

全站仪加常数 (K)、乘常数 (R) 测量结果的不确定度评定方法

王振华

内蒙古自治区计量测试研究院 内蒙 呼和浩特 010050

摘要: 在开展全站仪和光电测距仪测距工作过程中, 全站仪的加常数、乘常数对测距误差的影响很大。为了保证全站仪测距数据的准确性, 应该完全按照检定规程中的要求进行加常数、乘常数的测量, 将测距误差进行修正, 可以将误差控制在全站仪要求的范围内。本文根据全站仪测距实际工作中所涉及的多种因素, 分析总结了全站仪加常数、乘常数测量过程中引入的误差, 并且进行了不确定分析总结。

关键词: 全站仪; 光电测距仪; 加常数; 乘常数; 不确定度

概述: 全站仪的加常数 (K)、乘常数 (R) 是全站仪检测过程中的关键参数。在实际检测过程中应严格按照JJG703-2003《光电测距仪》检定规程中规定的方法进行检测, 科学且合理的选取多段基线值进行组合的方法, 可以保证各项检测参数数据的准确性^[1]。

全站仪测距使用的标准器为标准长度基线场, 测量范围为24m~1200m。本文中选择的被测对象为徕卡公司型号TS60, 等级 I 级的全站仪, 测距分度值为0.1mm。按照检定规程中相应项目的检定方法, 即通过多段基线值组合比较法测量标准长度基线场各基线段的值, 将该值与标准值进行比较, 按最小二乘法原则, 采用一元线性回归的方法求得全站仪测距的加常数、乘常数^[2]。

1 数学模型

下列公式为全站仪的测距加常数、乘常数的计算公式:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n D_i \times \sum_{i=1}^n (D_i l_i) - \sum_{i=1}^n D_i^2 \times \sum_{i=1}^n l_i}{\left(\sum_{i=1}^n D_i\right)^2 - n \sum_{i=1}^n D_i^2} \quad (1)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n D_i \times \sum_{i=1}^n l_i - n \sum_{i=1}^n (D_i l_i)}{\left(\sum_{i=1}^n D_i\right)^2 - n \sum_{i=1}^n D_i^2} \quad (2)$$

式中: K—加常数;

R—乘常数;

D_i —第*i*段基线的测量值;

n—基线的段数;

l_i —第*i*段基线的测量偏差。

$$l_i = S_i - D_i \quad (3)$$

式中: S_i —第*i*段基线的标准值。

2 输入量的标准不确定度评定

全站仪实际测距工作中, 为保障数据的准确性需要将测量的标准差 m_0 控制在一定误差范围内, $u(K)$ 、 $u(R)$

用不确定度评定的方法评估, 误差源均估计为实际能达到的最大值。按照JJG703-2003《光电测距仪》检定规程中加常数 (K)、乘常数 (R) 的准确度估计的公式为:

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-2}} \quad (4)$$

式中: v_i —观测值的残差

$$m_K = m_0 \sqrt{Q_{11}} \quad (5)$$

$$m_R = m_0 \sqrt{Q_{22}} \quad (6)$$

$$Q_{11} = -\frac{\sum_{i=1}^n D_i^2}{\left(\sum_{i=1}^n D_i\right)^2 - n \sum_{i=1}^n D_i^2} \quad (7)$$

$$Q_{22} = -\frac{n}{\left(\sum_{i=1}^n D_i\right)^2 - n \sum_{i=1}^n D_i^2} \quad (8)$$

式(7)、(8)中的 Q_{11} 、 Q_{22} 叫加常数 (K)、乘常数 (R) 的权系数。由它可以直接用公式计算未知数K、R的标准偏差 m_K 、 m_R , 即K、R的标准偏差, 也就是标准不确定度 $u(K)$ 、 $u(R)$, 所以 $u(K) = m_K$ 、 $u(R) = m_R$ 。

本次评定所测量的独立基线边长分布为: 72m, 24m, 144m, 192m, 120m, 648m, 按公式(7)、(8)计算可得 $Q_{11} = 0.13$ 、 $Q_{22} = 0.37$, 则:

$$u(K) = m_K = m_0 \sqrt{0.13} \quad (9)$$

$$u(R) = m_R = m_0 \sqrt{0.37} \quad (10)$$

根据 v_i 公式可推得只与 l_i 有关, 则:

$$u(l_i) = m_0 \sqrt{u^2(D) + u^2(S)} \quad (11)$$

2.1 由标准基线值引入的标准不确定度分量 $u(S_i)$

由上级计量标准装置校准标准基线值给出全长测量结果的扩展不确定度为 $U = 1.03\text{mm}$, $k = 2$, 则:

$$u(S_1) = \frac{1.03}{2} = 0.52\text{mm} \quad (12)$$

2.2 由标准基线值变化引入的标准不确定度分量 $u(S_2)$ 。

为保证标准基线值的稳定性,通常以3年为期限,对标准基线进行周期检定。通过比较多个检定周期的证书可以发现,最大变化也以小于 1×10^{-6} 为限差,即最大允许误差为1mm。估计其在半宽为0.5mm的区间内呈均匀分布,则:

$$u(S_2) = \frac{0.5}{\sqrt{3}} \approx 0.29\text{mm} \quad (13)$$

2.3 由对中误差引入的标准不确定度 $u(D_1)$

全站仪和反射棱镜均采用强制对中机构安置对中,对中误差可以控制在 $\pm 0.1\text{mm}$ 内,则其引入的最大测距误差为 $0.2\text{mm}/\text{km}$,估计其在半宽为 $0.1\text{mm}/\text{km}$ 的区间内呈均匀分布,同时考虑对中误差在测站安置点和棱镜安置点影响两次的情况,则:

$$u(D_1) = \frac{0.1 \times \sqrt{2}}{\sqrt{3}} \approx 0.08\text{mm} \quad (14)$$

2.4 由温度变化引入的标准不确定度分量 $u(D_2)$ 。

全站仪测距时需记录实时温度,将引入的温度对测距结果进行修正。查阅资料可知温度与距离的关系是温度每变化 1°C ,所测距离变化约 $1\text{mm}/\text{km}$ 。监测温度的标准器一般最大允许误差可控制在 0.3°C 之内,则温度引入的最大测距误差为 $0.3\text{mm}/\text{km}$,估计其在半宽为 $0.15\text{mm}/\text{km}$ 内呈均匀分布,则:

$$u(D_2) = \frac{0.15}{\sqrt{3}} \approx 0.09\text{mm} \quad (15)$$

2.5 由气压变化引入的标准不确定度分量 $u(D_3)$ 。

全站仪测距时需记录实时气压,将引入气压对测距结果进行修正。查阅资料可知气压与距离的关系是气压每变化 3.7hPa ,所测距离变化约 $1\text{mm}/\text{km}$ 。使用的气压标准器分度值为 0.5hPa ,则气压变化引入的最大测距误差为 $0.14\text{mm}/\text{km}$,估计其在半宽为 $0.07\text{mm}/\text{km}$ 内呈均匀分布,则:

$$u(D_3) = \frac{0.07}{\sqrt{3}} \approx 0.04\text{mm} \quad (16)$$

2.6 由测量重复性引入的标准不确定度分量 $u(D_4)$ 。

由检定规程中计量性能要求可知,全站仪测量重复性应不大于全站仪标称标准值的 $1/4$ 。TS60型全站仪的标称标准差为: $0.6\text{mm}+1\text{ppm}$,则其测量重复性的最大值为: $0.4\text{mm}^{[3]}$ 。在测量过程中,测量结果取5次读数的平均值,则:

$$u(D_4) = \frac{s}{\sqrt{5}} \approx 0.18\text{mm} \quad (17)$$

2.7 由分辨力引入的标准不确定度分量 $u(D_5)$ 。

TS60型全站仪的最小分度读数是 0.1mm ,即测距分辨力为 0.1mm ,估计其在半宽为 0.05mm 内呈均匀分布,则:

$$u(D_5) = \frac{0.05}{3} \approx 0.03\text{mm} \quad (18)$$

其中3.6和3.7的标准不确定度分量取较大值。

2.8 由测尺频率变化引入的测量不确定度分量 $u(D_6)$ 。

在检测工作中,按照规程中要求,全站仪测尺频率变化范围可控制在全站仪比例误差的 $2/3$ 之内。TS60型全站仪标称比例误差为 $1\text{mm}/\text{km}$,则频率变化引入的最大测距误差为 $0.67\text{mm}/\text{km}$,估计其在半宽为 0.34mm 内呈均匀分布,则:

$$u(D_6) = \frac{0.34}{\sqrt{3}} \approx 0.20\text{mm} \quad (19)$$

2.9 由棱镜调平误差引入的测量不确定度分量 $u(D_7)$

在测距过程中,棱镜调平与否会直接影响测距的准确度。通常调平用圆水准器调平,圆水准器的格值一般为 $2\text{mm}/8'$,当圆气泡的居中误差为 0.2mm 时,棱镜将倾斜 $0.8'$ 。棱镜的高度一般为 $(220\sim 240)\text{mm}$,产生的距离误差为 $s = \frac{48}{206265} \times (220\sim 240) = (0.05\sim 0.06)\text{mm}$,估计其呈均匀分布,则:

$$u(D_7) = \frac{0.06}{\sqrt{3}} \approx 0.03\text{mm} \quad (20)$$

2.10 由全站仪调平误差引入的测量不确定度分量 $u(D_8)$

全站仪测距时,调平方式是先用圆水准器粗调,再用电子水准器精调。TS60型全站仪的电子水准器分辨率为 $2''$,全站仪基座底部到望远镜中心的高度一般为 240mm ,产生的距离误差为 $s = \frac{2}{206265} \times 240 = 0.002\text{mm}$,估计其呈均匀分布,则:

$$u(D_8) = \frac{0.002}{\sqrt{3}} \approx 0.001\text{mm} \quad (21)$$

由仪器调平误差引入的测量不确定度分量较小,可忽略。

3 合成标准不确定度评定

3.1 合成标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)$	$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$	$ c_i u(x_i)$	
$u(S)$	$u(S_1)$	标准基线值	0.52	1	0.52
	$u(S_2)$	基线漂移	0.29	1	0.29
$u(D)$	$u(D_1)$	对中误差	0.08	1	0.08
	$u(D_2)$	温度	0.09	1	0.09
	$u(D_3)$	气压	0.04	1	0.04
	$u(D_4)$	测量重复性	0.18	1	0.18
	$u(D_6)$	测尺频率	0.20	1	0.20
	$u(D_7)$	棱镜调平误差	0.03	1	0.03

3.2 合成标准不确定度计算

估计其各分量间不相关,则全站仪加常数、乘常数

$$u(D) = \sqrt{c_3 u(D_1)^2 + c_4 u(D_2)^2 + c_5 u(D_3)^2 + c_6 u(D_4)^2 + c_7 u(D_6)^2 + c_8 u(D_7)^2} \approx 0.30 \text{ mm / km}$$

$$u(l) = \sqrt{u^2(S) + u^2(D)} = \sqrt{0.60^2 + 0.30^2} \approx 0.67 \text{ mm}$$

$$u(K) = m_0 \sqrt{Q_{11}} = u(l) \sqrt{Q_{11}} = 0.67 \times \sqrt{0.13} \approx 0.24 \text{ mm}$$

$$u(R) = m_0 \sqrt{Q_{22}} = u(l) \sqrt{Q_{22}} = 0.67 \times \sqrt{0.37} \approx 0.41 \text{ mm}$$

4 扩展不确定度的评定

取置信度 $p = 95\%$, 包含因子 $k = 2$, 则

$$U_K = k \times u(K) = 2 \times 0.24 = 0.48 \text{ mm};$$

$$U_R = k \times u(R) = 2 \times 0.41 = 0.82 \text{ mm}。$$

5 测量不确定度报告

全站仪加常数 (K) 测量结果的不确定度: $U_K = 0.5 \text{ mm}$,

$k = 2$:

全站仪乘常数 (R) 测量结果的不确定度: $U_R = 0.8 \text{ mm}$,

$k = 2$ 。

结束语: 目前, 全站仪已经广泛的应用于各个领域, 除应用于众所周知的地上大型建筑和地下隧道施工、精密工程测量、变形监测领域以外还在矿物普查、勘探采掘、农田水利和城市规划、港湾和要塞机场建设、铁路建设、军事工程建设、造船和航空工业等方面

的合成标准不确定度可按下式估算:

$$u(S) = \sqrt{c_1 u(S_1)^2 + c_2 u(S_2)^2} \approx 0.60 \text{ mm}$$

都有广泛应用。全站仪的应用范围决定了其在高精度监测测量和常规测量中不可替代的作用, 而对全站仪测距准确度的研究直接影响了全站仪在各行业的使用效果, 因此研究人员通过对全站仪测距过程中加常数、乘常数的测量不确定度分析评定能够有效控制测距准确度的效果, 减小测量误差, 为全站仪在工程测量方面、国防建设方面、工程施工方面、以及经济建设方面的使用过程中提供相应的理论保障和技术支撑。本文所述全站仪加常数、乘常数不确定评定方法仅为众多方法中的一种, 或有考虑不全之处, 望评论斧正, 与全站仪研究人员相互讨论, 共同进步。

参考文献

- [1] 陆洪波, 李荃. 全站仪加常数、乘常数测量不确定度评定[J]. 北京测绘, 2008(1): 11-13, 10.
- [2] 马仕柱, 田正华. 浅析全站仪加常数构成及日常检核方法[J]. 地矿测绘, 2020, 36(2): 29-31.
- [3] 龚志红. 全站仪一测回竖直角标准偏差的测量结果不确定度评定[J]. 计量与测试技术, 2008, 35(10): 46-47.