

数字孪生技术在坚强智能电网中的应用探讨

王志鹏¹, 兰峰¹, 赵勇², 邱轩宇¹, 赵志鹏¹, 匙阳阳¹, 朱元吉¹

(1. 国网山东省电力公司经济技术研究院, 山东 济南 250021; 2. 国网山东省电力公司, 山东 济南 250001)

摘要: 介绍了数字孪生技术的概念、核心技术及其在坚强智能电网的应用方向, 以输变电工程为对象, 基于数字孪生技术的核心技术, 对数字孪生技术在输变电工程设计、施工和运维等阶段的应用方向进行了研究, 并对数字孪生技术的应用前景进行了展望。

关键词: 数字孪生技术; 坚强智能电网; 输变电工程; 全生命周期

Discussing the application of digital twin technology in a strong smart grid.

WANG Zhipeng¹, LAN Feng¹, ZHAO Yong², QIU Xuanyu¹, ZHAO Zhipeng¹, CHI Yangyang¹, ZHU Yuanji¹

(1. Economic & Technology Research Institute State Grid Shandong Electric Power Company, Jinan 250021, China;

2. State Grid Shandong Electric Power Company, Jinan 250001, China)

Abstract: This paper introduces the concept, the core contents and the application direction of digital twin technology in a strong smart grid. Based on the core technology of digital twin technology, this paper studies the application direction of digital twin technology in the stages of transmission and transformation engineering design, construction, operation etc. The application prospect of digital twin technology is also forecasted in this paper.

Key words: digital twin technology; strong smart grid; transmission and transformation engineering; full life cycle

0 引言

随着坚强智能电网建设全面推进, 电网建设规模逐年增加, 项目投资随之增大, 工程建设及管理工作日趋复杂, 而输变电工程作为坚强智能电网的核心, 实现电网大建设背景下输变电工程精准化、精细化、信息化和智能化的设计、施工及运维管控, 对于促进坚强智能电网建设持续健康发展有着极其重要的作用。同时, 随着电力市场三维设计及交付标准的出台以及泛在电力物联网等概念的提出, 变化的外部需求必将要求建立一个全新的输变电工程设计、施工和运行等各阶段使用的信息模型, 将各阶段的数据资料收集整理且包含在信息模型

中, 让工程全生命周期中各阶段的工作人员在使用该模型时都能获得精确完整的数据。随着数字化和三维技术在中国电力勘测设计行业深化应用, 电网信息模型(GIM)逐渐成为新一代的输变电工程数据模型, 该模型是一种以数据库为基础, 研究通用的模型接口技术和统一的编码技术, 可集成输变电工程全生命周期数据的信息模型。

数字化设计技术是一种全新的设计手段, 是以现有设计技术为基础, 应用数字化技术、三维技术等对现有设计方式进行升级。而数字孪生技术是数字化设计、建造和运维技术的集成应用技术, 是 BIM 技术在输变电工程领域的深化应用, 也是三维建模、数字化协同设计、4D 建造模拟技

术、数字化成果移交技术与实景建模技术的集成应用，还是以电网信息模型作为信息载体，以基于输变电工程全寿命周期的数据信息为信息查询、应用及展示的基础，进而实现工程的三维虚拟展示和信息一体化应用。

1 数字孪生技术简介

数字孪生技术就是通过物理资产的数字孪生模型助力企业作出更明智的决策，从而提升数据的应用水平。具体到电力行业，是通过创建互联数字孪生模型的电力生态系统，增加创造更大价值的机会，可充分利用电力数据造福公众，这也是电力泛在物联网的核心理念。数字孪生技术包括三大要素，即数字表达、持续更新和分析洞察。数字表达指的是对真实资产、流程及系统的数字表达，只有数字表达的资产才是有价值的；持续更新的含义是基于多数据源的实时同步；而分析洞察的含义是可预估性及性能优化。

输变电工程的数字孪生技术应用方向也是围绕着三大要素来展开的，数字表达重点关注在数字化设计(三维设计)；持续更新重点关注在基建和运维阶段对设计模型的数据补充和持续更新；分析洞察是基于变电站的数字孪生模型，基于上层的应用工具对模型进行分析，输出常用的分析报表，辅助业主进行分析和决策。

2 数字孪生技术在坚强智能电网的应用方向探讨

输变电工程数据作为坚强智能电网的重要数据，具有其独特的特点。输电工程数字化的重点是地形数据的获取；变电工程数字化的重点是三维模型和数据的创建方法及数据共享方式。针对于输变电工程的数字化应用，国家电网公司出台了一系列的设计标准，包括《输变电工程三维设计模型交互规范》《输变电工程三维设计建模规范 第1部分：变电站(换流站)》

《输变电工程三维设计技术导则 第1部分：变电站(换流站)》《输变电工程三维设计软件基本功能规范》《输变电工程三维设计成果移交技术导则 第1部分：变电站(换流站)》。这些标准的出台，为输变电工程数据的创建方法及数据交互提供了依据。而数字孪生技术和软件工具的发展和提升，也为输变电工程应用数字孪生技术奠定了坚实的基础。数字孪生技术应用以数据为核心，输变电工程数据是以设计为龙头产生并在施工和运维阶段不断补充和更新。所以说精准的数据是数字孪生技术在输变电项目中应用的核心和基础。下文中重点对输变电工程数据的产生和持续更新进行详细阐述。

2.1 数字孪生技术在设计阶段的应用

2.1.1 实景建模

基于倾斜摄影技术，通过无人机拍摄照片，在实景建模软件中基于照片快速生成输变电工程的三维模型。这种方式无须昂贵或专业化的设备，通过对现场照片的自动处理，使用实景建模软件即可帮助用户快速创建高准确度的三维工程实景模型，并使用这些模型在项目的整个生命周期内为设计、施工和运营决策提供精确真实的项目现场数据。实景建模技术还可与点云数据结合，以实现更高准确度的输变电工程设备/设施模型。实景建模技术可应用于已投运变电站及新建变电站项目，具有成本低、效率高的特点，变电站实景模型如图1所示。

2.1.2 参数化设备建模

在输变电工程数字化设计过程中，三维技术以其直观、简便和数据丰富的特点得到了广泛的应用，三维设计是一种设计手段，它使用的目的是为了帮我们更多、更好及更高效地完成设计；是一种强大的设计方式和表达手段。在真实的三维空间中去表达设计，去推敲设计，去交流设计，以三维(二维)的方式去交付设计成果。三维设计的核心就是设备/设施模型，而参数化设备/设施建模技术也是输变电工程数字化表达的一种通用、简便的方法。参数化建模技术就是通过关键参数的

调整而快速地得到所需的三维信息模型,是目前普遍采用的高效的建模方式。变电设备三维信息模型如图2所示。

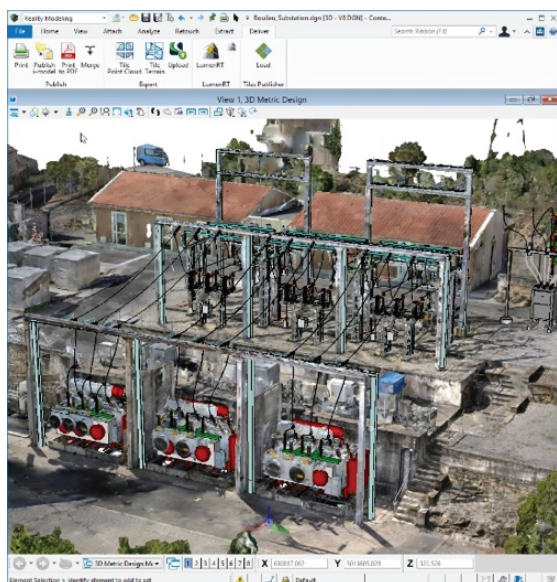


图1 变电站实景模型

Fig. 1 A real-life model of a substation

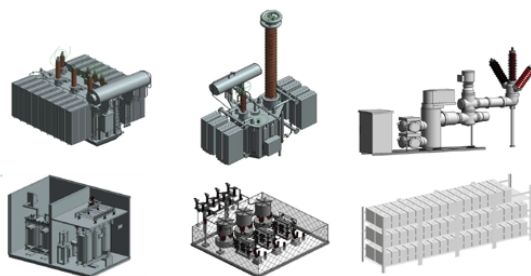


图2 变电设备三维信息模型

Fig. 2 3D information model of the transform equipment

2.1.3 设计校验与数据分析

有了输变电三维信息模型,也就是在计算机上有了一整套具有逻辑关联关系的数据模型,这个数据模型就是输变电工程设计阶段的数字孪生模型。基于该模型就可以实现自动化校验应用,包括安全距离校验、防雷保护范围校验和多专业协同设计冲突检测等,通过先进的校验手段,可大幅度地提高设计水平,优化设计。

2.2 数字孪生技术在施工阶段的应用

数字孪生技术使设计成果的充分利用变为

可能,因为设计成果是完全使用数字来表达的,而且是可以进行解析的。输变电工程的设计成果是三维设计模型,三维设计模型中包含逻辑关联、可视化的设计数据,基于该数据可以建立输变电工程的数字孪生模型,基于该模型提前对施工可能遇到的问题进行预演,提前发现并解决问题,优化施工工序和进度安排,使输变电工程得以按进度保质保量的完成,主要的价值点如下。

2.2.1 现场的高效率

数字孪生模型能够更加清晰、直观和准确地表现工程建成过程中及建成后的状态。能帮助工程技术人员和管理人员更快地了解工程细节,而不必花很多时间去读懂二维图,数字孪生打破了传统模式下的瓶颈,简化了施工方人员对于设计意图的理解和掌握的过程。

2.2.2 减少返工

数字孪生模型更明确地表明了各个专业之间的交接面和数据关系,因而大量减少了因专业配合不当而引起的碰撞和错位问题带来的返工。国外统计资料表明,不采用三维数字化设计的工程,返工率可占工程总人工时的12%,而采用三维数字化设计模式,返工工时可减少到2%。

2.2.3 提高配合效率

基于数字孪生模型,4D施工管理软件可为参与工程建设的多个单位(业主、监理、设计院、设备制造商和分包商)提供一个多方高效率合作的协作平台。基于该平台,各参与方可以高效、及时地获得项目施工的实时数据,进而对施工管理计划作出最合适的调整。

2.2.4 三维可视化施工进度管理

基于数字孪生模型,可将进度管理软件的工程建设进度计划(即时间数据)与三维模型关联,形成具有可视化施工管理能力的4D输变电工程管理平台,能根据施工管理的要求,在输变电工程模型上实时查看计划与工程实际进度,实现进度监控及可视化报表分析,进而控制和优化工程的施工进度。

2.3 数字孪生技术在运维阶段的应用

运检部门接收了输变电工程项目的同时，也同步接收了输变电工程数字孪生模型，因为数字孪生模型是使用数字表达的，并且在设计和施工阶段不断进行更新和维护数据模型，所以运检部门可以直接使用数字孪生模型来完成运维工作的安排，即可大幅度提升运检效率，又可节省大量重复性工作。

2.3.1 智能巡检

现阶段电网运检人员每天都面对着大量烦琐的工作，在进行巡视的同时还要进行资料对比、故障处理和现场勘察等工作，面对着大量要巡检的线路和变电站设备，很难按照导则的要求进行细致的巡检，从而导致隐患缺陷无法及时发现，造成更大的损失。

而基于数字孪生技术实现的智能巡检，正是为了解决这一问题而兴起的先进技术，基于输变电工程数字孪生模型，借助智能终端及现场勘察设备，快速获取现场的数据/照片/视频，经过软件处理构建现场的实景模型，与输变电数字孪生模型对比分析，可快速及时地发现安全隐患，从而有效地提升巡检工作的质量和效率。

(1) 设备/设施故障隐患的提前发现及故障范围确定

输变电数字孪生模型中由静态的设计/施工数据和动态的现场实时运行数据组成，包括设计参数、厂商数据、施工数据、实验数据、现场运行数据及所有的相关图样。依据输变电工程的运维特点，可以基于数字孪生模型设定智能监控策略，重点监控易发生故障的设备/设施，当设备/设施的监控参数发生异常或接近报警阈值时，系统就会报警并自动定位到故障区域，运维人员可以依据提示快速到指定区域进行验证，以及时地发现故障并及时排除，进而将损失降到最低。

(2) 项目现场的智能巡检

传统的巡检方式主要依靠人力来完成，不仅费时费力，而且效率低下，很难及时发现问题。随着实景建模技术(数字孪生体系的一种快速建

模技术)的普及，低成本、高准确度的现场模型获取变成可能，通过无人机快速获取现场的照片，将这些照片导入运维管理平台，就可以快速地生成现场的实景模型。通过现场实景模型与数字孪生模型进行对比，就可以快速发现问题和故障，这种方式可大幅度地提升巡检效率和质量，例如可通过模型对比发现变电站设备外部断裂、输电线路上有树木影响电气安全等问题。而近年来人工智能与实景建模技术相结合，更为运维故障的智能判定提供了新的方向。

运维平台同样支持专业的轻量化技术，进而推进移动终端的普及应用。巡检人员携带智能终端进行巡检，故障验证及排除时可从移动终端中快速地检索需要的数据及故障处理方案，进而提升故障处理能力，降低损失，避免因处置不当带来更大损失的弊端。

实景建模技术、人工智能技术及移动终端技术的结合，将会给智能巡检提供全新的应用模式。

2.3.2 可视化运维

近年来，在输变电工程数字孪生模型的基础上，通过对三维模型监测数据展示系统的研究，探索如何在运维阶段利用输变电工程数字孪生模型的方法。可视化运维是集成输变电工程三维设计模型和现场运行数据，展示并监控关键设备的运行状态、运行数据及数据发展趋势，在虚拟现实的环境中，集中展示变电站的空间位置信息、设备主要设计参数(静态功能位置信息)、相关设计资料、巡视维修记录、设备运行状态信息、关键设备动态运行数据及现场视频监控画面。这种方式可以提高变电站运行维护的管理水平和效率，更好地预防事故发生，制订优化的设备检修计划及事故应急预案。

(1) 现场运行数据的接入

通过运维平台与监控系统、现场视频监控系统的接口可将现场设备的实时运行参数接入到运维平台中，并可依据设备编码自动与设备模型进行集成。通过数据对接，可以构建运维阶段

的数字孪生模型。

(2) 可视化浏览及数据查询

以数字孪生模型为基础，在三维可视化的环境中实现动态监测设备运行状态，查看各类运行参数，同时还可集成现场的摄像头对项目现场的工作状态进行实时监测，做到变电站远程实景监控。

(3) 提升运维能力

数字孪生模型提供了三维模拟功能，运维人员可以在数字孪生模型中进行送停电、倒闸等操作联系，通过这种虚拟环境下的多次练习，使运维人员熟悉日常运维工作的操作顺序，较大幅度地提升运维人员能力。而基于现场设备的实时运行数据及运维规则，可以辅助运维人员对各种紧急情况作出判定，并可结合预设的应急预案，在最短时间内对事故和故障作出正确的处理，以减少灾害和损失。

2.3.3 数字资产管理

随着社会的发展和从业人员的流动，对于重资产的企业来说，怎么样对自己的资产知根知底尤其重要；而对于一线管理人员来说，如何实现“精准派单”则更为实用。降低理解门槛、提升管理效率是资产管理的两个核心要求。在数字化的基础上，通过可视化手段进行资产管理，能够较好地解决上述两个问题，为资产管理提质增效。

基于数字孪生模型，可以快速构建数字资产管理系统，可从图形角度查看和使用带空间定位的资产及相关信息。可以通过查看不同类型的线性资产和信息，提高决策能力。可以根据空间坐标、沿线性网络的位置或与其他资产的接近程度来定位资产。通过这种基于网络的方法，可以在整个网络中执行复杂的线性分析。

数字资产管理系统可通过互联数据环境访问资产的所有数字信息，以直观的三维沉浸式方式

安全地访问项目和资产数字化组件信息，获得资产的情境关联信息。沉浸式数字化运营支持用户在情境中以数字方式准确地查看资产，从而改进决策并最大限度地提高资产性能。

3 结束语

数字孪生技术是一种先进的技术体系，是三维 BIM 技术、实景建模技术、三维激光建模技术、三维仿真和 4D 施工管理技术等的应用，在输变电工程建设过程中全面推进数字孪生技术应用，可有效提高输变电工程设计、建造和运维的质量和效率。基于数字孪生模型，可逐步推广到基建及技改项目定量评估、选址选线、资源复用和设计方案合理性评估等业务范围，可输出全项目的数据分析报表，大幅提升电网规划的质量和准确性，高效、精确地指导项目规划与投资控制；可深化参数化三维建模、碰撞检测、设备选型和工程量自动统计等方面应用，实现基于电网资源大数据的电网工程智能化、精细化三维评审；可建立与电网全业务数据中心接口，实现全数据、高准确度的数字化移交等。

数字孪生技术是电力工程领域一种方兴未艾的先进技术，可在坚强智能电网的创建、维护及应用等多个方向持续发挥重要的作用。EA

作者简介：



王志鹏

王志鹏 (1982—)，男，硕士，高级工程师，主要研究方向为输变电工程设计。

(收稿日期：2021-02-16)