

静态 GPS 在长江堤防监测分析中的应用

徐 红, 邓彬彬, 徐奕正, 丁 阳

(张家港市长江防洪工程管理处, 江苏 苏州 215625)

摘要:长江下游流域的堤防因受梅雨汛期的影响,需在汛期后及时对其进行形变分析,掌握堤防的安全状况,传统方式主要依靠人工巡视,难以发现细微的形变,从而影响对其安全状况的判断。因此,提出一种基于静态 GPS 测量技术的堤防微观监测方法,并且在张家港市境内 42.33 km 的长江堤防上进行应用。应用结果表明,该方法能够准确测量固定堤防断面点的高精度、实时性的平面坐标,进而经过对比、分析后发现细微的形变,与实地核查一致,可为堤防的管理与决策提供参考,保障安全运营。

关键词:固定断面;静态 GPS;辅助决策;长江堤防

中图分类号:TV871

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2021)10-0049-03

Application of static GPS in monitoring and analysis of Yangtze River Dyke

XU Hong, DENG Binbin, XU Yizheng, DING Yang

(Zhangjiagang Yangtze River Flood Control Project Division, Suzhou 215625, China)

Abstract: Due to the influence of Meiyu flood season, the embankment in the lower reaches of the Yangtze River needed to be analyzed in time after the flood season to grasp the safety status of the embankment. The traditional way mainly relied on manual inspection, which was difficult to find subtle deformation, thus affecting the judgment of its safety status. Therefore, a micro monitoring method based on GPS measurement method was proposed, which applied in the 42.33km Yangtze River Dyke in Zhangjiagang City. The application results showed that this method could accurately measure the high-precision and real-time plane coordinates of the fixed embankment section points. After comparison and analysis, it's found that the slight deformation was consistent with the field verification, which could provide reference for the management and decision-making of the embankment and ensure the safe operation.

Key words: fixed section; GPS static; assistant decision; Yangtze River Dyke

每年 6、7 月份长江中下游地区都会出现持续天阴有雨的现象(梅雨季节),导致降水量激增,进而对长江堤防的安全运营带来极大的隐患,故而需要及时对其进行形变分析。

以往只能采用沿堤防人工巡视的方式,难以发现其中细微的形变变化,仍然存在一定的安全隐患^[1-2]。GPS 静态测量是利用测量型 GPS 接收机进

行定位测量,短距离(15 km 以内)的定位精度可以达到毫米级,而且还有无需通视、全天候、效率高等优势,能够在雨季结束后及时实现对长江堤防的快速诊断,故而提出一种基于静态 GPS 测量技术的堤防微观监测方法。经在张家港市境内 42.33 km 的长江堤防上的应用表明,能够有效地辅助管理与决策,保障安全运营。

收稿日期:2021-04-22

基金项目:江苏省测绘地理信息科研项目(JSCHKY201920)

作者简介:徐红(1975—),男,工程师,本科,主要从事堤防安全运行与管理工作。E-mail: 1031808871@qq.com

1 静态 GPS 测量

1.1 选点

选取堤防监测断面中堤顶、堤角各 1 点,共 82 点进行一级 GPS 观测。编号采用堤防监测断面中的编号,如“WJD1-1”等。堤防监测断面点位布置示意图如图 1 所示。

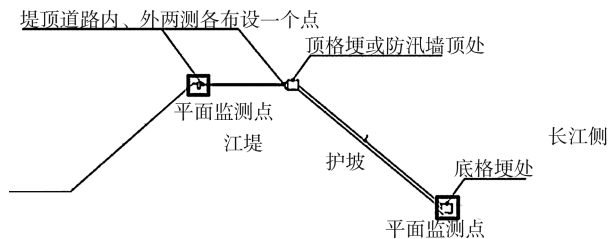


图 1 堤防监测断面点位布置

1.2 布网

一级 GPS 网采用同步图形扩展式布网^[3-4]原则,优先连测短基线,以点连式和边连式的混连式为主。全网共 98 点(其中 16 个已知点、82 个未知点),构成有 99 个同步环、64 个独立闭合环,同步环、独立环的闭合差均小于限差,独立环 3 边环 46 个,4 边环 18 个。

1.3 观测

采用 4 台 GPS 接收机按一级 GPS 网的要求进行同步观测^[5-7]。观测时,一级 GPS 网中的点号按其点名(号)进行编号。

采用快速静态作业模式进行观测,外业观测时,仪器主要参数设置如下。

- (1)最小卫星截止高度角为 15° ;
- (2)数据采集间隔为 $5''$;
- (3)最短有效观测时间为 20 min;
- (4)最大 PDOP 值为 3.0;
- (5)最少有效观测卫星数为 6 颗;
- (6)平均重复设站数为 2.2 个。

外业观测过程中严格按 GPS 操作手册要求作业,对接收机天线高用随机备有的直角杆设备观测前和观测后各量取 1 次并取中数使用,其最大互差为 1 mm,限差为 3 m。

1.4 平差计算

采用专业软件算出所有独立基线和同步基线,检验合格后计算重复基线差值、同步环闭合差、独立环闭合差,进而完成三维网无约束平差和二维网约束平差,实现全网基线向量质量和符合精度情况的检验。

1.5 精度统计

精度指标^[5]包括:同步环、独立环坐标分量闭合差、最弱点点位中误差、最弱边相对中误差、基线向量改正数绝对值等。

同步环闭合差精度统计见表 1,独立环闭合差检核精度统计见表 2,其他精度指标见表 3。

表 1 同步环闭合差精度统计

坐标分量 闭合差	$0 - W/3$	$W/3 - 2W/3$	$2W/3 - W$	坐标分量 总数
坐标分量数	211	60	26	297
环线全长 闭合差	$0 - W/3$	$W/3 - 2W/3$	$2W/3 - W$	环总数
环 数	62	33	4	99

注:其中 W 表示限差值。

表 2 独立环闭合差检核精度统计

坐标分量 闭合差	$0 - W/3$	$W/3 - 2W/3$	$2W/3 - W$	坐标分量 总数
坐标分量数	192	0	0	192
环线全长 闭合差	$0 - W/3$	$W/3 - 2W/3$	$2W/3 - W$	环总数
环 数	64	0	0	64

注:其中 W 表示限差值。

表 3 其他精度指标

精度指标	数值	限差
最弱点点位中误差(cm)	± 0.68	± 5.0
最弱边相对中误差	1/30000	1/20000
无约束平差,基线向量的改正数绝对值	均小于	3σ
约束平差,基线向量的改正数与剔除粗差后的无约束平差结果的同名基线相应改正数的较差	均小于	2σ

注:其中 σ 表示标准差。

1.6 监测分析

由表 1、表 2、表 3 中统计值可知,无约束平差结果表明全网中没有残余的粗差基线向量,其内符合

精度优良。二维约束平差结果表明网型结构较强,精度优良,其他各项指标符合一等 GPS 测量规^[6-7]的要求。因此,汛期前获得的 GPS 观测网(即是固定断面监测点的高精度的平面坐标)可以作为汛期后判断长江堤防是否发生微小形变以及判断是否可能影响安全运营的基础依据。

2 汛后监测

汛后再次采用静态 GPS 测量技术进行观测,在观测、平差计算、精度统计后判断测量成果的可靠性。各项精度指标如表 4、表 5、表 6 所示。

表 4 同步环闭合差精度

坐标分量 闭合差	0 - W/3	W/3 - 2W/3	2W/3 - W	坐标分量 总数
坐标分量数	254	74	32	360
环线全长 闭合差	0 - W/3	W/3 - 2W/3	2W/3 - W	环总数
环 数	71	48	1	120

注:其中 W 表示限差值。

表 5 独立环闭合差检核精度

坐标分量 闭合差	0 - W/3	W/3 - 2W/3	2W/3 - W	坐标分量 总数
坐标分量数	129	0	0	129
环线全长 闭合差	0 - W/3	W/3 - 2W/3	2W/3 - W	环总数
环 数	43	0	0	43

注:其中 W 表示限差值。

表 6 其他精度指标统计

精度指标	数值	限差
最弱点点位中误差	$\pm 1.43\text{ cm}$	$\pm 5.0\text{ cm}$
最弱边相对中误差	1/51000	1/20000
无约束平差,基线向量的改正数绝对值	均小于	3σ
约束平差,基线向量的改正数与剔除粗差后的无约束平差结果的同名基线相应改正数的较差	均小于	2σ

注:其中 σ 表示标准差。

由表 4、表 5、表 6 中统计值可知,汛期后(第二次)静态 GPS 测量结果(各项精度指标)同样符合一等 GPS 测量规范,因此能够真实体现出汛期后长江堤防上固定断面的实际情况,即可作为对比分析堤防是否出现微小形变以及判断是否可能影响安全运行的证据源。

3 分析与结论

定义首次观测的每条堤防断面两监测点连线为标准基线,第二次及之后测量的监测点坐标沿基线方向的变化量为水平位移量,迎水面为“下”,背水面为“上”。统计发现,水平位移量大于 20 mm 的共计有 3 个点位,经过现场核实,是由于现场施工点位发生位移;其他迎水面变化量最大值为 15 mm,迎水面位移量最小值为 0 mm;背水面变化量最大值为 13 mm,背水面位移量最小值为 1 mm。结果表明,长江(张家港段)堤防的水平位移值较小,整体上没有异常水平位移,状态基本稳定。

应用该技术的同时,采用传统的人工巡视方式进行验证,现场反馈的结果与静态 GPS 测量的结论一致,长江(张家港段)堤防可保持安全运行。因此,静态 GPS 测量技术可以作为堤防安全运行监测的有效手段,其测量成果结论可以作为管理堤防、判断决策的依据。另外,随着基础数据的积累和丰富,以时间为横轴,实现对各监测位移量的预测分析,进而提前预警,发挥其在堤防监测分析中的最大化效果。

参考文献:

[1] 顾伊娜,孙松,张德友. 堤防工程安全监测的必要性探析[J]. 江苏水利, 2021(3):59-66.

[2] 王义坤,王晓娟,朱春光. 长江南京新济洲河道整治工程与沿岸堤防防洪安全的实践与思考[J]. 江苏水利, 2020(1):69-72.

[3] 尧小强. GPS 技术在高速铁路特大桥控制测量中的应用研究[D]. 南昌:华东交通大学, 2019.

[4] 李涛. 大区域 GPS 控制测量的方法与应用研究[J]. 科技创新与应用, 2019(6):117-118.

[5] 丁锁. GPS 变形监测技术在矿山测量的应用[J]. 内蒙古煤炭经济, 2017(17):53-54.

[6] 柏兴洋,孔德浩. 公路工程 GPS 静态控制测量技术[J]. 云南水力发电, 2020, 36(9):178-181.

[7] 苏亚伟. 浅谈 GPS 技术在水利测量工程中的应用[J]. 居舍, 2019(25):46.