

分布式光伏并网后台区线损异常反转现象剖析与应对

高 源

(国网重庆市电力公司市南供电分公司, 重庆 401320)

摘 要 分布式光伏大规模接入改变了配电台区单向潮流格局, 导致传统线损理论面临挑战, 台区线损率突变及负值等“异常反转”现象频发。异常反转本质上是物理损耗特性与统计计算模型不匹配的体现, 其成因不仅包含电流互感器轻载误差、双向表计接线错误等计量配置问题, 更涉及光伏大发引发的潮流逆向分布、单相接入加剧的三相不平衡与无功倒送等物理层面因素, 同时叠加了光伏表计归属错位与户变关系不一致等档案错配引发的统计性负损。基于此, 本文提出通过强化计量精益化改造与拓扑精准识别夯实数据基础, 依托智能融合终端优化就地无功补偿, 并构建多维关联分析模型提升数字化预警研判能力的应对策略, 以期对提升有源配电网线损治理水平有所裨益。

关键词 分布式光伏; 配电台区; 线损异常反转; 潮流反向; 有源配电网

中图分类号: TM727

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.24.006

0 引言

在新型电力系统建设背景下, 分布式光伏接入配电网的规模与比例不断攀升。传统的台区线损管理理论及计算模型均基于单向受电架构设计, 随着光伏并网引发潮流双向频繁交替, 基层线损管理人员在营销系统与配电自动化系统中遭遇了大量线损率突变、负值等异常数据。这类被称为“线损异常反转”的现象, 在实际业务中往往并非单纯的物理网络损耗异常, 而更多指向光伏发电表配置错误、计量参数设置不规范等导致的统计性电量计算偏差, 同时也交织着有源网络下损耗分布规律的改变。深入剖析此类异常反转现象的构成要素与诱发机理, 进而制定针对性的管控策略, 已成为基层供电企业提升台区线损精益化管理水平的紧迫任务。

1 分布式光伏并网后台区线损异常反转的现象特征

1.1 传统台区线损与光伏台区线损的表征差异

无光伏接入的传统台区, 电能由变压器高压侧单向流向低压用户。其线损特征相对平稳, 线损率主要随负荷峰谷变化呈现规律性波动, 且理论线损与统计线损方向一致, 始终为正值。台区线损率主要受导线截面、供电半径、负荷分布及变压器负载率决定。引入分布式光伏后, 台区内部同时存在电源与负荷, 电

能流动路径不再单一。此时, 统计线损不仅包含实际物理网络中的电阻发热损耗, 更严重受到关口表计与用户表计之间计量同步性、误差方向的综合影响。表征上的最大差异在于, 光伏台区的统计线损率打破了“恒正”的规律, 表现出强烈的非线性与不确定性^[1]。

1.2 线损异常反转的典型数据特征

线损率由正向突变为负向的“极性反转”是此类异常最直观的表现。在光伏发电高峰时段, 台区总表记录的供电量可能小于该时段内所有用户表计抄见电量之和, 导致“供电量—售电量”出现负值, 线损率在系统中显示为负数。这种现象在物理层面是不可能发生的, 纯属统计计算层面的异常映射。昼夜交替时段线损率的“剧烈波动”同样显著。晴天正午光伏出力达到峰值, 潮流反向最为严重, 线损率可能瞬间跌入谷底甚至转为负值; 傍晚光伏出力骤降, 台区重新回到单向供电状态, 线损率又会快速拉升。

不同光伏渗透率下的线损离散性表现也十分突出。在低渗透率台区, 光伏仅作为局部补充, 线损率偏离正常值幅度较小; 当光伏装机容量超过台区变压器额定容量的某一临界点后, 线损率数据的离散度急剧增加, 相邻两日间若光照条件不同, 线损率差异可能达到数个百分点, 完全失去统计规律性^[2]。

作者简介: 高源 (1989-), 女, 本科, 工程师, 研究方向: 线损、计量、用检。

1.3 异常反转现象的季节周期与气象高敏感性

有别于常规台区线损主要受工业与居民生活作息规律主导, 光伏台区的异常反转现象展现出极强的气象依赖与季节周期属性。在连续晴朗的高辐照季节, 光伏大发导致潮流双向交替频繁, 线损异常反转现象发生的频次与负值深度达到顶峰; 而在阴雨天气或冬季低温低辐照时段, 光伏出力受限, 台区退化为传统受电模式, 线损率随之回归正向平稳区间。这种气象敏感性极易引发线损管理的“阶跃式异动”。特别是在季节交替或遭遇连续阴雨转晴的气象突变节点, 台区线损率往往缺乏过渡, 直接从正常值跳变至异常反转状态。气象条件的不确定性使得光伏台区的线损曲线在时间序列上被高频切割, 传统基于月度或年度时间尺度的线损趋势分析完全失效, 凸显出高比例新能源接入下台区线损边界条件的高度脆弱性与波动性^[3]。

2 台区线损异常反转现象的成因

2.1 计量装置配置与误差因素

电流互感器 (CT) 变比选择不当与轻载误差是导致反转的常见硬件原因。部分台区在初始建设时, 按照常规负荷选取了较大变比的 CT。光伏接入后, 在电网向负荷供电的低谷时段或光伏大发时段, 一次侧实际电流远低于 CT 额定电流的 10%, 甚至接近空载。此时 CT 的激磁电流占比增大, 比差向负方向急剧偏移, 导致关口表计量的输入电量大幅虚低。当这种虚低程度超过低压用户侧表计的综合误差时, 统计线损即呈现负值。

双向计量表计的接入误差与极性反接同样会引发数据扭曲。光伏并网要求采用具备正反向有功计量功能的全电子式表计。若在施工或改造过程中, 出现电压相序错接、电流进出线接反等隐蔽性接线错误, 表计内部会将实际发出的有功电量错误计为消耗电量, 或将反向有功计入错误象限。

2.2 物理拓扑变化与潮流反向

光伏大发时段引发的潮流逆向分布是改变物理损耗格局的根本动因。传统辐射状配电网的损耗计算基于递增的负荷电流。当光伏出力大于本台区负荷时, 多余电能通过低压线路逆向流过配电变压器, 再升压至中压网络。此时, 线路中的电流分布发生根本性改变。

“源-网-荷”距离不匹配导致的损耗转移进一步加剧了账面异常。若大容量光伏集中接于低压线路末端, 而本地负荷主要集中在变压器附近, 光伏电能需经过全线路长距离倒送。由于低压线路阻抗中电阻占比较大, 长距离反向输送会大幅增加线路物理损耗。但在统计层面, 这部分增加的物理损耗往往被计量误

差或不同步所掩盖, 表现为当物理损耗升高时, 由于关口计量点特性的改变, 统计线损率反而呈现下降或反转的假象^[4]。

2.3 三相不平衡与无功功率倒送

单相光伏接入加剧的三相不平衡损耗是低压台区的特有问题。受限于屋顶面积和安装条件, 大量单相光伏随机接入 A、B、C 三相。由于光伏出力的随机性, 原本就存在的三相不平衡被严重放大。不平衡电流会在中性线上产生零序电流, 导致中性线损耗急剧增加。逆变器无功调节能力不足引发的功率因数恶化同样不可忽视。多数早期并网的逆变器采用单位功率因数控制策略, 不参与无功电压调节。当光伏大发、有功功率大量倒送时, 台区线路呈现容性特征, 系统吸收的无功功率发生变化。若台区原有的无功补偿装置未能及时退出或调整, 极易出现无功功率在光伏与电容器之间往复流动的现象。无功潮流的紊乱不仅拉低了台区整体功率因数, 更增加了视在功率, 导致有功损耗和无功损耗同步攀升, 使得线损账面数据更加紊乱。

2.4 同期系统中光伏计量配置错位引发的统计性反转

基层台区线损异常反转数据的直观呈现, 主要依托于同期线损管理系统。该系统的底层计算逻辑基于严密的“总表电量减去分表电量”模型。当光伏接入后, 同期系统最多只能通过采集关口总表的反向电流来识别台区存在向外倒送电的现象, 但系统本身无法自动解析这些倒送电量的复杂结算属性。

在具体业务中, 光伏并网通常涉及自发自用电量与上网电量的区分, 部分台区配置了发电表与上网表两套计量节点。若在系统建档时, 错误地将光伏“发电量表”的电量属性标识为正常的“售电量”, 或者将上网表的计量方向配置为正向受电, 同期系统在进行台区电量决算时, 就会把光伏自身产生的电量错误地当成电网下发的售电量进行叠加。当这种由于配置错误虚增的“售电量”超过台区总表的实际供电量时, 同期系统便会直接计算出负线损^[5]。

3 分布式光伏台区线损异常反转的应对策略

3.1 强化计量精益化管理与技术改造

优化高光伏渗透率台区的 CT 配置标准是消除计量误差的基础。针对光伏接入比例超过 50% 的台区, 应开展专项排查, 全面评估现有 CT 的运行工况。对于常年处于轻载状态的互感器, 应更换为高精度、宽量程的 S 级电流互感器, 或者采用 0.2S 级计量电流互感器以缩小低负荷区的误差带。条件允许的台区, 可逐步推进

高供低计台区取消CT的改造方案,采用全直接接入式智能电表,从物理根源上消除CT比差带来的负面影响。

规范光伏并网双向计量装置的安装与验收需建立刚性约束。在光伏并网验收环节,必须引入相量图分析作业标准,严格核对光伏上网计量点与用户用电量点的接线极性、相序。建立光伏表计接线专项复核机制,杜绝凭借经验肉眼判断的做法。同时,在营销系统中完善光伏表计的运行状态监测,对出现反向有功电量与正向有功电量逻辑冲突的表计,系统应能自动冻结数据并触发现场稽查流程。

3.2 推进台区拓扑精准识别与档案治理

建立光伏接入动态台账更新机制是遏制统计性负损的管理核心。营销与配电业务部门必须打破数据壁垒,实现光伏业务流程的闭环联动。任何新增、扩容或变更的光伏项目,在并网环节必须同步完成营销系统档案的挂接与拓扑更新。实行“无档案不并网、档案错不结算”的管理原则,确保台区总表与下级所有光伏表计、用户表计在同一个空间和时间维度内严格对应。

应用拓扑识别技术解决“户变关系”错位是提升治理效率的技术利器。单纯依靠人工拉网式排查户变关系耗时费力。应充分利用台区智能融合终端采集的电压、电流高频数据,通过大数据算法比对各用户节点与不同台区总表之间的电压波形相似度与暂态波动相关性。当某光伏用户电压波动曲线与相邻台区总表高度耦合时,系统自动识别并生成疑似错接工单,依此进行精准的物理档案纠偏,确保线损计算模型的基础架构绝对正确。

3.3 优化台区运行控制与无功补偿

合理规划光伏接入容量与相序是从源头降低附加损耗的规划手段。在光伏接入方案审查阶段,应依据台区三相负荷历史数据进行测算,尽量将单相光伏均匀分散接入A、B、C三相。对于装机容量较大的单相光伏,强制要求采用三相逆变器或通过相序转换设备均衡接入。同时,设定台区光伏准入红线,当台区光伏总容量与变压器额定容量比值超过临界值时,需同步开展台区承载力评估,必要时实施台区增容或分裂改造,避免潮流严重越界。

依托台区智能融合终端实现就地无功补偿是改善运行工况的关键。将传统静态无功补偿装置升级为具备动态连续调节能力的智能设备。利用台区智能融合终端的边缘计算功能,实时采集光伏出力与负荷功率,计算出线路中的无功缺口。通过高速通信接口,向下发指令调节智能电容器的投切,或向具备Q(V)下垂控制功能的逆变器下发无功出力目标值,实现“源网荷”

两端的无功就地平衡,消除无功倒送引起的功率因数恶化及附加线损。

3.4 提升线损异常研判的数字化能力

构建“光伏出力—线损率”多维关联分析模型能够实现从被动应对向主动预警的转变。传统的日统计线损已无法满足光伏台区的管理需求。应打通气象数据、光伏逆变器运行数据与台区线损计算的底层链路。将光照辐照度、环境温度作为变量引入分析模型,测算在不同气象条件下光伏台区理论线损的合理浮动区间。当系统采集的实际统计线损偏离该动态区间时,即可判定为异常。

建立台区线损异常反转的自动预警与派单机制是形成管理闭环的保障。在用电信息采集系统中开发专项诊断模块,针对“极性反转”和“剧烈波动”设定特征阈值。一旦触发预警,系统不应简单下发“高损/负损”提示,而应结合前述成因分析逻辑进行初步故障定位。若判断为三相不平衡导致,自动派发“三相不平衡调整”工单至配电运维班;若判断为计量异常,则派发“现场装表接电核查”工单至计量班组。通过数字化的精准分拣,大幅缩短异常排查周期,提升台区经济运行水平。

4 结束语

分布式光伏并网后台台区线损异常反转现象,是传统配电网向新型有源配电网演进过程中的必然产物。该现象并非单纯的物理损耗异常,而是计量误差、潮流反向、三相失衡以及档案错配等多重因素在统计层面的叠加反映。应对这一问题,无法依靠单一的技术改造或管理手段,必须摒弃传统的单向思维,将计量精细化、拓扑数字化、运行柔性化与研判智能化深度融合。只有通过“技术+管理”的双轮驱动,厘清有源台区线损的真实物理逻辑与统计逻辑,才能有效根治线损异常反转顽疾,从而为高比例新能源接入下的配电网经济运行与精益化管理提供坚实的保障。

参考文献:

- [1] 陈明,何雪梅,赵顺麟,等.非参数核密度估计下台区线损异常数据辨识[J].电子设计工程,2025,33(03):74-77,82.
- [2] 谢鑫.配电网台区线损异常原因与应对措施[J].中国高科技,2025(03):63-65.
- [3] 闫好霖,肖旭文,王婷婷,等.供电企业中台区线损异常原因研究[J].电力设备管理,2024(14):17-19.
- [4] 李倩.农村低压台区线损异常综合治理技术探析[J].电力设备管理,2025(12):38-40.
- [5] 陈天德,刘登瑞,岑荣佳.台区线损异常原因及管理方法[J].农村电气化,2024(11):110-112.