

文章编号: 0494-0911(2011)07-0009-03

中图分类号: P221

文献标识码: B

# 高精度 GPS 控制网基线重复性检验与质量分析

黄功文,王 斌,王延伟

(国家测绘局 大地测量数据处理中心 陕西 西安 710054)

## Baseline Repeatability Test and Quality Analysis of High-precision GPS Control Network

HUANG Gongwen, WANG Bin, WANG Yanwei

**摘要:**基线分量和边长的重复性检验是高精度GPS控制网基线质量分析的关键步骤。结合实际算例,编程实现基线重复性指标、最小二乘线性拟合、基线较差等计算,对高精度GPS控制网的基线解进行质量分析时存在的问题进行探讨,得出一些有益的结论,能够更加准确地评价基线解的质量。

**关键词:**基线重复性;最小二乘线性拟合;基线较差;质量分析

### 一、引言

高精度GPS控制网基线解算完成后,需对其质量进行分析(主要分为单时段质量分析和多时段质量分析)。以GAMIT软件解算结果为例,单时段解的质量主要查看结果O文件中的NRMS(标准化均方差)、基线分量的不确定性以及测站和卫星坐标改正数;多时段解的质量分析则主要是进行基线分量和边长的重复性检验。

本文结合实际算例,通过对基线重复性、最小二乘线性拟合、基线较差的计算结果进行分析,以探测异常的基线分量,对不好的观测量予以剔除。同时结合分析Q文件中异常的测站坐标改正数或卫星基线分量,以决定是否剔除这个测站或卫星坐标改正数,并判断是哪个测站或卫星的数据导致异常的基线分量,从而决定是否剔除整个测站或卫星在该时段中的数据。

### 二、基线分量和边长的重复性指标的定义

基线分量和边长的重复性指标定义<sup>[1-2]</sup>为

$$R = \left[ \frac{\frac{n}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{(L_i - \bar{L})^2}{\delta_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\delta_i^2}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

式中, $n$ 为同一基线总观测时段数; $L_i$ 为一个单时段解的基线某一分量或边长; $\delta_i^2$ 为 $L_i$ 的方差; $\bar{L}$ 为 $L_i$ 的加权平均值,其计算公式如下

$$\bar{L} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i / \delta_i^2}{\sum_{i=1}^n 1 / \delta_i^2} \quad (2)$$

重复性指标反映的是观测数据的离散程度。对于某一基线的多时段重复观测,如果没有粗差(粗差如天线高度量取错误,起算数据的偏差,接收机工作异常等),观测数据应该接近于同一数值,因此,重复性指标是衡量基线精度的重要指标<sup>[3]</sup>。

结合最小二乘拟合原理<sup>[4]</sup>,在每条基线的 $R$ 计算完成后,可以按式(3)计算重复性指标的两个系数<sup>[5-6]</sup>

$$R_k = a + bL_k \quad (3)$$

式中, $L_k$ 为基线长度; $a$ 为常数; $b$ 为与基线长度成比例的系数。

计算完基线重复性后,同一基线及其各分量不同时段较差 $d_s, d_{\Delta X}, d_{\Delta Y}, d_{\Delta Z}$ ,可按式(4)计算<sup>[7]</sup>

$$\left. \begin{aligned} d_{\Delta X} &\leq 3 \sqrt{2} R_{\Delta X} \\ d_{\Delta Y} &\leq 3 \sqrt{2} R_{\Delta Y} \\ d_{\Delta Z} &\leq 3 \sqrt{2} R_{\Delta Z} \\ d_s &\leq 3 \sqrt{2} R_s \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式中同一基线及其各分量 $R$ 值( $R_s, R_{\Delta X}, R_{\Delta Y}, R_{\Delta Z}$ )按式(1)计算。

### 三、算例

#### 1. 数据来源

“5·12”汶川地震后,为了及时有效地为陕西

收稿日期: 2010-09-01

作者简介: 黄功文(1981—),男,重庆双桥人,硕士,主要从事GNSS技术应用与研究。

省地震灾区的重建工作提供测绘保障服务,我国在陕西省南部地震灾区建设了陕西省地震灾区连续运行参考站(CORS)系统,该系统由SX01(安乐河)、SX02(略阳)、SX03(宁强)、SX04(汉中)组成,各站分布见图1。

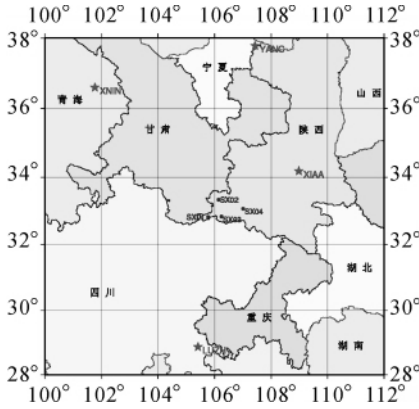


图1 陕西省地震灾区 CORS 网

数据处理时,以YANC、XNIN、XIAA、LUZH 4个国家GPS连续运行站为基准,在2000国家大地坐标系相应的框架与历元下,采用GAMIT软件解算2009年9—12月共122 d的陕西省地震灾区CORS网数据(SX01、SX02、SX03、SX04),共求得基线2 829条。

2. 重复性指标计算及最小二乘线性拟合

根据重复性指标和最小二乘线性拟合的公式及数学模型,笔者编制了基线重复性指标的计算软件。该软件功能主要包括基线重复性指标计算、基线分量较差统计、超限基线输出、最小二乘线性拟合及绘图。对所有单天解基线向量的重复性指标进行计算,将重复性指标表示为式(3)的形式。按照站心地平坐标系下N方向(南北方向)、E方向(东西方向)、U方向(垂直方向)及S方向(基线长度)的重复性指标计算结果如图2所示。

从计算结果可以看出,整网基线重复性较好,整网固定误差较小,且比例误差在水平方向优于 $10^{-9}$ ,在垂直方向优于 $10^{-8}$ 。从最小二乘线性拟合图中可以看出在各方向线性拟合的效果都比较好,绝大部分基线重复性指标和基线边长呈现出较强的线性关系,证实了采用最小二乘线性拟合,并将重复性表示为固定误差和比例误差 $R_k = a + bL_k$ 的组合形式能很好地反映出基线解算的精度。

3. 重复较差统计

重复较差统计结果如图3所示。

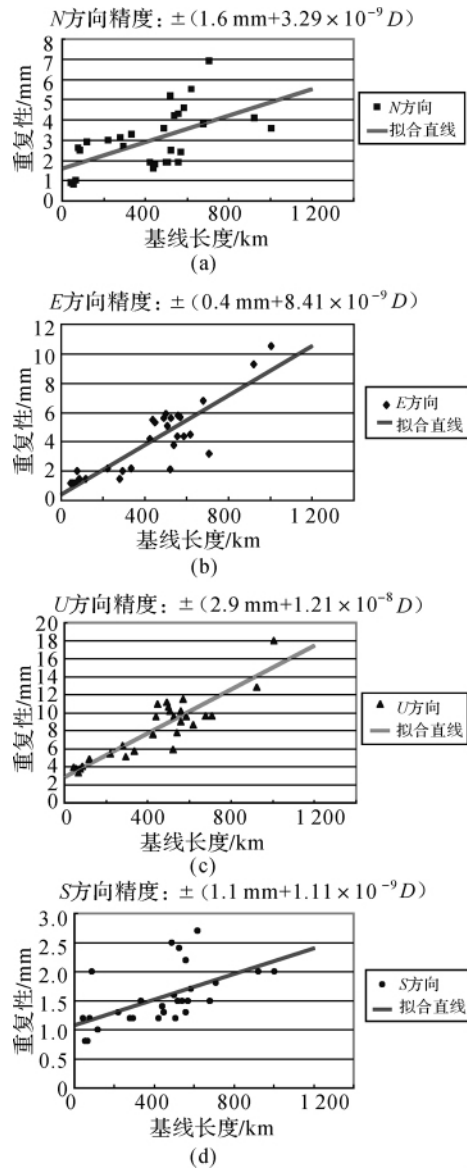


图2 观测数据的基线重复性及其拟合图

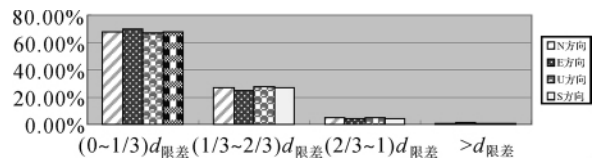


图3 基线较差各区间分布百分比图

从图3可知,绝大部分重复基线较差分布在 $(0 \sim 1/3) d_{\text{限差}}$ 区间;部分重复基线较差分布在 $1/3 d_{\text{限差}} \sim 2/3 d_{\text{限差}}$ 区间;少量较差分布在 $2/3 d_{\text{限差}} \sim d_{\text{限差}}$ 区间,但还有个别较差超限。结合式(1)分析其原因, $n$ 越大(每条基线都有120 d以上的单天解)则 $\frac{n}{n-1}$ 越小,基线重复性指标越小,所求限差也越小,因此即使基线总体解算结果比较理想,但仍有个别重复基线较差超限。在程序编制时,可以将较差超限的基线用一个判断语句输出,便于查看

少数超限的基线,并对其进行质量分析。如果精度确实很差(超出限差的部分达到了厘米级),可以将其删除,使其不至于影响全网精度。从对陕西地震灾区 CORS 网最后处理的结果来看,在没删除超限基线的情形下,采用 GLOBK 软件约束 YANG、XNIN、XIAA、LUZH 4 个国家 GPS 连续基准站对全网整体平差。平差结果精度统计如表 1 所示。

表 1 陕西地震灾区 CORS 网空间坐标精度统计表 mm

| 最值  | 统计项       |           |           |           |           |           |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|     | $X_{rms}$ | $Y_{rms}$ | $Z_{rms}$ | $N_{rms}$ | $E_{rms}$ | $U_{rms}$ |
| 最小值 | 0.1       | 0.3       | 0.2       | 0.1       | 0.1       | 0.3       |
| 最大值 | 0.2       | 0.4       | 0.3       | 0.2       | 0.2       | 0.4       |
| 平均值 | 0.2       | 0.3       | 0.2       | 0.1       | 0.2       | 0.4       |

由表 1 可知,陕西地震灾区 CORS 网点空间直角坐标  $X$  方向的精度优于  $\pm 0.2$  mm;  $Y$  方向的精度优于  $\pm 0.4$  mm;  $Z$  方向的精度优于  $\pm 0.3$  mm; 南北方向的精度优于  $\pm 0.2$  mm; 东西方向的精度优于  $\pm 0.2$  mm; 高程方向的精度优于  $\pm 0.4$  mm。从结果分析来看,个别基线重复性指标超限,对整网精度影响不大。分析其原因主要有两点:① 超限基线数量少;② 计算出的基线重复性超出限差的部分较小(毫米级),且基本都接近限差。

#### 四、结 论

通过对以上实际数据处理实践,得到以下几点结论:

1) 重复性指标是衡量基线精度的重要指标。GAMIT 解算完高精度 GPS 控制网基线后,需对其质量进行分析。单时段解质量主要查看解算结果 O 文件中的单天解 NRMS 值是否小于 0.3,基线分量的不确定性以及测站和卫星坐标改正数是否异常;多时段解的质量分析则主要是进行基线分量和边

长的重复性检验。

2) 基线重复性指标和基线边长呈现出较强的线性关系。采用最小二乘线性拟合,将重复性指标表示为固定误差和比例误差  $R_k = a + bL_k$  的组合形式能很好地反映出基线解算的精度。

3) 对时段数较多的基线进行质量分析时,即使各基线重复性指标拟合精度较高,仍可能有个别时段的基线较差超限。

4) 个别时段重复基线较差超限,对整网精度影响不大。但如果基线较差超限值很大(达到了厘米级),精度确实差时,可以将其剔除,使其不至于影响全网精度。

#### 参考文献:

- [1] 刘经南,葛茂荣. '92 中国 GPS 会战(A 级网)数据处理分析[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1995, 20(1): 40-45.
- [2] DIXON T H, GONZALEZ G, LICHTEN S M, et al. First Epoch Geodetic Measurements with the Global Positioning System across the Northern Caribbean Plate Boundary Zone[J]. Journal of Geophysical Research, 1991(96): 2397-2415.
- [3] 吴江飞. 相关 GPS 基线向量网的质量控制[D]. 郑州: 信息工程大学, 2000.
- [4] 李庆扬,王能超,易大义. 数值分析[M]. 5 版. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [5] 鄂栋臣,詹必伟,姜卫平等. 应用 GAMIT/GLOBK 软件进行高精度 GPS 数据处理[J]. 极地研究, 2005, 17(3): 173-182.
- [6] DIXON T H. An Introduction to the Global Positioning System and Some Geological Applications[J]. Reviews of Geophysics, 1991, 29(2): 249-276.
- [7] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 18314-2009 全球定位系统(GPS)测量规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

(上接第 8 页)

和 OTDOA 定位相结合的新的增强 OTDOA 定位算法,此算法进一步提高了 UE 的定位精度。

#### 参考文献:

- [1] 李世鹤. TD-SCDMA 第三代移动通信系统标准[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.
- [2] 薛海中,李鹏,张娟,等. 基于局部频谱连续细化的高精度频率估计算法[J]. 西安电子科技大学学报: 自然科学版, 2007, 34(1): 21-25.

- [3] 3GPP. TS 25. 305 Stage 2 Functional Specification of User Equipment (UE) Positioning in UTRAN [S]. [s. l.]: 3GPP, 2003.
- [4] CAFFERY J J, STUBER J L. Overview of Radiolocation in CDMA Cellular Systems [J]. IEEE Communication Magazine, 1998, 36(4): 38-45.
- [5] 谢显中. TD-SCDMA 第三代移动通信系统技术与实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.