

分布式能源配电网风险分析

2025 年 5 月 16 日

摘要

摘要

关键词： 关键词1， 关键词2， 关键词3

1 问题重述

1.1 问题背景

随着全球能源转型和我国“双碳”目标的深入推进，可再生分布式能源（如光伏、风电）在配电网中的渗透率显著提升。这种趋势不仅推动了清洁能源的利用，还对传统配电网的运行方式提出了新的挑战。传统配电网设计以集中式发电和单向潮流为主，难以适应分布式能源出力波动性和不确定性带来的复杂运行场景。分布式能源的接入改变了配电网的潮流分布，可能导致失负荷（因故障导致供电中断）或过负荷（线路电流超额定载流量10%以上），从而增加系统运行风险。此外，联经开关的存在为故障后功率转移提供了可能，但其操作复杂性进一步增加了风险评估的难度。在实际应用中，不同类型用户（如工业、商业、政府机构）对供电中断的敏感度差异显著，需综合考虑经济损失和社会影响来量化风险。现有研究多聚焦于分布式能源的接入技术或单一风险因素，缺乏对失负荷与过负荷风险的系统性建模与综合评估。本研究基于62节点有源配电网系统，结合分布式能源的运行特性，构建风险评估模型，为配电网的规划与优化提供理论支持。这种研究不仅在理论上丰富了配电网风险管理知识体系，还在实践中为提升电网可靠性和经济性提供了科学指导，具有重要的现实意义。

1.2 问题提出

本研究旨在通过数学建模量化分布式能源接入配电网后引发的失负荷与过负荷风险，为配电网的稳定运行提供系统化解解决方案。研究围绕以下核心任务展开：首先，需建立分布式能源接入配电网后失负荷与过负荷风险的数学模型，明确风险的概率分布及其危害程度，结合联经开关的功率转移机制优化风险计算。然后，基于62节点有源配电网系统，应用所建模型分析分布式能源接入对系统风险的动态影响，揭示风险演变的规律。这些任务通过理论建模、数据分析与仿真验证相结合，旨在为配电网运行提供科学的决策依据，提升其在高渗透率分布式能源场景下的可靠性和经济性。

2 问题分析

分布式能源接入配电网的风险评估涉及失负荷与过负荷的概率建模、风险演变分析、光伏容量影响评估及储能优化等多个子问题，呈现出高度的复杂性和综合性。问题的核心在于分布式能源出力的波动性与不确定性对配电网潮流分布的深刻影响，这不仅改变了传统配电网的运行模式，还引入了新的风险来源。失负荷风险源于故障导致的供电中断，其危害程度与用户类型和停电持续时间密切相关；过负荷风险则由线路电流超载引发，可能导致设备损坏或系统崩溃。联经开关的存在为功率转移提供了灵活性，但其操作需考虑网络拓扑的动态变化，增加了建模难度。

2.1 模型假设

为了简化模型分析，本文在建模过程中做出以下假设：

1. 假设分布式能源出力为固定值，且不随时间变化。
2. 假设配电网中所有节点的负荷均为已知值，且不随时间变化。
3. 假设配电网的拓扑结构在分析期间保持不变，且联络开关变化状态离散。
4. 假设配电系统故障发生独立，且故障率固定。

2.2 符号说明

3 模型建立与求解

3.1 问题 1 建模与求解

3.1.1 问题 1 求解思路

问题 1 要求建立分布式能源接入配电网后失负荷与过负荷风险的数学模型，核心目标在于量化风险概率和危害程度，为进一步的分析奠定基础。分布式能源的出力波动与联络开关的功率转移特性是影响风险评估的关键因素。由于题目中指出，同一时刻同一类型只发生一个故障，因此可以独立分析电网中的各个节点，分别分析对应的风险。首先，针对失负荷风险，需要分析故障单元的故障率，结合网络拓扑和联络开关状态计算失负荷概率和风险期望。其次，针对过负荷风险，需要分析电路中电流的分布情况，结合联络开关的功率转移特性，判断是否超过额定载流量的 10%。最后，综合考虑失负荷与过负荷风险，建立综合风险评估模型。

技术路线上，我们选择使用 Python 作为主要工具，利用 pandas 和 numpy 分析负荷和出力数据，结合 networkx 库进行图论分析。潜在挑战在于对于大规模节点计算的准确性，以及联络开关状态变化对风险评估的影响。

3.1.2 问题 1 建模

为了量化分布式能源接入配电网后失负荷与过负荷风险，我们首先需要建立数学模型来描述系统的运行状态和风险评估指标。模型以配电网的拓扑结构、负荷分布、分布式能源的出力以及联络开关的状态为输入，输出系统的风险值，风险计算公式题目中已经给出为：

$$R_{\text{sys}} = P_{\text{LL}} \cdot C_{\text{LL}} + P_{\text{OL}} \cdot C_{\text{OL}} \quad (1)$$

其中 P_{LL} 和 P_{OL} 分别表示失负荷和过负荷的概率， C_{LL} 和 C_{OL} 分别表示失负荷和过负荷的危害程度。

在模型中，由于假设 4，我们可以将不同节点的故障风险独立分析。因此，我们选择枚举所有可能的故障单元，结合网络拓扑和联络开关转移功率，计算故障后的失负荷损失。具体而言，我们可以针对故障单元的类型来讨论对应的风险评估。

当故障单元为负载时，

3.1.3 问题 1 求解

3.2 问题 2 建模与求解

3.2.1 问题 2 求解思路

3.2.2 问题 2 建模

3.2.3 问题 2 求解

4 模型分析检验

5 模型评价与推广

6 附录

6.1 代码实现