管理包括数据资源建库、数据汇聚整合、数据融合治理、数据共享交换、数据服务监控功能的实现。

6.5.2 数据资源建库包括归集库、标准库、主题库构建，应按照“标准统一、一数一源、一源多用、数用分离”的原则进行建设和存储、管理数据资源。

a) 归集库：宜结合数据资源分布、数据存储方式进行建设；

b) 标准库：包括基础数据库、监测数据库、业务数据库、共享数据库、空间数据库、多媒体数据库、文本文件数据库等，应结合水利水电专业国家、行业数据库标准规范建设；

c) 主题库：应结合勘察设计专题优化、智能建造专题管控、工程调度运行管理、工程安全管理决策等业务应用主题进行建设。

6.5.3 数据汇聚整合：宜结合数据资源分布，选择合适的通信模式、通信协议和数据汇聚整合方式，实现原始数据向归集库的汇聚整合功能。

6.5.4 数据融合治理：宜选择合适的数据治理工具、治理策略，实现归集库数据的抽取、清洗与治理，并实现“一数一源”标准库的建库功能。

6.5.5 数据共享交换：包括共享外部数据、对外共享数据的交换功能建设，共享外部的数据存入归集库，对外共享数据以数据资源目录方式存入主题库，实现共享交换功能。

6.5.6 数据服务监控：宜包括数据服务流程、服务接口调用、访问权限控制、运行状态后台日志管理等功能。

## 7 数字孪生平台

### 7.1 平台定位

7.1.1 数字孪生赋能平台，应具备三维空间可视化模型、专业算法模型、智能识别模型、模拟仿真驱动引擎注册发布、关联配置、赋能应用、服务监控的静态管理、动态监管功能，能够为工程勘察研究、优化设计、智能建造、安全运行、决策支持提供全生命周期的服务支撑。



## 7.2 支撑功能

7.2.1 三维空间模型管理：应具备多维多时空尺度地理信息 GIS 模型、工程建筑模型 BIM 模型的融合管理、动态加载、形成不同业务应用三维可视化场景的功能，且具备三维空间模型属性数据、监测数据同步加载与可视化呈现的数据接口。

7.2.2 专业算法模型管理：包括专业算法模型库、智能识别模型库构建，通用模型、专用模型注册发布、服务配置、服务接口的静态管理，模型调用、运行性能、算力支撑、异常告警等动态管理功能的实现。

7.2.3 模拟仿真驱动引擎：包括水流流态变化、工程状态调控、机电设备运行在不同环境条件下的虚拟仿真驱动功能，应具备基于专业算法模型、智能识别模型驱动，实现业务应用三维动态可视化功能的支撑能力。

## 7.3 性能保障

7.3.1 应具备高并发处理能力和可扩展性，确保实时性、准确性、可靠性和互操作性。

- a) 具备高并发数据流处理；
- b) 具备实时性，保证数据采集和处理的低延迟，支持实时监控和报警功能；
- c) 具备准确性，保证数据采集和处理的高准确度，支持数据校验和错误处理机制；
- d) 具备可扩展性，支持水平扩展和垂直扩展，以适应不同规模的需求；
- e) 具备模块化设计，便于功能的添加和升级；
- f) 具备互操作性，支持与其他系统的数据交换和集成；
- g) 具备可靠性，提供高可用性和容错机制，支持系统监控和故障恢复。

## 7.4 安全服务

7.4.1 应具备数据安全、网络安全、访问控制、审计追踪和应急响应的要求。

- a) 应满足数据安全要求，实现数据的加密存储和传输，提供数据备份和恢复机制；
- b) 应满足网络安全要求，提供网络安全防护措施，如防火墙和入侵检测系统，定期进行网络安全评估和漏洞扫描；
- c) 应具备访问控制，实现用户身份验证和权限控制，提供访问控制列表和角色管理；
- d) 应具备审计追踪功能，记录用户操作和系统事件，提供审计日志和追踪分析工具；
- e) 应具备应急响应功能，制定应急响应计划和流程，提供应急响应团队和技术支持。

## 7.5 共享服务

7.5.1 宜具备标准化的数据格式和接口，确保数据的互操作性；宜提供开放的 API 接口，支持不同系统之间的数据共享。

# 8 数字孪生服务

## 8.1 勘察设计服务

8.1.1 设计方案比选应直观表达展示工程三维设计方案、自然地理、国土规划空间信息，基于三维设计模型，对工程设计方案的物理力学特性、工程量进行快速分析、计算，综合考虑技术可行性、经济性、社会影响以及生态效益等多方面因素，选择确定最适应项目需求的设计方案。

8.1.2 模拟仿真验证应基于数学模型，对工程项目物理空间、结构特征、材料属性和外部环境条件等关键因素进行高精度的数字化重构，在数字孪生工程中对设计方案进行全方位、多角度的模拟与测试，有效预测和评估工程项目的性能表现、结构强度、稳定性和以及耐久性，在前期设计阶段及时发现并解决潜在的设计缺陷和安全隐患，有效降低实际施工中的风险和成本。同时在仿真模拟过程中，不断迭代修改，以优化数学模型和模拟结果。

8.1.3 设计服务优化应在原有设计的基础上，利用三维设计技术和软件平台，通过对物理力学性能、流体动力学、热传导等多个复杂物理场的分析，在数字孪生工程中从初步概念设计到施工详图设计中智能识别瓶颈问题，科学分析诸如结构应力集中、能耗过高、施工难度过大等影响工程质量的问题，根据分析结果对工程结构布局、材料选择、构件尺寸等方面进行调整，优化工程局部设计或整体设计方案，在保证设计安全性的同时，实现资源的最优配置和成本的有效控制。

## 8.2 施工建造服务

### 8.2.1 重点建造服务

a) 智慧工地：应基于视频监控、车辆道闸、人员定位、车辆定位等现场实时监控数据的采集，在孪生模型中直观显示功能，以便现场对人员、车辆进行有序管理，提高管理水平；

b) 智能碾压：宜通过诸如碾压遍数、碾压质量、碾压厚度等实时监控对象的监测数据分析，反馈至孪生模型，直观显示大坝碾压缺陷；

c) 智能洞室：宜对洞室形变监测、应力监测、应变监测、渗透监测、环境监测等数据进行实时分析，反馈至孪生模型，直观显示洞室各类监测数据；

d) 智能土石方平衡：宜通过岩层形态（覆盖层、强风化、弱风化、微风化）、洞挖数据、明挖数据、开挖状态、填筑状态等土石方数据的实时监测与分析，反馈至孪生模型，直观展示土石方动态平衡的过程；

e) 智能预警决策：宜通过对安全预警、进度预警、质量预警、洞室安全预警、环境预警等各类建造现场预警信息的采集与分析，并直观显示在孪生模型中。实现基于孪生模型快速定位各类预警信息位置，辅助现场对预警信息的快速响应，制定相应管理对策，保证建造进度、提高建造质量、避免安全事故发生。

### 8.2.2 建造进度服务

a) 进度规划与管理：应利用数字孪生技术，实现工程建造进度的详细规划和动态模拟，预测项目完成时间；实现实时跟踪建造进度、与计划进行对比、及时调整计划的目的；

b) 进度动态管控：宜通过孪生模型分析资源需求，优化人力、材料和设备的配置，动态调整资源分配，以适应建造进度变化。

### 8.2.3 建造质量服务

a) 建造质量验评：应通过数字孪生模型并结合建造现场质量验评数据，实现工程建造质量的分析并反馈至孪生模型；

b) 质量缺陷分析：宜通过现场质量缺陷问题、质量整改通知单、质量缺陷统计表等内容的采集，反馈至孪生模型进行分析，直观在孪生模型中展示各部位质量缺陷及整改情况。

### 8.2.4 建造安全服务

a) 安全风险分析：应通过数字孪生模型，分析建造过程中的安全风险，并直观在孪生模型中进行展示，辅助现场制定针对性的安全防范措施和应急预案；

b) 安全教育与培训：宜通过数字孪生模型模拟各类建造安全事故场景，辅助现场进行安全教育与培训，提高建造人员的安全意识。

## 8.3 运行维护服务

### 8.3.1 调度管理

a) 宜基于水文监测数据、气象预报、水库运行参数、流域地理信息等多源数据构建高精度数字孪生调度模型；流域协同调度场景下，宜兼容异构平台数据接口，确保与上下游水利单元的信息互联；

b) 宜满足水文过程模拟、洪水演进预测及多目标优化调度功能；

c) 宜构建风险预警模块，对超警戒水位、库容失衡等异常状态提供分级告警；

d) 宜基于数字孪生构建实时发电计划修正，应对电网频率波动快速生成水电出力调整方案；对于梯级电站运行调度，宜通过数字孪生模型设置梯级水电站机组启停优化策略，根据电网负荷需求与水库来水预测，自动生成组合运行方案。

### 8.3.2 机电管理

a) 宜基于设备全生命周期管理理念，构建水电及抽水蓄能工程设备全生命周期管理体系，利用生产数据及管理业务信息，汇聚状态监测数据、试验数据、设备台帐、设备检维修记录、设备运行/缺陷/故障记录，为设备状态评价分析、预测性维护和状态检修提供支撑；

b) 宜通过高精度建模和模拟仿真技术，实时监测和预测机电设备的潜在故障，实现系统运行状态的实时跟踪评估、预测系统运行状态，发现潜在故障和预警，并提供智能化处置措施和优化建议；

c) 宜构建水电及抽水蓄能工程设备状态评价和状态检修决策支持智能应用，实现设备健康状态的量化评价、风险等级的自动计算和状态检修的决策建议。

### 8.3.3 安全作业

- a) 宜利用物联网定位技术、视觉识别技术、人员行为分析与数字孪生场景融合，支持在三维可视化场景下监控人员的精确位置、识别人员的作业行为，实现作业全方位监控；
- b) 宜基于作业风险辨识库，构建高风险作业管控模块，支持风险扫描、风险辨识、风险评级、风险控制及风险动态预警功能；
- c) 宜利用 RFID、高精度定位、APP 移动应用技术及知识库，构建两票智能联动体系，具备自动开票、操作过程跟踪、工器具联动、工业电视联动功能，实现过程可控的两票闭环管理；
- d) 宜基于水电及抽水蓄能工程职业病危害预防管理需求，宜利用数字孪生技术、物联网技术、图像分析技术和人工智能技术，建设集环境数据采集、分析、联动、报警、“一张图”管理等功能，提升运行环境调节精细化管理水平以及职业病危害因素的预警防控能力；
- e) 宜基于工业电视、人员定位、电子围栏、五防、门禁、消防、公共广播等安防系统，利用大数据、数字孪生、知识图谱及视觉识别技术，构建安防联动规则库与可视化大场景联动系统，实现对工程安全相关因素的全面监视；
- f) 宜集成水情、气象、安全监测、视频监控等系统，构建应急预案和处置措施模型，利用数字孪生与混合现实技术实现全景应急处置可视化、应急演练仿真化，联动应急指挥与自动化系统的业务数据，有效应对工程运行中的各类灾害或事故。

### 8.3.4 水工管理

- a) 宜构建实时监测模块，整合水库大坝的基础信息、水文气象状况、预报调度流程、安全监测数据、视频监控内容及闸门控制等关键监测数据指标及运行体系，将实时监测数据与三维模型相关联；
- b) 宜建立水工评估模型，包括气象预报模型、水情测报模型、洪水演进模型、防洪调度模型、大坝安全预报预警模型、大坝健康评估模型等；
- c) 宜建立预报预演模块，支持三维可视化数字场景构建，通过 GIS 数据、BIM 数据、业务数据的多源异构数据融合，实现实体工程的数字孪生映射。通过数据和算法，实现孪生预演预报，为防洪调度提供决策支持。

### 8.3.5 检修维护

- a) 应基于设备三维模型和检修知识库，联动完整的设备档案履历，结合状态检修决策支持系统给出检修建议，实现修前策划、修中管理、修后评价的全过程智能化管控；具备与仓储物资管理系统、两票系统的联动功能；具备修前、修后数据的自动分析、生成报告功能；检修作业宜关联智能巡检机器人，实现全自动化监督检查；
- b) 应获取设备状态在线监测与诊断数据，基于数字孪生、仿真模拟技术，对受监设备的运行情况进行趋势分析，构建多物理场仿真模型，对主设备关键部位的应力应变进行预测。

### 8.3.6 仿真培训

- a) 宜搭建水电及抽水蓄能工程基础设施运维培训平台，实现基础设施培训内容可视化，并通过持续更新优化满足运维人员在线培训需求；
- b) 宜采用 AR（增强现实）/VR（虚拟现实）技术，构建虚拟人物与虚拟场境模拟交互，在三维场景中完成设备巡检、运行操作、故障处理、应急演练等培训内容。

### 8.3.7 智能巡检

- a) 宜采用轮式机器人、四足式机器人、挂轨式机器人、无人机及无人船等智能化巡检设备代替人工巡检危险性较高、环境较复杂、重复工作量较大的区域；
- b) 宜与三维可视化模型、生产运行数据互联互通，支持在三维场景中完成巡检任务下发、实时画面推流、设备运行数据查询、巡检机器人信息管理以及故障事件一键巡检等功能；
- c) 对于需要人工巡检的区域场景，宜配置单兵装备，并支持联动工业电视系统，实现对巡检和应急过程的可视化跟踪。

### 8.3.8 智慧管理

- a) 宜基于资产全生命周期管理理念，构建统一设备编码的仓储物资管理体系，建设仓储资产物联网系统，实现生产物资的库房管理、运输调拨以及闲置报废等业务链条信息的信息化和智能化管理；

b) 宜构建模-图-档联动体系，并支持三维模型、图纸文档与计算机监控系统、设备故障分析诊断、机组状态检修等业务系统建立联动策略，实现资料自动推送、报告自动生成；

c) 宜构建班前班后会、技术交底、交接班、安全日活动、政治学习、教育培训、工器具借用管理、任务管理、人员管理、班组考评、反违章管理、隐患排查、班组文化展示等信息化管理模块，实现班组业务流程在线化、班组作业办公移动化。