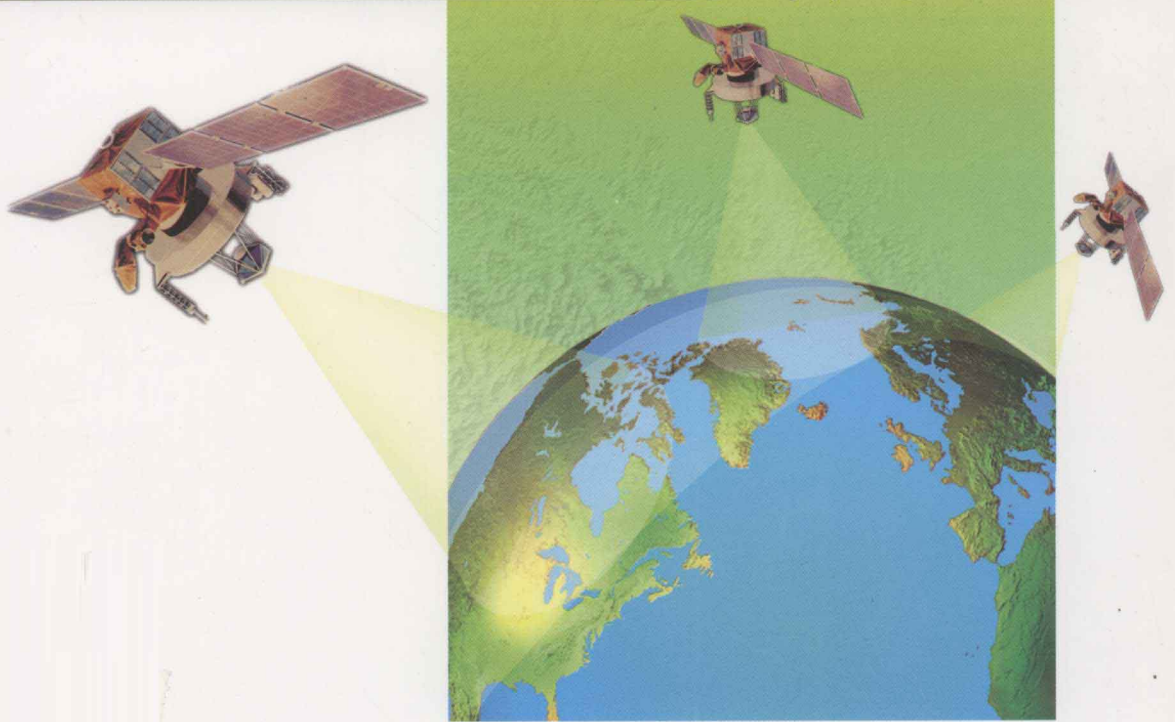


高等学校教材

# GPS测量实施与 数据处理

独知行 刘智敏 编著



GPS Survey Practice and Data Processing



测绘出版社

# GPS 测量实施与数据处理

GPS Survey Practice and Data Processing

独知行 刘智敏 编著

测绘出版社

·北京·

© 独知行 刘智敏 2010

所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

## 内 容 简 介

本教材系统地阐述了 GPS 接收机的结构及分类、GPS 静态测量、RTK 和 CORS 的测量实施、操作方法以及内业数据处理等内容;介绍了几种常用的接收机、电子手簿、数据处理软件的特点、使用方法等;以 GPS 控制测量项目为例,详细说明了进行 GPS 的技术设计、外业数据采集、内业数据处理的方法和步骤等;并进一步分析了在 GPS 控制测量、地形测绘、工程放样等工作及数据处理软件操作中出现的问题和解决方法。

本书可用于 GPS 测量工程的实践和教学,适用于高等学校的测绘工程、地理信息系统、遥感、土木工程、城市规划等相关专业的学生教学与实习,也可作为工程技术人员 GPS 测量实施和数据处理的培训教材及参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

GPS 测量实施与数据处理/独知行,刘智敏编著. —北京:测绘出版社,2010.7

ISBN 978-7-5030-2071-1

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 135283 号

责任编辑 杨蓬莲

封面设计 李 伟

责任校对 董玉珍 李 艳

出版发行 测绘出版社

社 址 北京西城区三里河路 50 号

邮政编码 100045

电子信箱 smp@sinomaps.com

印 刷 北京金吉士印刷有限责任公司

成品规格 184mm×260mm

印 张 7

版 次 2010 年 7 月第 1 版

印 数 0001—1000

电 话 010—68531160(营销)

010—68531609(门市)

网 址 www.sinomaps.com

经 销 新华书店

字 数 171 千字

印 次 2010 年 7 月第 1 次印刷

定 价 23.00 元

书 号 ISBN 978-7-5030-2071-1/P·474

如有印装质量问题,请与我社发行部联系。

# 前 言

随着 GPS 技术的迅猛发展, GPS 已经广泛地应用到社会诸多领域中, 人们迫切需要关于 GPS 测量实施和数据处理方面的教科书或指导书。为此, 作者集多年 GPS 教学、实践和科研经验的知识积累, 结合 GPS 技术最新发展成果编著本教材。

全教材共分 4 篇 10 章。系统地阐述了 GPS 接收机的结构及分类、GPS 静态测量、RTK 和 CORS 的测量实施、操作方法以及内业数据处理等内容; 介绍了几种常用的接收机、电子手簿、数据处理软件的特点及使用方法等; 以 GPS 控制测量项目为例, 详细说明了 GPS 的技术设计、外业数据采集、内业数据处理的方法和步骤等; 并进一步分析了在 GPS 控制测量、地形测绘、工程放样等工作及数据处理软件操作中出现的问题和解决方法。

本教材以实用为主, 力求做到深入浅出, 即学即用, 以满足测绘人员掌握 GPS 最新技术的发展态势及施测方法的需要。本教材可用于 GPS 测量工程的实践和教学, 适用于高等学校的测绘工程、地理信息系统、遥感、土木工程、城市规划等相关专业的学生教学与实习, 也可作为工程技术人员进行 GPS 测量实施和数据处理的培训教材及参考用书。

本教材获得山东省泰山学者建设工程专项经费资助项目(TSXZ0502)资助; 地球空间环境与大地测量教育部重点实验室开放基金资助项目(0704)资助; 辽宁工程技术大学地理空间信息技术与应用实验室基金项目(2007004)资助; 国家自然科学基金项目(40704001)资助; 山东科技大学群星计划项目(QX 0801013、QX0902005)资助。

本教材的撰写得到了南方测绘仪器公司济南分公司、北京麦格天宝科技发展有限公司济南分公司的支持, 武汉大学唐卫明博士、山东科技大学阳凡林副教授等在本教材编著过程中给予了诸多诚恳的建议, 研究生狄桂栓、曾超、陈兰伟、马立斌、薛慧燕、刘鑫等对截图、文字修订等进行协助, 在此一并致谢。

由于作者的水平和经验有限, 教材中错误与不妥之处恳请同行专家、学者和广大读者批评指正。

作 者

2010 年 4 月于青岛

# 目 录

<b>第 1 篇 GPS 接收机</b> .....	1
<b>第 1 章 GPS 接收机原理</b> .....	1
§ 1.1 GPS 接收机主机 .....	1
§ 1.2 GPS 接收机天线 .....	2
§ 1.3 GPS 接收机电源 .....	3
<b>第 2 章 GPS 接收机分类及产品</b> .....	4
§ 2.1 按接收机的用途分类 .....	4
§ 2.2 按接收机的载波频率分类 .....	4
§ 2.3 按接收机通道数分类 .....	5
§ 2.4 按接收机工作原理分类 .....	5
§ 2.5 测地型接收机产品 .....	6
<b>第 2 篇 GPS 静态测量</b> .....	8
<b>第 3 章 GPS 静态测量实施</b> .....	8
§ 3.1 测前准备 .....	8
§ 3.2 测量实施 .....	17
§ 3.3 数据处理 .....	21
<b>第 4 章 GPS 静态测量操作</b> .....	24
§ 4.1 天宝 GPS 接收机操作 .....	24
§ 4.2 南方测绘 GPS 接收机操作 .....	26
<b>第 5 章 数据处理软件使用</b> .....	29
§ 5.1 GPS 数据处理软件 .....	29
§ 5.2 TGO 软件使用 .....	32
§ 5.3 GPS ADJ 软件使用 .....	67
<b>第 3 篇 GPS RTK 测量</b> .....	70
<b>第 6 章 GPS RTK 测量实施</b> .....	70
§ 6.1 概述 .....	70
§ 6.2 GPS RTK 测量原理 .....	70
§ 6.3 GPS RTK 测量系统组成 .....	71
§ 6.4 电子手簿 TSC 介绍 .....	71
<b>第 7 章 GPS RTK 外业操作</b> .....	72
§ 7.1 GPS RTK 测量 .....	72
§ 7.2 GPS RTK 工程放样 .....	82

---

<b>第 8 章 GPS RTK 数据处理和软件使用</b> .....	86
§ 8.1 电子手簿数据传输 .....	87
§ 8.2 GPS RTK 测量数据的 TGO 处理 .....	87
§ 8.3 地形图绘制 .....	88
<b>第 4 篇 CORS 测量</b> .....	89
<b>第 9 章 CORS 测量实施</b> .....	89
§ 9.1 CORS 测量原理 .....	89
§ 9.2 网络 RTK 方法分类 .....	90
§ 9.3 CORS 系统数据流程 .....	91
<b>第 10 章 CORS 测量操作及数据处理</b> .....	94
§ 10.1 CORS 测量操作 .....	94
§ 10.2 CORS 测点正常高计算 .....	101
<b>参考文献</b> .....	103
<b>附录</b> .....	104

# 第 1 篇 GPS 接收机

## 第 1 章 GPS 接收机原理

全球定位系统(Global Positioning System, GPS)卫星发送的导航定位信号是可供无数用户共享的信息资源。对于海陆空的广大用户而言,只要拥有能够接收、跟踪、变换和测量 GPS 信号的接收设备,即 GPS 接收机,就可以全天候利用 GPS 信号进行导航、定位、测量。GPS 接收机硬件主要包括主机、天线和电源。

### § 1.1 GPS 接收机主机

GPS 接收机主机由变频器、信号通道、微处理器、存储器及显示器组成,如图 1.1 所示。

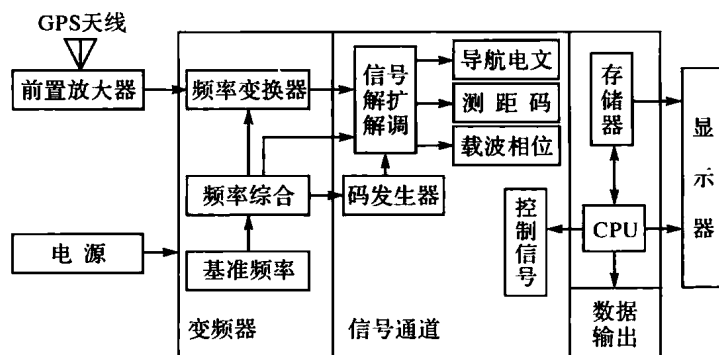


图 1.1 GPS 接收机主机结构(徐绍铨 等,2008)

#### 1. 变频器及中频放大器

经过 GPS 前置放大器的信号很微弱,为了使接收机通道得到稳定的高增益,并且使  $L$  频段的射频信号变成低频信号,必须采用变频器。

#### 2. 信号通道

信号通道是接收机的核心部分,GPS 信号通道是硬软件结合的电路。不同类型的接收机其通道是不同的。

GPS 信号通道的作用有:①搜索卫星,牵引并跟踪卫星;②对广播电文数据信号实行解扩,解调出广播电文;③进行伪距测量、载波相位测量及多普勒频移测量。

从卫星接收到的信号是扩频的调制信号,所以要经过解扩、解调才能得到导航电文。为了达到此目的,在相关通道电路中设有伪码相位跟踪环和载波相位跟踪环。

#### 3. 存储器

接收机内设有存储器或存储卡,用以存储卫星星历、卫星历书、接收机采集到的码相位伪距观测值、载波相位伪距观测值及多普勒频移。目前,GPS 接收机都装有半导体存储器(即内存),

接收机内存数据可以通过数据口传到计算机上,以便进行数据处理和数据保存。在存储器内还装有多种工作软件,如自测试软件、卫星预报软件、导航电文解码软件、GPS 单点定位软件等。

#### 4. 中央处理器

中央处理器(Central Processing Unit, CPU)是 GPS 接收机工作的核心,接收机的工作都是在计算机指令的统一协调下进行的。工作步骤主要有:

——接收机开机后,首先对整个接收机工作状态进行自检,并测定、校正、存储各通道的时延值。

——接收机对卫星进行搜索,捕捉卫星。当捕捉到卫星后即对信号进行牵引和跟踪,并将基准信号译码得到 GPS 卫星星历。当同时锁定 4 颗以上卫星后,将 C/A 码伪距观测值连同星历一起计算测站的三维坐标值,并按预置位置更新率计算新的位置。

——根据机内存储的卫星历书和测站近似位置,计算所有在轨卫星升降的时间、方位和高度角。

——根据预先设置的航路点坐标和单点定位测站位置计算导航的参数、航偏角、航偏距、航行速度等。

——接收用户输入信息,如测站名、测站号、作业员姓名、天线高、气象参数等。

#### 5. 显示器

GPS 接收机的液晶显示屏可以提供 GPS 接收机工作信息。并配有控制键盘,用户可通过键盘控制接收机工作。对于导航接收机,有的还配有大显示屏,在屏幕上直接显示导航的信息甚至显示数字地图。而现在的测地型集成式接收机多以指示灯取代了显示器的功能。

## § 1.2 GPS 接收机天线

天线由接收机天线和前置放大器两部分所组成。天线的作用是将 GPS 卫星信号的极微弱的电磁波能量转化为相应的电流,而前置放大器则是将 GPS 信号电流予以放大。为便于接收机对信号进行跟踪、处理和量测,对天线部分有几点要求:①天线与前置放大器应密封一体,以保障其正常工作,减少信号损失;②能够接收来自任何方向的卫星信号,不产生死角;③有防护与屏蔽多路径效应的措施;④天线的相位中心保持高度的稳定,并与其几何中心尽量一致。

GPS 接收机天线有几种类型,如图 1.2 所示。

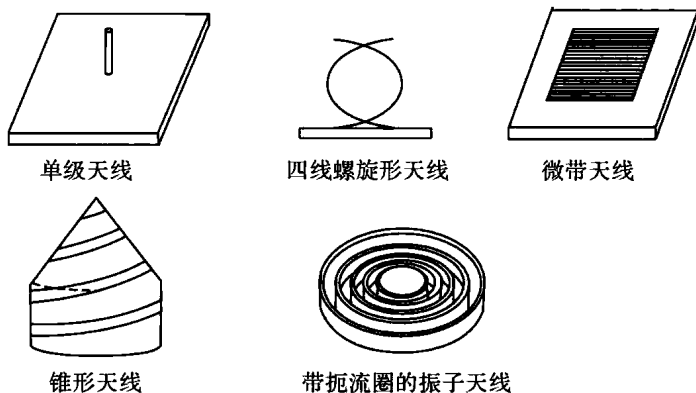


图 1.2 GPS 天线类型



### 1. 单级天线

这种天线结构简单、体积较小,需要安装在一块基板上,属单频天线。

### 2. 四线螺旋形天线

四线螺旋形天线是由 4 条金属管线统制而成,底部有一块金属抑制板。这种天线频带宽,圆极化性能好,可捕捉低高度角卫星;缺点是不能进行双频接收,抗震性差,常用做导航型接收机天线。

### 3. 微带天线

微带天线是在介质板两边贴以金属片,一边为金属底板,一边做成矩形或圆形等规则形状,这种天线也称为贴片天线。微带天线的特点是高度低,重量轻,结构简单并且坚固,易于制造;既可用于单频机,又可用于双频机。缺点是增益较低。目前大部分测地型天线都是微带天线。这种天线更适用于飞机、火箭等高速飞行物上。

### 4. 锥形天线

锥形天线是在介质锥体上,利用印刷电路技术在其上制成导电圆锥螺旋表面,也称盘旋螺旋线型天线。这种天线可以同时两个频率上工作。锥形天线的特点是增益好。但是由于其天线较高,并且螺旋线在水平方向上不对称,天线相位中心与几何中心不完全一致。因此,在安置天线时要仔细定向并且给予补偿。

### 5. 带扼流圈的振子天线

也称扼流圈天线,在天线下设置扼流板或扼流圈,对极化方向相反的反射信号具有较强的抑制能力,其主要优点是可以有效地抑制多路径误差的影响。缺点是体积较大且重,应用不普遍。

### 6. Zephyr 大地测量 2 型天线

是新型的大地测量级双频双星的全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System, GNSS)天线。它的性能与扼流圈天线相当,体积更小更轻且价格更优。其相位中心稳定性和抗多路径效应的能力达到了扼流圈天线的水平,并且在恶劣环境下的低角度卫星的跟踪能力要强于扼流圈天线。可以接收  $L1$ 、 $L2$ 、 $L2C$ 、 $L5$ 、GLONASS 以及伽利略卫星等信号。

为了提高信号强度,一般在 GPS 天线后端设有前置放大器。对于双频接收机设有两路前置放大器以减少带宽,控制外来信号干扰,并防止  $f_1$ 、 $f_2$  信号互扰。大部分 GPS 天线与前置放大器为一体,但也有些导航型接收机为减少天线重量、便于安置、避免雷电事故,而将天线和前置放大器分开。

## § 1.3 GPS 接收机电源

接收机电源有两种,一种为内置电源,一般采用锂电池,主要用于随机存取存储器(Random Access Memory, RAM)供电,以防止数据丢失;另一种为外接电源,这种电源常用于可充电的 12V 直流镍镉电池组或采用汽车电瓶。当用交流电时,要经过稳压电源或专用电流交换器。

综上所述,GPS 接收机作为用户终端的基础部件,用于接收 GPS 卫星发射的无线电信号,获取必要的导航定位信息和观测信息,并经数据处理软件处理以计算出测站的三维位置,甚至三维速度和时间。GPS 接收机不仅需要功能较强的机内软件,而且需要一个多功能的 GPS 数据测后处理软件包。接收机加处理软件包,才是完整的 GPS 信号用户设备。

## 第 2 章 GPS 接收机分类及产品

GPS 卫星接收机种类很多,根据型号分为测地型、全站型、定时型、手持型、集成型;根据用途分为车载式、船载式、机载式、星载式、弹载式。

### § 2.1 按接收机的用途分类

#### 1. 导航型接收机

主要用于运动载体的导航,它可以实时给出载体的位置和速度。这类接收机一般采用 C/A 码伪距测量,单点实时定位精度较低,一般为 $\pm 10\text{ m}$ ,当选择可用性政策(Selective Availability, SA)影响时,精度降为 $(100\sim 150)\text{ m}$ 。这类接收机价格便宜,应用广泛。根据应用领域的不同,它还可以进一步分为:

车载式——用于车辆导航定位;

航海式——用于船舶导航定位;

航空式——用于飞机导航定位,由于飞机运行速度快,因此要求航空式接收机能适应高速运动;

星载式——用于卫星导航定位,由于卫星的速度高达  $7\text{ km/s}$  以上,因此对接收机的要求更高。

#### 2. 测地型接收机

主要用于精密大地测量和精密工程测量。这类仪器主要采用载波相位观测值进行相对定位。其定位精度高,但仪器结构复杂,价格较贵。根据其接收机使用状态及精度要求分为静态接收机和动态接收机。

#### 3. 授时型接收机

这类接收机主要利用 GPS 卫星提供的高精度时间标准进行授时,常用于天文台及无线电通信中时间同步。

### § 2.2 按接收机的载波频率分类

#### 1. 单频接收机

单频接收机只能接收  $L_1$  载波信号,测定载波相位观测值进行定位。由于不能有效消除电离层延迟影响,单频接收机只适用于短基线( $< 20\text{ km}$ )的精密定位。

#### 2. 双频接收机

双频接收机可以同时接收  $L_1, L_2$  载波信号。利用双频对电离层延迟量不同,可以消除电离层对电磁波信号延迟的影响,因此双频接收机可用于长达几千公里的精密定位。

## § 2.3 按接收机通道数分类

GPS 接收机能同时接收多颗 GPS 卫星的信号,为了分离接收到的不同卫星的信号,以实现卫星信号的跟踪、处理和量测,具有这样功能的器件称为天线信号通道。根据接收机所具有的通道种类可分为:多通道接收机、序贯通道接收机、多路多用通道接收机。

### 1. 多通道接收机

多通道接收机是具有 4 个及 4 个以上信号通道,并且每个通道只连续跟踪一个卫星的接收机。优点:能够不间断地跟踪每个卫星信号,实现连续观测卫星的测距码和载波相位观测值;具有较好的信噪比。不足:各通道间存在信号延迟偏差,需要进行比对和改正;通道数多,结构较复杂,不利于减轻接收机的质量和体积。

### 2. 序贯通道接收机

序贯通道是指在软件控制下对进入通道的卫星信号按时序进行跟踪和测量,其对所测卫星信号量测一个循环,需要时间大约数秒钟到数分钟。优点:硬件通道数少,结构简单,有利于减小接收机的质量和体积;所采用的单通道,各卫星信号在通道中延迟相同,不存在信号间的路径偏差,弥补了多通道接收机的不足。不足:不能同时接收卫星导航电文;通道的控制软件较为复杂;难以保持载波信号的连续跟踪;对  $L_1, L_2$  载波信号测量不同步,从而降低了电离层折射改正的精度。

### 3. 多路多用通道接收机

与序贯通道相似,多路多用通道也是指在软件控制下对进入通道的卫星信号按时序进行跟踪和测量,但其对所测卫星信号量测一遍的时间在 20 ms 之内。由于时间短,多路多用通道能够在不同卫星之间、不同频率之间进行高速运转,转换速率与导航电文的比特率(20 ms)同步。优点:能够同时获得跟踪卫星的导航电文,也能连续跟踪载波信号,实现对载波相位的连续测量。不足:信噪比低于多通道接收机,通道的控制软件也比较复杂。

## § 2.4 按接收机工作原理分类

### 1. 码相关型接收机

码相关型接收机是利用码相关技术得到伪距观测值。

### 2. 平方型接收机

平方型接收机是利用载波信号的平方技术去掉调制信号,来恢复完整的载波信号;通过相位计测定接收机内产生的载波信号与接收到的载波信号之间的相位差,测定伪距观测值。

### 3. 混合型接收机

这种仪器综合了码相关型接收机和平方型接收机的优点,既可以得到码相位伪距,也可以得到载波相位观测值。

### 4. 干涉型接收机

这种接收机是将 GPS 卫星作为射电源,采用干涉测量方法,测定两个测站间距离。

## § 2.5 测地型接收机产品

目前,在 GPS 技术开发和实际应用方面,国际上较为知名的生产厂商有美国天宝(Trimble)导航公司、瑞士徕卡测量系统(Leica Geosystems)、日本拓普康(TOPCON)公司、美国麦哲伦(Magellan)公司(原泰雷兹导航),国内有南方测绘、中海达、上海华测等。随着俄罗斯全球导航卫星系统(GLObal NAVigation Satellite System, GLONASS)的发展,欧盟伽利略(Galileo)系统的建设和我国北斗导航系统(Compass)的继续完备,更多具有兼容性的接收机产生并投入使用。

### 1. 天宝

天宝的 GPS 接收机产品主要有 SPS 751、SPS 851、SPS 781、SPS 881、R 8、R8GNSS、R 7、R 6 及 5800、5700 等。其作为美国军方控股企业,是世界上最早研究与生产 GPS 的部分企业之一,其中,SPS 881 和 R8GNSS 为 72 通道 GPS/WAAS/EGNOS 接收机,其将三频 GPS 接收机、GPS 天线、UHF 无线电和电源组合在一个袖珍单元中,具有内置 Trimble Maxwell 5 芯片的超跟踪技术。即使在恶劣的电磁环境中,仍然能用小于 2.5 W 的功率提供对卫星有效的追踪。同时,为扩大作业覆盖范围和全面减小误差,可以同频率多基准站的方式工作。此外,它还与天宝虚拟参考站(Trimble Virtual Reference Station, Trimble VRS)网络技术完全兼容,其内置的 WAAS 和 EGNOS 功能提供了无基准站的实时差分定位。SPS 751、SPS 851、SPS 551 还具有接收星站差分改正信息的功能,最高单机定位精度可达到 $\pm 5$  cm。

### 2. 徕卡

徕卡测量系统是全球著名的专业测量公司,其不仅在全站仪、相机方面对行业产生了很大的影响,而且在测量型 GPS 的研发及 GPS 的应用上也做出了极大的贡献,是快速静态、动态 RTK 技术的先驱。其 GPS 1200 系统中的接收机包括 4 种型号:GX 1230 GG/ATX 1230 GG、GX 1230/ATX 1230、GX 1220 和 GX 1210。其中,GX 1230 GG/ATX 1230 GG 为 72 通道、双频 RTK 测量接收机,接收机集成电台、GSM、GPRS 和 CDMA 模块,具有连续检核功能,可防水(水下 1 m)、防尘、防沙。动态精度为水平 $\pm(10\text{ mm}+1\times 10^{-6}D)$ ,垂直 $\pm(20\text{ mm}+1\times 10^{-6}D)$ ;静态精度为水平 $\pm(5\text{ mm}+0.5\times 10^{-6}D)$ ,垂直 $\pm(10\text{ mm}+0.5\times 10^{-6}D)$ 。它在 20 Hz 时的 RTK 距离能够达到 30 km,甚至更长,并且可保证厘米级的测量精度,基线在 30 km 时的可靠性是 99.99%。

### 3. 拓普康

日本拓普康公司生产的 GPS 接收机主要有 GR-3、GB-1000、Hiper 系列、Net-G3 等。其中 GR-3 大地测量型接收机可 100%兼容三大卫星系统(GPS+GLONASS+Galileo)的所有可用信号,它不仅仅是世界上最早研发出能同时接收美国的 GPS 与俄罗斯的 GLONASS 两种卫星信号的双星技术的厂家,也是现今世界上唯一可以同时接收所有 GNSS 卫星的接收机技术,有 72 个超级跟踪频道,每个通道都可独立追踪三种卫星信号,采用抗 2 m 摔落坚固设计,支持蓝牙通信,内置 GSM/GPRS 模块(可选)。静态、快速静态的精度为水平 $\pm(3\text{ mm}+0.5\times 10^{-6}D)$ ,垂直 $\pm(5\text{ mm}+0.5\times 10^{-6}D)$ ;RTK 精度为水平 $\pm(10\text{ mm}+1\times 10^{-6}D)$ ,垂直 $\pm(15\text{ mm}+1\times 10^{-6}D)$ ;DGPS 精度优于 25 cm。

#### 4. 中海达

中海达测绘的GPS接收机产品主要包括静态一体化接收机HD-8200G和GD-8200X,其中HD-8200G配备无线遥控器,可远距离查看卫星状况等关键信息;GD-8200X具有语音导航功能,可通过面板直接设置静态采集关键参数卫星高度角和采样间隔。RTK产品主要有珠峰HD-5800、V8 CORS RTK、V8 GNSS RTK。RTK作业精度:静态后处理精度为平面 $\pm(2.5\text{ mm}+1\times 10^{-6}D)$ ,高程 $\pm(5.0\text{ mm}+1\times 10^{-6}D)$ ;RTK定位精度为平面 $\pm(10\text{ mm}+1\times 10^{-6}D)$ ,高程 $\pm(20\text{ mm}+1\times 10^{-6}D)$ ;码差分定位精度为0.45 m(CEP),单机定位精度为1.5 m(CEP)。

#### 5. 华测

华测导航的GPS接收机产品主要有X60CORS、X20单频接收机、X90一体化RTK、X60双频接收机等,是国内通过中华人民共和国制造计量器具许可证获得的精度最高的产品,其中,X90为28通道双频GPS接收机,集成双频GPS接收机、双频测量型GPS天线、UHF无线电、进口蓝牙模块和电池。其动态精度为水平 $\pm(10\text{ mm}+1\times 10^{-6}D)$ ,垂直 $\pm(20\text{ mm}+1\times 10^{-6}D)$ ;静态精度为水平 $\pm(5\text{ mm}+1\times 10^{-6}D)$ ,垂直 $\pm(10\text{ mm}+1\times 10^{-6}D)$ ;能达到10~30 km的作用范围(因实际地域情况有所差别),既可以承受从3 m高度跌落到坚硬的地面,也可浸入水下1 m深处进行测量。X90具有静态、快速静态、RTK、PPK、码差分等多种测量模式,精度范围为毫米级到亚米级,而且可与天宝、徕卡等主流品牌联合作业。

#### 6. 南方测绘

南方测绘的GPS接收机产品主要有RTK S82、S86等。其中S82采用一体化设计,集成GPS天线、UHF数据链、OEM主板、蓝牙通信模块、锂电池。其RTK定位精度为平面 $\pm(10\text{ mm}+1\times 10^{-6}D)$ ,垂直 $\pm(20\text{ mm}+1\times 10^{-6}D)$ ;静态后处理精度为平面 $\pm(5\text{ mm}+0.5\times 10^{-6}D)$ ,垂直 $\pm(10\text{ mm}+1\times 10^{-6}D)$ ;单机定位精度为1.5 m(CEP);码差分定位精度为0.45 m(CEP)。

## 第 2 篇 GPS 静态测量

### 第 3 章 GPS 静态测量实施

GPS 测量与常规测量相类似,在实际工作中也可划分为测前准备、外业测量实施及内业数据处理 3 个阶段,并遵循“满足质量要求的前提下,所花费用最少”的最优化原则。本章主要介绍 GPS 静态测量的这三个阶段的工作,包括 12 项内容(周忠谟等,1997;李征航等,2005;独知行等,2009),即①明确任务(合同书);②技术设计;③测区踏勘及收集资料;④器材准备及人员组织;⑤外业观测计划的拟订;⑥技术设计书编写;⑦选点及埋标;⑧观测作业;⑨数据预处理和基线解算;⑩观测成果的外业检核;⑪网平差;⑫技术总结与上交资料。其中,①~⑥项为测前准备,⑦~⑧项为测量实施工作,⑨~⑫项为内业数据处理工作。

目前,普遍以载波相位相对定位作为 GPS 静态测量的高精度定位方法,因此在本章中主要讨论城市与工程 GPS 控制网的载波相位相对定位的观测工序与方法。

#### § 3.1 测前准备

GPS 测量的测前准备包括技术设计和人员、工具的准备等,其中技术设计是进行 GPS 定位的最基本工作,它是依据国家有关规范(或规程)及 GPS 网的用途、用户的要求等对测量工作的网形、精度及基准等的具体设计。

##### 3.1.1 明确任务

作为一项 GPS 测量工程项目,由工程出资方(甲方)提出任务,由测量单位(乙方)负责具体实施,双方需要明确以下要求,并签署合同书。

(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:甲方需要提交哪些成果,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:对工程的经费投入具体额度。

##### 3.1.2 技术设计

技术设计是进行 GPS 定位的最基本性工作,包括了 GPS 测量的技术设计依据,GPS 控制

网的精度、密度设计、基准设计、图形设计等。

### 1. GPS 测量的技术设计依据

GPS 网技术设计的主要依据是 GPS 测量规范(或规程)和测量任务书。

(1)GPS 测量规范(或规程),是国家测绘管理部门或行业部门制定的技术法规,目前 GPS 网设计依据的规范(规程)有:

——2009 年国家质量监督局发布的 GB/T 18314—2009《全球定位系统(GPS)测量规范》,以下简称《规范》。

——1997 年建设部发布的行业标准 CJJ 73—97《全球定位系统城市测量技术规程》,以下简称《规程》。

——各部委根据本部门 GPS 工作的实际情况制定的其他 GPS 测量规程或细则。

(2)测量任务书,或称为测量合同,是测量施工单位上级主管部门或合同中甲方下达的技术要求文件。这种技术文件是指令性的,它规定了测量任务的范围、目的、精度和密度要求,提交成果资料的项目和时间,完成的经济指标等。

在 GPS 方案设计时,一般首先依据测量任务书提出的 GPS 网的精度、密度和经济指标,再结合规范(规程)规定,并现场踏勘,具体确定各点间的连接方法,各点设站观测的次数、时段长短等布网观测方案。

### 2. GPS 网的精度、密度设计

#### 1)GPS 测量精度标准及分类

(1)对于各类 GPS 网的精度设计主要取决于网的用途。

用于建立国家一等大地控制网,进行全球性的地球动力学研究、地壳形变测量和精度定轨等的 GPS 测量,应满足 A 级 GPS 测量的精度要求。

用于建立国家二等大地控制网,建立地方或城市坐标基准框架、区域性的地球动力学研究、地壳形变测量、局域形变监测和各种精密工程测量等的 GPS 测量,应满足 B 级 GPS 测量的精度要求。

用于建立国家三等大地控制网,建立区域、城市及工程测量的基本控制网等的 GPS 测量,应满足 C 级 GPS 测量的精度要求。

用于建立四等大地控制网的 GPS 测量,应满足 D 级 GPS 测量的精度要求。

用于中小城市、城镇以及测图、地籍、土地信息、房产、物探、勘测、建筑施工等控制测量的 GPS 测量,应满足 D 级、E 级 GPS 测量的精度要求。

A 级 GPS 网由卫星定位连续运行基准站构成,其精度不低于表 3.1 的要求;B 级、C 级、D 级和 E 级的精度不低于表 3.2 的要求。

表 3.1 GPS 测量精度要求(一)

级别	坐标年变化率中误差		相对精度	地心坐标各分量年平均中误差/mm
	水平分量/(mm/a)	垂直分量/(mm/a)		
A	2	3	$1 \times 10^{-8}$	0.5

用于城市或工程的 GPS 控制网可参照《规范》中 C 级、D 级、E 级的精度,见表 3.1 和表 3.2,或者根据相邻点的平均距离和精度参照《规程》中的二、三、四等和一、二级,见表 3.3。

表 3.2 GPS 测量精度要求(二)

级别	相邻点基线分量中误差		相邻点间平均距离/km
	水平分量/mm	垂直分量/mm	
B	5	10	50
C	10	20	20
D	20	40	5
E	20	40	3

表 3.3 GPS 测量精度分级(三)

等级	平均距离/km	$a/mm$	$b/(1 \times 10^{-6} D)$	最弱边相对中误差
二	9	$\leq 10$	$\leq 2$	1/12 万
三	5	$\leq 10$	$\leq 5$	1/8 万
四	2	$\leq 10$	$\leq 10$	1/4.5 万
一级	1	$\leq 10$	$\leq 10$	1/2 万
二级	$< 1$	$\leq 15$	$\leq 20$	1/1 万

注:当边长小于 200 m 时,以边长中误差小于 20 mm 来衡量。

(2)各等级 GPS 相邻点间弦长精度用式(3-1)表示。

$$\sigma = \sqrt{a^2 + (b \times 10^{-6} d)^2} \quad (3-1)$$

式中, $\sigma$ 为 GPS 基线向量的弦长中误差(mm),即等效距离误差; $a$ 为 GPS 接收机标称精度中的固定误差(mm); $b$ 为 GPS 接收机标称精度中的比例误差系数( $10^{-6}$ ); $d$ 为 GPS 网中相邻点间的距离(km)。

在实际工作中,精度标准的确定要根据用户的实际需要及人力、物力、财力情况合理设计,或参照本部门已有的生产规程和作业经验适当掌握。在具体布设中,可以分级布设,也可以越级布设,或布设同级全面网。

### 2)GPS 点的密度标准

各种不同的任务要求和服务对象,对 GPS 点的分布要求也不同。对于国家特级(A 级)基准点及大陆地球动力学研究监测所布设的 GPS 点,主要用于提供国家级基准、精密定轨、星历计划及高精度形变信息,所以布设时平均距离可达数百公里。而一般城市和工程测量布设点的密度主要满足测图加密和工程测量的需要,相邻点间平均距离要求见表 3.2。

### 3. GPS 网的基准设计

GPS 测量获得的是 GPS 基线向量,它属于 WGS 84 坐标系的三维坐标差,而通常需要的是国家坐标系或地方独立坐标系的坐标。所以在 GPS 网的技术设计时,必须明确 GPS 成果所采用的坐标系统和起算数据,我们将这项工作称为 GPS 网的基准设计。

GPS 网的基准包括方位基准、尺度基准和位置基准。方位基准一般以给定的起算方位角值确定,也可以由 GPS 基线向量的方位作为方位基准;尺度基准一般由地面的电磁波测距边确定,也可由两个以上的起算点间的距离确定,也可由 GPS 基线向量的距离确定;位置基准,一般都是由给定的起算点坐标确定。因此 GPS 网的基准设计,实质上是确定控制网的位置基准问题。

在基准设计时,应充分考虑以下几个问题(徐绍铨等,2008)。



(1)为求定 GPS 点在地面坐标系的坐标,应在地面坐标系中选定起算数据和联测原有地方控制点若干个,用以坐标转换。在选择联测点时既要考虑充分利用旧资料,又要使新建的高精度 GPS 网不受旧资料精度较低的影响,因此,大中城市 GPS 控制网应与附近的国家控制点联测 3 个以上。小城市或工程控制可以联测 2~3 个点。

(2)为保证 GPS 网进行约束平差后坐标精度的均匀性以及减少尺度误差影响,对 GPS 网内重合的高等级国家点或原城市等级控制网点,除未知点联结图形观测外,对它们也要适当地构成长边图形。

(3)GPS 网经平差计算后,可以得到 GPS 点在地面参照坐标系中的大地高,为求得 GPS 点的正常高,可据具体情况联测高程点,联测的高程点需均匀分布于网中,对丘陵或山区联测高程点应按高程拟合曲面的要求进行布设。具体联测宜采用不低于四等水准或与其精度相等的方法进行。GPS 点高程在经过精度分析后可供测图或其他方面使用。

(4)新建 GPS 网的坐标系应尽量与测区过去采用的坐标系统一致,如果采用的是地方独立或工程坐标系,一般还应该了解的参数有:所采用的参考椭球,坐标系的中央子午线经度,纵、横坐标加常数,坐标系的投影面高程及测区平均高程异常值,起算点的坐标值。

#### 4. GPS 网的特征条件

在进行 GPS 网图形设计前,必须明确有关 GPS 网构成的几个概念,才能掌握控制网的特征条件计算方法。

(1)GPS 网图形构成的几个基本概念(见表 3.4)。

表 3.4 GPS 网图形构成的基本概念

概 念	定 义
观测时段 observation session	测站上开始接收卫星信号到观测停止,连续观测的时间间隔
同步观测 simultaneous observation	两台或两台以上接收机同时对同一组卫星进行的观测
同步观测环 simultaneous observation loop	三台或三台以上接收机同步观测获得的基线向量所构成的闭合环
异步观测环 independent observation loop	由非同步观测获得的基线向量构成的闭合环
数据剔除率 percentage of data rejection	同一时段中,删除的观测值个数与获得的观测值总数的比值
卫星定位连续运行基准站 CORS	由卫星定位系统接收机(含天线)、计算机、气象设备、通信设备及电源设备、观测墩等构成的观测系统。它长期连续跟踪观测卫星信号,通过数据通信网络定时、实时或按数据中心的要求将观测数据传输到数据中心。它可独立或组网提供实时、快速或事后的数据服务
单基线解 single baseline solution	在多台 GPS 接收机同步观测中,每次选取两台接收机的 GPS 观测数据解算相应的基线向量
多基线解 multi-baseline solution	从 $m(m \geq 3)$ 台 GPS 接收机同步观测值中,由 $m-1$ 条独立基线构成观测方程,统一解算出 $m-1$ 条基线向量
国际导航卫星系统服务 IGS	提供全球导航卫星系统,包括 GPS、GLONASS、Galileo 等卫星星历,卫星钟差以及相应卫星系统的地面基准站坐标等方面信息的国际组织