

DOI: 10.13500/j.dlkcsj.issn1671-9913.2026.01.008

# 人工智能赋能电力规划的发展前景与挑战

李昊, 吴婧, 施春华, 王涛, 李晓璐  
(电力规划设计总院, 北京 100120)

**摘要:** 近年来人工智能进入高速发展阶段, 呈现出跨领域融合的显著特征。我国高度重视人工智能与电力领域的融合发展, 而目前相关应用实践大多聚焦于电力运行层面, 在电力规划层面的应用尚处于起步阶段。本文系统探讨人工智能赋能电力规划的发展前景与挑战。首先回顾人工智能技术的兴起及其在电力领域的应用现状, 分析新型电力系统规划对人工智能的迫切需求, 接着提出人工智能赋能的电力规划体系, 涵盖宏观分析、边界特性参数确定、电力电量平衡、安全稳定校核和中长期演化分析等各个环节, 最后讨论在数据、模型和算力方面的挑战并提出发展建议。本文旨在为推进电力规划智能化提供系统性方法论参考, 并为应对新型电力系统规划挑战提供新思路。

**关键词:** 人工智能; 电力规划; 需求预测; 电力电量平衡

**中图分类号:** TK01; TP18 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-9913(2026)01-57-07

## Prospects and Challenges of Artificial Intelligence-Empowered Power System Planning

LI Hao, WU Jing, SHI Chunhua, WANG Tao, LI Xiaojun  
(China Electric Power Planning & Engineering Institute, Beijing 100120, China)

**Abstract:** In recent years, artificial intelligence has entered a phase of rapid development, marked by significant cross-domain integration. China attaches great importance to the integrated development of AI and the power sector. However, current applications and practices predominantly focus on power system operation, while their application in the field of power planning is still in its early stages. This paper systematically explores the development prospects and challenges of AI-empowered power planning. It begins by reviewing the rise of AI technology and its application status in the power sector, followed by an analysis of the urgent needs of new-type power system planning for AI. Subsequently, it proposes an AI-empowered power planning system covering various stages such as macro-analysis, determination of boundary characteristic parameters, power and energy balance, security and stability checks, and medium- to long-term evolution analysis. Finally, it discusses challenges related to data, models, and computing power, and proposes development recommendations. This paper aims to provide a theoretical reference for advancing the intelligentization of power planning and to support the construction of China's new-type power systems.

**Keywords:** artificial intelligence; power system planning; demand forecasting; power balance

\* 收稿日期: 2025-12-12

第一作者简介: 李昊(1994—), 男, 博士, 高级工程师, 从事电力规划方向工作。

## 0 引言

随着大模型等技术的突破，人工智能进入高速发展阶段，全球人工智能领域投资规模持续增长，技术研发呈现出跨学科、跨领域融合的特征。我国高度重视人工智能与各领域的深度融合，国务院发布的《新一代人工智能发展规划》明确提出，要推动人工智能与能源、电力等基础行业的创新融合发展。国家能源局印发的关于加快推进能源数字化智能化发展的若干意见强调，要构建智慧能源系统，推动人工智能技术在新型电力系统的深度应用。国家发展改革委、国家能源局关于推进“人工智能+”能源高质量发展的实施意见进一步明确了人工智能与能源电力融合的具体发展场景。上述政策为人工智能赋能电力领域提供了坚实的制度保障。

人工智能在电力系统中的应用主要集中在运行层面，在电力规划领域的应用尚处于初步探索阶段。现有研究仅针对规划流程中部分环节开展人工智能算法设计或场景实践，如电力负荷与新能源预测等，而缺乏对人工智能如何系统性赋能电力规划全流程的整体性探讨。本文基于相关学术研究和实践基础，定位于推动电力规划在实践应用层面的智能化发展，创新性地构建了人工智能赋能电力规划的系统性框架体系，并明确了各环节智能化的具体实现路径。本文首先从技术演进与实际应用两个维度分析发展背景；其次，剖析新型电力系统背景

下电力规划工作面临的关键挑战；进而，提出涵盖宏观分析和电力需求预测、边界特性参数确定、电力电量平衡、安全稳定分析、中长期演化分析等环节的电力规划智能化方案；最后，从数据、模型、算力三个维度分析面临的挑战并提出发展建议。

## 1 人工智能的兴起与在电力领域的应用

自1956年达特茅斯会议正式确立“人工智能”学科以来，人工智能在发展中经历了数次浪潮，特别是近年来以大模型为核心的技术突破推动人工智能开启新一轮飞速发展。技术上，人工智能可大致划分为符号主义、连接主义、行为主义三大流派。其中，符号主义基于符号进行逻辑推理和知识表示，包括专家系统、知识图谱，以及机器学习中多元回归、k-means、支持向量机、决策树等预测、聚类、分类技术；连接主义模仿人脑神经元的连接，包括深度学习等各种神经网络模型；行为主义旨在通过与环境的交互和不断试错学习行为策略，核心是强化学习技术。上述流派也在不断融合创新，如围棋程序AlphaGo所基于的深度强化学习技术是连接主义与行为主义相结合的典范，大模型则是三种流派技术的协同融合。

目前电力人工智能技术已在电网调度、设备运维、新能源管理等领域开展了广泛而深入的实践<sup>[1-4]</sup>，具体代表性应用见表1所列。

表1 人工智能在电力系统的代表性应用

项目	符号主义	连接主义	行为主义
擅长领域	有明确规则和深层领域知识的任务	海量数据的预测和感知任务	在复杂动态环境中进行连续决策的任务
具体环节	设备故障诊断：基于工程经验构建规则库，整合设备台账、运行数据、缺陷记录等多源信息形成知识图谱； 电力需求预测：基于多元回归等考虑气温、经济等因素进行预测	电力需求和新能源出力预测：基于深度学习技术(如长短期记忆网络)学习负荷与天气、日期类型等因素的复杂非线性关系，以及历史风光数据与未来出力的映射关系； 设备状态智能巡检与图像/视频分析：基于深度学习的计算机视觉技术(如卷积神经网络)自动分析无人机巡检拍摄的图片，精准识别绝缘子破损、金具锈蚀等缺陷	电力市场参与者优化决策：强化学习智能体可以通过在虚拟市场环境中进行大量交互训练，形成在市场中最大化自身收益的决策模式； 微电网实时优化运行：强化学习智能体通过与电网仿真环境交互，自主学习如何协调控制内部分布式资源
优势	可解释性强、逻辑清晰、推理过程透明、易于嵌入专家知识	表示能力强、善于从海量数据中挖掘复杂模式、容错性好、自适应学习	在线学习能力强、能适应动态变化的环境、支持序贯决策优化
局限	知识获取瓶颈、难以处理不确定性和模糊问题、自适应能力较弱	“黑箱”模型、可解释性差、依赖大量高质量数据、计算资源消耗大	训练过程不稳定、探索存在安全风险、收敛性难以保证、仿真到现实的迁移差距

在发展阶段上，电力人工智能整体处于试点应用向规模化推广的过渡阶段。如国家电网光明电力大模型可实现智能巡检巡视、配电网运行辅助决策、新能源高精度预测等；南方电网“大瓦特”模型可实现故障预警识别、电网态势感知和辅助决策等；国家能源集团“擎源”大模型可实现设备监测管理、梯级水库调度、火电燃料管控、电力市场价格预测等；其他电力企业也陆续构建本地化大模型体系。在学术研究层面，目前在规划部分环节已开展深入探索，如基于深度学习的电力负荷预测<sup>[5-6]</sup>、新能源预测<sup>[7]</sup>，基于强化学习的输电网规划<sup>[8]</sup>、配电网规划<sup>[9]</sup>，但相关研究大多聚焦于特定环节理论研究和算法设计，尚未构建“人工智能+电力规划”的系统性框架，且与实际工程应用之间仍需进一步衔接。总体而言，从应用实践看，目前电力行业人工智能主要应用于运行层面，在电力规划层面如何实现与人工智能的高效融合和协同创新尚待深入分析研究。

## 2 新型电力系统规划对人工智能的需求日益强烈

面向新型电力系统的电力规划是促进我国电力行业发展的重要工作。新型电力系统的高比例新能源和高度电力电子化特征将深刻改变系统的平衡模式与安全稳定机理，传统基于确定性场景和偏重稳态分析的规划方法将难以适应，亟需充分发挥人工智能在数据挖掘、逻辑推理、优化决策方面的优势，优化提升电力规划技术水平，推动电力规划工作高质量开展。

### 2.1 系统平衡方面

电源侧新能源具有强随机性、波动性、间歇性、时空分布特性，使得电力电量平衡由确定性问题转变为概率性问题；需求侧用电模式与经济社会发展的耦合不断加深，各类新型电力负荷不断涌现，用电量、负荷特性、需求响应分析难度不断增加；传统“源随荷动”的平衡模式将向“源荷互动”模式变革，平衡机理更加复杂<sup>[10]</sup>。传统规划方法通常考虑典型日、极端工况等有限场景，难以覆盖新型电力系统海量运行状态，也难以对气象、负荷、市场等多重不确定因素进

行量化风险评估。人工智能可基于数据与模型混合驱动技术，显著提升新能源发电、负荷需求的预测精度，基于数字孪生技术构建虚拟电网镜像，允许规划人员在数字世界中对各种极端场景和规划方案进行反复推演和安全性验证，从而提升系统运行模拟水平。

### 2.2 安全稳定方面

新能源占比上升导致同步发电机提供的转动惯量下降、电压支撑能力不足<sup>[11]</sup>，系统的稳定基础被削弱，稳定机理发生深刻变革。大电网主导的发展模式也向交直流混联大电网与有源配电网、微电网并存转变，故障特性空前复杂。对电力规划而言，其主要关注惯量、电压支撑能力等结构性稳定问题，在传统规划流程中将安全稳定校核环节后置，需要反复迭代、大量计算，导致规划工作效率较低。并且传统规划方法对安全稳定机理变化及应对的分析相对偏弱，亟需发挥人工智能在数据挖掘、逻辑推理等方面的优势，辨识系统稳定特性，辅助研究新型稳定机理，强化规划的安全稳定性能。

## 3 “人工智能+”电力规划体系构建

结合人工智能技术成熟度和新型电力系统发展需求，本文提出人工智能赋能的电力规划体系，如图1所示，涵盖宏观分析和电力需求预测、边界特性参数确定、电力电量平衡、安全稳定分析、中长期演化分析等环节，实现规划全环节智能化，提升规划效率，满足新型电力系统发展要求。

### 3.1 宏观分析和电力需求预测方面

当前主要基于经济增长水平、人口变化、各行业发展前景等因素，采用电力弹性系数法、用电单耗法、人均用电量法等技术预测用电量，并基于用电结构、最大负荷利用小时数等预测用电特性和最大负荷。上述方法主要聚焦GDP、人口等少量关键影响指标进行预测，而其他经济社会发展因素对用电需求也具有一定程度显性或隐性影响，传统方法受限于模型复杂度和对相关影响机理的认知，难以全面考虑各种因素进行预测。

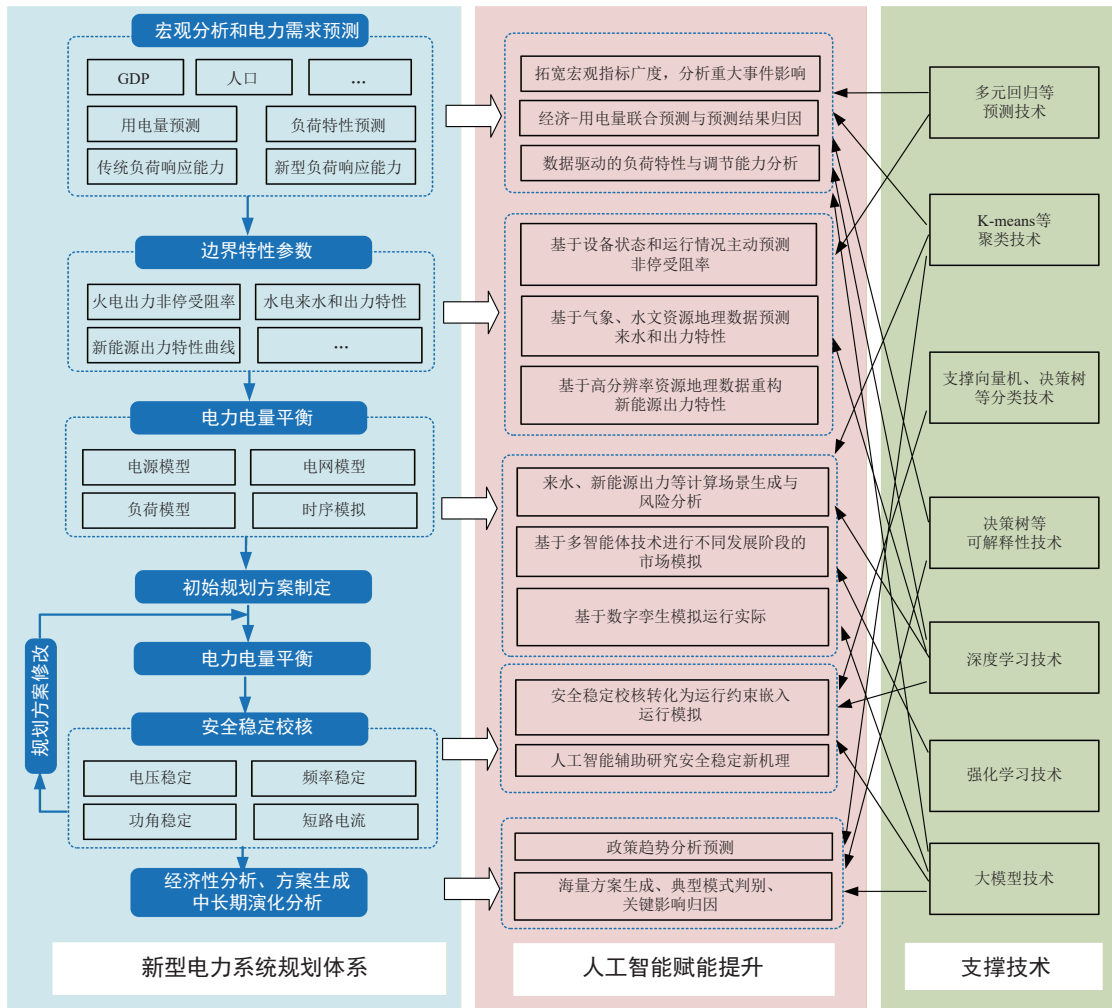


图1 人工智能赋能的电力规划体系

人工智能可基于数据挖掘技术，从海量数据中自动挖掘各类因素对用电需求的影响机理，在宏观经济、用电量、用电特性预测等方面对传统方法优化完善。一是可基于大模型等技术全面考虑经济社会海量发展因素优化宏观分析，特别是可分析重大事件对宏观发展的影响程度，夯实电力需求预测的基础支撑；二是可基于多元回归、深度学习等技术，大幅拓展输入变量类型和规模，考虑更全面因素开展宏观经济与电力需求的联合预测，并可基于决策树等技术对预测结果进行归因，增强可解释性；三是可基于对高耗能行业、采暖制冷负荷等传统负荷，以及高端装备制造、电动汽车充放电等新型负荷在内的各类负荷监测数据，采用深度学习等技术分析用电行为，生成典型负荷曲线及负荷可调节空间，并开展综合负荷特性分析、市场

环境下负荷侧调节潜力测算等工作。

### 3.2 边界特性参数确定方面

边界特性参数包括火电出力非停受阻率、水电来水和出力特性、新能源出力特性曲线等，当前非停受阻率主要基于历史统计情况和对未来的定性预期确定，水电和新能源出力特性曲线大多基于多年平均或某年实际出力确定。上述方法难以精细化确定相关参数，对来水特性、新能源资源时空相关特性的刻画较为粗糙。

人工智能可通过对海量多维数据的统计分析精细化确定边界特性参数。对于火电非停受阻情况，可通过对海量机组设备状态和运行情况的监测统计，基于深度学习等技术主动预测规划期内设备的非停受阻水平。对于水电来水出力特性，可基于历史长周期水文、气象等海

量资源地理数据,结合大模型对规划期气候、水文条件的预测情况,采用多元回归、神经网络等技术开展预测。对于新能源出力特性,可在高时空分辨率、长时间跨度的资源地理数据基础上,通过数据清洗、分型、重构等手段,对不同区块新能源出力特性曲线进行高精度重构,提升新能源预测的时间、空间分辨率,充分反映不同地理环境新能源资源特性、新能源时空相关性等精细化特征。

### 3.3 电力电量平衡计算方面

当前规划中电力电量平衡分析主要是在电力系统各类元件运行特性建模的基础上,通过启发式或数学优化方法,基于多典型日数据或8 760 h 时序数据开展全年运行模拟<sup>[12]</sup>。该方法主要用于分析可再生能源常规出力场景下的运行情况,难以统筹考虑来水极枯、长时无风无光等极端场景的风险水平,且难以反映电力市场建设过程中不同市场化阶段下系统实际运行情况。

人工智能可通过极端场景生成、基于多智能体的电力市场模拟、数字孪生等技术,提高运行模拟准确性、增强规划韧性。一是可通过经典聚类技术、深度学习等方式,生成水电、新能源的典型出力场景和极端出力场景以及对应的概率水平,便于开展运行风险分析;二是可通过基于多智能体的人工智能技术模拟电力市场运行过程,每个市场参与者都可被建模为一个智能体,以最大化自身利润为目标参与市场交易,进而模拟不同市场规则下的运行情况;三是远期可通过数字孪生技术,建立电力系统的数字孪生模型,可将实际物理系统的状态映射到数字化虚拟世界中,最大程度模拟系统运行实际。

### 3.4 安全稳定校核方面

当前规划中安全稳定分析主要是通过通过对初步规划方案在各种典型运行方式和典型故障下的安全稳定计算,确定规划方案的安全稳定性,如不满足要求则修改规划方案并重新进行运行模拟、稳定校核等。该方式需要反复迭代调整,计算量较大。

人工智能可探索将安全稳定校核转化为约束条件直接嵌入规划模型,实现约束前置,减

少迭代工作量。可通过经典分类技术、多元回归、深度学习等方式,将频率、电压等部分安全稳定要求转化为约束条件,直接嵌入考虑运行模拟的规划模型中,从而直接生成满足相关安全稳定约束的规划方案。例如,有研究通过边界拟合将频率稳定边界转化为线性约束<sup>[13]</sup>,还有研究基于斜回归树提取静态电压稳定规则<sup>[14]</sup>,此外,也有研究基于模拟仿真与机器学习方法构建代理模型替代传统电磁暂态仿真<sup>[15-16]</sup>,可基于此进一步探索将近似代理模型转化为可嵌入规划的约束条件。远期,可基于大模型等技术在逻辑推理、数据分析等方面的优势,辅助研究电力电子化新型电力系统安全稳定新机理,实现电力领域人工智能驱动的科学探索(AI for science, AI4S)。

### 3.5 电力系统演化分析方面

当前对电力系统中长期演化的研究较少,已有研究主要基于发展预期进行定性判断或人为设定高中低水平等发展场景进行大致匡算,所设发展场景难以保证典型性,且未充分考虑远期发展的政策、技术、经济不确定性。

人工智能可辅助预测中长期不确定性,生成海量发展情景并研判典型发展路径。一是可基于大模型技术在语义理解和逻辑推断等方面的核心优势,深入分析国内外政策核心并对政策发展方向开展多场景预测,建立政策发展的关键量化指标;二是可将基于模型的传统规划方法和基于数据的人工智能方法协同融合,在远期不确定性环境下以传统规划方法生成海量规划结果,并作为人工智能分析的基础数据;三是通过聚类分析等技术,在海量发展情景中辨识典型发展路径,并运用决策树等技术辨识影响远期发展的关键因素。基于人工智能技术的电力系统演化分析基本框架如图2所示,对于在远期不确定性环境中生成的海量发展路径规划结果,可通过主成分分析法进行降维和路径可视化,构建关键指标辨识发展里程碑,通过线性回归技术辨识关键驱动因素,通过聚类技术分析各类资源的系统性作用,基于决策树技术提出最优路径建议。该方法有助于提升对系统发展的认知水平,辅助决策者优化未来决策。

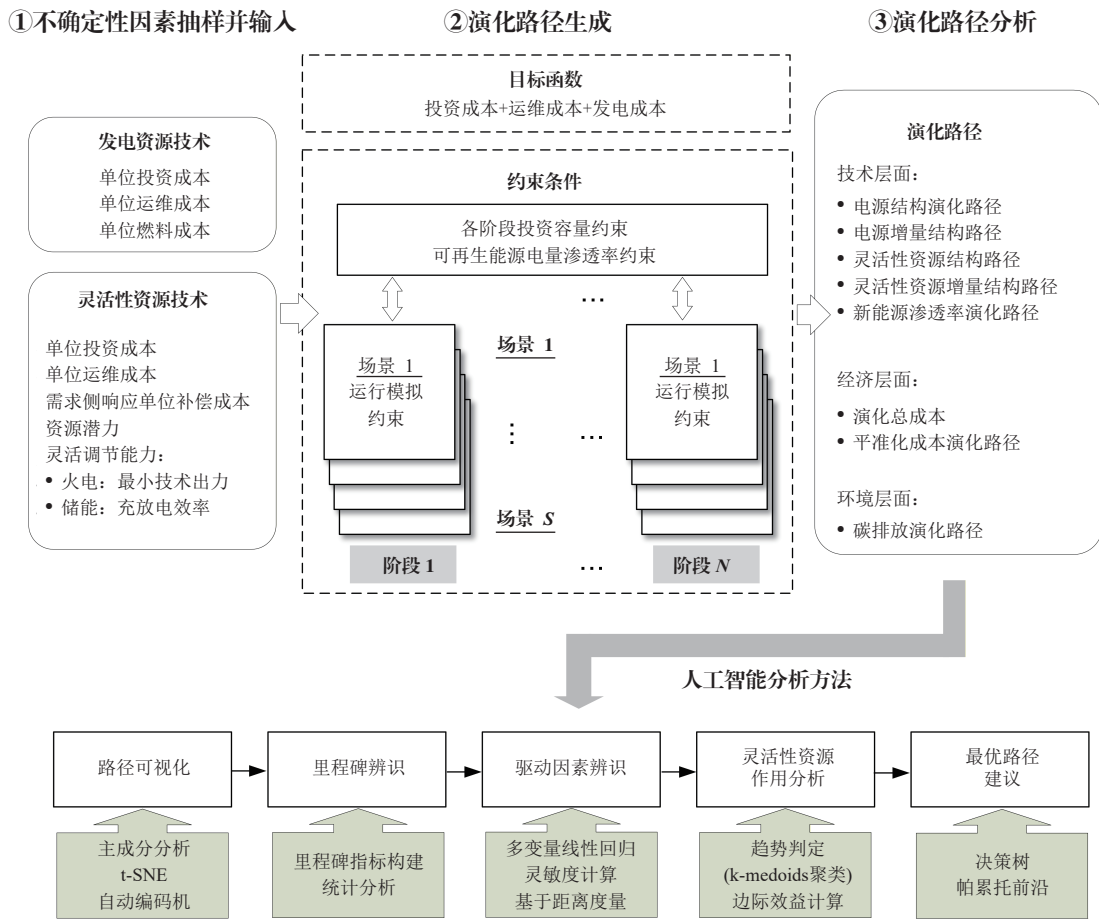


图2 基于人工智能技术的电力系统演化分析基本框架图

## 4 电力规划人工智能面临的挑战与发展建议

数据、模型、算力是人工智能发展的基石，人工智能赋能电力规划需要从以下三个方面入手，积极应对发展挑战，提升规划水平。

### 4.1 数据方面

当前电力规划人工智能在数据方面主要面临数据体量、数据质量、数据安全三方面挑战。一是部分关键电力数据样本量较少，如大停电、极端天气等极端事件数据稀少，新型设备（如储能、柔性负荷）运行数据积累不足，将限制人工智能在以上方面的分析能力。二是部分数据质量参差不齐，多源数据格式、精度、采样频率不一致，历史数据存在大量噪声、缺失与错误标签，将影响模型训练效果。三是数据安全和数据壁垒问题尚待解决，部分电力数据涉

及国家安全与用户隐私，发电、电网、用户等环节数据缺乏共享机制，行业级高质量公开数据集稀缺，数据融合与开放使用受限，阻碍电力人工智能技术进一步发展。

建议尽快构建电力高质量数据资产体系。一是提升数据监测深度和广度，加大监测设备在各环节的渗透水平，实现全系统各元件设备可观测、可计量，充分积累数据资产；二是提升数据质量，制定电力数据标准，统一数据格式、质量要求与接口规范，提升数据可用性；三是创新数据融合与使用范式，建立分级分类数据开放机制，释放非敏感数据价值，在保障安全前提下促进数据要素充分流通。

### 4.2 模型方面

当前电力规划人工智能在模型方面主要面临可信度、专业性、适应性不足等问题。一是可解释性与可靠性欠缺，以深度学习为代表的

神经网络类模型具有“黑箱”特性，输出结果的可解释性不足，大模型等生成式人工智能的“幻觉”问题也会产生应用风险，同时基于数据驱动的人工智能所生成的规划结果可能不满足电力系统物理约束，存在结果不可用的问题；二是专业领域知识融合不足，当前广泛应用的大模型大多缺少基于电力专业知识的精细化训练，难以直接用于辅助电力规划相关工作；三是动态适应能力有限，规划专家经验难以有效融入人工智能模型，人机协同决策机制尚不成熟。

建议进一步深入研究电力人工智能模型。

1) 深化人工智能的可解释性研究，强化人工智能在物理模型与数据驱动上的融合性，提升输出结果的可用性。2) 强化人工智能的专业性，训练电力系统专业大模型，增强大模型在电力领域的分析、推理能力。3) 发展人机混合增强智能，推动人工智能与专家经验充分结合。

### 4.3 算力方面

当前电力规划人工智能在算力方面主要面临算力能力不足的挑战。电力规划涉及大规模运行模拟、安全稳定仿真等计算需求，往往计算复杂、耗时较长，需要大规模高性能计算能力。此外，训练电力系统专业大模型等也需要持续消耗大量计算资源。未来算力不足问题将成为制约电力规划人工智能发展的关键瓶颈。

建议提前优化布局算力资源。一方面积极储备计算芯片，研发面向电力典型计算任务（如潮流计算、稳定性分析）的专用加速芯片与算法库，另一方面大力推广电力-算力协同布局发展模式，在可再生能源富集地区优化建设数据中心，打造绿色算力。

## 5 结语

人工智能赋能电力规划是应对新型电力系统挑战的必然趋势，模型驱动与数据驱动融合的人工智能技术将有助于提升规划效率和韧性。本文提出的电力规划体系覆盖了从宏观预测到演化分析的全环节，体现了人工智能在优化决策方面的潜力。然而，当前仍面临数据质量参差不齐、模型可信度不足和算力资源有限等挑战，应着力构建高质量数据资产体系，深化可

解释模型研究，推广电力-算力协同布局，以促进人工智能与电力规划的深度融合。未来，可进一步深入研究面向更高比例新能源电力系统的人工智能自适应规划框架，通过人工智能技术加强电力规划与电力市场的融合建设等，助力我国电力行业高质量发展。

## 参考文献

- [1] 蒲天骄, 赵琦, 王新迎. 电力人工智能技术研究框架、应用现状及展望[J]. 电网技术, 2025, 49(5): 1751-1770.
- [2] 李鹏, 余涛, 李立涅, 等. 电力人工智能的演变与展望——从专业智能走向通用智能[J]. 电力系统自动化, 2024, 48(16): 1-17.
- [3] 李富, 徐华秒, 陈俊彬, 等. 基于人工智能的新型新能源智慧运营管控平台构建与应用研究[J/OL]. 电力勘测设计: 1-11.
- [4] 李越茂, 姚枫, 宋佩珂. 人工智能技术在电力行业的应用现状和发展趋势初探[J]. 电力勘测设计, 2022(2): 59-64.
- [5] 韩富佳, 王晓辉, 乔骥, 等. 基于人工智能技术的新型电力系统负荷预测研究综述[J]. 中国电机工程学报, 2023, 43(22): 8569-8592.
- [6] 钟燕, 王军, 宋戈, 等. 基于二次重构分解去噪及双向长短时记忆网络的极端天气下超短期电力负荷预测[J]. 电网技术, 2025, 49(11): 4791-4800.
- [7] 李青. 基于深度学习的大规模新能源场站发电功率预测方法研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2023.
- [8] 周旭. 基于多智能体深度强化学习的输电网规划研究[D]. 成都: 四川大学, 2022.
- [9] 庞可欣. 基于深度强化学习的弹性微电网扩展规划研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2023.
- [10] 许涛, 王国春, 董昱, 等. 新型电力系统平衡机理及演进过程研究[J]. 中国电机工程学报, 2025, 45(1): 1-14.
- [11] 卓振宇, 张宁, 谢小荣, 等. 高比例可再生能源电力系统关键技术及发展挑战[J]. 电力系统自动化, 2021, 45(9): 171-191.
- [12] 魏利岫, 艾小猛, 方家琨, 等. 面向新型电力系统的时序生产模拟应用与求解技术综述[J]. 电力系统自动化, 2024, 48(6): 170-184.
- [13] LI H, QIAO Y, LU Z, et al. Frequency-Constrained Stochastic Planning Towards a High Renewable Target Considering Frequency Response Support From Wind Power[J]. IEEE Trans. on Power Systems, 2021, 36(5): 4632-4644.
- [14] 贾宏阳, 侯庆春, 刘羽霄, 等. 基于斜回归树及其集成算法的静态电压稳定规则提取[J]. 电力系统自动化, 2022, 46(1): 51-59.

(下转第80页)

(上接第63页)

[15] 李英. 基于模拟仿真与机器学习的复杂电磁系统快速优化设计[D]. 成都: 电子科技大学, 2020.

[16] XIAO T, CHEN Y, HUANG S, et al. Feasibility Study of Neural ODE and DAE Modules for

Power System Dynamic Component Modeling[J]. IEEE Trans. on Power Systems, 2023, 38(3): 2666-2678.

(编辑 刘旭)