

电力系统稳态下可再生能源大规模接入量预测

谢 鹏

新疆兵建电安工程建设有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘 要: 通过探讨电力系统稳态下可再生能源大规模接入量的预测及相关应对策略。概述了可再生能源的类型、接入电力系统的模式及电力系统稳态分析的重要性,详细描述数据收集与处理、预测模型选择与参数优化等构建可再生能源接入量预测模型的关键步骤。提出基于预测结果的电力系统应对策略,包括电网规划与升级、电源结构优化以及运行调度优化策略,旨在为电力系统的高效运行和可再生能源的充分利用提供理论支持和实践指导。

关键词: 电力系统; 可再生能源; 大规模接入量; 应对策略

1 可再生能源接入电力系统概述

1.1 可再生能源类型与特点

可再生能源是指自然界中可以持续再生、永续利用的能源,具有取之不尽、用之不竭的特点。常见的可再生能源类型包括太阳能、风能、水能、生物质能和地热能等。太阳能发电利用太阳辐射能转化为电能,具有清洁、无污染、分布广泛的优势;风能发电则通过风力驱动风力发电机旋转,将机械能转化为电能,其资源丰富,开发潜力巨大;水能发电利用水流的动力能或水位差产生的势能发电,是目前技术最成熟、应用最广泛的可再生能源之一;生物质能发电则通过生物质材料的燃烧或发酵等过程产生热能或化学能,进而转化为电能;地热能发电则利用地球内部的热能来发电,具有稳定可靠、环境影响小的特点。这些可再生能源各具特色,为电力系统的多元化发展提供丰富选择。

1.2 可再生能源接入电力系统的模式

可再生能源接入电力系统的模式多种多样,主要包括分布式接入和集中式接入两种。分布式接入是指将可再生能源发电装置分散布置在用户附近,如屋顶太阳能光伏板、小型风力发电机等,直接为用户供电或并入配电网。这种模式可以减少输电损失,提高能源利用率,增强电力系统的灵活性和可靠性。集中式接入则是将大量可再生能源发电装置集中建设在资源丰富的地区,如大型风电场、太阳能电站等,通过高压输电线路将电能输送至负荷中心。这种模式可以充分利用可再生能源资源,实现大规模开发,但需要考虑电网的接纳能力和稳定性问题。随着技术的不断进步和政策的持续支持,可再生能源接入电力系统的模式将更加多样化、灵活化。

1.3 电力系统稳态分析

电力系统稳态分析是电力系统运行与管理中的重要

环节,它主要关注电力系统在长时间尺度下的稳定运行状态。在可再生能源大规模接入的背景下,电力系统稳态分析显得尤为重要。稳态分析通过考虑电力系统的负荷需求、发电能力、输电容量等因素,对电力系统的运行状态进行全面评估。它可以帮助电力系统规划者、运营者了解电力系统的运行状况,发现潜在的问题和风险,为电力系统的优化调度、故障处理提供决策支持^[1]。同时,稳态分析还可以评估可再生能源接入对电力系统稳定性的影响,为可再生能源的合理开发和利用提供科学依据。因此,加强电力系统稳态分析对于保障电力系统的安全稳定运行、促进可再生能源的可持续发展具有重要意义。

2 可再生能源接入量预测模型构建

2.1 数据收集与预处理

在这一阶段,需广泛且精准地采集多源数据。针对可再生能源发电特性,要着重收集资源数据,如太阳能发电需获取长期的光照强度、日照时长数据,这些数据可通过气象站监测、卫星遥感等手段获取;对于风力发电,则要收集风速、风向数据,借助测风塔、气象雷达等设备完成。同时,电力系统运行数据也至关重要,像电网各节点的电压、电流、负荷数据,以及输电线路参数、变压器容量等信息,这些数据可从电力调度中心、智能电表等渠道获取。另外,政策法规数据也不容忽视,例如可再生能源补贴政策、发电配额制等,其对可再生能源发电企业的运营决策影响显著,可从政府能源管理部门官网、政策文件库等获取。

收集到的数据往往存在各类问题,需要进行预处理。针对数据缺失问题,可采用插值法,如线性插值、拉格朗日插值等,根据相邻数据点的变化趋势估算缺失值;对于异常值,通过箱线图、 3σ 准则等方法识别,若是因测量误差导致的异常,可予以剔除或修正。数据归一化也是

关键步骤,将不同量级、不同分布的数据统一到[0.1]或[-1.1]区间,消除量纲影响,提升模型训练效率,常用方法有最小-最大归一化、Z-score归一化等。经过预处理的数据,才能为后续预测模型构建提供可靠支撑。

2.2 预测模型选择与原理

预测模型的选择直接关乎可再生能源接入量预测的准确性。常见的预测模型各有优劣,需依据数据特点、预测需求谨慎抉择。时间序列模型中的ARIMA(自回归积分滑动平均模型),基于时间序列的历史数据,通过自回归(AR)、差分(I)、滑动平均(MA)三种操作构建模型,适用于具有平稳性或经过差分后平稳的时间序列数据。其原理是利用过去的观测值预测未来值,通过拟合历史数据的趋势、季节性等特征,建立数学模型。例如,在预测短期风电接入量时,若风电功率时间序列呈现一定周期性,ARIMA模型可捕捉这一规律进行预测。

机器学习模型中的人工神经网络(ANN),模拟生物神经网络结构,由大量神经元相互连接组成。输入层接收数据,经过隐藏层的非线性变换,最后由输出层输出预测结果。以多层感知机(MLP)为例,通过调整神经元间的权重和偏置,使模型学习输入数据与输出结果之间的复杂映射关系。在处理具有复杂非线性关系的可再生能源接入量数据时,如太阳能发电受多种因素(光照、温度、云层等)综合影响,ANN可通过对大量历史数据的学习,挖掘这些因素与发电接入量之间的内在联系,实现精准预测^[2]。

深度学习模型中的长短期记忆网络(LSTM),是循环神经网络(RNN)的改进版本,特别适用于处理时间序列中的长期依赖问题。LSTM通过引入输入门、遗忘门和输出门,能够有效控制信息的输入、记忆和输出,避免RNN中梯度消失或梯度爆炸问题。在预测可再生能源接入量时,对于具有长期波动趋势且存在间歇性、波动性的风电、光伏数据,LSTM可记住历史数据中的关键信息,准确预测未来接入量变化。

2.3 模型参数优化与训练

模型参数优化是提升预测模型性能的核心步骤。以ANN为例,初始参数往往是随机设定的,难以保证模型达到最优性能。常用的参数优化方法有梯度下降法,其原理是根据损失函数关于参数的梯度,不断调整参数值,使损失函数值逐渐减小。随机梯度下降(SGD)每次从训练数据中随机选取一个样本计算梯度并更新参数,计算效率高,但可能导致参数更新不稳定;批量梯度下降(BGD)则使用全部训练数据计算梯度,参数

更新稳定,但计算量大,训练时间长。带动量的梯度下降法在梯度下降过程中引入动量项,模拟物理中的动量概念,加速参数收敛,减少振荡。在模型训练阶段,首先要合理划分数据集。通常将数据分为训练集、验证集和测试集,例如按照70%、15%、15%的比例划分。训练集用于模型参数学习,验证集用于调整模型超参数,如神经网络的隐藏层节点数、学习率等,避免过拟合。在训练过程中,不断将训练数据输入模型,根据损失函数计算预测值与真实值的差异,通过参数优化方法更新参数。以预测光伏接入量模型训练为例,经过多次迭代训练,观察验证集上的损失值变化,当损失值不再明显下降,且模型在验证集上的预测性能达到最优时,认为模型训练收敛。最后,使用测试集对训练好的模型进行评估,计算均方根误差(RMSE)、平均绝对误差(MAE)等指标,衡量模型预测准确性,确保模型能准确预测可再生能源接入量。

3 影响可再生能源大规模接入量的因素分析

3.1 能源资源因素

可再生能源的大规模接入量首先受到其能源资源本身的限制和影响。不同类型的可再生能源,如风能、太阳能、水能等,其资源分布、可利用量以及稳定性都存在差异。例如,风能资源受到地理位置、风速变化、地形地貌等多种因素的影响,太阳能资源则受到日照时数、辐射强度以及云层覆盖等条件的制约。水能资源的可利用量则与水文条件、水库蓄水能力以及水轮机效率等密切相关^[3]。这些能源资源因素直接决定可再生能源的发电潜力和可接入量,是预测和规划可再生能源大规模接入时必须考虑的重要因素。

3.2 电力系统约束因素

除了能源资源因素外,电力系统本身的约束条件也对可再生能源的大规模接入量产生重要影响。电力系统的稳定性、安全性以及经济性是接入可再生能源时需要考虑的关键因素。可再生能源的发电具有间歇性和不确定性,这可能对电力系统的稳定运行带来挑战。同时,电力系统的输电和配电设施也需要满足可再生能源大规模接入的需求,确保电能能够高效、可靠地传输和分配。此外,电力系统的经济性也是制约可再生能源接入量的重要因素,需要综合考虑可再生能源的发电成本、补贴政策以及电力市场的价格机制等。

4 基于预测结果的电力系统应对策略

4.1 电网规划与升级策略

依据可再生能源接入量的预测结果,精准的电网规划与升级刻不容缓。在输电线路布局上,需着重强化对

可再生能源富集区域的覆盖与连接。例如,针对“三北”地区大规模的风电和光伏基地,应加快特高压输电线路建设,像“西电东送”工程中的部分线路,通过提升输电电压等级,增大输电容量,减少长距离输电损耗,将这些地区富余的可再生能源电力高效输送至电力需求旺盛的中东部负荷中心。同时,要优化配电网结构,增强其对分布式可再生能源的接纳能力。在城市及农村配电网中,采用网格化、分布式电源友好型的规划模式,合理增设配电线路与变电站布点,确保分布式光伏、小型风电等电源能够便捷、稳定接入。在电网设备升级方面,引入智能电网技术是关键。部署智能电表,实现对电力用户用电信息的实时、精准采集与分析,为电网运行调度提供数据支撑。同时,采用柔性交流输电系统(FACTS)技术,如静止无功补偿器(SVC)、晶闸管控制串联补偿器(TCSC)等,能够快速调节电网电压、功率潮流,增强电网应对可再生能源发电波动的能力,保障电网安全稳定运行,提升对可再生能源的消纳水平。

4.2 电源结构优化策略

在可再生能源大规模接入的趋势下,电源结构优化是保障电力系统可靠供电的重要举措。合理配置传统能源与可再生能源比例,是优化的核心。一方面,适度保留并优化传统火电,使其从主要发电角色转变为调峰、应急备用角色。例如,将部分常规燃煤电厂改造为调峰电厂,通过技术升级提高机组启停速度与负荷调节灵活性,在可再生能源发电不足时,快速补充电力供应,维持电力供需平衡。另一方面,大力发展储能技术,将其作为电源结构中的关键一环;电池储能系统,如锂离子电池、铅酸电池储能,可在可再生能源发电过剩时储存电能,在发电低谷或缺电时段释放电能,平滑电力输出曲线。抽水蓄能电站则利用水电的可逆性,在电力负荷低谷时抽水储能,高峰时放水发电,有效调节电力供需。通过储能与可再生能源、传统能源协同运行,既能充分发挥可再生能源的清洁优势,又能弥补其间歇性、波动性缺陷,优化电源结构,提升电力系统稳定性与可靠性^[4]。

4.3 运行调度优化策略

基于可再生能源接入量预测结果,优化电力系统运行调度是提升系统运行效率与经济性的必要手段。在机组组合优化方面,考虑可再生能源发电的不确定性,采用随机优化、鲁棒优化等方法。以随机优化为例,通过建立可再生能源发电的概率模型,将其纳入机组组合优化的目标函数与约束条件中,综合考虑常规机组发电成本、启停成本以及可再生能源发电的随机性,确定最优的机组开停机计划与发电出力分配,在保障电力供应可靠性的同时,降低系统运行成本;在电力潮流优化上,利用先进的优化算法,如遗传算法、粒子群优化算法等,对电网中的功率潮流进行优化控制。根据预测的可再生能源接入量与负荷需求,动态调整电网中各节点的电压、电流以及功率分布,减少线路损耗,提高电网输电效率。同时,大力推行需求响应机制,通过价格激励、政策引导等方式,鼓励电力用户在可再生能源发电充裕时增加用电负荷,在发电不足时减少用电,实现电力供需的实时匹配,提升电力系统对可再生能源的消纳能力,促进系统经济高效运行。

结束语

综上所述,随着可再生能源的大规模接入,电力系统的规划与运行面临着新的挑战与机遇。通过精准的预测模型和全面的应对策略,可以有效应对可再生能源发电的不确定性,优化电源结构,提升电力系统的稳定性和经济性。未来,随着技术的不断进步和政策的持续完善,相信可再生能源将在电力系统中发挥更加重要的作用,为人类社会的可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]官帅,方圆,曹弯弯,等.可再生能源接入下配电网协同调度策略研究[J].自动化仪表,2023,44(10):106-110
- [2]王超凡.基于系统灵活性评估的高比例可再生能源配电网多阶段规划[D].山东大学,2024
- [3]黄地,黄平,李杰,等.基于短期负荷预测的可再生能源调度优化算法设计[J].电子设计工程,2023,31(05):125-129.DOI:10.14022/j.issn1674-6236.2023.05.027.
- [4]衣博文,范英.高比例可再生能源接入下的电力系统规划研究[J].管理科学学报,2023,26(10):21-35.