

边长交会法在变形体特定方向位移观测中的应用

蒋波, 张忠鑫, 周宇艳

(华东勘测设计研究院, 浙江 杭州 310014)

摘要:对边长交会法的计算及误差进行分析, 给出了在实际应用中估算精度和设计方案的方法, 并探讨其应用特点. 认为在测定变形体特定方向位移时, 可采用边长交会法来代替视准线法或小角度法; 当垂直于位移方向的变化较小时, 可不考虑这种变化. 文末给出一个应用实例, 提供了内外符合精度的数据以说明此方法的实际应用价值.

关键词:变形观测; 边长交会; 位移; 零位移假定误差; 船闸

中图分类号: P204

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2001)03-0026-03

在变形观测中经常需要对变形体的某一方向位移进行观测, 例如, 水电站重力坝上、下游方向的位移观测, 一般在两岸坝头设置倒垂, 利用倒垂处的观测墩对大坝的位移点按视准线法观测其位移; 滑坡体滑动方向的位移观测, 常在垂直于滑动方向的直线上且处在滑坡体外的两侧布置基准点或工作基点, 按视准线法观测滑坡体表面位移点的位移; 大型船闸两侧闸墙沿左、右方向的位移观测, 等等. 近似于视准线法的还有小角度法, 其原理均为通过测角方法测定位移点的横向位移.

本文介绍一种用边长观测测定变形体某一特定方向位移的方法.

1 观测方法和误差公式

图1中 P 表示位移点, A_1, A_2 表示工作基点. 设 A_1 坐标为 (X_1, Y_1) , A_2 坐标为 (X_2, Y_2) , P 坐标为 (X_P, Y_P) , S_i 为 A_i 站观测边长, X_{Pi} 为 A_i 站观测边长 S_i 计算得到的坐标值.

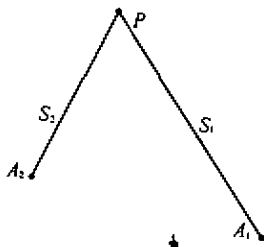


图1 观测示意图

按图1可得下式:

$$X_{Pi} = X_i - \sqrt{S_i^2 - (Y_P - Y_i)^2} \quad (1)$$

假定位移方向为 X 方向, 且 Y 方向变化微小, 对计算 X_P 的影响可忽略不计, 因此在初次测定 Y_P 值后, 可将其固定.

设 P 点位移为 $\Delta X_P, \Delta Y_P$, 相应边长变化分别为 $\Delta S_1, \Delta S_2$. 由式(1)可得:

$$\Delta X_{Pi} \approx \frac{S_i}{X_{Pi} - X_i} \Delta S_i - \frac{Y_P - Y_i}{X_{Pi} - X_i} \Delta Y_P \quad (2)$$

由式(1)和(2)可得到 X_{Pi} 及 ΔX_{Pi} 的误差公式以及 X_P 及 ΔX_P 的计算公式:

$$M_{X_{Pi}} = \frac{1}{X_P - X_i} \sqrt{S_i^2 m_{S_i}^2 + (Y_P - Y_i)^2 m_{Y_P}^2} \quad (3)$$

$$M_{\Delta X_{Pi}} = \frac{1}{X_P - X_i} \sqrt{S_i^2 m_{\Delta S_i}^2 + (Y_P - Y_i)^2 m_{\Delta Y_P}^2} \quad (4)$$

式中: m_{S_i} 为 S_i 边长中误差; $m_{\Delta S_i}$ 为位移前后 S_i 差值的边长差中误差; m_{Y_P} 为 Y_P 取值与实际值之间存在的代表性误差; $m_{\Delta Y_P}$ 为 Y 方向假定无位移与实际位移之间的零位移假定误差.

$$X_P = \frac{M_{X_{P2}}^2 X_{P1} + M_{X_{P1}}^2 X_{P2}}{M_{X_{P1}}^2 + M_{X_{P2}}^2} \quad (5)$$

$$\Delta X_P = \frac{M_{\Delta X_{P2}}^2 X_{P1} + M_{\Delta X_{P1}}^2 X_{P2}}{M_{\Delta X_{P1}}^2 + M_{\Delta X_{P2}}^2} \quad (6)$$

由式(5)和(6)可得到 X_P 及 ΔX_P 的误差公式:

$$M_{X_P} = \frac{M_{X_{P1}} M_{X_{P2}}}{\sqrt{M_{X_{P1}}^2 + M_{X_{P2}}^2}} \quad (7)$$

$$M_{\Delta X_P} = \frac{M_{\Delta X_{P1}} M_{\Delta X_{P2}}}{\sqrt{M_{\Delta X_{P1}}^2 + M_{\Delta X_{P2}}^2}} \quad (8)$$

作者简介: 蒋波(1965—), 男, 江苏张家港人, 高级工程师, 主要从事大坝安全监测工作.

2 精度分析

可将式(4)变换为

$$M_{\Delta X_P} = \sqrt{\frac{m_{\Delta S_i}^2}{\cos^2 \alpha_i} + \tan^2 \alpha_i m_{\Delta Y_P}^2} \quad (9)$$

式中 α_i 为 A_i 至 P 点的方位角。

构造一个零位移假定误差影响与边长差中误差影响的比例因子 β ,

$$\beta = \tan \alpha_i m_{\Delta Y_P} / \left(\frac{m_{\Delta S_i}}{\cos \alpha_i} \right) = \sin \alpha_i \frac{m_{\Delta Y_P}}{m_{\Delta S_i}} \quad (10)$$

式(9)改写为

$$M_{\Delta X_P} = \frac{m_{\Delta S_i}}{\cos \alpha_i} \sqrt{1 + \beta^2} \quad (11)$$

从式(11)中可以看出,零位移假定误差的影响在位移误差中所占的比例为

$$\gamma = 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \beta^2}} \quad (12)$$

根据式(10)和式(12)可得到:

$$\sin \alpha_i = \frac{m_{\Delta S_i}}{m_{\Delta Y_P}} \sqrt{\left(\frac{1}{1 - \gamma} \right)^2 - 1} \quad (13)$$

一般地,我们认为当 γ 不大于 0.1 时,对零位移假定误差的影响可忽略不计。

将 $\gamma = 0.1$ 代入式(13)得:

$$\sin \alpha_i \approx 0.5 \frac{m_{\Delta S_i}}{m_{\Delta Y_P}} \quad (14)$$

不计零位移假定误差的影响,且设两站观测 $m_{\Delta S_i}, \cos \alpha_i$ 相等,可得:

$$M_{\Delta Y_P} \approx \frac{m_{\Delta S}}{\sqrt{2} \cos \alpha} = \frac{m_A + m_B S}{\sqrt{2} \cos \alpha} \quad (15)$$

当边长观测比例误差 m_B 为 0 时,位移精度仅与 α 有关。一般地, $m_B \neq 0$, 位移精度随距离变长而降低,且随 α 变大而降低。

3 方法使用探讨

当需要测定变形体某一特定方向位移时,常使用视准线法或小角度法。但是,如果变形观测点散布在变形体上或者在变形体附近无合适的基准点可供选择时,人们常用前方交会法来进行观测,这时,基准点选择在面对变形体的远处。这是受传统方法影响的一种选择。现在,当变形体在平面上存在两维变形时,常采用边角全测的交会方法。而变形体仅有一个纵方向变形时,角度观测就显得多余了,一来角度观测耗时过长,二来角度对纵方向位移的贡献甚微,有时甚至起负作用。

在进行边角全测的交会法中,角度观测主要是为了测定变形观测点的横向位移,当变形体仅有纵向位移时,横向位移的测定误差明显超过了其实际的位移值,在解算纵向位移时,造成了不必要的失真。因此,我们可以固定地采用首次观测的横向坐标 Y_P 来参与计算。按式(1),可以分别得到两站计算的纵向坐标,两者的差 $X_{P1} - X_{P2}$ 在这里暂称为两站坐标差,在实际作业中,可按精度指标提出其限差,并用来统计观测精度。

由于边长观测精度包含了固定误差和比例误差两部分误差,因此,当边长适当加长时,边长误差不会像测角误差对坐标的影响那样显著增加。基于这一点,在选择基准点时,可以考虑在远离变形体影响范围的区域布置基准点,提高位移观测的可靠性。显然,当边长增长时,测站至位移点连线与位移方向的夹角 α 会减小,从式(15)中可以看到, $m_{\Delta S}$ 增加了, $\cos \alpha$ 也同时增大,虽然增加的比例不会相同,但 $M_{\Delta X_P}$ 增大的比例要比 $m_{\Delta S}$ 增加的比例来得小。

为了保证此法的可靠性,必须保证测距仪的加常数和乘常数在观测期间不会改变,或者在改正计算中使用的常数值为当时的准确值。有两种方法能够解决这个问题:一是在现场建立一条长度和实际观测边长相近的基线,每次观测时,观测基线长度,根据基线观测数据分析常数的变化情况,一旦发现变化,即送检定,特殊情况下,还可以用来对观测值进行近似修正;另一种方法是采用测频计在观测时同步测量电磁波频率,并用频率测值对观测值进行改正,这时,不必再进行气象观测,这对提高观测值精度以及保证观测数据可靠性均极为有利。

4 应用实例及其精度统计

4.1 应用实例

某船闸需要进行左右方向的位移观测,其上下游方向的变化可忽略不计。船闸两侧闸墙分别布置了一一对应的位移观测点,在进行位移观测点绝对位移观测的同时,可在两侧对应点之间用钢钢收敛仪进行相对位移的观测。

一般地,有两种办法对位移点进行绝对位移观测,一是在船闸两侧分别布置两个倒垂观测孔,利用倒垂观测点对其余点按视准线法或小角度法进行观测;二是在岸边设置基准点,对位移点按交会法进行观测。

由于设计时没有考虑布置倒垂孔,因此,按交会法观测。起初,交会是采用边角全测的方法进行的,每次观测耗时较长,由于船闸正常通航时水位固定的时间较短,每次观测时均影响船闸的正常运行。采

用边长交会法以后,观测时间仅为 15 min,不再影响船闸的正常运行,并且观测精度仍能得到保证.半天时间能采集到船闸多次低、高水位的变化情况,还能动态地测量船闸充水和泄水过程中的变化.

4.2 动态测量

船闸内水位的变化影响两侧闸墙的变化,一般地,当水位保持在低或高水位时对闸墙进行位移观测,由于测距速度快,因此在闸水位从低水位充水至高水位以及从高水位泄水至低水位时,用两台仪器同时观测同一点的位移,完成了闸墙位移的动态测量.

图 2 和图 3 是闸墙中部位移量较大的一点(1L-5)的动态位移图(图 2 中,每个时间段为 $\frac{560}{33}$ s,图 3 中,每个时间段为 $\frac{620}{33}$ s),图中清楚地表明了闸墙的动态变位情况,给设计和运行提供了可靠和宝贵的资料.

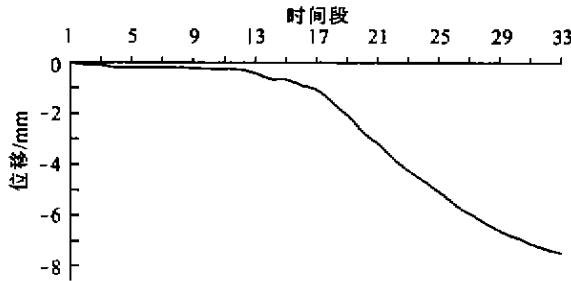


图 2 一闸充水动态平面变位
(39.1 m 至 60.6 m, 用时 560 s, 1998 年 4 月 6 日 09:35 开始)

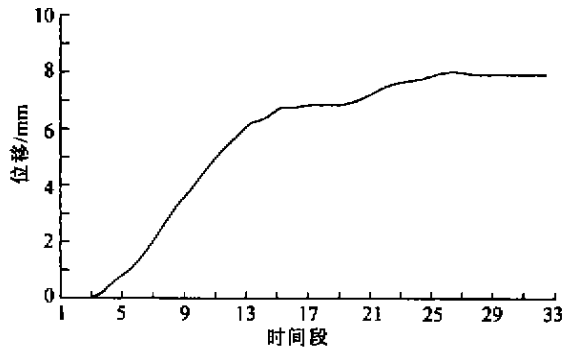


图 3 一闸放水动态平面变位
(60.6 m 至 39.1 m, 用时 620 s, 1998 年 4 月 6 日 10:21 开始)

4.3 内符合精度统计

两站坐标差 $X_{P1} - X_{P2}$ 包含了边长观测精度及两台仪器的符合精度,以此可以来衡量绝对位移观测的内符合精度.

两个左岸的变形控制网点对位移观测点观测边长可分别得到左右方向坐标值,对 16 个位移观测点的两站坐标差进行统计,其统计结果列于表 1 中,从表中可以看出:由于各位移观测点的位置不同以及实际观测时存在的观测精度的差异,其位移精度是各不相同的,最弱为 ± 0.90 mm,最强为 ± 0.57 mm,

将统计的 1392 对两站坐标差统一计算,可得到绝对位移内符合精度为 ± 0.81 mm.

表 1 绝对位移观测内符合精度统计

点名	数量	差值平方和/mm ²	内符合精度/mm
1L-0	31	25.30	0.90
1L-1	162	89.74	0.74
1L-2	177	123.88	0.84
1L-3	175	133.10	0.87
1L-4	170	116.49	0.83
1L-5	35	21.66	0.79
1L-6	34	21.81	0.80
1L-8	170	121.80	0.85
1R-0	28	15.43	0.74
1R-1	67	37.37	0.75
1R-2	97	72.19	0.86
1R-3	105	75.59	0.85
1R-4	34	10.96	0.57
1R-5	35	15.51	0.67
1R-6	31	17.41	0.75
1R-8	72	46.68	0.81
合计	1392	919.62	0.81

4.4 外符合精度统计

为了了解绝对位移和相对位移的一致性,衡量绝对位移的观测精度,对船闸两侧闸墙的绝对位移及相对位移观测结果进行了比较和分析.

图 4 是绝对位移和相对位移观测结果的关系图.各点的 $\Delta X - L = (RX + LX)$ 值是固定不变的,可以根据多次观测数据计算得到的 $(RX + LX)$ 值的平均值作为其最或然值.计算每次观测的 $(RX + LX)$ 值和最或然值的差值 V ,假设带尺观测长度无误差,利用 V 值可计算绝对位移观测值的外符合精度.根据 443 个 V 值计算的绝对位移外符合精度见表 2.计算表明,绝对位移观测值的外符合精度达到 ± 1.09 mm.

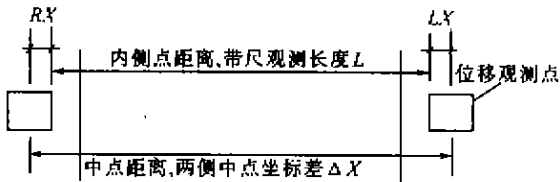


图 4 绝对位移和相对位移观测结果的关系

表 2 绝对位移观测外符合精度统计

点名	数量	差值平方和/mm ²	外符合精度/mm
1-0	52	106.77	1.01
1-1	57	137.21	1.10
1-2	61	158.87	1.14
1-3	58	176.04	1.23
1-4	56	118.57	1.03
1-5	50	106.52	1.03
1-6	56	125.45	1.06
1-8	53	127.16	1.10
合计	443	1056.59	1.09

(下转第 61 页)

基大致整平,在预制沉箱的位置上,绑好钢筋,固定好模具,开始浇筑第一节沉箱,依次进行,直到各个沉箱全部完成第一次浇筑.每节沉箱养护7d后,开始沉陷.在沉陷时,一边在沉箱内挖土,一边排水,并让沉箱均匀下沉,待第一次浇筑的沉箱下沉到一定深度时,再进行第二次浇筑,达到设计深度为止,并在箱内回填砂砾石及块石.然后开始浇筑箱顶横梁和悬臂支墩.各个悬臂支墩需预埋铁件,待以后装配挡板时使用.挡板可提前预制,待悬臂支墩养护凝固两周后,即可安装.

在施工时,各个箱体之间的接缝要进行防渗处理,以免产生管涌形成坝基孔流而威胁坝基的稳定.箱体之间的间隙应小于5cm,采用混凝土灌注处理防渗.每节箱体下沉到一定深度后,要在箱体内先用圆木做临时支护,等箱体完全沉降到设计深度时,应及时回填砂砾块石,并将临时支护拆除,边回填边拆除.沉箱有时需分段浇筑两三次才能完成.

3 工程实例

四子王旗于1997年首次在塔布河支沟——大青河上游建成1座沉箱式溢流坝,并经过几年来的洪水考验和引水运行,效果良好.

3.1 基本情况

该坝位于乌兰花镇东北的库伦图乡,坝址以上沟道长17.5km,流域面积122km²,坝址处河道比降为1/100.设计洪水标准为20年一遇(102.10m),相应洪峰流量为197m³/s.校核洪水标准为50年一遇(102.46m),相应洪峰流量294m³/s.设计引水灌溉面积112hm².

3.2 结构尺寸

渠首溢流坝长126m,坝高1.0m,悬臂支墩和箱顶横梁间距3m,沉箱基础深为2.0m,箱体壁厚30cm,外形尺寸为每节20m(长)×3m(宽),箱内中间隔梁断面尺寸20cm×25cm,活动挡板分为2层,每块长299cm,宽49cm,厚为10cm,每块板在悬臂支墩上搭接长度为9cm,其细部结构详见图1和图2.

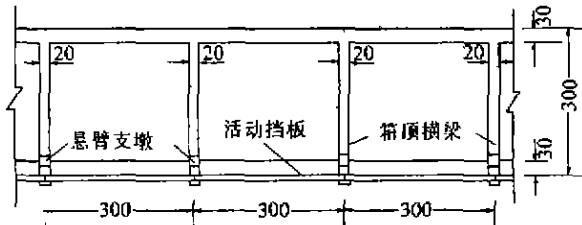


图1 溢流坝平面图(单位:cm)

该工程从1997年5月15日开工,同年7月15日竣工,总造价21万元.该坝型与其它形式的溢流坝

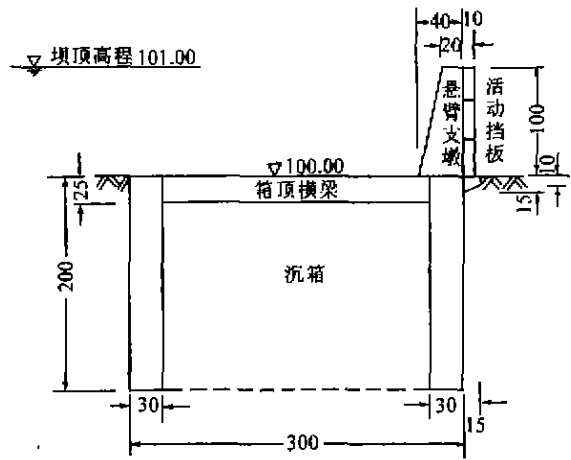


图2 溢流坝横断面图(单位:cm)

在同等条件下单位坝长造价对照见表1.

表1 不同坝型单位坝长造价对照

坝型	消能方式	单位造价/(元·m ⁻¹)
沉箱式	井流	1667
铅丝笼网砌石	底流	1984
浆砌石坝	底流	3702

该坝建成后,第一次洪水于1997年7月24日安全通过大坝,经实测,洪峰流量达250m³/s,以后经过2年不同流量的考验,工程至今运行正常.该工程运行3年,累计灌溉农田307hm².

(收稿日期:1999-12-16 编辑:张志琴)

(上接第28页)

用两站坐标差及V值统计计算得出的结果是符合规律的,即绝对位移观测值的外符合精度要比内符合精度来得低,其实际精度应为±1.1mm.根据统计学的原理,绝对位移观测值的最大误差应允许为两倍中误差,即为±2.2mm.

5 结 语

a. 在测定变形体特定方向位移时,可以用边长交会法来代替视准线法或小角度法,其优点是速度快,基准点选择范围大.

b. 边长交会法的精度小于或接近于测距仪的测距精度.

c. 为了保证观测的精度和可靠性,必须采取措施保证测距仪的常数准确.

d. 实际应用表明,边长交会法可用于大型建筑物的变形观测,特别适合变形频繁的变形体变形观测.

(收稿日期:2000-04-21 编辑:熊水斌)