

# 基于大数据的变电站智能选址研究

谷裕 毛瑞旭

沈阳市规划设计研究院有限公司, 辽宁 沈阳 110000

**[摘要]**变电站智能选址是支撑新型电力系统建设与电网高质量发展的关键环节,传统方法受限于静态经验模型与单一维度优化,难以应对新能源高渗透与多主体协同的复杂需求。以大数据技术为核心,构建“数据融合-模型优化-决策验证”的全流程智能选址框架。通过多源异构数据的时空对齐与特征挖掘,突破信息孤岛壁垒;结合多目标进化算法与空间聚类技术,实现经济性、可靠性及可持续性的动态均衡;依托 GIS 平台与案例实证,验证模型在城乡差异化场景下的适应能力。数据驱动的选址模式显著提升了规划方案的鲁棒性与决策效率,为电网低碳化、智能化转型提供了可复用的方法论支撑。

**[关键词]**大数据; 变电站; 智能选址

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16923

中图分类号: P2

文献标识码: A

## Research on Intelligent Site Selection of Substations Based on Big Data

GU Yu, MAO Ruixu

Shenyang Planning & Design Institute Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110000, China

**Abstract:** Intelligent site selection for substations is a key link in supporting the construction of new power systems and the high-quality development of the power grid. Traditional methods are limited by static empirical models and single dimensional optimization, making it difficult to meet the complex needs of high penetration of new energy and multi-party collaboration. Build a full process intelligent site selection framework based on big data technology, including data fusion, model optimization, and decision verification. Breaking through the barriers of information silos through spatiotemporal alignment and feature mining of heterogeneous data from multiple sources; Combining multi-objective evolutionary algorithms and spatial clustering techniques to achieve a dynamic balance of economy, reliability, and sustainability; Based on the GIS platform and case studies, verify the adaptability of the model in differentiated urban-rural scenarios. The data-driven site selection model significantly improves the robustness and decision-making efficiency of planning schemes, providing reusable methodological support for the low-carbon and intelligent transformation of the power grid.

**Keywords:** big data; substation; intelligent location selection

### 引言

在能源革命与数字革命深度融合的背景下,变电站选址已从单纯的空间资源配置问题演变为涵盖电网安全、生态保护与社会效益的多目标决策命题。传统选址方法依赖人工经验与静态参数,存在负荷预测偏差大、空间约束考量片面等问题,难以适应高比例新能源接入与极端气候频发的新常态。尽管已有研究尝试引入优化算法与 GIS 技术,但多源数据割裂、模型泛化性不足等瓶颈仍未突破。聚焦大数据技术的赋能潜力,系统整合电力、地理、社会经济等跨领域信息流,创新性构建动态响应与多尺度协同的智能选址体系,旨在破解复杂环境下变电站规划的科学与可行性的矛盾,为新型电力系统建设提供前瞻性解决方案。

### 1 变电站智能选址的理论与技术基础

智能变电站选址作为现代电网规划的核心环节,其理论与技术体系融合了电力系统优化、地理空间分析及数据科学等多学科成果。在理论层面,经典选址模型以供电半径约束、负荷均衡原则为基础,强调经济性与可靠性的协

同;随着新型电力系统的发展,多目标优化理论逐步成为主流,兼顾环保、社会效益等非经济因素,并通过帕累托前沿分析实现多维目标的动态权衡。空间地理约束的引入进一步拓展了选址的精细化维度,例如利用 GIS 技术评估地形地貌、人口密度及生态敏感区的空间叠加效应,使选址决策从抽象数学建模转向真实地理环境的映射。技术演进方面,大数据驱动的智能方法正逐步取代传统经验驱动模式,机器学习算法通过挖掘历史负荷与地理信息的隐含关联,构建预测与优化一体化的决策框架;深度学习则在复杂场景下提升了空间特征提取与非线性关系的建模能力。值得关注的是,数字孪生技术的兴起为选址研究注入新动能,通过构建虚拟电网与现实数据的双向交互系统,实现规划方案的动态仿真与实时反馈。当前研究趋势已呈现出明显的技术融合特征,未来或将通过人工智能与运筹学的深度交叉,推动选址模型向自适应、可解释的更高层次跃迁。

### 2 大数据驱动的变电站选址数据体系

#### 2.1 多源数据分类与整合

多源数据的高效整合是支撑智能选址决策的关键前

提。从数据分类维度看,变电站选址所需信息可归纳为三大核心类别。其一为电力系统运行数据,涵盖历史负荷曲线、电网拓扑结构及设备参数,这类数据直接反映电网供需动态与物理约束;其二为地理空间数据,包括地形高程、土地利用类型、交通网络及生态敏感区分布,此类数据通过空间叠加分析揭示选址的可行性边界;其三为社会经济数据,涉及人口密度、产业布局与政策导向,其作用在于评估区域发展的长期需求与潜在风险。数据整合的核心挑战在于多源异构信息的时空对齐与语义统一,例如电力负荷的时序特征需与静态地理栅格数据建立空间映射关系,而政策文本中的定性描述则需转化为量化约束指标。当前主流技术路径包括基于本体的语义融合框架与分布式存储架构(如 Hadoop/NoSQL),前者通过领域知识图谱消解数据间的语义歧义,后者借助并行计算实现海量数据的高效存取。值得注意的是,多源数据的深度融合不仅需要技术手段的突破,更依赖于跨部门协作机制的完善,以打破电力、国土、环保等领域的数据壁垒,最终形成支撑智能决策的数据-知识协同网络。

## 2.2 数据预处理与特征工程

数据预处理与特征工程是构建高鲁棒性选址模型的核心环节。在数据预处理阶段,原始异构数据的噪声过滤、缺失值填补及标准化处理是首要任务,例如通过滑动窗口平滑技术抑制负荷时序数据的异常波动,或利用地理空间插值方法补全局部地形信息。特征工程则聚焦于从海量数据中提取与选址决策强相关的关键指标。一方面,基于领域知识的特征构造(如负荷密度指数、区域供电潜力评分)可将复杂业务逻辑转化为可量化参数;另一方面,数据驱动的特征选择技术(如随机森林特征重要性评估、互信息法)能够剔除冗余变量,避免维度灾难对模型性能的干扰。值得注意的是,时空特征的融合设计成为近年研究热点,例如将电力负荷的时序变化趋势与地理空间的邻域关联性结合,构建兼具动态与静态特性的复合特征。这一过程不仅依赖算法优化,更需深度融合电力系统专业知识与机器学习方法,最终实现从原始数据到可解释特征的智能跃迁。

## 2.3 数据质量评估与优化

数据质量是智能选址模型可靠性的核心基础。在评估过程中,需围绕一致性、完整性、准确性与时效性建立多维评价框架。一致性检验通过逻辑规则引擎识别数据矛盾,如电力设备坐标与地理信息系统的空间重叠冲突;完整性评估借助空值分布热力图定位数据缺失区域,并结合业务优先级制定补全策略;准确性验证需融合物理约束(如电网拓扑的基尔霍夫定律)与统计检验(如 DBSCAN 离群点检测),实现多角度交叉验证。针对不同质量问题,优化方法需分层实施:系统性偏差可通过构建电力领域本体库定义语义清洗规则,例如将模糊的“负荷中心”描述转换为坐标半径参数;动态噪声干扰则需在流式计算中嵌入

滑动窗口滤波算法,实时抑制数据集中的瞬时异常。数据质量提升需形成动态闭环,例如将模型预测误差反向传导至数据清洗模块,利用反馈机制迭代优化清洗阈值。人机协同在复杂场景中尤为关键:地理信息中的生态保护区边界需结合遥感影像人工校核,而政策文件中的隐式约束(如“邻近居民区限制”)需通过自然语言处理与专家经验联合解析。当前技术探索中,基于可信计算的数据血缘追踪技术可精准定位污染数据源,而轻量化联邦学习框架能在保障隐私的前提下实现跨区域数据质量协同优化,为智能选址提供高置信度的数据基底。

## 3 规划阶段智能选址模型与方法

### 3.1 宏观选址需求与数据输入

宏观选址需统筹电网长期发展与区域空间承载力的动态平衡,其核心在于挖掘多维度需求与约束的耦合关系。从需求侧看,长期负荷预测需兼顾区域经济增长、新能源渗透及用户行为演变,而供给侧则需评估现有电网容量裕度及扩容潜力,二者共同划定变电站布局的战略方向。数据输入体系需覆盖电力、地理、社会经济的全要素信息。电力运行数据(如历史负荷曲线、设备老化率)为负荷预测提供时序基准;地理空间数据(地形起伏度、生态红线)通过栅格化处理生成选址禁区与优先区;社会经济数据(人口迁移趋势、产业规划)则用于预判未来能源需求的时空异质性<sup>[1]</sup>。值得注意的是多源数据的时空尺度差异对模型输入构成显著挑战,例如年尺度政策规划与秒级电力数据的融合需依赖本体论框架或知识图谱技术实现语义对齐。当前研究正从静态数据驱动转向动态交互模式,通过引入实时气象、用地变更等流式数据,增强宏观选址的响应敏捷性,而跨领域数据共享机制的完善仍是突破信息孤岛的关键路径。

### 3.2 多目标优化模型构建

多目标优化模型是平衡变电站选址中多元矛盾需求的核心工具,其设计需兼顾经济性、可靠性与可持续性的协同优化。从目标函数构建来看,经济维度聚焦投资成本、运维费用及土地资源的集约利用;可靠性维度则通过供电半径均衡度、容载比冗余度等指标量化电网韧性;可持续性维度进一步引入生态影响因子,如噪声污染范围、景观协调性等非传统约束<sup>[2]</sup>。在约束条件设计上,除电网容量、电压稳定性等物理限制外,还需整合地理空间刚性约束(如避让生态保护区、地质灾害频发区)与政策柔性引导(如区域发展规划权重)。当前主流求解方法可分为两类:其一是基于权重分配的标量化方法(如加权求和),依赖专家经验或熵权法动态调整目标优先级;其二是非支配排序的进化算法(如 NSGA-II、MOPSO),通过帕累托前沿生成多方案集供决策者权衡。值得注意的是,目标间的非线性冲突与动态耦合特性对模型求解效率提出挑战,例如环保成本骤增可能颠覆经济性最优解的地位。近年研究尝

试引入模糊逻辑或博弈论框架,以量化目标间的妥协空间,而基于强化学习的动态权重调整机制则为应对不确定性环境提供了新思路。未来模型需在可解释性与计算复杂度间寻求平衡,同时探索多目标协同优化的理论边界与工程实践的最优解域。

### 3.3 供电范围划分与站址优化

供电范围划分与站址优化的协同设计是平衡电网效率与公平性的核心命题。传统供电范围划分多基于几何学原理,例如 Voronoi 图通过空间距离划分服务区域,但其未充分考虑负荷密度差异与地理屏障的阻隔效应,导致理论模型与工程实践脱节。当前研究通过引入加权 Voronoi 算法,将负荷需求、线路损耗等因子量化为空间权重,实现服务半径的动态伸缩;同时,混合聚类方法(如 K-means 与 DBSCAN 结合)可兼顾负荷分布的聚集特性与地理连续性,避免孤岛式供电区的生成。站址优化则需在多目标框架下权衡经济成本与覆盖效率,例如遗传算法通过编码候选站址的经纬度坐标生成解集,并依据适应度函数(如最小化线损率、均衡负载率)迭代筛选;粒子群优化则凭借群体智能特性加速全局搜索,但其易陷入局部最优的缺陷仍需通过模拟退火等混合策略弥补。值得关注的是,电网拓扑约束的复杂性对优化算法提出更高要求,例如山地地形中线路迂回导致的等效距离修正、负荷中心迁移引发的动态权重调整,均需在模型中嵌入空间地理与时间序列的耦合分析。在实际应用中,可结合地形遥感数据与三维建模技术优化地理阻隔效应,例如通过数字高程模型(DEM)量化山体坡度对供电半径的衰减影响,动态调整 Voronoi 图的权重比例<sup>[3]</sup>。针对负荷波动场景,引入时序注意力机制增强聚类算法的动态适应性,将历史负荷的季节性特征与实时用电行为关联,优化负荷分区的时效性权重。此外,多目标优化的协同策略需兼顾全局与局部利益,例如融合合作博弈论量化不同利益主体(政府、电网、居民)的诉求优先级,生成多方认可的妥协解集。在极端天气频发背景下,模型需嵌入韧性评估模块,以停电概率、灾后恢复成本等指标修正适应度函数,确保站址方案的抗风险能力。未来可探索迁移学习技术,将高负荷密度城区的优化经验迁移至乡村新能源接入区,减少重复建模的算力消耗,推动规划效率的跃升。

### 3.4 功能实现与验证

功能实现与验证是衔接理论模型与工程实践的核心环节,目标在于构建可落地的智能选址系统并确保其决策

可信度。功能实现层面,系统架构需整合数据层、算法层与应用层。数据层依托分布式存储技术(如 Hadoop)实现多源数据的实时存取;算法层通过模块化设计支持多目标优化、空间分析等模型的灵活调用;应用层则借助 GIS 平台或三维可视化引擎(如 Cesium)将抽象结果转化为可交互的选址热力图与方案对比视图。验证方法需覆盖技术性能与业务价值双重维度,技术验证通过仿真对比实验(如与传统经验法、单目标优化法的结果差异)评估模型的收敛速度与解集质量;业务验证则依赖专家评议与历史案例回溯,例如比对模型推荐站址与人工规划方案的吻合度,或通过灵敏度分析检验模型对政策突变、负荷波动的鲁棒性。值得注意的是,功能实现需嵌入人机协同机制,例如允许规划人员手动调整优化权重或引入领域知识修正候选站址,而验证过程则应避免“过拟合历史数据”的陷阱,需通过前瞻性推演(如模拟新能源大规模接入场景)验证模型的泛化能力。当前技术瓶颈在于动态数据更新与模型自优化的实时性矛盾,未来或需探索边缘计算与轻量化模型的结合,以实现“规划-验证-迭代”闭环的工程化部署。

## 4 结语

变电站智能选址的技术演进,本质上是电力系统规划从经验依赖型向数据-知识双驱动模式的结构转型。通过地理信息、负荷预测与设备状态的动态耦合,建立了多目标优化算法与时空约束建模方法,显著提升了选址方案在新能源消纳、供电可靠性及土地资源利用等维度的协同能力。当前实践表明,数据壁垒(如跨部门共享机制缺失)与算法局限性(如高维非凸优化中的局部最优陷阱)仍是制约规模化应用的主要瓶颈,而数字孪生技术通过构建物理-虚拟映射模型,为选址参数的动态修正提供了新的解决思路。

### [参考文献]

- [1]徐华秒,张军伟.基于大数据的变电站智能选址研究[J].电力勘测设计,2020(2):129-134.
- [2]张旭阳,章剑光,谢天祥,等.基于物联网大数据的变电站远程选址研究[J].自动化技术与应用,2023,42(7):112-114.
- [3]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].北京:华北电力大学(北京),2022.

作者简介:谷裕(1988.6—),毕业院校:沈阳建筑大学,所学专业:电气工程及其自动化,当前工作单位:沈阳市规划设计研究院有限公司,职务:项目总监,职称级别:高级工程师。