

Innovative Technology Based on Portable Current Clamps

Shijie Zhong Yonghang Wu Qizhang Xu Jiasheng Huang Mingxiao Jin

Guangzhou Yuyang Electric Power Technology Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510000, China

Abstract

This paper systematically explores the technological innovation pathways of portable current clamps, integrating their core principles, current applications, and future trends. It focuses on analyzing functional expansions and data support mechanisms in power plants and substations. Through multidimensional research methods, the study demonstrates the equipment's critical role in enhancing measurement efficiency and ensuring power system stability, while also outlining its development potential in intelligent and high-precision directions.

Keywords

portable current clamp; technical innovation; power detection; fault diagnosis

基于便携式电流钳的创新技术

钟仕杰 吴泳航 许棋樟 黄嘉胜 靳明晓

广州宇阳电力科技有限公司, 中国·广东广州 510000

摘要

本文系统探讨便携式电流钳的技术革新路径, 结合其核心原理、应用现状及未来趋势, 重点分析其在发电厂与变电站场景下的功能拓展与数据支撑机制。通过多维度研究方法, 论证该设备在提升测量效率、保障电力系统稳定性方面的关键作用, 并展望其在智能化与高精度方向的发展潜力。

关键词

便携式电流钳; 技术革新; 电力检测; 故障诊断

1 引言

电气测量技术的进步推动便携式电流钳向高精度、多功能方向迭代。作为非接触式检测工具, 其无需断开电路即可获取电流参数的独特优势, 使其在电力系统运维中占据重要地位。尤其在发电厂与变电站等场景下, 电流钳的实时监测能力可有效预防过载、短路等故障, 降低运维成本。本文聚焦其技术创新路径, 结合工程实践案例, 探讨其技术优化方向与应用价值。

2 便携式电流钳的基本原理与结构

2.1 原理分析

便携式电流钳的基本原理是基于电磁感应定律。当载流导体穿过电流钳的磁芯时, 会在磁芯中产生磁场变化, 进而在电流钳的线圈中感应出电动势。根据感应电动势的大小, 就可以计算出被测电流的大小。这种非接触式的测量方式, 使得便携式电流钳在电气测量中具有独特的优势, 例如无需断开电路即可进行测量, 大大提高了测量的效率和安

全性。

便携式电流钳基于法拉第电磁感应定律设计, 通过磁芯捕获载流导体的磁场变化, 驱动线圈产生感应电动势, 进而换算被测电流值。相较于传统接触式仪表, 其非侵入式特性显著提升操作安全性, 尤其适用于高压或复杂环境下的快速检测。为优化测量精度, 需综合考虑磁芯材料(如纳米晶合金)、线圈匝数配置及信号处理算法的协同作用。例如, 采用高磁导率磁芯可增强磁场耦合效率, 结合数字滤波技术可有效抑制环境噪声干扰。

2.2 结构原理

便携式电流钳通常由电流钳本体、快速固定组件和防护组件等部分组成。所述电流钳本体的表面设置有防护罩, 电流钳本体的底部固定连接挂绳。通过快速固定组件, 能够使电流钳本体快速稳定的固定在使用者的腰带处, 在使用者进行登高作业时不会发生掉落, 利用两个强磁片互相贴合, 使安装盘卡入固定壳的内腔中, 卡块穿过固定开口进入环形槽内部, 进一步提高安装盘和固定壳互相连接的稳固性, 在需要使用时旋转并拉动电流钳本体, 使卡块通过固定开口脱离环形槽即可取下电流钳本体, 提高电流钳本体的便携性能, 方便使用者在复杂环境下进行电流测量工作。

【作者简介】钟仕杰(1996-), 男, 中国广东汕尾人, 本科, 助理工程师, 从事省网关口电能计量、电力工程研究。

3 便携式电流钳的应用场景

3.1 工业领域

在发电厂中，电流钳可实时监测发电机输出电流波动。以某火电厂为例，通过对比历史数据（如额定电流、负载变化阈值），发现某机组存在周期性微小电流异常。经排查确认绕组匝间短路隐患，验证了电流钳在故障早期预警中的有效性。

此外，在发电厂或变电站进行首检时，便携式电流钳也展现出独特的应用价值。在这个过程中，运用便携式电流钳检验互感器二次负载是否存在问题，是极为关键的一个环节^[1]。要知道，互感器二次负载若出现问题，一旦投入运行，就很可能引发数据异常。这种数据异常若是在投运之后才发现，那就意味着需要进行电量追补。这不仅会让发电厂遭受经济损失，还会对电力供应的稳定性和可靠性造成不良影响。

3.2 建筑与新能源领域

在建筑电气系统中，电流钳可快速定位照明回路漏电或空调系统过载问题。某商业综合体通过定期检测，将电气故障率降低 42%。新能源领域方面，结合电压传感器融合技术，电流钳可同步监测充电桩输出电流与电池状态，优化电动汽车充电策略，缩短故障排查时间 60% 以上^[2]。

4 发电厂与变电站的深度应用支撑

4.1 发电机组状态监测

(1) 在发电厂里，发电机的运行状况对于整个电力生产流程来说是极为关键的。而便携式电流钳用于监测发电机的输出电流。从电磁感应原理的角度来讲，电流钳是可以精确测量发电机输出线路中的电流大小。例如 1，在某大型火力发电厂的的实际应用中，采用高精度的便携式电流钳对发电机进行日常监测，发现其输出电流在特定时间段内出现了微小波动。通过与历史数据对比（该数据是在相同工况下长时间积累所得，包括发电机的额定输出电流、不同负载下的电流变化范围等数据），这种波动超出了正常范围^[4]。进一步检查发现是发电机的某个绕组存在轻微的匝间短路故障。例如 2，某水电站采用高精度电流钳（分辨率达 0.1mA）记录机组启动电流曲线，结合机器学习算法建立启动模型，将启动峰值电流控制在额定值的 85% 以内，有效避免设备冲击损伤。这表明便携式电流钳能够为发电机的故障早期预警提供有效的数据支撑。

(2) 厂内输电线路检测是一项至关重要的工作。发电厂内部有着数量众多的输电线路，而这些输电线路正常运行与否，直接关系到电力供应能否得到保障。例如，在水电厂的输电线路检测中，通过定期使用便携式电流钳测量线路电流，并与线路设计的额定电流值（这一额定电流值是根据线路的材质、截面积、散热条件等因素计算得出的数据依据）进行对比，如果测量值超过额定电流值的一定比例（如

10% 以上），则表明线路可能存在过载风险，需要及时采取措施。

4.2 变电站智能化巡检

(1) 在变电站里，可用于对变压器的输入和输出电流进行监测。对于变压器负载监测这一工作而言，变压器的容量以及电压等级属于基本参数，同时也是计算其正常负载电流范围的数据依据。借助便携式电流钳测量变压器的输入和输出电流，依据这些测量结果，我们能够判断变压器是否处于正常负载状态。例如，某变电站的变压器额定容量为 500MVA，电压等级为 220kV / 110kV，正常运行时其输出电流应在一定范围内。如果便携式电流钳测量到输出电流持续偏离这个范围，可能表示变压器存在故障或者负载分配不合理的情况。

(2) 在 220kV 变电站中，通过电流钳连续三年采集母线负载数据，结合环境温度湿度参数，构建负载老化预测模型。结果显示，母线寿命偏差预测准确率达 92%，为预防性维护提供科学依据。

5 结构创新技术设计

5.1 模块化固定装置^[5]

快速固定组件包含固定壳，此固定壳的前侧与电流钳本体稳固相连。固定壳的内壁开设有环形槽，后侧设有固定开口。固定壳的内腔中设置有安装盘，安装盘的表面固定有卡块。固定壳内腔的前侧和安装盘的前侧均固定着强磁片，安装盘的后侧还固定有卡扣。通过集成磁性锁扣与旋转卡合机构，实现电流钳与操作人员腰带的快速连接。具体而言，固定壳内嵌环形槽与卡块结构，配合高强度磁性材料吸附，确保高空作业时设备稳固性。使用时仅需旋转钳体即可脱离锁扣，大幅提升便携性。

从创新的角度来看，这种快速固定组件的设计巧妙地将磁吸和卡扣的原理。在传统的工具携带设计中，往往只注重单一的固定方式，要么是单纯的卡扣容易松动，要么是磁吸不够稳固。而此设计将两者结合，既保证了快速固定的便利性，又确保了在复杂作业环境下的稳定性，是一种非常实用的创新设计，为经常需要在不同环境下作业的电力工作者提供了很大的便利。

5.2 防护组件升级^[5]

防护组件包括控制壳，控制壳的左侧与电流钳本体固定连接。控制壳的内腔设置有活动框，活动框内腔的后侧固定连接有齿牙，活动框的内腔还设置有齿条，齿条的后侧与齿牙相啮合，并且齿条的顶部和底部均贯穿至控制壳的外侧。电流钳本体的后侧固定连接有有限位机构，限位机构的前侧和后侧均与防护罩固定连接，底部与齿条固定连接，活动框的前侧固定连接有控制机构。

增设可伸缩防护罩与联动齿条机构，通过按压式控制按钮驱动防护罩覆盖传感器区域，避免意外跌落造成的机械

损伤。此外，限位机构与齿条啮合设计进一步保障防护罩开合的精准性，延长设备使用寿命。

从创新设计的视角出发，这种防护组件的设计考虑到了电流钳在实际使用过程中的意外情况。在很多类似的工具中，传感器部分往往是比较脆弱的，容易受到外界因素的影响。而此防护组件的设计通过一个简单的机械结构，实现了在不使用时对传感器的有效保护，这体现了设计者对工具细节和实用性的深入思考。这种防护设计不仅仅是一种简单的物理遮挡，更是一种对工具整体性能和寿命的有效提升手段。

5.3 安全与可靠性设计^[5]

在电力工作环境中，安全与可靠性至关重要。便携式电流钳在设计时充分考虑了这一点。在绝缘设计方面，钳头和手柄部分采用了高绝缘性能的材料，防止工作人员触电。在电路设计方面，采用了冗余设计和保护电路，防止电路出现短路、过流等故障。例如，当测量电路中的电流超过最大允许值时，保护电路会自动切断电路，避免电路元件损坏。同时，便携式电流钳还经过严格的电磁兼容性测试，确保在复杂的电磁环境下能够正常工作。

在电力工作的环境里，安全与可靠性无疑是重中之重。便携式电流钳在设计过程中就将这一要点充分纳入考量范畴。

从绝缘设计的角度来说，钳头以及手柄部位均运用了具备高绝缘性能的材料，这一设计的意义重大，能够有效避免工作人员触电，为电力工作者的人身安全构筑起一道坚实的防线。

在电路设计方面，便携式电流钳更是采用了冗余设计与保护电路。让电路的稳定性大大增加。能够确保在复杂的环境下依然可以正常工作。这一特性使得它在电力工作中的应用更加可靠、高效，能够更好地满足电力工作对于安全和稳定的要求。

5.4 数字信号处理技术融合

数字信号处理技术（DSP）为便携式电流钳的创新提供了强大的手段。通过将模拟测量信号转换为数字信号，引入自适应滤波算法与快速傅里叶变换（FFT），实现噪声抑制与谐波分量提取。实验表明，经 DSP 处理的信号信噪比提升 20dB，谐波分析误差低于 1%。

5.5 多参数传感器集成

将电流钳与无线温湿度传感器、功率模块集成，开发多功能检测终端。现场测试表明，该终端可同步获取电流、功率及环境数据，故障诊断效率提高 50%。

6 未来发展趋势

6.1 高精度度与分辨率

随着电力系统的不断发展，对电流测量的精度和分辨率要求越来越高。未来的便携式电流钳将采用更先进的传感器技术和测量算法，进一步提高测量精度和分辨率。对于电力系统中的一些精密设备的检测和故障诊断具有重要意义。采用新型的磁芯材料，如纳米晶材料，具有更高的磁导率和更低的磁损耗，能够提高电流钳的测量精度。优化测量电路的设计，采用高精度的放大器和模数转换器，减少测量误差。

6.2 抗干扰与智能化升级

采用多层电磁屏蔽结构与小波变换算法，提升复杂电磁环境下的稳定性。此外，结合物联网技术，开发远程实时监控平台，实现数据云端分析与预警推送^[6]。

7 结语

便携式电流钳的技术革新显著拓展了其在电力系统中的应用边界。通过结构优化、算法融合与智能化升级，其在故障预警、能效管理等领域展现出巨大潜力。随着科技的不断发展，我们相信便携式电流钳的创新技术将不断涌现，为电气测量领域以及相关应用领域带来更多的便利和价值。然而，在便携式电流钳的发展过程中，我们也需要关注一些问题，如成本控制、标准制定等，以确保便携式电流钳的健康、可持续发展。

参考文献

- [1] DL/T448—2016《电能计量装置技术管理规程》
- [2] 张碧波. 设备状态监测与故障诊断[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011
- [3] 杨和利、郑亚权等. 电流钳在汽车短路故障诊断中的应用[J]. 电气工程学报, 2019, 16(3): 45-50
- [4] 文春帆. 电气测量技术[M]. 4版. 北京: 高等教育出版社, 2020
- [5] 李中凯, 王帅等. 电流钳固定装置的设计与优化[J]. 仪器仪表学报, 2022, 43(2): 112-118
- [6] 梁超, 宋伟庆等. 抗电磁干扰钳形电流表: CN207380116U[P]. 2018-05-11
- [7] 张明远, 李华强. 《现代电气测量技术与仪器》. 电子工业出版社, 2022
- [8] 刘志强, 赵文静. 《新能源系统中的电气测量技术》. 科学出版社, 2023
- [9] 陈光明, 王红梅. 《智能电气检测设备设计与应用》. 机械工业出版社, 2021