文章编号: 1009-3850(2010) 01-0109-04

# GPS在滑坡监测中的应用 一以四川省丹巴县亚喀则滑坡为例

张清志, 郑万模, 刘宇平, 邓国仕

(成都地质矿产研究所,四川成都 610082)

摘要:本文通过在四川丹巴县梭坡乡亚喀则滑坡区布设的 GPS监测网的测量,阐述了 GPS在滑坡监测时监测点位选择、监测网布设、数据处理的方法。亚喀则滑坡的 GPS监测结果表明,其精度达到毫米级,完全满足滑坡监测的精度要求。

关键词: GP\$ 滑坡; 监测

中图分类号: P642 22 文献标识码: A

### 1 引 言

我国是一个地质灾害多发的国家。随着我国经 济建设的发展及交通、水利、资源开发等工程项目的 大量实施,滑坡造成的灾害也日趋严重。因此,建立 安全可靠的滑坡监测系统显得尤为重要。

滑坡监测包括滑坡体整体变形监测、滑坡体内 应力应变监测、外部环境监测、地下水位监测等。变 形监测是滑坡监测的重要内容,也是判断滑坡的重 要依据。以往的变形监测方法是常规大地测量方 法,即平面位移采用经纬仪导线或三角测量方法,高 程用水准测量方法。20世纪 80年代中期出现全站 仪以后,利用全站仪导线和电磁波测距三角高程方 法进行滑坡的变形监测。但上述方法都需要人员到 现场观测,工作量很大。GPS卫星定位系统出现以 后,由于 GPS采用接收空中卫星信号的测距定位技 术,精度很高。同时还可以利用无线通信技术将观 测数据传到数据处理中心,实现了远距离监测。在 我国,GPS监测技术已经广泛地应用于滑坡监测 中<sup>[1~9]</sup>,取得了很好的效果。

#### 2 梭坡乡亚喀则滑坡概况

亚喀则滑坡位于丹巴县梭坡乡莫洛村, 距梭坡 乡0.5<sup>km</sup>,其后缘中心点地理坐标: 东经101°55′51″, 北纬30°51′24″。该滑坡形态为半圆形,长约630<sup>m</sup>, 宽约570<sup>m</sup>,平均厚约40<sup>m</sup>,体积约1.3×107<sup>m</sup>。主滑 方向219°,坡度20°~30°。滑坡的剖面形态近阶梯 状,中部崩坡积物较厚,达50<sup>n</sup>左右,前后缘较薄。 滑面为松散堆积物与基岩接触面,属特大型牵引式 中深层以蠕滑变形为主的土质滑坡。该滑坡周界、 滑坡壁边界清楚,后壁可见一处灰白色的小崩塌,前 缘滑舌已部分滑入大渡河中,滑坡体上可见以色差 显示出的三级滑坡台阶(图1)。目前,该滑坡体还 处于蠕变阶段,可能会对大渡河沿线的的公共设施 和人民的生命财产安全造成危害,同时对通往莫洛 村的乡村公路构成直接威胁。

亚喀则滑坡于 2003年 6月出现后缘变形,此后 每年在滑坡体中部及前缘出现不同程度的变形,变 形方式主要以蠕滑为主,其中以前缘变形最为强烈。 滑坡体上发育多条较明显的滑动裂缝 (图 1),形成

收稿日期: 2009-08-15; 改回日期: 2009-11-27

作者简介: 张清志(1972-),男,工程师,主要从事 GPS的应用研究。 E-mail cdzy ingzh@ cgs gov cn

资助项目: 中国地质调查局滑坡灾害 GPS和 NSAR综合监测技术示范项目 (1212010740910)



图 1 亚喀则滑坡全貌及 GPS点位分布图 Fig 1 Full view of the Yakaze kandslide and distribution of the GPS monitoring spots

不同高度的错落陡坎,后缘的陡坎高度  $10^{n}$ 左右,错 动约 $0^{2m}$ 其余 6条滑动裂缝发育于滑坡体的中部 及中前部,呈圆弧形,错落高度为 $0^{1}$ ~ $1^{m}$ 中部裂 缝长约  $400^{m}$ 中前部裂缝长约  $100^{m}$ 中后部发育多 处平行的小型拉张裂缝,裂缝呈弧状、直线状,延伸 方向  $120^{\circ}$ 左右,长  $10^{m}$ ~ $30^{m}$ 宽  $5^{m}$ ~ $20^{m}$ 最宽  $50^{m}$ 。

#### 3 滑坡监测网的布设

滑坡监测是为了获得滑坡体变形特征信息,分 析滑坡体形变情况与规律,进而对滑坡趋势进行分 析预报。因此,在形变分析中,作为监测的基准点必 须是相对稳定不变的。为了能准确测定该滑坡体的 变形特征,根据该滑坡的具体情况,在滑坡体外两侧 的稳定岩体上选择了两个基准点。这两个基准点均 处于开阔的山脊基岩上,四周没有对 GPS信号的采 集不利的影响因素,符合滑坡 GPS监测网基准点的 布设原则与要求,并分别修建了1.5<sup>n</sup>高的监测墩, 安装了强制对中装置,编号分别为 spb1 和 spb2 (图 2)。因为监测点需要反映整个滑坡体形变特征 和形变情况,因此监测网点布设应综合考虑滑坡体 的形态特征、变形特征、动力特征、监测预报的需求 和发展趋势的同时,还需要能反映滑坡体整体变形 方向、变形量、滑坡体的变形速率及接收卫星信号的 情况。根据以上要求,在亚喀则滑坡体上共布设了 12个监测点 (图 1.图 2)。其中, spb1、spb2 为基准 点,分别设立在滑坡两侧的基岩上,其 GPS接收到 的卫星信号非常好。由于整个滑坡体具有三个明显 的三级滑动台阶,其余各点就分别设在滑坡体的三

个滑动台阶上,前缘监测点为 \$09, \$P10, \$P11, \$P12,中部监测点为 \$05, \$06, \$07, \$08,后缘监测点为 \$03, \$P04。其中, \$03位于滑坡体上的后缘接近滑动边界附近, \$P04位于滑坡体主滑面的中上部(\$03, \$P04的位移代表滑坡后缘的滑动速率); \$P05, \$P08位于滑坡体中部左右两侧的边界附近, \$P06, \$P07分别位于滑坡体中部的主滑面上(\$P05, \$P06, \$P07,08分别代表着滑坡体中部的滑动速率); \$P09, \$P12分别位于滑坡体下边(前)缘两侧的边界附近, \$P10, \$P11分别位于滑坡体下边(前) 缘的主滑面上(\$P09, \$P10, \$P11, \$P12分别代表着滑坡体前缘的滑动速率)。每个基准点和监测点均以钢筋混凝土浇灌并安装强制对中装置。



图 2 GPS监测网示意图 F g 2 Sketch of the GPS monitoring networks

#### 4 GPS数据采集

2007年 4月修建好监测墩后,于 2007年 6月进 行第一期的数据试采集;后又于 2007年 8月、10 月、12月,2008年 5月、8月、10月、12月和 2009年 4月、7月分别对该滑坡所有基准点和监测点进行了 GPS数据采集。每次 GPS数据采集均使用六台天 宝公司的 Trinble5700双频 GPS接收机进行。每次 数据采集时,两个基准站的天线均使用测地双频扼 流圈天线 (Zephyr Geodetic),连续观测 5~6天,每 天观测时间 24小时;同时对滑坡体上监测点分别进 行同步数据采集,每个监测点每次观测一天 (24小 时);观测时所有的数据采样间隔设置为 15,<sup>5</sup>卫星截 止高度角均为 10<sup>°</sup>。由于数据采集时数据传输线被 损坏,<sup>\$1</sup>2监测点在 2008年 12月的数据缺失,<sup>\$1</sup>07 监测点在 2009年 4月由于未知原因没有数据记录, 其它监测点的数据采集均正常<sup>[4]</sup>。

1	1	1	
	T	1	

表 1 监测点点位位移量(相对于 2007年 6月) Table 1 Displacement of the GPS monitoring spots relative to June 2007

-											
	200706	200708	200710	200712	200805	200808	200810	200812	200904	200907	
	sp03	0 0	53. 1	117. 0	161 8	248 8	310. 5	355. 8	387.6	449 4	518.7
	sp04	0 0	252.3	549.6	691 1	938 8	1140.6	1359. 0	1521 5	1742 5	1955. 0
	sp05	0 0	49.3	109.8	148 0	223 8	280.1	323. 5	351 1	407.1	469.9
	sp06	0 0	362. 1	771.4	938 3	1220 0	1484.5	1813. 3	2044 0	2335 3	2621. 9
	sp07	0 0	361. 7	780. 2	946 4	1231 1	1498.4	1820. 1	2061 6		2645.1
	spontemed parameters spontemed and spontements of the second se	0 0	22. 2	45. 6	62 2	92 4	120.1	136.8	148 3	166 3	188. 1
	sp09	0 0	59. 1	126.7	166 7	236 7	299.4	348.0	382 1	438 4	508.5
	<sup>sp</sup> 10	0 0	397.5	858.8	1015 8	1288 2	1573. 9	1961. 6	2198 4	2483 8	2812.4
	<sup>sp</sup> 11	0 0	414.1	891. 0	1054 3	1333 4	1644. 0	2076.0	2331 0	2619 1	2973. 3
	sp12	0 0	53. 5	103. 2	135 1	196 2	241. 4	291.1		378 5	468.0

#### 5 数据处理分析

数据处理方法:对所有 GPS观测数据都采用 Trimble Total Control(TTC)软件进行基线解算.在 解算过程中加入全球卫星星历文件和电离层改正文 件。通过基线处理首先得到一个初步的基线解和坐 标解;先进行自由网平差,自由网平差的水平上的标 准差最大为 1.5<sup>mm</sup>, 垂向上的最大标准差为 2.0<sup>mm</sup>, 然后通过固定两个基准点(控制点) spb、spb的坐 标,进行整个监测网的约束平差。约束平差的水平 上的标准差最大为7.5<sup>nm</sup>, 垂向标准差最大为 11. 3<sup>mm</sup>, 通过约束平差后的 WG 84 上平差测点 (笛 卡尔坐标及标准差)来判断各个测点的精度及可信 度. 根据两次测点的坐标 (笛卡尔坐标) 差来判断测 点在这个时间段的位移量。通过比较在 WG-84 坐 标系下各测点点位解算结果,求得各个测点在 X Y 坐标的坐标差。根据坐标差求出各个测点在各个时 间段的位移量(表 1)。

表 2 监测点点位阶段位移量 / mm

200706	200708	200710	200712	200805	200808	200810	200812	200904	200907	
sP03	0	53. 1	63. 9	44 9	87.0	61.7	45. 3	77.1	61 8	69 3
sp04	0	252.3	297. 3	141 4	247.7	201. 8	218.5	381 0	220 9	212.6
sP05	0 0	49.3	60.4	38 3	75 7	56.3	43. 5	71.1	56 0	62 7
sP06	0 0	362. 1	409.4	166 9	281 7	264.5	328.8	559 5	291 4	286.6
sP07	0 0	361. 7	418.5	166 1	284 7	267.3	321. 7	563 2		583.5
<sup>sp</sup> 08	0 0	22. 2	23. 4	16 6	30 2	27.6	16.7	28 2	18 0	21 8
sP09	0 0	59. 1	67.6	40 0	70 1	62.7	48.6	82 7	56 3	70 1
sp10	0 0	397. 5	461. 3	157 0	272 3	285.7	387.8	624 5	285 4	328.7
$sp_{11}$	0 0	414.1	476.9	163 3	279 2	310. 6	432.0	687.0	288 1	354.2
sp12	0 0	53. 5	49. 7	31 9	61 1	45. 2	45. 2		137. 1	89 5

Table 2 Displacement of the GPS monitoring spots in individual stages (mm)

根据表 1数据所得到的滑坡体上各点的累积位 移趋势图 (图 3)很直观地反映出在观测期间各测点 的位移量随时间的变化趋势;而滑坡体上各测站点 位的各个观测阶段位移数据表 (表 2)和阶段位移示 意图 (图 4)则表现出在每个时间间隔段内的位移量 及各个时间段位移与季节之间的关系变化。通过对

表 1.表 2中数据和图 3.图 4进行分析研究,可以得 出以下阶段性结论: 2007年 6月到 2009年 7月期 间. 主滑面上的点位 \$P04, \$P06, \$P07, \$P10, \$P11, \$P04的位移量都特别大,达到 1.0~1.5<sup>m/a</sup> 根据 位移量变化和时间的关系 (表 1,表 2 图 3 图 4)可 以看出,在观测期间,各个观测点的阶段性位移量变



图 3 点位累积位移趋势(据表 1) Fig 3 Accumulative displacement trend of the GPS monitoring spots



图 4 点位各阶段位移示意图

Fig 4 Bar chart showing the displacement of the GPS monitoring spots in individual stages

10~12月的位移量明显较其它观测时段要大, 滑坡 位移明显。

#### 6 结 论

(1)梭坡乡亚喀则滑坡目前正处于严重的滑动 变形阶段,需要高度的防范和关注,尤其是长时间的 大暴雨天气,可能非常容易引起该滑坡的突然垮塌, 对梭坡乡莫洛村百余村名的生命财产安全构成一定 的威胁;

(2)亚喀则滑坡若发生垮塌,可能造成大渡河 河面的堵塞并形成堰塞湖,对大渡河上游的丹巴县 城和下游的泸定县城构成一定的安全威胁。

#### 参考文献:

- [1] 张勤. GPS监测滑坡形变的基准研究[3]. 西安工程学院学报, 2001, 23(4): 69-71
- [2] 范青松,汤翠莲,陈于,等. GPS与 IPSAR技术在滑坡监测中的 应用研究[].测绘科学, 2006, 31(5): 60-62
- [3] 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.
- [4] 张清志, 刘宇平, 郑万模, 等. 丹巴县甲居滑坡 GPS地表监测阶段成果[].地球物理学进展 2009, 24(2): 728-733
- [5] 宋迎春.利用 GPS进行边坡滑坡监测的数学模型[J].湘潭大
  学自然科学学报,2006,28(1):105-111.
- [6] 过静君,杨久龙. GPS在滑坡监测中的应用研究一以四川雅安 峡口滑坡为例[J]. 地质力学学报, 2004, 10(1): 65-70
- [7] 曾旭平. GPS滑坡高程监测的数据处理问题 [1]. 武汉大学学报。信息科学版, 2004, 29(3): 201-204
- [8] 徐绍铨,李英冰. GPS用于滑坡监测的试验与研究[].全球定 位系统, 2003 1, 1-8.
- [9] 薛志宏,卫建东,等. GPS在雅砻江卡拉电站滑坡监测中的应用[].测绘工程,2007,16(2),65-68.
- [10] 赵超英,张勤,王利. GPS高差在滑坡监测中的应用研究[1]. 测绘通报,2005,1,35-41

## An application of GPS monitoring A case study of the Yakaze landslide in Suopo village Danba Sichuan

#### ZHANG Qing zhi ZHENG Wan mo, LIU Yu ping DENG Guo shi (Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources Chengdu 610081 Sichuan China)

Abstract In the light of the GPS measurements of the Yakaze landslide in Suopo village Danba Sichuan, the authors elucidate the selection of the sites of the monitoring stations, arrangement of the monitoring baseline network and method of GPS data processing. The results of research in this study show that GPS monitoring for the landslide may reach up to an accuracy of mm scale and thus meet the demands of landslide monitoring Key words GPS landslide monitoring