

# GPS 控制网多方案平差比较研究

钟国敏<sup>1,2</sup>, 王金鑫<sup>1,2</sup>, 张学雷<sup>1,2</sup>

(1. 郑州大学 水利与环境学院, 河南 郑州 450001; 2. 郑州大学 自然资源与生态环境研究所, 河南 郑州 450001)

**摘要:** GPS 测量以其全天候、高精度、自动化、高效益等特点, 已逐步取代了最初的常规大地测量和工程测量。文章以某大学新校区首级控制网为例, 在 Pinnacle 软件的支持下用三种方案对控制网进行了平差, 得出了各测站点的坐标。研究与分析结果表明: 采用战役模式的基线解算方案, 平差精度最高, 其结果为控制网的最终优选结果, 可应用于该大学新校区的后期规划与建设。

**关键词:** GPS 测量; GPS 数据处理; 控制网平差; 精度分析

**中图分类号:** P228.4      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1672 - 5867(2012)01 - 0047 - 04

## Comparative Research of GPS Control Network Adjustment among Multi - Scheme

ZHONG Guo - min<sup>1,2</sup>, WANG Jin - xin<sup>1,2</sup>, ZHANG Xue - lei<sup>1,2</sup>

(1. College of Water Conservancy and Environmental Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;

2. Institute of Natural Resources and Eco - environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** GPS survey has substituted for the initial routine geodetic survey and the engineering survey gradually because of its speciality, such as all - weather, high accuracy, automation, high benefit and so on. Taking the primary control network of a university new campus as an example, the paper used three programs to adjust the control network with the support of the Pinnacle software, and then obtained the coordinates of each measured site. Research and analysis results show that the campaign mode adjustment program, which calculates all the independent baseline solution at one time, receives the highest accuracy. As a result, the final results of that mode can be applied to the subsequent planning and construction of the case study of the university new campus.

**Key words:** GPS measurement; GPS data processing; control network adjustment; accuracy analysis

## 0 引言

近 40 多年来, 由于卫星测量的发展, 特别是 GPS 全球卫星定位系统的成功建立和应用, 使测绘经历了一场深刻的技术革命。无论是在定位精度、使用条件、应用范围, 还是在经费节省、人力物力的减少等方面都产生了巨大的飞跃和进步, 因此各国竞相研究并相继使用这种技术和方法<sup>[1]</sup>。

由于 GPS 技术所具有的全天候、高精度和自动测量的特点, 作为先进的测量手段和新的生产力, 已经融入了国民经济建设、国防建设和社会发展的各个应用领域。GPS 在军事领域中精确制导军事目标, 在交通运输业中导航定位, 在测量领域中建立全球性参考框架, 在精细农业

和林业中被广泛应用等, 这些无一不显示了 GPS 广阔的发展前景<sup>[2]</sup>。

## 1 GPS 控制网平差概述

GPS 控制网是由相对定位所求得的基线向量而构成的空间基线向量网, 在 GPS 网的数据处理过程中, 基线解算所得到的基线向量仅能确定 GPS 网的几何形状, 但却无法提供最终确定网中点的绝对坐标所必需的绝对位置基准, 所以要进行控制网平差<sup>[3]</sup>。具体步骤为: 用 Pinnacle 软件将观测数据导入并进行过滤后, 对其进行基线解算使其符合精度要求, 然后进行控制网的无约束平差和约束平差运算, 分别得出各测站点在 WGS - 84 坐标系和西安 80 坐标系下的坐标<sup>[4]</sup>。

收稿日期: 2010 - 11 - 25

基金项目: 河南省重大公益基金项目(081100911600 - 1) 资助

作者简介: 钟国敏(1987 - ), 女, 河南信阳人, 土地资源管理专业硕士研究生, 主要研究方向为地理信息与资源评价。

通讯作者: 张学雷(1960 - ), 男, 江苏沛县人, 教授, 博士, 1999 年毕业于福建师范大学自然地理学专业, 2002 年中国科学院、台湾国立台湾大学博士后出站, 主要从事土壤资源与地理信息系统教学与研究工作。

控制网平差能改善 GPS 网的质量, 评定 GPS 网的内部符合精度, 能消除由观测量和已知条件中所存在的误差而引起的 GPS 网在几何上的不一致, 确定 GPS 网中点在指定参照系下的坐标以及其他所需参数的估值, 并为将来可能进行的高程拟合提供经过了平差处理的大地高数据。

## 2 多方案平差精度比较

### 2.1 某大学首级控制网简介

本测量区域位于某市西四环郊区, 气候干燥多雨, 昼夜温差大。该区域为长方形, 占地面积为  $323 \text{ hm}^2$ , 建筑面积为  $165 \times 10^4 \text{ m}^2$ , 内有假山, 东边有眉湖, 测区内建筑比较密集, 校内绿树成荫, 风光秀丽。该区由于是新建, 地处郊区, 人流稀少, 所以整体交通很通畅, 在测量的两天气温高达  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ 。该大学内部的 10 个站点分别为 ZD01, ZD02, ZD03, ZD04, ZD05, ZD06, ZD07, ZD08, ZD09, ZD10, 其中 ZD01 和 ZD03 为已知地方坐标点。

根据控制网设计原则, 对该校区 10 个测站点进行了控制网网形设计以及实地布测。此控制网一共有 8 个观测时段, 构成的三角网中共有 8 个同步环和 2 个异步环, 24 条基线, 16 条独立基线, 5 条重复基线。8 个同步环分别为 ZD02 - ZD06 - ZD08, ZD02 - ZD08 - ZD01, ZD01 - ZD08 - ZD10, ZD01 - ZD07 - ZD10, ZD03 - ZD04 - ZD05, ZD03 - ZD05 - ZD09, ZD05 - ZD06 - ZD09, ZD02 - ZD04 - ZD07; 2 个异步环分别为 ZD01 - ZD02 - ZD07, ZD02 - ZD04 - ZD05 - ZD06。设计的网形如图 1 所示。

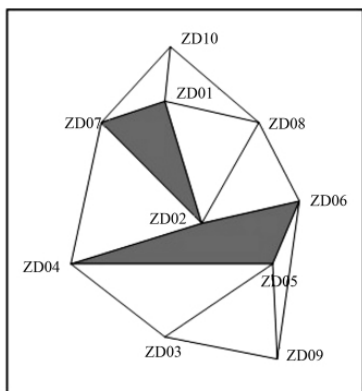


图 1 新校区 GPS 控制网

Fig. 1 GPS control network of the new campus

### 2.2 GPS 数据采集

本次外业观测使用拓普康 Hiperpro 3 台套接收机观测, 型号分别为 0416, 0434 和 0140, 采用 GPS 静态测量技术<sup>[5]</sup>, 按照设计的 GPS 控制网分组分时段进行观测。观测共分为 8 个时段, 上午观测 1~5 时段, 下午观测 6~8 时段, 每个时段采用 3 台接收机同时观测, 采样间隔为 15 s, 截止高度角为  $15^\circ$ , 每个时段持续 40~45 min, 要保证每个时段同时进行观测, 即各个同步环的 3 个站点应该同时开机和关机。为提高观测质量和避免信号被影响, 早上应早起进行观测, 避开中午电离层比较活跃的时

段; 下午尽量晚收工。在进行观测时首先要安置天线, 尽量把支架架得高一些, 这样有利于卫星信号的接收, 减少误差<sup>[6]</sup>。支架一定要对中整平, 观测时天线的定向指标要指向正北以减弱相位中心偏差的影响, 一般控制在  $\pm 5^\circ$  以内。开机观测前应对接收机进行预热, 还要查看卫星的数量, 一般情况下卫星数超过 4 个就能开机进行观测了。在进行同步观测时, 应尽量使各个接收机同时开始观测, 3 个接收机的重复时段不应少于 40 min, 仪器高一定要在测前和测后各量一次, 并及时记入观测手簿。

### 2.3 多方案设计

本次控制网平差运算分三种不同的方案进行, 下面详细论述各种方案平差的方法。

1) 方案一: 分时段解算基线向量, 将所有基线向量拖至网平差栏进行平差。

该种方案是将导入的数据经过滤后分时段进行基线向量的解算, 即采用时段模式解算基线, 然后将所有解算后的基线向量全部拖至网平差栏进行平差运算。

2) 方案二: 分时段解算基线向量, 人为挑选一组独立基线向量进行网平差。

该方案是在分时段解算基线向量后的基础上自己挑选一组独立基线向量拖至网平差栏进行的网平差计算。本次观测共有 8 个观测时段, 该方案是从每个观测时段中挑出两条独立基线向量, 再从其余基线中挑选两条中误差较小的基线向量, 共用 18 条基线向量进行网平差计算。

3) 方案三: 整体解算基线向量, 将基线向量整体拖至网平差栏进行平差。

该方案中的基线向量解算是整体进行的, 也就是所谓的战役模式。在整体解算基线时软件会自动选择一组独立的基线进行解算, 将基线向量整体解算后拖至网平差栏进行网平差运算<sup>[3]</sup>。

### 2.4 多方案平差精度比较

1) 基线向量解算后重复基线的中误差比较(见表 1)。

表 1 重复基线的中误差

Tab. 1 The probable error of redundant baselines

基线	误差	分时段解算基线向量			整体解算基线向量		
		中误差/mm			中误差/mm		
ZD01 - ZD10	三时段	0.7	0.6	1.8	0.5	0.5	1.2
	四时段	0.7	0.6	1.4			
ZD03 - ZD05	五时段	0.7	0.6	1.8	0.6	0.6	1.4
	六时段	0.8	0.8	1.7			
ZD05 - ZD09	六时段	1.2	1.0	1.9	0.8	0.8	1.6
	七时段	0.7	0.9	2.1			
ZD08 - ZD01	二时段	0.8	0.7	1.8	0.8	0.7	1.8
	三时段	0.6	0.5	1.4			
ZD08 - ZD02	一时段	1.8	1.4	4.1	1.8	1.4	3.7
	二时段	2.2	1.7	4.5			

由表 1 可以看出, 采用时段模式(分时段解算基线)和战役模式(整体解算基线)都能反映出同步观测基线间

的统计相关性。整体解算基线向量后重复基线的中误差介于分时段解算基线向量的两个不同时段的中误差之间,这是因为整体解算基线向量时,软件会自动选择一组

独立的基线进行解算,从而对重复基线的中误差进行了中和,避免了结果在几何上的一致性<sup>[7-8]</sup>。

2) 无约束平差坐标的中误差比较(见表 2)。

表 2 不同方案无约束平差后各测站点坐标中误差比较

Tab. 2 The comparison among the probable error of each measured site's coordinates under non-restraint adjustment of different plans

点名	中误差点 (mm)	方案一			方案二			方案三		
		S(N)	S(E)	S(U)	S(N)	S(E)	S(U)	S(N)	S(E)	S(U)
ZD01	0.4	0.4	1.1	0.4	0.4	1.1	0.5	0.4	1.1	
ZD02	0.6	0.6	1.6	0.8	1.8	1.9	0.6	0.6	1.5	
ZD03	0.6	0.6	1.6	1.0	1.0	2.3	0.5	0.5	1.2	
ZD04	0.5	0.5	1.2	0.7	0.6	1.6	0.4	0.4	1.0	
ZD05	0.6	0.5	1.4	0.9	0.8	2.0	0.4	0.4	1.0	
ZD06	0.5	0.5	1.3	0.6	0.5	1.4	0.3	0.3	1.0	
ZD07	0.5	0.4	1.1	0.6	0.5	1.3	0.4	0.4	0.9	
ZD08	0.4	0.4	1.1	0.4	0.4	1.2	0.4	0.4	1.1	
ZD09	0.9	0.8	1.8	1.0	0.9	2.2	0.5	0.5	1.2	
ZD10	0.4	0.4	1.2	0.5	0.4	1.3	0.4	0.4	1.0	

由表 2 可以看出,三种方案无约束平差后各个点坐标的中误差相差不多。相对来说,方案三无约束平差后各点坐标的中误差最小,方案一次之,方案二的中误差最大。方案一的误差比较接近方案三。因为本次无约束平差没有约束条件,所以无约束网平差调整了各基线向量观测值的权,从而确定出了各个点位的相对位置关系,使得各点位坐标的中误差相比较而言差别不大。

3) 控制网约束平差的误差分布比较(如图 2、图 3、图 4 所示)。

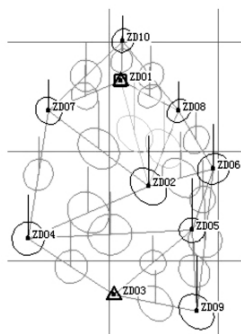


图 2 控制网误差椭圆图(方案一)

Fig. 2 Error ellipse map of control network( Plan 1)

由图 2、图 3、图 4 可以看出,对于不同的测站点和不同基线,误差椭球大小不同。误差椭球半径的大小除了与从该点出发的基线数量有关外,还与该测站点附近的环境有关。同一测站点和同一基线在不同方案下平差后的误差椭圆大小也不完全一样。比如 ZD03 - ZD05 这条基线,在方案一和方案三中都是重复基线,但是方案三中的误差椭圆要比方案一中小一些,因为方案三中是将基线整体平差,解决了不同时段相同基线解的不一致性,从而使得基线解算更为精确,所以误差椭圆相对小一些。

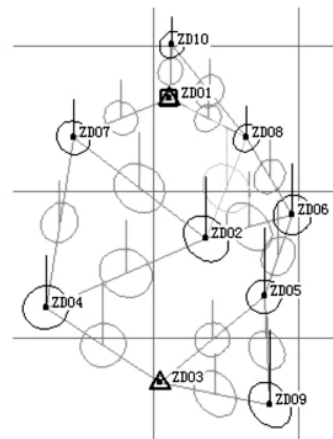


图 3 控制网误差椭圆图(方案二)

Fig. 3 Error ellipse map of control network( Plan 2)

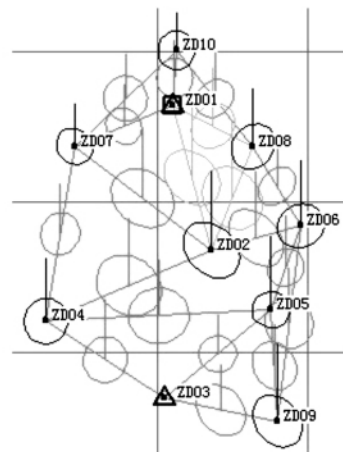


图 4 控制网误差椭圆图(方案三)

Fig. 4 Error ellipse map of control network( Plan 3)

再比如对于 ZD09 点,方案二中的误差椭圆要比方案一和方案三中的大一些,因为方案二中从该点出发的基线数是 2 条,方案一和方案三中都是 3 条,从某一测站点出发的基线数越多,误差越小<sup>[9]</sup>,所以导致方案二中该点的误差椭圆相对大一点。

#### 4) 约束平差平面坐标比较

由于约束平差时固定了已知地方点 ZD01 和 ZD03 的平面坐标,所以 3 个方案中这两点的平面坐标都是相同的。其他点的坐标虽然不同,但很接近,坐标差都在毫米级,最大为 1.9 mm,最小为 0.01 mm。因为网平差是在基

线解算的基础上进行的,由于方案三的基线解算精度最高,所以平差后的坐标精度也相对较高。总体来说,方案一和方案三的结果相对较接近一些,坐标差相对小一些。

#### 5) 约束平差海拔高程比较

约束平差时虽固定了两个点的平面坐标,但只固定了一个点(ZD01 点)的高程,所以 3 个方案中 ZD01 点的高程是相同的,其他各点高程相差很小,最大为 2.6 mm,最小为 0.1 mm。总体来说,方案一和方案二的结果相对较接近一些,坐标差相对小一些。

#### 6) 约束平差 3 维坐标的中误差比较(见表 3)。

表 3 不同方案约束平差后各测站点坐标的中误差比较

Tab.3 The comparison among the probable error of each measured site's coordinates under restraint adjustment of different plans

中误差点	方案一			方案二			方案三		
	S(N)	S(E)	S(U)	S(N)	S(E)	S(U)	S(N)	S(E)	S(U)
ZD01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZD02	0.8	0.8	2.1	0.9	0.9	2.5	0.7	0.7	2.0
ZD03	0	0	2.3	0	0	3.1	0	0	2.0
ZD04	0.7	0.7	1.9	0.9	0.9	2.1	0.6	0.6	1.6
ZD05	0.5	0.5	2.2	1.0	1.0	2.9	0.5	0.5	1.9
ZD06	0.6	0.7	1.9	0.8	0.9	2.1	0.6	0.6	1.7
ZD07	0.6	0.5	1.3	0.7	0.7	1.6	0.5	0.5	1.1
ZD08	0.5	0.5	1.2	0.6	0.6	1.3	0.6	0.6	1.5
ZD09	0.7	0.7	2.3	1.2	1.1	3.0	0.6	0.6	2.0
ZD10	0.5	0.5	1.0	0.5	0.5	1.1	0.5	0.5	1.0

由表 3 可以看出,方案三约束平差后所得到的各点坐标的中误差最小,这是因为用方案三进行平差时所用的基线向量是由整体解算得到的结果,在整体解算中重复基线的中误差被中和了,避免了几何上的不一致性,由此精度相对要高一些。方案二约束平差后所得到的各点坐标的中误差最大,因为用方案二进行平差时所用的基线向量是从方案一解算后的基线向量中挑选的一部分基线向量,由于挑选基线时对整体基线之间的相互影响考虑甚少,所以导致精度较低。

### 3 结束语

本次网平差所采用的方案中,第三种方案精度最高,由于方案三的基线解算采用的是战役模式,也就是对基线进行整体解算,在整体解算中重复基线的中误差被中和了,解决了不同时段相同基线解的不一致性,数学模型最为严密,所以精度相对要高一些。方案二的精度最低,因为方案二的基线解算采用的是时段模式,也就是对基线进行分时段解算,虽然基线解算方式和方案一的一样,但是网平差时方案二是从解算后的基线中挑取独立的基线进行平差的。由于挑取基线时对整体基线之间的相互影响考虑甚少,所以导致精度较低。方案一把所有基线都参与了平差,由于包含有相关基线,其平差结果不能完全反映其实际情况,所以不易采用。

综上所述,方案三的结果为控制网的最终优选结果,可应用于该大学新校区的后期规划与建设,也可为该大学虚拟校园工程提供空间定位框架。

### 参考文献:

- [1] 周建郑. GPS 测量定位技术与教学[J]. 黄河水利职业技术学院学报,1997(3):23-25.
- [2] 刘三枝,李明峰,冯宝红.《GPS 定位技术及其应用》课程教学改革研究[J]. 矿山测量,2005(2):64-66.
- [3] 李征航,黄劲松. GPS 测量与数据处理[M]. 武汉:武汉大学出版社,2005.
- [4] 北京合众拓普科技发展有限公司. Pinnacle 用户手册[G]. 北京:2008.
- [5] 李天文. GPS 原理及应用[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [6] 谢东,郝宏斌. 仪器高对 GPS 工程控制网平差结果的影响[D]. 第三届中国国际数字城市建设技术研讨会论文,2007.
- [7] 熊启生,张坤鹏,王智超. 影响 GPS 基线解算结果的因素分析及应对措施[J]. 国土资源,2008(S1):1-2.
- [8] 向虎雏. GPS 同步基线性质和功能的研究及其实践[J]. 武汉测绘科技大学学报,1994,19(2):125-140.
- [9] 刘铁标. 单控制点起算 GPS 控制网分析与应用[J]. 西部探矿工程,2008,20(9):184-186.

[编辑:宋丽茹]