

变形监测中几个涉及测距问题的探讨

余代俊

(成都理工大学地球科学学院测绘工程系, 四川 成都 610059)

[摘要] 本文以平面位移监测为背景, 阐述了边长前方交会法精度中的一个歧意, 介绍了测距气象改正数的补偿计算方法, 以及为便于比较各期距离观测值的变化而设计的仪器定高器. 该文对高精度测距工作具有一定的参考价值.

[关键词] 边长前方交会法; 气象改正数; 仪器定高器

[中图分类号] P227 [文献标识码] A [文章编号] 1001-8379(2005)01-0030-04

THE DISCUSSION OF SEVERAL PROBLEMS CONCERNING DISTANCE MEASUREMENT IN DEFROMATION MONITORING

YU Dai-jun

(Earth Science College, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Under the background of the plane displacement monitoring, this article elaborates the misapprehension meaning of the precision of the distance intersection from front, and introduces the compensation calculation method of the meteorology correction value of distance measurement and the instrument designed to ascertain instrument height for the sake of comparing the variation of the distance measured in each period of time. In addition, the article has some reference value to the job of distance measurement of high precision as well.

Key words: Method of distance intersection from front; Meteorology correction value; Instrument to ascertain instrument height

众所周知, 变形监测属高精度测量范畴。为了保证测角、测距和观测高差的高精度高可靠性, 人们从理论和实践两个方面对测量仪器、观测方法、外界条件的客观认知和观测数据的处理等作了很多深入的研究。本文仅对变形监测中与距离测量有关的下列几个问题作一探讨。

1 边长交会法中两期成果差值的精度

在确定监测方案前, 首先要估算边长交会法的定位精度, 以便利用其结果推算两期观测的点位差值之精度, 用以衡量观测精度能否探测出平面位移的变化量。边长交会的精度估算公式是根据误差传播定律导出的。

设在两已知点上架设仪器, 分别测量已知点至监测点的水平距离, 若两条交会边长的测距中误差分别为 m_a 、 m_b , 交会角为 p , 如图 1 所示, 则边长交会的点位误差精度估算公式为

在诸如滑坡、桥梁、大坝等众多工程对象的平面位移监测中, 大量采用大地测量方法即角度前方交会法或边长前方交会法进行监测。在全站仪广泛普及的今天, 全站仪测距的高精度 (一般都能优于 $2 + 2\text{ppm}$) 及其简便快捷的特点, 使人们乐于采用全站仪用边长交会法来进行变形监测。

$$m_p = \pm \frac{\sqrt{m_a^2 + m_b^2}}{\sin p} \quad (1)$$

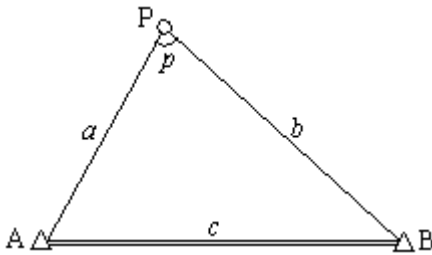


图 1 边长前方交会

也可利用边长观测值计算点位误差

$$m_p = \pm \frac{ab}{F} \sqrt{m_a^2 + m_b^2} \quad (2)$$

其中

$$F = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)},$$
$$s = (a+b+c)/2。$$

由于位移量为两期观测结果之差值，所以位移量的中误差按误差传播定律可写成

$$m_{\Delta p} = \sqrt{2}m_p \quad (3)$$

关于位移量的中误差公式，有人在某专业刊物上有如下叙述：“考虑到变形测量中人们关心的是被监测对象的增量，而差值中虑去了部分系统误差及偶然误差，因此差值的精度可表示成 $m_{\Delta p} = m_p / \sqrt{2}$ ”。

笔者认为此说值得商榷。在点位精度估算公式中，推导的点位误差精度均是针对偶然误差而言，其中不存在系统误差问题；估算两期观测值之差值的精度也就是求其差值的可能达到的最大误差程度（精度），而不是最小的偶然误差精度。因此，两期之差值的精度应比单期的误差为大，即为单期误差的 $\sqrt{2}$ 倍，而不会比单期误差小，故单期精度除以 $\sqrt{2}$ 倍的结论无根据。值得商榷的叙述可能是混淆了两期边长观测值之差值与两期计算点位之差值的区别而下此结论。

2 气象改正数的补偿计算

在边长交会法中斜边距离是直接观测量，还需将该倾斜距离改算为水平距离，改算方法有两种：一种是勾股弦法。此法是测出斜距 S 和斜距两端点间的高差 h ，利用公式 $D = \sqrt{S^2 - h^2}$ 算出平距 D 。该公式简单严密，平距改算精度与斜边的坡度大小及高差测定精度有关，坡度愈陡，高差的测定精度要求愈高，采用水准测量方法很容易达到精度要求，但在大多数变形监测项目中，要想采用水准测量方法测定斜边两端点的高差一般不易实现，即便能测，工作量则将成倍增加，观测时间将大大延长。故该

法较少采用。

另一种改算方法为投影法。即通过测量斜边的距离 S 和斜边的竖直角 δ ，利用公式 $D = S \cos \delta$ 算出平距。其平距改算精度与竖直角大小和竖直角的测定精度有关，竖直角愈大，要求的测角精度愈高，竖直角的测定精度还受垂直折光和地球曲率的影响，尤其是垂直折光的影响不稳定，大大削弱了测角的精度。但竖直角测量容易实现，若再对竖直角加以球气差影响的改正，其精度也可达到改算平距的精度要求。故该法最常使用，全站仪中显示的平距值就是用投影法算得的。例如 *Leica* TC300 系列全站仪中的平距改算公式为

$$D = S \cos \delta - f \cdot S \sin \delta \quad (4)$$

式中考虑了球气差对竖直角观测的影响，其中

$$f = \frac{(2-k)}{2R} S \cos \delta$$

为球气差对平距改算的影响系数， k 为大气垂直折光系数， R 为地球平均曲率半径。所以，在边长观测中直接读取全站仪显示的平距用于计算交会点的坐标是既可靠又省事。

要保证测距的高精度，对距离值作气象改正也是少不了的。气象改正可通过在仪器中输入测距时的温度 t 和气压 P 由仪器自动进行改正。测量规范规定：在四等以上的精密测距中，计算气象改正的温度值要精确至 0.2°C ，气压值要精确至 50Pa 。但在全站仪中往往只能输入气象元素的整值，如 *Leica* TC300 系列仪器，温度只能输入整数 ($^\circ\text{C}$)，气压只能输入整百帕 (hPa)。由此计算出的气象改正数中势必包含因气象元素凑整引起的残余误差。解决该问题的办法有两个：一是完全由人工计算气象改正数，即在仪器中输入制造仪器时采用的参考气象条件 (*Leica* TC302 为 $t = 12^\circ\text{C}$ ， $P = 1013\text{hPa}$)，使仪器计算的气象改正数为零；然后，在测得的未经气象改正的倾斜距离值中加入人工计算的气象改正数，再用公式 (4) 计算平距。

另一种方法为气象改正数补偿法。将测距时的

温度和气压凑整后输入仪器，测得经仪器气象改正的斜距和平距，通过人工计算出实际气象元素与凑整气象元素的差值引起的气象改正数之修正值，对读取的距离进行气象改正补偿修正。比较两种方法可知，由于第一法在仪器中未作气象改正，当每期测量时的温度、气压变化较大，即使监测点无位移，其距离值也相差甚大，使现场无法比较位移变化情况和评判观测质量，若遇观测粗差就失去及时补测机会；此外，此法的人工计算工作量也较大。第二种方法的优点是，因人工计算的气象改正数修正值较小，此修正值改算成平距修正值时受竖直角测量误差的影响也小；由于现场测距值已接近距离最或是值，因此便于根据位移情况及时判断观测质量。笔者在生产实践中采用了气象改正数补偿法。下面以实例说明其具体做法。

用 Leica TC302 全站仪测量某一边长的距离，测距时的温度 $t = 6.6^{\circ}\text{C}$ ，气压 $P = 788.5\text{hPa}$ ，根据仪器技术指标得该仪器的气象改正系数表达式为

$$n = n_{gr} - n_g = \left(283.37 - \frac{0.292P}{1 + 0.00366t} \right) \text{ppm} \quad (5)$$

测距前在仪器中输入凑整的气象元素 $t = 7^{\circ}\text{C}$ ， $P = 789\text{hPa}$ ，按下测距键后，在显示屏中读得斜距 $S = 155.258\text{m}$ ，平距 $D = 152.110\text{m}$ ，倾（竖直）角 $\delta = 11^{\circ}33'32''$ 。设因实际气象元素与凑整气象元素引起的气象改正数修正值为 ΔS ，其表达式可写为

$$\Delta S = n \cdot S - n_0 \cdot S = (n - n_0)S \quad (6)$$

式中 n 为用实际气象元素计算的气象改正系数， n_0 为用凑整气象元素计算的气象改正系数。若同时考虑仪器鉴定出的乘常数改正 $K_1 = 2.15\text{ppm}$ 和加常数改正 $K_2 = 1.83\text{mm}$ ，最终的斜距改正数公式可写成

$$\begin{aligned} \Delta S &= (n - n_0)S + K_1 \cdot S + K_2 \\ &= (n - n_0 + K_1)S + K_2 \end{aligned} \quad (7)$$

带入有关数值计算得 $\Delta S = 2.14\text{mm}$ 。将斜距改正数仍用（4）式改算为平距改正数，因 ΔS 较小，可以

忽略公式右边第二项的影响，第一项中的 δ 也仅精确至分，得

$$\Delta D = \Delta S \cdot \cos \delta = 2.09\text{mm}$$

最终的平距值为

$$\bar{D} = D + \Delta D = 152.1121\text{mm}$$

3 仪器定高器的应用

在监测项目的距离观测中，若能保持每期观测时的仪器高和棱镜高相同，那么，在每期的距离观测值中就能排除因仪高变化引起的距离变化，当忽略测距误差的影响，则各期距离观测值的变化就能更客观地反映点位位移的情况。尽管测距边长还要受到大气垂直折光的影响，使实际测距光束的行程为弧线，但边长弧线与弦线之差在短程测距中是微乎其微的，此差值可用下式计算

$$\Delta S_{\rho} = -k(2 - k) \frac{S^3}{24R^2} \quad (8)$$

此式即为距离波道弯曲改正公式。式中 k 为大气垂直折光系数，一般取 0.14， R 为地球平均曲率半径，一般取 6371km，当所测距离为 3km 时， $\Delta S_{\rho} = -7.2 \times 10^{-3}\text{mm}$ 。三维空间测边交会法也正是利用了测距比测角更简便，受大气折射因素的影响更小，直接利用斜边成果而无平距改算误差的特点。因此，固定仪器高和棱镜高对提高监测定位精度具有实际意义。

固定仪器高和棱镜基座高是借助一个仪器定高器的附件，在仪器强制对中器上通过限制仪器基座脚螺旋的调高范围来固定仪器高度。如图 2 所示，在原连接螺丝的腰部钻一孔，插入定位针，使连接螺丝旋入对中器的深度被固定（因各种强制对中器的制作有异，也可在加工制作对中器面板时考虑解决此问题）。另加工一铜质附加杆，其下部为六边形，上部为半球状并镶嵌一可活动平顶套帽，可活动套帽使连接螺丝不垂直时仍能保证平顶套帽处于水平。定高器的六边形杆可插入连接螺丝的内六边形孔中，调整基座脚螺旋使套帽与仪器基座的光学对中器出口紧贴，由于套帽顶部至定位针的高度固定，

因此，利用定高器可使仪器整平的同时其仪器高度固定。定高器安置状态如图 3 所示。

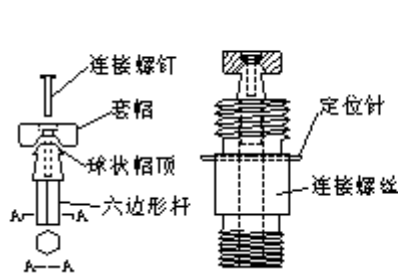


图 2 定高器

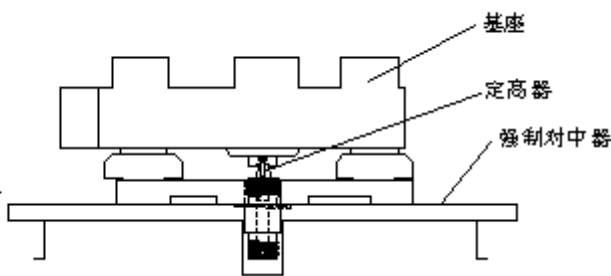


图 3 定高器安置状态

由分析可知，仪器和棱镜基座脚螺旋的调节范围各有 10mm 左右，取其极限情况，即因仪器和棱镜安置高度的变化而使测站与镜站间的高差变动值在 0~20mm 之间。若设测站与镜站间的平距为 300m，高差为 60m，则各期边长观测值（斜距）因仪高变化引起的最大差值将达 4mm，如此大的量值不利于现场辨别是监测点位移引起的还是其它原因引起的。一旦使用仪器定高器将观测边长两端点的仪器高度和棱镜高度固定，那么，各期边长观测值的变化一般可肯定是由监测点位移或沉降引起的。在三维空间测

边交会法中，固定仪器高和棱镜高更是保证边长观测质量和点位解算精度的前提。

参考文献

[1]武测测量学编写组. 测量学[M]. 北京: 测绘出版社, 1996.
[2]李青岳编. 工程测量学[M]. 北京: 测绘出版社, 1995.
[3]杨德麟等编. 红外测距仪原理及检测[M]. 北京: 测绘出版社, 1995.

[收稿日期] 2004-11-04
[作者简介] 余代俊(1959—), 男, 重庆人, 副教授, 长期从事测绘工程专业的教学和科研工作。