

特高压输电线路在线监测技术的应用

陈海波¹, 王成², 李俊峰³, 王常飞³, 徐国庆⁴

- (1. 国家电网公司特高压建设部, 北京市 西城区 100031; 2. 国网交流工程建设有限公司, 北京市 西城区 100032; 3. 河南超高压输变电运检公司, 河南省 郑州市 450051; 4. 河南送变电建设公司, 河南省 郑州市 450052)

Application of On-Line Monitoring Technologies for UHV AC Transmission Lines

CHEN Hai-bo¹, WANG Cheng², LI Jun-feng³, WANG Chang-fei³, XU Guo-qing⁴

- (1. UHV Construction Department of SGCC, Xicheng District, Beijing 100031, China; 2. State Grid AC Project Construction Co., Ltd., Xicheng District, Beijing 100032, China; 3. Henan EHV Power Transmission and Transformation Company, Zhengzhou 450051, Henan Province, China; 4. Henan Electric Power Transmission & Transformation Construction Company, Zhengzhou 450052, Henan Province, China)

ABSTRACT: As the first practical 1 000 kV AC power transmission demonstration pilot project in China, the 1 000 kV AC power transmission project from Southeast Shanxi via Nanyang to Jingmen possesses such features as high voltage grade, huge transmission capacity and long transmission distance, thus the real-time on-line monitoring is a necessary measure to ensure its secure, stable and reliable operation. In this paper the current on-line monitoring technologies for existing transmission lines, including the monitoring of transmission line ice-coating, conductor windage yaw, tower inclination, aeolian vibration of conductor and conductor galloping, are analyzed. The basic requirements and range of applying on-line monitoring technologies in UHV AC transmission lines are suggested and the functional requirement of on-line monitoring management platform are put forward.

KEY WORDS: UHV; transmission line; on-line monitoring; management platform

摘要: 特高压交流试验示范工程具有电压等级高、传输容量大、传输距离远等特点, 对其线路实施实时在线监控是保障特高压线路安全、稳定和可靠运行的必要措施。文章分析了现有输电线路在线监测技术, 包括覆冰监测、导线风偏监测、杆塔倾斜监测、导线微风振动监测、导线舞动监测等。提出了在线监测技术在特高压线路中应用的基本要求和范围, 并对在线监测管理平台提出了功能要求。

关键词: 特高压; 输电线路; 在线监测; 管理平台

0 引言

1 000 kV 晋东南—南阳—荆门特高压交流试验

示范工程具有电压等级高、传输容量大、传输距离远等特点, 在线实时监测对于保证特高压电网的安全、稳定、可靠运行具有十分重要的意义。

特高压交流试验示范工程线路全长 640 km, 经过山西、河南和湖北 3 省, 跨越黄河和汉江, 穿越多个煤矿采空区, 途经交通困难的太行山区、局部易舞区和微地形微气象区, 沿线地形气象复杂多样。因此, 应用在线监测技术对线路状态进行实时监控, 可以及早发现事故隐患并及时予以排除, 使线路始终以良好的状态运行^[1-4]。

1 输电线路在线监测技术

1.1 概述

对输电线路在线监测技术的研究主要受 2 个技术因素制约, 一是线路上监测装置的电源问题, 二是监测数据的传输通信问题^[5-7]。随着传感器技术、电子技术和无线通信技术的发展, 开发出了多种输电线路在线监测装置, 例如: 输电线路覆冰在线监测系统、输电线路杆塔倾斜监控系统、输电线路导线舞动监测系统等。

1.2 输电线路覆冰在线监测

输电线路覆冰在线监测系统实时监测导线覆冰情况, 依托后台诊断分析系统对监测数据进行分析, 实现对线路冰害事故的提前预测, 并及时向运行管理人员发送报警信息, 有效减少线路冰闪、舞动、断线、倒塔等事故的发生。

输电线路覆冰在线监测系统有 2 种工作原理：

1) 通过监测线路拉力来反映覆冰状况。在绝缘子串上安装拉力传感器，监测导线覆冰后的受力状态，同时采集环境的温度、湿度、风速、风向等参数，将采集到的数据传输到后方监控中心，经数据计算及理论修正，给出线路冰情预报，及时给出除冰预警^[8]。2) 通过监测导线倾斜角、弧垂等参数来反映覆冰状况。采集导线倾斜角度、弧垂等参数，结合输电线路状态方程、线路参数和气象环境参数进行分析，计算导线覆冰后的比载、覆冰重量、覆冰平均厚度等覆冰技术参数，对覆冰的危险等级做出判定，并及时给出除冰信息^[9-10]。原理 1 将应力传感器串接在绝缘子上，其应用前提为应力传感器通过试验和安全性论证。原理 2 不需要改变线路参数、不会影响线路的运行安全。以上 2 种除冰方案均无法给出档内各段导线的覆冰形态，计算出的导线覆冰厚度是档内覆冰厚度均值。

1.3 输电线路气象和导线风偏在线监测

输电线路气象和导线风偏在线监测系统可为监测点所在线路设计和风偏校验提供实测依据；通过预警促使运行部门采取合理的风偏防范措施，协助运行部门查找放电故障点；通过检测中心对送电线路所经区域气象资料的观测、记录、收集，积累运行资料，完善风偏计算方法，同时准确地记录输电线路杆塔上最大瞬时风速、风压不均匀系数、强风下的导线运动轨迹等，为制定合理的设计标准提供技术数据。

输电线路气象和导线风偏在线监测系统通过在绝缘子串上安装角度测量系统，再结合线路本体数据及风速、温度等测量数据，综合计算出导线的风偏状况。

1.4 输电线路杆塔倾斜监测

煤矿采空区上部覆岩在重力、应力、自然力扰动作用下，易引发地面裂缝、岩体错位、崩塌、滑坡、地面塌陷等地质灾害，导致采空区杆塔倾斜、地基变形的情况时有发生，严重威胁输电线路的安全运行。

基于全球移动通信系统(global system for mobile communication, GSM)的杆塔倾斜监测报警装置可以实现对运行杆塔倾斜情况的实时监控和预警，已在 220 kV 及以下电压等级输电线路中得到应用，多次发现塔材变形、杆塔倾斜和基础位移

等缺陷，保障了电网的安全运行^[11]。考虑到特高压线路塔头无线电干扰严重、山区通信网络信号薄弱、基础与铁塔荷载大等特点，国家电网公司已组织开展了特高压 GSM 杆塔倾斜监测报警装置的研制工作，并已试验成功，为实现特高压线路运行杆塔倾斜情况的实时监控和预警提供了技术保障。

1.5 输电线路导线微风振动监测

微风振动是造成高压架空输电线路疲劳断股的主要原因。微风振动对架空线路造成的破坏是长期积累的，具有较强的隐蔽性，因此对其进行测量既能消除微风振动产生的隐患，又能为防振设计提供科学的依据。

微风振动监测系统通过导线振动监测仪记录导线与线夹最后接触点外一定距离处导线相对于线夹的弯曲振幅、频率和线路周围的风速、风向、气温、湿度等气象环境参数，结合导线本身力学性能资料，在线分析判断线路微风振动的水平和导线的疲劳寿命^[12-14]。

1.6 输电线路导线舞动监测

导线舞动会严重损害线路，造成金具断裂、导线落地，塔材、螺丝变形、折断，出现大面积停电。开展导线舞动在线监测技术的研究，加强对导线舞动的观测和记录工作，绘制出易舞线路和易舞区分布图，对指导线路防舞设计具有重要意义。

输电线路导线舞动监测原理为：根据档距和线路具体情况，在一档导线中安装适当数量的导线舞动监测仪，采集 3 个方向的加速度信息，依据对监测点加速度的计算分析及线路基本信息，分析舞动线路的舞动半波数及计算导线运行的轨迹相关参数，分析线路是否发生舞动危害，发出报警信息，避免相间放电、倒塔等事故的发生^[15]。

1.7 输电线路视频监控

在人口密集区、林区、开发区、交通繁忙区安装线路视频监视装置，实时监视、记录环境情况，及时发现危及线路安全运行的行为，避免造成事故。同时，可观察和记录线路覆冰、覆雪等过程^[16]。

输电线路视频监控系统集中了数字视频压缩技术、无线通信数据传输技术、新能源及低功耗应用技术，能实现对输电线路本体状况及其环境参数的全天候监测。但还存在无线数据传输量小、现场视频只能预设若干监控点而无法自由控制、无信号或信号微弱、少人地区监控设备数据传输和控制失

灵等问题。在 GPRS/CDMA 网络发展迅速, 3G 网络、高速数据无线传输网络即将开通的前提下, 使用无线网络实现对输电线路的远程监控功能, 已经成为一种切实可行和符合未来发展趋势的有效方法。

1.8 输电线路绝缘子污秽监测

1) 污秽度在线监测。一般采用停电方式测量绝缘子表面污秽度, 包括等值盐密和灰密。文献[2]基于通过光纤传感器光能损耗和光场分布与盐分含量的对应关系, 通过检测光能参数计算出传感器表面盐份, 进而得到绝缘子表面的盐密值。

2) 泄漏电流在线监测。绝缘子表面泄漏电流是电压、气候、污秽 3 要素的综合反映, 因此可将绝缘子表面泄漏电流作为监测绝缘子污秽程度的特征量。泄漏电流在线监测利用泄漏电流沿面形成的原理, 在绝缘子接地侧通过引流卡或电流传感器在线实时测量泄漏电流, 利用信号处理单元计算出一段时间内泄漏电流的各种统计值(如峰值平均值、峰值最大值或大电流脉冲数), 通过无线传输将数据传输到数据总站, 运用专家知识和自学习算法对各种统计值进行综合分析, 对绝缘子的积污状况做出评估和预测。泄漏电流的大小与所用绝缘子的类型(材料、伞型、盘径)、污秽成分、盐密、灰密、气象条件等多种因素有关, 也需要积累足够多的运行数据^[17]。

2 在线监测技术在特高压线路中的应用

2.1 基本要求

在线监测技术应用在特高压线路上具有必要性和可行性, 对保证特高压线路安全运行意义重大。为逐步规范在线监测系统的技术要求和为特高压线路在线监测系统的选型提供依据, 特高压线路在线监测装置应满足以下基本要求:

1) 不影响线路电气性能可靠性, 安装的装置应满足 1000 kV 特高压交流线路的电晕要求和无线电干扰要求。

2) 不影响线路机械性能可靠性, 安装的装置不能成为线路结构的薄弱点, 不能带来结构上的隐患。

3) 应充分考虑线路运行人员的高空作业环境, 安装方式简单、方便、可靠。

4) 应能在特高压线路上长期稳定运行, 能抵抗特高压线路电磁场, 适应各种恶劣气候, 无需外在电源, 免维护。

5) 数据传输方式及存储方式符合标准, 便于

在线监测数据统一管理。

2.2 应用范围

在特高压线路中应用在线监测技术应以加强线路安全稳定运行保障为主, 适当考虑积累运行数据的需要, 以突出重点、体现差异化为原则, 提出各种在线监测系统的应用范围:

1) 对重要交叉跨越(包括主干铁路、主干高速公路)、山区较长耐张段、覆冰较重地区(如太行山区)和易覆冰的微气象区等安装覆冰在线监测装置, 并结合输电线路视频监控装置使用, 以发挥更大作用。

2) 在微地形、微气象区及对导线风偏敏感地区安装气象和导线风偏装置, 积累导线风偏数据, 从气象条件、设计、运行等方面深入分析, 增强特高压输电线路抵御强风的能力。

3) 在煤矿采动影响区安装杆塔倾斜监测装置, 实时监控杆塔倾斜情况, 有效预防采空区塌陷诱发的线路事故。

4) 在大跨越线路上安装微风振动监测装置。

5) 在舞动易发区安装舞动监测装置, 积累导线舞动的运动曲线、波数等数据资料。

6) 在大跨越线路、重要跨越及特别偏僻的地区安装视频监测装置, 加强特殊地段线路的监控。

7) 必要时考虑在污秽特别严重的地区安装绝缘子污秽监测装置。积累某段特高压线路的特定污区数据, 建立特定线路的污秽数据库, 总结该段线路绝缘子的积污规律, 建立专家诊断系统, 实现正确有效判断特定线路绝缘污秽状态的目的。

2.3 在线监测管理平台

由于多种在线监测技术同时应用在特高压输电线路, 为节约投资, 充分、合理地利用监测数据, 开发在线监测管理平台, 对在线监测系统进行整合, 实现数据集中处理和综合应用分析显得十分重要。

在线监测管理平台能实现监测数据的集中处理、显示和控制: 1) 建立开放性的标准数据接口。可以采用 Web 服务的方式提供接口, 实现对不同厂家各种格式数据的统一接收。2) 建立标准化的数据库, 实现所有在线监测数据的集中存储、管理和应用。

3 结语

输电线路在线监测系统实现了线路运行状态的实时监控, 并通过监测管理平台的信息显示、统

计、分析,能直观地给出设备状况的辅助判断,运行人员也可以平台信息为基础进行人工分析,方便管理者提供决策和正确发布指令,及早发现事故隐患并及时予以排除,保障线路以良好的状态可靠运行。特高压交流试验示范工程共安装覆冰、杆塔倾斜、气象和风偏、视频、微风振动、舞动及绝缘子盐密共7类87套在线监测装置,结合特高压航测数据,可提供基于三维可视化技术的在线监测显示和控制平台,实现了关键监测点设备状况的在线查询,促进了特高压工程的运行维护水平的提升。

参考文献

- [1] 郑玉琪. 架空线路微风振动[M]. 北京: 水利电力出版社, 1987.
- [2] 何耀佳, 刘毅刚, 刘晓东, 等. 高压输变电设备绝缘子等值盐密的在线监测[J]. 电力设备, 2006, 7(12): 22-25.
He Yaojia, Liu Yigang, Liu Xiaodong, et al. The ESDD monitoring on line for transmission insulators[J]. Electrical Equipment, 2006, 7(12): 22-25 (in Chinese).
- [3] 严璋. 电气绝缘在线监测技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 1995.
- [4] 徐通训, 徐喜佑. 电力设备防污闪技术[Z]. 北京: 能源部电力司, 1998.
- [5] 黄新波, 陈荣贵, 王孝敬, 等. 输电线路在线监测与故障诊断[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [6] 邹建明. 在线监测技术在电网中的应用[J]. 高电压技术, 2007, 33(8): 203-206.
Zou Jianming. Application on-line monitoring technology on power grid[J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(8): 203-206(in Chinese).
- [7] 黄新波, 孙钦东, 张冠军, 等. 在线监测和GIS用于输电线路管理系统[J]. 电网技术, 2007, 33(6): 118-122.
Huang Xinbo, Sun Qindong, Zhang Guanjun, et al. Transmission line operation and management system using online monitoring technologies and GIS[J]. Power System Technology, 2007, 33(6): 118-122 (in Chinese).
- [8] 黄新波, 孙钦东, 程荣贵, 等. 导线覆冰的力学分析和覆冰在线监测系统[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(14): 12-16.
Huang Xinbo, Sun Qindong, Cheng Ronggui, et al. Mechanical analysis on transmission line conductor icing and application of on-line monitoring system[J]. Automation of Electric Power systems, 2007, 31(14): 12-16 (in Chinese).
- [9] 刘和云, 周迪, 付俊萍, 等. 导线雨淞覆冰预测简单模型的研究[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(4): 44-47.
Liu Heyun, Zhou Di, Fu Junping, et al. A simple model for predicting glaze loads on wires[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21(4): 44-47 (in Chinese).
- [10] 王阳光, 尹项根, 游大海, 等. 基于无线传感器网络的电力设施冰灾实时监测与预警系统[J]. 电网技术, 2009, 33(7): 14-19.
Wang Yangguang, Yin Xianggen, You Dahai, et al. A real-time monitoring and warning system for electric power facilities icing disaster based on wireless sensor network[J]. Power System Technology, 2009, 33(7): 14-19(in Chinese).
- [11] 马维青. 输电线路铁塔倾斜智能监测系统研究[J]. 山西电力, 2008(5): 22-25.
Ma Weiqing. Study on inclination intelligent monitoring system of transmission line pylon[J]. Shanxi Electric Power, 2008, 22(2): 22-25 (in Chinese).
- [12] 王晓希. 特高压输电线路状态监测技术的应用[J]. 电网技术, 2007, 31(22): 7-11.
Wang Xiaoxi. Application of condition monitoring technologies for UHVAC transmission line[J]. Power System Technology, 2007, 31(22): 7-11(in Chinese).
- [13] 王洪, 柳亦兵, 董玉明, 等. 架空线路导线疲劳试验振动幅值的研究[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(4): 112-128.
Wang Hong, Liu Yibing, Dong Yuming, et al. The study of conductor fatigue test amplitude of overhead lines[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(4): 112-128(in Chinese).
- [14] 王洪, 柳亦兵, 董玉明, 等. 基于短期振动测量数据的线路振动状态评估方法[J]. 电网技术, 2008, 32(12): 12-16.
Wang Hong, Liu Yibing, Dong Yuming, et al. A method to evaluate vibration state and lifetime of overhead transmission lines based on onsite short-term measured data of aeolian vibration[J]. Power System Technology, 2008, 32(12): 12-16(in Chinese).
- [15] 黄华勇, 陈正宇, 熊兰. 输电线路导线舞动远程监测系统[J]. 重庆电力高等专科学校学报, 2008, 13(2): 20-23.
Huang Huayong, Chen Zhengyu, Xiong Lan. Long distance monitoring system on galloping of conductor of transmission line[J]. Journal of Chongqing Electric Power College, 2008, 13(2): 20-23(in Chinese).
- [16] 黄新波, 孙钦东, 王小敬, 等. 输电线路危险点远程图像监控系统[J]. 高电压技术, 2007, 33(8): 7-9.
Huang Xinbo, Sun Qindong, Wang Xiaojing. Image remote-monitoring system of transmission lines dangerous items[J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(8): 7-9(in Chinese).
- [17] 张艳梅, 刘长树, 王永勤. 输电线路绝缘子污秽在线监测系统的应用[J]. 高电压技术, 2006, 32(3): 112-114.
Zhang Yanmei, Liu Changshu, Wang Yongqin. Application of on-line pollution monitoring system for insulators in HV transmission lines [J]. High Voltage Engineering, 2006, 32(3): 112-114(in Chinese).



陈海波

收稿日期: 2009-01-05。

作者简介:

陈海波(1976—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事特高压输电线路管理及科研工作;

王成(1963—), 男, 高级工程师, 主要从事特高压输电线路建设工作;

李俊峰(1972—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事特高压线路运行关键技术研究;

王常飞(1963—), 男, 工程师, 主要从事特高压

线路运行关键技术研究;

徐国庆(1972—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事特高压输电线路建设工作。

(见习编辑 蒋毅恒)