

各条观测基线的模糊倍率因子在1.5以上,保证卫星与接受机之间具有较强的图形强度^[3]。

(4)采集足够的观测数据。数据采样间隔为15s,每站观测时间均大于50 min,平均重复设站数为2.4,时段中任一卫星有效观测时间大于15 min。个别遮蔽明显的地方,调整了观测时间段和观测时间长度,确保信息采集充足。

(5)尽量减小人为误差影响。为减少天线安置误差,天线安置采用脚架对点器精确对中,对点误差均小于2 mm;每站观测前后各量取天线高一次,当2次量高之差小于2 mm时,取平均值作为天线高,天线高的测定采用倾斜测量方法。

3 数据处理及平差计算

3.1 基线处理方法

数据处理及平差计算采用天宝公司配备的商用软件“TGO1.6”。

(1)基线解算在WGS-84坐标系下,采用广播星历按多基线双差固定解解算,处理过程中卫星高度角大于15°。各条基线均加入了对流层延迟改正,基线长度大于5 km时加入了电离层改正。

(2)衡量基线精度的指标有比率、参考变量、RMS值。对于不能达到要求的,采用单基线双差固定解进行解算,通过提高卫星高度角、删除卫星、优化时间段和选择不同误差改正模型等方式进行处理。

(3)基线处理完成后,进行重复基线长度较差、闭合差的验算。对于超出规范限差要求的基线,采用单基线重新解算,如果通过各种手段仍不能满足限差要求,禁用此观测,同一时段观测值数据剔除率小于10%。

通过上述方法处理,海阳城区D级GPS控制网共禁用基线3条,处理后精度见表1。

表1 D级GPS网观测精度统计

RMS值		同步环全长 相对闭合差		异步环全长 相对闭合差		复测基线 长度较差	
最大	允许	最大	允许	最大	允许	最大	允许
19	20	2.0	2.3	6.8	23.5	2.7	11.0
mm	mm	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶	cm	cm

3.2 平差计算

平差计算分2步进行,首先进行无约束网平差,

再进行约束网平差。

(1)无约束网平差。在“WGS-84坐标系”下,选用测区中部“团结”的三维坐标作为起算数据进行无约束平差。无约束平差后对基线分量改正数进行了检核,均小于3δ,说明基线不存在粗差。

(2)约束平差。在80西安坐标系中进行三维约束平差,为满足投影变形小于《规范》中2.5 cm/km的要求,采用测区中心的经度121°10′作为中央子午线。平面约束采用国家二等三角点“垛山”、“黄山”、“五头山”,高程约束采用四等水准测量高程。平差后GPS网的精度见表2。

表2 D级GPS网平差后精度统计

项目	点或边	实测	限差
最弱点点位中误差	北山	±1.3cm	±5.0cm
最弱方向中误差	担杖山-北山	±1.45"	±2.5"
最弱边边长相对中误差	黑石埠河-西八里庄	1:16.3万	1:4.5万

从表2可以看出,该控制网平差结果的精度指标均满足规范的精度要求,所以此控制网的设计、施测及数据处理是成功的。

4 起算点的选择使用

4.1 平面约束控制点

(1)依据控制点间的精度,选择相吻合的控制点^[4]。分别采用单个已知控制点作为起算点平差,将平差结果与已知成果进行比较,依据最小二乘法选择中误差最小的一组,即为最相吻合的一组控制点。测区选择垛山、黄山、五头山进行平面约束。

(2)约束平差过程中,对约束使用的国家控制点质量进行检查。约束平差前后,同名基线的2类改正数相差太大,说明起算数据误差引起了GPS网变形,降低了GPS网的精度。GPS网改正数差值较差应符合下式规定: $DV\Delta X, DV\Delta Y, DV\Delta Z \leq 2\delta^{[1]}$ 。

该控制网约束平差前后同名基线长度最大较差为3.3 cm,允许±62.1 cm,符合规定规范限差,说明采用的起算点正确无粗差。

4.2 高程约束控制点

采用D级GPS点的四等水准测量高程作为高程约束。为研究高程拟合精度与起算点的空间分布、起算点数量和转换方法的关系,选择3种方案进行高程约束。

方案 A:取网中范围 50% 的 3 个水准点进行高程拟合。方案 B:取网中两端、中间 3 个且分布比较均匀的已知水准点进行高程拟合;方案 C:取网中分布比较均匀的 7 个水准点进行高程拟合。3 种方案拟合计算结果与 4 等几何水准测量的结果之差值见表 3(部分数据)。

表 3 高程约束控制点测量结果的差值(mm)

序号	点名	方案 A	方案 B	方案 C
1	北八里庄	10	4	8
5	纺机	0	-16	-13
10	后店北	18	-5	1
15	岚前坡东南	10	-15	-11
20	山口	28	3	1
25	团结	21	1	2
28	臧家东	59	21	18
	平均误差	0.023	0.011	0.010
	中误差	0.029	0.014	0.013

从表 3 可以看出:3 种方案的平均误差依次为 ± 23 mm, ± 11 mm, ± 10 mm;中误差依次为 ± 29 mm, ± 14 mm, ± 13 mm。对这个结果作如下分析:方案 A 的精度低于方案 B 的精度,显然是由起算点的空间分布造成的,即均匀分布的拟合结果优于一端分布的情况。方案 C 的精度优于方案 B 的精度,显然是由起算点的数量不同造成的,即起算点的数量越多精度越高。

5 结语

Application of GPS Measurement Technology in Controlling Districts Development in Haiyang City

CHE Qian-gang, XU Wan-Xiang, SHEN Ting, WANG Feng-ke

(No. 4 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Weifang 261021, China)

Abstract: Through position of GPS controlling network with D-grade in Haiyang district, position ways and demands of GPS controlling net are studied, accuracy controlling countermeasures for surveying of GPS, the baseline treatment method and the accuracy test are introduced in this paper. Selection methods of already known control points and problems which should be paid more attention in adjustment are studied as well.

Key words: GPS; measurment; quality control; precision; Haiyang city

(1)控制网设计时充分考虑点间的距离、网的强度、异步环的边数、最短交通路线等因素,有利于提高控制网的精度和观测效率。

(2)充分收集和合理分析使用起算点,是保证控制网精度的最关键因素之一。采用最小二乘方法选择点间误差最小的一组控制点作为起算点的方法简单可行。

(3)高程拟合精度与控制点的数量、精度、空间分布和拟合方法有关,相同拟合方法参与计算控制点的精度越高、起算点数量越多、分布越均匀,则拟合误差越小。

(4)基线处理宜采用多基线处理,对比率、参考变量、RMS 值超限的基线采用单基线处理,有利于提高基线解算精度和效率。

(5)GPS 的选点应注意卫星信号的遮避、干扰问题,尽量避开高压线、建筑物、树林、大面积水面等,观测时应关闭各类通信工具。

(6)制定观测计划、减少天线安置误差,是保证观测精度的最主要因素。

参考文献:

- [1] 徐绍铨,张华海,杨志强,等. GPS 测量原理及应用[M]. 武汉:武汉大学出版社,2003.
- [2] 孙常建,杨晓超. GPS 多路径效应规律研究[J]. 测绘通报,2006,13(11):12-15.
- [3] GB/T18314-2001,全球定位系统(GPS)测量规范[S].
- [4] 沈云中,傅晓明. GPS 网起算点坐标的兼容性分析[J]. 测绘通报,2002,9(9):10-11.