

改进跨平台 SAR 偏移量技术滑坡灾害多维长时间序列监测及早期预警

刘晓杰^{1,2*}, Tomás Roberto¹, 赵超英², 张勤²

1. 西班牙阿利坎特大学土木工程学院, 阿利坎特 03080;

2. 长安大学地质工程与测绘学院, 西安 710054;

*通讯作者, Email: 2018026010@chd.edu.cn

摘要 多维以及长时间序列形变监测对于滑坡隐患的早期预警及防灾减灾工作具有重要的意义。合成孔径雷达干涉测量 (SAR interferometry, InSAR) 方法在地表形变监测中具有独特的优势且已被广泛应用于监测小梯度变形滑坡, 然而其在大梯度滑坡形变监测中常常会失效。相反, SAR 偏移量技术在监测大梯度滑坡变形方面具有无可比拟的优势, 其可以同时监测斜距向与方位二维滑坡变形。然而现有 SAR 偏移量技术在高山/极高山区滑坡监测中仍存在一些局限性, 如: (1) 高山区剧烈的地形起伏严重削弱形变测量的精度; (2) 现有方法大都采用专家经验确定的固定窗口进行互相关计算; (3) 在跨平台 SAR 影像长时间序列 (> 10 年) 滑坡形变监测方面存在极大的挑战性; (4) 难以利用单一轨道的 SAR 影像计算滑坡三维变形。再者, 当前有较少的研究利用 SAR 观测进行滑坡早期预警。基于上述存在的问题, 本文提出了一种改进的跨平台时序 SAR 偏移量地表形变反演算法, 其不仅可以高精度监测二维、三维滑坡变形, 还可以基于跨平台 SAR 影像反演超过 10 年的滑坡运动位移时间序列。首先, 本文从三个方面对传统 SAR 偏移量方法流程进行了优化: (1) 利用正射校正操作去除地形起伏的影响; (2) 采用自适应匹配窗口进行互相关计算; (3) 基于大地测量控制网优化理论进行偏移对的组合及最优选取。其次, 基于跨平台 SAR 偏移量观测值建立稳健的数学模型来反演二维及三维长时间序列滑坡位移。在二维形变反演方程中引入 M 估计来抵抗粗差的影响, 顾及系数矩阵及观测值中可能同时存在误差, 采用整体最小二乘方法来建立三维形变反演方程。最后, 本文选取金沙江流域乌东德库区老菁边滑坡作为实验区域基于跨平台 ALOS-1 与 ALOS-2 SAR 影像来测试与验证提出的方法。研究成果表明所提出的方法在性能上远优于传统方法, 并基于所提出的方法反演获取了老菁边滑坡每一个像素的运动方向, 为精细尺度理解滑坡动力学特征提供了重要资料。在形变监测基础上本文进一步捕获并分析了滑坡加速运动特征, 基于三维长时间序列形变并结合岩土体物理模型进行了滑坡灾害早期预警及未来形变演化预测。

关键词: 滑坡, 多维形变, 形变预测, 早期预警, SAR 偏移量