

GPS 变形监测网不同期观测数据的处理方法

王 军 张华海 (中国矿业大学 江苏徐州 221008)
徐仁龙 王树忠 (霍林河煤业集团 内蒙古霍林河 029200)

摘 要 本文对用 GPS 静态相对定位技术进行 GPS 变形监测网的基准设计及观测方案进行阐述后,重点对 GPS 变形监测网不同期观测数据的处理方法进行了探讨,并用实例进行了各种方法的计算,取得了显著的效果。

关键词 基准设计 基线解算 无约束平差

1 GPS 变形监测网的基准设计与观测方法

为了比较 GPS 变形监测网各期观测结果,需要有统一的基准。在进行 GPS 变形监测网设计时,首先要解决的问题是监测网的基准设计,必须明确 GPS 成果所采用的坐标系统和起算数据。

GPS 监测网的基准有位置基准(三个)、方位基准(三个)和尺度基准(一个)。通常,以固定的基准点作为 GPS 监测网的起算点,在基准设计时,应当选择三个以上稳定的基准点。

对于 GPS 变形监测网坐标系统的选择,可以选择 WGS-84 坐标系,由于 GPS 单点定位点位偏差较大,为了提高相对定位基线解算的精度,在进行 GPS 网基准设计时,最好能联测附近的高精度的国家 GPS 点。如果附近没有高精度的国家 GPS 点,则每期的 GPS 观测数据处理时,应当都以第一期的基准点的坐标为基准。如果选择国家坐标系或地方独立坐标系,则基准点应同时具有国家坐标系或地方独立坐标系坐标值,以便将 GPS 观测结果进行坐标转换。

GPS 测量所得高程为 WGS-84 坐标系中的大地高。在监测网变形分析时,可以按大地高进行变形分析。实际应用中,也可与水准测量相结合,按水准高程进行变形分析,此时 GPS 监测网的基准点应同时测定其水准高程,以便将 GPS 高程转换为水准高程。

在观测方案中, GPS 变形监测网多采用边连接的网,保证有足够的多余观测,产生重复边及异步环闭合条件,对监测网进行检核,增强网的可靠性指标,提高点位精度。观测时间段在 GPS 卫星较多且几何分布图形较好的情况下,宜观测 1.5~3 小时比

较适宜。

各期观测的基线解算所用起算点的坐标一般应选择基准设计中起算点的坐标。也可以在第一期观测的基线解算中,自选基准点,而在第二期以后的各期观测的基线解算时,以第一期的点位坐标作为基准。还有一种解算方式就是各期基线解算都是自选基准。对于这三种基线解算结果如何进行下一步的数据处理并进行变形分析,本文分以下几个问题进行论述。

2 固定基准的基线解算与 GPS 网平差计算

上述三种基线解算的方法,前两种可以称为固定基准的基线解算。其中第一种固定的基准点是基准设计中的起算点。这种起算点如果是联测的高精度的国家 GPS 点的话,则对各期 GPS 监测网的基线解算精度有所提高。而第二种解算方法是第二期以后的各期基线解算都以第一期基线解算的点位坐标作为固定基准。

固定基准的基线解算方法是在进行基线解算时,基准点的坐标系采用已知值。一般是输入一个已知的基准点的坐标解算与该已知基准点相连的同步时段各条基线。然后依次解算出其他点位坐标再继续解算与此相连的另一些同步时段,这样整个 GPS 网便统一在同一基准之下。在用随机软件进行基线解算时,一般设置自动解算方式,只要在开始解算时输入已知基准点坐标,则利用 GPS 网各时段之间相连的观测方案,自动解算方式会将解算基准传递下去,最终整个网的基线解算结果为同一的位置基准。GPS 变形监测网的基线长在几 km 之内,且观测时间较长,其基线结果应当是精度较高的双差固

定解。解算出的基线进行同步环闭合差和重复边以及异步环闭合差计算,检核 GPS 网的观测质量。如果闭合差合乎限差规定,则进行下一步的数据处理,即 GPS 网平差。

GPS 网平差分为固定一个已知点的无约束平差和固定多个已知点的约束平差。对于 GPS 变形监测网来说,固定多个已知点的约束平差会将已知点的误差引入 GPS 观测点。除非已知点的精度很高,并且经检测其误差对 GPS 观测点可忽略不计。所以每一期观测时应当对基准点进行较长时段的观测,根据多次观测经验,基准点的观测时段在 3 小时以上比较适宜。

对于 GPS 变形监测网,各期基线解算有了统一的位置基准后,每一期分别进行固定一个已知点的无约束平差的成果,会更有实际价值。这样已知基准点之间的位移,或第一期对基准点的观测误差就不会影响平差结果。

各期观测的结果进行无约束平差后,虽然统一了位置基准,但仍然存在方位基准和尺度基准的影响。为了利用各期的平差成果进行变形分析,各期无约束平差成果还必须统一方位基准和尺度基准。

统一各期基准的方法可以利用网中的全部基准点与变形观测点各期观测结果对第一期进行坐标转换。大地坐标的三维转换可以按七参数法转换模型进行转换。也可以将大地纬度、大地经度或高斯平面直角坐标按二维转换模型进行转换。高程以及二维坐标还可以应用多项式曲面拟合法进行转换,因为监测网范围不大,多项式转换模型可以采用非完全二次多项式,如取 $x = a_0 + a_1B + a_2L$ 或 $x = a_0 + a_1B + a_2L + a_3BL$ 等模型。式中 x 可以是高程或二维坐标值。

下面以某露天矿 GPS 变形监测网的三期观测数据为例,应用本文上述几种处理方法进行计算,并对所得结果作进一步说明。

某露天矿 GPS 变形监测网共 8 个点,每两期观测之间仅相隔 2 个月,经检验认为无整体形变。对每一期观测均进行了以下几种数据处理:

- (1)固定一个已知点的无约束平差;(2)固定基准点(以第一期观测平差坐标为基准)的约束平差;(3)坐标转换参数与坐标改正数共同作为未知数的平差计算(全部点位参加计算);(4)用多项式拟合法进行坐标转换(全部点位参加计算);(5)其它方法

(如伪逆平差、拟稳平差、卡尔曼滤波)。
现将用各种方法处理的各期之间的坐标差列于以下各表。

表 1 固定 1 号点的无约束平差各期之间的坐标差
单位:mm

点号	2 期——1 期			3 期——1 期			3 期——2 期		
	dx	dy	dH	dx	dy	dH	dx	dy	dH
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	-1.5	6.9	-1.8	0.1	-2.1	-5.2	2.9	-6.3
3	0.2	-0.2	7.8	1.5	0.5	5.4	1.3	0.7	-2.4
4	-1.3	-1.6	7.5	-3.4	-0.8	6.7	-2.1	0.8	-0.8
5	0.3	-0.8	8.3	0.4	0.4	1.0	0.1	1.2	-7.3
6	0.9	-1.0	8.1	-1.0	0.2	1.6	-1.9	1.2	-6.5
7	0.5	-1.3	9.4	-2.2	2.3	1.6	-2.7	3.6	-7.8
8	3.4	-2.8	4.2	0.4	-0.5	-1.8	0.4	1.0	-8.7

从表 1 所列各期之间坐标与高程之差的符号规律,可以看出,各期之间除固定点(1 号点)以外,各点位之差存在方位与尺度基准的影响。

利用 1 号、2 号点作为已知点进行约束平差,其结果如表 2。

表 2 固定 1、2 两点的约束平差各期之间的坐标差
单位:mm

点号	2 期——1 期			3 期——1 期			3 期——2 期		
	dx	dy	dH	dx	dy	dH	dx	dy	dH
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	-0.8	0	2.4	2.2	-1.9	6.4	3.0	-1.9	4.0
4	-2.1	-0.7	2.1	-1.6	-1.9	8.6	0.5	-1.2	6.5
5	-0.1	0	3.3	1.6	0	2.6	1.7	0	-0.7
6	0.7	-0.1	3.3	-0.4	0	3.1	-1.1	0.1	-0.2
7	0.2	-0.4	4.4	-1.2	2.0	3.3	-1.4	2.4	-1.1
8	2.4	-1.3	-1.2	-2.0	-0.2	-1.9	-4.4	1.1	-0.7

表 2 所列两期之间坐标差显然比表 1 小,说明各期都使用了 1 号和 2 号作为已知点,统一了方位和尺度基准。但从数值及符号规律来看,仍然存在一定的偏差,说明两起算点之间观测误差影响了各个点位。为此,进行了第三种方法的平差计算,即将坐标转换参数与坐标改正数共同作为未知数进行平差计算。各期坐标差见表 3。

表 3 所列数据已足够说明各期之间克服了方位偏差与尺度偏差的影响。下面再列出用多项式($x = a_0 + a_1B + a_2L$)对各期无约束平差数据进行拟合处理的各期之间的坐标差。

表 3 将坐标转换参数与坐标改正数共同作为未知数平差计算,各期之间坐标差 单位:mm

点号	2 期——1 期			3 期——1 期			3 期——2 期		
	dx	dy	dH	dx	dy	dH	dx	dy	dH
1	-0.5	0.1	0.2	0.1	0.7	0	0.6	0.8	-0.2
2	0	0	0.9	0.7	-1.0	-0.7	0.7	-1.0	0.2
3	-0.3	1.1	1.0	2.4	0.1	3.7	2.7	-1.0	2.7
4	-2.0	-0.2	-0.1	-2.4	-1.1	3.9	-0.4	-0.9	4.0
5	-0.1	0.5	0.8	1.3	0	-0.9	1.4	-0.5	-1.7
6	0.4	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.2	-0.5	-0.7	-0.4
7	-0.2	0	1.3	-1.2	1.8	-1.0	-1.0	1.8	0.2
8	2.7	-1.6	-2.7	-0.8	-0.2	-4.9	-3.5	1.4	-2.2

表 4 用多项式拟合法进行处理后各期之间的坐标差 单位:mm

点号	2 期——1 期			3 期——1 期			3 期——2 期		
	dx	dy	dH	dx	dy	dH	dx	dy	dH
1	-0.2	0.1	0.2	-0.3	0.1	0	-0.1	0.1	-0.2
2	0.3	-0.5	-0.8	-0.7	-0.2	-0.7	-1.0	0.3	0
3	-0.3	1.0	0.9	2.4	0.2	3.7	2.7	-0.8	2.7
4	-2.1	-0.2	0	-1.8	-1.3	4.0	0.3	-1.2	4.0
5	-0.3	0.5	0.8	1.3	0.1	-0.8	1.6	-0.5	-1.7
6	0.3	0.4	0.2	0	-0.2	-0.3	-0.3	-0.5	-0.5
7	-0.2	0.2	1.3	-0.7	1.8	-0.9	-0.5	1.6	-2.2
8	2.6	-1.4	-2.6	-0.2	-0.4	-4.9	-2.7	1.0	-2.2

表 4 所列两期坐标差与表 3 相差无几。但仔细分析,可以看出,其差值正、负值之总和为零。这是全部点位参加拟合计算的结果。如果监测网中有 4 个点作为固定值的基准点参加拟合计算,在基准点精度很高的情况下,拟合的结果应当能够反映出变形观测点的变化。说明用多项式拟合法和用坐标转换参数与坐标改正数一起平差的方法都能达到 GPS 变形监测网各期数据处理的一致效果。但多项式拟合法计算更为简单。

另外,用其它方法(如伪逆平差、拟稳平差、滤波平差)进行计算所得结果都比约束平差效果好,限于篇幅,本文不再列出。

3 任意基准的基线解算与平差计算

所谓任意基准的基线解算,是指 GPS 监测网的每一期基线解算由软件自动选择某一基准,而各期之间的基准则不统一。这种基线解算方法简单,但

由于各期基线解算位置基准不统一,位置基准的差别可能含有几米甚至十几米。根据文献[3]所述计算结果,在位置基准相差等于 5 米时,对基线向量解算的结果会带来 $1 \times 10^{-6} \times D(\text{mm})$ 的影响。另外,不同基准解算的基线向量进行无约束平差时,如果固定点仍不统一,则各期点位坐标无法进行比较。这时,数据处理的方法可以按照固定第一期基准点坐标进行坐标转换或按照多项式拟合的方法统一各期的位置基准、方位基准和尺度基准。

4 结束语

GPS 静态相对定位技术用于地面形变测量是切实可行的方法。除了做好 GPS 变形监测网的基准设计与制定完善的观测方案以外,数据处理的方法很值得研究。本文提出的各种处理方法通过对实际例子的计算结果,认为各期观测数据作固定一个基准点的基线解算,在此基础上进行固定一个基准点的无约束平差,然后再应用坐标转换法或多项式拟合法进行坐标转换,统一各期的位置基准、方位基准和尺度基准后,便可以比较各期之间的点位移动并进行变形分析。此外,在进行无约束平差时,将坐标转换参数作为未知数与坐标改正数一起平差解算,也不失一种较好的数据处理方法。

需要指出的是,坐标转换或多项式拟合等方法对所有点位(包括基准点和变形观测点),如果沿某一方向有平行移动的变形时,则变形值会计入转换参数中而不被发觉。解决这个问题的方法是在设计阶段,在变形区外选定 3 个以上坚固稳定的基准点,精确测定基准点的点位后,将基准点作为固定点进行坐标转换,转换后,变形观测点的各期之差视为变形值,即可用于变形分析。

参考文献:

1 徐绍铨等.《GPS 测量原理及应用》. 武汉测绘科技大学出版,1998

2 张华海等.《GPS 定位技术在地面形变测量中的应用》. 中国矿业大学出版社,2000

3 张华海等.《GPS 定位技术在矿区地面形变测量中的应用》. 测绘通报,2000.4

(下转第 21 页)