

# 浅谈跨海大桥斜拉桥主墩深基坑监测

## Discussion on Deep Foundation Pit Monitoring of the Main Pier of a Cable-stayed Bridge Over the Sea

刘茹冰

Rubing Liu

中铁二十局集团第三工程有限公司 中国·重庆 400065

China Railway 20th Bureau Group Third Engineering Co., Ltd., Chongqing, 400065, China

**摘要:** 在社会经济与科技飞速发展的背景下, 各类工程建设项目也在不断扩张。由于受到原始地质环境和施工技术的影响, 在施工过程中要加强关注对基坑的建设和监测, 这样有利于维护工程建设质量与建设安全性。基坑监测技术在目前的建筑工程项目中应用较多, 不仅可以实现不同方向上的基坑变形监测, 通过与其他技术的结合, 发挥监测技术在建设工程中的重要价值。因此论文系统性地介绍了中国北海市西村港跨海大桥主桥斜拉桥主墩深基坑监测。

**Abstract:** Against the backdrop of rapid socio-economic and technological development, various engineering construction projects are also constantly expanding. Due to the influence of the original geological environment and construction technology, it is necessary to strengthen attention to the construction and monitoring of foundation pits during the construction process, which is conducive to maintaining the quality and safety of engineering construction. The foundation pit monitoring technology is widely used in the current construction projects, which can not only realize the foundation pit deformation monitoring in different directions, but also play an important role in the construction projects by combining with other technologies. Therefore, this paper systematically introduces the monitoring of the deep foundation pit of the main pier of the cable-stayed bridge of the Xicun Port cross sea bridge in Beihai City, China.

**关键词:** 锁扣钢管桩; 围堰; 深基坑监测

**Keywords:** lock buckle steel pipe pile; cofferdam; deep foundation pit monitoring

**DOI:** 10.12346/se.v5i2.8712

### 1 工程概况、施工工艺

西村港跨海大桥工程西起渤海路, 向东延伸跨越西村港落地后与林一路相交, 项目规划红线宽度 60m, 路线全长 2544.4m。其中, 桥梁总长 1775.8m, 道路长 768.6m (双向六车道)。桥梁由 720m 西引桥、600m 东引桥、455.8m 斜拉主桥组成。

主桥主墩承台为钢筋混凝土结构, 塔下设置 1.5m 塔座和 5m 承台。承台顶标高 -2.500m。每个承台的大小为 33.0 (顺桥向) × 44.8m (横桥向), 每个承台施工材料使用海工高性能 C40 混凝土。主墩基础施工设计采用  $\Phi 200\text{cm}$  的 54 根钻孔灌注桩, 桩中心距顺桥向 5.8m, 横桥向 5.1m。施工设

计采用海工 C35 水下混凝土。钻孔桩采用  $\Phi 240\text{cm}$  钢护筒。C30 水下封底混凝土厚度 3m。主桥斜拉桥 20#、21# 主墩承台基坑挖深 9.39~9.525m, 超过 5m。

二个主墩桩基承台采用先桩后堰法进行施工, 施工承台深基坑支护需要采用锁扣钢管桩围堰, 采用履带吊配 DZ230 型振动锤插打。围堰内部开挖采用抽沙泵带水抽沙方案<sup>[1]</sup>。

钢围堰内壁平面尺寸为 36.17m × 48.17m。锁扣钢管桩采用 C-0 型, 主管  $\phi 630 \times 12\text{mm}$  钢管、锁口“阴头” $\phi 168 \times 8\text{mm}$  钢管、“阳头” $\phi 133 \times 4.5\text{mm}$  钢管。围堰竖向设置二层内支撑, 腰梁上层采用 2H700 × 300 型钢、下层采用 3H700 × 300 型钢, 支撑法兰连接钢管上层

【作者简介】刘茹冰 (1988-), 男, 中国甘肃天水人, 本科, 工程师, 从事深基坑监测、工程测量研究。

采用  $\phi 609 \times 16\text{mm}$ 、下层采用  $\phi 800 \times 16\text{mm}$ （短角撑采用  $\phi 609 \times 16\text{mm}$ ），腰梁与锁扣钢管桩间隙填充浇筑细石砼，顺横桥向支撑钢管十字接头处采用 3 根钢管柱（钻孔桩基础）支承。封底平台采用贝雷梁及型钢等搭设。根据基坑开挖深度、地层等条件，本深基坑安全（支护）等级为一级（见图 1）。

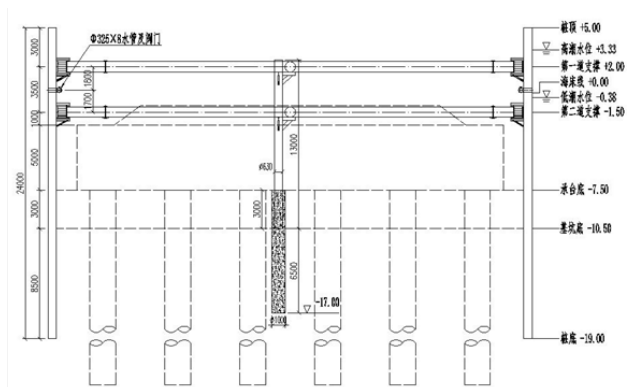


图 1 西村港跨海大桥工程基坑支护示意图

## 2 监测目的和监测内容

### 2.1 监测目的

①主要是验证施工工艺的成果和设计的合理性，为以后有同类工程的施工方法和设计提供有利的根据。

②可以及时有效的控制钢围堰的变形，位移及受力情况，通过监测可以更快，更准地发现围堰和围檩、支撑体现可能出现的异常情况，以便准确采取应急措施<sup>[2]</sup>。

### 2.2 监测内容

项目监测主要重点为，实施对基坑动态的监测过程，及时掌握钢围堰的异常情况，基坑监测拟对以下内容进行监测：

- ①桩顶水平位移监测；
- ②桩顶竖向位移监测；
- ③桩身水平位移监测；
- ④支撑轴力监测；
- ⑤支撑挠度监测；
- ⑥支撑温度监测；
- ⑦堰内、外水位监测；
- ⑧立柱竖向位移监测。

## 3 监测方法及要求

### 3.1 桩顶水平位移监测

本基坑安全等级为一级，对变形监测精度要求较高，依据 GB 50026—2020《工程测量标准》中表 10.1.3 的监测等级划分标准，本工程桩顶水平位移测量等级为二等。平面控制点和工作基点采用导线测量方法进行测量，监测点水平位移根据现场条件，一般采用极坐标法，使用 1" 级全站仪进行量测。根据 GB50026—2020《工程测量标准》中表 10.2.4

和表 10.2.6 的要求（见表 1）。

表 1 基坑水平位移监测主要技术指标如表

| 序号 | 观测项目        | 指标或限差           |
|----|-------------|-----------------|
| 1  | 每边测回数       | 往返各 3 测回        |
| 2  | 一测回读数较差     | 3.0mm           |
| 3  | 单程各测回较差     | 4.0mm           |
| 4  | 测边相对中误差     | $\leq 1/100000$ |
| 5  | 测角中误差       | 1.8"            |
| 6  | 水平角观测回数     | 6               |
| 7  | 气象数据测定的最小读数 | 气压 50Pa；温度 0.2℃ |

### 3.2 桩顶竖向位移监测

本基坑安全等级为一级，对变形监测精度要求较高，根据 GB50026—2020《工程测量标准》中表 10.1.3 的监测等级划分标准，本工程基坑监测竖向位移测量等级为二等。水准监测网观测采用闭合水准测量方法，使用精密水准仪进行观测<sup>[3]</sup>。根据 GB 50026—2020《工程测量标准》中表 10.3.3 和表 10.3.4 的要求，本工程竖向位移监测（见表 2）。

表 2 竖向位移监测主要技术指标及要求表

| 序号 | 观测项目       | 限差                             |
|----|------------|--------------------------------|
| 1  | 往返较差及环线闭合差 | $\pm 0.3n \text{ mm}$ (n 为测站数) |
| 2  | 检测已测高差较差   | $\pm 0.4n \text{ mm}$ (n 为测站数) |
| 3  | 相邻基准点高差中误差 | 0.5mm                          |
| 4  | 每站高差中误差    | 0.15mm                         |
| 5  | 视线长度       | 30m                            |
| 6  | 前后视的距离较差   | 0.5m                           |
| 7  | 前后视的距离较差累积 | 1.5m                           |
| 8  | 视线距离地面最低高度 | 0.5m                           |

监测基准点为已知高程点，观测采用闭合水准路线时可以进行只观测单程，采用附合水准路线形式必须进行往返观测，取两次观测高差中数进行平差。往返观测顺序为后、前、前、后，返测观测顺序为前、后、后、前。

根据测得的各监测点与基准点的高差  $\Delta H$ ，可得到各监测点的高程 H，其与上次所测高程的差值  $\Delta h$  即为该监测点的沉降值，即  $\Delta h(1, 2) = H(2) - H(1)$ 。

### 3.3 桩身水平位移监测

采用满足精度要求的测斜仪对桩身水平位移进行监测和控制，测斜管要密实的埋设于桩身之中，当桩身产生位移时，埋入桩身中的测斜管随桩身同步位移，测斜管的位移量即为桩身的位移量。当测斜管埋设的足够深时，管底可以认为是位移不动点，放入测斜管内的活动测头，测出各个不同分段点上测斜管的倾角变化，则管口的水平位移值就是各分段位移增量的总和。

### 3.4 支撑轴力、支撑温度监测

现在工程中常用的是手持式数显频率仪现场测试传感器频率，可同时测量支撑轴力和支撑温度。具体使用方法是，接通仪器电源，将仪器两根测试导线分别接在传感器的导线

上,按仪器测试按钮,仪器上的显示屏会出现数据及传感器频率,多次反复测试数据,显示数据是否稳定,如果多次测试的数据变化量在0.1Hz以内,可以确定测试的数据稳定,取测试数据平均值作为测试值<sup>[4]</sup>。由于仪器在测试的过程中会发生较高的脉冲电流,所以在测试过程中操作者必须把测试接头擦拭干净,并使每个接头处的导线相互分开,不要有任何接触,如果接触了会影响测试结果。支撑轴力监测,其最小读数精度 $\leq 1/100$ (F.S);支撑温度监测,其最小读数精确度为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

### 3.5 支撑挠度、立柱竖向位移监测

采用与桩顶竖向位移同样的测量方法和精度标准进行数据采集,水准监测网观测采用闭合水准测量方法,使用精密水准仪进行监测。

### 3.6 堰外、内水位观测

采用水标尺进行监测,根据水面对应标尺刻度进行读数对比,读数精确到毫米。

## 4 监测点布设技术要求

### 4.1 监测点埋设顺序

- ①基坑开挖前,布设监测基准网;
- ②钢管桩施工时,同步安装桩体内的测斜管;
- ③混凝土浇捣前应将测斜管管口接至顶部,桩顶施工完成时,同步埋设钢管桩顶部的水平和竖向位移监测点,并保护好测斜管,然后进行原始数据值的采集;
- ④支撑施工时,布设立柱竖向位移、支撑轴力、支撑挠度监测点;
- ⑤施工第一道支撑时,要同步安装支撑轴力计,并测出初始数据读数;
- ⑥随着基坑的开挖,第二道支撑的轴力计随支撑的施工而同步进行安装。

### 4.2 变形观测基准网布设

基准点应选择设置基坑开挖影响范围外的稳定地方,并根据基坑及周边监测对象的位置分布、场地布置围挡条件合理分布,一般每个基坑及周边监测对象附近不少于3个,并能够与相邻点通视,能够满足组成合理观测网形引测至场地的条件。基准点选埋在施工影响范围外的稳定区内,点位必须埋设稳固。本工程共设置3个监测基准点,供水平和竖向位移共用。

### 4.3 桩顶水平和竖向位移观测

本工程水平和竖向位移监测共用点布置在钢管桩顶部上,本工程钢管桩顶部水平监测数量为16个每个承台布设8个,有两个承台,共计布设16个,钢管桩顶部竖向位移监测数量为16个每个承台布设8个,有两个承台,共计布设16个。

### 4.4 桩身水平位移观测

桩身水平位移采用在相应的钢管桩内埋设测斜管,用测

斜仪进行测试。通过测斜,准确掌握钢管桩水平变形量及其发展趋势,从而提前发现基坑侧壁的安全隐患,有效预防基坑工程安全事故的发生。本工程采用高精度测斜仪对钢管桩桩体的倾斜情况进行监测。将有4个相互垂直导槽的测斜管固定在钢管桩的钢管上并使其与主筋平行,随同钢筋笼一起浇筑在钢管桩孔中。在观测时,将活动式探头放入测斜管,使探头上的导向滚轮卡在测斜管内壁的导槽中,沿槽滚动,利用重力摆锤方法始终摆铅直方向的性质,测定仪器中轴线与摆锤垂直线的倾角 $X_i$ ,倾角的变化通过电信号转换得到,设各段长度为 $L_i$ ,该段测管的位移 $DS_i=L_i \sin X_i$ ,假设管底不动,自下而上不同深度的水平位移 $S$ 就是该深度以下各分段位移增量之和。

$$S = \sum_{i=1} \Delta S_i = \sum_{i=1} L_i \sin X_i$$

本项目监测采用圆形测斜管,在测斜管埋设和监测期内,注意对测斜管的保护,防止施工时破坏测斜管,同时还要防止建筑垃圾或其他杂,造成测斜管堵塞或测试深度达不到要求。本项目监测采用圆形测斜管,在测斜管埋设和监测期内,注意对测斜管的保护,防止施工时破坏测斜管,同时还要防止建筑垃圾或其他杂物掉入测斜管中,造成测斜管堵塞或测试深度达不到要求。本工程桩身深层水平位移监测点数量为8个(每个承台布设4个,有两个承台,共计布设8个;每个监测点埋设深度为10m,共计80m)。

### 4.5 支撑轴力观测

基坑外侧的侧向水土压力由围护结构及支撑体系所承担,当实际支撑轴力与支撑在平衡状态下应承担的轴力(设计计算轴力)不一致时,将可能引起围护体系失稳。基坑开挖期间应对水平支撑进行内力监测,结合本工程实际情况,第一层支撑轴力监测点数量为12个,第二层支撑轴力监测点数量为12个,每个承台有24个支撑轴力监测点,有两个承台共计48个支撑轴力监测点。

### 4.6 支撑挠度监测

根据设计要求,在内支撑1/2、1/4处进行监测点布设,结合设计图纸,本工程支撑挠度监测点数量为144个(基坑有两道支撑,每道支撑有12根支撑,每根支撑挠度布设3个监测点,有两个承台)。

### 4.7 堰外、内水位监测

不同工况下坑内的地下水位会保持不同的标高,为了确保基坑外侧影响范围内的周边建筑物及地基处于稳定状态,同时也为了检验支护结构的渗漏特性,根据规范的要求,对坑内、外地下水位的动态变化进行监测。堰外水位监测点数量为2个(每个承台布设1个,有两个承台,共计布设2个),堰内水位监测点数量为2个(每个承台布设1个,有两个承台,共计布设2个)。

### 4.8 支撑温度监测

在支撑轴力较大处布设监测点,支撑温度监测点数量为

48点基坑有两道支撑，每道支撑有12根支撑，每根支撑温度布设1个监测点，有两个承台。

#### 4.9 立柱竖向位移观测

立柱主要起到支撑横向钢支撑受力的作用，它的安全使用对横向支撑乃至整个基坑支护关系重大，所以必须对其沉降进行监控，立柱沉降监测点数量为6个（有两个承台，每个承台布设3个点，共计6个）。

#### 5 监测频率、工期与报警值

基坑工程监测频率应能系统地反映监测对象所测项目的重要变化过程，而又不遗漏其变化时刻为原则。要求监测项目的监测频率应考虑基坑类别、基坑及地下工程的不同施工阶段以及周边环境、自然条件的变化和当地经验而确定。结合本工程基坑安全等级，规范要求的监测频率和控制值见表3。

## 6 监测成果

监测数据应及时整理，对监测数据的发展情况及变化应及时评述和分析。当观测数据出现异常时，应分析原因，必要时进行重测。监测项目数据分析应结合其他相关项目的监测数据和自然环境、施工工况等情况及以往数据进行，并应对其发展趋势进行预测，出现反常急骤变化或位移超过预警值时，应分析原因，并应采取必要的安全措施<sup>[5]</sup>。

## 7 结语

该基坑根据施工现场特点选用锁扣钢管桩围堰支护，在该工程的实施中，施工过程和检查结果均达到预期效果，证明该基坑选用锁扣钢管桩围堰支护法安全可靠，满足了工程的安全、进度和质量要求，对类似工程有一定的借鉴价值。

表3 基坑监测频率和控制值表

| 监测项目   | 监测频率  |       |         | 预警限值               |
|--------|-------|-------|---------|--------------------|
|        | 一般阶段  | 汛期阶段  | 抽水及拆撑阶段 | 绝对值或变形速率           |
| 桩顶水平位移 | 1次/2d | 1次/1d | 1次/1d   | 累计值40mm 日变形速率3mm/d |
| 桩顶竖向位移 | 1次/2d | 1次/1d | 1次/1d   | 累计值20mm 日变形速率3mm/d |
| 桩身水平位移 | 1次/2d | 1次/1d | 1次/1d   | 累计值50mm 日变形速率3mm/d |
| 支撑轴力   | 1次/2d | 1次/1d | 1次/1d   | 构件承载力设计值的70%       |
| 支撑挠度   | 1次/2d | 1次/1d | 1次/1d   | L/300, L为钢支撑长度     |
| 支撑温度   | 1次/2d | 1次/2d | 1次/1d   | 温差宜不超过30℃          |
| 堰外水位   | 1次/1d | 2次/1d | 2次/1d   | —                  |
| 堰内水位   | 1次/1d | 2次/1d | 2次/1d   | —                  |
| 立柱竖向位移 | 1次/2d | 1次/1d | 1次/1d   | 累计值35mm 日变形速率3mm/d |

注：①支撑应力按分级控制的原则，设置预警值、报警值、控制值。

②控制值取最不利荷载组合下最大应力的80%，指在保证结构不产生破坏的前提下所允许达到的最大应力值。

③报警值取有限元模型计算值，指当变形过大或过快接近控制值时，采取必要措施、手段进行预防或防护的应力值。

④预警值按报警值的80%取用（报警值=预警值÷80%），指施工顺利进行时的控制应力限值。

⑤预警值之前，正常施工。

⑥预警值到报警值之间增加观测频率。

⑦超过报警值时，参建各方应密切关注围堰状况，对发现的问题及时处理。

⑧当接近或超过控制值时，应停止施工，查明原因，采取措施排除影响因素后才能继续施工。

## 参考文献

- [1] 桂国庆.深基坑工程的研究现状与发展趋势[J].工程力学,2006(28).
- [2] 赵其华.超深基坑压力监测成果分析[J].岩土力学,2006,4(27).
- [3] 吉文元.深基坑工程施工监控的实践与探索[J].科技信息,2009(19).
- [4] 黄鹤,肖敬东,金科,等.基坑监测技术在某建筑工程项目中的应用[J].黑龙江水利科技,2010(1).
- [5] 时祥宾.浅谈城市地下综合管廊基坑变形监测[J].建筑工程技术与设计,2018(11):10.