

智能计量数据驱动的电费精准核算

陈博

国网大同供电公司 山西大同 037004

【摘要】本文聚焦电力营销领域，探讨智能计量数据在电费精准核算中的应用。通过分析智能计量数据在营销管理、计量采集、线损分析及电费核算等场景中的作用，阐述当前面临的数据整合困难、算法精准度不足等问题。基于智能计量数据特性，提出优化数据采集与处理、完善线损计算模型、创新电费核算方式等策略，以实现电费精准核算，提升电力营销管理水平，助力电力企业降本增效与高质量发展。

【关键词】智能计量数据；电费精准核算；电力营销；计量采集；线损

Intelligent Metering Data-Driven Precise Electricity Bill Calculation

Chen Bo

State Grid Datong Power Supply Company, Datong City, Shanxi Province 037004

【Abstract】This paper focuses on the power marketing sector and explores the application of intelligent metering data in precise electricity bill calculation. By analyzing the roles of intelligent metering data in marketing management, metering collection, line loss analysis, and electricity bill calculation scenarios, it addresses current challenges such as data integration difficulties and insufficient algorithm accuracy. Based on the characteristics of intelligent metering data, this paper proposes strategies including optimizing data collection and processing, improving line loss calculation models, and innovating electricity bill calculation methods to achieve precise billing. These measures aim to enhance power marketing management levels and support power enterprises in cost reduction, efficiency improvement, and high-quality development.

【Key words】 intelligent metering data; precise electricity bill calculation; power marketing; metering collection; line loss

引言

在电力体制改革持续深化与电力市场竞争日益激烈的背景下，电力营销工作的精细化管理愈发关键。电费核算作为电力营销的核心环节，其精准度直接影响电力企业的经济效益与客户满意度。传统电费核算依赖人工抄表与简单计算，存在效率低、误差大等问题。随着智能电网建设推进，智能计量设备广泛应用，产生海量精准的计量数据，为电费精准核算提供了新契机。挖掘智能计量数据价值，驱动电费精准核算，成为电力营销领域亟待研究的重要课题，为实现电力资源的高效利用与电力企业竞争力的提升，此举措具有不可忽视的重要意义，它能够有力推动电力资源的优化配置，助力电力企业在市场中占据更有利地位。

一、智能计量数据在电力营销场景中的应用现状

（一）营销管理场景

在电力营销管理中，智能计量数据为客户服务与市场分析提供了基础。通过对智能计量数据的分析，电力企业能够

全面了解客户用电行为与习惯，实现客户分类管理。例如，依据客户用电量、用电时段等数据，将客户划分为高耗能企业客户、居民峰谷用电客户等不同类型，为客户提供个性化的用电建议与增值服务，如针对高耗能企业提供节能改造方案，对居民客户推广峰谷电价优惠政策，从而提升客户满意度与忠诚度。同时，智能计量数据有助于企业分析电力市场需求趋势，合理规划电力供应，提高电力资源利用效率。

（二）计量采集场景

智能计量设备替代传统电表，实现了用电数据的实时、自动采集。相较于人工抄表，智能计量采集具有数据采集频率高、准确性强、实时性好等优势。它能够以分钟甚至秒为单位采集电力用户的用电数据，及时反映用户用电变化情况，减少了因人工抄表周期长导致的数据滞后与误差问题。此外，智能计量采集系统还具备数据远程传输功能，电力企业可通过网络实时获取用户用电数据，降低了数据采集成本与人工工作量，提高了计量工作效率。

（三）线损场景

线损分析是电力营销管理中的重要环节，智能计量数据为线损计算提供了准确的数据支撑。通过对智能计量数据的

整合与分析,可凭借智能电表所采集的线路首端与末端电量数据,对各线路、台区的线损展开精准测算,结合线路拓扑结构,运用先进的线损计算模型,可快速准确地计算出线损情况。同时,智能计量数据的实时性使电力企业能够及时发现线损异常,通过数据分析定位线损原因,如线路老化、窃电行为等,为线损治理提供有力依据,有效降低线损率,减少电力损耗。

(四) 电费核算场景

传统电费核算方式多采用定期抄表、人工计算,容易出现抄表误差、计算错误等问题,导致电费核算不准确。智能计量数据的应用为电费精准核算创造了条件,基于实时、准确的用电数据,结合阶梯电价、峰谷电价等复杂的电价政策,能够实现更加精确的电费计算。例如,根据智能电表采集的用户不同时段用电量,按照峰谷电价标准分别计算电费,使电费核算更加公平合理,既保障了电力企业的收益,又符合用户实际用电情况。

二、当前电费核算存在的问题

(一) 数据整合与处理难题

智能计量设备依托物联网与传感器技术,在运行过程中持续产生 PB 级多源异构数据,除基础电量数据外,还涵盖电压波动曲线、电流相位图谱、功率因数等专业参数。然而,电力企业内部的营销管理系统、生产调度系统、计量自动化系统等核心业务平台,由于建设周期不同、技术架构各异,当前数据整合存在明显障碍,各系统数据格式差异显著,涵盖结构化的关系型数据库数据、半结构化的 XML/JSON 数据,以及非结构化的日志文件数据,形成了数据孤岛困局,且通信接口协议不兼容,导致跨系统数据交互需要经过繁琐的格式转换与协议适配。

在数据处理环节,海量数据的实时处理面临多重技术瓶颈:其一,原始数据中存在大量噪声数据与无效记录,需要通过异常值检测、缺失值插补等复杂算法进行深度清洗;其二,时序数据的持续增长对分布式存储架构提出高并发读写与长期保存的双重要求;其三,基于大数据分析的电费核算模型,需综合运用机器学习算法进行负荷预测与电费校验,若数据处理存在延迟或误差,将直接导致阶梯电价计算偏差、需量电费误判等问题,严重影响电费核算的时效性与准确性。

(二) 线损计算模型不完善

虽然智能计量数据凭借高频率、高精度的量测优势,为线损计算构筑了坚实的数据基础,但当前部分线损计算模型仍存在显著局限性。从理论建模层面来看,传统潮流计算模型多采用静态参数设定,未能有效嵌入线路实时温度、绝缘老化程度等运行状态变量,也缺乏对负荷曲线峰谷特性、季

节性波动规律的动态捕捉机制。这种简化处理使得模型输出的线损率与现场实际损耗值存在较大偏离,某省级电网实测数据显示,静态模型导致的线损计算误差最高可达 18.7%。

在电网拓扑适应性方面,面对多电压等级互联、分布式电源并网的复杂电网结构,传统模型的空间分辨率不足问题愈发凸显。例如,在配网台区线损分析中,部分模型仅能实现主干线路损耗统计,难以定位支线节点的异常损耗;在新能源高渗透率区域,风光出力的间歇性波动加剧了潮流方向的不确定性,现有模型因缺乏动态拓扑识别能力,无法精准溯源线损异常的物理根源。这些技术瓶颈严重制约了线损精细化治理的推进,进而影响电费核算中损耗分摊的准确性与公平性。

(三) 电费核算算法与政策适配不足

随着电力市场改革向纵深推进,电价政策体系呈现出显著的复杂化与多元化特征。以分时电价为例,该机制依据用电高峰、平段、低谷等不同时段,设定差异化电价标准,旨在通过价格杠杆优化电力资源配置,引导用户错峰用电;而容量电价则侧重于补偿发电企业固定成本,其计价方式与用户实际用电量脱钩,更关注用电设备的容量需求。然而,当前主流的电费核算算法在应对这类复杂政策时,暴露出明显的适配短板。

从算法设计层面来看,部分传统核算模型采用固化的计算逻辑,缺乏对电价政策动态调整的响应机制。当电价政策发生变动,尤其是涉及阶梯电价档位调整、季节性电价浮动等情况时,这些算法无法及时更新计算规则,导致核算结果与实际电费存在偏差。两部制电价用户的电费核算面临显著挑战。该电价机制包含基本电价与电度电价,前者依据用户报装容量或需量核定,后者则按照实际用电度数进行费用结算。现有算法在处理基本电价的需量核定、最大需量计算等环节时,常因数据采集误差、计算逻辑缺陷等原因,出现电费错算、漏算现象。这不仅损害了电力用户的经济利益,引发大量客户投诉,还可能导致电力企业面临信誉危机,造成潜在的经济损失与市场份额流失。

三、智能计量数据驱动电费精准核算的策略

(一) 优化智能计量数据采集与处理

构建多维协同的智能计量数据采集体系,从技术架构、运维机制和数据治理三方面实现数据质量跃升。在技术层面,部署边缘计算节点与物联网传感器,构建分层分布式采集网络,采用冗余校验与差分传输技术提升数据采集的完整性;通过自适应滤波算法和卡尔曼滤波模型消除采集噪声,确保数据精度误差控制在 $\pm 0.5\%$ 以内。

建立全生命周期设备运维管理体系,运用预测性维护技术,基于设备运行状态参数构建健康度评估模型,通过振动

分析、温度监测等手段实现故障预警。制定三级巡检制度：每日远程状态监测、每周现场基础检查、每季度深度校准维护，建立设备运维数字孪生体，实现运维流程的可视化与可追溯。

打造基于微服务架构的数据中台，通过 API 网关和消息队列实现数据标准化接入，运用数据血缘追踪技术建立完善的数据链路。构建包含营销管理、电费核算、计量监测等 12 个业务域的数据资产目录，采用主数据管理（MDM）系统确保数据一致性，借助区块链技术的特性，将关键数据进行分布式存储处理，以此保障数据具备防篡改能力。

构建智能数据处理引擎，采用集成学习算法对原始数据进行异常值检测与缺失值修复，通过关联规则挖掘算法识别用电模式特征。运用时空序列分析模型对负荷数据进行预测，结合机器学习算法构建用户用电行为画像，为电费核算提供涵盖历史数据、实时数据和预测数据的三维数据支持体系。

（二）完善线损计算模型

结合智能计量数据高频率、高精度、多维度的特征，构建基于时空序列分析的线损计算模型体系。在模型开发过程中，创新性引入长短期记忆网络（LSTM）、梯度提升决策树（GBDT）等人工智能算法，深度挖掘线路负荷曲线动态变化规律、电力设备全生命周期运行状态参数以及环境温度、风速等外部因素对线路损耗的影响机制。通过构建包含历史三年的海量线损数据训练集，采用交叉验证与网格搜索相结合的优化策略，对模型超参数进行精细化调优，显著提升模型在不同负荷场景下的泛化能力。

配套建立具备三级预警机制的线损实时监测系统，利用智能电表分钟级采集的计量数据，通过数据清洗、特征工程等预处理环节，实现线损率的实时动态计算。当监测到线损率超过设定阈值时，系统自动触发异常诊断流程，结合地理信息系统（GIS）与设备台账数据，快速定位损耗异常区段，并生成包含技术降损措施建议、设备运维工单的综合处理方案，形成“监测 - 预警 - 处置 - 反馈”的闭环管理体系，最大限度降低线损波动对电费精准核算的干扰。

（三）创新电费核算方式与算法

面对复杂多变的电价政策体系，亟需研发具有高灵活性

与运算效率的电费核算算法。依托智能计量系统采集的分钟级负荷曲线、实时功率因数等多维数据，结合阶梯电价、容量电价、需量电价等差异化政策规则，通过机器学习算法构建动态电费核算模型。该模型可自动识别用户用电特性，精准适配工商业、居民、农业等不同类型用户的电价政策。例如，针对执行两部制电价的工商业用户，系统通过智能计量数据中的变压器容量、最大需量等参数，结合功率因数调整系数，实现基本电费与电度电费的精细化计算；对于采用峰谷电价机制的用户，则基于分时计量数据，按照平段、峰段、尖峰段、谷段的电价标准，对不同时段用电量进行分段累加计费，并自动生成阶梯电价的超额部分费用。同时，配套开发可视化电费核算管理系统，集成数据导入、政策配置、异常预警等功能模块，支持电力营销人员通过图形化界面完成核算操作，实现电费数据的实时校验与可视化呈现，显著提升电费核算的效率与准确性。

（四）加强数据安全与质量管控

智能计量数据涉及用户隐私与电力企业核心业务信息，保障数据安全至关重要。通过构建完善的数据安全管理体系，综合运用加密防护与访问权限管控等措施，有效防范数据遭到泄露或恶意篡改。同时，加强数据质量管控，制定数据质量评估标准与流程，定期对智能计量数据进行质量检查与评估，及时发现并解决数据质量问题，确保用于电费核算的数据真实、准确、完整。

四、结论

智能计量数据为电费精准核算提供了强大动力，在电力营销的各个场景中发挥着重要作用。尽管当前电费核算在数据处理、模型算法等方面存在问题，但通过优化数据采集与处理、完善线损计算模型、创新电费核算方式等策略，能够充分挖掘智能计量数据价值，实现电费精准核算。这不仅有助于提升电力企业营销管理水平，增强企业市场竞争力，还能为用户提供更加公平、透明、精准的电费服务能够推动电力行业稳步迈向可持续发展道路。展望未来，伴随智能电网建设与信息技术的持续革新，智能计量数据在电费核算及电力营销领域将发挥更大作用，值得进一步深入研究与探索。

参考文献

- [1]刘振亚. 智能电网技术 [M].北京：中国电力出版社，2010.
- [2]王秀丽，王锡凡，贾宏杰，等. 智能电网技术与发展前景 [J].电力系统自动化，2013，37（15）：1-14.
- [3]陈宋宋，刘科研，盛万兴，等. 基于大数据的智能电表数据处理与应用综述 [J].电网技术，2017，41（06）：1976-1985.
- [4]曾博，杨雍琦，段金辉，等. 智能电表大数据分析与应用综述 [J].电网技术，2016，40（05）：1469-1480.
- [5]胡泽春，宋永端，阳岳希，等. 智能电表研究现状与发展展望 [J].电力系统自动化，2012，36（16）：1-9+15.