



73-75  
(23) 73-75

# 天津港第五代集装箱码头改造工程监测

刘 东

(中交一航院 天津 300222)

4656.135

**摘要** 介绍天津港第五代集装箱码头改造工程监测实施过程以及采取的监测手段——引张线及钢尺直线丈量观测系统,对观测系统的观测精度、码头结构的变形情况进行了分析估算。

**关键词** 精密基准线测量 引张线 监测 相对变形量 绝对变形量

测  
集装箱码头 2程码头  
改造

## 1 概况

### 1.1 现状

天津港位于渤海湾西海岸海河入海口,是首都北京及天津市的海上门户,担负着京津地区、华北、西北广大腹地的物资吞吐和中转任务,是我国重要的以杂货、集装箱运输为主的大型综合性国际贸易枢纽港。

### 1.2 监测目的

1996年,天津港为更好地适应现代港口业的发展,提高国际性港口的地位,在东突堤南侧码头占用340m岸线,即使用原33#泊位的全部和32#泊位的部分岸线,在原水深-10.5m的基础上,分步骤地开挖浚深至-12.5m和-14.0m,形成一个340m×100m的停泊水域,以满足停泊第五代集装箱船的水深条件,率先在全国港口达到接卸第五代集装箱船的能力。在两次泊位浚深过程中,因打破了码头及岸坡结构的受力平衡,以致出现跨塌、断桩等现象。为保证码头安全,及时掌握变形情况,并为制定、修改浚深方案,提供必要的监测数据,需开展码头监测工作。监测工作分为四个阶段:(1)开挖-12.5m试验段(2)全线开挖-12.5m(3)开挖-14.0m试验段(4)全线开挖-14.0m。

### 1.3 码头结构特点

东突堤南侧码头结构为高桩承台梁板结构形式,由高桩承台和接岸结构两大部分组成。码头结构的主要特点是用深层水泥拌合法(即MDM工法)加固岸坡的淤泥质土,克服了岸坡变形对桩基的影响,形成桩台宽度为24m的窄桩台式高桩梁板结构;从纵向看,承台和接岸结构为直线型建筑结构。

### 1.4 监测方法

为保证原有码头的安全,配合泊位浚深,实时通报开挖区码头结构变形情况,规定了变形量控制值,即码头结构总位移值 $\leq \pm 4.0$ mm,每天位移值 $\leq \pm 1.5$ mm,这就要求观测误差不大于 $\pm 0.75$ mm。采用常规测量手段如建立高等级测量控制网、光学照准法、衍射方向线法,不仅难达到如此高的观测精度,而且受到很多客观因素的影响,如要求观测周期短,受视线影响大、影响码头的正常作业。因此,针对东突堤南侧码头结构特点,采用了浮托式引张线精密基准线测量法,以及钢尺直线丈量法。浮托式引张线法进行精密基准线测量就是在给定的基准点上悬挂一条金属丝或纤维丝,两端施加一定的外力,并利用浮托装置将引张线托起,以减少引张线垂矢,避免引张线的高频振荡,并利用垂直投影仪器测量各中间点偏离引张线的偏离距。

## 2 测点布置及观测方法

### 2.1 测点平面布置

在码头原设计分段的第8段到第18段各段中间位置,距码头前沿0.8m布置了第一排观测点,点号为1#~11#,测点间距45m,各测点布置在同一直线上;在距码头前沿30m处为一排泥管沟,在排泥管沟北侧墙壁上布置了第二排测点,编号为13#~23#,第二排测点平行于第一排测点,测点布置与第一排测点相对应。第一排各观测点主要反映高桩承台各结构段的变形情况,第二排测点主要反映码头接岸结构的变形情况,在后排13#测点以西11m和23#测点以东80m同一高度埋设了两个带滑轮的拉力架,东西两个拉力架间距为540m,两拉

收稿日期:1999-11-10

干挖区(340 m)两侧较远的地方, 因而以力拉力架处码头不会因浚深而位移, 可视为固定的基准点。在两拉力架之间架设直径为 0.5 mm 的无磁钢丝, 施加 22.4 kg(重物)的水平拉力, 钢丝在水平面上的投影为一直线, 作为准直测量的基准线。

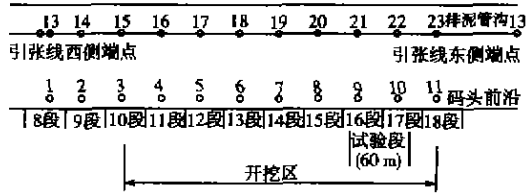


图 1 测点平面布置

### 2.2 观测系统的安装与使用

在第一排和第二排测点位置埋设图 2 式样的钢尺直线丈量观测装置, 第二排测点装置由支架、滑轮、游标卡尺、重锤等组成, 利用两个测点支架, 使用 30 m 钢尺直线丈量第一排测点相对于第二排测点的平面位移。

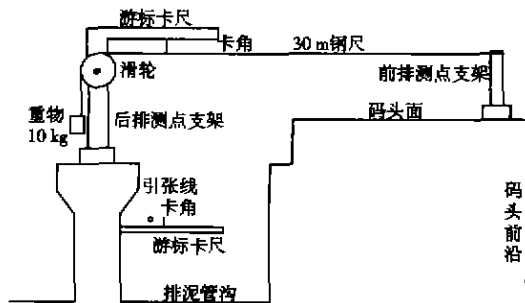


图 2 钢尺直线丈量观测装置

在第二排测点支架的下方, 于管沟壁上与拉力架同高安装游标卡尺。移动游标卡尺卡脚, 使卡角与引张线轻微接触, 读取游标卡尺读数, 作为该观测点平面位移的观测值。

在测点与测点中间安装浮托器, 浮托器固定在墙体上, 它由容器、液体、浮托组成, 浮托漂浮在液体内并托起引张线, 使引张线处在容器侧壁上方 2~3 cm, 从而减小引张线垂矢, 减小外力对引张线的影响, 减小引张线自身的高频谐振, 提高引张线系统的观测精度。

## 3 变形量及变形量计算方法

### 3.1 变形量概念

相对变形量: 是指某一观测时刻相对于上一观测时刻的码头位移量。

绝对变形量: 是指某一观测时刻相对于码头稳定期时的总变形量。

变形曲线: 通过对观测数据的计算处理, 利用变形曲线直观地反映出码头整体或局部在变形期内的某一观测时刻相对于码头稳定期时变形情况(绝对变形曲线); 以及在变形期内相临观测时段的码头结构变形情况(相对变形曲线)。

通过绝对变形量, 可以看出各观测点平面位移是否超出码头结构总位移的极限值( $\pm 4.0$  mm)。通过相对变形量, 可以看出各观测点所反映的结构段是否出现断桩、跨塌等陡变现象; 是否超出每天位移值  $\leq \pm 1.5$  mm 的限差要求。

### 3.2 变形量计算方法

各观测点变形量通过下式计算

$$S_{\text{绝}} = S'_{\text{观}} - S_{\text{稳}}$$

$$S_{\text{相}} = S'_{\text{观}} - S''_{\text{观}}$$

式中:  $S_{\text{绝}}$  —— 绝对变形量;

$S_{\text{相}}$  —— 相对变形量;

$S_{\text{稳}}$  —— 码头稳定期时的观测平均值;

$S'_{\text{观}}$  —— 某一观测时刻观测值;

$S''_{\text{观}}$  —— 上一观测时刻观测值。

## 4 精度估算

各测点变形量的观测与计算都是基于引张线基础之上, 引张线方法测量偏离距的误差来源主要分为两类。(1) 引张线本身产生的误差: 由于侧向气流压力造成的引张线偏斜; 引张线直线变化; 引张线局部弯曲; 引张线本身的谐振等;(2) 测定偏离距时所采用的方法和器材所引起的误差: 引张线整置在起始点中心上的置中误差; 引张线轴线垂直投影在各被检测点上的误差; 读数装置的误差; 引张线侧面光照的“相位”误差等。

### 4.1 引张线本身误差

在第一类误差中, 引张线由于受侧向气流压力的影响而偏离直线方向(图 3), 对观测结果产生的误差较大, 其余引张线本身误差在选用引张线材料时可以避免或消除。

引张线置于排泥管沟中, 基本处于半封闭状态, 所受侧向气流影响较小, 按下列公式可以计算在气流(假设 0.25 m/s)影响下各测点处引张线偏离距  $\Delta_B$

$$\Delta_B = pfk/G \quad (1)$$

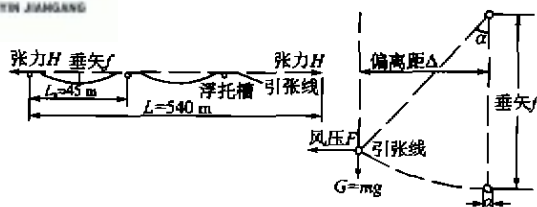


图3 引张线测量受侧向气流压力影响

式中:  $P$ ——引张线一延  $m$  所受侧向气流的压力;  
 $f$ ——引张线垂矢;  
 $G$ ——引张线一延  $m$  重力;  
 $k$ ——气流影响的偶然系数 ( $0 \leq k \leq 1$ )。

$$p = \xi qs / 2 \quad (2)$$

式中:  $q$ ——气流的动压;  
 $s$ ——引张线一延  $m$  的截面积;  
 $\xi$ ——列依诺利斯标准  $Re$  函数,  $Re$  的数值由下式计算

$$Re = vd / \omega \quad (3)$$

式中:  $d$ ——引张线直径,  $mm$ ;  
 $v$ ——气流速度,  $m/s$ ;  
 $\omega$ ——空气动力粘度,  $cm^2/s$ 。

当  $d = 0.5 \text{ mm}$ ,  $v = 0.25 \text{ m/s}$ ,  $\omega = 0.143 \text{ cm}^2/s$ 。  
 则  $Re = 8.7$ 。系数  $\xi = f(Re)$ , 由下列经验公式表示

$$\xi = 18.5 / Re^{0.5} = 5.05 \quad (4)$$

按下列公式计算气流的动压

$$q = \gamma v^2 / 2g \quad (5)$$

取空气密度  $\gamma = 1.296 \text{ kg/m}^3$ , 重力加速度  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ , 则  $q = 4.13 \times 10^{-2} \text{ Pa}$

$$s = \pi \times d \quad (6)$$

取引张线直径  $d = 0.5 \text{ mm}$ ,  $s = 1.57 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ ; 将式(4)、(5)、(6)代入式(2), 则  $p = 5.05 \times 4.13 \times 10^{-2} \times 1.57 \times 10^{-3} / 2 = 1.6 \times 10^{-4} \text{ N}$ 。

引张线中点处的垂矢( $f$ )按下式计算

$$f = GL_0^2 / 8H \quad (7)$$

式中: 引张线一延  $m$  的重力(取  $G = 0.5 \text{ N/m}$ )

$L_0$ ——跨距长度 ( $L_0 = 45 \text{ m}$ );

$H$ ——引张线张力 ( $H = 224 \text{ N}$ )。

最大容许张力  $H_{max}$  是引张线最大强度的 60%, 按下式计算

$$H_{max} = 914.5 \times d^2 = 229 \text{ (N)} \quad (8)$$

本次引张线张力取  $224 \text{ N}$ , 则引张线垂矢  $f$  为

$0.006 \text{ m}$ 。

系数  $k$  由气流相对于引张线方向而定, 当  $k = 0.1$  时, 引张线偏差  $\Delta_B = 0.02 \text{ mm}$ , 取气流影响的偶然系数为最大, 即当  $k = 1$  时,  $\Delta_B = 0.2 \text{ mm}$ 。

由此可见, 长  $540 \text{ m}$ , 直径  $0.5 \text{ mm}$  的浮托式引张线在受到  $0.25 \text{ m/s}$  气流作用时, 引张线各测点最大偏离距为  $0.2 \text{ mm}$ 。

#### 4.2 引张线观测误差

引张线观测误差主要包括游标卡尺精度误差、引张线与游标卡尺卡角重合误差、游标卡尺读数误差等, 观测误差可由下式计算

$$\Delta_{YG} = \pm \sqrt{\Delta_d^2 + \Delta_a^2 + \Delta_g^2} \quad (9)$$

式中:  $\Delta_{YG}$ ——引张线观测误差;

$\Delta_d = \pm 0.1 \text{ mm}$ ——游标卡尺读数误差;

$\Delta_a = \pm 0.2 \text{ mm}$ ——引张线与游标卡角重合误差;

$\Delta_g = \pm 0.02 \text{ mm}$ ——游标卡尺固定误差。

代入各种误差, 引张线观测误差为  $\pm 0.22 \text{ mm}$ 。

每次观测读数两次, 则两次观测中误差为:

$$\Delta_z = \pm \Delta_{YG} / \sqrt{2} = \pm 0.16 \text{ mm} \quad (10)$$

后排 12 个测点是利用引张线进行平面位移观测, 因此, 后排各测点总误差为:

$$\Delta_{YZ} = \pm \sqrt{\Delta_z^2 + \Delta_B^2} = \pm 0.26 \text{ mm} \quad (11)$$

#### 4.3 钢尺直线丈量系统观测误差

前排测点误差主要来源包括两种观测系统产生的误差: 钢尺直线丈量系统观测误差和引张线系统观测误差; 其中钢尺直线丈量系统观测误差包括前排测点支架凹槽与钢尺钢环密合误差、钢尺膨胀系数误差、后排支架滑轮阻力造成的误差、游标卡尺卡角与钢尺切数重合误差等。由于钢尺膨胀系数范围在  $1.15 \times 10^{-6} \sim 1.25 \times 10^{-6}$  之间, 码头钢筋混凝土构件的膨胀系数范围在  $1.0 \times 10^{-6} \sim 2.0 \times 10^{-6}$  之间, 钢尺与码头钢筋混凝土构件的膨胀系数范围相近, 因此, 可不对钢尺进行尺长改正, 钢尺膨胀系数误差可不予考虑。前排测点观测误差可由下式计算

$$\Delta_{vg} = \pm \sqrt{\Delta_{mh}^2 + \Delta_d^2 + \Delta_{\alpha}^2 + \Delta_{\beta}^2 + \Delta_{\rho}^2} \quad (11)$$

式中:  $\Delta_{vg}$ ——前排测点观测误差;

$\Delta_{mh} = 0.1 \text{ mm}$ ——密合误差, 它由构件加工精度决定;

(下转第 80 页)