文章编号:1009-3850(2011)02-0099-06

# 四川丹巴县甲居滑坡 GPS 监测结果及分析

## 邓国仕,郑万模,杨桂花,刘宇平,张清志,陈启国,唐业旗

(成都地质矿产研究所,四川 成都 610081)

摘要:对四川丹巴县甲居滑坡开展的 GPS 监测表明,甲居滑坡可以分为南北两个区域,其中北部区域滑动较为明显; 滑坡体北部水平位移速度 53mm/a~200mm/a,垂直位移速度-3 mm/a~-21mm/a; 滑坡体南部水平位移速度 12mm/a ~36mm/a,垂直位移速度-1mm/a~-5mm/a。GPS 提供的水平位移量趋势性较好,而垂向位移量结果异常较多,反映 出 GPS 的水平监测优势。GPS 监测精度达到毫米级,完全满足滑坡监测的精度要求。

关键词:丹巴县;甲居滑坡;GPS监测

中图分类号:P642.22 文献标识码:A

GPS 全球定位系统(Global Positioning System) 是当今科学技术发展的一项重要成果。由于其具 有高精度、实时性、连续性、全天候且能获得三维坐 标等优点,已被广泛应用于变形监测领域。近年 来 随着空间技术的发展,GPS 技术精度越来越高, 用于滑坡监测也越来越普遍<sup>[1-7]</sup> 精度己达毫米级, 能够有效监测滑坡的变形量。

丹巴县位于四川省西部(图1),处于我国第一 阶梯向第二阶梯过渡地带,系典型高山峡谷区。研 究区地层以云母片岩为主,是滑坡易发地层,降雨 集中在6月至9月。丹巴县是我国闻名的风景旅游 区,近年来,随着游人激增和城乡建设规模扩大,地 质灾害频繁发生,已严重制约了丹巴县国民经济发 展和社会稳定繁荣。

位于丹巴县聂呷乡的甲居村是一个典型的藏 族风格的村寨,座落在古滑坡体上。近年来,由于 人口的增加,房屋建筑增多,生活弃水随意排放,特 别是在滑坡前缘随意开挖坡脚,促使古滑坡多处产 生拉裂变形,有复活迹象(图2)。因此,我们于 2006 年在甲居滑坡体上开展了地表 GPS 监测,并对 监测结果进行了分析,为甲居滑坡的研究工作提供



图 1 丹巴县交通位置图 Fig. 1 Location of the study area

了定量的数据依据。

## 1 甲居滑坡概况

甲居滑坡总体平面形态呈"M"形,剖面形态近 阶梯状,由两个次级滑坡汇合所成,东西向平均长 约1200m,南北向平均宽约1000m,平均厚约22m, 体积约2640×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>,属特大型牵引式中深层土质 滑坡。滑坡区无统一滑动面及统一主滑方向,主要 表现为覆盖层内部的多级、多期次变形。

滑坡现状属于不稳定状态。由于此滑坡为牵

收稿日期: 2010-04-19; 改回日期: 2011-03-05

作者简介:邓国仕(1981-),男,工程师,主要从事水文地质、环境地质调查与评价工作 资助项目:中国地质调查局项目"滑坡灾害 GPS 和 InSAR 综合监测技术示范(1212010740910) 引式滑坡,滑坡前缘蠕滑变形如向后缘继续发展, 将威胁到甲居一村、二村和三村1000多人的生命财 产安全。



图 2 甲居滑坡全貌 Fig. 2 Full view of the Jiaju landslide

## 2 GPS 监测网布设

GPS 监测站不仅需要能够反映滑坡体整体的变形方向、变形量、滑坡体范围和变形速率,而且还必须考虑卫星信号接收情况,GPS 监测站上空不能有大面积遮挡物<sup>[4 8]</sup>。

为了测定滑坡的变形 我们于 2006 年 8 月在甲 居滑坡上建立了甲居滑坡 GPS 静态观测网,在甲居 滑坡体外稳定的基岩上布设了两个 GPS 基准站,并 根据该滑坡体的特点在滑坡体上布设了 19 个 GPS 流动站,在滑坡体后缘以外的斜坡上布设了一个 GPS 流动站(图 3)。

## 3 GPS 监测效果

3.1 GPS 数据采集和处理

数据的采集采用 Trimble 5700 双频 GPS 接收 机,采取定期、静态观测的方式,每年进行4期次。 对滑坡的两个基准站进行3~6个观测时段(日)的 观测,每个观测时段(日)为24小时(从UTC时间 00:00到23:59)连续观测,其余测站进行1个24h (从UTC时间的00:00到23:59)观测时段(日)的 连续观测。卫星高度角限值为10°,数据采集间隔 为15s。

数据处理采用美国麻省理工学院 GAMIT-GLOBK 软件(2007 年 10.03 版),每一期均采用以 WGS84 坐标系统为基准。首先利用 GAMIT 软件进 行单日解算,得到测站坐标的松弛解;然后用 GLOBK 在无基准松弛约束条件下进行多时段综合 解算,获得网平差,并进行重复度计算和评估数据质



#### 图 3 甲居滑坡 GPS 监测网图

#### 1. 滑坡周界; 2. 变形陡坎; 3. GPS 监测点

Fig. 3 GPS monitoring network of the Jiaju landslide 1 = landslide boundary; 2 = deformational steep ridge; 3 = GPS monitoring site

#### 量;最终估算各测站速度矢量<sup>[9]</sup>。

### 3.2 GPS 数据处理结果及分析

通过 2006 年 8 月至 2008 年 9 月共 9 期次的 GPS 观测,并用 GAMIT-GLOBK 进行数据解算和分 析处理,获得了甲居滑坡各 GPS 监测站的位移量和 方向(表1)及年位移量变化情况(图4)。结果显示 甲居滑坡可明显分为北部和南部两个变形差异区, 其中,北部位移量相对较大(图3),其中 JJ17 监测 站 2006 年 8 月~2008 年 9 月累计水平位移量达 414.53mm。

### 1. 基岩地表位移监测

在滑坡体外稳定的基岩上建立了两个 GPS 基 准站 即西北部的 JJB1 监测站和东南部的 JJB2 监 测站 2006 年 8 月 ~ 2008 年 9 月水平位移量分别为 2.55 mm 和 9.56mm ,垂直位移量分别为 – 0.11mm 和 – 0.89mm(图 5)。

从图 5 可以看出,2 年来,基准站位移量较小, 可以满足该区滑坡变形监测的精度要求。另外, 2008 年 5 月 12 日后一段时间内两个基准站位移量 变化曲线均出现异常,初步估计因四川汶川大地震 而致。

#### 2. 滑坡体北部地表位移监测

在滑坡体北部建立了 11 处监测点,即 JJ05、 JJ08、JJ09、JJ10、JJ13、JJ14、JJ16、JJ17、JJ18、JJ21 和 JJ22。

表1 甲居滑坡 GPS 监测站位移量和方向(2006-08~2008-09) Table 1 Displacement and direction of the Jiaju landslide based on the GPS measurements (August 2006 to September 2008)

测站号	位移量和方向		
	水平位移量(mm)	方向(°)	垂直位移量(mm)
JJB1	2.55	66	-0.11
JJB2	9.56	275	-0.89
JJ03	24.10	56	22.10
JJ04	26.34	72	-1.36
JJ05	245.57	117	-18.68
JJ06	57.23	42	-9.42
JJ07	48.06	47	-14.08
JJ08	110.34	87	17.35
JJ09	334.04	96	-45.04
JJ10	297.38	114	-22.52
JJ11	33.01	39	-20.59
JJ12	68.37	60	-23.11
JJ13	120.41	88	-19.13
JJ14	345.14	91	-12.53
JJ15	58.09	77	-12.32
JJ16	276.63	87	-18.11
JJ17	414.53	92	3.35
JJ18	307.86	90	4.98
JJ19	33.98	94	1.53
JJ20	50.66	95	-13.04
JJ21	112.42	84	-11.90
JJ22	196.71	93	-40.06





1. 滑坡周界; 2. 变形陡坎; 3. 变形区界线; 4. GPS 监测点

Fig. 4 Velocity vector diagram of the Jiaju landslide 1 = landslide boundary; 2. deformational steep ridge; 3 = boundary of deformational area; 4 = GPS monitoring site 监测结果表明,滑坡体北部变形非常明显,且水平 位移量趋势性很好(图6)。

从图 6 可以看出,两年来,滑坡体北部水平位移 量 110.34mm~414.53mm,水平位移速度 53mm/a ~200mm/a;垂直位移量 - 11.90mm~-45.04mm, 以下降为主,且异常较大,如JJ08、JJ17和JJ18 监测 站,垂直位移量变化为上升趋势,分别达+17. 35mm、+3.35mm和+4.98mm,反映出局部的变形 特征或观测异常,垂直位移速度 - 3mm/a~-21mm/a。

另外,由于受2008 年 5 月 12 日汶川大地震的 影响,垂直位移量数据曲线呈现出在地震当日前后 时段异常较大,即垂直位移量先出现急剧增加甚至 达到正值,然后减小,最终在震后的一段时间内慢 慢趋于平稳的趋势。

3. 滑坡体南部地表位移监测

在滑坡体南部建立了 8 处监测点,即 JJ 03、 JJ06、JJ07、JJ11、JJ12、JJ15、JJ19 和 JJ20。监测结果 表明,滑坡体南部变形较为明显,且水平位移量趋 势性很好(图7)。

从图 7 可以看出,两年来,滑坡体南部水平位移 量 24.1mm ~ 68.37mm,水平位移速度 12mm/a ~ 36mm/a;垂直位移量 -9.42mm ~ -23.11mm,以下 降为主,且异常较大,如 JJ03 监测站,垂直位移量变 化为上升趋势,达+22.1mm,反映出局部的变形特 征或观测异常,垂直位移速度-1mm/a~-5mm/a。

同样,受2008年5月12日汶川大地震的影响, 垂直位移量数据曲线呈现出在地震当日前后时段 异常较大,即垂直位移量先出现急剧增加甚至达到 正值,然后减小,最终在震后的一段时间内慢慢趋 于平稳的趋势。

4. 滑坡体后缘以外斜坡地表位移监测

在滑坡体外西部斜坡体上建立了1处监测点, 即 JJ04(图8)。

从图 8 可以看出,两年来,滑坡体外西部斜坡水 平位移量为 26.34mm,水平位移速度为 17mm/a;垂 直位移量为 – 1.36mm,垂直位移速度 – 1mm/a。反 映了由于滑坡体发生滑动后引起滑坡体外斜坡体 的局部浅表层滑塌。

### 4 结论

(1)甲居滑坡可以分为南北两个区域,其中北部
 区域滑动较为明显。滑坡体北部水平位移速度53mm/
 a~200mm/a,垂直位移速度-3mm/a~-21mm/a;



## 图 5 GPS 基准站 - 水平和垂直位移量随时间变化图 (a) 水平位移量; (b) 垂直位移量

Fig. 5 Horizontal and vertical displacement of GPS base station as a function of time





b

Fig. 6 Horizontal and vertical displacement of GPS monitoring station in the northern part of the Jiaju landslide as a function of time a. Horizontal displacement; b. Vertical displacement





Fig. 7 Horizontal and vertical displacement of GPS monitoring station in the southern part of the Jiaju landslide as a function of time a. Horizontal displacement; b. Vertical displacement





Fig. 8 Horizontal and vertical displacement of the GPS monitoring site JJ04 as a function of time a. Horizontal displacement; b. Vertical displacement

滑坡体南部水平位移速度 12mm/a ~ 36mm/a,垂直 位移速度 – 1mm/a ~ – 5mm/a。

(2) GPS 监测精度达到毫米级,完全可以满足 甲居滑坡监测的精度要求。

(3) 甲居滑坡 GPS 地表位移监测中,水平位移 量趋势性较好,垂直位移量异常较多,反映出 GPS 的水平监测优势。

#### 参考文献:

- [1] 唐文清,刘宇平,陈智梁,等.基于 GPS 技术的活动断裂监测—
  以鲜水河、龙门山断裂为例[J].山地学报,2007,25(1):103
   107.
- [2] 李爱农 周万村 ,江晓波. 全球定位系统在峡口滑坡研究中的

应用[J].水土保持研究 2003,10(4):206-208.

- [3] 薛志宏,卫建东,金新平.GPS在雅砻江卡拉电站滑坡监测中的应用[J].测绘工程 2007,16(2):65-68.
- [4] 过静珺 杨久龙,丁志刚,等. GPS 在滑坡监测中的应用研究— 以四川雅安峡口滑坡为例[J]. 地质力学学报 2004,10(1):65 -70.
- [5] 余明 杨久龙 等. GPS 应用于滑坡示范区监测系统中的研究[J]. 工程勘察 2004 3:54-58.
- [6] 李天文,吴琳,等. GPS 技术在滑坡监测中的应用[J]. 山地学报 2004 22(6):713-718.
- [7] 徐绍铨,李英冰. GPS 用于滑坡监测的试验与研究[J]. 全球定 位系统.
- [8] 刘大杰 施一民 过静.全球定位系统的原理和数据处理[M].上海:同济大学出版社,1996.
- [9] 郑万模,邓国仕,刘宇平,等.四川丹巴县典型滑坡 GPS 监测效 果研究[J]. 沉积与特提斯地质. 2008 28(3): 30 – 34.

## GPS monitoring of the Jiaju landslide in Danba, Sichuan

DENG Guo-shi , ZHENG Wan-mo , YANG Gui-hua , LIU Yu-ping , ZHANG Qing-zhi , CHEN Qiguo , TANG Ye-qi

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: The GPS monitoring has been conducted on the Jiaju landslide in Danba, Sichuan. The Jiaju landslide may be separated into the northern and southern parts. In the northern part of the landslide, the horizontal displacement velocities range from 53 mm/a to 200 mm/a, and vertical displacement velocities range from -3 mm/ a to -21 mm/a. In the southern part of the landslide, the horizontal displacement velocities range from 12 mm/a to 36 mm/a, and vertical displacement velocities range from 12 mm/a to 36 mm/a, and vertical displacement velocities range from 4 mm/a to -5 mm/a. By and large, the GPS measurements of horizontal displacement are better than those of vertical displacement. Furthermore, the mm-sized precision of GPS monitoring may be sufficient enough to be used in the landslide surveys.

Key words: Danba; Jiaju landslide; GPS monitoring