

# The Application and Research of GPS Three-Dimensional Information in Mountain Area Aerial Photogrammetric Mapping

Shaobo Zhong, Tingting Qu, Ming Chen

Hydrogeology and Engineering Geology Team of Hubei, Yichang Hubei  
Email: [zhong1840@sina.com](mailto:zhong1840@sina.com)

Received: Jun. 7<sup>th</sup>, 2015; accepted: Jun. 22<sup>nd</sup>, 2015; published: Jun. 29<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

Using GPS three-dimensional information to determine the method and precision of control point coordinates of the photograph, and through the implementation of industry sector three-encryption detection and the analytic space work inside and outside, we prove that the method not only meets the 1:10,000 scale precision aerial mapping, but also improves the efficiency of 3 - 10 times more than traditional union measuring method. For survey areas under difficult visibility conditions and with less known large places, using multiple GPS control points is the best method.

## Keywords

GPS Photo-Control Point Measurement, Accuracy, Three-Dimensional Information, GPS Baseline, Applied Research

---

# GPS三维信息在山区航测成图中的应用与研究

钟少波, 屈婷婷, 陈 明

湖北省水文地质工程地质大队, 湖北 宜昌  
Email: [zhong1840@sina.com](mailto:zhong1840@sina.com)

收稿日期: 2015年6月7日; 录用日期: 2015年6月22日; 发布日期: 2015年6月29日

## 摘要

利用GPS三维信息确定像片控制点坐标的方法和精度,经内业解析空三加密和外业实施地检测,证明该方法不仅能够满足1:10,000比例尺航测成图的精度要求,而且较传统联测方法可提高工作效率3~10倍。对于通视条件困难和已知大地点较少的测区,用GPS联测像控点无疑是最佳方法。

## 关键词

GPS像控测量, 测量精度, 三维信息, GPS网基线, 应用研究

## 1. 引言

随着GPS定位技术不断发展,坐标平面精度已达到非常高的精度要求,并广泛应用于控制测量、大地形变测量等,由于受地域性大地水准面和电离层等因素影响,GPS高程精度在某些地区还不能满足规范要求,目前,在很多国家和地区GPS水准在平坦、低丘地区达到实际应用阶段,但在山区和丘陵,GPS测量高程信息还很少被利用,在本文GPS像控测量中,不仅满足1:10,000比例尺国家基本地形图成图需要,而且大大提高了野外作业效率。

## 2. 测区概况

测区位于东经112°01'00"~112°18'28",北纬30°51'50"~31°09'00"范围内,包含平地、丘陵、山地,面积约2100 km<sup>2</sup>,困难类别为III类,测区地形因受地质构造的影响,形成半圆形盆地,北、东、南三面环山,中西部为丘陵,整个地势由东向西倾斜,西部最低处海拔164 m,东南部最高处海拔994 m。

测区内共包括1:10,000比例尺标准图80幅。

测区航摄资料为1994年航摄,像幅23 cm × 23 cm,航摄仪类型为RMK-A,焦距f为153.018 mm,摄影比例尺为1:35,000。航线沿图幅中心线布设,一条航线横跨一幅图,全区共包括12条航线。

测区内地形类别为:丘陵地17幅,由地60幅,高山地3幅,其基本等高距分别为2.5 m、5 m、10 m,测区平面系统为1980年西安坐标系,高程系统为1985年国家高程基准。

## 3. GPS 像控测量

### 3.1. 像控点布设

首先根据不同成图方法和区域网布点的作业要求划分作业区域,全区共划分为5个区域。平高控制点按区域网法布设,其航向间跨度不大于6条基线。旁向间跨度不大于2条航线。高程控制点根据不同成图方法分别布设。其中对含有8幅全能法成图的II区,按平高区域网加密布设高程控制点、航线两端上下有一对高程控制点,其间再布设三排高程控制点。对III、IV、V区中5幅全能法成图的图幅。高程控制点按全野外布设。其他区域因采用正射影像图套合原地貌版的成图方法,故外业不再布设高程控制点。

全测区共布设平高控制点31个,高程控制点29个(图略)。

### 3.2. 像控点 GPS 测量

#### 1) GPS 网布设

根据地形类别和成图方法,对位于丘陵地区(II区)的9个平高控制点和全部高程控制点采用光电测距

导线的方法求得。本文不再赘述。位于山区或高山区的 22 个平高控制点用 GPS 方法求得。根据像控点的分布情况, GPS 网分两网布设, 其中北部网(W<sub>1</sub>)共包括 10 点, 平均边长 9.5 km; 东南部网(W<sub>2</sub>)共包括 22 点, 平均边长 11.7 km。GPS 布网情况见表 1 (网图略)。

## 2) GPS 数据采集

GPS 数据采集使用 3 台 Trimble4600LSGPS 接收机(标称精度 5 mm + 1 × 10<sup>-6</sup> D)同步观测, 每时段观测 1 h。同步接收卫星个数最多 8 颗, 最少 5 颗, 卫星高度角均大于 15°, 数据采样率为 15 s, PDOP 值最大为 5.4, 接收机与卫星间的图形强度良好。

## 3) GPS 网基线向量检核

GPS 网基线向量的解算使用随机软件 GPSurvey2.11 在微机上进行, 各基线向量的模糊度检验倍率 Ratio 值(质量因子)一般在 20 以上, 全部基线均为固定双差解(Fixed)。

基线向量的检核包括同步环和复测基线两类, 其限差按《全球定位系统(GPS)测量规范》(以下简称《GPS 规范》)执行, 即:

同步环[1]:

$$w_x = w_y = w_z \leq \frac{\sqrt{3}}{5} \sigma \quad (1)$$

$$w_{\text{环}} = \sqrt{w_x^2 + w_y^2 + w_z^2} \leq \frac{3}{5} \sigma \quad (2)$$

复测基线:

$$w_{\text{复}} \leq 2\sqrt{2}\sigma \quad (3)$$

式中,  $\sigma = \sqrt{5^2 + (1 \times 10^{-6} D)^2}$ ,  $D$  为平均边长, 以 km 为单位。

GPS 网同步环闭合差及复测基线较差情况分别见表 2 和表 3。

从表 2、表 3 可以看出, GPS 网基线解算精度较高, 完全满足《GPS 规范》的限差要求, 质量可靠。

## 4) GPS 网平差计算

GPS 网平差计算使用 GPSurvey2.11 软件在微机上进行。

### ① 三维无约束平差

GPS 网三维无约束平差在 WGS84 坐标系中进行。其目的在于考核 GPS 网的内部符合精度, 亦即处理由于多余观测误差而引起的网内不符值问题。GPS 网中全部基解向量均参与平差计算, 并顺利通过  $\chi^2$  检验和 T 检验, 说明泰沂测区 GPS 网内部符合精度比较高, 观测值不含粗差, 由各向量解所确定的协方差阵的相互比例关系合理, 结果正确。

### ② 二维约束平差

GPS 网二维约束平差在国家二、三等三角点约束下进行[1]。为了检核基点(已知点)及 GPS 网的可靠性, 在 GPS 数据采集时联测了二等(补充)三角点 1 个, 二级军控点 2 个, 在平差计算时作为未知点处理, 用以比较 GPS 坐标与原坐标的差值。平差中 GPS 网能比较好地符合于基准点上。说明 GPS 网的观测精度及原二、三等三角点的点位精度均比较好。平差后点位中误差及检查点的坐标较差情况见表 4。

## 5) GPS 网高程拟合

由于测区内供联测的已知点较少, GPS 网高程拟合采用平面拟合法。W<sub>1</sub> 网已知高程点 4 个, 其中用于拟合基准点 3 个。检查点 1 个(均为水准点); W<sub>2</sub> 网已知高程点 6 个, 其中用于拟合基准点 4 个(3 个水准点、1 个三角高程点)、检查点 2 个(均为三角高程点)。检查点高程拟合结果与已知高程之差为: W<sub>1</sub> 网

Table 1. GPS network deployment statistics

表 1. GPS 网布设情况统计表

网名	总点数	已知点数	三维约束点数	同步环个数	复测基线条数	边长		
						最长	最短	平均
W <sub>1</sub>	10	4	3	8	7	16.2	2.7	9.5
W <sub>2</sub>	22	6	4	2	19	15.1	2.8	11.7

Table 2. Synchronous loop closure statistics m/m

表 2. 同步环闭合差统计表 m/m

网名	项目	最大	最小	平均	限值
W <sub>1</sub>	ΔX	2.8	0.1	1.6	
	ΔY	2.2	0	1.4	±3.7
	ΔZ	3.0	0.2	1.8	
	Δ环	5.4	0.3	2.6	±6.4
W <sub>2</sub>	ΔX	3.6	0	2.1	
	ΔY	3.2	0.2	1.8	±4.4
	ΔZ	4.1	0.2	2.2	
	Δ环	6.0	0.6	3.0	±7.6

注：上表内同步环闭合差均为绝对值。

Table 3. GPS point accuracy and checkpoint coordinate poor statistics

表 3. 复测基线较差统计表

网名	较差			
	最大	最小	平均	限值
W <sub>1</sub>	20.7	1.6	11.4	±30.3
W <sub>2</sub>	32.2	1.0	16.2	±35.9

Table 4. GPS point accuracy and checkpoint coordinate poor statistics

表 4. GPS 点位精度及检查点坐标较差统计表

网名	点位中误差/cm		检查点最大坐标较差/cm	
	平均	最弱	ΔX	ΔY
W <sub>1</sub>	±1.0	±2.2	-6.9	+4.2
W <sub>2</sub>	±1.2	±2.5	+8.8	-17.1

+0.042 m, W<sub>2</sub>网中两点分别为+0.158 m 和-0.310 m。从 3 个高程检查点的高程较差情况看, 在山区的局部区域, 即使采用平面拟合法, 其高程精度也完全满足 1:10,000 测图需要。

#### 4. 内业加密及精度检验

根据外业布设的平高控制点的 GPS 三维成果, 按照规范要求对成图所需的高程点进行了解析空三内业加密。为了检核外控点的精度和满足正射影响像制作的需要, 对外业实测的 11 个高程检查点和从原 1:10,000 地形图上选取的明显地物点也一并进行了内业高程加密。各区域基本定向点、多余控制点的

符值及公共点较差、区域接边差均符合《GB/J13990-92 1:5000、1:10,000 地形图航空摄影测量内业规范》(以下简称《航内规范》)的要求,详见表 5。

解析空三内业加密经平差配赋后各平高控制点(Pi)、高程控制点(Gi)的加密高程值与外业实测值之较差及原 1:10,000 地形图上明显地物点(Li)的加密高程值与原高程值之较差情况见表 6。

因为外业实测像片控制点(包括平高控制点和高程控制点)和内业加密点均含有误差,所以像片控制点的高程中误差为[1]:

$$m_h = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{2n}} \quad (4)$$

式中:  $n$  为表 6 中像片控制点高程不符值个数,  $n = 60$ 。

如果我们将像片控制点的外业实测高程值作为似真值,则内业加密高程中误差为:

$$m_h' = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}} \quad (5)$$

按(4)、(5)计算的像片控制点的高程中误差和内业加密高程中误差分别是 $\pm 0.355$  m 和 $\pm 0.502$  m,远高于《航内规范》的精度要求。

为了检查像片控制点和内业加密点的精度,内业加密高程与实测值较差均在 $\pm 1.0$  m 以内,平均为 $\pm 0.328$  m,也完全符合《航内规范》的精度要求,详见表 7。

## 5. 结论

1) 从表 5~7 的各项精度统计看,利用 GPS 三维信息求定像控点的位置,其精度完全满足 1:10,000 和 1:5000 比例尺航测成图的需要。就本文的像控点精度而言,绝大部分图幅已达到了 1:2000 比例尺航测成图的精度要求。

2) 在用传统方法进行像控点联测时,往往需要做大量的过渡点,工作效率比较低,而采用 GPS 方法联测,因不受地形和通视条件的影响,工作效率比传统方法可高 3~6 倍;而对于隐蔽地区和已知大地点较少的测区,其工作效率可提高 10 倍以上[2]。

3) 采用传统方法测定像控点,因受加密级次、作业员素质、地形条件等多种因素的影响,其点位精度因点而异,且常伴有粗差;而用 GPS 方法直接测定像控点坐标,避免了逐级控制误差的传递积累,点位精度高且均匀一致,成果可靠。

Table 5. Analytical aerial triangulation precision statistics

表 5. 解析空三加密精度统计表

区域	地形	基本定向点不符值				多余控制点不符值				公共点较差				区域接边缘			
		平面/mm		高程/m		平面/mm		高程/m		平面/mm		高程/m		平面/mm		高程/m	
		一般	最大	一般	最大	一般	最大	一般	最大	一般	最大	一般	最大	一般	最大	一般	最大
I	山地	0.03	0.09	0.01	0.35	-	-	-	-	0.08	0.35	0.50	2.00	0.04	0.40	0.50	2.01
II	丘陵	0.02	0.10	0.05	0.35	0.03	0.11	0.03	0.62	0.05	0.24	0.50	1.91	0.10	0.45	0.50	0.98
III	山地	0.01	0.09	0.31	0.60	0.01	0.03	0.20	0.42	0.05	0.14	0.40	2.70	0.10	0.35	0.80	2.54
IV	山地	0.05	0.35	0.18	1.37	-	-	0.15	1.71	0.05	0.19	1.00	3.62	0.15	0.37	1.00	2.76
V	山地	0.05	0.21	0.50	1.21	-	-	0.50	1.50	0.05	0.22	0.50	1.48	0.20	0.40	1.00	2.50

**Table 6. Interior work encryption elevation accuracy statistics/m**  
**表 6. 内业加密高程精度统计表/m**

区号	地形	点号	不符值	点号	不符值	点号	不符值	点号	不符值	点号	不符值
I	山地	P1	-0.019	P2	0	P3	+0.051	P4	+0.085	P5	+0.174
		P6	-0.256	P7	+0.196	P9	+0.059	P11	+0.193	G8	-0.115
		G10	-0.318	L1	+0.205	L3	+0.431	L4	-0.487	L5	-0.392
		L6	+0.071	L7	-0.034	L9	-0.060	L10	-0.251	L11	+0.076
		P7	+0.103	P9	-0.350	P11	-0.265	P19	+0.263	P21	+0.259
II	丘陵	P23	-0.201	P33	-0.174	P35	+0.371	P37	-0.085	L14	-0.143
		L15	+0.407	L16	-0.002	L17	-0.656	L18	+0.132	L20	-0.383
		L22	+0.370	L26	-0.387	L27	+0.016	L28	+0.103	L29	+0.238
		L30	-0.273	L31	+0.179						
III	山地	P11	-0.019	P12	-0.066	P13	+0.066	P23	-0.155	P24	+0.103
		P25	-0.225	P37	-0.171	P40	+0.153	P41	-0.086	G18	-0.092
		G31	+0.288	G32	-0.570	G38	+0.599	G39	-0.537		
IV	山地	P33	+0.480	P35	+1.271	P37	+1.020	P51	-0.122	P52	-0.555
		P53	+0.227	P56	+0.318	P57	-0.713	P58	+0.367	G34	-1.312
		G36	-0.202	G44	-0.289	G48	+0.351				
V	山地	P37	-0.025	P40	+1.041	P41	-0.497	P53	-0.598	P54	+0.764
		P55	-0.535	P58	-0.634	P59	+1.063	P60	-0.633	G38	+0.072
		G39	-0.797	G49	-0.756	G50	+1.162				

**Table 7. Elevation checkpoint elevation discrepancy statistics/m**  
**表 7. 高程检查点高程较差统计表/m**

点号	实测值	加密值	较差	点号	实测值	加密值	较差
A003	197.076	197.191	+0.115	A404	172.090	171.957	-0.133
A203	178.720	179.690	+0.970	A412	214.061	214.505	+0.444
A102	303.787	304.657	+0.870	A413	203.171	203.754	+0.583
A205	183.490	184.389	+0.899	A515	203.260	202.400	-0.860
A305	183.491	181.562	+0.071	A516	191.191	191.507	+0.316
A306	194.552	194.890	+0.338	平均值			+0.328

4) 因为 GPS 方法可同时获得平面坐标和高程三维信息,所以联测像控点时可不区分平高控制点和高程控制点,而统一按平高控制点布设,这样在区域网解析空三加密时,可将多余的控制点作为检查点,则能更方便、有效地考查像控点和加密点的精度。

5) 本文所述 II 区的像控点是用传统方法施测的,从表 6、表 7 的精度统计看,与其他各区用 GPS 方法联测像控点的精度相当,没有明显差异,从而也说明 GPS 方法联测像控制点经济、可靠、且与传统方法可同时使用。

6) 在局部山区 1:10,000 比例尺成图中, GPS 高程采用平面拟合法即可达到精度要求;但对于比例尺

成图, 则一般需在测区周围和中部至少联测 6 个水准高程点, 采用曲面拟合法求取各 GPS 点的正常高, 以确保 GPS 高程拟合的精度[3]。

7) 从本文的解析空三加密及高程检查点的精度情况看, 像控点的精度还不能满足 1:2000 及更大比例尺航测成图的要求, 因此, 对于大比例尺航测成图中 GPS 三维信息的利用问题, 还有待进一步试验研究。

### 参考文献 (References)

- [1] 刘大杰, 施一民, 过静 (1996) 全球定位系统(GPS)的原理与数据处理. 同济大学出版社, 上海.
- [2] 潘宝玉, 傅文祥 (1998) GPS 网网形结构对点位精度影响的试验研究. *测绘通报*, 2, 12-14.
- [3] 潘宝玉, 丁先伟 (1996) GPS 水准高程拟合的精度研讨. *地矿测绘*, 2, 6-13.