

# 施桥一线船闸的变形观测及分析

15  
68-5°

徐泽中 白忠良

(河海大学 南京 210098)

u641.9

**摘要** 通过施桥一线船闸的变形观测,着重讨论复线船闸施工中因地下水位的升降对一线船闸产生垂直位移和水平位移(垂直于闸中心线方向的横向位移)的可逆变化规律,验证了施工中采用地下防渗墙和回灌方式控制一线船闸墙后地下水位不低于真高 $\pm 0.0\text{m}$ 的合理性。

**关键词** 船闸;变形观测;垂直位移;水平位移;地下水位

施桥复线船闸地处江苏省扬州市邗江县施桥镇北,原一线船闸位于大运河东侧和翻水河西岸包围的场地内,一、二线船闸中心距 150 m,从有效钻探 39 m 范围看,本区地层属第四纪全新统( $Q_4$ )的长江冲积层,沉积物为粉砂间夹薄层壤土层,透水性高,施工时既要保证闸塘开挖和结构工程的顺利施工,又要确保一线船闸的正常运行。在闸塘周围布置环形降水井,井距 15 m,井底高程 -21.0 m(闸底板高程 -8.203 m),井与新闸轴线距 34 m,全闸共设 64 眼井。同时在距复线船闸中心线 44.5 m 处沿纵向又布设一道防渗墙(墙底高程 15.0 m),并配合墙后回流方式,以防止由于井点降水危及一线船闸的正常使用。为验证设计的合理性,特对施桥一线船闸闸首闸室进行施工期的变形观测。观测结果表明,上述措施再加上回灌,使邻近施工场地一侧的一线船闸墙后地下水位在不低于真高 $\pm 0.0\text{m}$ 的情况下,可确保一线船闸的正常运行。

## 1 船闸变形观测的精度指标

变形观测精度是指绝对位移观测值的精确度。水平位移的观测精度是观测点中最弱点的位移值相对于控制网起始点的位移误差。垂直位移的观测精度是最弱点垂直位移值相对于水准基点的位移值。本文采用苏联《水工建筑物变形观测规范》规定:基础为岩基时,水平和垂直变形中误差均为 1 mm;基础为软基时,水平和垂直变形中误差均为 2 mm。因为本文讨论的是船闸建造在软土地基上的变形观测,考虑到蔡司 010 经纬仪的精度,水平位移取 3 mm 的精度指标,在垂直位移方面,考虑到施桥船闸运行时间较长,垂直位移量很小,以从严为原则,取 1 mm 的精度指标。

## 2 垂直位移观测

### 2.1 精密水准测量的精度

船闸垂直位移观测时,一般组成短视线的闭合水准环线。根据文献[1]的精度分析,在特定条件下

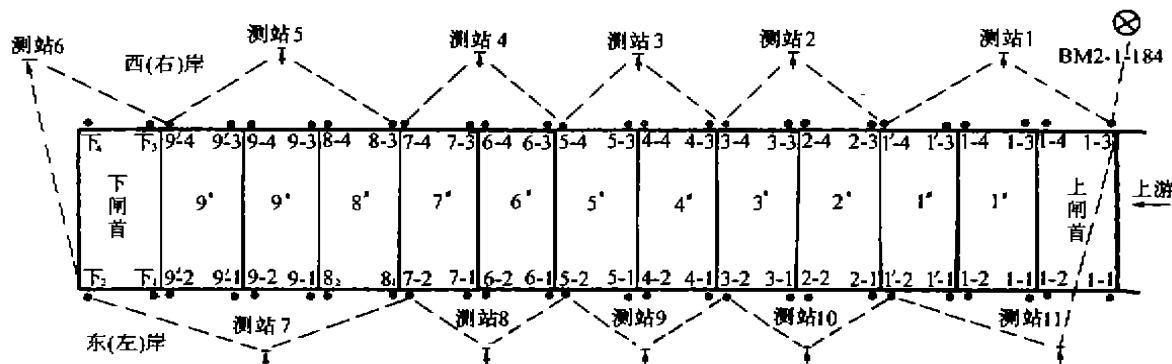


图 1 闭合水准路线观测简图

第一作者简介:徐泽中,男,教授,从事通航建筑物及高等级公路设计与研究。

用 Ni 007 精密水准仪,观测图 1 中短视线 ( $D = 25\text{ m}$ )、11 个测站组成的闭合水准环线,求得一测站的中误差  $m_{\text{站}} = \pm 0.12\text{ mm}$ ,闭合环线高差闭合差的限差  $f_{h\text{限}} = \pm 2m_{\text{站}}\sqrt{n} = \pm 0.8\text{ mm}$ ,平差后最弱点的中误差  $m_{\text{弱}} = \pm 0.12 \frac{\sqrt{n}}{2} = \pm 0.20\text{ mm}$ .

## 2.2 水准路线的布设及观测精度

图 1 是一条绕闸室组成的闭合水准路线.测站数为 11,以视距  $D = 25\text{ m}$  选择若干转点(图 1 中 1—4,3—4,5—4,...),非闭合环线上的点作中视观测.垂直位移观测必须遵守四个固定原则,即固定人员、固定仪器、固定测站和固定转点,以保证最弱点的观测误差符合要求.闭合水准路线上前、后视距不等差小于  $0.5\text{ m}$ ,中视不等差小于  $10\text{ m}$ ,仪器的  $i$  角小于  $10''$ ,可以较好地消除系统误差的影响.用 Ni 007 精密水准仪作二等水准观测,以 1986 年 6 月的成果作首次观测,以后观测 5 次.第  $i$  次观测值减去首次观测值为垂直位移量,规定下沉为正、上升为负.根据 6 次观测结果,算得高差闭合差分别为  $-0.2, +0.1, -0.5, +0.4, -0.5, -0.6\text{ mm}$ .可见实测闭合差均小于理论分析值  $\pm 0.8\text{ mm}$ ,说明观测成果优良.

## 2.3 垂直位移的变化规律与评估

1986 年 6 月至 1987 年 4 月,复线船闸的地下水位从  $+3.0\text{ m}$  下降至  $-8.0\text{ m}$  后,该期间按图 1 观测的 48 行测点普遍下沉  $+3 \sim +10\text{ mm}$ ;1987 年 7 月至 1987 年 11 月,地下水位从  $-7.0\text{ m}$  上升至  $-5.0\text{ m}$  后,这些点又普遍回弹上升  $-4 \sim -10\text{ mm}$ ,可见地下水位升降促使邻近一线土体上浮力发生改变,是引起一线船闸闸室、闸首下沉和回弹的主要内因,但由于已建一线船闸中心线距防渗墙有  $100.5\text{ m}$  之远,因此,闸墙下沉和回弹的绝对值很小,相邻墙体引起的沉降差也只有  $0.5 \sim 0.3\text{ mm}$ ,不会影响闸墙止水的正常使用.

## 3 水平位移观测

### 3.1 船闸变形控制网的布设与观测精度

如图 2 所示,复线船闸位于一线船闸的西首,平行间距为  $150\text{ m}$ .为了研究复线船闸施工时一线船闸的变形影响规律,在一线闸区内布设变形控制网,该网由 6 个点组成两个短边 ( $D < 150\text{ m}$ ) 大地四边形.  $T_1 T_2$  为基线,位于变形区之外,视为固定点;  $T_3$  为工作基点,也是网中的最弱点.

为了减少短边控制网(闸区控制网的边长一般为  $100\text{ m}$  左右)对测角的影响,控制点必须建造强制对中的观测标墩.标墩的结构和尺寸见图 3.

1986 年 7 月进行首次观测,用蔡司 010 经纬仪观

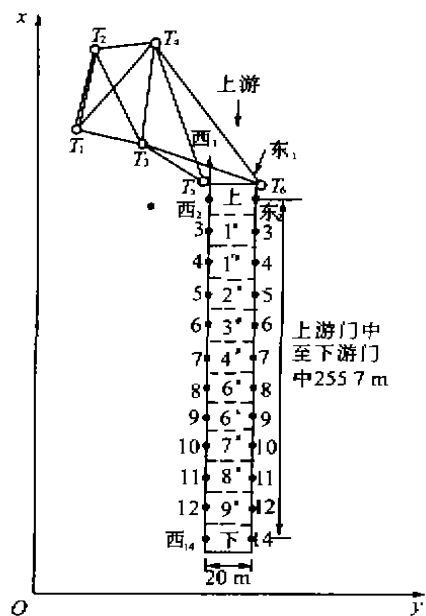


图 2 变形控制网

$T_1 \sim T_6$  为强制对中的观测墩;  $\cdot$  为位移观测点;  $1'' \sim 9''$  为闸底板编号

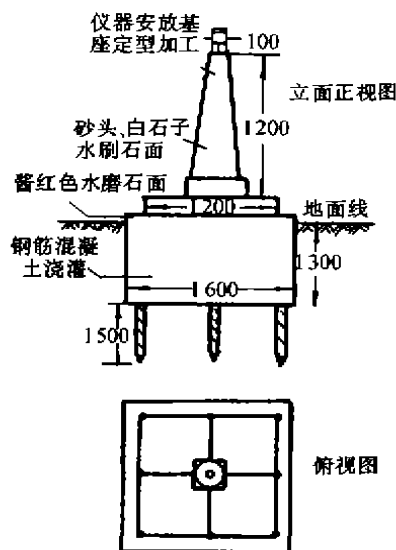


图 3  $T_1 \sim T_6$  观测墩示意图(单位:mm)

测 8 个测回,算得三角网的闭合差小于  $\pm 2''$ ,用菲列罗公式算得测角中误差为  $\pm 0.7''$ ,用间接观测平差法求得变形控制网中方向中误差为  $\pm 0.47''$ ,最弱点  $T_5$  的点位中误差为  $\pm 0.8\text{ mm}$ .所以首次观测的成果是优质的.之后用四个测回观测了 8 次,1987 年 11 月观测中止.8 次观测结果统计,测角中误差平均值为  $\pm 1.7''$ ,平差后方向中误差平均值为  $1.2''$ ,最弱点  $T_5$  的点位中误差平均值为  $\pm 1.8\text{ mm}$  之间.上述观测精度满足 GB 50026—93 二等监测网的要求.

### 3.2 水平位移点的布设与观测情况

水平位移点布设在两侧(左右岸)闸墙墙顶上(图 2),观测长度为  $255.7\text{ m}$ .在每块底板的墙顶上布设编号为  $1 \sim 14$  的水平位移点,点位设在每块闸板

的中部,计  $2 \times 13 = 26$  个位移点.位移点的标志用直径为 10 mm 的小钢柱埋设,用环氧胶粘固.在钢柱中心分别打 2.3 mm 和 5 mm 直径的圆孔.近距离测时插入 2~3 mm 测针,远距离观测时插入 5 mm 测针,以减少照准误差的影响.

每次观测时,仪器安置于  $T_5$  点上,以  $T_4$  点为后视方向,4 个测回观测  $T_5$  各位移点之间的夹角.由于  $T_5$  点到各位移点的距离是固定的,可用支导线的计算方法求得各位移点的横坐标(垂直于闸中心线方向).第  $i$  次观测的横坐标减去首次观测的横坐标,即为水平位移量( $S_y = y_i - y_0$ ).

### 3.3 水平位移的变化规律与评估

表 1 列举西闸室墙单号点的水平位移量,  $S_y$  为正时,有两种情况:①位移量逐次增大,表示闸墙点向复线方向位移(东移);②位移量逐次减小,表示闸墙点背向复线船闸位移(西移).  $S_y$  由正号变为负号

表 1 西闸室墙水平位移 mm

| 地下水位            | 日期       | 观测点   |       |       |       |       |       |
|-----------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                 |          | 西 1   | 西 3   | 西 5   | 西 7   | 西 9   | 西 11  |
| 从 +3 m 下降到 -8 m | 19860904 | +3.1  | +3.0  | +2.2  | +2.4  | +3.4  | +5.0  |
|                 | 19861004 | +4.6  | +9.2  | +7.8  | +10.4 | +12.0 | +18.4 |
|                 | 19861104 | +5.3  | +10.8 | +9.4  | +14.0 | +14.6 | +15.2 |
|                 | 19870115 | +9.2  | +11.4 | +9.5  | +14.5 | +18.2 | +16.0 |
|                 | 19870415 | +13.5 | +9.2  | +14.5 | +18.2 | +19.7 | +14.2 |
| 从 -7 m 升到 -5 m  | 19870715 | +10.1 | +8.0  | +9.3  | -2.0  | -2.5  | -7.0  |
|                 | 19871121 | +2.8  | +1.5  | -1.2  | -4.8  | -7.0  | -9.4  |

时,表示继续西移,并超过首次观测值(即横坐标小于首次观测的横坐标),产生这种可逆变化与复线船闸施工期引起一线船闸墙后地下水位降低和回升,促使边载增减有关,其变化规律如下:

a. 地下水位下降期.1986 年 7 月至 1987 年 4 月为复线闸墙开挖到闸底板浇筑的施工期,该期地下水位从 +3 m 下降到 -8 m.位移值表明:一线闸墙点向复线闸产生 +2~+20 mm 的位移量(东移),同一时段沉降点是下沉的.主要是由于地下水位下降后,促使一线和二线之间土体的有效重量增加形成新的边载增量迫使一线船闸普遍下沉,另一方面,一线西闸室墙由于紧邻施工区,墙后地下水位也受到影响,即使采取回流方式加以补充使墙后地下水位不低于真高  $\pm 0.0$  m,但仍发生上述向填土方向位移.

b. 地下水位上升期.1987 年 4 月至 1987 年 11 月为船闸上部结构施工期.由于地下水位从 -7 m 升到 -5 m 以及上浮力荷重的增加,一线船闸的墙点逐渐背向复线闸产生位移(西移).在施工期发生的上述位移,由于量级很小,观测结果表明,并没有影响一线船闸的正常使用.

## 4 结 语

a. 用 Ni007 精密水准仪观测垂直位移,组成 11 个测站,视距为 25 m 的闭合水准路线,平差后最弱点的精度在 1 mm 之内.

b. 变形控制网的精度,取决于仪器的精度,合理的测回数,严格的操作规律和观测员的熟练程度.实践表明:用 DJ2 级经纬仪 8 个测回观测短边(100~150 m)变形控制网,可使最弱点的点位误差控制在 1 mm 之内.

c. 水平位移的精度取决于测回数 and 测站点  $T_5$  到位移点的距离(20~255.7 m).  $D < 100$  m,用 4 个测回,可满足 3 mm 的观测精度(含测站点精度).若  $D > 100$  m,点位误差将增大到 3~5 mm,否则应观测 8 个测回.尽管本文采用 4 个测回,  $D > 100$  m 时,对水平位移值精度有所损失,但水平位移的变化规律是可信的.

d. 闸墙点水平位移的规律是可逆的,当地下水位下降时,闸墙点向东移动 +2~+20 mm,相应的垂直位移是下沉的.地下水位上升时,闸墙点又向西移动,直至出现微小的负值(接近于首次观测的横坐标值),施桥闸的地基属于粉砂土层,在一线船闸墙后和一二线之间设置防渗墙的同时,配合回灌方式使一线船闸地下水位控制在真高  $\pm 0.0$  m 左右.现场观测表明,由于变形量级小,并没有影响一线船闸的正常使用,从而验证了施工设计方案的合理性.

e. 该施工防渗布置的成功经验可供类似工程借鉴.

## 参考文献

- 1 白忠良.船闸垂直位移和闸首边墙倾斜的观测方法.工程勘察,1989(2):62
- 2 GB50026—93 工程测量规范

(收稿日期:1998-05-10 编辑:张志琴)

·简讯·

## “市政环境工程会议”将在泰国曼谷召开

“市政环境工程会议”将于 1999 年 11 月 8~12 日在泰国曼谷召开,主题为“水工程及开发”的会议议题包括:水文学,河流水力学,海岸沉积及水动力学,水资源,灌溉及排水,沿海地区管理,港口建筑.其它议题是:结构工程与建筑,运输工程,地质技术与地质环境工程以及环境工程.会议用语为英语.

(摘自《国际水文计划信息》1998 年,总第 15 期)