

智能抄表核算系统在降低电力损耗中的作用分析

杨振齐

中卫农村电力服务有限公司 宁夏 中卫 755000

摘 要：电力损耗是制约电网企业经济效益、运营效率和能源可持续发展的重要因素。传统的手工抄表与核算模式存在数据滞后、准确性差、管理粗放等固有缺陷，难以有效支撑精细化降损工作。随着物联网、大数据、云计算等新一代信息技术的飞速发展，以智能电表为基础、通信网络为纽带、主站平台为核心的智能抄表核算系统应运而生，并成为现代电网智能化转型的关键基础设施。本文旨在深入剖析智能抄表核算系统的架构、功能及其运行机理，并系统性地探讨其在技术线损监测、管理线损治理、反窃电稽查以及线损精益化管理等核心环节中所发挥的关键作用。本文论证了该系统如何通过提供高频次、高精度、全维度的用电数据，赋能电网企业实现从被动响应到主动预防、从经验判断到数据驱动的降损模式变革，从而显著提升降损能力与水平。以期为电网企业的降损增效实践提供理论参考与实践指导。

关键词：智能抄表核算系统；电力损耗；线损管理；反窃电；电网智能化

引言

电力是现代社会的“血液”，其安全稳定供应关乎国家经济发展。但在传输过程中会产生“线损”，线损率综合反映电网规划设计、设备技术及经营管理水平，关乎电网企业成本、利润与国家能源安全。过高线损会造成经济损失与能源浪费。长期以来，我国电网企业降损成效显著，但传统降损模式依赖周期性手工抄表与月度电量统计，存在“三低”问题：数据采集频率低，多为月度；准确率低，易受人为干扰；分析维度低，缺乏时空关联。这致使线损异常难以及时发现，问题根源难精准定位，降损工作被动，效率低、成本高。21世纪，智能电网建设兴起，智能抄表核算系统（AMI）作为其感知层核心，在全球大规模部署。它借助自动化、信息化手段，颠覆传统人工抄表，实现用电信息“分钟级”甚至“秒级”采集、远程传输与自动核算。这一变革为解决“三低”问题提供新路径，为线损实时监测、精准诊断和主动治理奠定数据基础。深入研究智能抄表核算系统在降低电力损耗中的作用机制、应用成效与未来潜力，对推动电网企业提质增效、服务国家“双碳”战略意义重大。本文将围绕此主题展开系统性论述。

1 电力损耗的构成与传统管理模式的局限

在探讨智能抄表核算系统的作用之前，必须首先厘清电力损耗的本质及其传统管理模式的痛点。

1.1 电力损耗的构成

电力损耗通常分为两大类：技术线损和管理线损。技术线损，又称理论线损，是由电网本身的物理特性决定的、在现有技术条件下无法完全避免的损耗。它主要

源于电流流经输电线路、变压器绕组等导体时因电阻产生的焦耳热损耗（ I^2R ），这是最主要的损耗形式；此外，还包括在变压器、电机等电磁设备的铁芯中由交变磁场引起的磁滞与涡流损耗，以及高压输电线周围空气被电离所产生的电晕损耗。这类损耗可以通过优化电网结构、更换高耗能设备、实施无功补偿、合理调整运行方式等技术手段进行有效降低^[1]。与之相对的是管理线损，也称营业线损或不明损耗，它并非由物理定律决定，而是由于管理不善、计量误差、用户窃电等原因造成的电量损失。其具体表现包括电能表、互感器等计量设备自身精度不足或老化失准，人工抄表过程中的估抄、漏抄、错抄以及电费核算、收费环节的错误，用户通过各种非法手段绕越计量装置或使其失效的窃电行为，以及电网元件如绝缘子污秽、设备接地不良等造成的漏电。管理线损的治理更多地依赖于健全的管理制度、先进的技术手段和高效的稽查能力。

1.2 传统管理模式的局限性

在智能抄表核算系统普及之前，电网企业主要依靠以下方式进行线损管理，但这些方式存在深刻的局限性。首先，数据采集严重滞后且粗糙，依赖抄表员按月上门抄录电表读数，导致数据采集周期长达一个月，无法捕捉负荷的日内变化规律，一旦发生窃电或设备故障，至少要一个月后才能在电量异常中显现，错过了最佳处理时机。其次，数据准确性难以保证，人工抄表极易受到天气、环境、抄表员责任心等因素影响，出现错抄、漏抄、估抄等问题，导致用于线损计算的基础数据失真，使得线损分析结果不可靠。再者，线损分析的颗

粒度极为粗放,传统模式下通常只能做到馈线或台区级别的月度累计线损分析,无法精确到具体的用户、时段或设备,难以精准定位高损点,例如一个台区线损率偏高,究竟是某几户长期窃电,还是变压器本身老化,抑或是某段线路绝缘破损,传统方法很难快速给出答案。此外,反窃电手段极为被动和低效,主要依靠群众举报、周期性普查和基于历史经验的抽查,成本高、效率低、威慑力不足,窃电者可以轻易利用抄表周期的空档期进行作案,并在抄表前恢复原状以逃避检查。最后,整个线损管理流程是一个开环系统,从发现问题到分析、处理、反馈,周期漫长,缺乏实时预警与闭环管理机制,无法形成有效的PDCA(计划-执行-检查-改进)循环。这些固有的局限性使得传统线损管理模式在面对日益复杂的电网结构和层出不穷的窃电手段时显得力不从心,迫切需要一场由数据驱动的技术革命。

2 智能抄表核算系统概述

智能抄表核算系统是集智能电表、通信网络、数据管理平台于一体的综合信息系统,是智能电网的“神经末梢”和“数据源泉”。

2.1 系统架构

一个典型的智能抄表核算系统由三个核心层次构成。感知层以智能电表为核心,作为系统的数据源头,它不仅能够精确计量有功、无功电量,还能记录电压、电流、功率因数、谐波、断相、开盖事件等多种运行参数和事件信息,具备高计量精度、功能丰富和双向通信能力。网络层则负责将感知层采集的数据可靠、安全地传输至主站,根据应用场景不同,可采用电力线载波(PLC)、微功率无线(RF)、RS-485总线、光纤专网以及运营商的2G/3G/4G/5G/NB-IoT等公网等多种通信技术,多模融合通信技术的应用确保了数据传输的广覆盖和高可靠性^[2]。平台层即主站系统,是整个系统的大脑,负责海量数据的接收、存储、处理、分析和应用,包含数据采集服务器、数据库、应用服务器等多个模块,能够实现自动抄表、远程费控、用电信息查询、线损计算、异常告警、报表生成等一系列核心功能。

2.2 核心功能

智能抄表核算系统的核心价值在于其强大的数据赋能能力。系统可按预设的冻结周期(如15分钟、1小时、1天)自动、定时、批量地采集所有智能电表的数据,彻底取代人工抄表,实现“零差错”数据采集。这种高频次的数据采集能力使得系统能够获取用户侧近乎连续的负荷曲线(Load Profile),为深度分析用户用电行为和电网运行状态提供了前所未有的数据基础。同时,智

能电表能够实时监测并主动上报各类异常事件,如电表开盖、失压、失流、反向用电、电流不平衡等,为主动运维和反窃电提供了直接线索。此外,系统还支持远程拉合闸、参数设置、费率时段调整等远程控制与费控功能,为预付费、分时电价等营销策略的实施提供了技术支撑。更为重要的是,作为电网企业重要的数据资产,AMI数据可与生产管理系统(PMS)、地理信息系统(GIS)、营销业务应用系统(SG186)等深度融合,打破信息孤岛,为跨专业协同提供坚实的数据支撑。正是这些功能,使得智能抄表核算系统从一个简单的抄表工具,跃升为支撑电网精益化运营的核心平台。

3 智能抄表核算系统在降低电力损耗中的作用机制

智能抄表核算系统通过其独特的数据优势,从多个维度深刻改变了线损管理的范式,其作用机制主要体现在以下四个方面:

3.1 赋能技术线损的精细化监测与分析

智能抄表核算系统为技术线损的精细化管理提供了革命性的工具。传统线损计算依赖于首末端的月度电量差,误差大且滞后,而该系统提供了台区配变(考核表)和所有用户电表的同期、同源、高频次电量数据,结合“配变-用户”的拓扑关系,可以精确计算出台区的日线损率、小时线损率甚至更短时间尺度的线损,极大地提升了线损计算的时效性和准确性。在此基础上,利用历史负荷数据,系统可以绘制出台区线损率随时间(日、周、月、季节)和随负荷(轻载、重载)变化的动态曲线,形成线损的动态画像。通过分析这些曲线,管理人员可以识别出线损异常的特定时段或特定负荷区间,为技术降损提供精准靶向,例如若发现线损率在夜间轻载时异常升高,可能指向变压器的空载损耗过大或存在漏电问题^[3]。此外,系统采集的电压、电流、功率因数等数据,可以实时监测台区的无功分布和三相负荷不平衡度,使电网企业能够据此精准投放无功补偿装置,或通过调整用户接入相别来改善三相平衡,从而有效降低由无功流动和不平衡电流引起的附加技术线损。

3.2 驱动管理线损的精准化治理

在管理线损治理方面,智能抄表核算系统尤其在反窃电领域展现出巨大威力。系统通过大数据分析技术,可以从海量用电数据中挖掘出窃电的蛛丝马迹,常见的分析模型包括对比用户历史同期用电量以识别电量异常骤降的用户,分析用户报装容量、所属行业与其实际用电量的匹配度以发现“小马拉大车”或“大马拉小车”的异常,将电表上报的失压、失流事件与同期电量数据进行关联以判断是否存在窃电嫌疑,监测A-B-C三相电

流的长期不平衡以发现单相窃电行为,以及通过用户聚类分析找出偏离正常群体的“离群点”。这些模型可以自动生成按风险等级排序的窃电嫌疑清单,使稽查人员能够“带着线索去现场”,将稽查命中率从过去的不足10%大幅提升至50%以上,极大提升了反窃电效率。同时,系统还能自动筛查计量差错,例如比对同一计量点下主副表或互感器变比与电表倍率的一致性,并通过对电表时钟、电池电压、内部存储等状态量的监测,提前预警电表故障或老化,避免因计量失准造成的电量“跑冒滴漏”。更重要的是,全流程自动化消除了人工干预环节,从根本上杜绝了估抄、漏抄、错抄以及核算错误等问题,确保了用于线损计算的基础数据真实、完整、准确。

3.3 构建线损精益化管理的闭环体系

智能抄表核算系统不仅是数据的提供者,更是管理流程的驱动者,它促成了线损管理从“开环”到“闭环”的根本性转变。系统可设定线损率阈值,一旦台区或馈线线损率超过预设值,立即触发告警,并通过移动终端推送给相关责任人。这些告警信息可自动转化为现场核查或处理工单,派发给运维或稽查班组,明确任务内容、地点和时限。工单的处理进度、现场照片、处理结果等信息可在线反馈,实现全过程透明化管理^[4]。处理完成后,系统会持续监测该区域的线损率变化,评估治理效果,并将成功的治理案例和分析模型沉淀为知识库,用于优化未来的分析算法和管理策略。这个完整的闭环体系确保了线损问题能够被及时发现、快速响应、有效处理和持续改进,形成了良性的管理循环。

3.4 支撑电网规划与投资决策

长期积累的AMI数据是电网企业宝贵的资产。通过对全域线损数据的宏观分析,可以识别出高损区域的地理分布,并深入探究设备类型(如老旧变压器、细导线线路)与线损水平之间的内在关联性。这种基于数据的

洞察力,为电网企业的技改大修、设备更新、网架优化等重大投资决策提供了强有力的数据支撑,确保有限的资金能够精准投入到降损效益最高的项目上,从而实现投资效益的最大化,将降损工作从战术层面的操作提升到战略层面的规划。

4 结语

综上所述,智能抄表核算系统已不再是简单的自动化抄表工具,而是电网企业实现线损精益化管理、提升核心竞争力的战略性基础设施。它通过提供高频次、高精度、全维度的用电数据,彻底解决了传统管理模式在数据时效性、准确性和分析深度上的瓶颈。在技术线损监测、管理线损治理、反窃电稽查以及闭环管理体系建设等方面,该系统都展现出了无可比拟的优势,成功推动了降损工作从被动、粗放、经验式向主动、精准、数据驱动的根本性转变。面对当前存在的挑战,电网企业应持续加强数据治理、深化模型创新、打破系统壁垒,并积极探索与前沿技术的融合应用。唯有如此,才能充分释放智能抄表核算系统的潜能,使其在助力电网高质量发展、服务国家能源转型和“双碳”战略目标的进程中,发挥更加关键和深远的作用。

参考文献

- [1]赵斌,陈宇佳,董昊,等.电力营销管理信息平台智能抄表核算方法研究[J].中国新技术新产品,2025,(02):134-136.
- [2]高媛,李直,刘单华,等.电力营销抄表核算自动化及智能系统设计[J].现代信息科技,2020,4(24):153-155.
- [3]蒋吉元.自动抄表核算与计量异常中的智能诊断技术分析[J].电子技术,2024,53(04):256-257.
- [4]沈一民,张怡,黄洲,等.基于校验机制的智能抄表自动核算方法优化研究[J].自动化与仪器仪表,2023,(08):245-249.