

GPS 工程控制网投影变形的处理

陶东奎

(临汾市煤炭设计室 临汾 041000)

The Processing of Projective Deformation in GPS Engineering Control Net

Tao Dongkui

摘要: 在 GPS 工程控制网建立的内业处理中, 为后续的方便必须设法消去高斯投影变形对坐标成果的影响, 本文在简要介绍了常规投影变形处理方法之后, 提出了尺度强制约束和投影面重新选择两种投影变形的处理方法。工程实践检验表明, 两种方法不但可行, 而且可使处理后的坐标系统与国家坐标系统尽可能保持一致, 方便了工程使用。

关键词: GPS; 投影变形; 尺度强制约束; 投影面

由于 GPS 测量具有精度高、速度快、效益好等突出优点, 因此, GPS 在工程测量领域已得到较为广泛的应用。目前各种工程控制网 (尤其是首级工程控制网) 建立的首选方法就是测地型 GPS 接收机进行静态相对大地定位。随着实时相位差分技术 (RTK) 在测量领域的应用以及 GPS 接收机价格的大幅度下降, GPS 在工程测量领域将会有更为广泛的应用。

在 GPS 内业数据处理过程中, 为了将 GPS 所得的 WGS - 84 全球大地直角坐标系转换成 54 北京坐标系 (或 80 年大地坐标系或地方坐标系), 须利用 2 至 3 个平面已知点 (也称重合点) 进行二维约束平差, 求出控制网中各待定点在高斯平面上的坐标。由于这一处理过程中存在不同程度的高斯投影变形, 致使 GPS 点间由坐标反算的边长 (或图纸距离) 与实测值之间存在差异, 给后续工程的施工放样带来极大不便。因此, 合理处理投影变形对坐标成果的影响已成为 GPS 测量后处理的一项重要内容。

1 常规处理法

在 GPS 数据处理时, 若网中面已知为国家参心大地坐标系中的高斯平面坐标, 且其点位偏离中央子午线较远 (如大于 50 Km), 为了控制长度投影变形, 常规做法是: 先将平面已知点进行换带计算, 换带后的中央子午线最好是测区的平均中央子午线, 然后以换带后的已知点坐标为条件进行二维约束平差, 这样求得的各待定点的平面

坐标成果的投影变形较小, 为后续工程的使用带来方便。

虽然这种处理方法原理简单, 效果也较好, 但是这种方法也有一些不便之处, 突出表现在: 由于换带后相应点横坐标绝对变化较大 (一般都在几十至几百公里), 这对一些工程建设项目带来了极大不便。如在公路工程中, 若公路是东西走向, 且线路较长, 在用 GPS 进行首级控制时就存在由于投影变形处理, 控制点坐标成果与国家标准相差较大, 导致其成果与其它图纸的连接有较大困难, 再如, 用 GPS 建立大型桥梁首级控制时, 也会因处理投影变形导致桥梁控制网坐标系与连接线路坐标系统的不一致, 给工程施工带来一些困难。

本文在工程实践的基础上, 提出了两种既能合理投影变形, 又能使处理前与处理后坐标系统大致吻合的方法。即尺度强制约束和投影面选择法。

2 尺度强制约束法

在 GPS 二维约束平差时, 若有两个点位精度可靠的国家点, 如以此两点坐标成果作为平差条件输入, 则计算得到的控制网坐标成果的尺度即为两已知点之间的尺度, 因此如能合理控制已知点间的尺度, 即可控制整个网的尺度。

设两个已知点 A、B 坐标值为 (X_a, y_a) (X_b, y_b) 且其地面实际平距为 D_{ab} , 则 A、B 两点在高斯平面上距离 S_{ab} 和坐标方位角 T_{ab} 可由坐标反算

得。

此时长度投影变形为:

$$S = S_{ab} - D_{ab} = \frac{y_m^2}{2R^2}$$

$$S_{ab} = \left[y_m \frac{y_a + y_b}{2} \right]$$

为消去参考椭球面至高斯平面上的长度变形,可强制使尺度因子 K 为 1,此时,可根据 x_a, y_a, D_{ab}, T_{ab} 重新计算 B 点坐标 x_b, y_b , 即

$$x_b = x_a + D_{ab} \cos T_{ab}$$

$$y_b = y_a + D_{ab} \sin T_{ab}$$

以 (x_a, y_a) (x_b, y_b) 作为约束平差的起算条件,此时尺度为 1 (即高斯平面上的距离与实地丈量距离相等),平差后整个控制网的尺度均为 1,从而达到了消除投影变形的目的。

当然,此时计算得到的坐标成果不再是标准的国家坐标成果,但对同一点而言,两者的坐标值相差较小(分米级的系统差)极大地方便了一些工程的设计与施工。

3 投影面重新选择法

一般而言,地面实测距离投影至高斯平面上分两步,首先将地面实测距离归化至投影椭球面上,然后再由投影椭球面进一步投影至高斯面上。设地面实测某一边的平距为 D ,归化至投影椭球面的距离改正为 D_1 ,由投影椭球面进一步投影至高斯平面上距离改正为 D_2 ,若该边长两端点至投影椭球面的平均高度为 H_m ,则

$$D_1 = - \frac{H_m}{R + H_m} \times D$$

若边长两端的平均横坐标为 y_m ,则

$$D_2 = \frac{y_m^2}{2R^2} \times D$$

欲使地面实测距离与高斯平面上的距离相等,则需 $D_1 + D_2 = 0$ 即

$$\frac{H_m}{R + H_m} = \frac{y_m^2}{2R^2}$$

解得

$$H_m = \frac{R y_m^2}{2R^2 - y_m^2} \approx \frac{y_m^2}{2R}$$

GPS 内业数据处理时,可在平差基本条件中仅输入一个精度可靠的已知点坐标(或输入两个或两个以上,则其网中尺度即被事先确定,无法消去投影变形),同时可根据计算得到的 H_m 以及测区平均高程大小重新选择投影面至参考椭球面的高度。

如图 1 所示,测区地面至参考椭球面的高 h ,测区地面至投影椭球面的高 H_m ,则投影椭球面至参考椭球面的高度为 $H_m - h$ 。以此作为约束条件进行平差处理求得的坐标成果,其边长即消除了投影变形,同时也达到了与国家标准坐标成果在绝对值上相差不大的目的(相应点仅在分米级上相差)。

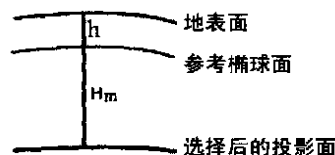


图1 重新选择投影椭球面

4 算例与结论

为验算上述三种投影变形的处理方法,笔者以临汾市鼓楼至南外环路段(2Km) GPS 首级控制网为例。该 GPS 网共有 10 个点(如图 2),共观测了六个时段,每个时段均为观测 40 分钟左右,共形成了 18 条基线,基线的平均长度为 712m,采用三台南方公司生产的 NGS200 GPS 接收机(标称精度为 5mm ±2ppm ×D),观测等级为 E 级,数据采集过程中 PDOP 均在 2 至 3 之间。基线处理后,同步环闭合差最大为 14.3mm,最小为 0.6mm,异步环闭合差最大为 19.3mm,最小为 8.1mm,均满足 E 级网的精度要求。

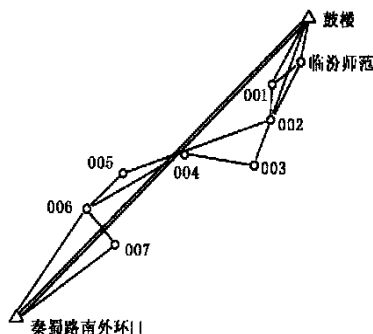


图2 GPS 首级控制网图

为进一步检核 GPS 测量的可靠性,特别是检核起算点坐标成果的准确性,笔者又用 TOPCON311 全站仪在两起算点之间布设了一条导线(±2 精度测角、5mm ±2ppm ×D 精度边)。经平差计算,导线相对闭合差达 1/455271,且 GPS 坐标成果中相邻边边长与导线坐标成果中的相邻边边长相差均在 mm 级。说明本次使用的两起算点是可信的, GPS 观测成果也是可靠的。表 1 是以鼓楼和秦蜀路南外环口为起算点,分别采用常规法、

尺度强制约束法和投影重新选择法消去投影变形 比较情况，由此可得出以下结论：
的坐标成果与未消去投影变形的国家坐标成果的

表 1 各种消去投影变形方法的结果统计

点名	国家坐标成果		投影变形处理后的坐标成果					
			常规法		尺度强制约束法		投影面重新选择法	
	X	S	X	S	X	S	X	S
	Y		Y		Y		Y	
鼓楼	4099244.327	798.131	4098831.650	798.056	4099244.827	798.059	4099244.827	798.068
	588011.465		495967.620		588011.455		588011.465	
临汾 师范	4098543.538	364.665	3798134.210	364.632	4098543.402	364.532	4098543.588	354.635
	587630.404		495579.715		587630.439		587630.444	
D01	4098262.234	462.001	4097855.228	461.958	4098262.324	461.960	4098262.303	461.965
	589398.351		495344.927		587398.407		587398.413	
D02	4097894.740	299.124	4097490.537	299.096	4097894.860	299.824	4097894.831	299.100
	587118.367		495081.368		587118.448		587118.456	
D03	4097643.352	465.365	4097240.782	456.823	4097643.498	456.824	4097543.464	456.829
	586955.254		494896.806		586956.350		586956.350	
D04	4097304.943	392.355	4096905.438	392.320	4097305.119	392.320	4097305.077	392.325
	586649.326		494586.593		586649.450		586549.461	
D05	4097207.699	342.904	4096811.946	342.873	4097207.885	342.872	4097207.335	342.875
	586269.213		494205.576		586269.371		586269.378	
D06	4096951.565	192.648	4095558.190	192.531	4096951.874	192.631	4096951.819	192.633
	588041.113		493974.990		586041.292		586041.300	
D07	4098874.237	2715.459	4096479.038	2715.220	4096874.452	2715.212	4096874.398	2715.249
	585217.515		494150.608		586217.579		586217.696	
秦蜀路 南外环口	4095019.161		4094543.710		4095019.545		4095019.441	
	584234.485		492149.610		584234.828		584234.842	
备：	$L_0 = 114^\circ$		$L_0 = 115^\circ$		$S = 0.5152\text{m}$		$H_m = 556\text{m}$	

(1) 由于测区偏离 3 带中央子午线 (114°) 有 86km，因而投影变形较大，若不进行投影变形的处理，势必对后续施工放样带来不便。

(2) 用常规法处理投影变形时，由于采用换带方法（换至 115° ）使整个网的坐标与原测区的坐标在绝对值上相差太大，后续使用上也有诸多不便。

(3) 尺度强制约束法和投影面重新选择法不但有效地处理了投影变形，而且使整个网的坐标与原测区坐标在绝对值上相差不大（仅分米级），两者的效果基本相当，且均为可行的处理方法。

(4) 但从严格的角度来看，尺度强制约束更

为严密，因为该法不但在坐标起点值而且在尺度及方向上均有约束，而投影面重新选择法仅在坐标起点值和尺度上有约束，而方向仍采用 WGS-84 的方向，因而投影面重新选择法仅适用范围较小的测区。

参考文献

- [1] 武汉测绘科技大学, 同济大学合编. 控制测量学. 北京: 测绘出版社, 1987
- [2] 刘大杰, 施一民. 全球定位系统 (GPS) 的原理与数据处理. 上海: 同济大学出版社, 1997
- [3] 高成发, 陈永奇. 一种 GPS 快速精密定位的方法. 冶金测绘, 1993(3)