

(4)各 GPS 控制点、GPS 基准点的基本信息(各控制点、基准点的点名及编号、代码等)。

(5)观测值的数量、数据剔除率等统计信息。

(6)联测的国家大地控制点资料。

(7)解算的同步基线向量(三维)、边长及精度。

(8)GPS 控制网和各 GPS 基准网的平差结果(包括:各基线向量改正;基线相对中误差;各点的三维空间直角坐标及精度;各点在 WGS-84 坐标系的大地坐标及精度;各点在 1954 年北京坐标系和 1980 年西安坐标系中的大地坐标、平面坐标及精度;各点误差椭圆参数等)。

(9)观测及数据处理的技术总结。

§ 8.3 GPS 测量的外业实施

GPS 测量外业实施包括 GPS 点的选埋、观测、数据传输及数据预处理等工作。

8.3.1 选点

由于 GPS 测量观测站之间不一定要求相互通视,而且网的图形结构也比较灵活,所以选点工作比常规控制测量的选点要简便。但由于点位的选择对于保证观测工作的顺利进行和保证测量结果的可靠性有着重要的意义,所以在选点工作开始前,除收集和了解有关测区的地理情况和原有测量控制点分布及标架、标型、标石完好状况,决定其适宜的点位外,选点工作还应遵守以下原则:

①点位应设在易于安装接收设备、视野开阔的较高点上。

②点位目标要显著,视场周围 15° 以上不应有障碍物,以减小 GPS 信号被遮挡或被障碍物吸收。

③点位应远离大功率无线电发射源(如电视台、微波站等),其距离不小于 200m;远离高压输电线和微波无线电信号传送通道,其距离不得小于 50m。以避免电磁场对 GPS 信号的干扰。

④点位附近不应有大面积水域或不应有强烈干扰卫星信号接收的物体,以减弱多路径效应的影响。

⑤点位应选在交通方便,有利于其他观测手段扩展与联测的地方。

⑥地面基础稳定,易于点的保存。

⑦选点人员应按技术设计进行踏勘,在实地按要求选定点位。当利用旧点时,应对旧点的稳定性、完好性,以及觇标是否安全、可用性进行检查,符合要求方可利用。

⑧网形应有利于同步观测边、点联结。

⑨当所选点位需要进行水准联测时,选点人员应实地踏勘水准路线,提出有关建议。

8.3.2 标志埋设

GPS 网点一般应埋设具有中心标志的标石,以精确标志点位,点的标石和标志必须稳定、坚固以利长久保存和利用。在基岩露头地区,也可直接在基岩上嵌入金属标志,详见《规范》。

每个点位标石埋设结束后,应按表 8-9 填写点之记并提交以下资料:

表 8-9

GPS 点点之记

日期:19 年 月 日 记录者: 绘图者: 校对者:

点名及种类	GPS 点	名		土 质		
		号				
		相邻点 (名、号、 里程、通 视否)			标 石 说 明 (单、双层、 类型)旧点	
所在地				旧点名		
交通路线						
所在图幅号				概略位置	X	Y
					L	B
(略图)						
备注						

- 点之记;
- GPS 网的选点网图;
- 土地占用批准文件与测量标志委托保管书;
- 选点与埋石工作技术总结。

点名一般取村名、山名、地名、单位名,应向当地政府部门或群众进行调查后确定。利用原有旧点时点名不宜更改,点号编排(码)应适应计算机计算。

8.3.3 观测工作

1. 观测工作依据的主要技术指标

GPS 观测与常规测量在技术要求上有很大差别,各级 GPS 测量基本技术要求规定按表 8-10a 规定执行,对城市及工程 GPS 控制在作业中应按表8-10b有关技术指标执行。

表 8-10a 各级 GPS 测量基本技术要求规定

项 目 \ 级 别	AA	A	B	C	D	E
卫星截止高度角(°)	10	10	15	15	15	15
同时观测有效卫星数	≥4	≥4	≥4	≥4	≥4	≥4
有效观测卫星总数	≥20	≥20	≥9	≥6	≥4	≥4
观测时段数	≥10	≥6	≥4	≥2	≥1.6	≥1.6

续表

项 目 \ 级 别			AA	A	B	C	D	E
时段长度 (min)	静态		≥720	≥540	≥240	≥60	≥45	≥40
	快速 静态	双频 + P(Y) 码	—	—	—	≥10	≥5	≥2
		双频全波	—	—	—	≥15	≥10	≥10
		单频或双频半波	—	—	—	≥30	≥20	≥15
采样间隔 (s)	静态		30	30	30	10 ~ 30	10 ~ 30	10 ~ 30
	快速静态		—	—	—	5 ~ 15	5 ~ 15	5 ~ 15
时段中任一卫星有效观测时间(min)	静态		≥15	≥15	≥15	≥15	≥15	≥15
	快速 静态	双频 + P(Y) 码	—	—	—	≥1	≥1	≥1
		双频全波	—	—	—	≥3	≥3	≥3
		单频或双频半波	—	—	—	≥5	≥5	≥5

注:

- 1. 在各时段中观测,观测时间符合规定的卫星,为有效观测卫星;
- 2. 计算有效观测卫星总数时,应将各时段的有效观测卫星数扣除其间的重复卫星数;
- 3. 观测时段长度,应为开始记录数据到结束记录的时间段;
- 4. 观测时段数≥1.6,指每站观测一时段,至少 60% 测站再观测一时段。

表 8-10b 各级 GPS 测量作业的基本技术要求

项 目	等 级		二	三	四	一级	二级
	方 法						
卫星高度角(°)	相 对	快 速	≥15	≥15	≥15	≥15	≥15
有效观测卫星数	相 对		≥4	≥4	≥4	≥4	≥4
	快 速		—	≥5	≥5	≥5	≥5
观测时段数	相 对		≥2	≥2	≥2	≥2	≥1
重复设站数	快 速		—	≥2	≥2	≥2	≥2
时段长度(min)	相 对		≥90	≥60	≥45	≥45	≥45
	快 速		—	≥20	≥15	≥15	≥15
数据采样间隔(s)	相 对	快 速	10 ~ 60	10 ~ 60	10 ~ 60	10 ~ 60	10 ~ 60
PDOP	相 对	快 速	<6	<6	<8	<8	<8

2. 天线安置

①在正常点位,天线应架设在三脚架上,并安置在标志中心的上方直接对中,天线基座上的圆水准气泡必须整平。

②在特殊点位,当天线需要安置在三角点觇标的观测台或回光台上时,应先将觇标顶部拆除,以防止对 GPS 信号的遮挡。这时可将标志中心反投影到观测台或回光台上,作为安置天线的依据。如果觇标顶部无法拆除,接收天线若安置在标架内观测,就会造成卫星信号中断,影响 GPS 测量精度。在这种情况下,可进行偏心观测。偏心点选在离三角点 100m 以内的地方,归心元素应以解析法精密测定。

③天线的定向标志线应指向正北,并顾及当地磁偏角的影响,以减弱相位中心偏差的影响。天线定向误差依定位精度不同而异,一般不应超过 $\pm 3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 。

④刮风天气安置天线时,应将天线进行三方向固定,以防倒地碰坏。雷雨天气安置天线时,应注意将其底盘接地,以防雷击天线。

⑤架设天线不宜过低,一般应距地面 1m 以上。天线架设好后,在圆盘天线间隔 120° 的三个方向分别量取天线高,三次测量结果之差不应超过 3mm,取其三次结果的平均值记入测量手簿中,天线高记录取值 0.001m。

⑥测量气象参数:在高精度 GPS 测量中,要求测定气象元素。每时段气象观测应不少于 3 次(时段开始、中间、结束)。气压读至 0.1mbar,气温读至 0.1°C ,对一般城市及工程测量只记录天气状况。

⑦复查点名并记入测量手簿中,将天线电缆与仪器进行连接,经检查无误后,方能通电启动仪器。

3. 开机观测

观测作业的主要目的是捕获 GPS 卫星信号,并对其进行跟踪、处理和量测,以获得所需要的定位信息和观测数据。

天线安置完成后,在离开天线适当位置的地面上安放 GPS 接收机,接通接收机与电源、天线、控制器的连接电缆,并经过预热和静置,即可启动接收机进行观测。

接收机锁定卫星并开始记录数据后,观测员可按照仪器随机提供的操作手册进行输入和查询操作,在未掌握有关操作系统之前,不要随意按键和输入,一般在正常接收过程中禁止更改任何设置参数。

通常来说,在外业观测工作中,仪器操作人员应注意以下事项:

①当确认外接电源电缆及天线等各项连接完全无误后,方可接通电源,启动接收机。

②开机后接收机有关指示显示正常并通过自检后,方能输入有关测站和时段控制信息。

③接收机在开始记录数据后,应注意查看有关观测卫星数量、卫星号、相位测量残差、实时定位结果及其变化、存储介质记录等情况。

④一个时段观测过程中,不允许进行以下操作:关闭又重新启动;进行自测试(发现故障除外);改变卫星高度角;改变天线位置;改变数据采样间隔;按动关闭文件和删除文件等功能键。

⑤每一观测时段中,气象元素一般应在始、中、末各观测记录一次,当时段较长时可适当增加观测次数。

⑥在观测过程中要特别注意供电情况,除在出测前认真检查电池容量是否充足外,作业中观测人员不要远离接收机,听到仪器的低电压报警要及时予以处理,否则可能会造成仪器内部数据的破坏或丢失。对观测时段较长的观测工作,建议尽量采用太阳能电池板或汽车电瓶进行供电。

⑦仪器高一定要按规定始、末各量测一次,并及时输入仪器及记入测量手簿之中。

⑧接收机在观测过程中不要靠近接收机使用对讲机;雷雨季节架设天线要防止雷击,雷雨过境时应关机停测,并卸下天线。

⑨观测站的全部预定作业项目,经检查均已按规定完成,且记录与资料完整无误后方可迁站。

⑩观测过程中要随时查看仪器内存或硬盘容量,每日观测结束后,应及时将数据转存至计算机硬、软盘上,确保观测数据不丢失。

4. 观测记录

在外业观测工作中,所有信息资料均须妥善记录。记录形式主要有以下两种:

①观测记录

观测记录由 GPS 接收机自动进行,均记录在存储介质(如硬盘、硬卡或记忆卡等)上,其主要内容有:

- 载波相位观测值及相应的观测历元;
- 同一历元的测码伪距观测值;
- GPS 卫星星历及卫星钟差参数;
- 实时绝对定位结果;
- 测站控制信息及接收机工作状态信息。

②测量手簿

测量手簿是在接收机启动前及观测过程中,由观测者随时填写的。其记录格式在现行《规范》和《规程》中略有差别,视具体工作内容选择进行。为便于使用,这里列出《规程》中城市与工程 GPS 网观测记录格式(见表8-11)供参考。

表 8-11 中,备注栏应记载观测过程中发生的重要问题,问题出现的时间及其处理方式等。

观测记录和测量手簿都是 GPS 精密定位的依据,必须认真、及时填写,坚决杜绝事后补记或追记。

外业观测中存储介质上的数据文件应及时拷贝一式两份,分别保存在专人保管的防水、防静电的资料箱内。存储介质的外面,适当处应贴制标签,注明文件名、网区名、点名、时段名、采集日期、测量手簿编号等。

接收机内存数据文件在转录到外存介质上时,不得进行任何剔除或删改,不得调用任何对数据实施重新加工组合的操作指令。

表 8-11

GPS 外业观测手簿

工程 GPS 外业观测手簿

观测者姓名_____	日 期_____	年_____	月_____	日_____
测 站 名_____				
天气状况_____	测 站 号_____	时 段 号_____		
测站近似坐标:			本测站为	
			<input type="checkbox"/> 新点	
经度: E _____° _____'			<input type="checkbox"/> 等大地点	
纬度: N _____° _____'			<input type="checkbox"/> 等水准点	
高程: _____ (m)			<input type="checkbox"/> _____	
记录时间: <input type="checkbox"/> 北京时间 <input type="checkbox"/> UTC <input type="checkbox"/> 区时				
开录时间_____		结束时间_____		
接收机号_____		天线号_____		
天线高(m): _____		测后校核值_____		
1. _____		2. _____		3. _____ 平均值_____
天线高量取方式略图			测站略图及障碍物情况	
观测状况记录				
1. 电 池 电 压_____ (块条)				
2. 接 收 卫 星 号_____				
3. 信 噪 比 (SNR) _____				
4. 故 障 情 况 _____				
5. 备 注 _____				

§ 8.4 GPS 测量的作业模式

近几年来,随着 GPS 定位后处理软件的发展,为确定两点之间的基线向量,已有多种测量方案可供选择。这些不同的测量方案,也称为 GPS 测量的作业模式。目前,在 GPS 接收系统硬件和软件的支持下,较为普遍采用的作业模式主要有静态相对定位、快速静态相对定位、准动态相对定位和动态相对定位等。下面就这些作业模式的特点及其适用范围简要介绍如下:

8.4.1 经典静态定位模式

①作业方法:采用两台(或两台以上)接收设备,分别安置在一条或数条基线的两个端点,

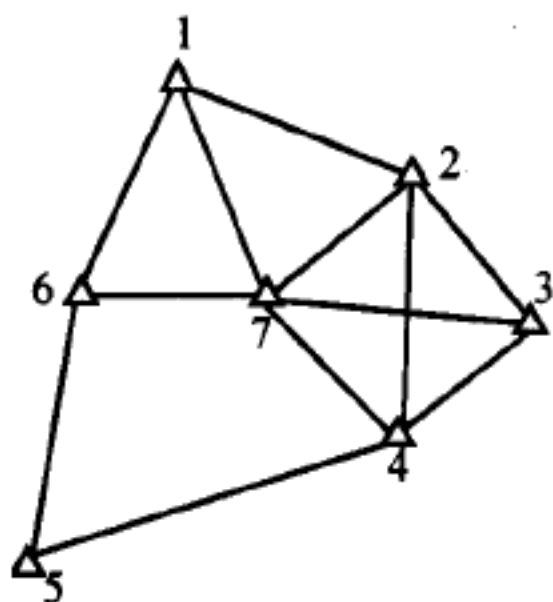


图 8-15 静态定位

同步观测 4 颗以上卫星,每时段长 45min 至 2h 或更多。作业布置如图 8-15 所示。

②精度:基线的定位精度可达 $5\text{mm} + 1 \times 10^{-6} \cdot D$, D 为基线长度(km)。

③适用范围:建立全球性或国家级大地控制网,建立地壳运动监测网、建立长距离检校基线、进行岛屿与大陆联测、钻井定位及精密工程控制网建立等。

④注意事项:所有已观测基线应组成一系列封闭图形(如图 8-15),以利于外业检核,提高成果可靠度。并且可以通过平差,有助于进一步提高定位精度。

8.4.2 快速静态定位

①作业方法:在测区中部选择一个基准站,并安置一台接收设备连续跟踪所有可见卫星;另一台接收机依次到各点流动设站,每点观测数分钟。作业布置如图 8-16 所示。

②精度:流动站相对于基准站的基线中误差为 $5\text{mm} + 1 \times 10^{-6} \cdot D$ 。

③应用范围:控制网的建立及其加密、工程测量、地籍测量、大批相距百米左右的点位定位。

④注意事项:在观测时段内应确保有 5 颗以上卫星可供观测;流动点与基准点相距应不超过 20km;流动站上的接收机在转移时,不必保持对所测卫星连续跟踪,可关闭电源以降低能耗。

⑤优缺点:优点:作业速度快、精度高、能耗低;缺点:两台接收机工作时,构不成闭合图形(如图 8-16),可靠性较差。

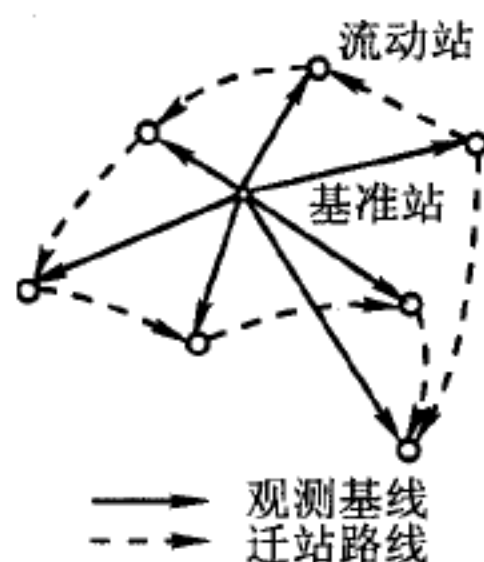


图 8-16 快速静态定位

8.4.3 准动态定位

①作业方法:在测区选择一个基准点,安置接收机连续跟踪所有可见卫星;将另一台流动接收机先置于 1 号站(如图 8-17)观测;在保持对所测卫星连续跟踪而不失锁的情况下,将流动接收机分别在 2,3,4...各点观测数秒钟。

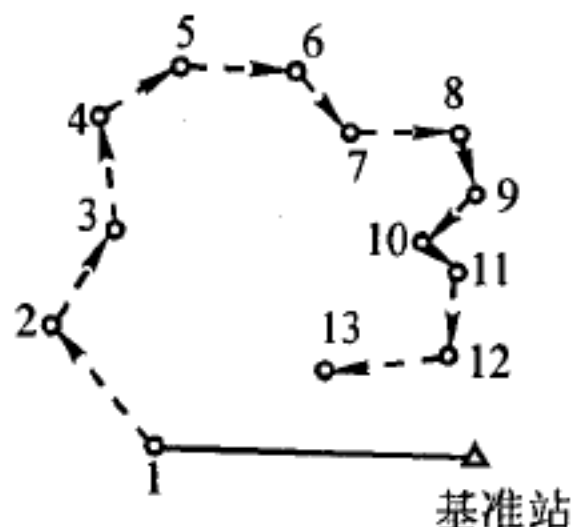


图 8-17 准动态定位

②精度:基线的中误差约为 1~2cm。

③应用范围:开阔地区的加密控制测量、工程定位及碎部测量、剖面测量及线路测量等。

④注意事项:应确保在观测时段上有 5 颗以上卫星可供观测;流动点与基准点距离不超过 20km;观测过程中流动接收机不能失锁,否则应在失锁的流动点上延长观测时间 1~2min。

8.4.4 往返式重复设站

①作业方法:建立一个基准点安置接收机连续跟踪所有可见卫星;流动接收机依次到每点观测 1~2min;1h 后逆序返测各流动点 1~2min。设站布置如图 8-18 所示。

②精度:相对于基准点的基线中误差为 $5\text{mm} + 1 \times 10^{-6} \cdot D$ 。

③应用范围:控制测量及控制网加密、取代导线测量及三角测量、工程测量及地籍测量等。

④注意事项:流动点与基准点相距不超过 20km;基准点上空开阔,能正常跟踪 3 颗以上的卫星。

8.4.5 动态定位

①作业方法:建立一个基准点安置接收机连续跟踪所有可见卫星(如图 8-19 所示);流动接收机先在出发点上静态观测数分钟;然后流动接收机从出发点开始连续运动;按指定的时间间隔自动测定运动载体的实时位置。

②精度:相对于基准点的瞬时点位精度 1~2cm。

③应用范围:精密测定运动目标的轨迹、测定道路的中心线、剖面测量、航道测量等。

④注意事项:需同步观测 5 颗卫星,其中至少 4 颗卫星要连续跟踪;流动点与基准点相距不超过 20km。

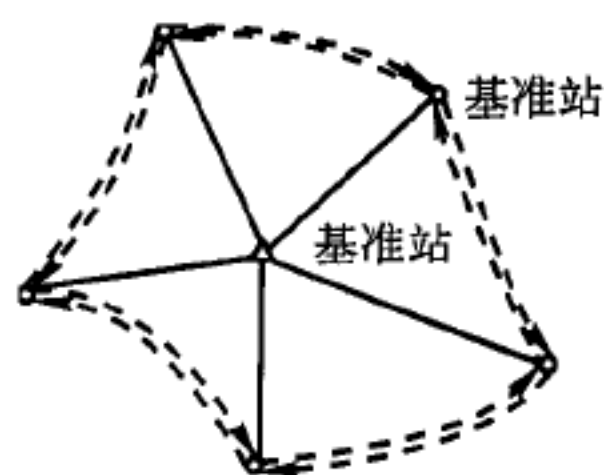


图 8-18 往返式重复设站



图 8-19 动态定位

8.4.6 实时动态测量的作业模式与应用

1. 实时动态(RTK)定位技术简介

实时动态(Real Time Kinematic,简称 RTK)测量技术,是以载波相位观测量为根据的实时差分 GPS(RTD GPS)测量技术,它是 GPS 测量技术发展中的一个新突破。众所周知,GPS 测量工作的模式已有多种,如静态、快速静态、准动态和动态相对定位等。但是,利用这些测量模式,如果不与数据传输系统相结合,其定位结果均需通过观测数据的测后处理而获得。由于观测数据需在测后处理,所以上述各种测量模式,不仅无法实时地给出观测站的定位结果,而且也无法对基准站和用户站观测数据的质量,进行实时地检核,因而难以避免在数据后处理中发现不合格的测量成果,需要进行返工重测的情况。

以往解决这一问题的措施,主要是延长观测时间,以获得大量的多余观测量,来保障测量结果的可靠性。但是,这样一来,便显著地降低了 GPS 测量工作的效率。

实时动态测量的基本思想是,在基准站上安置一台 GPS 接收机,对所有可见 GPS 卫星进行连续地观测,并将其观测数据,通过无线电传输设备,实时地发送给用户观测站。在用户站上,GPS 接收机在接收 GPS 卫星信号的同时,通过无线电接收设备,接收基准站传输的观测数据,然后根据相对定位的原理,实时地计算并显示用户站的三维坐标及其精度。

这样,通过实时计算的定位结果,便可监测基准站与用户站观测成果的质量和解算结果的收敛情况,从而可实时地判定解算结果是否成功,以减少冗余观测,缩短观测时间。

RTK 测量系统的开发成功,为 GPS 测量工作的可靠性和高效率提供了保障,这对 GPS 测量技术的发展和普及,具有重要的现实意义。当然,这一测量系统的应用,也明显地增加了用户的设备投资。

2. RTK 作业模式与应用

根据用户的要求,目前实时动态测量采用的作业模式,主要有:

(1) 快速静态测量

采用这种测量模式,要求 GPS 接收机在每一用户站上,静止地进行观测。在观测过程中,

连同接收到的基准站的同步观测数据,实时地解算整周未知数和用户站的三维坐标。如果解算结果的变化趋于稳定,且其精度已满足设计要求,便可适时的结束观测。

采用这种模式作业时,用户站的接收机在流动过程中,可以不必保持对 GPS 卫星的连续跟踪,其定位精度可达 $1 \sim 2\text{cm}$ 。这种方法可应用于城市、矿山等区域性的控制测量、工程测量和地籍测量等。

(2) 准动态测量

同一般的准动态测量一样,这种测量模式,通常要求流动的接收机在观测工作开始之前,首先在某一一起始点上静止地进行观测,以便采用快速解算整周未知数的方法实时地进行初始化工作。初始化后,流动的接收机在每一观测站上,只需静止观测数历元,并连同基准站的同步观测数据,实时地解算流动站的三维坐标。目前,其定位的精度可达厘米级。

该方法要求接收机在观测过程中,保持对所测卫星的连续跟踪。一旦发生失锁,便需重新进行初始化的工作。

准动态实时测量模式,通常主要应用于地籍测量、碎部测量、路线测量和工程放样等。

(3) 动态测量

动态测量模式,一般需首先在某一一起始点上,静止地观测数分钟,以便进行初始化工作。之后,运动的接收机按预定的采样时间间隔自动地进行观测,并连同基准站的同步观测数据,实时地确定采样点的空间位置。目前,其定位的精度可达厘米级。

这种测量模式,仍要求在观测过程中,保持对观测卫星的连续跟踪。一旦发生失锁,则需重新进行初始化。这时,对陆上的运动目标来说,可以在卫星失锁的观测点上,静止地观测数分钟,以便重新初始化,或者利用动态初始化(AROF)技术,重新初始化,而对海上和空中的运动目标来说,则只有应用 AROF 技术,重新完成初始化的工作。

实时动态测量模式,主要应用于航空摄影测量和航空物探中采样点的实时定位,航道测量,道路中线测量,以及运动目标的精密导航等。

目前,实时动态测量系统,已在约 20km 的范围内,得到了成功的应用。相信随着数据传输设备性能和可靠性的不断完善和提高,数据处理软件功能的增强,它的应用范围将会不断地扩大。

§ 8.5 数据预处理及观测成果的质量检核

8.5.1 数据预处理

为了获得 GPS 观测基线向量并对观测成果进行质量检核,首先要进行 GPS 数据的预处理。根据预处理结果对观测数据的质量进行分析并作出评价,以确保观测成果和定位结果的预期精度。

1. 数据处理软件及选择

GPS 网数据处理分基线解算和网平差两个阶段。各阶段数据处理软件可采用随机软件或经正式鉴定的软件,对于高精度的 GPS 网成果处理也可选用国际著名的 GAMIT/GLOBK、BERNESE、GIPSY、GFZ 等软件。

2. 基线解算(数据预处理)

对于两台及以上接收机同步观测值进行独立基线向量(坐标差)的平差计算叫基线解算,

有的也叫观测数据预处理。

预处理的主要目的是对原始数据进行编辑、加工整理、分流并产生各种专用信息文件,为进一步的平差计算作准备。它的基本内容是:

①数据传输 将 GPS 接收机记录的观测数据传输到磁盘或其他介质上。

②数据分流 从原始记录中,通过解码将各种数据分类整理,剔除无效观测值和冗余信息,形成各种数据文件,如星历文件、观测文件和测站信息文件等。

③统一数据文件格式将不同类型接收机的数据记录格式、项目和采样间隔,统一为标准化的文件格式,以便统一处理。

④卫星轨道的标准化 采用多项式拟合法,平滑 GPS 卫星每小时发送的轨道参数,使观测时段的卫星轨道标准化。

⑤探测周跳、修复载波相位观测值。

⑥对观测值进行必要改正 在 GPS 观测值中加入对流层改正,单频接收的观测值中加入电离层改正。

基线向量的解算一般采用多站、多时段自动处理的方法进行,具体处理中应注意以下几个问题:

①基线解算一般采用双差相位观测值,对于边长超过 30km 的基线,解算时也可采用三差相位观测值。

②卫星广播星历坐标值,可作基线解的起算数据。对于特大城市的首级控制网,也可采用其他精密星历作为基线解算的起算值。

③基线解算中所需的起算点坐标,应按以下优先顺序采用:

- 国家 GPS A、B 级网控制点或其他高等级 GPS 网控制点的已有 WGS-84 系坐标;
- 国家或城市较高等级控制点转换到 WGS-84 系后的坐标值;
- 不少于观测 30min 的单点定位结果的平差值提供的 WGS-84 系坐标。

④在采用多台接收机同步观测的一个同步时段中,可采用单基线模式解算,也可以只选择独立基线按多基线处理模式统一解算。

⑤同一级别的 GPS 网,根据基线长度不同,可采用不同的数据处理模型。但是 0.8km 内的基线须采用双差固定解。30km 以内的基线,可在双差固定解和双差浮点解中选择最优结果。30km 以上的基线,可采用三差解作为基线解算的最终结果。

⑥对于所有同步观测时间短于 30min 的快速定位基线,必须采用合格的双差固定解作为基线解算的最终结果。

8.5.2 观测成果的外业检核

对野外观测资料首先要进行复查,内容包括:成果是否符合调度命令和规范的要求;进行的观测数据质量分析是否符合实际。然后进行下列项目的检核:

1. 每个时段同步观测数据的检核

①数据剔除率,剔除的观测值个数与应获取的观测值个数的比值称为数据剔除率。同一时段观测值的数据剔除率,其值应小于 10%。

②采用单基线处理模式时,对于采用同一种数学模型的基线解,其同步时段中任一三边同步环的坐标分量相对闭合差和全长相对闭合差不得超过表 8-12 所列限差。