

500 kV 变电站地表缓慢沉降监测技术研究及应用

韩晓言¹, 卜祥航²

(1. 国网四川省电力公司, 四川 成都 610041;

2. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610072)

摘要: 为实现多模式地表缓慢沉降监测技术并提高监测预警的成功率, 论述了基于 INSAR 遥感监测、光纤传感监测和地质雷达地表无损监测等监测技术的研究及应用。以四川省甘孜州某 500 kV 变电站地面沉降为例, 结合实地野外调查, 对空间监测数据进行效果分析, 验证了此监测方法的可行性和准确性。

关键词: 地面沉降; 光纤传感; 空间监测数据; 地质雷达

Abstract: In order to realize the multi-mode monitoring technologies for transmission channel land subsidence and improve the success rate of monitoring and early warning, the space monitoring system is established, including INSAR remote sensing, optical fiber sensing and non-destructive surface monitoring with geological radar. Based on the ground subsidence of a 500 kV substation in Sichuan province, the feasibility and accuracy of the proposed monitoring system are verified by field investigation and the effect of monitoring system.

Key words: surface subsidence; fiber sensing; space monitoring data; geological radar

中图分类号: TM835 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2017)02-0046-05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.02.011

0 引言

四川地区作为中国重要的清洁能源送出基地, 且地质活动频繁, 大量的水电送出通道、特高压通道都不可避免地穿越脆弱的地质环境。因此地质灾害对输电通道和电网基础设施的威胁日益加剧, 对电网应对地质灾害提出了极大的挑战^[1-3]。

基于地质灾害的突发性和复杂性, 其监测预警研究目前仍是国际热点^[4-6]。国外采用遥感、GPS 卫星定位技术、气象雷达及微震技术等监测手段对滑坡和地形形变等地质灾害进行监测, 以实现地质灾害的长期、中期和短期的预报^[7-8]。国内虽起步较晚, 但是现代测量技术、信息技术、计算机技术特别是 3S 技术集成及其他相关领域的高速发展为地质灾害监测预警系统提供了先进的技术支撑^[7-11], 同样也运用到四川电网的防灾减灾预警工作中。文献[7]利用 3S 技术集成分析了丹巴康定输电走廊地质灾害遥感特征及预警对策; 文献[12]利用光纤传感器和 GPRS 分析了四川某输电走廊滑坡的变形特征。然而前人的研究中监测数据种类单一, 无法实现监测数据的相互验证, 从而无法获得经济性与

准确性兼具的输电走廊地质灾害监测技术手段。

下面以某 500 kV 变电站地面沉降灾害作为案例分析, 通过野外实地调查, 结合 INSAR 遥感监测、光纤传感器传感监测和地质雷达的地表无损监测技术, 实现对目标区域和点位全面立体的持续监测。根据多种监测数据综合判断、互相验证, 提高地质灾害的预警成功率, 对地表缓慢沉降监测进行有效的早期预警, 从而对电网的安全可靠运行及社会经济的稳定发展提供巨大的保障。

1 地表缓慢沉降空间监测系统

1.1 INSAR 遥感监测技术

利用监测区域的高分辨率光学和 INSAR 遥感影像, 实现 SAR 图像滑坡和地形形变信息提取: 1) 利用 SAR 图像和极化分解方法提取输电通道以及附近区域的植被覆盖变化信息^[13], 给出植被分布图, 以此为基础再利用多极化 SAR 图像提取大规模滑坡信息, 见图 1; 2) 利用 SAR 图像和 D-INSAR 技术^[14], 提取输电通道缓慢地形形变信息, 给出地形形变速率, 从而判断发生地质灾害的可能性以及对输电设施的危害性, 见图 2。

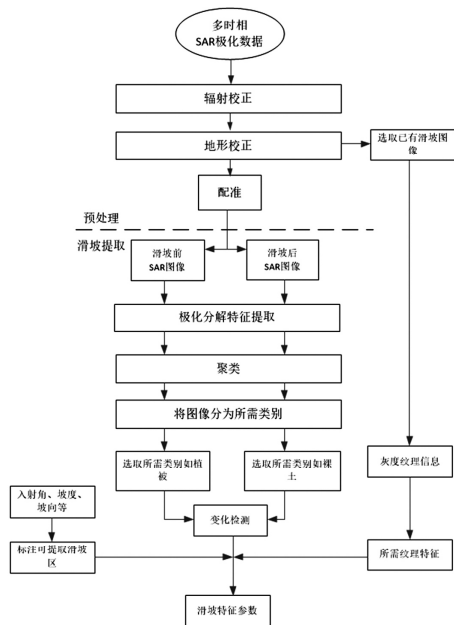


图1 大规模快速滑坡信息提取流程

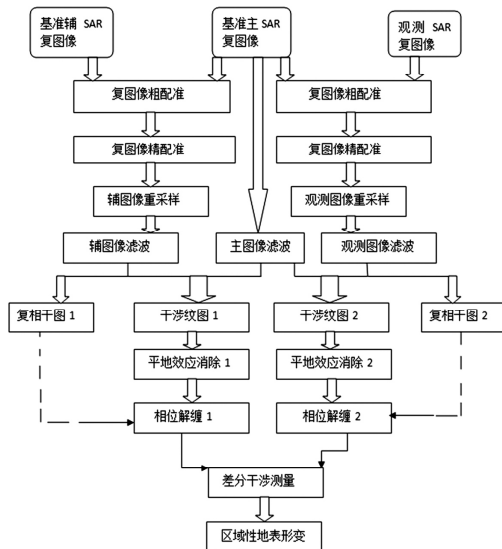


图2 缓慢滑坡信息提取流程

1.2 地质雷达监测技术

地质雷达利用宽频带短脉冲电磁波,由天线发射器发送至地下,经目标体或电性界面反射后由雷达天线器接收,并以电磁反射波时域曲线形式成像。通过对所接收的雷达信号进行处理和图像解译,达到探测异常的目的,如图3所示。利用地质雷达完成电网不同类型地质灾害特征勘查与原因分析,突破了以往地质灾害单纯依靠地面测量为主的技术缺陷。

1.3 光纤传感器监测技术

靠近变压器等强电磁场的附近,光纤类的方案能够抵御强烈的电磁干扰。各个传感器之间用通信光缆连接起来构成光信息传输通道,最终传输给杆

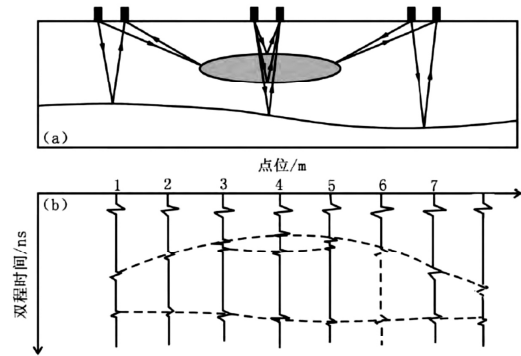


图3 地质雷达探测原理示意图

塔上光纤调制解调仪器。后者从中获取信息后,通过电力部门专用的信号或者采用无线的方式,将数据传回控制中心,传感监测系统流程图见图4。

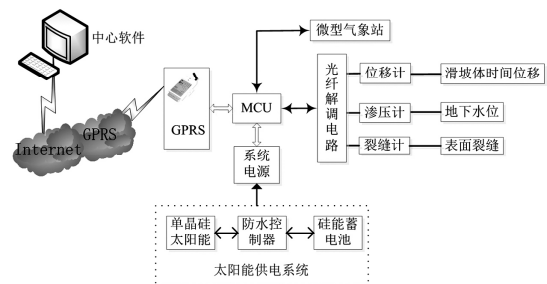


图4 光纤传感器监测技术示意图

2 监测系统实例分析

某500 kV变电站地面高程约1900 m,后缘高程2100 m左右,相对高差约200 m,属侵蚀剥蚀中高山峡谷。变电站所在区域处亚热带高原季风气候区,具有高原型气候的特点,主要受高空西风和西南季风影响,干湿季节分明。变电站位于一古滑坡堆积体上,堆积体前缘较陡约35°~45°,后缘为较为平缓约15°~30°。堆积体下游侧基岩露头已形成陡崖地形。变电站位置见图5。变电站承担着该地区多数中小型电站电力电量输出的任务,对于当地国民经济发展具有重要的意义。由于变电站位于一古滑坡堆积体上,虽然修建时在前缘进行了大面积填方,但从2015年7月开始变电站内部出现了多处沉降变形,导致地面裂缝、墙体开裂和杆塔倾斜。变电站光纤传感器布置图见图6。

2.1 变电站地裂缝发育特征及趋势分析

通过对500 kV变电站实地调查,结合卫星影像图,发现共发育6处沉降裂缝,其变形位置分布在电站环形路面的正北、北东、北西方向,裂缝分布见图7。

野外调查的裂缝详细信息如下:

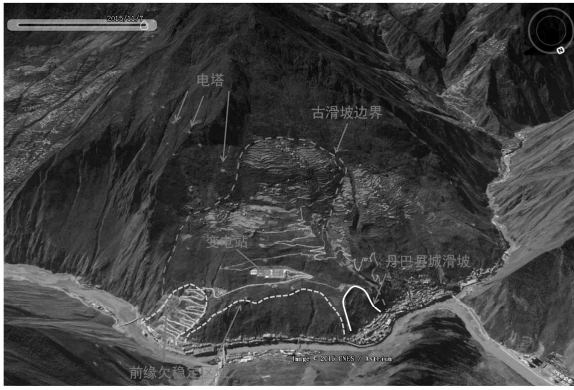
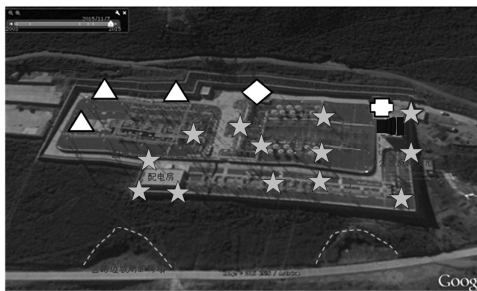


图5 变电站位置图



图例: \triangle 静力水准仪, 布置在高程基准点上; \square 雨量计
 \star 静力水准仪, 量程150mm \diamond 静力水准仪, 用作高程传递
 \blacksquare 光纤光栅调制解调仪及通信单元

图6 变电站沉降观测布点图



图7 500 kV 变电站沉降裂缝点位置卫星影像图

1号裂缝 2014年7月至8月发现 2015年7月至8月扩大到1 cm,至今无明显形变,宽度为1 cm、长度为4.5 m的东西向开裂。仅出现拉张裂缝,无明显沉降变形,裂缝旱季变形量较小,但雨季随着降雨产生的地表水渗入,有进一步变形的可能性。

2号裂缝 2013年12月发现(已封填),成南北向展布,长度为2.5 m,宽度为0.5 cm,有分支,分支角度30°。封填后无新的沉降变形,经过长期监测后,如果仍无变形,可以确定为稳定状态。

3号裂缝 2015年7月发现(已封填),裂缝与垂直方向成30°角,宽度约为0.5 cm,长度为2 m贯穿。封填后无新的沉降变形,过长期监测后,如果仍

无变形,可以确定为稳定状态。

4号裂缝 2015年7月发现墙体微裂,裂缝呈45°,宽度约为0.3 cm,长度为3 m,基本贯通。沉降变形不明显,有进一步变形的可能性。

5-1号、5-2号、5-3号裂缝 2015年7月发现,至2015年8月汛期以来不断扩展,均沉降变形严重。5号裂缝是目前全变电站规模最大、分布范围最广、变形量最大、变形速度最快的裂缝。未来,已出现的宽口裂缝极易使地表水入渗,裂缝加剧发展变形的可能性很大,裂缝规模见表1。

6号裂缝 2015年12月发现,挤出裂缝位移最大处为5 cm,自上而下长为2.5 m。挤压变形严重,存在牵引破坏的可能。

表1 500 kV 变电站地基5号裂缝规模统计

裂缝编号	裂缝规模
5-1号	沉降裂缝长度为4.5 m,沉降位移量平均为11 cm
5-2号	裂缝基本贯穿,长度为6.5 m,最大宽度为0.7 cm
5-3号	长度为6.5 m,裂缝最大宽度为6.5 cm,深度为30 cm,沉降量约为7 cm

通过野外调查分析可知,500 kV 变电站内沉降裂缝较为发育,在持续强降雨条件下,有可能会进一步发生沉降变形。

2.2 地质雷达监测效果分析

根据地质雷达探测解释成果(图8)可知:变电站由于是填方地基,下方地层结构较杂乱,无明显基岩界面,存在多外地下水富集区。推测变电站地面沉降的主因是填方导致的不均匀沉降,其中地下水的异常分布是最直接的诱因,如图9所示。

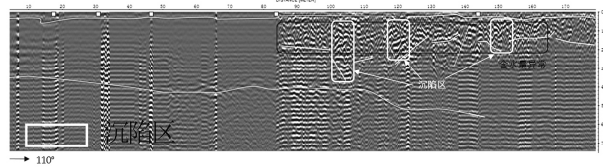


图8 地质雷达探测现象解释

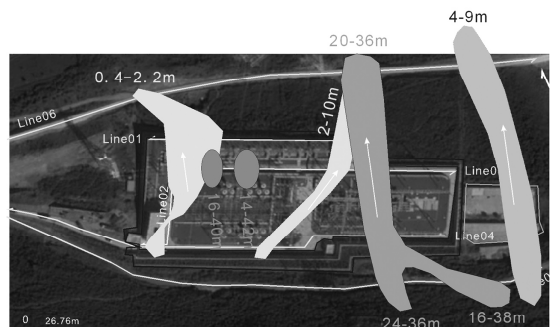


图9 变电站地下水分布示意图

2.3 基于极化分解技术的大规模滑坡提取效果分析

所选两幅 SAR 图像为 Radarsat - 2 全极化数据,分辨率为 $5.2\text{ m} \times 7.6\text{ m}$,获取时间分别为 2016 年 5 月 25 日和 2015 年 6 月 18 日。中心经纬度为 $101^{\circ}50'31''\text{E}$ 、 $30^{\circ}52'36''\text{N}$ 。其范围为左上角 $101^{\circ}40'21''\text{E}$ 、 $31^{\circ}1'51''\text{N}$; 右上角 $102^{\circ}0'40''\text{E}$ 、 $31^{\circ}1'51''\text{N}$; 左下角 $101^{\circ}40'21''\text{E}$ 、 $30^{\circ}43'23''\text{N}$; 右下角 $102^{\circ}0'40''\text{E}$ 、 $30^{\circ}43'23''\text{N}$ 。

本算法中图像经过了 7×7 多视处理以及地形校正,根据初始像素点分辨率,因此一个像素点大约为 $49\text{ m} \times 49\text{ m}$ 。为了便于显示,选择 VV 极化强度值作为背景灰度图。另外,由于变电站标记于图上为一个像素点,肉眼不宜区分,因此将变电站及其周围 3×3 像素点标记为圆形白点(图中方框内),白点中心像素代表变电站所处位置;其余白色区域为实际提取结果,是 5 月份至 6 月份在变电站附近可能发生的滑坡分布。根据图 10 可以看出,变电站远离滑坡区域,2016 年 5 月 25 日至 2015 年 6 月 18 日期间发生的滑坡对变电站不会构成危害。

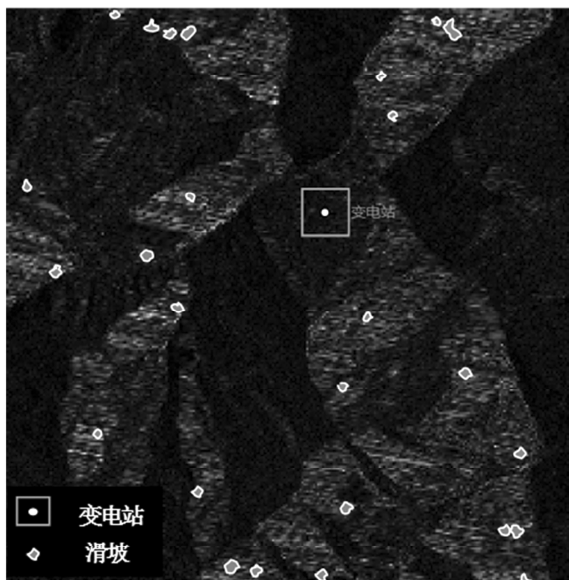


图 10 监测区域提取结果图

2.4 变电站区域缓慢形变信息提取效果分析

基于 DINSAR 技术利用多幅全极化数据对变电站附近区域地表形变信息进行了初步提取,采用的图像与大规模滑坡信息提取的图像相同。

变电站区域: -2 cm (符号为正,代表地表上升,反之则下降)。

根据缓慢形变提取结果可知,该区域都有不同程度的地形形变,但是形变量较小,铁塔和变电站都

比较安全,如果有强降水,则会导致形变速度加快,需要关注。

综上所述,500 kV 变电站地表缓慢沉降监测技术,确定了地面沉降的主要诱发因素是丰富的地下水,并提取了变电站区域地形形变参数和周边滑坡信息,建议在强降雨条件下,加强对变电站的监测预警工作。

3 结 论

地表缓慢沉降监测技术包括野外实地调查、IN-SAR 遥感监测技术、光纤传感器传感监测和地质雷达地表无损监测技术。主要解决的问题在于可根据多种监测数据综合判断、互相验证,而获得经济性与准确性兼具的监测系统。

以某 500 kV 变电站地面沉降为例,通过地质雷达监测技术,发现地面沉降的主要诱发因素是异常丰富的地下水。在强降雨条件下,地面沉降会有继续变形的可能性,这在野外调查和利用 SAR 影像提取的地形形变参数得到了验证。而周边地质环境对变电站的影响,通过基于极化分解技术的大规模滑坡信息提取,可知 2016 年 5 月 25 日至 2015 年 6 月 18 日期间发生的滑坡对变电站不会构成危害。上述案例分析,充分证明了地表缓慢沉降监测技术的可用性与可靠性。

参考文献

- [1] 严福章,李晓军. 电网工程滑坡滑带的工程地质性质[J]. 电力建设, 2010, 31(11): 43-46.
- [2] 张星海,贾志杰. 四川电网建设运维面临的挑战和解决措施[J]. 高压技术, 2016, 42(4): 1091-1099.
- [3] 王圣伟,邓创,刘友波,等. 四川电网环境地质灾害隐患统计分析对策[J]. 能源与环境, 2015(6): 43-46.
- [4] 黄露,谢忠,罗显刚. 地质灾害监测预警信息共享机制研究[J]. 测绘科学, 2016, 41(5): 55-59.
- [5] 冯振,李滨,赵超英,等. 三峡库区山区城镇重大地质灾害监测预警示范研究[J]. 地质力学学报, 2016(3): 685-694.
- [6] 徐政宏. 在线监测技术在地质灾害监测中的应用[J]. 地理空间信息, 2016, 14(7): 93-95.
- [7] 曹永兴,常鸣,唐川,等. 丹巴康定输电走廊滑坡泥石流遥感调查及预警对策[J]. 地质灾害与环境保护, 2013, 24(2): 8-15.

[8] Cao Y X, Chang M, Tang C, et al. Remote Sensing Interpretation and Early Warning System Designing of Geohazards along Transmission Lines - A Case Study of the Danba - Kangding 500 kV Double Circuit Transmission Line[J]. Advanced Materials Research, 2014, 986 - 987: 1647 - 1650.

[9] 何满潮. 滑坡地质灾害远程监测预报系统及其工程应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(6): 1081 - 1090.

[10] 刘传正. 中国地质灾害监测预警站网建设构想[J]. 地质通报, 2002, 21(12): 869 - 875.

[11] 王福涛, 王世新, 周艺, 等. 高分辨率多光谱的芦山地震次生地质灾害遥感监测与评估[J]. 光谱学与光谱分析, 2016, 36(1): 181 - 185.

(上接第30页)

从图8和图9可以明显看出桃乡变电站500 kV母线发生三相接地短路故障对联络线功率的影响明显要大于其他地点故障;另外,通过观察故障时川电外送的三大特高压直流输送的功率也可以发现,当桃乡变电站发生故障时,该功率波动值也较其他地点故障时更大,因主要研究交流联络线功率波动情况,故未列出该仿真结果。因此,四川电网运行过程中桃乡变电站500 kV母线及其附近输电线路应作为重点关注的对象。

4 结 语

基于四川电网及华北、华中电网PSASP详细仿真模型,研究了四川电网不同地点切机及三相接地短路两种扰动类型对川渝断面及华北、华中电网特高压联络线有功功率波动的影响,得出以下结论:

1) 四川电网切机扰动所导致的联络线功率波动最大变化量与切机量基本满足线性关系,且不同地点相同的切机量对联络线功率产生的影响差别不是很大,基于该线性关系可对联络线功率波动最大值进行估算。

2) 四川电网不同地点的母线三相接地短路故障对联络线功率产生的影响差别较大,严重时甚至导致功率反送现象。其中,桃乡变电站500 kV母线处故障造成的影响尤其严重,应对该母线密切关注。

参考文献

[1] 洪峰, 陈金富, 段献忠, 等. 弱互联大区电网联络线功率振荡研究[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(10):

[12] Cao Y X, Xue Z H, Zhang C H, et al. Design and Application of Online Landslide Monitoring System for Transmission Lines Corridor Based on the Optical Fiber Sensing Technology [J]. Applied Mechanics & Materials, 2014, 556 - 562: 3160 - 3163.

[13] 牛朝阳, 马德宝, 张向峰. SAR目标极化分解方法研究[J]. 微计算机信息, 2005(23): 98 - 100.

[14] 于晶涛, 陈鹰. D-InSAR监测地面沉降研究[C]. 城市建设与生态环境监测遥感技术应用交流会 2002.

作者简介:

韩晓言(1965), 博士、高级工程师, 研究方向为电力系统运行和控制、智能电网技术。

卜祥航(1987), 博士, 主要从事输电线路地震地质灾害与抗震减灾技术研究。(收稿日期: 2017-03-03)

46 - 51.

[2] 陈磊, 刘辉, 闵勇, 等. 两区域互联系统联络线功率波动理论分析[J]. 电网技术, 2011, 35(10): 53 - 58.

[3] 赵红生, 刘源, 陈伟彪, 等. 互联电力系统联络线功率波动机理及其扰动概率分析[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(14): 1 - 9.

[4] 刘巨, 孙海顺, 刘子全, 等. 华中 - 华北交流同步电网简化等值建模分析[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(6): 38 - 42.

[5] 汤蕾, 沈沉, 王志文, 等. 基于端口供给能量的特高压电网扰动冲击传播机理分析[J]. 高电压技术, 2015, 41(3): 824 - 831.

[6] 刘巨, 孙海顺, 文劲宇, 等. 交流互联电网中大扰动对联络线的冲击特性分析方法[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(21): 17 - 21.

[7] 云雷, 刘涤尘, 廖清芬, 等. 基于功率分布法分析和控制区间联络线功率振荡[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(10): 7 - 13.

[8] 屠竞哲, 杨莉, 黄涌, 等. 直流闭锁引发交流联络线功率波动的机理以及峰值计算[J]. 电力系统自动化设备, 2013, 33(1): 12 - 17.

[9] 何剑, 张健, 郭强, 等. 直流换相失败冲击下的两区域交流联络线功率波动峰值计算[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(4): 804 - 810.

[10] 王康, 兰洲, 甘德强, 等. 基于超导储能装置的联络线功率控制[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(8): 5 - 9.

[11] 孙建波, 赵娴, 李大虎, 等. 利用储能抑制互联电力系统联络线功率振荡的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(17): 10 - 17.

作者简介:

张鹏(1985), 博士, 主要研究方向为电力系统稳定性分析与监测, 交直流电网相互影响研究;

孙永超(1991), 硕士, 主要研究方向为直流输电及配网研究。(收稿日期: 2016-11-30)