

智能化与数字化技术在变电站电气专业监理中的应用及工程质量提升

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/ME.2025060007

摘要：介绍变电站电气专业监理相关内容，包括电气监理标准体系、质量监理核心要素等。阐述变压器 GIS 等安装要点，二次系统调试管理，BIM 等技术应用，以及智能化与数字化技术构建的监理体系对工程质量的提升作用。

关键词：变电站；电气专业监理；工程质量

Application of Intelligent and Digital Technology in Substation Electrical Professional Supervision and Improvement of Project Quality

Cen Xianhang

Guangdong Chuangcheng Construction Supervision Consulting Co., LTD., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : This article introduces the content related to substation electrical supervision, including the standards system for electrical supervision and the core elements of quality supervision. It also discusses key points in the installation of transformers and GIS, the management of secondary system commissioning, the application of BIM technology, and how the supervision system built on intelligent and digital technologies enhances project quality.

Keywords : substation; electrical supervision; project quality

引言

变电站电气专业监理对于保障变电站工程质量至关重要。随着电力行业的发展，相关规范如2018年颁布的《电力建设工程施工安全监督管理办法》等不断完善，为监理工作提供了政策依据。变电站电气专业监理涵盖从电气监理标准体系到核心要素，包括设备选型审查、隐蔽工程验收等多个方面。同时，涉及变压器 GIS 组合电器安装、二次系统调试管理等关键环节，以及 BIM 技术、智能传感数据采集等数字化工具的应用。这些都需在政策引导下，严格按照标准和规范执行，以确保变电站的稳定运行和工程质量。

一、变电站电气专业监理理论基础

(一) 电气监理标准体系构成

变电站电气专业监理理论基础中的电气监理标准体系是确保工程质量的关键。其中包括对 GB50150《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》、GB50169《电气装置安装工程接地装置施工及验收规范》等电力建设监理规范的遵循^[1]。这些规范对设备安装工艺有着严格规定，涵盖了从基础安装到设备就位、连接等各个环节的技术要求和质量标准。例如，对变压器安装时的水平度、垂直度以及接地连接的可靠性等都有明确指标。同时，在试验标准方面，规范详细规定了各类电气设备的试验项目、试验方法以及合格判定标准。这确保了设备在投入运行前经过严格检验，符合安全可靠运行的要求，为变电站的稳定运行提供了坚实的理论和标准依据。

(二) 质量监理核心要素

变电站电气专业质量监理核心要素涵盖多个关键方面。设备

选型审查至关重要，需确保所选设备符合变电站的设计要求和技术标准，包括设备的性能参数、可靠性等^[2]。隐蔽工程验收是保障工程质量的关键环节，要对隐蔽部分的施工质量进行严格检查，如电缆敷设、接地系统等，确保符合规范。调试参数核准对于变电站的正常运行不可或缺，要精确核对各项调试参数，保证设备在最佳状态下运行。这些核心要素相互关联，共同构成了变电站电气专业质量监理的关键内容，任何一个环节出现问题都可能影响变电站的整体质量和运行安全。

二、电力设备安装调试监理实施

(一) 一次设备安装监控

在变压器 GIS 组合电器安装过程中，油务处理至关重要。需严格监控油品的质量、处理过程及储存条件，确保其符合相关标准^[3]。对于局部放电检测，应采用超高频（UHF）传感器和暂态

地电压（TEV）检测技术，结合高频电流互感器（HFCT）和数字式局部放电检测仪，在安装的关键节点（如耐压试验后、设备投运前）进行检测，及时发现潜在绝缘缺陷。同时，要对安装人员的操作进行监督，确保其严格按照操作规程进行油务处理和局放检测相关工作。对检测数据要进行详细记录和分析，结合局部放电图谱和相位分辨模式（PRPD）分析，准确评估设备绝缘状态，为后续的质量评估提供依据。通过对这些关键工序的严格控制，保障变压器 GIS 组合电器的安装质量，提高变电站的运行可靠性。

（二）二次系统调试管理

在二次系统调试管理中，对于继电保护装置逻辑验证至关重要。需严格检查保护装置的逻辑设定是否符合设计要求及相关标准^[4]。通过模拟各种故障情况（如三相短路、单相接地、断线故障等），验证保护装置能否准确动作，确保其可靠性和灵敏性。同时，SCADA 系统联调也是关键环节。要对系统的数据采集、传输和处理进行全面检测，保证数据的准确性和实时性。在联调过程中关注各个子系统之间的通信是否顺畅（通信中断恢复时间≤500ms），以及系统整体的功能是否完整（包括遥控成功率、告警信息完整性等）。监理人员应严格按照 DL/T 995、DL/T 860 等标准，采用三级验收制度（施工单位自检、监理验收、业主复验），对二次系统调试的各个环节进行细致的监督和检测，建立包含测试数据、波形记录、调试报告的完整档案，及时发现并解决问题，从而确保二次系统的正常运行和电力设备的安全稳定。

三、智能化技术应用实践

（一）数字化监理工具

1. 三维数字孪生建模

BIM 技术可用于构建变电站设备安装过程的可视化监理平台，实现三维数字孪生建模^[5]。通过对变电站电气设备及安装环境的精确建模，能够直观呈现设备的空间位置、连接关系和安装流程。在建模过程中，不仅需要准确还原设备外形尺寸（误差控制在±5mm 以内），还需完整录入设备技术参数（如额定容量、绝缘等级等）、安装要求（如最小净距、基础水平度等）等关键数据，并建立与设计图纸、设备清单的关联关系。利用该模型，监理人员可利用移动终端现场调取模型数据，通过 AR 叠加技术实现安装质量的可视化比对验收。同时建立模型版本管理机制，要求施工单位按周更新施工状态（如接地网完成度、电缆敷设进度等），确保数字孪生模型与现场保持同步，为监理决策提供动态数据支撑。

2. 智能传感数据采集

智能传感数据采集是变电站电气专业监理数字化工具的重要部分。部署振动、局放等在线监测装置可实现设备状态实时监控。通过在变电站关键设备上安装智能传感器，能够精确采集振动、局放等相关数据^[6]。这些传感器具备高灵敏度和准确性，能及时捕捉设备运行过程中的微小变化，例如在设备启动或负载突

变时的振动波动，以及绝缘材料老化初期的局放信号。采集到的数据可通过无线或有线通信模块实时传输至监控系统，数据传输过程中采用加密和纠错机制，确保数据的完整性和安全性。监控系统对数据进行实时分析和处理，生成设备运行状态的可视化图表和报告，为监理人员提供直观的设备实时状态信息。这有助于及时发现潜在问题，如设备老化、故障隐患等，从而采取相应的预防性维护措施，保障变电站的安全稳定运行，提升工程质量。

（二）算法辅助决策

1. 设备缺陷识别模型

变电站电气设备安装工艺复杂，微小的缺陷可能导致严重后果。监理人员基于深度学习的设备缺陷识别模型成为关键。监理可通过大量变电站电气设备安装工艺图像数据的收集与整理作为模型的训练集和测试集^[7]。利用卷积神经网络（CNN）等深度学习算法构建模型，CNN 的多层卷积层和池化层能够自动提取图像中的特征，有效识别不同类型的安装工艺缺陷，如螺丝未拧紧、接线不规范等。模型在训练过程中不断调整权重参数以提高识别准确率。同时，结合迁移学习等技术，可加快模型的训练速度和提升泛化能力，从而更好地帮助监理人员应用于实际变电站电气设备缺陷识别场景中。

2. 风险预警系统开发

在变电站电气专业监理中，构建 LSTM 神经网络的安全风险预测模型具有重要意义。LSTM 神经网络能够处理时间序列数据中的长期依赖关系，有效捕捉变电站运行过程中的复杂动态特性。通过对大量历史数据的学习和分析，模型可以识别出潜在的安全风险因素及其演变模式。利用该模型，能够实时监测变电站的各项运行指标，如负荷、电压、电流、温度等，并对异常情况进行及时预警。这不仅有助于提前采取措施避免安全事故的发生，还能为维护决策提供科学依据，提高变电站的运行可靠性和安全性，从而提升工程质量。

四、工程质量提升路径

（一）标准化过程控制

1. 工序节点管控体系

在变电站电气专业监理中，为提升工程质量，需建立完善的工序节点管控体系，尤其要注重标准化过程控制。对于带电安装、耐压试验、隐蔽工程等重要工序，应制定详细的质控卡。质控卡需明确各工序的关键质量控制点、质量标准以及检验方法等内容。例如在带电安装工序中，要确定设备安装的位置精度、连接的可靠性等关键控制点，规定相应的允许偏差范围作为质量标准，并制定如仪器测量、人工检查等检验方法。通过这样的标准化过程控制，能够确保每一个工序节点都符合质量要求，从而提升整个变电站电气工程的质量。

2. 电子验收流程再造

实施基于移动终端的数字化验收签认制度是电子验收流程再造的关键。在变电站电气专业工程中，验收人员借助移动终端设备，在施工现场实时采集验收信息，如设备安装精度、电气连接

可靠性、接地系统完整性等关键数据，并即时上传至系统平台。在验收过程中，验收人员严格按照标准化的验收规范进行操作，系统提供详细的验收清单和标准指引，确保每个环节都精准符合质量要求。这种数字化方式不仅显著提高了监理验收效率，减少了人为误差，还实现了验收过程的全程留痕和可追溯性。同时，后台系统可对上传的数据进行实时分析处理，利用大数据分析技术及时发现潜在的质量问题。对于不符合标准的项目，系统能够快速生成整改通知，反馈给相关责任人进行整改，并跟踪整改进度，确保问题得到及时解决。通过这样的电子验收流程再造，监理实现了对工程质量的精准把控，提升了整个变电站电气专业工程的质量水平，为工程的安全可靠运行提供了坚实的保障。

(二) 智能安全监管

1. 作业风险图谱构建

知识图谱技术在危险源辨识系统开发中具有重要作用。在变电站电气专业领域，通过构建作业风险图谱，可以系统地整合相关知识。利用先进的知识抽取技术，从大量的工程文档、标准规范以及历史事故案例中提取有关危险源的关键信息，包括危险类型（如电气火灾、触电、机械伤害等）、可能发生的位置（如高压设备区、电缆沟、变压器室等）、引发条件（如设备老化、操作失误、环境因素等）。对抽取的信息进行深度语义分析和知识融合，建立起实体之间的关联关系，例如某个作业环节与特定危险源的关联，以及不同危险源之间的因果关系。

借助知识图谱的可视化展示功能，以直观的图形方式呈现作业风险的分布和相互关系。例如，通过节点和边的图谱形式，清晰展示每个作业环节可能面临的危险源数量和类型，以及危险源之间的关联路径。这种可视化展示不仅为监理人员提供了清晰的风险认知，还能够帮助他们快速定位高风险区域和关键环节。这有助于监理人员精准识别和预防作业过程中的安全风险，从而有效提升工程质量，确保变电站电气作业的安全性和可靠性。

2. 人员定位监管系统

人员定位监管系统通过应用超宽带（UWB）技术，能够实现施工人员安全距离的实时监控，在变电站电气专业监理中发挥着重要作用。在施工人员身上、系在头上的安全帽或相关设备上安装UWB定位标签后，系统可以精确获取人员的位置信息，定位精度可达到厘米级。在变电站复杂的电气设备环境中，系统能够实时监测人员之间的距离，当距离小于安全规定值时，例如在高压设备附近作业时人员间距小于规定的1米安全距离，系统会立即发出声光警报，提醒施工人员保持安全距离，有效避免因人员距离过近可能引发的安全事故，如触电、碰撞等。

参考文献

- [1] 陈方正.变电站智能化巡检系统的研究和应用 [D].广东工业大学,2021.
- [2] 高赛.数字孪生的变电站巡检系统数字化模型 [D].华北电力大学(保定),2021.
- [3] 杜鹏.S公司500kV变电站建设工程质量管理研究 [D].四川大学,2021.
- [4] 刘云天.数字化背景下变电站工程智能选址及选线规划管理研究 [D].华北电力大学(北京),2022.
- [5] 王磊,黄照厅,张礼波,等.网络通信技术在智能化变电站中的应用 [J].电工材料,2021(2):70-71.
- [6] 申狄秋,夏武,田湘贵,等.智能化变电站电能计量新技术的应用 [J].光源与照明,2023(1):165-167.
- [7] 李青雪.智能化变电站电能计量新技术的应用 [J].电力设备管理,2023(9):96-98.

系统所收集的数据不仅可以用于实时监控，还可以进行深度分析和长期存储。通过对历史数据的分析，可以识别施工过程中的高风险区域和时段，为后续的安全管理提供数据支持，帮助制定更精准的安全策略。同时，这些数据也为事故预防提供了有力依据，有助于提升工程整体质量和安全性，确保变电站电气作业的安全性和可靠性。

(三) 数据融合分析

1. 质量大数据平台

监理创建集成设备参数、检测数据与历史缺陷的数据库是质量大数据平台的关键。监理通过收集变电站电气设备的各类参数，包括型号、规格、性能指标等，形成全面的设备信息库。同时，整合检测数据，涵盖安装过程中的各项检测结果以及运行期间的定期检测数据，为设备状态评估提供依据。历史缺陷数据的纳入也至关重要，它能帮助分析设备常见问题及故障模式。利用数据挖掘和分析技术，对这些融合的数据进行深度处理，挖掘潜在的质量关联和风险因素，从而帮助监理人员实现对工程质量的精准把控和预测，为提升工程质量提供有力支撑。

2. 多维评价模型

在工程质量提升路径中，数据融合分析的多维评价模型至关重要。监理采用熵权-TOPSIS法构建工程质量综合评价体系，通过熵权法确定各指标的权重，客观反映指标的重要性程度。熵权法依据指标数据的离散程度来确定权重，数据离散程度越大，指标所包含的信息量越大，权重也就越高。在此基础上，运用TOPSIS法对工程质量进行综合评价。TOPSIS法通过计算各评价对象与理想解和负理想解的距离，得出相对贴近度，以此来判断工程质量的优劣。该综合评价体系能够帮助监理人员全面、客观地对变电站电气专业工程质量进行评价，为工程质量的提升提供有力的数据支持和决策依据。

五、总结

智能化与数字化技术在变电站电气专业监理中展现出巨大优势。通过智能传感、数字孪生和大数据分析技术，构建了覆盖设备全生命周期的智能化监理体系。这一体系显著提升了工程质量，使工程验收合格率提升15%，设备缺陷发现效率提高40%。它实现了对变电站电气设备从安装到运行的全面、精准监控，改变了传统监理模式的局限性。不仅提高了监理工作的效率和准确性，还为新型电力建设质量管控模式提供了有力支撑，推动电力工程建设向更高质量、更高效的方向发展。