

# 考虑分布式光伏的低压台区线损异常辨识方法

刘晓军, 高彬彬, 张 刚, 夏远德, 刘元振

(国网喀什供电公司, 新疆 喀什 844200)

**摘 要** 光伏发电作为新能源的一种, 是电力系统实现节能减排的重要途径。近年来, 国家对光伏发电的支持力度不断加大, 使得光伏发电在电网中的应用越来越广泛。然而, 受光照、环境等因素的影响, 光伏电站出力具有随机性和不确定性, 在一定程度上会导致配电网电能损耗增大。此外, 随着分布式光伏的接入, 配电变压器等配电设备负载率提升, 造成配电网线损异常现象增多。因此, 为了实现线损异常情况的快速辨识和治理, 本文提出了一种考虑分布式光伏接入的低压台区线损异常辨识方法, 可准确辨识出线损异常台区并及时采取措施进行治理, 旨在为相关研究提供参考。

**关键词** 分布式光伏; 线损异常情况; 光伏配电网

中图分类号: TM75

文献标识码: A

文章编号: 2097-3365(2023)11-0097-03

随着社会的发展, 工业和农业用电需求不断增加, 导致大量分布式光伏并网接入电网, 这对配电网的电能质量和运行效率都产生了一定的影响<sup>[1]</sup>。因此, 准确辨识线损异常台区并及时采取措施治理线损异常现象, 对于提升配电网运行效率、降低线损具有重要意义。目前, 国内外学者对线损异常辨识方法进行了研究。有专家提出了一种基于改进的支持向量机 (Support Vector Machine, SVM) 的线损异常辨识方法, 并将该方法应用于某地区实际配电网数据进行仿真验证; 另有专家提出了一种基于模糊理论与 BP 神经网络相结合的配电网线损异常辨识方法。但现有方法大都以配电网线损正常为前提条件, 在考虑分布式光伏接入的低压台区线损异常辨识中存在一定的不足, 因此有必要对此进行进一步的研究。

## 1 低压台区线损波动特征

低压台区的线损波动特征主要分为两类: 一类是分布式光伏接入引起的线损波动; 另一类是电压、电流互感器变比故障引起的线损波动。对两类线损波动特征进行关联度分析, 从关联度大小可知, 分布式光伏接入引起的线损波动特征关联矩阵与电压、电流互感器变比故障引起的线损波动特征关联矩阵之间的关联程度较高, 与分布式光伏接入引起的低压台区线损波动特征关联度相对较低<sup>[2]</sup>。从系统结构可知, 低压台区线损率数据采集系统结构复杂, 存在分布式光伏接入、电压、电流互感器变比故障、配电变压器故障等多种不确定因素, 线损率数据采集系统与其他系统关联较弱。

## 2 含分布式光伏的低压台区异常线损特点分析

通过两个基础模型对分布式光伏前后的线损来进行简单计算, 如图 1 所示。模型 A 为未接入光伏配电网, 相反, 模型 B 为接入光伏配电网, 其中模型使用的负荷、电源、线路阻抗都是相同的。设整个电路长为  $L$ 、线路单位阻抗为  $R+jX$ , 所接负荷的功率为  $P_L+jQ_L$ ; 在模型 B 中电源距离分布式光伏接入位置为  $K$ , 光伏出力为  $P_{PV}+jQ_{PV}$ 。模型 A 的线损  $\Delta P$ ; 模型 B 电源距离分布式光伏接入之间的线损为  $\Delta P_1$  和分布式光伏到负荷之间的线损  $\Delta P_2$ , 总线损为  $\Delta P_\Sigma$ 。

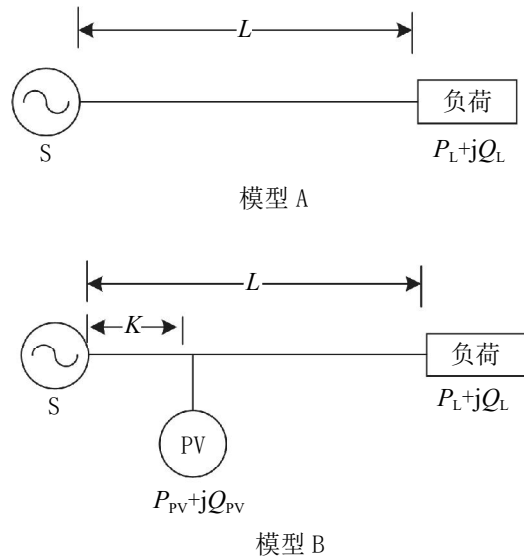


图 1 简化的配电网模型图

设分布式光伏发出的无功功率为 0, 并采用近似计

算法, 节点电压近似为  $U$ 。

如图 1 可知模型 A 的线损为:

$$\Delta P = \frac{P_L^2 + Q_L^2}{U^2} RL \quad (1)$$

模型 B 的线损为:

$$\Delta P_1 = \frac{(P_L - P_{PV})^2 + Q_L^2}{U^2} RK \quad (2)$$

$$\Delta P_2 = \frac{P_L + Q_L^2}{U^2} R(L - K) \quad (3)$$

模型 B 的总线损为:

$$\Delta P_\Sigma = \Delta P_1 + \Delta P_2 \quad (4)$$

接入分布式光伏前后配电网线损变化量为:

$$\Delta P' = \Delta P_\Sigma - \Delta P = \frac{P_{PV}(P_{PV} - 2P_L)}{U^2} RK \quad (5)$$

由式 (5) 可知, 在接入分布式光伏后, 低压台区线路损耗的加减呈现出一种不确定性, 若分布式光伏发出的功率小于两倍的负荷量, 会降低配电网的线路损耗; 若分布式光伏发出的功率等于两倍的负荷量, 配电网线路损耗不发生变化; 若分布式光伏发出的功率大于两倍的负荷量时, 反而使得配电网线路损耗增加。

分布式光伏引起的线损不确定性, 也给线损异常判断带来了问题: (1) 分布式光伏发电时, 由于光伏组件等设备的运行特性, 会造成电能损耗, 进而导致低压台区线损异常。(2) 分布式光伏发电系统接入配电网后, 配电网电压波动会导致低压台区出现电压、电流不平衡的情况, 进而使低压台区线损异常<sup>[3]</sup>。

### 3 线损异常台区判别流程

#### 3.1 数据预处理

由于低压台区采集的数据量大, 数据类型多样, 同时受到设备故障、电压质量等因素影响, 使得数据不稳定, 存在数据缺失、异常点、异常值等情况。因此, 需要对采集到的低压台区线损数据进行预处理。在线损数据预处理中, 首先需要进行数据清洗。由于采集系统中的采集终端对数据的采集和记录方式不一致, 导致同一台区的线损数据在不同采集终端中具有不同的属性值, 并且不同终端之间存在差异。在线损数据预处理过程中, 首先需要将线损异常样本与正常样本进行分类和归一化处理, 将线损率大于正常值的样本定义为台区线损异常样本, 将线损率小于正常值的样本定义为台区线损正常样本<sup>[4]</sup>。

#### 3.2 特征指标选取

在台区线损异常辨识中, 特征指标的选取是影响模型训练精度的关键因素之一。针对台区线损异常样

本, 选取线损数据中的特征指标。考虑到台区线损数据的非平稳性, 采用主成分分析法对台区线损数据进行特征提取。主成分分析是一种降维技术, 其基本思想是将一个变量的数据信息经过线性变换变成几个变量的线性组合, 即将原始变量进行降维, 从而减少原始数据之间的相关性。基于主成分分析法, 可以通过提取台区线损数据中的特征指标来建立模型。根据台区线损数据特性选取的特征指标主要包括: 线损均值、标准差、变异系数、偏度和峰度等。其中, 线损均值是衡量台区线损异常样本数量最常用的指标, 变异系数是衡量台区线损异常样本离散程度最常用的指标, 而偏度则用于描述台区线损数据离散程度和分布情况, 峰度则用于衡量台区线损异常样本离散程度和分布情况。

### 4 线损异常判定方法

#### 4.1 基于灰色关联度的线损异常指标选取

##### 4.1.1 灰色关联度概念

灰色关联度概念是一种用于分析和评估不确定性和模糊性数据的方法。它是由中国科学家陈三立在 1980 年代初提出的。灰色关联度理论基于灰色系统理论, 它通过对数据序列中的变化趋势和模式进行分析, 揭示出因素之间的关联程度。灰色关联度可以用于研究多个因素之间的相关性, 并且可以处理部分已知信息的情况下的数据不完整问题。它适用于各种领域的数据分析, 包括工程、经济、管理、环境科学等。

在灰色关联度分析中, 首先需要确定一个参考因素, 然后将其他因素与参考因素进行比较。通过计算各个因素的关联度, 可以评估它们与参考因素之间的相关性程度。关联度值越大, 表示两个因素之间的相关性越高。灰色关联度分析可以帮助我们在复杂的数据中提取出有用的信息, 并洞察因素之间的关系。它常用于预测、决策分析、优化设计等问题中, 为决策提供科学依据。

计算灰色关联度的关联度系数和关联度表达式分别为:

$$\gamma_{0i} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \gamma(x_{0j}, x_{ij}) \quad (6)$$

$$\gamma_{0i} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \gamma(x_{0j}, x_{ij}) \quad (7)$$

##### 4.1.2 线损相关指标分析

线损率反映了一个台区的线损水平, 所以选择线损率作为台区线损的映射量<sup>[5]</sup>。在台区拓扑结构和用户固定的前提下, 考虑温度对光伏的影响, 以及光伏

对线损影响的潜在可能,同时考虑与用户相关的电量指标,选取光伏发电量、平均温度、相对湿度、供电量和售电量等进行灰色关联度分析,探索考虑分布式光伏接入的线损关联因素。

以某实际配电台区拓扑为基础,定义台区 1 有 3 个光伏用户,光伏接入总容量为 12kW;台区 2 有 15 个光伏用户,光伏接入总容量为 35kW。对两个台区的光伏发电量、平均温度、相对湿度、供电量、售电量和线损率因素进行关联性分析,可得出以下结论:(1)供电量和售电量对线损率的关联度比较大。(2)台区 1 光伏用户少,光伏发电量较少,光伏发电量和平均温度对线损率的关联度都比较低(关联度小于 0.7);台区 2 光伏用户多,光伏发电量比较大,平均光伏发电量约占平均售电量的 25%,光伏发电量和平均温度对线损率的关联度也较高(关联度大于 0.7)。

根据上述分析,光伏发电量的大小将影响光伏发电量对线损的影响程度,当光伏发电量比较大的时候,光伏发电量对线损率的关联度比较大,反之当光伏发电量比较小的时候,光伏发电量对线损率的关联度比较低。因此,在实际线损异常判别时,应首先对台区的情况进行分析,再结合关联度分析选择合适的指标进行离群点检测,寻找线损异常的数据,以此来判断台区线损是否有异常的可能。

#### 4.2 基于时间离散度的线损异常台区判别

##### 4.2.1 时间离散度计算

对于分布式光伏而言,其主要输出电量为太阳能电池板所接收的光能,而非电力系统内部消耗的电能,其与电力系统内部电能损耗之间存在一定的差异,因此在考虑分布式光伏对配电网线损分析影响时,应首先考虑分布式光伏电量对线损分析的影响。

基于分布式光伏电量信息计算得到台区线损时间离散度可表示为:

$$T_j = \frac{1}{n_j - 1} \sum_{k=1}^{n-1} (t_{k+1} - t_k), k = 1, 2, \dots, n-1 \quad (8)$$

其中,  $n_j$  为第  $j$  簇的总天数;  $t_k$  为数据对应的时间。

##### 4.2.2 线损异常台区判别

低压台区线损率是衡量低压台区的经济性能指标,具有明确的经济含义。由于其与分布式光伏发电系统相结合,可将分布式光伏发电系统所发电量与电能计量装置计量的电量进行叠加,从而形成综合线损。通过综合线损可以反映出分布式光伏发电系统所发电能是否为用户所用,从而进一步判断线损异常的原因<sup>[6]</sup>。

基于对分布式光伏发电系统发电量的分析,本节从以下两个方面对低压台区线损异常辨识进行研究:

通过分析分布式光伏发电系统发电量与台区用户用电量之间的关系,得到台区分布式光伏电量与台区用户用电量之间的关系曲线。由于分布式光伏发电系统的特殊性,其在运行过程中存在波动,因此需要对其所发电能进行多项式拟合,将拟合后的电量和实际电量进行对比,从而确定出分布式光伏发电系统所发电能是否为用户所用。对该部分内容进行详细介绍。

异常系数是用来判断一个台区是否异常的,为方便比较,对台区时间离散度量化处理。通过本文方法,并根据实际情况和数据分析,参考以往文献,当异常系数大于 0.5 时判定为异常台区。台区线损异常系数的计算公式为:

$$x = 1 - \sum c_j \frac{T_j}{t_{j\max}} \quad (9)$$

$$t_{j\max} = \frac{n}{n_j - 1} \quad (10)$$

式中:  $x$  为台区线损异常系数;  $c_j$  为第  $j$  簇离群点所占总离群点的比重;  $t_{j\max}$  为  $T_j$  的最大值;  $n$  为总天数。

#### 5 结论

由于低压台区线损率数据采集系统结构复杂,存在分布式光伏接入、电压、电流互感器变比故障、配电变压器故障等多种不确定因素,线损率数据采集系统与其他系统关联较弱。本文针对低压台区线损异常辨识问题,基于分布式光伏电量信息,分析了包含分布式光伏的低压台区线损异常辨识方法,实现台区线损异常辨识。

#### 参考文献:

- [1] 谢泉,王若昕,沈丹青,等.光伏发电接入对配电网低压台区线损的影响[J].电工材料,2021(01):45-47.
- [2] 梁嘉文,严贝峰,景楷楠,等.基于 K-Medoids 聚类的分布式光伏台区线损异常感知算法[J].电机与控制应用,2022,49(12):47-52,80.
- [3] 吴虹.光伏台区同期线损异常原因分析及治理思路[J].江苏科技信息,2019,36(29):44-48.
- [4] 刘金亮,宋文乐,黄庆,等.电桩谐波分布式光伏发电并网台区线损精确计算方法[J].电气自动化,2021,43(04):14-16.
- [5] 罗耀强.配电台区高光伏渗透率下电压影响分析及治理策略[J].电力系统装备,2022(03):90-93.
- [6] 沈明,刘恋,马佳妮,等.考虑分布式电源的低压台区线损计算公式修正及线损分析[J].电力与能源,2017,38(06):676-681.