

再谈测距仪对 GPS 基线边长的检验

上海华测导航技术有限公司 技术支持部
(欢迎转载, 请注明华测公司技术支持部)

<http://www.navigation.com.cn>

1 前言

在 GPS 技术支持中, 我们经常遇到 GPS 与全站仪比测的情况。虽然, GPS 的精度是很高的, 距离越长, GPS 的相对精度越高, 但对大多数用户而言, GPS 还是一项“新”技术, 需要通过全站仪的检验, 用户才放心使用。用户的要求是完全合理的, 也是可以进行的, 有时也是必须的。但是, 用户的全站仪提供的通常是平距, 而 GPS 静态控制测量提供的是经过投影后的坐标, 两者之间有很大的差别。

可惜我们许多技术人员不知道这种差别, 想当然地用 GPS 投影坐标去反算平距, 从而闹出了很多笑话, 诸如认为地区特殊、偷改 GPS 成果去符合全站仪边长、再用其他品牌的 GPS 接收机复测、要求生产厂家出书面证明承担责任等等。兴师动众后往往收不到好的效果, 我们不得不引以为戒。

2 几个基本概念

2.1 投影变形影响

将地面观测的长度归算到投影边长, 需要经过下面两个步骤: 将地面观测的长度元素归算到参考椭球面; 将椭球面的长度归化到高斯平面。通过下面的描述我们可以看到, 长度变形在严重的情况下可能超过 1:1000 的程度, 就是说, 1 公里的边的变形可能超过 1 米。

1.2.1 将地面观测的长度元素归算到参考椭球面

将地面观测的长度元素归算到参考椭球面上按以下的公式计算 (高程归化):

$$S = D + d_D$$

式中:

$$d_D = -\frac{D \cdot H_m}{R_m}, \quad R_m = \sqrt{M \cdot N}, \quad H_m = h_{m1} + h_{m2}$$

其中, S 为归化到椭球体面的长度; D 为地面上的观测长度; d_D 为高程归算改正; H_m 为观测边的平均大地高; h_{m1} 为观测边相对于大地水准面的平均高程; h_{m2} 为大地水准面至参考椭球面的平均高程; R_m 为该地区平均曲率半径; M 为参考椭球子午圈曲率半径; N 为参考椭球卯酉圈曲率半径。

对于不同的大地高, 长度归算的每公里相对数值见下表 (设 $R_m = 6370\text{Km}$)

$H_m (h_{m1} + h_{m2})(m)$	$-H_m / R_m$
10	1: 60万

20	1: 30万
50	1: 10万
100	1: 6万
150	1: 4万
200	1: 3万
300	1: 2万
400	1: 1.5万
500	1: 1.2万
1000	1: 6千
2000	1: 3千
3000	1: 2千
4000	1: 1.5千

1.2.2 将椭球面的长度归化到高斯平面

将椭球面的长度归化到高斯平面的长度按下列公式计算：

$$S_0 = S + \Delta S$$

$$\Delta S = \frac{S \cdot y_m^2}{2R_m^2}$$

式中， S_0 为归化到高斯平面上的长度； s 为在参考椭球面上的长度； y_m 为 S 在高斯平面上离中央子午线垂距的平均值； R_m 为该地区平均曲率半径；

假定 $R_m = 6370\text{km}$ ，边长离中央子午线垂距的相对变形见下表：

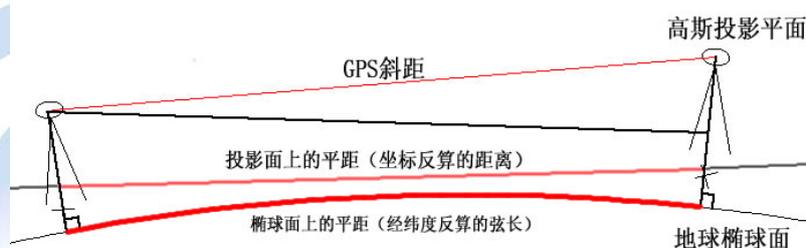
y_m (Km)	$\Delta S / S_0$
10	1: 80万
20	1: 20万
30	1: 9万
40	1: 5万
45	1: 4万
50	1: 3万
100	1: 8千
150	1: 3.6千
200	1: 2千
300	1: 9百

在投影带边缘上的长度变形如下：

纬度B	6° 带		3° 带	
	边缘上的y (km)	长度变形	边缘上的y (km)	长度变形
20	314057.2	1: 820	156987.1	1: 3300
25	302944.9	1: 900	151438.9	1: 3500
30	289530.3	1: 980	144740.2	1: 3600
35	273912.3	1: 1000	136939.9	1: 4300
40	256206.4	1: 1240	128095.5	1: 5000
45	236544.6	1: 1450	118272.2	1: 5800
50	215073.8	1: 1760	107543.2	1: 7000
55	191955.6	1: 2200	95989.0	1: 8800

2.2 几个基线边长概念

如下图所示，示意了 GPS 测量中各种距离的概念。



GPS 基线边长	两标石中心在 WGS-84 椭球面之间的距离。
GPS 自由网平差边长	经过无约束平差所得的在 WGS-84 椭球面上的基线长度。
GPS 二维约束平差边长	经过约束平差所得的在指定参考椭球上的高斯平面直角坐标系下的基线长度。
电磁波斜距	测得的电磁波测距的发射中心到反光镜之间的距离（已加气象以及加常数改正，未投影在参考椭球面上）。其不等于连接两标石中心之间的直线斜距，但由于在一般工程测量边长不超过十几公里，相差极微，可以认为是相等的。
电磁波平距	归算到两标石中心的平均高程面的距离。
高斯平面直角坐标反算边长	控制网平面直角坐标系下两点之间的边长。

3 测距仪对 GPS 基线边长检验的方法

除了采用软件对控制网进行质量评定外，还可以采用电磁波测距的方法对控制网的成果进行外部检核。值得注意的是，通常将GPS基线与电磁波所测的平距直接比较，从上述有关基线边长的概念来说，这两者是有差别的，尤其是投影变形比较大，即测区离中央子午线比较远或者平均高程面比较高的情况下（具体可以参照前面“投影变形的影响”来估计），是不能作为比较的。只有考虑了椭球、投影等因素后，两者才能作比较。实际上，一般的红外激光测距仪的测程只有两三公里，因此只能对中短边进行比较，同时

也要求使用的电磁波测距仪的精度要比GPS测基线的精度要高。对于X20 型接收机（标称精度为±(5mm+2ppm)）来说，必须使用经过检定的精度较高（在±(3mm+2ppm)以上）的电磁波测距仪处理。

检验的方法如下：

- 1、直接用测距仪的斜距与 GPS 基线边长比较。两者均没有投影，可以直接比较。基线向量中的“距离”是 GPS 斜距，与全站仪测得的测站斜距（经过温度，湿度，大气折射改正后）在考虑仪器高情况下具有可比性。
- 2、测距仪的平距与 GPS 基线的平距进行比较（近似）。
- 3、测距仪的平距投影到高斯平面上与 GPS 二维约束平差边长进行比较。
- 4、如果该测区的投影变形不大，或者选择了适当的投影参数（投影中央子午线的变形影响与投影高的影响相反）使到投影的影响减到最小，这时可以直接用测距仪测的平距与 GPS 二维约束平差边长作比较。
- 5、使用独立的坐标系统（投影高在高程面上、原点的纬度和经度（中央子午线）在测区中央，用方法 3 来进行检验。

事实上，由于各种因素的影响，包括测距精度，以及所采用计算公式的精度，使到两者的不一定能精确相同，其值的大小要求具体由控制网的精度指标而定。

4 举例说明

如下图所示为一 GPS 控制网，用户使用一个已经北京 54 坐标的点进行平差，平差结果与另外一个已经点比较，互差很小，但是，用户用全站仪测量 1495 和 0022 点之间的平距为 941.046，而相应的 GPS 二维约束边长 941.4302，相差非常大。



用户怀疑 GPS 测量成果，那么问题在哪儿呢？

查看 Compass 软件中相应基线的属性：



从属性中我们看到GPS基线的平距为 941.081，与全站仪仅相差 0.035 米。有这一点我们就可以判断GPS和全站仪的测量均没有问题¹。在华测GPS数据处理软件的基线属性中，除列出了基线的斜距外，还列出了基线的平距，这里的平距既非椭圆面上的弦长，也不等同于全站仪的平距，它是根据基线斜距和基线高差通过勾股定理计算出来的。当基线较短时，椭圆面的弦长、全站仪的平距、基线属性中的平距三者之间相差较小，它们通常也具有可比性。

但是，这三者都与由投影坐标（平面坐标）反算出的平距有较大差别。进行大地测量时，用户通常最终得到的是投影坐标，GPS网平差结果中，除列出了投影坐标外，还列出了根据投影坐标反算出的平距，用户经常将这个平距用来和全站仪的平距进行比较，这种比较只能在全站仪的平距经过投影改正后才能进行。当然，在特定的情况下也能进行。

修改中央子午线和投影高，仅约束一个已知点，进行二维约束平差，得到下面的结果：

起点	终点	d x / 中误差		d y / 中误差		平 距	中误差	相对误差
		(米)		(米)		(米)	(米)	
0022	1495	309.5797	0.0012	-888.6978	0.0007	941.0756	0.0014	1: 663688

这个结果与全站仪的结果也具有可比性。

5 结论

通过上面的讨论，我们认识到 GPS 控制测量平差后的边长不能直接与测距仪的成果进行比较。我们建议通过下面的方法进行比较：

- ◆ 考虑仪器高的情况下比较斜距；如两个点之间没有 GPS 观测边，可用 GPS 三维自由网平差得到的结果反算斜距。
- ◆ 比较 GPS 基线的平距和测距仪的平距；如两个点之间没有 GPS 观测边，可用 GPS 三维自由网平差得到的结果反算平距。
- ◆ 将测距仪边长进行投影。

¹需要考虑到全站仪在使用勾股定理计算测站之间的平距时候，是将地面当成平面来考虑还是考虑到地面为曲面，将距离换算成大地测量中的距离，即通常所指的地球球面上的弦长。另外，本例中所使用全站仪精度为 5 秒。

- ◆ 建立以测区中心为原点、考虑了高程面的独立的坐标系统。
总之，只有明白了 GPS 测量和网平差的基本原理后，这些比较才能得心应手，不受困扰。

6 参考文献

- 1、上海华测导航技术有限公司.《华测 GPS 静态数据处理及网平差软件 5.0 版使用手册》.2004 年 12 月.

