

电气设计中的人工智能辅助决策系统开发

文 / 陆 灏 安徽人防建筑设计研究院

摘要：为提升电气设计过程中复杂问题的处理效率与智能决策水平，本文围绕人工智能辅助决策系统的构建路径与关键机制展开研究。文章在技术层面结合数据驱动的特征提取算法与知识图谱的语义建模，实现了电气设计规则的数字化转译与多源数据的可信融合。在优化策略方面，引入深度学习模型对负荷需求进行预测，结合多目标约束条件进行动态布线拓扑优化，并通过自动化冲突识别算法生成设计调整建议。在系统架构层面，本文搭建了涵盖动态知识库、智能推理引擎与人机交互界面的多模块体系，并进一步分析了模型适配性、可解释性及数据协同机制等核心挑战。研究表明，该辅助决策系统能够有效降低设计人员的认知负担，提升电气方案的稳定性、合规性与系统性，为建筑电气设计的智能化升级提供实证支撑。

关键词：人工智能；电气设计；辅助决策系统；知识图谱；多目标优化

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.16.104

引言

目前，随着人工智能技术逐步发展，人们对工业产品的精度及生产环境的舒适度要求越来越高。电气设计在建筑工程中承担着负荷分配、供电路径、控制逻辑等多项关键职能，其复杂性源自多目标约束、跨专业协同与运行安全等要求的高度耦合。传统设计模式依赖经验驱动与静态规则库，难以适应快速迭代与多变量交互场景的决策需求。人工智能技术的发展为电气设计领域带来了逻辑建模与数据演算的新能力，特别是在数据识别、模式提取与方案生成方面表现出较强适应力。辅助决策系统的构建，不仅涉及感知与识别技术的集成，也包含知识结构、推理算法与反馈机制的系统化部署。本文试图在融合人工智能方法与电气工程知识体系的基础上，探讨如何构建具备语义理解、多源协同与自适应反馈能力的辅助设计系统，以提升设计质量与智能响应水平。研究将聚焦于技术基础、优化逻辑、系统结构与集成挑战等多个维度，形成对未来电气智能设计体系的探索与理论支撑。

一、人工智能辅助决策系统的技术基础

（一）数据驱动的电气设计特征提取方法

作为一门刚刚发展壮大的科学技术，人工智能技术是计算机技术领域的一个重要分支。这项技术将原本需要人为参与的工作智能化，让机器自己本身自发完成相应的工作，进而解放劳动者的双手^[1]。目前，电气设计在建筑工程中的复杂性体现在布线拓扑、负载分配与设备选型等多维参数之间的非线性关系，而传统设计手段往往依赖人工经验进行判断，难以有效提取潜在规律。数据驱动方法在此背景下提供了结构化的解决路径，通过对历史项目数据的收集、清洗与建模，构建多维度特征向量以揭示设计行为背后的统计依赖关系。该过程不仅涉及对图纸信息的数字化解析，还需对设计文档、参数配置、施工反馈等非结构化数据进行语义归约与特征编码。高维数据中存在大量冗余与噪声，特征选择算法必须兼顾模型精度与泛化能力，以保障后续推理系统在不同项目环境中的稳定性。

（二）知识图谱与设计规范的语义化映射

电气设计过程所依赖的规范体系庞大且交叉密集，涉及电压标准、负荷等级、布线方式、安全要求等多个层级，常见文本表达形式逻辑复杂、语义含混，不具备直接用于机器理解的特性。知识图谱技术通过图结构对实体、属性及其关系进行建模，构建出可检索、可推理的知识空间，有效填补规则与数据之间的认知断层。在图谱构建过程中，需要对规范条款进行信息抽取、语义标注与实体链接，形成“设计场景-参数约束-合规规则”之间的映射关系网络，使辅助系统能够基于语义规则推导出合乎规范的设计选项。

（三）多源异构数据的融合与可信度评估

电气设计辅助系统所面对的数据来源广泛，包括CAD图纸、BIM模型、设备手册、项目日志、传感器数据等多种类型，其数据形式涵盖结构化表格、半结构化文档与非结构化文本或图像。这种异构性为智能系统构建带来了语义割裂、格式冲突与版本不一致等多重挑战，亟需构建统一的数据融合机制与可信度评估模型。如图1所示，在融合策略上，需引入基于实体识别与语义归一的映射规则，将异构信息规范转化为可解析的统一结构，同时标注数据来源、时间戳与上下文环境，形成多层次的信息关联网络。在可信度评估方面，系统需综合考量数据的来源权威性、时间有效性与上下文一致性，建立评估指标体系与打分机制，动态判定每一条数据在特定设计任务中的适用等级与参考优先级。

二、电气设计优化的智能决策逻辑构建

（一）基于深度学习的负荷预测与拓扑生成

电气设计中的负荷预测与拓扑构建，长期依赖线性规则与经验公式，在处理建筑结构复杂性、使用场景多样性与动态负荷变化等因素时，显露出响应滞后与适应能力不足的问题。深度学习技术的引入，使系统具备从历史数据中提取负荷演化规律、学习建筑功能属性与用户行为特征的能力，构建出以多维数据驱动的预测模型^[3]。在该框架下，建筑物的时序负荷需求被抽象为高

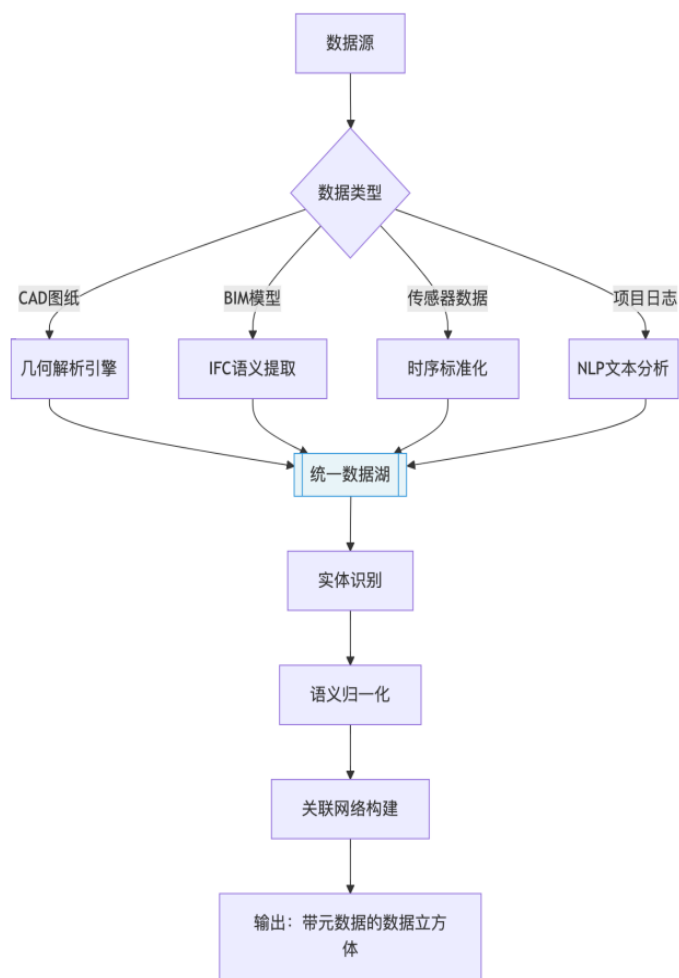


图1 异构数据融合流程图

维向量空间中的分布图谱，神经网络通过层层特征变换与权重学习，实现对短时波动与长期趋势的复合预测。

(二) 多目标约束下的动态优化策略

电气设计任务往往同时面临经济性、安全性、可维护性、节能性等多重目标要求，这种目标空间的多维性导致单一优化模型难以兼顾全局需求，常出现局部最优替代整体平衡的问题。为应对这一挑战，构建具备动态调整能力的多目标优化策略，成为智能决策逻辑的重要构成。该策略通过引入 Pareto 前沿分析、进化计算与层次权重体系，将各类设计目标抽象为可量化的目标函数，并在约束边界内进行并行搜索与适应性评估。每一个设计方案在解空间中的定位，不再由单一性能指标驱动，而是由多维权衡后的综合得分决定。在这一框架中，优化引擎需持续响应外部参数波动，如负载需求变化、空间结构调整、材料参数更新等，实时更新解集并调度最优策略^[4]。动态性体现在算法对反馈信息的高频处理与解集更新机制上，使系统在应对不确定性因素时保持稳定性与敏捷性。

三、辅助决策系统的架构设计与功能模块

(一) 动态知识库的构建与更新机制

电气设计辅助决策系统中的知识库不仅是信息容

器，更是智能推理与语义交互的基础设施，其结构需要兼顾稳定性与可演化性，以支持系统在多场景、多版本、多标准下的持续运行。动态知识库的构建依赖于设计规范条目、专家经验规则、工程案例与材料参数等多源数据的提炼与重组，在结构层面需采用图谱结构或本体模型，对各类知识实体进行标准化建模与多层次关联映射。知识更新不再依靠人工维护，而是通过接口监听机制实时感知新规范发布、材料参数变更、用户交互行为等外部信息触发模型刷新流程^[5]。此机制内部包含内容版本管理、冲突检测、规则一致性验证与推理路径溯源等功能，使知识演化过程保持逻辑连续性与认知完整性。

(二) 智能推理引擎的规则 - 数据混合驱动模式

电气设计辅助决策的核心能力来源于推理机制对复杂任务的分解能力与决策路径的生成逻辑，智能推理引擎作为中枢模块，其运行模式决定了系统在面对不确定性、模糊性与约束冲突时的应对深度。混合驱动模式在此语境中指的是规则推理与数据推理的协同调度机制，即在显性知识逻辑与隐性统计规律之间建立交叉通道。规则部分依托知识库中结构化规则与约束条件，采用前向链式、后向回溯或图搜索算法对设计任务进行逻辑分解与路径规划；数据部分则通过深度学习、关联挖掘与案例匹配技术，对设计历史数据进行相似性计算与方案推导，输出多解集合与性能评估矩阵。混合机制的核心在于引入控制器对推理路径进行动态分流，在高置信度规则覆盖场景中倾向逻辑推理，在数据噪声较小区域释放统计预测优势，并通过策略融合层将多元输出统一映射至可操作的设计建议中。

(三) 人机协同的交互界面与反馈闭环设计

辅助决策系统并非封闭算法模型，其价值在于与用户的认知体系建立持续互动关系，构成人 - 系统共构的动态适应机制。人机协同界面的设计不仅关注信息展现的完整性，更重视交互流程的顺滑性、认知负荷的最小化与操作回馈的可追踪性。界面需具备多维视图切换能力，将复杂布线逻辑、多目标分析结果与规范约束图谱以图形化、层次化形式进行呈现，并配备交互式操作工具，如拖拽式回路编辑、语义化冲突定位与动态优化建议展示。用户在交互过程中所产生的选择行为、修改操作、偏好标记等数据需通过日志系统与行为模型实时捕捉，并转化为系统的学习样本^[6]。反馈闭环设计的核心是构建用户意图感知与系统行为调整之间的映射机制，保证系统在接收用户调整信号后能够基于优化策略与知识演化逻辑自动调整推荐路径、刷新推理链条与更新结果输出。

四、系统集成中的关键技术挑战

(一) 领域知识与通用 AI 模型的适配性优化

人工智能在电气设计决策场景中的引入，面临的首要障碍并非算法能力的不足，而是通用模型与专业知识

之间语义表达与推理范式的不匹配问题。领域知识具有高度结构化、规则密集、约束复杂等特性，与AI模型所依赖的概率学习、分布拟合、样本驱动机制存在内在张力。若不进行适配机制的深度建构，系统可能陷入低效泛化或误导性预测的逻辑陷阱。适配优化的核心在于建立一种跨层次映射框架，将电气设计中的符号规则、边界条件、构件逻辑转译为可训练的嵌入表示，再通过模型结构调整、输入输出接口改写以及损失函数重构实现知识-数据的高融合^[7]。适配性优化还需考虑不同任务阶段中知识密度与模型复杂度之间的动态匹配策略，使得模型在训练过程中能够随着任务迁移自动激活或压缩相关参数通道，形成可调节的认知空间，有效突破传统AI在专业场景中出现的泛化阻滞。

（二）决策过程的可解释性与合规性验证

在电气设计这类高安全性要求的工程决策场景中，模型输出的可解释性不仅关乎用户信任，也直接关系到方案能否获得监管通过与施工执行许可。传统黑箱模型在提供预测结果时往往无法追溯其内部因果链路，导致设计人员在面对复杂方案生成时无法判断其符合规范的逻辑来源。构建可解释性体系需要在模型架构、推理路径、输出表现等多个维度进行技术干预，包括引入可视化路径分析模块、注意力权重热力投影、决策节点溯源工具等形式，协助用户还原AI判断过程中的关键变量与信息流向。

五、未来智能化发展的理论方向

（一）跨领域知识迁移与自适应学习框架

电气设计辅助系统所依赖的智能模型，在当前阶段往往局限于特定语境与封闭领域中的知识训练，难以实现对多场景、多任务的通用化理解。跨领域知识迁移技术提供了一种突破路径，其本质在于将非结构化或异质性场景中积累的知识表示与推理逻辑，迁移至新的设计任务或建筑类型中，维持模型性能的稳定性与适应力。知识迁移的核心难点在于领域之间语义张力的解构与重构，不同专业术语、任务规则、设计目标之间存在语义映射缺口，需通过中介特征空间构建隐含关系的桥梁结构，使预训练模型在迁移过程中保留原始感知能力，同时适配新环境下的表达方式与判断边界。

（二）边缘计算与分布式决策系统的融合路径

随着建筑场景中智能感知设备的普及与数据节点的泛在部署，传统集中式AI架构在响应速度、带宽利用与能耗控制等方面暴露出结构性瓶颈。边缘计算架构提供了更靠近数据源的处理能力，使电气设计辅助系统能够在局部环境中实现实时计算、局部决策与快速反馈。分布式决策系统则进一步将整体智能系统拆解为若干自治单元，每个节点具备自主计算、局部推理与跨节点协同能力，形成多中心联动的智能网络。融合路径需建立任

务分发逻辑与模型切分规则，将设计过程中的不同子任务如负荷预测、布线拓扑优化、冲突识别等划分至对应边缘节点，由本地模型处理并向中心系统提交结构化结果^[8]。在边缘节点资源受限的前提下，需引入轻量化神经网络与压缩表示模型，提升处理效率与鲁棒性。多节点之间通过异步通信机制保持状态一致性，并结合共识算法协调全局约束，确保局部最优方案在合并过程中不破坏全局合规性与可控性。

结语

本文围绕人工智能辅助电气设计决策系统的开发问题进行了多维度探讨，从技术基础、决策逻辑、架构功能到系统集成难点，构建了较为完整的研究框架。在数据层面，构建了基于多源异构数据融合的设计特征提取机制，并通过知识图谱技术对行业规范进行语义映射，确保系统具备对设计规则的深度理解与推理能力。在优化策略方面，结合深度学习完成负荷预测与布线拓扑生成任务，并引入多目标约束与设计冲突识别模块，推动辅助系统在应对复杂设计任务中具备更高的动态适应能力。系统架构方面，建立了包含知识库、推理引擎与人机交互界面的复合系统结构，实现规则与数据的混合驱动与反馈闭环的双向更新逻辑。在集成层面，解决了通用AI模型与领域知识的不对称问题，并在决策透明性、合规验证、在线离线协同等方面提出技术应对策略。结果显示，该系统可在设计复杂性与人工认知能力之间搭建智能桥梁，降低方案制定过程中试错成本与安全风险，提升多维设计指标的协同性与执行效率。在人工智能持续演化的背景下，电气设计辅助系统将成为智能建筑基础架构的重要组成部分，其应用前景具备高度拓展性与深度研究价值。

参考文献

- [1] 蓝一翔. 人工智能技术在电气自动化中的应用[J]. 科技传播, 2019, 11(04): 143-144.
- [2] 史志宏. 基于人工智能技术的电气自动化智能监控与数据研究[J]. 电气技术与经济, 2024, (11): 66-68.
- [3] 杨俊辉. 电气自动化控制中人工智能技术的应用分析[J]. 信息通信, 2018, (08): 286-287.
- [4] 郝昱翔, 侯宏霖. 电气工程中人工智能技术的应用分析[J]. 电子质量, 2024, (11): 15-18.
- [5] 韩莺波, 魏颖. 人工智能在电气自动化控制方面的实践运用分析[J]. 湖北农机化, 2019, (16): 53.
- [6] 刘宝国. 人工智能与电气自动化技术的融合创新应用[J]. 中国战略新兴产业, 2024, (14): 81-83.
- [7] 张鑫, 冯清. 人工智能在电气自动化控制中的应用[J]. 集成电路应用, 2021, 38(10): 142-143.
- [8] 孙新, 顾国业, 田忠. 人工智能技术在电气自动化控制中的应用分析[J]. 科技创新导报, 2018, 15(13): 2-3.