

GPS 定位技术在三峡库区崩滑地质灾害监测中的试验分析

吴北平¹, 李征航², 徐绍铨²

(1. 中国地质大学工程学院, 湖北武汉 430074; 2. 武汉大学测绘学院, 湖北武汉 430079)

摘要: 采用 GPS 定位技术对三峡库区崩滑地质灾害监测进行试验性研究, 是实现对地质灾害监测、预报和防治的现代化而采取的一项重要举措. 其目的是分析、研究和论证利用 GPS 定位技术进行崩滑监测的可行性并制定技术规程; 建立从链子崖至巴东段的地质灾害 GPS 监测试验(示范). 基于 GPS 技术在三峡库区崩滑地质灾害监测中的试验研究, 分析了 GPS 监测的最佳时段、最佳时段长度、最佳截止高度角的选取及适宜采用的软件和星历等问题, 结果表明, 利用 GPS 定位技术进行崩滑地质灾害监测能够满足其精度要求, 该项技术是可行的.

关键词: GPS; 崩滑体; 时段; 高度角; 卫星星历.

中图分类号: P128.1; P642.22 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-2383(2001)06-0648-05

作者简介: 吴北平(1960—), 男, 副教授, 1982年毕业于武汉测绘学院, 现从事 GPS 定位技术和变形监测技术的研究.

随着科学技术的发展, 对地质灾害进行自动化监测管理的要求越来越高. 常规的地质灾害监测方法明显存在着不足: 一是数据采集主要由人工完成, 观测周期长, 受天气等外界条件的影响大, 需要人员多; 二是平面、高程分别施测; 三是没有将各种监测方法的数据采集、传输、处理与分析组成一个完整的系统. 因此, 常规监测方法无法对地质灾害实施连续、实时、动态的监测, 不能满足自动化的要求.

GPS 定位技术具有精度高、速度快、全天候、全自动等优点. GPS 技术已在大坝变形监测中得到成功应用. 例如 1998 年长江防汛抗洪期间, GPS 技术应用于清江隔河岩水库大坝的变形监测, 其监测精度达到了水平精度 0.5 mm 左右, 高程精度 1.0 mm 左右^[1]. 在汛期, 利用 GPS 定位技术对大坝进行监测所获得的大坝变形数据, 为是否在荆江分洪的决策提供了科学依据.

国土资源部于 1999 年首次采用 GPS 定位技术对三峡库区崩滑地质灾害监测进行了试验性研究, 该工作的进行, 是国土资源部为实现对地质灾害监

测、预报和防治的现代化而采取的一项重要举措. 其目的是分析、研究和论证利用 GPS 定位技术进行崩滑监测的可行性并制定技术规程, 建立从链子崖至巴东段的地质灾害 GPS 监测试验(示范).

1 数据采集与监测精度

在本次试验中, 自链子崖至巴东段共选了 9 个崩滑体(蛤蟆石、新滩、链子崖、八字门、渡水头、黄腊石、榨坊坪、赵树岭、红石梁)和 3 个斜坡(黄土坡、屈原镇、西壤坡)进行 GPS 监测. 监测点位共计 60 个, 其中控制点 2 个, 基准点 13 个, 形变监测点 45 个. 于 1999 年 4~6 月, 进行了 3 期外业观测以及监测数据的解算.

GPS 定位技术用于三峡库区崩滑地质灾害的监测, 成功的关键取决于 GPS 的监测精度能否满足试验精度的要求. 文献[2]对三峡库区崩滑地质灾害 GPS 监测的精度进行了详细的分析, 若每块体只设一个基准点, 按 2 h 组织 GPS 观测(有用资料往往短于 2 h), 其平面监测精度为 ± 4.9 mm, 垂直监测精度为 ± 6.7 mm, 小于平面位移监测精度 6 mm, 垂直位移监测精度 10 mm 的试验限差要求. 若每块体

设 2~3 个基准点,按≥3 h 组织观测,其平面监测精度为±2.5 mm,垂直监测精度为±3.2 mm,监测精度比限差高一倍以上。

2 最佳时段长度及时段预报

本次试验的一项重要内容是确定在三峡库区山高坡陡的地形条件下 GPS 变形监测的最佳观测时段长度。为此,在不同的块体上对各种不同时段长度的观测条件进行了试算,表 1 是以新滩第二期观测资料为例,分别用 1 h,1.5 h,2 h 及 3 h 的时段长度对 13 条基线向量,采用 GPSurvey 软件进行解算的结果。

由于各块体的地形条件和观测时卫星星座的不同,因此试验结果也不完全一致。综合各块体的试验结果,可以得出如下结论:(1)从三峡库区崩滑地质监测的精度要求和边长看,这种 GPS 测量大体相当于全球定位系统测量规范中的 C 级或 D 级测量,规范中规定的时段长度分别为 1.5 h 和 1 h。但由于三峡库区山高坡陡,有部分卫星被遮挡,可观测卫星较正常情况下少,因此时段长度取 1 h 或 1.5 h 时,R 值(比值)往往较小,整周模糊度难以完全固定,精度偏低。时段长度增加至 2 h 后,情况有了明显改善。(2)时段长度增至 3 h 时,不但外业工作量将大大增加,而且 RMS 值和 R 值也无改善,甚至变坏。其原因主要是由于三峡库区山高坡陡、遮挡严重,观测时视场偏小,导致卫星变换较为频繁,部分卫星的整周模糊度难以正确确定,反而使精度降低。(3)最佳观测时段长度与测站周围的地形条件有关:障碍物少,视场较为开阔时,最佳时段长度可取 1.5 h;障碍物多,遮挡严重,视场较为狭小时,时段长度可取 2.5 h;一般情况(指三峡库区)可取 2 h。注意上述是指基线解算时实际所用的资料长度。在组织外出观测时还应留有余地(例如增加 10~20min)。(4)此

表 1 不同时段长度的试算结果

Table 1 Results of trial calculation with different session lengths

时段长度/ h	RMS(均方值)/mm			R(比值)			浮点解 的个数
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	
1.0	5.0	12.0	8.4	1.9	21.4	9.4	0
1.5	4.0	13.0	7.3	1.6	39.8	15.9	1
2.0	5.0	10.0	6.5	1.9	64.7	22.4	1
3.0	6.0	9.0	9.2	1.6	30.2	13.1	1

外,在三峡库区进行 GPS 监测时,用一般方法进行预报,选取最佳时段,效果往往不佳。预报可见 6 颗卫星,实际上可能只有 4 颗甚至 3 颗卫星,其余卫星被山坡遮挡。建议在基准点和变形监测点上实测环视图,以便在预报时将基准站和监测站上被遮挡部都屏闭掉,依据实际情况来选择最佳观测时段。

3 卫星星历及软件

3.1 卫星星历

随意选择试验区中 45 条基线向量,分别用精密星历和广播星历进行计算,这些基线中最短的边长为 39 m,最长边长为 895 m,平均边长 281 m。计算结果如表 2 所示。从表中可以看出,在每个块体的变形监测中,由于从基准点至变形监测点的距离较近,一般为数百 m,故用精密星历和广播星历进行解算时,结果间并无明显差异。故可使用广播星历进行解算。但进行基准网数据处理时,由于精度要求较高,许多边长已超过 10 km,所以必须使用精密星历。上述结论与理论分析一致。

表 2 用精密星历和广播星历进行计算的结果比较

Table 2 Comparison between the results of calculation with precise ephemeris and the results of calculation with broadcast ephemeris

星历	RMS(均方值)/mm			R(比值)		
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
IGS 精密星历	4	6	5	2.0	16.5	5.12
广播星历	4	6	5	2.0	16.5	5.13

3.2 软件

在本试验中分别使用了美国 Trimble 公司提供的随机软件 GPSurvey2.3,由美国 Ashtech 公司提供的随机软件 WinPrism2.0,以及加拿大 Novatel 公司提供的随机软件 Softsurv Post Processor1.2 和 1.50 等 4 种软件来进行块体 GPS 变形监测的数据处理工作。下面给出 36 条基线向量的试验结果。数据处理是在 AMD k6 300MH CPU,64M 内存的微机上进行的,时段长度为 3 h 左右,4 种随机软件的性能比较见表 3。通过上述试验可以看出 GPSurvey2.3 软件的功能强,计算效果好,建议在块体 GPS 变形监测的正式数据处理中采用此软件。Winprism2.0 和 Softsurv 1.5 计算速度快,但功能及计算效果略逊于 GPSurvey2.3 软件,建议用于野外观

表 3 4 种随机软件的性能比较

Table 3 Comparison of functions of the four kinds of software with GPS receivers

随机软件	GPSurvey	WinPrism	Softsurv	Softsurv
	2.3	2.0	1.2	1.5
计算时间/min	150	20	20	20
提供 R 值	✓	✓	×	✓
提供 RMS 值	✓	✓	✓	✓
同步环检验	十分方便	比较方便	不能进行	能进行
异步环检验	十分方便	比较方便	不能进行	不能进行
提取原始文件	✓	✓	✓	✓
提取 RINEX 文件	✓	✓	✓	✓
提供质量控制参数	✓	✓	✓	✓
提供残差图	✓	✓	✓	✓
提供基线信息	✓	✓	✓	✓
参数控制	✓	✓	×	×
	非常丰富	比较丰富	比较丰富	比较丰富

表 4 截止高度角取不同值时的计算结果

Table 4 The results of calculation when the cutoff elevation angle has different value

截止高度角/ (°)	RMS(均方值)/mm			R(比值)		
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
15	4	6	5.04	2.0	16.5	5.12
20	4	5	4.87	2.0	16.6	5.46
25	4	5	4.73	2.0	16.8	5.55

测资料的质量检验工作。Softsurv 1.20 效果差, 建议不使用。

4 截止高度角试验

对三峡库区中的 45 条基线向量用精密星历进行解算, 截止高度角分别取 15° , 20° , 25° 。计算结果如表 4。

从上述结果看, 截止高度角取 25° 时效果最好 (RMS 值最小, R 值最大)。但此项试验结果也与测站周围的地形条件有关。当测区一侧的卫星被遮挡时, 适当增大截止高度角可使观测卫星的分布较为对称, 也有助于减少多路径误差及大气延迟误差的影响。也就是说截止高度角应根据测站周围的地形条件而定。一般说来在三峡库区截止高度角取 20° 可能较为适合。

5 双卫星系统接收机的优越性

在本次试验中, 对 Ashtech GG24 接收机进行

了检测。Ashtech GG24 接收机能同时对美国的 GPS 卫星和俄罗斯的 GLONASS 卫星进行双系统观测。用厂家提供的随机软件就能对两种导航系统的资料一并进行解算。与单纯的 GPS 接收机相比, 双系统接收机具有下列优点: (1) 可靠性好。由于三峡库区山高坡陡, 遮挡严重, 因而可观测卫星数少, 每颗卫星连续观测的时间也较短, 经常会出现整周模糊度无法固定的情况; 加入 GLONASS 卫星资料后情况有明显改善, 整周模糊度一般均能固定。(2) 精度有所改善。加入 GLONASS 卫星资料后, 由于卫星数增加, 几何图形的改善, 故定位精度也有所改善。在三峡库区进行块体变形监测时, 采用双系统接收机无疑是一种明智的选择。

6 快速定位试验结果

利用 GPS 进行崩滑监测虽然具有全天候、高精度、测站间无需保持通视、可同时测定三维位移等优点, 但一般需要观测 2 h 左右, 时间偏长, 作业效率不高。这在一定程度上影响了 GPS 监测的优越性。为解决此问题, 在试验期间, 笔者对利用 GAMIT 软件进行快速定位的技术进行了研究。其基本思想是利用上期的监测成果对基线向量加以约束, 以快速求解整周未知数并将其固定为整数, 然后再将求得的整周未知数代入法方程重新解算基线向量。表 5, 6 给出八字门滑坡体 (见图 1) GPS 快速定位试验成果。

从表 5, 6 可以看出, 对于小于 0.5 km 的短边, 只用 10 min 的数据进行快速定位也能取得相当不错的结果, 用 20 min 数据进行快速定位, 精度可比限差提高一倍以上。接着笔者又对一条 1.2 km 左右的监测边 (位于黄腊石滑坡体) 进行了快速定位试验, 计算结果如表 7。

表 5 利用 10 min 资料进行快速定位的结果

Table 5 Results of using 10 minutes' data for fast positioning

基线名	边长 S/m	σ_x /mm	σ_y /mm	σ_n /mm	σ_s /mm
BZM0-BZM1	421	2.0	1.8	5.7	1.6
BZM0-BZM3	446	3.3	1.9	5.5	2.7
BZM1-BZM3	103	2.0	1.6	4.8	1.7
平均值		2.4	1.8	5.3	2.0

由表中数据得平面位置和高程中误差分别为 $\sigma_{\text{平面位移}} = \pm 3.0 \text{ mm}$, $\sigma_n = \pm 5.3 \text{ mm}$ 。

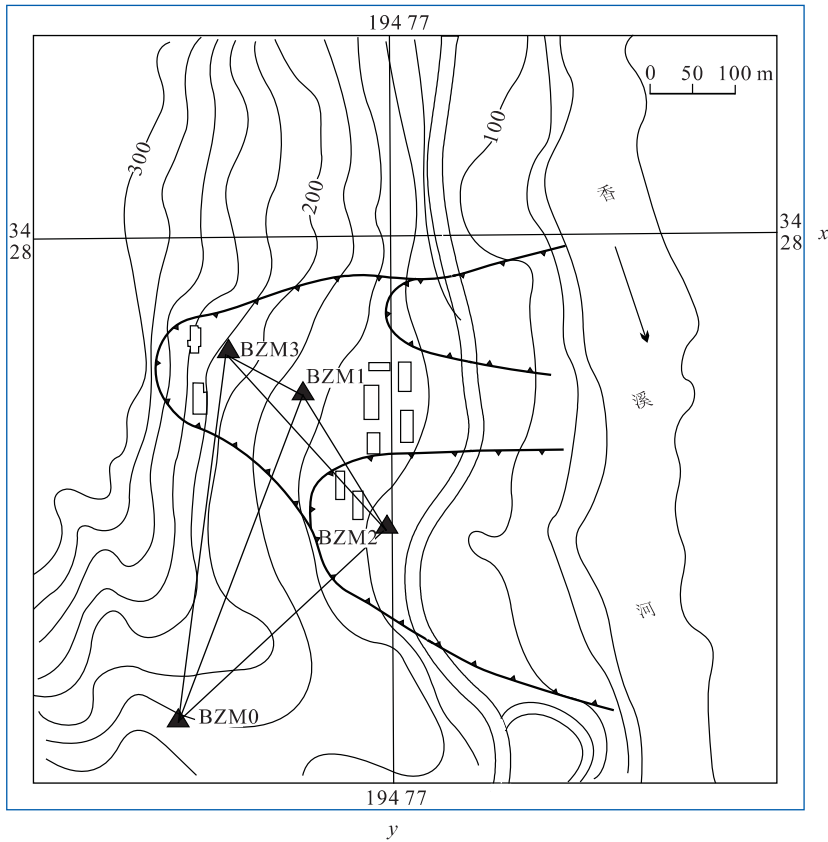


图 1 八字门滑坡 GPS 单体监测网布设图(等高线单位:m)

Fig. 1 GPS monitoring points of Bazimen slideland

表 6 利用 20 min 资料进行快速定位的结果

Table 6 Results of using 20 minutes' data for fast positioning

基线名	边长 S/m	σ_x /mm	σ_y /mm	σ_h /mm	σ_s /mm
BZM0-BZM1	421	1.7	0.9	1.6	1.7
BZM0-BZM3	446	1.6	1.9	5.5	2.2
BZM1-BZM3	103	0.6	1.2	5.2	1.3
平均值		1.3	1.3	4.1	1.7

由表中数据得平面位置和高程中误差分别为 $\sigma_{\text{平面位移}} = \pm 1.8 \text{ mm}, \sigma_h = \pm 4.1 \text{ mm}$

表 7 利用 10 min 资料进行快速定位结果

Table 7 Results of using 10 minutes' data for fast positioning

基线名	边长 S/m	σ_x /mm	σ_y /mm	σ_h /mm	σ_s /mm
HGB0-HGB4	1194	4.8	2.6	9.1	2.8

$\sigma_{\text{平面位移}} = \pm 5.5 \text{ mm}, \sigma_h = \pm 9.1 \text{ mm}$

表 7 结果是由 17 个时段(每个时段 10 min)的定位结果求得的,已剔除了个别有粗差的时段资料.从上述结果可以看出,对于 1.2 km 左右的基线,利用 10 min 的资料求得的结果也能满足限差要求.但

中误差均已接近限差,而且解也不稳定,个别时段的解中含有粗差.因此,最好按 20~30 min 组织观测,求 2~3 个解,以便发现粗差加以剔除(如只有两个解时,还可根据同步环闭合差,异步环闭合差来检验哪个解含有粗差).然后取中数以提高精度.

7 结论和建议

(1)长江三峡链子崖至巴东段的 GPS 基准网及各块体的变形监测网已建成并投入运行.在试验期间进行了 3 期观测,每月一次,各块体中一般均含有 2 个或 3 个以上的基准点.基准点及变形监测点上都已建造了具有强制归心装置的观测墩.(2)通过本次试验证实了利用 GPS 进行三峡崩滑监测是可行的.该方法具有全天候,可同时测定点的三维位移,测站之间无需保持通视等优点,精度优于预定指标,从而为三峡库区崩滑地质灾害监测提供了一种新的有效的手段.(3)通过本次试验初步解决了 GPS 监测中最佳时段长度及最佳时段的选取,最佳截止高

度角的选取,在块体变形监测中宜采用什么软件和什么星历等问题。(4)根据崩滑地质灾害监测的特点,对 GPS 快速定位进行了研究。在 0.5 km 的边长内进行 10~20 min 观测,在 1.2 km 的边长上进行 20~30 min 的观测,其结果可以满足限差要求。从而大幅度提高了 GPS 监测的速度,有助于该技术的推广和普及。(5)经本次 GPS 监测试验(示范),已取得十分宝贵的经验和变形监测数据,因试验期间只进行了 3 期观测,时间过短,资料偏少,故对崩滑体的变形难以作出详细分析。因此建议国土资源部继

续安排监测,保持 GPS 监测资料的连续性,以便对有关问题进行进一步的深入研究。

参考文献:

- [1] 徐绍铨,李征航,柳太康,等. 隔河岩大坝外观变形 GPS 自动化监测系统的建立[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1998,(增刊): 1~3.
- [2] 张小红,李征航,徐绍铨. 三峡库区崩滑地质灾害 GPS 监测试验(示范)的精度评定[J]. 铁路航测, 2000,(1): 41~44.

APPLICATION OF GPS SATELLITE POSITIONING TECHNIQUE TO MONITORING OF LANDSLIDES IN THREE GORGES DAM

Wu Beiping¹, Li Zhenghang², Xu Shaoquan²

(1. Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. School of Surveying and mapping, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: The experimental research into the application of GIS satellite positioning technique to the monitoring of technology to the monitoring of landslides in Three Gorges dam, is an important project financed by the Ministry of Land and Resources to modernize the geological hazard monitoring, forecasting and prevention. This experimental research is to analyze, study and prove the feasibility of the application of GPS satellite positioning technique to the monitoring of landslides, to formulate technical regulations, and to build a demonstration region of the application of GPS to the monitoring of geological hazards in the section from Lianziya to Badong. The experimental research into the GPS-based monitoring of the landslides in Three Gorges dam deals with the selections of the optimum GPS monitoring hour, the optimum GPS monitoring duration, the optimum cutoff elevation angle for the GPS monitoring, and with the adoption of appropriate software and ephemeris. The research results show that GPS satellite positioning technique which can satisfy the precision required for the monitoring of the landslides is feasible.

Key words: GPS; landslide mass; GPS monitoring hour; cutoff elevation angle; satellite ephemeris.