



中等职业教育国家规划教材

全国中等职业教育教材审定委员会审定

GPS 定位技术

测量工程技术专业

主 编 沈学标 吴向阳



中国建筑工业出版社



清华大学出版社
Tsinghua University Press

GPS 定位技术

第二版

王松 编著



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

GPS 定位技术

(测量工程技术专业)

主 编	沈学标	吴向阳
责任主审	田青文	
审 稿	李家权	张 勤

中国建筑工程工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

GPS 定位技术/沈学标, 吴向阳主编. —北京: 中国
建筑工业出版社, 2003

中等职业教育国家规划教材. 测量工程技术专业

ISBN 7-112-05426-5

I. G… II. ①沈…②吴… III. 全球定位系统 (GPS)
—专业学校—教材 IV. P228.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 029988 号

本书主要介绍 GPS 定位技术的基本概念, GPS 卫星信号, GPS 定位系统的基本
观测量, GPS 定位的基本原理, GPS 定位的野外数据采集、数据处理以及 GPS 定位
技术的应用。

本书为中等职业教育国家规划教材, 供测绘类专业及其相关专业使用, 也可供
有关技术人员参考。

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

GPS 定位技术

(测量工程技术专业)

主 编 沈学标 吴向阳

责任主审 田青文

审 稿 李家权 张 勤

*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京市兴顺印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 8¼ 字数: 196 千字

2003 年 7 月第一版 2003 年 7 月第一次印刷

印数: 1—2000 册 定价: 10.00 元

ISBN 7-112-05426-5

TU·4750 (11040)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2002 年 10 月

前 言

GPS（全球定位系统）是美国国防部研制的新一代卫星导航与定位系统。该系统从 20 世纪 70 年代初开始设计、研制，历经约 20 年，于 1995 年全部建成。目前 GPS 已进入了全效能服务的黄金阶段，GPS 定位技术已经广泛地渗透到经济建设、国防建设和科学技术的许多领域，尤其对经典大地测量学的各个方面产生了极其深刻的影响。

为了适应 GPS 定位技术发展的需要，并结合中等职业教育的特点，我们编写了《GPS 定位技术》一书。

全书共分七章和附录，其中第一章介绍 GPS 的基本概念；第二章介绍 GPS 卫星播发的信号、GPS 定位的基本观测量及 GPS 定位误差的来源；第三章介绍 GPS 定位的基本原理；第四章介绍 GPS 定位的测量设计与野外数据采集；第五章主要介绍 GPS 基线向量的解算及随机软件的基本流程；第六章主要介绍 GPS 网平差计算；第七章介绍 GPS 定位技术的应用；“附录”是将新一代 GPS 测量型接收机做一简介。

本书的第一章由沈学标编写，第二章由沈学标、秦立新编写，第三章由沈学标、李田凤编写，第四章由吴向阳、尚庆明编写，第五、六章由吴向阳编写，第七章由吴向阳、徐武强编写。全书由沈学标、吴向阳主编。受教育部委托由长安大学地质工程与测绘工程学院田青文教授对全书进行主审。该校李家权、张勤两位教授对全书进行了审稿。

本书在编写过程中，较多地参阅了有关院校、单位和个人的文献资料，在此表示感谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中错误与不当之处在所难免，诚恳读者批评指正。

目 录

第一章 GPS 定位系统概论	1
第一节 GPS 定位系统的发展历史	1
第二节 GPS 定位系统的应用特点	3
第三节 GPS 定位系统的组成	4
第四节 美国的 SA 政策和用户的对策	8
思考题	10
第二章 GPS 定位系统的信号、基本观测量及误差分析	11
第一节 GPS 卫星播发的信号	11
第二节 GPS 定位的基本观测量	16
第三节 GPS 定位的误差来源及其影响	20
思考题	26
第三章 GPS 定位原理	28
第一节 基本定位原理	28
第二节 载波相位测量	30
第三节 相对定位	31
思考题	37
第四章 GPS 测量设计与数据采集	39
第一节 GPS 测量作业的依据	39
第二节 GPS 网的技术设计	41
第三节 选点与埋石	46
第四节 GPS 数据采集	47
第五节 观测成果的外业检核	54
思考题	57
第五章 GPS 测量的基线处理	58
第一节 数据处理的基本程序	58
第二节 GPS 基线向量的解算	60
第三节 基线处理软件 SKI-pro 简介	67
第四节 基线向量解算结果的分析	71
思考题	75
第六章 GPS 基线向量网平差	76
第一节 GPS 定位的坐标系统	76
第二节 坐标系统之间的转换	81
第三节 GPS 网的三维平差	83
第四节 GPS 网的二维平差	84
第五节 GPS 网平差软件 (POWERADJ) 简介	88
第六节 GPS 测量技术总结	90

思考题	91
第七章 GPS 定位技术的应用	92
第一节 GPS 在大地控制测量中的应用	92
第二节 GPS 在精密工程测量及变形监测中的应用	94
第三节 GPS 定位技术在导航方面的应用	97
第四节 GPS 定位技术在海洋测绘方面的应用	101
第五节 GPS 定位技术在公安、交通系统中的应用	103
第六节 GPS RTK 技术在地形、地籍和房地产测量中的应用	106
思考题	107
附录：新一代 GPS 测量型接收机简介	108
主要思考题参考答案	116
主要参考文献	123

第一章 GPS 定位系统概论

第一节 GPS 定位系统的发展历史

GPS 是英文 Navigation Satellite Timing and Ranging/Global Positioning System 的字头缩写词 NAVSTAR/GPS 的简称。它的含义是,利用导航卫星进行测时和测距,以构成全球定位系统。现在国际上已经公认:将这一全球定位系统简称为 GPS。

自古以来,人类就致力于定位和导航的研究工作。1957 年 10 月世界上第一颗卫星发射成功后,利用卫星进行定位和导航的研究工作提到了议事日程。1958 年底,美国海军武器实验室委托霍布金斯大学应用物理实验室研究美国军用舰艇导航服务的卫星系统,即海军导航卫星(Navy Navigation Satellite System-NNSS)。在这一系统中,卫星的轨道都通过地极,所以又称为子午卫星导航定位系统(Transit)。1964 年 1 月研制成功,用于北极星核潜艇的导航定位,并逐步用于各种军舰的导航定位。1967 年 7 月,经美国政府批准,对其广播星历解密并提供民用,为远洋船舶导航和海上定位服务。由此显示出了卫星定位的巨大潜力。接着对子午卫星定位技术进行了一系列的研究,提高了卫星轨道测定的精度,改进了用户接收机的性能,使定位精度不断提高、自动化程度不断完善,使应用范围越来越广。海上石油勘探、钻井定位、海底电缆铺设、海洋调查与测绘、海岛联测以及大地控制网的建立等方面都相继采用,成为全球定位和导航的一种新手段。

尽管子午卫星导航定位系统已得到广泛的应用,并已显示出巨大的优越性。但是,这一系统在实际应用方面却存在着比较大的缺陷。为此,美国于 20 世纪 60 年代末着手研制新的卫星导航系统,以满足海陆空三军和民用部门对导航越来越高的要求。美国海军提出了名为“Timation”的计划,该计划采用 12~18 颗卫星组成全球定位网,卫星高度约 10000km,轨道呈圆形,周期为 8h,并于 1967 年 5 月 31 日和 1969 年 9 月 30 日分别发射了 Timation-1 和 Timation-2 两颗试验卫星。与此同时,美国空军提出了名为“621-B”计划,它采用 3~4 个星群覆盖全球,每个星群由 4~5 颗卫星组成,中间一颗采用同步定点轨道,其余几颗用周期为 24h 倾斜轨道。这两个计划的目标一致,即建立全球定位系统。但两个计划的实施方案和内容不同,各有优缺点。考虑到两个计划的各自优缺点以及美国难于同时负担研制两套系统的庞大经费开支,1973 年美国代理国防部长批准成立一个联合计划局,并在洛杉矶空军航天处内设立办事机构。该办事机构的组成人员包括美国陆军、海军、海军陆战队、国防制图局、交通部、北大西洋公约组织和澳大利亚的代表。自此正式开始了 GPS 的研究和论证工作。

在联合计划局的领导下,诞生了 GPS 方案。这个方案是由 24 颗卫星组成的实用系统。这些卫星分布在互成 120° 的 3 个轨道平面上,每个轨道平面平均分布 8 颗卫星。这样,在地球上任何位置,均能同时观测到 6~9 颗卫星。预计粗码定位精度为一百米左右,精码定位精度为十米左右。1978 年,由于压缩国防预算,减少了对 GPS 计划的拨款,于是,

将实用系统的卫星数由 24 颗减为 18 颗，并调整了卫星配置。18 颗卫星分布在互成 60° 的 6 个轨道面上，轨道倾角为 55° 。每个轨道面上布设 3 颗卫星，彼此相距 120° ，从一个轨道面的卫星到下一个轨道面的卫星间错动 40° 。这样的卫星配置基本上保证了地球任何位置均能同时观测到 4 颗卫星。经过一段实验后发现，这样的卫星配置即使全部卫星正常工作，其平均可靠度仅为 0.9969。如果卫星发生故障，将使可靠性大大降低。因此，1990 年初又对卫星配置进行了第三次修改。最终的 GPS 方案是由 21 颗工作卫星和 3 颗在轨备用卫星组成。卫星的轨道位数基本上与第二方案相同。只是为了减小卫星漂移，降低对所需轨道位置保持的要求，将卫星的高度提高了 49km，即长半轴由 26560km 提高到 26609km。这样，由每年调整一次卫星位置改为每 7 年调整一次。

GPS 实施计划共分三个阶段：

第一阶段为方案论证和初步设计阶段。从 1973 年到 1979 年，共发射了 4 颗试验卫星，研制了地面接收机及建立地面跟踪网，从硬件和软件上进行了试验，试验结果令人满意。

第二阶段为全面研制和试验阶段。从 1979 年到 1984 年，又陆续发射了 7 颗试验卫星。这一阶段称之为 Block I。与此同时，研制了各种用途的接收机，主要是导航型接收机，同时测地型接收机也相继问世。试验表明，GPS 的定位精度远远超过设计标准。利用粗码的定位精度几乎提高了一个数量级，达到 14m。由此证明，GPS 计划是成功的。

第三阶段为实用组网阶段。1989 年 2 月 4 日第一颗 GPS 工作卫星发射成功，宣告了

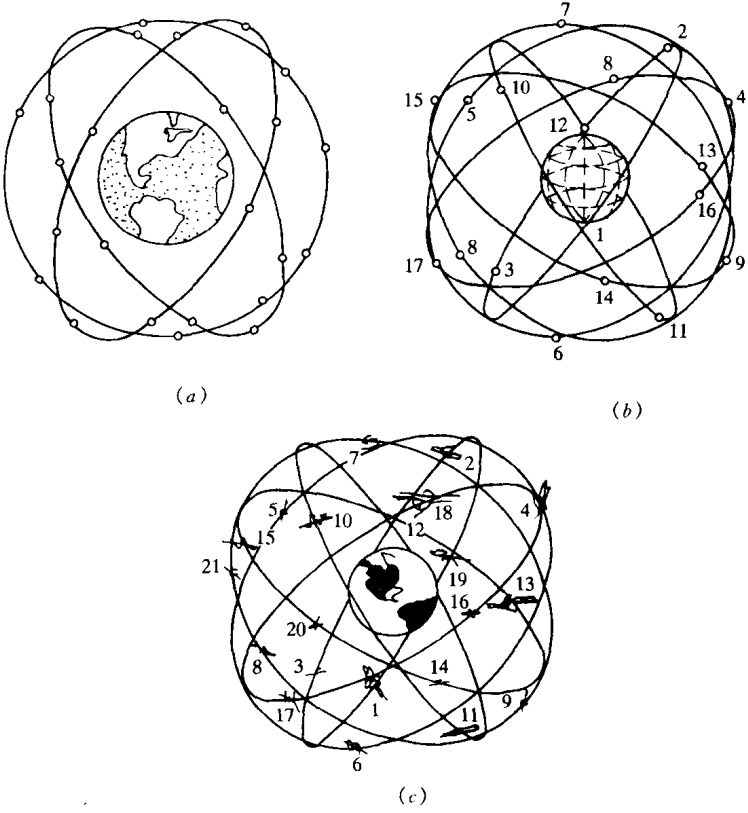


图 1-1 GPS 卫星的配置

(a) 原计划 24 颗卫星布置图；(b) 修改后 18 颗卫星布置图
(c) GPS 工作卫星星座（于 1995 年建成）

GPS 系统进入工程建设阶段。这种工作卫星称为 Block II 和 Block II A 卫星。这两组卫星的差别是, Block II A 卫星增强了军事应用功能, 扩大了数据存储容量; Block II 卫星只能存储供 14d 用的导航电文 (每天更新三次); 而 Block II A 卫星能存储供 180d 用的导航电文, 确保在特殊情况下使用 GPS 卫星。实用的 GPS 网即 (21+3) GPS 星座已经建成, 今后将根据计划更换失效的卫星。图 1-1 为 GPS 卫星的配置。

从 GPS 的提出到 1995 年建成, 经历了 20 年。实践证实, GPS 对人类活动影响极大, 应用价值极高, 所以得到美国政府和军队的高度重视, 不惜投资 300 亿美元来建立这一工程, 成为继阿波罗登月计划和航天飞机计划之后的第三项庞大空间计划。它从根本上解决了人类在地球上的导航和定位问题, 可以满足各种不同用户的需要, 给导航和定位技术带来了巨大的变化。

第二节 GPS 定位系统的应用特点

一、自动化程度高

GPS 定位技术减少了野外作业的时间和强度。用 GPS 接收机进行测量时, 只要将天线准确地安置在测站上, 主机可安放在测站不远处, 亦可放在室内, 通过专用通讯线与天线连接, 接通电源, 启动接收机, 仪器即自动开始工作。结束测量时, 仅需关闭电源, 取下接收机, 便完成了野外数据采集任务。如果在一个测站上需做较长时间的连续观测, 目前有的接收机 (如 Ashtech Z12 型) 可贮存连续三天的观测数据; 还可以实行无人值守的数据采集, 通过数据通讯方式, 将所采集的 GPS 定位数据传递到数据处理中心, 实现全自动化的 GPS 测量与计算。

二、观测速度快

目前, (21+3) 颗 GPS 工作卫星已全部发射升空, 加上先前发射的试验卫星中仍有 2 颗继续正常工作, 一个测站上可以同时观测 5~8 颗。因此, 用 GPS 接收机做静态相对定位 (边长小于 15km) 时, 采集数据的时间可缩短到 1h 左右, 即可获得基线向量, 精度为 $5\text{mm} + D \times 10^{-6}$, 两台仪器每天正常作业可测 4 条边。如果采用快速定位软件, 对于双频接收机, 仅需采集 5min 左右的时间; 对于单频接收机, 只要能观测到 5 颗卫星, 也仅需采集 15min 左右的时间, 便可达到上述同样的精度, 作业进度更快。同济大学测量系用两台 Wild200 型接收机建立 GPS 控制网, 仅花 4 个工作日就测完了全网的 27 个点。可见, 用 GPS 定位技术建立控制网, 作业迅速, 比常规手段 (包括造标) 快 2~5 倍。

三、定位精度高

大量试验表明, GPS 卫星相对定位测量精度高, 定位计算的内符合与外符合精度均达到 $5\text{mm} + D \times 10^{-6}$ 的标称精度, 二维平面位置都相当好, 仅高差方面稍逊一些。用 GPS 相对定位结果, 还可以推算出两测站的间距和方位角, 精度也很好。据国内外十多年来的众多试验和研究表明: GPS 相对定位, 若方法合适、软件精良, 则短距离 (15km 以内) 精度可达厘米级或以下, 中、长距离 (几十公里至几千公里) 相对精度可达到 $10^{-7} \sim 10^{-8}$ 。其精度是惊人的。

四、用途广泛

用 GPS 信号可以进行海空导航、车辆引行、导弹制导、精密定位、动态观测、设备

安装、传递时间、速度测量等。GPS 定位技术应用于民用导航和测绘行业，见表 1-1。

GPS 定位技术应用一览表 表 1-1

1. 陆地导航 2. 海上导航 3. 航空导航 4. 空间导航 5. 港湾导航 6. 内河导航 7. 旅游车导航 8. 地面高精度测量 9. 机器人和其他机器引导	全球性 ↓ GPS ↑ 全天候 (24h)	1. 地籍测量 2. 大地网加密 3. 高精度飞机定位 4. 无地面控制的摄影测量 5. 变形监测 6. 海道、水文测量 7. GPS 全站仪测量和主动控制站 8. 全球或区域性高精度三维网
--	--	--

五、经济效益高

据某些国外大地测量实测资料表明,用 GPS 定位技术建立大地控制网,要比常规大地测量技术节省 70% ~ 80% 的外业费用,这主要是因为 GPS 卫星定位不要求站间通视,不必建立大量费时、费力、费钱的觐标。一旦 GPS 接收机价格不断下降,经济效益将愈益显著。

更由于 GPS 定位技术具有速度快的特点 (比常规方法快 2 ~ 5 倍),使工期大大缩短,由此产生的间接经济效益更是不可估量。

GPS 定位技术在其他方面 (如海湾战争) 的诸多应用,其经济效益也是不言而喻的。

综上所述, GPS 定位技术较常规手段有明显的优势,而且它是一种被动系统,可为无限多个用户使用,信用度和抗干扰强,将来必然从根本上取代常规测量手段。GPS 定位技术与另两种精密空间定位技术——卫星激光测距 (SLR) 和甚长基线干涉 (VLBI) 测量系统相比,据近几年来全球网测量结果比较表明,其精度已能与 SLR、VLBI 相媲美,而 GPS 接收机轻巧方便、价格较低、时空密集度高,同样显示出 GPS 定位技术较 SLR、VLBI 具有更优越的条件和更广泛的应用前途。

第三节 GPS 定位系统的组成

GPS 整个系统由下列三大部分组成:

- 空间部分,包括工作卫星和备用卫星;
- 控制部分,控制整个系统和时间,负责轨道监测和预报;
- 用户部分,主要是各种型号的接收机。

一、空间部分

整个系统全部建成后,空间部分共有 24 颗工作卫星,其中 3 颗是随时可以启用的备用卫星。工作卫星分布在 6 个轨道面内,每个轨道面分布有 4 颗卫星。各轨道平面相对地球赤道面的倾角均为 55°,各轨道平面彼此相距 60°,轨道平均高度约为 20200km,卫星运行周期为 11h58min。地面观测者见到地平面上的卫星颗数随时间和地点的不同而异,最少为 4 颗,最多可达 11 颗。

目前, GPS 系统已经建成,其工作卫星在空间的分布情况如图 1-1 所示。

GPS 卫星在空间的上述配置,保障了在地球上任何地点、任何时刻至少可以同时观测到 4 颗卫星,加之卫星信号的传播和接收不受天气的影响,因此, GPS 是一种全球性、全

天候的连续实时导航定位系统。

空间部分的 3 颗备用卫星，将在必要时根据指令代替发生故障的卫星，这对于保障 GPS 空间部分正常而高效地工作是极其重要的。

GPS 工作卫星的外形，主体呈圆柱形，直径约为 1.5m，重约 774kg（包括燃料 310kg），星体两侧各伸出一块由四叶拼成的太阳能电池翼板，其面积约为 7.2m²，能自动对准太阳，以保证卫星正常工作用电。

每颗卫星装有 4 台高精度原子钟（2 台铷钟和 2 台铯钟），这是卫星的核心设备。它将发射标准频率，为 GPS 测量提供高精度的时间标准。

每颗 GPS 卫星连续地发播两个 L 频带的载波信号，它们分别由基本频率 $F_0 = 10.23\text{MHz}$ 通过倍频器获得：

$$L_1: 154 \times F_0 = 1575.42\text{MHz} \quad (\lambda_{L1} \approx 19.05\text{cm})$$

$$L_2: 120 \times F_0 = 1227.60\text{MHz} \quad (\lambda_{L2} \approx 24.45\text{cm})$$

利用伪噪声码（Pseudo—Random Noise Code 简称为 PRN 码）的调制特性，对载波进行三种相位调制，即：载波的正弦波被频率为 $0.1F_0$ 的伪噪声码（称为 C/A 码，又称“粗码”）所调制；余弦波被频率为 F_0 的另一伪噪声码（称为 P 码，又称“精码”）所调制。此外，正弦波和余弦波上都调制了基本单位为 1500 比特的数据码（也称卫星电文），简称 D 码。

L_1 信号既包括 P 码，又包括 C/A 码； L_2 信号只包括 P 码。这些电码具有三个作用：一是辨认接收的卫星；二是测定信号到达接收机的时间；三是限制用户使用。

二、控制部分

控制部分的任务是，监视卫星系统；确定 GPS 时间系统；跟踪并预报卫星星历和卫星钟状态；向每颗卫星的数据存贮器注入卫星导航数据。

控制部分一般包括以下四个部分：

（一）主控站

主控站负责管理和协调整个地面控制系统的工作。即根据各监测站的观测资料计算各卫星的星历以及卫星钟改正数，编制导航电文。

（二）监测站

监测站是在主控站控制下的数据自动采集中心。全球共有 5 个监测站，分布在美国本土和三大洋的美军基地上。主要任务是为主控站提供观测数据。每个监测站均用 GPS 接收机接收可见卫星播发的信号，并由此确定站卫距离数据，连同气象数据传送到主控站。

（三）注入站

人操作的地面天线站能在主控站的控制下向卫星注入导航电文和其他命令，每天向每个卫星注入 4 次电文。全球共有 3 个地面天线站，分别与 3 个监测站重合。

（四）通讯辅助系统

通讯辅助系统的功能是，综合利用地面通讯线、海底电缆和卫星通讯等手段，将主控站地面天线站及监测站联接起来，所有的资料都用编码传送。

图 1-2 为控制部分的数据流程示意图。

三、用户部分

用户部分主要是 GPS 信号接收机。

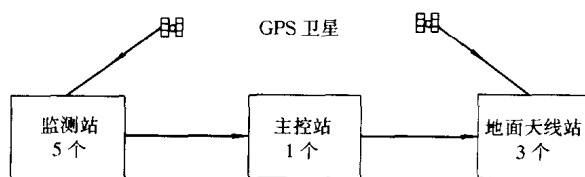


图 1-2 确定星历的数据流程

(一) 接收机的结构和功能

根据仪器的结构,可分为天线单元和接收单元两大部分。一般将两个单元分别装备成两个独立的部件,观测时分别置于测站及其附近的地方,两者之间用 10~100m 长的电缆连成一个整机。现将两个单元的主要功能介

绍如下,如图 1-3 所示。

1. 天线单元

它由接收天线和前置放大器两部分组成。接收天线大多采用全向天线,可接收来自任何方向的 GPS 信号,并将电磁波能量转化为变化规律相同的电流。前置放大器可将极微弱的 GPS 信号电流予以放大。

2. 接收单元

信号波道和微处理机构成接收单元的核心部件。从目前的定位型接收机来看,主要有平方型和相关型两种信号通道;利用多个通道同时对多个卫星进行观测,实现快速定位。微处理机具有各种数据处理软件,能选择合适的卫星进行观测,以获得最佳的几何图形;能根据观测值及卫星星历进行平差计算,求得所需的定位信息。

数据记录器用来记录接收机所采集的定位数据,以供测后数据处理之用。目前,多用固态存储器取代以前的磁带记录器。

GPS 信号接收机的电池,一般采用机内机外两种直流电源。设置机内电池的的目的是在更换外接电池时可以不中断连续观测。当机外电池电压低到某一数值时,会自动接通机内电池;当使用机外电池观测时,机内电池能自动地被充电。

视屏监视器一般包括一个显示窗和一个操作键盘,它们均设在接收单元的面板上,观测者通过键盘操作,可从显示窗上读取数据和文字。例如,查询仪器的工作状态,检核输入数据的正误等等。

综上所述,接收机的主要功能是跟踪接收所选择的待测卫星信号,测定信号从卫星到接收天线的传播时间,解译出 GPS 卫星所发送的导航电文,实时地计算出定位或导航的所需数据。

(二) 接收机的分类

GPS 定位技术的迅速发展以及应用领域的不断开拓,使得世界各国对 GPS 接收机的研制与生产都极为重视。目前,世界上 GPS 接收机的生产厂家约有数十家,而型号超过数百种。我国于 1991 年跨入接收机的生产行列。根据不同的观点, GPS 接收机可有多种分类方法,现将主要分类介绍如下:

1. 根据接收机的发展分:

第一代接收机 以 Macrometer V—1000 为代表,特点是单频、体积大、重量大、功耗低,精度为 $10\text{mm} + 2 \times 10^{-6}$ 。常见的型号还有 WM-101 等。

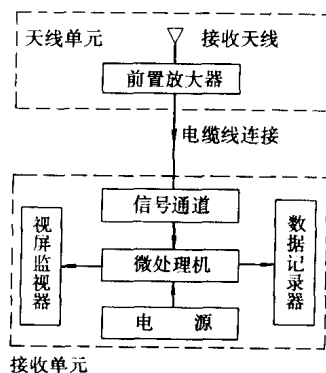


图 1-3 GPS 信号接收机的基本结构

第二代接收机 以 Ashtech 为代表,它不仅具有体积小、重量轻、功耗小的特点,而且具有双频观测能力,距离不受限制,精度较第一代提高一倍,即 $5\text{mm} + 1 \times 10^{-6}$ 。它不但能用于静态观测,而且可用于动态测量和半动态测量。我国现在所使用的皆为第二代产品。常见的型号还有 Trimble-SST、Mini-Mac2816、SOKKIA GSSI 以及 Wild-200 等。

第三代接收机 以 Rogue—8000 为代表。由美国加州理工学院于 1987 年首次研制,并于 1992 年推出改进型 Turbo Rogue—8000。它在体积、重量都不增加的情况下,在硬件技术上有重大突破,使观测精度又提高了一个数量级,即 $3\text{mm} + 0.1 \times 10^{-6}$ 。它具有快速静态定位的功能,而且不受距离限制。能满足地球动力学、大地测量学、精密工程测量、时频检验等高精度测量任务。

2. 根据接收机的工作原理分

- (1) 码相关型接收机;
- (2) 平方型接收机;
- (3) 混合型接收机。

码相关型接收机的特点是,能够产生与所测卫星的测距码结构完全相同的复合码。工作中通过逐步相移,使接收码与复制码达到最大相关,以测定卫星信号到达用户接收机天线的传播时间。码相关型接收机可利用 C/A 码也可利用 P 码,其工作的基本条件是必须掌握测距码的结构。所以,这种接收机也称为有码接收机。如 WM101, Trimble4000SX, TI4100 等。

平方型接收机是利用载波信号的平方技术去掉调制码,从而获得载波相位测量所必需的载波信号。这种接收机只利用卫星的信号无需解码,因而不必掌握测距码的结构,所以这种接收机也称为无码接收机。如 Macrometer II, V-1000 等。

混合型接收机是综合利用了相关技术和平方技术的优点,它可以同时获得码相位和精密载波相位观测量。目前,在测量工作中广泛使用的接收机多属这种类型。

3. 根据接收机信号通道的类型分

- (1) 多通道接收机;
- (2) 序贯通道接收机;
- (3) 多路复用通道接收机。

在导航和定位工作中, GPS 接收机需要跟踪多颗卫星。而对于来自不同卫星的信号,接收机必须首先将它们分离开来,以便进行处理,量测获得不同卫星信号的观测量。GPS 接收机的通道,其主要作用是将接收到的不同卫星信号加以分离,以实现对各个卫星信号的跟踪、处理和量测。

所谓多通道接收机,即具有多个卫星信号通道,而每个通道只连续跟踪一个卫星信号的接收机。所以,这种接收机也称连续跟踪型接收机。

序贯通道接收机,通常具有 1~2 个通道。这时为了跟踪多个卫星信号,它在相应软件的控制下,按时序依次对各个卫星信号进行跟踪和量测。由于对所测卫星依次量测一个循环所需时间较长 ($> 20\text{ms}$),所以,其对卫星信号的跟踪是不连续的。

多路复用通道接收机,与序贯通道接收机相似,一般也具有 1~2 个通道,在相应软件的控制下,按时序依次对所有观测卫星的信号进行量测。其与序贯通道接收机的区别,主要是对所测卫星信号量测一个循环的时间较短 ($\leq 20\text{ms}$),可以保持对卫星信号的连续

跟踪。

4. 根据接收的卫星信号频率, 可分为

- (1) 单频接收机 (L_1);
- (2) 双频接收机 ($L_1 + L_2$)。

单频接收机只能接收经调制的 L_1 信号。这时虽然可以利用导航电文提供的参数, 对观测量进行电离层影响修正, 但由于修正模型尚不完善, 精度较差。所以, 单频接收机主要用于基线较短 (例如 $< 150\text{km}$) 的精密定位工作和导航。

双频接收机, 可以同时接收 L_1 和 L_2 信号, 因而利用双频技术可以消除或减弱电离层折射对观测量的影响, 导航和定位的精度较高。

5. 根据接收机的用途, 可分为

- (1) 导航型;
- (2) 大地型;
- (3) 授时型。

导航型接收机, 主要用于确定船舶、车辆、飞机和导弹等运动载体的实时位置和速度, 以保障这些载体按预定的路线航行。导航型接收机, 一般采用单点实时定位, 精度较低。这类接收机结构较为简单, 价格便宜, 其应用极为广泛。

大地型接收机, 主要是指适于进行精密大地测量工作的接收机。这类接收机, 一般均采用载波相位观测量进行相对定位, 精度很高。观测数据需测后处理, 因此需配备功能完善的后处理软件。大地型接收机与导航型接收机相比, 其结构复杂, 价格较贵。

授时型接收机, 主要用于天文台或地面监控站进行时频同步测定。

应当指出: GPS 接收机作为一个用户测量系统, 除了应具有接收机、天线和电源等硬件设备外, 其软件部分也是构成现代 GPS 测量系统的重要组成部分之一。一般来说, 软件包括内软件和外软件。所谓内软件是指诸如控制接收机信号通道, 按时序对各卫星信号进行量测的软件以及内存或固化在中央处理器中的自动操作程序等。这类软件已和接收机融为一体。而外软件主要是指观测数据后处理的软件系统, 这种软件一般以磁盘方式提供。如无特别说明, 通常所说接收设备的软件均指这种后处理软件系统。一个功能齐全、品质优良的软件不仅能方便用户使用, 满足用户的多方面要求, 而且对于改善定位精度, 提高作业效率和开拓新的应用领域都具有重要意义。所以, 软件的质量与功能已成为反映现代 GPS 测量系统先进水平的一个重要标志。

有关接收机的详细介绍可参看相应的仪器说明书。

第四节 美国的 SA 政策和用户的对策

一、美国对利用 GPS 的限制政策

因为 GPS 与美国的国防现代化发展密切相关, 所以该系统除在设计方面采取了许多保密性措施外, 还自 1989 年下半年开始正式实行所谓选择可用性 (Selective Availability) 政策, 简称 SA 政策。即人为地施加误差将卫星星历和 GPS 卫星钟的精度降低, 以限制广大民间用户利用 GPS 进行实时 (或快速) 和较高精度的定位。

GPS 卫星发射的无线电信号, 含有两种精度不同的测距码, 即所谓 P 码和 C/A 码。

相应两种测距码，GPS 将提供两种定位服务方式，即精密定位服务（PPS）和标准定位服务（SPS）。

精密定位服务的主要对象是美国军事部门和其他特许部门。这类用户可利用 P 码获得精度较高的观测量，且能通过卫星发射的两种频率信号量测距离，以消除电离层折射的影响。利用 PPS 也不会受到 SA 政策的影响，单点实时定位的精度可优于 10m。

P 码是不公开的保密码，广大民间用户难以利用。不过，由于近年来 P 码的结构已被解译，所以美国又采用了新的保密码即 Y 码来代替 P 码，这也叫做反电子诱骗（Anti-spoofing 简称 AS 技术），实施 AS 技术的目的是使 Y 码更难以破译，从而使具有接收 P 码能力的 GPS 接收机不能很好地进行 GPS 定位，给非特许用户使用造成障碍。

标准定位服务的主要对象是广大的民间用户。利用 SPS 所得到的观测量精度较低，且只能采用调制在一种频率上的 C/A 码测量距离，无法利用双频技术消除电离层折射的影响。其单点实时定位精度约为 20 ~ 30m。但是在 SA 政策的限制下，利用 SPS 的定位精度降低至约 100m。

2000 年 5 月，美国政府宣布取消 SA 政策，并将逐渐对 GPS 系统进行改进。如研制和发射新的 GPS 卫星，增加 GPS 卫星数目，L₂ 载波加载，C/A 码等信息。

二、用户摆脱 SA 限制政策的措施

美国政府对 GPS 用户的限制政策，是民用部门和其他国家的用户极为关心的问题。为了摆脱这种限制，采用的措施主要为：

（一）进行相对定位

利用两站的同步观测资料进行相对定位时，由于星历误差对两站的影响具有很强的相关性，因而在求坐标差时，共同的影响可自行消去，从而获得精度很高的相对位置。星历误差对相对定位的影响通常采用下列公式估算：

$$(db/b) = (ds/\rho)$$

式中 b 为基线长； db 为由于卫星星历误差而引起的基线误差； ds 为星历误差； ρ 为卫星至测站的距离。 ds/ρ 通常被称作卫星星历的相对误差。上式是根据一次观测的结果得出的。实测结果表明，经数小时观测后基线的相对误差大约是卫星星历相对误差的四分之一左右，见表 1-2。

基线相对误差同卫星星历相对误差比较 **表 1-2**

轨道误差 (m)	对基线精度影响	轨道误差 (m)	对基线精度影响
2.5	10^{-8}	250	10^{-6}
25	10^{-7}		

由此看出，即使 SA 政策实施后，利用广播星历是能保证 $1 \sim 2 \times 10^{-6}$ 的相对定位精度的。该方法简便，效果显著，因而被广泛使用。

（二）建立独立的 GPS 卫星测轨系统

利用 GPS 卫星，建立独立的跟踪系统，以精密地测定卫星的轨道为用户提供服务，是一项经济有效的措施。它对开发 GPS 的广泛应用具有重大意义。

1986 年 9 月，美国联邦地质局和得克萨斯大学使用美国本土的 3 个跟踪站定轨数据计算精密星历。1987 年加拿大、德国、瑞典和挪威加入了他们的定轨观测，从而构成了一