

储能测试与评价



考虑储能接入的电网风险评估模型与算法研究

秦文超, 王书领, 蒋 乐
(云南电网有限责任公司, 云南 昆明 650200)

摘 要: 全球能源高速发展背景下, 以风能和太阳能为核心的可再生清洁能源在电网中的能源输出比例不断提升, 其间歇性和波动性问题, 也给电网稳定带来了挑战。储能技术可以有效缓解电网矛盾, 提高电网稳定性, 但是也带来了新的风险因素, 需要构建考虑储能接入的新电网风险评估模型。本文针对当前较为成熟的几种综合考虑储能和电网风险的评估模型进行了分析综述。包括蒙特卡罗评估模型、数学解析分析模型以及人工智能算法模型等。通过研究可以肯定, 上述分析模型均在考虑储能设备接入的前提下, 可以有效分析评估电网风险, 通过大量数据测算, 获取电网风险等级, 具有深刻的研究意义。

关键词: 电网风险; 评估模型; 储能

doi: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2026.0511

中图分类号: TM 732

文献标志码: A

文章编号: 2095-4239 (2026) 06-2405-03

Research on grid risk assessment model and algorithm considering energy storage access

QIN Wenchao, WANG Shuling, JIANG Le
(Yunnan Power Grid Co., Ltd, Kunming 650200, Yunnan, China)

Abstract: Against the backdrop of rapid global energy development, the proportion of renewable clean energy, with wind and solar energy as the core, in the energy output of the power grid continues to increase. However, intermittency and volatility issues also pose challenges to the stability of the power grid. Energy storage technology can effectively alleviate power grid conflicts and improve power grid stability, but it also brings new risk factors that require the construction of a new power grid risk assessment model that considers energy storage integration. The article provides an analysis and review of several mature assessment models that comprehensively consider energy storage and grid risks. Including Monte Carlo evaluation models, mathematical analytical models, and artificial intelligence algorithm models. Through research, it can be confirmed that the above analysis models can effectively analyze and evaluate the risk of the power grid, taking into account the integration of energy storage devices. Through a large amount of data calculation, the risk level of the power grid can be obtained, which has profound research significance.

Keywords: power grid risk; evaluation model; energy storage

收稿日期: 2026-06-11; 修改稿日期: 2026-06-18。

基金项目: 云南电力调度控制中心 2022 年至 2023 年新设备启动方案编制智能化系统新建 (隐患) (056000GS62220002)。

第一作者及通信联系人: 秦文超 (1980—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电气工程及其自动化, E-mail: qinwenchaoxs@163.com。

引用本文: 秦文超, 王书领, 蒋乐. 考虑储能接入的电网风险评估模型与算法研究[J]. 储能科学与技术, 2026, 15(6): 2405-2407.

Citation: QIN Wenchao, WANG Shuling, JIANG Le. Research on grid risk assessment model and algorithm considering energy storage access [J]. Energy Storage Science and Technology, 2026, 15(6): 2405-2407.

在全球能源高速发展的背景下,以风能和太阳能为核心的可再生能源,在电网中占比不断上升。虽然可再生能源可以保证能源供应,但是其自身的间歇性和波动性特征,也给电网功率平衡运行带来了巨大挑战。储能技术凭借自身的电压支撑和频率调节功能,有效缓解了电网矛盾,提高供电稳定性。在电网中合理配置储能系统,可以在可再生能源高峰时进行能源存储,在电力压力较大时释放电能,从而增强电网灵活可靠性。然而储能系统的接入也可能会引入全新的风险因素,从设备层面上看,储能电池自身过热很容易引发安全事故。从系统层面上看,储能系统的充放电策略如果不合理,可能会提高电网波动频率,引发连锁事故。因此需要构建考虑储能接入的电网风险评估模型,降低储能对电网的安全影响^[1]。

1 蒙特卡罗评估模型算法研究

蒙特卡罗评估模型可以看作是一种随机抽样的数据统计策略,主要是通过大量的系统状态数据模拟,分析出风险指标的概率分布情况,同时该方法也适用于处理不确定性问题,如电网设备故障,可再生能源波动等。蒙特卡罗评估模拟可以进一步划分为序贯蒙特卡罗模拟和非序贯蒙特卡罗模拟。

1.1 序贯蒙特卡罗评估流程

首先是输入数据和状态抽样。输入设备主要是收集电网的基础数据,包括当前网络拓扑结构、电机容量参数、线路阻抗参数、负荷曲线参数和可再生能源数据等。状态抽样主要是在每个时间节点,重新获取发电机设备线路的元件信息。发电机的状态可根据其强迫停运率抽样为“运行”或“停运”;线路的状态可根据故障率抽样为“正常”或“故障”;储能设备的状态则需结合电池老化模型和热管理模型进行抽样。例如,考虑电池的循环次数对容量的影响,以及温度对充放电效率的影响,抽样其可用容量和效率^[2]。

接下来是储能充放电模拟。在进行这一步骤时,需要根据电网的调频需求,制定储能系统的充放电策略。而在调频场景中,需要将储能设备频率根据负荷状态进一步调整,同时结合储能系统的SOC约束和充放电功率限制构建SOC值。

最后是电网状态评估和风险指标统计。序贯蒙特卡罗的评估计算一般是潮流计算。评估系统在每

个时间段的供电充足性、线路过载风险等。例如,统计负荷削减的概率和持续时间,计算线路负载率超过100%的持续时间。同时,还需统计储能系统的出力波动率、充放电效率衰减率等指标。在获取评估指标后,可以进一步分析风险结果,获取综合风险值。

1.2 非序贯蒙特卡罗评估流程

非序贯蒙特卡罗模拟作为另一种风险评估方法,其最大特征在于忽略了系统时间维度上的相关性。其核心流程如下:首先依旧是输入数据和状态抽样。输入数据和蒙特卡罗评估策略基本相同,需要全面收集电网和储能相关参数。在完成数据准备后,进入独立抽样环节。所谓独立抽样,意味着在抽样过程中,不考虑这些元件在不同时间步之间的关联。获取样本数据后,就需要对该状态下的电网静态风险进行评估,获取评估数据,了解电网潜在风险。在完成多次抽样和风险指标评估后,进入结果分析与风险量化阶段。这一步骤与非序贯蒙特卡罗模拟的结果处理类似,需要对统计得到的风险指标概率分布进行深入分析^[3]。

1.3 序贯与非序贯蒙特卡罗评估差异

序贯蒙特卡罗和非序贯蒙特卡罗评估都是电力风险评估的常用策略,但是二者在处理储能系统时序特性时,具有明显差异。序贯蒙特卡罗模拟可以有效考虑储能充放电的时序性特征,一般是通过时间顺序进行系统模拟运行,捕捉系统在不同时间节点上的充放电状态变化。这种评估策略可以较为准确地分析出储能系统对电能的影响,但是需要大量详细的模拟计算,对计算资源需求较高。非序贯蒙特卡罗模拟具有计算效率高的优势。它忽略了系统状态的时序相关性,直接对系统在某一时刻的状态进行抽样分析,大大减少了计算量,能够在较短的时间内完成大量抽样和评估工作。因此,非序贯蒙特卡罗模拟适用于对计算效率要求较高、需要快速评估电网风险的场景。

2 数学解析分析模型设计

解析法作为风险评估的重要手段,其核心在于通过严密的数学逻辑公式,直接对风险信息进行分析测算。这种方法相对结构简单,具有明确的变量关系,可以考虑特定场景下的风险因素量化,同时发挥出高效准确的特征。基于数学解析分析法的电

网评估模型主要为故障树分析模型和枚举分析法。

2.1 故障树分析模型

故障树分析(fault tree analysis, FTA)是一种自上而下的演绎推理方法,它以图形化的方式清晰地展示了系统故障与各个组件故障之间的逻辑关系,从而帮助分析人员全面、系统地识别系统潜在的风险因素。头部事件(顶事件)是故障树分析模型的开端,它一般指代电网最严重的风险事件,例如可以将“储能系统引发电网停电”作为顶事件。顶事件的选择决定了整个分析模型的分析方向和侧重,确定顶事件则需要实际考虑电网的应用情况,确保顶事件具有针对性和代表性。顶事件确立后则需要构建故障树,分析顶事件概率。构建故障树就是将事件进一步分解细化。

从实际应用上看,故障树分析模型更适合相对简单的电网系统,分析结果较为准确,但是面对较为复杂的大型电网系统,其分析结果误差较大,需要配合其他分析策略。

2.2 状态枚举法

状态枚举法是基于电网系统所有可能状态进行风险评估。对于含有多个元件的电网系统,都需要枚举所有可能状态,全面评估风险。随着元件数量的增加,系统可能的状态数将呈指数增长,这使状态枚举法在处理大规模系统时面临着巨大的计算挑战。在完成了对所有状态的风险评估后,需要对所有状态的风险值进行统计和分析,以得到系统的总风险值。通常采用加权平均的方法,将每种状态的风险值乘以其对应的概率,然后将所有结果相加,即可得到系统的总风险值。系统总风险值能够综合反映系统在不同状态下所面临的整体风险水平,为电网的规划、运行和管理提供重要的决策依据。

3 人工智能算法模型

人工智能算法凭借其强大的数据驱动能力,能够深入挖掘数据背后隐藏的风险规律,尤其适用于处理非线性、高维度的复杂问题。在电网与储能系统深度融合的背景下,人工智能算法为储能相关的风险评估提供了高效且精准的手段。

现阶段的人工智能算法模型主要包括人工神经网络(ANN)和支持向量机(SVM)。二者都需要收集全面且丰富的电网历史运行数据。这些数据涵盖多个方面,电网运行状态数据包括不同时间段的

负荷情况,因为负荷的波动会直接影响储能系统的充放电策略和运行压力;可再生能源数据,例如环境波动数据等。较为重要的还有储能参数数据,包含储能荷电状态数据,它可以反映储能设备当前电量水平。确定好模型数据后,就可以开始进行模型训练。对于人工神经网络模型,需要将准备好的数据划分为训练集和测试集,训练集用于模型的训练,测试集用于评估模型的性能。选择合适的神经网络结构从输出层向输入层逐层计算误差梯度,并根据梯度调整网络权重,使得模型的输出逐渐接近实际风险值,实现误差最小化的目标。当神经网络模型训练完成后,将新的电网运行数据输入到训练好的模型中。模型会根据输入数据的特征,通过内部复杂的计算和权重调整,输出风险概率或风险等级。

而支持向量机则需要将输入数据映射到高维空间,在高维空间中找到最优超平面进行分类或回归。这一过程需要借助核函数,在确定核函数后找到最优超平面,输出电网风险等级。

4 结 语

随着可再生能源在电网中占比的持续提升,储能技术作为保障电网稳定运行的关键支撑,其接入带来的风险评估问题愈发重要。蒙特卡罗评估模型、数学解析分析模型以及人工智能算法模型具备独特优势与适用场景,为全面、精准评估储能接入下的电网风险提供了多样化手段。未来,需进一步结合不同模型特点,开展综合风险评估研究,以更好地应对储能大规模接入带来的复杂风险挑战,推动电网向更加安全、高效、智能的方向发展。

参 考 文 献

- [1] 颜志敏. 智能电网中蓄电池储能的价值评估研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2012.
YAN Z M. Value assessment research of battery energy storage in smart grid[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2012.
- [2] 刘俊峰, 罗燕, 侯媛媛, 等. 考虑广义储能的微电网主动能量管理优化算法研究[J]. 电网技术, 2023, 47(1): 245-255. DOI:10.13335/j.1000-3673.pst.2021.1926.
- [3] 段金辉, 曾鸣. 考虑储能系统的微电网可靠性效益评估模型研究[J]. 水电能源科学, 2017, 35(6): 213-216, 171.
DUAN J H, ZENG M. Research on reliability benefit assessment model of micro grid considering energy storage system[J]. Water Resources and Power, 2017, 35(6): 213-216, 171.