

变电站数字孪生体构建流程与通用技术规范

Construction process and general technical specification for digital
twin in substation

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

目 次

前言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 缩略语.....	2
5 变电站数字孪生体概要.....	2
6 构建流程.....	3
7 仿真建模.....	3
8 状态映射.....	3
9 自运行.....	4
10 反向调控.....	5
11 系统安全.....	5
12 升级更新.....	6

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。

本文件由中国南方电网有限责任公司超高压输电公司提出。

本文件由中国电工技术学会归口。

本文件起草单位：中国南方电网有限责任公司超高压输电公司、中国南方电网能源发展研究院有限责任公司、中国南方电网有限责任公司超高压输电公司广州局、国网黑龙江省电力有限公司电力科学研究院、三峡大学电气与新能源学院、俊郎电气有限公司、南方电网数字电网科技（广东）有限公司、中国南方电网有限责任公司超高压输电公司南宁监控中心。

本文件主要起草人：黄振林、李洁珊、刘羽超、王磊、王爽、苏杭、雷伟刚、文星、朱金惟、王宁、赵刘琦、冯子焰、张宇恒、杨建新、李靖翔、赖皓、曾嘉伟、邱天乙、申晓杰、廖华、罗剑、李中原。

变电站数字孪生体构建流程与通用技术规范

1 范围

本文件规定了变电站数字孪生体的构建流程、仿真建模、状态映射、自运行、反向调控及系统安全等内容。

本文件适用于110 kV及以上电压等级的交流变电站和换流站。110 kV以下电压等级的交流变电站可参照执行。

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 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求
- GB/Z 25320（所有部分） 电力系统管理及其信息交换 数据和通信安全
- GB/T 30149 电网通用模型描述规范
- GB/T 33770.2 信息技术服务 外包 第2部分：数据保护要求
- GB/T 33601 电网设备通用模型数据命名规范
- GB/T 36341（所有部分） 信息技术 形状建模信息表示
- DL/T 698.61 电能信息采集与管理系统 第6-1部分：软件要求—终端软件升级技术要求
- DL/Z 981 电力系统控制及其通信数据和通信安全
- DL/T 2424 智能电网术语
- SJ/T 11445.2 信息技术服务 外包 第2部分：数据（信息）保护规范

3 术语和定义

GB/T 30149、GB/T 36341（所有部分）、DL/T 2424界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

数字孪生 digital twin

充分利用物理模型、传感器更新、运行历史等数据，集成多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程，在虚拟空间中完成映射（3.3），从而反映相对应的实体装备的全生命周期过程。

3.2

变电站数字孪生体 substation digital twin

通过4G/5G、大数据、AI、物联网、云计算、3D仿真建模、数据库、移动应用等技术实现，存在于虚拟数字世界中，是由物理变电站实体映射而成的真实、客观、完整的变电站镜像，包括变电站实体模型（电力系统模型、能量场模型）中流转、传递的数据及信息。

3.3

映射 mapping

物理变电站实体与虚拟变电站模型之间的外观特性、技术信息、运行状态一致等对应关系。

3.4

镜像 mirror image

存在于虚拟电网中，与物理电网实体具备完全相同的构造与流程的数字模型副本。

3.5

孪生体自运行 twin self-operation

变电站数字孪生体基于历史数据及实时数据，运用内部算法逻辑得出分析结果，为孪生体反向调控行为提供基础，并实现自适应更新的过程。

4 缩略语

以下缩略语适用于本文件。

AI: 人工智能 (Artificial Intelligence)

GIS: 地理信息系统 (Geographic Information System)

3D: 三维 (three dimension)

4G/5G: 第四/五代移动通信技术 (4/5th generation mobile communication technology)

5 变电站数字孪生体概要

5.1 概述

从功能及业务实施角度，包括变电站物理实体、变电站数字孪生体、大数据中心、云计算中心，见图1。

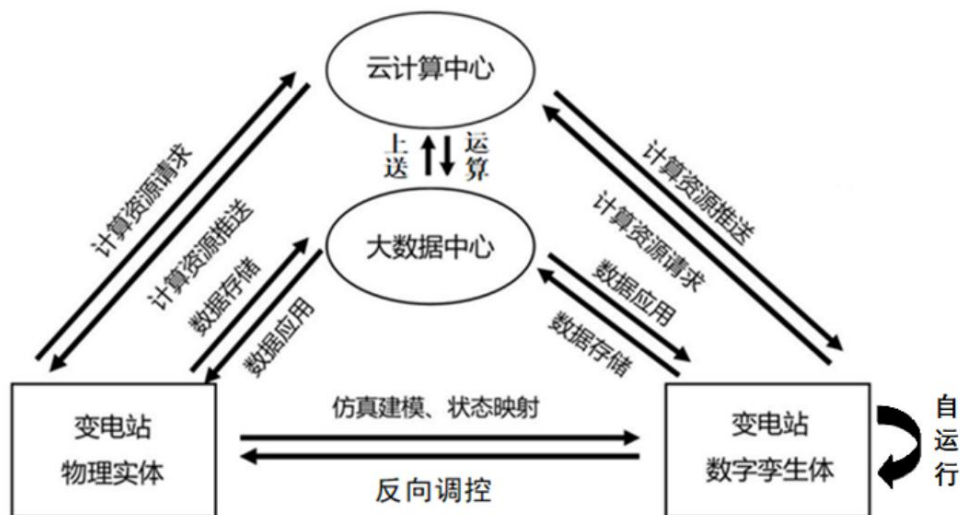


图1 变电站数字孪生体概要图

5.2 技术特性

变电站数字孪生体应具备以下技术特性：

- 将变电站内电气设备、建筑物及其配件与各类系统（电气设备控制系统、台账系统、管理系统）进行整合，所形成的统一展示平台能查看变电站电气设备的实时信息；

- b) 实现变电站电气设备和电网的状态感知、实时分析、智能预测、精准执行等功能，实现运维人员与电气设备和电网的智能交互；
- c) 覆盖变电站规划、工程建设、生产运行与运维管控流程各阶段。

5.3 功能应用

应包括但不限于以下功能：

- a) 变电站可视化管理；
- b) 变电站运行指标可视化展示；
- c) 变电站负荷空间分析；
- d) 变电站能量场仿真计算；
- e) 变电站设备故障分析。

6 构建流程

6.1 仿真建模

根据变电站物理实体在虚拟数字世界中仿真建模，包括对变电站内电气一次设备、电力设备控制和保护装置等二次设备、站内建筑物及其附件等通用设备物理实体进行三维几何建模，文件设备命名应符合GB/T 33601规定的调度命名要求，构建虚拟数字孪生变电站，形成变电站数字孪生体模型框架。

6.2 状态映射

6.2.1 在虚拟数字孪生变电站中，可实现对变电站实际运行状态、环境监测数据、仿真应用模型及监盘、倒闸操作、工作票实施、现场作业安全管控、事故处理、电气设备状态评价等业务流程的全息映射，形成在变电站运行过程中的实时数据和信息交互链路。

6.2.2 变电站物理实体应通过仿真建模和电气设备实时运行状态映射，获得变电站数字孪生体。

6.2.3 变电站物理实体及其数字孪生体向云计算中心发出计算资源请求，云计算中心应向变电站物理实体及其数字孪生体推送计算资源，用于识别变电站内电气设备有无缺陷、作业人员行为是否符合安全规范等；进一步将数据存储至大数据中心，大数据中心可提供数据应用服务。

6.2.4 通过大数据中心对数据的存储、推送，云计算中心对计算资源推送、数据分析，变电站物理实体及其数字孪生体可进行更新迭代、相互作用。

6.3 反向调控

6.3.1 变电站数字孪生体获取变电站实时数据后，根据计算、分析的结果应反向调控变电站物理实体，指导变电站的具体工作，推动异常设备现场检查、缺陷跟踪、作业人员现场管控等实际流程流转，对变电站业务和事务产生影响。

6.3.2 具体调控措施应包括但不限于模拟、监控、诊断、预测及控制等。

6.4 自运行

根据电气设备运行数据变化及设备运维、人员管控等策略更新，变电站数字孪生体应实现自我同步运行；同时应实时挖掘数据价值，可生成对变电站实际业务开展具有应用价值的判断结论、操作指引，实现辅助决策。

7 仿真建模

7.1 完整性

7.1.1 变电站数字孪生体仿真建模应具备完整性，对物理实体变电站内各类电气设备应构建统一物联网，采集相关物理参数，获得物理实体变电站大数据，对分相设备和主要部件进行建模，具体应包含：

- a) 主体建筑：变电站主控楼、辅控楼、阀厅、GIS 气室、继保室、综合水泵房等；
- b) 主体建筑配套设施：人员通道、爬梯、站内地下管线（排水管、消防管、电缆沟）等；
- c) 电气设备：变压器、开关、刀闸、地刀、阀塔、直流穿墙套管、母线、电压互感器、电流互感器、电容器、电抗器、电阻器、GIS 气室、控制保护内的二次屏柜（装置、压板、端子排等）、阀冷设备等；
- d) 电气设备相关部件：机构箱、电气指示标识、观察窗、相关表计、机械连杆、抱箍、铭牌、螺栓、软连接导线等。

7.1.2 应采用基于间隔的建模方法，可将设备或功能根据其关联关系组织到一系列间隔中。

7.2 一致性

按变电站物理实体实际场景开展，站内主体建筑、电气设备的布局、外观、部件、尺寸应与相应施工设计图纸、厂家资料一致。

7.3 可扩展性

应具备可扩展性，包括但不限于：

- a) 变电站设备运维开发数据应支持高可用部署，具备节点横向扩展能力；
- b) 变电站扩建、改造的模型应支持增加扩展数据。

8 状态映射

8.1 完整性

应具备完整性，包含变电站运行监测、检修试验、安全管理及气象环境等流程及信息和不同流程中人员角色信息的映射。

8.2 一致性

同7.2。

8.3 实时性

应具备实时性，数据、状态信息、流程信息与变电站内各项工作流程当前时间节点的信息对应一致。

9 自运行

9.1 鲁棒性

应具备鲁棒性，在一定结构、大小的参数摄动下，保持变电站正常运行，可维持状态映射中的完整性、一致性、实时性等关键性能。

9.2 保密性

采取信息加密、身份认证、访问控制、安全通信协议等保密技术进行安全认证，变电站人员、设备、业务等相关信息不应泄漏给非授权用户。

9.3 可用性

9.3.1 变电站数字孪生体数据资源可被授权实体按要求访问、正常使用。

9.3.2 在以下灾害中可恢复使用，应包括：

- a) 服务器、数据库遭受如火灾、水灾、地震、战争等不可抗拒的自然灾害；
- b) 计算机犯罪、计算机病毒、掉电、网络/通信失败、硬件/软件错误和人为操作错误等人为灾难情况。

10 反向调控

10.1 可感知性

应具备可感知性，包括视觉感知、听觉感知或其他可能引起授权实体反映的感知方式。

10.2 交互性

应具备人机交互特性，在人工干预情况下变电站物理实体应通过反向调控措施展开实际行动。

10.3 正确性

应以正确的顺序、表述方式传递给授权实体。

11 系统安全

11.1 数据安全

11.1.1 基础管理

按GB/Z 25320（所有部分）、DL/Z 981等进行数据采集、数据存储、数据使用、数据传输、数据加工、数据公开及数据退运等过程安全管理。

11.1.2 数据保护

11.1.2.1 按GB/T 33770.2、SJ/T 11445.2的相关规定，采用数据分类、备份、加密等措施加强对个人信息和重要数据保护。

11.1.2.2 在组织建设、制度流程、技术工具及基础保障层面，应构建数据保护的多重体系。

11.1.3 存储加密

11.1.3.1 应提供数据库加密平台，对数据库存储的内容实施有效保护。

11.1.3.2 应通过硬盘安全加密以及数据恢复机制，有效减轻数据因硬盘损坏或操作错误造成的丢失。

11.1.3.3 在物理存储介质退运时，应通过物理损毁、消磁等方式实现物理存储介质的有效销毁，并对销毁后的物理存储介质进行登记。

11.1.4 数据认责

应建立数据认责机制，定义数据应用过程中各参与方的具体角色及责任，依据不同角色权限形成数据处理多级保护，处理全流程的记录追溯。

11.2 网络安全

11.2.1 应遵循 GB/T 22239 的规定，采取入侵检测与防御、防信息泄露、异常流量监测、账号管理和安全审计等措施。

11.2.2 归属不同安全区域的接入设备不应直接通信，确实有通信需求的，应采取等同于区域间隔离强度的技术措施。

11.2.3 传输时支持信息完整性校验机制，实现重要数据的传输完整性保护，如校验码，消息摘要等。

11.2.4 应具有通信延时和中断的处理机制。

11.3 双机容错

应具有多级备份功能，采用双机热备份措施，实现备份、恢复功能。

11.4 终端安全

11.4.1 应采用防病毒、反间谍软件、防火墙、入侵防御和设备控制的终端安全技术与安全访问控制技术。

11.4.2 终端接入应进行安全认证。

11.4.3 应能对终端进行身份鉴别失败处理。

11.4.4 在采用插卡方式进行身份鉴别时，应采取防止卡片被拔除或替换。

11.4.5 限制终端鉴别失败次数，当超过设定值后终止终端接入，并在一定的安全时间间隔后才能恢复。

11.4.6 对于具有操作系统的感知终端，操作系统应有唯一标识，系统用户的口令应由字母、数字及特殊字符组成，且长度不小于 8 位。

11.5 安全运营管控

应建立完善的安全保障体系，包括：

- a) 安全运维：包括安全措施的使用、驻场运维或定期对数字孪生管理后台与终端设备的使用情况进行分析，并结合平台管理要求，持续进行管控措施策略和配置的优化，并定期输出安全运维报告和策略优化建议等；
- b) 应急预案与演练：制定安全事件应急预案，按照安全事件的危害程度、影响范围等对安全事件建立分级，定期进行应急预案演练；
- c) 监测预警：围绕安全目标，建立安全监测预警和安全事件通报制度，收集分析安全信息，对安全风险及时上报，包括按需发布安全监测预警信息等；
- d) 应急处置：在发生安全事件时，采取应急处置措施，向主管部门上报重大安全事件，定期对应急预案和处置流程优化完善；
- e) 灾难恢复：在安全事件发生后，根据安全事件的影响和优先级，采取合适的恢复措施。

12 升级更新

12.1 宜开展变电站数字孪生体及其模型版本管理与定期追踪、更新。

12.2 应支持流程版本、对接应用程序版本升级管理。

12.3 当数据对象更改时，与之相关联的模型、图样、设计文件应统一更改，进行版本升级。

12.4 每次升级更新应在所有设备上完整测试，终端软件升级应符合 DL/T 698.61 的相关规定。

12.5 应支持通过本地和云端对固件、系统、智能算法和应用进行更新升级，应支持对更新升级进行合法性和完整性的校验。

参 考 文 献

- [1] T/CES 190—2023 变电站数字孪生系统架构及数据采集技术导则
-