

考虑分布式电源不确定性的输电线路风险评估与优化调度

朱峰

(国网湖南省电力有限公司泸溪县供电分公司)

【摘要】随着分布式电源大规模并网,其出力受自然条件等因素影响呈现强不确定性,给输电线路安全运行及系统调度带来新挑战。本文聚焦考虑分布式电源不确定性的输电线路风险评估与优化调度问题,分析了分布式电源并网对输电线路产生的不确定性影响及由此引发的风险,探讨了输电线路风险评估的方法及指标体系,在此基础上,提出针对分布式电源不确定性的输电线路优化调度策略,以期降低输电线路运行风险,提升电网安全稳定性与经济性。

【关键词】分布式电源;不确定性;输电线路;风险评估;优化调度

中图分类号: TM75

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2025.S2.148

Transmission line Risk Assessment and Optimization Scheduling Considering the Uncertainty of Distributed Power Supply

ZHU Feng

(State Grid Hunan Electric Power Co., Ltd., Luxi County Power Supply Branch)

【Abstract】With the large-scale grid connection of distributed generation (DG), its output exhibits high uncertainty due to the influence of factors such as natural conditions, posing new challenges to the safe operation of transmission lines and system dispatching. This paper focuses on the issues of transmission line risk assessment and optimal dispatching considering the uncertainty of DG, analyzes the uncertain impacts of DG grid connection on transmission lines and the risks arising therefrom, and discusses the methods and indicator systems for transmission line risk assessment. On this basis, it proposes an optimal dispatching strategy for transmission lines targeting the uncertainty of DG, aiming to reduce the operational risks of transmission lines and enhance the safety, stability, and economy of the power grid.

【Keywords】distributed power supply; uncertainty; transmission line; risk assessment; optimized scheduling

1 引言

随着新能源技术的快速发展,分布式电源在电力系统中的并网比例不断提升,然而其出力不稳定、波动性强的特性,给输电线路安全运行带来了前所未有的挑战与风险。在分布式电源不确定性条件下对输电线路风险开展精准评估,制定科学合理的优化调度策略,对保障电网安全稳定运行至关重要。

2 分布式电源不确定因素对输电线路造成的影响

分布式电源受光照强度和风速等自然条件的限制,出力存在明显的随机性和波动性,对输电线路安全平稳运行带来多维度挑战。在电气特性方面,分布式电源断续接入会导致线路潮流频繁涨落,使电压幅值和相角急剧改变,电压越限、三相不平衡等问题发生概率增大,严重时会引起继电保护装置误动作。比如当光照条件突然改变,光伏电站输出功率

会在短期内大幅度降低,从而造成局部线路功率倒送而危及系统安全^[1]。

在结构运行层面,分布式电源分散接入改变了传统配电网辐射状结构,形成多电源供电模式,导致故障电流大小、方向和分布复杂化。当线路发生短路故障时,分布式电源的助增或汲出功能可能使故障电流超出保护装置设定范围,降低了保护响应的灵敏度和选择性,增加了故障定位和隔离的复杂性。与此同时,不确定电源频繁投切会加重线路机械应力 and 电气损耗、加快设备老化、降低输电线路寿命。

3 考虑分布式电源不确定性的输电线路风险评估方法

3.1 不确定性的量化表征

分布式电源出力不确定性需要用多维度参数和概率模型来定量。以光伏发电为例,其功率输出受光照强度、温度影响显著,在标准测试条件(光照强

度 $1000\text{W}/\text{m}^2$ 、电池温度 25°C)下,尽管光伏组件的转换效率可达22%,但实际操作中,当清晨的光照强度下降至 $100\text{W}/\text{m}^2$ 时,其输出功率只有峰值的10%。通过对历史气象数据的收集,采用 β 分布来拟合光照强度的概率密度函数,再结合光伏组件的温度系数(通常为 $-0.3\%/^\circ\text{C}$)来修正模型,可更准确地描述其输出的波动特性。在风力发电领域,根据Weibull分布来描述风速的概率特性,其中切入风速(3m/s)、额定风速(12m/s)和切出风速(25m/s)分别对应着不同的功率输出状态。根据实际测量数据,当风速接近额定风速时,风电机组的输出波动率能达 $\pm 15\%$ ^[2]。通过构建风速—功率转换曲线,结合蒙特卡罗模拟产生风电出力随机样本集的方法,对其中的不确定性进行量化(见图1)。

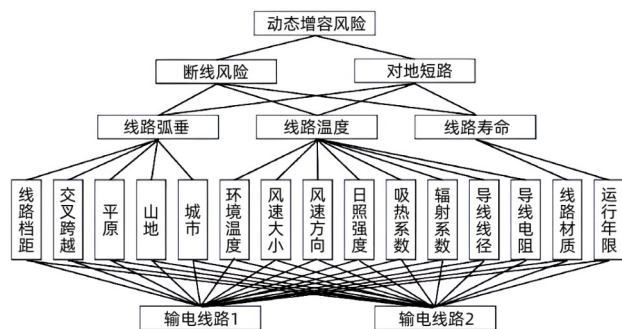


图1 输电线路风险评估

3.2 风险指标体系的构建

输电线路风险评价指标体系应包含电气安全、可靠性、经济性维度。电气安全方面,电压偏差为关键指标,依据GB/T 12325,10kV线路电压允许偏差 $\pm 7\%$,但分布式电源接入受潮流影响,末端电压或升至10.8kV,超阈值风险显著^[3]。线路载流量亦关键,120mm²架空线路额定载流量80A,电源波动致电流持续超450A(过载率118%)时,会加速绝缘老化。

可靠性维度,系统平均停电频率(SAIFI)、持续时间(SAIDI)为核心参数:传统配电网SAIFI约2次/年、SAIDI约5h,分布式电源接入后,电压越限引发保护误动,可使SAIFI增至5次/年、SAIDI延至8h。经济性上,网损率、弃电率直接影响效益,采用熵权法或层次分析法确定指标权重,构建风险评估模型(表1)。

表1 评估指标

评价维度	关键指标	标准/参数
电气安全	电压偏差	GB/T 12325标准,10kV线路电压允许偏差 $\pm 7\%$

续表

评价维度	关键指标	标准/参数
	载流量	120mm ² 架空线路额定载流量380A
可靠性	系统平均停电频率(SAIFI)	传统配电网约2次/年,分布式电源接入后增至5次/年
	系统平均停电持续时间(SAIDI)	传统配电网约5h,分布式电源接入后延长至8h
经济性	网损率	-
	弃电率	-

3.3 动态评估模型的设计

动态评估模型需结合实时数据与预测信息,才能实现对风险的动态追踪。从时间维度来看,超短期(0-4h)预测以数值天气预报数据为基础,结合分布式电源的实时输出数据,通过卡尔曼滤波算法修正预测误差,从而提高模型的准确性。模型输入参数包括:光伏电站每15分钟光照强度预测值(误差 $\pm 10\%$)、风电场10分钟风速预测值(误差 $\pm 1.5\text{m/s}$)、储能系统荷电状态(SOC)实时值(精度 $\pm 2\%$)。该模型采用状态空间法描述电网运行状况,以节点电压幅值、相角和线路功率为状态变量通过潮流计算确定系统运行点(见图2)。

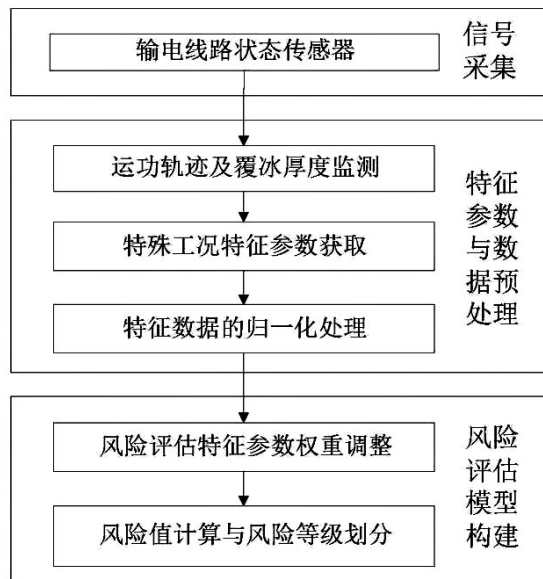


图2 动态评估模型

4 考虑分布式电源不确定性的输电线路的优化调度方法

4.1 鲁棒调度模型的构造

鲁棒调度模型通过量化分布式电源不确定边

界,保障极端情景下输电线路安全运行。以光伏、风电为研究对象,基于历史气象数据统计:光伏日间高峰时段(10:00-14:00)出力波动可达额定功率 $\pm 35\%$;风电出力受风速动态影响,依据GB/T19963.1-2021,额定风速(12m/s)工况下波动幅度 $\pm 25\%$,某15MW风电场运行日志记录,其出力在11.25MW-18.75MW间大幅波动。

模型采用椭球型不确定集描述电源出力波动,将光伏、风电出力范围分别约束为 $PPV \in [0.65P_N, 1.35P_N]$ 、 $PWT \in [0.75P_N, 1.25P_N]$ 。约束条件设定中,电压约束严格遵循GB/T 12325-2020,10kV线路节点电压须维持在额定值93%~107%(0.93p.u.~1.07p.u.),某配电网调度实测显示该约束下电压越限率从12%降至3%;线路传输功率约束参考LGJ-185型架空线路参数(依据DL/T 5210.7-2010,其额定载流量470A)。目标函数综合考虑发电成本(标准发电机组的发电费用为0.55元/kWh)、网损成本(单位网损成本0.08元/kWh)和切负荷惩罚成本(2.5元/kWh)。

4.2 源网协同调度策略

源网协同调度将分布式电源、储能系统、可控负荷和柔性输电设备等集成,以实现输电线路的最佳运行状态。以包含12MW光伏、8MW风电和6MW/12MWh储能的配电网为研究对象,结合静止无功补偿器(SVC)和有载调压变压器(OLTC)开展协同调节。SVC无功调节范围为 $\pm 5\text{Mvar}$,响应时间 $< 20\text{ms}$;OLTC分接头的调节范围为 $\pm 10\%$,且每档调节电压变动幅度为0.625%。当光伏输出功率在1小时内减少40%时,储能系统以2MW功率放电维持功率平衡。同时,SVC迅速补偿3Mvar无功,OLTC将分接头降低2档,使节点电压从0.91p.u.提升至0.96p.u.,确保电压不会超限。可控负荷参与调度可进一步提高系统的灵活性。工业用户可中断负荷容量为3MW,响应时间 $< 5\text{min}$,中断补偿费用1.2元/kWh;商业用户的可平移负荷容量为2MW,调节周期为15min,补偿费用为0.8元/kWh。在风电出力出现30%波动的情况下,通过负荷侧和电源侧的联合控制,系统成功地减少1.2MWh弃风电量,降低0.8MWh网损,将分布式电源消纳率提升至97.5%。

4.3 动态滚动优化机制

基于超短期预测数据(0~4h)的动态滚动优化

策略,每15分钟更新一次调度计划,在光伏功率预测中,结合数值天气预报数据和机器学习模型。晴朗天气下预测误差为 $\pm 8\%$,多云天气下误差为 $\pm 15\%$;风电功率的预测采用中尺度气象模型,预测误差控制在 $\pm 12\%$ 以内。每次滚动优化时,以最新预测数据与实测数据偏差为修正项,利用卡尔曼滤波算法更新预测模型参数,优化模型目标函数包含实时发电成本、调整成本(常规机组每kW爬坡费用为0.15元)及惩罚成本(电压越限时,罚款为500元/0.01p.u.线路超载罚款1000元/MVA)。以某时段为例,初始调度方案执行15分钟后,光伏出力实测值较预测值低12%,触发滚动优化。系统迅速启动1.5MW储能放电功能,将常规机组输出功率调整至2MW,并对SVC无功输出进行1.2Mvar调整,使电压从0.90p.u.提升至0.95p.u.,有效降低线路过载风险。通过多次滚动优化,系统在4小时内完成8轮调度调整,成功将网络损失率维持在4.8%,电压合格率提升到了99.2%,有效地应对了分布式电源系统的动态波动问题。

5 结语

考虑分布式电源不确定因素的输电线路风险评估和优化调度,是保障电网安全、稳定运行的重要课题。通过分析分布式电源不确定性对输电线路的影响,采用适当的风险评估方法制定合理优化调度策略并强化执行保障,可有效降低输电线路运行风险,提升电网可靠性与经济性。今后,在新能源技术持续发展、电网智能化水平不断提升的背景下,需进一步深入的研究与完善相关理论与方法,为电网安全平稳运行提供更加强大的支撑。

参考文献

- [1] 李昊,代泽林,毕杰.输电线路地质灾害风险评估策略及方法[J].云南电业,2024(6):8-13.
- [2] 司兴登,杨洪磊,李懿航,林雨,容会.基于北斗定位数据驱动的输电线路覆冰风险评估算法分析[J].电子技术,2025,54(2):404-406.
- [3] 张佳雯,李英娜,李申章.物理特性驱动的自适应GBDT山地输电线路冰害风险评估[J].电力科学与工程,2025,41(3):71-78.