

文章编号:1673-9469(2008)02-0072-04

GPS在滑坡外观变形监测中的应用

郭永成¹, 刘 辉², 何春桂², 张安兵²

(1. 武安市国土资源局, 河北 武安 056300; 2. 河北工程大学 资源学院, 河北 邯郸 056038)

摘要: GPS技术具有全天候、自动化、选点灵活、可同时测定点的三维位置与速率等优点, 因而为滑坡监测提供了一种新的有效的数据采集手段。主要介绍了GPS用于滑坡变形监测的方法, 并通过三峡库区卡子湾滑坡体的变形监测介绍了GPS滑坡监测的整个过程, 包括监测网的技术设计、外业观测、数据处理、变形分析等内容。监测结果表明, 采用GPS静态定位技术达到mm级的精度, 完全可以满足高精度滑坡监测的要求。

关键词: 全球定位系统(GPS); 滑坡; 变形监测

中图分类号: P208

文献标识码: A

GPS technology used in sanxia landslide deformation monitoring

· GUO Yong-cheng¹, LIU Hui², HE Chun-gui², ZHANG An-bing²

(1. Wuan Bureau of Land Resources, Wuan 056300, China; 2. College of Natural Resource, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China)

Abstract: The GPS technology has many advantages such as round-the-clock, roboticized, liberty in selecting points, and capable of providing three-dimensional coordinates, so it provides a new and effective data collection method for landslide monitoring. The author mainly research the method of GPS technology used in landslide monitoring and give the all process according to researching landslide monitoring of Kaziwan landslide in Sanxia area, including technology design of monitoring network, field survey, data processing and deformation analysis. The results indicated that GPS static positioning technology reached the precision of mini-meter and fully meet the requirements of high-precision deformation monitoring.

Key words: Global Positioning System(GPS); landslide; deformation monitoring

滑坡是一种严重的地质灾害。许多大型基础设施的建设, 如高速公路、铁路、水库等设施, 在开挖山体时, 都有发生滑坡的可能。这就要求采用一种成本低、易于推广和有效的监测手段, 对这些潜在或是正在滑动的滑坡体进行监测, 以避免大面积滑坡产生时造成难以预料的损失^[1]。GPS技术具有全天候、自动化、选点灵活、可同时测定点的三维位置与速率等优点^[2], 因而为滑坡监测提供了一种新的有效的数据采集手段。

目前, GPS技术被广泛应用于许多工程建设中, 我国在变形与滑坡监测领域, 取得了丰硕的理论研究成果, 并发挥了实用效益。例如, 隔河岩大坝外观变形GPS自动化监测在1998年长江流域

抗洪抢险中所发挥的巨大作用, 确保了安全渡汛, 避免了荆江大堤灾难性的分洪^[3]; 2007年用于雅砻江卡拉电站滑坡监测^[4]等。

通过对卡子湾滑坡体三期实测试验与研究, 证明在滑坡监测时, 完全可用GPS来代替常规的外观监测方法, 且在精度、速度、时效性、效益等方面都优于常规方法。

1 GPS滑坡外观监测网的建立

1.1 监测网的技术设计

与常规变形监测网的技术设计相类似, GPS滑坡外观监测网的技术设计也要满足规范。GPS

收稿日期: 2008-02-28

基金项目: 国家测绘局重点实验室项目(200709); 河北工程大学青年基金资助项目(Z33)

作者简介: 郭永成(1968-), 男, 河北武安人, 工程师, 从事工程测量等方面的研究。

变形监测网坐标系统可以选择 WGS-84 坐标系。在进行基准设计时,最好能联测至少一个测区附近高精度的国家 GPS 点(A、B、C 级点等),保证监测网达到 D 级,确保 GPS 网点的位置基准达到毫米级精度,能有效提高 GPS 基线解算精度。

1.2 设计依据

GPS 滑坡监测网的技术设计既要依据 GPS 测量规范和规程,又要依据工程测量规范、各部门制定的规程以及滑坡监测任务书(全球定位系统(GPS)测量规范;工程测量规范;变形测量规范;变形监测任务书)^[5-7]。

1.3 网点及网形的设计

GPS 滑坡监测网点的设计包括基准点的设计和监测点的设计。

GPS 滑坡外观监测的基准点点位的确定原则如下:

- 1)地质条件好,点位稳定。
- 2)适合 GPS 观测条件,并无显著多路径效应。
- 3)可能选用经实践证明,点位稳定的原滑坡区域内的基准网点。因原基准点都经地质勘探,且建有稳固的观测墩,便于稳定性分析。

GPS 滑坡外观监测的监测点点位的选定原则为:能有效的反映滑坡变形特征;适合 GPS 观测条件。

2 应用实例

2.1 GPS 监测网的布设

三峡工程是世界瞩目的伟大工程,整个三峡库区滑坡多达 2 000 多处,本论文仅以三峡库区位于湖北段境内的卡子湾滑坡体为例说明 GPS 滑坡外观监测网的建立与数据处理过程。

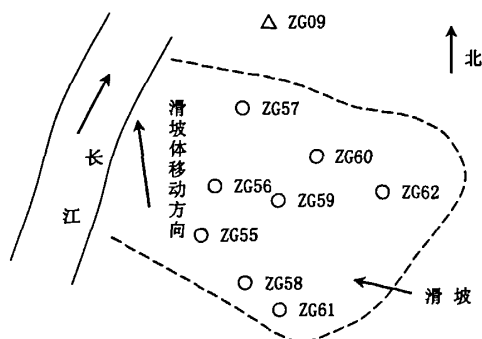


图1 卡子湾滑坡体GPS监测网形结构
Fig.1 The GPS monitoring network structure of Kaziwan landslide

根据对现场条件的野外勘察,按照布网原则,布设了如图 1 所示的卡子湾滑坡体 GPS 外观变形监测网。其中,ZG09 为布设在该滑坡体以外稳定基岩上的基准点,ZG55-ZG62 为布设在本滑坡体上的 8 个监测点,监测点距基准点的平均距离为 826m,最长距离为 1 166m,最短距离为 393m。8 个监测点呈 3 列沿与长江基本垂直的方向布设,基准点和监测点都有强制对中装置。

2.2 GPS 监测网的野外观测

本监测网的外业观测利用美国 Trimble 公司生产的三种类型的 GPS 双频接收机 4 台,观测方法采用静态相对定位的方法进行野外数据采集,数据采样率为 15s。首期观测时,基准点上连续观测 6h,监测点上连续观测 2h;以后各期观测时,基准点上连续观测 4h,监测点上连续观测 1.5~2h。

在外业观测作业中,为提高观测精度,我们采取了如下几个具体的措施:

- 1)卫星选择。同步观测的卫星不少于 4 颗,均匀分布在四个象限。
- 2)图形强度因子 GDOP 值的选择。较小的 GDOP 值表明卫星星座与测站构成的几何图形较好,GDOP 值越佳则意味着越能获得良好的观测成果,所以观测中选择的 GDOP 值均在 6 以下。
- 3)量取天线高时,用三角板直接丈量到天线相位中心的参考点(ARP)。

2.3 数据处理方案

在首期观测时,先将基准点(ZG09)与已知站联测,采用 GMAIT 软件和精密星历解算,获得基准点的精确 WGS-84 坐标;对于以后各期的数据处理,采用随机软件 TGO1.6 进行解算。

在数据处理过程中,对同步边观测数据的检核:三期观测数据的基线向量剔除率分别为 3.2%、2.2% 和 3.9%,均在 5% 以内,合乎规范要求;根据软件生成的残差图可以看出,载波相位观测值中的残差均未超过 0.1 周,且残差图曲线基本平滑连续而且数值比较小,说明观测数据质量比较好,符合高精度 GPS 监测的要求。

表 1、表 2 分别列出了三期 GPS 监测网的同步环闭合差和异步环闭合差的精度统计表,从表中数据可以看出,监测网的外业观测质量符合《全球定位系统(GPS)测量规程》的要求,数据质量较高。

表 3 列出了监测网平差后的点位中误差统计

数据,三期数据的单位权中误差分别为 2.96mm, 3.15mm,3.22mm。

从统计结果可以看出,本监测网的三期监测数据观测经空间无约束平差后的各项精度指标都能达到预期目标,在精度、可靠性和置信度等三个方面也都达到了预期的设计要求,该 GPS 滑坡监测网是合格的。

2.4 监测成果分析

表 4 给出了卡子湾滑坡体三期变形信息的统

计结果,通过对监测数据的变形分析,可以看出:基准点 ZG09 稳定可靠,该滑坡体的 8 个监测点均发生了不同程度的变形,其中第二期监测,最大平面位移点为 ZG56($dN = 14.0\text{ mm}$, $dE = -38.4\text{ mm}$),最大下沉点为 ZG62(-34.6 mm);第三期监测,最大平面位移点为 ZG56($dN = 22.4\text{ mm}$, $dE = -61.6\text{ mm}$),最大下沉点为 ZG62(-37.1 mm)。

该滑坡体 8 个监测点的变形方向基本一致,大致朝向长江水流的方向,距离长江越近,越接近水流的下游,变形量则越大。

表 1 同步环闭合差统计表

Tab.1 The statistics of synchronized loop closure error

监测 期数	个数	最佳精度 (mm/km)	最差精度 (mm/km)	平均精度 (mm/km)
1	15	0.645	11.371	3.615
2	18	0.238	11.389	3.285
3	19	0.297	13.251	4.027

表 2 异步环闭合差统计表

Tab.2 The statistics of sub-synchronized loop closure error

监测 期数	个数	最佳精度 (mm/km)	最差精度 (mm/km)	平均精度 (mm/km)
1	22	0.986	18.343	5.246
2	28	1.135	16.258	8.354
3	26	1.348	18.246	7.028

表 3 点位中误差统计表(mm)

Tab.3 The statistics of points main square error (mm)

点名	第一期			第二期			第三期		
	σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z
ZG09	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZG55	1.8	1.8	4.5	1.1	0.9	4.1	1.6	1.7	5.9
ZG56	1.2	1.1	4.2	1.0	1.1	3.8	1.5	1.3	3.2
ZG57	2.3	1.9	3.8	1.0	0.8	3.2	1.6	1.4	4.1
ZG58	1.9	1.9	4.6	1.0	1.1	3.7	1.6	1.5	3.5
ZG59	1.1	1.0	3.8	1.1	0.9	3.2	1.3	1.5	4.4
ZG60	1.2	1.0	3.4	1.0	0.8	3.5	1.4	1.2	3.0
ZG61	2.4	2.0	3.9	1.0	1.1	3.4	1.4	1.6	5.8
ZG62	2.8	2.4	5.6	1.1	1.2	3.4	1.9	2.1	4.7

表 4 卡子湾滑坡体三期变形量统计表(mm)

Tab.4 The statistics of three periods deformation value of Kaziwan landslide

点名	第二期减第一期			第三期减第一期			第三期减第二期		
	N	E	H	N	E	H	N	E	H
ZG09	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZG55	5.4	-2.7	-2.1	3.7	-0.4	2.7	-1.7	2.4	4.8
ZG56	14.0	-38.4	-15.0	22.4	-61.6	-14.8	8.4	-23.2	0.2
ZG57	10.8	-24.0	-24.4	14.7	-37.3	-33.9	3.9	-13.3	-9.5
ZG58	8.2	-6.0	-3.6	8.4	5.3	9.4	0.2	11.3	13.0
ZG59	9.6	-18.3	-15.2	16.3	-29.8	-16.9	6.7	-11.5	-1.7
ZG60	13.8	-10.3	-7.9	26.3	-22.7	-10.5	12.5	-12.4	-2.6
ZG61	5.3	-9.6	-25.1	2.3	0.8	-8.5	-3.0	10.4	16.6
ZG62	6.9	7.9	-34.6	10.8	10.6	-37.1	3.9	2.7	-2.5

3 结语

本文主要介绍了GPS用于滑坡外观变形监测的方法,并通过三峡库区卡子湾滑坡体实例介绍了整个监测过程。其中,需要特别注意的问题有:

1)在对GPS监测网点进行观测时,最好采取强制对中措施,以保证对中精度在1mm内;为保证高程方向的监测精度,应采用固定天线高的方法消除天线高的丈量误差。

2)对于GPS监测网,外业观测质量合格只能说明GPS网中没有出现错误和大的粗差,网中是否含有小的粗差和异常值,还需要通过网平差后的质量评价来确定。一个GPS网,只有通过了这两个方面的检核,才能认为是合格的。

3)对于GPS监测网,要根据监测区域中是否存在稳定的基准点而选用固定基准、秩亏基准和拟稳基准,对于选定的基准点,必要时还必须进行

基准点的稳定性分析,只有通过检验,才能用于下一步的变形分析。

参考文献:

- [1] 王爱华,周园,殷百寿. 基于GIS的滑坡单因子分析研究[J]. 河北工程大学学报, 2007, 24(2): 91-93.
- [2] 刘基余,李征航,王跃虎,等. 全球定位系统原理及应用[M]. 北京:测绘出版社, 1999.
- [3] 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, 23(增刊): 1-4.
- [4] 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, (2): 65-68.
- [5] 国家质量技术监督局. 全球定位系统(GPS)测量规范[M]. 北京:中国标准出版社, 2002.
- [6] 中华人民共和国建设部. 工程测量规范[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1997.
- [7] 中华人民共和国建设部. 建筑变形测量规范[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2007.

(责任编辑 刘存英)

(上接第64页)随着矿井开采深度的增大,可靠性指标逐渐减小,失效概率逐渐增大。以煤层隔水底板失效概率 $1.5 \times 10^{-3} \sim 3.0 \times 10^{-3}$ 作为判别标准,该矿井最大合理开采深度约为310m。

4 结论

1)可靠度分析方法用于煤层隔水底板稳定性评价,同时考虑了水压、煤层隔水底板力学强度和采矿破坏深度的不确定性,避免了定值法预测结果的绝对化。计算结果表明,可靠度方法应用于煤层隔水底板稳定性评价是可行的。

2)分析了矿井底板突水系数与失效概率的关系,以矿井规程规定的临界突水系数为基础,并参考其它事故的发生率,确定了合理的可靠指标,建议煤层隔水底板失效概率值为 $1.5 \times 10^{-3} \sim 3.0 \times 10^{-3}$ 。

3)由于矿区地质、水文地质条件的复杂性,可靠度方法用于煤层隔水底板稳定性评价,尚需进一步接受实践的检验。特别需要通过大量资料的积累,建立隔水底板岩石强度、水压和采矿破坏深

度等不确定因素合理的分布模型,使评价结果更为可靠。

参考文献:

- [1] 房佩贤,卫中鼎,廖资生. 专门水文地质学[M]. 北京:地质出版社, 2005.
- [2] 施龙青,韩进. 开采煤层底板“四带”划分理论与实践[J]. 中国矿业学报, 2005, 34(1): 16-23.
- [3] 武强,庞伟,戴迎春,等. 煤层底板突水脆弱性评价的GIS与ANN耦合技术[J]. 煤炭学报, 2006, 31(3): 314-319.
- [4] 李丽,程久龙. 基于信息融合技术的矿井底板突水预测[J]. 煤炭学报, 2006, 31(5): 623-626.
- [5] 韩宇平,许拯民. 区域水资源短缺风险调控研究[J]. 河北工程大学学报, 2007, 24(4): 81-84.
- [6] 杜文堂. 断层防水煤柱可靠度分析[J]. 煤田地质与勘探, 2001, 29(1): 34-36.
- [7] 黄兴棣. 工程结构可靠性设计[M]. 北京:人民交通出版社, 1989.
- [8] 刘正林. 井径煤田底板突水强度和突水频率趋势预测研究[J]. 中国矿业大学学报, 1993, 22(2): 93-99.

(责任编辑 闫纯有)

作者: 郭永成, 刘辉, 何春桂, 张安兵, GUO Yong-cheng, LIU Hui, HE Chun-gui, ZHANG An-bing

作者单位: 郭永成, GUO Yong-cheng(武安市国土资源局, 河北, 武安, 056300), 刘辉, 何春桂, 张安兵, LIU Hui, HE Chun-gui, ZHANG An-bing(河北工程大学, 资源学院, 河北, 邯郸, 056038)

刊名: 河北工程大学学报(自然科学版) 

英文刊名: JOURNAL OF HEBEI UNIVERSITY OF ENGINEERING (NATURAL SCIENCE EDITION)

年, 卷(期): 2008, 25 (2)

被引用次数: 4次

参考文献(7条)

1. 王爱华;周园;殷百寿 基于GIS的滑坡单因子分析研究[期刊论文]-河北工程大学学报(自然科学版) 2007 (02)
2. 刘基余;李征航;王跃虎 全球定位系统原理及应用 1999
3. 徐绍铨;李征航;柳太康 隔河岩大坝外观变形GPS自动化监测系统的建立 1998 (zk)
4. 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[期刊论文]-测绘工程 2007 (02)
5. 国家质量技术监督局 全球定位系统(GPS)测量规范 2002
6. 中华人民共和国建设部 工程测量规范 1997
7. 中华人民共和国建设部 建筑变形测量规范 2007

本文读者也读过(10条)

1. 陈永波. CHEN Yongbo 基于GPS的雅安峡口滑坡变形监测[期刊论文]-山地学报2008, 26 (6)
2. 刘辉. 何春桂. 张安兵. 刘海新. LIU Hui. HE Chun-gui. ZHANG An-bing. LIU Hai-xin GPS技术在三峡库区滑坡监测中的应用[期刊论文]-长江科学院院报2008, 25 (4)
3. 尹紫红 某滑坡体GPS变形监测[期刊论文]-铁道建筑2007 (11)
4. 唐杰军. 汪亦显. TANG Jie-jun. WANG Yi-xian GPS在山区滑坡变形监测中的应用[期刊论文]-防灾减灾工程学报2009, 29 (1)
5. 唐杰军 GPS在山区滑坡变形监测中的应用[期刊论文]-公路2008 (10)
6. 易庆林. 曾怀恩. 黄海峰. YI Qing-lin. ZENG Huai-en. HUANG Hai-feng 基于GPS监测数据的某滑坡变形分析[期刊论文]-地质科技情报2010, 29 (6)
7. 张建坤. 黄声享. 李翅. 陈强. ZHANG Jiankun. HUANG Shengxiang. LI Chi. CHEN Qiang GPS技术在滑坡变形监测中的应用[期刊论文]-地理空间信息2009, 7 (6)
8. 俞得响. 邹双朝. YU Dexiang. ZOU Shuangchao GPS技术在滑坡变形监测中的应用[期刊论文]-地理空间信息2009, 7 (1)
9. 谢秋生. XIE Qiu-sheng GPS在矿山边坡变形监测中应用的探讨[期刊论文]-矿业工程2010, 08 (3)
10. 裴喜安. 张效锋 淮河防汛调度楼变形监测及分析[期刊论文]-治淮2005 (11)

引证文献(4条)

1. 阮志敏 公路滑坡监控信息管理系统的设计与实现[期刊论文]-公路交通技术 2011 (3)
2. 程军 GPS滑坡监测高程精度分析[期刊论文]-通信技术 2009 (7)
3. 张建坤. 黄声享. 李翅. 陈强 GPS技术在滑坡变形监测中的应用[期刊论文]-地理空间信息 2009 (6)
4. 王晓华. 王树东. 胡昊 塔里木河流域遥感波段及重构向量的特征空间分析[期刊论文]-河北工程大学学报(自然科学版) 2009 (4)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hbjzkjxyxb200802020.aspx