

可移动式输电线路防外力破坏系统的应用研究

陈泽师, 邢 波, 邱志新, 黄位文, 董 明

(海南电网有限责任公司, 海南 海口 570216)

摘要: 近年来, 外力破坏故障已成为危害电网安全稳定运行的重要故障类型之一, 为此提出研制防外力破坏的可移动识别装置, 提高电网安全性, 减少线路保电人次, 确保24 h不间断取证和警示外力破坏隐患点作用。该设备将采取便携式太阳能取电、可拆卸反复使用等技术, 提高灵活性。

关键词: 可移动; 输电线路; 防外力破坏

Research on movable transmission line anti-external force damage system

CHEN Zeshi, XING Bo, QIU Zhixin, HUANG Weiwen, DONG Ming

(Hainan Power Grid Co., Ltd., Haikou 570216, China)

Abstract: In recent years, external force failure has become one of the important types of faults that endanger the safe and stable operation of power grid. In order to improve the security of power grid, reduce the number of times of line protection and ensure 24 h. uninterrupted evidence collection and warning of potential damage points caused by external forces, a movable identifying device against external force is proposed. The equipment will adopt portable solar energy power supply, removable and reusable technology to improve flexibility.

Key words: movable; transmission line; protection against external force damage

0 引言

随着国民经济的高速发展, 特别是海南省成立国际旅游岛以来, 电力线路的建设得到了长足的发展。但是由于终年暴露在野外和所处地理位置、环境的特殊性, 除了要遭受恶劣天气的侵袭外, 各种施工、违法和违章行为引发的输电线路跳闸、断线等外力破坏事故、案件也呈逐年上升的趋势, 严重威胁输电线路的安全稳定运行。同时, 外部气象条件和施工外力破坏隐患也在不断变化。在实践中, 线路危险点防控的地点和位置不是一成不变的, 它随着

外部施工的改变, 线路危险防控点也在不断地改变着。在现有的监测技术条件下, 要发挥最大设备覆盖范围, 需要设备装置具有一定的可移动性, 满足不断变化的监测位置和范围^[1-2]。监测装置的可拆卸性是本次研究中较为重要的一项内容, 在满足外力破坏隐患的监测功能基础上, 对于日趋复杂和不断出现的危险点, 能够做到快速布防和随时监测。装置的重复利用性被提到了一个新的高度, 可拆装的实现其本身既能减少成本的支出, 又最大限度地满足防范外力破坏工作的实际需要。移动性能的体现

在装置、技术、机制和方案上，需要提出新的要求和实施措施。为此，开展在线外力破坏防范监测系统的研究，不但将注重装置本身的功能性创新，也需要弥补装置本身的移动性应用在装置结构上、运行机制上的改变，为最大程度地实现装置的重复利用、加大可监测范围，尽量减少装置成本的支出。将安全管控重心前移，成为现场防外力破坏工作的重要辅助手段，具有十分重要的意义。

1 技术研究内容

本项目的研究内容包括理论研究和系统研制两大部分，理论研究主要是研发一套可以嵌入到DSP数字硬件平台的图像识别算法；系统研制是研究一套可拆装式配电线路防外力破坏系统，在保证外力防范的基础上，体现移动性能。该系统由两部分组成：一是安装在输配电现场的智能视频监控装置；二是安装在管理员机房的输电线路防外力破坏监控平台^[3]。

1.1 架空线路外力破坏原因的探究

根据海南省会城市特点，提取大量前期发生过的外力破坏事故样本，研究事故发生的起因、过程、影响和危害，对样本进行归纳和总结。重点对110 kV线路上外力破坏跳闸、接地故障发生的原因进行系统梳理。形成具体的模型触发条件，对各种模型的危害等级进行分类和定义。

1.2 监控线路外力破坏危害征候的识别标准

在明确110 kV线路外力破坏原因的基础上，对外力破坏故障原因建立数学模型，形成危害征候识别的标准，进行技术性转变，建立外力破坏征候判断依据库。

1.3 外力破坏判别的技术方式

在有判据的情况下，考虑采用哪些技术方式来监测外力破坏以及实施何种技术路线。就目前的技术发展情况，可以采用图像识别来判断外力对架空线路运行的干扰，图像识别判断

是通过抓取现场数字视频信号经处理以后，进行差分运算，通过判断触发条件，提供干扰源的识别。在外力破坏监测中，要根据架空线路所处位置和地理条件，设置合适的识别区域，获取保真和合理的现场信号。

1.4 电源和通信方式

外力破坏监测系统采用终端加后台的模式，终端处于架空线路铁塔上，基本无持续供电电源的条件，需要根据终端工号的实际情况，配置供电电池。针对海口市高湿、高热的环境条件，在选型时，要求供电电池在相应的环境条件下能够发挥最大的充放电效率，充分利用海口市日照丰富的特点，进行太阳能光电转换，提高持续供电保证。在通信联络上，首先应满足南方电网公司对相关信息系统的传输通信规约标准。针对可移动式监测的需求，通信链路采取无线传输，采用宽带和资源匹配较好的4G或5G通信标准。

1.5 监测终端

监测终端的部件选型采用功耗元件、功耗控制符合系统设计。防护等级和电磁兼容性能满足高压电磁环境的干扰。基础判断信号的获取来源于监测终端，保证稳定传输是基本运行要求。监测终端采用扣件式安装，维护简单、方便，并且满足可移动性的任务要求^[4]。

1.6 监测后台

监测后台需要执行模型判断、数据处理、信息管理和设备管理的功能，具有监测终端的通信连接请求、接收监测数据、处理数据、反馈执行处理动作、结果展示以及信息管理的各种功能。对上联下联兼容、系统升级，为扩展、多系统并接提供支持。

1.7 移动性设计

监测装置的移动性创新，需要真正做到快速布防和随时监测。结合前期的技术调研，该类型的监测装置在安装时具有一定的固定性，体现在装置对安装地点和监测对象的适应

性上，一般难以做到随外部监测对象的变化，随时投入和改变监测的模式。本次研究中，要改变以往该类型装置的固定性安装特点，从装置本身的结构上入手。首先，改变以往结构设计，在材质设计上采用复合型材，在结构强度、防护等级上不但改变，还应有提高。与此同时，在装置的重量上，大大减少。在安装时，做到班组单人作业，单人监护模式下能便利安装。所有安装的固定方式摒弃传统落后的打孔螺栓固定式安装的方式，全部考虑采用复合型式暗锁扣方式。材料拉伸强度提高的同时，改变了普通工具介入的烦琐。此外在技术调研时，预估测算，单点单人控制在10 min以下。在功能重设上，设备在新的位置固定以后，所有监测数据全部采用主动式的上报方式，无须人工干预。装置监测切换盲点时间也应控制在10 min以下。

2 主要技术难点

2.1 判别目标的模型建立

海口供电局架空输电线路外力破坏发生的原因主要包括以下几个方面：山火、漂浮物（例如，塑料袋、风筝等）和人为机械碰线（例如，线下作业，不按规定保护，野蛮施工，超作业范围施工）。本研究要实现从图像上判别外力征候，在发生时，要及时进行预警。在技术上，实现自动判别的效果。研究相应的技术实现当有人为机械进入和作业时，给予提示注意，进行相关警示。在气象条件可能对线路运行造成伤害时，提醒运维人员注意。并且要研究采用何种预警方式，预警方式的选择要满足及时性和准确性^[5]。

2.2 工作稳定

装置工作的功耗控制问题。根据系统的设计，在无可靠市电供应的情况下，应不断提高无故障在线工作时间。难点是在正常情况下，要降低部件功耗。除了对部件本身的选型提出要求以外，在电路处理和设计上重点突破。在

装置自愈性设计和自维护性能上都是项目的难点。还要对数据传输修正性能进行优化，比如：突发性断网，数据断点重传功能、低网速数据保存自动上传以及错误帧纠正等。

2.3 兼容性设计

主要针对后台要接入后期的各种监测设备。针对它们的通信协议和传输规约进行统一规划，数据格式要求统一定义。对于既有的各种系统对接，还应充分考虑其他对接系统的工作方式。要满足和符合南方电网工作表单格式和内容。针对大数据量作出合理的规划，并发性能和响应性能要在可接受的范围内。

2.4 图像算法设计

高清监控摄像头在获得监控对象图片之后，根据抽象程度和研究方法等的不同，可分为图像处理、图像分析和图像理解三个层次。

2.5 工作电源稳定性设计

工作电源的稳定性设计，关系到装置运行安全和长时间稳定运行，工作电源的选取需要按照装置安装的位置合理选择。重点研究对新能源和新技术的研究应用。

2.6 移动可拆卸装置的设计

要能达到预期的可拆装移动性设计，需要调研大量的结构设计模式和实际工作中可接受的切换盲点时间。这期间需要大量的基础工作，而且还要在满足结构强度不变的情况下，满足移动可拆卸的要求。监测装置在更换安装以后，还要做到装置本身的自动重置和主动恢复，要做到这些，在改变基本结构的同时，还要对装置的数据上报逻辑作出调整，以便能实现快速布防和随时监测的预期目的。

3 已实施项目

3.1 GIS超高频局部放电检测仿真系统

针对常规培训基地难以进行GIS设备带电局部放电检测培训与技能评价；不能实现操作技能多人、同时和远程网络培训与考评；需配

备昂贵被试设备和测试仪器、占用大量场地设施，需配备一定数量考官及协助人员，效率低、费用高；难以模拟现场真实背景、各种各样缺陷类型；由于人为因素影响，考评客观性难以得到保证等一系列问题，提出并发明全球第一套基于虚拟现实技术、模拟真实环境的数字仿真与网络系统，在网上以三维动漫形式实现GIS带电局部放电远程检测，基于虚拟场景、双向互动的操作过程仿真，满足网络培训、测评和技能鉴定及竞赛等需要，并可扩充到其他带电测试与状态检测技术

其功能包括：GIS设备数字仿真与网络培训，GIS局部放电带电检测仪器数字仿真与网络培训，基于虚拟场景、模拟真实缺陷和双向互动的局部放电检测过程数字仿真与网络培训，数据分析与智能诊断的数字仿真与网络培训，理论培训及知识库的数字仿真与网络培训等多个模块。具备自我培训与测评、计算机网络技能考评及技能竞赛等多种可选功能。

技术方案方面，将虚拟现实技术、虚拟仪器技术、3D技术、多媒体技术和网络技术与GIS带电局部放电检测技术相结合，通过建立可视化的GIS设备模型、仪器模型及虚拟场景模型，采用三维动漫形式构建远程虚拟培训与技能鉴定系统，实现模拟真实环境的检测过程动态仿真，满足网络培训、技能鉴定与考评需要。其中：①设备仿真模拟设备的三维真实结构且各个模块可拆卸独立显示，动态显示其装配过程；②仪器仪表仿真模拟仪器仪表真实结构、动态显示测试过程并可作为数字化仪器仪表调阅其技术参数；③检测过程在虚拟环境中实现了局部放电的动态检测，包括选择试验场景，从虚拟工具箱中选择所需仪器及辅助设备，查看试验现场，检测试验对象外观是否异常，交待现场安全措施及注意事项，设置安全防护措施，检查被试设备是否可靠接地、抄录被试设备铭牌及记录现场环境温度湿度，检查电源电压和工作人员带绝缘手套、穿绝缘靴等检查摆放测试仪器、连接测试线以及检测测试

仪器是否正常，操作测试仪开始测量，记录测量结果，分析数据，检查试验结果是否完整，拆除试验接线，清理恢复现场，办理工作终结手续等，实现对GIS设备异常、故障及现象的仿真。仿真异常和故障，仿真过程中产生声音、发光现象等设备的异常数据可以任意设置；④所述的GIS带电局部放电检测仿真系统，通过采集GIS设备的电信号，判断出局部放电信号，将其生成GIS设备相关的状态参数进行显示，仿真GIS及其超高频局部放电检测仪器的物理特性，实现数字化仿真。其检测过程仿真的组成模块包括：信号采集模块，用于采集各变电站GIS设备产生的电信号获得测试数据，并将所述测试数据保存在变电站的系统配置文件中；存储数据库，用于实时保存所述系统配置文件；数据处理模块，用于从所述保存的系统配置文件中提取测试数据，并根据设定的检测阈值判断出局部放电信号，记录所述局部放电信号的峰值并计算局部放电速率；数据显示模块，用于获取所述局部放电信号的峰值和放电速率，将所述峰值和放电速率生成与GIS设备相关的状态参数数据进行显示。

与现有技术相比主要优点包括以下几个方面：

1) 目前，状态检测技术实操技能培训仿真有硬件仿真和软件仿真两类。硬件仿真通过单片机、集成电路和无线通信等技术，采用硬件方式模拟被试设备、仪器仪表从而达到仿真目的。目前，国内外已实现部分测试仪器设备的仿真，可以模拟试验仪器加压后操作过程等。如：徐州供电局朱金华等人开发了“高压电气试验仿真培训系统”，可以通过硬件仿真方式模拟部分设备的预防性试验，部分实现预试项目的硬件仿真等等。

2) 硬件仿真直观，一目了然，但由于实际条件的限制，能模拟的设备、仪器以及模拟的功能均十分有限，对现场环境的模拟也存在困难，很难模拟出现场试验中的一些特殊伴生现象。特别是对于同一硬件设备而言，要随机模拟能够随机生成不同缺陷、不同测试数据的

实际设备和测试仪器、模拟变化的各种不同测试环境基本不可能。此外，对于一般的培训基地而言，从实现与安全角度考虑，要施加500 kV及以下运行电压进行带电测试培训也几乎不可能。再有，硬件仿真需要占用大量的培训场地，不能随时随地进行学习，造价十分昂贵，在进行技能考评时需要人工进行，考评的客观性难以保证。

3) 软件仿真没有硬件仿真的上述问题，基本可以模拟所有被试设备、仪器仪表类型及测试环境，可以模拟一切试验操作的全过程以及模拟任意的测试数据及缺陷数据，容易实现远程、网络化和可视化的培训与技能鉴定工作，容易实现“计算机网络考评与技能竞赛”，考评客观性容易满足，开发的费用也较低。特别值得说明的是，采用三维动漫形式，以游戏形式出现的数字仿真与网络培训十分符合成年人的培训特点，容易激发学习兴趣，不枯燥，非常适合日常的自主学习与培训，而硬件仿真相对而言比较单一。

4) 软件仿真包括虚拟现实技术、FLASH技术、多媒体技术等多种实现方式。目前，FLASH技术、多媒体技术开发的培训课件只能够实现操作过程的单一展示，而不具备人机交互功能，也不能模拟检测仪器的动态测试与数据智能分析过程，而虚拟现实系统的最大特点在于它与用户的直接交互性。在系统中，用户可以直接控制对象的各种参数，系统也可向用户反馈信息。虚拟现实系统中的人机交互是一种近乎自然的交互，使用者不仅可以利用电脑键盘、鼠标进行交互，而且能够通过特殊头盔、数据手套等传感设备进行交互，达到逼真的模拟实际操作情况的目的。因此，基于虚拟现实技术开发的GIS设备状态检测技术数字仿真系统无疑具备了独特的优越性。

通过国内外查新结果表明：国内有企业开发过试验专业仿真培训课件，但属于硬件仿真内容，且课件数量、功能十分有限；国际上有仿真培训课件的相关报道，但是集中在大学教

学培训和发电厂、电网企业的变电站、线路虚拟场景及倒闸操作培训等运行领域，在GIS带电局部放电检测技术领域以及其他带电状态检测技术领域则没有任何这方面的技术成果、文章和专利的报道资料。本专利发明的“GIS超高频局部放电检测仿真系统”是世界上第一套基于虚拟现实技术的该项检测技术仿真系统，属于原创性成果。所开发的仿真系统，在世界上首次实现了该项检测技术的计算机网络技能培训与实操考评并可用于技能竞赛，弥补了该领域国际空白，项目成果鉴定为国际领先。该项研究为状态检测技术推广提供了有效培训工具，特别有助于培养考评人员的规范化操作水平。在国内电力行业，包括电厂、电网企业、大型用户变电站、高校及科研机构有大规模推广价值，是今后电力行业要重点推广的培训模式之一。

3.2 一种具有防盗报警功能的变电站巡检机器人

目前，机器人应用的领域越来越普及，在现实生活中、工作中许多人无法进入的领域，机器人显示出无可比拟的优势。变电站巡检机器人可以在变电站辅助或替代人工进行变电站设备的巡检。该技术已经在220 kV以上电压等级的变电站得到一定的推广。但是由于220 kV以上电压等级的变电站多位于野外或人口稀少的城市郊区，而且面积较大。变电站虽然有一些安全防护设施，但是经常有设施被盗情况。变电站巡检机器人是采用高精尖科技的集成设备，价格昂贵，变电站巡检机器人或者零部件如果丢失，变电站的各项设备状态检测就不能进行，损失会比较严重。该项研究的目的是为克服上述现有技术的不足，提供一种具有防盗报警功能的变电站巡检机器人，该变电站巡检机器人能够远程报警，具有较好的防盗功能。是一种具有防盗报警功能的变电站巡检机器人，包括变电站巡检机器人移动平台。移动平台上设有防盗报警系统，防盗报警系统包括防盗控制器、振动传感器、防撬机构、外壳打开传感器、报警远传设备和报警器，振动传感器

安装于巡检机器人本体上，且与防盗控制器连接；防撬机构用来连接巡检机器人本体和巡检机器人本体外部的外壳，所述外壳打开传感器安装于巡检机器人本体和所述外壳之间，且外壳打开传感器连接到防盗控制器上；报警远传设备和报警器均与防盗控制器相连。防盗控制器为以单片机或DSP为核心的电路控制板或者工控机，或者为变电站巡检机器人的主控计算机。防撬机构采用防拆卸螺栓，外壳打开传感器采用限位开关。报警远传设备采用无线方式，选用GSM/GPRS数据传输模块或者公用机器人无线传输通道。报警器选用声光报警器。

4 结束语

本文提出了可移动式输电线路防外力破坏系统的应用研究的主要技术内容，系统阐述了技术难点问题，并介绍了目前已实施的两项研究工作的具体成果，可为日后进一步开展可移动式输电线路防外力破坏系统的应用研究工作提供参考和支撑。

参考文献

[1] 黄振宁, 冯璨, 杨波, 等. 基于“互联网+”的输

电通道防外破管理[J]. 电力设备管理, 2018(8): 33-37.

[2] 王志钢, 孙友群, 矫立新, 等. 吉林电网220 kV 架空输电线路外力破坏故障研究[J]. 吉林电力, 2018, 46(4): 25-26, 30.

[3] 陈泽师, 邢波, 邱志新, 等. 可移动式输电线路的防外力破坏系统[J]. 集成电路应用, 2019, 36(1): 88-89.

[4] 刘郭圣, 曾懿辉, 张纪宾, 等. 输电线路防外力破坏智能监控系统的应用[J]. 广东电力, 2018, 31(4): 139-143.

[5] 陈泽师, 邱志新, 邢波, 等. 可移动式输电线路防外力破坏系统的研究[J]. 集成电路应用, 2018, 35(6): 55-56.

作者简介



陈泽师

陈泽师(1983—), 男, 工程师, 主要从事输电技术应用性研究方面的工作。

(收稿日期: 2020-03-20) **EA**