

式中, σ 为相应等级基线的规定精度。

否则,认为作为约束的已知坐标,已知距离,已知方位与 GPS 网不兼容,应采用软件提供的或人为的方法剔除某些误差大的约束值,直至符合上式要求。

采用不同类型仪器或软件,施测和计算 GPS 基线向量时,应对其随机模型进行分析。

对 GPS 数据预处理及网平差的原理及数学模型将在第九章详细讨论。

§ 8.6 技术总结与上交资料

8.6.1 技术总结

GPS 测量工作结束后,需按要求编写技术总结报告,其内容包括:

- 测区范围与位置,自然地理条件,气候特点,交通及电信、电源等情况;
- 任务来源,测区已有测量情况,项目名称,施测目的和基本精度要求;
- 施测单位,施测起讫时间,技术依据,作业人员情况;
- 接收设备类型与数量以及检验情况;
- 选点所遇障碍物和环境影响的评价,埋石与重合点情况;
- 观测方法要点与补测、重测情况,以及野外作业发生与存在的问题的说明;
- 野外数据检核,起算数据情况和数据预处理内容、方法及软件情况;
- 工作量、工作日及定额计算;
- 方案实施与规范执行情况;
- 上交成果尚存问题和需说明的其他问题;
- 各种附表与附图。

8.6.2 上交资料

GPS 测量任务完成后,应上交下列资料:

- 测量任务书与专业设计书;
- 点之记、环视图和测量标志委托保管书;
- 卫星可见性预报表和观测计划;
- 外业观测记录(包括原始记录的存储介质及其备份)、测量手簿及其他记录(包括偏心观测);
- 接收设备、气象及其他仪器的检验资料;
- 外业观测数据质量分析及野外检核计算资料;
- 数据加工处理中生成的文件(含磁盘文件)、资料和成果表;
- GPS 网展点图;
- 技术总结和成果验收报告。

第九章 GPS 测量数据处理

§ 9.1 概 述

GPS 接收机采集记录的是 GPS 接收机天线至卫星伪距、载波相位和卫星星历等数据。如果采样间隔为 20s,则每 20s 记录一组观测值,一台接收机连续观测 1h 将有 180 组观测值。观测值中有对 4 颗以上卫星的观测数据以及地面气象观测数据等。GPS 数据处理要从原始的观测值出发得到最终的测量定位成果,其数据处理过程大致分为 GPS 测量数据的基线向量解算、GPS 基线向量网平差以及 GPS 网平差或与地面网联合平差等几个阶段。数据处理的基本流程如图 9-1 所示。

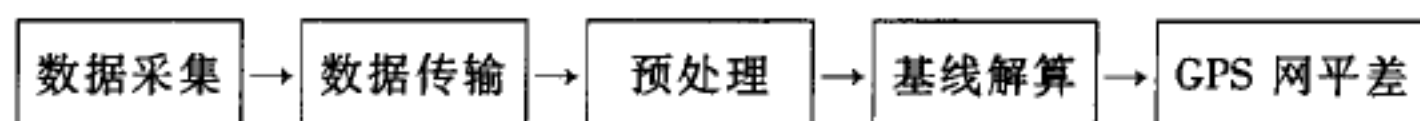


图 9-1 GPS 数据处理基本流程图

图中第一步数据采集的是 GPS 接收机野外观测记录的原始观测数据,野外观测记录的同时用随机软件解算出测站点的位置和运动速度,提供导航服务。数据传输至基线解算一般是用随机软件(后处理软件)将接收机记录的数据传输到计算机,在计算机上进行预处理和基线解算。GPS 网平差包括 GPS 基线向量网平差、GPS 网与地面网联合平差等内容。整个数据处理过程可以建立数据库管理系统。

9.1.1 数据传输

大多数的 GPS 接收机(如 ASHTECH、TRIMBLE 等型号),采集的数据记录在接收机的内存模块上。数据传输是用专用电缆将接收机与计算机连接,并在后处理软件的菜单中选择传输数据选项后,便将观测数据传输至计算机。数据传输的同时进行数据分流,生成四个数据文件:载波相位和伪距观测值文件、星历参数文件、电离层参数和 UTC 参数文件、测站信息文件。

观测值文件是容量最大的文件。观测值记录中有对应的卫星号,卫星高度角和方位角,C/A 码伪距, L_1 、 L_2 的相位观测值,观测值对应的历元时间,积分多普勒记数,信噪比等。

星历参数文件包含所有被测卫星的轨道位置信息,根据这些信息可以计算出任一时刻卫星的位置。

电离层参数和 UTC 参数文件中,电离层参数用于改正观测值的电离层影响,UTC 参数用于将 GPS 时间修正为 UTC 时间。

星历参数文件和电离层参数文件的具体内容见第三章 § 3.4。

测站信息文件包含测站名、测站号、测站的概略坐标、接收机号、天线号、天线高、观测的起止时间、记录的数据量、初步定位成果等。

经数据分流后生成的四个数据文件中,除测站信息文件外,其余均为二进制数据文件。为下一步预处理的方便,必须将它们解译成直接识别的文件,将数据文件标准化。

9.1.2 数据预处理

GPS 数据预处理的目的是:对数据进行平滑滤波检验,剔除粗差;统一数据文件格式并将各类数据文件加工成标准化文件(如 GPS 卫星轨道方程的标准化,卫星时钟钟差标准化,观测值文件标准化等),找出整周跳变点并修复观测值;对观测值进行各种模型改正。

1. GPS 卫星轨道方程的标准化

数据处理中要多次进行卫星位置的计算,而 GPS 广播星历每小时有一组独立的星历参数,使得计算工作十分繁杂,需要将卫星轨道方程标准化,以便计算简便,节省内存空间。GPS 卫星轨道方程标准化一般采用以时间为变量的多项式进行拟合处理。

将已知的多组不同历元的星历参数所对应的卫星位置 $P_i(t)$ 表达为时间 t 的多项式形式:

$$P_i(t) = a_{i0} + a_{i1}t + a_{i2}t^2 + \cdots + a_{in}t^n \quad (9-1)$$

利用拟合法求解多项式系数。解出的系数 a_{in} 记入标准化星历文件,用它们来计算任一时刻的卫星位置。多项式的阶数 n 一般取 8~10 就足以保证米级轨道拟合精度。

拟合计算时,时间 t 的单位须规格化,规格化时间 T 为:

$$T_i = [2t_i - (t_1 + t_m)] / (t_m - t_1) \quad (9-2)$$

式中, T_i 为对应于 t_i 的规格化时间; t_1 和 t_m 分别为观测时段开始和结束的时间。很显然,对应于 t_1 和 t_m , T_1 和 T_m 分别为 -1 和 +1。对任意时刻 t_i 其 $|T_i| \leq 1$ 。

需指出的是,拟合时引进了规格化的时间,则在实际轨道计算时也应使用规格化的时间。

2. 卫星钟差的标准化

来自广播星历的卫星钟差(即卫星钟面时间与 GPS 系统标准时间之差 Δt_i)是多个数值,需要通过多项式拟合求得惟一的,平滑的钟差改正多项式。用于确定真正的信号发射时刻并计算该时刻的卫星轨道位置,同时也用于将各站对各卫星的时间基准统一起来以估算它们之间的相对钟差。当多项式拟合的精度优于 $\pm 0.2\text{ns}$ 时,可精确探测整周跳变,估算整周未知数。

钟差的多项式形式为

$$\Delta t_i = a_0 + a_1(t - t_0) + a_2(t - t_0)^2 \quad (9-3)$$

式中, a_0, a_1, a_2 为星钟参数, t_0 为星钟参数的参考历元。

由多个参考历元的卫星钟差,利用最小二乘法原理求定多项式系数 a_i ,再由(9-3)式计算任一时刻的钟差。因为 GPS 时间定义区间为一个星期,即 604 800 秒,故当 $t - t_0 > 302\,400$ (t_0 属于下一 GPS 周)时 t 应减去 604 800, $t - t_0 < -302\,400$ (t_0 属于上一 GPS 周)时 t 应加上 604 800。

3. 观测值文件的标准化

不同的接收机提供的数据记录有不同的格式。例如观测时刻这个记录,可能采用接收机参考历元,也可能是经过改正归算至 GPS 标准时间。在进行平差(基线向量的解算)之前,观测值文件必须规格化、标准化。具体项目包括:

记录格式标准化。各种接收机输出的数据文件应在记录类型、记录长度和存取方式方面

采用同一记录格式。

记录项目标准化。每一种记录应包含相同的数据项。如果某些数据项缺项,则应以特定数据如“0”或空格填上。

采样密度标准化。各接收机的数据记录采样间隔可能不同,如有的接收机每 15s 钟记录一次,有的则 20s 钟记录一次。标准化后应将数据采样间隔统一成一个标准长度。标准长度应大于或等于外业采样间隔的最长的标准值。采样密度标准化后,数据量将成倍地减少,所以这种标准化过程也称为数据压缩。数据压缩应在周跳修复后进行。数据压缩常用多项式拟合法。压缩后的数据应等价于被压缩区间内的全部数据,且保持各压缩数据的误差独立。

数据单位的标准化。数据文件中,同一数据项的量纲和单位应是统一的,例如,载波相位观测值统一以周为单位。

9.1.3 基线向量的解算及网平差

基线向量的解算是一个复杂的平差计算过程。解算时要顾及观测时段中信号间断引起的数据剔除、观测数据粗差的发现及剔除、星座变化引起的整周未知参数的增加等问题。

基线处理完成后应对其结果作以下分析和检核:

①观测值残差分析。平差处理时假定观测值仅存在偶然误差。理论上,载波相位观测精度为 1% 周,即对 L_1 波段信号观测误差只有 2mm。因而当偶然误差达 1cm 时,应认为观测值质量存在系统误差或粗差。当残差分布中出现突然的跳变时,表明周跳未处理成功。

②基线长度的精度。处理后基线长度中误差应在标称精度值内。多数双频接收机的基线长度标称精度为 $5 \pm 1 \times 10^{-6} \cdot D(\text{mm})$,单频接收机的基线长度标称精度为 $10 \pm 2 \times 10^{-6} \cdot D(\text{mm})$ 。

对于 20km 以内的短基线,单频数据通过差分处理可有效地消除电离层影响,从而确保相对定位结果的精度。当基线长度增长时,双频接收机消除电离层的影响将明显优于单频接收机数据的处理结果。

③基线向量环闭合差的计算及检核。由同时段的若干基线向量组成的同步环和不同时段 of 若干基线向量组成的异步环,其闭合差应能满足相应等级的精度要求。其闭合差值应小于相应等级的限差值。基线向量检核合格后,便可进行基线向量网的平差计算(以解算的基线向量作为观测值进行无约束平差),平差后求得各 GPS 之间的相对坐标差值,加上基准点的坐标值,求得各 GPS 点的坐标。

实际应用中,往往要求各 GPS 点在国家坐标系中的坐标值。为此,还需要进行坐标转换,将 GPS 点的坐标值转换为国家坐标系坐标值。也可以将 GPS 网与地面网进行联合平差,包括固定地面网点已知坐标、边长、方位角、高程等的约束平差,坐标转换,或将 GPS 基线网与地面网的观测数据一并联合平差。

§ 9.2 GPS 基线向量的解算

在第五章 GPS 卫星定位基本原理中,我们论述了利用载波相位观测值进行单点定位以及在观测值间求差并利用求差后的差分观测值进行相对定位的原理和方法。在相对定位中常用双差观测值求解基线向量。第五章中我们着重讨论了由双差观测值列出误差方程式,然后利用最小二乘平差原理求解基线向量的方法。由于未知数个数和误差方程个数很多,平差解算

的工作量很大。

本节将讨论利用载波相位观测值的双差观测值求解基线向量的另一种方法。

9.2.1 双差观测值模型

由第五章 GPS 卫星定位基本原理可知,设在 GPS 标准时刻 t_i 在测站 1,2 同时对卫星 k, j 进行了载波相位测量,将载波相位观测值方程(5-18)代入双差观测值方程(5-41),整理后可以得到双差观测值模型

$$\begin{aligned} DD_{12}^{kj}(t_i) &= \varphi_2^j(t_i) - \varphi_1^j(t_i) - \varphi_2^k(t_i) + \varphi_1^k(t_i) \\ &= -f^j/c(\rho_2^j - \rho_1^j - \delta\rho_2^j + \delta\rho_1^j) \\ &\quad + f^k/c(\rho_2^k - \rho_1^k - \delta\rho_2^k + \delta\rho_1^k) + N_{12}^{kj} \end{aligned}$$

式中, $N_{12}^{kj} = N_2^j - N_1^j - N_2^k + N_1^k$, 令 $\Delta\rho_{12}^j = \rho_2^j - \rho_1^j$, $\Delta\rho_{12}^k = \rho_2^k - \rho_1^k$, 则上式变为

$$\begin{aligned} DD_{12}^{kj}(t_i) &= -f^j/c(\Delta\rho_{12}^j - \delta\rho_2^j + \delta\rho_1^j) \\ &\quad + f^k/c(\Delta\rho_{12}^k - \delta\rho_2^k + \delta\rho_1^k) + N_{12}^{kj} \end{aligned} \quad (9-4)$$

在第五章中,首先将上式化为线性方程形式,然后列出双差观测值的误差方程式组,组成法方程式后再求解待定点的坐标。

下面用向量解算方法由双差观测值模型(9-4)解算基线向量。

由基线向量 b 与站星之间距离 ρ 之间的关系图 9-2 可知,对于卫星 S^k :

设 ρ_1^{ko}, ρ_2^{ko} 分别为 ρ_1^k, ρ_2^k 单位向量,则有:

$$b_1^k = (\rho_2^{ko} - \rho_1^{ko})\rho_2^k \quad (9-5)$$

$$b + b_1^k = \Delta\rho_{12}^k = \Delta\rho_{12}^k \rho_1^{ko} \quad (9-6)$$

将(9-5)式代入(9-6)式有

$$b + \rho_2^k \rho_2^{ko} - \rho_2^k \rho_1^{ko} = \Delta\rho_{12}^k \rho_1^{ko} \quad (9-7)$$

(9-7)式两边点乘 ρ_1^{ko} 有

$$\rho_1^{ko} \cdot b + \rho_2^k \rho_2^{ko} \cdot \rho_1^{ko} - \rho_2^k \rho_1^{ko} \cdot \rho_1^{ko} = \Delta\rho_{12}^k \rho_1^{ko} \cdot \rho_1^{ko}$$

考虑到 $\rho_1^{ko} \cdot \rho_1^{ko} = 1$, $\rho_1^{ko} \cdot \rho_2^{ko} = \cos\theta_1$, 上式变为

$$\rho_1^{ko} \cdot b - \rho_2^k(1 - \cos\theta_1) = \Delta\rho_{12}^k \quad (9-8)$$

(9-7)式两边点乘 ρ_2^{ko} 可得

$$\rho_2^{ko} \cdot b + \rho_2^k(1 - \cos\theta_1) = \Delta\rho_{12}^k \rho_2^{ko} \cdot \rho_1^{ko} = \Delta\rho_{12}^k \cos\theta_1 \quad (9-9)$$

将(9-8)式与(9-9)式相加有

$$(\rho_1^{ko} + \rho_2^{ko}) \cdot b = \Delta\rho_{12}^k(1 + \cos\theta_1) = \Delta\rho_{12}^k 2\cos^2(\theta_1/2)$$

整理后得到

$$\Delta\rho_{12}^k = 1/2 \sec^2(\theta_1/2)(\rho_1^{ko} + \rho_2^{ko}) \cdot b \quad (9-10)$$

同样对于卫星 S^j 有

$$\Delta\rho_{12}^j = 1/2 \sec^2(\theta_2/2)(\rho_1^{jo} + \rho_2^{jo}) \cdot b \quad (9-11)$$

将(9-10)式, (9-11)式代入(9-4)式得站星双差相位观测方程为

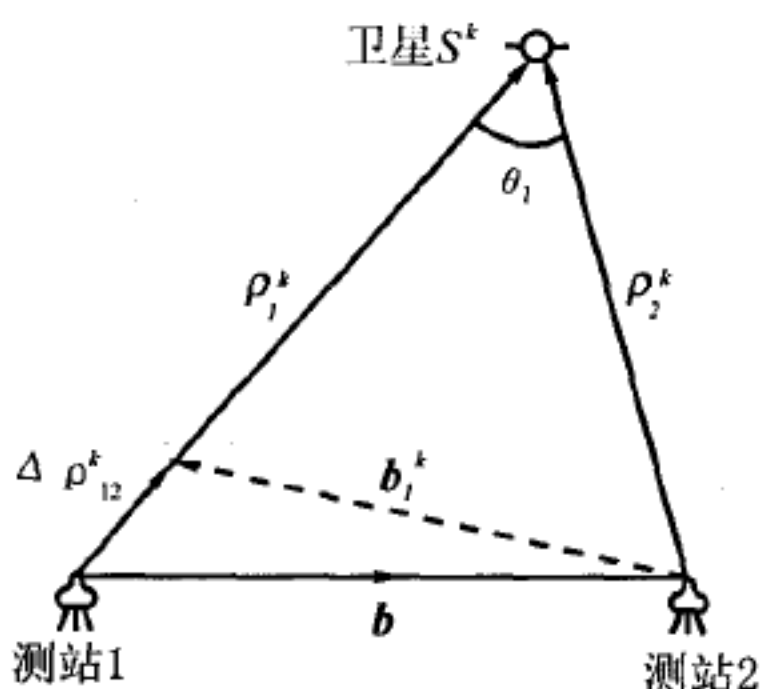


图 9-2 基线向量与站星距离的关系

$$DD_{12}^{kj}(t_i) = \{ -f^j/c[1/2 \sec^2(\theta_2/2)(\rho_1^{j_0} + \rho_2^{j_0})b] \\ + f^k/c[1/2 \sec^2(\theta_2/2)(\rho_1^{j_0} + \rho_2^{j_0})b] \} \\ - f^j/c(\delta\rho_1^j - \delta\rho_2^j) + f^k/c(\delta\rho_1^k - \delta\rho_2^k) + N_{12}^{kj}$$

写为误差方程形式:

$$V_{12}^{kj}(t_i) = \{ -f^j/c[1/2 \sec^2(\theta_2/2)(\rho_1^{j_0} + \rho_2^{j_0})b] \\ + f^k/c[1/2 \sec^2(\theta_2/2)(\rho_1^{j_0} + \rho_2^{j_0})b] \} \\ - f^j/c(\delta\rho_1^j - \delta\rho_2^j) + f^k/c(\delta\rho_1^k - \delta\rho_2^k) \\ + N_{12}^{kj} - DD_{12}^{kj}(t_i)$$

考虑到 $b = (\Delta x_{12}, \Delta y_{12}, \Delta z_{12})$, $\rho_i^{k_0} = (\Delta x_i^k, \Delta y_i^k, \Delta z_i^k)/\rho_i^k$, $\rho_i^{j_0} = (\Delta x_i^j, \Delta y_i^j, \Delta z_i^j)/\rho_i^j$, 站星双差观测值误差方程为:

$$V_{12}^{kj}(t_i) = a_{12}^{kj} \Delta x_{12} + b_{12}^{kj} \Delta y_{12} + c_{12}^{kj} \Delta z_{12} + \Delta_{12}^{kj} + N_{12}^{kj} \quad (9-12)$$

式中, $\Delta_{12}^{kj} = -f^j/c(\delta\rho_1^j - \delta\rho_2^j) + f^k/c(\delta\rho_1^k - \delta\rho_2^k)$

$$\begin{cases} a_{12}^{kj} = 1/2 f^k/c \sec^2(\theta_1/2) (\Delta x_1^k/\rho_1^k + \Delta x_2^k/\rho_2^k) \\ \quad - 1/2 f^j/c \sec^2(\theta_2/2) (\Delta x_1^j/\rho_1^j + \Delta x_2^j/\rho_2^j) \\ b_{12}^{kj} = 1/2 f^k/c \sec^2(\theta_1/2) (\Delta y_1^k/\rho_1^k + \Delta y_2^k/\rho_2^k) \\ \quad - 1/2 f^j/c \sec^2(\theta_2/2) (\Delta y_1^j/\rho_1^j + \Delta y_2^j/\rho_2^j) \\ c_{12}^{kj} = 1/2 f^k/c \sec^2(\theta_1/2) (\Delta z_1^k/\rho_1^k + \Delta z_2^k/\rho_2^k) \\ \quad - 1/2 f^j/c \sec^2(\theta_2/2) (\Delta z_1^j/\rho_1^j + \Delta z_2^j/\rho_2^j) \end{cases} \quad (9-13)$$

当基线长度小于 40km 时, $\sec^2(\theta/2) - 1 < 1 \times 10^{-6}$, f^k/c 与 f^j/c 之差小于 1×10^{-6} , 故 $\sec 2\theta/2$ 以 1 代替, f^k 和 f^j 以 f 代替, 同时输入基线向量 b 的近似值 $(\Delta x_{12}^0, \Delta y_{12}^0, \Delta z_{12}^0)$, 初始整周模糊度 N_{12}^{kj} 的近似值为 $(N_{12}^{kj})^0$. 其改正数分别为 $(\delta x_{12}, \delta y_{12}, \delta z_{12})$ 和 δN_{12}^{kj} , 则误差方程最终形式为

$$V_{12}^{kj}(t_i) = a_{12}^{kj} \delta x_{12} + b_{12}^{kj} \delta y_{12} + c_{12}^{kj} \delta z_{12} + \delta N_{12}^{kj} + W_{12}^{kj} \quad (9-14)$$

式中:

$$\begin{cases} a_{12}^{kj} = 1/2 f/c (\Delta x_1^k/\rho_1^k + \Delta x_2^k/\rho_2^k - \Delta x_1^j/\rho_1^j + \Delta x_2^j/\rho_2^j) \\ b_{12}^{kj} = 1/2 f/c (\Delta y_1^k/\rho_1^k + \Delta y_2^k/\rho_2^k - \Delta y_1^j/\rho_1^j + \Delta y_2^j/\rho_2^j) \\ c_{12}^{kj} = 1/2 f/c (\Delta z_1^k/\rho_1^k + \Delta z_2^k/\rho_2^k - \Delta z_1^j/\rho_1^j + \Delta z_2^j/\rho_2^j) \\ W_{12}^{kj} = a_{12}^{kj} \Delta x_{12}^0 + b_{12}^{kj} \Delta y_{12}^0 + c_{12}^{kj} \Delta z_{12}^0 + (N_{12}^{kj})^0 + \Delta_{12}^{kj} - DD_{12}^{kj} \end{cases} \quad (9-15)$$

式中, 卫星 k, j 在选择 $k=1$ 的卫星为参考卫星时, $j=2, 3, 4, \dots$ 对于 $k=1, j=2; k=1, j=3; \dots$ 其站星双差观测值误差方程可仿照 (9-14) 式, (9-15) 式写出; 对不同观测历元 (即 t_i 时刻) 可分别列出类似的各历元时刻的一组误差方程。

9.2.2 法方程的组成及解算

在 t_i 历元, 在 1、2 测站上同时观测了 k 个卫星, 在连续观测的情况下, 共有 $n = M(k-1)$ 个误差方程, 其中 M 为观测历元个数。

将所有误差方程写成矩阵形式

$$V = AX + L \quad (9-16)$$

式中

$$\begin{aligned}
V &= (V_1, V_2, \dots, V_n)^T \\
X &= (\delta X, \delta Y, \delta Z, \delta N_1, \delta N_2, \dots, \delta N_{k-1})^T, \\
L &= (W_1, W_2, \dots, W_n)^T, \\
A &= \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & 1 & 0 & \dots & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{j1} & a_{j2} & a_{j3} & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n-j,1} & a_{n-j,2} & a_{n-j,3} & 0 & 0 & \dots & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n-1,1} & a_{n-1,2} & a_{n-1,3} & 0 & 0 & \dots & 1 \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} \left. \begin{array}{l} \text{第 1 对卫星} \\ \\ \\ \text{第 } k-1 \text{ 对卫星} \end{array} \right\}
\end{aligned}$$

j 为历元数, $j = n/(k-1) = M$ 。

按各类双差观测值等权且彼此独立, 即权阵 P 为单位阵, 组成法方程

$$NX + B = 0 \quad (9-17)$$

式中, $N = A^T A$, $B = A^T L$ 。可解得 X 为

$$X = -N^{-1}B = A^T A^{-1}(A^T L) \quad (9-18)$$

若 1 点坐标已知, 可求得 2 点坐标

$$\begin{cases} x_2 = x_1 + \Delta x_{12} + \delta x_{12} \\ y_2 = y_1 + \Delta y_{12} + \delta y_{12} \\ z_2 = z_1 + \Delta z_{12} + \delta z_{12} \end{cases} \quad (9-19)$$

基线向量坐标平差值为

$$\begin{cases} \Delta x_{12} = \Delta x_{12}^0 + \delta x_{12} \\ \Delta y_{12} = \Delta y_{12}^0 + \delta y_{12} \\ \Delta z_{12} = \Delta z_{12}^0 + \delta z_{12} \end{cases} \quad (9-20)$$

整周模糊度平差值为

$$N_i = N_i^0 + \delta N_i, \quad (i = 1, 2, \dots, k-1) \quad (9-21)$$

9.2.3 精度评定

1. 单位权中误差估值

$$m_0 = \sqrt{V^T P V / (n - k - 2)} \quad (9-22)$$

2. 平差值的精度估计

未知数向量 X 中任一分量的精度估值为

$$m_{xi} = m_0 \sqrt{1/p_{xi}} \quad (9-23)$$

式中, P_{xi} 由 N^{-1} 中对角元素求得, $P_{xi} = 1/Q_{xixi}$ 。

基线长 $b = \sqrt{(\Delta X_{12}^0 + \delta X_{12})^2 + (\Delta Y_{12}^0 + \delta Y_{12})^2 + (\Delta Z_{12}^0 + \delta Z_{12})^2}$, 在 $(\Delta x_{12}^0, \Delta y_{12}^0, \Delta z_{12}^0)$ 处展开后,

$$\delta b = f^T \Delta X \quad (9-24)$$

由协因数传播定律可得

$$Q_{bb} = f^T Q \Delta X f,$$

基线长度 b 中误差估值为

$$m_b = m_0 \sqrt{Q_{bb}} \quad (9-25)$$

基线长度相对中误差估值为

$$f_b = m_b / b \cdot 10^6 \quad (9-26)$$

下面给出某一基线向量解算结果:

基线端点号: 01—05

基线向量值: $\Delta X = -11\ 675.629$, $\Delta Y = -2\ 505.650$, $\Delta Z = -3\ 791.074$, $S = 12\ 584.391$

向量标准差: $M_x = 0.001\ 046\ 6$, $M_y = 0.001\ 309\ 4$, $M_z = 0.001\ 644\ 3$, $M_s = 0.000\ 9$

相关系数阵:

	dx	dy	dz
dx	1.000 000		
dy	-0.599 817	1.000 000	
dz	-0.221 641	0.545 551	1.000 000

9.2.4 基线向量解算结果分析

基线向量的解算是一个复杂的平差计算过程。实际处理时要顾及时段中信号间断引起的数据剔除、劣质观测数据的发现及剔除、星座变化引起的整周未知参数的增加,进一步消除传播延迟改正以及对接收机钟差重新评估等问题。

基线处理完成后应对其结果作以下分析:

1. 观测值残差分析

平差处理时假定观测值仅存在偶然误差,当存在系统误差或粗差时,处理结果将有偏差。理论上,载波相位观测精度为 1% 周,即对 L_1 波段信号观测误差只有 2mm。因而当偶然误差达 1cm 时,应认为观测值质量存在较严重问题。当系统误差达分米级时应认为处理软件中的模型不适用。当残差分布中出现突然的跳跃或尖峰时,表明周跳未处理成功。

平差后单位权中误差一般其值为 0.05 周以下,否则,表明观测值中存在某些问题。可能存在受多路径干扰、外界无线电信号干扰或接收机时钟不稳定等影响的低精度的观测值,观测值改正模型不适宜,周跳未被完全修复,也可能整周未知数解算不成功使观测值存在系统误差。单位权中误差较大也可能是起算数据存在问题,如基线固定端点坐标误差或作为基准数据的卫星星历误差的影响。

2. 基线长度的精度

基线处理后基线长度中误差应在标称精度值内。多数接收机的基线长度标称精度为 $5 \sim 10 \pm 1 \sim 2 \times 10^{-6} \cdot D(\text{mm})$ 。

对于 20km 以内的短基线,单频数据通过差分处理可有效地消除电离层影响,从而确保相对定位结果的精度。当基线长度增长时,双频接收机消除电离层的影响将明显优于单频接收机数据的处理结果。

3. 双差固定解与双差实数解

理论上整周未知数 N 是一整数,但平差解算得的是一实数,称为双差实数解。将实数确定为整数在进一步平差时不作为未知数求解时,这样的结果称为双差固定解。短基线情况下

可以精确确定整周未知数,因而其解算结果优于实数解,但两者之间的基线向量坐标应符合良好(通常要求其差小于5cm)。当双差固定解与实数解的向量坐标差达分米级时,则处理结果可能有疑,其原因多为观测值质量不佳。基线长度较长时,通常以双差实数解为佳。

9.2.5 GPS 基线向量解算示例

1. GPS 网图

GPS 网图如图 9-3 所示。

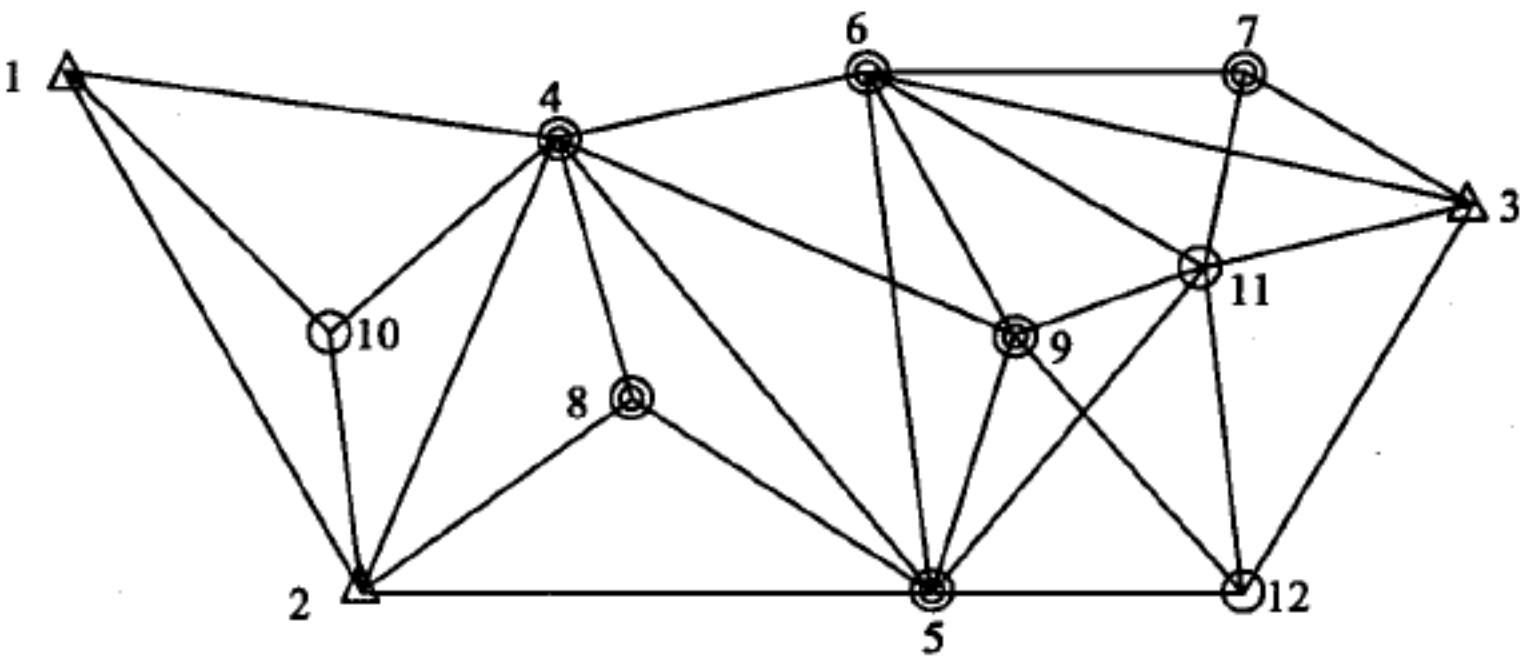


图 9-3 GPS 网图

图中,1、2、3 点为已知国家二等三角点,4~12 点为新布设 D 级 GPS 点,其中,1~9 点具有四等水准高程。5 号和 12 号点上有觇标。

2. 观测时段

野外观测采用 4 台 GPS 接收机观测 6 个时段,每时段观测时间 90min 以上,具体如下表:

观测日期	时间段及编号	同步设站点
11.2	14:30~16:05,A	1,2,4,10
11.3	9:00~10:30,A	2,4,5,8
11.3	14:30~16:00,B	4,5,6,9
11.4	9:30~11:00,A	3,6,7,11
11.4	14:30~16:00,B	5,9,11,12
11.6	9:30~11:00,A	3,12

根据观测之前的卫星预报,上述时间段内,GPS 卫星个数为 4 颗以上,卫星几何分布的 PDOP 值小于 6。

3. 已知数据

点号	x_{54}/m	y_{54}/m	H_{54}/m	等级
1	4 007 263.112	674 933.371	818.734	二
2	3 994 142.674	663 009.695	102 5.073	二
3	3 974 611.498	675 472.021	104 7.912	二
4			822.625	D
5			840.560	D
6			1 102.899	D
7			902.869	D
8			998.784	D
9			1 009.984	D

4. GPS 基线向量解算结果

11 月 2 日 A 时段观测时间最长,基线解算时以 1 号点的单点定位结果为基准,自动逐一解算各条基线向量,其结果如下表:

基线向量	ΔX	m_x	ΔY	m_y	ΔZ	m_z	D
1—2	+8197.2341	0.0096	+11883.8013	0.0176	-10286.5544	0.0109	17726.6066
1—4	-4900.3447	0.0144	+7405.7281	0.0260	-11960.2984	0.0160	14896.5407
1—10	+3442.6844	0.0073	+7785.8188	0.0168	-7794.7247	0.0112	11542.4774
2—4	-13097.5880	0.0123	-4478.0509	0.0214	-1673.7257	0.0156	13942.7798
10—2	+4754.5529	0.0037	+4097.9714	0.0072	-2491.8411	0.0061	6753.4003
10—4	-8343.0201	0.0108	-380.0909	0.0231	-4165.5809	0.0164	9332.8730
2—8	-8180.6720	0.0083	-1513.5630	0.0146	-2493.6911	0.0082	8685.2037
2—5	-7178.3801	0.0293	+4717.9913	0.0417	-10130.4010	0.0245	13282.0784
2—4	-13097.5787	0.0129	-4478.0510	0.0199	-1673.7247	0.0131	13942.7707
5—8	-1002.2810	0.0260	-6231.5573	0.0362	+7636.7118	0.0195	9907.3831
5—4	-5919.1798	0.0262	-9196.0462	0.0384	+8456.6764	0.0212	13824.5915
4—8	+4916.9006	0.0038	+2964.4852	0.0065	-819.9683	0.0039	5799.6926
9—6	-5749.5125	0.0065	-5914.9488	0.0117	+4573.7282	0.0069	9431.9936
9—4	-3089.4333	0.0131	-7650.4491	0.0312	+7721.7663	0.0124	11300.4268
5—9	-2829.7498	0.0057	-1545.6000	0.0104	+734.9342	0.0084	3307.0367
4—6	-2660.0683	0.0030	+1735.4965	0.0066	-3148.0404	0.0034	4471.9201
5—6	-8579.2742	0.0203	-7460.5282	0.0278	+5308.6579	0.0229	12547.7199
5—4	<u>-5918.6661</u>	<u>0.8781</u>	<u>-9196.4518</u>	<u>0.4842</u>	<u>+8456.4854</u>	<u>0.3950</u>	<u>13824.5246</u>