

基于 GNSS 约束平差建立高海拔地区地方坐标系

Establishing Local Coordinate System in High Altitude Area Based on GNSS Constrained Adjustment

戴绪文

Xuwen Dai

湖南省第一测绘院 中国·湖南长沙 410007

Hunan Province First Institute of Surveying and Mapping, Changsha, Hunan, 410007, China

摘要: 论文对建立地方独立坐标系统的必要性进行了分析,并借助全球定位系统(GNSS)的数据处理系统——TBC 来实现。在分析建立地方独立坐标系必要性和影响长度变形主要因素及其控制措施的基础上,讨论了利用 GNSS 技术建立地方独立坐标系的方法。在高海拔地区的工程控制测量中,控制网的边长将产生较大的长度投影变形,在这个区域如果采用国家坐标系建立控制网,其长度变形不能满足工程施工控制网精度要求。因此,合理处理长度投影变形对坐标成果的影响,建立适合高海拔地区的地方独立坐标系,已成为这个区域工程控制测量的一项重要内容。

Abstract: This paper analyzes the necessity of establishing local independent coordinate system, and realizes it with the help of global positioning system (GNSS) data processing system — TBC. On the basis of analyzing the necessity of establishing local independent coordinate system, the main factors affecting length deformation and their control measures, the method of establishing local independent coordinate system by using GNSS technology is discussed. In the railway control surveying of the high-altitude areas, the side of control network will have a greater length of the projection length distortion, if the control network is established over the national coordinates in the region, the deformation of the length of the railway construction can not meet the requirements of precision control network. Therefore, it has become an important content of engineering control survey in this area to reasonably deal with the influence of length projection deformation on coordinate results and establish a local independent coordinate system suitable for high altitude areas.

关键词: 独立坐标系; TBC; 长度投影变形

Keywords: independent coordinate system; TBC; length projection deformation

DOI: 10.12346/se.v4i2.6533

1 引言

在城市测量或工程测量中,要求控制网边长投影长度变形不大于一定的值(《工程测量规范》为 2.5cm/km),通常高海拔地区控制网采用国家统一坐标系的情况不能满足这一要求。普通地区常用的做法是利用地面网多个已知点进行坐标转换,进而求得属于地方独立坐标系的坐标成果,采用这种方法的缺点是需要求定转换参数,转换参数可靠性受测区影响较大,但在高海拔地区此方法不能很好满足工程建设需要。论文以 Trimble Business Center(以下简称为

TBC)软件为支撑,介绍 GNSS 观测网在高海拔地区重新确定投影基准面和投影带中央子午线建立地方独立坐标系解决投影变形超限的方法,并给出实际工程算例^[1,2]。

2 高海拔地区地方独立坐标系建立的必要性

在 GNSS 工程应用中,需要将 GNSS 的定位结果经过高斯投影后才能得到所需的高斯平面直角坐标系成果。高斯投影过程具有两方面的投影变形,其中高程归算变形是将 GNSS 地面观测的长度归算到参考椭球面上产生的变形,由式(1)计算:

【作者简介】戴绪文(1989-),男,中国湖南长沙人,本科,助理工程师,从事新型基础测绘体系建设方面研究。

$$\Delta S_1 = -\frac{H_m}{R_A} \cdot D \quad (1)$$

其中, H_m 为观测边的平均大地高; R_A 为观测边所在方向参考椭球面法截弧的曲率半径; D 为实测距离。将参考椭球面上的距离投影到高斯平面上即会产生高斯投影变形, 可按式 (2) 计算:

$$\Delta S_2 = \frac{y_m^2}{2 \cdot R_m^2} \cdot S \quad (2)$$

其中, y_m 为观测边在高斯平面上距中央子午线垂距之平均值; R_m 为观测边两端平均纬度处参考椭球面的平均曲率半径; S 为参考椭球面上的距离^[3]。因此, 地面观测值经两次改正转换到高斯平面后, 产生的变形 (称为长度综合变形) 为:

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = \frac{y_m^2}{2 \cdot R_m^2} \cdot S - \frac{H_m}{R_A} \cdot D \quad (3)$$

可知, 长度综合变形与测区所处的投影带内的位置和测区的平均高程有关。实际计算可取, $R_A = R_m = 6371km$, 并且取 $S=D$, 则式 (3) 可简化为:

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{y_m^2}{2 \cdot R_m^2} - \frac{H_m}{R_m} \quad (4)$$

利用式 (4) 可以方便地计算出已知测区内长度相对变形的大小。《工程测量规范》规定, 测区内长度综合变形超过 2.5cm/km (即 1/40000) 时, 必须采取措施来限制长度综合变形的影响, 以使控制网要满足精度要求。然而, 采用国家统一坐标系在高海拔地区无法满足这一要求, 这就要求建立地方独立坐标系来克服投影差问题。

3 基于 TBC 建立高海拔地区地方坐标系案例

论文将通过 TBC 利用精度可靠的已知点坐标, 同时根据获得的测区平均高程大小, 保持扁率和第一、二偏心率不变, 在已有参考椭球的长半轴加上测区平均高程为长半轴的新参考椭球上解算 GNSS 观测网, 建立以新椭球为基准的地方坐标系^[4]。论文将通过以国家统一坐标系分带建立的高海拔地区高斯投影坐标系成果、只调整测区中央子午线为投影坐标轴建立的地方坐标系成果和重新选择投影面与中央子午线建立高海拔地区地方独立坐标系成果的比较、分析论证高海拔地区建立独立坐标系的必要性和论文提出建立高海拔地区独立坐标系的可行性。

3.1 高海拔地区数据来源

此工程案例为中铁四局某公司在云贵高原布设的一段铁路 GNSS 控制网数据, 处于中国高海拔地区, 存在由于高海拔因素导致边长产生较大变形的问题, 通过建立地方独立坐标系来克服这个问题 (见表 1)。

表 1 控制点坐标

点号	坐标成果		备注
	X (m)	Y(m)	
CPII33	****112.5921	****48.6722	C 级 GNSS

注: 以上坐标成果参考椭球为 CGCS2000 坐标系椭球体参数, 其中央子午线为 108 度, 测区平均高程为 1175m (大地高)。表 2 为 GNSS 静态观测数据记录的点名和仪器高。

表 2 观测数据点名仪器高

文件名	点名	仪器高 (m)	接收机类型
87963582	BAH01	1.271	4838158796
87963581	BAH03	1.492	4838158796
87963610	GJZ01	1.536	4838158796
87963611	GJZ01	1.536	4838158796
87523610	BAH05	1.376	4838158752
87523611	GJZ02	1.551	4838158752
87523612	GJZ02	1.551	4838158752
87523581	CPII33	1.49	4838158752
87523582	CPII33	1.488	4838158752
17083580	BAH03	1.474	4838151708
17083610	BAH04	1.683	4838151708
17083611	GJZ03	1.665	4838151708
17083612	GJZ03	1.665	4838151708
16133611	BAH04	1.455	4838151613
16133582	BAH02	1.5	4838151613
16133581	BAH02	1.534	4838151613
16133580	BAH04	1.493	4838151613

3.2 统一坐标系分带建立的高海拔地区高斯投影坐标系成果

按全球统一坐标系 3 度分带方法通过 TBC 数据处理坐标投影计算获得坐标成果, 即坐标系参考椭球为 CGCS2000 椭球, 长半轴为 6378137m, 短半轴为 6356752.31414m, 投影中央经线为 108°。

其中, 表 3 为 TBC 平差坐标成果。

3.3 只调整测区中央子午线为投影坐标轴建立的地方坐标系成果

此投影方法相对于前面提到的投影方法移动中央子午线, 则式 (2) 的变形值会变小, 但高海拔的影响并没有消除。现以 CGCS2000 椭球为基准, 根据已给数据以 107° 为中央经线, CGCS2000 椭球建立地方坐标系。TBC 软件数据处理如图 1 所示。

表 3 约束平差坐标成果

点名	北坐标	纵轴误差	东坐标	横轴误差	高程	高程误差	固定
BAH04	****706.194m	0.025m	****99.377m	0.023m	不适用	不适用	
BAH03	****468.329m	0.036m	****22.592m	0.030m	不适用	不适用	
BAH02	****489.866m	0.035m	****07.415m	0.032m	不适用	不适用	
CPII33	****962.740m	0.000m	****97.243m	0.000m	不适用	不适用	北东
BAH01	****350.113m	0.046m	****95.131m	0.039m	不适用	不适用	
BAH05	****712.283m	0.034m	****26.313m	0.033m	不适用	不适用	
GJZ01	****900.449m	0.026m	****12.348m	0.025m	不适用	不适用	
GJZ03	****368.002m	0.024m	****47.766m	0.024m	不适用	不适用	
GJZ02	****155.849m	0.024m	****04.902m	0.026m	不适用	不适用	



图 1 投影设置

TBC 约束平差下获得的地方坐标系下成果，平差网格坐标见表 4。

表 4 约束平差坐标成果

点名	北坐标	纵轴误差	东坐标	横轴误差	高程	高程误差	固定
BAH03	****610.457m	0.119m	****62.168m	0.114m	不适用	不适用	
BAH04	****849.109m	0.084m	****37.035m	0.078m	不适用	不适用	
BAH02	****633.417m	0.125m	****54.759m	0.107m	不适用	不适用	
CPII33	****112.592m	0.000m	****48.672m	0.000m	不适用	不适用	北东
BAH01	****492.780m	0.152m	****43.604m	0.132m	不适用	不适用	
BAH05	****856.217m	0.112m	****63.913m	0.111m	不适用	不适用	
GJZ01	****044.295m	0.087m	****48.425m	0.084m	不适用	不适用	
GJZ03	****510.575m	0.078m	****80.112m	0.078m	不适用	不适用	
GJZ02	****298.910m	0.076m	****38.938m	0.086m	不适用	不适用	

3.4 重新选择投影面和中央子午线建立高海拔地区地方独立坐标系成果

根据测区平均高程 1175m，则新椭球的长半轴为 CGCS2000 椭球长半轴加上平均海拔高，保持地方新椭球的扁率，偏心率不变，可求得地方椭球的短半轴，长半轴为 6379312m，短半轴为 6357923.375m，投影中央经线为 107° 经线。新椭球面为地方独立坐标系的参考投影面^[5]。这样一来既减小式(1)高海拔因素影响，也减小式(2)影响。TBC 数据软件获得地区地方独立坐标系的坐标(见表 5)。

3.5 三种投影坐标系下成果比较

论文展示了以上三节通过建立不同的坐标系，利用 TBC 数据处理获得同一 GNSS 网在不同坐标系下的投影坐标成果，通过投影坐标成果计算控制网边在每套坐标系下的相对误差(坐标反算边长与相应自由网平差的边长值 S 的比值)与限差值(2.5cm/km)比较情况。3.2 节的结果为表 6 的方案一，3.3 节的结果为表 6 的方案二，3.4 节的结果为表 6 的方案三。边长与差值的单位均为 m^[6]。

表5 坐标成果

点名	北坐标	纵轴误差	东坐标	横轴误差	高程	高程误差	固定
BAH03	****610.535m	0.136m	****62.150m	0.136m	不适用	不适用	
BAH04	****849.098m	0.086m	****37.012m	0.082m	不适用	不适用	
BAH02	****633.391m	0.146m	****54.767m	0.128m	不适用	不适用	
CPII33	****112.592m	0.000m	****48.672m	0.000m	不适用	不适用	北东
BAH01	****492.769m	0.175m	****43.605m	0.161m	不适用	不适用	
BAH05	****856.206m	0.117m	****63.899m	0.114m	不适用	不适用	
GJZ01	****044.278m	0.088m	****48.410m	0.085m	不适用	不适用	
GJZ03	****510.559m	0.080m	****80.101m	0.081m	不适用	不适用	
GJZ02	****298.892m	0.080m	****38.924m	0.090m	不适用	不适用	

表6 反算边长差值分析

控制网边	方案一边长S1(m)	方案一差值 $\Delta S=S1-S$ (m)	方案二差值 $\Delta S=S2-S$ (m)	方案三差值 $\Delta S=S3-S$ (m)	方案一相对变形 值 $\Delta S/S$	方案二相对变形 值 $\Delta S/S$	方案三相对变形 值 $\Delta S/S$
	方案二边长S2(m)						
观测边长S							
BAH03- BAH04	249.919	-0.11	0.09	0.004	-0.000439949	0.000359958	0.000015998
	250.119						
	250.033						
	250.029						
BAH03- BAH02	995.64	-0.312	-0.112	-0.004	-0.000313268	-0.000112455	-0.00004016
	995.84						
	995.948						
	995.952						
BAH04- BAH05	127.065	-0.025	-0.013	-0.004	-0.000196711	-0.000102290	-0.000031474
	127.077						
	127.086						
	127.09						
BAH04- GJZ01	224.688	-0.042	0.004	0.002	-0.000186891	0.000017799	0.000008900
	224.734						
	224.732						
	224.73						
BAH04- GJZ03	663.734	-0.167	0.01	0.004	-0.000251544	0.000015062	0.000006025
	663.911						
	663.905						
	663.901						
BAH04- GJZ02	449.633	-0.16	0.012	0.005	-0.000355719	0.000026679	0.000011116
	449.805						
	449.798						
	449.793						
BAH02- CPII33	949.455	-0.03	0.019	-0.002	-0.000031596	0.000020011	-0.000002106
	949.504						
	949.483						
	949.485						
BAH02- BAH01	179.249	-0.005	0.007	-0.001	-0.000027893	0.000039051	-0.000005579
	179.261						
	179.253						
	179.254						
CPII33- BAH01	981.643	-0.027	0.008	0.003	-0.000027504	0.000008149	0.000003056
	981.678						
	981.673						
	981.67						
BAH05- GJZ01	188.659	-0.031	0.004	-0.001	-0.000164291	0.000021199	-0.000005300
	188.694						
	188.689						
	188.69						

以上表格数据可知方案一和方案二的成果都有超过 2.5cm/km (即 0.000025m/m) 规范。表 6 方案一整个控制网边投影后相对变形值的绝对值都超过 0.000025m/m, 不合格率 100%, 充分说明方案一的投影方法受到高海拔和较远偏离中央子午线的影响是在国家统一坐标系下获得的坐标成果不能满足工程要求; 表 6 方案二整个控制网边投影后有 3 条控制边相对变形值的绝对值超过 0.000025m/m, 不合格率到达 30%, 说明只调整测区中央子午线为投影坐标轴建立的地方坐标系成果不能完全满足规范要求; 表 6 方案三整个控制网边投影后相对变形值的绝对值都未超过 0.000025m/m, 合格率为 100%, 充分说明方案三很好地消除了高海拔和偏离较远中央子午线对边长投影的影响^[7]。从表 6 可知高海拔对控制网的投影变形是不容忽视的, 在高海拔地区重新选择投影面与中央子午线建立高海拔地区地方独立坐标系解决投影变形满足工程建设是科学可行的。

4 结语

近年测绘地理信息科学得到飞速发展, 传统的大地测量技术应用相对不像以前那么普遍和广泛, 而在工程建设中依然很重要, 特别是西部高原地区的国家重点工程建设中, 采用统一国家坐​​标系统进行投影计算又无法满足施工精度要

求。论文提出的利用 TBC 来解算 GNSS 控制网重新选择投影面与中央子午线建立高海拔地区地方独立坐标系很好地解决了高海拔地区给控制网造成的投影变形这一问题, 上述的工程案例充分证明了此方法的可行性和科学性, 对测量作业来说此方法方便简单。

参考文献

- [1] 魏二虎, 黄劲松. GNSS 测量操作与数据处理[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2004.
- [2] 于亚杰, 赵英志, 张月华. 基于椭球膨胀法实现独立坐标系统的建立[J]. 测绘通报, 2011(12): 33-36.
- [3] 沈云中. 独立坐标系中 GNSS 网的坐标变换方法[J]. 工程勘察, 2008(1): 54-55.
- [4] 李世安, 刘经南, 施闯. 应用 GNSS 建立区域独立坐标系中椭球变换的研究[J]. 武大学学报(信息科学版), 2005, 30(10): 888-891.
- [5] 宁黎平. 高海拔地区铁路施工控制网的建立[J]. 铁道工程学报, 2008(11): 16-19.
- [6] 赵建三, 封良泉, 陈宗成. 具有抵偿面的任意带高斯投影法的应用[J]. 工程勘察, 2009(7): 59-62.
- [7] 邱云峰, 倪津. 不同投影归算面间的坐标换算[J]. 测绘通报, 2001(9): 12-13.