

在运电缆健康状况带电检测评估仪的研究与应用

李登雕*, 陈海洋, 胡 亮

(国网浙江省电力公司仙居县供电公司, 浙江 仙居 317300)

摘要: 文章介绍了一种专为便于检修而研制的在运电缆健康状况带电检测评估仪, 该评估仪通过创新的设计和先进的技术手段, 实现了对10 kV电缆健康状况进行准确、快速、便捷和量化评估, 具有显著的技术优势和实用价值。

关键词: 带电检测; 电力电缆; 创新设计; 检修便利

中图分类号: TM247

Research and Application of Live Detection and Evaluation Instrument for the Health Status of Cables in Operation

LI Dengdiao*, CHEN Haiyang, HU Liang

(State Grid Zhejiang Electric Power Company Xianju County Power Supply Company, Zhejiang Xianju 317300, China)

Abstract: This paper introduces in detail an live detection and evaluation instrument for the health status of in-service cables, which is specially developed for the convenience of maintenance. Through innovative design and advanced technical means, the instrument realizes accurate, fast, convenient and quantitative evaluation of the health status of 10 kV cables, which has significant technical advantages and practical value.

Keywords: live detection; power cable; innovative design; maintenance convenience

在当今经济迅猛发展的背景下, 社会对电力稳定性的要求愈发严苛。随着电力线路的持续扩展与各类零部件的自然老化, 电网技术人员面临着前所未有的工作压力。他们不得不投入大量时间进行线路巡视与检查, 工作异常繁忙, 以确保电网的平稳运行。然而, 这种传统的工作模式不仅效率低下, 还极大地耗损了工作人员的精力与体力^[1]。

因此, 实现巡视作业的智能化、远程化及群控化, 已成为电网基层人员亟待解决的实际问题。通过技术创新, 提升巡视效率与质量, 不仅能够确保电力的稳定供应, 还能有效减轻基层人员的工作负担, 进而推动电网事业的稳健与可持续发展^[2]。

鉴于此, 本文深入剖析了带电检测评估仪存在的问题, 并紧密结合实际检修工作的迫切需求, 成功研发出一种专为检修工作设计的在运电缆健康状况带电检测评估仪。此仪器旨在显著提升检修效率, 同时有效保障输电线路的稳定与安全运行。

大致分为2类:

1) 主要通过在电缆终端安装传感器来获取相关数据。然而, 当前装置在接地方式上的稳定性尚显不足, 且仅依赖于单一的电流或电压采集方式, 这极大地限制了其实现并联分流与串流互感器双模式采集的能力, 影响了数据的全面性和准确性^[3]。对于复杂电缆健康状况的精准评估而言, 这一局限性尤为明显。此外, 数据传输与查看过程也存在不便, 特别是在缺乏通过手机微信公众号直接查看漏电异常值及电缆健康评分的便捷功能方面, 显得尤为不足。

2) 主要通过分析电缆历史温度数据确定采集周期, 获取运行状态数据, 利用评估模型处理并计算, 与预设条件比较得出评估结果, 实现电缆状态的预警和评估^[4]。该装置采用温度数据分析评估电缆情况, 未建立如此直观且有效的量化评估体系, 难以检测电缆漏电电流和电压的数值变化, 且该装置成本较高。

1.2 现有改进研究的进展与局限

针对现有的电缆健康状况带电检测装置而言, 当前的检测技术手段尚缺乏一套全面统一、具备明确量化标准的评估体系。此现状导致了无法为电缆的健康状态提供既直观又精确的量化评分, 进而对实施大规模电缆系统的状态监测与管理构成了显著

1 研究现状

1.1 现有电缆健康状况带电检测装置类型及特点

目前, 常见的电缆健康状况带电检测装置主要

基金项目: 国网仙居县供电公司科技项目(研制在运电缆健康状况带电检测评估仪)(5211T7240001)。

收稿日期: 2024-10-15

挑战,难以实现高效与系统的管理目标^[5]。

再者,现有的检测设备在精度与效率方面尚存不足。其在电压、电流等关键参数的采集上精度有限,难以捕捉到细微的变化,且检测过程耗时较长,降低了工作效率。

因此,研制一种便于检修的电缆健康状况带电检测装置仍然是当前亟待解决的重要课题。

2 装置结构及工作流程

2.1 装置结构

2.1.1 设计原理

通过使用剩余电流互感器(residual current transformer, RCT)对变电站内的设备进行漏电状态监测,利用收集到的数据判断是否存在漏电故障^[6]。随后,利用分析模块对电缆的健康状况进行评分。目前,针对长段动力电缆的漏电故障监测见图1,椭圆红圈标示的区域为电缆剩余电流的采集点,即RCT的安装点。在设备未发生漏电的情况下,穿过RCT的电流矢量关系如公式(1)所示:

$$I_A + I_B + I_C + I_N = 0 \quad (1)$$

式中: I_A 、 I_B 、 I_C 、 I_N 分别为三相及中性线电流矢量。当电缆或负荷存在不对称漏电情况时,则穿过剩余电流互感器 RCT 的电流矢量和不为 0, 如公式(2)所示:

$$I_A + I_B + I_C + I_N = I_{RCT} \quad (2)$$

式中: I_{RCT} 为泄漏电流。

鉴于数据传输过程中不可避免地存在一定程度的延迟,系统对两端信号的接收并非同步进行。通常,在执行剩余电流差值计算之前,会以 M 侧

(或 N 侧)信号的相位角作为基准,并相应地调整 N 侧(或 M 侧)的相位角,以消除由信号延迟引起的相位误差。基于剩余电流差动原理的长电缆漏电计算公式如式(3)所示:

$$|I_M - I'_N| > I_T \quad (3)$$

式中: I'_N 表示完成信号同步后的 N 侧剩余电流; I_T 为漏电条件地特征值; I_M 、 I_N 均为时间序列,当一周期内连续多个采样点超过特征值,即可判断有漏电故障发生。

如图2所示,长段动力电缆的漏电状态及类型判断机制。在进行漏电状态及类型判断之前,必须计算3个漏电指标量:1) M、N 两端剩余电流差流指标;2) A 相漏电流 I_{Ag} 指标;3) R_M 变化率 I_R 指标。

计算判据如式(4)~式(6):

$$R_M - R_N > I_T \quad (4)$$

$$\begin{cases} |I_{Ag}| > I_{AgT1}, I_{MA} \leq I_e \\ |I_{Ag}| > I_{AgT2}, I_{MA} \leq I_e \end{cases} \quad (5)$$

$$|I_N| > I_{RT} \quad (6)$$

式中: R_N 表示 N 侧剩余电流空间矢量圆半径; I_T 与式(3)中取值一致,一般取为 10 mA; I_{MA} 为 A 相 M 侧电流值; I_e 为该长段动力电缆的额定电流值; I_{AgT1} 表示相电流告警值; I_{AgT2} 表示重负荷下相电流告警值,建议为 I_{AgT1} 的 k 倍,即有 $I_{AgT2} = k \cdot I_{AgT1}$ 。其中 k 为电流系数,经验值为 1.5~2.5,可根据不同变电站的实际情况取值。 I_{RT} 为 R_M 变化率检测阈值,经验取值为 0.5。

具体的放电分析步骤如下:

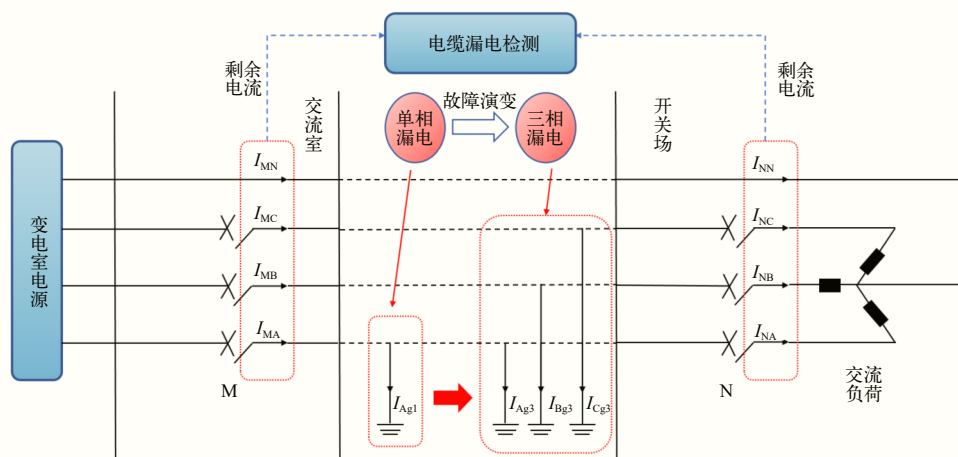


图1 电缆漏电监测示意图

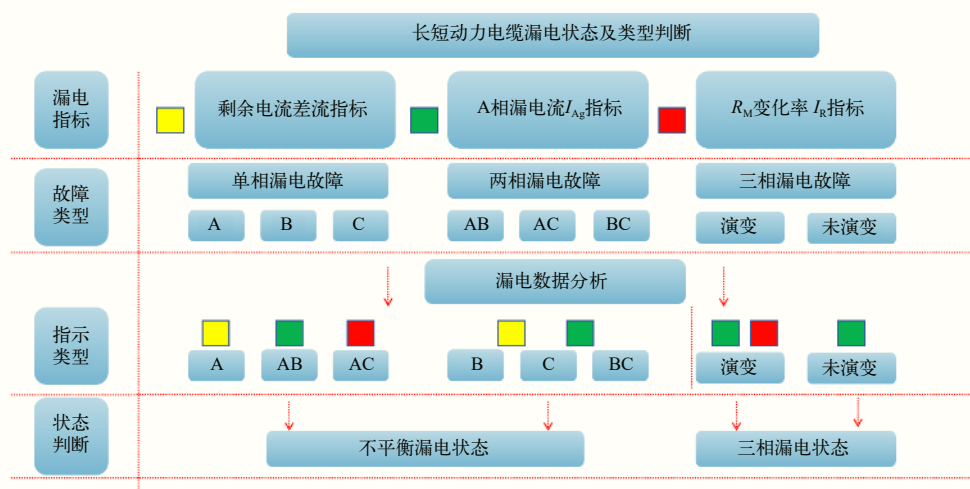


图2 漏电状态判断机制

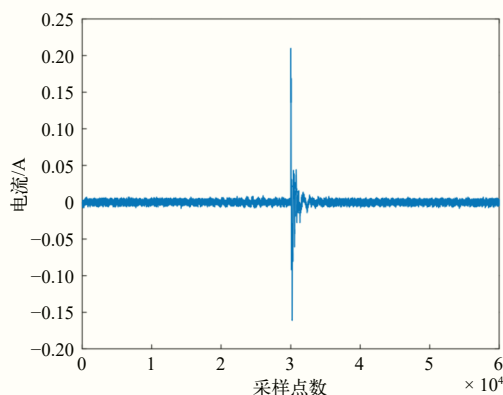


图3 环切划痕缺陷的电缆 HFCT 数据

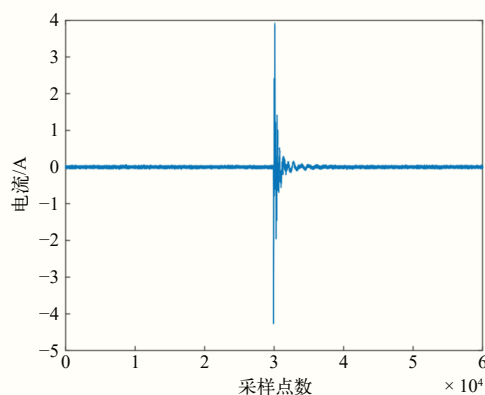


图5 金属颗粒缺陷的电缆 HFCT 数据

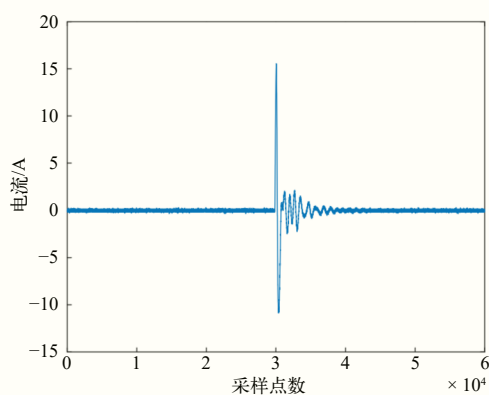


图4 气隙缺陷的电缆 HFCT 数据

- 1) 数据预处理，先对原始数据中的噪点、假数据、异常点进行去除和过滤；
- 2) 特征提取，提取电流和电压的波形、脉冲数值和波峰波谷特殊值；
- 3) 建立诊断模型，根据分析结果建立诊断模型，形成分类器；

4) 分析诊断结果，对诊断结果进行分析和判断，最终输出结果，见图3~图5。

2.1.2 整体结构概述

本装置主要由螺旋式接地引线、单相开关、分流和串流互感器、专用分析模块和无线通信模块等部分组成，见图6。

2.1.3 各部分结构介绍

螺旋式接地引线缠绕骨架：螺旋钢片固定10 kV 电缆终端头，外部绝缘层确保安全连接。

旁路作业方式：串联单相开关实现带电施工，通流能力32 A，提升检测便利性和安全性。

电流、电压采集模式：并联分流和串流互感器双模式采集，提高数据采集的准确性和全面性。

专用分析模块：基于STM32F103C8T6的MCU，深入分析漏电电流和电压波形，评估电缆是否健康。

无线通信模块：搭载模块，手机微信公众号可查看漏电异常值和电缆健康评分，便捷数据管理。

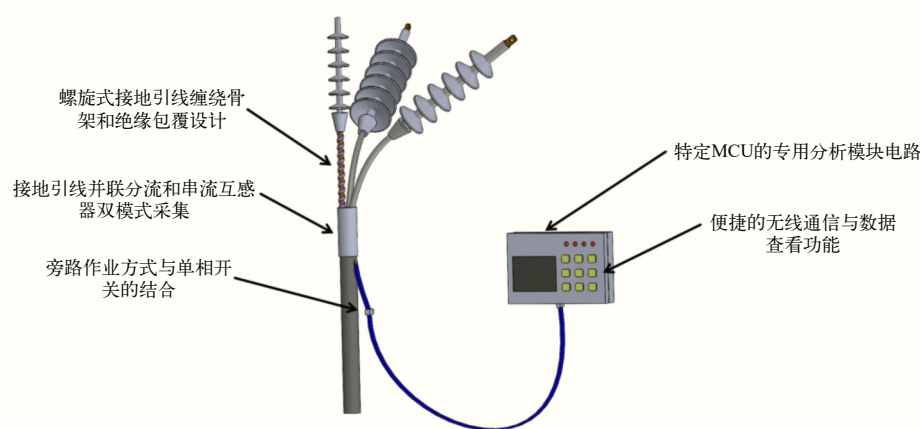


图6 装置结构图

2.2 装置现场操作流程

将螺旋式钢片紧密缠绕并牢固地安装于 10 kV 电缆终端头上，随后在接地辫子回路中串联接入一个单相开关。通过接地引线的并联分流与串流互感器，精准采集电流与电压信息。这些信息随后被无缝传递至专用的分析模块及无线通信模块，分析模块能够对 10 kV 电缆的健康状况进行量化评分，并据此制定详尽的维修计划，见图 7~图 9。

表1 电流测量规则表

指标量	指示灯1	指示灯2	指示灯3	指示灯4
漏电电流/mA	小于10	10~500	500~1 000	大于1 000
得分	90~100	80~89	70~79	60~70
分数说明	每1 mA 1分	每50 mA 1分	每50 mA 1分	每100 mA 1分
电缆状态	正常	注意状态	异常状态	严重状态

3 本装置创新点

该装置研制成功后，能够实现诸多功能和显著效果。

提供量化分值：对 10 kV 电缆的健康状况给出直观的量化分值，有助于对数量众多的电缆进行高效的状态检修。实现电缆精益化管理，依据得分制定明确的维修计划，如得分低于 50 分的电缆需停电检修，得分低于 80 分的电缆每周开展 1 次带电局放和红外检测，见表 1、表 2。

防止电流分流：有效避免接地辫子搭挂到环网柜柜体上而造成泄漏电流分流，确保检测数据的准确性和可靠性。

精准判断健康状态：通过深入分析电压波形的

表2 实测数据

序号	漏电电流/mA	得分	电缆状态
1	0	100	正常
2	3	97	正常
3	65	88	注意状态
4	800	75	异常状态
5	550	79	异常状态
6	1 400	66	严重状态
7	55	89	注意状态
8	150	87	注意状态
9	900	72	异常状态
10	1 300	67	严重状态

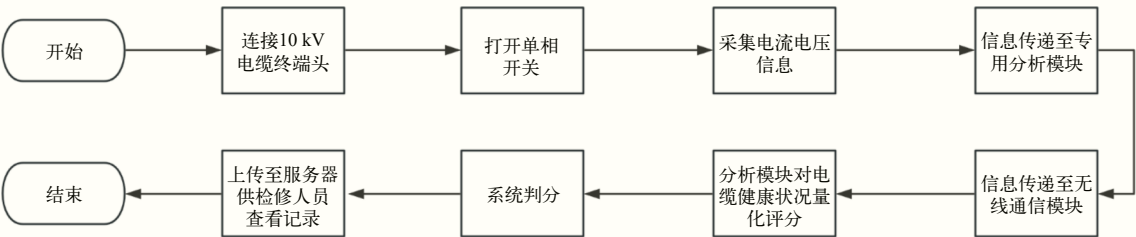


图7 使用流程图

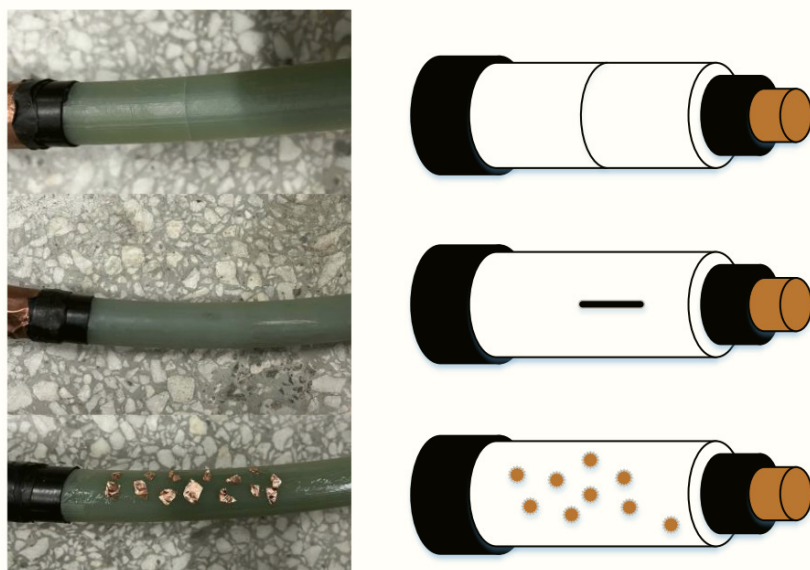


图8 电缆缺陷示意图



图9 装置实物图

稳定性、对称性、谐波含量、峰值和谷值、波形的畸变程度以及暂态现象等，准确判断电缆是否存在局部放电、绝缘老化、接触不良等问题。

高精度采集：电缆接地辫子上电压采集精度达到 μV 级别，电流采集精度达到 μA 级别，为精确评估提供有力支持。

高效检测：监测一次耗时小于 30 s，同时批量生产成本较低，具有较高的性价比和实用价值。

4 结束语

本次研制的 10 kV 在运电缆健康状况带电检测评估仪，通过创新的设计和先进的技术手段，实现了对 10 kV 电缆健康状况的准确、快速、便捷和量化评估，具有显著的技术优势和实用价值。未来，将继续对其进行优化和改进，以适应不断变化的需求和更高的标准。

参考文献

- [1] 韩伯锋. 电力电缆试验及检测技术[M]. 中国电力出版社, 2007.
- [2] 夏鑫. 高压电缆智能综合监测装置的研究与应用[D]. 杭州电子科技大学, 2024.
- [3] 孙宇瀛, 贺晓琴, 许建华, 等. 一种基于边缘计算的电缆健康状态评估装置及方法: CN202011189864.4[P]. CN112327216B [2024-10-07].
- [4] 陈仁刚, 袁园, 周婧婧, 等. 电力电缆温度在线监测技术的研究现状与发展趋势[C]//重庆市电机工程学会 2008 年学术会议. 重庆市电机工程学会; 中国电机工程学会, 2008.
- [5] 赵赢峰. XLPE 电力电缆绝缘状态评估及自愈修复技术[D]. 西南交通大学, 2013. DOI: 10.7666/d.Y2334599.
- [6] 茆大标, 褚先菲. 智能剩余电流动作断路器在农村低压配网中的应用[J]. 电工技术, 2018(22):14-15.

作者简介

李登雕(1984—), 男, 工程硕士, 高级工程师, 研究方向为电气工程及其自动化, E-mail: lddky@126.com.

(责任编辑: 刘艳玲)