

# 湖北民族学院桂花园校区全球定位系统控制网的建立

张前勇, 沈作奎

(湖北民族学院 生物科学与技术学院, 湖北 恩施 445000)

**摘要:** 根据全球定位系统技术建立湖北民族学院桂花园校区全球定位系统控制网, 其中包括网的布设方案、作业设计和数据处理方法, 分析了网的实测精度及注意事项. 实测结果表明, 该全球定位系统控制网具有良好的精度, 满足了学校地形测量、工程测量和土地规划发展的需要.

**关键词:** 全球定位系统控制网; 基线解算; 高程拟合; 全球定位系统网平差

**中图分类号:** P 228

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1008-8423(2006)02-0202-04

全球定位系统(Global Positioning System, GPS)技术在测量领域已得到广泛的应用, 与传统的测量作业模式相比, 由于 GPS 技术具有定位精度高、全天候、操作简便、布网自由度大以及自动化程度高等优点, 所以 GPS 技术正在逐步取代传统的常规测量方法, 在建立大地控制网方面技术及作业流程已趋成熟.

在测量中, GPS 技术最初主要用于高精度大地测量和控制测量, 建立各种类型和等级的测量控制网. 现在 GPS 除了继续在这些领域发挥着重要作用外, 还在测量领域的其它方面得到充分的应用, 如用于各种类型的施工放样、测图、变形观测、航空摄影测量、海测和地理信息系统中地理数据的采集等. 尤其是在各种类型的测量控制网的建立方面. GPS 定位技术已基本上取代了常规测量手段, 成为了主要的技术手段. 现在, 我国采用 GPS 技术布设了新的国家大地测量控制网, 很多城市也都采用 GPS 技术建立了城市控制网. 该 GPS 控制网的建立, 可以满足学校地形测量, 工程测量和土地规划发展的需要, 也可用于三角高程测量、平面控制测量和地籍测量以及建筑物的变形、沉降的监测等<sup>[1]</sup>.

## 1 GPS 网的设计与施测<sup>[2, 3]</sup>

### 1.1 首级 GPS 网设计

湖北民族学院桂花园校区为典型窄长带状地形, 为尽量提高网精度, 采用 3 个国家级的四等点(4172, 4162, 4152)布设 11 个 E 级 GPS 点.

### 1.2 施测

根据卫星星历数据得出的卫星可见性预报, 预计了在观测时可捕捉到卫星的状况, 根据规范对 E 两级网的要求, 采用静态相对定位, 同步时间为 70min, 观测 2 个时段.

根据卫星可见性预报结果, 结合测区的交通条件、GPS 网设计网形及测站的位置, 制定观测计划. 在外业观测过程中应注意的问题有: ① 观测组按照调度表规定时间作业, 保证同步观测; ② 开机前后各量取天线高一测回, 每测回从不同部位量取三次, 两测回天线高之差不得大于 3mm; 天线高的量取部位, 在作业前统一规定, 并在记录簿中详细记录; ③ 在作业过程中, 要认真输入测站名、观测日期、时段号、开关机时间以及天线高等信息; ④ 一个时段观测中, 不得关机又重新启动、自测试、改变卫星高度角及数据采样间隔、改变天线位置, 关闭或删除文件等; ⑤ 原始观测值和记录项目, 按规定现场记录, 字迹清楚, 不得涂改、转抄.

## 2 外业观测成果检核

观测成果的外业检核<sup>[4, 5]</sup>是确保外业观测质量, 实现预期定位精度的重要环节. 外业观测成果的质量检

收稿日期: 2006-02-07

基金项目: 国家自然科学基金资助(40274005).

作者简介: 张前勇(1958-)男, 副教授, 主要从事测绘科学研究.

核项目,主要有同步边观测数据的检核、重复观测边的检核、同步环闭合差的检核和异步环闭合差的检核四项.

### 2.1 同步边观测数据的检核

同步边是指接收机设于基线两端,通过多历元同步观测,经平差计算的基线边.对其检核的内容包括:观测数据的剔除率和观测值的残差分析.

根据不同的精度要求,剔除率一般应不超过 5% ~ 10%.残差分析可利用随机软件输出的残差分析图来完成.从桂花园校区控制网的残差分析图来看,不论采用自动处理模式还是手工处理模式,载波相位观测值中的残差均未超过 0.1周,且残差图未出现跳跃现象.因此基线向量的处理是成功的.

### 2.2 重复观测边的检核

同一基线边,若观测了多个时段 ( $\geq 2$ ),则可得到多个基线变成.这种具有独立观测结果的基线边,称为重复边.本 GPS控制网最多的观测时段为 2.校区控制网中重复观测的统计数据见表 1.

表 1 重复观测边的统计数据

Tab 1 Statistical data of surveying side

相对精度区间	> 1/10万	1/10万 ~ 1/50万
边数	16	13
百分率 /%	55.1	44.9

从重复观测边的角度来看,控制网的外业观测质量是合格的.

### 2.3 同步环闭合差的检核

由多台接收机同步观测的结果所构成的闭合环为同步环.由于同步环中各边是不独立的,从理论上来说环闭合差应恒为零.但由于处理软件的不完善,或计算各同步基线边时数据取舍的差异,使得这种同步环的闭合差实际上仍可能不为零.这种闭合差的数值一般很小,应不至于对定位的结果产生明显的影响,因此也可能把它作为外业成果质量的一种检核标准,其统计结果见表 2.

表 2 同步环闭合差的统计

Tab 2 Statistics of synchronous closed loop difference

相对精度区间 / $\times 10^{-6}$	0.0~0.5	0.5~1.0	1.0~2.0	> 2.0	最大值
闭合环个数	1	3	5	22	510.3
百分率 /%	3.2	9.6	16.1	71.1	

由表 2可知,从同步环闭合差的检验结果来看, GPS控制网的外业观测质量是合格的.

### 2.4 异步环闭合差的检核

GPS网异步闭合差的统计结果见表 3.

表 3 异步闭合差的统计

Tab 3 Statistics of asynchronous closed loop difference

相对精度区间 / $\times 10^{-6}$	0.0~0.5	0.5~1.0	1.0~2.0	> 2.0	最大值
闭合环个数	1	0	2	129	525.5
百分率 /%	0.75	0	1.5	97.75	

由表 3可知,从异步环闭合差的检验结果来看, GPS控制网的外业观测质量是合格的.

通过上述 4个方面对外业观测成果的检验,结果表明,湖北民族学院桂花园校区控制网的外业观测质量符合《GPS规程》的要求,为下一步进行 GPS的精度分析提供了可靠的原始数据.

## 3 GPS网平差处理及精度评价<sup>[7~9]</sup>

### 3.1 GPS网无约束平差

质量检核符合要求后,以独立基线组成闭合图形、以三维基线向量及其相应方差协方差作为观测信息、以一个点的 WGS-84三维坐标起算为依据,进行 GPS网无约束平差.平差后,提供 WGS-84的三维坐标、各基线向量三个坐标差观测值的改正数、基线边长以及点位和边长信息.

所谓 GPS网的空间无约束平差是指平差在 WGS-84三维空间直角坐标系下进行,平差时不引入可能使 GPS网产生由非观测测量所引起的变形的外部约束条件.具体地说,就是在进行平差时,所采用的起算条件不超过三个. GPS网的无约束平差处理使用的是 TGO 随机软件.平差的目的是: 1 根据无约束平差的结果,

判别构成 GPS 网的基线是否有粗差基线. 若有, 则进行相应处理, 直到所有基线向量均满足质量要求; ° 调整各基线向量观测值的权数, 使之相互匹配. 经过无约束平差后具体的结果见表 4 坐标改正数统计表

Tab 4 Statistics of coordinate correction

分布情况 / 个	改正区间 /mm			最大中误差 /mm
	0~ 10	10~ 50	> 50	
$v_x$	42	4	0	18.234
$v_y$	40	6	0	27.727
$v_z$	42	4	0	22.566

由表 4 可以看出,  $x$  坐标、 $y$  坐标、 $z$  坐标的中误差都小于 50mm 由此可见, 三维无约束平差后, 点位精度非常高, 而且精度比较均匀. 以上结果表明, GPS 网具有较高的内部符合精度, 观测值不含有明显粗差, 基线向量解所确定的协方差阵相互间的比例关系合理, 可以作进一步数据处理.

在无约束平差的基础上, 可进行二维约束平差. 约束点的已知坐标、距离和方位, 可作为强制约束的固定值, 也可作为加权观测值. 本控制网以点 0003(3353142, 500028.821, 478.983) 为已知点平差后输出基线向量改正数、基线长度、方位精度、转换参数及精度等有关信息. 约束平差时, 基线向量的改正数与剔除粗差后的无约束平差结果的同名基线相应改正数的较差, 应满足条件:  $dV_{\Delta x} \leq 2\delta$   $dV_{\Delta y} \leq 2\delta$   $dV_{\Delta z} \leq 2\delta$

### 3.2 高程拟合

选取 GPS 网中的 3 个国家四等点为起始点进行高程拟合计算, 参数拟合高程 - 1.600 ≤ 023 内符合精度中误差 58.482mm 表 5 列出了高程拟合后各点的正常高和大地高.

表 5 高程拟合后各点的正常高和大地高及误差

Tab 5 Normal height and land height and error after elevation matching

点号	正常高(高程)	大地高	Rms/mm	点号	正常高(高程)	大地高	Rms/mm	点号	正常高(高程)	大地高	Rms/mm
4172	454.744	456.331	3.651	0002	460.435	462.035	3.672	0006	448.934	450.534	3.326
4152	475.437	477.008	3.262	0001	461.890	463.490	3.457	TSG1	445.518	447.118	4.841
4162	450.372	452.048	3.922	0005	464.874	466.474	3.381	MP01	471.128	472.728	3.635
0003	478.983	480.583	2.426	A011	436.864	438.464	3.834	YOUY	461.743	463.343	3.587
D001	435.966	437.566	3.208	B000	447.552	449.152	3.683				

### 3.3 精度评价

GPS 网的精度是以平差后的各项中误差来表征的, 其指标有验后单位权中误差、点位中误差以及边长相对误差. 本 GPS 控制网经空间无约束平差后, 单位权中误差为 84.228mm 表 6、7 分别为桂花园校区控制网经无约束平差后, GPS 网中点误差和边长相对中误差的统计结果.

表 6 GPS 网点位中误差统计

Tab 6 Statistics of errors in GPS network positions

误差区间 /m	0~ 1.0	1.0~ 2.0	2.0~ 3.0	3.0~ 4.0	4.0~ 5.0	5.0~ 6.0	最大值
点数	3	1	4	3	2	1	5.613
百分率 /%	21.43	7.14	28.57	21.43	14.29	7.14	

表 7 边长相对中误差统计

Tab 7 Statistics of errors in side length

相对区间精度	1/1万 ~ 1/10万	1/10万 ~ 1/50万	最大值
边数	34	12	1/20944
百分率 /%	73.8	26.2	

## 4 结语

(1) 本 GPS 控制网采用“框架网”形式将基准点连接起来, 并根据基线的长短确定观测时段和时间, 在今后的 GPS 定位技术建网中可能推广应用;

(2) 经过与已知点和检测点的比较, GPS 网的高程拟合精度为 58.5mm 达到了《城市测量规范》中四等水准的精度指标要求, 说明应用了 GPS 技术同时建立平面、高程控制网已成为现实, 并具有较好的精度可靠性; 为 GPS 技术在三维测量以及形变监测网的应用开辟了广阔的前景;

(3) GPS 控制网选点灵活, 布网方便, 基本不受通视、网形的限制, 特别是在地形复杂、通视困难的测区,

更显其优越性.但由于测区条件较差,边长较短(平均边长不到 300m),基线相对精度较低,个别边长相对精度大于 1/10 000 因此,当精度要求较高时,应避免短边,无法避免时,要谨慎观测;

(4)GPS接收机观测基本实现了自动化、智能化,且观测时间在不断减少,大大降低了作业强度,观测质量主要受观测时卫星的空间分布和卫星信号的质量影响.但由于各别点的选定受地形条件限制,造成树木遮挡,影响对卫星的观测及信号的质量,经重测后通过.因此,应严格按有关要求选点,择最佳时段观测,并注意手机、步话机等设备的使用;

(5)GPS测量的数据传输和处理采用随机软件完成,只要保证接收卫星信号的质量和已知数据的数量、精度,即可方便地求出符合精度要求的控制点三维坐标.但由于联测已知高程点较少,致使的控制点高程精度较低.因此,要保证控制点高程的精度,必须联测足够的已知高程点.

### 参考文献:

- [ 1 ] 刘基余,李征航,王跃虎,等.全球定位系统原理及其应用[M].北京:测绘出版社,1993
- [ 2 ] 余学祥,吕伟才.GPS平面坐标转换精度评定[J].勘察科学技术,1998(6):48~53
- [ 3 ] 韩红太.矿区GPS控制网的建立与精度分析[J].中州煤炭,2004(2):4~5
- [ 4 ] 赵长胜.GPS控制网优化设计系统[J].现代测绘,2003,26(5):6~8
- [ 5 ] 顾晓林,贾文景.GPS控制网的设计与应用[J].物探装备,2003,13(3):193~198
- [ 6 ] 王建敏,石金峰,王鸿雁.GPS网的优化设计与粗差剔除[J].辽宁工程技术大学学报,2003,22(2):192~195
- [ 7 ] 林峰,刘文忠.GPS技术在城市控制测量中的应用[J].东北测绘,2001,24(2):40~42
- [ 8 ] 傅文祥,潘宝玉.GPS网不同加密方式对点位精度影响的探讨[J].测绘通报,1999(3):5~7
- [ 9 ] 崇浩,陈宝江.GPS水准高程拟合精度的探讨[J].江苏测绘,1999,22(1):18~21.

## Establishment of Global Positioning System Control Network in Guhuayuan Campus of Hubei Institute for Nationalities

ZHANG Qian-yong SHEN Zuo-kui

( College of Bioscience and Technology, Hubei Institute for Nationalities, Enshi 445000, China )

**Abstract** This paper introduced establishment of Global Positioning System (GPS) control network in Guhuayuan Campus of Hubei Institute for Nationalities involving network layout plan, operation design and data processing method. The measurement result shows this GPS control network has excellent accuracy and can meet the demand of topographic surveying, engineering surveying and land planning.

**Key words** GPS control net; the base-line solution and calculation; elevation matching; GPS network adjustment