

用 GPS 测量数据处理 教程

武汉测绘科技大学 地球科学与测量工程学院

目录

目录	I
概述	1
第一章	GPS 定位原理概述2
第 1 节	GPS 的组成2
第 2 节	GPS 信号2
第 3 节	SPS 和 PPS3
第 4 节	GPS 定位的常用观测值3
第 5 节	GPS 定位的误差源3
第 6 节	GPS 定位方法4
第二章	坐标系、基准和坐标系统7
第 1 节	地球的形状7
一、	地球的自然表面7
二、	地球的质量和重力7
三、	大地水准面7
四、	参考椭球7
五、	投影7
第 2 节	坐标系统7
一、	坐标系的分类7
二、	基准8
三、	坐标系变换与基准变换8
四、	GPS 测量中常用的坐标系统11
第三章	GPS 静态定位在测量中的应用15
第 1 节	GPS 静态定位在测量中的应用15
第 2 节	布设 GPS 基线向量网的工作步骤15
一、	测前工作15
二、	测量实施16
三、	测后工作17
第四章	技术设计19
第 1 节	技术设计的作用19
第 2 节	技术设计的内容19
第五章	布网方法21
第 1 节	GPS 基线向量网的等级21
第 2 节	GPS 基线向量网的布网形式21
一、	跟踪站式22
二、	会战式22
三、	多基准站式22
四、	同步图形扩展式23
五、	单基准站式24
第 3 节	采用同步图形扩展的布网形式布设 GPS 基线向量网时的观测作业方式24

一、	点连式.....	25
二、	边连式.....	25
三、	网连式.....	26
四、	混连式.....	26
第 4 节	布设 GPS 基线向量网时的设计指标.....	26
一、	效率指标.....	27
二、	可靠性指标.....	27
三、	精度指标.....	28
第 5 节	GPS 网的设计准则.....	28
一、	出发点.....	28
二、	GPS 网布网作业准则.....	28
第六章	GPS 基线解算.....	30
第 1 节	GPS 基线解算的基本原理.....	30
一、	观测值.....	30
二、	基线解算〔平差〕.....	30
第 2 节	GPS 基线解算的分类.....	32
一、	单基线解算.....	32
二、	多基线解.....	32
第 3 节	基线解算阶段的质量控制.....	33
一、	质量控制指标及其应用.....	33
二、	应用.....	35
第 4 节	影响 GPS 基线解算结果的几个因素及其应对方法.....	35
一、	影响 GPS 基线解算结果的几个因素.....	35
二、	影响 GPS 基线解算结果因素的判别及应对措施.....	36
第 5 节	GPS 基线解算的过程.....	41
第七章	GPS 基线向量网平差.....	43
第 1 节	GPS 网平差的分类.....	43
一、	三维平差和二维平差.....	43
二、	无约束平差、约束平差和联合平差.....	43
第 2 节	GPS 网平差原理.....	44
一、	三维无约束平差.....	44
二、	三维联合平差.....	46
三、	二维联合平差.....	46
第 3 节	GPS 网平差的过程.....	46
一、	提取基线向量, 构建 GPS 基线向量网.....	47
二、	三维无约束平差.....	47
三、	约束平差/联合平差.....	47
四、	质量分析与控制.....	47
第 4 节	GPS 网平差中起算数据的检验.....	48
一、	方差检验法.....	48
二、	符合路线法.....	48
三、	检查点法.....	48
第八章	GPS 高程.....	51
第 1 节	高程系统.....	51
一、	大地高系统.....	51
二、	正高系统.....	51

三、	正常高.....	51
四、	高程系统之间的转换关系.....	52
第 2 节	GPS 高程的方法	52
一、	等值线图法.....	52
二、	地球模型法.....	53
三、	高程拟合法.....	53
第九章	技术总结	57
第 1 节	技术总结的作用	57
第 2 节	技术总结的内容	57
附录	61	
第 1 节	RINEX 格式	61
第 2 节	GPSURVEY 软件使用	82
一、	GPSurvey 软件概述.....	82
二、	建立项目	87
三、	数据传输	89
四、	基线解算.....	92
五、	基线向量网平差 (TRIMNET PLUS)	98
第 3 节	词汇表	106

概述

全球定位系统（Global Positioning System-GPS）作为新一代的卫星导航定位系统，经过二十多年的发展，已发展成为一种被广泛采用的系统，它的应用领域和应用前景已远远超出了该系统设计者当初的设想，目前，它在航空、航天、军事、交通、运输、资源勘探、通信、气象等几乎所有的领域中，都被作为一项非常重要的技术手段和方法，用来进行导航、定时、定位、地球物理参数测定和大气物理参数测定等。

作为较早采用 GPS 技术的领域，在测量中，它最初主要用于高精度大地测量和控制测量，建立各种类型和等级的测量控制网；现在，它除了继续在这些领域发挥着重要作用外，还在测量领域的其它方面得到充分的应用，如用于各种类型的施工放样、测图、变形观测、航空摄影测量、海测和地理信息系统中地理数据的采集等。尤其是在各种类型的测量控制网的建立这一方面，GPS 定位技术已基本上取代了常规测量手段，成为了主要的技术手段。现在，在我国采用 GPS 技术布设了新的国家大地测量控制网，很多城市也都采用 GPS 技术建立了城市控制网。

为了使大家能充分了解和掌握利用 GPS 定位技术建立控制网的基本原理和方法，本书将围绕着利用 GPS 定位技术布设控制网的全过程，介绍在布网过程中所涉及到的大量理论与技术问题，内容将包括从技术设计、外业观测、基线解算、直到网平差和提交成果进行验收等各个环节，具体有以下一些内容：

- GPS 定位原理概述

在这一部分里，将简要介绍 GPS 系统和 GPS 定位的基本原理。如果读者已对此有较全面的了解，可以跳过此部分。

- 坐标系、基准和坐标系统

介绍在采用 GPS 布设控制网时常用的坐标系统及各坐标系统间的转换关系。

- GPS 静态定位在测量中的应用

介绍 GPS 静态定位在测量中的主要应用方式及作业步骤。

- 技术设计

介绍在布设 GPS 网时，进行技术设计的作用、原则和内容。

- 布网方法

介绍 GPS 网的类型和布网方法。

- GPS 基线解算

介绍基线解算的原理、步骤、精化处理方法和质量控制方法。

- GPS 基线向量网平差

介绍 GPS 网平差的类型、原理、步骤和质量控制方法。

- GPS 高程

介绍采用 GPS 进行测定高程的方法。

- 技术总结

介绍布设 GPS 网时，技术总结的作用和内容。

本书的目的是使读者能够了解 GPS 数据处理的基本原理和过程，掌握布设 GPS 网及数据处理的方法，因此全书侧重于方法的介绍，对于理论问题未做过多叙述，对于这些问题，读者若感兴趣，可阅读其它有关书籍¹。

¹ 本书附录中将提供一些参考文献，供读者选读。

第一章 GPS 定位原理概述

第1节 GPS 的组成

GPS (Global Positioning System) 即全球定位系统, 是由美国建立的一个卫星导航定位系统, 利用该系统, 用户可以在全球范围内实现全天候、连续、实时的三维导航定位和测速; 另外, 利用该系统, 用户还能够进行高精度的时间传递和高精度的精密定位。

GPS 计划始于 1973 年, 已于 1994 年进入完全运行状态(FOC¹)。GPS 的整个系统由空间部分、地面控制部分和用户部分所组成:

■ 空间部分

GPS 的空间部分是由 24 颗 GPS 工作卫星所组成, 这些 GPS 工作卫星共同组成了 GPS 卫星星座, 其中 21 颗为可用于导航的卫星, 3 颗为活动的备用卫星²。这 24 颗卫星分布在 6 个倾角为 55°的轨道上绕地球运行。卫星的运行周期约为 12 恒星时。每颗 GPS 工作卫星都发出用于导航定位的信号。GPS 用户正是利用这些信号来进行工作的。

■ 控制部分

GPS 的控制部分由分布在全球的由若干个跟踪站所组成的监控系统所构成, 根据其作用的不同, 这些跟踪站又被分为主控站、监控站和注入站。主控站有一个, 位于美国科罗拉多 (Colorado) 的法尔孔 (Falcon) 空军基地, 它的作用是根据各监控站对 GPS 的观测数据, 计算出卫星的星历和卫星钟的改正参数等, 并将这些数据通过注入站注入到卫星中去; 同时, 它还对卫星进行控制, 向卫星发布指令, 当工作卫星出现故障时, 调度备用卫星, 替代失效的工作卫星工作; 另外, 主控站也具有监控站的功能。监控站有五个, 除了主控站外, 其它四个分别位于夏威夷 (Hawaii)、阿松森群岛 (Ascencion)、迭哥伽西亚 (Diego Garcia)、卡瓦加兰 (Kwajalein), 监控站的作用是接收卫星信号, 监测卫星的工作状态; 注入站有三个, 它们分别位于阿松森群岛 (Ascencion)、迭哥伽西亚 (Diego Garcia)、卡瓦加兰 (Kwajalein), 注入站的作用是将主控站计算出的卫星星历和卫星钟的改正数等注入到卫星中去。

■ 用户部分

GPS 的用户部分由 GPS 接收机、数据处理软件及相应的用户设备如计算机气象仪器等所组成。它的作用是接收 GPS 卫星所发出的信号, 利用这些信号进行导航定位等工作。

以上这三个部分共同组成了一个完整的 GPS 系统。

第2节 GPS 信号

GPS 卫星发射两种频率的载波信号, 即频率为 1575.42MHz 的 L_1 载波和频率为 1227.60MHz 的 L_2 载波, 它们的频率分别是基本频率 10.23MHz 的 154 倍和 120 倍, 它们的波长分别为 19.03cm 和 24.42cm。在 L_1 和 L_2 上又分别调制着多种信号, 这些信号主要有:

■ C/A 码

C/A 码又被称为粗捕获码, 它被调制在 L_1 载波上, 是 1MHz 的伪随机噪声码 (PRN 码), 其码长为 1023 位 (周期为 1ms)。由于每颗卫星的 C/A 码都不一样, 因此, 我们经常用它

¹ FOC – Full Operational Capability。

² 实际上这 3 颗备用卫星同样可用于导航定位。

们的 PRN 号来区分它们。C/A 码是普通用户用以测定测站到卫星间的距离的一种主要的信号。

- P 码

P 码又被称为精码，它被调制在 L_1 和 L_2 载波上，是 10MHz 的伪随机噪声码，其周期为七天。在实施 AS 时，P 码与 W 码进行模二相加生成保密的 Y 码，此时，一般用户无法利用 P 码来进行导航定位。

- Y 码

见 P 码。

- 导航信息

导航信息被调制在 L_1 载波上，其信号频率为 50Hz，包含有 GPS 卫星的轨道参数、卫星钟改正数和其它一些系统参数。用户一般需要利用此导航信息来计算某一时刻 GPS 卫星在地球轨道上的位置，导航信息也被称为广播星历。

第3节 SPS 和 PPS

GPS 系统针对不同用户提供两种不同类型的服务。一种是标准定位服务 (SPS-Standard Positioning Service)，另一种是精密定位服务 (PPS-Precision Positioning Service)。这两种不同类型的服务分别由两种不同的子系统提供，标准定位服务由标准定位子系统 (SPS-Standard Positioning System) 提供，精密定位服务则由精密定位子系统 (PPS-Precision Positioning System) 提供。

SPS 主要面向全世界的民用用户。

PPS 主要面向美国及其盟国的军事部门以及民用的特许用户。

第4节 GPS 定位的常用观测值

在 GPS 定位中，经常采用下列观测值中的一种或几种进行数据处理，以确定出待定点的坐标或待定点之间的基线向量：

- L_1 载波相位观测值
- L_2 载波相位观测值（半波或全波）
- 调制在 L_1 上的 C/A 码伪距
- 调制在 L_1 上的 P 码伪距
- 调制在 L_2 上的 P 码伪距
- L_1 上的多普勒频移
- L_2 上的多普勒频移

实际上，在进行 GPS 定位时，除了大量地使用上面的观测值进行数据处理以外，还经常使用由上面的观测值通过某些组合而形成的一些特殊观测值，如宽巷观测值（Wide-Lane）¹、窄巷观测值（Narrow-Lane）²、消除电离层延迟的观测值（Ion-Free）³来进行数据处理。

第5节 GPS 定位的误差源

我们在利用 GPS 进行定位时，会受到各种各样因素的影响。影响 GPS 定位精度的因素可

¹ L_1-L_2 。

² L_1+L_2 。

³ $2.546L_1-1.984L_2$ 。

分为以下四大类：

- 与 GPS 卫星有关的因素

- SA

- 美国政府从其国家利益出发，通过降低广播星历精度（**e** 技术）、在 GPS 基准信号中加入高频抖动（**d** 技术）等方法，人为降低普通用户利用 GPS 进行导航定位时的精度。

- 卫星星历误差

- 在进行 GPS 定位时，计算在某时刻 GPS 卫星位置所需的卫星轨道参数是通过各种类型的星历¹提供的，但不论采用哪种类型的星历，所计算出的卫星位置都会与其真实位置有所差异，这就是所谓的星历误差。

- 卫星钟差

- 卫星钟差是 GPS 卫星上所安装的原子钟的钟面时与 GPS 标准时间之间的误差。

- 卫星信号发射天线相位中心偏差

- 卫星信号发射天线相位中心偏差是 GPS 卫星上信号发射天线的标称相位中心与其真实相位中心之间的差异。

- 与传播途径有关的因素

- 电离层延迟

- 由于地球周围的电离层对电磁波的折射效应，使得 GPS 信号的传播速度发生变化，这种变化称为电离层延迟。电磁波所受电离层折射的影响与电磁波的频率以及电磁波传播途径上电子总含量有关。

- 对流层延迟

- 由于地球周围的对流层对电磁波的折射效应，使得 GPS 信号的传播速度发生变化，这种变化称为对流层延迟。电磁波所受对流层折射的影响与电磁波传播途径上的温度、湿度和气压有关。

- 多路径效应

- 由于接收机周围环境的影响，使得接收机所接收到的卫星信号中还包含有各种反射和折射信号的影响，这就是所谓的多路径效应。

- 与接收机有关的因素

- 接收机钟差

- 接收机钟差是 GPS 接收机所使用的钟的钟面时与 GPS 标准时之间的差异。

- 接收机天线相位中心偏差

- 接收机天线相位中心偏差是 GPS 接收机天线的标称相位中心与其真实的相位中心之间的差异。

- 接收机软件和硬件造成的误差

- 在进行 GPS 定位时，定位结果还会受到诸如处理与控制软件和硬件等的影响。

- 其它

- GPS 控制部分人为或计算机造成的影响

- 由于 GPS 控制部分的问题或用户在进行数据处理时引入的误差等。

- 数据处理软件的影响

- 数据处理软件的算法不完善对定位结果的影响。

第6节 GPS 定位方法

GPS 定位的方法是多种多样的，用户可以根据不同的用途采用不同的定位方法。GPS 定位

¹ 常用的星历有广播星历和精密星历两种。

方法可依据不同的分类标准，作如下划分：

■ 根据定位所采用的观测值

■ 伪距定位

伪距定位所采用的观测值为 GPS 伪距观测值，所采用的伪距观测值既可以是 C/A 码伪距，也可以是 P 码伪距。伪距定位的优点是数据处理简单，对定位条件的要求低，不存在整周模糊度的问题，可以非常容易地实现实时定位；其缺点是观测值精度低，C/A 码伪距观测值的精度一般为 3 米，而 P 码伪距观测值的精度一般也在 30 个厘米左右，从而导致定位成果精度低，另外，若采用精度较高的 P 码伪距观测值，还存在 AS 的问题。

■ 载波相位定位

载波相位定位所采用的观测值为 GPS 的载波相位观测值，即 L_1 、 L_2 或它们的某种线性组合。载波相位定位的优点是观测值的精度高，一般优于 2 个毫米；其缺点是数据处理过程复杂，存在整周模糊度的问题。

■ 根据定位的模式

■ 绝对定位

绝对定位又称为单点定位，这是一种采用一台接收机进行定位的模式，它所确定的是接收机天线的绝对坐标。这种定位模式的特点是作业方式简单，可以单机作业。绝对定位一般用于导航和精度要求不高的应用中。

■ 相对定位

相对定位又称为差分定位，这种定位模式采用两台以上的接收机，同时对一组相同的卫星进行观测，以确定接收机天线间的相互位置关系。

■ 根据获取定位结果的时间

■ 实时定位

实时定位是根据接收机观测到的数据，实时地解算出接收机天线所在的位置。

■ 非实时定位

非实时定位又称后处理定位，它是通过对接收机接收到的数据进行后处理以进行定位得方法。

■ 根据定位时接收机的运动状态

■ 动态定位

所谓动态定位，就是在进行 GPS 定位时，认为接收机的天线在整个观测过程中的位置是变化的。也就是说，在数据处理时，将接收机天线的位置作为一个随时间的改变而改变的量。动态定位又分为 Kinematic 和 Dynamic 两类。

■ 静态定位

所谓静态定位，就是在进行 GPS 定位时，认为接收机的天线在整个观测过程中的位置是保持不变的。也就是说，在数据处理时，将接收机天线的位置作为一个不随时间的改变而改变的量。在测量中，静态定位一般用于高精度的测量定位，其具体观测模式多台接收机在不同的测站上进行静止同步观测，时间由几分钟、几小时甚至数十小时不等。

第二章 坐标系、基准和坐标系统

测量的基本任务就是确定物体在空间中的位置、姿态及其运动轨迹。而对这些特征的描述都是建立在某一个特定的空间框架和时间框架之上的。所谓空间框架就是我们常说的坐标系统，而时间框架就是我们常说的时间系统。

第1节 地球的形状

一、地球的自然表面

二、地球的质量和重力

三、大地水准面

四、参考椭球

五、投影

第2节 坐标系统

一个完整的坐标系统是由坐标系和基准两方面要素所构成的。坐标系指的是描述空间位置的表达形式，而基准指的是为描述空间位置而定义的一系列点、线、面。在大地测量中的基准一般是指为确定点在空间中的位置，而采用的地球椭球或参考椭球的几何参数和物理参数，及其在空间的定位、定向方式，以及在描述空间位置时所采用的单位长度的定义。

一、坐标系的分类

正如前面所提及的，所谓坐标系指的是描述空间位置的表达形式，即采用什么方法来表示空间位置。人们为了描述空间位置，采用了多种方法，从而也产生了不同的坐标系，如直角坐标系、极坐标系等。在测量中，常用的坐标系有以下几种：

■ 空间直角坐标系

空间直角坐标系的坐标系原点位于参考椭球的中心，Z轴指向参考椭球的北极，X轴指向起始子午面与赤道的交点，Y轴位于赤道面上，且按右手系与X轴呈90°夹角。某点在空间中的坐标可用该点在此坐标系的各个坐标轴上的投影来表示。（见图1）

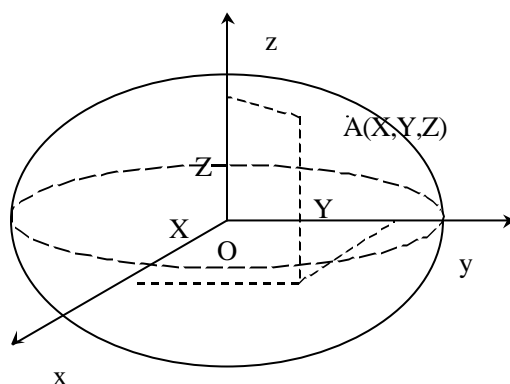


图1 空间直角坐标系

■ 空间大地坐标系

空间大地坐标系是采用大地经、纬度和大地高来描述空间位置的。纬度是空间的点与参考椭球面的法线与赤道面的夹角，经度是空间中的点与参考椭球的自转轴所在的面与参考椭球的起始子午面的夹角，大地高是空间点沿参考椭球的法线方向到参考椭球面的距离。

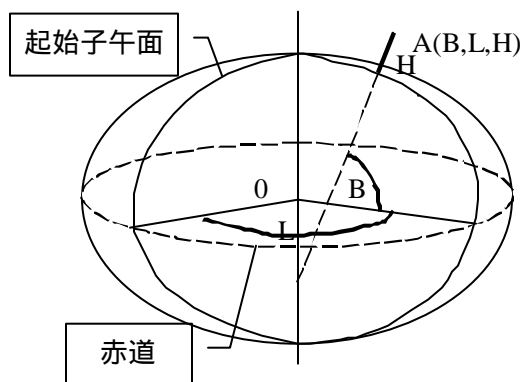


图2 空间大地坐标系

■ 平面直角坐标系

平面直角坐标系是利用投影变换，将空间坐标（空间直角坐标或空间大地坐标）通过某种数学变换映射到平面上，这种变换又称为投影变换。投影变换的方法有很多，如 UTM 投影、Lambada 投影等，在我国采用的是高斯-克吕格投影，也称为高斯投影。

二、 基准

所谓基准是指为描述空间位置而定义的点、线、面，在大地测量中，在大地测量中，基准是指用以描述地球形状的参考椭球的参数，如参考椭球的长短半轴，以及参考椭球在空间中的定位及定向，还有在描述这些位置时所采用的单位长度的定义。

三、 坐标系变换与基准变换

在 GPS 测量中，经常要进行坐标系变换与基准变换。所谓坐标系变换就是在不同的坐标表示形式间进行变换，基准变换是指在不同的参考基准间进行变换。

1. 坐标系的变换方法

■ 空间直角坐标系与空间大地坐标系间的转换

在相同的基准下，空间大地坐标系向空间直角坐标系的转换方法为：

$$X = (N + H) \cos B \cos L$$

$$Y = (N + H) \cos B \sin L$$

$$Z = [N(1 - e^2) + H] \sin B$$

其中：

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}}, \text{ 为卯酉圈的半径;}$$

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2};$$

a 为地球椭球长半轴；

b 为地球椭球的短半轴。

在相同的基准下，空间直角坐标系向空间大地坐标系的转换方法为：

$$L = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right)$$

$$B = \arctan\left\{\frac{Z(N + H)}{\sqrt{(X^2 + Y^2)[N(1 - e^2) + H]}}\right\}$$

$$H = \frac{Z}{\sin B} - N(1 - e^2)$$

在采用上式进行转换时，需要采用迭代的方法，先将 B 求出，最后在确定 H 。

■ 空间坐标系与平面直角坐标系间的转换

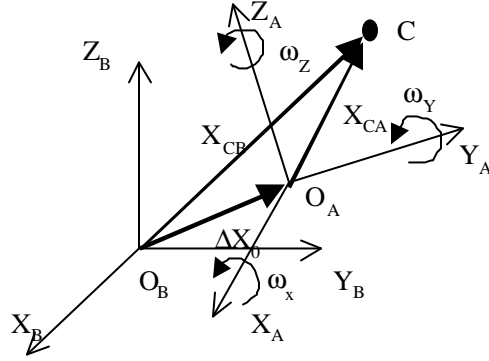
空间坐标系与平面直角坐标系间的转换采用的是投影变换的方法。在我国一般采用的是高斯投影。关于高斯投影，请参见有关文献。

2. 坐标系统的转换方法

不同坐标系统的转换本质上是不同基准间的转换，不同基准间的转换方法有很多，其中，最为常用的有布尔沙模型，又称为七参数转换法。

七参数转换法是：

设两空间直角坐标系间有七个转换参数 3 个平移参数、3 个旋转参数和 1 个尺度参数。



若:

$(X_A \ Y_A \ Z_A)^T$ 为某点在空间直角坐标系 A 的坐标;

$(X_B \ Y_B \ Z_B)^T$ 为该点在空间直角坐标系 B 的坐标;

$(\Delta X_0 \ \Delta Y_0 \ \Delta Z_0)^T$ 为空间直角坐标系 A 转换到空间直角坐标系 B 的平移参数;

$(\mathbf{w}_x \ \mathbf{w}_y \ \mathbf{w}_z)$ 为空间直角坐标系 A 转换到空间直角坐标系 B 的旋转参数;

m 为空间直角坐标系 A 转换到空间直角坐标系 B 的尺度参数。

则由空间直角坐标系 A 到空间直角坐标系 B 的转换关系为:

$$\begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{bmatrix} + (1+m)R(\mathbf{w}) \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{bmatrix}$$

其中:

$$R(\mathbf{w}_x) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \mathbf{w}_x & \sin \mathbf{w}_x \\ 0 & -\sin \mathbf{w}_x & \cos \mathbf{w}_x \end{pmatrix}$$

$$R(\mathbf{w}_y) = \begin{pmatrix} \cos \mathbf{w}_y & 0 & -\sin \mathbf{w}_y \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \mathbf{w}_y & 0 & \cos \mathbf{w}_y \end{pmatrix}$$

$$R(\mathbf{w}_z) = \begin{pmatrix} \cos \mathbf{w}_z & \sin \mathbf{w}_z & 0 \\ -\sin \mathbf{w}_z & \cos \mathbf{w}_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

一般 \mathbf{w}_x 、 \mathbf{w}_y 和 \mathbf{w}_z 均为小角度, 可以认为:

$$\cos \mathbf{w} \approx 1$$

$$\sin \mathbf{w} \approx \mathbf{w}$$

则有:

$$R(\mathbf{w}) = R(\mathbf{w}_z) \cdot R(\mathbf{w}_y) \cdot R(\mathbf{w}_x) = \begin{bmatrix} 1 & \mathbf{w}_z & -\mathbf{w}_y \\ -\mathbf{w}_z & 1 & \mathbf{w}_x \\ \mathbf{w}_y & -\mathbf{w}_x & 1 \end{bmatrix}$$

也可将转换公式表示为：

$$\begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X_A \\ \Delta Y_A \\ \Delta Z_A \end{bmatrix} + K \begin{bmatrix} \mathbf{w}_X \\ \mathbf{w}_Y \\ \mathbf{w}_Z \\ m \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} 0 & -Z_A & Y_A & X_A \\ Z_A & 0 & -X_A & Y_A \\ -Y_A & X_A & 0 & Z_A \end{bmatrix}$$

四、GPS 测量中常用的坐标系统

1. WGS-84

WGS-84 坐标系是目前 GPS 所采用的坐标系统，GPS 所发布的星历参数就是基于此坐标系统的。

WGS-84 坐标系统的全称是 World Geodical System-84 (世界大地坐标系-84)，它是一个地心地固坐标系统。WGS-84 坐标系统由美国国防部制图局建立，于 1987 年取代了当时 GPS 所采用的坐标系统 WGS-72 坐标系统而成为 GPS 所使用的坐标系统。

WGS-84 坐标系的坐标原点位于地球的质心，Z 轴指向 BIH1984.0 定义的协议地球极方向，X 轴指向 BIH1984.0 的起始子午面和赤道的交点，Y 轴与 X 轴和 Z 轴构成右手系。

WGS-84 系所采用椭球参数为：

$$a = 6378137m$$

$$f = 1/298.257223563$$

$$\overline{C}_{20} = -484.16685 \times 10^{-6}$$

$$\mathbf{w} = 7.292115 \times 10^{-5} \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$GM = 398600.5 \text{ km}^3 \cdot \text{s}^{-2}$$

2. 1954 年北京坐标系

1954 年北京坐标系是我国目前广泛采用的大地测量坐标系。该坐标系源自于原苏联采用过的 1942 年普尔科夫坐标系。

建国前，我国没有统一的大地坐标系统，建国初期，在苏联专家的建议下，我国根据当时的具体情况，建立起了全国统一的 1954 年北京坐标系。该坐标系采用的参考椭球是克拉索夫斯基椭球，该椭球的参数为：

$$a = 6378245m$$

$$f = 1/298.3$$

遗憾的是，该椭球并未依据当时我国的天文观测资料进行重新定位，而是由前苏联西伯利亚地区的一等锁，经我国的东北地区传算过来的，该坐标系的高程异常是以前苏联 1955 年大地水准面重新平差的结果为起算值，按我国天文水准路线推算出来的，而高程又是以 1956 年

青岛验潮站的黄海平均海水面为基准。

1954 年北京坐标系建立后，全国天文大地网尚未布测完毕，因此，在全国分期布设该网的同时，相应地进行了分区的天文大地网局部平差，以满足经济和国防建设的需要。局部平差是按逐级控制的原则，先分区平差一等锁系，然后以一等锁环为起算值，平差环内的二等三角锁，平差时网区的连接部仅作了近似处理，如有的仅取两区的平差值，当某些一等锁环内的二等网太大，在当时的计算条件下无法处理时，也进行了分区平差，连接部仍采用近似处理的方法。

由于当时条件的限制，1954 年北京坐标系存在着很多缺点，主要表现在以下几个方面：

1. 克拉索夫斯基椭球参数同现代精确的椭球参数的差异较大，并且不包含表示地球物理特性的参数，因而给理论和实际工作带来了许多不便。
2. 椭球定向不十分明确，椭球的短半轴既不指向国际通用的 CIO 极，也不指向目前我国使用的 JYD 极。参考椭球面与我国大地水准面呈西高东低的系统性倾斜，东部高程异常达 60 余米，最大达 67 米。
3. 该坐标系统的大地点坐标是经过局部分区平差得到的，因此，全国的天文大地控制点实际上不能形成一个整体，区与区之间有较大的隙距，如在有的接合部中，同一点在不同区的坐标值相差 1-2 米，不同分区的尺度差异也很大，而且坐标传递是从东北到西北和西南，后一区是以前一区的最弱部作为坐标起算点，因而一等锁具有明显的坐标积累误差。

3. 1980 年西安大地坐标系

1978 年，我国决定重新对全国天文大地网施行整体平差，并且建立新的国家大地坐标系统，整体平差在新大地坐标系统中进行，这个坐标系统就是 1980 年西安大地坐标系统。1980 年西安大地坐标系统所采用的地球椭球参数的四个几何和物理参数采用了 IAG 1975 年的推荐值，它们是

$$a = 6378140m$$

$$GM = 3.986005 \times 10^{14} m^3 \cdot s^{-2}$$

$$J_2 = 1.08263 \times 10^{-3}$$

$$\omega = 7.292115 \times 10^{-5} rad \cdot s^{-1}$$

椭球的短轴平行于地球的自转轴（由地球质心指向 1968.0 JYD 地极原点方向），起始子午面平行于格林尼治平均天文子午面，椭球面同似大地水准面在我国境内符合最好，高程系统以 1956 年黄海平均海水面为高程起算基准。

第三章 GPS 静态定位在测量中的应用

目前，GPS 静态定位在测量中被广泛地用于大地测量、工程测量、地籍测量、物探测量及各种类型的变形监测等，在以上这些应用中，其主要还是用于建立各种级别、不同用途的控制网。

第1节 GPS 静态定位在测量中的应用

GPS 静态定位在测量中主要用于测定各种用途的控制点。其中，较为常见的方面是利用 GPS 建立各种类型和等级的控制网，在这些方面，GPS 技术已基本上取代了常规的测量方法，成为了主要手段。较之于常规方法，GPS 在布设控制网方面具有以下一些特点：

- **测量精度高**
GPS 观测的精度要明显高于一般的常规测量手段，GPS 基线向量的相对精度一般在 $10^{-5} \sim 10^{-9}$ 之间，这是普通测量方法很难达到的。
- **选点灵活、不需要造标、费用低**
GPS 测量，不要求测站间相互通视，不需要建造觇标，作业成本低，大大降低了布网费用。
- **全天候作业**
在任何时间、任何气候条件下，均可以进行 GPS 观测，大大方便了测量作业，有利于按时、高效地完成控制网的布设。
- **观测时间短**
采用 GPS 布设一般等级的控制网时，在每个测站上的观测时间一般在 1~2 个小时左右，采用快速静态定位的方法，观测时间更短。
- **观测、处理自动化**
采用 GPS 布设控制网，观测工程 and 数据处理过程均是高度自动化的。

第2节 布设 GPS 基线向量网的工作步骤

布设 GPS 基线向量网主要分测前、测中和测后三个阶段进行。

一、测前工作

- **项目的提出**
一项 GPS 测量工程项目，往往是由工程发包方、上级主管部门或其他单位或部门提出，由 GPS 测量队伍具体实施。对于一项 GPS 测量工程项目，一般有如下一些要求：
 - **测区位置及其范围**
测区的地理位置、范围，控制网的控制面积。
 - **用途和精度等级**
控制网将用于何种目的，其精度要求是多少，要求达到何种等级。
 - **点位分布及点的数量**
控制网的点位分布、点的数量及密度要求，是否有对点位分布有特殊要求的区域。
 - **提交成果的内容**
用户需要提交哪些成果，所提交的坐标成果分别属于哪些坐标系，所提交的高程成果

分别属于哪些高程系统，除了提交最终的结果外，是否还需要提交原始数据或中间数据等。

- 时限要求

对提交成果的时限要求，即何时是提交成果的最后期限。

- 投资经费。

对工程的经费投入数量。

- 技术设计

负责 GPS 测量的单位在获得了测量任务后，需要根据项目要求和相关技术规范进行测量工程的技术设计。关于技术设计的具体内容将在第四章中作详细介绍。

- 测绘资料的搜集与整理

在开始进行外业测量之前，现有测绘资料的搜集与整理也是一项极其重要的工作。需要收集整理的资料主要包括测区及周边地区可利用的已知点的相关资料（点之记、坐标等）和测区的地形图等。

- 仪器的检验

对将用于测量的各种仪器包括 GPS 接收机及相关设备、气象仪器等进行检验，以确保它们能够正常工作。

- 踏勘、选点埋石

在完成技术设计和测绘资料的搜集与整理后，需要根据技术设计的要求对测区进行踏勘，并进行选点埋石工作。

二、 测量实施

- 实地了解测区情况

由于在很多情况下，选点埋石和测量是分别由两个不同的队伍或两批不同的人员完成的，因此，当负责 GPS 测量作业的队伍到达测区后，需要先对测区的情况作一个详细的了解。主要需要了解的内容包括点位情况（点的位置、上点的难度等）、测区内经济发展状况、民风民俗、交通状况、测量人员生活安排等。这些对于今后测量工作的开展是非常重要的。

- 卫星状况预报

根据测区的地理位置，以及最新的卫星星历，对卫星状况进行预报，作为选择合适的观测时间段的依据。所需预报的卫星状况有卫星的可见性、可供观测的卫星星座、随时间变化的 PDOP 值、随时间变化的 RDOP 值等。对于个别有较多或较大障碍物的测站，需要评估障碍物对 GPS 观测可能产生的不良影响。

- 确定作业方案

根据卫星状况、测量作业的进展情况、以及测区的实际情况，确定出具体的作业方案，以作业指令的形式下达给各个作业小组，根据情况，作业指令可逐天下达，也可一次下达多天的指令。作业方案的内容包括作业小组的分组情况，GPS 观测的时间段以及测站等。

- 外业观测

各 GPS 观测小组在得到作业指挥员所下达的作业指令后，应严格按照作业指令的要求进行外业观测。在进行外业观测时，外业观测人员除了严格按照作业规范、作业指令进行操作外，还要根据一些特殊情况，灵活地采取应对措施。在外业中常见的情况有不能按时开机、仪器故障和电源故障等。

- 数据传输与转储

在一段外业观测结束后，应及时地将观测数据传输到计算机中，并根据要求进行备份，在数据传输时需要对照外业观测记录手簿，检查所输入的记录是否正确。数据传输与转储应根据条件，及时进行。

- 基线处理与质量评估

对所获得的外业数据及时地进行处理，解算出基线向量，并对解算结果进行质量评估。作业指挥员需要根据基线解算情况作下一步 GPS 观测作业的安排。

- 重复确定作业方案、外业观测、数据传输与转储与基线处理与质量评估四步，直至完成所有 GPS 观测工作。

三、测后工作

- 结果分析（网平差处理与质量评估）
对外业观测所得到的基线向量进行质量检验，并对由合格的基线向量所构建成的 GPS 基线向量网进行平差解算，得出网中各点的坐标成果。如果需要利用 GPS 测定网中各点的正高或正常高，还需要进行高程拟合。
- 技术总结
根据整个 GPS 网的布设及数据处理情况，进行全面的技术总结。
- 成果验收

第四章 技术设计

第1节 技术设计的作用

在布设 GPS 网时，技术设计是非常重要的。这是因为技术设计提供了布设 GPS 网的技术准则，在布设 GPS 网时所遇到的所有技术问题，都需要从技术设计中寻找答案。因此，在进行每一项 GPS 工程时，都必须首先进行技术设计。

第2节 技术设计的内容

一个完整的技术设计，主要应包含如下内容：

- 项目来源
介绍项目的来源、性质。
- 测区概况
介绍测区的地理位置、气候、人文、经济发展状况、交通条件、通讯条件等。
- 工程概况
介绍工程的目的、作用、要求、GPS 网等级（精度）、完成时间等。
- 技术依据
介绍作业所依据的测量规范、工程规范、行业标准等。
- 施测方案
介绍测量所采用的仪器、采取的布网方法等。
- 作业要求
介绍外业观测时的具体操作规程、技术要求等，包括仪器参数的设置（如采样率、截止高度角等）、对中精度、整平精度、天线高的量测方法及精度要求等。
- 观测质量控制
介绍外业观测的质量要求，包括质量控制方法及各项限差要求等。
- 数据处理方案
详细的数据处理方案，包括基线解算和网平差处理所采用的软件和处理方法等内容。

第五章 布网方法

第1节 GPS 基线向量网的等级

根据我国 1992 年所颁布的全球定位系统测量规范，GPS 基线向量网被分成了 A、B、C、D、E 五个级别。下图是我国全球定位系统测量规范中有关 GPS 网等级的有关内容。

GPS 网的精度指标，通常是以网中相邻点之间的距离误差来表示的，其具体形式为：

$$S = \sqrt{a^2 + (b \times D)^2}$$

其中，

S ：网中相邻点间的距离中误差(mm)；

a ：固定误差(mm)；

b ：比例误差(ppm¹)；

D ：相邻点间的距离(km)。

对于不同等级的 GPS 网，有下列的精度要求：

测量分类	固定误差 a (mm)	比例误差 b (ppm)	相邻点距离(km)
A	≤ 5	≤ 0.1	100~2000
B	≤ 8	≤ 1	15~250
C	≤ 10	≤ 5	5~40
D	≤ 10	≤ 10	2~15
E	≤ 10	≤ 20	1~10

A 级网一般为区域或国家框架网、区域动力学网；B 级网为国家大地控制网或地方框架网；C 级网为地方控制网和工程控制网；D 级网为工程控制网；E 级网为测图网。

美国联邦大地测量分管委员会（Federal Geodetic Control Subcommittee-FGCS）在 1988 年公布的 GPS 相对定位的精度标准中有一个 AA 级的等级，此等级的网一般为全球性的坐标框架。

第2节 GPS 基线向量网的布网形式

GPS 网常用的布网形式有以下几种：

- 跟踪站式
- 会战式
- 多基准站式（枢纽点式）
- 同步图形扩展式
- 单基准站式

¹ 1ppm=10⁻⁶。

一、跟踪站式

1. 布网形式

若干台接收机长期固定安放在测站上，进行常年、不间断的观测，即一年观测 365 天，一天观测 24 小时，这种观测方式很象是跟踪站¹，因此，这种布网形式被称为跟踪站式。

2. 特点

由于在采用跟踪站式的布网形式布设 GPS 网时，接收机在各个测站上进行了不间断的连续观测，观测时间长、数据量大，而且在处理采用这种方式所采集的数据时，一般采用精密星历，因此，采用此种形式布设的 GPS 网具有很高的精度和框架基准特性。

每个跟踪站为保证连续观测，一般需要建立专门的永久性建筑即跟踪站，用以安置仪器设备，这使得这种布网形式的观测成本很高。

此种布网形式一般用于建立 GPS 跟踪站（AA 级网），对于普通用途的 GPS 网，由于此种布网形式观测时间长、成本高，故一般不被采用。

二、会战式

1. 布网形式

在布设 GPS 网时，一次组织多台 GPS 接收机，集中在一段不太长的时间内，共同作业。在作业时，所有接收机在若干天的时间里分别在同一批点上进行多天、长时段的同步观测，在完成一批点的测量后，所有接收机又都迁移到另外一批点上进行相同方式的观测，直至所有的点观测完毕，这就是所谓的会战式的布网。

2. 特点

采用会战式布网形式所布设的 GPS 网，因为各基线均进行过较长时间、多时段的观测，所以可以较好地消除 SA 等因素的影响，因而具有特高的尺度精度。此种布网方式一般用于布设 A、B 级网。

三、多基准站式

1. 布网形式

所谓多基准站式的布网形式就是有若干台接收机在一段时间里长期固定在某几个点上进行长时间的观测，这些测站称为基准站，在基准站进行观测的同时，另外一些接收机则在这些

¹ 实际上就是跟踪站。

基准站周围相互之间进行同步观测。

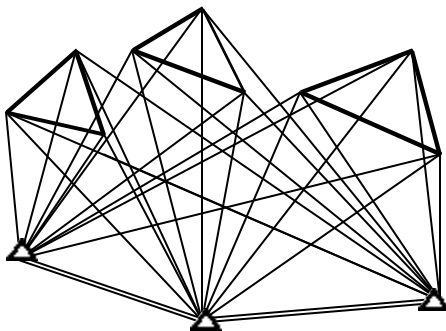


图3 多基准站式

2. 特点

采用多基准站式的布网形式所布设的 GPS 网，由于在各个基准站之间进行了长时间的观测，因此，可以获得较高精度的定位结果，这些高精度的基线向量可以作为整个 GPS 网的骨架。另外一方面，其余的进行了同步观测的接收机间除了自身间有基线向量相连外，它们与各个基准站之间也存在有同步观测，因此，也有同步观测基线相连，这样可以获得更强的图形结构。

四、 同步图形扩展式

1. 布网形式

所谓同步图形扩展式的布网形式，就是多台接收机在不同测站上进行同步观测，在完成一个时段的同步观测后，又迁移到其它的测站上进行同步观测，每次同步观测都可以形成一个同步图形，在测量过程中，不同的同步图形间一般有若干个公共点相连，整个 GPS 网由这些同步图形构成。

2. 特点

同步图形扩展式的布网形式具有扩展速度快，图形强度较高，且作业方法简单的优点。同步图形扩展式是布设 GPS 网时最常用的一种布网形式。

五、 单基准站式

1. 布网形式

单基准站式的布网方式有时又称作星形网方式，它是以一台接收机作为基准站，在某个测站上连续开机观测，其余的接收机在此基准站观测期间，在其周围流动，每到一点就进行观测，流动的接收机之间一般不要求同步，这样，流动的接收机每观测一个时段，就与基准站间测得一条同步观测基线，所有这样测得的同步基线就形成了一个以基准站为中心得星形。流动的接收机有时也称为流动站。

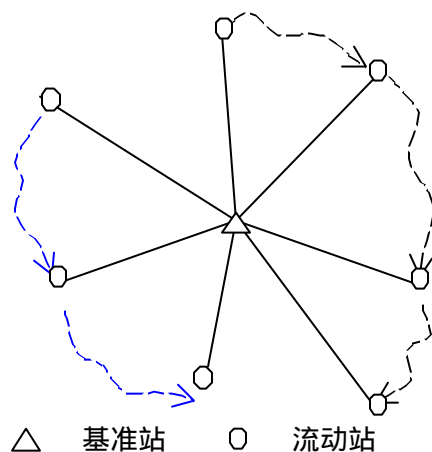


图4 单基准站式

2. 特点

单基准站式的布网方式的效率很高，但是由于各流动站一般只与基准站之间有同步观测基线，故图形强度很弱，为提高图形强度，一般需要每个测站至少进行两次观测。

第3节 采用同步图形扩展的布网形式布设 GPS 基线向量网时的观测作业方式

同步图形扩展式的作业方式具有作业效率高，图形强度好的特点，它是目前在 GPS 测量中普遍采用的一种布网形式，在本书中将着重介绍此种布网形式。

采用同步图形扩展式布设 GPS 基线向量网时的观测作业方式主要以下几种式：

- 点连式
- 边连式
- 网连式
- 混连式

一、 点连式

1. 观测作业方式

所谓点连式就是在观测作业时，相邻的同步图形间只通过一个公共点相连。这样，当有 m 台仪器共同作业时，每观测一个时段，就可以测得 $m-1$ 个新点，当这些仪器观测观测了 s 个时段后，就可以测得 $1+s \cdot (m-1)$ 个点。

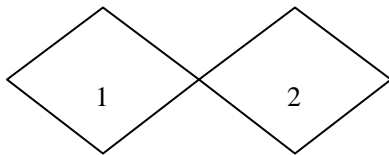


图5 点连式

2. 特点

点连式观测作业方式的优点是作业效率高，图形扩展迅速；它的缺点是图形强度低，如果连接点发生问题，将影响到后面的同步图形。

二、 边连式

1. 观测作业方式

所谓边连式就是在观测作业时，相邻的同步图形间有一条边（即两个公共点）相连。这样，当有 m 台仪器共同作业时，每观测一个时段，就可以测得 $m-2$ 个新点，当这些仪器观测观测了 s 个时段后，就可以测得 $2+s \cdot (m-2)$ 个点。

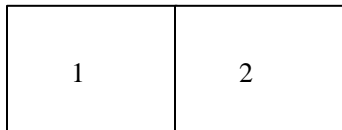


图6 边连式

2. 特点

边连式观测作业方式具有较好的图形强度和较高的作业效率。

三、网连式

1. 观测作业方式

所谓网连式就是在作业时，相邻的同步图形间有 3 个（含 3 个）以上的公共点相连。这样，当有 m 台仪器共同作业时，每观测一个时段，就可以测得 $m - k$ 个新点，当这些仪器观测了 s 个时段后，就可以测得 $k + s \cdot (m - k)$ 个点。

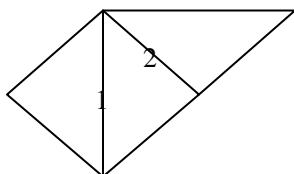


图7 混连式

2. 特点

采用网连式观测作业方式所测设的 GPS 网具有很强的图形强度，但网连式观测作业方式的作业效率很低。

四、混连式

1. 观测作业方式

在实际的 GPS 作业中，一般并不是单独采用上面所介绍的某一种观测作业模式，而是根据具体情况，有选择地灵活采用这几种方式作业，这样一种观测作业方式就是所谓的混连式。

2. 特点

混连式观测作业方式是我们实际作业中最常用的作业方式，它实际上是点连式、边连式和网连式的一个结合体。

第4节 布设 GPS 基线向量网时的设计指标

在布设 GPS 网时，我们除了遵循一定的设计原则外，还需要一些定量的指标来指导我们的工作。在我们进行 GPS 网的设计时经常需要采用效率指标、可靠性指标和精度指标。

一、效率指标

在进行 GPS 网的设计时，我们经常采用效率指标来衡量某种网设计方案的效率，以及在采用某种布网方案作业时所需要的作业时间、消耗等。

在布设一个 GPS 网时，在点数、接收机数和平均重复设站次数¹确定后，则完成该网测设所需的理论最少观测期数²就可以确定。但是，当按照某个具体的布网方式和观测作业方式进行作业时，要按要求完成整网的测设，所需的观测期数与理论上的最少观测期数会有所差异，理论最少观测期数³与设计的观测期数的比值，称之为效率指标（ e ），即

$$e = \frac{s_{\min}}{s_d}$$

其中：

s_{\min} 为理论最少观测期数；

s_d 为设计观测期数。

该指标可用来衡量 GPS 网设计的效率。

二、可靠性指标

GPS 网可靠性，可以分为内可靠性和外可靠性。所谓 GPS 网的内可靠性就是指所布设的 GPS 网发现粗差的能力，即可发现的最小粗差的大小；所谓 GPS 网的外可靠性就是指 GPS 网抵御粗差的能力，即未剔除的粗差对 GPS 网所造成的不良影响的大小。关于内、外可靠性的问题，可以从一些相关书籍上找到更为详细的叙述，并且还给出了内、外可靠性指标的算法。由于内、外可靠性指标在计算上过于烦琐，因此，我们在实际的 GPS 网的设计中采用了另外一个计算较为简单的反映 GPS 网可靠性的数量指标，这个可靠性指标就是整网的多余独立基线数与总的独立基线数的比值，称为整网的平均可靠性指标（ h ），即：

$$h = \frac{l_r}{l_t}$$

其中：

l_r 为多余的独立基线数⁴；

¹ 平均重复设站次数指的是总的设站次数与 GPS 网的点数的比值。

² 观测期数就是同步观测的时段数。

³ 理论最少观测期数 s_{\min} 可用下式计算：

$$s_{\min} = \text{INT}\left(\frac{R \cdot n}{m}\right)$$

其中：

R 为平均重复设站次数；

m 为接收机数；

n 为 GPS 网的点数；

$\text{INT}()$ 为凑整函数， $\text{INT}(x) \geq x$ 。

⁴ 多余的独立基线数可以这样计算：

$$l_r = l_t - l_n$$

l_n 为必要的独立基线数， $l_n = n - 1$

l_t 为总的独立基线数。

三、精度指标

当 GPS 网布网方式和观测作业方式确定后，GPS 网的网形就确定了，根据已确定的 GPS 网的网形，可以得到 GPS 网的设计矩阵 \mathbf{B} ，从而可以得到 GPS 网的协因数阵 $\mathbf{Q} = (\mathbf{B}^T \mathbf{P} \mathbf{B})$ ，在 GPS 网的设计阶段可以采用 $tr(\mathbf{Q})$ 作为衡量 GPS 网精度的指标。

第5节 GPS 网的设计准则

一、出发点

GPS 网设计的出发点是在保证质量的前提下，尽可能地提高效率，努力降低成本。因此，在进行 GPS 的设计和测设时，既不能脱离实际的应用需求，盲目地最求不必要的高精度和高可靠性；也不能为追求高效率和低成本，而放弃对质量的要求。

二、GPS 网布网作业准则

1. 选点

- 为保证对卫星的连续跟踪观测和卫星信号的质量，要求测站上空应尽可能的开阔，在 $10^\circ \sim 15^\circ$ 高度角以上不能有成片的障碍物。
- 为减少各种电磁波对 GPS 卫星信号的干扰，在测站周围约 200m 的范围内不能有强电磁波干扰源，如大功率无线电发射设施、高压输电线等。
- 为避免或减少多路径效应的发生，测站应远离对电磁波信号反射强烈的地形、地物，如高层建筑、成片水域等。
- 为便于观测作业和今后的应用，测站应选在交通便利，上点方便的地方。
- 测站应选择在易于保存的地方。

2. 提高 GPS 网可靠性的方法

- 增加观测期数（增加独立基线数）。

在布设 GPS 网时，适当增加观测期数（时段数）对于提高 GPS 网的可靠性非常有效。因为，随着观测期数的增加，所测得的独立基线数就会增加，而独立基线数的增加，对网的可靠性的提高是非常有宜的。

- 保证一定的重复设站次数¹。

保证一定的重复设站次数，可确保 GPS 网的可靠性。一方面，通过在同一测站上的多次观测，可有效地发现设站、对中、整平、量测天线高等人为错误；另一方面，重复设站次数的

l_t 为总的独立基线数， $l_t = s \cdot (m - 1)$ ， s 为观测期数， m 为同步观测接收机的台数。

¹ 实际上这与增加观测期数是一致的。

增加，也意味着观测期数的增加。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。

- 保证每个测站至少与三条以上的独立基线相连，这样可以使得测站具有较高的可靠性。

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。

- 在布网时要使网中所有最小异步环的边数不大于 6 条。

在布设 GPS 网时，检查 GPS 观测值（基线向量）质量的最佳方法是异步环闭合差，而随着组成异步环的基线向量数的增加，其检验质量的能力将逐渐下降。

3. 提高 GPS 网精度的方法

- 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。

- 为提高整个 GPS 网的精度，可以在全面网之上布设框架网，以框架网作为整个 GPS 网的骨架。

- 在布网时要使网中所有最小异步环的边数不大于 6 条。

- 在布设 GPS 网时，引入高精度激光测距边，作为观测值与 GPS 观测值（基线向量）一同进行联合平差，或将它们作为起算边长。

- 若要采用高程拟合的方法，测定网中各点的正常高/正高，则需在布网时，选定一定数量的水准点，水准点的数量应尽可能的多，且应在网中均匀分布，还要保证有部分点分布在网中的四周，将整个网包含在其中。

- 为提高 GPS 网的尺度精度，可采用如下方法：增设长时间、多时段的基线向量。

4. 布设 GPS 网时起算点的选取与分布

- 若要求所布设的 GPS 网的成果与旧成果吻合最好，则起算点¹数量越多越好，若不要求所布设的 GPS 网的成果完全与旧成果吻合，则一般可选 3~5 个起算点，这样既可以保证新老坐标成果的一致性，也可以保持 GPS 网的原有精度。

- 为保证整网的点位精度均匀，起算点一般应均匀地分布在 GPS 网的周围。要避免所有的起算点分布在网中一侧的情况。

5. 布设 GPS 网时起算边长的选取与分布

- 在布设 GPS 网时，可以采用高精度激光测距边作为起算边长，激光测距边的数量可在 3~5 条左右，它们可设置在 GPS 网中的任意位置。但激光测距边两端点的高差不应过分悬殊。

6. 布设 GPS 网时起算方位的选取与分布

- 在布设 GPS 网时，可以引入起算方位，但起算方位不宜太多，起算方位可布设在 GPS 网中的任意位置。

¹ 一定要保证所采用的起算点的成果不能有质量问题。

第六章 GPS 基线解算

第1节 GPS 基线解算的基本原理

一、观测值

基线解算一般采用差分观测值，较为常用的差分观测值为双差观测值，即由两个测站的原始观测值分别在测站和卫星间求差后所得到的观测值。双差观测值可以表示为下面的形式：

$$dd(\mathbf{f}_f) + v_f = dd(\mathbf{r}) + dd(\mathbf{r}_{ion}) + dd(\mathbf{r}_{trop}) + \mathbf{l}_f \cdot N_f^{m,n}$$

其中：

$dd(\dots)$ 为双差分算子（在测站 i, j 和卫星 m, n 间求差）；

$dd(\mathbf{f}_f)$ 为频率 f 的双差载波相位观测值；

v_f 为频率 f 的双差载波相位观测值的残差（改正数）；

\mathbf{r} 为观测历元 t 时的站星距离；

\mathbf{r}_{ion} 为电离层延迟；

\mathbf{r}_{trop} 为对流层延迟；

\mathbf{l}_f 为频率 f 的载波相位的波长；

$N_f^{m,n}$ 为整周末知数。

若在某一历元中，对 k 颗卫星数进行了同步观测，则可以得到 $k-1$ 个双差观测值；若在整个同步观测时段内同步观测卫星的总数为 l 则整周末知数的数量为 $l-1$ 。

在进行基线解算时， \mathbf{r}_{ion} 和 \mathbf{r}_{trop} 一般并不作为未知参数，而是通过某些方法将它们消除¹。因此，基线解算时一般只有两类参数，一类是测站的坐标参数 X_C ，数量为 3^2 ；另一类是整周未知数参数 X_N （ m 为同步观测的卫星数），数量为 $m-1$ 。

二、基线解算（平差）

基线解算的过程实际上主要是一个平差的过程，平差所采用的观测值主要是双差观测值。在基线解算时，平差要分三个阶段进行，第一阶段进行初始平差，解算出整周末知数参数³的和基线向量的实数解（浮动解）；在第二阶段，将整周末知数固定成整数；在第三阶段，将确定了整周末知数作为已知值，仅将待定的测站坐标作为未知参数，再次进行平差解算，解求出基线向量的最终解-整数解（固定解）。

¹ 如用模型改正或双频改正。

² 在基线解算时将基线的一个端点的坐标作为已知值固定，解求另一个点。固定的点称为起点，待求的点称为终点。

³ 此时所解求出的整周末知数为实数。

1. 初始平差

根据双差观测值的观测方程，组成误差方程后，然后组成法方程后，求解待定的未知参数其精度信息，其结果为：

$$\text{待定参数: } \hat{X} = \begin{bmatrix} \hat{X}_C \\ \hat{X}_N \end{bmatrix}$$

$$\text{待定参数的协因数阵: } Q = \begin{bmatrix} Q_{\hat{X}_C \hat{X}_C} & Q_{\hat{X}_C \hat{X}_N} \\ Q_{\hat{X}_N \hat{X}_C} & Q_{\hat{X}_N \hat{X}_N} \end{bmatrix},$$

$$\text{单位权中误差: } \hat{S}_0.$$

通过初始平差，所解算出的整周未知数参数 \hat{X}_N 本应为整数，但由于观测值误差、随即模型和函数模型不完善等原因，使得其结果为实数，因此，此时与实数的整周未知数参数对应的基线解被称作基线向量的实数解或浮动解。

为了获得较好的基线解算结果，必须准确地确定出整周未知数的整数值。

2. 整周未知数的确定

确定整周未知数的整数值的方法有很多种，目前所采用的方法基本上是以下面将要介绍的搜索法为基础的。搜索法的具体步骤如下：

1. 根据初始平差的结果 \hat{X}_N 和 $D_{\hat{X}_N \hat{X}_N}^{-1}$ ，分别以 \hat{X}_N 中的每一个整周未知数为中心，以与它们中误差的若干倍²为搜索半径，确定出每一个整周未知数的一组备选整数值。
2. 从上面所确定出的每一个整周未知数的备选整数值中一次选取一个，组成整周未知数的备选组，并分别以它们作为已知值，代入原基线解算方程，确定出相应的基线解：

$$\begin{aligned} \hat{X}_i &= [\hat{X}_{C_i}], \\ Q_i &= [Q_{\hat{X}_{C_i} \hat{X}_{C_i}}], \\ \hat{S}_{0i} & \end{aligned}$$

3. 从所解算出的所有基线向量中选出产生单位权中误差最小那个基线向量结果，作为最终的解算结果，这就是所谓的基线向量整数解（或称固定解）。

$$\begin{aligned} \hat{X}_i &= [\hat{X}_{C_i}], \\ Q_i &= [Q_{\hat{X}_{C_i} \hat{X}_{C_i}}], \\ \hat{S}_{0i} & \end{aligned}$$

不过当出现以下情况时，则认为整周未知数无法确定，而无法求出该基线向量的整数解。

$$\frac{\hat{S}_{0\text{次最小}}}{\hat{S}_{0\text{最小}}} \leq T$$

$$T = Z_{F, f; 1-a/2}$$

$Z_{F, f; 1-a/2}$ 是置信水平为 $1-a$ 时的 F 分布的接受域，其自由度为 f 和 f 。

¹ $D_{\hat{X}_N \hat{X}_N}^{-1} = S_0^2 \cdot Q_{\hat{X}_N \hat{X}_N}$ 。

² 可根据一定的置信水平来加以确定。

其中:

$\frac{\hat{S}_{0\text{次最小}}}{\hat{S}_{0\text{最小}}}$ 称为 *RATIO* 值;

\hat{S}_{0i} 也被称为 *RMS*;

$tr(Q)$ 称为 *RDOP* 值。

3. 确定基线向量的固定解

当确定了整周末知数的整数值后，与之相对应的基线向量就是基线向量的整数解。

第2节 GPS 基线解算的分类

一、单基线解算

1. 定义

当有 m 台 GPS 接收机进行了一个时段的同步观测后，每两台接收机之间就可以形成一条基线向量，共有 $1/2 \cdot m(m-1)$ 条同步观测基线，其中最多可以选出相互独立的 $m-1$ 条同步观测基线，至于这 $m-1$ 条独立基线如何选取，只要保证所选的 $m-1$ 条独立基线不构成闭和环就可以了。这也是说，凡是构成了闭和环的同步基线是函数相关的，同步观测所获得的独立基线虽然不具有函数相关的特性，但它们却是误差相关的，实际上所有的同步观测基线间都是误差相关的。所谓单基线解算，就是在基线解算时不顾及同步观测基线间的误差相关性，对每条基线单独进行解算。

2. 特点

单基线解算的算法简单，但由于其解算结果无法反映同步基线间的误差相关的特性，不利于后面的网平差处理，一般只用在普通等级 GPS 网的测设中。

二、多基线解

1. 定义

与单基线解算不同的是，多基线解算顾及了同步观测基线间的误差相关性，在基线解算时对所有同步观测的独立基线一并解算。

2. 特点

多基线解由于在基线解算时顾及了同步观测基线间的误差相关特性，因此，在理论上是严密的。

第3节 基线解算阶段的质量控制

一、 质量控制指标及其应用

1. 质量控制指标

■ 单位权方差因子 \hat{S}_0

■ 定义

$$\hat{S}_0 = \sqrt{\frac{V^T P V}{f}}$$

其中：

V 为观测值的残差；

P 为观测值的权；

n 为观测值的总数。

■ 实质

单位权方差因子又称为参考因子。

■ 数据删除率

■ 定义

在基线解算时，如果观测值的改正数大于某一个阈值时，则认为该观测值含有粗差，则需要将其删除。被删除观测值的数量与观测值的总数的比值，就是所谓的数据删除率。

■ 实质

数据删除率从某一方面反映出了 GPS 原始观测值的质量。数据删除率越高，说明观测值的质量越差。

■ **RATIO**

■ 定义

$$RATIO = RMS_{\text{次最小}} / RMS_{\text{最小}}$$

显然， $RATIO \geq 1.0$

■ 实质

$RATIO$ 反映了所确定出的整周未知数参数的可靠性，这一指标取决于多种因素，既与观

测值的质量有关，也与观测条件¹的好坏有关。

■ RDOP

■ 定义

所谓 *RDOP* 值指的是在基线解算时待定参数的协因数阵的迹 ($tr(Q)$) 的平方根，即 $RDOP = (tr(Q))^{1/2}$ 。*RDOP* 值的大小与基线位置和卫星在空间中的几何分布及运行轨迹（即观测条件）有关，当基线位置确定后，*RDOP* 值就只与观测条件有关了，而观测条件又是时间的函数，因此，实际上对与某条基线向量来讲，其 *RDOP* 值的大小与观测时间段有关。

■ 实质

RDOP 表明了 GPS 卫星的状态对相对定位的影响，即取决于观测条件的好坏，它不受观测值质量好坏的影响。

■ RMS

■ 定义

RMS 即均方根误差 (Root Mean Square)，即：

$$RMS = \sqrt{\frac{V^T V}{n-1}}$$

其中：

V 为观测值的残差；

P 为观测值的权；

n 为观测值的总数。

■ 实质

RMS 表明了观测值的质量，观测值质量越好，*RMS* 越小，反之，观测值质量越差，则 *RMS* 越大，它不受观测条件（观测期间卫星分布图形）的好坏的影响。

依照数理统计的理论观测值误差落在 1.96 倍 *RMS* 的范围内的概率是 95%。

■ 同步环闭合差

■ 定义

同步环闭合差是由同步观测基线所组成的闭合环的闭合差²。

■ 特点及作用

由于同步观测基线间具有一定的内在联系，从而使得同步环闭合差在理论上应总是为 0 的，如果同步环闭合差超限，则说明组成同步环的基线中至少存在一条基线向量是错误的，但反过来，如果同步环闭合差没有超限，还不能说明组成同步环的所有基线在质量上均合格。

¹ 在 GPS 测量中的观测条件指的是卫星星座的几何图形和运行轨迹。

² 所谓环的闭和差有以下几类：

$$\text{分量闭合差：} \mathbf{e}_{\Delta X} = \sum \Delta X ; \mathbf{e}_{\Delta Y} = \sum \Delta Y ; \mathbf{e}_{\Delta Z} = \sum \Delta Z .$$

$$\text{全长相对闭合差：} \mathbf{e} = (\mathbf{e}_{\Delta x}^2 + \mathbf{e}_{\Delta y}^2 + \mathbf{e}_{\Delta z}^2)^{1/2} / \sum S , \text{ 其中：} \sum S \text{ 为环长。}$$

■ 异步环闭合差

■ 定义

不是完全由同步观测基线所组成的闭合环称为异步环，异步环的闭合差称为异步环闭合差。

■ 特点及作用

当异步环闭合差满足限差要求时，则表明组成异步环的基线向量的质量是合格的；当异步环闭合差不满足限差要求时，则表明组成异步环的基线向量中至少有一条基线向量的质量不合格，要确定出哪些基线向量的质量不合格，可以通过多个相邻的异步环或重复基线来进行。

■ 重复基线较差

■ 定义

不同观测时段，对同一条基线的观测结果，就是所谓重复基线。这些观测结果之间的差异，就是重复基线较差。

二、应用

$RATIO$ 、 $RDOP$ 和 RMS 这几个质量指标只具有某种相对意义，它们数值的高低不能绝对的说明基线质量的高低。若 RMS 偏大，则说明观测值质量较差¹，若 $RDOP$ 值较大，则说明观测条件较差。

第4节 影响 GPS 基线解算结果的几个因素及其应对方法

一、影响 GPS 基线解算结果的几个因素

影响基线解算结果的因素主要有以下几条：

■ 基线解算时所设定的起点坐标不准确

起点坐标不准确，会导致基线出现尺度和方向上的偏差。

■ 少数卫星的观测时间太短，导致这些卫星的整周未知数无法准确确定

当卫星的观测时间太短时，会导致与该颗卫星有关的整周未知数无法准确确定，而对与基线解算来讲，对于参与计算的卫星，如果与其相关的整周未知数没有准确确定的话，就将影响整个

■ 在整个观测时段里，有个别时间段里周跳太多，致使周跳修复不完善

■ 在观测时段内，多路径效应比较严重，观测值的改正数普遍较大

■ 对流层或电离层折射影响过大

¹ 观测值质量的好坏取决于接收机的测相精度的高低，周跳修复是否完全，对流层和电离层延迟的影响是否完全消除，以及多路径效应是否严重等因素。

二、影响 GPS 基线解算结果因素的判别及应对措施

1. 影响 GPS 基线解算结果因素的判别

■ 概述

对于影响 GPS 基线解算结果因素，有些是较容易判别的，如卫星观测时间太短、周跳太多、多路径效应严重、对流层或电离层折射影响过大等；但对于另外一些因素却不好判断了，如起点坐标不准确。

■ 基线起点坐标不准确的判别

对于由起点坐标不准确所以对基线解算质量造成的影响，目前还没有较容易的方法来加以判别，因此，在实际工作中，只有尽量提高起点坐标的准确度，以避免这种情况的发生。

■ 卫星观测时间短的判别

关于卫星观测时间太短这类问题的判断比较简单，只要查看观测数据的记录文件中有关对与每个卫星的观测数据的数量就可以了，有些数据处理软件还输出卫星的可见性图，这就更直观了。

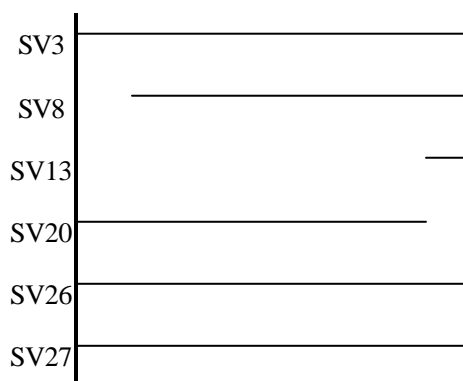


图8 卫星的可见性图（示例）

■ 周跳太多的判别

对于卫星观测值中周跳太多的情况，可以从基线解算后所获得的观测值残差上来分析。目前，大部分的基线处理软件一般采用的双差观测值，当在某测站对某颗卫星的观测值中含有未修复的周跳时，与此相关的所有双差观测值的残差都会出现显著的整数倍的增大。

■ 多路径效应严重、对流层或电离层折射影响过大的判别

对于多路径效应、对流层或电离层折射影响的判别，我们也是通过观测值残差来进行的。不过与整周跳变不同的是，当路径效应严重、对流层或电离层折射影响过大时，观测值残差不是象周跳未修复那样出现整数倍的增大，而只是出现非整数倍的增大，一般不超过 1 周，但却又明显地大于正常观测值的残差。

2. 应对措施

■ 基线起点坐标不准确的应对方法

要解决基线起点坐标不准确的问题，可以在进行基线解算时，使用坐标准确度较高的点作为基线解算的起点，较为准确的起点坐标可以通过进行较长时间的单点定位或通过与 WGS-84 坐标较准确的点联测得到；也可以采用在进行整网的基线解算时，所有基线起点的坐标均由一个点坐标衍生而来，使得基线结果均具有某一系统偏差，然后，再在 GPS 网平差处理时，引入系统参数的方法加以解决。

■ 卫星观测时间短的应对方法

若某颗卫星的观测时间太短，则可以删除该卫星的观测数据，不让它们参加基线解算，这样可以保证基线解算结果的质量。

■ 周跳太多的的应对方法

若多颗卫星在相同的时间段内经常发生周跳时，则可采用删除周跳严重的时间段的方法，来尝试改善基线解算结果的质量；若只是个别卫星经常发生周跳，则可采用删除经常发生周跳的卫星的观测值的方法，来尝试改善基线解算结果的质量。

■ 多路径效应严重

由于多路径效应往往造成观测值残差较大，因此，可以通过缩小编辑因子的方法来剔除残差较大的观测值；另外，也可以采用删除多路径效应严重的时间段或卫星的方法。

■ 对流层或电离层折射影响过大的应对方法

对于对流层或电离层折射影响过大的问题，可以采用下列方法：

1. 提高截止高度角，剔除易受对流层或电离层影响的低高度角观测数据。但这种方法，具有一定的盲目性，因为，高度角低的信号，不一定受对流层或电离层的影响就大。
2. 分别采用模型对对流层和电离层延迟进行改正。
3. 如果观测值是双频观测值，则可以使用消除了电离层折射影响的观测值来进行基线解算。

3. 基线精化处理的有力工具-残差图

在基线解算时经常要判断影响基线解算结果质量的因素，或需要确定哪颗卫星或哪段时间的观测值质量上有问题，残差图对于完成这些工作非常有用。所谓残差图就是根据观测值的残差绘制的一种图表。

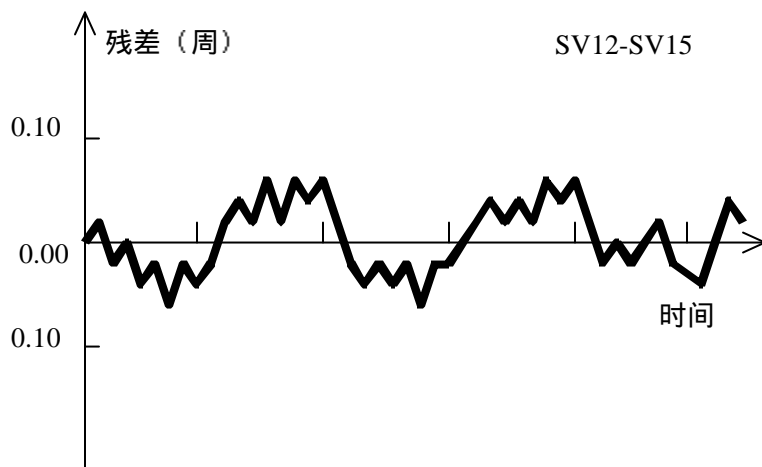


图9 残差图

上图是一种常见双差分观测值残差图的形式，它的横轴表示观测时间，纵轴表示观测值的残差，右上角的“SV12-SV15”表示此残差是 SV12 号卫星与 SV15 号卫星的差分观测值的残差。正常的残差图一般为残差绕着零轴上下摆动，振幅一般不超过 0.1 周。

下面三个图表明 SV12 号卫星的观测值中含有周跳。

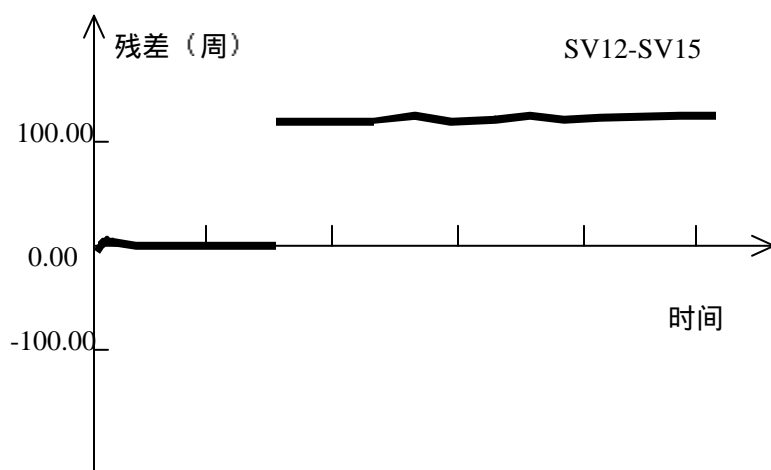


图10 SV12 含有周跳的残差图（1）

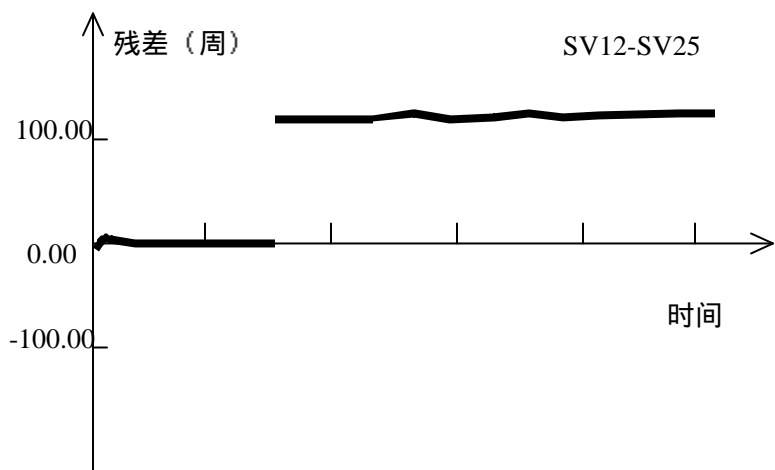


图11 SV12 含有周跳的残差图 (2)

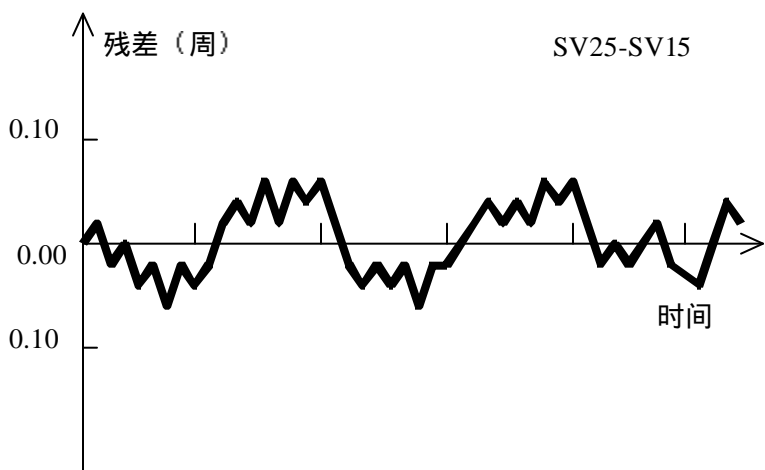


图12 SV12 含有周跳的残差图 (3)

下面三个残差图表明 SV25 在 $T_1 \sim T_2$ 时间段内受不名因素（可能是多路径效应、对流层折射、电离层折射或强电磁波干扰）影响严重。

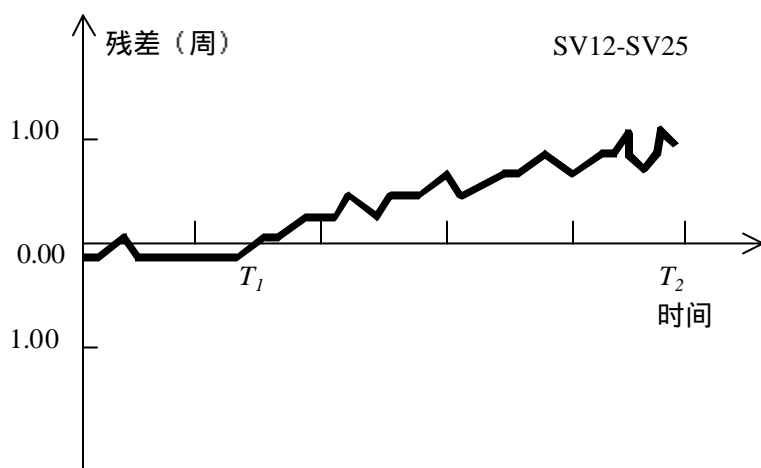


图13 SV25 受不明因素影响的残差图 (1)

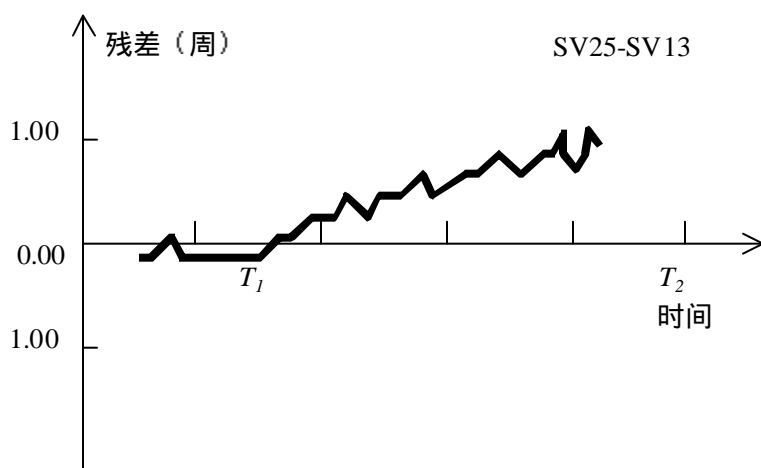


图14 SV25 受不明因素影响的残差图 (2)

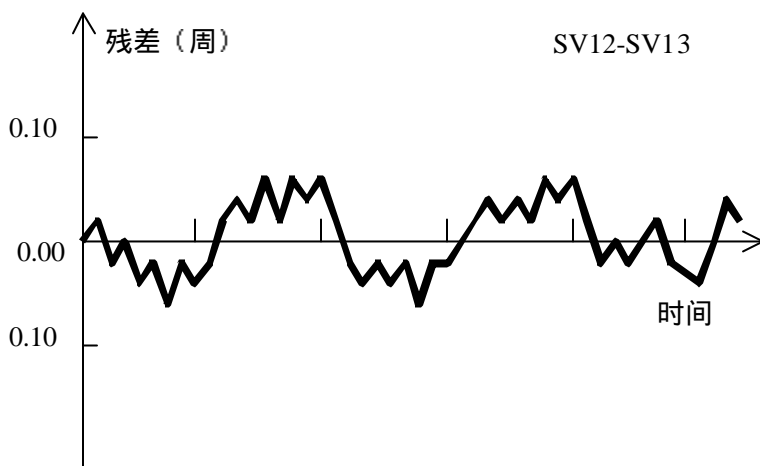


图15 SV25 受不明因素影响的残差图（3）

第5节 GPS 基线解算的过程

每一个厂商所生产的接收机都会配备相应的数据处理软件，它们在使用方法都会有各自不同的特点，但是，无论是那种软件，它们在使用步骤上却是大体相同的。

GPS 基线解算的过程是：

1. 原始观测数据的读入

在进行基线解算时，首先需要读取原始的 GPS 观测值数据。一般说来，各接收机厂商随接收机一起提供的数据处理软件都可以直接处理从接收机中传输出来的 GPS 原始观测值数据，而由第三方所开发的数据处理软件则不一定能对各接收机的原始观测值数据进行处理，要处理这些数据，首先需要进行格式转换。目前，最常用的格式是 RINEX 格式，对于按此种格式存储的数据，大部分的数据处理软件都能直接处理。

2. 外业输入数据的检查与修改

在读入了 GPS 观测值数据后，就需要对观测数据进行必要的检查，检查的项目包括：测站名、点号、测站坐标、天线高等。对这些项目进行检查的目的，是为了避免外业操作时的误操作。

3. 设定基线解算的控制参数

基线解算的控制参数用以确定数据处理软件采用何种处理方法来进行基线解算，设定基线解算的控制参数是基线解算时的一个非常重要的环节，通过控制参数的设定，可以实现基线的精化处理。

4. 基线解算

基线解算的过程一般是自动进行的，无需过多的人工干预。

5. 基线质量的检验

基线解算完毕后，基线结果并不能马上用于后续的处理，还必须对基线的质量进行检验，只有质量合格的基线才能用于后续的处理，如果不合格，则需要对基线进行重新解算或重新测量。基线的质量检验需要通过 $RATIO$ 、 $RDOP$ 、 RMS 、同步环闭和差、异步环闭和差和重复基线较差来进行。

6. 结束

第七章 GPS 基线向量网平差

GPS 基线解算就是利用 GPS 观测值，通过数据处理，得到测站的坐标或测站间的基线向量值。

我们在采用 GPS 观测完整个 GPS 网后，经过基线解算可以获得具有同步观测数据的测站间的基线向量，为了确定 GPS 网中各个点在某一坐标系统下的绝对坐标，需要提供位置基准、方位基准和尺度基准，而 GPS 基线向量只含有在 WGS-84 下的方位基准和尺度基准，而我们布设 GPS 网的主要目的是确定网中各个点在某一特定局部坐标系下的坐标，这就需要通过在平差时引入该坐标系下的起算数据来实现。当然，GPS 基线向量网的平差，还可以消除 GPS 基线向量观测值和地面观测中由于各种类型的误差而引起的矛盾。

根据平差所进行的坐标空间，可将 GPS 网平差分为三维平差和二维平差，根据平差时所采用的观测值和起算数据的数量和类型，可将平差分为无约束平差、约束平差和联合平差等。

第1节 GPS 网平差的分类

一、 三维平差和二维平差

1. 三维平差

所谓三维平差是指平差在空间三维坐标系中进行，观测值为三维空间中的观测值，解算出的结果为点的三维空间坐标。GPS 网的三维平差，一般在三维空间直角坐标系或三维空间大地坐标系下进行。

2. 二维平差

所谓二维平差是指平差在二维平面坐标系下进行，观测值为二维观测值，解算出的结果为点的二维平面坐标。

二、 无约束平差、约束平差和联合平差

1. 无约束平差

GPS 网的无约束平差指的是在平差时不引入会造成 GPS 网产生由非观测量所引起的变形的起算数据。常见的 GPS 网的无约束平差，一般是在平差时没有起算数据或没有多余的起算数据。

2. 约束平差

GPS 网的约束平差指的是平差时所采用的观测值完全是 GPS 观测值（即 GPS 基线向量），而且，在平差时引入了使得 GPS 网产生由非观测值所引起的变形的变形的外部起算数据。

3. 联合平差

GPS 网的联合平差指的是平差时所采用的观测值除了 GPS 观测值以外，还采用了地面常规观测值，这些地面常规观测值包括边长、方向、角度等观测值等。

第2节 GPS 网平差原理

一、 三维无约束平差

1. 定义

所谓 GPS 网的三维无约束平差是指平差在 WGS-84 三维空间直角坐标系下进行，平差时不引入使得 GPS 网产生由非观测值所引起的变形的变形的外部约束条件。具体地说，就是在进行平差时，所采用的起算条件不超过三个。对于 GPS 网来说，在进行三维平差时，其必要的起算条件的数量为三个，这三个起算条件既可以是一个起算点的三维坐标向量，也可以是其它的起算条件。

2. 作用

GPS 网的三维无约束平差有以下三个主要作用：

- 评定 GPS 网的内部符合精度，发现和剔除 GPS 观测值中可能存在的粗差
由于三维无约束平差的结果完全取决于 GPS 网的布设方法和 GPS 观测值的质量，因此，三维无约束平差的结果就完全反映了 GPS 网本身的质量好坏，如果平差结果质量不好，则说明 GPS 网的布设或 GPS 观测值的质量有问题；反之，则说明 GPS 网的布设或 GPS 观测值的质量没有问题。
- 得到 GPS 网中各个点在 WGS-84 系下经过了平差处理的三维空间直角坐标
在进行 GPS 网的三维无约束平差时，如果指定网中某点准确的 WGS-84 坐标作为起算点，则最后可得到的 GPS 网中各个点经过了平差处理的在 WGS-84 系下的坐标。
- 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
用 GPS 水准替代常规水准测量获取各点的正高或正常高是目前 GPS 应用中一个较新的领域，现在一般采用的是利用公共点进行高程拟合的方法。在进行高程拟合之前，必须获得经过平差的大地高数据，三维无约束平差可以提供这些数据。

3. 原理

在 GPS 网三维无约束平差中所采用的观测值为基线向量，即 GPS 基线的起点到终点的坐

标差，因此，对与每一条基线向量，都可以列出如下的一组观测方程：

$$\begin{bmatrix} v_{\Delta X} \\ v_{\Delta Y} \\ v_{\Delta Z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dX_i \\ dY_i \\ dZ_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dX_j \\ dY_j \\ dZ_j \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \Delta X_{ij} - X_i^0 + X_j^0 \\ \Delta Y_{ij} - Y_i^0 + Y_j^0 \\ \Delta Z_{ij} - Z_i^0 + Z_j^0 \end{bmatrix}$$

与此相对应的方差-协方差阵、协因数阵和权阵分别为：

$$D_{ij} = \begin{bmatrix} \mathbf{S}_{\Delta X}^2 & \mathbf{S}_{\Delta X \Delta Y} & \mathbf{S}_{\Delta X \Delta Z} \\ \mathbf{S}_{\Delta Y \Delta X} & \mathbf{S}_{\Delta Y}^2 & \mathbf{S}_{\Delta Y \Delta Z} \\ \mathbf{S}_{\Delta Z \Delta X} & \mathbf{S}_{\Delta Z \Delta Y} & \mathbf{S}_{\Delta Z}^2 \end{bmatrix},$$

$$Q_{ij} = \frac{1}{\mathbf{S}_0^2} D_{ij}$$

$$P_{ij} = D_{ij}^{-1}$$

\mathbf{S}_0 为先验的单位权中误差。

平差所用的观测方程就是通过上面的方法列出的，但为了使平差进行下去，还必须引入位置基准，引入位置基准的方法一般有两种。第一种是以 GPS 网中一个点的 WGS-84 坐标作为起算的位置基准，即可有一个基准方程：

$$\begin{bmatrix} dX_i \\ dY_i \\ dZ_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_i^0 \\ Y_i^0 \\ Z_i^0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = 0$$

第二种是采用秩亏自由网基准，引入下面的基准方程：

$$G^T dB = 0$$

$$G^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = [E \quad E \quad E \quad \dots \quad E]$$

$$dB = [db_1 \quad db_2 \quad db_3 \quad \dots \quad db_n]^T$$

$$= [dX_1 \quad dY_1 \quad dZ_1 \quad \dots \quad dX_n \quad dY_n \quad dZ_n]^T$$

根据上面的观测方程和基准方程，按照最小二乘原理进行平差解算，得到平差结果。

$$\text{待定点坐标参数: } \begin{bmatrix} \overset{)}{X_1} \\ \overset{)}{Y_1} \\ \overset{)}{Z_1} \\ \vdots \\ \overset{)}{X_n} \\ \overset{)}{Y_n} \\ \overset{)}{Z_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1^0 \\ Y_1^0 \\ Z_1^0 \\ \vdots \\ X_n^0 \\ Y_n^0 \\ Z_n^0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \overset{)}{dX_1} \\ \overset{)}{dY_1} \\ \overset{)}{dZ_1} \\ \vdots \\ \overset{)}{dX_n} \\ \overset{)}{dY_n} \\ \overset{)}{dZ_n} \end{bmatrix}$$

$$\text{单位权中误差: } \mathbf{S}_0 = \sqrt{\frac{V^T P V}{3n - 3p + 3}}; \text{ 其中 } n \text{ 为组成 GPS 网的基线数, } p \text{ 为基线数。}$$

协因数阵： Q

4. 单位权方差的检验

平差后单位权方差的估值 $\hat{\sigma}_0^2$ 应与平差前先验的单位权方差 σ_0^2 一致，判断它们是否一致可以采用 χ^2 -检验。

原假设 $H_0: \hat{\sigma}_0^2 = \sigma_0^2$

备选假设 $H_1: \hat{\sigma}_0^2 \neq \sigma_0^2$

其中：

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T P V}{3n - 3p + 3}$$

若：

$$\frac{V^T P V}{\chi_{a/2}^2} < \sigma_0^2 < \frac{V^T P V}{\chi_{1-a/2}^2}; \text{ 其中 } a \text{ 为显著性水平}$$

则 H_0 成立；反之，则 H_1 成立。

二、 三维联合平差

GPS 网的三维联合平差一般是在某一个地方坐标系下进行的，平差所采用的观测量除了 GPS 基线向量外，有可能还引入了常规的地面观测值，这些常规的地面观测值包括边长观测值、角度观测值、方向观测值等；平差所采用的起算数据一般为地面点的三维大地坐标，除此之外，有时还加入了已知边长和已知方位等作为起算数据。

三、 二维联合平差

二维联合平差与三维联合平差很相似，不同的是二维联合平差一般在一个平面坐标系下进行。与三维联合平差一样的是，平差所采用的观测量除了 GPS 基线向量外，有可能还引入了常规的地面观测值，这些常规的地面观测值包括边长观测值、角度观测值、方向观测值等；平差所采用的起算数据一般为地面点的二维平面坐标，除此之外，有时还加入了已知边长和已知方位等作为起算数据。

第3节 GPS 网平差的过程

在使用数据处理软件进行 GPS 网平差时，需要按以下几个步骤来进行：

- 提取基线向量，构建 GPS 基线向量网
- 三维无约束平差
- 约束平差/联合平差
- 质量分析与控制

一、提取基线向量，构建 GPS 基线向量网

要进行 GPS 网平差，首先必须提取基线向量，构建 GPS 基线向量网。提取基线向量时需要遵循以下几项原则：

- 必须选取相互独立的基线，若选取了不相互独立的基线，则平差结果会与真实的情况不相符合。
- 所选取的基线应构成闭合的几何图形。
- 选取质量好的基线向量，基线质量的好坏，可以依据 *RMS*、*RDOP*、*RATIO*、同步环闭和差、异步环闭和差和重复基线较差来判定。
- 选取能构成边数较少的异步环的基线向量。
- 选取边长较短的基线向量。

二、三维无约束平差

在构成了 GPS 基线向量网后，需要进行 GPS 网的三维无约束平差，通过无约束平差主要达到以下几个目的：

- 根据无约束平差的结果，判别在所构成的 GPS 网中是否有粗差基线，如发现含有粗差的基线，需要进行相应的处理，必须使得最后用于构网的所有基线向量均满足质量要求。
- 调整各基线向量观测值的权，使得它们相互匹配。

三、约束平差/联合平差

在进行完三维无约束平差后，需要进行约束平差或联合平差，平差可根据需要在三维空间进行或二维空间中进行。

约束平差的具体步骤是：

- 指定进行平差的基准和坐标系统。
- 指定起算数据。
- 检验约束条件的质量。
- 进行平差解算。

四、质量分析与控制

在这一步，进行 GPS 网质量的评定，在评定时可以采用下面的指标：

- 基线向量的改正数。
根据基线向量的改正数的大小，可以判断出基线向量中是否含有粗差。具体判定依据是，若： $|v_i| < \sqrt{s_0 \cdot q_i \cdot t_{1-\alpha/2}^2}$ ¹，则认为基线向量中不含有粗差；反之，则含有粗差。
- 相邻点的中误差和相对中误差。

若在进行质量评定时，发现有质量问题，需要根据具体情况进行处理，如果发现构成 GPS 网的基线中含有粗差，则需要采用删除含有粗差的基线、重新对含有粗差的基线进行解算或重测含有粗差的基线等方法加以解决；如果发现个别起算数据有质量问题，则应该放弃有质量问

¹ v_i 为观测值残差， s_0 为单位权方差， q_i 为第 i 个观测值的协因数， $t_{1-\alpha/2}$ 为在显著性水平 α 下的 t 分布的区间。

题的起算数据。

第4节 GPS 网平差中起算数据的检验

在进行 GPS 网的约束平差或联合平差时，起算数据质量的检验是很必要的，由于在 GPS 网平差中所用的起算数据一般为点的坐标，因此，在这里将主要介绍对起算点坐标的检验。

一、 方差检验法

在进行三维无约束平差，要进行方差估计，调整观测值的权，直至验后的单位权方差与先验的单位权方差相容¹。在进行约束平差时，以三维无约束平差所得到的验后单位权方差作为先验的单位权方差，逐个加入起算数据进行平差解算，同时检验验后的单位权方差与先验的单位权方差之间的相容性，当在加入了某一起算数据后发现它们不一致，则说明该起算数据可能存在质量问题。

二、 符合路线法

符合路线法是从一个起算点通过一条由 GPS 基线向量组成的 GPS 导线推算另一个起算点的坐标，将此坐标与已知值比较，根据它们差异的大小来判断起算点的质量。为准确地判断起算点质量的好坏，一般需要采用多条符合路线。

三、 检查点法

在进行平差解算时，不将所有起算点坐标固定，而是保留一个点作为检查点，平差后比较该点坐标的平差值和已知值，根据它们差异的大小来判断起算点质量的好坏。为准确地判断起算点质量的好坏，一般需要轮换地将各个起算点分别作为检查点。

¹ 要求统计量 $\frac{f \cdot s_0^2}{s_0^2}$ 通过 χ^2 -检验，其中 f 为自由度。

第八章 GPS 高程

第1节 高程系统

在测量中常用的高程系统有大地高系统、正高系统和正常高系统。

一、 大地高系统

大地高系统是以参考椭球面为基准面的高程系统。某点的大地高是该点到通过该点的参考椭球的法线与参考椭球面的交点间的距离。大地高也称为椭球高，大地高一般用符号 H 表示。大地高是一个纯几何量，不具有物理意义，同一个点，在不同的基准下，具有不同的大地高。

二、 正高系统

正高系统是以大地水准面为基准面的高程系统。某点的正高是该点到通过该点的铅垂线与大地水准面的交点之间的距离，正高用符号 H_g 表示。

三、 正常高

正常高系统是以似大地水准面为基准的高程系统。某点的正常高是该点到通过该点的铅垂线与似大地水准面的交点之间的距离，正常高用 H_g 表示。

四、 高程系统之间的转换关系

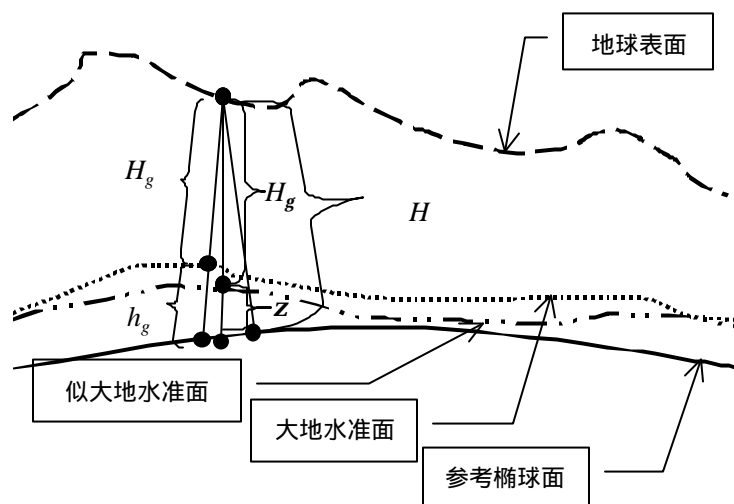


图16 高程系统间的相互关系

大地水准面到参考椭球面的距离，称为大地水准面差距，记为 h_g 。大地高与正高之间的关系可以表示为：

$$H = H_g + h_g$$

似大地水准面到参考椭球面的距离，称为高程异常，记为 z 。大地高与正常高之间的关系可以表示为：

$$H = H_g + z$$

第2节 GPS 高程的方法

由于采用 GPS 观测所得到的是大地高，为了确定出正高或正常高，需要有大地水准面差距或高程异常数据。

一、 等值线图法

从高程异常图或大地水准面差距图分别查出各点的高程异常 z 或大地水准面差距 h_g ，然后分别采用下面两式可计算出正常高 H_g 和正高 H_g 。

正常高： $H_g = H - z$

正高： $H_g = H - h_g$

在采用等值线图法确定点的正常高和正高时要注意以下几个问题：

- 注意等值线图所适用的坐标系统，在求解正常高或正高时，要采用相应坐标系统的大地高数据。
- 采用等值线图法确定正常高或正高，其结果的精度在很大程度上取决于等值线图的精度。

二、地球模型法

地球模型法本质上是一种数字化的等值线图，目前国际上较常采用的地球模型有 OSU91A 等。不过可惜的是这些模型均不适合于我国。

三、高程拟合法

1. 基本原理

所谓高程拟合法就是利用在范围不大的区域中，高程异常具有一定的几何相关性这一原理，采用数学方法，求解正高、正常高或高程异常。

将高程异常表示为下面多项式的形式，

零次多项式：

$$Z = a_0$$

一次多项式：

$$Z = a_0 + a_1 \cdot dB + a_2 \cdot dL$$

二次多项式：

$$Z = a_0 + a_1 \cdot dB + a_2 \cdot dL + a_3 \cdot dB^2 + a_4 \cdot dL^2 + a_5 \cdot dB \cdot dL$$

其中：

$$dB = B - B_0;$$

$$dL = L - L_0;$$

$$B_0 = \frac{1}{n} \sum B;$$

$$L_0 = \frac{1}{n} \sum L;$$

n 为 GPS 网的点数。

利用公共点上 GPS 测定的大地高和水准测量测定的正常高计算出该点上的高程异常 Z ，存在一个这样的公共点，就可以依据上式列出一个方程：

$$Z_i = a_0 + a_1 \cdot dB_i + a_2 \cdot dL_i + a_3 \cdot dB_i^2 + a_4 \cdot dL_i^2 + a_5 \cdot dB_i \cdot dL_i$$

若共存在 m 个这样的公共点，则可列出 m 个方程。

$$Z_1 = a_0 + a_1 \cdot dB_1 + a_2 \cdot dL_1 + a_3 \cdot dB_1^2 + a_4 \cdot dL_1^2 + a_5 \cdot dB_1 \cdot dL_1$$

$$Z_2 = a_0 + a_1 \cdot dB_2 + a_2 \cdot dL_2 + a_3 \cdot dB_2^2 + a_4 \cdot dL_2^2 + a_5 \cdot dB_2 \cdot dL_2$$

.....

$$Z_m = a_0 + a_1 \cdot dB_m + a_2 \cdot dL_m + a_3 \cdot dB_m^2 + a_4 \cdot dL_m^2 + a_5 \cdot dB_m \cdot dL_m$$

即有：

$$V = Ax + L$$

其中：

$$A = \begin{bmatrix} 1 & dB_1 & dL_1 & dB_1^2 & dL_1^2 & dB_1 \cdot dL_1 \\ 1 & dB_2 & dL_2 & dB_2^2 & dL_2^2 & dB_2 \cdot dL_2 \\ \dots & & & & & \\ 1 & dB_m & dL_m & dB_m^2 & dL_m^2 & dB_m \cdot dL_m \end{bmatrix}$$

$$x = [a_0 \quad a_1 \quad a_2 \quad a_3 \quad a_4 \quad a_5]^T$$

$$V = [z_1 \quad z_2 \quad \dots \quad z_m]^T$$

通过最小二乘法可以求解出多项式的系数：

$$x = -(A^T P A)^{-1} (A^T P L)$$

其中：

P 为权阵，它可以根据水准高程和 GPS 所测得的大地高的精度来加以确定。

2. 注意事项

■ 适用范围

上面介绍的高程拟合的方法，是一种纯几何的方法，因此，一般仅适用于高程异常变化较为平缓的地区（如平原地区），其拟合的准确度可达到一个分米以内。对于高程异常变化剧烈的地区（如山区），这种方法的准确度有限，这主要是因为在这些地区，高程异常的已知点很难将高程异常的特征表示出来。

■ 选择合适的高程异常已知点

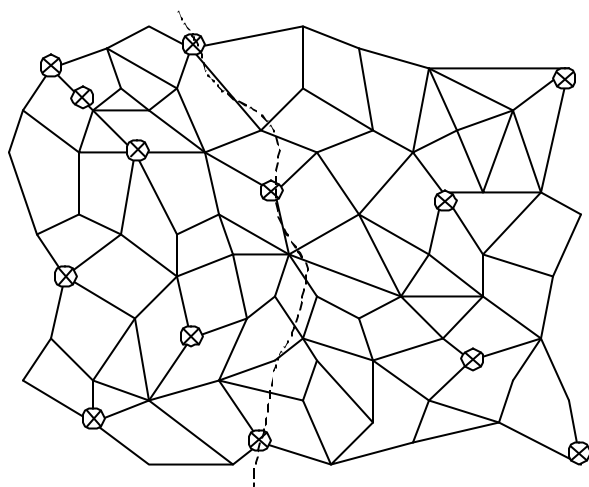
所谓高程异常的已知点的高程异常值一般是通过水准测量测定正常高、通过 GPS 测量测定大地高后获得的。在实际工作中，一般采用在水准点上布设 GPS 点或对 GPS 点进行水准联测的方法来实现，为了获得好的拟合结果要求采用数量尽量多的已知点，它们应均匀分布，并且最好能够将整个 GPS 网包围起来。

■ 高程异常已知点的数量

若要用零次多项式进行高程拟合时，要确定 1 个参数，因此，需要 1 个以上的已知点；若要采用一次多项式进行高程拟合，要确定 3 个参数，需要 3 个以上的已知点；若要采用二次多项式进行高程拟合，要确定 6 个参数，则需要 6 个以上的已知点。

■ 分区拟合法

若拟合区域较大，可采用分区拟合的方法，即将整个 GPS 网划分为若干区域，利用位于各个区域中的已知点分别拟合出该区域中的各点的高程异常值，从而确定出它们的正常高。下图是一个分区拟合的示意图，拟合分两个区域进行，以虚线为界，位于虚线上的已知点两个区域都采用。



第九章 技术总结

第1节 技术总结的作用

在完成了 GPS 网的布设后，应该认真完成技术总结。每项 GPS 工程的技术总结不仅是工程一系列必要文档的主要组成部分，而且它还能够使各方面对工程的各个细节有完整而充分的了解，从而便于今后对成果的充分而全面地加以利用。另一方面，通过对整个工程的总结，测量作业单位还能够总结经验，发现不足，为今后进行新的工程提供参考。

第2节 技术总结的内容

技术设计需要包含以下内容：

- 项目来源
介绍项目的来源、性质。
 - 测区概况
介绍测区的地理位置、气候、人文、经济发展状况、交通条件、通讯条件等。
 - 工程概况
介绍工程目的、作用、要求、等级（精度）、完成时间等。
 - 技术依据
介绍作业所依据的测量规范、工程规范、行业标准等。
 - 施测方案
介绍测量所采用的仪器、采取的布网方法等。
 - 作业要求
介绍外业观测时的具体操作规程、技术要求等，包括仪器参数的设置（如采样率、截止高度角等）、对中精度、整平精度、天线高的量测方法及精度要求等。
 - 观测质量控制
介绍外业观测的质量要求，包括质量控制方法及各项限差要求等。
 - 数据处理方案
说明详细的数据处理方案，包括基线解算方法、网平差处理方法等。
-
- 项目来源
介绍项目的来源、性质。
 - 测区概况
介绍测区的地理位置、气候、人文、经济发展状况、交通条件、通讯条件等。
 - 工程概况
介绍工程目的、作用、要求、等级（精度）等。
 - 技术依据
介绍作业所依据的测量规范、工程规范、行业标准等。
 - 作业情况
介绍外业观测时实际遵循的操作规程、技术要求（包括仪器参数的设置（如采样率、截止高度角等）、对中精度、整平精度、天线高的量测方法及精度要求等。）、作业观测情况、工作量、观测成果等。

- 数据处理情况
介绍数据处理方法、过程、结果及精度统计与分析情况。
- 结论
对整个工程的质量及成果作出结论。

附录

第1节 RINEX 格式

RINEX 是 The Recceiver Independent Exchange Format (与接收机无关的数据交换格式) 的缩写, 它是 GPS 测量领域中的一种广为使用的数据格式, 绝大部分的数据处理软件均支持这种格式。

下面是一份有关该格式的文档:

RINEX: The Receiver Independent Exchange Format Version 2

(Revision, April 1993)
(Clarification December 1993)
(Doppler Definition: January 1994)
(PR Clarification: October 1994)
(Wlfact Clarification: February 1995)
(Event Time Frame Clarification: May 1996)
(Minor errors in the examples A7/A8: May 1996)
(Naming convention for compressed met files; January 1997)
(Continuation line clarifications: April 1997)
(GLONASS Extensions: April 1997)
(Met sensor description and position records: April 1997)
(Wavelength factor clarifications: April 1997)

Werner Gurtner
Astronomical Institute
University of Berne

0. INTRODUCTION

0.1 First Revision

This paper is a revised version of the one published by W. Gurtner and G.Mader in the CSTG GPS Bulletin of September/October 1990. The main reason for a revision is the new treatment of antispoofing data by the RINEX format (see chapter 7). Chapter 4 gives a recommendation for data compression procedures, especially useful when large amounts of data are exchanged through computer networks. In Table A3 in the original paper the definition of the "PGM / RUN BY / DATE" navigation header record was missing, although the example showed it. The redefinition of AODE/AODC to IODE/IODC also asks for an update of the format description. For consistency reasons we also defined a Version 2 format for the Meteorological Data files (inclusion of a END OF HEADER record and an optional MARKER NUMBER record).

* The slight modification (or rather the definition of a bit in the Loss *
* of Lock Indicator unused so far) to flag AS data is so small a change *
* that we decided to NOT increase the version number! *

0.2 Later Revisions:

* URA Clarification (10-Dec-93):

The user range accuracy in the Navigation Message File did not contain a definition of the units: There existed two ways of interpretation:

Either the 4 bit value from the original message or the converted value in meters according to GPS ICD-200. In order to simplify the interpretation for the user of the RINEX files I propose the bits to be converted into meters prior to RINEX file creation.

* GLONASS Extensions:

In March 1997 a proposal for extensions to the current RINEX definitions based on experiences collected with GLONASS only and mixed GPS/GLONASS data files was circulated among several instrument manufacturers and software developers.

The results of the call for comments have been worked into this document.

A separate document (glonass.txt) summarizes just the necessary extensions.

* A blank satellite identifier is allowed in pure GPS files only

* Met sensor description and position records were added to facilitate the precise use of met values.

* Description and examples for wavelength factors and their temporary changes

(bit 1 of LLI) clarified.

In order to have all the available information about RINEX in one place we also included parts of earlier papers and a complete set of format definition tables and examples.

1. THE PHILOSOPHY OF RINEX

The first proposal for the "Receiver Independent Exchange Format" RINEX has been developed by the Astronomical Institute of the University of Berne for the easy exchange of the GPS data to be collected during the large European GPS campaign EUREF 89, which involved more than 60 GPS receivers of 4 different manufacturers. The governing aspect during the development was the following fact:

Most geodetic processing software for GPS data use a well-defined set of observables:

- the carrier-phase measurement at one or both carriers (actually being a measurement on the beat frequency between the received carrier of the satellite signal and a receiver-generated reference frequency).
- the pseudorange (code) measurement, equivalent to the difference of the time of reception (expressed in the time frame of the receiver) and the time of transmission (expressed in the time frame of the satellite) of a distinct satellite signal.
- the observation time being the reading of the receiver clock at the instant of validity of the carrier-phase and/or the code measurements.

Usually the software assumes that the observation time is valid for both the phase AND the code measurements, AND for all satellites observed.

Consequently all these programs do not need most of the information that is usually stored by the

receivers: They need phase, code, and time in the above mentioned definitions, and some station-related information like station name, antenna height, etc.

2. GENERAL FORMAT DESCRIPTION

Currently the format consists of four ASCII file types:

1. Observation Data File
2. Navigation Message File
3. Meteorological Data File
4. GLONASS Navigation Message File

Each file type consists of a header section and a data section. The header section contains global information for the entire file and is placed at the beginning of the file. The header section contains header labels in columns 61-80 for each line contained in the header section. These labels are mandatory and must appear exactly as given in these descriptions and examples.

The format has been optimized for minimum space requirements independent from the number of different observation types of a specific receiver by indicating in the header the types of observations to be stored. In computer systems allowing variable record lengths the observation records may then be kept as short as possible. The maximum record length is 80 bytes per record.

Each Observation file and each Meteorological Data file basically contain the data from one site and one session. RINEX Version 2 also allows to include observation data from more than one site subsequently occupied by a roving receiver in rapid static or kinematic applications.

If data from more than one receiver has to be exchanged it would not be economical to include the identical satellite messages collected by the different receivers several times. Therefore the Navigation Message File from one receiver may be exchanged or a composite Navigation Message File created containing non-redundant information from several receivers in order to make the most complete file.

The format of the data records of the RINEX Version 1 Navigation Message file is identical to the former NGS exchange format.

The actual format descriptions as well as examples are given in the Tables at the end of the paper.

3. DEFINITION OF THE OBSERVABLES

GPS observables include three fundamental quantities that need to be defined: Time, Phase, and Range.

TIME:

The time of the measurement is the receiver time of the received signals. It is identical for the phase and range measurements and is identical for all satellites observed at that epoch. It is expressed in GPS time (not Universal Time).

PSEUDO-RANGE:

The pseudo-range (PR) is the distance from the receiver antenna to the satellite antenna including receiver and satellite clock offsets (and other biases, such as atmospheric delays):

$$PR = \text{distance} + c * (\text{receiver clock offset} - \text{satellite clock offset} + \text{other biases})$$

so that the pseudo-range reflects the actual behavior of the receiver and satellite clocks. The pseudo-range is stored in units of meters.

See also clarifications for pseudoranges in mixed GPS/GLONASS files in chapter 8.1.

PHASE:

The phase is the carrier-phase measured in whole cycles at both L1 and L2. The half-cycles measured by squaring-type receivers must be converted to whole cycles and flagged by the wavelength factor in the header section.

The phase changes in the same sense as the range (negative doppler). The phase observations between epochs must be connected by including the integer number of cycles. The phase observations will not contain any systematic drifts from intentional offsets of the reference oscillators.

The observables are not corrected for external effects like atmospheric refraction, satellite clock offsets, etc.

If the receiver or the converter software adjusts the measurements using the real-time-derived receiver clock offsets $dT(r)$, the consistency of the 3 quantities phase / pseudo-range / epoch must be maintained, i.e. the receiver clock correction should be applied to all 3 observables:

$$\begin{aligned}\text{Time}(\text{corr}) &= \text{Time}(r) - dT(r) \\ \text{PR}(\text{corr}) &= \text{PR}(r) - dT(r) \cdot c \\ \text{phase}(\text{corr}) &= \text{phase}(r) - dT(r) \cdot \text{freq}\end{aligned}$$

DOPPLER:

The sign of the doppler shift as additional observable is defined as usual:

Positive for approaching satellites.

4. THE EXCHANGE OF RINEX FILES:

We recommend using the following naming convention for RINEX files:

ssssdddf.yyt	ssss:	4-character station name designator
	ddd:	day of the year of first record
	f:	file sequence number within day
	0:	file contains all the existing data of the current day
	yy:	year
	t:	file type:
	0:	Observation file
	N:	Navigation file
	M:	Meteorological data file
	G:	GLONASS Navigation file

To exchange RINEX files on magnetic tapes we recommend using the following tape format:

- Non-label; ASCII; fixed record length: 80 characters;
block size: 8000
- First file on tape contains list of files using above-mentioned naming conventions

When data transmission times or storage volumes are critical we recommend compressing the files prior to storage or transmission using the UNIX "compress" und "uncompress" programs. Compatible routines are available on VAX/VMS and PC/DOS systems, as well.

Proposed naming conventions for the compressed files:

System	Obs files	GPS Nav Files	GLONASS Nav Files	Met Files
UNIX	ssssdddf.yy0.Z	ssssdddf.yyN.Z	ssssdddf.yyG.Z	ssssdddf.yyM.Z
VMS	ssssdddf.yy0_Z	ssssdddf.yyN_Z	ssssdddf.yyG_Z	ssssdddf.yyN_Z
DOS	ssssdddf.yyY	ssssdddf.yyX	ssssdddf.yyV	ssssdddf.yyW

5. RINEX VERSION 2 FEATURES

The following section contains features that have been introduced for RINEX Version 2.

5.1 Satellite Numbers:

Version 2 has been prepared to contain GLONASS or other satellite systems' observations. Therefore we have to be able to distinguish the satellites of the different systems: We precede the 2-digit satellite number with a system identifier.

snn	s:	satellite system identifier
	G or blank	: GPS
	R	: GLONASS
	T	: Transit

nn :PRN (GPS), almanac number (GLONASS) or two-digit Transit satellite number

Note: G is mandatory in mixed GPS/GLONASS files

(blank default modified in April 1997)

5.2 Order of the Header Records:

As the record descriptors in columns 61-80 are mandatory, the programs reading a RINEX Version 2 header are able to decode the header records with formats according to the record descriptor, provided the records have been first read into an internal buffer.

We therefore propose to allow free ordering of the header records, with the following exceptions:

- The "RINEX VERSION / TYPE" record must be the first record in a file
- The default "WAVELENGTH FACT L1/2" record (if present) should precede all records defining wavelength factors for individual satellites
- The "# OF SATELLITES" record (if present) should be immediately followed by the corresponding number of "PRN / # OF OBS" records. (These records may be handy for documentary purposes. However, since they may only be created after having read the whole raw data file we define them to be optional.

5.3 Missing Items, Duration of the Validity of Values

Items that are not known at the file creation time can be set to zero or blank or the respective record may be completely omitted. Consequently items of missing header records will be set to zero or blank by the program reading RINEX files. Each value remains valid until changed by an additional header record.

5.4. Event Flag Records

The "number of satellites" also corresponds to the number of records of the same epoch followed. Therefore it may be used to skip the appropriate number of records if certain event flags are not to be evaluated in detail.

5.5 Receiver Clock Offset

A large number of users asked to optionally include a receiver-derived clock offset into the RINEX format. In order to prevent confusion and redundancy, the receiver clock offset (if present) should report the value that has been used to correct the observables according to the formulae under item 1. It would then be possible to reconstruct the original observations if necessary. As the output format for the receiver-derived clock offset is limited to nanoseconds the offset should be rounded to the nearest nanosecond before it is used to correct the observables in order to guarantee correct reconstruction.

6. ADDITIONAL HINTS AND TIPS

Programs developed to read RINEX Version 1 files have to verify the version number. Version 2 files may look different (version number, END OF HEADER record, receiver and antenna serial number alphanumeric) even if they do not use any of the new features

We propose that routines to read RINEX Version 2 files automatically delete leading blanks in any CHARACTER input field. Routines creating RINEX Version 2 files should also left-justify all variables in the CHARACTER fields.

DOS, and other, files may have variable record lengths, so we recommend to first read each observation record into a 80-character blank string and decode the data afterwards. In variable length records, empty data fields at the end of a record may be missing, especially in the case of the optional receiver clock offset.

7. RINEX UNDER ANTISPOOFING (AS)

Some receivers generate code delay differences between the first and second frequency using cross-correlation techniques when AS is on and may recover the phase observations on L2 in full cycles. Using the C/A code delay on L1 and the observed difference it is possible to generate a code delay observation for the second frequency.

Other receivers recover P code observations by breaking down the Y code into P and W code.

Most of these observations may suffer from an increased noise level. In order to enable the postprocessing programs to take special actions, such AS-infected observations are flagged using bit number 2 of the Loss of Lock Indicators (i.e. their current values are increased by 4).

8. GLONASS Extensions

8.1 RINEX Observation file

8.1.1 Time System Identifier

RINEX Version 2 needs one major supplement, the explicit definition of the time system:

GLONASS is basically running on UTC (or, more precisely, GLONASS system time linked to UTC(SU)), i.e. the time tags are given in UTC and not GPS time. In order to remove possible misunderstandings and ambiguities, the header records "TIME OF FIRST OBS" and (if present) "TIME OF LAST OBS" in GLONASS

and GPS observation files `_can_`, in mixed GLONASS/GPS observation files `_must_` contain a time system identifier defining the system that all time tags in the file are referring to: "GPS" to identify GPS time, "GLO" to identify the GLONASS UTC time system. Pure GPS files default to GPS and pure GLONASS files default to GLO.

Format definitions see Table A1.

Hence, the two possible time tags differ by the current number of leap seconds.

In order to have the current number of leap seconds available we recommend to include a LEAP SECOND line into the RINEX header.

If there are known non-integer biases between the "GPS receiver clock" and "GLONASS receiver clock" in the same receiver, they should be applied.

In this case the respective code and phase observations have to be corrected, too ($c \cdot \text{bias}$ if expressed in meters).

Unknown such biases will have to be solved for during the post processing

The small differences (modulo 1 second) between GLONASS system time, UTC(SU), UTC(USNO) and GPS system time have to be dealt with during the post-processing and not before the RINEX conversion. It may also be necessary to solve for remaining differences during the post-processing.

8.1.2 Pseudorange Definition

The pseudorange (code) measurement is defined to be equivalent to the difference of the time of reception (expressed in the time frame of the receiver) and the time of transmission (expressed in the time frame of the satellite) of a distinct satellite signal.

If a mixed-mode GPS/GLONASS receiver refers all pseudorange observations to one receiver clock only,

- the raw GLONASS pseudoranges will show the current number of leap seconds between GPS time and GLONASS time if the receiver clock is running in the GPS time frame
- the raw GPS pseudoranges will show the negative number of leap seconds between GPS time and GLONASS time if the receiver clock is running in the GLONASS time frame

In order to avoid misunderstandings and to keep the code observations within the format fields, the pseudoranges must be corrected in this case as follows:

$$\text{PR}(\text{GPS}) := \text{PR}(\text{GPS}) + c \cdot \text{leap_seconds} \quad \text{if generated with a receiver clock running in the GLONASS time frame}$$

$$\text{PR}(\text{GLO}) := \text{PR}(\text{GLO}) - c \cdot \text{leap_seconds} \quad \text{if generated with a receiver clock running in the GPS time frame}$$

to remove the contributions of the leap seconds from the pseudoranges.

"leap_seconds" is the actual number of leap seconds between GPS and GLONASS(UTC) time, as broadcast in the GPS almanac and distributed in Circular T of BIPM.

8.1.3 More than 12 satellites per epoch

The format of the epoch / satellite line in the observation record part of the RINEX Observation files has only been defined for up to 12 satellites per epoch. We explicitly define now the format of the continuation lines, see table A2.

8.2 RINEX Navigation Files for GLONASS

As the GLONASS navigation message differs in contents from the GPS message too much, a special GLONASS navigation message file format has been defined.

The header section and the first data record (epoch, satellite clock information) is similar to the GPS navigation file. The following records contain the satellite position, velocity and acceleration, the clock and frequency biases as well as auxiliary information as health, satellite frequency (channel), age of the information.

*** In order to use the same sign conventions for the time and frequency bias as in the GPS navigation files, the broadcast GLONASS values are multiplied by -1.

The time tags in the GLONASS navigation files are given in UTC (i.e. _not_Moscow time or GPS time).

Filenaming convention: See above.

9. REFERENCES

Evans, A. (1989): "Summary of the Workshop on GPS Exchange Formats." Proceedings of the Fifth International Geodetic Symposium on Satellite Systems, pp. 917ff, Las Cruces.

Gurtner, W., G. Mader, D. Arthur (1989): "A Common Exchange Format for GPS Data." CSTG GPS Bulletin Vol.2 No.3, May/June 1989, National Geodetic Survey, Rockville.

Gurtner, W., G. Mader (1990): "The RINEX Format: Current Status, Future Developments." Proceedings of the Second International Symposium of Precise Positioning with the Global Positioning system, pp. 977ff, Ottawa.

Gurtner, W., G. Mader (1990): "Receiver Independent Exchange Format Version 2." CSTG GPS Bulletin Vol.3 No.3, Sept/Oct 1990, National Geodetic Survey, Rockville.

10. RINEX VERSION 2 FORMAT DEFINITIONS AND EXAMPLES

TABLE A1			
OBSERVATION DATA FILE - HEADER SECTION DESCRIPTION			
HEADER LABEL (Columns 61-80)	DESCRIPTION	FORMAT	
RINEX VERSION / TYPE	- Format version (2)	I6,14X,	
	- File type ('O' for Observation Data)	A1,19X,	
	- Satellite System: blank or 'G': GPS	A1,19X	
	'R': GLONASS		
	'T': NNSS Transit		
	'M': Mixed		
PGM / RUN BY / DATE	- Name of program creating current file	A20,	
	- Name of agency creating current file	A20,	

	- Date of file creation	A20	
* COMMENT	Comment line(s)	A60	*
MARKER NAME	Name of antenna marker	A60	
* MARKER NUMBER	Number of antenna marker	A20	*
OBSERVER / AGENCY	Name of observer / agency	A20,A40	
REC # / TYPE / VERS	Receiver number, type, and version	3A20	
	(Version: e.g. Internal Software Version)		
ANT # / TYPE	Antenna number and type	2A20	
APPROX POSITION XYZ	Approximate marker position (WGS84)	3F14.4	
ANTENNA: DELTA H/E/N	- Antenna height: Height of bottom surface of antenna above marker	3F14.4	
	- Eccentricities of antenna center relative to marker to the east and north (all units in meters)		
WAVELENGTH FACT L1/2	- Wavelength factors for L1 and L2	2I6,	
	1: Full cycle ambiguities		
	2: Half cycle ambiguities (squaring)		
	0 (in L2): Single frequency instrument		
	- Number of satellites to follow in list for which these factors are valid.	I6,	
	0 or blank: Default wavelength factors for all satellites not contained in such a list.		
	- List of PRNs (satellite numbers)	7(3X,A1,I2)	
	Repeat record if necessary		
# / TYPES OF OBSERV	- Number of different observation types stored in the file	I6,	
	- Observation types	9(4X,A2)	
	If more than 9 observation types: Use continuation line(s)	6X,9(4X,A2)	
	The following observation types are defined in RINEX Version 2:		
	L1, L2: Phase measurements on L1 and L2		
	C1 : Pseudorange using C/A-Code on L1		
	P1, P2: Pseudorange using P-Code on L1,L2		
	D1, D2: Doppler frequency on L1 and L2		
	T1, T2: Transit Integrated Doppler on 150 (T1) and 400 MHz (T2)		
	Observations collected under Antispoofing		

	are converted to "L2" or "P2" and flagged with bit 2 of loss of lock indicator (see Table A2).		
	Units : Phase : full cycles Pseudorange : meters Doppler : Hz Transit : cycles		
	The sequence of the types in this record has to correspond to the sequence of the observations in the observation records		
* INTERVAL	Observation interval in seconds	16	*
TIME OF FIRST OBS	- Time of first observation record (4-digit-year, month,day,hour,min,sec) - Time system: GPS (=GPS time system) GLO (=UTC time system) Compulsory in mixed GPS/GLONASS files Defaults: GPS for pure GPS files GLO for pure GLONASS files	516,F12.6, 6X,A3	
* TIME OF LAST OBS	- Time of last observation record (4-digit-year, month,day,hour,min,sec) - Time system: GPS (=GPS time system) GLO (=UTC time system) Compulsory in mixed GPS/GLONASS files Defaults: GPS for pure GPS files GLO for pure GLONASS files	516,F12.6, 6X,A3	*
* LEAP SECONDS	Number of leap seconds since 6-Jan-1980 Recommended for mixed GPS/GLONASS files	16	*
* # OF SATELLITES	Number of satellites, for which observations are stored in the file	16	*
* PRN / # OF OBS	PRN (sat.number), number of observations for each observation type indicated in the "# / TYPES OF OBSERV" - record. If more than 9 observation types: Use continuation line(s) This record is (these records are) repeated for each satellite present in the data file	3X,A1,I2,916 6X,916	*
END OF HEADER	Last record in the header section.	60X	

Records marked with * are optional

TABLE A2 OBSERVATION DATA FILE - DATA RECORD DESCRIPTION			
OBS. RECORD	DESCRIPTION		FORMAT
EPOCH/SAT or EVENT FLAG	- Epoch : year (2 digits), month,day,hour,min,sec - Epoch flag 0: OK 1: power failure between previous and current epoch 1: Event flag - Number of satellites in current epoch - List of PRNs (sat.numbers) in current epoch - receiver clock offset (seconds, optional) If more than 12 satellites: Use continuation line(s) If EVENT FLAG record (epoch flag 1): - Event flag: 2: start moving antenna 3: new site occupation (end of kinem. data) (at least MARKER NAME record follows) 4: header information follows 5: external event (epoch is significant, same time frame as observation time tags) 6: cycle slip records follow to optionally report detected and repaired cycle slips (same format as OBSERVATIONS records; slip instead of observation; LLI and signal strength blank) - "Number of satellites" contains number of records to follow (0 for event flags 2,5)		5I3,F11.7, I3, I3, 12(A1,I2), F12.9 32X, 12(A1,I2)
OBSERVATIONS	- Observation rep. within record for - LLI each obs.type (same seq - Signal strength as given in header)		m(F14.3, I1, I1)
	If more than 5 observation types (=80 char): continue observations in next record. This record is (these records are) repeated for each satellite given in EPOCH/SAT - record. Observations: Phase : Units in whole cycles of carrier Code : Units in meters Missing observations are written as 0.0 or blanks. Loss of lock indicator (LLI). Range: 0-7 0 or blank: OK or not known Bit 0 set : Lost lock between previous and current observation: cycle slip		

	possible	
Bit 1 set :	Opposite wavelength factor to the one defined for the satellite by a previous WAVELENGTH FACT L1/2 line. Valid for the current epoch only.	
Bit 2 set :	Observation under Antispoofing (may suffer from increased noise)	
Bits 0 and 1 for phase only.		
Signal strength projected into interval 1-9:		
1:	minimum possible signal strength	
5:	threshold for good S/N ratio	
9:	maximum possible signal strength	
0 or blank:	not known, don't care	

TABLE A3 NAVIGATION MESSAGE FILE - HEADER SECTION DESCRIPTION			
HEADER LABEL (Columns 61-80)	DESCRIPTION	FORMAT	
RINEX VERSION / TYPE	- Format version (2) - File type ('N' for Navigation data)	I6,14X, A1,19X	
PGM / RUN BY / DATE	- Name of program creating current file - Name of agency creating current file - Date of file creation	A20, A20, A20	
* COMMENT	Comment line(s)	A60	*
* ION ALPHA	Ionosphere parameters A0-A3 of almanac (page 18 of subframe 4)	2X,4D12.4	*
* ION BETA	Ionosphere parameters B0-B3 of almanac	2X,4D12.4	*
* DELTA-UTC: A0,A1,T,W	Almanac parameters to compute time in UTC (page 18 of subframe 4) A0,A1: terms of polynomial T : reference time for UTC data W : UTC reference week number	3X,2D19.12, 219	*
* LEAP SECONDS	Delta time due to leap seconds	I6	*
END OF HEADER	Last record in the header section.	60X	

Records marked with * are optional

TABLE A4 NAVIGATION MESSAGE FILE - DATA RECORD DESCRIPTION		
OBS. RECORD	DESCRIPTION	FORMAT
PRN / EPOCH / SV CLK	- Satellite PRN number	12,
	- Epoch: Toc - Time of Clock	
	year (2 digits)	513,
	month	
	day	
	hour	
	minute	
	second	F5.1,
	- SV clock bias (seconds)	3D19.12
	- SV clock drift (sec/sec)	
	- SV clock drift rate (sec/sec2)	
BROADCAST ORBIT - 1	- IODE Issue of Data, Ephemeris	3X,4D19.12
	- Crs (meters)	
	- Delta n (radians/sec)	
	- MO (radians)	
BROADCAST ORBIT - 2	- Cuc (radians)	3X,4D19.12
	- e Eccentricity	
	- Cus (radians)	
	- sqrt(A) (sqrt(m))	
BROADCAST ORBIT - 3	- Toe Time of Ephemeris	3X,4D19.12
	(sec of GPS week)	
	- Cic (radians)	
	- OMEGA (radians)	
	- CIS (radians)	
BROADCAST ORBIT - 4	- i0 (radians)	3X,4D19.12
	- Crc (meters)	
	- omega (radians)	
	- OMEGA DOT (radians/sec)	
BROADCAST ORBIT - 5	- IDOT (radians/sec)	3X,4D19.12
	- Codes on L2 channel	
	- GPS Week # (to go with TOE)	
	- L2 P data flag	
BROADCAST ORBIT - 6	- SV accuracy (meters)	3X,4D19.12
	- SV health (MSB only)	
	- TGD (seconds)	
	- IODC Issue of Data, Clock	
BROADCAST ORBIT - 7	- Transmission time of message	3X,4D19.12
	(sec of GPS week, derived e.g. from Z-count in Hand Over Word (HOW))	
	- spare	
	- spare	
	- spare	

TABLE A5 METEOROLOGICAL DATA FILE - HEADER SECTION DESCRIPTION		
HEADER LABEL (Columns 61-80)	DESCRIPTION	FORMAT
RINEX VERSION / TYPE	- Format version (2) - File type ('M' for Meteorological Data)	I6,14X, A1,39X
PGM / RUN BY / DATE	- Name of program creating current file - Name of agency creating current file - Date of file creation	A20, A20, A20
* COMMENT	Comment line(s)	A60
MARKER NAME	Station Name (preferably identical to MARKER NAME in the associated Observation File)	A60
* MARKER NUMBER	Station Number (preferably identical to MARKER NUMBER in the associated Observation File)	A20
# / TYPES OF OBSERV	- Number of different observation types stored in the file - Observation types The following meteorological observation types are defined in RINEX Version 2: PR : Pressure (mbar) TD : Dry temperature (deg Celsius) HR : Relative Humidity (percent) ZW : Wet zenith path delay (millimeters) (for WVR data) The sequence of the types in this record must correspond to the sequence of the measurements in the data records If more than 9 observation types are being used, use continuation lines with format (6X,9(4X,A2))	I6, 9(4X,A2)
MET SENSOR MOD/TYPE	Description of the met sensor - Model (manufacturer) - Type - Accuracy (same units as obs values) - Observation type	A20, A20,6X, F7.1,4X, A2,1X

	Record is repeated for each observation	
	type found in # / TYPES OF OBSERV record	
+-----+-----+-----+		
MET SENSOR POS XYZH	Approximate position of the met sensor	
	- Geocentric coordinates X,Y,Z (ITRF	3F14.4,
	- Ellipsoidal height H or WGS-84)	1F14.4,
	- Observation type	1X,A2,1X
	Set X,Y,Z to zero if not known.	
	Make sure H refers to ITRF or WGS-84!	
	Record required for barometer,	
	recommended for other sensors.	
+-----+-----+-----+		
END OF HEADER	Last record in the header section.	60X
+-----+-----+-----+		

+-----+-----+-----+		
TABLE A6		
METEOROLOGICAL DATA FILE - DATA RECORD DESCRIPTION		
+-----+-----+-----+		
OBS. RECORD	DESCRIPTION	FORMAT
+-----+-----+-----+		
EPOCH / MET	- Epoch in GPS time (not local time!)	6I3,
	year (2 digits), month,day,hour,min,sec	
	- Met data in the same sequence as given in the	mF7.1
	header	
	More than 8 met data types: Use continuation	4X,10F7.1,3X
	lines	
+-----+-----+-----+		

+-----+-----+	
TABLE A7	
OBSERVATION DATA FILE - EXAMPLE	
+-----+-----+	

----|---1|0---|---2|0---|---3|0---|---4|0---|---5|0---|---6|0---|---7|0---|---8|

2	OBSERVATION DATA	M (MIXED)	RINEX VERSION / TYPE
BLANK OR G = GPS,	R = GLONASS,	T = TRANSIT,	M = MIXED
XXRINEXO V9.9	AIUB	22-APR-93 12:43	COMMENT
EXAMPLE OF A MIXED RINEX FILE			PGM / RUN BY / DATE
A 9080			COMMENT
9080.1.34			MARKER NAME
BILL SMITH	ABC INSTITUTE		MARKER NUMBER
X1234A123	XX	ZZZ	OBSERVER / AGENCY
234	YY		REC # / TYPE / VERS
4375274.	587466.	4589095.	ANT # / TYPE
.9030	.0000	.0000	APPROX POSITION XYZ
1 1			ANTENNA: DELTA H/E/N
1 2 6	G14 G15 G16 G17 G18 G19		WAVELENGTH FACT L1/2
4 P1 L1 L2 P2			WAVELENGTH FACT L1/2
			# / TYPES OF OBSERV

18										INTERVAL
1990	3	24	13	10	36.000000					TIME OF FIRST OBS
										END OF HEADER
90	3	24	13	10	36.0000000	0	3G12G	9G	6	-.123456789
					23629347.915		.300	8		- .353
					20891534.648		- .120	9		- .358
					20607600.189		- .430	9		.394
					23629364.158					
					20891541.292					
					20607605.848					
90	3	24	13	10	50.0000000	4	4			
	1	2	2	G	9	G12				WAVELENGTH FACT L1/2
*** WAVELENGTH FACTOR CHANGED FOR 2 SATELLITES ***										COMMENT
NOW 8 SATELLITES HAVE WL FACT 1 AND 2!										COMMENT
										COMMENT
90	3	24	13	10	54.0000000	0	5G12G	9G	6R21R22	-.123456789
					23619095.450		-53875.632	8		-41981.375
					20886075.667		-28688.027	9		-22354.535
					20611072.689		18247.789	9		14219.770
					21345678.576		12345.567	5		20611078.410
					22123456.789		23456.789	5		
90	3	24	13	11	0.0000000	2				
						4	1			
*** FROM NOW ON KINEMATIC DATA! ***										COMMENT
90	3	24	13	11	48.0000000	0	4G16G12G	9G	6	-.123456789
					21110991.756		16119.980	7		12560.510
					23588424.398		-215050.557	6		-167571.734
					20869878.790		-113803.187	8		-88677.926
					20621643.727		73797.462	7		57505.177
							3	4		
A 9080										MARKER NAME
9080.1.34										MARKER NUMBER
	.9030		.0000		.0000					ANTENNA: DELTA H/E/N
-- THIS IS THE START OF A NEW SITE CYCLE SLIPS THAT HAVE BEEN APPLIED TO										COMMENT
THE OBSERVATIONS										COMMENT
90	3	24	13	14	48.0000000	0	4G16G12G	9G	6	-.123456234
					21128884.159		110143.144	7		85825.18545
					23487131.045		-318463.297	7		-248152.72824
					20817844.743		-387242.571	6		-301747.22925
					20658519.895		267583.67817			20817851.322
							208507.26234			20658525.869
							4	4		
*** SATELLITE G 9 THIS EPOCH ON WLFACT 1 (L2)										COMMENT
*** G 6 LOST LOCK AND THIS EPOCH ON WLFACT 2 (L2)										COMMENT
(OPPOSITE TO PREVIOUS SETTINGS)										COMMENT

----|---1|0---|---2|0---|---3|0---|---4|0---|---5|0---|---6|0---|---7|0---|---8|

```

+-----+
|                                     |
|                               TABLE A8                               |
|                               NAVIGATION MESSAGE FILE - EXAMPLE       |
|                                     |
+-----+

```

----|---1|0---|---2|0---|---3|0---|---4|0---|---5|0---|---6|0---|---7|0---|---8|

2	N: GPS NAV DATA	RINEX VERSION / TYPE
XXRINEXN V2.0	AIUB	PGM / RUN BY / DATE
EXAMPLE OF VERSION 2 FORMAT	12-SEP-90 15:22	COMMENT

```

.1676D-07 .2235D-07 -.1192D-06 -.1192D-06 ION ALPHA
.1208D+06 .1310D+06 -.1310D+06 -.1966D+06 ION BETA
.133179128170D-06 .107469588780D-12 552960 39 DELTA-UTC: A0,A1,T,W
6 LEAP SECONDS
END OF HEADER

```

```

6 90 8 2 17 51 44.0 -.839701388031D-03 -.165982783074D-10 .000000000000D+00
.910000000000D+02 .934062500000D+02 .116040547840D-08 .162092304801D+00
.484101474285D-05 .626740418375D-02 .652112066746D-05 .515365489006D+04
.409904000000D+06 -.242143869400D-07 .329237003460D+00 -.596046447754D-07
.111541663136D+01 .326593750000D+03 .206958726335D+01 -.638312302555D-08
.307155651409D-09 .000000000000D+00 .551000000000D+03 .000000000000D+00
.000000000000D+00 .000000000000D+00 .000000000000D+00 .910000000000D+02
.406800000000D+06
13 90 8 2 19 0 0.0 .490025617182D-03 .204636307899D-11 .000000000000D+00
.133000000000D+03 -.963125000000D+02 .146970407622D-08 .292961152146D+01
-.498816370964D-05 .200239347760D-02 .928156077862D-05 .515328476143D+04
.414000000000D+06 -.279396772385D-07 .243031939942D+01 -.558793544769D-07
.110192796930D+01 .271187500000D+03 -.232757915425D+01 -.619632953057D-08
-.785747015231D-11 .000000000000D+00 .551000000000D+03 .000000000000D+00
.000000000000D+00 .000000000000D+00 .000000000000D+00 .389000000000D+03
.410400000000D+06

```

```

----|---1|0---|---2|0---|---3|0---|---4|0---|---5|0---|---6|0---|---7|0---|---8|

```

```

+-----+
|                                     |
|             TABLE A9              |
| METEOROLOGICAL DATA FILE - EXAMPLE |
|                                     |
+-----+

```

```

----|---1|0---|---2|0---|---3|0---|---4|0---|---5|0---|---6|0---|---7|0---|---8|

```

```

2 METEOROLOGICAL DATA RINEX VERSION / TYPE
XXRINEXM V9.9 AIUB 3-APR-96 00:10 PGM / RUN BY / DATE
EXAMPLE OF A MET DATA FILE COMMENT
A 9080 MARKER NAME
3 PR TD HR # / TYPES OF OBSERV
PAROSCIENTIFIC 740-16B 0.2 PR SENSOR MOD/TYPE/ACC
HAENNI 0.1 TD SENSOR MOD/TYPE/ACC
ROTRONIC I-240W 5.0 HR SENSOR MOD/TYPE/ACC
0.0 0.0 0.0 1234.5678 PR SENSOR POS XYZ/H
END OF HEADER

```

```

96 4 1 0 0 15 987.1 10.6 89.5
96 4 1 0 0 30 987.2 10.9 90.0
96 4 1 0 0 45 987.1 11.6 89.0

```

```

----|---1|0---|---2|0---|---3|0---|---4|0---|---5|0---|---6|0---|---7|0---|---8|

```

```

+-----+
|                                     |
|             TABLE A10            |
| GLONASS NAVIGATION MESSAGE FILE - |
| HEADER SECTION DESCRIPTION         |
|                                     |
+-----+
| HEADER LABEL | DESCRIPTION | FORMAT |

```

(Columns 61-80)			
RINEX VERSION / TYPE	- Format version (2)	I6,14X,	
	- File type ('G' = GLONASS nav mess data)	A1,39X	
PGM / RUN BY / DATE	- Name of program creating current file	A20,	
	- Name of agency creating current file	A20,	
	- Date of file creation (dd-mmm-yy hh:mm)	A20	
* COMMENT	Comment line(s)	A60	*
* CORR TO SYSTEM TIME	- Time of reference for system time corr (year, month, day)	3I6,	*
	- Correction to system time scale (sec) to correct GLONASS system time to UTC(SU)	3X,D19.12	
* LEAP SECONDS	Number of leap seconds since 6-Jan-1980	I6	*
END OF HEADER	Last record in the header section.	60X	

Records marked with * are optional

TABLE A11 GLONASS NAVIGATION MESSAGE FILE - DATA RECORD DESCRIPTION			
OBS. RECORD	DESCRIPTION	FORMAT	
PRN / EPOCH / SV CLK	- Satellite almanac number	I2,	
	- Epoch of ephemerides (UTC)		
	- year (2 digits)	5I3,	
	- month		
	- day		
	- hour		
	- minute		
	- second	F5.1,	
	- SV clock bias (sec) (-tau)	D19.12	
	- SV relative frequency bias (-gamma)	D19.12	
	- message frame time (sec of day UTC)	D19.12	
BROADCAST ORBIT - 1	- Satellite position X (km)	3X,4D19.12	
	- velocity X dot (km/sec)		
	- X acceleration (km/sec2)		
	- health (0=OK) (Bn)		
BROADCAST ORBIT - 2	- Satellite position Y (km)	3X,4D19.12	
	- velocity Y dot (km/sec)		
	- Y acceleration (km/sec2)		
	- frequency number (1-24)		
BROADCAST ORBIT - 3	- Satellite position Z (km)	3X,4D19.12	

TST1									MARKER NAME
VIEWEG		BRAUNSCHWEIG							OBSERVER / AGENCY
100		XX-RECEIVER		1.0					REC # / TYPE / VERS
101		XX-ANTENNA							ANT # / TYPE
3844808.114		715426.767		5021804.854					APPROX POSITION XYZ
1.2340		.0000		.0000					ANTENNA: DELTA H/E/N
1	1								WAVELENGTH FACT L1/2
2	C1	L1							# / TYPES OF OBSERV
10									INTERVAL
1993	8	23	14	24	40.049000		GLO		TIME OF FIRST OBS
									END OF HEADER

93	8	23	14	24	40.0490000	0	3	2	1	21
23986839.824					20520.565	5				
23707804.625					19937.231	5				
23834065.096					-9334.581	5				
93	8	23	14	24	50.0490000	0	3	2	1	21
23992341.033					49856.525	5				
23713141.002					48479.290	5				
23831189.435					-24821.796	5				
93	8	23	14	25	.0490000	0	3	2	1	21
23997824.854					79217.202	5				
23718494.110					77092.992	5				
23828329.946					-40219.918	5				
93	8	23	14	25	10.0490000	0	5	2	5	17 1 21
24003328.910					108602.422	5				
24933965.449					-19202.780	5				
22203326.578					-2987.327	5				
23723851.686					105777.849	5				
23825485.526					-55529.205	5				
93	8	23	14	25	20.0490010	0	5	2	5	17 1 21
24008828.023					138012.178	5				
24927995.616					-51188.500	5				
22202547.907					-7213.298	5				
23729236.758					134533.636	5				
23822662.277					-70749.590	5				
93	8	23	14	25	30.0490000	0	5	2	5	17 1 21
24014330.779					167446.477	5				
24922041.288					-83151.666	5				
22201767.457					-11388.909	5				
23734633.024					163360.131	5				
23819848.894					-85881.102	5				

----|---1|0---|---2|0---|---3|0---|---4|0---|---5|0---|---6|0---|---7|0---|---8|

```

+-----+
|                                     |
|                               TABLE A14                               |
|       MIXED GPS/GLONASS OBSERVATION FILE - EXAMPLE                   |
|                                     |
+-----+

```

----|---1|0---|---2|0---|---3|0---|---4|0---|---5|0---|---6|0---|---7|0---|---8|

2	OBSERVATION DATA	M (MIXED)	RINEX VERSION / TYPE
YYRINEXO V2.8.1 VM AIUB	19-FEB-97 13:59	PGM / RUN BY / DATE	

TST2										MARKER NAME
001-02-A										MARKER NUMBER
JIM			Y-COMPANY							OBSERVER / AGENCY
1			YY-RECEIVER		2.0.1					REC # / TYPE / VERS
1			GEODETIC L1							ANT # / TYPE
3851178.1849			-80151.4072		5066671.1013					APPROX POSITION XYZ
1.2340			0.0000		0.0000					ANTENNA: DELTA H/E/N
1 0										WAVELENGTH FACT L1/2
2 C1 L1										# / TYPES OF OBSERV
10										INTERVAL
11										LEAP SECONDS
1997 2 6 11 53			0.000000		GPS					TIME OF FIRST OBS
										END OF HEADER
97 2 6 11 53			0.0000000		0 14G23G07G02G05G26G09G21R20R19R12R02R11					
					R10R03					
22576523.586			-11256947.60212							
22360162.704			-16225110.75413							
24484865.974			14662682.882 2							
21950524.331			-13784707.24912							
22507304.252			9846064.848 2							
20148742.213			-20988953.712 4							
22800149.591			-16650822.70012							
19811403.273			-25116169.741 3							
23046997.513			-3264701.688 2							
22778170.622			-821857836.745 1							
22221283.991			-988088156.884 2							
19300913.475			-83282658.19013							
20309075.579			-672668843.84713							
23397403.484			-285457101.34211							
97 2 6 11 53			10.0000000		0 14G23G07G02G05G26G09G21R20R19R12R02R11					
					R10R03					
22578985.016			-11244012.910 2							
22359738.890			-16227337.841 2							
24490324.818			14691368.710 2							
21944376.706			-13817012.849 2							
22512598.731			9873887.580 2							
20147322.111			-20996416.338 4							
22798942.949			-16657163.594 2							
19812513.509			-25110234.795 3							
23053885.702			-3227854.397 2							
22770607.029			-821898566.774 1							
22222967.297			-988079145.989 2							
19297913.736			-83298710.38413							
20313087.618			-672647337.04113							
23392352.454			-285484291.40311							

----|---1|0---|---2|0---|---3|0---|---4|0---|---5|0---|---6|0---|---7|0---|---8|

第2节 GPSurvey 软件使用

一、GPSurvey 软件概述

1. GPSurvey 软件概述

GPSurvey 软件是美国 Trimble 公司的 GPS 数据处理软件包,它主要用于处理该公司的 4000 系列大地型 GPS 接收机的数据。它具有作业计划、数据传输、基线解算、网平差和坐标转换等在 GPS 数据处理中常用的功能。该软件使用方便,数据处理能力强大,功能多,是目前用于处理 Trimble 公司 4000 系列 GPS 接收机的测量数据的首选软件。

2. GPSurvey 软件的组成

GPSurvey 是一个高度集成化的 GPS 数据处理软件,它由以下几个主要部分所组成:

- GPSurvey Desktop (GPSurvey 桌面)
本模块是 GPSurvey 的主控模块,通过该模块的菜单系统,可以运行 GPSurvey 所有的功能模块。
- Project Manager (项目管理器)
本模块的作用是用来管理 GPSurvey 的项目。GPSurvey 是一个基于项目的数据处理程序, GPSurvey 中的所谓项目,就是一组特定的目录、数据和数据库的集合,在 GPSurvey 中的绝大部分操作都是针对某一个具体项目的,原始数据、中间过程、结果文件及其它一些相关数据也是依某一个具体项目分别存储的。
- Project Plan (项目作业计划) 和 Quick Plan (快速作业计划)
项目作业计划模块的作用是进行外业观测作业的计划工作,它可以依据测区的地理位置、卫星星历和测站环境,预报出在不同时间里卫星的出没状况、运行轨迹和可达到的定位精度等信息。所作计划将被保存到所指定项目的数据库中。
快速作业计划模块的作用与项目作业计划模块大体相同,不过所作计划将不被保存到任何项目的数据库中
- GPLoad (GPS 数据装载)
本模块的作用是进行数据通讯,数据通讯即可以在接收机与 GPSurvey 间进行,也可以在各种选定的数据采集器(如 TDC1)与 GPSurvey 间进行,甚至还可以在不同格式的数据间进行¹。数据通讯的目的主要是将各种数据传输到 GPSurvey 的某一个具体项目中去,以便进行数据处理和分析。
- Check-in (数据检查)
数据检查模块的作用是检查传输到 GPSurvey 项目中的数据的正确性。数据检查既可以采用自动方式进行,也可以半自动式方式进行,还可以采用交互式方式进行。
- WAVE (基线解算)
基线解算模块的作用是进行各种类型的 GPS 观测数据的后处理,包括静态、快速静态、走走停停动态及连续动态等 GPS 观测数据的后处理。
- TRIMNET Plus (网平差)

¹ 这是一种广义的数据通讯。

网平差模块的作用是进行网平差。这个模块可以对 GPS 数据和常规地面观测值进行平差处理。

- Network Map (网图)

网图模块的作用是查看网图、进行 GPS 网的编辑以及环的闭合差检查等。

- Utilities (工具集)

工具集模块的作用是进行系统检查、坐标输出、项目报告、生成蓝皮书、输出 DXF 文件、坐标转换及天线编辑等。

- GPTrans (坐标转换)

坐标转换模块的作用是进行各种坐标系和基准间的变换。

3. GPSurvey 的主菜单

GPSurvey 软件的主菜单就是 GPSurvey 桌面模块的菜单。该菜单由 Project t (项目)、Plan (作业计划)、Load (数据装载)、Process (处理)、Adjust (平差)、View (视图)、Utilities (工具集) 和 Help (帮助) 几个菜单组成 (见图), 每个菜单下又有若干个菜单项, 具体如下:

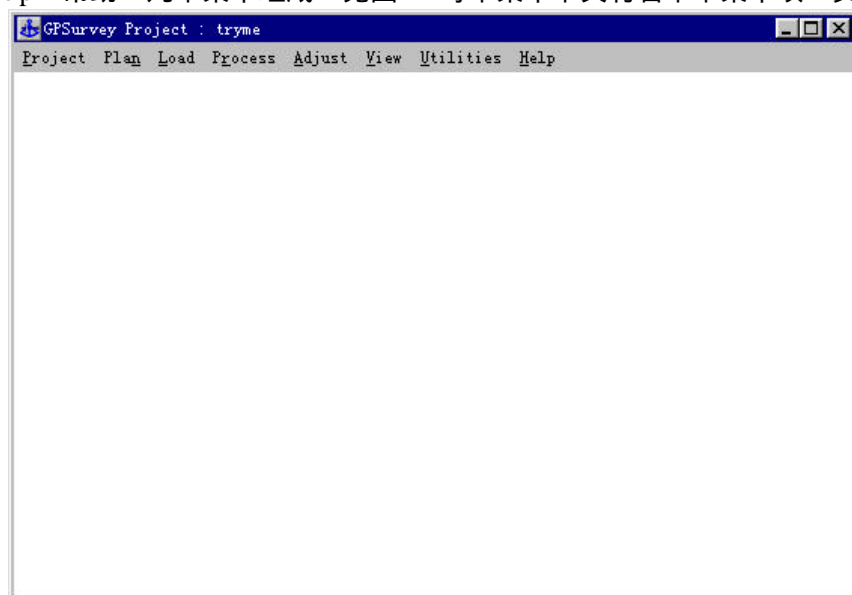


图17 GPSurvey 的主菜单

- Projec (项目)



图18 Project（项目）菜单

- New（创建）
创建新项目。
- Open（打开）
打开已有项目，使之成为当前项目。
- Modify（修改）
修改指定项目的有关设置项。
- Close（关闭）
关闭当前项目。
- Delete（删除）
删除指定项目。
- Status（状态）
查看当前项目的状态。
- Backup（备份）
将指定项目的有关内容备份到其它的存储介质或目录中。
- Restore（恢复）
将通过 Backup 备份的项目恢复到 GPSurvey 中。
- Check Database
检查项目数据库的完整性。
- Exit
退出 GPSurvey。

■ Plan（作业计划）

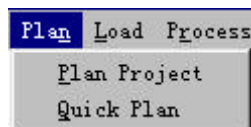


图19 Plan（作业计划）菜单

- Plan Project（计划项目）
进行项目作业计划。
 - Quick Plan（快速计划）
进行快速作业计划。
- Load（数据装载）

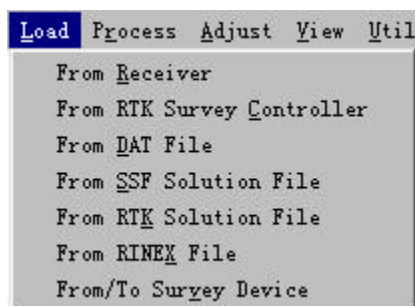


图20 Load（数据装载）菜单

From Receiver（从接收机）

将接收机中的观测数据装载到 GPSurvey 的项目中。

From RTK Survey Controller（从 RTK 测量控制器）

将 RTK 测量控制器中的数据装载到 GPSurvey 的项目中。

From DAT File（从 DAT 文件）

将 DAT¹ 观测值文件装载到 GPSurvey 的项目中。采用此项功能可以调入存储在其它目录中的数据文件。

From SSF Solution File（从 SSF 解文件）

将 SSF 解文件装载到 GPSurvey 的项目中。

From RTK Solution File（从 RTK 解文件）

将 RTK 解文件装载到 GPSurvey 的项目中。

From RINEX File（从 RINEX 文件）

将 RINEX 格式的文件装载到 GPSurvey 的项目中。

From/To Survey Device（从/到测量设备）

将其它类型的测量设备中的数据装载到 GPSurvey 的项目中，或将 GPSurvey 项目中的数据装载到其它类型的测量设备中。

■ Process（处理）

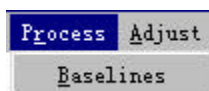


图21 Process（处理）菜单

Baselines（基线）

进行基线解算。

■ Adjust（平差）

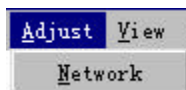


图22 Adjust（平差）菜单

Network（网）

进行网平差解算。

■ View（视图）

¹ DAT 文件为 Trimble 4000 系列接收机的原始观测值文件，因其 DOS 文件扩展名为 DAT 而得名。



图23 View（视图）菜单

Network Map（网图）

查看网图

■ Utilities（工具集）

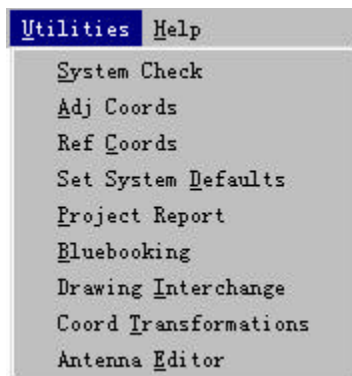


图24 Utilities（工具集）菜单

System Check（系统检查）

检查系统设置情况，包括计算机的系统设置、环境设置、操作系统、及 GPSurvey 软件的设置等信息。本项功能主要是在 GPSurvey 软件运行不正常时，用于分析原因。

Adj Coords（平差坐标）

输出经过平差的点坐标。

Ref Coords（参考坐标）

输出未经过平差的点坐标。

Set System Defaults（设置系统缺省值）

设置系统的缺省值。

Project Report（项目报告）

生成输出项目报告。项目报告中可包含有点位、基线处理过程及结果和平差结果等信息。

Bluebooking（生成蓝皮书）

输出美国国家大地测量蓝皮书格式的 B 文件和 G 文件。

Drawing Interchange（图形交换）

生成 AutoCAD DXF 文件。

Coord Transformations（坐标转换）

进行坐标转换或计算基准转换的七参数。

Antenna Editor（天线编辑器）

创建用户自定义的天线类型和天线组。

■ Help（帮助）



Index (索引)

显示帮助的索引。

Commands (命令)

显示命令的帮助信息。

About ... (关于 ...)

显示 GPSurvey 的有关信息

二、 建立项目

GPSurvey 的数据管理方法是基于项目 (Project) 的, 所有的数据及相关结果皆依不同的项目分类管理, 并且, 数据处理也是在特定的项目下进行的。因此, 在处理不同工程的数据时, 必须首先建立一个项目。

建立起一个项目, 是使用 GPSurvey 软件进行数据处理的基础, 其具体步骤如下:

1. 选取 Project 下的 New, 此时将会弹出 Create a New Project (创建一个新项目) 对话框。

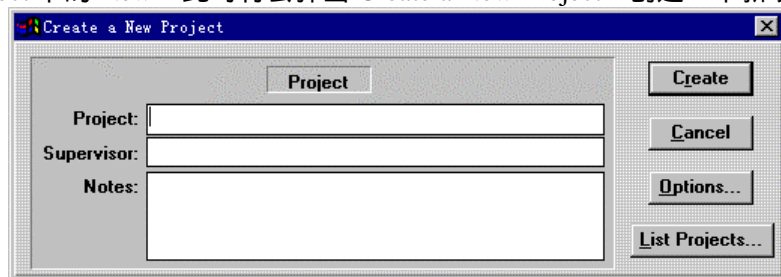


图25 Create a New Project (创建一个新项目) 对话框 (2)

2. 在 Project 项下输入项目的名称。(必须输入)
在 Supervisor 下输入项目主管的名字。(可选)
在 Notes 项下输入有关项目的一些说明。(可选)
按下 Options 按钮, 输入项目的有关选项, 这些选项有些用于作为项目的缺省值, 有些用于控制项目的有关属性:

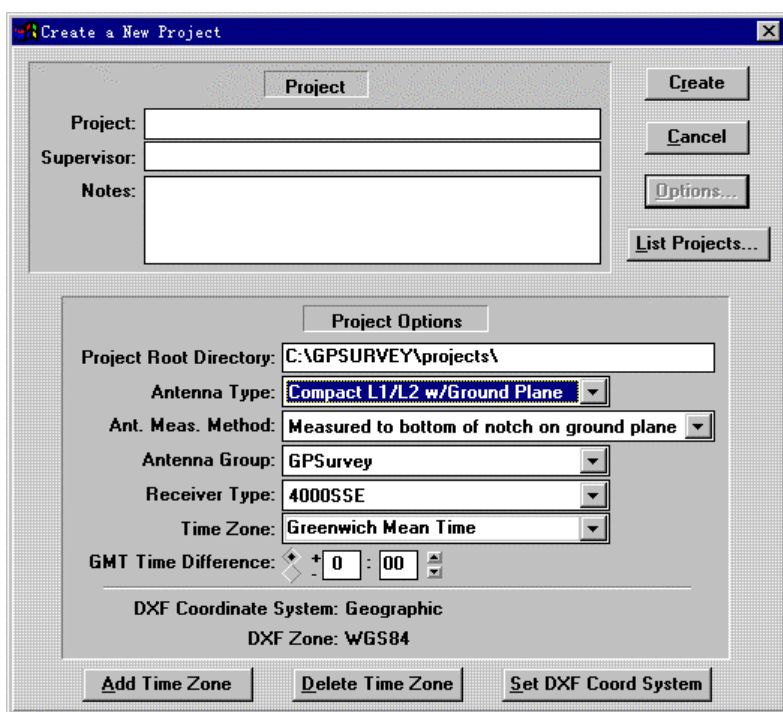


图26 Create a New Project (创建一个新项目) 对话框 (2)

Project Root Directory (项目的根目录)

指定存放项目的有关数据的根目录。

Antenna Type (天线类型)

指定项目所采用的缺省天线类型。

Ant. Meas Method (天线高量测方法)

指定项目缺省的天线高量测方法。

Antenna Group (天线组)

指定项目缺省的天线组。

Receiver type (接收机类型)

指定项目缺省的接收机类型。

Time Zone (时区)

指定项目测区所在的时区。

Time Difference from GMT (与格林尼治标准时间的时差)

指定项目测区所在时区与格林尼治标准时间的时差。

DXF coordinate system and zone (DXF 文件的坐标系统与分区)

指定在输出 DXF 文件时的坐标系统与分区。

Add Time Zone (添加时区)

添加用户定义的时区。

Delete Time Zone (删除时区)

删除指定的时区

Set DXF Coord System (设置 DXF 文件的坐标系统)

设置 DXF 文件的坐标系统

3. 按下 Create 按钮, 创建项目。

三、 数据传输

数据传输就是在接收机与计算机之间进行数据交换。在 GPSurvey 中主要是将不同数据源的数据装入到特定的项目中，用于进行数据处理。最常用操作的是从接收机或 DAT 数据文件中装入数据，用于基线解算。

1. 从接收机中装入数据

在 GPSurvey 中从接收机中装入数据的步骤是：

1. 用数据通讯线将接收机与计算机连接起来，打开接收机电源，设置接收机的通讯参数。
2. 选定项目。（新建或打开项目）
3. 从 Load 菜单中选取 From receiver 项，启动 GPLoad 模块。

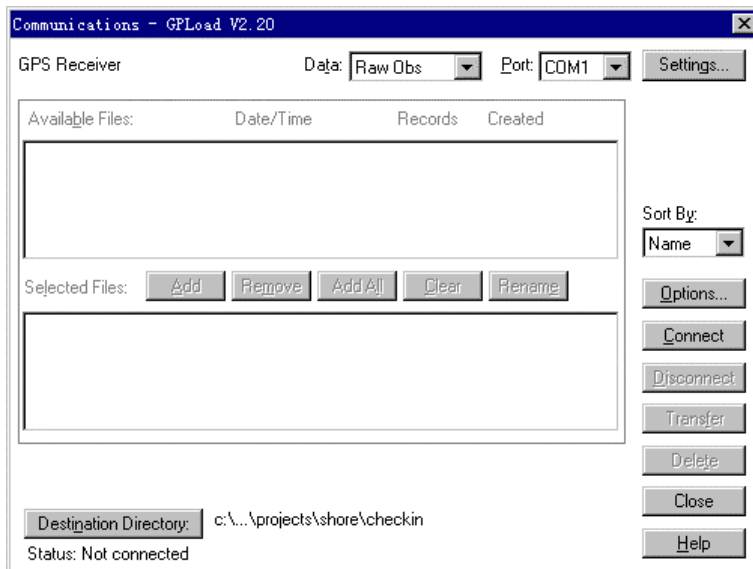


图27 GPLoad 对话框

4. 在 GPLoad 对话框中将 Data（数据类型）设定为 Raw Obs（原始观测值），将 Port（通讯口）设定为计算机与接收机相连接的端口。
5. 按下 Settings 按钮，在 Port Settings（端口设置）对话框中设置与接收机进行数据通讯的通讯参数。

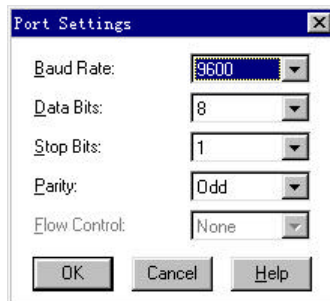


图28 Port Setting（端口设置）对话框

6. 按下 Connect 按钮，与接收机建立联系。当与接收机联通后，在 GPLoad 对话框上半部的

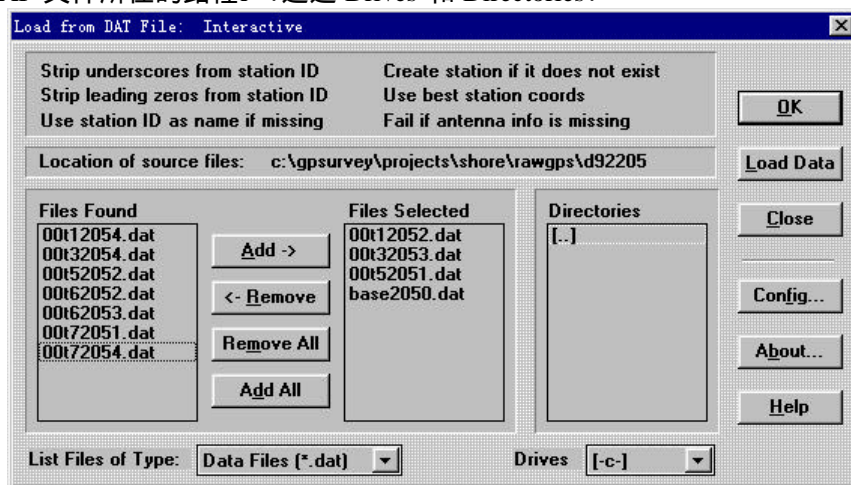
子窗口中将会列出接收机中所记录的数据文件。

7. 选定需要传输的数据文件，将它们置于 GPLoad 对话框下半部的子窗口中。
8. 按下 Transfer 按钮，开始进行数据传输。
9. 数据传输结束后，对数据进行检查 (Check-In)。

2. 从数据文件中装入数据

在 GPSurvey 中从数据文件中装入数据的步骤是：

1. 选定项目。(新建或打开项目)
2. 从 Load 菜单中选取 From DAT File 项，此时，会出现一个 Load from DAT File (从 DAT 文件中装入)。
3. 指定 DAT 文件所在的路径。(通过 Drives 和 Directories)



4. 选定所要装入的数据文件。
5. 按下 Load Data 按钮开始装入数据文件，在装入数据文件的过程中需要逐一地进行数据检查。数据检查按以下步骤进行。

选择检查方式

在如下的检查方式对话框中选择检查方式，检查方式共有三种：Batch Defer，Batch Prompt 和 Interactive，一般采用 Interactive 方式。

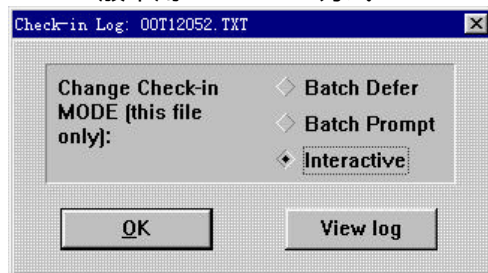


图29 检查方式对话框

验证接收机设置

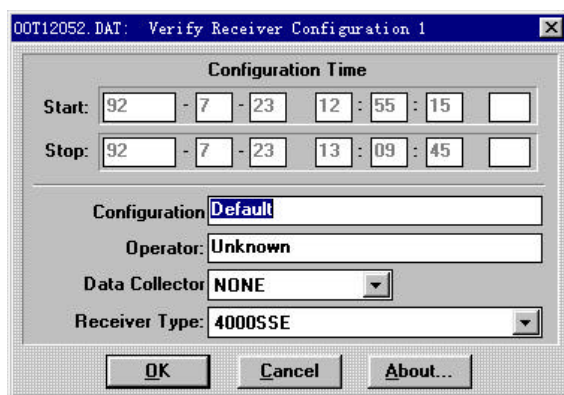


图30 验证接收机设置对话框

验证测站信息

检查测站名、测站坐标的正确性。

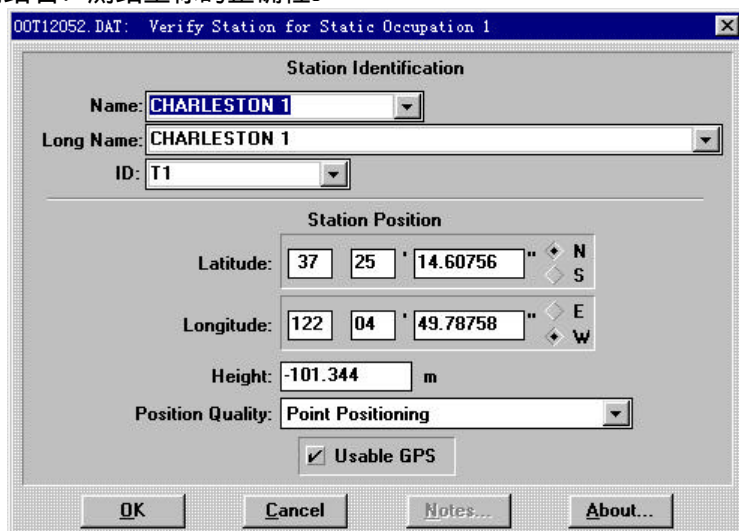


图31 验证测站信息对话框

验证天线信息

检查天线信息的正确性。



图32 验证天线信息对话框

6. 在检查完所有数据后，按下 OK 按钮，返回主窗口。

四、基线解算

1. 解算步骤

GPSurvey 进行基线解算的步骤为：

1. 选定项目。（新建或打开项目）
2. 用 Load 菜单装入数据。（可选）
3. 从 Process 菜单中选取 Baseline 项，进入基线解算模块（WAVE）。此时，会出现一个 Load（装入）对话框，该对话框的作用是将所选项目中的数据装入到 WAVE 中。

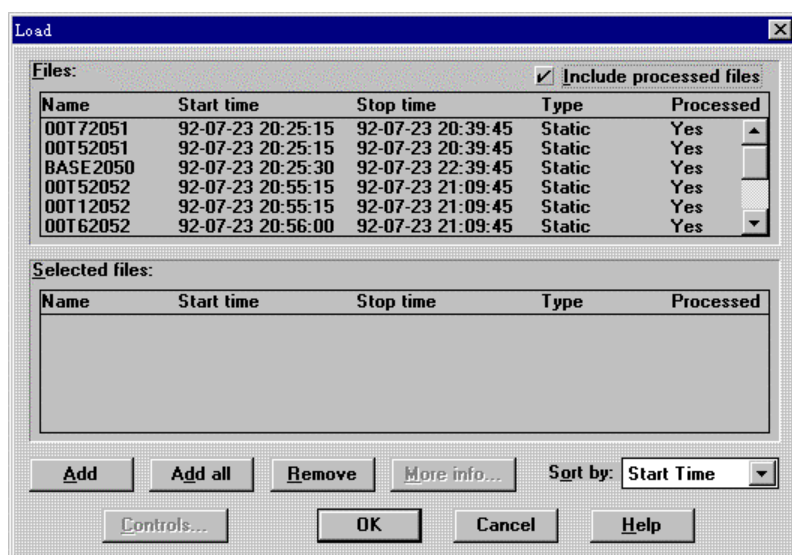


图33 Load（装入）对话框（1）

4. 从 Load（装入）对话框的 Files（文件）列表框中选定要处理的数据到 Selected files 列表框中。（若需要对已经处理过的数据再进行处理，可将 Include Processed file 项上打上钩）

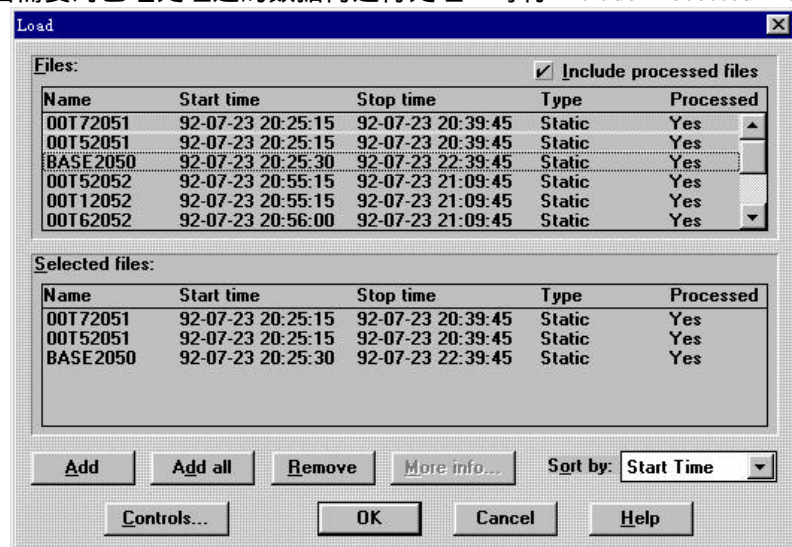


图34 Load（装入）对话框（2）

5. 按下 OK 按钮，将所选定的数据装入到 WAVE 中。

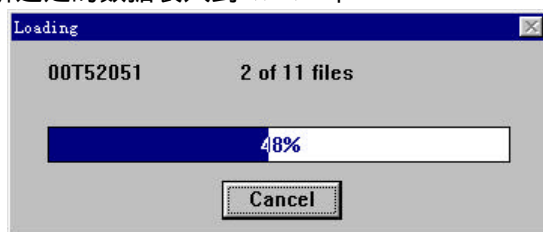


图35 数据装入

6. 若有某测站较为精确的坐标，可在 WAVE 窗口的菜单 Edit 中选取 Station position 项，设定测站的坐标。（可选）

图36 设定测站的精确坐标

7. 在 WAVE 窗口的菜单 Edit（编辑）中选取 Occupation（测站）菜单项，对测站的天线高项目进行编辑。在此项目中也可对测站的天线高进行检查（可选）

Name	Start time	Stop time	Antenna Ht.
AMPHITHEATRE	92-07-23 20:56:00	92-07-23 21:09:45	1.574
AMPHITHEATRE	92-07-23 21:25:15	92-07-23 21:39:45	1.574
CHARLESTON 1	92-07-23 20:55:15	92-07-23 21:09:45	1.587
CHARLESTON 1	92-07-23 21:55:15	92-07-23 22:09:45	1.637
CHARLESTON 3	92-07-23 21:25:15	92-07-23 21:39:45	1.540
CHARLESTON 3	92-07-23 21:55:15	92-07-23 22:09:45	1.540
SHORELINE NORTH	92-07-23 20:25:15	92-07-23 20:39:45	1.658
SHORELINE NORTH	92-07-23 21:55:15	92-07-23 22:09:45	1.588

图37 编辑测站天线高（1）

图38 编辑测站天线高（2）

8. 在 WAVE 窗口的 Process（处理）菜单中选取 Setup...（设置 ...）菜单项，设定基线处理的各项控制。在 WAVE 中允许设定控制项有以下三大类：

一般性控制项

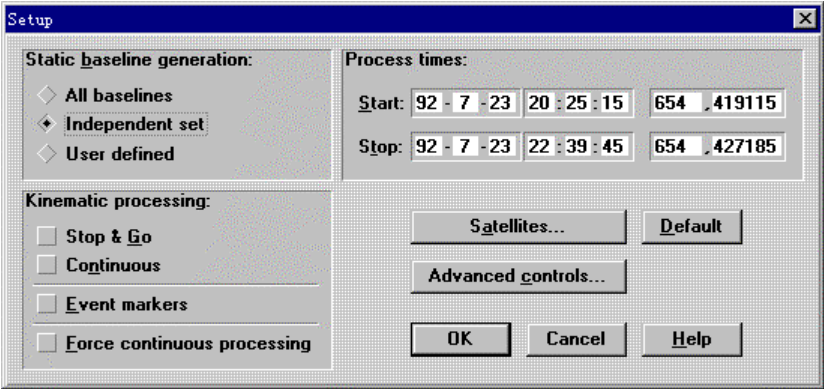


图39 WAVE 的一般性控制项

卫星控制项

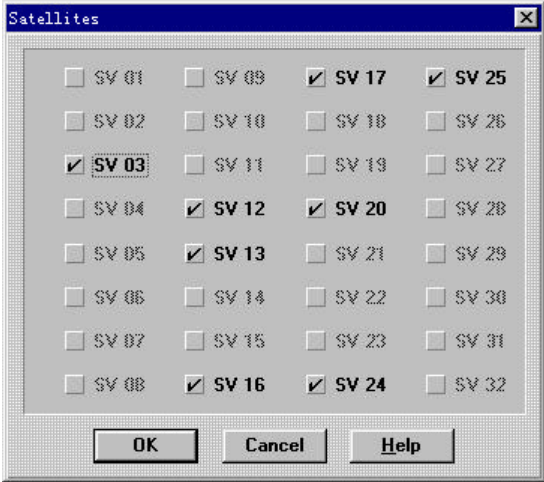


图40 WAVE 的卫星控制项

WAVE 的高级控制项

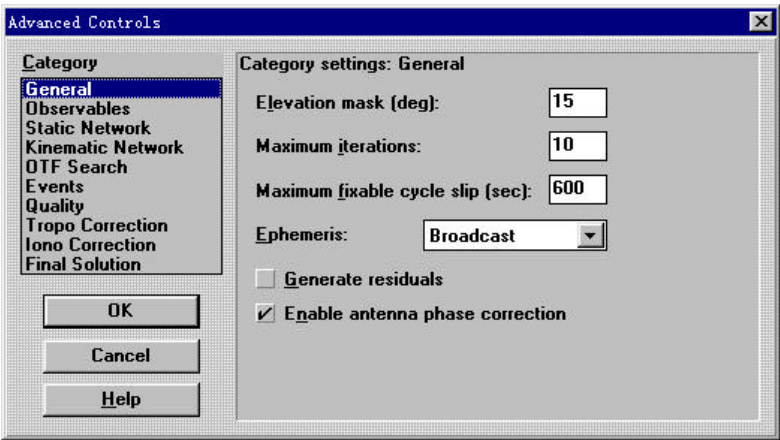


图41 WAVE 的高级控制项

9. 在 WAVE 窗口的 Process（处理）菜单中选取 Baseline（基线）项，进行基线处理。

	From Station	To Station	Solution Type	Slop
1.1	TRIMBLE BASE B8	CHARLESTON 3	L2 code	
1.2	TRIMBLE BASE B8	CHARLESTON 3	Iono free triple	
1.3	TRIMBLE BASE B8	CHARLESTON 3	P/C2 Lw Ln float	
1.4	TRIMBLE BASE B8	CHARLESTON 3	Iono free fixed	
2.1	TRIMBLE BASE B8	CHARLESTON 1	L2 code	
2.2	TRIMBLE BASE B8	CHARLESTON 1	Iono free triple	
2.3	TRIMBLE BASE B8	CHARLESTON 1	P/C2 Lw Ln float	
2.4	TRIMBLE BASE B8	CHARLESTON 1	Iono free fixed	
3.1	TRIMBLE BASE B8	SHORELINE NORTH	L2 code	
3.2	TRIMBLE BASE B8	SHORELINE NORTH	Iono free triple	
3.3	TRIMBLE BASE B8	SHORELINE NORTH	P/C2 Lw Ln float	
3.4	TRIMBLE BASE B8	SHORELINE NORTH	Iono free fixed	

10. 在 WAVE 窗口的 File（文件）菜单中选取 Save（保存）项，保存解算结果。
11. 在 WAVE 窗口的 File（文件）菜单中选取 Exit（退出）项，返回 GPSurvey 主窗口。

2. 基线解算时的控制参数

在进行基线解算时，有如下一些控制参数可以调整，通过调整这些参数，有可能改善基线解算的质量。

■ Static Baseline Generation（静态基线的产生方式）

All Baseline（所有基线）

在进行基线解算时，解算出所有的同步观测基线。

Independent set（独立基线）

在进行基线解算时，只解算独立基线。

User defined（用户定义的基线）

在进行基线解算时，只解算用户所指定的基线。

■ Kinematic processing（动态数据处理） （略）

■ Process time:（处理时间）

指定用于基线解算的观测数据的起止时间。

Start（起始时间）

Stop（终止时间）

■ Satellites（卫星）

指定参与基线解算的卫星。通过此项可以删除不良的观测卫星。

■ Default（缺省设置）

恢复控制参数的缺省设置值。

■ Advanced controls（高级控制）

General（通用控制）

✧ Elevation Mask（截止高度角）

设定卫星的截止高度角。

✧ Maximum Iterations（最大的迭代次数）

指定在基线解算时的最大迭代次数，当迭代次数超过此值时，若解算结果仍不能收敛，则停止迭代。

- ✧ Maximum Fixable Cycle Slip (最大可修复周跳)
指定最大可修复周跳的值, 当周跳超过此值时, 则分别估算周跳发生时刻两边的整周未知数。
- ✧ Ephemeris (星历类型)
指定采用的星历类型。
- ✧ Generate Residuals (生成残差)
指定在是否在基线解算时, 计算观测值的残差。一般情况下需要计算出观测值的残差, 以便进行基线的精化处理。
- ✧ Enable Antenna Phase Correction (进行天线相位中心的改正)
指定是否采用模型对天线相位中心进行改正。此项在处理采用不同天线的观测数据时非常有益。

■ Observables (观测值)
指定参与计算的观测值类型

L1 Phase (L1 载波相位观测值)

L2 full phase (L2 的全波载波相位观测值)

L2 half phase (L2 的半波载波相位观测值)

L1 P-code (调制在 L1 上的 P 码伪距观测值)

L2 P-code (调制在 L2 上的 P 码伪距观测值)

L1 C/A-code (调制在 L1 上的 C/A 码伪距观测值)

L2 code (encrypted) (调制在 L2 上的伪距观测值 (经过加密的))

■ Static Network (静态网)

Minimum baseline observation time (sec) (基线的最短观测时间 (秒))

指定基线的最短观测时间。当同步观测时间短于此值时, 则不对此基线进行处理。

■ Kinematic Network (动态网)
(略)

■ OTF Search (OTF 搜索)
(略)

■ Events (事件)
(略)

■ Quality (质量)

Observation editing (观测值编辑)

- ✧ Edit multiplier (编辑因子)
- ✧ Level of confidence (置信水平)

Ratio test (Ratio 值的检验)

- ✧ Ratio Cut off (Ratio 值的阈值)
- ✧ Level of confidence (置信水平)

Reference variance test (参考方差检验控制)

■ Tropo Correction (对流层改正)

Model (改正模型)

指定采用何种对流层改正模型进行对流层改正。

Estimate Zenith delay interval (hr) (天顶方向延迟量估值的时间间隔 (小时))

Use observed met data (使用气象观测数据)

指定在进行对流层改正时是否采用实测的气象观测数据。

■ Iono Correction (电离层改正)

Ambiguity resolution pass (解算整周未知数阶段的控制)

- ✧ Correction: Iono free/None (改正方法: 采用消除电离层延迟的观测值/不改正)

指定是否采用消除电离层延迟的观测值进行电离层改正。

- ✧ Apply to all baseline longer than...(对边长大于...的基线进行改正)
指定对距离多长的基线采用消除电离层延迟的观测值进行电离层改正。

Final pass (最后阶段的控制)

- ✧ Correction: Iono free/None (改正方法: 采用消除电离层延迟的观测值/不改正)
指定是否采用消除电离层延迟的观测值进行电离层改正。
- ✧ Apply to all baseline longer than...(对边长大于...的基线进行改正)
指定对距离多长的基线采用消除电离层延迟的观测值进行电离层改正。

Final Solution (最终解)

- ✧ Solution type...(解的类型)
指定基线解的类型。
- ✧ Frequency type (频率类型)
指定解的观测值类型。

五、 基线向量网平差 (TRIMNET PLUS)

1. 单高模式

GPSurvey 进行基线向量网平差的步骤为:

1. 启动 GPSurvey, 选定要进行网平差的项目。
2. 选取 GPSurvey 中 View (视图) 菜单下的 Network Map (网图) 菜单项, 对组成网的基线向量的质量进行检查。
3. 选取 GPSurvey 中 Adjust (平差) 菜单下的 Network (网) 菜单项, 将会出现 Trimnet Plus 的控制平台。



图42 Trimnet Plus 的控制平台

4. 用鼠标双击 GPS Network Module（GPS 网模块）图标，进入 Trimnet Plus 的 GPS 网模块。

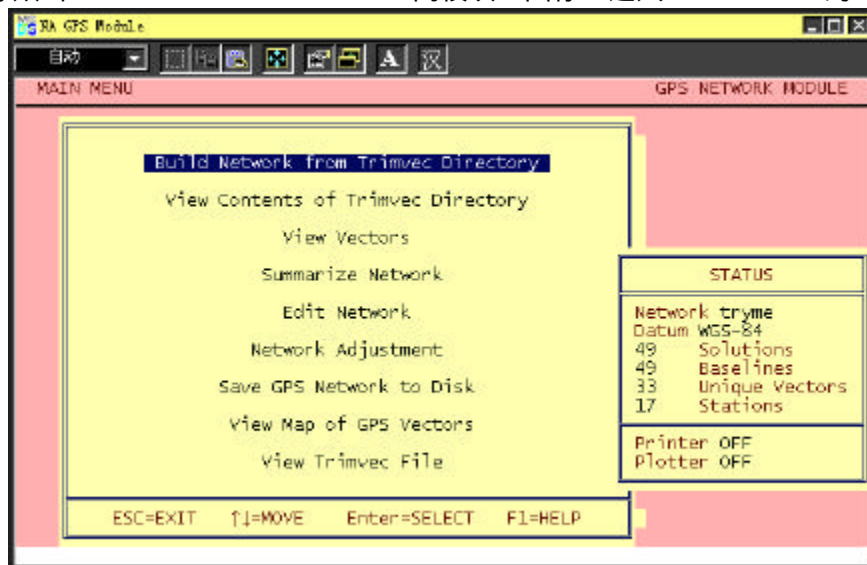


图43 GPS 网模块的主菜单

5. 选取 Build Network form Trimvec Directory（从 Trimvec 目录¹中提取基线构网），提取基线向量，组成 GPS 网。
6. 对所提取的基线进行必要的检查。（可选）

¹ GPSurvey 将基线解文件保存在相应项目的 Trimvec 目录中。

7. 选取 Save GPS Network to Disk (将 GPS 网保存到磁盘), 保存所选取的基线。
当选取了该项后, 在下次进入 GPS Network Module (GPS 网模块) 时, 会出现如下提示

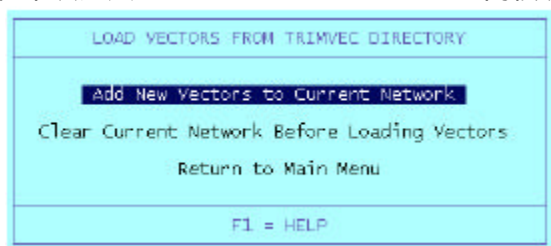


图44 采用何种方式构网

要求确认采用何种方式提取基线构网, 若选择 Add New Vectors to Current Network (向当前网中添加新基线), 表明要向网中添加新基线向量, 若选择 Clear Current Network Before Loading Vectors (在装入基线前清除当前网), 则表明清除原来的网重新提取基线构网。

8. 选取 Network Adjustment (网平差), 进入网平差模块。
在进入网平差模块前, 会出现如下提示:

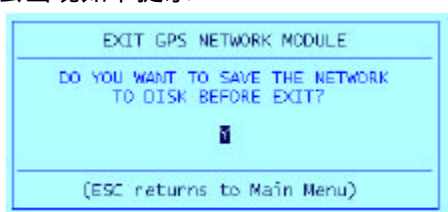


图45 是否在退出前保存网的数据

请回答“Y”。)

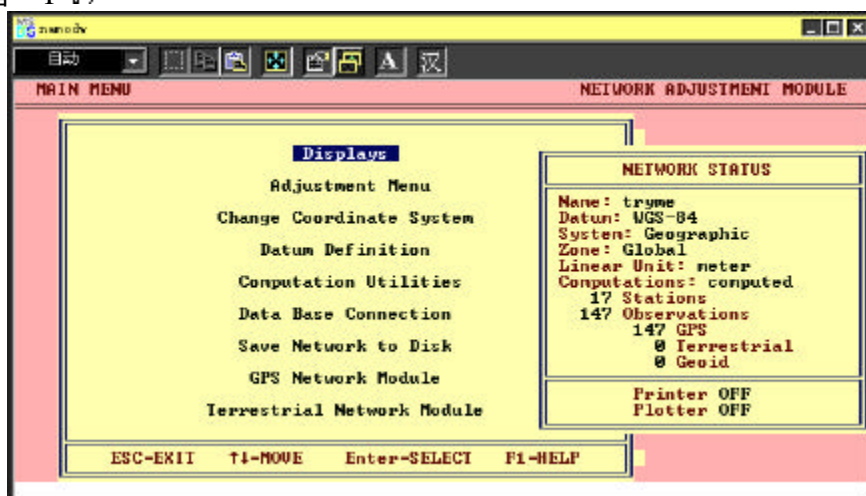


图46 网平差模块的主菜单

9. 选取 Adjustment Menu (平差菜单), 进入平差菜单。

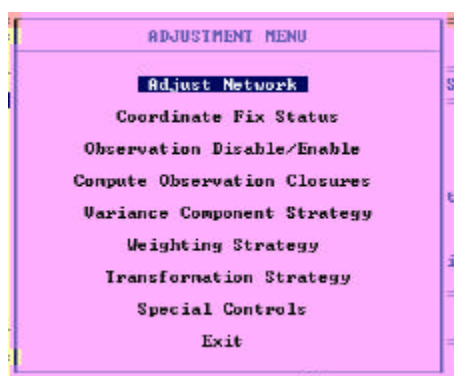


图47 平差菜单

10. 选取 Special Controls (特殊控制) 设置平差时的各项特别控制。(此时将进入 SPECIAL ADJUSTMENT CONTROLS (平差的特殊控制) 对话框)

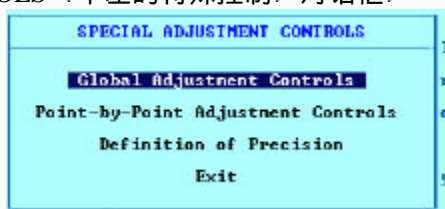


图48 SPECIAL ADJUSTMENT CONTROLS (平差的特殊控制) 对话框

11. 选取 Global Adjustment Controls (平差时的全局性控制), 设置平差时的全局性控制参数。请将:

Model all heights on ellipsoid (one-height mode) 设成 Y;

Univariate sigma scalar 设成 1.96;

Bivariate sigma scalar 设成 2.45;

其余选项不变。

按下 F5 键, 保存所作的设置, 然后, 返回 ADJUSTMENT MENU (平差菜单) 对话框。

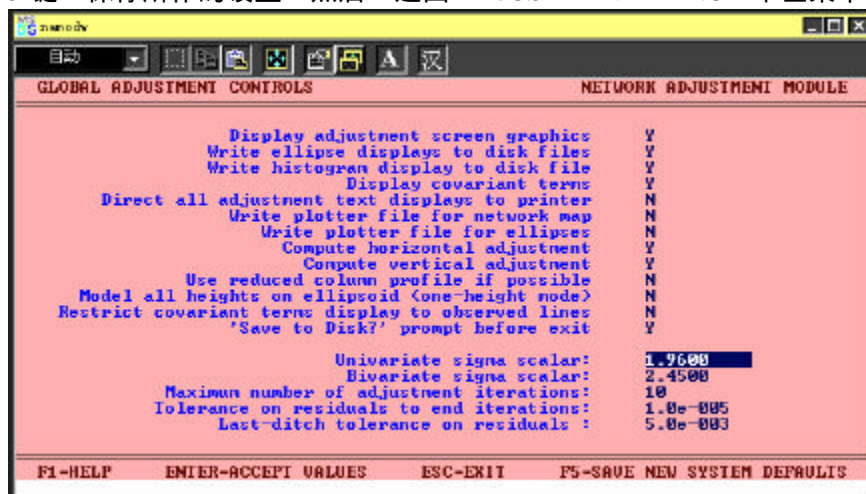


图49 平差时的全局性控制

12. 选取 Weighting Strategy (加权策略) 设置加权策略。此时, 会出现一个 OBSERVATION

CATEGORIES（观测值类型）对话框。

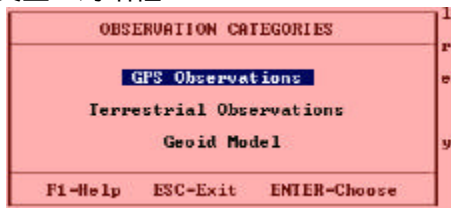


图50 OBSERVATION CATEGORIES（观测值类型）对话框

13. 选取 GPS OBSERVATION（GPS 观测值）项。此时，会出现一个 WEIGHTING STRATEGY（加权策略）对话框。



图51 WEIGHTING STRATEGY（加权策略）对话框

14. 选取 Station Weighting（测站加权方式），设置天线高误差和对中误差，然后，返回 ADJUSTMENT MENU（平差菜单）对话框。

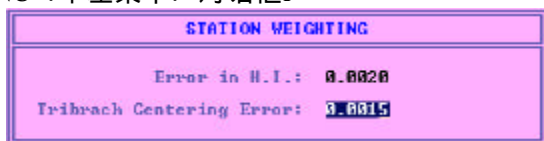


图52 STATION WEIGHTING（测站加权方式）对话框

15. 选取 Adjust Network（网平差）项，进行平差计算。
16. 平差结束后，选取 Displays（显示）项，进入结果显示对话框。



图53 DISPLAYS（显示）对话框

17. 选取 Adjustment Results（平差结果）项，检查平差结果。这时将出现一个 DISPLAY ADJUSTMENT RESULT（显示平差结果）对话框，用户可从中选定显示何种结果。



图54 DISPLAY ADJUSTMENT RESULT（显示平差结果）对话框

18. 选取 STATISTICAL SUMMARY（统计综述）项，检查平差的有关统计信息，其中，主要检查以下内容：

Network Reference Factor（网的参考因子）

Chi-Square Test（ χ^2 检验的结果）

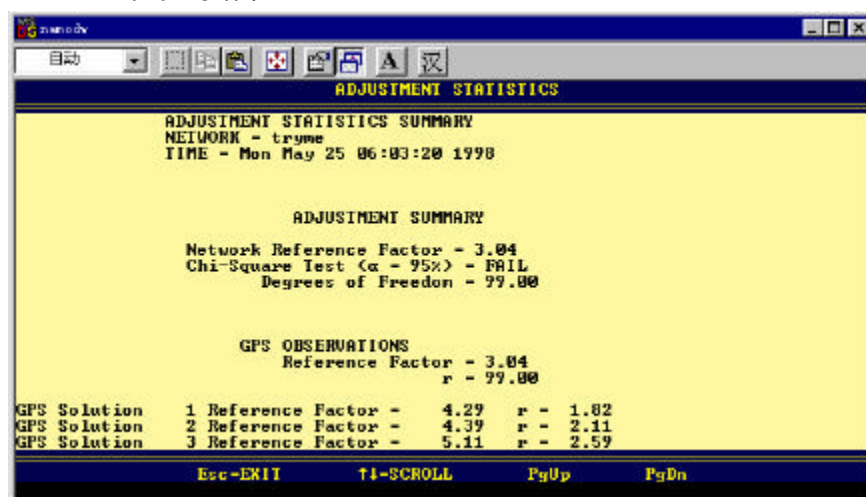


图55 STATISTICAL SUMMARY（统计综述）—未通过 χ^2 检验

19. 选取 Observation Adjustment（观测值的平差值）项，检查各观测值的 TAU 值，若该值大于 1 则说明该观测值可能含有粗差。

OBS#	BLK#/ REF#	TYPE	BACKSIGHT/ INSTRUMENT/ FORESIGHT	UDUC/ UDFG/ SBN	OBSERVED/ ADJUSTED/ RESIDUAL	TAU
OBSERVATION ADJUSTMENT SUMMARY NETWORK - tryme TIME - Mon May 25 06:03:25 1998						
OBSERVATION ADJUSTMENT (Tau = 3.49)						
OBS#	BLK#/ REF#	TYPE	BACKSIGHT/ INSTRUMENT/ FORESIGHT	UDUC/ UDFG/ SBN	OBSERVED/ ADJUSTED/ RESIDUAL	TAU
1	1	gpsaz				
					1.960/ 1.960/ 1.960	
			---	---	137°52'00.7226"	140.9612"
			HUB	---	137°51'51.6772"	90.6094"
			SPR3	1	-7.045465"	107.9816"

图56 OBSERVATION ADJUSTMENT（观测值的平差值）

20. 返回 ADJUSTMENT MENU（平差菜单）对话框，选取 Weighting Strategy/GPS Observations/Scalar，然后，设置 WEIGHYING STRATEGY--SCALING（加权策略—比例系数）¹。在一般情况下，可将 Current Strategy（当前策略）设置成 all gps solutions，将 Current Value（当前值）设置成 Alternative（可调的）。

SOL #	SCALAR	SOL #	SCALAR	SOL #	SCALAR	SOL #	SCALAR
1	1.00	18	1.00	35	1.00		
2	1.00	19	1.00	36	1.00		
3	1.00	20	1.00	37	1.00		
4	1.00	21	1.00	38	1.00		
5	1.00	22	1.00	39	1.00		
6	1.00	23	1.00	40	1.00		
7	1.00	24	1.00	41	1.00		
8	1.00	25	1.00	42	1.00		
9	1.00	26	1.00	43	1.00		
10	1.00	27	1.00	44	1.00		
11	1.00	28	1.00	45	1.00		
12	1.00	29	1.00	46	1.00		
13	1.00	30	1.00	47	1.00		
14	1.00	31	1.00	48	1.00		
15	1.00	32	1.00	49	1.00		
16	1.00	33	1.00				
17	1.00	34	1.00				

图57 WEIGHYING STRATEGY--SCALING（加权策略—比例系数）

21. 返回 ADJUST MENU（平差菜单）对话框，选取 Adjust Network（网平差）项再次进行平差解算。
22. 反复进行第 21 步，直至 C^2 检验通过为止。

¹ 需要根据具体情况进行设置，这里需设置的项目有：Current Strategy（当前策略）和 Current Value（当前值）两项。Current Strategy（当前策略）的可选值为 all gps solutions（所有 GPS 观测值采用相同的策略），each gps solutions（每个 GPS 观测值采用不同的策略）和 var comp group（根据不同的分组采用不同的策略）。Current Value（当前值）的可选值为 Default（缺省值），Alternative（可调的）和 User-Defined（用户自定义）。

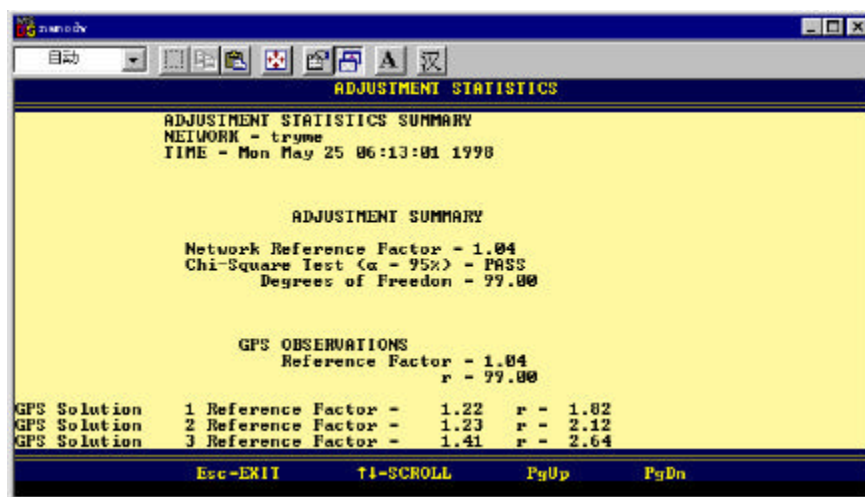


图58 STATISTICAL SUMMARY (统计综述) —通过 χ^2 检验

23. 返回 ADJUSTMENT MENU (平差菜单) 对话框, 选取 Weighting Strategy/GPS Observations/Scalar, 然后, 将 Current strategy (当前策略) 设成 User-Defined (用户自定义)。
24. 从 MAIN MENU (主菜单) 对话框中选取 Datum Defination (基准定义), 设置基准。
25. 从 MAIN MENU (主菜单) 对话框中选取 Change Coordinate System (改变坐标系统), 改变坐标系统。
26. 在 ADJUST MENU (平差菜单) 对话框中选取 Coordinate Fix Status (坐标固定状态) 项, 设置起算点的坐标值。

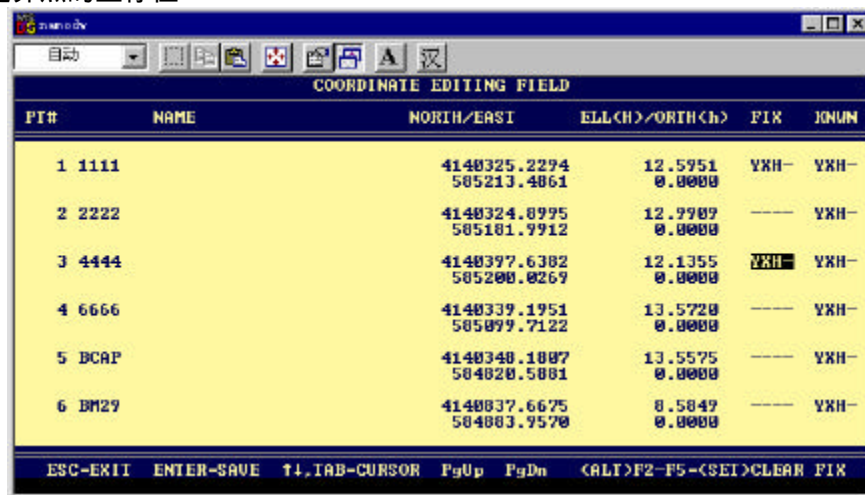


图59 设定起算点坐标

27. 选取 Adjust Network (网平差), 进行平差。
28. 返回 GPSurvey 中的 Trimnet Plus, 选取 Database Connection (数据连接), 更新项目数据库。
29. 选取 Exit to Project Manager (返回管理器), 返回 GPSurvey。

2. 双高模式

第3节 词汇表

- Almanac
历书。历书中含有卫星轨道参数、开普勒元素、卫星钟差、电离层延迟参数、卫星健康状况等信息，与卫星星历的内容大体相同，不过较为粗略，GPS 接收机利用此信息捕获卫星。
- Anti-Spoofing (A/S)
美国军方用以加密精码 (P-码) 的方法。
- Azimuth
方位角。
- Baseline
基线。基线一般由两个进行了同步观测的测站所构成。
- Base Station
基准站。见 GPS Reference Station。
- Block I, II, IIR, IIF Satellites
Block I, II, IIR, IIF 卫星。不同代的 GPS 卫星：Block I 是 GPS 的原型卫星，从 1978 年开始发射；24 颗 Block II 卫星构成了 GPS 的卫星星座，它于 1995 年构成；Block IIR 是补充卫星；Block IIF 是下一代 GPS 卫星。
- C/A code (Coarse/Acquisition Code)
C/A 码 (粗/捕获码)。该码调制在 L1 载波上，该码是一个
- Chip
 1. 码长。传送一位二进制码 (0 或 1) 所需的时间。
 2. 集成电路。
- Chip Rate
码速率。发送二进制码的速度，单位“位/秒”。如 C/A 码的码速率为 1.023MHz。
- Clock Bias
钟差。钟面时与真世界时之间的差异。
- Clock Offset
钟偏差。两台钟读数上的差异。
- Cycle Slip
周跳。
- Datum
基准。
- Dithering
抖动。引入数字噪声，美国 DOD 在实施 SA 时，往 GPS 信号中加入抖动，以降低其精度。
- dilution of precision
精度衰减因子。
$$DOP = (tr(A^T P A))^{1/2}$$
其中：A 是设计矩阵，它依赖于卫星-接收机间的几何关系；P 是观测值的权阵。
- Doppler aiding
用载波相位的多普勒观测值平滑码相位观测值。采用此方法可获得更好的测速和定位精度。
- Doppler shift
多普勒平移。
- dynamic positioning

动态定位。确定流动接收机依时间序列的坐标的定位技术，每个坐标均由一组单独的数据来确定。

- Elevation Angle
同 elevation mask。
- elevation mask
截止高度角。接收机所跟踪卫星的最低高度角，一般在 10° 以上。较高的截止高度角有利于防止大气层的影响及附近物体和多路径的影响。
- ECEF – earth-centered earth-fixed Cartesian coordinates
地心地固空间直角坐标系。
- Ephemeris
星历。精确描述天体（如 GPS 卫星）位置的以时间为变量的函数的一组参数。目前，GPS 星历有“广播星历”和后处理的“精密星历”。
- epoch
历元。GPS 接收机记录数据的时刻。有时也用于表示观测间隔或采集数据的频率。
- event mark
事件标记。某个事件的记录。GPS 接收机可记录下事件发生的时间和描述事件的文字记录。一个事件可以通过按键或电信号通过接收机的某个端口输入。
- full wave
全波。GPS 接收机有无码接收机（信号平方）和码跟踪接收机。能跟踪 L2 上的 P 码的接收机，可以以 L2 的波长（约 24cm）生成观测值（全波）。被平方后的 L2 载波相位观测值的波长相当与 L2 载波相位原波长的一半（约 12cm）。
- Geoid
大地水准面。一个特殊的重力等位面，可以认为是平均海面及其在大陆下的延伸，该面处处与重力方向垂直。
- Geoid Height
海拔高。
- Geometric Dilution of Precision(GDOP)
几何图形精度衰减因子。
- geodetic datum
大地基准。与大地水准面的某一部分或全部吻合最好的数学形体。它通过定义椭球与地球自然表面上被称为基准原点的一个点的相互关系来定义的。全球性的大地基准通常要指定椭球的大小、形状，并将椭球的中心置于地球的中心。这种关系可以通过六个量来确定，通常（但不总是）采用原点的大地经、纬度和高程，原点处垂线偏差的两个分量，以及原点至某点的大地方位角等六个参数。
- GPS
美国国防部（DoD-Department of Defence）建立的全球定位系统（Global Positioning System）。该系统由位于地球高轨道上的 24 颗卫星所构成，通过观测 GPS 卫星所发射的信号，接收机可以精密地确定出自身的位置。接收机即可以固定在地面上，也可以随着车辆、航空器或低轨卫星运动。GPS 可用于空中、陆地以及海洋导航，制图，测量，以及其它一些需要精密定位的应用。
- GPS Time
GPS 时间。
- GPS Week
GPS 周。一周的时间段，以星期日 0 时起算。
- Independent Baselines
独立基线。
- Ionosphere
电离层。

- Ionosphere Delay
电离层延迟。波通过电离层时所产生的延迟。相位延迟的大小取决于电子含量，且影响载波信号；群延迟的大小取决于电离层中的散射效应，且影响调制信号（码）。相延迟与群延迟大小相等，符号相反。
- Ionosphere Refraction
电离层折射。当信号穿过电离层时其传播速度的变化量。当信号穿过电离层（是一种不均匀的散射介质）时，其传播速度与真空中不同。相位延迟的大小取决于电子含量，且影响载波信号；群延迟的大小取决于电离层中的散射效应，且影响调制信号（码）。相延迟与群延迟大小相等，符号相反。
- Kalman Filter
一种用于跟踪含有噪声、随时间变化的信号的数学算法。
- L-band
L-波段。IEEE 电波探测与测距标准 521 号中定义频率由 1.0GHz 至 2.0GHz 的电波波段。GPS 载波采用了 L-波段中的 1227.6MHz 和 1575.42MHz 两个频率。
- L1 Signal
L1 信号。
- L2 Signal
L2 信号。
- Julian date
儒略日/年积日。表示某天是一年中的第几天。
- Kinematic surveying
准动态定位。此种形式的动态定位要求在测站上静止观测一段时间。
- multi-baseline solution
多基线解。对同一个时间段中进行同步观测的两个以上测站的观测值共同进行处理，解算出它们间的基线向量。
- multipath
多路径。由于接收机所收到的 GPS 信号的反射信号而造成的干扰。
- multipath error
多路径误差。由多路径干扰所引起的误差。
- multipath interference
多路径干扰。接收机在接收到直接由信号源所发射出的信号的同时，还接收到经由诸如地面、建筑物等其它物体反射后的信号，这称为多路径干扰。
- narrow lane
窄巷观测值。L1 与 L2 的一种线性组合，即 $L1+L2$ 。该种组合有利于消除电离层折射的影响，该组合观测值的波长为 10.7cm。
- NGS
美国国家大地测量委员会（The United States National Geodetic Survey）。
- observing session
观测时段。两台或多台接收机进行同步观测，接收数据的时间段。
- occupation
设站。
- PDOP mask
PDOP 值的截止值。当 PDOP 值小于此截止值时，则不进行定位。
- RDOP
相对精度衰减因子。
$$RDOP = (\mathbf{s}_{dx}^2 + \mathbf{s}_{dy}^2 + \mathbf{s}_{dz}^2)^{1/2}, \text{ 单位 m/cycle.}$$
- SA (Selective Availability)
选择性定位能力。DoD 用以控制伪距定位精度的一种方法，其具体内容是同过在时间和星

历中加入抖动来降低一般接收机的定位精度。

- Sync time
同步时间。接收机更新坐标位置和进行数据采集的频率。
- TOW (Time of week) (Selective Availability)
周时。按一周为周期的时间, 单位为秒。
- trop (Tropospheric correction)
对流层改正。
- Universal Time Coordinate (UTC)
国际协调时。
- Universal Transverse Mercator (UTM)
通用横轴麦卡托投影。
- User Range Accuracy (URA)
用户测距精度。用以评估由于某些特定的误差源(主要是卫星钟和星历预报精度)所造成的距离观测误差。将它们转换为长度单位, 并假定它们不随着其它误差源的改正而改正。此值一般要求小于 10。
- Y code
Y 码。对 P-码进行加密后所生成测距码。