

# 水电站主变压器铁芯夹件接地电流在线测试装置研发

宋芳

水发电力能源(伊犁)有限公司

DOI:10.32629/hwr.v10i4.6961

**[摘要]** 水电站主变压器作为电力系统的核心设备,其安全稳定运行对水电站的可靠供电至关重要。铁芯夹件接地电流异常是主变压器常见故障之一,可能导致绝缘老化、局部过热等问题,进而威胁水电站的安全运行。因此,研发一种能够实时监测主变压器铁芯夹件接地电流的在线测试装置显得尤为必要。该装置的研发涉及传感器技术、信号处理技术以及数据传输与存储技术等关键技术。然而,在研发过程中也面临电磁干扰、设备稳定性与可靠性以及数据准确性与实时性等挑战。未来,随着人工智能和大数据技术的发展,该装置有望向智能化、集成化和标准化方向迈进,进一步提升水电站的安全性和运行效率。

**[关键词]** 水电站; 主变压器; 铁芯夹件; 接地电流; 在线测试装置

中图分类号: TV731 文献标识码: A

## Development of an Online Testing Device for Grounding Current of the Main Transformer Core Clamping Pieces in Hydropower Stations

Fang Song

Shui Hydropower Energy (Ili) Co., Ltd.

**[Abstract]** As the core equipment of power systems, the safe and stable operation of a hydropower station's main transformer is crucial for reliable power supply. Abnormal grounding currents in transformer core clamps represent one of the most common faults, potentially leading to insulation aging and localized overheating, thereby jeopardizing the station's safe operation. Consequently, developing an online testing device capable of real-time monitoring of these grounding currents is imperative. The development involves key technologies such as sensor technology, signal processing, and data transmission/storing solutions. However, challenges include electromagnetic interference, equipment stability and reliability, as well as data accuracy and real-time performance. With advancements in artificial intelligence and big data technologies, this device is expected to evolve toward smarter, more integrated, and standardized designs, further enhancing hydropower stations' safety and operational efficiency.

**[Key words]** Hydropower station; Main transformer; Core clamp; Grounding current; Online testing device

### 引言

水电站作为电力系统中的重要组成部分,承担着电能生产与输送的关键任务,而主变压器则是水电站的核心设备之一,其运行状态直接关系到整个电力系统的稳定性和可靠性。在主变压器的运行过程中,铁芯夹件接地电流的异常变化往往反映了设备内部潜在的故障隐患。因此,研发一种能够实时监测铁芯夹件接地电流的在线测试装置显得尤为重要和迫切。该装置不仅可以帮助运维人员及时发现故障隐患,还能为制定科学合理的维护策略提供依据,从而保障水电站的安全稳定运行。

### 1 水电站主变压器铁芯夹件接地电流在线测试装置研发背景

#### 1.1 水电站主变压器的重要性

水电站作为电力系统中的重要组成部分,承担着将水能转换

为电能并通过电网进行分配的关键任务。在主变压器的运行过程中,其稳定性和可靠性直接影响整个水电站乃至电力系统的安全运行。主变压器作为水电站的核心设备,不仅负责电能的传输和分配,还在电压等级变换中发挥关键作用。特别是在大型水电站中,主变压器的性能直接决定了电站的发电效率和供电质量。由于主变压器长期处于高电压、大电流的工作环境中,其内部结构容易受到电磁场、温度变化等多种因素的影响,从而导致潜在故障的发生。为了及时发现并处理这些潜在问题,研发针对主变压器关键参数的在线监测装置显得尤为重要<sup>[1]</sup>。

#### 1.2 铁芯夹件接地电流的影响

铁芯夹件接地电流是反映主变压器运行状态的重要参数之一,其异常变化往往预示着变压器内部存在故障隐患。研究表明,当铁芯夹件接地电流超过正常范围时,可能会导致主变压器内

部出现绝缘老化、局部过热等问题,进而影响设备的安全稳定运行。例如,在某水电站主变压器运行过程中,因夹件引下线与变压器本体短路形成环流通路,导致接地电流异常升高,最终引发局部过热现象。此外,铁芯接地电流过大还可能与多点接地故障、局放故障等因素有关,这些问题若未能及时处理,将进一步加剧设备的损坏程度,甚至引发严重事故。因此,通过对铁芯夹件接地电流进行实时监测,可以有效识别潜在故障并采取相应的预防措施,从而保障主变压器的安全运行。这一需求推动了水电站主变压器铁芯夹件接地电流在线测试装置的研发与应用。

## 2 水电站主变压器铁芯夹件接地电流在线测试装置研发关键技术

### 2.1 传感器技术

在水电站主变压器铁芯夹件接地电流在线测试装置的研发中,传感器技术是实现精准监测的基础。电流互感器和霍尔传感器是两种常用的检测接地电流的传感器类型。电流互感器基于电磁感应原理工作,通过将一次侧的大电流转换为二次侧的小电流进行测量,具有结构简单、成本较低的优点,但在高频信号检测中精度有限。霍尔传感器则利用霍尔效应,能够非接触式地测量交流与直流电流,适用于复杂电磁环境下的高频信号检测,但其测量精度受温度影响较大。因此,在选择传感器时需综合考虑具体应用场景的需求,如测量频率范围、环境条件及精度要求等因素,以确保监测数据的准确性和可靠性<sup>[2]</sup>。

### 2.2 信号处理技术

从传感器获取的接地电流信号通常较为微弱且混杂有噪声,因此需要经过一系列信号处理步骤才能被有效利用。信号放大是第一步,通过运算放大器将微弱的电流信号放大至适合后续处理的水平,同时需注意放大倍数的选择以避免信号失真。滤波是另一关键环节,采用低通滤波器或带通滤波器去除高频噪声和杂散信号,保留目标频段的接地电流信息。模数转换(ADC)则是将模拟信号转换为数字信号的核心步骤,其分辨率和采样率直接影响数据处理的精度和实时性。

### 2.3 数据传输与存储技术

将处理后的接地电流数据传输至监控中心并妥善存储是在线测试装置的重要功能之一。数据传输通常采用有线或无线通信方式,如有线以太网、RS-485总线或无线GPRS/4G模块,需根据水电站的实际情况选择适合的通信方式以保证数据的实时性和稳定性。在数据存储方面,可采用本地存储与远程存储相结合的方式,本地存储用于暂存短期数据,远程存储则通过云服务器或数据中心实现长期数据归档。

## 3 水电站主变压器铁芯夹件接地电流在线测试装置研发面临挑战

### 3.1 电磁干扰问题

水电站作为电力系统的核心组成部分,其运行环境通常伴随着复杂的电磁场分布,这对在线测试装置的性能提出了严峻挑战。由于主变压器铁芯及夹件接地电流信号较为微弱,极易受

到周围强电磁场的干扰,导致测量数据失真或误差增大。

### 3.2 设备稳定性与可靠性

在线测试装置需要在长期运行过程中保持稳定性和可靠性,以确保监测数据的连续性和准确性。然而,水电站的运行环境往往存在高温、潮湿、振动等不利因素,这些因素可能对测试装置的性能造成严重影响。因此,在硬件设计阶段,需重点考虑元器件的选型和防护等级。

### 3.3 数据准确性与实时性

接地电流数据的准确性与实时性是评估在线测试装置性能的核心指标,直接决定主变压器运行状态监测效果与故障预警可靠性。结合现场实测数据对比可见,装置安装前后,铁芯、夹件接地电流在不同负载工况下的数据稳定性与抗干扰能力提升显著,有效解决了传统测量方式数据离散、易受干扰的难题<sup>[3]</sup>。

传感器精度是保障数据准确的基础,装置选用高分辨率、高线性度的霍尔效应电流传感器,可精准捕捉微弱接地电流信号,具备优异的抗干扰与宽量程测量能力。从现场测试结果来看:

主变负载10MW工况:夹件接地电流安装前数据离散度大、波动剧烈,测试点数值偏差明显;安装后数据曲线平稳规整,波动幅度大幅收窄,一致性显著提升。铁芯接地电流同样呈现相同规律,安装前数据起伏无序,安装后信号稳定、无异常跳变,真实反映设备运行电流特征。

主变负载30MW高负荷工况:未安装装置时,强电磁干扰导致夹件、铁芯接地电流数据跳变突出、离散性极强,无法准确反映设备真实状态;安装在线测试装置后,电流数据快速趋于稳定,测试点数值高度集中,即便在高负荷强干扰环境下,仍能保持测量结果稳定可靠,直观体现装置突出的抗干扰能力与数据稳定性。

信号处理与数据传输是保障实时性的关键。装置通过优化信号放大、滤波、模数转换算法,高效滤除现场电磁噪声,精准提取有效电流信号;搭配4G/5G、工业以太网等高速通信模块,实现数据实时上传<sup>[4]</sup>。同时采用本地暂存与远程云存储结合的策略,确保数据完整可追溯。

综上,该在线测试装置通过高精度传感、抗干扰处理与高速传输设计,结合实体验证,在高低负载、强电磁干扰等复杂工况下,均可输出稳定、准确、抗干扰能力强的接地电流数据,全面满足主变压器长期在线监测的准确性与实时性要求,为主变压器安全运行提供坚实的数据支撑。

## 4 水电站主变压器铁芯夹件接地电流在线测试装置应用案例分析

### 4.1 案例一

某大型水电站将铁芯夹件接地电流在线测试装置首次投入应用。安装时,在夹件引下线处部署高精度电流传感器,并通过屏蔽电缆与冗余设计提升信号传输可靠性。调试阶段经校准与算法优化,确保测量误差 $\leq \pm 1\%$ 。运行中,装置成功捕捉到接地电流异常波动,经停电检查,发现引下线绝缘层因振动破损导致环流故障,及时处理避免了设备损坏。

## 5 水电站主变压器铁芯夹件接地电流在线测试装置未来发展趋势

### 5.1 智能化发展

AI与大数据技术为电力设备监测提供了广阔前景。将其引入铁芯夹件接地电流在线测试装置,可显著提升故障诊断与预测性维护能力。通过机器学习算法深度挖掘历史数据,识别潜在故障模式,实现精准预警;大数据分析则优化设备状态评估模型,融合多源数据进行全方位健康评价。依托高性能计算平台与深度学习网络,可有效提取信号特征、降低误报率。

### 5.2 集成化发展

为实现主变压器全方位状态监控,将铁芯夹件接地电流在线测试装置与油温、局放等其他监测设备集成,构建统一监测平台是重要发展方向。集成化可实现电气、机械及环境参数的综合监控。其技术关键在于解决设备兼容性,要求装置具备标准化通信接口,并通过边缘计算等技术优化数据处理,减少传输延迟。该方案不仅提升设备管理水平,也为智能变电站建设奠定技术基础<sup>[5]</sup>。

## 6 结语

水电站主变压器铁芯夹件接地电流在线测试装置的研发,是保障电力系统安全稳定的关键技术。研发涉及传感器、信号处理及数据传输存储等核心技术,并需克服电磁干扰、设备稳定性及数据实时性等挑战。通过采用屏蔽滤波、优化元器件选型及改进传输效率,已实现精准监测。装置已在多个电站成功应用,能及时发现设备隐患,避免停电事故,提升运行效率。未来,装置将向智能化、集成化和标准化发展,融合AI与大数据技术实现故障预测,并与其他监测设备集成,为水电站的安全可靠运行提供更有力的保障。

### [基金项目]

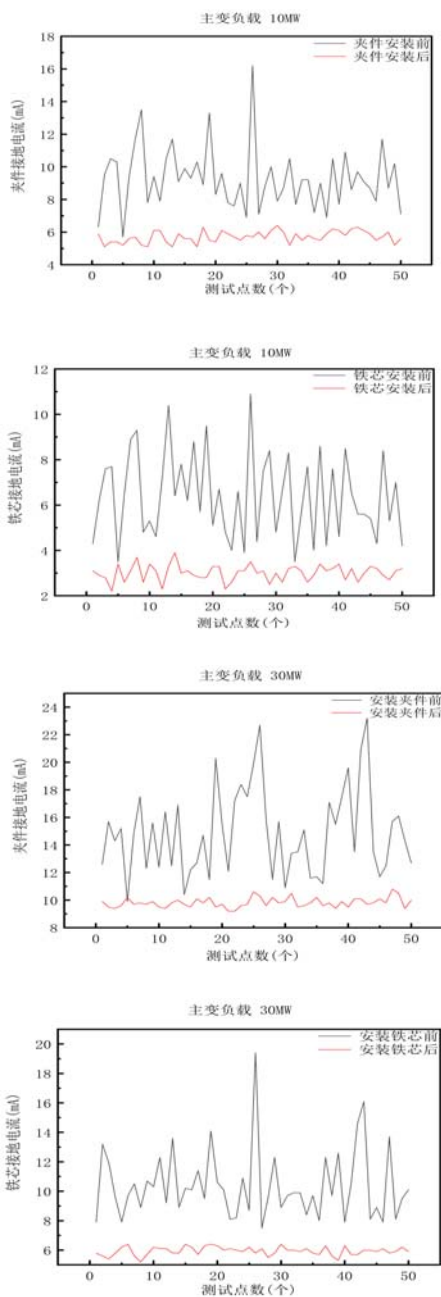
此成果由水发电力能源(伊犁)有限公司资助(项目编号:水电伊科创[2026]06)。

### [参考文献]

- [1]杨定乾,袁曼曼,杜嘉宝.计及铁心多点接地缺陷恢复过程的限流电阻优选仿真研究[J].变压器,2025,62(06):9-18.
- [2]王义凯.海洋核动力平台电力主设备安全风险防控与保护关键技术[D].华中科技大学,2023.
- [3]中国水力发电工程学会电网调峰与抽水蓄能专业委员会.抽水蓄能电站工程建设文集[M].中国水利水电出版社,2021.10.531.
- [4]曾杨东.乌鲁瓦提水力发电厂C级检修方案应用分析[J].黑龙江水利科技,2021,49(06):203-205.
- [5]李仁久.变压器铁芯故障分析及处理方法[J].水力发电,2016,42(03):75-77.

### 作者简介:

宋芳(1992—),女,汉族,中国山东莱芜人,硕士,工程师,从事水电站一次设备检修预试研究。



### 4.2 案例二

某山区水电站环境恶劣,主变压器运行压力大。引入在线测试装置后,采用防爆传感器与增强屏蔽电缆,成功适应了高温、高湿及强电磁干扰环境。调试结果显示测量误差小于 $\pm 0.5\%$ ,性能稳定。运行中,装置精准区分了负载突变引起的瞬时波动与真实故障,避免误停机;并通过数据分析发现周期性变化规律,优化了运行策略。尤为突出的是,装置成功预警了因夹件绝缘垫老化导致的电流异常,运维人员据此及时更换部件,消除了隐患。该案例验证了装置在复杂环境下的可靠性,证明了其在故障预警与预防性维护中的重要价值,具备广泛的推广应用前景。