

基于“国网芯”的农村台区营配协同技术与应用

王荣军*, 王 锦

(国网冀北电力有限公司文安县供电分公司, 河北 廊坊 065800)

摘要: 为解决农村配电网台区营配数据割裂、边缘侧感知能力弱以及被动抢修效率低下等问题, 文章依托“国网芯”智能融合终端, 提出农村台区营配融合全感知技术方案。构建感知-传输-平台-应用 4 层技术架构, 设计基于配自 APN (access point name) 与国密算法的安全交互机制, 并通过边缘计算应用实现营配数据同源清洗、变线户动态拓扑识别以及相级精益化线损计算。经 3 506 个台区应用, 平均线损率降至 2.38%, 营配档案准确率达 100%, 年报修工单压降 31.58%, 并查处多起隐蔽窃电案例, 该应用为农村配电网高质量发展提供了可靠的技术路径。

关键词: 国网芯; 智能融合终端; 营配融合; 边缘计算; 拓扑识别

中图分类号: TM727.1

DOI: 10.13882/j.cnki.ncdqh.2603F012

CSTR: 32400.14.ncdqh.2603F012

Technology and Application of Rural Distribution Area Operation-Distribution Coordination Based on State Grid Chip

WANG Rongjun*, WANG Jin

(State Grid Jibei Electric Power Co., Ltd. Wen'an County Power Supply Branch, Hebei Langfang 065800, China)

Abstract: To address the pain points such as fragmented operation and distribution data, weak edge perception capability, and low efficiency of passive emergency repair in rural power distribution networks, this paper proposes a full-perception technology scheme for operation and distribution integration in rural distribution areas based on the State Grid Chip intelligent fusion terminal. A four-layer technical architecture of "perception-transmission-platform-application" is constructed, and a secure interaction mechanism based on distribution automation APN and national cryptographic algorithms is designed. Furthermore, edge computing Apps are utilized to realize homologous cleaning of operation and distribution data, dynamic topology identification of transformer-line-user relations, and phase-level lean line loss calculation. The practical application in 3506 distribution areas shows that the average line loss rate has dropped to 2.38%, the accuracy of operation and distribution archives has reached 100%, and annual repair work orders have decreased by 31.58%. Moreover, multiple cases of hidden electricity theft have been successfully detected. This application provides a reliable technical path for the high-quality development of rural distribution networks.

Keywords: State Grid Chip; intelligent fusion terminal; operation and distribution integration; edge computing; topology identification

0 引言

在“双碳”目标与乡村振兴战略的双重引领下, 我国农村配电网正加速向数字化、智能化转型。围绕台区营配协同, 学者们开展了广泛研究。文献 [1] 设计了基于边缘计算的台区线损实时诊断系统, 提升了线损计算的实时性; 文献 [2] 利用 HPLC (高速电力线载波) 拓扑识别技术实现了变—线—户关系的自动校核; 文献 [3] 构建了营销移动作业体系, 推动营配末端业务融合; 文献 [4] 将“国网芯”漏

收稿日期: 2026-03-13

电监测系统应用于农村电网, 实现了漏电故障的精准定位; 文献 [5] 则针对分布式光伏接入提出了电压调控与反向过载治理策略。上述研究为营配融合提供了技术基础, 但仍存在一定局限性: 1) 过度依赖主站系统算力, 边缘侧数据就地处理能力与软硬件解耦深度不足; 2) 针对农村台区设备分散、通信环境复杂等场景的系统性技术适配性较弱; 3) 缺乏将底层硬件感知、数据安全交互与上层业务移动应用深度贯通的完整工程闭环方案。

本文针对上述问题, 以“国网芯”智能融合终端为核心, 提出了一种适用于农村配电网的营配融

合全感知智慧台区建设方案。首先，阐述了系统的总体技术架构与边缘计算基础，其次，设计了营配数据安全交互与动态拓扑识别的底层就地融合技术，详细论述了基于边缘计算应用的线损精益化分析与负荷辨识等业务协同方案，最后，通过实际工程应用验证了该方案的有效性。

1 农村台区营配融合总体技术架构

1.1 系统整体设计思路

为打破营销业务应用系统与配电自动化系统（云主站）之间的数据物理与逻辑“壁垒”，本文构建了感知层—传输层—平台层—应用层4层营配融合全感知技术架构，见图1。

感知层：以部署在变压器侧的“国网芯”智能融合终端（TLY2001型）为核心枢纽，通过RS485、微功率无线（LoRa/HPLC）及以太网接口，向下全面汇聚变压器温湿度传感器、低压分支监测箱、用户侧智能电能表及分布式电源并网点的数据，实现末端电气量与环境状态的全息感知。

传输层：依托电力无线专网或运营商4G/5G网络，采用单卡双通道技术，实现营配数据的分流与加密传输。

平台层：依托省级物联管理平台进行终端设备的统一接入、状态监控与边缘应用的全生命周期管

理（下发、升级、投退）。

应用层：面向基层供电所与用户，提供主动抢修、线损异常定位、三相不平衡治理、非介入式能效服务等融合应用，实现数据业务化。

1.2 基于“国网芯”的感知与边缘计算基础

本方案选用的新型智能融合终端搭载了完全自主可控的“国网芯”（4核ARM架构处理器），具备强大的边缘计算能力（算力 $\geq 1 \times 10^{12} \text{ s}^{-1}$ ）。与传统配变终端（TTU）固化功能的模式不同，该终端采用了基于容器化技术的“软硬件解耦”架构。

在硬件上，集成16路高精度模拟量采集通道与32路开关量采集通道，满足高频录波与电能质量监测需求；在软件上，搭载轻量级物联网操作系统，支持将海量瞬态营配数据在终端本地进行清洗、规约解析和特征提取，直接输出高价值密度的结果数据至主站，极大地缓解了通信带宽压力与主站并发计算负荷，为台区就地智能化自治提供了算力基础。

2 营配数据安全交互与就地融合技术

2.1 配自APN+国密安全接入的通信机制

农村台区所处地理环境复杂，为保障营销业务数据（如电费计量、用户隐私）与配电控制数据（如遥控开关）的绝对安全，本文设计了基于硬件加密的安全通信组网拓扑，见图2。

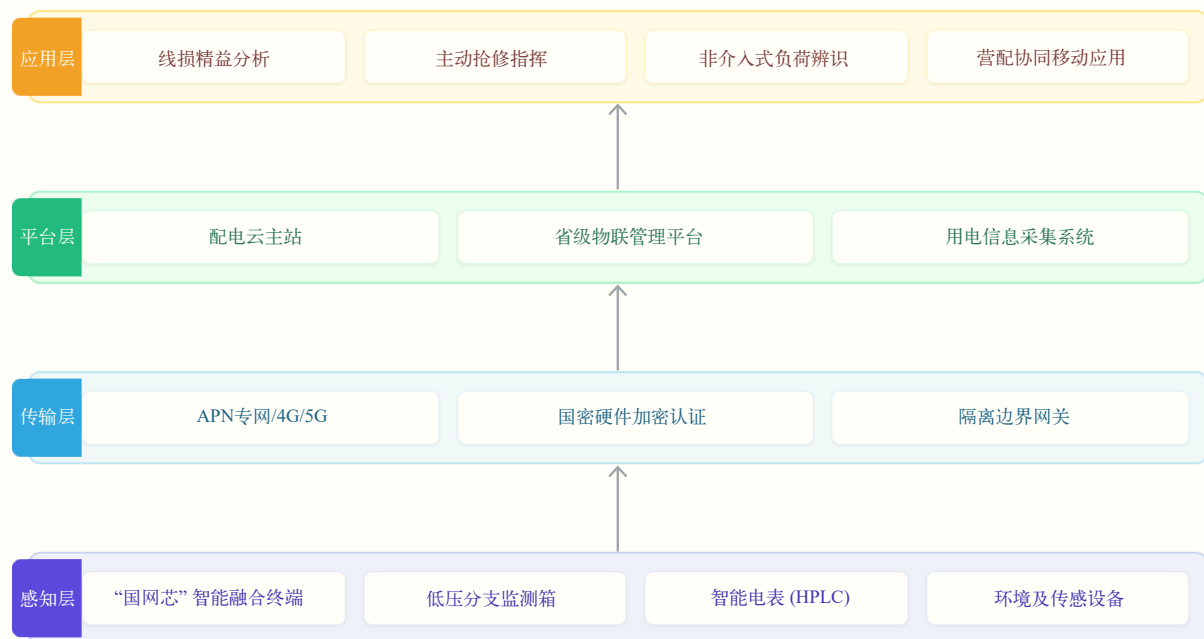


图1 台区营配融合4层技术架构图

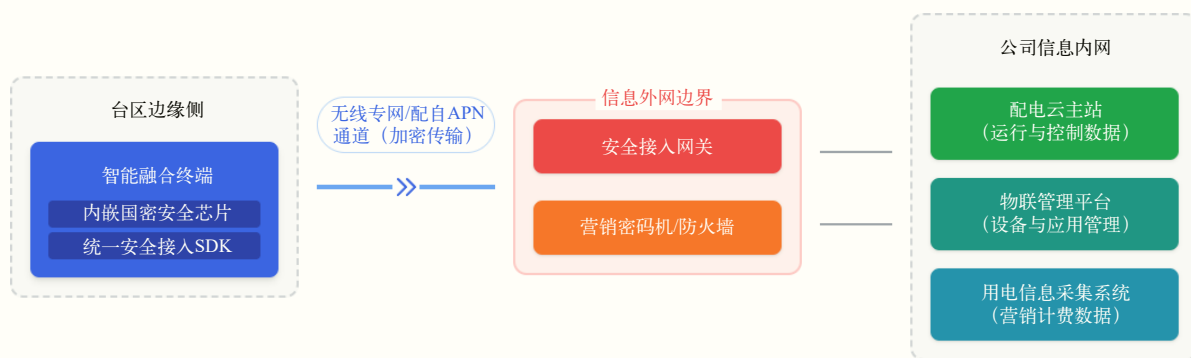


图2 终端安全通信组网与数据流向拓扑图

终端内部嵌入国密硬件安全芯片，采用一套统一 SDK 代理实现通信通道的双向身份认证。终端上行采用单张 SIM 卡，利用配自 APN 专网通道建立安全隧道。在此基础上，实施“双重加密分流”：1) 配电与管理数据流。终端业务数据经 APN 通道传输至安全接入网关，由网关完成解密与边界隔离后，管理类数据接入物联管理平台，配电运行类数据（如三相电压、三相电流、开关状态）送入配电云主站。2) 营销数据流。采用 DL/T 698.45 面向对象的数据交换协议，终端将采集到的用户表计电量等营销数据，经防火墙端口映射后，由营销密码机直接进行安全校验与解密，最终汇入用电信息采集系统主站。此方案既确保了营配数据的同源并发获取，又严格遵循了电力监控系统安全分区、网络专用、横向隔离的防护准则。

2.2 营配数据同源采集与清洗校验模型

针对农村电网信号干扰多、偶发通信丢包导致的数据毛刺问题，在终端边缘侧部署了数据清洗校验模型。对于电压、电流等连续渐态物理量，摒弃简单的区间限值判断，引入基于历史时间序列的自适应 3σ 准则结合拉格朗日插值法进行就地清洗。

终端本地内存维持一个滑动时间窗口（如近 60 次采样值），实时计算窗口内电压序列的均值 $\bar{U}$ 与标准差 σ 。若当前时刻采样值 $U(t)$ 满足式 (1)，则判定为有效数据并上传：

$$|U(t) - \bar{U}| \leq 3\sigma \quad (1)$$

若判定为异常极值（跳变）或发生通信丢包（空值），终端将自动调用插值算法进行平滑重构补偿，再参与后续的线损计算。此边缘清洗机制可将上送云主站的坏数据率降低 95% 以上。

2.3 变一线一户关系动态拓扑识别方法

“图实不符”是制约营配融合的顽疾。本文依托融合终端与低压侧智能电表的 HPLC 宽带通信模块，结合特征电压相关性分析，实现台区物理拓扑的动态自识别。

其核心原理是：配电变压器出线侧发生的电压微小波动（如负载突变引起的压降），会顺着物理线路瞬间传导至同一分支箱和同一相别的用户表端。融合终端作为中心节点（CCO），高频同步采集各出线分支的电压瞬态特征，并与各用户电能表（STA）定时上报的电压时序数据进行皮尔逊相关系数（pearson correlation coefficient）计算：

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

式中： x_i 为融合终端某相出线电压； y_i 为用户表端电压； $\bar{x}$ 为融合终端某相出线电压在 n 个同步采样点内的平均值； $\bar{y}$ 为某用户表端电压在 n 个同步采样点内的平均值； n 为同步采样点数。当 r_{xy} 大于设定的高相关性阈值（如 0.95），且结合 HPLC 物理层信道衰减特征，终端即可在本地精确研判该用户归属的变压器、具体供电分支以及所在相别（A/B/C 相），自动生成低压网络拓扑并上送主站更新 GIS 图元，实现档案数据的“自愈”。

3 台区边缘计算业务协同应用方案

在解决底层数据与通信架构后，面向实际运维需求，在“国网芯”终端内部署了多款业务协同应用，实现低压管控由主站集中处理向边缘就地决策转变。

3.1 预制化部署与带电接入方案

为降低农村台区改造的施工阻力与停电影响，实施了“工厂化预制+无感带电安装”的工程方案。终端设备在入网前统一在实验室完成6类28项的功能与安全全检，预先下装标准应用集群；现场施工中，配置具备带电作业资质的3人班组，在低压侧采用带电接线钳完成终端电压/电流采样回路的接入。该方案不仅确保了终端本体零缺陷挂网，而且也实现了台区数字化升级过程中的用户“零停电感知”。

3.2 基于应用的线损精益化分级计算分析

传统线损计算高度依赖主站月末抄表结算，滞后性强且无法定位具体损耗区间。本文部署了台区线损精益管理应用，利用终端的同源同步采集优势，将线损管理颗粒度从整台区细化至分相、分段。

应用的计算逻辑如下：终端每日凌晨抽取上一自然日的高频电量数据。根据拓扑识别结果，针对某一条低压馈线的分支 k 及相别 p （ $p=\{A,B,C\}$ ），终端在本地计算理论线损偏差率 ΔE_{kp} ：

$$\Delta E_{kp} = \left| \frac{E_{in,kp} - \sum_{j=1}^M E_{user,kpj} - E_{loss,kp}}{E_{in,kp}} \right| \times 100\% \quad (3)$$

式中： $E_{in,kp}$ 为融合终端测得的分支出口实供电量； $E_{user,kpj}$ 为该分支下所有 M 个用户的表计实售电量总和； $E_{loss,kp}$ 为利用前文提到的均方根电流法在终端就地估算的该段线路技术线损。

若 ΔE_{kp} 连续3d超出合理阈值，终端应用将主动向供电服务指挥系统推送“疑似窃电/漏电异常工单”，并附带精确到某相某分支的故障定位信息。判断逻辑流程见图3。

3.3 面向用户的非介入式负荷辨识与异常预警

为延伸服务触角，终端内部署了非介入式负荷辨识（NILM）应用。通过对表箱侧总进线的电压、电流进行高频（如2kHz以上）暂态采样，提取家用电器启停瞬间的有功功率/无功功率阶跃特征、 $V-I$ （电压-电流）轨迹特征以及高次谐波指纹，经边缘AI聚类算法匹配本地负荷特征库。

该功能实现了2大业务协同：1）综合能效精准服务，向用户手机端推送“移动话单式”分类电器（如空调、热水器）耗电详单与节能建议；2）用电安全主动预警，通过判断零序电流与功率特征阈值，实现s级识别户内短路/严重漏电隐患。针对农村独

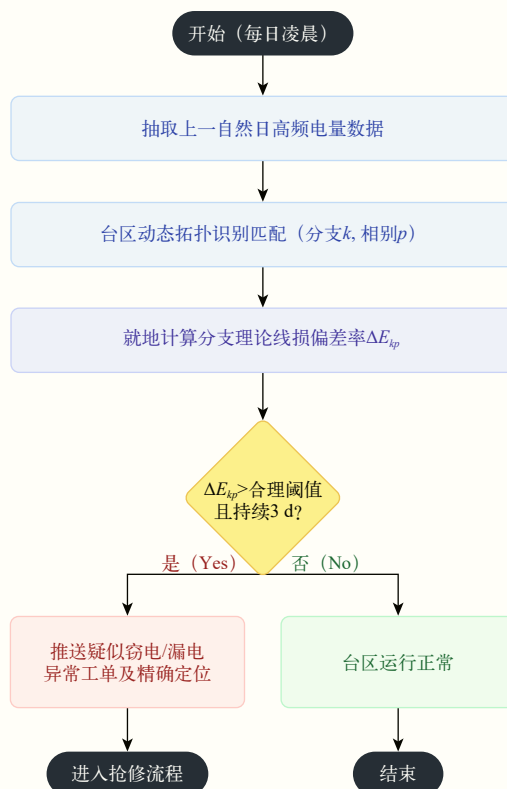


图3 边缘计算应用的线损异常诊断逻辑流程图

居老人等特殊群体，若识别到长时间无典型生活负荷（如电磁炉、电视）用电特征，将自动生成关怀工单派发至台区客户经理，并开展上门核实工作。

4 工程应用与成效分析

4.1 试点区域概况

为验证上述技术方案的有效性，在廊坊、张家口、唐山、承德等地选取了3506个公用变压器台区开展全感知智慧台区升级建设。试点涵盖了农村台架变、箱变及配电室等多种设备形态，服务区域包括普通农户、小微加工作坊及分布式光伏接入点等典型农村配电场景，智能融合终端覆盖率达到100%。

4.2 营配运行指标改善分析

依托平台层生成的业务协同报表，对比了系统全面上线运行前后台区核心管理指标，其变化见表1。

由表1及运行数据可知，指标改善效果显著。

运行质效提升。得益于营配基础数据的源头固化与拓扑动态识别，档案准确率实现100%覆盖。通过图数一致，大幅消除了因档案错位导致的采集

失败，采集成功率达 99.87。

服务主动化转型主动预警应用将故障信息与地理拓扑前置推送至台区经理，实现了抢修工单跑在客户投诉前。现场作业落实“一键导航、精确定位”，使故障平均抢修耗时缩短了 60%，年度客户报修量压降逾三成。

表1 试点应用前后核心管理指标对比

核心评价指标	应用前 (2024年)	应用后 (2025年)
年度低压报修工单总量	6 744	4 614
台区平均线损率/%	2.73	2.38
变线户档案关系准确率/%	98.24	100.00
用电信息采集成功率/%	98.12	99.87
故障平均抢修到达时长/min	45	18

如图 4 所示，在引入线损精益管理应用后，某典型高损台区的线损率从剧烈波动的无序状态，快速收敛并稳定在 2.5% 以下的经济运行区间。

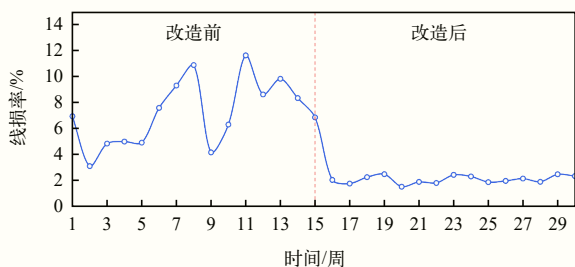


图4 某典型高损台区改造前后线损率波动对比

4.3 典型应用案例分析（防窃电与主动服务）

在深化应用期间，终端边缘计算的异常预警机制发挥了显著的经济与社会效益。

案例 1：基于分段线损诊断的精准查窃电。
2024 年 7 月，某村级台区终端连续 3 日上报“B 相二分支线损率畸变（激增至 14%）”告警。台区经理根据系统自动下发的巡线工单与拓扑定位，携带设备直奔二分支现场。经排查，发现某水产养殖户在智能电表前端违规搭接旁路电缆（绕越计量装置）接入增氧机。得益于终端相级线损的精确溯源，免去了以往全村拉网式排查的巨大工作量，快速锁定目标。本项目周期内，试点区域依此查获隐蔽窃电用户 2 户，挽回直接经济损失 2 568 元。

案例 2：漏电主动预警保障生命安全。终端漏

电监测应用在运行期间，实时计算配变低压总剩余电流动作保护装量与各分支的剩余电流矢量差。某日深夜，某台区终端监测到局部剩余电流突发性越限，应用就地研判为严重绝缘破坏，瞬间联动切除该分支低压断路器，并同步推送告警工单。抢修人员到达现场发现，系农户私拉临时用电线路用于抽水灌溉，因绝缘老化破损在积水中引发漏电。系统的主动干预避免了可能的触电伤亡事故。推广期内，系统累计主动发现并督促整改低压漏电隐患 105 处，未发生一起涉电公共安全事故。

5 结束语

本文以解决农村配电网营配业务融合痛点为切入点，系统论述了基于“国网芯”智能融合终端的全感知智慧台区技术方案。通过构建统一的通信架构与安全交互机制，实现营销与配电数据的底层贯通；依托边缘计算应用部署拓扑识别、相级线损诊断与非介入式负荷辨识等业务，驱动配网运维从人工被动响应向数据驱动的主动精准服务转型。工程应用验证了方案在打破专业壁垒、提升运维效率方面的有效性。

实践中发现，部分偏远山区存在 4G/5G 信号盲区，影响数据上报时效。下一步将聚焦北斗卫星/5G 专网+本地微波多模通信模块升级，并研发轻量化 AI 故障研判模型，提升系统在极端通信场景下的全天候适应能力。

参考文献

- [1] 韩静. 基于电力物联网边缘计算的台区线损实时诊断系统设计[J]. 农村电气化, 2025(12):1-4.
- [2] 薛晓慧, 郭志华, 黄超, 等. 基于HPLC拓扑自动识别技术的营配智能运维系统设计[J]. 信息通信, 2020(10):58-60.
- [3] 刘单华, 黄丹, 倪妍妍, 等. 面向乡村振兴的供电营销移动作业研究与应用[J]. 农电管理, 2022(5):24-28.
- [4] 邓同强, 黄春辉, 钟彦平, 等. “国网芯”智能漏电监测系统在农村电网中的应用[J]. 电气技术, 2019, 20(8):118-122.
- [5] 刘健, 秋泽楷, 张志华, 等. 农村配电网分布式光伏接入策略研究[J]. 农村电气化, 2025(11):40-43, 87.

作者简介

王荣军（1972—），男，本科，高级技师，六级职员，研究方向为营销管理，E-mail: wangrongjun2026@163.com。

王锦（1988—），男，本科，高级技师，副主任，研究方向为营销管理，E-mail: 3827517923@qq.com。

（责任编辑：袁航）