

连云港徐圩港区防波堤工程沉降位移观测项目分析

王肖依

连云港引航站, 江苏 连云港 222042

[摘要] 连云港港徐圩港区防波堤工程竣工验收后, 为确保堤身结构稳定, 外坡护面工作稳定, 对堤身安全性提供数据支持。需及时了解防波堤沉降位移状况、桶式基础的位移和倾斜度, 堤身两侧冲刷情况, 堤顶面层沉降和位移观测、堤身断面监测、桶式基础结构沉降、位移和倾斜度观测、堤身外侧冲刷情况监测等。

[关键词] 徐圩港区; 防波堤工程; 沉降; 观测

DOI: 10.33142/aem.v3i9.4928

中图分类号: U652.7+4

文献标识码: A

Analysis of Settlement and Displacement Observation Items of Breakwater Project in Xuwei Port Area of Lianyungang

WANG Xiaoyi

Lianyungang Shipping Pilotage, Lianyungang, Jiangsu, 222042, China

Abstract: After the completion acceptance of the breakwater project in Xuwei port area of Lianyungang port, in order to ensure the stability of the embankment structure and the stability of the outer slope revetment, data support is provided for the safety and stability of the embankment. It is necessary to timely understand the settlement and displacement of the breakwater, the displacement and inclination of the bucket foundation, the scouring on both sides of the embankment body, the settlement and displacement observation of the top surface layer of the embankment, the monitoring of the section of the embankment body, the settlement, displacement and inclination observation of the bucket foundation structure, the scouring outside the embankment body, etc.

Keywords: Xuwei port area; breakwater project; settlement; observation

1 项目概况

徐圩港区防波堤工程总长 22.3km, 东、西防波堤形成大环抱形态, 从现有海堤至港区口门一次形成, 口门离岸 9.5km、位于 -5.0m 等深线附近, 分斜坡式结构东防波堤工程、直立结构东防波堤工程和西防波堤工程三个项目建设, 于 2012 年 10 月开工建设, 2017 年 6 月建成, 2018 年 7 月 30 日, 连云港港徐圩港区防波堤工程通过竣工验收。

徐圩港区防波堤工程是该港区开发建设的前提和关键, 大环抱格局的形成, 既创造了良好的港内泊稳环境, 又能减少了港内回淤, 同时为港口深水岸线建设创造了条件, 为起步工程提供了掩护和依托条件, 为分期建设提供了合理的港区布局。

徐圩港区防波堤工程主要对一港池至六港池泊位区起到掩护作用, 其中斜坡式结构东防波堤工程布置于直立结构东防波堤工程南端至现有防汛大堤, 长度 7833.54m; 直立结构东防波堤工程与斜坡式结构东防波堤工程交界点位于东防波堤拐点以南 500m, 全长为 4377.49m; 西防波堤工程直立堤段与斜坡段交界点位于西防波堤拐点以南 500m, 全长为 2941.98m; 西八字口以西直立段的终点为起点, 全长为 495.54m; 东八字口以直立结构东防波堤的终点为起点, 全长为 586.47m; 西防波堤工程斜坡段与直立段交界点位于西防波堤拐点以南 500m, 全长为 6366.90m, 为确保防波堤堤身使用期的结构安全性, 竣工验收后仍需要对防波堤沉降和断面进行监测。

连云港港徐圩港区防波堤工程竣工验收后为及时了解防波堤竣工验收后沉降位移状况, 为判断堤身结构稳定提供数据支撑; 及时了解桶式基础的位移和倾斜度, 以及堤身两侧冲刷情况, 评估堤身安全性; 了解工后防波堤海测地形变化情况以及外坡护面的工作稳定性。需进行堤顶面层沉降和位移观测、堤身断面监测、桶式基础结构沉降、位移和倾斜度观测、堤身外侧冲刷情况监测等。沉降位移观测项目监测周期为 3 年。

(1) 堤顶沉降和位移观测: 约 400m 设置一个测量点。

监测频率要求: 竣工验收后 1 年、2 年、3 年各观测一次。

(2) 堤身断面监测: 为及时了解防波堤安全稳定情况, 应定期分析防波堤两侧(永久性外露侧)坡底地形冲淤变

化,竣工验收后3年内每年一次对防波堤两侧(永久性外露侧)坡底的固定断面地形进行测量,测量比例为1:500,沿堤纵轴线每隔约1200m布设一个固定测量横断面、堤头部分加密,测量宽度范围为防波堤两侧坡脚以外50m。

(3)桶式基础结构沉降、位移和倾斜度观测:约400米设置一个测量区域,每个区域应涵盖相邻两个基础桶体,每个基础桶体设置4点。桶式基础结构的沉降和位移观测点利用走道板施工中埋设的沉降点作为结构变形的永久观测点。桶式基础结构的倾斜度每400m设置一个测点。

监测频率要求:竣工验收后1年、2年、3年各观测一次,特殊情况下由业主另提要求。

(4)堤身两侧水深测量:凡永久性外露(包括斜坡堤海侧、直立堤海侧和港侧)均应测量,测量范围为堤脚(斜坡堤设计堤脚、直立堤上筒外缘)外侧100m,多波束测量,成图比例为1:500。东斜坡堤测量起始桩号为EK0+700,西斜坡堤测量起始桩号为WK1+710。

监测频率要求:

直立堤:竣工验收后1年、3年各观测一次。

斜坡堤:竣工验收后1年、3年各观测一次。

(5)海侧护面、二级平台、直立堤定期检查拍照:每年定期检查斜坡堤海侧护面块体及块石垫层情况,应定期检查直立堤外观情况,如发现坡面人工块体有松动、破损以及其它不良现象,应重点关注。

徐圩港区防波堤斜坡堤设计允许累计变形值为60cm,直立堤设计允许累计变形值为30cm。根据《水运工程测量规范》(JTS131-2012),变形观测精度等级根据观测的内容、性质、目的和要求,按照观测值中误差的绝对值为允许变形值的1/10~1/20的原则确定。因此本次变形观测点的精度等级确定为四等,对应高程中误差为±4mm,点位中误差为±12mm。

1.1 仪器设备

测量所用仪器均通过了计量站检定且使用在有效期内。测量前对各仪器的主要工作部分及相关软件进行了检查,仪器状态良好。测量期间,也注意进行了有关的指标检查,结果均符合规范要求。

1.1.1 使用的硬件设备

测量过程中使用的硬件设备如表1所示。

表1 使用硬件设备列表

序号	仪器设备名称	数量	型号
1	双频GPS接收机	6	Trimble SPS855
2	双频GPS接收机	1	Trimble SPS985
3	测深仪	2	HY1600
4	声速仪	1	HY1200
5	水准仪	2	SOKKIA SDL30M
6	全站仪	1	SOKKIA NET05AXII
7	多波束测深系统	1	Teledyne SeaBat T20-P
8	表层声速仪	1	Teledyne SVP70

1.1.2 使用的软件设备

测量过程中使用的软件如表2所示。

表2 使用软件设备列表

序号	仪器设备名称	数量	型号
1	Newsur	2	3.0
2	Trimble Business Center	1	V2.5
3	多波束数据处理	1	PDS 2000 软件

1.2 工作量及完成情况

2021年第3期监测工作完成内容如表3所示

表 3 2021 年第 3 期测量工作完成内容统计

工作内容		东斜坡堤	西斜坡堤	东直立堤	西直立堤	单位	观测方法
陆上	控制点、监测点补设	2	0	1	0	点	——
	堤顶沉降监测	42	26	90	66	点	三等水准
	堤顶水平位移监测	42	26	90	66	点	快速静态
	堤身固定断面测量	0.9	0.5	——	——	km	GPS-RTK
水上	堤脚固定断面测量	0.36	0.2	——	——	km	单波束测深
	堤身两侧水深测量	0.71	0.47	0.88	0.59	km ²	多波束测深

2 监测网

在整个观测周期内，除对个别损毁点位的补设之外，监测网布置及观测方法保持不变。每期监测之前对监测网进行复测。

2.1 起算数据

已收集到测区周边 GPS 控制点和高程控制点情况及分布如表 4 和图 1 所示。

表 4 已有控制点情况

点名	坐标系统	精度等级	H
LANG	北京 54	C 级 GPS 点	
HSVW	北京 54	C 级 GPS 点	
GBYW	北京 54	C 级 GPS 点	
水准基岩标	85 高程	二等水准点	4.196



图 1 控制点分布情况

2.2 坐标系

坐标基准为 1954 年北京坐标系，高斯-克吕格投影，3° 带，中央经线 120°，东偏移 500000m，北偏移 0m。

2.3 平面监测网

2.3.1 平面监测网布设

平面监测网为 GPS 控制网，由基准点、工作基点组成，基准点为周边国家控制点，也是 GPS 控制网的起算点，工作基点布设在防波堤顶及海堤外。2019 年第 1 期观测所布工作基点点位编号为 KZ1~KZ8。2020 年第 2 期观测时由于原 KZ7 点不可用，因此新布设工作基点 KZ7N 作为替代，并新布设工作基点 KZ9。2021 年第 3 期监测所有工作基点与第 2 期一致，具体分布位置如图 2 所示。



图 2 2021 年第 3 期监测工作基点分布情况

GPS 工作基点应当选择在稳定坚实的基岩、岩石、土层、建筑物顶部等能长期保存、便于观测的地点，避开环境变化大、地质条件不稳定的地区。现场选点时选择便于安置接收机、视野开阔的区域，视场内障碍物高度角不超过 15° ，远离大功率无线电发射源和高压输电线。标石类型采用普通标石，采用现场钻孔埋设不锈钢钉的方式进行埋设：在砣地面（码头）钻孔埋设不锈钢螺钉，钉帽磨成球形，中间刻十字丝。埋设完毕后及时绘制控制点点之记，并拍摄数码照片，长期保存。工作水准点与 GPS 控制点合二为一，不另外埋设。

2.3.2 平面监测网测量

为准确测定工作基点坐标，按照 GPS D 级网精度指标将变形监测工作基点与高等级控制点进行联测。控制网外业静态观测投入 5 台双频 GPS，分别架设在工作基点上，进行同步静态观测。并将周边连续运行基准站点数据纳入控制网进行联合解算。静态数据采集时观测时段 ≥ 1.6 ，观测时长 ≥ 60 分钟，采样间隔为 5s。

2.3.3 平面监测网平差

外业观测结束后，利用专用 GPS 基线解算与网平差软件对外业采集数据进行标准化，并以 HSVW 点的 CGCS2000 坐标成果为基准进行三维无约束平差，检核各基线分量改正数，确定各独立基线无粗差后得到各控制点的 CGCS2000 坐标。

三维约束平差以 LANG、HSVW、GBYW 三个点的 CGCS2000 坐标为约束基准进行，平差后对同名基线向量残差较差的绝对值进行了检核，均符合规范要求，并输出 CGCS2000 三维坐标。WGS84 坐标系和 1954 北京坐标系成果均由三维约束平差得到的 CGCS2000 成果转换得到。

2021 年第 3 期测量平差后各工作基点坐标与 2020 年第 2 期成果对比如表 2.3-1 所示，由表可见，工作基点平面位移整体变化较小。

表 5 工作基点平面坐标对比（北京 54，中央经线 120° ）

点名	2020 年 7 月		2021 年 7 月		平面位移/mm		
	x	y	x	y	dx	dy	ds
KZ1	3832309.523	456133.406	3832309.518	456133.407	-5	1	5
KZ2	3835411.725	458905.597	3835411.724	458905.589	-1	-8	8
KZ3	3837668.234	460912.458	3837668.235	460912.451	1	-7	7
KZ4	3836793.057	464946.107	3836793.060	464946.093	3	-14	14
KZ5	3834328.019	467483.580	3834328.020	467483.569	1	-11	11
KZ6	3830499.101	467242.100	3830499.104	467242.094	3	-6	7
KZ7N	3826525.572	465675.210	3826525.57	465675.195	-2	-15	15
KZ8	3830695.242	459701.228	3830695.237	459701.222	-5	-6	8
KZ9	3837398.614	463327.246	3837398.611	463327.236	-3	-10	10

2.4 高程监测网

2.4.1 高程监测网布设

因地形限制，高程监测网布设成支线方式。

西堤支线起于基岩标水准点，经过监测基准点 KZ1、KZ2、KZ3、KZ9，最后终于 KZ9。东堤支线起于基岩标水准点，经过 KZ7N、KZ6、KZ5、KZ4，最后终于 KZ4。水准路线如图 3 所示。



图 3 水准控制网路线图

2.4.2 高程监测网测量

高程监测网测量按三等水准测量的方法进行，水准路线采用往返观测。高程监测网观测按《国家三、四等水准测量规范》(GB/T 12898-2009) 执行，三等水准测量的主要技术指标如表 6 和表 7 所示。

表 6 三等水准测量主要技术指标

控制目标 仪器类型	标尺类型	前后视距控制 (m)	前后视距差 (m)	各测站前后视 距累差(m)	视线 高度	附和线路或环 线闭合差(mm)	检测已测测段高 差的差(mm)
DS3	双面	≤75	≤2.0	≤5.0	三丝可读数	±12√L (平原)	±20√R
DS1, DS05	钢瓦	≤100					

注：表中未涉及的技术要求和限差均依规范执行。

表 7 三等水准每公里水准测量的偶然中误差 M_{Δ} 和全中误差 M_w (mm)

测量等级	三等
M_{Δ}	≤3.0
M_w	≤6.0

2.4.3 水准网平差

水准测量计算采用《水准网严密平差软件》进行，计算往返观测各测段的高差，按《国家三、四等水准测量规范》(GB/T 12898-2009) 规定进行各项改正，计算往返观测高差闭合差、每公里水准测量偶然中误差和每公里水准测量全中误差，最后根据闭合差调整后的高差推算各控制点的高程。

本期测量三等水准网观测共观测了 8 个测段，往返测高差不符值如表 8 和表 9 所示，符合三等水准路线的限差要求；水准路线观测共观测了 2 条闭合路线，整个项目每千米水准测量的全中误差为±0.83mm，符合三等水准路线的限差要求，如表 1 所示。

表 8 西堤测段往返不符值统计表

序号	测段起点	测段终点	测段平均距离 (km)	往返测不符值 (mm)	允许值 (mm)	是否合格
1	水准基岩标	KZ1	1.01	0.7	12.1	是
2	KZ1	KZ2	4.28	0.3	24.8	是
3	KZ2	KZ3	3.10	0.7	21.1	是
4	KZ3	KZ9	2.44	2.1	18.7	是

每千米偶然中误差 $M_{\Delta} = \pm 0.39\text{mm}$

表 9 东堤测段往返不符值统计表

序号	测段起点	测段终点	测段平均距离 (km)	往返测不符值 (mm)	允许值 (mm)	是否合格
1	水准基岩标	KZ7N	13.48	4.8	44.1	是
2	KZ7N	KZ6	6.18	2.8	29.8	是
3	KZ6	KZ5	3.97	4.1	23.9	是
4	KZ5	KZ4	3.62	1.7	22.8	是

每千米偶然中误差 $M_{\Delta} = \pm 0.71\text{mm}$

表 10 路线闭合差统计表

序号	路线连测的点号	闭合路线周长 F/km	路线闭合差 W/mm	WW/F
西堤	1 水准基岩标—KZ1—KZ2—KZ3—KZ9—KZ3—KZ2—KZ1—水准基岩标	21.67	2.4	0.09
东堤	2 水准基岩标—KZ7N—KZ6—KZ5—KZ4—KZ5—KZ6—KZ7N—水准基岩标	54.50	7.8	1.06

每千米全中误差 $M_w = \pm 0.83\text{mm}$

2021 年期平差后各工作基点高程与 2020 年期成果对比如表 11 所示，由表可见，KZ2、KZ6 点沉降较大，这两个点分别在西斜坡堤和东斜坡堤中间：KZ2 附近监测点为 M5-N1 和 M6-N1，本期沉降量分别为 14mm 和 19mm；KZ6 附近监测点为 DX12-N1 和 DX13-N1，本期沉降量分别为 53mm 和 60mm，因此其点位与东西斜坡堤沉降有关。其余工作基点垂直位

移较小, 本次监测以最新高程为准。

表 11 工作基点高程对比(连云港零点)

点号	2020年7月高程/m	2021年7月高程/m	垂直位移/mm
KZ1	6.983	6.982	-1.4
KZ2	8.497	8.481	-15.7
KZ3	8.909	8.907	-1.6
KZ4	7.609	7.608	-1.3
KZ5	9.520	9.521	0.5
KZ6	7.059	7.009	-49.5
KZ7N	5.031	5.017	-14.2
KZ9	7.371	7.371	0.2

表注: 水准路线未经过 KZ08 点, 表中未列。

3 后续监测建议

根据 2019-2021 年共 3 期的变形监测情况, 对本工程后续监测提出以下建议:

(1) 直立堤堤脚冲坑需关注。根据多波束水深测量结果, 直立堤桶式基础接缝两侧发现多处冲刷坑, 尤其以直立堤与喇叭口交界处较为明显, 推测与涨落潮时桶式基础接缝处水流较急有关, 需分析其可能造成的影响, 必要时及时采取措施, 并在后续监测中加强关注。

(2) 监测工程周期不宜过短。为保持监测数据稳定连续, 监测工程的合同周期不宜过短, 建议 5 年为宜。

(3) 保护现有控制网点。已有 9 个控制网点均为水准平面共用点, 点位保存完好, 周边环境较稳定, 与周边高等级点组成网形结构可靠, 能够完整控制整个测区, 即使个别点位被破坏也可快速补设, 因此建议保留现有控制点使得后续监测处于同一测量基准下。

(4) 监测点数量可适当减少。规范要求变形监测点应选择能够反应变形体变形特征又便于监测的位置。根据已有观测数据, 斜坡堤每个断面所设两个监测点变形特征有较高的一致性, 直立堤每个断面 8 个监测点整体变形量均较小。建议斜坡堤断面设置不变, 每个断面保留防波堤堤顶 1 个监测点; 直立堤减少断面数量, 由现有每隔 400m 设置 1 个断面减少至每隔约 1200m~1600m 设置 1 个断面, 每个断面监测点数设为 4 个或 8 个; 若防波堤周边有施工建设或压载试验等情况, 则根据工程范围适当加密监测点位。

(5) 监测频率根据变形特点动态调整。从垂直位移分布特点看, 不同里程的垂直位移量差异很大, 而同一监测点的两期垂直位移量又有明显的相关性。为对沉降变形较大测段的垂直位移特点有更全面的了解, 建议根据垂直位移量大小确定点位监测频率, 且尽量保证测段连续: 每次监测垂直位移和水平位移以及堤身巡视同步进行, 若无特别需求, 堤身两侧多波束水深测量维持现有频率两年一次。

[参考文献]

[1] 林玉葵. 高低基础沉箱间隔安装施工应用[J]. 中国港湾建设, 2021, 41(11): 58-60.

[2] 赵越. 连云港港徐圩港区防波堤工程荣获第十八届詹天佑奖[J]. 大陆桥视野, 2021(10): 24.

作者简介: 王肖依(1985.7-)女, 南京工业大学, 安全工程; 连云港引航站, 安技科科长, 建设工程中级职称。