

## GPS技术在枣庄市城市控制测量中的应用

陈洪安

(枣庄市国土资源局, 山东 枣庄 277100)

**摘要:** 枣庄市城市控制测量项目采用现代大地测量的方法, 利用 D 级 GPS 控制网作为测区首级控制网和精密水准点, 选用 20 个点构成骨架网, 按照 GPS 网的可靠性指标、精度指标、效率指标, 进行优化设计; 利用 Trimble DIN112 电子水准仪进行 GPS 四等水准联测, 通过一定数量和分布均匀的 GPS/水准点进行高程拟合。该项目取得了成果精度, 完全符合 1:500 大比例尺测图的要求。

**关键词:** 控制测量; GPS 控制网; 优化设计; GPS 四等水准联测; 高程拟合; 山东枣庄

中图分类号: P209

文献标识码: A

枣庄市城市控制测量项目区位于枣庄市市中区、薛城区之间, 测区面积约为 955 km<sup>2</sup>, 主要目的是为中心城区提供基础测绘资料, 为“数字枣庄”提供准确的数据, 建立覆盖枣庄市新城区、薛城区、市中区、枣庄高新技术开发区、枣庄开发区、泰国工业园以及光明路两侧 5 km 经济区域的 D 级 GPS 控制网, 进行四等水准测量。枣庄市国土规划测绘中心于 2006 年 8 月 26 日完成了枣庄市城市 D 级 GPS 控制网、四等水准网的施测任务。

## 1 测区概况

测区地形东北高西南低, 平均海拔 80 m 左右, 属低山丘陵区, 东及东北部多山, 有袁家寨山、龙山、卓山等, 其中袁家寨山海拔 270 m, 卓山海拔 379 m。测区属温带季风型大陆性气候, 四季分明, 气候宜人。平均年降水量在 800 mm 左右, 年均气温在 14℃ 以上, 冻土深度 30 cm。测区交通便利, 京杭大运河穿境而过, 京沪铁路、京福高速公路、104 国道纵横南北, 枣薛铁路、枣曹公路及光明大道横穿东西。

## 2 GPS 网布测

### 2.1 GPS 网优化设计

根据测区实际情况, 按照《全球定位系统(GPS)测量规范》的要求, 充分利用测区及周围的 GPS B

级点 2 个, 枣庄 1599、薛城 1601; 一等三角点 1 个, 魏家楼; 二等三角点 3 个, 袁家寨山、羊山、卓山; 三等水准点 5 个。沿水准线路及二、三等水准点附近, 按照作业半径 10 km 左右布设 GPS 骨架网点 20 个, 编号以 ZZ + 顺序号; 以骨架点为参考, 按照作业半径 3 ~ 5 km 布设 GPS 点 19 个, 编号以 ZX + 顺序号, 共布设 GPS 点 39 个, 最长边 11.8 km, 最短边 2.7 km, 平均边长 4.2 km。每个 GPS 点至少与 3 个点相连, 保证有 3 条基线通过; 最简独立闭合环的边数小于 5; 增加观测期数, 保证整网具有一定量的多余观测基线, 进行 GPS 网的优化设计, 增加 GPS 网的可靠性, 提高 GPS 网的精度<sup>[1]</sup> (图 1)。

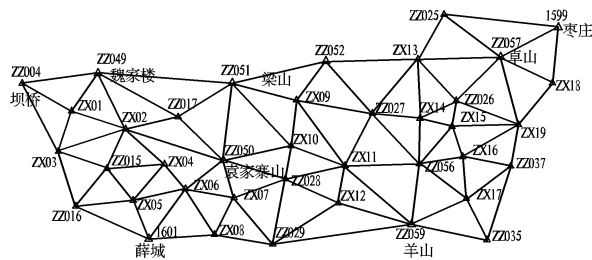


图 1 GPS 网布设图

### 2.2 GPS 外业观测

采用 4 台 GPS 双频接收机进行静态测量, 其中 2 台 Trimble 5700 接收机和 2 台 Trimble R8GPS 接收机; 标称精度为  $5\text{mm} + 1 \times 10^{-6} \times d$ 。D 级 GPS 测

\* 收稿日期: 2008-04-11; 修订日期: 2008-07-06; 编辑: 陶卫卫

作者简介: 陈洪安 (1966-), 男, 山东费县人, 工程师, 主要从事测绘管理及工程测量工作。

量技术要求为卫星截止高度角  $15^\circ$ ;同时观测有效卫星数  $\geq 4$ ,有效观测卫星总数  $\geq 4$ ;观测时段数  $\geq 1.6$ ;时段长度  $\geq 45$  min;采样间隔  $10 \sim 30$ s。根据测区情况,进行卫星可见性预报,制定观测计划,严格按 D 级 GPS 测量基本技术要求施测,骨架点的观测时段长度  $> 180$  min,其他 GPS 点观测时段长度  $> 90$  min,其点位的几何图形强度因子 PDOP  $\leq 6$ ;有效观测卫星数  $> 6$  颗;采样间隔 15 s;重复设站率为 2.0。

### 2.3 数据处理

#### 2.3.1 静态数据质量检查

每天观测结束后,及时将数据转存到计算机上,存入 GPS 静态数据文件夹。应用基线检查软件“TEQC”对 GPS 静态数据进行质量检查,以数据剔除率 5% 为标准,10% 为限差,检查有效观测卫星数是否为 6 颗以上,数据利用率是否达到 90%,剔除含粗差的观测值,并及时将 GPS 静态数据转为 RINEX 数据,存入 RINEX 数据文件夹,同时将文件备份,确保观测数据不丢失。

#### 2.3.2 基线解算

基线解算采用 GPS 接收机随机软件 Trimble Geomatics Office(TG01.6)基线处理与平差软件,基线解算前利用计算机进行 GPS 数据预处理,主要包括 GPS 卫星轨道方程的标准化;时钟多项式的拟合和标准化;观测值文件的记录格式、类型、采样密度、数据单位的标准化;对观测值进行各种模型改正;双频观测值相位线性合成为单频观测值;将同步环中每 2 台接收机同步测量的单频或合成单频载波相位形成单差分、双差分、三差分观测值;诊断、确定、修复各种组合载波相位或单频载波相位、各种差分载波相位整周跳变;平均计算每一个观测点的伪距定位坐标<sup>[1]</sup>。采用双差固定解进行解算,设置基线解算参数,确定模糊度固定原则,  $RATIO \geq 3$ ,  $RMS \leq 3$ cm,参考变量  $< 8$ 。

枣庄市城市 D 级 GPS 控制网共有基线 177 条,通过基线解算,基线最大误差 8.1 mm,该基线号为 ZZ049 - ZZ051,基线边长 11342.42 m,标准限差为 113.86 mm;最小误差为 1.0 mm。基线中误差(RMS)  $\leq 5$  mm 的有 134 条,占 75.7%;介于 5 ~ 8 mm 的有 33 条,占 18.6%;介于 8 ~ 10 mm 的有 10 条,占 5.7%。

#### 2.3.3 同步环精度统计

枣庄市城市 D 级 GPS 控制网共有 118 个同步

环,最大同步环相对闭合差为  $1.4 \times 10^{-6}$ ,允许值为  $6.04 \times 10^{-6}$ ,环号为 ZZ029 - ZX12 - ZZ059,该环平均边长 8279.667m;最小同步环相对闭合差为  $0.1 \times 10^{-6}$ 。同步环相对闭合差  $\leq 1 \times 10^{-6}$  的有 109 个,占 92.4%;介于  $1 \times 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-6}$  的有 9 个,占 7.6% (表 1)。

表 1 同步环坐标分量闭合差及环线全长闭合差精度统计

闭合差(mm)	最大值(mm)	最小值(mm)	闭合差限差(mm)
$W_x$	-4.20	-0.30	$\pm 43.51$
$W_y$	4.12	0.08	$\pm 48.92$
$W_z$	6.42	0.153	$\pm 30.05$
$W_s$	11.21	5.06	$\pm 75.36$

#### 2.3.4 异步环精度统计

枣庄市城市 D 级 GPS 控制网共有 103 个异步环,最大异步环相对闭合差为  $3.0 \times 10^{-6}$ ,允许值为  $93.48 \times 10^{-6}$ ,环号为 ZX15 - ZX16 - ZZ036,该环平均边长 3560.443m;最小异步环相对闭合差为  $0.2 \times 10^{-6}$ 。异步环相对闭合差小于或等于  $1 \times 10^{-6}$  的有 89 个,占 86.4%;介于  $1 \times 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-6}$  的有 8 个,占 7.8%;介于  $2 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-6}$  的有 5 个,占 4.8%;等于  $3 \times 10^{-6}$  的有 1 个,占 1% (表 2)。

表 2 异步环坐标分量闭合差及环线全长闭合差精度统计

闭合差(mm)	最大值(mm)	最小值(mm)	闭合差限差(mm)
$W_x$	7.856	0.603	$\pm 420.68$
$W_y$	-10.292	0.881	$\pm 415.51$
$W_z$	11.356	-0.570	$\pm 401.25$
$W_s$	20.867	8.878	$\pm 845.29$

#### 2.3.5 复测基线精度统计

枣庄市城市 D 级 GPS 控制网共有 19 条复测基线,复测基线较差最大值为 9mm,基线号为 ZX15 - ZX16,基线边长 2721.348m,复测基线较差允许值为  $\pm 82.0$ mm,复测基线较差最小值为 1.2mm。

### 2.4 GPS 网平差

#### 2.4.1 三维自由网平差

枣庄市城市 D 级 GPS 控制网利用武汉测绘科技大学的 POWER ADJ4.0 GPS 网平差软件在 WGS - 84 坐标系下进行三维无约束平差,最弱边为 ZX143132 - ZX153133,相对中误差为 1/44 万,最弱点为 ZZ059,最优点为 ZZ028。基线相对中误差  $\leq 1/150$  万的有 30 条,占 17%;介于 1/80 万 ~ 1/150 万的 134 条,占 75.7%;介于 1/50 万 ~ 1/80 万的有

11条,占6.2%; $\geq 1/50$ 万的有2条,占1.1%。基线向量改正数精度统计详见表3,三维自由网平差WGS-84坐标点位精度统计见表4。

表3 基线向量改正数精度统计

误差区间(mm)	0~1	1~2	2~4	4~6	6	
$V_{\Delta X}$	个数(个)	136	35	4	2	
	百分数(%)	76.8	19.8	2.2	1.2	
$V_{\Delta Y}$	个数(个)	112	44	17	4	
	百分数(%)	63.3	24.8	9.6	2.3	
$V_{\Delta Z}$	个数(个)	127	30	14	5	1
	百分数(%)	71.5	16.9	7.9	2.8	0.9

表4 三维自由网平差 WGS-84 坐标点位精度统计

类别	X中误差(mm)	Y中误差(mm)	Z中误差(mm)
最大值	3.493	6.519	4.527

注:最小值为0。

#### 2.4.2 二维约束平差

枣庄市城市D级GPS控制网,利用B级GPS控制点1601,1599;魏家楼,C级GPS点ZZ027,ZZ028,ZZ035作为起算点,在1980西安坐标系下进行二维约束平差计算,平差过程中采用任意点作为起算点,利用另外5点检核,其相对点位误差绝对值均小于16mm,利用B级GPS控制点1601,1599,C级GPS点ZZ028作为起算点,另3点检核,其相对点位误差绝对值均小于9mm,说明起算点内部符合精度较高,同时也对起算点进行了检核。分别采用2种方案进行平差比较,最后采用B级GPS控制点1601,1599;C级GPS点ZZ028作为起算点进行整网平差,单位权中误差为0.612mm。二维约束平差基线相对中误差 $\leq 1/150$ 万的有21条,占11.9%;介于 $1/80$ 万~ $1/150$ 万的有99条,占55.9%;介于 $1/50$ 万~ $1/80$ 万的有42条,占23.7%; $\geq 1/50$ 万的有15条,占8.5%。二维约束平差坐标点位中误差(RMS) $\leq 2$ mm的有22个点,占56.4%;介于2~3mm的有10个点,占25.6%;介于3~4mm的有7个点,占18%(表5)。

表5 二维约束平差基线分量改正数较差精度统计

误差区间(mm)	0~0.5	0.5~1	1~2	2	
$dV_{\Delta X}$	个数(个)	121	47	7	2
	百分数(%)	68.4	26.5	4	1.1
$dV_{\Delta Y}$	个数(个)	112	45	15	5
	百分数(%)	63.3	25.4	8.5	2.8

#### 2.5 高程拟合

该测区有11个点未联测四等水准,其正常高通

过高程拟合求定。利用10个分布均匀的GPS/水准点作为起算点,选取6个点作为检核点,采用二次曲面拟合的方法进行高程拟合。高程拟合内符合精度为 $\pm 16.8$ mm,外符合精度为 $\pm 20.2$ mm,拟合高程与已知高程之差最大值为26.3mm,最小值为-10.2mm。

### 3 四等水准测量

枣庄市城市控制测量项目四等水准网,采用1985国家高程基准,水准测量按照《国家三、四等水准测量规范》规定进行施测,联测GPS点32个,二等水准点2个,三等水准点22个。四等水准网路线总长度221.6km,其中附和水准路线长度117.7km,水准环线长度103.9km。四等水准使用Trimble DINI12电子水准仪进行往返观测,水准仪编号为:No 703209A,标称精度每千米往返测高差中数的偶然中误差为 $\pm 0.3$ mm;水准标尺选用条码因瓦标尺,编号为:No 31176, No 50281。水准仪和水准标尺按规定进行检校,且符合规范要求。测段高差加入正常水准面不平行的改正及水准标尺长度误差改正。高程和概略高程表的编算,由2人各独立编算1份,并校核无误,加入路线闭合差的改正。

水准网平差采用水准网间接平差程序,平差后单位权中误差为: $M_w = \pm 2.1$ mm $< 10$ mm,最弱点高程中误差为 $\pm 6.7$ mm,各项限差符合《国家三、四等水准测量规范》的要求。水准测量测段高差不符值 $\leq 1/3$ 限差的有46个测段,占70.8%;介于 $1/3 \sim 1/2$ 限差的有17个测段,占26.2%;介于 $1/2 \sim 2/3$ 限差的有2个测段,占3%。

每千米水准测量偶然中误差按下式计算:

$$M_{\Delta} = \pm \sqrt{\frac{1}{4n} \left[ \frac{\Delta \Delta}{R} \right]} = \pm 1.8 \text{mm}, M_{\Delta} < \pm 5 \text{mm}$$

式中: $\Delta$ —测段往返测或左右路线高差不符值(mm); $R$ —测段长度(km); $n$ —测段数。

四等水准测量附和路线及环线闭合差精度统计见表6,四等水准网由5条附和水准路线、4个水准环构成,附和路线及环线闭合差小于 $1/10$ 限差的有7条,介于 $1/10 \sim 1/5$ 限差的有2条。

每千米水准测量全中误差按下式计算:

$$M_w = \pm \sqrt{\frac{1}{N} \left[ \frac{WW}{F} \right]} = \pm 1.19 \text{mm}, M_w < \pm 10 \text{mm}$$

式中: $W$ —经过各项改正后的水准环或附合水准路线闭合差(mm); $F$ —水准环线周长或附合水准路线长度(km); $N$ —水准环数或附合水准路线数。

表6 附合路线及环线闭合差精度统计

路线号	闭合差 (mm)	路线长度 (km)	限差 (mm)	$WW/F$
1	-1.24	26.5	$\pm 101.19$	0.058
2	3.52	25.8	$\pm 101.59$	0.48
3	7.01	33.6	$\pm 115.93$	1.463
4	2.15	18.0	$\pm 84.85$	0.257
5	-3.69	32.1	$\pm 113.31$	0.424
6	-11.2	29.9	$\pm 109.36$	4.195
7	2.54	20.86	$\pm 91.35$	0.309
8	10.01	17.5	$\pm 83.67$	5.726
9	0.37	17.34	$\pm 83.28$	0.008
$WW/F$		221.6		12.92

## 4 结束语

GPS控制网的优化设计非常重要,为了增加GPS网的可靠性,提高GPS网的精度,应适当增加观测期数,增加多余观测和独立基线数,保证一定的重复设站率,每个GPS点至少与3条以上独立基线相连,短基线边直接进行同步观测,网中最小异步环的边数不大于6条,为提高整个网的精度,选一定数量的GPS点构成骨架网。

GPS网平差应对起算点进行内部符合性检核,选用精度高的起算点,舍去精度低的已知点,利用外部已知点进行检核,提高二维约束平差的整体精度。

GPS高程拟合应选用一定密度并分布均匀的GPS/水准点作为起算点,每隔3~5点有1个GPS/水准点,设计几种拟合方案,综合考虑已知点的精度,内符合精度,外部检核精度以及未知点的精度,确定最优方案。枣庄市城市控制测量项目高程拟合成果精度达到四等水准测量精度的要求。

Trimble DINI12电子水准仪是水准仪、图像处理系统、微处理器等构成的光电测一体化的高科技产品,具有高精度、高速度的优点,不但能消除读数误差,还能自动记录,进行数据处理,自动化程度较高,随着电子水准仪在测绘生产中的推广应用,将极大地改善测绘生产条件,提高生产效率。应用时注意利用仪器内置的程序进行检校,1角每天检验一次,并进行1角自动改正;观测时,还应经常检查前后视距差、前后视距积累差,防止超限。

枣庄市城市控制测量项目采用现代大地测量的方法,利用GPS定位系统、电子水准仪等先进设备进行施测,D级GPS控制网、四等水准网成果精度较高,且与国家大地测量基础框架相一致,完全满足1:500大比例尺测图的需要,为第二次土地调查、“数字枣庄”建设提供了测绘基础资料,具有重要的经济效益和社会效益。

## 参考文献:

- [1] 魏二虎,黄劲松. GPS测绘[M]. 武汉:武汉大学出版社,2003.

# Application of GPS Technology in City Controlling Surveying Measurement in Zaozhuang city

CHEN Hong - an

(Zaozhuang Bureau of Land and Resources, Shandong Zaozhuang 277100, China)

**Abstract:** City controlling surveying measurement project in Zaozhuang city is carried out by using modern geodetic methods, using GPS network with D level as first controlling network, primary standards of precision and control network as GPS, and choosing 20 points to set up skeleton of network. In accordance with reliability indicators, accuracy indicators, efficiency indicators of GPS network, optimizing design is carried out as well. Four levels of GPS standards of measurement are carried out by using trimble DINI12 electronic level. Through the accuracy statistics, project achievements are analyzed and evaluated comprehensively. If height fitting is carried out by using a certain number of GPS standard fitting elevation points with uniform distribution, measurement accuracy with the four level will be gained.

**Key words:** Controlling surveying; GPS; optimizing design; precision analysis; height fitting