

GPS 技术在三峡库区地质灾害预警中的应用

范意民^{1,2}, 王海军³, 张静薇¹, 杨建英², 伍 岳¹

(1. 三峡大学三峡库区地质灾害教育部重点实验室, 宜昌 443002;

2. 三峡库区地质灾害防治工作指挥部, 宜昌 443000; 3. 二炮士官学校作战保障教研室, 青州 262500)

摘要: 三峡库区地质灾害监测预警工程是库区防灾减灾的重要手段。GPS 监测作为高新技术在地质灾害专业监测中发挥了重要作用。文章介绍了三峡库区三级 GPS 监测网的构建, 为全库区地质灾害监测预警提供了统一的坐标基准, 为库区 GPS 基准网提供了准确的起算数据, 为分析各滑坡体基准点的位移变形和稳定性提供了参考。实践表明, GPS 监测技术能较好地满足三峡库区地质灾害监测预警的要求, 能及时、准确地反映地质灾害体的地表变形情况及特征, 为地质灾害防治提供科学的判断依据。

关键词: 地质灾害监测预警工程; GPS; 三峡库区; 专业监测

中图分类号: P208; P694

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2008)04-0102-04

1 引言

随着三峡水库蓄水, 库区地质灾害受到了国家党和政府的高度重视。为了更好地对地质灾害进行监测与防治, 国土资源部于 2001 年启动了三峡库区地质灾害监测预警工程, 包括群测群防系统和专业监测系统。专业监测系统采用全球卫星定位系统(GPS)等监测技术对库区重大崩滑体、重点水库岸坡段实施立体和应急监测, 通过以高新监测技术为主体的三峡库区专业监测网, 对全库区的地质灾害进行全面监控, 形成了三峡库区突发性地质灾害进行应急监测的能力。

在三峡库区地质灾害监测预警工程专业监测系统中, GPS 监测方法以其快速、精确、简便等独特的优越性成为斜坡地表变形监测的重要手段。三峡库区地质灾害防治工作指挥部从技术操作、监测需要、节省费用、作业方便等角度出发, 构建了三峡库区三级 GPS 网方案, 即: A 级控制网、B 级基准网和 C 级变形监测网。同时对 GPS 点位选取、作业方案、数据处理等相关内容作出了科学的规范。二期地质灾害防治实践表明, 三级 GPS 监测方案是切实可行极有成效的, 在将来三期地质灾害防治工作中也能持续利用。

2 三级 GPS 监测网

2.1 A 级控制网

三峡库区 GPS A 级控制网是整个库区地表 GPS 变形监测的框架网, 根据全库区不稳定库岸的实际情况, 按精度、可靠性、经济性三个指标及国家 A 级网要求^[1]建设了 14 个 GPS A 级控制点, 主要分布在秭归、兴山、巴东、巫山、巫溪、奉节、云阳、开县、万州、丰都、武隆、长寿、重庆、江津各县(区、市), 如图 1 所示。

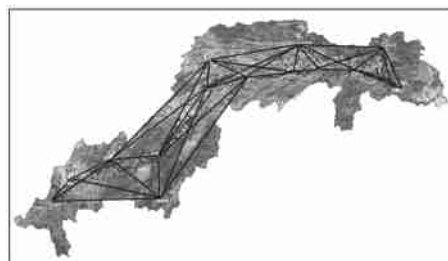


图 1 三峡库区 GPS A 级控制网分布示意图

Fig. 1 Distribution of GPS A grade controlling web in the TGR Area

A 级网数据解算以云阳点为起算点, 云阳点在 ITRF(International Terrestrial Reference Frame, 国际地球参考框架)中的坐标经与武汉(WUHN)、北京(BJFS)、上海(SHAO)、西安(XIAN)、拉萨(LHAS)、昆明(KUNM)等全球 GPS IGS(International GNSS Service, 国际全球导航定位系统服务)跟踪站联测后解算得出。基线解算采用 IGS 精密星历, 利用 GAMIT/CLOBK 软件处理数据。GPS 接收机天线 L1、L2 相位中心偏差采用 GAMIT 软件的设定值; 对流层折射改正, 先根据标准大气模型

收稿日期: 2008-04-14; 修订日期: 2008-05-10

基金项目: 三峡库区地质灾害教育部重点实验室(三峡大学)
开放基金项目(2006KJZ05)

作者简介: 范意民(1972-), 男, 工程师, 长期从事三峡库区地质灾害调查、防治、监测及预警预报工作。

E-mail: ymfan@mail.sxdzfz.gov.cn

改正^[2],采用分段线性的方法估算折射量偏差参数,每4h估计1个参数,再用实测的气象参数计算,当两者之差超出允许范围,就采用实测气象参数的结果;电离层折射采用LC观测值来消除;同时考虑了卫星钟差改正、接收机钟差改正和潮汐改正。

通过上述模型改正及基线解算,根据联测的国家大地控制点坐标,求出各个GPS控制点在BJ54系和BJ80系中的坐标。其中控制网解算结果要求达到如下指标:

- (1) 云阳点精度优于10cm(相对于WGS-84坐标系);
- (2) 所有GPS基线相对精度优于 0.5×10^{-7} (即1/20000000);
- (3) 全网最弱点的点位中误差优于 $\pm 3.4\text{mm}$ (相对于云阳点)。

2.2 B级基准网

GPS B级基准网是滑坡体变形监测的基准。变形监测点是否有变形,就是相对基准点而言的。GPS基准点也可作为三峡库区滑坡工程防治、库区工程建设、工程测量等工作提供控制坐标。因此基准点的正确性、可靠性、稳定性至关重要。

根据每一个滑坡体的实际情况,在滑坡体的上部或左右两边布设GPS基准点,每一个滑坡体布设2~3个基准点,临近滑坡体的基准点共用。基准点与监测点的距离一般小于3km,个别最远不超过5km。将就近滑坡体的基准点联在一起构成基准网,三峡全库区约有210个基准点。为有利于工作,根据三峡库区滑坡体分布的情况,将210个基准网分成4个基准网。即秭归—巴东段基准网(51点)、巫山—奉节段基准网(41点)、云阳—开县段基准网(67点)、丰都—江津段基准网(51个点)(图2)。

GPS B级网的内业解算采用IGS精密星历通过GAMIT软件来进行数据处理。B级基准网设计预期精度^[3]为当基线长度 $<3\text{km}$ 时,中误差^[4](衡量观测精度的一种数字标准,亦称“标准误差”或“均方根差”,即在相同观测条件下的一组真误差平方中数的平方根)优于 $\pm 3\text{mm}$;当基线长度 $>3\text{km}$ 时,优于1/1000000(相对于各GPS基准网中的GPS控制点)。4个子网中大部分B级点间距在3km以上,计算结果见表1。解算结果表明点位精度均能满足地质灾害专业监测中作为变形体基准点的要求。

2.3 C级变形监测网

按照地质灾害变形体的变形特征及GPS C级网要

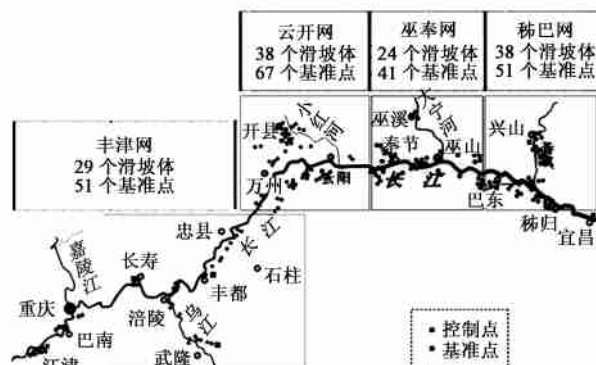


图2 三峡库区GPS B级基准网分布

Fig.2 Distribution of GPS B grade base web in the TGR Area

表1 三峡库区GPS基准网解算精度

Table 1 Resolution precision of GPS base web in the TGR Area

基准网	基线绝对中误差	点位平面中误差	点位高程中误差
秭巴网	$<4\text{mm}$	$<3\text{mm}$	$<5.1\text{mm}$
巫奉网	$<2\text{mm}$	$<3\text{mm}$	$<5.6\text{mm}$
云开网	$<3\text{mm}$	$<3\text{mm}$	$<7.1\text{mm}$
丰津网	$<3\text{mm}$	$<3\text{mm}$	$<8.2\text{mm}$

求,共建成127个崩塌滑坡和2段水库岸坡GPS C级变形监测网,共建C级网监测标墩1070个。GPS变形监测网直接布设在崩塌滑坡体上,一般位于变形体的阻滑段前缘、下滑段前后缘、牵引滑段前缘和变形体剪出口处,构成纵横相交的监测剖面。每个变形监测点均可直接反映出该处地表变形量,用于对该崩滑体的监测预报。GPS C级变形监测网的监测由专业监测单位每月定期上报实测数据。

3 GPS监测效果分析

2003年汛期前后对三峡库区白水河等几处变形较大的滑坡进行了连续5期的GPS变形监测,充分利用了三级GPS网监测地质灾害体地表形变的思想,取得了较好的监测预警效果。

3.1 白水河地质条件

白水河滑坡体处于长江宽河谷地段,为单斜地层顺向坡地形,南高北低,呈阶梯状向长江展布。大地构造上处于秭归向斜西翼,出露侏罗系下统香溪群中厚层状砂岩夹薄层状泥岩,岩层产状 $15^{\circ} \sim 36^{\circ}$ 。岩层节理裂隙发育,主要为近东西向和近南北向两组陡倾裂隙。

滑坡物质组成为第四系残坡积碎石土、滑坡堆积

块石,块石块径一般在 0.5m 以内,碎石粒径一般为 2~8cm,碎石土中的土石比为 8:2~6:4。

据钻探资料,该滑坡有两层滑带:上层滑带为第四系覆盖层与基岩块裂岩接触带,厚 0.9~3.13m,以粉质粘土为主、夹少量碎石,深灰色可塑-软塑,含炭质,碎石粒径多为 2~8cm,表面有滑动后磨光现象及擦痕,埋深 12~25m;下层滑带为块裂岩底部与下伏基岩即砂岩滑床接触带,为含炭质粉砂质泥岩,深灰色,岩性软,由薄层含炭质泥岩组成,该段不透水,埋深 18.9~34.1m。

上层滑带滑床为块裂岩体,灰色,结构致密、坚硬,为中厚层泥质粉砂岩,岩心较完整,呈柱状、长柱状,厚 4.2~17.2m。下滑带滑床为深灰色薄至中厚层粉砂岩夹薄层含炭质泥质粉砂岩,结构较致密、坚硬,岩心多呈柱状,顶部薄层状基岩受滑动影响呈泥状、片状。

3.2 白水河 GPS 监测分析

秭归县白水河滑坡体监测网有 1 个基准点(ZG14),6 个变形监测点(分别位于滑坡前缘、中部和后缘)。整个解算以 ZG14 为起算点。图 3、4 为滑坡体 2003 年汛期前后 5 期 GPS 监测结果三维变形图和二维变形图,解算软件采用滑坡快速结算软件 Gquicks1.0^[5~9]。图中显示滑坡体地表的整体变形趋势为向江中滑移,前缘监测点 ZG93、ZG18 在监测期间的平均月变化量相对于后缘达到 21mm(表 2,前缘点与后缘点速度矢量之差),后缘点变形方向相对于基准点 ZG14 向后运动,说明整个滑坡均在做整体蠕滑;滑坡体前缘、中部变形速度较大,且滑体前缘变形速度大于其他部位,表现为牵引式滑移,与三峡大学岩崩所监测队的现场监测和宏观巡查结果相吻合。该滑坡 2007 年发出橙色预警,整个后缘已有明显拉裂,前缘变形较大,这也充分说明了利用 GPS 监测数据可对滑坡变形趋势做客观分析,能起到预警的作用。

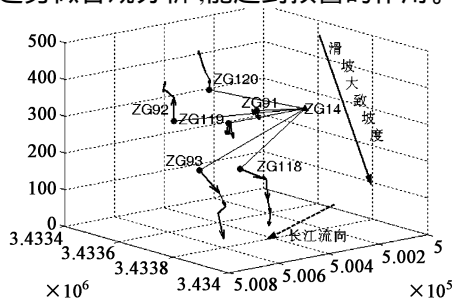


图 3 白水河滑坡体 5 期监测点位三维变化

Fig. 3 Three-dimensional deformation of Baishuihe landslide monitoring points

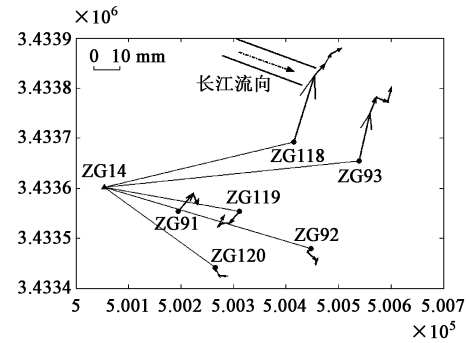


图 4 白水河滑坡体 5 期监测点位二维变化

Fig. 4 Two-dimensional deformation of Baishuihe landslide monitoring points

表 2 白水河滑坡体 5 期监测点位方位角及位移变化

Table 2 Variation of azimuth and deformation of Baishuihe landslide monitoring points

点名	北方向 形变 (mm)	东方向 形变 (mm)	垂直形 变(mm)	点位变化 方位角 ($^{\circ}$) (00 00.000)	变化量 (mm)	变化 速度 (mm/month)
ZG91	4.5	7.5	0.9	59.02 10 471	8.8	2.838 7
ZG92	-3.8	2.5	21.0	146.39 33 444	21.5	6.935 5
ZG93	2.9	12.1	-29.5	22.22 13 197	43.4	14.000 0
ZG18	37.2	1.8	-20.9	25.41 45 814	46.3	14.935 5
ZG19	-1.8	-5.9	-9.4	253.02 01 876	11.2	3.612 9
ZG20	-3.5	4.1	21.0	130.29 09 644	21.7	7.000 0

4 结论

通过对三峡库区三级 GPS 网的布设,为全库区地质灾害监测预警提供了统一的坐标基准,为 GPS 基准网提供了准确的起算数据,能够及时准确地反映地质灾害体的变形情况及特征,为地质灾害工作提供科学的判断依据。随着三峡库区的持续建设发展,将三峡库区 GPS 网与全球 IGS 站联测,还可起到如下作用:

- (1) 用于全库区地壳形变、板块运动及地震预报分析;
- (2) 为全库区高精度要求的建设工程提供控制坐标;
- (3) 为全库区水、陆运输“智能交通管理系统”提供高精度的 WGS-84 系地心坐标;
- (4) 对 GPS 控制网点稍加改造,可用作三峡库区差分 GPS 的基站;
- (5) 可作为全库区 GPS 气象(预报降雨量)预报系统的基站。

随着三峡工程的进一步建设,GPS 监测技术将会在库区发挥出越来越显著的作用。

参考文献:

- [1] 国家质量技术监督局. GB/T 18314-2001 全球定位系统(GPS)测量规范[S]. 北京:中国标准出版社, 2001.
- [2] 魏子卿, 葛茂容. GPS 相对定位的数学模型[M]. 北京:测绘出版社, 1997.
- [3] 三峡地质灾害防治工作指挥部. 三峡库区崩塌滑坡 A 级控制网和 B 级基准网 GPS 首期联测技术报告[R]. 2005.
- [4] 武汉测绘科技大学测量平差教研室. 测量平差基础[M]. 北京:测绘出版社, 1996.
- [5] 徐绍铨, 余学祥. GPS 变形监测专用 QuickS 软件[J]. 全球定位系统, 2003, 28(5): 2-6.
- [6] 余学祥, 徐绍铨, 吕伟才. 三峡库区滑坡体变形监测的似单差方法与结果分析[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2005, 30(5): 451-455.
- [7] 余学祥. GPS 变形监测信息获取方法的研究与软件研制[D]. 武汉:武汉大学博士学位论文, 2002.
- [8] Yu X X, Xu S Q, Lu W C. New Method for Solving GPS Deformation Monitoring Information at Single Epoch[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2003, 13(2): 159-165.
- [9] Yu X X, Xu S Q, Gao W, et al. Similar Single-Difference Model and its Algorithm for Solving GPS Monitoring Information Directly at Single Epoch[J]. Geospatial Information Science, 2003, 6(4): 51-56.

Application of GPS technique for geological hazards monitoring in the Three Gorges Reservoir area

FAN Yi-min^{1,2}, WANG Hai-jun³, ZHANG Jing-wei¹, YANG Jian-ying², WU Yue¹

(1. Key Laboratory of Geological Hazards in Three Gorges Reservoir Area Ministry of Education, China Three Gorges University, Yichang 443002, China;

2. Working Headquarters for Prevention and Treatment of Geological Hazards in TGR Area, Yichang 443000, China;

3. Staff Room of Campaign guarantee, The Second Artillery Petty Officer School, Qingzhou 262500, China)

Abstract: Professional monitoring of geological hazards monitoring and forecast projects are important measures to prevent and forecast hazards in the Three Gorges Reservoir area. GPS monitoring as a new technique plays an important role in hazards monitoring. The united coordinate benchmark of geological hazard monitoring and forecast, accurate original data for GPS base web and stability of base points in every landslide are provided through the construction of three-grade GPS web in the TGR area. The practice of GPS deformation monitoring shows that the GPS monitoring technique is able to satisfy the needs of geological hazards monitoring and forecast projects, accurately reflect the deformation and its characteristics of landslide and provide scientific judge gist for the work of geological hazard monitoring and forecast.

Key words: geological hazard monitoring and forecast project; GPS; TGR area; professional monitoring

责任编辑:汪美华

更正:

本刊 2007 年第 6 期第 113 页公式(1)~(4)有误,现更正如下:

$$F_1 = N_a / (N_a + N_b + N_c) \quad (1)$$

$$\text{更正为: } F_1 = N_a / (N_a + N_b + N_c) \quad (1)$$

$$F_2 = N_c / (N_a + N_c) \quad (2)$$

$$\text{更正为: } F_2 = N_c / (N_a + N_c) \quad (2)$$

$$F_3 = N_b / (N_a + N_b) \quad (3)$$

$$\text{更正为: } F_3 = N_b / (N_a + N_b) \quad (3)$$

$$F_1 = (N_a + N_b) / (N_a + N_c) \quad (4)$$

$$\text{更正为: } F_1 = (N_a + N_b) / (N_a + N_c) \quad (4)$$

因此给作者和读者带来的不便,本刊编辑部深表歉意。

《水文地质工程地质》编辑部