

电力与能源工程

# 电力与能源工程

ELECTRICAL AND ENERGY ENGINEERING

2025年 第1卷第1期 (月刊, 创刊于2025年)

地址: 香港油尖旺區大角咀通州街 111 號雲之端 509 室  
邮编: 999077  
电话: 00852 2742 8981  
邮箱: zgjxscb@163.com

2025年 第1卷 第1期



ISSN 1005-9423



9 771005 942251

定价: 30元/册

主办单位 中國紫荊學術出版社有限公司

# 电力与能源工程

## ELECTRICAL AND ENERGY ENGINEERING

2025年1月 第1卷 第1期 (月刊, 创刊于2025年)

2025 Volume 1 Issue 1 (Monthly, Founded in 2025)

主办单位 中國紫荊學術出版社有限公司

Sponsored by China Bauhinia Academic Publishing House Co., Limited

主 编 江 冰

Editor in Chief JIANG Bing

副 主 编 赵坦泰

Deputy Editor in Chief ZHAO Tantai

编 务 李 莉 娄 阁

Editors LI Li LOU Ge NIE Wenyu NING Xue

聂文煜 宁 雪

Edited and Published by *Electrical and Energy Engineering*

编辑出版 《电力与能源工程》编辑部

电子邮箱 zgjxscb@163.com

Email zgjxscb@163.com

稿件查询 00852 2742 8981

Telephone 00852 2742 8981

出版日期 每月 25 日

Publication Date The 25th of each month

联系地址 香港油尖旺區大角咀通州街

Address RM 509, 5/F THE CLOUD 111 TUNG CHAU

111 號雲之端 509 室

ST TAI KOK TSUI HONG KONG

邮 编 999077

Postal Code 999077

### 《电力与能源工程》

#### 编辑委员会

ELECTRICAL AND ENERGY ENGINEERING

Editorial Committee

主 任 江 冰

Director JIANG Bing

编 委 (按姓氏拼音排序)

Members (Sorted by alphabetical order of surname in Pinyin)

江 冰 宋伟涛 孙立薪

JIANG Bing SONG Weitao SUN Lixin

田 彧 肖启国 熊 炜

TIAN Yu XIAO Qiguo XIONG Wei

曾 琦 赵坦泰

ZENG Qi ZHAI Tantai

# 节约用电 珍惜能源

## 请随手关闭电源

节约电能能够减少不必要的电能损失, 为企业降低成本, 提高经济效益, 从而使有限的电力发挥更大的社会经济效益。



### 行业动态

- 001 基于激光点云的电力线损实时检测技术分析 王哲, 张晟  
004 大数据背景下电力计量装置故障智能化诊断技术分析 史俊杰, 马迪正  
007 电能计量技术在台区线路故障和降损中的应用研究 董训鹏

### 电力电子技术

- 010 低压电力载波通信技术在太阳能路灯控制系统中的应用 沈佳昀  
015 电力通信技术在智能电网中的应用 高晶, 向云星, 李静发, 等

### 电力装备制造

- 019 输电架空线路风载荷对电力传输稳定性的影响 陈浩  
023 电网防雷技术在架空输电线路设计中的应用 张小玉, 王宇墨  
026 基于边缘计算的输电线路自主巡检系统的设计与实现 何伟  
030 变电站工程中变压器与GIS的施工要点 何磊  
033 基于变电站与配电房联动的电力系统安全防护体系研究 李铭航  
036 智能变电站二次电气设备安装与调试分析 刘颖聪  
040 光伏支架基础施工中的环保措施及其优化路径 耿东红, 杨潇, 成杰, 等  
043 光伏逆变器并网控制策略分析与验证 秦琦  
046 光伏逆变器高效能量转换控制技术的应用 张叶峰

### 供配电与运维

- 050 电缆故障情况下风电场电气系统故障诊断方法研究 赵振

053	电力电缆施工中的质量问题及其控制措施	胡晔晟
057	配电线路运维检修现存问题及解决策略	左景森
060	电力输配电线路故障排除与运行维护策略	陈晓辉
063	电力输配电线路的运行维护与故障排除策略	李雪芸
067	低压配电台区线损控制策略	常珂璟, 张利荣
070	低压配电线路电气性能与电力损耗综合治理探讨	曹 律

## || 新能源开发与利用

073	山区光伏电站规划可行性研究	谢丽桦
076	西北偏远农村地区风光互补发电系统设计	魏孔贞
079	智能电网环境下光伏发电系统优化策略	李禹桥
086	光伏发电并网控制系统设计与优化	彭宫玺
090	电力系统中分布式能源的接入与调控	孟和田, 兰天宝
103	智能电网分布式能源优化调度策略分析	王骏峰
108	电力系统分布式能源接入保护与控制策略	张闻勤, 王 亚
113	基于人工智能算法的新能源电力系统自动化调度方法研究	张 楠, 林子顺, 潘家满
116	基于 SCED 与时序模拟算法的新能源消纳能力评估	杨 帆
120	偏远地区光伏-储能一体化系统供电关键技术及其应用	沈昱雯, 王昊洋
127	基于 PLC 的海上风电塔筒冷却系统电气控制方案设计与应用效果	梁 栋, 文美娟, 张 翠, 等
131	风电光伏并网储能容量优化方案及其测试	李伟华
136	“光-储-充-照”一体化场景下兆瓦级电动卡车充电站配电网拓扑优化与验证	李宇娟

## || 智慧用电与管理

150	基于分布式预测控制器的智能电网经济-排放调度方法	陈晓政, 杨坤全
159	人工智能技术在电力调度数据动态挖掘中的应用	马富海
163	基于深度学习的电力调度流数据异常识别方法	赵玉兴
170	基于价格综合需求响应的电力调度优化研究	东 琦
173	基于源网荷储协调的电力调度方法研究	赵琳娜

## || 可持续发展

181	风电机组动态扫影对光伏电站发电效率的影响	富 年, 聂伟明
-----	----------------------	----------

# ELECTRICAL AND ENERGY ENGINEERING

2025 Volume 1 Issue 1 (Monthly, Founded in 2025)

## Contents

### INDUSTRY DEVELOPMENTS

---

- 001 Analysis of Real-Time Detection Technology for Power Line Losses Based on Laser Point Cloud WANG Zhe, ZHANG Sheng
- 004 Analysis of Intelligent Fault Diagnosis Technology for Power Metering Devices under the Background of Big Data  
SHI Junjie, MA Dizheng
- 007 Research on Application of Electric Energy Metering Technology in Line Fault and Loss Reduction in Transformer District  
DONG Xunpeng

### POWER ELECTRONICS TECHNOLOGY

---

- 010 Application of Low-Voltage Power Line Carrier Communication Technology in Solar Street Lamp Control System  
SHEN Jiayun
- 015 Application of Power Communication Technology in Smart Grid GAO Jing, XIANG Yunxing, LI Jingfa, et al.

### POWER EQUIPMENT MANUFACTURING

---

- 019 Influence of Wind Load on Overhead Transmission Lines on Power Transmission Stability CHEN Hao
- 023 Application of Power Grid Lightning Protection Technology in Overhead Transmission Line Design  
ZHANG Xiaoyu, WANG Yumo
- 026 Design and Implementation of Autonomous Transmission Line Inspection System Based on Edge Computing HE Wei
- 030 Key Construction Points for Transformer and GIS in Substation Engineering HE Lei
- 033 Research on Power System Security Protection System Based on Substation and Distribution Room Linkage LI Minghang
- 036 Analysis of Installation and Commissioning of Secondary Electrical Equipment in Intelligent Substations LIU Yingcong
- 040 Environmental Protection Measures and Optimization Paths in Photovoltaic Support Foundation Construction  
GENG Donghong, YANG Xiao, CHENG Jie, et al.
- 043 Analysis and Verification of Photovoltaic Inverter Grid-Connected Control Strategies QIN Qi
- 046 Application of High-Efficiency Energy Conversion Control Technology for Photovoltaic Inverters ZHANG Yefeng

### POWER SUPPLY, DISTRIBUTION AND OPERATION & MAINTENANCE

---

- 050 Research on Fault Diagnosis Methods for Wind Farm's Electrical System under Cable Fault Condition ZHAO Zhen

- 053 Quality Problems in Power Cable Construction and Their Control Measures HU Yesheng
- 057 Existing Problems and Solutions for Operation, Maintenance and Overhaul of Distribution Lines ZUO Jingsen
- 060 Power Transmission and Distribution Line Fault Clearance and Operation and Maintenance Strategies CHEN Xiaohui
- 063 Power Transmission and Distribution Line Operation and Maintenance and Fault Clearance Strategies LI Xueyun
- 067 Control Strategies for Line Loss in Low-Voltage Distribution Transformer Supply Zones CHANG Kejing, ZHANG Lirong
- 070 Discussion on Comprehensive Treatment of Electrical Performance and Power Loss of Low-Voltage Distribution Lines  
CAO Lyu

## DEVELOPMENT AND UTILIZATION OF NEW ENERGY

- 073 Research on Feasibility of Photovoltaic Power Station Planning in Mountainous Areas XIE Lihua
- 076 Design of Wind-Photovoltaic Hybrid Power System in Remote Rural Areas in Northwest China WEI Kongzhen
- 079 Optimization Strategies for Photovoltaic Power Generation System in Smart Grid Environments LI Yuqiao
- 086 Design and Optimization of Photovoltaic Power Generation Grid-Connected Control System PENG Gongxi
- 090 Access and Regulation of Distributed Energy in Power System MENG Hetian, LAN Tianbao
- 103 Analysis of Optimization Dispatching Strategies for Distributed Energy in Smart Grid WANG Junfeng
- 108 Protection and Control Strategies for Distributed Energy Access in Power System ZHANG Wenqin, WANG Ya
- 113 Research on Automatic Dispatching Method for New Energy Power System Based on Artificial Intelligence Algorithms  
ZHANG Nan, LIN Zishun, PAN Jiaman
- 116 Assessment of New Energy Consumption Capacity Based on SCED and Timing Simulation Algorithm YANG Fan
- 120 Key Technologies for Photovoltaic-Energy Storage Integrated System Power Supply in Remote Areas and Their Application  
SHEN Yuwen, WANG Haoyang
- 127 Design and Application Effect of Electrical Control Scheme for Off shore Wind Vane Tower Barrel Cooling System Based on PLC  
LIANG Dong, WEN Meijuan, ZHANG Cui, et al.
- 131 Optimization Scheme and Testing for Wind Power and Photovoltaic Grid-Connected Energy Storage Capacity LI Weihua
- 136 Topology Optimization and Verification of Distribution Network for Megawatt-Level Electric Truck Charging Stations in Integrated "Photovoltaic-Storage-Charging-Lighting" Scenario LI Yujuan

## SMART ELECTRICITY UTILIZATION AND MANAGEMENT

- 150 Smart Grid Economic-Emission Dispatching Method Based on Distributed Predictive Controller  
CHEN Xiaozheng, YANG Kunquan
- 159 Application of Artificial Intelligence Technology in Dynamic Mining of Power Dispatching Data MA Fuhai
- 163 Anomaly Identification Method for Power Dispatching Stream Data Based on Deep Learning ZHAO Yuxing
- 170 Research on Power Dispatching Optimization Based on Price-Based Integrated Demand Response DONG Qi
- 173 Research on Power Dispatching Method Based on Source-Grid-Load-Storage Coordination ZHAO Linna

## SUSTAINABLE DEVELOPMENT

- 181 Influence of Dynamic Shadowing of Wind Turbine on Power Generation Efficiency of Photovoltaic Power Stations  
LIU Funian, NIE Weiming

# 基于激光点云的电力线损实时检测技术分析

## Analysis of Real-Time Detection Technology for Power Line Losses Based on Laser Point Cloud

王 哲<sup>1</sup>, 张 晟<sup>2</sup>

WANG Zhe<sup>1</sup>, ZHANG Sheng<sup>2</sup>

1. 国网江苏省电力有限公司泗阳县供电分公司, 江苏 宿迁 223700

2. 国网江苏省电力有限公司沭阳县供电分公司, 江苏 宿迁 223600

1. Siyang County Power Supply Branch of State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Suqian 223700, Jiangsu, China

2. Shuyang County Power Supply Branch of State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Suqian 223600, Jiangsu, China

**摘要:** 电力线损耗作为影响电力系统经济运行的关键因素, 高效、准确地实现电力线损耗的实时检测对于优化电力系统运行至关重要。基于此, 文章概述了基于激光点云的电力线损实时检测技术的应用原理和应用优势, 并结合仿真技术与案例进行检测效果分析。研究表明, 相比传统方法, 该技术具有检测速度快、准确度高、适用范围广等优势, 为提高电力系统运行效率、降低损耗、保障电网安全稳定提供支持。

**关键词:** 激光点云; 电力线损; 实时检测

**Abstract:** Power line loss is a key factor affecting the economic operation of power system, and efficient and accurate real-time detection of power line losses is very important for optimizing the operation of power system. Based on this, this paper outlines the application principles and advantages of real-time detection technology for power line losses based on laser point cloud, and analyzes the detection effect with simulation technology and cases. The research shows that compared with traditional methods, this technology has the advantages of fast detection speed, high accuracy and wide application range, which provides support for improving the operation efficiency of power system, reducing losses and ensuring the safety and stability of the power grid.

**Keywords:** laser point cloud; power line loss; real-time detection

分类号: TM726 ; TM924.07

**作者简介:** 王哲, 男, 本科, 工程师, 研究方向为电力系统及其自动化。

## 0 引言

线损是指电能从电源点传输至用电设备过程中, 由于电阻、电感、电容等电气元件存在, 及线路老化、接触不良等因素, 部分电能转化为热能而损失的现象, 将降低电力系统传输效率, 对输电线路和用电设备造成损害。传统电力线损检测方法凭借人工抄表、定期巡检和电力参数进行估算, 存在效率低下、数据不准确、实时性差等问题, 传统方法除耗时费力, 还难以实现对电力线损耗的准确监测与分析。基于激光点云的电力线损实时检测技术凭借激光探测传感装置获取电力线的三维点云数据, 实现对电力线损耗的实时监测, 提高检测效率, 降低人为因素导致误差, 为电力系统安全、高效运行提供技术支持<sup>[1]</sup>。

## 1 基于激光点云的电力线损实时检测技术概述

基于激光点云的电力线损实时检测技术依托高精度激光雷达系统可发射出激光束, 当光束在遇到电力线路和周围环境时会发生反射。激光雷达接收反射回来的激光信号, 并根据信号往返时间、强度和激光器位置信息, 计算出反射点三维坐标, 形成点云数据, 其中涉及三维坐标信息的离散点集合, 点云数据记录电力线路空间位置, 反映表面变化, 为线损计算提供基础<sup>[2]</sup>。

在实现过程中, 由于原始点云数据包含噪声、冗余信息和重叠数据等, 需对其进行去噪、滤波、配准等预处理。其中, 去噪是指消除因设备误差或环境因素导致的异常点, 滤波用于平滑数据, 减少冗余信息, 配准保

证从不同视角获取点云数据可对齐，形成完整、连贯的三维模型。完成数据预处理后，基于点云数据开始进行三维建模，将离散点云数据转换为连续三维模型，模型包含电力线路空间形态，能准确地反映其与环境之间的相对位置关系。

在应用优势方面，基于激光点云的电力线损实时检测技术具备高效率、实时监测和非接触式测量等特征，可提高线损计算准确率，借助无人机等平台进行快速扫描，可缩短数据采集时间，提高工作效率，此技术还可实时监测电力线路状态，及时处理及应对安全隐患，降低风险，保证安全。

## 2 仿真分析

### 2.1 线损实时检测结果分析

在电力系统中，传统线损检测方法易受环境、天气等因素影响，降低检测结果准确性。为验证基于激光点云的电力线损实时检测技术效果开展仿真分析，在仿真实验中，构建多条输电线路的虚拟电网模型，并在模型中设置不同线损情况，使用激光雷达设备对电网进行扫描，获取激光点云数据。对点云数据进行处理分析，可提取出输电线路空间位置及几何形态，计算线路电阻、电流等参数，获取线损实时检测结果。

虚拟电网模型包含10条输电线路，线路长度为5~20 km，线损情况设置为线路损耗0.5~2.0 kW/km，激光雷达设备的扫描频率为10 Hz，扫描范围为300 m。凭借滤波和降噪处理，去除噪声点和异常点，保留有效输电线路点云数据。对于每条输电线路，计算实际的线损值和基于激光点云检测得到的预测线损值。实际线损值与预测线损值之间的误差在±0.1 kW，表明基于激光点云的电力线损实时检测技术具有较高的准确性。在连续10 h监测中，该技术可实时、稳定提供线损数据，且数据波动范围在±0.05 kW，表明具有较强稳定性和实

时性。

### 2.2 传统电力线损检测方法与基于激光点云的电力线损实时检测技术对比分析

在电力系统中，传统线损检测如人工巡检、定期测量和基于传感器的在线监测等方法，虽在一定程度上可满足需求，但存在检测周期长、人为误差大、受环境因素影响等问题。随着激光雷达技术发展，基于激光点云的电力线损实时检测技术为线损检测提供解决方案。为公平、准确地开展对比分析，构建包含多条输电线路的虚拟电网模型。该模型中输电线路长度、材质、电阻率等参数均基于实际数据设置，以保证仿真结果真实可靠<sup>[3]</sup>。

传统方法以人工巡检为主，检测周期为每月一次，检测精度受人为主观因素影响，误差较大，检测效率低，每次巡检需要数天时间，数据实时性较差，无法实时反映电网线损情况。定期测量周期为每季度一次，检测精度相对较高，但受天气、设备状态等因素影响，同样存在误差，导致数据实时性一般，无法实时获取线损数据。基于传感器的在线监测的检测精度受传感器精度和稳定性影响。

在仿真实验中，基于激光点云的电力线损实时检测技术可准确提取输电线路的空间位置和几何形态，对线路电阻、电流等参数进行准确计算，与传统方法相比，该技术的检测精度得到明显提高。借助激光雷达设备对电网进行快速扫描，可在短时间内获取激光点云数据。

基于激光点云的电力线损实时检测技术可准确获取电网线损数据，为电力系统运行维护提供支持。在仿真实验中，该技术可实际更新线损数据，保证数据准确。与传统方法相比，基于激光点云的电力线损实时检测技术具有较强抗干扰能力。该技术不受天气、环境等因素影响，可在各种工况条件下稳定工作。在仿真实验中，模拟不同天气和环境条件，皆可准确检测出电网线损值。传统电力线损检测方法与基于激光点云的电力线损实时检测技术对比如表1所示。

表1 传统电力线损检测方法与基于激光点云的电力线损实时检测技术对比

对比项	传统电力线损检测方法	基于激光点云的电力线损实时检测技术
检测效率	人工抄表，定期巡检，耗时长，效率低	自动化扫描，数据处理快速，实时性强
精确度	受人为因素影响大，误差率高	高精度激光扫描，三维建模，误差率低
适用范围	适用于简单线路，复杂环境受限	适应性强，适用于复杂地形与恶劣天气条件
安全性	人工巡检存在安全风险	无人机巡检，避免人员直接接触高压线
成本	初期投入较低，但长期运维成本高	初期设备投入较高，但长期运维成本降低
数据管理与分析	数据记录烦琐，分析手段有限	数据自动化采集，高级算法分析，决策支持强
实时性	无法实现实时监测	实时监测，及时预警，快速响应

### 3 案例分析

在电力系统中,以江苏地区为例,结合实际案例的应用效果,验证基于激光点云的电力线损实时检测技术的实用价值,并深入分析实用测试结果与试验结果产生偏差的原因,提出优化实用效果的方法。基于激光点云的电力线损实时检测技术主要利用无人机搭载激光雷达设备对电力线路扫描,获取高精度三维点云数据。在仿真阶段,选取江苏地区某典型中压配电网作为研究对象,利用电力系统仿真软件(如PSS/E、EMTP-RV等)建立线路损耗计算模型。结合激光雷达扫描得到的点云数据,确定线路走向、长度、材料和截面面积等参数。凭借仿真计算,得到配电网在不同负载情况下的线路损耗值,并与传统测量方法对比验证<sup>[4]</sup>。

在实际应用中,选择江苏地区某供电公司作为试点对象,对该区域内的中压配电网进行基于激光点云的线损实时检测。使用无人机巡检和激光雷达扫描获取点云数据,巡检线路长度约为100 km,涉及多个供电区域。对点云数据进行处理分析,可得到每条线路的损耗值,并与供电公司实际记录对比。对比结果显示,基于激光

点云的电力线损实时检测技术在大部分情况下皆可准确反映线路损耗情况,但在极端天气、线路老化等环境下,实用测试结果与试验结果存在一定偏差。

在暴雨、大风等极端天气条件下,激光雷达的扫描精度和无人机的飞行稳定性会受到影响,导致点云数据的采集和处理出现误差。对于老化严重的线路,其材料性能和几何形状可能发生变化,导致基于点云数据的损耗计算结果与实际值存在偏差。在极端天气条件下,可采取稳健飞行策略,以提高激光雷达扫描精度和无人机飞行稳定性<sup>[5]</sup>。

定期对线路进行老化监测评估,及时更新维护老化严重的线路,以减少因线路老化导致的损耗计算误差。针对复杂场景下的多目标识别和分割问题,可引入深度学习和机器学习等方法,提高算法性能。结合物联网技术和大数据技术建立实时线损监测系统,实现对线路损耗的实时监测预警,为电网的运维管理提供准确数据支持。基于激光点云的电力线损实时检测技术的应用分析汇总如表2所示。

表2 基于激光点云的电力线损实时检测技术的应用分析汇总

分析维度	描述
数据采集	利用激光探测传感器实时采集电力线路的三维点云数据
数据处理	对采集的点云数据进行实时处理,包括滤波、配准、分割等步骤
损耗计算	基于处理后的点云数据,实时计算电力线路的损耗情况
监测精度	高精度激光扫描,确保损耗计算的准确性
实时性	实时采集与处理数据,实现电力线损的实时监测
故障预警	对异常损耗进行实时分析,及时预警潜在的电力线路故障
应用场景	适用于各种复杂地形与恶劣天气条件下的电力线路监测
技术优势	自动化、智能化,提高电力线路监测的效率和准确性

### 4 结束语

文章针对电力线损耗的实时检测问题深入探讨解决方案。在研究过程中,分析传统电力线损耗检测方法的局限性,提出采用激光点云进行实时检测的新思路。研究结果显示,与传统的检测方法相比,基于激光点云的电力线损实时检测技术能提高检测效率,降低安全风险,适用于各种复杂环境下的电力线损耗检测。未来,应深化相关研究,完善优化该技术,以期在电力行业的智能化、自动化进程中发挥作用,促使电力系统安全、高效运行。

### 参考文献

- [1] 李深磊. 基于激光点云的低压台区线损实时检测技术[J]. 激光杂志, 2022, 43 (10): 169-172.
- [2] 杨莉萍, 王海云, 丁冬, 等. 电量信息采集设备线损故障自动检测方法[J]. 电气传动, 2022, 52 (19): 75-80.
- [3] 肖岚, 李龙胜, 潘雪. 基于激光点云的配电网线损自动检测系统设计[J]. 自动化技术, 2021 (11): 19-22.
- [4] 杨斌, 伏蕾. 基于双模调频分解的低压配电网同期线损率预测模型[J]. 电机与控制应用, 2021, 48 (11): 98-103.
- [5] 孙春华, 石旭初, 汪洋, 等. 基于激光点云的电力线损实时检测技术[J]. 微型电脑应用, 2021, 37 (7): 199-201.

# 大数据背景下电力计量装置故障智能化诊断技术分析

## Analysis of Intelligent Fault Diagnosis Technology for Power Metering Devices under the Background of Big Data

史俊杰, 马迪正

SHI Junjie, MA Dizheng

国网江苏省电力有限公司常州供电分公司, 江苏 常州 213000

Changzhou Power Supply Branch of State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Changzhou 213000, Jiangsu, China

**摘要:** 文章剖析电力计量装置准确性的影响因素, 提出结合大数据技术实现电力计量装置故障智能化诊断, 概述诊断形式, 构建涵盖采集模块、储存计算模块、应用模块和多维智能诊断模块的诊断架构, 深入分析大数据背景下电力计量装置故障智能化诊断技术的应用和优化, 以此确保智能化诊断技术能够切实提高故障诊断准确性与效率, 进而支撑电力计量装置稳定运行。

**关键词:** 大数据; 电力计量装置; 故障智能化诊断

**Abstract:** This paper analyzes the factors affecting the accuracy of power metering devices, proposes to realize the intelligent fault diagnosis for power metering devices based on big data technology, outlines the diagnosis forms, constructs the diagnosis architecture covering acquisition module, storage calculation module, application module and multidimensional intelligent diagnosis module, and analyzes the application and optimization of intelligent fault diagnosis technology for power metering devices under the background of big data in depth, so as to ensure that intelligent diagnosis technology can effectively improve the accuracy and efficiency of fault diagnosis, thereby supporting the stable operation of power metering devices.

**Keywords:** big data; power metering device; intelligent fault diagnosis

分类号: TP306+.3 ; TM933

**作者简介:** 史俊杰, 男, 本科, 助理工程师, 研究方向为电力营销及计量; 马迪正, 男, 本科, 助理工程师, 研究方向为电力营销及计量。

## 0 引言

大数据时代全面开启, 电力行业随之发生变革, 其中电力计量装置意义重大, 承担精确计量电能、维护电力交易公平的重任, 其稳定运行需确保精准有效。传统故障诊断手段应对复杂故障时无法实现全面诊断, 因此融合大数据技术的电力计量装置故障智能化诊断技术应运而生。

## 1 电力计量装置准确性的影响因素

(1) 设备自身因素。制造工艺与智能电力计量装置准确性密切相关, 元件精度欠佳、电路设计存缺陷均引发计量误差。以低精度采样电阻为例, 难以精准采集电流、电压信号。

(2) 外部环境因素。温度对智能电力计量装置影响显著, 温度过高或过低都会使电子元件参数漂移, 影响测量精度。例如, 高温下半导体器件性能改变, 增大计量误差。强电磁干扰同样关键, 电网谐波、附近通信设备产生的电磁信号会干扰装置内部电路, 造成信号失真, 进而影响计量准确性<sup>[1]</sup>。

(3) 安装维护因素。安装时接线错误, 如电压互感器与电流互感器极性接反, 将导致计量数据与实际用电量不一致。安装位置不当, 如靠近发热设备或强磁场源, 会干扰装置正常工作。维护方面, 不定期校准使装置计量误差逐渐累积。

## 2 大数据背景下电力计量装置故障智能化诊断形式

在线诊断借助先进传感器及通信技术对电力计量装

置进行实时监控。波形分析法作为其关键手段之一, 剖析电压、电流波形特征判定故障。正常运行状态下, 波形契合特定标准形态, 当出现畸变情况, 如谐波含量异常增多, 则可能暗示装置存在故障。同时, 频谱分析法作为在线诊断的另一种分析手段, 其将信号由时域转换至频域, 分析不同频率成分分布状况。当频谱中出现异常频率分量时, 则有可能表明装置内部存在电气故障, 如绝缘损坏等<sup>[2]</sup>。

### 3 大数据背景下电力计量装置故障智能化诊断架构

#### 3.1 采集模块

电压数据采集选用电容分压式电压传感器, 其工作原理基于电容分压特性, 输出电压 ( $U_{out}$ ) 与输入电压 ( $U_{in}$ ) 需满足以下公式:

$$U_{out} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} U_{in} \quad (1)$$

式中:  $C_1$ 、 $C_2$  为分压电容。

电容分压式电压传感器测量范围宽达 0 ~ 800 V, 全量程精度能够达到  $\pm 0.05\%$  满量程, 可精准捕捉电力系统电压细微变化。

电流采集采用基于罗氏线圈的电流传感器, 罗氏线圈感应被测电流产生的磁场, 输出与电流变化率成正比的电压信号, 输出电压 ( $U_{out}$ ) 与被测电流 ( $I$ ) 的关系为

$$U_{out} = -M \frac{dI}{dt} \quad (2)$$

式中:  $M$  为罗氏线圈互感系数;  $t$  为时间。

基于罗氏线圈的电流传感器能够测量 0 ~ 3 000 A 的电流, 同时测量精度稳定在  $\pm 0.10\%$  满量程, 满足电力计量装置对大电流精确测量的要求。

采集的原始数据中容易混入噪声, 为此需采用中值滤波算法净化数据, 针对包含  $n$  个数据点的序列, 即  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , 当  $n$  为奇数时, 中值滤波输出值  $y$  则为序列从小到大排序后的中间值; 当  $n$  为偶数时,  $y$  则为中间两值的平均值。该算法能够有效去除数据脉冲噪声, 进而提高故障智能化诊断系统的数据可靠性。

#### 3.2 储存计算模块

在电力计量装置数据处理体系中, InfluxDB 在数据存储方面优势显著, 其利用优化压缩算法, 采用游程编码与差分编码结合的方式, 对于连续相同的值 (如稳定电压值) 仅存储该值及其重复次数, 对于相邻数据间的细微变

化则存储其差值。这种方式使电力计量数据存储空间减少 70% ~ 80%, 降低存储成本, 同时保障快速读写性能, 满足历史数据查询与分析需求, 助力运维人员高效回溯数据、排查隐患。假设构建包含输入层、多个隐藏层和输出层的全连接神经网络, 输入层接收电力计量装置的多种特征数据, 如电压与电流的波动范围、装置运行时长和环境温度等。隐藏层借助激活函数, 如 ReLU 函数, 针对输入数据进行非线性变换, 提取数据中的复杂特征。输出层通过 softmax 函数计算不同故障类型的概率分布, 具体表达式如下:

$$P(y_c) = \frac{e^{z_j}}{\sum_{k=1}^K e^{z_k}} \quad (3)$$

式中:  $P(y_c)$  为预测属于第  $c$  种故障类型的概率;  $z_j$  为输出层第  $j$  个神经元的输入值;  $K$  为候选类别总数;  $k$  为故障类型总数;  $z_k$  为第  $k$  个项的未归一化得分。

TensorFlow 通过分布式计算, 将训练数据与计算任务分配到多个计算节点, 从根本上加速模型训练进程, 进而实现海量电力计量历史数据的快速处理, 从而提高故障预测模型的准确性与泛化能力<sup>[3]</sup>。

#### 3.3 多维智能诊断模块

决策树对训练数据作基于特征的条件判断, 构建树形结构, 以 ID3 算法为例, 其基于信息增益选划分属性。信息熵衡量数据不确定性, 数据集  $D$  的信息熵  $H(D)$  计算公式为

$$H(D) = -\sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i \quad (4)$$

式中:  $N$  为类别数;  $p_i$  为数据集  $D$  中第  $i$  类样本占比。

当基于属性  $a$  划分数据集  $D$  得到  $V$  个分支节点时, 各分支节点样本子集为  $D^v$ , 则促使属性  $a$  对数据集  $D$  的信息产生增益效果。针对电力计量装置数据处理工作而言, ID3 算法在构建故障诊断模型进程中占据关键地位。在运作过程中, ID3 算法从电压波动范围、电流谐波畸变率、功率因数等 12 种用以反映装置运行状况的特征数据中择取信息增益最大之属性实施数据划分操作。此过程延续至样本归为同一类别 (即明确识别出特定运行状态), 抑或无可利用之划分属性, 进而构建起决策树模型<sup>[4]</sup>。

## 4 大数据背景下电力计量装置故障智能化诊断技术的应用

InfluxDB 采用游程编码与差分编码结合的压缩算法, 使电力计量数据存储空间降低 70% ~ 80%, 兼顾存储成

本与读写性能,支撑历史数据快速查询。利用 TensorFlow 搭建全连接神经网络,输入层接收电压波动范围、装置运行时长、环境温度等多维度特征数据;隐藏层通过 ReLU 激活函数对输入数据作非线性变换,提取复杂特征;输出层借助 Softmax 函数计算不同故障类型的概率分布。TensorFlow 的分布式计算能力将训练任务分配至多个节点,加速模型训练,提高故障预测的准确性与泛化能力,突破传统人工巡检的经验局限。ID3 算法基于信息增益选择划分属性,构建故障诊断决策树,信息熵衡量数据不确定性、数据集各类样本占比的负对数加权和。处理电力计量装置数据时, ID3 算法从电压波动范围、电流谐波畸变率和功率因数等 12 种反映装置运行状态的特征数据中筛选信息增益最大的属性进行数据划分,迭代至样本归为同一类别或无有效划分属性,最终形成决策树模型,实现元件老化、电磁干扰”等故障类型的区分<sup>[5]</sup>。

## 5 大数据背景下电力计量装置故障智能化诊断技术的优化策略

### 5.1 优化数据采集与预处理体系

#### 5.1.1 采用高效可靠的数据传输与存储架构

借助第五代移动通信技术低延迟、高带宽特性,以 100 Mbps 传输速率,将传感器采集数据快速且稳定传输至数据中心,数据中心运用基于区块链技术的分布式存储系统。该系统采用分布式对象存储模式存储数据,根据数据复杂程度和类型,各对象大小在 3 ~ 50 KB,并且附带详细元数据,涵盖数据采集时间、设备编号和数据来源等关键信息,大幅提高数据管理与检索效率。

#### 5.1.2 制订精细的数据预处理流程

针对采集的原始数据,采用基于变分模态分解 (variational mode decomposition, VMD) 的去噪算法, VMD 算法可自适应将复杂电力信号分解为多个固有模态函数 (intrinsic mode function, IMF), 筛选去除噪声对应的 IMF 分量,有效提高了电力信号质量。在某大型电力企业实际运用过程中,电力信号的信噪比经过 VMD 去噪后提高了 25%,为后续精准数据分析与故障诊断奠定基础。同时,运用归一化技术,将不同类型、不同量级数据统一至特定区间,消除数据量级差异对后续分析的影响。

### 5.2 优化信号诊断技术

#### 5.2.1 优化模型

运用基于贝叶斯优化的算法对机器学习和深度学习

模型超参数进行优化,以神经网络模型学习率、隐藏层神经元数量等超参数为例,贝叶斯优化算法通过构建目标函数的概率模型,根据已有实验结果智能选择下一个超参数组合进行实验,有效减少超参数调优所需实验次数,提高调优效率。在某测试数据集上,经贝叶斯优化后,模型诊断准确率从 83% 提升至 89%。

采用决策级融合策略,将多个不同类型诊断模型的诊断结果融合,如通过加权投票方式,根据各模型在历史测试中的表现赋予不同权重,综合得出最终诊断结果。实验表明,多模型融合后的故障诊断准确率相比单一模型提高约 10%,可达约 93%。

#### 5.2.2 采用实时监测与智能预警系统

利用 Apache Flink 的复杂事件处理功能,对实时电力数据流进行深度分析,实时监测电力计量装置功率、电流、电压等常规参数异常波动,同时能够对多个参数联合分析,识别复杂故障模式,如当监测到电压骤降且电流急剧上升,同时伴随设备温度异常升高时,系统立即发出预警信息。在某区域电网实际应用中,该实时监测与智能预警系统提前发现并处理多起潜在的电力计量装置严重故障,降低故障发生率约 30%,有力保障电力系统稳定运行。

## 6 结束语

在大数据蓬勃发展趋势下,电力计量装置故障智能化诊断技术脱颖而出,该技术从繁杂数据中挖掘潜在特征,借助多元算法精准确定故障,其高效与精准特性为电力系统稳定运行夯实基础。伴随技术不断革新,更多前沿算法与模型将融入其中,进一步提高诊断精度与诊断效率,从而实现降低运维成本、缩短停电时长,推动电力行业向着智能化、精细化管理方向大步前行。

### 参考文献

- [1] 郁黎,景军,刘旭东,等.大数据背景下的电力计量装置故障智能化诊断技术应用[J].电力装备,2023(2):131-133.
- [2] 程志南.电力计量装置中的故障智能检测技术分析[J].集成电路设计,2023(11):252-253.
- [3] 陈莹莹.基于大数据背景的电力计量装置故障诊断方法研究[J].电气开关,2023,61(3):60-62.
- [4] 马涛.大数据的电力计量装置故障智能化诊断技术探究[J].电气技术与经济,2024(1):157-159.
- [5] 李仁杰,陈有为.基于大数据分析的电力计量装置故障诊断技术研究[J].通信技术,2023,40(11):118-120.

# 电能计量技术在台区线路故障和降损中的应用研究

## Research on Application of Electric Energy Metering Technology in Line Fault and Loss Reduction in Transformer District

董训鹏

DONG Xunpeng

国网江苏省电力有限公司宿迁供电分公司, 江苏 宿迁 223800

Suqian Power Supply Branch of State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Suqian 223800, Jiangsu, China

**摘要:** 文章聚焦台区线路的故障特征和降损策略, 概述台区线路降损的必要性, 分析台区线路常见故障类型和整改措施, 深入探究电能计量技术在台区线路故障和降损中的应用要点和具体应用, 旨在提高降损成效, 优化能源资源配置, 增强电力公司市场竞争力。

**关键词:** 台区线路故障; 线路降损; 电能计量技术

**Abstract:** This paper focuses on the fault characteristics and loss reduction strategies for the lines in transformer district, outlines the necessity of line loss reduction in transformer district, analyzes common fault types and rectification measures for the lines in transformer district, and deeply explores the application points and specific applications of the electric energy metering technology in the line fault and loss reduction in transformer district, aiming at improving the effectiveness of loss reduction, optimizing the allocation of energy resources, and enhancing the market competitiveness of power companies.

**Keywords:** line fault in transformer district; line loss reduction; electric energy metering technology

分类号: TM726

## 0 引言

在我国经济社会持续发展进程中, 电力需求呈现稳步增长趋势, 台区作为电力分配体系的关键环节, 线损问题逐渐显现。过高的台区线损不仅导致能源损耗加剧, 增加电力公司运营成本, 还对电力系统的安全、稳定运

行造成影响。电能计量技术作为线损管理的核心技术, 在故障诊断和降损实践中发挥关键作用。

## 1 台区线路降损的必要性

(1) 优化能源资源配置。在全球能源体系深度重构及我国“双碳”目标的驱动下, 电力系统能效提高成为能源转型的核心任务。根据国家能源局统计数据, 台区电能损耗在我国配电网线损中的占比超过 60%, 部分运行年限逾 20 年的台区, 其线损率达到 18% ~ 22%。以年供电量  $1 \times 10^8$  kW·h 的典型台区为例, 若线损率从 18% 降至 13%, 年电能损耗可减少 5 000 000 kW·h, 等效节约标准煤 1 800 t, 减排二氧化碳 4 700 t。

(2) 降低电力公司经济损失。线损率作为电力公司运营管理的核心量化指标, 对企业经济效益和市场竞争能力产生直接影响。中国电力企业年度发展报告显示, 全国供电行业线损率每下降 1%, 年节约成本规模超百亿元<sup>[1]</sup>。某省级电网通过实施智能电表全域覆盖和配电自动化改造工程, 在 3 a 周期内将台区线损率由 12.3% 降至 8.1%, 年均减少经济损失达 1.2 亿元。

## 2 台区线路常见故障类型及整改措施

### 2.1 故障类型

(1) 计量装置异常故障。该类故障以计量装置硬件缺陷为核心成因, 是由计量元件物理损伤引发电量漏计或误计。例如, 某供电所台区案例中, 计量装置接线柱电流过载导致接触不良烧毁, 致使线损率从 1.00% 骤降至 -50.17%, 其本质是接线柱烧蚀破坏电流回路完整性, 造成计量模块无法准确采集负荷电流数据。

**作者简介:** 董训鹏, 男, 本科, 工程师, 研究方向营销台区降损管理、营销业务合规管理与营销数字化管理。

(2) 负荷超容运行故障。该类故障主要存在于用电高峰期的工商业台区, 用户实际负荷超过计量装置额定计量容量。某供电所10#变案例中, 用户日均用电量达1400 kW·h, 致使三相电压持续低于220 V标准阈值, 计量装置因长期超容运行出现绝缘层烧毁故障。

## 2.2 整改措施

(1) 即时处理技术故障。①计量装置修复。针对接线柱烧毁问题, 采用镀银触点接线柱替换并进行绝缘密封处理。②容量升级改造。针对超容用户, 按照1.3倍额定负荷选取计量装置, 同步更换老化线路, 截面面积从25 mm<sup>2</sup>增至50 mm<sup>2</sup>。③防窃电改造。在分支箱加装智能锁具与电流监测模块, 新增4路电流传感器, 实现窃电行为实时告警<sup>[2]</sup>。

(2) 长效优化管理机制。构建台区负荷预测模型, 夏季用电高峰前开展超容专项排查。构建三级运维体系, 建立“系统监测(县公司)—专业分析(供电所)—现场处置(台区经理)”的闭环流程, 某供电所通过该机制在3 d内治理3台高损台区。推广低压电力线高速载波通信技术, 将数据采集频率从1 d/次提升至15 min/次, 实现分时线损异常溯源。

## 3 电能计量技术在台区线路故障与降损中的应用要点

### 3.1 高精度计量数据对故障识别的支撑

智能电能表是台区线路计量的核心装置, 其计量精度直接决定线路故障识别的准确性与降损成效评估的可靠性。0.5S级智能表电流测量误差控制在±0.5%, 电压测量误差控制在±0.2%, 比传统机械表误差降低60%以上, 可有效缩小供电量与售电量计量偏差。某供电所正常运行台区中, 智能表计量下线损率稳定在1%左右, 当某块表计因接线柱烧毁出现计量失准时, 该台区线损率骤降至-50.17%, 直观展现计量精度对线路故障的影响。计量偏差会直接导致线损率异常, 高精度计量数据是准确识别线路隐性故障、科学评估降损措施效果的前提。

### 3.2 全时空数据采集对故障定位的支撑

低压电力线高速载波通信技术达成15 min/次高频数据采集, 较传统1 d/次采集频次提高96倍, 为线路故障提供“分钟级”时间维度的定位依据; 三相时段计量功能提供空间维度精细化数据, 支撑降损措施精准实施。2023年某供电所10#变台区通过15 min冻结数据, 发现

8月20日14:00—16:00时段电压持续低于标准值, 结合同期线损率突增1.2%现象, 快速定位该时段负荷超容导致的线路损耗异常。在三相不平衡场景中, 当某相负荷占比超25%时, 分相计量数据可直接反映该相线损率较其他相偏高3%~5%, 为三相负荷调整提供数据支持, 通过平衡调整使该台区线损率降低1.8%<sup>[3]</sup>。

### 3.3 多维计量参数对故障损耗的量化

计量装置采集的电流、电压和功率因数等多维数据, 可量化表征线路故障导致的损耗增量, 为降损措施制订提供依据。某供电所台区故障表计的电流曲线出现37%“毛刺”状波动(正常波动≤5%), 对应时段该表计所在分支线损率上升2.3%, 通过波形特征与线损数据关联分析, 精确锁定接线柱接触不良导致的附加损耗, 更换接线柱后, 该分支线损率恢复至正常水平。在超容故障场景中, 表计监测到电压持续低于220 V且功率因数<0.85时, 台区线损率随超容时长延长而上升, 两项指标同步异常时的线损增量可达正常状态的1.5倍, 依据计量数据实施负荷分流后, 线损率下降0.9%。

## 4 电能计量技术在台区线路故障和降损中的具体应用

### 4.1 在现场故障定位中的应用

#### 4.1.1 高精度智能电表

0.5S级智能电表的计量精度为电流误差±0.5%、电压误差±0.2%, 为线损异常提供量化依据。2023年某供电所东台台区7月15日线损率突降至-50.17%, 基于智能电表15 min冻结数据的分析显示: 故障计量设备(表号1735921)A相电流示值为28.5 A, 现场钳形电流表实测值为45.2 A, 偏差达37%, 正常运行偏差≤5%。拆解表计发现, 接线柱因长期过载而碳化烧毁, 更换同规格智能表后, 台区线损率于7月16日恢复至0.98%。

#### 4.1.2 低压电力线高速载波通信技术

2023年某供电所变台区应用了低压电力线高速载波通信技术, 采集频次为15 min/次, 在6月11日线损率从2.00%升至4.65%的异常事件中, 分析分相计量数据发现: 故障计量设备(户号1904050899)B相电流曲线在14:00—16:00时段出现持续“锯齿状”畸变, 波动幅度达37%, 而总表电流曲线无显著异常。现场核查确认表计接线柱烧蚀导致接触电阻增大, 更换表计后, 线损率于6月20日降至1.20%, 该案例验证了高频采集对瞬

时性接触故障的捕捉能力<sup>[4]</sup>。

## 4.2 在计量数据分析与故障诊断中的应用

### 4.2.1 多维特征库的故障匹配

依托电能计量设备采集历史数据，构建计量故障特征库，借由计量技术达成数据特征与故障类型自动化匹配。该特征库以智能电表、低压电力线高速载波通信模块等计量装置监测数据为核心，涵盖故障类型对应关键计量参数阈值及波形特征。

### 4.2.2 超容故障的计量数据诊断

以某供电所10#变台区为例，2023年8月20日供电所10#变台区线损率突增至8.39%，借助电能计量技术开展三级诊断：宏观层依托用电信息采集系统（计量数据汇总平台），调取智能电表上传供电量、售电量，计算损失电量，对比2.25%正常线损中位数，判定计量数据存在异常；中观层运用低压电力线高速载波通信技术，提取日用电量用户智能电表电压曲线，显示三相电压持续低于标准值，电压偏差率为4.8%，符合超容引发电压跌落特征；微观层借助智能电表内置电流计量模块，读取5（60）A表计实测电流，电流值为72A（超额定容量20%），表计内置温度传感器监测表箱环境温度达78℃（触发计量装置过热保护告警），最终结合计量数据与现场校验，确认超容导致计量误差与线路附加损耗。

## 4.3 在防窃电中的应用

某供电所台区采用三端数据比对防窃电技术，计量装置端智能电表实时采集的电流数据，5号楼西侧商铺计量装置（户号1××××26）日均电流为12.3A。线路端分支箱出线端加装0.2S级电流互感器，实测电流为34.7A，与计量装置电流差值达28%。用户端用电信息采集系统分析显示，该商铺用电量与台区线损率相关系数达到0.89。现场拆除16mm<sup>2</sup>、28m长私拉电缆后，线损率从10.57%降至0.87%，按窃电时长30d、日均窃电量415kW·h计算，追补电量12450kW·h。

## 4.4 在数据核验与异常诊断中的应用

### 4.4.1 计量数据远程核验

借助智能电表内置高精度计量芯片（误差等级为0.2S级），搭建计量数据远程核验系统。系统依据《多功能电能表通信协议》（DL/T 645—2007）实时采集智能电表的电压、电流和有功功率等原始计量数据，运用边缘计算节点对数据开展本地预处理，剔除因瞬时干扰产生的异常值

（阈值设定为3倍标准差）。核验算法依据滑动窗口原理，对连续12个采样周期（15min/次）的计量数据开展趋势拟合，拟合残差超0.5%时触发二次核验。二次核验通过加密信道调取电表内置事件记录（含失压、断相、时钟偏差等），结合用电信息采集系统存储的近30d计量曲线，完成非现场计量的准确性判定。实际应用显示，该技术使计量数据核验覆盖率从78%升至100%，远程核验与现场校验一致性达98.3%，大幅减少了现场校验工作量。

### 4.4.2 计量异常智能诊断

借助智能电表多参数采集能力（支持2~19次谐波计量），开发计量异常诊断模型。模型输入变量包含电压不平衡度（阈值为±2%）、电流畸变率（>5%触发预警）、功率因数跳变频次等计量特征参数，采用随机森林算法（准确率为92.6%）识别接线错误、表计故障等异常类型。当智能电表监测到某用户A相电压连续3个周期低于额定值10%时，内置的低压电力线高速载波通信模块立即将事件标识与同步计量数据上传主站，系统自动调取该表计近24h的相位角数据，生成向量图辅助诊断接线错误。针对窃电行为识别，采用计量芯片采集高频脉冲数据（128点/s），分析负荷曲线的突变特征，某区域应用该芯片术后窃电查处效率提高70%，追补电量准确率高达96%，计量纠纷处理时长缩短至2个工作日。

## 5 结束语

在台区线路故障诊断与降损实践中，电能计量技术依托高精度数据采集、多维数据分析和智能管理协同，实现故障高效定位与精准治理。智能电表联合低压电力线高速载波通信技术将缩短故障定位时间，降低线损率，应用量子计量、数字孪生等前沿技术也能显著提高管理效能。未来，需深化电能计量技术的应用，完善闭环优化机制，在配电网规划中预留计量容量裕度，为新型电力系统线损的精准管控提供核心技术支撑。

### 参考文献

- [1] 孟超, 杨宝辉, 张子伟, 等. 基于信息化的台区精准降损管理新模式[J]. 电业管理, 2024(4): 45-49.
- [2] 郑成源, 李波, 廖耀华. 低压台区线损异常分析及处理流程[J]. 电工技术, 2023(2): 178-180.
- [3] 杜健. 台区线损技术在用电检查中的应用[J]. 电力装备, 2024(1): 79-82.
- [4] 付瑶, 张捷, 徐扬, 等. 居民用户电能表窃电查处机器人的研制[J]. 企业管理, 2023(增刊2): 162-163.