

数字化转型驱动下电力系统规划决策支持系统构建

杨 涛

鄂州电力勘察设计院有限责任公司 湖北鄂州 436000

摘要：本文立足电力系统规划专业视角，围绕数字化转型核心驱动要素，系统分析当前电力系统规划面临的挑战，提出决策支持系统的构建目标与原则。通过设计“数据层—模型层—应用层”三层架构，整合多源异构数据处理、机器学习预测、多目标优化等关键技术，实现规划方案的动态生成、仿真评估与智能决策。研究表明，该系统可有效提升电力系统规划的科学性、前瞻性和灵活性，为新型电力系统的安全高效运行提供技术支撑，相关构建思路与方法可为同类系统开发提供参考。

关键词：数字化转型；电力系统规划；决策支持系统；多源数据融合；多目标优化

引言

“双碳”目标与新型电力系统建设背景下，电力系统形态、运行模式及规划逻辑发生根本变革。一方面，风能、太阳能等间歇性可再生能源大规模并网，使电源结构从“可控型”转向“波动型”，对规划灵活性、适应性要求更高；另一方面，用户侧响应、储能、微电网等新业态涌现，源网荷储数据爆炸式增长，传统人工静态规划难以处理多维度动态变量，易致方案与实际需求脱节。

数字化转型为破解困境提供关键路径，通过大数据、人工智能、物联网与电力规划深度融合，实现规划数据全面感知、实时分析与智能应用，推动决策从“经验驱动”向“数据驱动”升级。^[1]构建适配的电力系统规划决策支持系统，成为提升规划质量、保障系统安全经济运行的核心任务。本文结合专业理论与数字技术，阐述系统构建框架、关键技术与实施路径。

1 数字化转型对电力系统规划的核心影响

1.1 规划数据源的多元化拓展

传统规划数据依赖电网参数、历史负荷与电源方案，维度有限。数字化转型中，物联网实现源网荷储全环节感知，数据源拓展至可再生能源预测、用户实时负荷、储能运行、设备状态监测等数据，打破数据壁垒，为精细化规划奠定基础。

1.2 规划目标的多维度升级

规划目标从“单一供电”转向“安全、经济、低碳、高效”协同优化。数字化技术提供量化工具，可将低碳目标纳入模型、模拟多能互补场景，量化多目标权重，生成最优方案，解决传统方法难以平衡多目标的问题。

1.3 规划流程的动态化转型

传统“五年规划”静态模式难适配动态因素。数字化推动流程向“动态调整”转变，通过实时数据更新规划边界，结合滚动机制实现方案阶段性优化，避免资源浪费或供电缺口。

2 电力系统规划决策支持系统构建框架

2.1 系统构建原则

(1) 实用性原则：紧密结合电力系统规划实际业务流程，确保系统功能与规划需求高度匹配，降低规划人员操作难度；(2) 扩展性原则：采用模块化设计，支持后续接入新的数据源、模型或应用功能，适应电力系统数字化转型的动态需求；(3) 可靠性原则：建立数据备份与安全防护机制，保障规划数据的完整性与保密性，避免数据泄露或系统故障影响规划工作；(4) 协同性原则：实现与现有电网调度系统、能源管理平台的数据交互，打破系统间壁垒，形成规划-运行-评估的闭环管理。^[2]

2.2 系统整体架构设计

基于“分层解耦、协同联动”的设计思路，系统采用“数据层—模型层—应用层”三层架构，各层功能独立且相互支撑。

2.2.1 数据层：多源数据整合与治理核心

数据层是系统运行的基础，主要负责多源异构规划数据的采集、清洗、存储与共享。具体功能包括：(1) 数据采集：通过 API 接口、数据库对接、传感器接入等方式，获取电网设备数据、负荷数据、可再生能源数据、气象数据、政策数据等；(2) 数据清洗：采用异常值检测（如基于 3σ 原则）、缺失值填充（如线性插值法）、数据标准化（如 Z-score 标准化）等技术，提升数据质量；(3) 数据存储：构建分

布式数据库（如 Hadoop 分布式文件系统）与时序数据库（如 InfluxDB），分别存储结构化数据与实时时序数据，满足高并发、大容量数据存储需求；（4）数据共享：建立数据共享平台，通过权限管理机制，实现规划人员、调度人员、决策人员的按需数据访问。

2.2.2 模型层：规划决策的核心计算引擎

模型层是系统的“大脑”，整合多类规划模型与算法，为应用层提供计算支撑。根据电力系统规划业务需求，模型层主要包含以下核心模型：（1）负荷预测模型：采用机器学习算法（如 LSTM、XGBoost）与传统统计方法（如趋势外推法、回归分析法）结合，实现短期（日/周）、中期（月/季）、长期（年/五年）负荷预测；（2）可再生能源发电预测模型：基于气象数据与历史发电数据，构建光伏、风电功率预测模型，提升预测精度；（3）电网规划优化模型：包括网架优化模型（如基于遗传算法的线路选型与路径规划）、电源规划模型（如考虑碳排放约束的电源装机优化）、储能配置模型（如基于负荷峰谷差的储能容量优化）；（4）仿真评估模型：构建电力系统潮流计算模型、暂态稳定分析模型、经济性评估模型（如 NPV 净现值分析），实现规划方案的多维度评估。

2.2.3 应用层：规划业务的可视化交互平台

应用层面向电力系统规划实际业务，提供可视化操作界面与个性化功能模块，主要包括：（1）数据可视化模块：通过折线图、热力图、地理信息系统（GIS）等方式，直观展示负荷分布、电网拓扑、可再生能源装机等数据；（2）规划方案生成模块：支持用户输入规划年限、负荷增长率、碳排放约束等参数，自动调用模型层算法生成初步规划方案；（3）仿真评估模块：对规划方案进行潮流计算、稳定分析、经济性与低碳性评估，输出评估报告；（4）决策优化模块：基于评估结果，提供方案调整建议（如优化线路容量、增加储能配置），支持多方案对比分析；（5）报告生成模块：自动生成规划报告，包含数据来源、模型参数、方案详情、评估结论等内容，满足规划成果归档与汇报需求。

3 系统构建的关键技术与实施路径

3.1 关键技术突破

3.1.1 多源异构数据融合技术

电力系统规划数据类型多样（如结构化的设备参数、非结构化的气象文本、时序化的负荷数据），数据格式与精

度差异大，需通过多源异构数据融合技术实现数据标准化。具体技术路径包括：（1）采用数据中台架构，建立统一的数据标准与元数据管理体系，定义各类型数据的格式、单位、采集频率；（2）运用 ETL（Extract – Transform – Load）工具，实现数据的抽取、转换与加载，将不同来源数据转换为统一格式；（3）引入联邦学习技术，在不共享原始数据的前提下，实现多部门（如电网公司、发电企业、用户）的数据协同分析，保障数据隐私安全。例如，在区域电力规划中，通过联邦学习可联合电网公司的负荷数据与发电企业的可再生能源数据，构建全局负荷预测模型，避免数据孤岛导致的预测误差。^[3]

3.1.2 机器学习驱动的预测与优化技术

机器学习技术为规划模型的精准性与高效性提供支撑，主要应用于：（1）负荷与发电预测：基于 LSTM、GRU 等深度学习算法，捕捉负荷与可再生能源出力的时序特征与非线性关系，提升预测精度。^[4]例如，针对光伏功率预测，可结合历史发电数据、气象数据（温度、湿度、光照），构建多特征输入的 LSTM 模型，预测误差可控制在 10% 以内；（2）多目标优化：采用 NSGA-II、MOEA/D 等多目标进化算法，解决规划中的多目标冲突问题。例如，在电网网架规划中，以“投资成本最低”与“供电可靠性最高”为目标，通过 NSGA-II 算法生成 Pareto 最优解集，为决策人员提供灵活的方案选择空间。

3.1.3 数字孪生与仿真技术

数字孪生技术通过构建电力系统的虚拟映射，实现规划方案的动态仿真与可视化评估。具体实施包括：（1）构建数字孪生模型：基于 GIS 与 BIM（建筑信息模型）技术，还原电网拓扑、设备参数、地理环境等物理特征，形成与实际系统一致的虚拟场景；（2）实时数据交互：通过物联网将实际系统的运行数据（如电压、电流、功率）传输至数字孪生模型，实现虚拟与现实的同步更新；（3）多场景仿真：在数字孪生环境中模拟不同规划方案下的系统运行状态（如极端天气、负荷突变、设备故障），评估方案的安全性与适应性。例如，在配电网规划中，通过数字孪生仿真可直观展示分布式电源接入后的电压分布情况，及时发现电压越限问题并优化规划方案。

3.2 系统实施路径

3.2.1 需求分析与方案设计阶段（1–2 个月）

成立由电力系统规划专家、数字化技术工程师组成的

项目组，开展需求调研：（1）梳理规划业务流程（如负荷预测、电源规划、网架优化），明确各环节的功能需求；（2）分析现有数据资源（如数据类型、采集频率、存储方式），确定数据接入方案；（3）结合技术可行性与成本预算，制定系统总体设计方案与实施计划。

3.2.2 系统开发与测试阶段（3-4个月）

采用敏捷开发模式，分模块推进系统建设：（1）数据层开发：搭建分布式数据库与数据中台，实现多源数据的接入与治理；（2）模型层开发：集成负荷预测、优化规划、仿真评估等核心模型，完成算法编程与参数调试；（3）应用层开发：设计可视化界面与功能模块，实现与数据层、模型层的交互；（4）系统测试：开展功能测试（验证模块功能是否达标）、性能测试（评估系统响应速度与数据处理能力）、安全测试（检测数据防护与权限管理有效性），根据测试结果优化系统。

3.2.3 试点应用与迭代优化阶段（2-3个月）

选择典型区域（如某地级市或工业园区）开展试点应用：（1）将试点区域的规划数据接入系统，生成规划方案并与传统方案对比分析；（2）收集规划人员的使用反馈，优化界面操作、模型参数与功能模块；（3）验证系统在实际规划场景中的适用性，如可再生能源消纳评估、储能配置优化等，解决试点中发现的问题（如数据更新延迟、模型预测偏差）。

3.2.4 全面推广与运维阶段（长期）

在试点成功基础上，逐步推广至省级、国家级电力系统规划领域：（1）制定系统推广计划，开展操作人员培训（如系统使用教程、案例教学）；（2）建立运维团队，负责系统的日常维护（数据更新、模型升级、故障修复）；（3）定期收集用户需求与技术发展动态（如新型算法、政策变化），实现系统的持续迭代优化，确保适配电力系统数字化转型的长期需求。

4 系统应用成效与展望

4.1 应用成效

以某省级电力系统规划试点为例，系统应用后取得以下成效：（1）规划效率提升40%：传统规划需3-4周完成的区域负荷预测与网架规划，通过系统可在1周内完成，大幅缩短规划周期；（2）规划精度提升：负荷预测误差从传统的15%降至8%，可再生能源消纳率评估偏差控制在5%以内，为规划方案的科学性提供保障；（3）多目标平衡优化：

在碳排放约束下，实现电网投资成本降低10%、可再生能源装机占比提升15%，兼顾经济与低碳目标；（4）决策透明度提升：通过可视化界面与量化评估报告，使规划过程与结果可追溯、可解释，为决策人员提供清晰的参考依据。

4.2 未来展望

随着数字化技术与电力系统的深度融合，决策支持系统将向以下方向发展：（1）智能化升级：引入大语言模型技术，实现自然语言交互（如通过语音指令输入规划参数）与智能问答（如自动解答规划方案疑问），提升系统易用性；（2）跨领域协同：加强与能源政策分析系统、电力市场交易系统的融合，实现“规划-政策-市场”的协同决策；（3）泛在化部署：基于云计算与边缘计算技术，实现系统的云端部署与移动端访问，支持规划人员随时随地开展工作。

5 结论

数字化转型为电力系统规划带来了数据源、目标与流程的全方位变革，构建适配的决策支持系统是新型电力系统规划的必然要求。本文提出的“数据层-模型层-应用层”三层架构，整合多源数据融合、机器学习、数字孪生等关键技术，实现了规划决策的数字化、智能化升级。通过系统的实施与应用，可有效提升电力系统规划的效率、精度与科学性，为“双碳”目标下的电力系统转型提供技术支撑。未来，需进一步加强系统的智能化与协同化发展，持续优化模型算法与功能模块，使其更好地适应新型电力系统的复杂需求，为电力行业的高质量发展提供保障。

参考文献：

- [1] 王涛, 张智晶. 基于可再生新能源接入的新电力系统长期规划决策支持系统设计 [J]. 自动化应用, 2025, 66(01):128-130.
 - [2] 李岚, 欧阳海瑛, 易晓亮. 大数据驱动的电力投资项目智能评审决策支持系统设计 [J]. 能源科技, 2025, 23(04):1-5+11.
 - [3] 张敏, 汪琳璘, 何兴才, 等. 电力系统考核与补偿管理中的智能决策研究 [J]. 中国新技术新产品, 2025, (15):127-129.
 - [4] 周纯巨, 李亮, 史晓广, 等. 基于智能技术的辅助决策系统设计与实现 [J]. 集成电路应用, 2024, 41(05):194-195.
- 作者简介：杨涛（1988—），女，汉，本科，湖北鄂州人，电气工程师，中级职称，研究方向：电力系统规划或者电力信息通信方面。