

配电计量装置在碳足迹追踪与碳中和目标中的应用框架设计

陈立波

1. 浙江容大电力工程有限公司 浙江 杭州 310000

2. 浙江容大电力工程有限公司富阳供配电服务分公司 浙江 杭州 310000

摘要：本文围绕配电计量装置在碳足迹追踪与碳中和目标中的应用，设计应用框架。通过分析配电计量装置功能定位与碳足迹追踪与碳中和需求分析，构建包含硬件层、数据采集层等五层架构的总体框架。详细设计碳足迹追踪、碳排放核算等核心功能模块，规划数据交互与通信方案。同时提出分阶段的实施路径，包括试点部署、优化迭代及全面推广策略。该框架可实现配电环节碳足迹精准追踪与碳排放科学核算，为节能优化决策提供依据，有效支撑碳中和目标实现，对提升能源管理效率、促进电力系统低碳转型具有重要意义。

关键词：配电计量装置；碳足迹追踪；碳中和；应用框架；节能优化

1 引言

随着全球能源结构转型与气候治理需求升级，碳中和已成为能源领域发展的核心目标。配电系统作为能源传输与消耗的关键环节，其碳排放精准管控对实现碳中和至关重要。配电计量装置作为能源数据采集的基础设备，不仅能够实时监测电力消耗，更可通过数据挖掘与分析实现碳足迹追踪，为能源管理与碳排放控制提供关键数据支撑。本研究聚焦配电计量装置在碳足迹追踪与碳中和目标中的应用，旨在构建一套科学、高效的应用框架。研究将深入分析装置功能需求，优化数据采集与处理流程，突破计量精度与系统集成等关键问题。通过系统性框架设计与实施路径规划，提升配电系统碳排放管理水平，助力能源领域碳中和目标的实现，为电力行业低碳转型提供技术支持与实践参考。

2 配电计量装置功能定位与碳足迹追踪与碳中和需求分析

2.1 配电计量装置功能定位

配电计量装置在碳足迹追踪与碳中和目标实现进程中，扮演着不可或缺的关键角色，具备多重核心功能定位。首先，其作为电力系统的“数据感知器”，借助高精度传感器、智能终端等设备，持续采集电压、电流、功率等基础电气参数，以及能源种类、流向等与碳排放紧密相关的数据，为碳足迹量化分析提供原始且精准的数据基础。其次，作为“碳排放核算终端”，装置内置专业算法与权威碳排放因子库，能够基于采集数据，快速、准确地完成配电环节碳排放量的本地化计算与初步分析，为碳排放监测提供直接数据支撑。最后，作为

“系统协同枢纽”，通过标准化通信协议与数据接口，向上无缝对接能源管理平台、碳排放监测系统，向下联通各类配电设备与用户终端，实现数据的高效交互与共享，从而构建起完整的能源数据管理闭环，为实现碳足迹精准追踪与碳中和目标奠定坚实基础。

2.2 碳足迹追踪功能需求

在全球应对气候变化、积极推动低碳发展的背景下，对配电系统碳足迹进行精准追踪成为实现碳中和目标的关键环节。碳足迹追踪要求配电计量装置在数据采集方面具备全面性、高频次和多样性的特点。在数据采集范围上，不仅要覆盖传统的电压、电流、功率等电气参数，还需扩展至与碳排放密切相关的能源种类、能源流向等信息，全面掌握配电网络的能源活动。在采集频率方面，为了实时捕捉配电系统运行过程中的碳排放动态变化，装置需具备分钟级甚至秒级的数据采集能力，确保能及时发现异常能耗与碳排放波动。在数据类型上，除了基础的稳态数据，还需采集暂态过程数据，如设备启停、负荷突变等场景下的数据。同时，计量精度需达到能够准确反映微小碳排放变化的程度，例如在电能计量误差方面，要严格控制极小范围；实时性要求数据采集后能够迅速传输与处理，为碳足迹的动态监测与分析提供及时、可靠的数据基础，以满足精细化碳足迹追踪的需求。

2.3 碳中和目标支撑需求

碳中和目标的实现依赖于对能源消耗与碳排放的全方位管控，配电计量装置在此过程中承担着重要角色。在能源消耗监测方面，装置需具备对配电系统各环节

能源消耗的精确计量与持续监测能力，不仅要监测整体能耗总量，还需细分不同区域、不同设备、不同时间段的能耗情况，形成详细的能源消耗图谱，为能源优化配置提供数据支撑。在碳排放核算方面，基于采集的能源数据，结合碳排放因子等参数，准确计算配电系统各部分的碳排放量，实现从局部到整体的碳排放量化评估。同时，在节能效果评估上，通过对实施节能措施前后的能源消耗与碳排放数据对比分析，科学评估节能改造、运行优化等措施的实际效果，为后续节能策略的制定与调整提供依据。此外，配电计量装置还需与碳交易系统、能源规划系统等协同工作，实现数据共享与交互，为碳中和目标下的政策制定、资源分配、碳资产管理等提供全面的数据支持，助力电力系统向低碳、高效方向转型。

3 碳足迹追踪与碳中和应用框架设计

3.1 总体架构设计

配电计量装置应用框架的总体架构采用分层设计理念，由硬件层、数据采集层、数据处理层、应用服务层和用户交互层构成，各层既分工明确又紧密协作。硬件层作为基础支撑，涵盖智能电表、传感器、通信模块等设备，负责完成电力参数及环境数据的感知与采集。数据采集层通过有线或无线通信技术，将硬件层获取的数据进行规范化处理与初步筛选，以保障数据的准确性与完整性，并按照既定协议快速传输至数据处理层。数据处理层是架构的核心中枢，运用大数据分析、云计算等技术，对采集的数据进行深度挖掘、清洗、分类及建模，实现碳排放核算、能耗趋势预测等功能。应用服务层基于数据处理结果，为碳足迹追踪、节能优化决策、碳排放监测预警等应用场景提供定制化服务。用户交互层则通过可视化界面，将应用服务层的结果以图表、报表等直观形式呈现给用户，支持用户进行数据查询、参数配置、指令下达等操作，各层之间通过标准化接口实现数据交互与功能调用，确保整个架构稳定高效运行。

3.2 核心功能模块设计

核心功能模块围绕碳足迹追踪与碳中和目标展开设计。碳足迹追踪模块借助高精度计量设备与先进算法，实时采集配电系统各节点的能源数据，结合碳排放因子数据库，精准计算电力生产、传输、使用等环节的碳排放量，并通过时空维度的动态展示，实现碳足迹的全流程可视化追踪。碳排放核算模块构建科学的核算模型，整合不同能源类型的消耗数据，综合考虑电网损耗、设备能效等因素，对配电系统的碳排放总量及强度进行精细化核算，为碳排放配额管理与碳交易提供可靠依据。节能优化决策模块基于碳足迹追踪与碳排放核算结果，

运用智能优化算法，分析配电系统的节能潜力，自动生成设备运行参数调整、能源分配优化等方案，并通过模拟仿真评估不同方案的节能降碳效果，为用户提供最优决策建议，实现配电系统的经济高效运行与低碳化转型。

3.3 数据交互与通信设计

数据交互与通信设计致力于保障配电计量装置与外部系统间数据传输的高效性、准确性与安全性。在数据交互流程方面，明确装置与配电自动化系统、能源管理平台、碳排放监测中心等外部系统的数据交互需求，制定数据请求、响应、同步的标准化流程，确保数据交互有序进行。通信协议选择上，综合考虑传输距离、数据量、实时性等因素，采用混合通信模式，对于近距离、实时性要求高的数据传输，优先使用工业以太网、现场总线等有线协议；对于远程数据交互，则选用 5G、NB-IoT 等无线通信技术，并采用 TCP/IP、MQTT 等通用协议实现数据封装与传输。为保障数据安全，在通信过程中引入加密认证机制，对传输数据进行对称加密与非对称加密处理，同时通过数字证书、访问控制列表等技术，防止数据泄露与非法访问，确保数据在交互与通信过程中的机密性、完整性和可用性，为碳足迹追踪与碳中和应用提供坚实的数据传输保障。如图一所示：

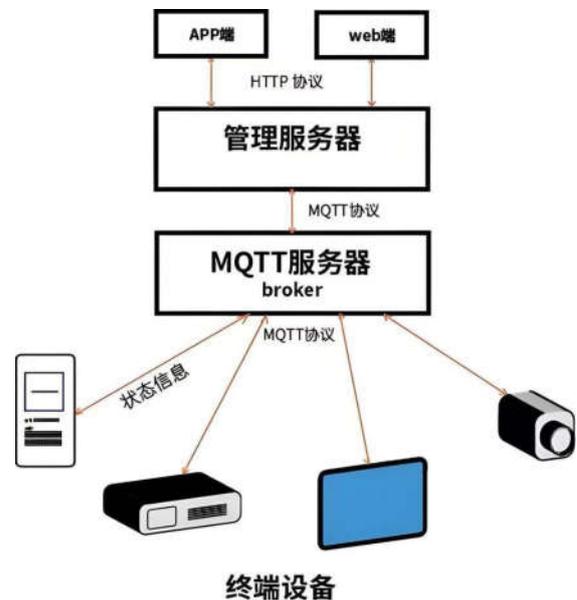


图1 MQTT示意图

4 框架实施路径

4.1 试点部署规划

试点部署规划以选取典型场景、科学采集分析为核心，为框架落地提供实践依据。在试点区域与场景选择上，优先考虑能源结构复杂、配电网网络多样的地区，涵盖工业园区、商业综合体、居民社区等不同用电场景，

确保试点能够全面反映框架在多种环境下的适用性。针对工业园区高耗能、负荷波动大的特点，重点部署高精度计量装置监测重点耗能设备；商业综合体则侧重公共区域照明、空调系统的能耗与碳排放监测；居民社区关注户均用电行为与分布式能源接入对碳排放的影响。在数据采集与分析方案制定上，建立多维度数据采集体系，除基础电气参数外，同步采集气象条件、设备运行状态等关联数据。制定试点运行周期为6 - 12个月，通过设置碳排放量、计量误差率、系统稳定性等关键评估指标，定期分析数据趋势，验证框架功能的有效性与可靠性，为后续优化迭代提供真实数据支撑。

4.2 优化迭代策略

基于试点阶段的运行反馈，优化迭代策略以问题驱动为导向，实现框架性能的持续提升。首先，通过对试点数据的深度挖掘与分析，精准识别框架在数据采集精度不足、算法计算效率低下、系统兼容性差等方面的问题。例如，若发现碳排放量核算结果与实际存在偏差，追溯数据采集源头与算法模型，分析碳排放因子选取、数据传输延迟等因素的影响。针对识别出的问题，制定分阶段优化方案：在功能优化方面，升级计量装置硬件配置，引入新型传感器提升数据采集精度；优化数据处理算法，采用分布式计算框架提高数据处理速度。在算法改进上，结合机器学习技术，动态调整碳排放核算模型参数，增强模型适应性。同时，制定详细的迭代升级计划，明确每个版本的功能改进目标、技术方案与测试验证流程，通过小范围试运行验证优化效果，逐步完善框架的稳定性与实用性。

4.3 全面推广方案

全面推广方案以系统化、标准化为原则，推动框架在全国或区域范围内的广泛应用。在推广路线图规划上，按照“先重点区域、后全面覆盖”的策略，优先在能源消耗大、碳中和任务重的省市进行推广，逐步辐射至周边地区。根据不同区域的配电系统特点与发展水

平，制定差异化实施步骤，如在发达地区侧重智能化水平较高的配电网升级，在欠发达地区则以基础计量装置改造为主。配套的技术对接与系统整合方案聚焦标准化接口设计与兼容性适配，开发通用的数据转换工具，确保框架与各地现有配电自动化系统、能源管理平台快速对接。同时，建立技术支持团队，提供现场安装调试、人员培训等服务，制定统一的验收标准与运维规范，保障框架在不同配电环境下快速部署、稳定运行，助力电力行业实现碳中和目标的规模化应用。

5 结语

本研究成功构建了配电计量装置碳足迹追踪与碳中和应用框架，实现了从数据采集、处理到应用服务的全流程设计。通过创新的功能模块与分层架构，可精准追踪配电系统碳足迹，科学核算碳排放，并提供节能优化决策支持。该框架的实施路径设计为其落地应用提供了系统指导，对提升能源管理效率、推动电力系统低碳转型具有显著的应用价值与示范意义。未来，随着物联网、人工智能等技术的深度融合，配电计量装置将向更智能、更高效方向发展。

参考文献

- [1]周尤美,雷浩.双碳视角下工业园区规划设计优化策略研究[J].建筑与文化,2023(4):8-10.
- [2]谭煌,于海波,刘婧,胡业通,张璐.基于三相不平衡网络能量流的高比例新型源荷配电台区碳排放流计算[J].供用电,2024,41(7):55-62+83.
- [3]妙红英,周凤华,王艳芹,燕凯,檀政.基于SVD的电计量装置异常数据快速辨识方法[J].电子设计工程,2023,31(3):81-84+89.
- [4]于保珠.低压配电网的电计量和线损管理分析[J].电力设备管理,2023(23):35-37.
- [5]赖荣光,邱泽鹏,陆鹰.配电网一体化高压电能测量装置的老化试验系统[J].广东电力,2023,36(2):120-128.