

# 接地及过电压智能感知技术在某500 kV变电站的应用研究

曹文辉<sup>1</sup>, 雷全学<sup>2</sup>

(1. 中国电建集团江西省电力设计院有限公司, 江西 南昌 330096; 2. 深圳抛物线科技有限公司, 广东 深圳 518000)

**摘要:**近年来,由于监测技术不足和设备缺陷,国内多次发生严重的电力设施火灾事故,暴露出低压交流系统绝缘监测、断路器保护灵敏度以及接地安全等方面的问题。文中聚焦过电压及接地监测技术在500 kV变电站的应用,深入探讨了现有监测技术的局限,分析了在故障早期发现和处理方面的不足,并提出了集成化的在线监测解决方案。该项技术通过实时采集二次设备的接地信息,并结合运维管理系统对设备的接地状态和过电压数据进行持续监测,能够在设备未正确接地、绝缘下降前期及时发出告警并进行智能诊断识别。该技术可用于指导500 kV变电站二次系统及设备的安全管理和技术改进,具有重要的实践价值和广泛的应用前景。

**关键词:**剩余电流;过电压;智能感知;接地监测

**中图分类号:**TM 86 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-348X(2024)06-0040-04

## 0 引言

随着国民经济和社会的快速发展,电力系统的稳定性和安全性日益受到重视,特别是在500 kV变电站这一关键基础设施中,二次系统及其设备的安全直接关系到整个电网的稳定运行和人民生命财产的安全。近年来,由于监测技术不足和设备缺陷,国内多次发生严重的电力设施火灾事故。诸如2019年张家坝500 kV变电站和2022年梦山500 kV变电站的火灾事件,均暴露出低压交流系统绝缘监测、断路器保护灵敏度以及接地安全等方面的问题;此外,由于接地不可靠问题导致的雷击扩大事故也频繁发生,暴露出设备接地安全的薄弱环节。

为应对这些挑战,国家电网公司制定了一系列提升低压交流系统本质安全的举措,包括对断路器进行灵敏度校核和剩余电流监测技术的推广应用,以期有效预防电气火灾事故。

文中聚焦500 kV变电站二次系统及设备的过电压监测技术的应用,特别是针对屏柜接地状态的自动检测技术,通过采集二次设备的接地状态,利用运维管理系统,实时监测设备的接地状态。该项技术能够在设备未可靠接地时及时告警,并对绝缘下降原因进

行智能诊断,避免因遗漏接地或接地线断裂带来的安全隐患。

文中将深入探讨现有监测技术的不足,分析传统方法在故障早期发现和处理方面的局限性,提出一种集成化的在线监测解决方案,并在某500 kV变电站进行实际应用。该技术将从“安全第一,预防为主”的理念出发,不仅能够提高故障排查效率,还能显著提升系统的安全可靠性,保障人员安全。通过对相关技术的深入分析和实际应用,能为变电站二次系统及设备的安全管理和技术进步提供有力的理论依据和技术支持。

## 1 现状分析

### 1.1 二次设备过电压故障原因分析缺乏数据支撑

变电站二次系统和设备在实际操作中不断面临着瞬态过电压和过电流等电气干扰的挑战,导致故障和事故频繁发生。现行的电网二次系统数据采集与能量管理系统大多仅具备对工频电流电压的基本采集能力,而对是否受到过电压侵袭、瞬态过电压的来源以及过电压防护装置的效用等问题,均缺乏高效的智能感知和风险数据监测手段。这种数据支撑的缺失,不仅使得技术改造的决策合理性存疑,而且许多故障因无法明确根本原因而屡屡重现,加剧了系统运

收稿日期:2024-10-15

作者简介:曹文辉(1984),男,硕士,高级工程师,研究方向为变电站电气二次设计、分布式电源并网的优化运行和新能源技术。

行的不可靠性<sup>[1-3]</sup>。

案例1:2020年,某110 kV变电站,因输电线路遭受直击雷击,站内发生地电位反击导致直流系统出现故障,线路保护屏重启,上级220 kV变电站保护误动,因缺失数据记录,故障原因分析困难。

### 1.2 传统绝缘火灾监测技术存在滞后性

电缆线路老化、绝缘层破损、接触不良、接线错误等因素是引起绝缘漏电流超标和电气火灾的主要原因。为防止火灾隐患发生,目前电力系统主要通过红外探测器或者光纤电缆温度在线监测等系统进行监测。红外探头和温度传感器均是只有温度传导到电缆外皮或者在红外监测范围内时才能感知到,芯线温度传导到外表,内部温度已经非常高,现有剩余电流在线监测系统只能对电流结果超限进行监测<sup>[4-8]</sup>。这些技术均存在监测盲区和滞后性的问题,对于绝缘破坏原因和过程缺失分析数据支撑。

案例1:2019年,某500 kV变电站发生低压交流电缆着火,引发直流电缆绝缘损坏,导致两套500 kV母差动作的故障。国家电网专家对故障原因及解决措施进行了研究,发现引起低压交流电缆起火主要有两个原因:一是电缆发生金属短路故障时,保护用断路器灵敏度不足,无法在短时间内跳开,引发电缆起火;二是电缆发生绝缘损坏爬电起弧时,由于弧道电阻较大,属于“高阻接地”情况,保护用断路器无法跳开,此时弧道温度很高,引发电缆起火。

案例2:2022年,某500 kV变电站发生一起电缆沟电缆着火事件,导致500 kV六条线路及500 kVI、II母双套保护直流失电。事故直接原因为第一层敷设的视频电源电缆外绝缘受损,因连续下雨受潮引起短路,造成敷设在第一层的光缆烧损,高温引起第二层、第三层控制(保护)直流电缆烧熔短路,造成51、52小室直流控保电源中断,保护通信通道中断,视频电源线回路,空开灵敏度不高,电缆因过流烧损而空开未及时动作。

### 1.3 二次设备接地隐患存在监视盲区

随着GIS站成为主流,接地网面积越来越小,一次地网与二次地网距离越来越近,开关分合闸暂态高频电流、雷电、工频和直流在接地网共存成为常态。一次开关分合闸、雷击、一次线路对地短路等情况引起的地电位升对二次系统影响风险无法识别,瞬态电压超过

设备绝缘耐压导致二次设备损坏、开关非正常跳闸等故障缺失分析数据支撑;“反措”也明确要求电流电压二次回路中性点单点可靠接地,当绝缘下降存在多点接地时,会导致保护装置拒动、误动事件发生<sup>[9-11]</sup>。

案例1:2023年,某500 kV变电站PT二次侧回路发生多点接地故障,造成了保护动作事故。该事故是由于线路PT开口三角绕组有一端绝缘降低,发生了接地故障,导致该回路短路,电流过大,电压降低,引起其它二次侧绕组的电压升高,超过了过电压保护动作定值,引起了保护动作事故。

## 2 应对措施与方案

### 2.1 二次设备接地状态实时监测的概念

二次设备接地状态实时监测是指利用先进的传感器技术和数据处理方法,对变电站内二次设备的接地状态进行实时、在线的监测和分析。

实时监测系统的核心在于高灵敏度的传感器和高效的数据处理算法。传感器负责实时采集接地状态的相关数据,如接地电阻、接地电流、接地干扰等关键参数。这些数据通过专用的数据传输系统实时传输到数据处理中心,经过算法分析后,生成接地状态的实时数据和趋势图。通过这些数据和图表,运维人员可以清晰地了解二次设备的接地状态,及时发现潜在的接地可靠性、接地干扰、多点接地等隐患问题。

在500 kV变电站中,二次设备接地状态实时监测的应用将大大提升变电站的安全水平和运维效率。首先,通过实时监测,运维人员可以及时发现和处理接地故障,避免故障的进一步扩大和影响其他设备的正常运行;其次,智能化的监测和报警系统识别接地故障类型,高效运维,可以减轻运维人员的工作负担,提高故障处理的准确性和效率;最后,通过对历史数据的分析和挖掘,运维人员可以更加深入地了解设备的运行规律和故障模式,为设备的预防性维护和优化运行工作提供有力支持。

### 2.2 实施方案

二次系统过电压监测技术从“安全第一、预防为主、一切隐患可以预防”的理念出发,通过电源及接地点多个维度综合数据的相关性监测分析,能够有效辨识交流电源系统绝缘状态、二次回路接地状态,如图1

所示。事前预警可对接地隐患类型与过电压入侵风险进行识别;隐患故障定位能发现设备安全隐患、分析事故原因,对保障电力设备可靠运行有重要作用。

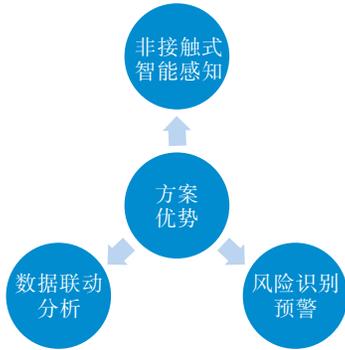


图1 系统功能特点示意图

### 2.2.1 接地监测系统框架

接地监测框架(见图2)采用变电站二次设备接地状态在线采集装置和复合传感器,对各屏柜接地状态、干扰数据进行采集。接地状态装置在线采集采用震荡阻尼测试方法,通过非接触方式采集多维数据,即可检测接地状态和接地隐患风险,采集监测装置将数据通过智能接口上传给变电站过电压智能感知系统,通过系统界面可以直观地查看监测装置的安装位置和监测数据,从而实现接地故障点的位置查询和定位。

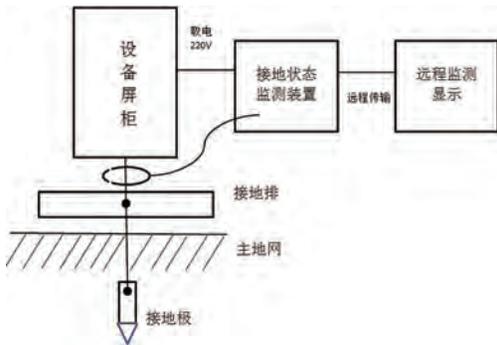


图2 接地监测示意图

### 2.2.2 交流电源系统绝缘监测

为有效应对传统绝缘监测技术的滞后性问题,并实现对交流电源系统潜在故障的及时预警和预防,提出如下的先进交流电源系统绝缘监测方案(见图3—4):

1) 部署复合传感器:在各关键点如变电站中性点、交流进线、馈线支路和电缆铠装层部署高灵敏度的复合传感器。这些传感器能够监测工频电气参数以及高频电磁波等信号。

2) 数据采集与分析:利用这些传感器,对剩余电流、可能的绝缘击穿高频电流信号进行连续采集。所

收集的数据将实时发送至中央处理单元。

3) 故障预判算法的实施:在数据处理中心,设计并实施高级故障预判算法。该算法结合实时监测数据和历史数据,使用机器学习和模式识别技术来分析和预测绝缘性能的下降趋势及原因诊断。

4) 预测维护:通过连续跟踪与学习系统的运行情况,故障预判算法可以预测未来可能发生的故障,提前通知运维人员进行检查和维护,以避免故障实际发生。

5) 即时报警系统:一旦算法发现即时威胁,如急升的剩余电流或者突发的绝缘破坏放电信号,即自动触发报警并启动应急响应程序。

6) 趋势分析与报告:系统不仅为即时故障提供预警,还能基于长期数据,生成趋势分析报告,辅助运维团队优化维护计划和设备升级决策。

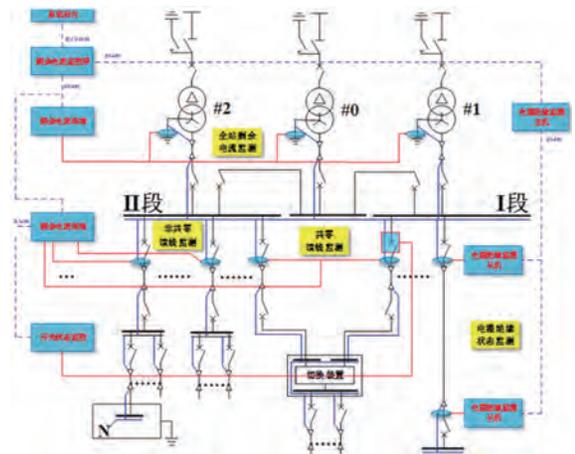


图3 站用变交流电源监测部署图

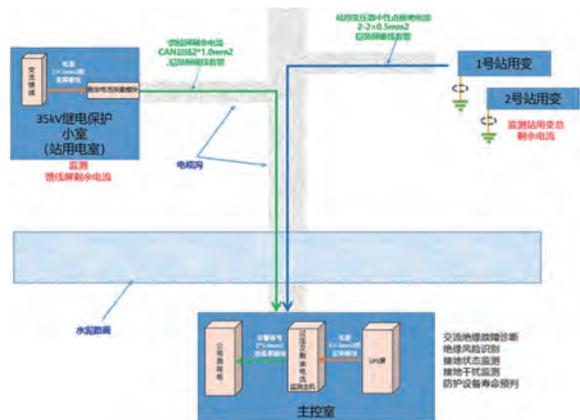


图4 500 kV某变电站监测布置方案图

### 2.2.3 系统运维管理

采用一套纯软件运行系统,运行于工控主机上,采用C/S架构体系,实现了远程监测、维护,平台架构如图5所示。软件系统中大数据库的应用,可提升管

理效率,消除安全隐患。

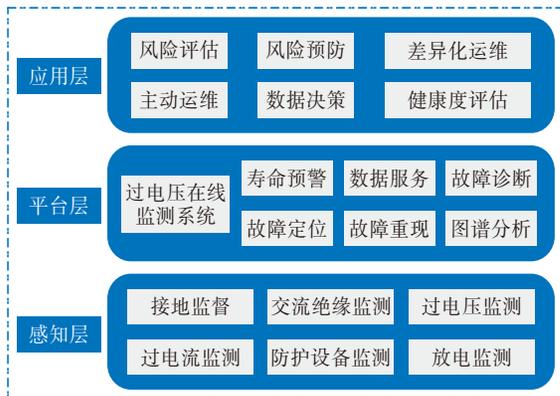


图5 平台架构

### 3 实施效果

该技术在某 500 kV 变电站进行了试点应用,投运时及时发现一起接地隐患,系统监测到“1号站用变中性点接地线”接地异常告警。经排查发现“主变及 35 kV 继电器小室动力箱”N 与 PE 混接,如图 6 所示,为新建站的健康交付提供有力保障。

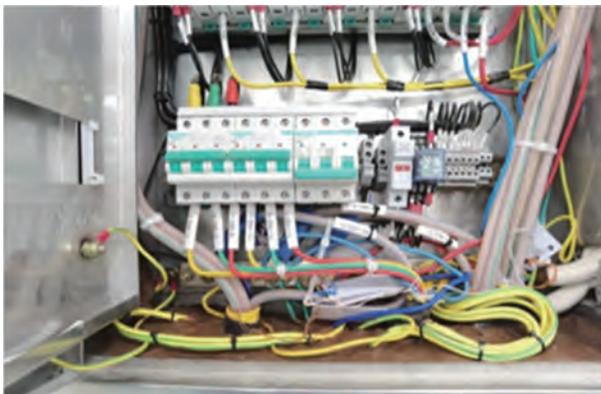


图6 配电箱 N、PE 混接图

1) 设备运行优化与预防性智能维护:通过对设备运行数据的深度挖掘与分析,系统成功实现了设备运行状态的全面监控与诊断;通过精准识别电气设备的接地状态故障类型、电缆绝缘状态以及绝缘风险,不仅提升了设备的运行效率,还显著延长了设备的使用寿命,为企业节省了大量的维修成本,并有效避免了因设备故障导致的生产中断。

2) 接地风险与干扰透明化:系统通过图形化方式,直观展示了设备接地风险、接地可靠性以及接地干扰情况。使得管理人员能够迅速、准确地掌握设备接地状况,从而采取有效措施确保设备及人身安全。

此功能的实现,极大地提升变电站的安全管理水平,降低了潜在的安全风险。

3) 设备寿命预警与故障预判:通过采用数据相关性分析技术,系统能够预测防护设备的剩余寿命以及可能发生的故障。这一功能便于提前制定主动运维策略,有效避免设备突发故障对电力生产造成的影响;同时,也为企业的数字化升级和制定安全提升方案提供了明确的方向和路径。

4) 全息呈现与数据决策:利用先进的传感器数据融合算法,系统能够全息呈现信息机房设备的安全状态。这一功能的实现,不仅提高了机房设备的运行效率,还大大提升了设备使用的安全性。

### 4 结语

文中在某 500 kV 变电站新建工程成功引进并验证了接地及过电压智能感知技术。该技术的实施,不仅显著增强了电网运维的智能化水平,而且在多个维度上弥补了现有运维的不足。通过实时监测和精确分析瞬态过电压和过电流事件,为接地及绝缘故障原因分析积累了宝贵的数据资源,显著降低了类似事故的再次发生;该技术的应用有效克服了传统监测技术的局限性,通过实时的预警和智能诊断分析,显著提升了绝缘故障的早期发现和预防能力。

此外,该技术在接地隐患精准识别方面的突破,保障了二次设备及人身的本质安全,符合国网反措要求,并有效防止了保护装置的拒动或误动,从而增强了整个电力系统的可靠性。

通过文中的探讨与阐述,可为该类故障的诊断和及时处理提供一些建议和借鉴,促进此类技术的发展和进步。

### 参考文献:

- [1] 张华,李明,王大力.电力系统过电压保护技术研究进展[J].高电压技术,2018,44(3):756-766.
- [2] 刘晓东,陈斌,张洪涛.电力设备状态监测与评估技术研究综述[J].电力系统自动化,2017,41(12):186-195.
- [3] 王晓明,杨洋,李伟.基于大数据的电力设备故障诊断与预测研究进展[J].电网技术,2019,43(2):446-457.(下转第 61 页)

2) 汽轮机猫爪翘起的本质是汽缸稳定性被破坏,汽缸稳定性主要受到自身重力、管道接口推力、汽流对汽缸反作用力等因素的综合影响。

3) 通过减小管道冷拉力及优化调整支吊架受力,降低了管道对超高压缸的推力,超高压缸猫爪翘起现象得到了彻底根治,汽轮机振动情况良好,汽轮机效率得到了明显提升。该研究成果为类似机组猫爪翘起、汽缸膨胀不畅等疑难问题的解决提供了较好的参考作用。

### 参考文献:

- [1] 国家能源局.火力发电厂管道支吊架验收规程:DL/T 1113—2024[S].北京:中国电力出版社,2024:9-10.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.管道支吊架:第1部分技术规范:GB/T

- 17116.1—2018[S].北京:中国标准出版社,2018:19-20.
- [3] 陈盛广,王军民,邓玲惠,等.高温再热蒸汽管道异常位移产生原因及防治研究与应用[J].热力发电,2022,51(5):169-174.
- [4] 国家能源局.发电厂汽水管道应力计算技术规程:DL/T 5366—2014[S].北京:中国电力出版社,2014:23-28.
- [5] 国家能源局.火力发电厂汽水管道设计规范:DL/T 5054—2016[S].北京:中国电力出版社,2016:33-40.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部.电厂动力管道设计规范:GB/T 50764—2012[S].北京:中国计划出版社,2012:104-114.
- [7] 国家质量技术监督局,中华人民共和国建设部.工业金属管道设计规范:GB 50316—2000[S].北京:中国计划出版社,2008:74-81.
- [8] 国家市场监督管理总局国家标准化委员会.压力管道规范工业管道:第3部分设计和计算:GB/T20801.3—2020[S].北京:中国标准出版社,2020:100-101.
- [9] 唐永进.压力管道应力分析:第2版[M].北京:中国石化出版社,2009:77-78.

(上接第39页)

- [3] 刘逸涵.基于电能表需求预测的配送优化研究[D].北京:北京交通大学,2017.
- [4] 陈剑强,杨俊杰,楼志斌.基于XGBoost算法的新型短期负

- 荷预测模型研究[J].电测与仪表,2019,56(21):23-29.
- [5] 李树卿,陈鼎,仇群辉,等.基于随机森林的电能质量综合评估[J].现代电力,2019,36(2):81-87.

(上接第43页)

- [4] 王志刚,张磊,许峰.基于机器学习的电力设备异常检测与分类方法[J].电力系统自动化,2017,41(6):130-137.
- [5] 张勇,李思,王鹏.电力设备绝缘监测与预警技术研究[J].高电压技术,2016,42(5):1349-1355.
- [6] 陈小平,刘振宇,张涛.电缆线路绝缘在线监测技术研究与应用[J].高电压技术,2015,41(9):2639-2645.
- [7] 李明,张华,王大力.电力设备过电压防护装置寿命评估方法研究[J].高电压技术,2017,43(4):978-985.

- [8] 周泽民,黄进,刘建华.基于光纤传感技术的电力设备温度监测方法研究与应用[J].光电工程,2016,44(8):196-202.
- [9] 张晓宁,李娜,王瑞.基于红外热像技术的电力设备温度异常检测方法研究[J].红外与激光工程,2018,47(6):134-139.
- [10] 李小云,张洪涛,王晓明.基于大数据技术的电力设备故障预测方法研究[J].电网技术,2019,43(1):233-240.
- [11] 孙江平.智能型剩余电流监测技术在变电站中的应用研究[J].电力与能源,2021,42(2):178-181.