

[变电站]

基于BIM+AR技术的无人值守变电站运行智慧集控方法

文/陈炳贵 王海霞
福建电力职业技术学院

根据Revit族元素构成，引进BIM技术，进行变电站内部环境中组参数的提取；引入增强现实（AR）技术，通过叠加虚拟信息于现实环境中，进行无人值守变电站环境配置与场景搭建；通过传感器网络、物联网技术等手段，实时采集变电设备的运行状态数据，实现变电设备的交互与运行的智慧集控。对比实验结果表明，此方法可以提高变电站供电可靠性。

随着信息技术的飞速发展，建设智能电网成为行业的关注重点。在此种背景下，无人值守变电运行智慧集控技术的研究显得尤为重要。变电站作为电网的关键节点，其运行效率与安全性直接关系到整个电网的稳定性和可靠性。然而，传统变电站运维模式存在诸多局限性，如人工巡检效率低下、故障响应速度慢、运维成本高等问题。

武阳等人^[1]通过集成处理大规模变电设备的状态检测数据，运用分布式计算、内存计算等先进技术手段，实现了对变电设备健康状况的实时监测和故障预测。但在面对海量、异构且不断增长的数据，如何高效、准确地提取有价值的信息成为难题。同时，数据的不稳定性也影响了模型的预测准确性，主要由于变电设备的状态数据往往具有不确定性，难以直接套用传统模型。慕泽田^[2]通过时间序列分析预测未来电力需求，并综合考虑环境、经济、社会等因素，建立混合整数线性规划或动态规划模型，以确定发电、输电、变电、配电设施的最优配置。但高比例可再生能源的接入使得电力系统的运行特性变得更为复杂，不确定性增加。同时，协同规划涉及多个环节和多个利益主体，需要复杂的协调机制来确保各环节的协同工作。

为提高变电运行的效率，本文引进BIM+AR技术，对无人值守变电运行智慧集控方法展开了全面的设计研究。

基于BIM技术的变电站族参数提取与建模

为满足无人值守变电运行智慧集控需求，引进BIM技术，进行变电站内部环境中族参数的提取^[3]。提取前，明确变电站中Revit族元素的构成，如图1所示。

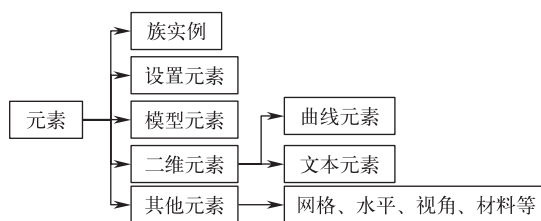


图1 Revit族元素构成

在BIM建模初期，需要定义和提取变电站特有的族参数。族参数是描述族组件特性的关键数据，包括变电站中结构与构件的尺寸、材质、位置和电气属性等^[4]。在此过程中，从变电站的设计图样、规范文档中提取基础的建筑和设备参数，通过实地测量获取精确的尺寸和位置信息，利用已有的CAD

图样或数据库文件，通过数据转换工具导入BIM软件中。

利用提取的族参数，在BIM软件中创建对应的族文件。族文件具有参数化特性，允许用户根据需要调整参数值，从而生成不同的模型实例^[5]。族库建设的关键在于参数化设计的实现。每个族文件都包含一系列可调整的参数，参数定义了族组件的几何形状、物理属性和电气特性。在实际应用中，可以按照表1所示的内容，创建变电站族库^[6]。

表1 变电站族库

序号	族名称	类别	描述
1	变压器族-油浸式	变压器类	110 kV油浸式变压器，带油枕和散热器
2	断路器族-SF ₆	开关设备类	220 kV SF ₆ 断路器，带操作机构和控制系统
3	隔离开关族-户外型	开关设备类	110 kV户外高压隔离开关
4	电流互感器族-干式	测量设备类	35 kV干式电流互感器，准确度0.2级
5	避雷器族-氧化锌	保护设备类	110 kV氧化锌避雷器，带计数器
6	控制柜族-自动化	控制设备类	变电站自动化控制柜，含PLC及HMI

完成上述内容的设计后，进行变电站中不同构件尺寸的设定。以变压器底座为例，其尺寸可以设定为

$$L = f(s) \tag{1}$$

式中， L 表示变压器底座结构尺寸； f 表示散热系数； s 表示变压器的容量。

按照上述方式，在建模软件中录入其他结构尺寸的算量公式。在此基础上，设计电气参数匹配方式，从设计文档、现场勘查和现有数据中提取族参数，在BIM软件中创建族文件，设置参数化属性，利用族库中的族文件，构建变电站的三维模型^[7]。通过上述步骤，实现基于BIM技术的变电站族参数提取与建模。

基于AR技术的无人值守变电站环境配置与场景搭建

在完成变电站族参数提取与建模的基础上，引入增强现实（AR）技术，通过叠加虚拟信息于现实环境中，进行无人值守变电站环境配置与场景搭建，为用户提供直观、交互式的操作体验^[8]。在此

过程中，将BIM模型的数据与AR通信接口进行对接，为确保对接中数据格式的统一化，需要做好BIM模型中参数数据格式的转换，此过程为

$$S = \frac{L+1}{x_{\max} - x_{\min}} \tag{2}$$

式中， S 表示参数数据格式的转换； $x_{\max}$ 表示最大数据； $x_{\min}$ 表示最小数据。

在此基础上，进行变电站空间坐标系的统一处理，利用数据交互接口，确保BIM模型中的族参数、设备位置、空间布局等信息能够准确无误地传递给AR终端。此过程为

$$C = S + K(R) \tag{3}$$

式中， C 表示变电站空间坐标系的统一处理； K 表示信息传递链路； R 表示转换系数。

利用AR扫描技术，捕捉变电站现场的真实环境，并将BIM模型中的虚拟元素（如设备、管线、标签等）叠加到现实场景中。用户可以通过集控终端，直观地看到叠加后的虚拟与现实结合的变电站场景^[9]。信息叠加过程为

$$M = \sum \frac{1}{C \cdot \alpha^2} \tag{4}$$

式中， M 表示信息叠加； α 表示交互次数。

通过AR技术，模拟不同布局方案下的变电站场景，评估其对运维效率、安全性的影响。利用模拟退火算法，对布局方案进行优化。布局中，将电力设备最大运行效率作为目标，建立如下计算公式所示的目标函数。

$$F_{\max} = M \cdot l \cdot \frac{\chi}{2} \tag{5}$$

式中， $F_{\max}$ 表示电力设备最大运行效率目标函数； l 表示决策变量； χ 表示约束条件（如空间限制、安全距离等）。

通过对目标函数中参数的迭代，得到函数最优解，实现基于AR技术的无人值守变电站环境配置与场景搭建，在AR环境中，用户可以直观、交互的方式操作虚拟设备，如查看设备参数、调整设置、模拟操作等。

变电设备交互与运行智慧集控

在上述内容的基础上，通过传感器网络、物联网技术等手段，实时采集变电设备的运行状态数据，包括电压、电流、温度和振动等物理量。利用

小波变换,进行数据的预处理,处理过程为

$$Z = \sqrt{F_{\max}^2 + (\beta + 1)^2} \quad (6)$$

式中, Z 表示采样数据的小波转换; β 表示状态数据类别。

利用统计学,对预处理后的数据进行分析,提取价值信息,使用主成分分析技术,识别设备状态模式^[10]。基于数据分析结果,结合专家系统、深度学习等技术进行故障诊断,通过建立故障模型或训练分类器,识别设备是否存在故障及其类型。支持向量机(SVM)决策函数表达式为

$$Q = \sum Z\delta + W^2 \quad (7)$$

式中, Q 表示支持向量机(SVM)决策函数; δ 表示训练分类器; W 表示故障类型。

基于数据分析和故障诊断结果,结合变电站的运行规则和约束条件,进行智能决策,以此种方式,寻找最优的运维策略或控制参数。此过程为

$$E = \frac{r+1}{Qd} \quad (8)$$

式中, E 表示最优参数求解; r 表示变电站运行规则系数; d 表示约束条件。

根据智能决策结果,通过远程控制系统向变电设备发送控制指令,实现设备的远程开关、调节等操作。远程控制过程需要确保通信的可靠性和安全性,采用加密传输、身份验证等技术手段。构建智慧集控平台,集成设备状态监测、数据分析、故障诊断、智能决策和远程控制等功能于一体。以此种方式,实现变电设备交互与运行智慧集控。

对比实验

完成上述设计后,为实现对该方法的检验,选择某地区新建大型变电站作为本次研究的试点。所选的变电站属于无人值守变电站,其运行规模展现了现代智能电网的显著成效。该变电站年供电量高达50亿kW·h,占所在地区总电力供应的约1/3,是区域电网的重要负荷交换中心。其主变压器及配套设备总容量达到150万kV·A,确保了强大的电力转换与分配能力。在电网架构上,该站500 kV系统连接了多座重要变电站,220 kV系统则与周边8座变电站紧密互联,形成了稳定可靠的电力传输网络。

掌握此变电站的规模后,对其运行中的技术参数进行分析,相关内容见表2。

表2 无人值守变电运行技术参数分析

序号	项目	参数
1	额定电压等级/kV	110
2	主变压器容量/(MV·A)	120
3	监控中心位置	电力调度中心内
4	通信方式	光纤通信
5	数据传输协议	RS 485/RS 422、RS 232C
6	供电方式	太阳能+锂电池组合
7	太阳能板功率/W	30
8	锂电池容量/(mA·h)	5 200
9	断路器类型	真空断路器
10	隔离开关类型	电动操作

在深入此变电站的研究中发现,尽管现阶段此变电站的集控现状在提升运维效率和安全性方面取得了显著成效,但仍存在一些不足。经过实地勘察发现,变电站的监控系统实现了对其内部环境与电力设备的全面覆盖,但数据传输延迟平均达到2 s,影响了实时响应速度。此外,环境监测系统的准确度在极端天气条件下有所下降,如温度测量准确度在-20℃以下时偏差达到±0.5℃,对设备运行的精准监控构成挑战。同时,智能预警系统的误报率约为3%,需进一步优化算法以提高准确性。

为此,引进文献[1]提出的基于大数据的变电运行方法、文献[2]提出的变电协同规划方法与本文方法,进行无人值守变电运行智慧集控。

将供电可靠性SAIDI作为检验设计方法应用效果的关键指标,SAIDI的计算公式为

$$SAIDI = \frac{\sum Y \times h}{a} \quad (9)$$

式中, Y 表示变电运行中出现供电异常或停电问题对应的终端数量; h 表示异常现象的持续时间; a 表示变电运行对接终端数量。

SAIDI的单位通常是min/终端。SAIDI的值越小,表示供电可靠性越高,即无人值守变电运行智慧集控效果越好。反之,SAIDI的值越大,表示供电可靠性越差。

以此为依据,对三种方法应用后的终端SAIDI进行测试,实验结果如图2所示。

从图2所示的结果可知,应用本文方法进行无人值守变电运行智慧集控,可以控制终端SAIDI的数值控制在0~1范围内,数值相对较低,说明本文方法的应用效果良好,该方法可以提高变电站运行中的供电可靠性。

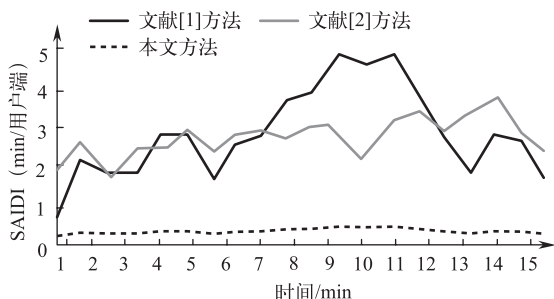


图2 三种方法应用后的终端SAIDI测试结果

在此基础上，分析文献[1-2]方法的应用效果，根据图中两条折线的变化趋势可以看出，对应方法的SAIDI数值相对较高，说明文献[1-2]方法在变电运行集控中未能达到预期效果。

综合上述结果可以证明，本文设计的基于BIM+AR技术的方法，可以提高变电站供电可靠性，以此种方式，为终端用户提供更加良好的服务。

结束语

BIM技术以其强大的建模能力，为变电站运维管理带来了革命性的变革。通过构建详尽的三维数字模型，不仅实现了变电站物理空间、各类设备设施及其复杂连接关系的精准再现，还实现了对设备运行状态、运行参数的全面数字化表达。此种转变使得运维人员能够轻松获取变电站的实时运行数据，从而做出更加精准、高效的运维决策，显著提升运维管理的整体效能，确保变电站的安全、稳定、高效运行。为深化此方面内容的研究，本文基于BIM+AR技术的应用，通过变电站族参数提取与建模、变电站环境配置与场景搭建、变电设备交互与运行智慧集控，开展无人值守变电运行智慧集控方法的设计研究。旨在通过集成化的管理，有效提升变电站的运维效率，降低运维成本，还能显著提高电网的安全性和稳定性。EA

(收稿日期：2024-07-29)

参考文献

- [1] 武阳, 王倩. 基于大数据分析的变电设备健康监测与预测模型研究[J]. 自动化应用, 2024, 65 (12): 212-214.
- [2] 慕泽田. 高比例可再生能源接入下的发电、输电、变电、配电系统协同规划[J]. 家电维修, 2024(3): 71-73.
- [3] 周文磊. 卷积神经网络信号处理在变电故障诊断与预测中的应用[J]. 电子技术, 2024, 53 (4): 430-431.
- [4] 陆易凡, 刘达, 张洋, 等. 基于博弈论组合赋权和改进优劣解距离法的输变电工程建设时序规划[J]. 科学技术与工程, 2024, 24 (10): 4124-4131.
- [5] 盛宏伟, 张杰锋, 汪卫东, 等. 基于犹豫模糊矩阵与变异算子的变电设备故障检修仿真[J]. 计算技术与自动化, 2024, 43 (1): 38-43.
- [6] 刘威麟, 王中伟, 郝冠茗, 等. 基于轮廓线与特征融合的电网变电设备三维自动化运检方法[J]. 计算技术与自动化, 2024, 43(1): 117-122.
- [7] 李红军, 吴海宏, 王国平, 等. 振动特征估计下的GIS变电设备发热缺陷因素识别系统设计[J]. 微型电脑应用, 2024, 40(5): 104-107+111.
- [8] 李红亮. 智能化监测与远程监控在输变电工程建设监理中的应用[J]. 光源与照明, 2024(2): 109-111.
- [9] 赵淑媛, 辛诚, 陈衡, 等. 基于AHP-熵权法的输变电工程低碳评价体系及方案优选[J]. 广东电力, 2024, 37(1): 8-17.
- [10] 余声. 输变电工程中内悬浮外拉线组立钢管塔的安全施工技术研究[J]. 电气技术与经济, 2023(10): 125-128.

