

7762

f6.288
28808 赠阅

GPS 译文集

GLOBAL POSITIONING SYSTEM

孙廷萱 肖庆达 方荣颐 选编



中国计量出版社

GPS 译文集

孙廷萱 肖庆达 方荣颐 选编

中国计量出版社

内 容 提 要

由美国研制的卫星导航工程——导航星全球定位系统（简称GPS）即将组网投入使用。该系统包括18颗配置在三个相互交角为 120° 的轨道面内的卫星。这就保证了全球导航覆盖和三维定位能力。该系统具有很高的精度，能满足地球动力学、大地测量学、地震预报等方面工程和研究的需要。也能快速、精确地给海下舰船、石油平台、空中飞机及飞行中的导弹、卫星、飞船等定位。所以这种技术为全世界所瞩目。

这本译文集的资料全部取自1986年国际大地测量第四次空间定位会议和1987年IUGG大会的最新文献，包含了GPS原理、观测、仪器、软件及大量的实验文献。可供有关科研、工程技术人员及大学师生参考。

GPS 译 文 集

孙廷萱 肖庆达 方荣颐 选编

责任编辑：方荣颐

中国计量出版社出版

北京和平里11区7号

外文印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本 $787 \times 1092/16$ 印张24.75 字数695千字

1989年9月第1版 1989年9月第1次印刷

印数1—2000

I S B N 7-5026-0298-4/BT·247

定价：10.50元

前 言

经典大地测量经历了漫长岁月，才从研究静态地球步入研究动态地球，从宏观进入微观实测，从大陆漂移转入地球内部不同层位之间联系的研究，从二维空间进入三维测量。空间技术，尤其是导航星全球定位系统的实际应用，无疑推进了地球科学研究领域之深化与开拓，对重大工程建设项目（石油海洋平台、卫星、飞船等）的精确定位也产生了历史性的重大变革。若顾及时间参数，则这类技术使测量工作涉入四维大地测量的范畴。这为研究地球动力学、地球物理、岩石圈动力学，乃至地震预报等，都提供了全天候、全覆盖、高精度的四维变化参数，故为今日世人所瞩目。

建立板块理论的二十多年以来，地幔对流驱动板块运动已成为一种通用假说，然而迄今为止，无法言清大陆板块对地幔的反影响。两者均缺少大量准确的四维大地测量资料作佐证，使计算流体力学方法研究的双向动态反馈作用受到明显的制约。GPS 大量资料将有助这一工作的推进。

在地震预报研究的实际过程中，人们对构造形变、近场形变、区域形变以及大尺度的全球形变的研究，越来越深感兴趣。把各类大尺度形变置于一瞬时大系统中，这只有利用空间技术，尤其是近年来发展的 GPS 技术才能保证其功能的充分利用，以及资料的完整性。

这本译文集搜录了当前国际上 GPS 研究领域中的—些有代表性的文章，充分反映 GPS 的一些前沿课题的研究成果，无论从大地坐标系、轨道参数、定位理论、观测技术、数据处理方法，还是计算实例等方面，均展示了世界各国的先进理论与先进方法。文集结构与内容，完全显示本书的系统性与完整性。这是一本理论、方法、技术与实用并重的书籍，既有科学性，又有实用性。文集的出版，无疑将对正在发展中的我国 GPS 观测与研究有着重要的借鉴作用。从而使我国地球科学的研究进入一个新的境界，使国家重大工程的定位精度与速度趋于更为合理，具有更高的经济效益。

编者者别具匠心选此题译出奉献世人，令人起敬。愿更多读者同享其益。

陈鑫连

1988年10月

目 录

前 言

一、GPS 现状、计划与实例	(1)
1. 导航星 GPS 1986年状况与计划	(1)
2. 1986年冰岛 GPS 野外大地测量会战	(8)
二、1984年的世界大地坐标系统	(14)
1. 1984年世界大地坐标系统	(14)
2. 1984年世界大地坐标系的地球重力模型	(24)
3. 1984年世界大地坐标系在精密轨道确定及测站定位中的试验	(37)
4. 先进技术出现后的大地坐标高程系统	(44)
三、卫星轨道的确定	(54)
1. 国防部制图局1985年子午卫星的轨道确定	(54)
2. 加拿大子午卫星站的实时多普勒数据的质量分析及卫星轨道校正	(60)
3. GPS 卫星轨道的确定	(67)
4. GPS 和陆地卫星5号 精确轨道的测定	(68)
5. 1985年3月地面实验对 GPS 卫星轨道的测定结果	(76)
6. 利用区域网双差分载波相位观测结果确定 GPS 轨道	(85)
7. GPS 轨道的确定和结果分析	(96)
8. GEOSAT—精密归算和模拟 卫星跟踪数据的计算机程序	(102)
四、GPS信息接收技术	(107)
1. CMA-722B 与苹果机对接的接收机技术	(107)
2. TI-4100 接收机系统性能测试	(112)
3. MACROMETRY (SM) 野外观测总结	(119)
4. MACROMETER II (tm) 型便携式 GPS 测量仪	(124)
5. MINI-MAC (tm) ——新一代双频测量仪	(127)
6. GPS单频C/A码实时 I 等测量	(132)
7. 使用 Trimble 4000A 型 GPS 定位器的简易差分方法	(141)
五、大地测量定位理论与方法	(147)
1. 高质量 GPS 大地测量的误差特征：时钟、轨道和传播效应	(147)
2. GPS 接收机天线中的多路和影象问题	(154)
3. 微波频带估算对流层路径延迟的局部模型	(160)
4. 一种新型水汽辐射计 (WVR) 的设计	(166)
5. 用群速和相速确定电离层改正	(171)

6. 单频 GPS 观测值中的电离层折射改正	(178)
7. MACROMETER V-1000 接收机的非差分相位资料中的跳周处理	(184)
六、大地测量 GPS 定位的数据处理	(194)
1. 用不同算法处理 GPS 数据所得结果间不符值的意义	(194)
2. GPS 不同定位模式的精度比较	(201)
3. 数据加权不当引起的 GPS 定位偏差	(217)
4. 应用多余参数消去法得到等价线性模型 (用于 GPS 观测值处理)	(223)
5. 结合先验信息和具有定轨能力的 GPS 网平差	(230)
6. 利用非差分载波相位测量值进行 GPS 网平差	(239)
7. 空间大地测量中求解线性最小二乘问题的新解法	(249)
8. 在加密平差中 GPS 向量的使用	(256)
七、子午卫星大地测量的应用	(262)
1. 不同软件所得的非洲多普勒计划的定位结果的比较	(262)
2. 应用卫星确定斯勘的那维亚地区几何大地水准面的结果	(269)
3. 子午卫星和 GPS 在欧洲大地网重新平差中的应用	(272)
八、GPS 的定位试验及其应用	(278)
1. 在大地控制网中使用 TI-4100 GPS 接收机的多站定位结果	(278)
2. GPS 测量精度分析的初步结果	(285)
3. 用1985年3月 GPS 野外试验资料论述基准概念	(289)
4. 国防部制图局水文及地形测量中心的 GPS 单点定位软件的初步结果	(293)
5. 1985年春 GPS 精密基线试验中各测站绝对点位的求解	(307)
6. 用对话式软件包对1985年春高精度基线试验的初步分析	(313)
7. 1985年春 GPS 试验期间 OVRO-MOJAVE 基线的测定	(319)
8. 利用 MACROMETER II (tm) 双频测距仪建立三维大地测量网	(328)
9. 10到100公里基线的单频和双频的 GPS 观测结果	(334)
10. 利用编码和载波相位跟踪 GPS 接收机进行精密大地测量	(342)
11. 地面和卫星联合控制网的精度问题	(353)
九、在大地测量和地球物理应用中的动态定位	(361)
1. TI-4100 GPS 接收机在运动平台上的精确定位结果	(361)
2. 厘米级动态差分 GPS 定位	(369)
3. 地面 GPS 动态定位试验	(375)
4. GPS 精度分析结论及其用于 WEGENER 计划的可能性	(385)

一、GPS 现状、计划与实例

导航星 GPS 1986年状况与计划

William L. Stein

摘 要

位于洛杉矶空军基地的空军系统指挥部空间局的联合计划办公室负责开发导航星全球定位系统 (GPS)。GPS 用来给有相应设备的用户提供属于全球通用坐标系的精密定位、速度和授时信息。目前, GPS 计划已接近全面的工程发展阶段的末期。这一阶段已验证了对军事和非军事用户的 GPS 原理的运转效能。本文简要地描述了 GPS 及其现状、计划和进度表。星历表在位置求定中影响着地面和空间部分。本文讨论了标准定位工作与精密定位工作的预期系统精度。

一、引 言

1973年, 国防代理秘书指示成立了联合计划办公室, 以研究、试验、获得和推广星载定位系统。命令将独立的空军和海军的研究力量统一起来。由于这一共同努力, 产生了导航、卫星、授时和测距 (NAVSTAR) 全球定位系统 (GPS) 的概念。GPS 是一个以卫星为基础的全天候无线电定位、导航和时间传递系统。GPS 高精度能力对其用户是极为重要的。例如, 数量不受限制的用户能在被动的环境里同步地利用系统而且所有的都在一国际范围通用的坐标参考系统中。GPS 是抗干扰的, 而且只有获准的用户才能获得全系统的精度, GPS 在军事与民用中有广泛的用途。

GPS 计划作多种服务的努力并由联合计划办公室与指定作为执行勤务的空军一起来管理, 在联合计划办公室中参加的部门和机构包括空军、陆军、海军、海军陆战队、国防制图局 (DMA)、交通部 (DOT)、北大西洋公约组织。宇航局提供全面系统工程和综合保证。一个里程碑式的关键计划于1979年8月以国际系统控制审查委员会 (DSARC) 的结果出现了。DSARC 决定走出原理证实阶段而进入全面规模工程发展 (FSED) 阶段。FSED 阶段通过试验性的和初步的运用试验和评估 (DT&E/10 T&E) 计划, 证实了 GPS 系统的广泛性, 并确定了其可运转性及承载能力的要求。FSED 阶段得以研制和生产待发射的工作卫星。运转控制系统 (OCS) 已启动而用户装置的设计图形也已接近完成。1986年5月, DSARC IIIA 将确定用户设备的有限度的初步生产 (LRIP) 进度表, 计划概述 (图1) 总结了目前所知的 GPS 计划的过去和未来。

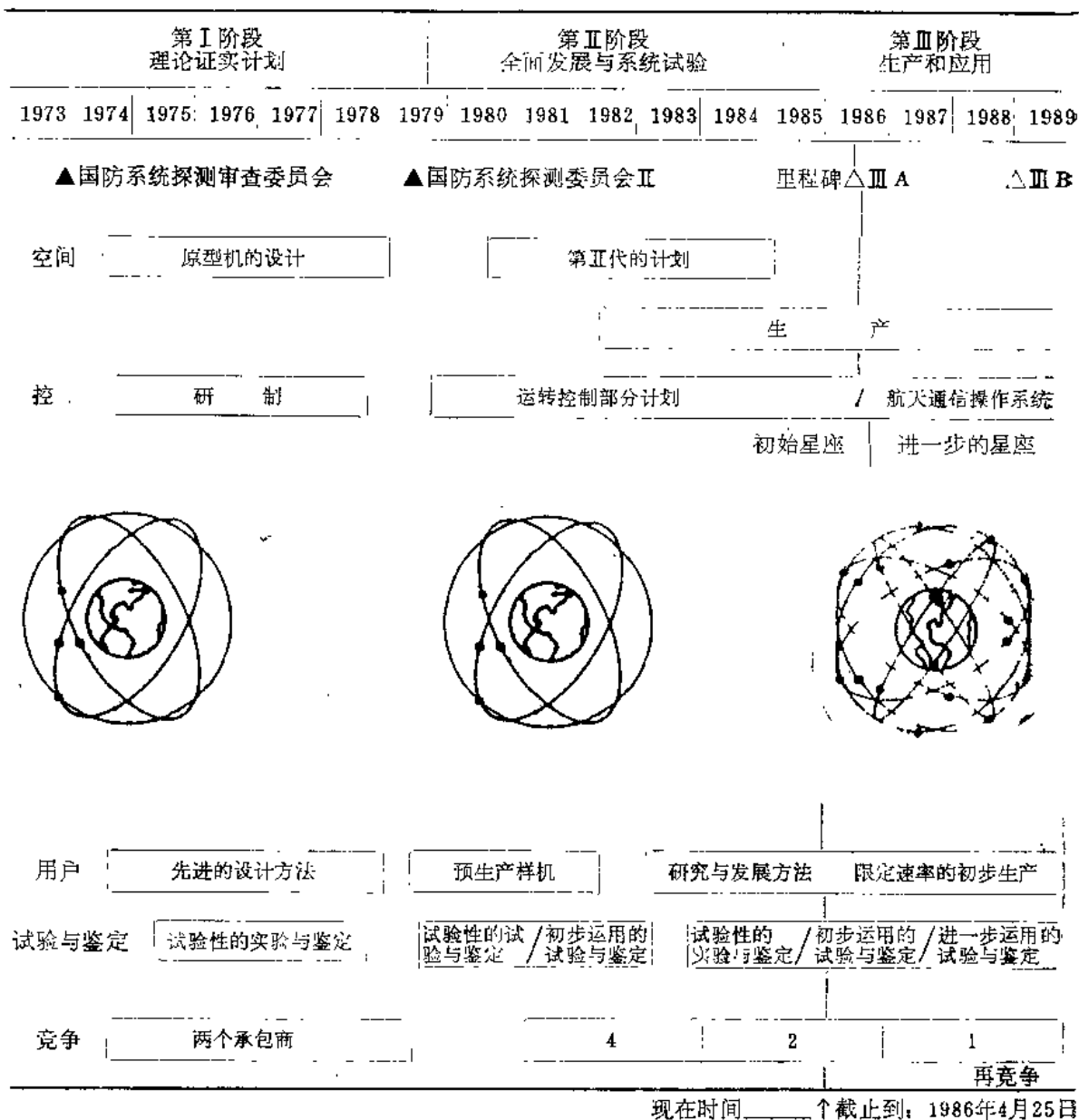


图1 NAVSTAR计划一览表

二、系 统 描 述

当全面运行时, GPS 星座将由18颗卫星和3颗运行着的备用卫星组成。所有的卫星都在周期为12小时的轨道上, 工作星座对有 5° 遮蔽角的用户能看见的卫星一般将有4颗或更多。名义上, 如果用户要测定绝对位置需从4颗不同的 GPS 卫星上接收信号。一颗 GPS 卫星用两种不同频率 L_1 和 L_2 给用户传送信息。空间飞行器 (SV) 上的所有频率和授时信息都从由卫星标准频率10.23兆赫累积放大而产生的并与之同步。 L_1 参考频率 (RF) 为1575.42兆赫而 L_2 参考频率为1227.6兆赫, 这两个频率使用户能改正信号传播中的电离层延迟。信号用两种码调制: 即精密测量提供的P码和易于锁定和转给P码的 (C/A) 粗略/搜索码。

这两种码是由卫星上的伪随机噪声集成电路片生成，P码是一个长码，它调制到每秒10.23兆位而且每七天重复一次，但不易捕获。C/A码是一短码，调制在每秒1.023兆位，每1毫秒重复一次，它给出了时间的粗略观测值。 L_1 信号被调制到P码和C/A码上，而 L_2 信号仅调制到P码上。 L_1 和 L_2 两个信号都以50 BPS连续地调制到导航信息比特流，用户发射相同的电码，旋转它直至与SV信号相关，就可以测定到卫星的伪距。为了更好地了解GPS信号结构以及对导航信号的描述，请分别参看Spilker的文献^[1]，^[3]和Van Dierendonck等人的文献^[2]，^[3]。

运行的GPS将给出两种不同的导航服务工作，精密定位工作(PPS)将提供较高的精度。PPS信号是保密的P码而且最初仅由美国和有选择的联盟军事用户才能使用。如果这种应用是服务于国家利益，能提供适当的保密措施而且通过其它来源不能获得可以比较的精度，那么有限的民间用户经批准后可接收PPS。所有的C/A用户可公开地使用低等级的精度，这一工作叫做标准定位工作(SPS)。美国联邦无线电导航计划(FRP)陈述中的现行的DOD/DOT方案使GPS以95%的置信水平得到二维坐标精度为100米。为了更全面地了解GPS的工作原理，我们需要研究GPS的各组成部分。GPS可分成三个主要部分：空间部分、控制部分、用户部分。

1. 空间部分现状与计划

目前的GPS卫星星座由七个研究和试验Block I导航卫星组成。首批4个空间飞行器已于1978年发射，最后一个于1985年10月发射。11个Block I飞行器中的10个是由宇宙神-F发射火箭于加利福尼亚州范登堡空导基地成功地发射的，7颗卫星(NAVSTAR 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11)正以稳定的原子频率标准运行，并提供非常可靠的导航信息。一些卫星已经超过5年的设计使用寿命。Block I空间飞行器的一个关键是铯和铷原子频率标准的稳定性能在其轨道上生效，这种时钟的小数位长期项频率稳定度达到了每天 10^{-13} 量级。卫星试验星座的初步作用是保证用户装置的DTSE和10 TSE。试验星座被设计构成对亚利桑那州，陆军尤马试验场的最佳覆盖范围。Block I卫星分布在经度相隔 120° ，与地球赤道倾角为 63° 的两个轨道面上。

由于DSARC11指示调整计划，计划运行星座由24颗卫星减少到18颗。目前的计划要求将卫星均匀地分布在空间倾角为 55° 的6个轨道平面上。轨道接近于圆形，高度接近于20183公里(10898海里)，轨道周期为12恒星小时，各轨道平面相隔的经度为 60° 。每个平面有相距 120° 的三颗卫星。相邻平面的相位差为 40° ，例如在某一个平面上的一颗卫星将比位于其西边相邻的那个平面上的卫星超前 40° (在北边)(卫星自南向北运行)。有三颗在轨道上运动的备用卫星准备补充这18颗卫星。位于每个其它平面上的三颗备用卫星用提供快速进入轨道重新定位的能力来使星座的运转性能的退化降至最小。同样，对于位于特定地区的用户，备用卫星将使其覆盖区域增大和精度提高。Block I轨道参数的选择给我们带来了每日重复的地面轨迹。这一结果，加上在18颗工作卫星间已配置合适的备用卫星，意味着世界范围的地面用户(有 5° 的遮蔽角)将总有4颗或更多颗可见的卫星。然而，由于图形结构不好，将有某些地区，在该区域内预计退化的性能在一天的短时间内可能出现。工作星座的建立及退化区域的范围的更详尽描述见Porter等人文献^[5]。

Block II卫星和更高阶段将由空间运输系统(STS或宇宙飞船)在佛罗里达州、肯尼迪空军中心的Canaveral角发射进入驻留轨道。宇宙飞船允许装置到3颗卫星，较高级的有

效载荷辅助舱更高阶段将最先把卫星发射到转换轨道，最终引入标准漂移轨道。每颗卫星在发射的两周内即可使用。然而，由于挑战者号事故（1986年1月28日），Block I 卫星的利用上将有些推迟。以前，Block I 卫星的第一次发射安排在1987年1月。从设计来看，美国国家宇航局的一个新的声明设想于1987年2月恢复航天飞机的飞行，于1987年8月中旬在第15次航天飞机飞行时发射携带有按计划的第一颗 Block I GPS 卫星。这很可能是一个最优方案。联合计划办公室正在研究各种发射对策，而其中之一是既用能往返的飞船也用带有 PAM D-2 的不能回收的运载火箭。

2. 控制部分现状与计划

操作控制系统（OCS）于1985年9月开始使用，操作控制系统由主控站（MCS）、三个地面天线（GA）和5个监测站组成。广泛分散着的监测站位于 Kwajalein, Diego Garcia, Ascension, Hawaii 和科罗拉多的 Falcon 空军基地，每个监测站使用铯原子频标利用接收机来跟踪GPS卫星。每个监测站的位置由国防部制图局精密地测定过。在每个轨道运转时，Block I 卫星可被监测站跟踪到其轨道周期的90.6%—100%。每个监测站综合1秒伪距观测数据以及电离层与气象数据，计算每15分钟观测的平滑数据，每个监测站把这一数据传送到位于 Falcon 空军基地的联合空间操作中心（CSOC）在同一地点的主控站。主控站用卡尔曼滤波处理这15分钟平滑的数据，为每颗卫星编制星历表和时钟状态预测。主控站利用这些结果制作导航注入信息。注入信息由主控站传递到位于 Kwajalein, Diego Garcia, 或 Ascension 的三个适当的地面天线之一。地面天线是提供接收来自和传递到 GPS 卫星的 S 波段设备。名义上，每个 GPS 卫星由一地面天线每8小时注入一次信息。如果控制系统不能使用，在每个卫星中可以得到预先存入的导航信息，以提供一个14天的预测时段，在此时段期间，用户的测距误差从16米逐渐降低到200米。

不久，主控站将接办加利福尼亚州 Sunnyvale 空军卫星控制实验室（AFSCF）Block I 宇宙飞船的全部控制（包括遥测技术，跟踪和指挥）。操作控制系统也有一有限 L 波段能力和第4地面天线（没有多余部分），该天线位于为提供发射保障能力的东部空间和导弹中心（ESMC）。东部空间和导弹中心地面天线受发射距离的限制。最后，与联合空间操作中心的自动接合遥控跟踪站的配合操作可对飞越美国的 GPS 空间飞行器提供注入连接。连接装置将由即将设立备用主控站的空军卫星控制实验室来维护。

美国海军天文台（USNO）和国防部制图局，为操作控制系统提供与 GPS 时协调的世界时及提供地面定位数据供在主控站 GPS 星历表计算中使用。今年夏天美国海军天文台准备在 Falcon 空军基地监测站上安装一套铯原子钟。这套钟将使美国海军天文台能更精确地把 GPS 时间调整到协调的世界时（UTC）。最后，海军研究实验室将用一套氢脉塞频率标准取代美国海军天文台的铯原子钟。操作控制系统的进一步增强包括增加导航数据应用和持续时间的期限。一旦足够的 Block II 卫星进入轨道，并证明操作控制系统在这一时期是运转良好的，那么操作控制系统将正式把操作和维护移交给空军空间指挥部（AFSPACCOM）。在这期间，空军空间指挥部在继续保障操作控制系统工作以前，联合计划办公室仍负责操作控制系统。关于操作控制系统更详尽的描述由 Francisco 的文献^[6]中给出。

3. 用户部分的现状与计划

联合计划办公室用户部分是负责研制用于陆地、海上、空中的军事用户设备。联合计划办公室用户设备由天线子系统、接收机、数据处理机和一个控制显示单元组成。这些设备计

算属于国防部 (DOD) 国际大地坐标系 (WGS 84) 参考系统的地心坐标。这些坐标能被转换成 46 个其它局部大地坐标系之一, 转换成统一横轴墨卡托投影格网坐标或者表示成军事格网参考系。有关第 II 阶段用户装备广泛的 10 TzE 计划刚刚完成, 试验结果证明存在一些问题, 并且正在为第 III 阶段设计中改正这些缺陷而努力。这些努力将包括加强方案的可靠性, 更好的部件筛选、测试、分析和固定方案以及保证和激发装置。在用户设备合同中的保证和鼓励条款, 国防系统探测审查委员会将于 1986 年 5 月 15 日举行。那时, 将决定是否继续进行第 III 阶段用户设备的有限度初步生产的多少套需要设备。联合计划办公室用户发展计划的主要目标是研制易于成形的模件化设备以满足 DOD (通用性/互换性) 的所有部门和机构的需要, 这些装置将在使用周期内有最低的费用, 这些装置将具有 GPS 的全部固有精度和实时工作效率。未来对这些用户设备的进一步提高能够对惯性导航系统提供连接装置, 提供准确的时间及时间间隔数据以及差分的工作状态。

三、GPS 性能

精密定位工作可以期望提供精度为 16 米 (球面或然误差) 未滤波观测值。标准定位工作精度将提供的精度为 76 米 (球面或然误差)。许多用户在如何解释 GPS 系统性能方面存在着混乱状态。这一混乱状态是由于叙述性能的文献中增加了所用的术语而引起的。GPS 性能是由所有各部分的误差源的综合影响而确定的。由三个部分对 P 码和 C/A 码引起的 GPS 用户测距误差预测由表 1 给出。总的系统用户测距误差 (均方根) 对 P 码是 6.5 米, 对 C/A 码在 10.8 米到 13.8 米之间。用于描述 GPS 精度的各种不同项目中, 最有效的是取决于用户的用途和他的设备。对特殊用途最有效的一项则取决于用户的任务和设备。GPS 性能不同的表达式意味着使用不同的乘数, 以把用户测距误差转换成用户设备误差。

一个主要的导航误差源, 正如用户所看到的, 是 4 颗跟踪的 GPS 卫星在几何上空间的和瞬时的变化而引起的。这一影响用精度的几何弱化率 (GDOP) 参数来表达。GDOP 的更全面的解释及其推导可参见 Millikan 和 Zoller 的文献^{[3], [7]}。对用户具有最好几何图形的四颗卫星可由用户的设备, 研究最好或最低 GDOP (GDOP 值越小, 用户的位置和时间上的误差越小) 精度的几何弱化率的子集是 PDOP (精度位置的弱化率)、HDOP (精度的水平位置或二维弱化率)、VDOP (精度的垂直弱化率)、TDOP (精度的时间弱化率)。

多数民用导航用户对水平位置误差感兴趣。距离的均方根 (drms) 或径向均方根误差是这种测量的常用术语。然而, 对于一给定的误差测定值, 距离的均方根不相当于一个固定的概率百分比 (见 Kalafus 和 Chin 的文献^[8])。这一误差可以定义为 $\text{drms} = \text{HDOP} \times \text{URE}$ (这里概率范围从 63.2% 到 68.3%)。就联邦无线电导航计划而论, 它定义为 $2\text{drms} = 2 \times \text{HDOP} \times \text{URE} = 100 \text{ 米}$ (这里概率范围从 95.4% 到 98.2%)。

然而, 许多军事用户经常使用或然误差的概念。或然误差定义为中位数或 50% 误差水平。例如, 在水平位置情况下, 圆或然误差 (CEP) 是指圆的半径有 50% 的值在该圆内。联邦无线电导航计划规定: 把 CEP 转换成 2drms 要乘以 2.5。三维情况下的球面或然误差概念类似于圆或然误差。

表1

GPS 用户测距误差预测

GPS 部 分	误 差 源	误差值 (以米为单位)	
		P—码	C/A码
空间	时钟和导航子系统稳定性	3.0	3.0
	L波段相位误差	0.5	0.5
	空间飞行器扰动可预测性	1.0	1.0
	其它	0.5	0.5
	该部分总的用户测距误差		
	最大值	3.2	3.2
控制	星历表推算和模型建立	4.2	4.2
	其它	0.9	0.9
	该部分总的用户测距误差		
	最大值	4.3	4.3
导航用户	电离层延迟校正	2.3	5.0—10.0
	对流层延迟校正	2.0	2.0
	接收机噪声和分辨率	1.5	7.5
	多路效应	1.2	1.2
	其它	0.5	0.5
	该部分总的用户测距误差		
	最大值	3.6	9.3—12.7
系统	总的系统用户测距误差	6.5	10.8—13.8

在三维情况下,均方根误差定义为 $RMS = PDOP \times URE$ 。在会出现退化性能的地区,均方根误差可能变得很大。可是,对某些用户有办法使这种影响变小。例如,对海上用户,高度或垂直位置的参考面假定为平均海水面。因此水平位置误差不应降低,因为垂直位置的求解受到约束。对有些用户,如果在退化覆盖区域内关心精密导航,那么更精密的用户时钟是有用的,在求解时约束时间参数。

表2示出了用前面提到的各种术语表示的精密定位工作和标准定位工作用户的GPS系统精度。如表2所示,标准定位工作性能取决于SA是否运行。如果利用GPS的差分观测方式,用户的性能可以得到显著的改善。在一种建议的差分观测方式中某一给定的方法,在

表2

精度比较

基线观测方式	精密定位工作	标准定位工作	单位
位置(球或然误差)	16.0	76.3	米
位置(2倍距离均方根)	21.0	100.0	米
位置(圆或然误差)	9.1	43.7	米
时间(1 σ)	100	215	毫微秒(10 ⁻⁹ 秒)

—精密测定过的点位上，将有台站式的差分接收机。这一接收机将播出消去 GPS 系统的许多误差的校正值。联合计划办公室正在研究为它的用户设备装备差分 GPS。Beser 和 Parkinson 的文献^[9]中对有关差分 GPS 的许多应用作了广泛的评述。

四、GPS 通信现状

GPS 仍处于研究和实验 (ReD) 阶段。因而，来自 Block I 卫星的信号在不作预先警告的情况下会作改变。为了支持政府的试验，卫星载体可能发送改变了的不能使用的信号，而且信号可在任何时刻接通和截断。警告用户：在研究和试验阶段使用 GPS 定位，导航传递时间及其它应用，将由其自己负责。然而，有办法使用户得到有关 GPS 现状的信息。这一信息能帮助用户了解什么会影响用户设备的运用。控制部分每15分钟监测 GPS 星座的状态和运转性能。在规范之内，如果导航误差超限或如果一卫星不根据技术参数运转，那么这些信息将被主控站传播。记录电文给出 GPS 的状态，并根据一个常规偏差或无论异常情况何时发生，其状态每天都被校正。其状态信息能被调谐到303/683—3657而得到。主控站也由电文传输而传播情报。这些情报警告用户预先计划 GPS 事项，如卫星轨道调整或宇宙飞船时钟调整，这一情报也描述（事后显著的）卫星或控制部分的异常情况，这一异常情况可以象被用户觉察到的那样干扰 GPS 的运行。联合计划办公室用户部分使用陆军尤马试验场的转换距离控制中心的一时钟控制系统。通过调谐到602/628—3162可以得到计算机的布告栏。美国海军监测站根据世界时来调节 GPS 时间，通过调谐到202/653—1079可以得到布告栏或利用数据服务。最后，希望得到 GPS 信息的用户，可按如下地址写信：

6592 ABG/DAD

Documentation / Publication Branch

P.O. Box 92960 WPC

Los Angeles AFS, CA 90009—2960 USA

五、结 论

导航星 GPS 到1990年将成为一个实用系统。这种独特的定位，导航和时间转换系统将通过实时通用地球参考系提供出从未有过的精度。不受限制的用户数目将能跟踪所有时期的至少4颗第 I 代卫星，并能在所有天气条件下连续地接收导航信号。标准定位工作用户得到76米或然误差椭球，只有精密定位工作用户可以得到整个系统精度（16米或然误差椭球）。仅第 I 代卫星的星座将在1987年的多数时间内可以得到实验。这种试验星座在短期内测定操作控制系统的执行，而用户装置的运行方面仍存在偏差。

杨治吉 译 孙廷董 丘其亮 校

1986年冰岛GPS野外大地测量会战

Gillian Foulger 等

一、前言

多年来,地球物理学家们一直在从事导航卫星定时和测距(导航星)GPS区域的和精密的大地测量方面的研究工作(Bossler, 1984),以期达到严密监控区域范围的新构造运动的目的。1986年间,在加州、墨西哥、加勒比和新英格兰对这种方法进行了野外实验。1986年最庞大的计划要数冰岛测量,它邀请了九个国家的30多个科学家,动用了26台TI-4100接收机,还涉及二十所不同类型的大学、研究所和公司的努力。本文扼要地叙述了这次野外会战及其数据处理。

二、GPS测量法

GPS测量用专门的接收机记录导航星GPS卫星广播的码信号。同时记录下的由同一组卫星发出的信号经过处理后可以提供地面控制两点间的三维矢量长度。通过观测地平线以上4颗或更多的卫星可获得高精度(Wells等, 1986)。

GPS测量与传统大地测量相比有下列几大优点:

(1) 100公里以上的基线,水平方向的精度大约1厘米,垂直方向(高度)的精度大约2厘米。与地面大地测量相比,其精度要提高一个量级(King等, 1985; Strange, 1985)。

(2) 地面控制点间无需通视,这样,在条件恶劣的地区亦能进行测量,而且可根据具体情况方便地(如:路边)来进行定位。这可在典型活动构造区这类恶劣环境地区,大大提高测量速度,且耗费缩减。

(3) 用数台接收机同时进行观测,几天便可测量几百条基线;即,如果用 n 台接收机,可测量 $n(n-1)/2$ 条基线(Bock等, 1985)。

(4) 尽管在实践中,由于已知卫星轨道的精度使千公里的基线在精度上受到限制,但仪器对可测量的基线长没有限制。

当前限制可达精度的因素有:轨道误差、接收机钟差的误差和速率变化、相位观测数据中的识别整周和半周的跳周问题以及电离层和对流层传播速度误差引起的信号延迟。如果采用卫星广播的轨道参数,则精度限制在百万分之几。如果采用精确计算的卫星轨道和观测期大气条件改正的数据,则精度可接近 0.1×10^{-6} (Beutler等, 1985)。

三、冰岛的构造条件

冰岛是一个十万平方公里,在纬度65°横跨中大西洋脊的火山岛。它的形成是因过分的火山作用所致,与高出海拔2公里的玄武岩火山堆积的大洋中脊冰岛热点有关(Vogt,

1983)。北大西洋的磁异常和破裂带的研究表明,在东北方向 100° 处,整个扩散率为2.2厘米/年(Bjornsson, 1983)。由于该板界接近地表,因此,冰岛提供了一个比在海底更可能详细研究堆积构造机制的难得机会。

中大西洋脊向岸和横跨全国,构成连续的新火山带(图1),那里,集中了冰期后的(<1000 年)火山活动。此带由约25个火山系统组成,大部分包括中部火山和裂隙群。这些裂隙群均为浅地堑结构,且在新火山带内按行结构分布。1975—1985年间,Krafla火山系统的复活表明了地壳堆积的机制与运动学特征,观测到地壳加宽8米,相对垂直地壳运动达2米(Bjornsson, 1985)。与人们通常预想的板内那种连续而缓慢运动相比,这种活动显然证明了水平与垂直构造运动之间的相互作用和板界处地壳延伸的高间发性。

冰岛的板界还包括 $M > 7$ 的地震活动的两个复杂的转换断层带。在 Tjornes 破裂带北部,至少有三个平行断层,它们主要位于近海,但在北冰岛延伸到陆地(Einarsson, 1976)。在南部,80公里长的破裂带连接着新构造带的两条平行分支。那里发生多次或一系列破坏性

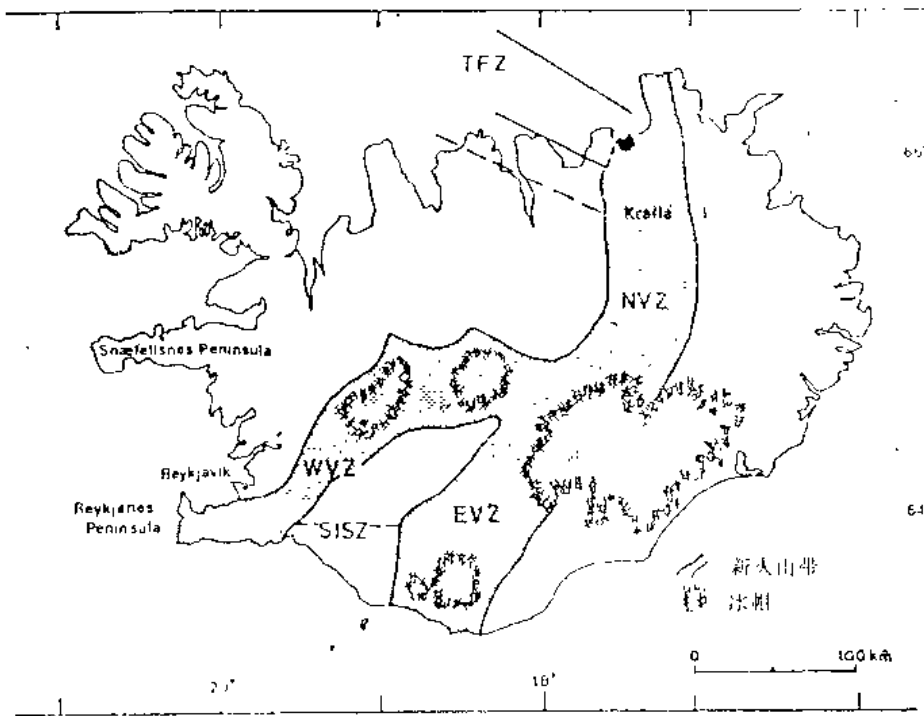


图1 冰岛的构造略图

TFZ为Tjornes破裂带; NVZ为北火山带; WVZ为西火山带; EVZ为东火山带; SISZ 为南冰岛地堑带。
阴影部分表示新火山带。

地震的时间间隔为50—100年(Einarsson等, 1981年)。根据1986年出现最后的主序列,预计10—20年内可能发生7级以上的新地震活动。

四、测量目的

该计划目的在于提出几种不同的新构造的论点,并补充冰岛现有的大地测量网。

(1) 该计划的主要目的是在南冰岛地震带建立一个大规模的测量网。重复测量将监控

伴随该处预计的破坏性地震序列的同震地壳运动，还可探测前震形变。

(2) 对复杂断裂带的重复测量最后可能揭示该岛的扩张规律(对此规律目前还了解甚少)和不连续的雁行裂隙群间的动态关系。

(3) 可由北冰岛的一个网来监控继 Krafla 扩散幕之后的板内区域的应变消除，这将提供有关上地幔流变学的信息，并探测不连续构造单元(如断层脊和转换带)之间的应力转换。

(4) 局部冰岛大地水准面的模型可通过有关对平均海平面的GPS测量来检测。

(5) 扣除要研究的堆积板块边界附近的板内形变，可相对于欧洲和北美对冰岛位置进行精确测量。

(6) 重复测量可用来研究从西火山带到东火山带的延伸转换。

五、野外作业

1985年12月讨论了冰岛测量的初步计划。1986年春，大批的个体研究人员和研究单位卷入，这样，使一宏大的计划有可能实现。

最终计划是观测冰岛上的51个测点(图2)。

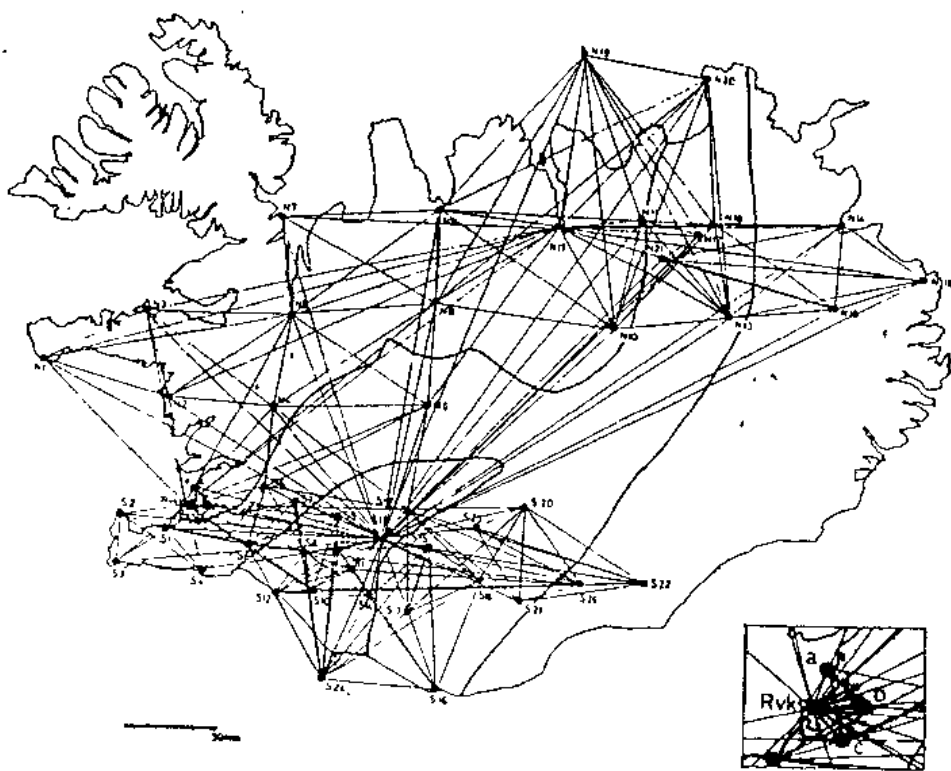


图2 1986年7月控制的测点网

诸线表示全部的直线测量。测点S13和N17一直使用GESAR软体的接收机，其它点使用TI-4100软件的流动接收机。新火山带略图用粗线表示。

该观测计划受到卫星观测窗、测点可达性及重复现有大地测量网控制点的需要性的限制。冰岛的极北部使得每天两站4颗卫星的观测窗早上仅1小时10分钟，夜晚1小时50分（图3）。该网在南冰岛地震带点位最密、包括了有紧急滑坡危险的大多数地区，也包括1984年用传统方法测量过的大量地面控制点。

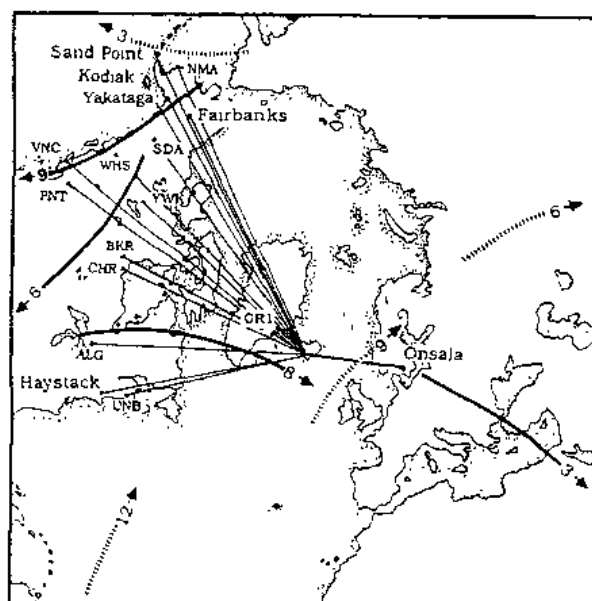


图3 1986年7月的GPS观测

多重测点在 UNB (4)、GRI (3)、BKR (2) 和冰岛 (51)。在已标名的测站上使用了水汽辐射计。四条虚线弧相应于早上69分钟之久的冰岛观测窗的计划的导航星（表示飞行器(s.v.)的数量）的地面路径。较长的实线弧用于夜间109分钟观测窗时的那些卫星地面路径。由于美国国家大地测量局、加拿大大地测量局、丹麦大地测量局、国防测绘局、新 Brunswick 大学以及麻萨诸塞州 Haystack 和瑞典翁萨拉射电观测台的科学家们紧密合作，北半球方才可能大范围地同时覆盖，获得了2629条基线的观测结果。

较低密度的网复盖着中、西和北冰岛，为今后精细测量提供了一个完整的框架，增补的地面控制点设在 Krafla 地区断裂带的两侧，即近代扩展地区。

当6月下旬人们可达到冰岛内部时，野外工作才开始。由七个冰岛的地球物理学家和大地测量学家组成的一个队，视察所有的51个计划的测点，绘了详细的点之记，并在必要的地方设立了新的地面控制点。由于观测和计划执行而没有给测点调查留下时间，但这是野外作业中不可缺少的一部分。其余的野外人员于七月初到达冰岛，5天时间用于实践和准备设备。

该网采用了两台固定的和五台流动的接收机，一台接收机作为备用。两台固定的接收机用 GESAR（大地测量卫星接收机）软件进行操作，以保证有不同卫星的长观测窗，而五台流动接收机用 TI-4100 软件进行操作，以获较短的4颗卫星观测窗。两台固定接收机安装在 S13 和 N17 两个点，位于该网南部和北部的战略位置，那里易获得遮挡物和交流电源。五台流动接收机由发电机补充车内电瓶组来供电。图2中所示的网大部分由4台流动接收机所测，象一条四边形的链。每观测一次之后，便移动其中两台接收机，这表明大部分测点都在早晚观测窗观测过。

各流动组由2—4个人组成，其中有一个考察过地面控制点的冰岛大地测量学家，还有一个富有经验的 TI-4100 机操作人员。某些测点的居住条件尚可，但有些小组不得不在较远的地方支架帐篷。各小组均有无线电报话机，以便于同 Reykjavik 总部联系。

7月13日开始测量，观测 Reykjavik 附近的一个小的标定四边形。该四边形将用于传统方法与未来 GPS 测量的比较。然后再测量 Reykjanes 半岛，并且从西到东地测量了冰岛南部的地震带。接着从测量冰岛北部到中部，直至 Snaefellsnes 半岛的西部，并且从西到东地