

智能化电力设计趋势及其关键技术分析

王 拓 申 洋 蒋 忠

中电建新疆勘测设计研究院有限公司 新疆 乌鲁木齐 830011

摘 要: 在新型电力系统与能源数字化转型推进下,传统电力设计模式弊端日益凸显,智能化升级成为行业发展必然趋势。本文阐述智能化电力设计的核心内涵、体系架构与发展阶段,总结其数字化、精准化、全生命周期一体化等发展趋势,重点剖析数字孪生、人工智能、物联网等核心关键技术的应用价值,梳理当前技术应用存在的瓶颈,并对行业未来智能化、标准化发展方向进行展望,为电力设计行业转型提供理论参考。

关键词: 智能化; 电力设计趋势; 关键技术

引言: 双碳目标落地与新能源大规模并网,推动电力系统结构持续革新,电力工程设计面临复杂化、精细化的全新要求。传统人工主导的设计方式效率低、迭代慢、协同性差,难以适配新型电力系统建设需求。依托大数据、人工智能、数字孪生等前沿技术的智能化电力设计应运而生。基于行业政策、技术发展与市场需求,本文系统分析智能化电力设计的发展基础、核心趋势与关键技术,助力电力设计行业数字化高质量升级。

1 智能化电力设计概述与发展基础

1.1 智能化电力设计核心内涵

(1) 智能化电力设计是以数字技术与人工智能为核心驱动,对电力规划、勘测、建模、仿真、出图等环节实施全流程智能升级的新型设计范式。它通过数据贯通与算法赋能,实现设计过程从经验主导走向数据驱动。(2) 其核心特征可概括为“五化”:数据采集与处理数字化、重复性工作自动化、分析计算精准化、多专业多环节协同化,以及依托数据反馈实现方案持续优化的闭环迭代化。(3) 与传统电力设计相比,根本区别在于:工作模式由人工串行转向智能并行协同;设计精度从宏观估算升级为精细量化;迭代效率大幅提升,支持快速方案比选;尤其适用于新能源大规模接入、配网复杂化等新型电力系统场景。

1.2 智能化电力设计体系架构

(1) 数据感知层:依托智能传感器、物联网终端及边缘计算设备,构建电力工程现场全域实时数据采集与预处理体系,实现地质、气象、设备状态、环境约束等多元数据的标准化接入与质量管控,为上层建模与决策提供准确、及时的数据底座。(2) 数字建模层:在数据感知基础上,开展电力工程三维精细化建模与电网拓扑

数字化重构,涵盖变电站、线路廊道、设备参数及电网连接关系的几何、物理与行为语义建模,形成可计算、可驱动、可交互的数字空间映射。(3) 智能决策层:以数字模型为载体,部署智能算法进行方案比选、仿真验算与参数优化,支持多目标约束下的自主寻优决策,实现从“人工经验判断”到“模型推演+智能择优”的决策模式升级。(4) 应用落地层:将智能决策成果贯穿于工程设计出图、施工组织指导及运维联动管控全场景,打通数字空间与物理世界的双向闭环,确保智能化设计价值在工程全生命周期中切实落地^[1]。

1.3 智能化电力设计发展支撑条件

(1) 政策支撑:国家相继出台“人工智能+能源”行动方案、新型电力系统建设指导意见等系列政策,明确将智能设计纳入能源数字化转型重点任务,为行业智能化发展提供了战略指引与制度保障。(2) 技术支撑:大数据存储与计算能力持续突破,AI算法在图像识别、时序预测、优化求解等领域日趋成熟,BIM与数字孪生技术实现跨阶段模型贯通,共同构成了智能化设计的技术能力矩阵。(3) 行业需求支撑:新能源大规模并网带来波动性挑战,存量配网升级改造需求迫切,电网安全稳定管控要求持续提升,多重刚性需求倒逼设计环节从静态出图向动态智能规划转型,形成强劲的市场驱动力。

1.4 智能化电力设计发展阶段演进

(1) 初级数字化阶段:以传统纸质图纸电子化、基础数据信息化处理为主要特征,实现设计成果的数字化存储与初步管理,但各环节仍以人工操作为主,信息化水平有限。(2) 辅助智能化阶段:设计软件集成计算分析模块,可辅助完成潮流计算、短路校验等重复性仿真任务,出图与验算实现初步自动化,设计师从繁琐计

算中部分解放,智能化工具开始嵌入设计流程。(3)全流程智能阶段:大数据、AI、BIM、数字孪生等技术深度融合,实现设计方案的自主优化生成、多专业协同设计、全生命周期数据闭环管理与持续迭代演进,标志着智能化电力设计进入成熟应用形态。

2 智能化电力设计核心发展趋势

2.1 设计流程全数字化、自动化趋势

(1)勘测设计一体化:集成无人机航测、激光雷达、倾斜摄影与移动采集终端,在现场完成地理信息、气象条件与电网拓扑的自动采集与实时回传,经由数据中台直接驱动建模出图流程,实现从勘测外业到设计内业的全链条无缝衔接,消除人工转绘环节的信息损耗与效率瓶颈。(2)设计迭代自动化:基于参数化建模与智能优化算法引擎,系统可根据边界条件动态生成多套备选方案,自动完成潮流计算、短路校核、设备选型对比等重复性工作,经多轮寻优后推送推荐方案,设计人员聚焦于关键决策点审核,显著提升迭代效率与产出质量^[2]。(3)全流程线上协同化:构建云端协同设计平台,支撑电气、结构、暖通、技经等多专业并行作业,实时同步设计成果、在线留痕审查意见,打破跨单位跨地域协作的信息壁垒,确保全流程数据的一致性与可追溯性。

2.2 设计模式智能化、精准化趋势

(1)AI赋能智能方案生成:基于深度学习对海量历史工程案例、设计规范及运行反馈进行语义理解与知识抽取,AI系统能够根据项目区位、负荷特性、资源禀赋等场景需求,自动匹配并生成最优电力设计方案,实现设计人员从繁琐的重复劳动向方案评审与创新优化的高价值角色转型。(2)仿真推演精准化:搭建高精度电力系统仿真模型,从机电暂态、电磁暂态、谐波分析到短路电流等多维度模拟各类运行工况与故障场景,在设计阶段提前识别电压失稳、设备越限等隐患,将风险管控关口前移,避免后期重大设计变更。(3)个性化适配设计:针对分布式光伏整县推进、电化学储能站、园区微电网及综合能源系统等新型场景,智能设计平台可根据场景特点灵活定制差异化方案与防护策略,实现“一场景一方案”的精准匹配,充分适应新型电力系统多样化、碎片化的建设需求^[3]。

2.3 设计运维一体化、全生命周期趋势

(1)设计与施工联动:智能设计成果自动生成标准化施工图纸、物料清单、工序指导与三维可视化交底材料,通过移动终端推送至施工现场,配合二维码或 NFC

标签实现设计意图的精准传达,有效减少施工偏差与设计变更,保障一次成优率。(2)设计与运维贯通:数字化设计模型作为“数字基线”完整移交至运维阶段,与设备在线监测、无人机巡检、红外测温等系统深度对接后,可实现设备状态实时评估、故障智能溯源与检修策略推荐,使设计价值从建设期向运营期持续延伸。(3)全生命周期闭环迭代:建立“设计-建设-运行-反馈”的正向循环机制,基于实际运行数据反向验证设计参数与选型策略,将运维阶段发现的问题与偏差转化为设计优化的输入,驱动设计标准和工程经验的持续迭代。

2.4 设计体系标准化、平台化趋势

(1)设计标准数字化统一:行业主管部门与龙头企业协同制定智能化设计数字化标准体系,从顶层设计层面统一流程规范、参数模板、成果交付格式及数据接口,为智能化设计的大规模推广与应用扫除标准层面的根本障碍。(2)一体化设计平台普及:集成三维建模、电气仿真、自动校核、智能出图及概算编制等全功能模块的综合性设计平台加速普及,设计人员无需在多款异构软件间反复切换,大幅降低学习成本与操作复杂度,提升整体设计效率^[4]。(3)数据资源中台化:构建电力设计行业数据中台,归集工程档案、设备参数库、典型方案模板及运行反馈等核心数据资产,经过清洗、标注与脱敏处理后实现跨项目、跨单位的数据互通与复用共享,为AI模型训练与智能化设计提供统一、优质的数据底座。

3 智能化电力设计关键技术及应用展望

3.1 数字孪生与BIM建模技术

(1)电力工程BIM三维建模技术:基于建筑信息模型标准体系,对变电站、输电线路、配电房等电力设施开展全要素参数化建模,涵盖一次设备、二次设备、建筑结构、电缆通道等所有对象的几何尺寸、材料属性及电气参数,构建高精度工程信息模型,实现设计成果从二维图纸向三维信息载体的全面升级,为后续仿真分析与全生命周期数据贯通奠定基础。(2)电网数字孪生构建技术:在BIM模型基础上深度融合实时采集数据、气象环境数据与电力系统物理机理模型,搭建覆盖输变配全环节的数字孪生体,实现物理电网在虚拟空间的多维度动态映射与同步演化,支持设计方案的多情景模拟推演以及运行态下的实时诊断与趋势预判。(3)技术应用优势:三维可视化设计极大提升工程表达与方案评审的直观性,自动碰撞检查可在出图阶段提前发现设备、管廊、构架间的空间冲突并优化布局方案,借助沉浸式虚拟漫游辅助施工交底与运维演练,有效降低设计失误差

与现场返工概率,提升整体工程建设质量。

3.2 人工智能与大数据分析技术

(1) 电力数据挖掘与分析技术:面向电网运行数据、历史负荷数据、气象环境数据及设备参数等多源异构信息,运用聚类分析、时序预测、关联规则挖掘等方法,提取设计所需的关键特征、演变规律与潜在关联,完成方案比选阶段的趋势研判与参数指导,为设计决策提供数据驱动的科学依据。(2) 智能算法优化技术:引入深度学习与强化学习等先进算法,对变电站选址定容、无功补偿配置、继电保护定值整定、导线截面选择等核心设计问题开展自主寻优,在海量参数空间中快速逼近全局最优解,突破传统经验公式与枚举比对方方法的效能瓶颈,显著提升设计方案的精细度与经济性^[5]。(3) 智能校核与诊断技术:基于知识图谱与规则推理引擎,构建设计成果自动审查系统,对电气主接线正确性、设备匹配合理性、防雷接地规范性、消防疏散合规性等进行全面排查,同时嵌入运行风险预判模块,在设计阶段提前识别潜在的过载、越限、振荡等隐患,将质量管控关口大幅前移。

3.3 物联网与边缘计算技术

(1) 电力场景全域感知技术:面向发电厂、变电站、配电线路及用电终端全环节,部署具备自适应能力的智能传感器网络与环境监测终端,实现对设备状态、气象条件、负荷波动等关键参数的连续实时采集,为智能设计的动态输入与方案验证提供可靠的数据源头。(2) 边缘计算轻量化处理技术:在靠近数据源头的站端或区域节点部署轻量化计算框架,就近完成数据清洗、异常剔除、特征提取与初步分析,有效降低骨干网络传输带宽压力与中心云端响应时延,同时保障偏远站点在弱网环境下的数据可用性与辅助分析的及时性。(3) 端边云协同设计技术:构建终端感知采集、边缘端快速响应预处理、云端深度挖掘与模型训练的分层协同架构。实时性要求高的数据处理在边缘端就地完成,历史大数据与复杂仿真训练在云端集中运算,二者协同驱动设计方案的快速迭代与精准调优,形成高效弹性的计算资源调度体系。

3.4 现存技术瓶颈与未来发展展望

(1) 当前技术应用瓶颈:行业数据标准尚不统一,不同厂商、不同系统间的数据接口与格式互不兼容,多技术融合与集成面临较高的适配成本与协同难度;同时,智能化设计软硬件在中小设计单位与基层项目中的部署投入依然较高,人才储备与技术维护能力相对薄弱,制约着先进技术的规模化落地与普惠应用。(2) 技术优化发展方向:着力研发轻量化智能算法以降低对高性能算力的依赖,推进通用化、模块化设计平台的开发以减少重复建设投入,加快建立覆盖数据采集、建模交付、成果归档全流程的标准化体系以打破异构系统间的互操作壁垒,三方协同发力持续降低技术应用门槛。(3) 行业未来发展展望:伴随核心算法突破、算力成本下降与标准体系完善,智能化电力设计将加速从当前“人机协同”阶段迈向“机器主导、人工审核”的过渡形态,并最终在常规场景下实现方案自主生成、成果无人化审核与决策智慧化判断的全覆盖,推动电力工程设计迎来从工具升级到范式变革的质的飞跃。

结束语

智能化电力设计彻底革新了传统电力工程的设计模式,实现了电力设计全流程的数字化与智能化升级,是新型电力系统建设的重要支撑。目前行业技术应用仍存在标准不统一、落地成本高、基层应用不足等问题。随着技术不断迭代、行业标准持续完善,智能化电力设计将逐步实现全场景智慧化落地,完成行业范式变革,全面赋能电力工程全生命周期建设与能源行业数字化转型发展。

参考文献

- [1] 张铭轩. 智能电网背景下电力设计数字化转型关键技术探析 [J]. 电工技术, 2025, 25(18): 45-48.
- [2] 孙凯. 人工智能驱动的电力电子设计与控制研究进展 [J]. 电工技术学报, 2025, 40(05): 117-120.
- [3] 陈宇. 深度强化学习与大语言模型协作的电力智能设计框架 [J]. 电工技术学报, 2025, 40(05): 113-121.
- [4] 李静茹. 基于人工智能的配电网规划技术研究现状与展望 [J]. 电力建设, 2025, 46(04): 232-240.
- [5] 黄加丽, 陈正非, 李志勇. AI 赋能的电力设计合规校验与智能生成关键技术研究 [J]. 电网与清洁能源, 2025, 41(03): 78-84.