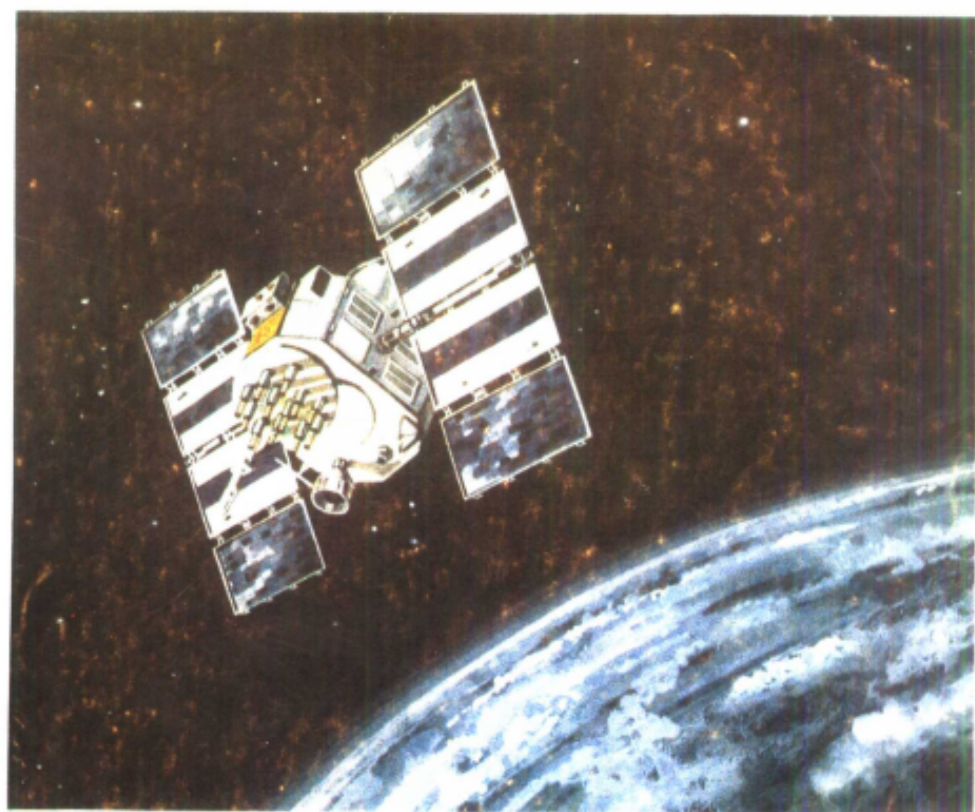


1924
56.2



日本测地学会 编著

GPS

人造卫星精密定位系统

GPS人造卫星精密定位系统

日本测地学会 编著

顾国华 金文福

郑斯华 王树义

魏 淳 校

李锐武

地震出版社

1989

内 容 提 要

本书是一本翻译书,是介绍人造卫星全球定位系统(GPS),特别是利用GPS作精密定位测量方面的一本较好的参考书。全书共分十章,并收入了补遗。前三章叙述了GPS的概况,它与一般测量技术、空间大地测量技术的关系及其在大地测量与地球物理学中的应用。从第四章起介绍利用GPS进行一般定位、精密定位的基本概念与理论,包括卫星轨道计算、坐标与时间系统、电波信号与解译、接收机基础理论、位置计算、观测误差、联测定位法等。最后再就重点介绍GPS精密定位方法——相对定位方法的原理、数据处理及接收机工作原理。

本书供从事地壳形变测量、大地测量、普通测量、工程测量等方面的科技人员、大专院校师生阅读,同时也可供从事人造卫星无线电导航及其仪器研制方面的科技人员参考

GPS

—人工衛星による精密測位システム—

日本測地学会

日本測量協会 編著

1986年11月

GPS人造卫星精密定位系统

日本測地学会 編著

顧国华 金文福 郑斯华 王树义 译

魏 淳 校

责任编辑:吴 兵

责任校对:孔景宽

•

地质出版社 出版

北京复兴路63号

天津市大邱庄印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

•

787×1092 1/16 19印张 486千字

1989年9月第一版 1989年9月第一次印刷

印数 001—953

ISBN7-5028-0181-2/V·1

(569)定价: 10.00元

译 序

直接监测固体地球的运动,用传统的常规大地测量方法,一般的复测周期通常为几年或几十年,而大多数地震仪所记录的由地震波触发的地面运动,其优势频率响应范围从1/10秒到几分钟,因此两者之间在时间尺度上存在着一个显见的空档。

用以监测大尺度范围内的巨大板块构造的稳定性以及测量它们的现代运动速率,必须布设能覆盖几个地震带的控制网。

不论从时间尺度上,抑或覆盖地域的跨度上,常规大地测量方法在技术上是所不能力及的。空间测量技术的发展给动态大地测量的研究领域带来了新的生机。用这一技术求得的板块运动的现代速率与磁性排列以及其他信息所确定的长期平均速率进行比较,即能判定板块构造的运动是稳定的还是间歇的。这对研究岩石圈和软流圈构造是有益的。全球资料的研究,还可得到地球内部应变的积累和释放所导致的全球效应;地球惯性矩的变化反映在旋转速率和极移的变化上。大尺度的观测无疑对地震危险性的估计,地震力源的研究是非常有益的。

近年来,我国地学与天文学界对空间测量技术的关心日益高涨,相继研制了人造卫星激光测距仪和甚长基线射电干涉测量仪(VLBI)。这类仪器虽属全球范围的测量技术,但已标志着我国大地测量技术进入一个崭新的阶段。

本书主要介绍适用于局部地区观测点定位的空间技术——全球定位系统(GPS)。GPS是对VLBI在测程尺度上的一种补充与发展。它不仅可精密定位,而且观测精度远比一般光电测距仪高。更重要的是它可全天候观测,不必造标或顾及通视条件。因此精度高、工效快、投资少便成为GPS的特点。

这本书虽是一份由日本两个学会进行组织的讲学教材,但较全面地论述了GPS的系的概要和基本原理,仪器结构和使用方法,计算实例和精度评定等。是一本论理与实用并统参考书。译者将此书介绍给读者,无疑对我国地学,尤其是地震学与大地测量学的发展有着积极的推动作用。祈望我们大家从中获得启示。

在出版过程中,得到了日本测量协会和日本测地学会的大力支持。在此特向日本测量协会坪川家恒会长、日本测地学会获原幸男会长和其他日本朋友表示诚挚的谢意。

陈鑫连 李延兴

1988.6

译者的话

GPS, 即全球定位系统, 是近十几年来由美国国防部负责研制的新一代人造卫星定位技术。在国外, GPS技术正日益广泛地应用于导航、大地测量、工程测量等领域。目前国内已引进了一定数量的GPS接收机用于生产与科研, 并将展开各种观测。

本书原文为日文, GPS有关的术语是由英文译过去的, 同时加上了日本学者的理解与日语的习惯, 同英文的原意多少是有点不同的。如果将这些日文术语直接译成中文, 会使熟悉英文GPS文献的读者感到不便, 因此本书翻译力求使有关术语与英文原意一致。但正如书中一再指出的, 英文GPS术语也有些混乱, 这给翻译造成一定的困难。为此在忠于英文原意的同时, 也考虑了如何能使读者易于理解。例如, 在英文文献中把两台相同型号的GPS接收机分别放在两个观测站上对同一颗卫星同时进行观测以确定两测站间的长度与方向的方法称为relative positioning(相对定位)或differential positioning(差值定位), 在日文中称之为“干涉测位法”, 而加拿大威尔斯则推荐采用“相对定位”, 因此好中译本用“相对定位”一词。日文中“GPS干涉计”实际上是由两台GPS接收机组成, 作相对定位, 而不是一种特殊的仪器, 因此我们也译为“相对定位”。干涉测量的方法只是某些类型的GPS接收机所采用的方法。

补遗对原书作了不少重要或十分有用的补充, 但由于GPS系统毕竟是美国独立研制的高技术, 各种接收机技术受专利保护, 很多细节实在难以为外界所了解, 即使在欧美文献中也有前后不一的叙述。因此本书难免有不当或不确切之处。尽管如此, 本书仍不失为一本较好的GPS手册。

由于译者语言及专业水平所限, 译文中不当之处在所难免, 恳切希望读者批评指正, 谨致歉意。

本书第一、二章由王树义同志译, 第三、六章由郑斯华同志译, 第四、七、八章由金文福同志译, 第五、九、十章、附录、汉英日对照GPS用语及补遗部分由顾国华同志译。原书中有日英名词对照表, 译成中文时改为汉英日对照GPS用语, 并按拼音顺序作了排列, 全书译出后由魏淳同志作了仔细的校对, 并由顾国华同志作了复核。

译者

1988年1月

序 言

1986年2月5日清晨,尚未拂晓,在严寒中,筑波国土地理院院内,三五成群聚集着前来观看美国GPS相对定位观测表演的人们。就在此刻,揭开了GPS在日本实际应用的序幕。

近一二年,日本测量界内外,人们对GPS(全球定位系统)的关心日益高涨。这是因为GPS不仅对高精度定位十分有用,而且观测精度远远超过以往的三角和边长测距技术也日趋明朗。另外,人们还逐渐认识到,它在野外观测中不受气候影响,无需考虑观测点之间的通视条件,具有与以前测量作业大不相同的独特优点,等等。考虑到这些高精度,高效率等特点,完全可以预期GPS将会广泛用于测量技术。参加2月国土地理院实测表演的人们肯定也是抱着这一相同的看法而聚集到一起的。

恰恰在这时,日本测地学会向本协会提出建议,希望联合举办GPS技术引进普及讲习会。对本协会来说,这正是求之不得的事,随之欣然应诺。

对学会的建议,我想在此特书一笔。

以前,日本测地学会的活动往往只限于学会范围以内,除了国土地理院和水路部等部门一部分事业之外,越过学会的门槛,扩展到实际测量事务界的活动还不多,这是令人遗憾的。

在本计划实现之际,学会和测量协会,即分别从事学术和实际测量工作的研究人员和工程技术人员,拆除了彼此之间的屏障,把这项工作作为共同的事业协同工作。这种研究和实际测量的协作是一件深孚众望的大好事,愿今后仍能继续保持这种协作体制。

就这次讲习会来说,事先准备教材也是计划中的一部分重要工作。为了编写教材,学会和协会内的有关人士曾多次聚会反复讨论,最后完成的便是本书。

本书虽说是这次讲习会的教课书,但实质上,它是用日文编写的第一本GPS综合说明书。据说在制定计划时,就是要在讲习会结束以后,将此书作为GPS手册长久使用的。教材的执笔人(讲课人)都是当前各方面众望所归的佼佼者。请他们参加编写不管怎么说都是十分难得的。此外,据说在编写过程中,责任编辑还曾向各位讲课人多次提出过非常过分的要求。表现出编辑人员要求少而精的热情态度。

编写时,我们是假设读者均具备高中水平的。

全书共分十章。第一章到第三章为GPS总论,其中论述系统的概要,与测量的关系和应用实例等。第四章以后是分论。第四章介绍卫星运动和坐标转换,第五章介绍卫星发出信号的形成和接收机的一般构造,第六章介绍计算测站位置的方法,第七章介绍误差来源等等。这些章节对GPS一般情况作了介绍。从第八章以后,介绍精密定位,从测量学角度来看,这是最重要的部分。第八章介绍用普通定位法确定相对定位的方法。第九、十章介绍精密测量中最重要的相对定位法。本书用了两章的篇幅着重介绍了这种相对定位法。

本书若有幸能为有志学习GPS的测量技术人员所广泛接受,对协助出版本书的日本测量协会来说,将不胜欣慰。

日本测量协会

会长 坪川 家恒

1986年11月

各章作者

- | | | |
|-----|--------|-----------------------|
| 第一章 | 土屋 淳 | 东京大学东京天文台副教授、理学博士 |
| 第二章 | 石井晴雄 | 建设省国土地理院测地部部长 |
| 第三章 | 加藤照之 | 东京大学地震研究所，理学博士 |
| 第四章 | 村上 亮 | 建设省国土地理院测地部测地二科人卫股股长 |
| 第五章 | 土屋 淳 | 同第一章 |
| 第六章 | 村田一郎 | 东京大学地震研究所副教授、理学博士 |
| 第七章 | 田中寅夫 | 京都大学防灾研究所副教授、理学博士 |
| 第八章 | 福島 登志夫 | 海上保安水路部导航测地科人卫测地室 |
| 第九章 | 塩見 正 | 邮政省电波研究所计划调查部计划科主任研究员 |
| 第十章 | 木内 幸 | 邮政省电波研究所鹿岛分所第三宇宙通讯研究室 |
| | 古田俊夫 | 东京大学海洋研究所技官 |

目 录

译序	(V)
译者的话	(VI)
序言	(VII)
各章作者	(VIII)
第一章 GPS简介	(1)
1.1 前言	(1)
1.2 什么是GPS	(1)
1.3 GPS的研制过程	(3)
1.4 GPS的观测与观测方法	(5)
1.5 GPS在各种导航系统中的地位	(11)
1.6 GPS以外的最新人造卫星定位系统	(14)
1.7 与GPS有关的空间技术	(15)
第一章 补遗	(21)
第二章 GPS和测量技术的关系	(22)
2.1 概述	(22)
2.2 测量技术	(22)
2.3 日本的大地测量网	(25)
2.4 现有的测量技术与GPS测量的不同	(27)
2.5 利用GPS测量的方法	(30)
2.6 GPS的观测方式	(32)
2.7 对普及GPS测量的展望	(33)
第二章 补遗	(35)
第三章 GPS的精度及其未来的展望——在大地测量和地球物理学中的应用	(40)
3.1 用GPS进行精密大地测量的精度及观测实例	(40)
3.2 在大地测量和地球物理学方面的应用	(46)
第三章 补遗	(60)
第四章 人造卫星与观测站位置的表示法	(61)
4.1 GPS人造卫星轨道	(61)
4.2 在地面上见到的人造卫星位置	(63)
4.3 坐标系的严密定义	(70)
4.4 GPS时间系统	(73)
4.5 GPS定位结果的坐标转换	(75)
第五章 GPS卫星电波的接收	(80)
5.1 GPS电波	(80)
5.2 怎样接收并解译码? 怎样求到卫星的距离	(91)
5.3 GPS接收装置的基础理论	(100)

第五章 补遗	(114)
第六章 位置的计算	(116)
6.1 前言.....	(116)
6.2 位置计算中使用的数据.....	(116)
6.3 位置计算的原理.....	(117)
6.4 计算公式.....	(118)
6.5 数值例.....	(121)
6.6 定位误差.....	(124)
6.7 具体实例.....	(128)
第六章 补遗	(132)
第七章 误差因素	(134)
7.1 由卫星发射的电波传播.....	(134)
7.2 电离层所产生的误差.....	(137)
7.3 由大气所产生的传播误差.....	(140)
7.4 多路传播的影响.....	(150)
7.5 GPS相对定位和测定误差.....	(152)
第七章 补遗	(154)
第八章 联测定位法	(161)
8.1 联测定位法概论.....	(161)
8.2 联测定位法原理.....	(167)
8.3 联测定位法的计算.....	(171)
8.4 实际联测定位法.....	(176)
8.5 联测定位法的几种方法.....	(180)
第九章 GPS相对定位观测	(185)
9.1 概论.....	(185)
9.2 相对定位法的原理和求定位解的方法.....	(187)
9.3 观测方法与观测数据处理.....	(196)
9.4 解析软件.....	(201)
9.5 精密定位的关键与应用.....	(205)
第九章 补遗	(207)
第十章 相对定位的各种方法	(209)
10.1 前言.....	(209)
10.2 GPS定位方法分类.....	(210)
10.3 相关型GPS相对定位.....	(216)
10.4 再生钟频率型.....	(221)
10.5 重建载波法相对定位.....	(228)
10.6 钟频率、载波结合使用型.....	(233)
10.7 结语.....	(234)
第十章 补遗	(237)
补遗1 GPS试验观测.....	(239)
补遗2 关于利用GPS的最新话题.....	(249)
附录-1 最小二乘法	(256)

附录-2 坐标值的最小二乘解.....	(258)
附录-3 参数估计.....	(262)
附录-4 各种表.....	(264)
附录补遗	(272)
汉英日对照GPS用语.....	(280)

第一章 GPS 简介

1.1 前言

GPS (全球定位系统, Global Positioning System) 是由美国研制, 并正投入实际应用的利用人造卫星定位的最新定位系统。其主要目的当然是为飞机或者船舶导航定位。但是, 这种电波也可以利用于其他多种目的。尤其是采用特制的接收机, 利用 GPS 进行测量, 能得到1cm的精度。因此, 它可望在不久的将来作为测量技术以及各种科学观测手段投入应用。

本书试图介绍一些有关GPS的基本知识, 希望有关人员能够在诸多方面加以有效利用。

1.2 什么是GPS

如本章前言部分所述, GPS是接收人造卫星电波, 准确确定接收机自身位置的系统。

GPS是对于目前用于导航、测量的NNSS (海军导航卫星系统, Navy Navigation Satellite System) 的改进和发展。

GPS, NNSS是简称, 由其全称可知, 它们是指人造卫星和地面系统的综合体, 不单指人造卫星本身。

在介绍GPS的文章中, 关于GPS系统, 往往可见到Space Segment, Control Segment, User Segment等词。翻译过来可译为空间部分, 控制部分, 用户部分。总之, 是分别指GPS人造卫星本身, 地面跟踪控制设备系统和用户装置。所说的GPS, 应该理解为这些部分的总和。

从用户的观点来看, GPS和NNSS之间的最大差异, 是电波频率和利用时间段的限制。也就是说, NNSS使用的是150MHz和400MHz的 VHF 和 UHF 两个频带的电波。由卫星数目和轨道的原因, 观测者上空有时没有卫星。而GPS使用的频率是1575.42MHz (约1.5GHz, 称 L_1 频带) 及1227.6MHz (约1.2GHz, 称 L_2 频带) 的超高频电波。该系统建成后, 将以适当的轨道间隔, 在20000km上空部署18颗卫星 (及3颗备用卫星)。这样, 无论在什么时候, 在地球表面的任何地区, 视野内都能有4颗以上的卫星 (图1.1)。

也就是说, 在轨道倾角 50° , 升交点经度不同的6个圆形轨道上, 每个轨道分别部署3颗卫星。轨道半径约26600km (轨道高度约20000

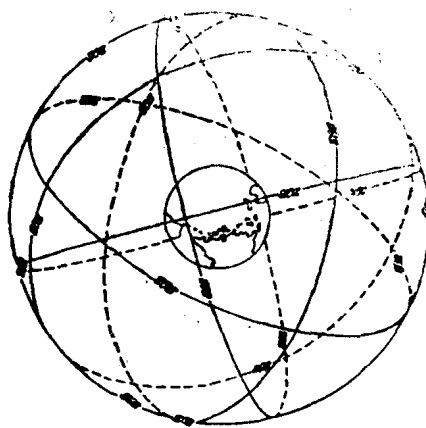


图1.1 GPS卫星的轨道
轨道高度约20000km, 周期0.5恒星日 (约11h 58min), 6个轨道面各3颗, 共部署18颗卫星

km),周期为0.5恒星日(约11h58min)。目前,该系统尚未建成。只有几颗卫星在运行。

故而利用的时间段有限。按照最初的预定,1984年把18颗卫星全部送入轨道,使世界上所有的地区都经常能够利用GPS。但其后有了改变,改为1989年全部完成。可是,由于不久前接连发生火箭事故,预计还要推迟完成时间。

另外,由于电波信号中 L_2 频带(1.2GHz)是军用频带,用一般方法不能利用,实在令人遗憾。 L_1 频带(1.5GHz)也载有被称之为C/A码和P码的两种电波信号,而一般只能利用C/A码。C/A码和P码的含义分别为Clear and Acquisition(清晰与获得)或(Coarse and Access(粗略与获得)和Precision(精确)或Protect(保密)。也有的人认为应称C/A码为S码(Standard code)。这些都是随机数密码,需要根据相当于随机数表的码本(码信息)解译出原来的信息内容。

由于是随机数的电波信号,所以18颗卫星即使全部用同一频率发送信号,也不会相互干扰出现混频现象。

C/A码已经公开,而P码尚属机密,因此对于一般的利用,还要受到很大限制。不过,实际上P码在日本各个领域已作为信息流通,美国方面的方针据说也还不很稳定。也有一种说法是,一旦发生事变,美国会彻底更换电码。对于也可作军用的GPS来说,这可能是不不得已的事,而这一点却正是我们遗憾之处。

如第九章中所述,在采用相对定位方法时,通过特殊的方法,也可以接收 L_2 频带(1.2GHz)的电波,但是,若要利用其码信息,则有各种限制。

GPS卫星全部装有稳定性极高的铷、铯等原子频率标准(原子钟)。因此,GPS卫星时刻都能够保持准确的GPS时间。GPS时间类似国际原子时,必须注意它与我们日常使用的时间有整数秒的时间差。这个问题将在第四章中叙述。

利用GPS进行一般导航时,需要同时观测4颗GPS卫星。并且要解译包含在C/A码或P码信号中的人造卫星的轨道信息和时间,计算接收机自身的位置。

L_2 频带(1.2GHz)的电波只载有P码,因而只有在能够利用P码的情况下,才能通过两个频率的同时观测进行电离层影响的改正。不过,在为测量和科学观测而做相对定位观测时,经过对接收机做些改进后,即使不解译码也能够同时观测两个频率,从而进行电离层影响的改正。更兼于相对定位本身又具有高精度的特性,由于这一特性,它会在不久的将来成为精密测量方面的核心技术。

利用GPS做普通定位或相对定位观测时,由于使用来自人造卫星的电波,因此,几乎不受气候影响,也不存在观测点间的通视问题。但是,在地下或海底则根本无法利用,这也是不言而喻的。

最普通的GPS的利用,只需接收 L_1 频带电波(1.5GHz)一个波,仅用C/A码即可定位。电离层的改正,则根据假设的标准电离层状态进行计算。定位精度据说可达到公认的100m以内。实际观测数据,根据测量时卫星的分布情况,在几秒钟内的定位,精度是数十米,与NNSS的观测精度相同或略高。若取较长时间的平均值,其误差也许会达到米的量级。因此,要达到大地测量意义上的精度,还需要有人造卫星的精密轨道信息。但是,能否象NNSS那样提供人造卫星的轨道的精密星历,目前还不清楚。

若能够利用P码,并使用 L_1 频带(1.5GHz)和 L_2 频带(1.2GHz)两组电波同时进行观测,则精度为公称的16m以内。不过,鉴于美国方面政策上的原因,利用P码,实际上尚

有很大困难。

使用相对定位方法，进行几公里到数百公里基线测量时，大概能够得到cm量级的精度。而且，还要特别指出，这时可以求出基线的长度和方向，即矢量。作相对定位时，不知道解码方法也能够同时观测两个频率，并作电离层影响的改正。此时，也需要相当于精密星历的轨道信息。将数组相对定位构成的观测系统组合起来，从中选出几个作为标准使用，由此也可自己作出精密轨道信息。

从测量技术上看，普通型GPS接收机与NNSS相同，用于海外基准点定位是有效的。而相对定位在基线测量以及稍大规模的测量作业中将发挥巨大威力。特别是它不必选定观测点和砍伐树木便能得到通视，这方面的优点是很突出的。但是，在隧道内则无法利用，因为来自人造卫星的电波无法达到这类地点。

介于普通型GPS定位与相对定位之间的方法是，在较近距离的区段，用两台普通型GPS接收机同时进行观测，以求其两点间的距离和方向。这种方法称为联测定位法，人造卫星的轨道和电波传播途径的误差可以相互抵消。这一方法将在第八章中介绍。

目前，由于GPS卫星数量尚少，能够观测的时间段一天中仅有几个小时。不久，可作连续测定（现预定1989年前后）。那时NNSS将很快完成其使命，停止运行。具体时间目前虽不能确切地作出估计，可能会在90年代中期更新换代。



1.3 GPS的研制过程

研制GPS这种利用人造卫星进行高精度定位系统的构想，起始于NNSS刚刚公开的60年代末期。

NNSS刚开始研制的时候，也是极为保密的。1967年7月，当时的美国副总统汉弗莱宣布了这一消息。在其后不久，编成的NNSS卫星跟踪控制装置手册中，便出现了GPS的字样。并且，为在150MHz和400MHz的NNSS接收频道上增设GPS使用的1.2GHz和1.5GHz的频道做了准备。

研制GPS的目的，在于改造NNSS的某些缺点（表1.1）。

NNSS有两大缺点：一是NNSS卫星不在观测上空时，不能作定位观测。二是定位观测至少需要10s以上的时间。

表1.1 NNSS与GPS的比较

	NNSS	GPS
轨道	近圆形轨道	圆形轨道
轨道高度	约1000 km	约20000km
周期	约100 min	0.5恒星日
卫星数	5—6颗	18颗（加备用卫星3颗）
频率	150MHz, 400MHz	1227.6MHz 1575.42MHz
调制方式	相移键控（PSK 调制）	PRN-PSK调制
定位方式	测定多普勒效应	测距
应用	船舶导航 大地测量基准点（或叫控制点）	船舶、飞机、火箭的导航， 校时，测量，地形变检测

若采用现在最先进的电子设备，NNSS同样能够在更短的时间内进行定位观测。但是，由于软件系统的原因，目前有许多地方仍在使用沿袭与研制初期相同方式的观测装置。

NNSS有不能进行定位的时间段和定位时间偏长的缺点，但是，对于船舶导航和大地测量基准点设置这类工作来说，并非大的缺点，而在应用于飞机和火箭那些高速运动物体的定位时，则是个问题。

另外，从技术上看，NNSS可能是以真空管为前提考虑的。在50年代计划研制NNSS时，晶体管才刚刚发明不久（1948年），使用真空管也是自然而然的。同时，当时用于定位计算的小型电子计算机也还不普遍。因此，当时的研制人员是如何构想的呢？这倒是个颇有意思的问题。

GPS的构思尽管很早，但是具体落实计划开始研制却在1972年。从那时起，美国国防部将所属各局原来分别各自进行的同类研究统一起来，开始由空军为主研制NAVSTAR/GPS。NAVSTAR是Navigation System with Time and Ranging（授时与测距导航系统）的简称。直到现在还有人称NAVSTAR/GPS。归并到该系统的其他计划，有海军的TIMATION（Time and Navigation，授时与导航）和空军的621B系统等。

这里把Time，即时刻和时间也许看得特别重要，甚至达到了令人不解的程度。时刻和时间不仅作为纯学术概念非常重要，而且在实际应用当中，准确的时刻也至关重要。这里所说的准确程度指的是 $0.1\mu\text{s}$ 量级。这是维持世界导航系统和跟踪宇宙火箭所必须的精度。

从GPS研制初期到今天这种方式得以落实下来，经历了各种各样的变迁。比如，在GPS实验准备阶段发射的NTS-1（Navigation Technology Satellite，1974.7.14发射），采用了叫侧音频测距的测距方法，这种测距方法与现在GPS所采用的方法不同。

现在的GPS是根据称为PRN Pseudo Random Noise，伪随机噪音）码的PSK频

谱扩展调制 (Phase Shift Keying) 方法进行测距的。这个问题将在第五章中详细叙述。NNSS是以真空管的能力为前提, 依靠的是模拟技术, 而GPS则运用了最先进的数字技术。

GPS的最初计划预定在三个轨道上各发射8颗卫星, 共计24颗。后来由于经费所限, 削减为6个轨道各发射3颗, 共计18颗卫星。

一般定位, 须同时观测到4颗卫星。18颗卫星虽然能够充分满足这个条件, 但与24颗卫星相比, 有些时候就会出现测定条件不理想的情况, 这也是无可奈何的。具体地说, 在4颗卫星中, 有2颗或3颗卫星总存在的情况下必须进行测定, 这个问题将在第六章中说明。

在将GPS作为NNSS的发展改进型进行研制的过程中, 同时也进行了相对定位精密测量的研制和实验。

这是研制开发VLBI(超长基线电波干涉法)的美国喷气推进实验室(JPL)和麻省理工学院(MIT)研究小组根据迄今的实验进行的。在此之前, JPL曾用干涉仪把ALSEP(Apollo Lunar Surface Experimental Package, 阿波罗计划中放置在月球表面观测月震等的装置)的电波接收下来, 进行了加利福尼亚州圣安德烈斯断层地区地壳形变的测定实验。使用ALSEP的理由是该射电源(射电星体)的电波功率比VLBI使用的射电源电波功率强得多。另外, 因为是人工射电源, 信号处理简便。可是, 不久ALSEP便停止了工作, 因此, 才转而着眼于利用更稳定的GPS电波。

之所以没有对NNSS进行相对定位的尝试, 是因为NNSS卫星的轨道高度不够, 只有约1000km。要用相对定位得到基线测定的精度, 轨道必须达到一定的高度。

利用GPS作相对定位基线测定, 与JPL和MIT在作法上稍有微细的差异, 但本质上是相同的。不过, 只限于测定数百公里以内的基线, 超过这个长度, 精度就会降低。对短基线没有特别的限制。可是, 在可以简单使用光波测距仪的地方, 则没有必要利用GPS作相对定位观测。

若打算以cm级的精度测定数百公里以上的基线, 只有借助于甚长基线射电干涉仪(或人工激光测距)的力量。

1.4 GPS的观测量与观测方法

GPS是利用人造卫星的定位系统。那么, 在实际定位时, 它求得的是该场地的什么量? 又是怎样来求这个量呢?

本节仅就一般GPS定位和相对定位两种方法的基本情况作一介绍。

前者的定位精度为100m以内(C/A码), 后者能以cm级的精度测定基线间的距离和方向。

还有一种较为特殊的用途, 就是能够由GPS得到非常精确的时间。时间的精度可比世界协调时UTC(世界协调时, Coordinated Universal Time)的精度高 $0.1\mu s$ 。在各国的国家标准原子钟的相互比测中, GPS的推广应用正日益加快。

1.4.1 接收装置

无论使用哪种方法进行定位观测, 地面上使用的仪器都是由接收GPS卫星电波信号的接收机和控制接收机、处理和输出数据的电子计算机组成。地面装置只接收信号, 不需发送信号, 故实际使用极为简易。电子计算机也是内装式小型微处理机, 因此, 整个体积非常小。

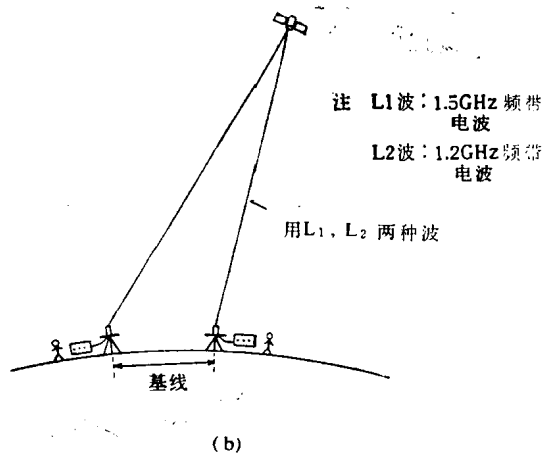
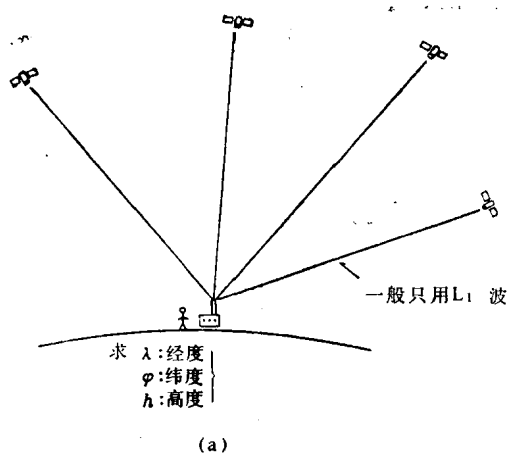


图1.3 GPS利用示意图

(a) 一般GPS定位可在1—数秒内以数十米的精度测定测站的自身位置

(b) 用相对定位测定基线矢量可以1cm的精度对数百公里以内的基线作三维测定

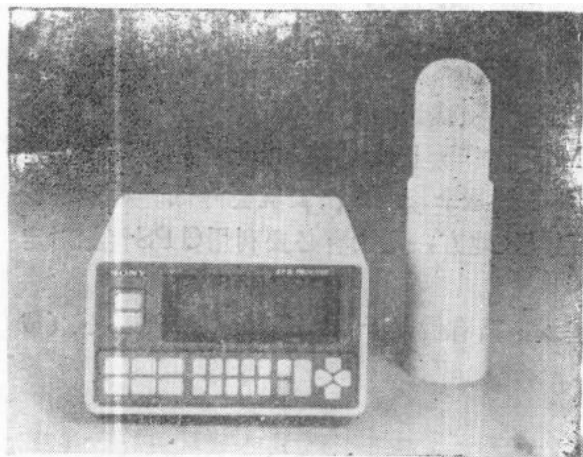


图1.4 GPS定位用的接收机和天线
(索尼公司提供)

所使用的天线，除特殊环境外，一般也很小（图1.4）。

利用一般GPS定位方法定位，只需使用小型无定向天线和一台接收机。

天线是无定向天线，不需要朝向GPS卫星作跟踪转动。接收机（内装微处理机）因生产厂家不同而有多种型号，但是一般机壳面板上都装有可显示自身场地位置经度、纬度和高度的表盘。

现在正在研制的一种超小型接收机，只有普通便携式收音机大小，天线和电池都装在机内，便于野外使用。研制中的还有安装在汽车上通过显象管显示的地图确定自身位置的车载

型接收机。

当然，许多船舶、飞机等导航专用要求更高的机种也正在研制中。

关键问题是这些仪器的价格。目前的价格昂贵。可是，接收机的主要部件与NNSS的基本相同，或是只增加了零星的新部件。固然，由于接收频率高，必须增添一些价格稍贵的超高频电子原件，还需要稍复杂的数字处理电路和电子计算机软件。不过，这并非大幅度提高价格的原因。

目前价格昂贵的真正原因是研制费的高昂和需求关系。从需要上来说，现在GPS尚未全部建成，18颗卫星还没有全部发射到空中，这对价格昂贵影响很大。

完全可以预计，当该系统全部建成以后，专用仪器的价格至少会降到接近NNSS价格的水平。GPS与NNSS完全不同的是，它可以用于汽车上和作其他一般民用，而民用接收机的价格应与高级磁带录象机和大屏幕电视机的价格差不多。这种说法似乎有些过分，但实际

考虑一下便能够理解。因为磁带录象机和彩色电视机所采用的都是相当复杂的电子元件。举一个明显的例子，磁带录象机曾经只用于电视台，对比一下作为电视台专用时的价格和今天家用商品的价格，就可以了解这一点。

GPS与NNSS的另外一个不同点是采用相对定位仪器能够得到1cm的精度。这是一个对测量技术和科学技术领域起巨大推动作用的主要因素。

1.4.2 普通GPS定位

普通GPS接收机只要接收到GPS卫星的电波，实际上几乎是在瞬间便能知道自身的位置。接收机从接收4颗GPS卫星电波开始到给出定位结果为止所需要的时间，因仪器本身结构和软件不同稍有差异，一般为1—数秒。作定位观测时，上空至少要有4颗运行着的GPS卫星。由于该系统尚未建成，一天当中只有有限的时间段满足这一条件。

GPS卫星的周期是0.5恒星日(11h58min2.05s)。目前，能看到4颗或4颗以上GPS卫星的时间段，每天约提前4min。

待该系统建成，18颗卫星全部投入运转后，不论什么时候，视野内都至少能有4颗卫星，那时，将随时都能够进行定位观测。

接收机内一般都装有简单的石英钟，时间精确度校准到数分之内。这种石英钟与我们日常使用的石英手表、闹钟差不多，但其电源与接收机系统不同，多采用内装的小电池驱动。若接收机不带上述石英钟，在接通电源时，必须将面板上显示的时间校准到几分钟的精确度。

这样，有的接收机就可以直接作定位观测了。但也有的接收机还需要输入测站的大体位置。

接着，接收机内的微处理机要对当时测站上空的GPS卫星是18颗中的哪4颗，并且，若有4颗以上的卫星在视野内，哪4颗观测条件最佳，进行计算选择。

在知道了哪颗卫星正处于可以接收的状态，即了解到卫星的识别编号后，就可将其4颗卫星的C/A码(可能接收时为P码)，由电子计算机中的ROM(专读存储器)读出，然后送入接收部分。

这需要事先将18颗卫星的码预先输入接收机内的ROM(实际上不是输入码本身，而是将发生码的电路的组合情况输入ROM)。这项工作是由接收机的制造厂家完成的。

码形相当于解译密码的随机数表。只要接收机同时收到来自4颗或4颗以上GPS卫星的电波与随机数表一致，便是有意义的信息，就能够把它与其他电波分离并接收下来。这个问题将在第五章中详细叙述。

通常，接收机是解译4颗卫星的信息然后进行定位。因机种不同，也有的接收机是解译处理上空视野内所有卫星的数据。

解译的信息分如下两大类：(1) 来自4颗卫星的最新轨道信息；(2) 根据卫星上极精确的原子钟得到的所接收电波离开卫星的时间。根据这两大类信息计算自己的位置。

计算过程也分两个步骤。

由4颗卫星的轨道信息(轨道参数)，计算该瞬间每颗卫星的三维空间位置。

这是第一步计算。

根据卫星时钟记录的电波发生时间和接收机内时钟记录的电波到达时间之差，求出电波到达测站所需要的时间。