文章编号:1006 – 544X(2004)03 – 0337 – 03

# 起算点精度对 GPS 基线的影响

彭 云[1], 周 勇[2]

(1. 信息产业部综合勘察研究院嘉兴分院, 浙江 嘉兴 314000; 2. 浙江玉环县城建测量队, 浙江 玉环 317600)

**摘 要:** 在工程测量中通常采用双差模型求解 GPS 基线, 解算时要求知道一个端点的坐标, 该坐标的精度对 GPS 基线的解算结果有影响. 通过模拟计算发现, 已知点的精度越低, 基线的解算精度也越低。因此, 为了保证 GPS 基线解算精度, 必须采用高精度起算点, 并给出了提高起算点精度的 3 种方法.

**关键词:** GPS 技术; 基线; 精度

**中图分类号:** P228.4 **文献标识码:** A①

在 GPS 基线测量中, 利用 GPS 接收机的随机软件进行基线解算时, 需要知道基线一个端点的坐标, 然后根据卫星位置和观测值精确计算出基线向量[1-4], 但已知点坐标的精度会影响基线解算结果的精度, 所以, 为了保证相对定位的精度, 已知点坐标的偏差对精密 GPS 基线解算的影响是不能忽略的. 本文探讨起算点精度对基线解算的影响.

## 1 误差传播与影响模型

基线解算中的已知点误差将引起基线另一端点点位的平移和基线向量分量的变化. 这种变化有时主要表现为尺度的变化, 有时表现为空间方向的变化. 假设 $P_1$ 和 $P_2$ 是基线的两端点, 在 WGS – 84 中的坐标向量分别为 $\boldsymbol{X}_1$ 和 $\boldsymbol{X}_2$, 因此有关系式[1]

$$\boldsymbol{X}_2 = \boldsymbol{X}_1 + \Delta\boldsymbol{X}_{12}, \tag{1}$$

其中 $\Delta\boldsymbol{X}_{12}$ 为 $P_1$、$P_2$ 点间的坐标差向量.

$P_1$ 作为起始点, 并假设其坐标向量有微小的变化 $\delta\boldsymbol{X}_1$, 则由此引起点 $P_2$ 坐标向量的变化为

$$\delta\boldsymbol{X}_2 = \delta\boldsymbol{X}_1 + \delta\Delta\boldsymbol{X}_{12}, \tag{2}$$

$\delta\Delta\boldsymbol{X}_{12}$ 为起始点坐标的变化对所求基线的影响.

由于起始点对基线的影响有时主要表现为基线尺度的变化, 有时主要表现为基线在空间方向上的变化, 若 GPS 相对定位采用双差模型, 则通过平差求基线向量的解

$$\Delta\boldsymbol{X}_{P_1P_2} = (\boldsymbol{A}^{\mathrm{T}}_{P_1P_2}\boldsymbol{P}\boldsymbol{A}_{P_1P_2})^{-1}\boldsymbol{A}^{\mathrm{T}}_{P_1P_2}\boldsymbol{P}\boldsymbol{L}_{P_1P_2}. \tag{3}$$

$$\boldsymbol{L}_{P_1P_2} = [L^{ij}_{P_1P_2}(j_1),\cdots,L^{ij}_{P_1P_2}(j_n),L^{ik}_{P_1P_2}(k_1),\cdots,L^{ik}_{P_1P_2}(k_n),\cdots,L^{iu}_{P_1P_2}(u_1),\cdots,L^{ij}_{P_1P_2}(u_n)]^{\mathrm{T}}. \tag{4}$$

式中, $i, j, k\cdots u$ 为卫星代号, 设起算点误差在地心直角坐标系中为 $\delta\boldsymbol{X}_{P_1}$, 对基线另一端点的误差影响可表示为

$$\delta\boldsymbol{X}_{P_2} = \delta\boldsymbol{X}_{P_1} + (\boldsymbol{A}^{\mathrm{T}}_{P_1P_2}\boldsymbol{P}\boldsymbol{A}_{P_1P_2})^{-1}\boldsymbol{A}^{\mathrm{T}}_{P_1P_2}\boldsymbol{P}\delta\boldsymbol{L}^{\mathrm{T}}_{P_1P_2}. \tag{5}$$

由 (4) 式有

$$\delta\boldsymbol{L}^{\mathrm{T}}_{P_1P_2} = [\Delta\boldsymbol{\beta}^{ij}_{P_1P_2}(j_1),\cdots,\Delta\boldsymbol{\beta}^{ij}_{P_1P_2}(j_n),\Delta\boldsymbol{\beta}^{ik}_{P_1P_2}(k_1),\cdots,\Delta\boldsymbol{\beta}^{ik}_{P_1P_2}(k_n),\cdots,\Delta\boldsymbol{\beta}^{iu}_{P_1P_2}(u_1),\cdots,\Delta\boldsymbol{\beta}^{iu}_{P_1P_2}(u_n)]^{\mathrm{T}}\delta\boldsymbol{X}_{P_1}. \tag{6}$$

① **收稿日期:** 2003 – 11 – 21

**基金项目:** 国家自然科学基金重点项目 (19833030); 国家自然科学基金面上项目 (NSFC – 10073017)

**作者简介:** 彭 云 (1963 – ), 男, 工程师, 主要从事测量工程管理、GPS 技术与地理信息系统工程应用研究.

这里有

$$[\Delta\boldsymbol{\beta}^{ij}_{P_1}(j_1)]^{\mathrm{T}} = \left[\left(\frac{\Delta x^j_{P_1}}{D^j_{P_1}} - \frac{\Delta x^i_{P_1}}{D^i_{P_1}}\right),\left(\frac{\Delta y^j_{P_1}}{D^j_{P_1}} - \frac{\Delta y^i_{P_1}}{D^i_{P_1}}\right),\left(\frac{\Delta z^j_{P_1}}{D^j_{P_1}} - \frac{\Delta z^i_{P_1}}{D^i_{P_1}}\right)\right]. \tag{7}$$

综合以上 3 式可以得到

$$\delta\boldsymbol{X}_{P_2} = \delta\boldsymbol{X}_{P_1} + k_{P_1P_2}\delta\boldsymbol{X}_{P_1}. \tag{8}$$

因此可以得到起算点误差对基线分量的影响为

$$\delta\Delta\boldsymbol{X}_{P_1P_2} = k_{P_1P_2}\delta\boldsymbol{X}_{P_1}. \tag{9}$$

用站心坐标系来表示，就可以表示为

$$\delta\boldsymbol{e}_{P_1} = \boldsymbol{H}^{-1}_{P_1P_2}\boldsymbol{Q}^{\mathrm{T}}_{P_1}k_{P_1P_2}\delta\boldsymbol{X}_{P_1}. \tag{10}$$

式中：$\delta\boldsymbol{e}_{P_1} = [\delta S_{P_1P_2},\delta\alpha_{P_1P_2},\delta H_{P_1P_2}]^{\mathrm{T}}$；

$$\boldsymbol{Q}^{\mathrm{T}}_{P_1} = \begin{bmatrix} -\sin B_{P_1}\cos L_{P_1} & -\sin B_{P_1}\sin L_{P_1} & \cos B_{P_1} \\ -\sin L_{P_1} & \cos L_{P_1} & 0 \\ \cos B_{P_1}\cos L_{P_1} & \cos B_{P_1}\sin L_{P_1} & \sin B_{P_1} \end{bmatrix};$$

$$\boldsymbol{H}_{P_1P_2} = \begin{bmatrix} \cos\alpha_{P_1P_2}\sin Z_{P_1P_2} & -S_{P_1P_2}\sin\alpha_{P_1P_2}\sin Z_{P_1P_2} & S_{P_1P_2}\cos\alpha_{P_1P_2}\cot Z_{P_1P_2} \\ \sin\alpha_{P_1P_2}\sin Z_{P_1P_2} & S_{P_1P_2}\cos\alpha_{P_1P_2}\sin Z_{P_1P_2} & S_{P_1P_2}\sin\alpha_{P_1P_2}\sin Z_{P_1P_2} \\ \cos Z_{P_1P_2} & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

上式中，$k_{P_1P_2}$ 反映了卫星几何分布与变化的作用；$\boldsymbol{Q}^{\mathrm{T}}$ 表明了基线起算点位置的作用；$\boldsymbol{H}^{-1}_{P_1P_2}$ 反映了基线本身空间取向和长度对传播起算点误差的效应.

## 2 实验数据分析计算

为了解起算点坐标精度对基线向量解算结果的影响，笔者选取了某 GPS 控制网中的 2 条基线（D001 – D002 和 D001 – D003）作为研究对象，用随机软件 TGO 进行基线解算，解算时人为地将固定点坐标分量分别加入一定的误差，采用以下 6 种方案作比较：

方案 1：将起算点的经纬度和大地高分别加入误差 +1.0"（N，E），15 m（H）；

方案 2：将起算点的经纬度和大地高分别加入误差 +3.0"（N，E），30 m（H）；

方案 3：将起算点的经纬度和大地高分别加入误差 +5.0"（N，E），60 m（H）；

方案 4：将起算点的经纬度和大地高分别加入误差 +10.0"（N，E），90 m（H）；

方案 5：将起算点的经纬度和大地高分别加入误差 +15.0"（N，E），120 m（H）；

方案 6：将起算点的经纬度和大地高分别加入误差 +20.0"（N，E），150 m（H）.

其解算结果见表 1 和表 2. 表中 *RMS* 为表示基线向量解算精度的残差，*RATIO* 为基线固定解可靠程度因子.

**表 1 基线向量 D001 – D002 解算结果**

Table 1 Solution of the baseline vector D001 – D002 m

| 方案 | Δ*X* | Δ*Y* | Δ*Z* | 基线长 | *RMS* | *RATIO*/% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 原始值 | 2 985.900 3 | –2 842.757 4 | 6 328.425 6 | 7 552.870 | 0.012 34 | 99.75 |
| 方案 1 | 2 985.900 4 | –2 842.752 9 | 6 328.426 0 | 7 552.868 | 0.012 32 | 99.94 |
| 方案 2 | 2 985.901 0 | –2 842.747 8 | 6 328.430 6 | 7 552.871 | 0.014 81 | 100 |
| 方案 3 | 2 985.903 4 | –2 842.747 7 | 6 328.432 2 | 7 552.873 | 0.020 44 | 99.86 |
| 方案 4 | 2 985.683 9 | –2 842.796 3 | 6 328.410 1 | 7 552.785 | 0.057 16 | 78.24 |
| 方案 5 | 2 985.595 9 | –2 842.829 1 | 6 328.392 6 | 7 552.749 | 0.088 28 | 73.86 |
| 方案 6 | 2 985.514 2 | –2 842.863 3 | 6 382.374 0 | 7 552.714 | 0.131 46 | 60.14 |

表 2　基线向量 D001 – D003 解算结果

Table 2　Solution of the baseline vector D001 – D003　　m

| 方案 | $\Delta X$ | $\Delta Y$ | $\Delta Z$ | 基线长 | *RMS* | *RATIO*/% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 原始值 | –1 163.600 9 | –3 070.592 2 | 3 456.566 9 | 4 767.637 | 0.007 45 | 100 |
| 方案 1 | –1 163.602 0 | –3 073.585 5 | 3 456.569 8 | 4 767.635 | 0.006 85 | 100 |
| 方案 2 | –1 163.603 6 | –3 070.573 2 | 3 456.578 9 | 4 767.634 | 0.006 88 | 100 |
| 方案 3 | –1 163.602 2 | –3 070.565 7 | 3 456.587 2 | 4 767.634 | 0.008 56 | 99.98 |
| 方案 4 | –1 163.605 4 | –3 070.546 0 | 3 456.610 5 | 4 767.639 | 0.019 77 | 99.04 |
| 方案 5 | –1 163.776 8 | –3 070.594 0 | 3 456.576 3 | 4 767.687 | 0.048 64 | 86.84 |
| 方案 6 | –1 163.863 9 | –3 070.606 6 | 3 456.574 1 | 4 767.715 | 0.060 42 | 67.64 |

## 3　讨论与结论

从表中数据可知，要精密控制测量，起始点坐标的影响是不容忽视的：方案 1 的偏差最小，方案 6 的偏差最大. 因此，起算点坐标误差越大，对基线向量解算结果影响也越大. 由于起算点误差对基线解算结果的影响是一外在的误差影响因素，为保证基线向量的解算具有足够的精度，必须适当控制起算点误差. 根据 GPS 测量规范：进行 C 级及以下测量时，起算点的 WGS – 84 坐标精度应不低于 25 m；进行 B 级测量时，起算点的 WGS – 84 坐标精度应不低于 3 m. 通常起算点的坐标可以通过以下几种途径获取：

（1）利用已知的 WGS – 84 坐标. 我国已通过国家 GPS 联测建立起国家高精度 GPS A 级网，这些网点的坐标均可以作为基线精化处理中的起算点.

（2）在精确获取转换参数的情况下，根据国家或地方坐标系的大地坐标以及该坐标系和 WGS – 84 坐标系之间的转换关系式进行坐标转换后，求得基线精化处理的起算点.

（3）采用 GPS 单点定位的结果. 由于目前 C/A 码伪距定位 2 ~ 3 h，平差结果的精度为 ± 20 m 左右，采用这种结果作为基线解算的起始点坐标将会对基线解算的影响比较大，这对于高精度的 GPS 网数据处理是不能满足需要的.

因此，要提高起算点位置的精度，可以采取以下方法：①选择测区中心部位的某点独立观测 3 次以上，每次观测时段大于 2 h，取多次伪距定位单点解的平均值作为全网基线解算的起算点；②将 GPS 网中各点的单点定位结果都通过基线向量传递到起算点来，取加权平均值，用该平均值作为重新进行基线解算的起始点的坐标；③采用精密星历取代广播星历进行起算点的伪距定位，通过提高卫星轨道精度来改善起算点的 WPS – 84 坐标精度.

### 参考文献

[1] 刘基余，李　征，王跃虎，等. 全球定位系统原理及其应用 [M]. 北京：测绘出版社，1995：23 – 35.
[2] 王广运. GPS 测地研究与应用文集 [M]. 北京：测绘出版社，1992：100 – 120.
[3] 徐绍铨，张华海，杨志强，等. GPS 测量原理及应用 [M]. 北京：测绘出版社，1998：90 – 101.
[4] 周　勇，彭　云. GPS 星历精度对基线解算的影响 [J]. 桂林工学院学报，2004，24（2）：192 – 194.

## The impact of the known points precision on GPS baselines

PENG Yun，ZHOU Yong
（1. *Jiaxing Branch*，*Synthetical Institute of Survey and Research*，*Ministry of Information Industry*，*Jiaxing* 314000，*China*；2. *Yuhuan City Survey Team*，*Yuhuan* 314000，*China*）

**Abstract**：GPS technology is widely applied in engineering survey. Usually，the baselines are found with the double difference model. The coordinates of an end point are required to be known in solving the baselines. The precision of the known points has impact on the solutions of the baselines. It is found out in stimulation that the lower the precision of the known points，the lower the precision of the solved baselines. So to guarantee the necessary precision in solving baselines，the precise known point is used. Three methods for improving the known points precision are put forward.

**Key words**：GPS technology；baseline；precision of known point