

# 一种空箱式结构防汛墙高精度变形监测方法应用

## Application of a High-precision Deformation Monitoring Method of Empty Box Structure

刘勇超

Yongchao Liu

上海市地质勘查技术研究院 中国·上海 200072

Shanghai Research Institute of Geological Exploration Technology, Shanghai, 200072, China

**摘要:** 防汛墙是保证河流周边群众生命安全的防洪屏障,城市内部分岸线的防汛墙是钢筋混凝土双层空箱式结构,空箱内被开发成停车场或其他经营性场所。随着时间的推移,此类防汛墙发生位移和沉降,为了确保设施的安全运行,对其变形监测显得尤为重要。利用高精度的测量方法,对中国上海市外滩防汛墙综合监测,得到监测数据,监测结果显示:该监测方法结果精确、可靠、稳定。

**Abstract:** Flood control wall is a flood control barrier to ensure the safety of people around the river, the flood control wall of part of the city coastline is a reinforced concrete double-layer empty box structure, the empty box is developed into a parking lot or other business places. Over time, such flood control wall displacement and settlement, in order to ensure the safe operation of the facilities, its deformation monitoring is particularly important. The high-precision measurement method is used to comprehensively monitor the flood control wall on the Bund in Shanghai, China, and the monitoring data are obtained. The monitoring results show that the monitoring method is accurate, reliable and stable.

**关键词:** 空箱式; 防汛墙; 全站仪; 高精度

**Keywords:** empty box type; flood control wall; full station; high precision

**DOI:** 10.12346/se.v3i4.6352

## 1 引言

随着气候变暖,海平面抬升,全球的极端天气频繁发生,城市发生洪涝灾害风险不断提高,因此及时评估防汛墙的防洪能力非常重要。目前,城市内部分江河岸堤的防汛墙采用钢筋混凝土双层空箱式结构,由于其复杂的结构和监测环境,对其变形监测相当复杂。平面位移监测网采用静态GPS观测结果作起算数据,监测点数据采集使用高精度全站仪固定测站三联脚架法,提高平面位移监测精度;沉降监测点采用基岩标作为高程起算,为沉降监测提供准确、可靠的基准。

## 2 工程概况

外滩防汛墙位于中国上海市黄浦区的黄浦江畔,从黄浦公园至新开河约1800m的黄浦江边,是关系到上海市防汛

安全的重要工程。防汛墙采用钢筋混凝土双层空箱式结构设计,箱体上表面是著名的外滩风景观光平台,箱体内部是停车场。为确保上海市防汛安全,及时准确地掌握防汛墙的沉降变化情况,并准确的测量出防汛墙当前实际标高,了解防汛墙的实际防汛能力,需对外滩防汛墙进行监测。

本次平面位移监测采用徕卡全站仪TS60,水准仪采用徕卡DNA03,对连续五次观测结果分析。

## 3 数据采集

### 3.1 平面位移监测数据采集

平面控制网分两级布设,首级控制网是将项目监测范围之外,车库出入口两侧各埋设的3个GNSS点,与城市高级已知GNSS点进行联测,采用边连接形式构网,构成大地四边形多边形。使用的点均为固定站,具体点名为:SHAO

【作者简介】刘勇超(1986-),男,中国河南潢川人,本科,从事测绘工程研究。

(IGS 站) (余山)、SHPD (浦东世纪公园)、SHDD (地质大厦)、SWGA (外高桥)、BAOS (宝山)、PDJP (浦东杨高北路)、DISN (浦东迪士尼)、SHFX (奉贤)。

二级控制网沿车库走向布置, 采用附合导线形式, 起闭于 GNSS 控制点, 按照《工程测量规范》中的一级导线要求进行测量。二级控制网布置如图 1 所示。

平面位移监测点是采用固定点埋设的方式, 将小棱镜埋设于地下车库靠近黄浦江一侧墙上, 埋在墙体上部, 在伸缩缝两侧各埋设监测点。控制网导线测量和监测点数据采集过程中应遵循以下原则:

①导线点尽可能选择在基础牢固且不受施工影响的地方; 点位的选择要便于导线的测量, 在导线观测的俯角不大于  $30^\circ$ ; 一级导线相邻边长之比不宜超过  $1:2$ , 个别边长不短于  $100\text{m}$ ; 点位应避开地下管线等地下建筑物; 相邻点之间的视线距障碍物的距离以不受旁折光影响为原则。

②导线点上只有两个方向时, 测量按左、右角观测, 左右角平均值之和与  $360$  的较差应小于  $4''$ 。

③水平角观测遇到长、短边需要调焦时, 采用盘左长边调焦, 盘右长边不调焦, 盘右短边调焦, 盘左短边不调焦的观测顺序进行观测。

④在附合导线两端的 GNSS 观测时, 应联测相邻的两个 GNSS 点的方向, 若只能观测一个高级方向, 应在原观测测回数要求的基础上增加  $2$  个测回。

⑤导线点应尽量少布置, 一站应尽可能多测监测点, 减少多次架站产生的误差。

⑥测量时应关闭车库内的空调设施, 减少大气折光差影响; 采用三联脚架法和固定导线点的方式降低转站时带来的测量误差。

### 3.2 垂直位移监测数据采集

高程控制网选择基岩标作为起算点, 基岩标埋设于基岩上, 能有效地避免地面沉降带来起算点不稳定的问题。起点为外滩基岩标 J9, 水准路线测量中每  $500\text{m}$  左右联测城市水准点作为间歇点, 为同步监测本测区内的局部地面沉降情况, 在水准路线测量过程中联测了  $5$  个水准点, 精确测定其高程及沉降变化量, 终点为人民广场基岩标 J63。水准路线控制网布置如图 2 所示。

外滩观光平台是建造在伸向黄浦江上的空箱式结构防汛墙上, 沉降监测点埋设在观光平台结构变化处的两端各埋设一对沉降监测点; 空箱式防汛墙内部为车库, 在车库内的结构伸缩缝两端各埋设一对沉降监测点, 同时, 车库内还有防止渗漏的咬合桩, 在咬合桩两侧也各埋设一对沉降监测点。

垂直位移具体施测方法如下: 水准路线观测按照 GB/T 12897—2006《国家一、二等水准测量规范》中一等水准的有关要求严格执行。一等水准测量采用单路线往返测量, 一条路线的往返测使用同一类型的仪器和转点尺承, 沿同一道路进行, 做到仪器、人员、时间三固定; 同一测段的往测与返测应分别在上半和下午进行, 观测应在标尺分划线成像清晰而稳定时进行; 每天观测前应将仪器置于露天阴影下  $30\text{min}$ , 路线测量时须用测伞遮阳, 迁站时应置以仪器罩; 监测点高程采用中视法测量。

### 4 数据分析

本项目共进行了五次测量, 水准测量中误差分别为:  $\pm 0.21\text{mm}$ 、 $\pm 0.18\text{mm}$ 、 $\pm 0.33\text{mm}$ 、 $\pm 0.45\text{mm}$ 、 $\pm 0.32\text{mm}$ , 满足一等水准测量要求。平面测量经内业平差计算后得出方位角闭合差分别为  $9.6''$ 、 $8.5''$ 、 $7.7''$ 、 $8.9''$ 、 $9.1''$ , 均满足规范限差要求。

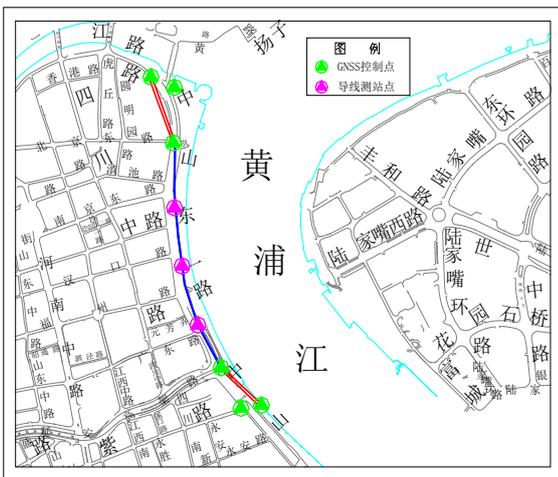


图 1 二级控制网布置图

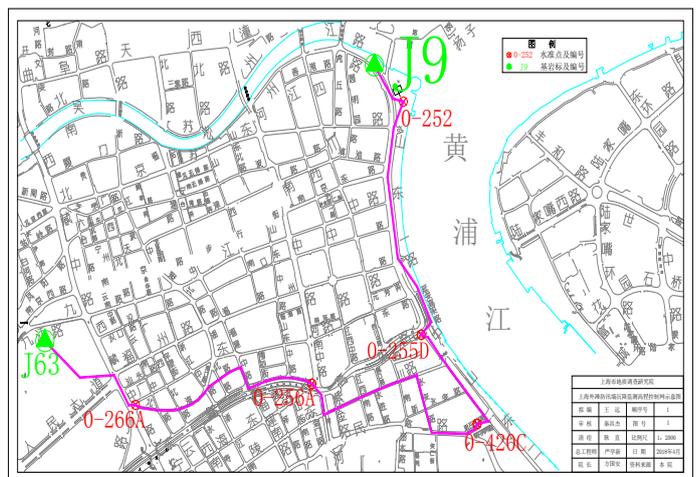


图 2 水准路线控制网布置图

#### 4.1 观景平台沉降数据

观景平台部分沉降监测点数据如表1所示。

表1 观景平台沉降监测点数据

点号	初始高程 (m)	2021年8月月	2021年10月	本次沉降量	累计沉降量	备注
	2019年7月 (m)	高程 (m)	高程 (m)	(mm)	(mm)	
A53	5.38276	5.38454	5.38487	0.33	2.11	观光平台
A54	5.52498	5.52635	5.52683	0.48	1.85	观光平台
A55	5.38102	5.38307	5.38305	-0.02	2.03	观光平台
A56	5.52637	5.52841	5.52882	0.41	2.45	观光平台
A57	5.39928	5.40021	5.40058	0.37	1.30	观光平台
A58	5.53639	5.53756	5.53803	0.47	1.64	观光平台
A59	5.39663	5.39734	5.39771	0.37	1.08	观光平台
A60	5.53861	5.53979	5.54006	0.27	1.45	观光平台
A61	5.38827	5.39002	5.39031	0.29	2.04	观光平台
A62	5.5478	5.55031	5.55032	0.01	2.52	观光平台

#### 4.2 车库沉降数据

车库部分沉降监测点数据如表2所示。

表2 车库沉降监测点数据

点号	初始高程 (m)	2021年8月	2021年10月	本次沉降量	累计沉降量	备注
	2019年7月 (m)	高程 (m)	高程 (m)	(mm)	(mm)	
B1	2.12579	2.12524	2.1254	0.16	-0.39	车库
B2	2.21032	2.21009	2.21072	0.63	0.40	车库
B3	2.12003	2.11949	2.11963	0.14	-0.40	车库
B4	2.20942	2.20919	2.20988	0.69	0.46	车库
B5	2.14456	2.14422	2.14435	0.13	-0.21	车库
B6	2.2071	2.20664	2.20754	0.90	0.44	车库
B7	2.13376	2.13338	2.13354	0.16	-0.22	车库
B8	2.20729	2.20676	2.20758	0.82	0.29	车库
B9	2.10635	2.10627	2.10655	0.28	0.20	车库
B10	2.18047	2.18031	2.18126	0.95	0.79	车库

#### 4.3 观景平台和车库对应位置差异沉降数据

观景平台和车库同一伸缩缝两侧对应点的差异沉降数据见表3所示。

表3 观景平台和车库对应位置沉降监测点差异沉降数据

点号		本次差异沉降 (mm)	累计差异沉降 (mm)	断面号
B1	A53	0.17	2.50	1
B2	A54	0.15	1.45	
B3	A55	0.16	2.43	2
B4	A56	0.28	1.99	
B5	A57	0.24	1.51	3
B6	A58	0.43	1.20	
B7	A59	0.21	1.30	4
B8	A60	0.55	1.16	
B9	A61	0.01	1.84	5
B10	A62	0.94	1.73	

#### 4.4 平面位移观测数据

车库内靠黄浦江侧的平面位移监测数据如表4所示。

表 4 靠江侧防汛墙平面位移数据

点号	纵坐标 (m)	横坐标 (m)	本次变化量 (mm)		累计变化量 (mm)		备注
	X	Y	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta X$	$\Delta Y$	
W1	765.9306	1840.5646	-0.2	-4.7	0.6	-3.7	
W2	765.6643	1840.5066	-0.3	-4.7	0.3	-3.9	
W3	745.5337	1836.1161	-0.8	-4.7	0.3	-3.9	
W4	745.2422	1836.0593	-0.5	-4.5	0.6	-3.6	
W5	725.1931	1832.4461	-0.3	-4.8	0.8	-3.9	
W6	724.9312	1832.4065	-0.6	-4.9	0.2	-3.8	
W7	704.5821	1829.5213	-0.5	-5.3	0.9	-3.5	
W8	704.2854	1829.4611	-0.9	-5.5	0.3	-3.5	
W9	683.9272	1827.0839	-0.3	-5.8	0.8	-3.6	
W10	683.6822	1827.0501	-0.6	-5.8	0.5	-3.7	

## 5 结语

通过本项目可以看出该测量方法在空箱式设计结构建筑物的监测中有很好的应用；监测数据稳定，具有很好的延续性，能真实地反映该类建筑物的实际变化情况；监测成果对防汛墙维护保养提供全方位的数据支撑；测量过程中固定测站、关闭空调、三联脚架法等对类似变形监测项目提供很好的借鉴。

## 参考文献

- [1] 徐艳超. 东营地区高层建筑地下车库不均匀变形分析与优化设计[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2018.
- [2] 刘鹏晨. 管道穿越河道防汛安全影响分析[J]. 城市道桥与防洪, 2019(12):5.
- [3] 孙磊峰. 上海市黄浦江防汛墙的安全性评价及洪水危险性分析[D]. 上海: 华东师范大学, 2020.

(上接第 11 页)

大，但难以有效提升倾斜影像空三精度值。

其次，检查点的精度较低<sup>[5]</sup>。由于经学摄影使用的数据处理软件空三模块难以有效去除粗差连接点，检查点中的计算值与实测值误差较大，实际精度难以得到有效把控。

最后，为从根本上提升无人机倾斜摄影测量结果的全面性及精度，还需要着重优化无人机倾斜摄影 POS 数据的精度，加强三维模型构建环节管控力度。

## 6 结语

总而言之，在使用无人机倾斜摄影测量期间开展三维重建工作，可以以无人机加载普通相机的方式作为硬件平台，最大限度控制摄影测量成本。利用可靠软件开展三维重建工作，并对三维重建期间的精度进行严格管控，确保无人机倾

斜摄影测量技术能够在扩大测量覆盖面，提高测量精度中发挥出重要作用。

## 参考文献

- [1] 曹帅帅. 无人机倾斜摄影测量三维建模的应用试验研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2017.
- [2] 陈明杰. 无人机倾斜摄影测量三维建模及模型可视化研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2019.
- [3] 管建军. 无人机倾斜摄影测量精度分析与泥石流单体要素提取及易发性评价研究[D]. 焦作: 河南理工大学, 2018.
- [4] 陈星佑. 基于倾斜摄影测量三维重建中的空洞修补研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2018.
- [5] 冯雪峰. 无人机单镜头倾斜摄影测量的精度研究[D]. 唐山: 华北理工大学, 2018.