分布式光伏接入配电网电能计量优化技术研究

陈刚，陈锋
苏州三新供电服务有限公司常熟分公司，江苏 常熟 215500
DOI: 10.61369/TACS.2026090029

摘　　要： 随着新型电力系统的不断推进，分布式光伏由于具有清洁低碳、就地消纳、灵活部署的特点，在低压配电网中的渗透率越来越高。分布式光伏具有间歇性、随机性、双向潮流的运行特点，彻底改变了传统配电网单向供电、潮流稳定的运行模式，造成传统电能计量装置、计量算法、接线方式产生计量偏差、线损统计失真、电量结算不准等许多问题出现。本文对分布式光伏接入配电网后电能计量存在的难点和问题进行系统分析，从计量装置升级、计量算法优化、接线方案改进、线损核算校正四个方面提出适合高渗透率分布式光伏的电能计量优化技术体系，通过实际工况验证优化方案的可行性和有效性，为提高配电网光伏计量精度、规范电量结算、降低台区线损、保障电网与用户双向权益提供技术支持。

关 键 词： 分布式光伏；配电网；电能计量；计量优化；线损校正

Research on Power Metering Optimization Technology of Distribution Network Connected with Distributed Photovoltaics

Chen Gang, Chen Feng
Suzhou Sanxin Power Supply Service Co., LTD. Changshu Branch, Changshu, Jiangsu 215500

Abstract: With the continuous advancement of the new power system, distributed photovoltaics (DPV) have gained increasingly high penetration in low-voltage distribution networks due to their advantages of cleanliness, low carbon, local consumption and flexible deployment. Featuring intermittency, randomness and bidirectional power flow, distributed photovoltaics have completely changed the traditional operation mode of distribution networks with unidirectional power supply and stable power flow, resulting in a series of problems including metering errors, distorted line loss statistics and inaccurate power settlement caused by traditional power metering devices, metering algorithms and wiring modes. This paper systematically analyzes the difficulties and problems of power metering after the integration of distributed photovoltaics into distribution networks. A power metering optimization technical system suitable for high-penetration distributed photovoltaics is proposed from four dimensions: metering device upgrading, metering algorithm optimization, wiring scheme improvement and line loss accounting correction. The feasibility and effectiveness of the optimization scheme are verified through practical operating conditions. The research findings can provide technical support for improving the photovoltaic metering accuracy of distribution networks, standardizing power settlement, reducing station line loss, and protecting the mutual rights and interests of power grids and users.

Keywords: distributed photovoltaic; distribution network; power metering; metering optimization; line loss correction

引言

在“双碳”目标和能源转型战略的驱动下，我国分布式光伏发电产业快速规模化发展，大量的户用、工商业分布式光伏机组就近接入到0.4kV低压配电网中，成为配电网分布式新能源的主要构成部分。传统的配电网是单向辐射式的供电方式，电能从变电站向用户单向输送，配套的电能计量体系、设备选型、核算方法都是根据单向潮流特性来设计的，技术体系成熟、计量精度高。分布式光伏并网之后，配电网由原来的无源网络变成了有源网络，电能潮流出现双向流动的情况，白天光伏出力充沛的时候用户富余的电量会反向输送到电网里，晚上光伏停止发电的时候电网就会正常给用户供电。光伏出力受光照强度、天气变化、时段波动的影响较大，具有随机性、间歇性和波动性，电网并网运行时容易产生谐波、电压波动、直流分量等电能质量问题，给传统的电能计量设备的测量精度和运行稳定性带来很大的干扰。开展分布式光伏接入配电网的电能计量优化技术研究，解决双向潮流、新能源扰动下计量问题，对于完善新型电力系统计量体系、保护供用电双方权益、提高配电网精细化运维水平有着十分重要的工程价值和现实意义。

Copyright © This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

一、分布式光伏并网对配电网电能计量的影响及现存问题

（一）双向潮流引发计量模式不匹配问题

传统的配电网电能计量装置都是单向计量的，只能计量电网向用户输送的正向用电量，不能识别、统计用户光伏余电反向输送到电网的上网电量。分布式光伏主流运行模式分为全额上网和自发自用、余电上网两种，两种模式都存在双向电能流动的场景。老旧机械式电能表、普通单向智能电表不能适应双向潮流工况，容易造成反向电量漏计、正负电量抵消、电量统计混乱等现象，直接造成电费结算误差，引起供需双方计量纠纷。部分台区虽然更换了双向电表，但是没有对计量核算规则进行相应的调整，不能准确区分自发自用电量、上网电量和电网供电量，计量数据的精细化程度不高[1]。

（二）电能质量扰动导致计量精度下降

分布式光伏采用逆变器将交流电转换为直流电并接入电网，逆变器电力电子器件在工作时会产生谐波、电压畸变、高频干扰和少量的直流分量，从而影响配电网的电能质量。传统的电能计量设备是按照标准正弦波工况来设计的，不能很好地适应非正弦、畸变波形，谐波干扰会造成电表采样误差、脉冲计数错误，从而造成有功、无功电量计量不准确。光伏出力的瞬时波动会使得电网电压出现小幅度波动，进而加重计量数据的漂移，长时间运行后计量误差不断累积，对台区电量统计造成严重影响。

（三）台区线损统计失真问题突出

传统的台区线损计算方法是“台区总供电量减去用户总用电量”，只适合单向供电的网络。分布式光伏并网之后，用户侧反向送电会造成台区实测用电量大幅下降，如果使用传统的线损核算公式，就会出现台区线损偏低、零线损甚至负线损的异常现象，不能真实反映配电网线路损耗和设备损耗的实际水平[2]。线损数据失真会扰乱供电公司台区运维、降损改造、电网规划的决策判断，致使台区精益化管理失效，成了光伏台区运维的突出难题。

（四）计量接线与运维体系存在短板

部分分布式光伏并网工程接线不规范、计量点位设置不合理，没有严格区分发电计量点、用户用电计量点和并网结算计量点，造成电量统计交叉混淆。光伏台区计量设备长期处于户外工况之中，受温湿度、环境干扰的影响比较大，并且缺少常态化的专项校准制度，老旧设备精度衰减、故障隐患不能及时发现。另外，基层运维人员对于光伏双向计量、谐波工况计量的运维经验欠缺，设备调试、故障处置、数据校核能力欠缺，使得计量体系运行漏洞更加明显[3]。

二、分布式光伏配电网电能计量优化关键技术

（一）计量装置升级优化技术

对于传统单向电表不能适应双向潮流、抗干扰能力差的现状，需要全面开展光伏台区计量装置迭代升级工作，全部安装四象限双向智能电能表代替老旧单向计量设备。该类电表具有正向有功、反向有功、正向无功、反向无功四个象限的计量功能，可以独立准确地统计出电网供电量、光伏自发自用电量、余电上网电量和无功功率损耗，实现了双向电量精细化区分计量，从硬件上解决了双向潮流计量混淆的问[4]。

同时对计量设备抗干扰能力进行优化，选择具有谐波抑制、波形修正功能的高精度智能电表，内置波形采样修正算法，可以有效地消除光伏逆变器产生的谐波、高频扰动干扰，准确地识别出非正弦工况下有效的电能，大大提高了复杂电能质量工况下计量精度。配套升级台区数据采集终端，完成电表数据的实时采集、远程传输、异常告警，搭建起光伏台区计量数据动态监测体系，保证计量数据实时、准确、可追溯[5]。严格按照 DL/T 825-2021《电能计量装置安装接线规则》规范设备安装和接线，准确划分计量点位，全额上网模式单独设置光伏发电计量点和电网结算计量点，自发自用模式分别配置用户用电表、光伏发电表和并网双向结算表，杜绝接线不规范造成的计量误差。

（二）计量算法优化技术

为了抵消谐波干扰、出力波动造成的计量误差，用基于小波变换的电能计量优化算法来改善电能计量的算法。相比传统的傅里叶算法，小波变换算法可以同时完成时域和频域的分析，准确地将基波有效电量和谐波干扰分量分开，过滤掉光伏并网产生的高频谐波、瞬时扰动信号，只对有效基波电能进行统计计量，有效解决了非正弦波形工况下计量失真的问题，提高了畸变电能工况下的计量精确度。

为解决光伏出力随机性造成的瞬时计量波动问题，使用动态加权平均滤波算法对实时采集到的电能数据进行平滑处理，剔除异常突变的数据，保留有效的计量数据，达到平衡瞬时波动引起的计量误差的目的。同时优化无功计量算法，适应光伏逆变器无功调节特性，准确统计台区无功电量和功率因数，解决光伏并网后功率因数核算不准、无功计量偏差的问题，保证无功考核、电费核算的规范性和准确性。

（三）台区线损核算优化技术

为了克服光伏台区线损统计失真的问题，重新建立适合双向潮流的台区线损计算模型。抛弃传统的单向线损计算公式，根据分布式光伏出力特点和双向电量流动的规律，创建光伏台区综合线损核算模型。模型把台区总损耗分成电网正向供电损耗和用户反向送电损耗，分别统计台区变电站输出电量、用户光伏总发电量、用户总自用电量、电网总上网电量，用台区总损耗 =（电网供电量 + 光伏反向上网电量）- 台区有效用电量的修正公式来准确计算台区真实的线损率，完全消除负线损、虚假低线损的问题[6]。

建立台区线损动态校正机制，根据季节光照变化、光伏出力时段特点、用户用电负荷规律，分时段修正线损核算参数，做到峰谷时段、昼夜时段的差异化精准核算。利用线损模型的优化可以得到真实的光伏台区线路、变压器实际损耗水平，给台区降损改造、负荷优化、运维管控提供准确的数据支持。

（四）计量运维与管理体系优化

创建适合分布式光伏并网的常态化计量运维体系，建立光伏台区计量设备专项台账，落实定时校准、巡检、保养制度，依照

 Copyright © This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

周期对双向智能电表、采集终端、接线回路展开校验检测，及时更换精度衰减、故障老化的设备，保证计量设备长久稳定运行。创建数字化计量监测平台，完成台区电量数据、设备状况、线损指标等信息的实时监管，对出现的计量异常、数据波动、接线故障等现象发出告警，使问题得到及时处理[7]。

加强运维人员专业能力建设，对光伏双向计量技术、设备安装规范、算法原理、故障排查进行专项培训，提高基层人员光伏台区计量运维、数据校核、纠纷处理能力。完善光伏电量结算规则，明确自发自用电量、余电上网电量、全额上网电量三类电量的拆分、电价核算标准，细化双向电量统计流程，从管理上杜绝计量结算的漏洞，保护电网和用户双方的合法权益[8]。

三、优化方案效果验证与分析

为了检验本文所提出的技术体系是否具有实用性和有效性，选择一个乡镇有28户分布式光伏用户、低压台区进行试点应用，该台区光伏总装机容量为186kW，运行方式为自发自用、余电上网，但运行初期存在计量混乱、线损真、结算偏差等主要问题。对本台区进行全面的设备更新、算法改进、线损模型校准和运维体系改善，与改造前的计量结果进行比较。

改造前该台区由于双向潮流、谐波干扰造成月均计量误差率3.2%，经常出现负线损数据，月度线损数据波动很大，电费结算偏差问题时有发生，年均产生计量纠纷4-6起。改造之后，高精度双向电表加上优化算法可以很好地抑制谐波和双向潮流对计量的干扰，台区电能计量误差率降到0.8%以下，计量精度明显提高。经过优化后得到的线损核算模型可以真实反映出台区的实际损耗情况，每月度线损数据平稳可控，从根本上消除了负线损、虚假线损的问题。标准化的计量接线和运维体系消除人为、设备性计量漏洞，台区电费结算零误差、零纠纷，台区整体计量规范化、精细化水平明显提高[9]。

试点应用结果表明，本文提出的计量优化技术体系适合于分布式光伏并网工况，可以很好地解决双向潮流、电能质量扰动引起的各种计量问题，计量精度、数据稳定性和运维规范性都有了明显提高，具有较好的工程实用性和推广价值[10]。

四、结语

综上所述，随着新型电力系统的不断发展，分布式光伏的渗透率也越来越高，配电系统计量的场景也越来越多样化。后续研究可以针对高比例光伏集群并网、多用户光伏叠加工况下计量优化展开，借助物联网、大数据、边缘计算技术，创建智能化、数字化的光伏计量监测和自适应优化体系，达成计量数据即时分析、误差动态修正、故障智能判定，从而加强配电网新能源计量的精确化、智能化程度，给新能源产业高质量发展、配电网精益化运维、“双碳”目标达成赋予有力的技术支撑。

参考文献

[1] 易泽华 . 高比例分布式光伏接入下配电网电压无功协同控制方法研究 [J]. 标准生活 ,2025,(S1):107-109.

[2] 余沛文 , 金晟 . 高比例分布式光伏接入下配电网电压控制方法研究 [J]. 电气技术与经济 ,2025,(12):46-48.

[3] 冯金松 . 含分布式光伏接入的低压配电网电压越限抑制策略分析 [J]. 电力设备管理 ,2025,(23):86-88.

[4] 何灵鑫 . 分布式光伏接入对配电网电压稳定性的影响分析 [J]. 电力设备管理 ,2025,(23):92-94.

[5] 夏才淦 . 分布式光伏配电网储能系统集成技术与优化配置技术 [J]. 光源与照明 ,2025,(11):146-148.

[6] 周翔宇 , 李冲 . 分布式光伏接入下配电网自动化电压调控技术研究与应用 [J]. 中国高新科技 ,2025,(22):72-74.

[7] 宋钰 , 郭玥 , 王旭阳 , 等 . 分布式光伏接入配电网安全经济承载力评估 [J]. 浙江电力 ,2025,44(11):93-102.

[8] 周然 . 分布式光伏接入低压配电网电流越限预防 [J]. 电力设备管理 ,2025,(21):67-69.

[9] 杨波 , 王辰 , 杨慎全 , 等 . 配电网分布式光伏集群的分散自适应发电控制策略 [J]. 供用电 ,2025,42(11):95-103.

[10] 徐蔚涵 . 分布式光伏接入配电网的保护误动典型案例分析及改进措施 [J]. 光源与照明 ,2025,(10):145-147.

Copyright © This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License