

Sentinel-1A 数据应用在信息法地质模型的滑坡易发性分析

唐志文

江西理工大学土木与测绘工程学院, 江西赣州, 341000;

摘要: 滑坡是赣南地区最为严重的自然灾害之一, 多云多雨与地质复杂也对滑坡易发性的准确性与实时性提出了很高要求。结合差分干涉测量短基线集时序分析技术 (SBAS-INSAR) 以斜坡单元为对象, 选取 9 个影响因子, 基于信息量法与层次分析法进行了滑坡易发性分析, 同时与缺少微波雷达数据进行对比探讨在赣南区域特征下微波动态数据对于滑坡易发性的贡献, 以中国江西省寻乌县为例, 结果表明, 引入 SBAS-INSAR 处理后的地表形变作为影响因子后, 斜坡单元加权信息量模型 (S-WIV) 与斜坡单元信息量 (S-IV) 模型下的 ROC 曲线下的面积分别增长 1% 与 1.7%, 其中含有地表形变因子的 S-WIV 模型下的 ROC 曲线面积最大值为 71.8%, 因此本研究为赣南地区滑坡易发性结合微波数据的有效性提供一定参考, 在结合微波数据方式上也提供了一定的新想法。

关键字: 滑坡易发性; 斜坡单元; 加权层次分析; SBAS-INSAR; 地表形变; 赣南地区

DOI: 10.69979/3041-0673.25.09.051

引言

中国南方红壤丘陵地区, 地质复杂, 气候温暖湿润, 雨量充沛, 多云多雨, 加上人类活动导致滑坡等地质灾害频繁^[1]。滑坡是斜坡岩土体在重力及外界因素作用下表现的变形破坏过程和现象, 频繁的地质灾害严重的危害着百姓的生产生活, 因此有效的检测滑坡是预防的重点^[2]。但是由于南方丘陵地带地势结构复杂, 有着复杂的孕灾地质背景和诱发因素, 光学遥感在该地区具有一定的局限性, 缺乏有效的检测手段, 近些年我国发射大量 SAR 卫星, 为观测提供了可行性, 所以如何有效利用微波穿云透雾的特性进行滑坡易发性具有重大意义^[3]。

滑坡易发性有着多种方式, 在地理学进入定量研究时期, 滑坡易发性研究已经从简单的定性研究到精确的定量研究, 定性研究通常利于已有的滑坡编录为知识驱动, 定量研究则是利于数理模型为驱动^[4]。定量分析又分为统计分析与概率分析, 其中统计分析包括如刘海知研究的判别分析 (DA)、以及李光辉的信息量模型 (IV)、LR、SVM、ANN, 概率分析包括 CF、CP、WofE、PBDA^[5], 因为深度学习在研究区具有一定的局限性, 为了充分利于已有的滑坡历史数据, 便采用信息量法作为基本方法, 同时为了减少滑坡数据收录不完整造成的误差, 结合层次分析法进行决策分析。但是传统的滑坡易发性利用的是几年不变的静态数据, 随着数据的不断发展, 加入新的数据指标就显得尤为重要。

合成孔径雷达产生的厘米级地表变化数据就是不错的选择, 地表变化作为滑坡最直观的反映表现, 地表形变作为指标也能很好反映滑坡发生的可能性^[6, 7]。即使沉降变化不一定都是滑坡灾害导致的, 也能很好的作为空-天-地一体化滑坡筛查的重要一环^[8]。但鲜有结合微

波数据进行滑坡易发性分析。如何更为准确的结合两者特性显示十分重要, 可以利用 INSAR 数据识别出潜在的滑坡, 更新滑坡数据后进行滑坡易发性分析, 或者利用 INSAR 结果作为输入之一, 提取潜在滑坡数据, 但训练集准备耗时^[9]。INSAR 技术有很多, 简单分为 INSAR 与时序 INSAR^[10], 根据研究区的特性选择十分重要, 本文针对南方山地丘陵地区, 使用 SBAS-INSAR 技术, 将得到的地表形变作为易发性评价中的因子, 以斜坡单元作为滑坡的最小单元为研究对象, 将各因子统一到该单元, 然后经过信息量法与层次分析法得到滑坡易发性分析。

1 研究区与数据

寻乌县处在江西省东南部, 是江西赣州辖县, 处赣、闽、粤三省交界处, 地势呈周围高中级低态势, 海拔平均在 300~400 米之间, 其中丘陵面积高达总面积的 95%, 红壤面积高达全区总面积的 70%, 地质复杂, 主要有新元古代、震旦纪、寒武纪、白垩纪、第四纪地层。水系发达, 植被较为丰富, 且降水量充沛。

2 方法

2.1 方法概述

本研究的方法概述如图 1 所示, 先利用研究区域的 DEM 制作斜坡单元, 同时将收集数据转化为相应因子, 然后将高程、坡度、岩性、NDVI、降水、道路、水系转化为斜坡单元中特征值, 根据 WIV 与 IV 模型制作初始滑坡易发性图, 并通过 ROC 曲线检验, 然后将研究区 DEM 与 sentinel-1A 数据经过 SBAS-INSAR 步骤处理得到形变图, 将形变量的平均量统计到斜坡单元中作为地表形变因子, 加入初始数据制作滑坡易发性, 得到 ROC 曲线, 进行对比研究。

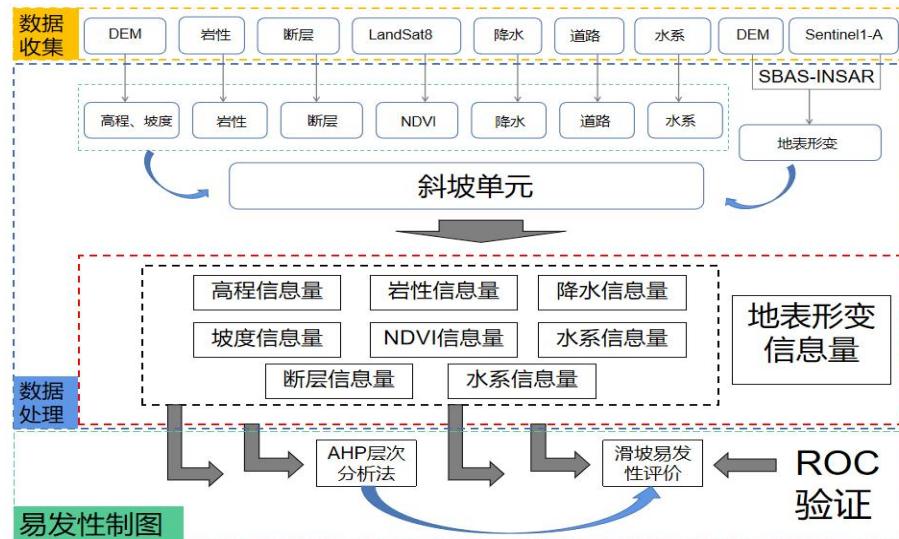


图 1 技术路线图

2.2 斜坡单元划分

滑坡的对象是地质体，采用网格作为最小单元不能正确反映滑坡体，不能将同一均质的地质体很好的划分，所以采用“水文法”来绘制斜坡单元，将同一均质地地质体的相关性联系起来，即利用 DEM 来提前山谷线与山脊线，最终生成斜坡单元。最终得到 1938 个斜坡单元。

2.3 SBAS-INSAR 技术

小基线集干涉测量是根据 InSAR 技术不断发展的一门技术，作为微波测量很好的避免南方多云多雨的特征，同时很好的解决了在南方丘陵地带由于植被较多导致的去相干信息，由于微波遥感的快速发展，大量 SAR 卫星的发射使得越来越多的 SAR 遥感影像可以研究处理，这些遥感影像集使得利用时序对于 SAR 数据进行处理变得可能，区别于其它的 SAR 处理，它是在时间序列上进行分析，利用研究区域的若干幅 SAR 影像，根据 SAR 数据上面的相位信息与振幅信息，去除失相干较大的像元，留下基本未失相干的像元，再通过一定的数学模型分析去除相位误差，得到高精度的地表形变量，时间序列解算方法也有很多种，小基线集是在保证整个相干性。其基本原理如下。

2.4 层次分析法

AHP 层次分析法可以将滑坡易发性这样复杂多因素问题分解成多目标的若干层次，较好的体现滑坡作用因素之间的互关联程度，主要方式将滑坡易发性作为目标层，然后将目标层分解为准则层和要素层，在某一准则层下通过相关专家文献资料采用 1-9 标度法构建矩阵，对该准则层下的因素进行两两对比，计算各滑坡要素层在该准则层的权重，最后将构建的矩阵进行一致性检验，

CR 为一致性比率，当 CR 值小于 0.1 则判断矩阵的一致性良好，通过检验。

2.5 信息量模型

采用信息量模型可以充分挖掘历史滑坡点数据的信息，信息量模型是在结合统计模型与信息论而产生的，也可以称为双变量统计模型，其核心思想是挖掘已发生地质灾害的区域的因素特性，根据其因素特性作为信息量反映地质灾害发生需要的因素“贡献率”。选取具有能影响滑坡灾害的相关程度低的一定数量的因素，统计灾害点单元因素中的“贡献率”作为信息量的大小反映的是滑坡灾害易发程度的概率这一定量指标。信息量值越大表示对滑坡的“贡献值”也越大，信息量的公式如下所示：

$$I(Y, x_1, x_2, \dots, x_n) = \ln \frac{P(Y, x_1, x_2, \dots, x_n)}{P(Y)} \quad (6)$$

式中 $I(Y, x_1, x_2, \dots, x_n)$ 代表影响滑坡因子 x_1, x_2, \dots, x_n 组合条件下的信息量值；

$P(Y, x_1, x_2, \dots, x_n)$ 代表各影响滑坡因子 x_1, x_2, \dots, x_n 指标组合条件下滑坡等地质灾害发生概率； $P(Y)$ 代表滑坡灾害发生概率。通常情况下，影响滑坡等地质灾害的因素较多，各指标的组合状态也比较多，故一般情况下可先对每个单因素指标信息量模型进行分步计算，再进行综合累加分析，其对应的信息量模型为：

$$I = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n \ln \frac{N_i / N}{A_i / A} \quad (7)$$

式中 I 代表研究区域 n 个影响因素组合条件下评价

单元的总信息量: I_i 代表研究区域因素 x_i 对滑坡灾害的信息量值; N_i 代表研究区域评价因素 X_i 内发生滑坡地质灾害的单元数; N 代表研究区域含有滑坡地质灾害分布的单元数之和; A_i 代表研究区域内含有评价因素 x_i 的单元数; A 代表研究区域内评价单元总数;

2.6 加权信息量模型

加权信息量模型是利用 AHP (层次分析法) 确定评价因子的权重, 结合信息量法得到各个因子的值, 加权信息量模型可以较好的消除信息量模型的确定权重的主观性的同时也能避免层次分析法中专家主观经验的缺点。

3 结果

3.1 SBAS-INSAR 结果

SABS-INSAR 操作参数需要与研究区特征相结合更为准确, 基线设置为 500 天。其它参数都为缺省值, 来

生成的连接图, 在经过干涉流工作的步骤后为下一步的轨道精炼与重去平准备, 这一步中需要注意 GCP 点位的选取尽量均匀分布在研究区域内的同时, 点位不宜过多也不宜过少, 本文选取 30 个点位, 之后便是两步最重要的形变速率的反演, 第一次为保证反演质量, 解缠的相干系数阈值设置为 0.25, 使用线性模型较为稳定。第二次为进行去除大气相干的低通相位, 消除误差, 其中精炼残余相位多项式次数选择参数为三次符合丘陵区域的特征。

3.2 易发性分区结果

在 GIS 平台下, 将坡度、高程、NDVI、岩性、断层、降水、水系、道路共八个影响因素构建 S-WIV 与 S-IV 模型, 同时加入地表形变的 S-WIV 与 S-IV 模型, 参考自然断点法作为研究区域分区的依据, 分为极高易发区、高易发区、中易发区、低易发区、极低易发区。得到易发性分区图 5 所示。

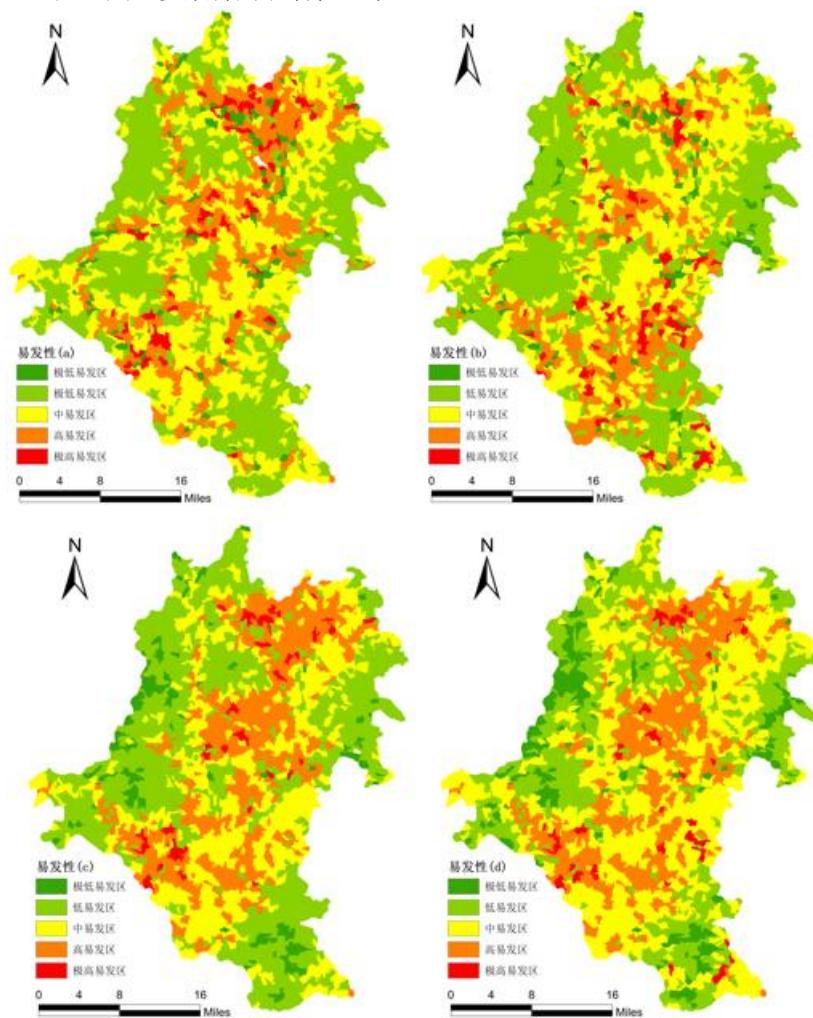


图 5 易发性图

注释：易发区（a）为S-WIV（a）模型下的易发性，易发区（b）为S-WIV（b）模型下的易发性，易发区（c）为S-IV（a）模型下的易发性，易发区（d）为S-IV（b）模型下的易发性。

3.3 精度验证

为了进一步验证引入动态数据会提高研究区的易发性的准确性与正确性，评价得到的研究区地质灾害易发性分区结果的精度，本文采用ROC曲线（受试者工作特征曲线）对模型评价精度进行了检验，即以ROC曲线下方面积（AUC）指标可用来判断模型评价结果的精度。AUC取值范围是0.5-1，值越高则说明模型精度更好。S-WIV（a）分别得到的AUC值为0.695, 0.708引入动态数据的，而引入动态数据的模型S-IV（b），S-WIV（b）分别得到的AUC值为0.712, 0.718，说明在引入动态数据地表形变的模型都有提高，评价精度分别提高1.7%，1%，说明在引入哨兵数据后S-IV（b），S-WIV（b）模型的有一定的正向作用，在南方丘陵区域的地质灾害易发性评价中具有较好的适应性。

4 结论

本文探索提高南方丘陵特征中滑坡易发性的可行性与准确性，利用两组实验，加入与不加地表形变数据的S-IV，S-WIV模型，来构建分析评价，利用ROC曲线来验证模型的准确度，同时对比局部地区的，具有地表形变因子的S-WIV模型具有良好的效果。具体的研究成果如下：

从易发性的变化上看引入动态因子的地表形变会增加滑坡易发性结果的时效性，更能突出地质潜在的地质作用影响下的滑坡易发性。

易发性较高的区域通常是缓坡，土层堆积较多且植被受到的破坏，受到人类扰动的因素较大而这一变化通常也能通过地表形变反映出来。道路附近也较为明显。地质结构发生了变化导致导致滑坡的不稳定性，较大的增加滑坡发生的概率。

参考文献

[1] 铁永波,徐勇,张勇,魏云杰,杨秀元,张泰丽,谭建民.南方山地丘陵区地质灾害调查工程主要进展与成

- 果[J].中国地质调查,2020,7(02):1-12. DOI:10.19388/j.zgdzdc.2020.02.01.
- [2] 许强,朱星,李为乐,董秀军,戴可人,蒋亚楠,陆会燕,郭晨.“天-空-地”协同滑坡监测技术进展[J].测绘学报,2022,51(07):1416-1436.
- [3] 邵芸,张茗,谢酬.地质灾害遥感综合监测现状与展望[J].地质与资源,2022,31(03):381-394. DOI:10.13686/j.cnki.dzyzy.2022.03.014.
- [4] Tyagi A, Tiwari R K, James N. A review on spatial, temporal and magnitude prediction of landslide hazard[J]. Journal of Asian Earth Sciences: X, 2022: 100099.
- [5] 刘海知,徐辉,包红军,徐为,闫旭峰,鲁恒,徐成鹏.机器学习分类算法在降雨型滑坡预报中的应用[J].应用气象学报,2022,33(03):282-292.
- [6] 葛大庆,戴可人,郭兆成,等.重大地质灾害隐患早期识别中综合遥感应用的思考与建议[J].武汉大学学报(信息科学版),2019,44(7): 949-956.
- [7] 陆会燕,李为乐,许强,董秀军,代聪,王栋.光学遥感与InSAR结合的金沙江白格滑坡上下游滑坡隐患早期识别[J].武汉大学学报(信息科学版),2019,44(09):1342-1354.
- [8] 许强,董秀军,李为乐.基于天-空-地一体化的重大地质灾害隐患早期识别与监测预警[J].武汉大学学报·信息科学版,2019,44(7): 957-966.
- [9] Dong J, Liao M, Xu Q, et al. Detection and Displacement Characterization of Landslides Using Multi-temporal Satellite SAR Interferometry: A Case Study of Danba County in the Dadu River Basin[J]. Engineering Geology, 2018, 240: 95-109.
- [10] Wasowski J, Bovenga F. Investigating landslides and unstable slopes with satellite multi-temporal interferometry: Current issues and future perspectives[J]. Engineering geology, 2014, 174: 103-138.

作者简介：唐志文（1999.01），男，汉族，江西南昌人，硕士研究生，江西理工大学土木与测绘工程学院，研究方向为环境遥感。