

电网滑坡隐患多域早期识别技术及应用

卜祥航,曹永兴,吴 驰

(国网四川省电力公司电力科学研究院,四川 成都 610041)

摘要:以四川电网为例,电网滑坡隐患具有点多面广、隐蔽性强等特点,传统的人工排查显得势单力薄,无法满足山区电网大范围滑坡隐患识别、滑坡变形分析的要求和精度。文中提出以卫星遥感、无人机遥感和地面调查为载体,发挥多域技术手段优势,包括卫星遥感覆盖范围广、重复观测能力强,空基遥感机动能力强、分辨率高等优势,实现“普查”“详查”和“调查”多维度手段解决“如何从源头上识别电网滑坡隐患”的难点。以某500 kV架空输电线路昭觉区域为研究对象,成功开展了基于“三查”技术体系的架空输电线路滑坡隐患早期识别。

关键词:电网滑坡;早期识别;“三查”体系

中图分类号:P 642 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-6954(2022)04-0051-04

DOI:10.16527/j.issn.1003-6954.20220410

Multiple-domain Early Detection Technology and Its Application to Potential Landslide in Power Grid

BU Xianghang, CAO Yongxing, WU Chi

(State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract: Taking Sichuan power grid for example, the potential landslides in power grid covers a wide range and is hard to be detected. The traditional manual investigation is weak, which cannot meet the requirements and accuracy of potential landslide detection and landslide deformation analysis in a wide mountainous area. Satellite remote sensing, unmanned aerial vehicle (UAV) remote sensing and ground survey technology are proposed to be carriers, and it will bring into full play the advantages of multiple-domain technology, including the wide coverage and strong repetitive observation ability of satellite remote sensing, and strong maneuverability and high resolution of UAV remote sensing, so as to realize the multidimensional means such as "general investigation", "detailed assessments" and "investigation", which solves the difficulties of detecting potential landslide from the source. Taking a certain 500 kV overhead transmission as research object, the early detection of potential landslide is successfully carried out based on an integrated space-air-ground investigation system.

Key words: landslide in power grid engineering; early detection; space-air-ground investigation system

0 引 言

国际能源电力设施互联互通的合作进程,促进了电力工程建设发展。输电线路穿越地理环境多样、地质条件恶劣等区域,面临着崩滑等地质灾害分布广、防范难度大等挑战^[1]。以四川省为例,电网滑坡分布特征为:1)输电线路长约70 000 km,走廊空间地形地质环境脆弱,滑坡点多面广,植被覆盖隐

蔽性强,已建立台账地质灾害点近4000处;2)汶川地震后,“崩滑-碎屑流-堰塞湖-溃决”链式灾害突显,如2018年“10·10”金沙江白格大滑坡堰塞体泄洪和2018年“12·9”叙永大滑坡不同程度地造成多条10 kV线路停运、断线,共9000余户停电;3)四川省地跨中国二、三级地形台阶,地形高差悬殊,输电线路穿越高海拔、高寒或无人区(人不能至)的滑坡点难以观测。针对架空输电线路滑坡空间发育分布的不确定性和隐蔽性,传统的人工排查显得势单力薄,传统手段很难提前发现此类灾害隐患。推进架空输电线路滑坡隐患早期识别,是防范

化解重特大地质灾害安全风险的关键。

国际上已利用不同类型传感器,搭载不同信息获取平台对滑坡识别及监测预警,国内也多次提出“从注重灾后救助向注重灾前预防转变”,多次强调“发现隐患、监测隐患”。在地质领域,国内外研究人员结合卫星遥感、无人机等技术,开展了地质灾害早期识别及变形特征分析^[2-8],但合成孔径雷达干涉测量(interferometric synthetic aperture radar, InSAR)技术在获取区域地表形变时间维上的演化情况具有局限性,无人机摄影测量技术与机载激光雷达(light detection and ranging, LiDAR)技术,无法实现大范围连续跟踪微小形变特征。在电力领域,文献[9]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[10]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。然而所运用的手段较为单一,无法满足山区电网大范围滑坡隐患识别、滑坡变形分析的要求和精度,亟需可靠有效的地质灾害隐患早期识别、调查和监测预警方法。

卫星遥感覆盖范围广,重复观测能力强,适合对大范围灾害孕灾环境开展全天时全天候的大范围普查识别;空基遥感机动能力强,分辨率高,适合对重点区域进行变形特征详查识别;地面调查适合采集重点区域地质特征因素。下面以卫星遥感、无人机遥感和地面调查为载体,利用多域立体识别手段,构建“大范围普查”“重点详查”“地面核查”技术体系(以下简称“三查”技术体系),对电网滑坡隐患开展全方位、全链条的早期识别。

1 “三查”技术体系构建

“三查”技术体系总体思路是:利用多域立体式隐患识别技术手段,对电网目标区域和点位进行持续普查和详查;通过地面调查隐患点的特征等的分析和验证,提出相应的措施及建议,获得区域尺度、场地尺度兼具的电网地质灾害隐患早期识别技术手段。多域“三查”技术体系及空间维度如图1所示。

不同空间维度技术手段需要相互配合。现有的卫星系统可以缩短重访周期,虽覆盖范围广,可以监测孕灾环境、地表覆被变化等,但如果不与低空和地面传感器相互配合使用,难以发现重大滑坡灾害发生过程中相互关联的各种因素的精细内容,对结构

复杂、影响因素众多、快速变化的灾害只能观测到结果,而不能有效地分析成因,难以跟踪事件的过程从而造成真实性检验和预测变化趋势的缺失。基于上述因素,可充分利用天基遥感、空基和地面调查的技术优势,结合隐患对象的空间维度,构建基于“三查”技术体系的立体式隐患识别方法。

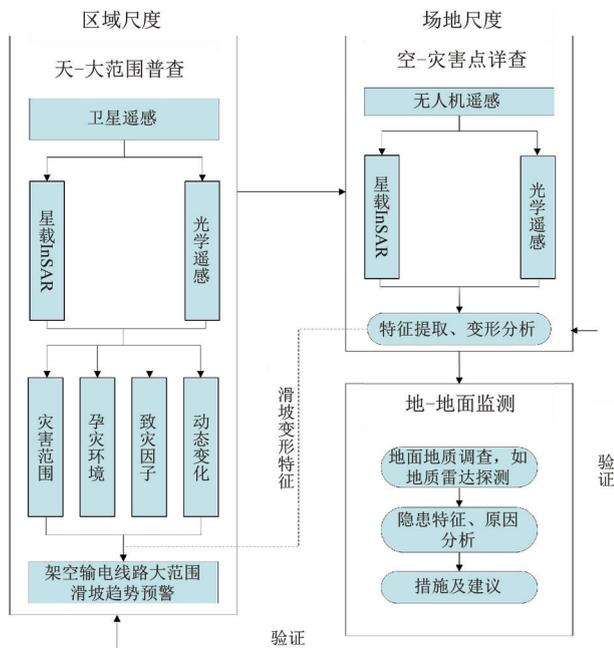


图1 多域“三查”技术体系及空间维度

2 “三查”体系内容及应用

2.1 电网大范围滑坡隐患普查

基于卫星遥感技术,建立电网滑坡地质灾害判别准则,探测电网大范围地表形变,给出大范围滑坡隐患普查和趋势预警,筛选出变形重点区域。

所提方法利用卫星差分合成孔径雷达干涉测量(differential interferometric synthetic aperture radar, D-InSAR)技术,通过某500 kV架空输电线路昭觉区域不同时相的升降轨雷达影像消除几何畸变引起的探测盲点,利用重复轨道观测获取的多时相雷达数据,时序差分干涉测量高精度提取可疑地质灾害形变信息,反演可疑地质灾害地表形变平均速率和时间序列形变信息。订购了加拿大的Radarsat-2卫星SAR图像5幅,全极化模式,分辨率为4 m×5 m,覆盖范围为25 km×25 km,时间为某年5月25日至8月26日,每隔24天一幅,共5幅。

昭觉区域地形形变提取结果如图2—图5所示。

根据观测区域的形变结果以及输电铁塔经纬度,可以判断 282 号、275 号和 355 号铁塔周边也存在两处滑坡隐患点,但距离较远对铁塔未构成威胁。313 号铁塔所在区域在 5 月 22 日至 8 月 26 日期间地表形变速率为 -0.3 cm (负号代表地形下降),因此可估算出从 5 月至 9 月 313 号铁塔区域地表下降约为 -1.2 cm 。最后,锁定 313 号铁塔滑坡隐患点为重点分析对象。

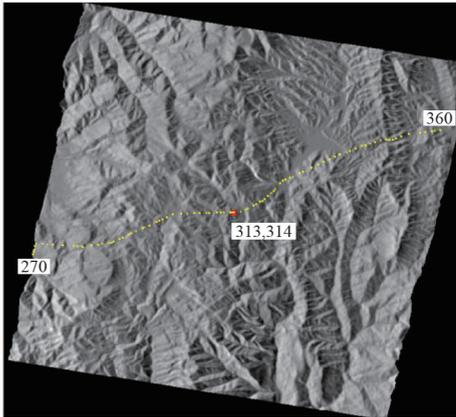


图 2 SAR 图像上观测区域处位置



图 3 高精度光学图像

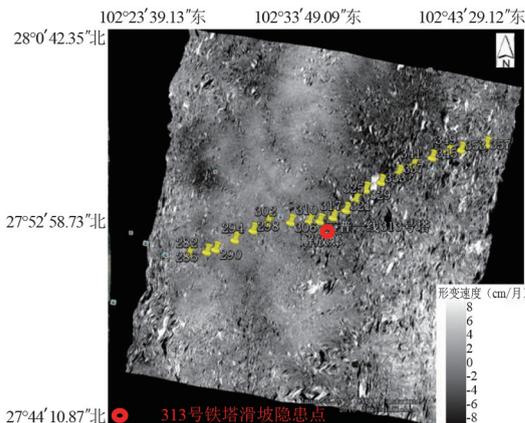


图 4 5 月 25 日—8 月 29 日地表垂直形变速率

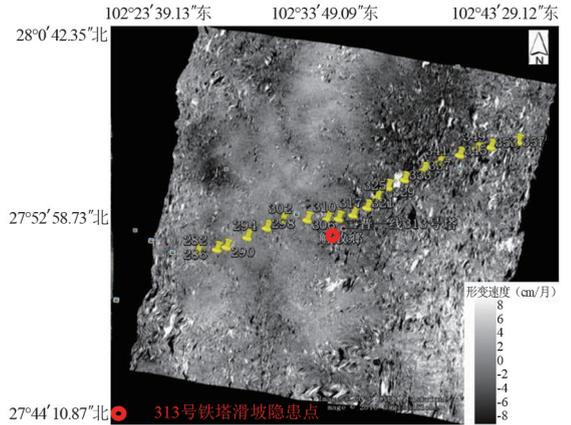


图 5 5 月 25 日—8 月 29 日地表水平形变速率

2.2 电网重点滑坡隐患点详查

基于无人机数字摄影测量、机载 LiDAR 技术进行灾害地形变特征的早期识别与成灾前兆信息的快速捕获等关键技术,研发机载 LiDAR 影像和无人机数字摄影测量,进行重点疑似区域的地质灾害隐患详查,初步确定地质灾害隐患点。若研究区域植被较少,可仅开展无人机低空摄影测量,实现无人机实景三维模型的解译;若植被茂密、遮挡严重,则采用机载 LiDAR 剔除植被覆盖,开展地表微形变信息的定量提取,如体积方量几何尺寸测量、地质分区、形变特征等。

研究区滑坡特征如下:313 号—314 号铁塔位滑坡位于昭觉县解放沟乡,坐标位置为 $N 27^{\circ}52'26''$ 、 $E 102^{\circ}33'51''$,地貌单元为中山地貌,以构造作用为主。出露地层岩性以褐灰色紫色砾岩为主,夹有灰色、灰黑色砂岩、泥岩,局部含薄煤层和炭质泥岩,基岩产状近水平 $93^{\circ} \angle 3^{\circ} \sim 8^{\circ}$ 。滑坡后缘边界呈“圈椅”状,滑坡壁坡角为 52° 左右,地表坡度为 $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$,上缓下陡,主滑方向为 52° ,纵向长约 52 m ,前缘宽约 70 m ,后缘与前缘高差约 18 m ,堆积厚度为 $4.0 \sim 8.0\text{ m}$,堆积方量约 $(1.5 \sim 3.0) \times 10^4\text{ m}^3$ 。

利用无人飞机航测技术采集 313 号铁塔滑坡隐患点的三维影像,可见 313 号铁塔下方滑坡边界较清晰,滑坡变形迹象明显,局部变形强烈,可以初步判定该滑坡目前正处于蠕滑变形阶段,滑坡特征分析如图 6 所示,对 313 号铁塔的安全运营有直接威胁。从影像上可以看出,在 313 号铁塔下方已经修建布设挡墙和斜坡下部构锚索,在坡脚位置沿公路已修建抗滑挡土墙。利用无人机遥感技术,初步识别出 313 号铁塔滑坡边界特征及变形迹象,验证了锁定架空输电线路滑坡隐患重点点位的准确性。



图 6 313 号铁塔滑坡区域无人机三维影像

2.3 电网重点滑坡隐患地面调查

对重点滑坡区域开展地面调查,如利用地质雷达探测技术,紧密结合现代遥感观测解译成果,掌握地质结构组成、形成机制、变形特征及稳定性状态等精细化识别。

所提方法利用地质雷达探测技术和人工现场勘查,结合现代遥感解译成果,掌握 313 号铁塔滑坡变形特征、破坏原因,提出相应的防治措施。从而最后验证“三查”早期识别技术体系的可行性。

根据野外调查,坡体周边地下水出露,313 号铁塔滑坡体上部有次级滑坡发育,上部挡土墙有较大的贯穿裂缝发育,整个挡墙裂缝发育且贯穿,裂缝宽度较大。其主要原因是墙后次级滑坡沿主滑方向下滑,挤压挡土墙,产生墙体不均匀沉降裂缝及下部的横向挤压裂缝。

利用地质雷达探测 313 号铁塔滑坡内部结构及滑坡范围,如图 7 所示。探测结果显示地层基覆交界面清晰,已滑动区域部分地下存在大量的拉张裂

缝,部分区域可以探测到滑面,地下水存在局部富集之处。根据探测结果,确定了滑坡性质为牵引式滑坡,下方坡脚的开挖带来上方坡体的失稳并逐级上传。

根据上述研究成果,利用光纤传感技术,目前已在该滑坡体上布设 15 个光纤传感器,包括裂缝、倾斜、降雨量等传感器,对 313 号铁塔倾斜、坡体变形和降雨量进行在线监测。

3 结 论

国际能源电力设施互联互通的合作进程,促进了电力工程的建设发展,输电线路势必穿越地理环境多样、地质条件恶劣等区域。所提方法分析了四川电网地质灾害分布特点,引进了先进遥感技术,拟重点解决“如何从源头上识别电网滑坡隐患”这个难点,并得出以下认识及思考:

1) 四川电网输电线路线性分布广泛且穿越高山、高寒、地震带等地质脆弱区域,四川电网地质灾害分布呈现出点多面广、隐蔽性强的特点,且链式灾害对输电线路的影响突显。

2) 卫星遥感技术应用于电网地质灾害隐患的识别中,其主要优势表现在对电网区域大范围扫描普查,但光学遥感易受天气影响,而 InSAR 受复杂地质和植被影响较大,且机动性都不强。电网灾害识别需要全方位的信息,需配合空基遥感使用,提高识别对象的分辨率和时效性,建立电网地质灾害隐患早期识别“三查”技术多域协同指挥模式。

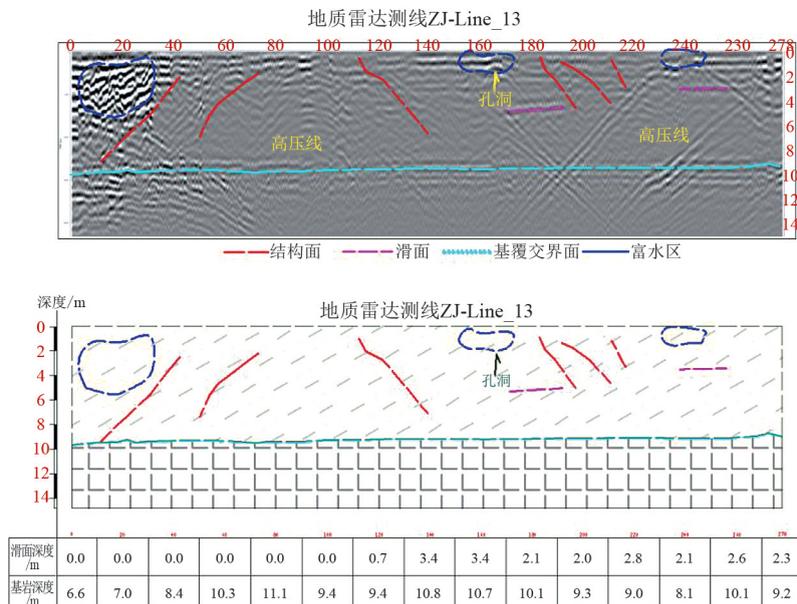


图 7 313 号铁塔基滑坡地质雷达探测剖面与解释图

(下转第 72 页)

例测试情况表明,在现场台区用户较多时,分布式辨识模式的处理性能更佳,且出现抄读失败和辨识失败的情况较少,验证了所提方案的可行性。所提方案辨识户变关系仅利用了低压台区用户电信号的工频电压特征,如何综合利用工频周期特征、工频频率特征提高辨识的准确率值得进一步研究。

参考文献

- [1] 蔡永智,唐捷,阙华坤,等.基于电压集群特性分析的台区户变关系校验方法[J].广东电力,2021,34(8):50-60.
- [2] 梁捷,梁广明,黄水莲.基于 LSSVM 的用户异常用电行为辨识研究[J].青海电力,2021,40(2):27-31.
- [3] 李彩霞.基于 HPLC 通信模块的智能电表深化应用[J].电子技术与软件工程,2021(9):205-206.
- [4] 潘明明,田世明,吴博,等.基于智能电表数据的台区识别与窃电检测方法研究[J].智慧电力,2017,45(12):80-84.

- [5] 邱志辉,伍栋文,刘水,等.基于 HPLC 通信模块的智能电表深化应用研究[J].江西电力,2018,42(10):25-29.
- [6] 余鹤,夏水斌,鄢烈奇,等.低压用电“台区识别技术”研究[J].通信与信息技术,2019,49(2):35-39.
- [7] 柯海波.基于 HPLC 在智能电网数据采集中的应用探讨[J].四川电力技术,2021,44(1):58-61.
- [8] 梁捷,梁广明.宽带电力线载波通信资源优化调度方案分析[J].内蒙古电力技术,2020,38(5):9-13.
- [9] 梁捷.计量自动化系统上行和载波通信联合测试研究[J].云南电力技术,2019,47(2):84-87.
- [10] 朱阳光,刘瑞敏,沈鑫,等.基于过零点检测的台区电压畸变研究[J].数据通信,2019,38(4):27-31.
- [11] 范杏元,周纯.兼容电力线载波通信的低压集抄研究[J].信息技术,2019,43(5):65-70.

作者简介:

梁捷(1987),男,硕士,工程师,主要从事电能计量管理方面的工作。

(收稿日期:2021-11-10)

(上接第 54 页)

3)利用“三查”技术,可发现人不能至或其他原因未列入台账的电网地质灾害隐患点,同时对列入台账的地质灾害隐患点能够进行及时跟踪监测,提高汛期前电网地质隐患点排查的精度和效率,锁定重点关注对象。仍需在电网防灾减灾事业中进一步推广,逐步建立全省至全国范围内电网地质灾害标志库。

4)“三查”技术也可运用到电网规划选址、施工阶段。遥感技术是电网防灾减灾重要技术手段,探求新的遥感数据处理技术,将人工智能引入遥感地质数据分析中,为构建坚强智能电网中电网规划技术领域提供技术支持。

参考文献

- [1] Chuang DENG, Yongxing CAO, Zhihang XUE, et al. A case study of landslide monitoring system for a transmission tower in Maoxian, Sichuan China[C]//2017 IEEE 9th International Conference on Communication Software and Networks, IEEE; 2017.
- [2] Marie COSTANTINI, Alessandro FERRETTI, Federico MINATI, et al. Analysis of surface deformations over the whole Italian territory by interferometric processing of ERS, Envisat and COSMO-SkyMed radar data[J]. Remote Sensing of Environment, 2017,202:250-275.
- [3] D Di MARTIRE, M PACI, P CONFUORTO, et al. A nation-wide system for landslide mapping and risk management in Italy: The Second Not-ordinary Plan of Environmental Remote Sensing[J].International Journal of Applied Earth

Observation and Geoinformation, 2017,63:143-157.

- [4] Jie DONG, Lu ZHANG, Menghua Li, et al. Measuring precursory movements of the recent Xinmo landslide in Mao County, China with Sentinel-1 and ALOS-2 PALSAR-2 datasets[J]. Landslides, 2018,15(8):135-144.
- [5] Emanuele INTRIERI, Federico RASPINI, Alfio FUMAGALLI, et al. The Maoxian landslide as seen from space: detecting precursors of failure with Sentinel-1 data[J]. Landslides, 2018,15:123-133.
- [6] 石菊松,吴树仁,石玲.遥感在滑坡灾害研究中的应用进展[J].地质评论,2008,54(4):505-514.
- [7] 戴岚欣,许强,范宣梅,等.2017年8月8日四川九寨沟地震诱发地质灾害空间分布规律及易发性评价初步研究[J].工程地质学报,25(4):1151-1164.
- [8] 曹永兴,邓鹤鸣,蔡炜,等.电力设施应对地震及其次生灾害的研究进展[J].高电压技术,2019,45(6):1962-1974.
- [9] 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(2):8-15.
- [10] Yong Xing CAO, Zhi Hang XUE, Chang Hua ZHANG, et al. Design and Application of Online Landslide Monitoring System for Transmission Lines Corridor Based on the Optical Fiber Sensing Technology[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 556-562:3160-3163.

作者简介:

卜祥航(1987),男,博士,高级工程师,从事输变电工程防灾减灾技术研究工作。(收稿日期:2021-11-05)