

# 基于数字孪生技术的配网建设与巡检一体化管理

毛玥萱<sup>1</sup> 朱清晓<sup>2</sup> 通讯作者 方学靠<sup>2</sup> 陈奇<sup>2</sup> 吴凡<sup>2</sup>

1.温州医科大学; 2.国网浙江省电力有限公司永嘉县供电公司

DOI: 10.12238/jpm.v5i2.6566

**[摘要]** 传统的配网建设与检修工作中, 存在管理效率低、难以实时观测负荷超载情况、检修费时费力、扩容改造工程难度大等问题, 数字孪生技术主要依托于孪生全景三维建模技术, 构建配网及配电设备的三维全景虚拟模型; 再根据其中数据对此进行建模, 掌握和操控配网的运行状态。数字孪生技术具有节省成本和减少工作量的优势, 是配网向智慧数据和感知转型的重要渠道, 为提升配网建设与巡检一体化管理水平, 加快配网数字化转型进程, 本文基于数字孪生技术为配网建设与巡检工作注入新的生命力, 探讨促进现代化智慧配电网升级的一套科学并切实可行的管理模式, 为改变传统的运行模式、提高工作效率和运维质量提供参考依据。

**[关键词]** 数字孪生技术; 配电网建设与巡检; BIM 建模仿真; 一体化管理

## Integrated management of distribution network construction and inspection based on digital twin technology

Mao Yuexuan 1, Zhu Qingxiao 2, corresponding author Fang Xuejiao 2, Chen Qi 2, Wu Fan 2

1. Wenzhou Medical University; 2. State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd. Yongjia County Power Supply Company

**[Abstract]** In traditional distribution network construction and maintenance work, there are problems such as low management efficiency, difficulty in real-time observation of load overload, time-consuming and laborious maintenance, and difficulty in capacity expansion and renovation projects. Digital twin technology mainly relies on twin panoramic 3D modeling technology to construct three-dimensional panoramic virtual models of distribution networks and distribution equipment; Based on the data, model and control the operation status of the distribution network. Digital twin technology has the advantages of cost saving and workload reduction, and is an important channel for the transformation of distribution networks to smart data and perception. In order to improve the integrated management level of distribution network construction and inspection, and accelerate the digital transformation process of distribution networks, this article injects new vitality into the construction and inspection work of distribution networks based on digital twin technology, and explores a scientific and feasible management model to promote the upgrading of modern smart distribution networks, To provide reference for changing traditional operating modes, improving work efficiency, and improving maintenance quality.

**[Key words]** Digital twin technology; Distribution network construction and inspection; BIM modeling and simulation; Integrated management

当前，数字化正在以不可逆转的趋势席卷全球，越来越成为经济社会发展的核心驱动力，以数字技术和数据要素为基础支撑的数字化转型正深刻重塑人类社会，促使全球数字化转型加速推进，成为影响世界经济格局的重要因素。在能源转型和数字化转型的双重背景下，配电网数字化转型势在必行，建设现代智慧配电网是支撑转型的重要实践。现代智慧配电网在数字化转型的背景下可以看做新型电力系统的配电网形态（新型配电系统），通过“大云物移智”等现代信息通信技术与有源配电网深度融合，以数字化、智能化、智慧化赋能新型配电系统，实现安全可靠、经济高效、清洁低碳的现代配电网发展目标<sup>[1]</sup>。“数字孪生”是一种新兴的信息技术，它将人工智能、传感器、模拟工具等多种数据有机地结合在一起，从而实现实体与虚拟的交互和传送。目前，数字孪生技术已被广泛地用于对物体状态和人类行为进行监测和预测。“数字孪生电网”对于将“数字孪生”技术与新型电力系统相结合，通过虚拟现实的互动，逐步激活电网、装备等多源数据，深度挖掘数据资源与信息，提升高维、多层次的“视点”辅助运行能力；实现了电力系统在虚拟与真实两个空间上的动态实时映射。“数字孪生电网”是基于“数字孪生”的基础设施和电网的数字化改造，从“数字空间”、“人员”和“环境”三个层面，构建“数据驱动、全生命周期”的“数字孪生体”，提升“数据驱动”的全生命周期以及应用效能<sup>[2]</sup>。而对于配网而言，在其内部使用数字孪生技术，可以有效地提高配网的运营和管理效率，并以数字孪生技术为基础，对其关键技术要素进行深度挖掘，从而为提高配网的建设和巡检一体化管理提供新思路。

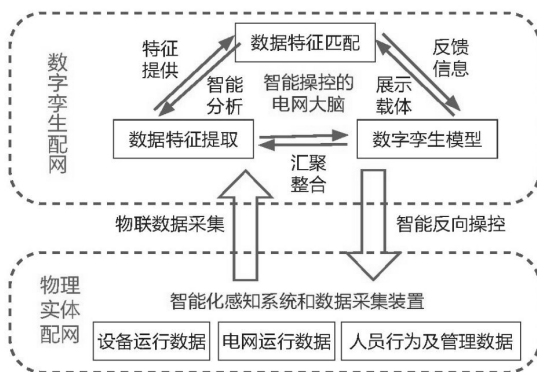


图1 数字孪生平台与配电网交互示意图

## 1 基于数字孪生技术的配电网增容改造建设

随着城市化进程的推进，架空线电力传输方式逐渐转变为地下电缆敷设方式，错综复杂的电缆管线埋在地下，难以观测具体位置，当配网容量不足需要增容改造时，配网电力工程面临更加复杂的施工环境和更高的管理要求。在此背景下，传统的施工管理方法和手段已难以满足现代工程的高效、精确需求。因此，探讨和研究新时期下基于数字孪生技术的配网电力工程自动化施工管理技术对于提升工程质量、降低施工风险和加速工程进度具有重要的理论和实践意义。

### 1.1 数字孪生在配网建设施工管理中的技术组成

#### 1.1.1 传感器和物联网技术

在新时期的配网电力工程自动化施工管理中，各种先进技术的融合使施工更为智能和高效。尤其是传感器和物联网技术，它们为施工现场提供了前所未有的实时监测和数据交互能力。作为数据的采集源头，传感器技术可以实时监测施工现场的各种关键参数，如电流、温度、振动等。这些参数在电力工程施工中尤为关键，因为它们直接影响工程的安全性和质量。但单纯的数据采集不足以形成完整的管理闭环，而物联网技术发挥了桥梁作用。通过物联网技术，这些实时采集的数据不仅可以被迅速传输到后台的数据中心进行分析，还可以与其他智能设备和系统进行互动，如自动调节设备参数或在某些参数超出安全范围时发出警报。

#### 1.1.2 人工智能与数据分析

人工智能通过深度学习和神经网络技术，可以分析大量的历史施工数据，准确预测施工进度，确保每个阶段的工作都能按预定时间表顺利完成。它还可以通过深入分析各种资源的消耗模式，有效分配施工现场的人力、物力和机械资源，以大大提高资源利用率并减少浪费。通过学习和模拟历史案例，人工智能还能优化施工方案，避免潜在的风险，确保施工的安全性和高效性。技术的核心优势在于其预测能力、智能决策和持续学习。与传统的施工管理方法相比，人工智能与数据分析技术的应用不仅大大提高了施工的精确度和效率，还为工程团队提供了一个全新、数据驱动的决策工具，通过配网建模仿真，提前在软件中分析增容改造的方案是否合理，在后续的配网运行中是否能满足用户的用电负荷需求。

#### 1.1.3 BIM技术管线碰撞检测试验

通过BIM技术可根据物理施工现场创建BIM数字模型，其能为工程团队提供一个与真实施工环境高度相似的数字环境。工程团队可以在数字模型中进行各种模拟、分析和优化，可以在开工前将配网及水网的地下管线的3d模型建立出来，分析水电网按照预期的施工图是否会发生碰撞，在施工之前可以避免工程返工的风险，该技术的关键优势在于其能够为工程团队提供一个安全、高效、低成本的决策支持环境，从而大大提高施工的精确度和效率。此外，该技术还为工程团队提供了一个强大的故障预测和维护工具，可以实时监测施工现场的各种风险，并及时采取措施。

### 1.2 数字孪生在配网建设施工管理中的应用策略

#### 1.2.1 智能化监控与预测

智能化监控与预测技术已在实际施工场景中发挥关键作用。首先，施工现场布设了大量传感器，如温度传感器、振动传感器和湿度传感器。这些传感器不断收集现场数据，将信息传递给中央处理系统。结合物联网技术，这些传感器能够实时上传数据，监控中心可以不间断地获得施工现场的各项参数<sup>[3]</sup>。例如，一旦施工机械因超载或故障而产生异常振动，振动传感

器可及时捕捉该数据并立即传送给监控中心。一经上传，算法立刻开始分析数据，根据历史数据和机器学习的经验评估当前情况。如果 AI 算法判断某设备的温度迅速上升可能会导致过热或某结构的振动频率已超出安全范围，其将立即启动预警系统。预警系统的实际应用包括：自动向现场工作人员发送警告信息，提醒他们检查可能存在问题的设备或结构；在中央监控屏幕上高亮显示异常区域，使监控人员能迅速定位问题源头；自动调整某些机械设备的工作状态，以防止潜在的风险。

### 1.2.2 数据驱动的决策制定

在配网电力工程自动化施工管理中，数据驱动的决策制定方法正不断被实践和完善。首先是基于历史数据的趋势分析，例如，利用大数据技术分析过去的工程项目数据，识别哪些施工步骤更易出现延误，并在新的施工计划中给这些环节分配更多的时间和资源，以缓解潜在的风险。其次是挖掘和分析现场实时数据。通过安装各种传感器，工程管理团队可以实时收集关于施工设备运行状态、材料消耗和工人工时的数据。这些数据通过高效算法进行处理，为工程管理团队生成关于设备维护、材料采购和人员调度的决策建议。此外，也有基于机器学习的资源分配优化方法。根据已有的工程项目数据，机器学习模型可以预测哪些施工任务更容易出现资源短缺的情况，并为这些任务提前分配更多资源。同时，这种方法还可以预测施工中可能出现的突发情况，如天气变化或材料供应中断，从而提前制定应对策略。最后，通过与供应链管理系统的整合，数据驱动的决策制定还可为材料采购提供指导。

### 1.2.3 无人技术在施工中的应用

在配网电力工程的自动化施工中，无人技术已成为一种创新的解决方案，被深入应用于各施工环节。利用无人机技术可以设定特定的飞行路径和预设的巡检计划，让其自动巡检高空输电线路。与人工相比，无人机可以更快、更安全地完成此类任务。例如，在复杂的山区地形，无人机可以快速巡查线路，准确捕捉线路的磨损、损坏或异物。无人车在施工场地的物料搬运中得到应用。例如，无人驾驶的挖掘机和卡车在特定的施工环境下可按预设路线和时间表对土石方进行挖掘、运输和倾倒，大大提高了工作效率。机器人技术在配电站的维护工作中也得到了广泛应用，例如，对于室内高压开关柜的维护，可以利用小型的机械臂机器人进入狭窄空间进行精确的检查和维修工作。再如，对于地下电缆隧道，特制的履带式机器人可以沿线路行进，实时检测和分析电缆状态。

### 1.2.4 全流程数字化与虚拟仿真

在新时期的配网电力工程施工中，全流程数字化与虚拟仿真已成为项目管理的标配。在工程设计阶段，工程师们利用 3D 建模技术制作了项目的详细模型。这不仅包括主体结构，还涵盖配套设施、电缆布局等详细内容。一旦模型建立完成，项目团队可以使用数字孪生技术创建实时、动态的数字镜像，以准确反映现实世界中的施工状态。随着施工的推进，任何现场

的变化（如材料的使用或结构的更改）都会实时同步到数字孪生中，为决策者提供最新信息。而在施工的关键节点（如桥梁吊装、大型设备安装），团队则使用虚拟仿真技术进行模拟演练。这种仿真不仅能预测可能存在的问题，还可以为施工团队提供最佳的操作建议，确保每个步骤都能够安全、高效完成。工程完工后，数字孪生也可以继续发挥其作用，是运营团队监控和维护项目的重要工具。对于任何需要维护的设备或部位，在数字模型中都可以找到详细的参数和历史记录，大大提高了维护的准确性和效率。此种全流程数字化与虚拟仿真的应用策略确保配网电力工程从设计到施工，再到运营维护，都能得到详尽、精确的数字化管理。

## 2 基于数字孪生技术的配电网巡检运维管理

### 2.1 数字孪生在配网巡检运维管理中的技术实现

从基本的层次化思想出发，归纳了数字孪生技术在实际应用中的通用解决方案。首先，建立一条信道，以实现与物理实体之间的信息实时传递。其次，基于实际数据，建立了一个具有较强拟合性的数字孪生模型，并对模型进行了模拟和分析。如果得到的结果与需要相匹配，那么就可以使用这个数字孪生体，对其进行辅助决策，从而有助于实现改善配网架构设计、提高生产效率等生产目标，或者是实现故障诊断与预警等维护目标；具体的数字孪生技术还体现在以下几个层面。

#### 2.1.1 建模与仿真技术

建模是基于数字孪生技术配网巡检运维管理的基础，其目的是将配网的各个设备、线路等元素以数字化的形式呈现在虚拟环境中。首先需要对配电房进行详细的调研和数据收集，包括设备参数、线路拓扑结构等。然后利用专业的建模软件，将这些数据转化为虚拟元素，并进行精细化建模。在建模过程中，需要考虑到元素的形状、材质、电气参数等，以确保数字模型与实际场景的吻合度<sup>[4]</sup>。

仿真是通过对建模后的配网进行动态模拟，以模拟检修方案和操作流程的执行过程。通过在虚拟环境中模拟各种检修操作，如设备的启停、线路的开关操作等，可以评估检修过程中可能出现的风险，优化检修策略，提高检修效率。同时，仿真还可以模拟各种复杂情况，如设备故障、线路短路等，以培训操作人员在应急情况下的应对能力<sup>[5]</sup>。

#### 2.1.2 虚拟现实交互技术

基于数字孪生技术配网巡检运维管理虚拟现实交互技术，为电力行业提供了一种创新的检修手段。它能够通过高度沉浸的虚拟环境和实时交互，提高操作人员的准确性和安全性，同时还能够模拟各种复杂情况，以应对紧急情况。其核心是利用虚拟现实设备，如头戴式显示器、手柄等，将用户完全沉浸在虚拟环境中。在配网检修的三维仿真中，用户可以通过设备进行实时交互，如操作开关、调整设备参数等。虚拟现实技术的高度沉浸感和交互性，使得用户能够更加直观地感受到变电站与配电房的实际情况，从而提高其操作的准确性和效率。

虚拟现实交互技术在配网巡检运维管理中具有重要的应用价值。首先,通过虚拟现实技术,操作人员可以在虚拟环境中进行各种检修操作,而无需实际进入变电站与配电房,减少了潜在的安全风险。其次,虚拟现实技术可以模拟各种复杂场景和情况,如设备故障、线路短路等,让操作人员在虚拟环境中进行演练和训练,提高应对紧急情况的能力。此外,虚拟现实交互技术还可以记录用户的操作过程和数据,用于后续的分析和评估,以优化检修方案和提高检修效率。

### 2.1.3 多模态信息融合技术

多模态信息融合技术主要包括图像、声音、传感器数据等多种模态信息的整合和分析。在配网检修中,通过采集变电站与配电房的图像信息、设备运行数据、传感器数据等多种信息源,利用先进的数据分析技术进行深度学习和模式识别,实现对变电站与配电房状态和设备性能的综合评估。多模态信息融合技术可以将变电站的图像信息与设备参数、线路拓扑结构等数据进行关联,生成可以在虚拟环境中呈现的三维模型。通过多维度的图像采集和处理技术,可以获取电力设备的几何形状、材质等信息,为后续的建模和仿真提供基础数据。另外,多模态信息融合技术可以将传感器数据与虚拟环境进行融合,实时监测变电站与配电房的运行状态和设备性能。通过传感器网络的布置,可以获取变电站各个设备的实时运行数据,如电流、电压、温度等。将这些传感器数据与虚拟环境的模型进行关联和融合,可以实时监测设备的状态变化,提前预警潜在故障,为检修决策提供科学依据。

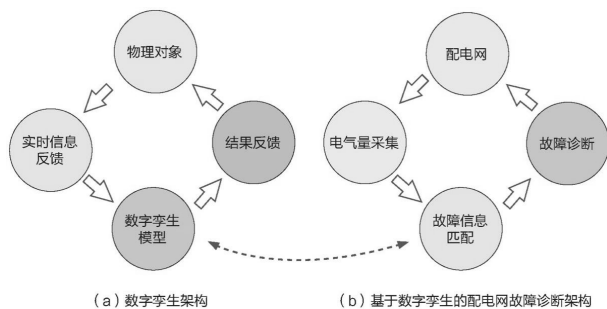


图2 数字孪生平台与配电网交互示意图

## 2.2 数字孪生技术在配网巡检运维管理中的应用

### 2.2.1 智慧云平台建设

基于当前主流微服务开放源代码架构的“数字孪生”智能云平台,采用分布式、虚拟化、微服务、信息总线等技术,构建一个科学合理的大数据收集和分析平台,充分发挥“数字孪生”的技术优势,实现对配电室总体运行状况的直观、真实地展示。因配电室和配电设备主要采用的是三维全景虚拟模型,所以能够将数字模型与实体设备进行有效地联系起来,能够实时地获取监控系统中所监测到的操作数据信息。智慧云平台的建设能够将配电室内的环境、扰动状况、运行设备等实时数据

和仿真情况相结合,实现配电网设备与环境的实时管理和控制;全面的配电环境以及可视化的管理平台可实现配电室系统管理,相关工作人员可根据数字孪生配电室所提供的资料信息来完成数据感知,不仅如此,相关工作人员还可利用手机客户端来实现数据勘察,没有时间空间限制,有利于第一时间排除配电室的风险隐患<sup>[6]</sup>。

### 2.2.2 物联网智能网关技术

物联网智能网关是将物联网技术应用于配电室,通过搭建软硬件平台,以分布式边缘计算为基础架构,基于硬件资源平台,利用手机终端系统,实现业务需求。该智能网关是一种集数据融合、边缘计算于一体的新型网络系统,能够对配电机房的关键技术节点进行全方位的信息收集和实时监控。配电物联网是基于智能网关的,它可以帮助提高工作人员的工作效率,用智能化和信息化的方式替代传统手工操作,减少人为操作所带来的局限性,大大提高工作质量;并且可以对配电房的工作状态进行全天候的实时跟踪和监控。

## 3 结语

随着数字孪生技术在配网建设与巡检一体化管理应用的不断深化,电网系统、设备及其部件都将搭建对应的数字孪生体,可以满足相关业务精细化管理的需求,同时更加精准地掌握电网的实时状态和辅助决策物理电网优化建设与巡检运维一体化管理,降低检修成本,提高设备利用率,进而促进配网的健康发展与稳定运行。

### [参考文献]

- [1]沈沉,贾孟硕,陈颖等.能源互联网数字孪生及其应用[J].全球能源互联网,2020,3(01):1-13.DOI:10.19705/j.cnki.issn2096-5125.2020.01.001.
- [2]贺兴,艾芊,朱天怡等.数字孪生在电力系统应用中的机遇和挑战[J].电网技术,2020,44(06):2009-2019.DOI:10.13335/j.1000-3673.pst.2019.1983.
- [3]钟科明.基于云平台的智慧型配电房设计与应用[J].电工技术,2021(15):122-123+126.DOI:10.19768/j.cnki.dgjs.2021.15.039.
- [4]沈沉,曹仟妮,贾孟硕等.电力系统数字孪生的概念、特点及应用展望[J].中国电机工程学报,2022,42(02):487-499.DOI:10.13334/j.0258-8013.pcsee.211594.
- [5]相晨萌,曾四鸣,闫鹏等.数字孪生技术在电网运行中的典型应用与展望[J].高电压技术,2021,47(05):1564-1575.DOI:10.13336/j.1003-6520.hve.20201838.
- [6]黄海悦,缪欣.基于数字孪生的配电室关键技术研究[J].信息技术与信息化,2022,(12):159-162.