

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

Received: Jun. 7th, 2015; accepted: Jun. 22nd, 2015; published: Jun. 29th, 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

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 km²,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(W₁)共包括 10 点, 平均边长 9.5 km; 东南部网(W₂)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 × 10⁻⁶ 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 χ^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。W₁ 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); W₂ 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: W₁ 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 ₁	10	4	3	8	7	16.2	2.7	9.5
W ₂	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 ₁	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 ₂	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 ₁	20.7	1.6	11.4	±30.3
W ₂	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 ₁	±1.0	±2.2	-6.9	+4.2
W ₂	±1.2	±2.5	+8.8	-17.1

+0.042 m, W₂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/T 13990-92 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 ± 0.355 m 和 ± 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 ± 1.0 m 以内,平均为 ± 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								
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.