

# 基于 RTK 加密的 GPS 工程平面控制网布设

王继刚<sup>1</sup>, 焦明连<sup>1</sup>, 吕秀健<sup>2</sup>

(1. 淮海工学院 空间信息科学系, 江苏 连云港 222001; 2. 连云港开发区勘察事务所, 江苏 连云港 222047)

**摘要:**随着 RTK 技术的普及, 基于 RTK 加密的 GPS 工程平面控制网的布设已成为一个具有重要现实意义的技术问题。基于此, 研究了控制网的基本单元图形以及实际作业中应如何保证网的精度和可靠性等问题。为了估算控制网的精度, 使用蒙特卡罗法得到单位权中误差, 并得出具有实际意义的精度指标主要包括边长相对中误差、点位绝对中误差和相对中误差, 最后给出了一个基于 RTK 加密的 GPS 工程平面控制网的布设实例。

**关键词:**RTK; GPS; 控制网; 蒙特卡罗; 精度

**中图分类号:** P 228. 4; P 221

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1007 - 9394(2008)01 - 0023 - 03

## Design of GPS Control Network Based on RTK Densifying

WANG Ji-gang<sup>1</sup>, JIAO Ming-lian<sup>1</sup>, LU Xiu-jian<sup>2</sup>

(1. Dept. of Spatial-Information Science, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang Jiangsu 222001, China; 2. Lianyungang Development Zone Reconnaissance Office, Lianyungang Jiangsu 222047, China)

**Abstract:** With the popularization of RTK Technology, the problem that GPS plane control network is densified by RTK is becoming important and realistic. The basic unit sketch is studied in this paper. In the meantime, how to guarantee the reliability and accuracy is discussed in practice. In order to assess the accuracy, Monte Carlo method is used to get the mean square error of unit weight, and discussed the main precision index includes: side length relative mean square error, mean square error of points and relative mean square error between points, at last, an actual example is given.

**Key words:** RTK; GPS; control network; Monte Carlo; accuracy

### 0 引言

近年来由于 GPS 系统进一步稳定和完善, 计算机技术和其他相应学科的迅猛发展, GPS 技术也随之愈来愈稳定成熟, 该项技术优点日益凸现, 其在测绘精度、速度和经济效益方面都大大优于目前的常规测量技术手段, 已成为工程测量的主要方法。对于级别高的控制测量由相对静态定位技术完成, 而随着 RTK 接收机价格的合理性, 应用 RTK 技术进行实时定位可达到厘米级的精度, 很多生产单位已把 RTK 技术作为低等级测量的主要手段。

在具体的实践生产过程中, 由于受传统控制思路, 以及现行规范不匹配的影响, 相应资料较少, 导致基于 RTK 的 GPS 控制网效益还没有达到最优化。还存在如网形的布设形式、提高精度的方法、衡量精度指标等问题尚需要研究。

本文结合临港产业区开发建设需要, 布设了 1 条基于 RTK

方法加密的控制网, 并对该网的布设进行了探讨, 希望对基于 RTK 加密的 GPS 控制网的布设有所裨益, 进一步推动 GPS 在测绘生产实践中的应用。

### 1 RTK 作业特点

RTK 作业的精度除了受 GPS 系统本身的误差影响外, 还受数据链误差的制约, 因此, RTK 作业时, 为了保证质量, 应注意以下问题:

- 1) RTK 测点应选择在开阔处, 避开高压线及大功率发射台、树木、高大建筑物等。
- 2) RTK 作业过程中, 有效卫星个数应不少于 5 个, PDOP 值不应大于 6。
- 3) 为了实现坐标的转换, 要在一定数量的已知点做观测, 因此选择不同的点初始化, 所得的转换参数不同。换句话说, 转换参数具有区域性。



4) RTK 测量精度和观测历元的多少没有必然的联系<sup>[1]</sup>。

利用 RTK 加密控制点时,除了考虑上述问题外,还要兼顾如下两个问题:

1) RTK 在加密控制点时宜采用快速对中三角支架,以提高 RTK 对中的精度;条件允许的情况下,可以采用三脚架基座对中。

2) 利用双基站法对每个加密点进行两次观测,取其平均值作为最终成果,既可提高精度又可确保成果的可靠性。

## 2 基于 RTK 技术加密的 GPS 控制网设计

### 2.1 GPS 控制网设计概述

GPS 网的设计包括网形构造、精度、基准等方面的设计,此外,对于外业工作还要考虑其他因素。无论何种方法布设控制网都要遵循控制测量的原则即分级布网、逐级控制;要有足够的精度和密度;要有统一的规格。

目前的 GPS 控制测量,基本上都采用相对定位的测量方法,对于高等级的工程 GPS 控制网宜采用边连式或网连式。当  $T$  台接收机同步观测获得的同步图形产生  $T(T-1)/2$  条基线时,其中只有  $(T-1)$  条是独立基线。

同步图形闭合不能作为衡量精度的指标,但它反映野外观测质量和条件的好坏。异步图形闭合条件和重复基线坐标闭合条件是衡量精度、检验粗差和系统差的标准<sup>[2]</sup>。

### 2.2 网形设计分析

RTK 数据链是一个球面波,在水平面上的投影是圆,半径为数据链作用的有效性长度。但是圆不能无重叠无缝隙覆盖一不规则区域,在实际布设工程中可以考虑用圆内接正多边形代替圆,常用的图形有正三角形、正四边形和正六边形。从布网的角度出发,现将这 3 者的特点列出,如图 1 所示。


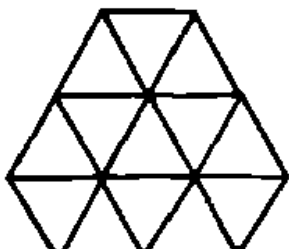
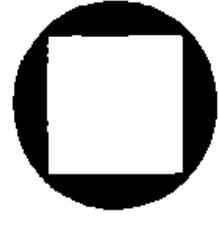
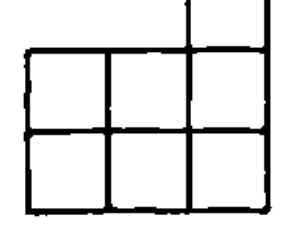

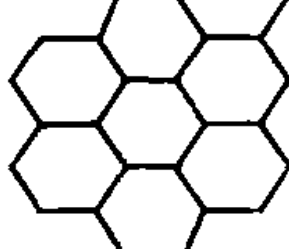
名称	图形	多边形占圆面积的比例	连接方式
正三角形		41%	
正四边形		64%	
正六边形		83%	

图 1 RTK 加密最有利的图形分析

Fig. 1 RTK densification most advantageous figure analysis

从图 1 可以明显看出正六边形具有明显的优点,同时整个控制网精度也很均匀。

以上的讨论适合面状区域,对于带状区域,可以考虑用圆内接四边形的思路来解决这个问题。如果是带宽非常小的区域,如公路、铁路、河道等,可考虑用矩形做为基本图形。

### 2.3 实践工作中提高网可靠性的方法

实践工作中提高网可靠性的方法有:

1) 增加观测时段数。在布设 GPS 网时,适当增加观测时段数对于提高 GPS 网的可靠性非常有效<sup>[3]</sup>。

2) 保证一定的重复设站次数。重复设站可确保 GPS 网的可靠性。不过,需要注意的是,当同一台接收机在同一测站上连续进行多个时段的观测时,各个时段间必须重新安置仪器,以更好地消除各种人为操作误差和错误。

3) 保证每个测站至少与 3 条以上的独立基线相连。在布设 GPS 网时,各个点的可靠性与点位无直接关系,而与该点上所连接的基线数有关,点上所连接的基线数越多,点的可靠性则越高。

### 2.4 提高网精度的方法

提高网精度的方法主要有:

1) 为保证 GPS 网中各相邻点具有较高的相对精度,对网中距离较近的点一定要进行同步观测,以获得它们间的直接观测基线。

2) 在布网时要使网中所有最小异步环的边数不大于 6 条。

3) 与尽可能多的高等级点联测如国家 A、B 级网,各省市的 C 级网,这样可以确保网起算点的绝对精度、尺度精度和方位精度。

4) 当无法与高等级点联测时,为提高 GPS 网的尺度精度,可采用增设长时间、多时段的基线向量方法或在布设 GPS 网时,引入高精度激光测距边。

## 3 网的精度估算

### 3.1 单位权中误差

目前较为通行方法是用 GPS 网中点之间的距离误差来表示,其形式是<sup>[4]</sup>:

$$\sigma = \sqrt{a^2 + (b \cdot d)^2} \quad (1)$$

式中:  $\sigma$  为网中点之间的距离的标准差(mm);  $a$  为固定误差(mm);  $b$  为比例误差系数( $10^{-6}$ );  $d$  为两点之间的距离(km)。规范中规定了不同的级别控制网,选择不同的  $a$ 、 $b$  值。

这样规定有利于保证控制点的精度,但是对于控制网的精度估算和优化就显得不是很方便。习惯上用使用单位权中误差  $\sigma_0$  (或规范规定的测角、量边精度),进行精度估算。事实上,在进行 GPS 控制网精度设计时,运用蒙特卡罗方法即统计模拟方法提供了解决  $\sigma_0$  的好方法。该方法的核心是产生高质量的随机数,借助于计算机技术的发展,产生高质量的随机数已经变得很容易,(如我们常用的 Excel 和 Matlab 软件,都能很快地生成高质量的正态随机数)。根据前文所述的方法可以设计出观测



网形,得到系数矩阵A。同时可以从仪器标称的 $a, b$ 值获得每条观测边的中误差,又考虑到误差服从均值为零的正态分布,利用软件产生标准正态随机数,使之与 $\sigma_i$ 相乘,即可以获得 $v_i$ ,那么:

$$\sigma_0 = \pm \sqrt{\frac{[P_i v_i v_i]}{n-t}} \quad (2)$$

由于观测值具有随机性质,因此每次得到的结果不尽相同,可以考虑多次模拟取均值。有了 $\sigma_0$ 控制网的精度估算,问题就相对简单了,根据 $\sigma_0$ 的大小适当调整观测值,进而达到优化设计的目的。

### 3.2 GPS控制网的精度指标

事实上有了 $\sigma_0$ 和未知点坐标的协因数阵 $Q_{xx}$ ,控制网的精度估算问题就基本解决。对于点间相对误差可以用相对误差椭圆来表示,但传统的控制测量习惯关心的是最弱边相对中误差,顾及到RTK转换参数的区域性,使不同区域间的转换参数精度相当,我们还应考虑点位绝对中误差和相对点位中误差,以满足现行规范对点位中误差的要求。两点间的坐标差的协因数阵可表述为<sup>[5]</sup>:

$$\Delta Q = \begin{bmatrix} Q_{\Delta x \Delta x} & Q_{\Delta x \Delta y} \\ Q_{\Delta y \Delta x} & Q_{\Delta y \Delta y} \end{bmatrix} \quad (3)$$

那么相对点位精度用两点间的边长表示为:

$$\sigma_s^2 = \frac{\sigma_0^2}{S^2} (\Delta x^2 Q_{\Delta x \Delta x} + \Delta y^2 Q_{\Delta y \Delta y} + 2\Delta x \Delta y Q_{\Delta x \Delta y}) \quad (4)$$

即获得了平差后边长相对精度:

$$K_s = \sigma_s / S \quad (5)$$

利用(3)式可求得相对点位中误差:

$$\sigma_c = \sigma_0 \sqrt{Q_{\Delta x \Delta x} + Q_{\Delta y \Delta y}} \quad (6)$$

### 4 工程实例

测区地处连云港经济技术开发区内,面积约130 km<sup>2</sup>,呈东北至西南带状走向,地形起伏小,适宜RTK方法作业。测区的基准选择了3个高等级GPS点B01、B02和B03,按照RTK作业半径,结合实地踏勘,选择了A01~A16点,边连式布网,平均边长5.7 km,按照D级要求观测,如图1所示。在实际作业中,选取了4台水平标称精度为 $(5+1 \times 10^{-6} D)$  mm的接收机施测,为了保证点的可靠性和交通调度的需要,每一个同步环均观测两次,要求两时段间要关闭接收机,重新整平对中,这样每一个同步图形中可以产生6条独立基线,按照传统的测边网,正好构成了大地四边形。

依据测边网的精度估算方法,利用蒙特卡罗方法得到 $\sigma_0 = \pm 5.6$  cm,16个新点中,最弱点为A16,点位中误差为4.9 cm,最小点位中误差为1.8 cm,平均点位中误差为3.1 cm。A16点相对于A15、A14和A13三点的相对点位中误差分别为2.8 cm、3.4 cm、2.7 cm,相应的3条边长的相对中误差为1/30万、1/90万、1/38万。从以上指标来看,该网达到D级GPS各项精度要求,相当于四等测边网的精度。

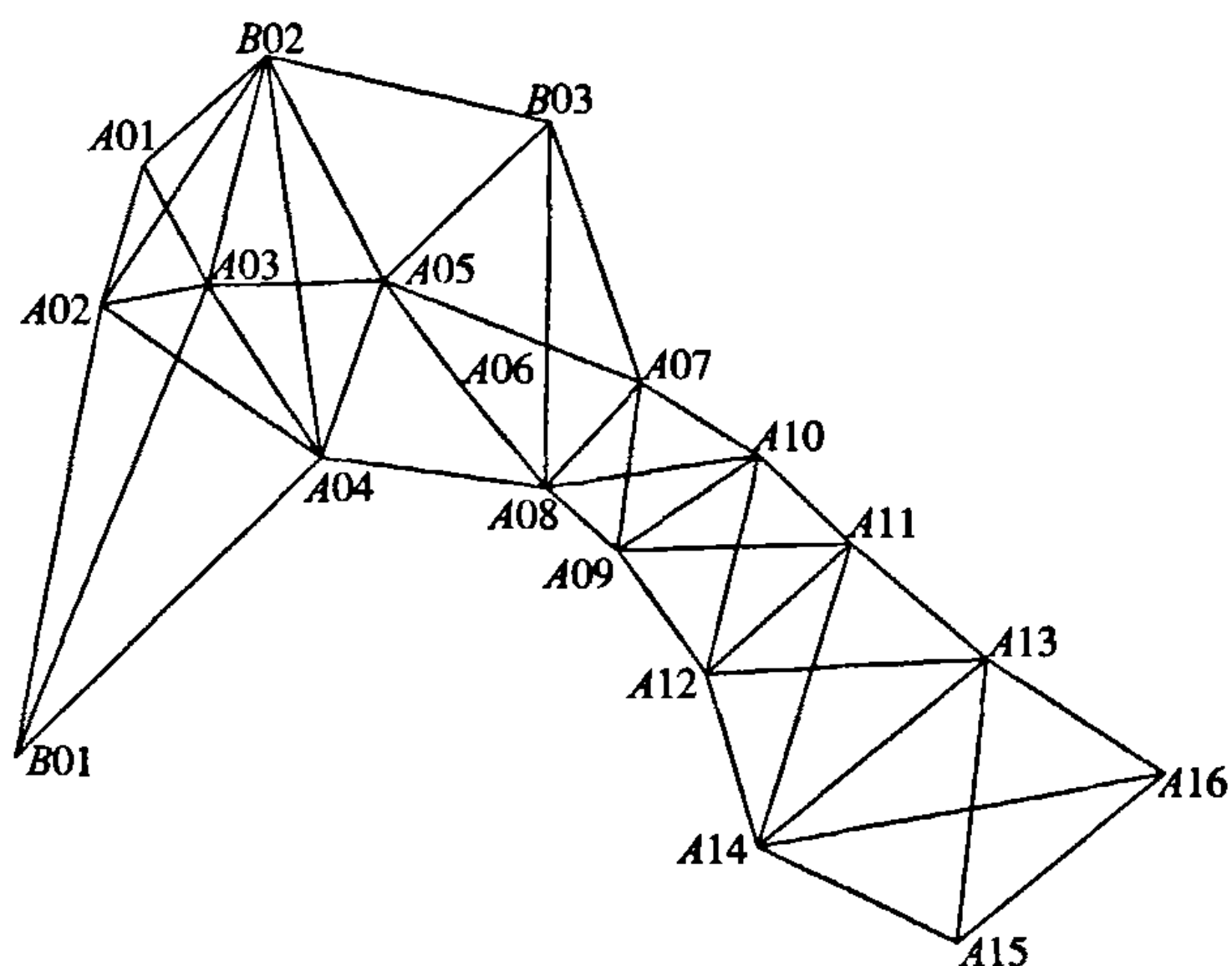


图2 临港产业区控制略图

Fig. 2 Control network sketch map of Lingang industrial zone

该控制网于2007年1月完成,完成后用商业随机软件解算,精度均优于上述估计结果。

### 5 结束语

通过理论分析和实践应用,对RTK技术加密GPS控制网的布设得出以下建议:

1) 基于RTK加密的GPS控制网连接方式以正六形和矩形为主。对于面状区域,采用正六边形为基本图形连接。对于带状的区域,采用矩形连接方式。

2) 在控制网精度估算时,可以运用蒙特卡罗方法得到单位权中误差。同时精度指标宜使用边长相对中误差、点位绝对精度和点位相对精度,这既符合传统习惯,又有利于控制RTK点的精度。

需要指出的是,本文只是从实用的角度出发,提出了在生产中的一些切实可行的方法,方便生产作业,对于控制网的优化和设计理论未深入的研究和探讨。希望同仁能够继续在这方面作出努力,进一步深入研究,提出更规范化的理论。

### [参 考 文 献]

- [1] 张振军,等. RTK测量精度评定方法研究[J]. 测绘通报,2007,(1):26~28.
- [2] 张勤,李家权,等. GPS测量原理及应用[M]. 北京:科学出版社,2005. 126~130.
- [3] 魏二虎,黄劲松. GPS测量操作与数据处理[M]. 武汉:武汉大学出版社,2004. 2~10.
- [4] GB/T 18314-2001,全球定位系统(GPS)测量规范[S].
- [5] 周秋生. 测量控制网优化设计[M]. 北京:测绘出版社,1991. 65~70.

作者简介:王继刚(1973~),男,黑龙江伊春人,硕士,讲师,现主要从事GPS技术的应用研究。