

陈伟. 长距离 RTK 动态测量滑坡监测精度分析[J]. 华南地震, 2018, 38 (4): 29-33. [CHEN Wei. Precision Analysis of Landslide Monitoring with Long Distance RTK Dynamic Measurement[J]. South China journal of seismology, 2018, 38(4): 29-33]

长距离 RTK 动态测量滑坡监测精度分析

陈 伟

(广东省国土资源测绘院, 广州 510500)

摘要: 短基线 RTK 技术的精度符合滑坡监测的要求, 由于滑坡地带的特殊性, 在利用 RTK 技术进行滑坡监测时, 流动站与基准站构成长基线。长基线 RTK 观测精度是否符合滑坡监测精度要求未知。进行了模拟实验, 设定一条长基线, 利用 RTK 观测对固定不动的观测点进行动态测量, 求出其观测坐标, 将观测坐标与平均坐标相比, 并利用求坐标中误差的方法解算出水平精度和高程精度, 结果求得的水平精度和高程精度都达到了厘米级。结果显示: 长基线 RTK 技术可以很好的用于滑坡监测, 且监测精度达到厘米级。

关键词: 长基线; RTK; 差分; 滑坡监测; 极限误差

中图分类号: P642.22 文献标志码: A 文章编号: 1001-8662(2018)04-0029-05

DOI: 10.13512/j.hndz.2018.04.005

Precision Analysis of Landslide Monitoring with Long Distance RTK Dynamic Measurement

CHEN Wei

(Surveying and Mapping Institute Lands and Resource Department Of Guangdong Province ,
Guangzhou 510500, China)

Abstract: Practice has proved that the accuracy of short baseline RTK technology meets the requirements of landslide monitoring. Due to the particularity of landslide area, the baseline of mobile station and reference station should be built up when RTK technology is used for landslide monitoring. Whether the long baseline RTK observational accuracy meets the requirements of the landslide monitoring precision is unknown. This paper carried out a simulation experiment with setting a long baseline by using the RTK observation point on a fixed position of the dynamic measurement, calculated the observation coordinate, compared the observed coordinates with the average coordinates, and used the method of coordinates error to solve the horizontal and elevation accuracy. The results show that the horizontal and elevation accuracy obtained has reached centimeter level. The experiment shows that the long baseline RTK technology can be used well for landslide monitoring and the

收稿日期: 2018-08-12

作者简介: 陈 伟(1984-), 男, 工程师, 主要从事测绘技术研究工作。

E-mail: 275171376@qq.com.

monitoring accuracy reaches to centimeter level.

Keywords: Long baseline; RTK; Difference; Landslide monitoring; Limit error

0 引言

我国自然灾害频繁,滑坡是主要的自然灾害之一,每年给国民经济带来几十亿的损失^[1]。滑坡既是一种地质灾害,也是一种地质科学现象,因此对滑坡进行监测既有实用意义,也有科学意义。滑坡监测涉及三个方面的内容:滑坡监测数据的获取、滑坡监测数据的分析与解释以及滑坡预警^[2]。通过滑坡监测我们在一定程度上可以进行滑坡预警,当监测点的位移变化量超出一定限度时,即表明监测地点很可能会发生滑坡,可向当地发出滑坡预警,使当地居民提前进行转移,这样就能使滑坡所造成的生命财产损失降至最低;另外,通过对滑坡进行监测,可以通过积累的数据,加深对滑坡机理的研究并且建立更完善的滑坡预警模型,更进一步的话,可以推广到与滑坡类似的其它地质灾害研究中来^[3]。

RTK 技术是 GPS 技术的一种,采用了载波相位实时动态差分的方法,具有精度高,操作方便,使用灵活,实时得到观测点坐标的特点,非常适合用于滑坡监测。但由于两方面原因,一方面是因为滑坡的特点,基准站必须架设在滑坡区外,另一方面是因为滑坡多发生在丘陵、山地地带,为了基准站架设的方便与使用便捷,利用 RTK 技术进行滑坡监测时,基准站与流动站间会构成长基线^[4]。短基线 RTK 技术的精度符合滑坡监测的要求,但长基线 RTK 技术是否符合滑坡监测精度要求未知。本文主要探究在长距离基线的模式下,用于滑坡监测的 RTK 技术的精度问题,设定一条长距离基线,利用 RTK 对固定不动的观测点进行动态测量,求出其观测坐标,并利用求坐标中误差的方法算出水平精度和高程精度,以此来达到基于 RTK 技术的滑坡监测精度分析的目的。

1 RTK 的原理

RTK 技术,即基于载波相位的实时动态差分法,是一种利用 GPS 载波相位观测值进行实时处理的动态差分(相对)定位的技术。RTK 的工作原理是将一台接收机置于已知其精确坐标的点上作

为基站,而其它一台或多台接收机置于待测点上作为流动站。观测开始后,基站会将自己观测到的载波相位的原始数据以及基站的精确坐标通过数据链通信传输给流动站,流动站在其内部建立差分观测方程进行解算,得到定位结果,并估计其精度^[5-7]。其流程如图 1 所示。

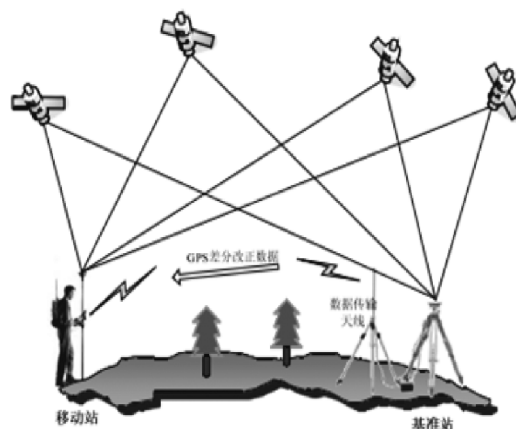


图 1 RTK 工作原理图

Fig.1 The working principle of RTK

2 监测方案设计

本文的模拟实验采取一种简单的方式,即在长基线(观测点和基准点构成的基线长度 15~30 km)的前提下,对一个不动的点进行 RTK 动态测量,并求出其观测结果的精度。因为观测条件和观测方法相同,所以求取的精度完全可推广到实际 RTK 滑坡监测观察结果精度分析^[8]。

先进行基站的架设,将接收机通过强制对中的方式架设在基准点上的观测墩上,再通过数据线与发射天线连接起来,注意发射天线最好离基站 3 m 以上。然后开启接收机,就能通过数据通信链传给接收机了。

再在几个观测点架设流动站,同样的强制对中架设在观测墩上,然后开启接收机,就能接收到基站传过来的载波相位观测值和基站坐标了。因为是对滑坡进行监测,所以对同一个点要进行周期比较长的监测,流动站也就不用移动了,不过还是会实时得到观测点的定位结果。其监测如图 2 所示。

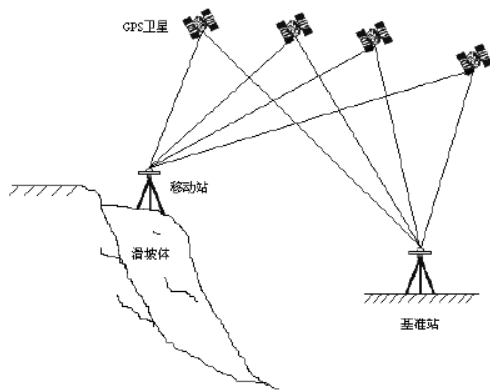


图 2 RTK 滑坡监测示意图

Fig.2 RTK landslide monitoring diagram

本次模拟实验设立了一个基准点和一个固定不动的观测点，两点构成基线长 26 km 左右。在对应点位上架设好基站和流动站后，就开始对两个点进行监测。两个站的站名分别为基站 GCXY 和流动站 MWWX，基站 GCXY 的监测从 0 点开始，到 1 点 59 分 59 秒结束，采样间隔是每秒一个历元；流动站 MWWX 的监测从 0 点 0 分 41 秒开始，到 2 点结束，采样间隔同样是每秒一个历元。监测结束后，将两台接收机中的数据导出，并且转变为 RINEX 格式，图 3 和图 4 即分别为基站 GCXY 和流动站 MWWX 两点的部分观测文件截图。

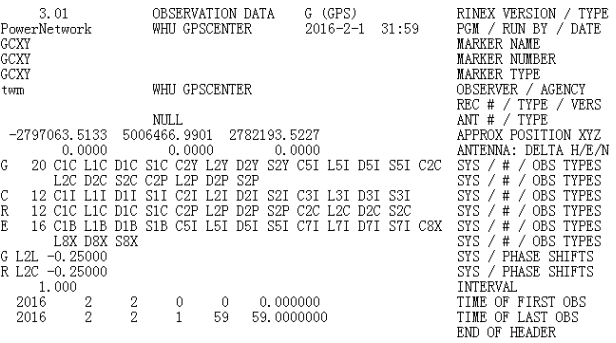


图 3 基站 GCXY 的观测文件截图

Fig.3 Screenshot of the observation file of base station GCXY

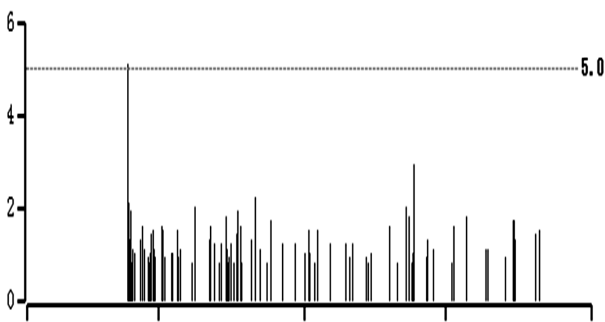


图 4 流动站 MWWX 的观测文件截图

Fig.4 Screenshot of the observation file of MWWX mobile station

3 精度分析

求出每次观测三个方向坐标的平均值，并用每个历元的坐标减去平均坐标就可以得到历元坐标与平均坐标的差值，以历元坐标与平均坐标的差值为纵轴，以时间为横轴，就可以得到观测点 MWWX 的坐标误差图。不过，既然基线解算结果观测点 MWWX 的坐标是北坐标、东坐标和高程组成，那么就可以把一个坐标误差图变为三个，分别是观测点 MWWX 北方向、东方向、高程方向观测值与平均值坐标差随时间的变化图(见图 5~图 7)。

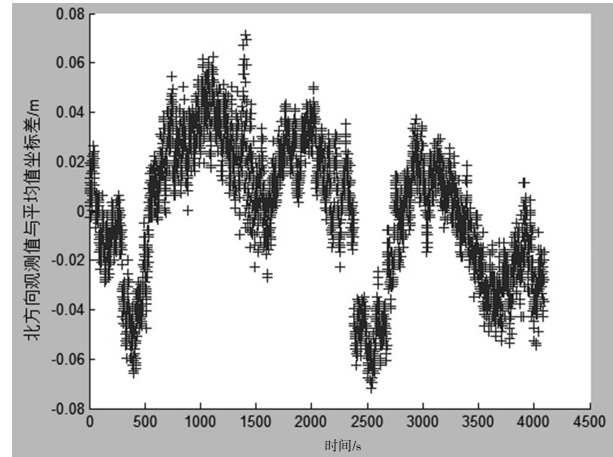


图 5 观测点 MWWX 北方向观测值与平均值坐标差随时间变化图

Fig.5 Time-varying coordinate difference between north direction observation values and mean values at the observed points MWWX

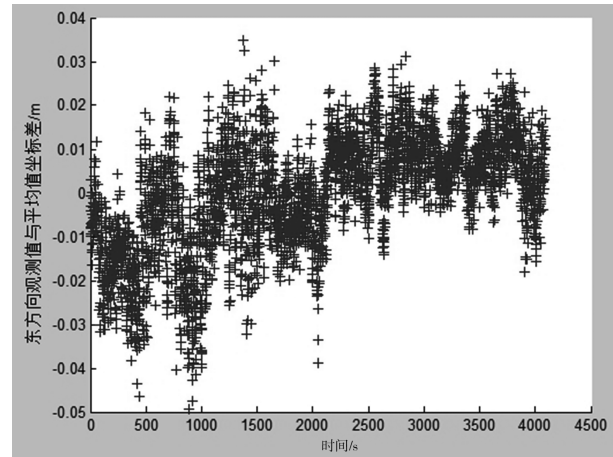


图 6 观测点 MWWX 东方向观测值与平均值坐标差随时间变化图

Fig.6 Time-varying coordinate difference between eastern direction observation values and mean values at the observed points MWWX

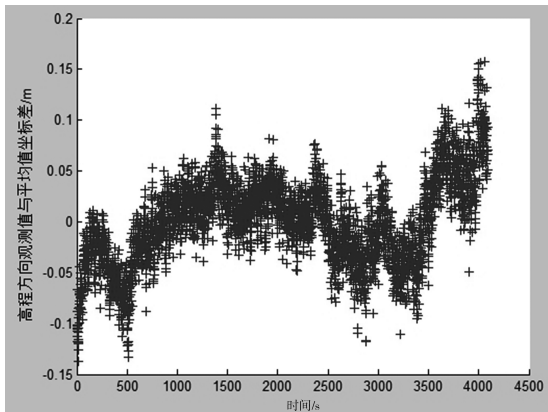


图7 观测点 MWWX 高程方向观测值与平均值坐标差随时间变化图

Fig.7 Time-varying coordinate difference between elevation direction observation values and mean values at the observed points MWWX

结合三张图可以看出,三个方向的观测值坐标都在平均坐标上下均匀分布,并且越靠近平均值观测值数量越多,这些都可以说明 RTK 观测结果是服从正态分布的。根据这三张图,我们可以利用求取观测值中误差的方法求出精度(将 1 倍中误差作为精度),三个方向的精度分别为:北方向精度+0.028 m,东方向精度+0.013 m,高程方向精度+0.042 m,将北、东方向的精度合并为水平精度,结果为+0.031 m。从三个方向的精度可以看出,RTK 观测精度无论在水平方向还是高程方向都是厘米级,且水平精度高于高程精度。最终可得出结论,长距离 RTK 动态观测技术的精度是厘米级的,符合滑坡监测精度要求。

模拟实验前知道,利用 GPS 静态测量得到的观测点 MWWX 的高精度坐标,北东高三方向坐标为(2881412.129871,145036.121088,43.961773)(单位: m),可以将其作为观测点 MWWX 的近似坐标,每个历元的坐标减去近似坐标就可以得到历元坐标与近似坐标的差值,以历元坐标与近似坐标的差值为纵轴,以时间为横轴,就可以得到观测点 MWWX 的坐标误差图。分别是观测点 MWWX 北方向、东方向、高程方向观测值与近似值坐标差随时间的变化图(见图 8~图 10)。

从三面张图可以看出,三个方向上的观测值基本上都位于近似值的一侧,说明观测值的平均值与近似值有一定差距。根据这三张图,我们可以利用求取观测值中误差的方法求出三个方向的精度(将 1 倍中误差作为精度)分别为:北方向精度+0.074 m,东方向精度+0.039 m,高程方向精度+0.092 m。可以看出三个方向上的观测值与近似

值相比所得精度是低于观测值与平均值相比所得精度,但都达到了厘米级,说明观测结果应用于滑坡监测是完全可靠的。最终可得出结论,长基线 RTK 动态观测技术能够满足滑坡监测精度要求。

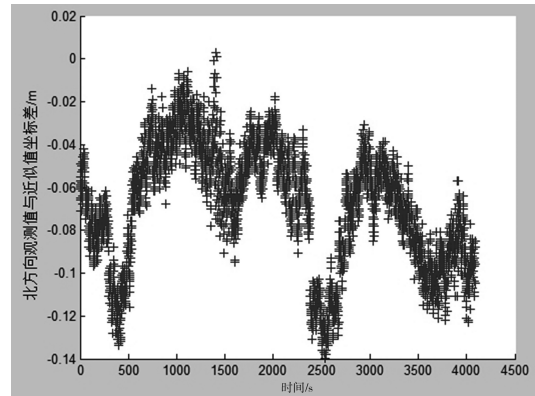


图8 观测点 MWWX 北方向观测值与近似值坐标差随时间变化图

Fig.8 Time-varying coordinate difference between north direction observation values and approximate values at the observed points MWWX

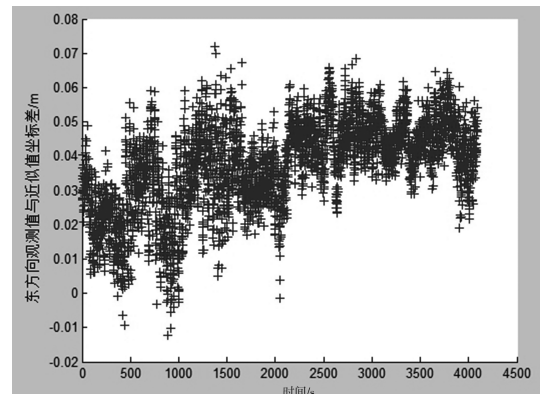


图9 观测点 MWWX 东方向观测值与近似值坐标差随时间变化图

Fig.9 Time-varying coordinate difference between eastern direction observation values and approximate values at the observed points MWWX

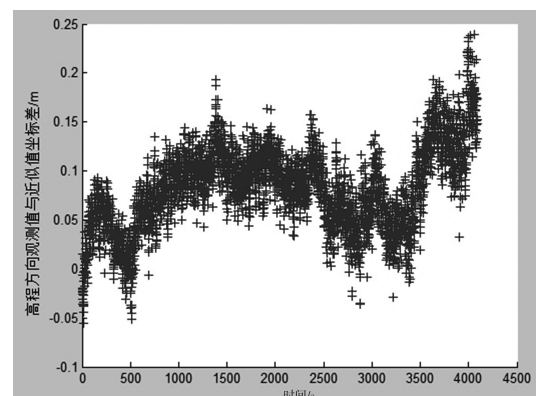


图10 观测点 MWWX 高程方向观测值与近似值坐标差随时间变化图

Fig.10 Time-varying coordinate difference between elevation direction observation values and approximation values at the observed points MWWX

4 根据精度情况对滑坡情况判断

根据上面计算的长距离动态 RTK 技术的精度,接下来是设想用精度来判断观测点是否发生滑坡。首先,根据图 5 作出三个方向上的坐标误差频率分布直方图,分别是北方向、东方向、高程方向坐标误差频率分布直方图(见图 11~13)。

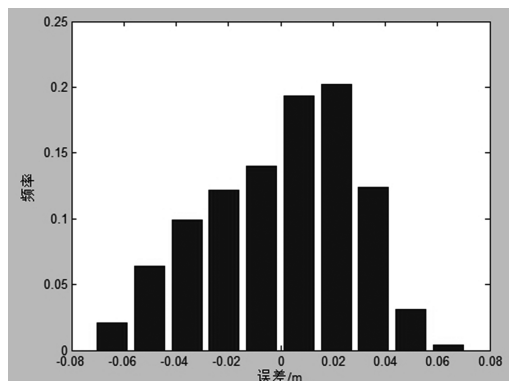


图 11 北方向坐标误差频率分布直方图

Fig.11 Histogram of frequency distribution of coordinate errors in the north direction

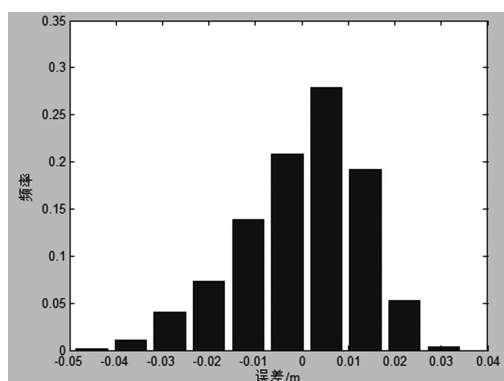


图 12 东方向坐标误差频率分布直方图

Fig.12 Histogram of frequency distribution of coordinate errors in the east direction

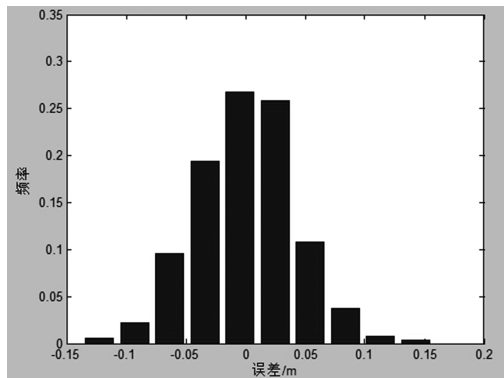


图 13 高程方向坐标误差频率分布直方图

Fig.13 Histogram of frequency distribution of coordinate errors in elevation direction

根据上面三幅图可以看出,三幅坐标误差频率分布直方图基本符合正态分布,以误差 0 m 为

纵轴,左右基本对称分布。那么根据极限误差的理论,当取 2 倍中误差作为限差时,95.4%的偶然误差都被包含在内。所以设想可用 2 倍中误差来当作是否滑坡的判断标准,当测得坐标与初始坐标的差值小于或等于 2 倍中误差时,可以判定该观测点未发生滑坡情况;当测得坐标与初始坐标的差值大于 2 倍中误差时,可以判定该观测点发生滑坡情况。

因为 2 倍中误差是厘米级,所以一些毫米级滑坡位移情况判断不出,即对一些滑坡变形速率较慢的情况不容易判断。这种情况下,可以分时段观测,再进行判断,也就是说通过分时段的方式将微小位移积累起来,再将一段时间后的观测值与初始值比较求差,差值再与 2 倍中误差比较,判断是否发生滑坡。对与一些滑坡速率较快的情况,可以每个历元都求一次差值,进行判断,是否发生滑坡情况。

5 小结

从试验结果及其分析可以看出,即使由于滑坡地带的特殊性基站与流动站构成的基线过长,采用 RTK 技术监测滑坡变形时,北、东、高程三个方向上的观测值与近似值相比所得精度是低于观测值与平均值相比所得精度,都达到了厘米级,证明长基线 RTK 测量在滑坡监测结果是完全可靠的。

由于本次试验滑坡的局限性,以上得出的仅仅是一些初步的结论,对于长基线 RTK 技术应用于滑坡监测的范围、精度、可靠性、观测条件等技术参数的确定,还需进行更多的试验和研究。

参考文献:

- [1] 李建辉,王琴. 三维激光扫描技术应用于滑坡体地形可视化的研究[J]. 测绘通报,2012 (10):51-54.
- [2] 陈永奇. 变形监测分析与预报[M]. 北京:测绘出版社,1998.
- [3] 王利,张勤,李寻昌等. GPS RTK 技术用于滑坡动态实时变形监测的研究[J]. 工程地质学报,2011,19 (02):193-198.
- [4] 王利. 地质灾害高精度 GPS 监测关键技术研究[J]. 测绘学报,2015,44(07):826.
- [5] 黄金. 基于差分 GPS 的滑坡监测技术研究[D].南京:南京理工大学,2014.
- [6] 陈红卫,杨红生. GPS 技术在滑坡监测中的应用[J]. 测绘与空间地理信息,2012(01),145-147+153.
- [7] 钱鹏,刘孜学. 基于差分 GPS 的远程滑坡监测系统[J]. 铁路计算机应用,2017(09),7-10.
- [8] 李志鹏,尚艳亮,侯永会. 基于 GPS 卫星测量的远距离滑坡监测应用研究[J]. 测绘科学,2008(03),73-75+51.