

全站仪测距气象改正公式的研究

王振华 石玮婷

内蒙古自治区计量测试研究院 内蒙古 呼和浩特 010060

摘要: 在开展全站仪测距工作过程中, 全站仪的气象改正对测距误差影响很大。为了保证测距数据的准确性, 应按照检定规程要求进行气象改正, 对测距误差进行修正。本文根据实际工作中所涉及到的多种因素, 分析总结了全站仪测距过程中对结果有影响的几个因素, 并对改正公式进行了推导。

关键词: 全站仪、电子测距、环境、气象改正、公式推导。

概述: 全站仪是由电子测角、电子测距、电子计算和数据存储单元等组成的三维坐标测量系统, 测量结果能自动显示, 并能与外围设备交换信息的多功能测量仪器。由于全站仪较完善地实现了测量和处理过程的电子化和一体化, 所以人们也通常称之为全站型电子速测仪。测距作为全站仪重要的一部分, 其测量精度要求越来越高。影响全站仪测距精度的要素大致有三类: 一是外界条件, 主要是大气条件, 如温度、气压等; 二是全站仪自身原因, 如棱镜常数等; 三是测量方法。全站仪的测距是利用电磁波测量, 根据其测距原理可知影响测距精度的因素有温度、湿度、气压、折射率等。本文主要介绍影响全站仪气象改正的原理及公式推导。

1 气象改正的主要影响因素

全站仪测量的目的是为了得到所测目标的三维坐标, 而三维坐标的精确程度又取决于全站仪所测物体的距离的精确程度, 距离的测量精度又与所在区域大气传播中的大气折射率有关。全站仪的测距是利用电磁波在大气中的传播原理进行测量, 实质上是大气折射率对距离的改正, 因大气折射率与温度、气压、湿度有关, 因此习惯称为气象改正, 所以, 要想得到正确的气象改正有必要了解大气温度、大气压力、湿度之间的相互关系。

1.1 大气温度

大气温度是表示物体的冷热程度的物理量, 简称气温, 通常用摄氏温度(符号: °C)表示。同时表示温度的还有华氏温度(符号: °F)、绝对温度(符号: °K)。以上三种温度转换关系如下:

$$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \times \frac{9}{5} + 32 \quad (1)$$

$$^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15 \quad (2)$$

1.2 大气压力

大气在单位面积上所受的力叫大气压力。通常表示大气压的单位有: 毫米汞柱(符号: mmHg)、帕斯卡

(符号: Pa)、毫巴(符号: mb)。以上三种压力单位之间换算关系如下:

$$1\text{mmHg} \approx 1.3332\text{mb} \approx \frac{4}{3}\text{mb} \quad (3)$$

$$1\text{hPa} = 100\text{Pa} = 1\text{mb} \quad (4)$$

1.3 大气湿度

大气湿度是指空气中的潮湿程度, 它表示当时大气中水汽含量距离大气饱和的程度的物理量。在一定的温度下, 一定体积的空气里含有的水汽越少, 则空气越干燥; 水汽越多, 则空气越潮湿。在此意义下, 大气湿度通常用水汽压(符号: e)、绝对湿度(符号: a)、相对湿度(符号: h)来表示。在测量仪器中的湿度通常指相对湿度。三者之间关系如下:

$$a = \frac{e}{T} \times 298 (\text{g}/\text{m}^3) \quad (5)$$

大气湿度又可分为以下两种情况:

当大气温度在(-10~50)°C区间内, 在湿球未结冰的情况下, 水汽压计算公式为:

$$e = 6.107 \times 10^{\frac{7.5 \times t'}{237.3 + t'}} - 0.000662 \times (t - t') \times (1 + 0.001146 \times t') \times P \quad (6)$$

当大气温度在(-15~10)°C区间内, 在湿球结冰的情况下(此时不测湿温), 水汽压计算公式为:

$$e = 0.00068 \times t^2 + 0.11177 \times t + 0.00294 \times P + 0.21981 \quad (7)$$

由以上所述两种情况可得到大气相对湿度 h :

$$E = 10^x \quad \text{其中: } x = \frac{7.5 \times t}{237.3 + t} + 0.7857 \quad (8)$$

$$h = \frac{e}{E} \times 100\% \quad (9)$$

上述所列公式中: t - 空气干温(°C); t' - 空气湿温(°C); P - 大气压力(mb);

e - 实际水汽压(mb); E - 饱和水汽压(mb); h - 相对湿度(%)。

2 气象改正公式的推导

2.1 大气折射率的推导

全站仪测距是利用电磁波作为载波和调制波进行测量，因此，气象改正不仅与温度、气压、湿度等因素相关，还与全站仪的载波波长密切相关。计算波长采用的是标准大气状况下大气折射率 (n_0)，而在实际作业中，我们通常采用的是实际气象条件下大气折射率 (n)。

已知光在空气中的折射率与波长关系，根据科尔若西 (Kohlrousch) 公式可给出实际气象条件下光折射率 n 的计算公式如下：

$$n = \frac{n_g - 1}{1 + \alpha t} \times \frac{p}{760} - \frac{5.5e}{1 + \alpha t} \times 10^{-8} + 1 \quad (10)$$

式中： t - 干温(°C)； e - 实际水汽压 (mmHg)； p - 实际大气压力 (mmHg)；

α - 空气膨胀系数， $\alpha = 1/273.16 \approx 0.003661$ ；

n_g - 标准气象条件下 ($t = 0^\circ\text{C}$, $p = 760\text{mmHg}$, $e = 0\text{mmHg}$) 光折射率。

在1939年由Barrell和Sear提出的 n_g 的计算公式，在很长一段时间内，很多全站仪都采用该公式计算 n_g 。在1999年国际大地测量协会的决议 (IAG) 对 n_g 的计算公式进行了修正与完善。

根据巴雷尔-希尔 (Barrell&Sears) 公式可给出，标准气象条件下光折射率计算公式：

$$n_g = 287.604 + \frac{4.8864}{\lambda^2} + \frac{0.6800}{\lambda^4} \times 10^{-6} + 1 \quad (11)$$

根据国际大地测量协会的决议 (IAG Resolutions (1999)) 可给出，标准气象条件下光折射率计算公式：

$$n_g = 287.6155 + \frac{4.8866}{\lambda^2} + \frac{0.6800}{\lambda^4} \times 10^{-6} + 1 \quad (12)$$

式中： λ - 单色光波长 (μm)。

由于在全站仪距离测量中大气压力一般用mb表示，湿度用相对湿度 h 表示，因此参照式 (3)，式 (10) 可写为：

$$n = \frac{n_g - 1}{1 + \alpha t} \times \frac{3p}{3040} - \frac{0.04125e}{1 + \alpha t} \times 10^{-6} + 1 \quad (13)$$

根据式 (8)、式 (9)，式 (10) 又可写为：

$$n = \frac{n_g - 1}{1 + \alpha t} \times \frac{3p}{3040} - \frac{4.125h \times 10^{-4} \times 10^x}{1 + \alpha t} \times 10^{-6} + 1 \quad (14)$$

2.2 测距公式的推导

全站仪电磁波测距的基本原理如下： $D = \frac{CT}{2}$ (15)

如果测定大气的折射率 n ，则可求出空气中的光速：

$$C = C_0 / n, \text{ 则: } D = \frac{C_0 T}{2n}.$$

式中： D - 所测目标距离 (m)； C - 电磁波在大气中传播速度 (m/s)；

T - 电磁波在目标往返一次的时间 (s)； n - 实际气

象条件下光折射率；

C_0 - 空中光速 (1975年国际大地测量与地球物理学联合会 (IUGG) 第十六届年会给出 $C_0 = 299792458 \pm 1.2$) (m/s)。

对式 (15) 进行微分可得到下列公式：

$$\Delta D_n = -\frac{1}{2} \times \frac{C_0}{n} \times \frac{\Delta n}{n} \times T = -\frac{C_0 T}{2n} \times \frac{\Delta n}{n} = -D \times \frac{\Delta n}{n} \quad (16)$$

可设 D 为观测距离，改正后距离为 D' ， $\Delta D_n = D' - D$ ，则可得 $D' = D + \Delta D_n$ ，取 $\Delta n = n - n_0$ 时，公式 (16) 可进一步写为：

$$\Delta D_n = -D \frac{n - n_0}{n} \approx (n_0 - n) \times D \quad (17)$$

式 (18) 即为全站仪测距的公式。

式中： ΔD_n - 气象改正 (m)； D - 实际观测距离 (m)；

n_0 - 干温 $t = 12^\circ\text{C}$ 、大气压力 $p = 1013.25\text{mb}$ 、相对湿度 $h = 60\%$ (湿温 $t' = 8.3^\circ\text{C}$) 气象条件下光折射率。

将式 (14) 代入式 (17) 可得：

$$\Delta D_n = \left[n_0 - \left(\frac{n_g - 1}{1 + \alpha t} \times \frac{3p}{3040} - \frac{4.125h \times 10^{-4} \times 10^x}{1 + \alpha t} \times 10^{-6} + 1 \right) \right] \times D \quad (18)$$

上式 (18) 即为全站仪测距气象改正的通用公式。

3 不同全站仪的气象改正公式

3.1 徕卡TS60/TS30/TS09系列全站仪

根据以上徕卡全站仪说明书可知，这一系列全站仪的载波波长都相同， $\lambda = 0.658\mu\text{m}$ ，在标准气象条件下 ($t = 12^\circ\text{C}$, $p = 1013.25\text{mb}$, $h = 60\%$) 可以得到其基准折射率： $n_0 = 1.0002863382$ ； n_g 计算公式采用IAG Resolutions (1999)推荐公式， $n_g = 1.0002992646$ 。

根据式 (18)，则这一系列的全站仪气象改正公式可写为：

$$\Delta D = \left[286.3382 - \left(\frac{0.295351p}{1 + \alpha t} - \frac{4.125h \times 10^{-4} \times 10^x}{1 + \alpha t} \right) \right] \times 10^{-6} \times D$$

其他型号的全站仪，如果载波波长相同，标准气象条件也相同，都可以使用上述公式，如徕卡TS系列其他型号、徕卡TZ系列、MS系列全站仪等。

3.2 徕卡TPS1100/TPS800/TPS400型全站仪

根据徕卡以上徕卡全站仪说明书可知，这一系列全站仪的载波波长都相同， $\lambda = 0.780\mu\text{m}$ (IR: 棱镜模式)、 $\lambda = 0.670\mu\text{m}$ (RL: 无棱镜模式)，在标准气象条件下 ($t = 12^\circ\text{C}$, $p = 1013.25\text{mb}$, $h = 60\%$) 可以得到其基准折射率： $n_0 = 1.0002830379$ (IR: 棱镜模式)、 $n_0 = 1.0002859188$ (RL: 无棱镜模式)； n_g 计算公式采用巴雷尔-希尔公式， $n_g = 1.0002958193$ (IR: 棱镜模式)、 n_g

= 1.0002988267 (RL: 无棱镜模式)。

根据式(18), 则这一系列的全站仪气象改正公式可写为:

$$\Delta D = \left[283.0379 - \left(\frac{0.291951p}{1+\alpha t} - \frac{4.125h \times 10^{-4} \times 10^x}{1+\alpha t} \right) \right] \times 10^{-6} \times D$$

(IR: 棱镜模式)

$$\Delta D = \left[285.9188 - \left(\frac{0.294919p}{1+\alpha t} - \frac{4.125h \times 10^{-4} \times 10^x}{1+\alpha t} \right) \right] \times 10^{-6} \times D$$

(RL: 无棱镜模式)

上述公式和该系列全站仪说明书中的气象改正公式相同。

3.3 拓普康GM100/GM50系列全站仪

根据以上拓普康全站仪说明书可知, 这一系列全站仪的载波波长都相同, $\lambda = 0.690\mu\text{m}$, 在标准气象条件下 ($t = 15^\circ\text{C}$, $p = 1013.25\text{mb}$, $h = 50\%$) 可以得到其基准折射率: $n_0 = 1.0002823239$; n_g 计算公式采用IAG Resolutions (1999)推荐公式, $n_g = 1.0002981793$ 。

根据式(18), 则这一系列的全站仪气象改正公式可写为:

$$\Delta D = \left[286.3239 - \left(\frac{0.294280p}{1+\alpha t} - \frac{4.125h \times 10^{-4} \times 10^x}{1+\alpha t} \right) \right] \times 10^{-6} \times D$$

上述公式和该系列全站仪说明书中的气象改正公式相同。其他型号的拓普康全站仪, 如GT100/GT50系列、GTS2000系列全站仪等, 通过笔者查询, 载波波长都相同, 标准气象条件也相同, 都可以使用上述气象修正公式。

4 结束语

笔者通过查阅多个品牌、多个型号的全站仪说明书, 推导出上面具有代表性的全站仪气象改正公式, 证明上诉气象改正公式具有通用性, 通过对上诉不同类型的全站仪气象改正公式的研究分析, 可知, 只需查阅相关资料, 得到全站仪的测距激光波长和标准气象条件, 就可推导出该全站仪的气象改正公式。在高精度控制测量时, 可为相关人员提供参考。同时, 说明在距离测量中气象改正不容忽视, 虽然不同类型的全站仪气象改正公式大致相近, 但对高精度测量结果的影响还是比较大的。

参考文献:

- [1] 姚辉, 陈凤颖. 全站仪气象改正公式及气象元素测量精度对距离影响[J]. 测绘通报, 2008, (4): 14-15.
- [2] 金群锋. 大气折射率影响因素的研究[D]. 浙江大学, 2006.
- [3] 徐忠阳. 全站仪原理与应用[M]. 解放军出版社, 2003, 10.