doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2023.02.025

基于GNSS的滑坡自动化监测应用分析

宿　林[1]，张　帅[1,2]
（1. 重庆交通大学 土木工程学院，重庆 400074；2. 广西空间信息与测绘重点实验室，广西 桂林 541000）

摘　要：随着自然灾害的频发，山区滑坡灾害也越来越频繁。受降水、地震以及人为因素的影响，重庆市某滑坡灾害严重，对人民的生命财产造成了极大的威胁。因此对传统的变形监测手段的缺陷以及基于GNSS的滑坡自动化监测的优势进行了探讨。以重庆市某滑坡体为例，采用GNSS进行自动化滑坡监测，具有全天时、高精度、高自动化、操作性高以及受约束条件少等优点，能够为滑坡稳定性判断和变形趋势预测提供更加可靠的监测数据。实验证明采用GNSS对滑坡进行自动化监测具有可行性，值得在滑坡监测应用中推广。

关键词：滑坡；GNSS；自动化监测
中图分类号：P258　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）02-0122-03

Application of Landslide Automatic Monitoring Based on GNSS

SU Lin[1], ZHANG Shuai[1,2]
(1. School of Civil Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;2. Guangxi Key Laboratory of Spatial Information and Surveying, Guilin 541000, China)

Abstract: In recent years, with frequent natural disasters, mountain landslide disaster is becoming more and more frequent. Influenced by precipitation, earthquakes and human factors, a landslide in Chongqing was seriously damaged, which caused a tremendous threat to people’s lives and property. In this paper, we discussed the defects of traditional deformation monitoring methods and the advantages of landslide automatic monitoring based on GNSS. Taking a landslide in Xiangjiapo for example, we used GNSS to monitor landslide automatically, which had the advantages of high precision, high automation and less constraint conditions, and could provide more reliable monitoring data for landslide stability judgment and deformation trend prediction. Therefore, automatic monitoring of landslide by GNSS is feasible and worthy of promotion in landslide monitoring application.

Key words: landslide, GNSS, automatic monitoring

近年来，受自然灾害和人为因素的影响，重庆市存在较大滑坡灾害影响，为了降低滑坡灾害对人民造成的损失，对滑坡监测进行研究就非常有必要。根据国内外的研究，传统的监测技术精度低，实时性差，不能及时对滑坡变形进行预报和防治[1-3]，因而可以采用GNSS进行滑坡自动化监测。本文以重庆市某滑坡为例，对滑坡自动化监测和变形稳定性方面进行研究。

1　GNSS自动化监测概述

GNSS自动化边坡监测主要分为3个部分，分别是数据采集、数据处理、稳定性分析。其中数据采集又包括降水量监测、地表位移监测、岩性监测、土质监测、裂缝监测等[4]。

1.1　监测区概况

监测区地处古滑坡体上，在高速公路施工和后期运营过程中，就对该滑坡地区进行了多次整治。2010—2014年，重庆市某院对该区域进行过持续监测，对该路段各边坡及结构物的安全稳定状况有了一定了解，并对该区域重点部位进行了持续监测，但2020年之前的监测方式皆为传统人力监测方式。2021年，重庆市某勘测院对该区域可能存在安全隐患的区域继续进行监测，并采用北斗高精度实时定位监测方式进行区域内地表滑塌特征明显区域进行重点监测，根据长期的观测结果作出合理的变形趋势分析及养护建议。

1.2　监测内容和原理

根据监测规范，结合实际工程案例，滑坡体应进行的监测内容主要有地表变形监测、地下水位的动态监测、土质岩性监测、深部位移监测、地表裂缝位错监测等，以此来监控滑坡整体变形[5]。按此原则，根

收稿日期：2021-10-12。
项目来源：广西空间信息与测绘重点实验室资助课题（19-050-11-04）。

据本次滑坡监测的实际情况，基于GNSS技术，主要探讨滑坡地表位移监测对滑坡稳定性的影响。

滑坡地表位移观测是指通过在监测点上进行GNSS自动连续监测，测定地表监测点在各方向上随时间而发生位移的位置、位移量的测量工作，通过地表位移的监测便于掌握地表北偏移、东偏移以及高偏移的动态变化，进而能够及时预知由于地表变形导致的裂缝、塌陷、陷穴等问题，降低由于上述问题的发生而导致的经济损失。同时进行稳定性分析，及时提供预警信息。

1）技术原理：GNSS定位的基本原理是通过测量4颗及以上已知位置的卫星与GNSS接收机的距离，采用距离交会的方式来确定接收机的位置。GNSS地表位移监测是将GNSS基准站设置在非变形区，GNSS监测站设置在监测变形区内，通过数据传输系统将同一时刻的GNSS基准站及GNSS监测站的原始观测数据发送至数据中心，数据中心专业的数据处理软件对原始数据进行自动的解算处理，得到GNSS监测站点位实时坐标值[6]。

2）技术特点：GNSS地表位移监测技术具有技术成熟、数据精度高（毫米级）、数据实时采集、自动化程度高等特点。

3）监测目的：GNSS地表位移监测针对滑坡整体及局部变形强烈区域，布设的地表位移监测点用于获取整个滑坡在监测期的变形数据，为滑坡整体变形判断提供数据支撑。

2　监测数据的处理及分析

2.1　地表位移监测及数据分析

GNSS基准点布设在距离滑坡区域3.5 km外的稳定区域，该基准点布设于建成约50 a的居民楼房顶部，地理位置优越，巡检维护方便，视野开阔，多路径效应影响程度低，位置稳定。自动化GNSS位移监测点一共4个，在地表明显隆起部位布设了3台套GNSS北斗高精度定位监测站，在供电站后侧支护边坡顶部布设了1台套GNSS北斗高精度定位监测站，此4台套GNSS皆处于地勘剖面线上，监测成果对监测剖面分析具有一定的指导性。

以2021-03-01作为初始日期，计算截至2021-03-31。在监测周期内，设备未出现异常或者人为破坏，数据在线率良好，未出现异常数据波动，监测精度满足监测要求。基准点在监测期间内数据波动如图1所示，数据波动在1.5 mm以内，基准点稳定。根据本次监测期间的各监测点北偏移、东偏移以及高偏移，绘制监测数据时空变形曲线图，如图2、3所示。经调查、实地踏勘，图2中，监测点JC01在2021-03-23~2021-03-24，由于人为触碰仪器的影响造成高偏移上升，之后又趋于平稳。

在此监测期间，由于降雨量等因素影响，监测点JC01在2021-03-12~2021-03-24影像期间各方向偏移量较大，高偏移累计位移量达到了135.1 mm，整个监测期间该点累计位移量时空曲线图如图4所示。JC04在2021-03-20~2021-03-26期间各方向偏移量较大，高偏移累计位移量达到了74.7 mm。根据滑坡面计算公式进行稳定性计算，并参照滑坡稳定性划分标准[7]，由此可预警监测点JC01属于欠稳定状态，监测点JC04属于基本稳定状态，如遇地震、降水、饱水等特殊情况激发时，需要及时整治。具体监测数据如表1、2所示。

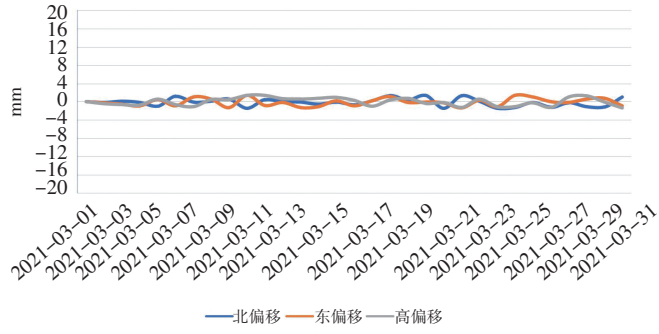


图1　基准点时空曲线图

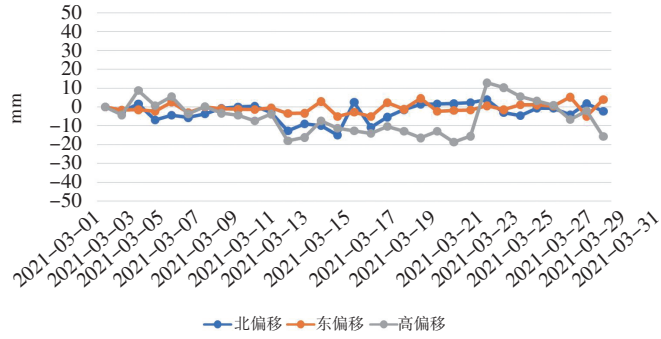


图2　JC01北斗高精度定位监测点时空曲线图

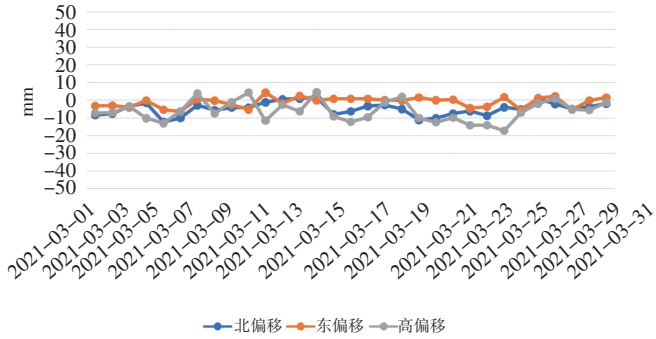


图3　JC04北斗高精度定位监测点时空曲线图

表1 2021-03-20—2021-03-28自动化GNSS监测点JC01统计表

坐标观测值			位置变化量			累计位移量			当前时间
北坐标	东坐标	高程	北偏移	东偏移	高偏移	北偏移	东偏移	高偏移	
9 231.208 1	207.277 4	294.635	-12.7	-3.4	-18	-2.8	-3.4	-2.9	2021-03-12
9 231.199 1	207.274 1	294.618 8	-9	-3.3	-16.2	-11.8	-6.7	-19.1	2021-03-13
9 231.189 3	207.277	294.611 4	-9.8	2.9	-7.4	-21.6	-3.8	-26.5	2021-03-14
9 231.174 4	207.272	294.600 2	-14.9	-5	-11.2	-36.5	-8.8	-37.7	2021-03-15
9 231.176 9	207.269 3	294.587 5	2.5	-2.7	-12.7	-34	-11.5	-50.4	2021-03-16
9 231.166 1	207.264 3	294.573 5	-10.8	-5	-14	-44.8	-16.5	-64.4	2021-03-17
9 231.160 7	207.266 6	294.563 2	-5.4	2.3	-10.3	-50.2	-14.2	-74.7	2021-03-18
9 231.159 2	207.265 4	294.550 4	-1.5	-1.2	-12.8	-51.7	-15.4	-87.5	2021-03-19
9 231.160 6	207.269 9	294.534	1.4	4.5	-16.4	-50.3	-10.9	-103.9	2021-03-20
9 231.162 2	207.267 6	294.521 2	1.6	-2.3	-12.8	-48.7	-13.2	-116.7	2021-03-21
9 231.164	207.265 8	294.502 6	1.8	-1.8	-18.6	-46.9	-15	-135.3	2021-03-22
9 231.166 4	207.264 2	294.487 1	2.4	-1.6	-15.5	-44.5	-16.6	-150.8	2021-03-23
9 231.170 2	207.264 8	294.499 9	3.8	0.6	12.8	-40.7	-16	-138	2021-03-24

注：由于保密协议，故北坐标及东坐标前三位隐藏

表2 2021-03-19—2021-03-21自动化GNSS监测点JC04统计表

坐标观测值			位置变化量			累计位移量			当前时间
北坐标	东坐标	高程	北偏移	东偏移	高偏移	北偏移	东偏移	高偏移	
9 896.136	379.580 9	269.774 9	-11.2	1.6	-10.1	-1.1	-2.1	-4.1	2021-03-20
9 896.125 8	379.580 9	269.762 5	-10.2	0	-12.4	-11.3	-2.1	-16.5	2021-03-21
9 896.118 3	379.581 3	269.752 6	-7.5	0.4	-9.9	-18.8	-1.7	-26.4	2021-03-22
9 896.112 1	379.576 8	269.738 5	-6.2	-4.5	-14.1	-25	-6.2	-40.5	2021-03-23
9 896.103 3	379.573 2	269.724 4	-8.8	-3.6	-14.1	-33.8	-9.8	-54.6	2021-03-24
9 896.099 3	379.575	269.707 2	-4	1.8	-17.2	-37.8	-8	-71.8	2021-03-25
9 896.094 2	379.569 3	269.700 2	-5.1	-5.7	-7	-42.9	-13.7	-78.8	2021-03-26

注：由于保密协议，故北坐标及东坐标前三位隐藏

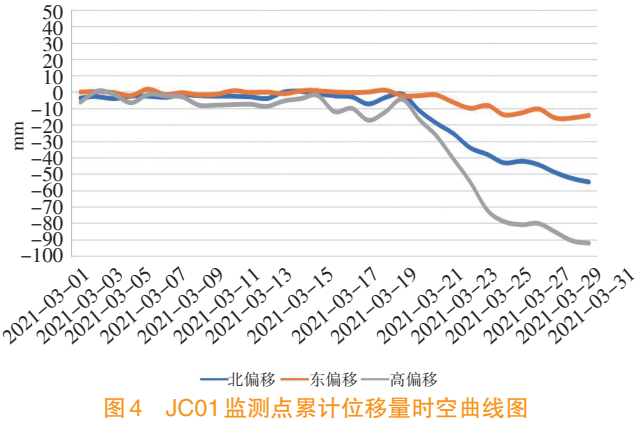


图4 JC01监测点累计位移量时空曲线图

2.2 稳定性判定

通过对本次监测周期内的监测数据的分析并结合宏观巡视情况可判断，截至当前，由于降雨影响监测点JC01出现了较小沉降现象，JC04由于降雨影响出现了轻微沉降现象，其余各监测点位变形趋势平稳，滑坡体处于稳定状态。变形区整体处于基本稳定状态。

该滑坡的形成与地形地貌、地层岩性、坡体结构、大气降水等密不可分，是以上因素综合作用的结果[8]。影响滑坡稳定性的因素主要有：地形条件、地层岩性、水的作用，其中滑坡变形最主要的影响因素是大气降雨。

截至监测期结束，滑坡整体未持续发生位移现象。该监测区域内存有较多裂缝、隆起的典型地表滑坡特征，由于本月降雨量较小，应提防降雨量充沛月份，根据历年滑坡灾害监测经验，在持续降雨、强降雨等因素的影响下，滑坡体极有可能再次出现变形，甚至出现局部溜滑。

（下转第152页）