

基于 BIM 技术的变电站电气设备安装监理及工程效率

岑贤航

广东创成建设监理咨询有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/EPTSM.2025070016

摘 要 : 介绍 BIM 技术在变电站电气设备安装监理中的应用, 包括其核心功能及在各阶段优势。阐述变电站工程 BIM 实施架构, 涉及三维协同管理平台 and 数据库体系。还介绍监理在主变压器等安装及二次设备调试的工作, 以及基于点云扫描的质量验收等内容, 最后提及 BIM 技术的协同管理价值、发展方向及相关技术融合问题与展望。

关 键 词 : BIM 技术; 变电站; 电气设备安装监理

BIM Technology-Based Supervision of Electrical Equipment Installation and Engineering Efficiency in Substations

Cen Xianhang

Guangdong Chuangcheng Construction Supervision & Consulting Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : This paper presents the application of BIM technology in supervising electrical equipment installation for substations, detailing its core functions and advantages across project phases. It describes the BIM implementation framework for substation engineering, covering the 3D collaborative management platform and database system. The study also addresses supervisory tasks during the installation of main transformers and other equipment, secondary equipment commissioning, and quality acceptance using point cloud scanning. Finally, it discusses the collaborative management value of BIM, future development directions, and challenges with technology integration.

Keywords : BIM technology; substation; supervision of electrical equipment installation

引言

随着我国电力行业的不断发展, 2020 年相关政策强调了要加强电力工程建设中的技术创新与质量管控。BIM 技术在变电站电气设备安装监理中具有重要作用。它涵盖参数化建模、信息集成管理和三维协同设计等核心功能, 这些功能在变电站设备安装各阶段优势显著。同时, BIM 技术应用于变电站工程实施架构、主变压器安装、二次设备调试监理创新等多个方面, 包括构建三维协同管理平台框架、建立 BIM 数据库体系以及采用 BIM+ 智能校验系统等。基于此, 深入研究 BIM 技术在变电站电气设备安装监理中的应用具有重要的现实意义。

一、BIM 技术在电力工程中的理论基础

(一) BIM 技术核心功能解析

BIM 技术具有多种核心功能。其参数化建模功能可通过定义参数和规则来创建智能模型, 能快速修改和更新模型, 提高设计效率和准确性^[1]。信息集成管理功能能够将各种工程信息整合到一个三维模型中, 包括设备参数、施工进度等, 方便各方获取和管理信息。三维协同设计功能支持不同专业的设计人员在同一平台上协同工作, 实时共享和交流设计想法, 避免设计冲突。这些功能在变电站设备安装阶段具有显著优势, 例如参数化建模可准确模拟设备安装空间, 信息集成管理有助于实时监控安装进度和设备状态, 三维

协同设计可提前解决不同专业间的安装冲突问题。

(二) 变电站工程 BIM 实施架构

变电站工程 BIM 实施架构包括构建三维协同管理平台框架以及建立 BIM 数据库体系。在三维协同管理平台框架方面, 涵盖设计审查、施工模拟以及进度管控等重要环节。通过设计审查, 可利用 BIM 技术对变电站设计方案进行全面细致的检查和优化, 确保设计的合理性和可行性^[2]。施工模拟则能提前预测施工过程中可能出现的问题, 为施工提供有效的指导。监理在进度管控借助 BIM 的可视化特性, 能够实时监控工程进度, 及时调整偏差。同时, 建立的 BIM 数据库体系包含设备参数族库和安装工艺标准库, 为变电站工程提供准确的数据支持和规范标准。

二、变电站设备安装监理流程优化

（一）电气一次设备安装监理要点

主变压器安装方面，监理需依据 BIM 模型模拟的安装工艺严格把控。对各部件安装顺序、位置精度及连接牢固性重点检查，确保符合设计规范^[3]。GIS 设备对接时，利用 BIM 碰撞检测功能提前发现问题，监理在现场监督对接过程，保证设备接口紧密、GIS 导体插入深度足够确保电气连接可靠。母线桥架定位精度控制上，借助 BIM 精确的空间定位信息，监理核验母线桥架安装位置是否准确，确保母线敷设顺畅，桥架支撑稳固，能承受母线重量及运行时产生的应力，从而保障电气一次设备安装质量。

（二）二次设备调试监理创新

在二次设备调试监理创新方面，可采用 BIM+ 智能校验系统。利用该系统实现保护装置逻辑验证，通过智能算法和模型分析，确保保护装置逻辑的准确性和可靠性^[4]。同时，进行电缆回路智能校核，对电缆连接的正确性、完整性以及回路的电气性能进行全面检查，避免因电缆问题导致的设备故障。此外，实现 SCADA 系统联调全过程可视化管理，监理人员可实时监控系统联调过程中的各项参数和状态，及时发现并解决问题，提高调试效率和质量，保障变电站二次设备的正常运行。

三、工程质量安全协同管控体系

（一）智能化质量控制方法

1. 基于点云扫描的质量验收

基于点云扫描的质量验收在变电站电气设备安装工程中具有重要意义。三维激光扫描可获取电气设备及安装环境的精确点云数据，通过与 BIM 模型比对技术，能够实现安装尺寸偏差的自动化检测^[5]。点云数据反映了实际安装情况的细节，为质量验收提供了客观、准确的依据。与传统方法相比，这种基于点云扫描的技术大大提高了监理检测的效率和精度，能够帮助监理人员及时发现安装过程中的质量问题，如设备位置偏差、连接部件的安装误差、质量通病等，从而保障变电站电气设备的安装质量，确保工程的顺利进行和后期运行的安全性与可靠性。

2. VR 安全培训系统构建

建立涵盖设备吊装、高压试验等危险作业的沉浸式安全培训系统，监理可借助 VR 技术实现安全管控。利用 VR 的虚拟现实特性，模拟设备吊装的真实场景，包括起重机的操作、吊索的绑扎、起吊的角度和力度控制等关键环节，让操作人员在虚拟环境中进行多次练习，熟悉正确的操作流程和 safety 注意事项。对于高压试验，同样可以通过 VR 系统模拟试验环境、设备连接和操作步骤，使操作人员了解高压电的危险性以及试验过程中的安全防护要求。这种沉浸式的培训系统能够提高操作人员的安全意识和技能水平，减少实际作业中的安全风险。

（二）动态风险管理机制

1. 风险预警知识库建设

风险预警知识库建设是工程质量安全协同管控体系中动态风

险管理机制的重要组成部分。通过集成历史工程数据构建设备安装风险特征库，对变电站电气设备安装过程中可能出现的风险进行全面梳理和分类。这些风险特征涵盖了设备选型、安装工艺、施工环境等多个方面。同时，建立应对预案智能匹配系统，当识别到特定风险时，能够快速准确地从知识库中提取相应的应对预案。该系统基于先进的算法和模型，可根据风险的严重程度、发生概率等因素进行优先级排序，为监理人员和施工团队提供及时有效的决策支持，确保工程质量和安全可控。

2.4D 进度 - 风险耦合模型

在工程质量安全协同管控体系的动态风险管理机制中，监理创建 4D 进度 - 风险耦合模型具有重要意义。通过将施工进度与安全风险指标相融合，构建动态预警模型及应急响应机制。该模型利用 4D 技术，将时间维度（4D 中的 D）与三维空间信息相结合，能够更准确地反映工程进展情况。在此基础上，引入安全风险指标，监理对施工过程中的风险进行实时监测和评估。当风险指标超出设定阈值时，动态预警模型及时发出警报，触发应急响应机制。这有助于监理人员迅速采取措施，降低风险对工程质量和安全的影响，确保变电站电气设备安装工程的顺利进行。

四、基于 BIM 的全生命周期监理体系构建

（一）设计阶段技术预控

1. 设备选型参数化验证

在监理设计阶段的设备选型参数化验证中，监理采用 BIM 参数驱动模型可实现设备选型的经济性 - 可靠性综合评估。利用 BIM 模型参数化特性，对电气设备的各项参数进行精确设定和分析。通过模拟不同工况和运行条件，验证设备在实际工程中的性能表现。同时，结合经济成本因素，综合考量设备的采购成本、运行维护成本以及寿命周期成本等。以确保所选设备既能满足变电站电气设备安装的技术要求，又能在经济上达到最优。这种参数化验证方法为设备选型提供了科学、准确的依据，有助于工程监理在施工阶段降低设备安装难度从而提高工程质量和效率。

2. 空间布局可施工性分析

在设计阶段的空间布局可施工性分析中，BIM 可视化技术至关重要。通过 BIM 模型，可对变电站电气设备的操作空间进行验证，确保操作人员有足够的空间进行设备操作，避免因空间不足导致的操作困难和带电安全距离不足导致的安全隐患。同时，监理人员利用 BIM 对检修通道进行模拟，分析其合理性和可行性。这有助于监理提前发现可能存在的问题，如通道狭窄、障碍物阻挡等，以便在设计阶段及时调整，优化空间布局，提高施工的可操作性和效率，为后续的电气设备安装和运维提供良好的基础。

（二）施工阶段智慧监管

1. 移动终端协同管理平台

移动终端协同管理平台在施工阶段智慧监管中具有重要作用。该平台需开发支持现场问题标注、整改跟踪的移动端监理信息系统。通过 BIM 模型与移动终端的结合，监理人员可在现场直

接对发现的问题进行标注,如在电气设备安装过程中,对设备位置偏差、连接不规范等问题进行精准定位和描述。同时,系统能够实时跟踪整改情况,对整改措施、责任人、整改期限等进行记录和提醒。这不仅提高了问题发现和解决的效率,还保证了施工质量,实现了施工阶段的智慧化监管,使得监理工作更加高效、精准。

2. 物料追踪管理系统

在施工阶段智慧监管的物料追踪管理系统中,集成 RFID 技术可实现设备进场验收、安装定位全过程追溯管理。利用 RFID 标签为物料赋予唯一标识,在进场时可快速准确地获取物料信息,与 BIM 模型中的数据进行比对,确保物料符合设计要求。在安装过程中,通过在关键部位设置 RFID 读取设备,实时获取物料的位置信息,并反馈到 BIM 系统中,实现监理对设备安装定位的动态监控。这不仅有助于提高施工效率,避免因物料错误或安装位置偏差导致的返工,还能为后续的运维管理提供准确的数据支持,实现变电站电气设备全生命周期的精细化管理。

(三) 运维阶段数字孪生应用

1. 竣工模型交付标准

在竣工模型交付标准方面,需制定覆盖设备参数、检测数据的竣工模型 LOD500 标准体系。此标准体系应详细规范电气设备的各项参数信息,确保其准确性和完整性。对于设备参数,监理要明确记录设备的型号、规格、性能指标等关键信息,以便后续运维阶段能准确了解设备特性。同时,检测数据也至关重要,包括设备的安装检测、调试检测以及运行过程中的定期检测数据等,都应纳入竣工模型中。通过这样的标准体系,能够为变电站

电气设备的运维管理提供全面、可靠的数据支持,实现基于 BIM 的全生命周期监理体系在竣工交付环节的有效衔接,为运维阶段的数字孪生应用奠定坚实基础。

2. 预防性维护决策支持

在运维阶段数字孪生应用的预防性维护决策支持方面,利用 BIM 模型结合物联网技术,实时获取电气设备的运行数据。通过对大量数据的分析,建立设备故障预测模型。该模型可依据设备的实时状态及历史数据,预测可能出现的故障类型及时间节点。同时,基于数字孪生的可视化特性,直观呈现设备内部结构及运行状态,辅助监理人员准确判断设备潜在问题。此外,结合维护成本、设备重要性等因素,制定科学合理的预防性维护计划,优化维护资源配置,提高维护效率,确保变电站电气设备的稳定运行。

五、总结

BIM 技术在变电站电气设备安装监理中展现出协同管理价值,通过整合信息、优化流程,提高了监理效率与质量。同时,提出面向智能变电站的数字监理发展方向,为行业进步提供思路。然而,当前 BIM 标准体系与电力行业融合存在不足,这在一定程度上限制了其应用效果。展望未来,区块链+数字孪生技术在工程监理领域具有广阔应用前景。它有望进一步提升监理的智能化水平,实现对工程更精准的监控和管理,解决现有技术面临的一些难题,推动变电站电气设备安装监理及工程效率迈向新的台阶。

参考文献

- [1] 刘小兵. 变电站电气设备安装工程项目冲突及其管理策略 [D]. 华北电力大学 (北京), 2021.
- [2] 朱慧. 基于 KBE 的机电安装工程 BIM 设计审查方法研究 [D]. 中国矿业大学 (江苏), 2022.
- [3] 冯爽爽. 基于红外技术的变电站关键电气设备故障诊断研究 [D]. 西南石油大学, 2022.
- [4] 乔天时. 基于 BIM 电力工程造价研究 —— 以 XX35kV 变电站工程为例 [D]. 西华大学, 2023.
- [5] 樊丹. 变电站电气设备安装工程的技术要点 [J]. 电力设备管理, 2022(23): 270-272.