

SPATIAL INFORMATION SCIENCE

● 高等学校工程测量与大地测量专业教材

GPS 测量操作与数据处理

GPS Survey Operation and
Data Processing

魏二虎 黄劲松 编著



8.4
31



全国优秀出版社
武汉大学出版社

高等学校地图学与地理信息系统专业教材

GPS 测量操作与数据处理

GPS Survey Operation and
Data Processing

魏二虎 黄劲松 编著



全国优秀出版社
武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

GPS 测量操作与数据处理/魏二虎,黄劲松编著. —武汉: 武汉大学出版社, 2004. 6

高等学校工程测量与大地测量专业教材

ISBN 7-307-04242-8

I. G… II. ①魏… ②黄… III. ①全球定位系统(GPS)—测量—高等学校—教材 ②全球定位系统(GPS)—数据处理—高等学校—教材 IV. P228. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 047927 号

责任编辑: 王金龙

责任校对: 黄添生

版式设计: 支 笛

出版发行: 武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: wdp4@whu.edu.cn 网址: www.wdp.whu.edu.cn)

印刷: 湖北恒吉印务有限公司

开本: 787×1092 1/16 印张: 14.375 字数: 342 千字

版次: 2004 年 6 月第 1 版 2004 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 7-307-04242-8/P·74 定价: 24.00 元



版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

这是 GPS 测量作业的实践性教材,适用于高等学校有关专业学生的实习指导以及工程技术人员测量操作和软件处理的基础培训。

该书比较详细地介绍了在进行 GPS 静态测量与数据处理、RTK 测量、工程设计、RTK 工程放样、简单绘制地形图等项目中的操作过程和软件处理过程;介绍了几种具体 GPS 测量设备的测量操作方法;介绍了使用具体软件进行数据处理以及精度分析和评定、坐标转换和高程拟合、绘图等由 GPS 测量到数据处理的实际工作过程。

读者通过学习和操作,可以将理论知识综合应用于实际工作或工程中;初步认识和掌握采用 GPS 技术完成控制测量、地形测量、工程设计和放样、地形图绘制等整个测绘工作的流程。

教材从 2001 年 3 月使用以来,受到很多有关的科研和工程技术人员、老师和同学们的欢迎和鼓励,同时他们也对本书提出了很多宝贵意见。我们再一次表示由衷的感谢。欢迎您进一步提出批评或建议。

编 者

二〇〇四年六月

目 录

前言

第一部分	GPS 静态测量	1
第一章	GPS 静态测量基础	1
第二章	GPS 静态测量工作的流程	2
第一节	测前准备	2
第二节	测量实施	3
第三节	数据处理	10
第三章	GPS 静态测量操作	15
第一节	Trimble 5700 双频 GPS 接收机静态测量操作	15
第二节	Trimble 4700 双频 GPS 接收机静态测量操作	16
第三节	Trimble 4800 双频 GPS 接收机静态测量操作	18
第四节	Trimble 4600 单频 GPS 接收机静态测量操作	19
第五节	Step-1 单频接收机静态测量操作	19
第六节	Locus 单频 GPS 接收机静态测量操作	20
第七节	Javad Legacy 接收机静态测量操作	21
第四章	数据处理软件安装和工具软件的使用	22
第一节	Trimble TGO 软件简介和安装	22
第二节	使用工具软件进行准备工作	23
第五章	TGO 图形窗口简介、建立项目、改变属性	38
第一节	TGO 图形窗口简介	38
第二节	创建项目	39
第三节	改变项目属性	41
第六章	GPS 基线处理	48
第一节	导入原始数据文件	48
第二节	选择要处理的基线	52
第三节	选择或建立基线处理类型	53
第四节	高级参数设置	57
第五节	基线处理计算	68
第六节	GPS 基线环的闭合差	80
第七章	GPS 基线网平差	84
第一节	概述	84
第二节	自由网平差	85

第三节	GPS 基线网约束平差	102
第四节	点校正及坐标系统转换参数	106
第二部分	GPS RTK 地形测量和绘图	115
第一章	GPS RTK 地形测绘基本原理	115
第一节	概述	115
第二节	GPS RTK 测量基本原理	116
第三节	地形绘图基本原理	119
第二章	GPS RTK 地形测量操作	122
第一节	GPS RTK 测量系统组成	122
第二节	GPS RTK 电子手簿 TSC1 简介	123
第三节	建立、配置一个新工作项目	127
第四节	GPS RTK 基准站设置	128
第五节	GPS RTK 流动站设置	132
第六节	GPS RTK 测量	134
第七节	GPS RTK 点校正求坐标转换参数	136
第三章	GPS 工程设计	139
第一节	GPS 工程设计概述	139
第二节	TSC1 按点设计工程	140
第三节	TSC1 按直线设计工程	141
第四节	TSC1 按圆弧线设计工程、分界线设计	142
第五节	TSC1 设计道路	146
第四章	GPS 工程放样	154
第一节	放样前准备工作	154
第二节	放样点	156
第三节	放样直线	160
第五章	GPS RTK 测量结果处理	164
第一节	TSC1 电子手簿数据传输到计算机	164
第二节	用 TGO 软件处理并输出 GPS RTK 测量数据	166
第三节	绘制地形图	170
第三部分	用 TDS 软件操作 GPS RTK	179
第一章	用电子手簿设置基准站	179
第二章	建立工作文件	181
第一节	在 PC 机上设计工作文件	181
第二节	在电子手簿上建立文件	181
第三章	用电子手簿设置流动站	183
第四章	RTK 测量(采点坐标)	185

第五章	工程施工放样	187
第一节	按点放样	187
第二节	按测线放样	188
第三节	按圆曲线放样	189
第六章	求地方坐标转换参数	190
第四部分	附录	192
第一章	Locus、Step-1 GPS 接收机数据传输和转换格式	192
第二章	Javad GPS 接收机数据传输和转换格式	195
第三章	用 GPSurvey 软件进行数据处理	196
第一节	GPSurvey 软件概述	196
第二节	建立项目	201
第三节	数据传输	203
第四节	基线解算	206
第五节	基线向量网平差(TRIMNET PLUS)	212
参考文献	221

第一部分 GPS 静态测量

第一章 GPS 静态测量基础

一、GPS 静态测量概念

在 GPS 测量中,最常用的静态定位模式是相对定位。所谓 GPS 静态定位指的是:在进行 GPS 定位时,认为在整个观测过程中,接收机天线的位置相对于地球保持不变;而在数据处理时,则将接收机天线的位置作为一个不随时间变化的量。而相对定位则指的是在进行 GPS 定位时,多台接收机进行同步观测,采集同步观测数据;在数据处理时,则利用这些同步观测数据,计算出同步观测站之间的相对位置(坐标差/基线向量)。

其具体观测模式为多台接收机在不同的测站上进行静止同步观测,时间从几分钟到长年不间断不等。接收机测定在观测期间到卫星的伪距和载波相位等观测值,并记录在相应的存储器中。观测结束后,将观测值下载到计算机中进行处理。数据处理过程一般包括基线处理、网平差、坐标转换和高程转换,最终求出高精度的网点坐标。

在 GPS 测量中,静态定位一般用于高精度的测量定位,如各种等级的大地网、工程控制网、变形监测网等。

二、GPS 接收机分类

GPS 测量型接收机一般可以根据其能够跟踪、处理的 GPS 卫星信号频率的数量分为单频和双频两大类。

1. 单频 GPS 测量型接收机

接收信号:GPS 导航电文、C/A 码、L1 载波。

接收机特点:

(1) 一体化接收机:包含带有显示灯的 GPS 接收机、天线、内置电源。

(2) 分体设计:包含天线、GPS 接收机、电源分体设计的配置。可以配置手持计算机设置或阅读参数信息。

2. 双频 GPS 测量型接收机(双频 GPS 测量仪)

接收信号:GPS 导航电文、C/A 码伪距、P 码伪距、L1 载波相位、L2 载波相位。

接收机特点:

(1) 一体化:包含带有显示灯的 GPS 接收机、天线、内置电源。可以配置手持计算机设置或阅读参数信息。

(2) 分体设计:天线、GPS 接收机(内置电源、带有显示灯或显示器)分体设计。

第二章 GPS 静态测量工作的流程

一项 GPS 静态测量工作分为三个阶段,即测前准备、外业实施和数据处理。

第一节 测前准备

在这一阶段所进行的主要工作包括项目立项、技术设计、实地踏勘、设备检定、资料收集整理、人员组织等。

一、项目立项

一项 GPS 测量工程项目,往往是由上级主管部门(如大地测量任务)、工程发包方或其他应用单位或部门提出,由 GPS 测量单位或部门负责具体实施。对于一项 GPS 测量工程项目,一般有如下一些要求:

- (1) 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。
- (2) 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。
- (3) 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,是否有对点位分布特殊要求的区域。
- (4) 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。
- (5) 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。
- (6) 投资经费:对工程的经费投入数量。

二、技术设计

技术设计是一项 GPS 测量项目进行的依据。它规定了项目进行所应遵循的规范、所应采取的施测方案或方法。一份完整的技术设计,主要应包含如下内容:

1. 项目来源

介绍项目的来源、性质。即项目由何单位、部门下达、发包,属于何种性质的项目。

2. 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。这可为今后工程施测工作的开展提供必要的信息。如在施测时作业时间、交通工具的安排,电力设备使用,通讯设备的使用。

3. 工程概况

介绍工程的目的是、作用、要求、GPS 网等级(精度)、完成时间、有无特殊要求等在进行技

术设计、实际作业和数据处理中所必须要了解的信息。

4. 技术依据

介绍工程所依据的测量规范、工程规范、行业标准及相关的技术要求等。

5. 现有测绘成果

介绍测区内及与测区相关地区的现有测绘成果的情况。如已知点、测区地形图等。

6. 施测方案

介绍测量采用的仪器设备的种类和配置、采取的布网方法等。

7. 作业要求

规定选点埋石要求、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。

8. 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。如数据删除率、RMS 值、RATIO 值、同步环闭合差、异步环闭合差、相邻点相对中误差、点位中误差等。

9. 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。

对于基线解算的数据处理方案,应包含如下内容:基线解算软件、参与解算的观测值、解算时所使用的卫星星历类型等。

对于网平差的数据处理方案,应包含如下内容:网平差处理软件、网平差类型、网平差时的坐标系、基准及投影、起算数据的选取等。

10. 提交成果要求

规定提交成果的类型及形式。如需要提供的成果所属基准或坐标系,是否提供高程结果等。

三、测绘资料的搜集与整理

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。这些资料有些是用于项目的设计,有些则用于数据处理分析。

四、仪器的检验

GPS 接收机及相关设备、气象仪器等需要定期送交专门负责仪器检定的部门进行检定,并获取检定合格证书。另外一些辅助设备如脚架、基座、天线高量测尺等则须在使用前进行检验,以确保它们能够正常工作。

五、踏勘、选点、埋石

综合应用地形图、遥感图、摄影图和有关点之记,按照要求进行选点、埋石工作。

第二节 测量实施

一、实地了解测区情况

需要了解的情况包括: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。对这些情况的了解,有利于测量工作的顺利进行。

二、卫星状况预报

利用卫星历书,对观测期间所处区域的卫星状况(各时段所能观测的卫星数、卫星的几何条件等)进行预报,同时对周围有较多障碍物的测站,还要专门对这些障碍物可能对 GPS 观测将要产生的影响进行评估。

三、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,确定出具体的布网和作业方案。

一) 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、上点方便且易于保存的地方。

二) 布网

(一) GPS 基线向量网的等级

依据国家测量规范、各行业测量规范、任务要求来定等级。以下用国家 GPS 测量规范为例说明 GPS 网等级的分类情况。

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。图 1-2-2-1 是我国全球定位系统测量规范中有关 GPS 网等级的相关内容。

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:

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

其中, σ : 网中相邻点间的距离中误差(mm);

a : 固定误差(mm); b : 比例误差(ppm); D : 相邻点间的距离(km)。

对于不同等级的 GPS 网,有如图 1-2-2-1 所示的精度要求。

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 ~ 2 000
B	≤ 8	≤ 1	15 ~ 250
C	≤ 10	≤ 5	5 ~ 40
D	≤ 10	≤ 10	2 ~ 15
E	≤ 10	≤ 20	1 ~ 10

图 1-2-2-1

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。

(二) 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. 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,这种观测方式很像是跟踪站,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。

2. 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,直至所有的网观测完毕,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。

3. 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基准站周围相互之间进行同步观测,如图1-2-2-2所示。

(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

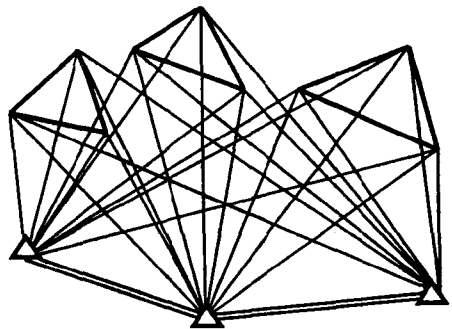


图 1-2-2-2 多基准站式

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。

4. 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,又迁移到其他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,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有以下几种:点连式、边连式、网连式和混连式。

① 点连式(图 1-2-2-3)

● 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,当这些仪器观测了 s 个时段后,就可以测得 $1+s\cdot(m-1)$ 个点。

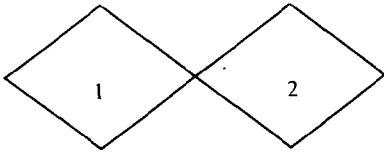


图 1-2-2-3 点连式

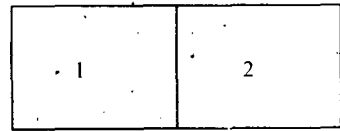


图 1-2-2-4 边连式

● 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。

② 边连式(图 1-2-2-4)

● 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,当这些仪器观测了 s 个时段后,就可以测得 $2+s\cdot(m-2)$ 个点。

● 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。

③ 网连式

● 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。

● 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。

④ 混连式

● 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。

● 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。

5. 单基准站式(图 1-2-2-5)

(1) 布网形式

单基准站式的布网方式有时又称做星形网方式,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的星形。流动的接收机有时也称为流动站。

(2) 特点

单基准站式的布网方式效率很高,但是由于各流动站一般仅与基准站之间具有同步观测基线,而流动站之间通常不具有同步观测基线,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。

(三) 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。

1. 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

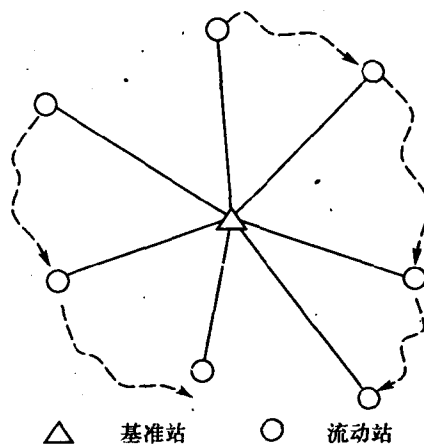


图 1-2-2-5 单基准站式网图

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, $\text{INT}(x) \geq x$ 。

$$e = \frac{S_{\min}}{S_d}$$

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。

2. 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繁琐,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(η),即

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

其中:

l_r 为多余的独立基线数^①;

l_t 为总的独立基线数。

3. 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 B ,从而可以得到 GPS 网的协因数阵 $Q = (B^T P B)$,在 GPS 网的设计阶段可以采用 $\text{tr}(Q)$ 作为衡量 GPS 网精度的指标。

(四) GPS 网的设计准则

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,盲目地追求不必要的高精度和高可靠性;也不能为追求高效率 and 低成本,而放弃对质量的要求。

1. 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益的。

保证一定的重复设站次数^②:

① 多余的独立基线数可以这样计算:

$$l_r = l_t - l_n$$

其中: 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, $l_t = s \cdot (m - 1)$, s 为观测期数, m 为同步观测接收机的台数。

② 实际上这与增加观测期数是一致的。

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。

2. 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,精心制定一个子区和子环路的实测方案。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,可采用增设长时间、多时段的基线向量的方法。

3. 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。

4. 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,它们可设置在 GPS 网中的任意位置,但激光测距边两 endpoints 的高差不应过分悬殊。

5. 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。

四、外业观测

1. 制定测量安排表。内容包括:同步环测量起止时间、搬站时间、每一个同步环里各接

^① 一定要保证所采用的起算点的成果不能有质量问题。

收机所在观测点,车辆、司机的安排和调度等,如图 1-2-2-6 所示。

接收机编号 观测点名 观测时段	0001	0002	0003	备注
08:30~09:30	大地 1 号点	大地 2 号点	大地 3 号点	观测
09:30~10:30			张师傅 车号 3309	搬站
10:30~11:30	大地 1 号点	大地 2 号点	大地 4 号点	观测
11:30~12:30	王师傅 车号 3306			搬站
12:30~13:30	大地 5 号点	大地 2 号点	大地 4 号点	观测
13:30~14:30		李师傅 车号 3308		搬站
14:30~15:30	大地 5 号点	大地 6 号点	大地 4 号点	观测

图 1-2-2-6

2. 应严格按照作业规定要求进行外业观测。

按时到站、严格对中整平、认真在 GPS 测量前和测量后量取天线高并记录、定时检查接收机工作状态(电源情况、卫星状况、记录状况等)。

3. 每天可以根据具体的情况修改测量安排表,继续进行测量。

第三节 数据处理

静态相对测量数据处理基本步骤:粗加工、预处理、基线解算、GPS 网与地面网的联合网平差处理、坐标转换和高程转换。

一、粗加工

1. 原始观测数据的下载。

在进行基线解算之前,首先需要从接收机上下载原始的 GPS 观测值数据:至少应当有:观测值文件;星历参数文件。有些接收机还另外列出了测站信息文件、电离层参数和 UTC 参数文件。

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。

二、预处理

1. GPS 卫星轨道方程的标准化。

其目的是解决因星历数据来源、时段不同而产生的差异,常用方法是多项式拟合 GPS 卫星轨道方程。

2. 时钟多项式的拟合和标准化。

3. 观测值文件的标准化:各接收文件的记录格式、类型、项目、采样率、数据单位应统一。