

一种便携式线损异常排查装置开发与运用

王 勇, 蔡 权, 刘修理, 常 强, 龚文玉, 吴洪学, 唐海鑫

贵州电网有限责任公司, 贵州 贵阳

收稿日期: 2024年2月20日; 录用日期: 2024年3月22日; 发布日期: 2024年6月18日

摘 要

长期高损台区会给供电企业带来巨大的经济损失, 而传统的人工现场摸排费时费力且计量系统监测功能不足。该产品综合采用了先进的HPLC通信技术、ARM硬件处理器、专业级实时Linux嵌入式自主软件设计、高精度电能计量和同期数据对比等技术设计, 能根据从机和主机获取的数据, 多台设备同时在同一相线上前后使用, 对线损异常进行分析排查, 进一步研究高线损发生的位置和可能的原因。装置应用于低压配网时, 通过对台区线路负荷监测, 实现从变压器-分支箱-表箱分级、分相线损分析预警功能, 具备HPLC自组网通讯、电能计量、防窃电监测、同期线损比对等功能, 从而保证挖掘高线损的位置。能够现场对高损区域精准智能判断, 从而迈向高质量、高效率、数字化的崭新线损异常排查工作模式。实现台区精益化线损管理, 达到电网降损增效的效果。

关键词

线损排查, 便携式, 载波模块, 数据比对, 工器具

Development and Application of a Portable Line Loss Abnormality Investigation Device

Yong Wang, Quan Cai, Xiuli Liu, Qiang Chang, Wenyu Gong, Hongxue Wu, Haixin Tang

Guizhou Power Grid Co., Ltd., Guiyang Guizhou

Received: Feb. 20th, 2024; accepted: Mar. 22nd, 2024; published: Jun. 18th, 2024

Abstract

Long-term high-loss areas can bring huge economic losses to power supply enterprises, while traditional manual on-site investigation is time-consuming and labor-intensive, and the monitoring

文章引用: 王勇, 蔡权, 刘修理, 常强, 龚文玉, 吴洪学, 唐海鑫. 一种便携式线损异常排查装置开发与运用[J]. 仪器与设备, 2024, 12(2): 117-125. DOI: 10.12677/iae.2024.122018

function of the metering system is insufficient. This product integrates advanced HPLC communication technology, ARM hardware processor, professional-level real-time LINUX embedded independent software design, high-precision power metering, and simultaneous data comparison to analyze and investigate line loss abnormalities based on data obtained from slave and master devices. The product can simultaneously use multiple devices on the same phase line to further study the location and possible causes of high line loss. When it is applied to low-voltage distribution networks, the device can monitor the load of the area line to achieve transformer-branch box-meter box grading, phase-by-phase line loss analysis and warning functions. It has functions such as HPLC self-organizing network communication, power metering, anti-theft monitoring, and simultaneous line loss comparison, ensuring the location of high line loss. It can accurately and intelligently judge high-loss areas on the spot, moving towards a new high-quality, efficient, and digital line loss abnormality investigation work mode, achieve lean line loss management of the area and achieve the effect of reducing line loss and increasing efficiency of the power grid.

Keywords

Line Loss Investigation, Portable, Carrier Module, Data Comparison, Tool

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 项目的概述

1.1. 项目背景

随着社会的发展进步,电力已经成为我们生活中不可缺少的一部分,目前,电力系统在提供电力服务的过程中,经常会出现用电量与实际消耗量不一致的问题,定义为线损[1]。在电力系统中,台区是指(一台)变压器的供电范围或区域。由于低压配电台区具有数量大、分布面广、供电网络复杂的特点,给日常用电监管带来了一定的困难,时常遭到不法分子的非法窃电,导致台区线损过高,直接影响供电企业的经济效益,给供电企业带来巨大的损失[2] [3]。

了解低压配电网线损高的原因和寻求解决线损高的办法措施是当前电力行业一直在研究的问题。影响配电网的损耗的原因非常复杂,如缺乏对低压配电网进行系统化和精细化的管理、网架结构不合理、电力用户在用电过程中违规用电、线路横截面积小、高负荷的输电、无功补偿不到位、三相负荷不平衡、设备老化缺乏维护、变压器轻载运行、偷电、漏电现象等原因,都有可能造成线损异常[4] [5] [6]。这些现象给管理人员的工作造成了一定的阻碍。为提高台区线损合格率,目前,国内电力行业所普遍采用的人工巡视或者电子技术检测报警两种办法,人工的巡检方式如稽查人员逐户普查,劳动强度大,效果不明显,使得降损工作费时、费力、效果不明显,一些台区原因不清,出现了无法继续开展降损工作的局面;电子技术检测法都是针对电能计量表、计量互感器、计量箱等计量设备的防窃电监测,现在没有适用于台区配电线路的防窃电监测设备。

开发生产一种方便安装在低压 AC 400 V 相线上的便携式线损异常排查装置已势在必行。

1.2. 拟解决问题

因为影响台区线损的原因很多,包括无表用户、末端大容量、台区线路迂回、采集异常、小散用户

等情况,因此排查难度较大。为了降低线损异常率,电网公司投入很大的人力和物力对线损异常的台区进行排查。当前线损异常分析方法多为针对技术线损的异常排查与处理[7] [8],技术线损是比较固定的,仅能通过技术措施来降低,主要是通过输变电设备的升级改造来实现,而实际线损呈现为供、售电量的差值,即为统计线损,其影响因素包括技术线损和管理线损两方面,其中,管理线损才是统计线损波动的主要原因[9] [10]。通常来说,进行实际线损方面的排查时,一般是通过人工对其进行排查的,而因为输电电缆的高度较高且相互之间的距离较远,使得工人在对电缆进行检查时,危险性较高,且容易出现疏漏。虽然现有线损治理手段主要是直接对台区进行地毯式排查,首先排查人员进入台区现场,查看台区采集情况,判断是否存在异常。接着对台区所有分支线进行巡视,查看是否有漏电、绝缘损坏等异常情况。最后对所有用户进行逐一排查,查看是否有异常。有的研究策略通过对各个分支线损进行分析,然后确定具体哪个分支线损异常,但未能研制相关装置。

本项目拟制作便携式线损异常排查装置,可以方便安装在支线上、单相或某几相线路上,实时计量有功和无功电能,并将数据通过 HPLC 模块上传到便携式线损异常排查装置主机中。经过实时和一段时间的比对,并结合计量自动化系统先初步排查线损异常点,再通过线损异常排查装置实时同步对比实时功率、电量等数据,可以挖掘低压台区内的高损可疑点,分段查找高线损区域,从而根据高损原因分析来分类制定降损措施,达到降损增效目的。

2. 项目成果介绍

2.1. 便携式线损异常排查装置具备的主要功能

便携式线损异常排查装置的主要功能是针对计量自动化系统发现的可疑高损点,对高损输电线路前后节点加挂本装置(便携式线损异常排查装置),通过实时和同期线损对比,即可排查输电线路三相或者单相实时或者多日的线损情况。

设备具备 IP54 防水等级,安装方便;装置采用市电供电的方式,任何一根相线均可可为设备提供电能。此外,便携式线损异常排查装置还具备如下功能:

- 1) 装置便携式可移动、安装方便、布点使用灵活。
- 2) 装置可以在低压台区的可疑区域采集高损地区单、三相配电网的电能数据(如有功率、电量等),并通过高速载波模块将数据实时传输到主机。
- 3) 通过数据模型分析和数据比对,将多个便携式线损异常排查装置进行通信组网、同期数据对比来分析台区同期线损,不断缩小可疑区域并精准挖掘高损位置和原因。

2.2. 装置的工作原理

根据初步可疑的高损位置确定首尾安装点范围,主从机的数据通过 HPLC 自组网技术上传到主机,通过数据对比,分析线损情况及高损可能的原因。主机或者从机采集装置单元系统框图如图 1 所示。

应用前,设定主机从机的角色并自组网,通过 HPLC 自组网通信交互次数,提升了装置间的通信接口速率,实现了用电信息海量数据的高频采集。产品作用于低压配电网高损查询的主从机之间通讯的系统设计框图如图 2 所示。

2.3. 装置的主要组成

便携式线损异常排查装置主要由防水外壳、0.5S 级计量单元、0.5S 级互感器*3 (600 A/5 A,互感器内径 45 mm)、触摸显示屏、主控、TF 卡、SIM 卡、东软载波 HPLC 模块、设备收纳箱等部件组成。

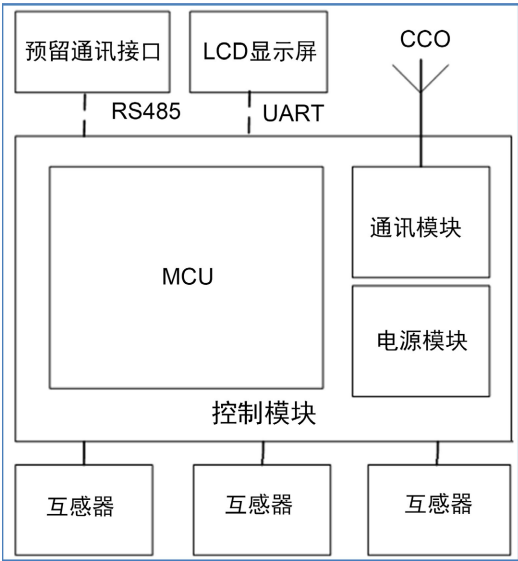


Figure 1. System block diagram of master or slave collection device unit
图 1. 主机或者从机采集装置单元系统框图

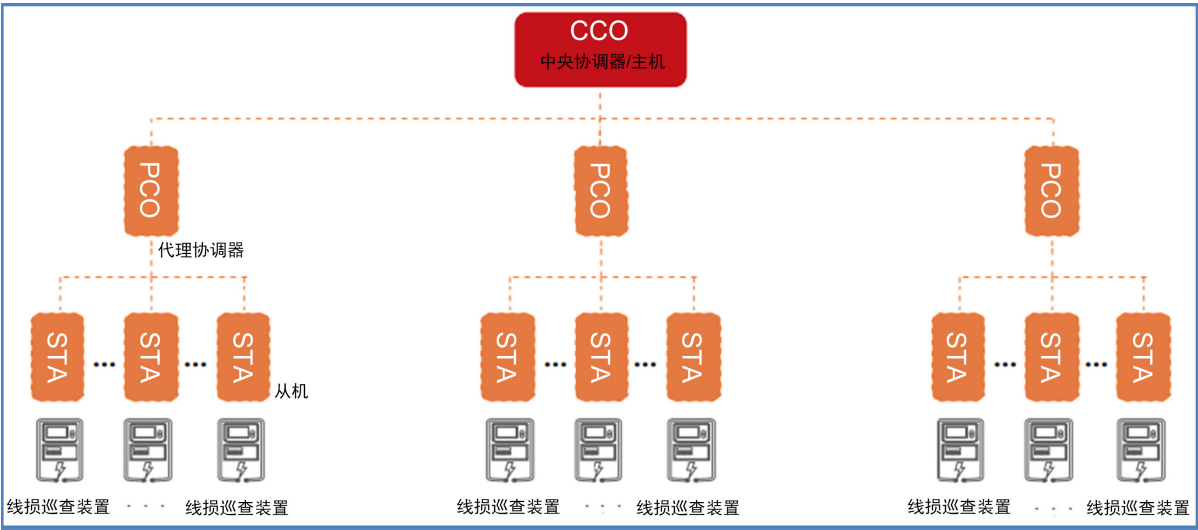


Figure 2. System design block diagram for communication between master and slave device in high-loss inquiry
图 2. 高损查询的主从机之间通讯的系统设计框图

0.5S 级计量单元能高精度地测量所有常用的电力参数，如三相电压、电流、有功功率、无功功率、频率、功率因数、四象限电度等，采用大屏幕液晶 LCD 来显示仪表测量参数和电网系统的运行状态信息(具体显示项目以交付产品为准) [5] [6]。

通过便携式线损异常排查装置和开口式电流互感器变比和主从机，实现了输电线路任意位置的用电量及电流曲线变化的采集，并且设置主从机的角色，使设备之间相互建立连接，不需要更改现有的采集系统，可以直接将数据采集到用主机中，使得本装置具有普适性，适用于台区配电线路的窃电监测。采用本装置进行排查解决高手段，隐蔽性强的窃电行为，可以精准锁定窃电漏电位置，排查效率高，便于开展线损排查工作，提高供电企业的经济效益。

便携式线损异常排查装置采用 0.5S 级高精度开口互感器。该开口式 CT 的一次电流可在 600 A 内，

二次电流为 0~5 A，额定工作电压 AC 0.66 kV (等效 AC 0.69 kV, GB/T 156-2007)，额定频率 50~60 Hz，环境温度-30℃~70℃，较高耐温 120℃，海拔高度 ≤ 3000 m，工频耐压 3000 V/1 min 50 Hz；适用于没有雨雪直接侵袭，无严重污染及剧烈震动的场所；可以应用于低压配电网 45 mm 以下的输配电线路(线路载流能力最大在 600 A 内、或者 250 平方的线材)。装置应用于现场时安装方便，无须拆一次母线，亦可带电操作，不影响客户正常用电，为用户改造项目节省人力、物力、财力，提高效率。

便携式线损异常排查装置的主控由供电模块、计量芯片、时钟、晶振、浪涌保护等器件组成，对有功、无功功率的测量精度达到 0.5 s，所能测量的电参数包括有功、无功、视在功率、双向有功和四角限无功电能；电压和电流有效值；相位、频率等，具有计量参数齐全、校表功率完善等优点；电能计量功能，具有有功、无功电能计量；实时测量功能，电压、电流、功率、功率因数、频率等电参量测量功能；具有 RS485 通信口，通信规约支持 DL/T 645-2007；具有多费率电能计量及存储功能。

便携式线损异常排查装置的外壳结构设置了防雨防水结构，保护箱体內的电器件，工作不受天气情况的影响，可以进行长时间的实时监控。箱体內设置了用于将开口式电流互感器放置在箱体內的过线槽，在不进行测量时可以将开口式电流互感器放置在箱体內，便于携带。

便携式线损异常排查装置的收纳箱可以放置整套监测设备。收纳箱为便携式多功能工具箱，采用相互铰接配合的箱盖和箱体组成，箱体侧壁上设置有减震孔，减震孔安装有减震器。箱体划分成多个区域，线损异常排查装置放在一个区域内，配套內的工具等在一个区域内，实现了物品的分类管理，避免了由于物品过多，摆放不整齐的现象。

便携式线损异常排查装置解决了现有技术中低压台区线损排查时间过长和对排查数据无法进行快速分析处理的问题，它利用线损采集装置和卡扣式电流互感器，采集得到输电线路上的电流电压数据，并且由线损采集装置与系统主站之间的通讯连接实现数据的传输。在保证安全的前提下，缩短线损的排查时间，减轻工作人员的负担，精准定位高损耗点位置，大大减少了由于排查线损导致的停电事故发生率。

2.4. 装置实物图

便携式线损异常排查装置的实物图如图 3 所示。



Figure 3. Physical image of the master or slave device

图 3. 主机或者从机实物图

便携式线损异常排查装置的显示内容如表 1 所示。

Table 1. Display content of the portable line loss abnormality investigation device
表 1. 便携式线损异常排查装置显示内容

相别		U (V)	I (A)	P (kW)	Q (kvar)	有功线损	视在线损
A 相	主机	245.11	198.11	48.51	49.04	10.97%	9.30%
	从机	244.11	177.11	43.19	44.48		
B 相	主机	245.11	176.11	43.12	43.59	0.69%	0.69%
	从机	244.11	175.5.11	42.82	43.29		
C 相	主机	245.11	97.11	23.77	24.03	4.52%	3.67%
	从机	244.11	93.11	22.69	23.15		

注：便携式线损异常排查装置显示内容可根据需要设置。

3. 产品技术参数

产品技术参数如表 2 所示。

Table 2. Technical parameter table
表 2. 技术参数表

性能		参数
输入测量 显示	供电方式	单相、三相四线
	电压	额定值 AC 110 V~420 V (订货时请说明)
		过负荷 测量：1.2 倍 瞬时：2 倍/10s
		功耗 <2 VA (每相)
		阻抗 >300 kΩ
		精度 RMS 测量，精度等级 0.5%
	电流	额定值 AC 1A、5A (订货时请说明)
		过负荷 持续：1.2 倍；瞬时：10 倍/10s
		功耗 <0.4 VA (每相)
		阻抗 <20 mΩ
		精度 有功 0.5S 级
	频率	50 Hz
	功率	有功、无功、视在功率，精度 0.5%
	显示	液晶触摸显示屏
	电能计量	四象限正反向计量有功精度 0.5S 级
电源	工作范围	AC 110 V~420 V
	功耗	≤5 VA
输出可编程	数字接口	标配 1 路 RS-485 接口，MODBUS-RTU 协议
	脉冲输出(选配)	选配电能脉冲光耦隔离输出
	开关量输入(选配)	选配开关量光耦隔离干接点输入
	开关量输出(选配)	选配开关量继电器输出
	模拟量输出(选配)	选配模拟量变送输出(输出 DC4~20 mA)
环境	工作环境	-10℃~55℃
	储存环境	-20℃~70℃
安全	耐压	辅助电源、输入信号、输出信号之间 > 1.5 kV
	绝缘	输入、输出、电源对机壳 > 5 MΩ

4. 项目创新点

1) 主控单元自主研发设计生产。装置的核心组成部分为计量模块、显示模块、互感器、主控系统和 HPLC 通讯模块。

2) 物料全部国产化。整个装置按技术方案组装,核心器件(互感器除外)的主控系统和通讯系统均为自主开发,且 FLASH、ARM 处理器、HPLC 通讯模块、定位模块、缓存等电子器件均有成熟的供应商;各个部件的物料已有两家国内一线供应商可提供。

3) 自组网式通信。便携式线损异常排查装置可以基于 HPLC 自组网通讯技术、高精度电能采集技术、同期电能对比数学模型、储能技术的便携式线损异常排查装置主机和从机。

4) 数据同期汇总对比。便携式线损异常排查装置主机和从机的同期数据采集、数据自组网传输、同期对比等技术及主机和从机的通讯协议。

5) 数据分析挖掘。便携式线损异常排查装置内置不同线损类型的高损数学模型,可以精准挖掘高损可疑点,并给出降损措施。

6) 数据存储。便携式线损异常排查装置内置程序,可以存储数据。

7) 装置弥补了现有电能计量装置不可移动、安装不方便、布点密度小、使用不灵活的不足。并且,便携式设备可重复利用。

8) 根据实际情况高效进行高损治理,降低电网线损,避免电能损失,提高电网企业经济收益。

5. 项目成果应用

1) 试点台区:遵义市绥阳县 10 kV 蒲后线蒋家湾公变,资产编号 06031ZP00000001800023056。现场使用照片如图 4 所示。

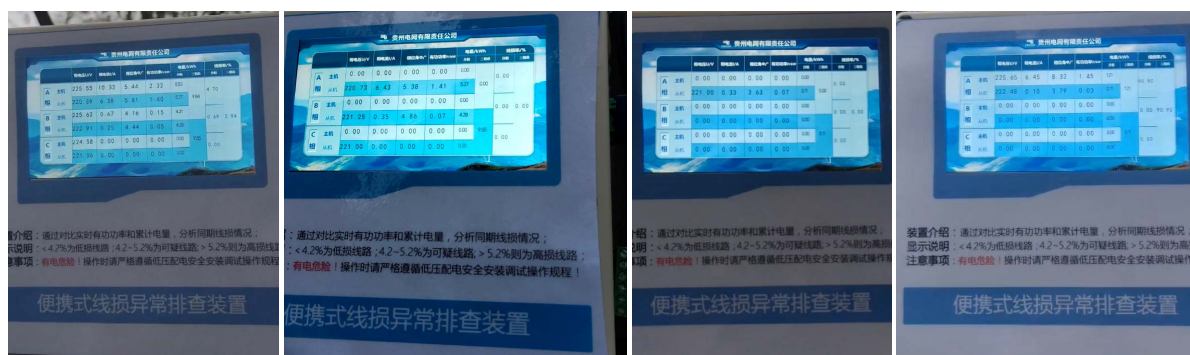


Figure 4. On-site physical image

图 4. 现场使用实物图

2) 使用前后台区日线损率变化

2022 年 10 月 31 日到 11 月 9 日,10 kV 蒲后线蒋家湾公变日线损异常率在 27%~75%之间,在系统里线损超标显示红色,先后现场用电检查 4 次没有解决高线损。2022 年 11 月 9 日,在此台区试用便携式线损异常排查装置,一次性排查出高损原因,发现是一用户窃电。进行有效处置。处置后日线损率从 75%降到 7.05%,见系统截图红框部分,如图 5 所示。指标合格,红色警示已消除。

由图 5 数据可知,在 2022 年 11 月 9 日使用此装置排查高线损处置前后线损率对比,排查高线损处置后线损率由 48.89%下降到 7.05%,满足此台区日线损异常率管理要求,有效处置了低压配变高线损台区,提高了线损异常的处置率,促进了线损精益化的管理水平。



Figure 5. Screenshot of the metering automation system
图 5. 计量自动化系统截图

6. 成果实施已取得的效果

6.1. 经济效益

- 1) 应用于低压配电网线损治理，一次性故障处理率从 45%提高到 96%，工作效率提高了 51%。
- 2) 2022 年该成果在遵义桐梓、赤水 and 绥阳供电局等供电局应用，2023 年，在遵义网区大面积推广使用。在低压台区线损异常处置工作中，将台区同期线损控制在合理的范围内，显著提高了配网线损的管理水平，提高了电网企业的经济收益。全年预计减少出工 2287 人次，减少工作时间 3431 小时，节省成本 16.47 万元；线损下降 0.14%，电量 54.26 万 kWh，电费 29.3 万元。合计每年县局节省生产成本 45.77 万元。其中，人工成本 12.39 万元，车辆成本 4.08 万元，增加电费 29.3 万元，线损下降 0.14%。遵义网区 14 个区县局每年至少节省生产成本 640.78 万元。
- 3) 此成果转化对优化产业的作用较大，使高损台区异常排查工作从传统人工现场摸排和计量系统监测功能不足升级到使用此产品能够现场对高损区域精准智能判断，从而迈向高质量、高效率、数字化的崭新工作模式。
- 4) 具备电能计量、窃电监测、同期线损比对等强大功能，具有使用简单、运行稳定、维护方便、可靠性高、存储容量大、开放性好、性价比高的特点。能够满足在配变侧监测、计量等方面的应用需求，是低压配变线损监测的降损利器。

6.2. 社会效益

本项目致力于增强电力企业线损精益化的管理水平，基于对现场台区线损异常进行移动式计量、自动高损模型比对、精准挖掘高损疑点、分类降损措施的安全高效的思路，低成本制作了该装置，切实保证电力系统运行的经济性和合理性，促进国家节能降碳战略的实施。

基金项目

项目名称：2022 年职工创新项目专项(遵义)/一种便携式线损异常排查装置。
项目编号：060312KK52220001。

参考文献

[1] 马喜平, 贾嵘, 梁琛, 等. 高比例新能源接入下电力系统降损研究综述[J]. 电网技术, 2022, 46(11): 4305-4315.

-
- [2] 孙珍珍. 低压台区的线损分析及降损措施研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2016.
 - [3] 王连辉, 黄超艺, 王呈杰. 农村配变台区低电压成因与治理方案[J]. 电力安全技术, 2023, 25(12): 41-45.
 - [4] 谢成勇. 配电网线损分析与降损措施研究[D]: [硕士学位论文]. 绵阳: 西南科技大学, 2021.
 - [5] 王伟. 低压配电网线损分析和降损措施研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 齐鲁工业大学, 2022.
 - [6] 张鑫. 低压配电网三相不平衡的危害及解决对策研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州理工大学, 2022.
 - [7] 周敏. 电网技术线损的影响因素与降损方案分析[J]. 通信电源技术, 2020, 37(1): 153-154.
 - [8] 孙文科. 配电网的技术线损与应对措施分析[J]. 电子技术, 2021, 50(11): 238-239.
 - [9] 李婧. 供电所管理线损的现状及解决措施探讨[J]. 数字通信世界, 2021(9): 114-116.
 - [10] 史添. 以线损管理助力提质增效[J]. 中国电力企业管理, 2021(35): 61.