

亚毫米级高精度全站仪坐标测量精度分析

杨 凡, 李广云, 范百兴, 李 鑫, 范亚兵

(信息工程大学 测绘学院, 河南 郑州 450052)

Coordination Surveying Analysis of Submillimeter Precision Total Station

YANG Fan, LI Guangyun, FAN Baixing, LI Xin, FAN Yabing

摘要:工业型全站仪配合精密反射棱镜能实现高精度坐标测量,前提是准确测定系统加常数误差。针对TDA5005全站仪及精密角偶棱镜CCR1.5"提出两种加常数测定方法:室内四段法和比较法。在此基础上做加常数改正,并对坐标测量精度进行分析。

关键词:加常数;室内四段法;比较法;坐标测量

一、引言

高精度、超高精度全站仪(如Leica TDA5005、TS30)实现了高精度工业测量,其测角、测距精度可以由计量部门检定,但坐标测量精度却没有检定方法和规范。厂家通常会提供仪器参数指标,如TDA5005的测角精度为 $\pm 0.5''$,棱镜测距精度为 $\pm(1\text{ mm} + 2 \times 10^{-6}D)$;TS30的测角精度为 $\pm 0.5''$,棱镜测距精度为 $\pm(0.6\text{ mm} + 1 \times 10^{-6}D)$ 。这些指标一般精度较低,并不能反映实际测量情况,若配合精密棱镜能达到更高精度的测量结果^[1]。本文以角偶棱镜CCR1.5"为例,其中心误差小于 $\pm 0.025\text{ mm}$,结合TDA5005实现亚毫米级精度测量。

高精度全站仪配合球棱镜要实现精密测距,首先要精确测定系统的加常数误差。测距加常数 C 是全站仪测距功能最重要的参数之一,它直接影响距离测量的准确度,是全站仪测距部分检定的重要内容^[2]。

二、加常数测定方法

加常数误差包括仪器常数误差和棱镜常数误差两部分内容,由仪器发光和接收面与仪器中心不重合、反射镜等效反射面和中心不重合两部分造成。大地测量中野外测定加常数的方法是基线比较法^[2],测量原理如图1所示。

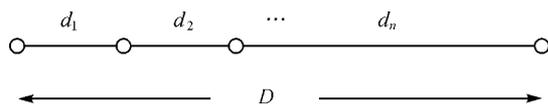


图1 六段法原理

设定一条基线,长度为几百米至2 km,将其分为 d_1, d_2, \dots, d_n 段,对 n 段距离分别测量来计算仪器加常数,即

$$\left. \begin{aligned} D + C &= \sum_{i=1}^n (d_i + C) \\ C &= \frac{D - \sum_{i=1}^n d_i}{n - 1} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

对式(1)微分可得到加常数的精度估计值 m_c ,根据 $m_c \leq 0.5m_d$ 的原则,取 $n=6$ 。所以,一般将基线分为六段,故称六段比较法。为了提高观测精度,通常采用全组合的测量方式增加多余观测量,总共需要观测21段长度。

该方法不适合工业全站仪及精密棱镜的加常数测定,一是工作量大,场地布设麻烦^[4];二是精密工程测量通常在室内进行,测量边在几十米范围内,六段法基线太长,不适合近距离测量。针对这些问题,本文提出室内四段法和比较法两种加常数测定方法,并研究加常数改正后的全站仪坐标测量精度。

1. 室内四段法

原理如图2所示,在共线的4个位置安置脚架, S_1 安置TDA5005全站仪, S_3 安置T3000经纬仪并精确整平, S_2, S_4 放置靶座和反射球。调整TDA5005望远镜,视准轴水平,面板垂直角为零。将T3000与TDA5005外觇标互瞄,两外觇标均处于仪器望远镜中轴线。调整高度使两者同高,建立测量基线。保持TDA5005视准轴稳定,水平角和垂直角均不变。在望远镜中指导调整 S_2, S_3 脚架左右位

收稿日期: 2010-12-09

作者简介: 杨 凡(1986—),男,四川眉山人,硕士生,主要研究方向为工业测量系统与测量机器人。

置和高度,使十字丝精确照准反射球中心,保证基线很好的直线度。TDA5005 在 S_1 测距 S_{12} 、 S_{14} 搬站到 S_3 测距 S_{32} 、 S_{34} , 1 测回结束。重复测量多个测回,计算加常数均值并检验精度。

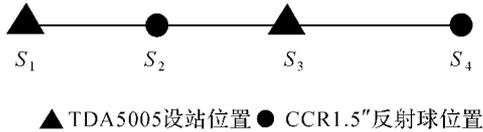


图2 四段法原理

计算公式如下

$$\left. \begin{aligned} S_{14} + C &= (S_{12} + C) + (S_{32} + C) + (S_{34} + C) \\ C &= \frac{1}{2}(S_{14} - S_{12} - S_{32} - S_{34}) \\ \bar{C} &= \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n} \quad \sigma_c = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2}{n-1}} \quad \sigma_{\bar{C}} = \frac{\sigma_c}{\sqrt{3}} \end{aligned} \right\} (2)$$

2. 比较法

MetroIn 工业测量系统是基于多台电子经纬仪或全站仪作为主要传感器构建的空间三维坐标测量系统。该系统支持多台经纬仪交会测量、单台全站仪极坐标测量和经纬仪全站仪混合测量 3 种模式。系统定向后建立统一坐标系,通过前方交会原理,测量空间点的三维坐标。在条件较好的情况下,交会精度能达到几十个微米,一般室外精度 ± 0.1 mm 左右。

原理如图 3 所示,用一台 TDA5005 全站仪和一台 T3000 电子经纬仪建立 MetroIn 工业测量系统,并设定 TDA5005 作为基站。该系统坐标系原点在 TDA5005 中心,与仪器坐标系同心。通过 MetroIn 交会系统测量得到的点位坐标,计算测量点到坐标系原点的距离 D (测量点到 TDA5005 仪器中心),另外单独用 TDA5005 测量该点的距离 S 。 D 和 S 都是测量点到仪器中心的距离,理论上相等,但由于加常数的影响, D 和 S 不一致。设加常数为 C ,则有 $D = S + C$,所以两距离的差值就是加常数的值。

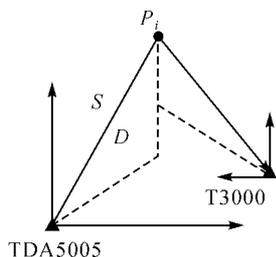


图3 MetroIn 工业测量系统比较法原理

3. 加常数测定结果

在进行比较法测量时,与系统脚架同高的另一脚架上放置靶座,保证反射球与仪器视准轴同高,克服垂直角误差影响;工业测量系统交会、全站仪测距均采用盘左盘右双面观测模式;全站仪测距两面各进行多次取距离均值,增加了多余观测量,保证了试验数据的可靠性;移动靶座脚架,共进行了 6 测回测量。两种方法测量结果如表 1 所示。

表1 加常数测定结果 mm

	四段法			比较法		
各测回加常数	35.38	35.43	35.37	35.24	35.42	35.31
加常数均值	35.33	35.37	35.40	35.19	35.12	35.32
加常数单次测量精度	±0.03			±0.11		
加常数均值精度	±0.01			±0.04		

由分析处理结果可知,两种方法测量数据内符合精度均很高,四段法更好,达到了 ± 0.03 mm。受测角误差及基准尺长度误差等影响,两种方法加常数均值之差为 0.11 mm,由误差公式可知,四段法测定加常数精度以及比较法角度交会精度均为 ± 0.1 mm,因此,两种方法加常数之差满足精度要求。

三、坐标测量精度分析

厂家或者计量单位一般都会给定仪器的测角和测距精度,这些指标通常是在实验室条件下测出,只能作为参考,而不能反映实际测量精度。同时,仪器参数指标里缺少坐标测量精度,本文提出通过自由设站测量方式及公共点转换研究仪器坐标测量精度,原理如图 4 所示。包括多次设站转换的坐标内符合精度以及与 MetroIn 工业测量系统相比的坐标外符合精度。

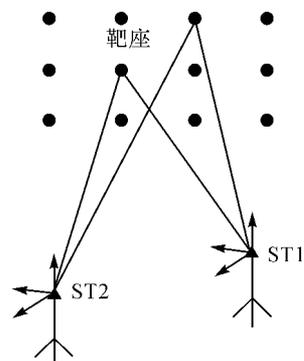


图4 自由设站测量原理

转换模型如下

$$\begin{bmatrix} X_q \\ Y_q \\ Z_q \end{bmatrix} = \mathbf{R} \begin{bmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中 \mathbf{R} 为旋转矩阵 ($\mathbf{R}_X, \mathbf{R}_Y, \mathbf{R}_Z, X_0, Y_0, Z_0$) 为旋转参数及位移参数。

1. TDA5005 坐标转换精度

测定 TDA5005 与 CCR1.5" 加常数后, 将其改正到仪器, 采用自由设站方式, 精确整平。多次设站分别对地面布设的靶座目标进行测量, 通过公共点进行坐标转换, 并通过模型计算出坐标旋转参数、每个点坐标各项偏差、坐标精度以及转换总体点位精度。坐标转换结果如表 2 所示, 公式如下

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{\Delta X} &= \pm \frac{\sum_{i=1}^n \Delta X_i^2}{n} & \sigma_{\Delta Y} &= \pm \frac{\sum_{i=1}^n \Delta Y_i^2}{n} & \sigma_{\Delta Z} &= \pm \frac{\sum_{i=1}^n \Delta Z_i^2}{n} \\ \sigma_{\Delta P} &= \pm \sqrt{\sigma_{\Delta X}^2 + \sigma_{\Delta Y}^2 + \sigma_{\Delta Z}^2} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

表 2 TDA5005 两测站坐标转换结果 mm

	$\sigma_{\Delta X}$	$\sigma_{\Delta Y}$	$\sigma_{\Delta Z}$	$\sigma_{\Delta P}$
1	± 0.07	± 0.06	± 0.07	± 0.12
2	± 0.17	± 0.10	± 0.05	± 0.2

2. TDA5005 与 MetroIn 坐标转换精度

MetroIn 工业测量系统由多台仪器组成, 建立统一坐标系后, 通过前方交会得到空间点的三维坐标。由于不受测距精度的影响, 其交会精度很高, 10 m 范围内点位坐标精度在 ± 0.1 mm 左右, 交会精度通常几十微米。将 MetroIn 系统测量坐标作为参考, TDA5005 测量坐标与其进行比较, 可以反映 TDA5005 经加常数改正后坐标测量的外符合精度, 转换结果如表 3 所示。

表 3 TDA5005 与 MetroIn 坐标转换结果 mm

	$\sigma_{\Delta X}$	$\sigma_{\Delta Y}$	$\sigma_{\Delta Z}$	$\sigma_{\Delta P}$
1	± 0.07	± 0.15	± 0.08	± 0.1
2	± 0.08	± 0.18	± 0.1	± 0.13

3. 坐标转换结果分析

从表 2、表 3 的处理结果可以得出如下结论:

① TDA5005 经加常数改正后的坐标测量数据具有很高的内符合精度, 说明室内四段法和比较法都可以有效地进行加常数的测定; ② TDA5005 与 MetroIn 系统的转换精度很高, 反映了 TDA5005 坐标较好的外符合精度, 说明两种加常数测定方法具有很高的可靠性; ③ 试验测定的加常数为 35.38 和 35.27, 反映了 TDA5005 中心偏差以及棱镜光程差两部分内容, 与 CCR1.5" 棱镜的出厂加常数 35.49 有一定差值属于正常范畴。

四、结束语

本文在探讨加常数的测定方法中, 由于测量空间在几米的有限范围内, 没有考虑求解乘常数。从以上试验可以得出下列结论: ① 四段法和 MetroIn 工业测量系统比较法测定加常数是有效的, 并且具有很高的精度和可靠性; ② TDA5005 全站仪配合高精度球棱镜可以实现高精度坐标测量, 精度在 $\pm (0.1 \sim 0.2)$ mm 之间。影响上述试验结果的因素主要有: ① MetroIn 工业测量系统需要精确定向, 基准尺检定误差不得大于 ± 0.02 mm; ② 观测点网形结构需要优化, 以便构成良好的交会角度; ③ 测量环境的稳定性需要保证, 软硬件须正确操作。

参考文献:

- [1] 于书奎. 电子测距新方法介绍及探讨[J]. 测绘通报, 2008(10): 39-40.
- [2] 付子傲, 包欢. 全站仪检定中测距常数有关问题探讨[J]. 中国计量, 2007(1): 61-62.
- [3] 杨胜利, 满开第, 陈文革, 等. 大型物理实验装置安装定位测量技术和方法探索[J]. 核技术, 2007, 30(1): 40-44.
- [4] 龚真春, 胡建军, 杨斌, 等. 全站仪常数的短基线检定方法探讨[J]. 计量与测试技术, 2009(12): 41-42.
- [5] 黄腾, 蒋敏卫, 李桂华. 无基座手持棱镜的设计与使用[J]. 测绘通报, 2008(7): 61-63.
- [6] 杨胜利, 满开第, 王少明, 等. 全站仪仪器加常数自测定[J]. 矿山测量, 2005(3): 34-36.
- [7] 于成浩, 柯明, 赵振堂. 精密工程测量中全站仪测距加常数的两种测定方法[J]. 测绘通报, 2007(2): 55-57.
- [8] 陈士连, 朱红燕. 光电测距仪计量校准中加、乘常数校准结果的不确定度评定[J]. 测绘通报, 2001(2): 6-8.