

※※※※※※※※※※※※※※※※※※

G P S 定 位 指 南

※※※※※※※※※※※※※※※※※※

第 一 分 册

武 汉 测 绘 科 技 大 学

一 九 八 八 年 四 月

翻 译 说 明

我校为了进一步深入开展 GPS 定位技术的研究,同时也为了给从事测绘、导航和其它有关 GPS 定位各部门的技术人员提供一个学习和了解国外在这个领域内的最新进展,利用世界银行的贷款,邀请国际著名卫星大地测量学家,加拿大新布伦瑞克大学 D. E. Wells 教授前来我校讲学,并开展学术讨论。Wells 教授主持编著的《GPS 定位指南》一书是他讲稿的一部分,我们提前将她翻译出来并印刷出版,供听课同志使用。

翻译主要依据的版本为 1987 年 3 月的修订稿,她同 1986 年 12 月第一版相比,许多章节都有较为明显的变动,反映了作者们的新认识以及 GPS 定位技术的新进展。参加为本书撰稿的还有:国际大地测量学界久负盛名的学者如 Vanicek, Schwarz, Krakiwsky 等一批教授,以及加拿大 GPS 协会里的许多专家,从而使得本书在当前学术界享有极高的权威性。

本书由十五章正文和四个附录所组成,共六百页左右,包含各种图表近三百幅,可谓内容丰富详尽,文字深入浅出,适合各类人员自学、参考,也可供各类 GPS 定位技术培训教材或教学参考书。

由于本书篇幅较大,为了方便读者使用和携带,也为了便于使订、出版和发行,我们将她分成五个分册出版。第一分册从前言至第四章,第二分册为五至七章,第三分册八至十一章,第四分册十二至十五章,第五分册则把四个附录使中在一起,方便读者的查阅。

全书是由我组李使使同志在加拿大进修期间翻译的,并由使内成员在使期内继续校定稿并付印。由于我们的水平和编力有限,对本书译校和出版中存在的问题,欢迎使时来信指正,在此谨表由衷的感谢!

武汉测绘科技大学 大地系 空间室 GPS 使

前 言

目的、内容和格式

《GPS 定值指南》是一本独立完整地介绍全球定位系统的书。

本文可按下列三种方式使用：

- 作为自学的指导书
- 作为正规高等职业教育课程的讲义
- 作为有关 GPS 的短期讲座和讨论班的学习材料

本文的读者包括进行实际工作的测量人员，水文测量人员，工程师，地球物理学家，地质学家，地理工作者，海洋学家，空间科学家，以及从事信息管理、运输、造林和农业的专业人员。简而言之，所有对 GPS 的定位精度和经济效益有兴趣的人。

本文有意识地尽可能多地介绍基本概念，本文主要是入门介绍而不是解释阐述关于 GPS 最新研究的各种细节。本文只使用了最少的数学公式，其中每个术语都尽可能作了完满的解释。反之，对理解和使用 GPS 所需要的所有概念都尽可能加以叙述。我们相信，甚至正在积极使用 GPS 的人也将会发现这本书是很有用的。

从宏观和微观的角度对本节的结构作了设计。从宏观上讲本书的 15 章可分为 4 个部分：

- (1) 描述全球定位系统 (第 1 ~ 5 章)
- (2) GPS 数据的收集和处理 (第 6 ~ 10 章)

(3) GPS 的应用 (第 11~15 章)

(4) GPS 接收机 (附录 A)

这四个部分既可一起使用以对 GPS 有一个完整的了解,也可供更专业化的读者分别单独使用。

从微观上讲,在每章中每个题目的处理分两页:一页提供较详细的文字叙述,另一页则是说明这些概念或列出基本要点的图表或小结。我们是参照先前的两本 GPS 出版物而采用这一格式的:一本是 Steven D. Thompson 的 *Everyman's Guide to Satellite Navigation* (卫星导航须知),另一本是 Rene Scherrer 的 *The WM GPS Primer* (WM GPS 入门)。我们每两页一个题目的模式设计,是为了各个题目彼此尽可能独立,这样只要选定所需的合适题目就能汇编出某一 GPS 专题的材料。

加拿大 GPS 联合会

本书的准备过程是合作用台式计算机编排书的尝试,我们从中也学到了不少东西。加拿大 GPS 联合会是由列在首页的这些作者为了从事一些合作项目而组成的。其中第一项工作就是编写出版这本书。1985 年春曾组织部分作者每人对 GPS 进行一天的辅导,分发的材料还有许多需要改进。我们很清楚需要有一本简要完整地介绍 GPS 基本概念的书。但目前的参考文献(见附录 C 中我们所推荐的资料,它们可作为本书的补充)还无法满足这一要求。因而我们编写了这本书。

为了出版这本书我们曾多次寻求财政资助。但在1986年初我们还是靠自己解决了这一问题，并组成了加拿大GPS联合会。希望在出版后可以收回成本。时代在不断前进，1986年甚至象我们这样的初学者也可能用台式计算机出版书刊了。一月份我们决定用Apple Macintosh计算机和Apple激光打字机的文字处理和图象处理能力来生产照相拷贝。然而，由于缺乏经验，最初估计在1986年第二季度完成以后又改为第三季度，这都过于乐观了。计划的推迟由于下面三个原因：

(1)我们原以为可以很容易地把本书中想要解释的各种基本概念解释得很清楚，但当开始处理这项工作时才发现要用一种很容易理解的方式来解释这些基本概念是一件十分艰巨的工作。在过去的一年里我们自己也学到了很多。我们相信推迟计划可能更好些。

(2)用台式计算机编排并不是一件容易的事。作者自己绘图可能比绘图员绘图具有更灵活易于调整等优点，但花费的时间肯定是多得多。开始时也并非所有的作者都熟练掌握Macintosh计算机，所以还有一个学习的过程。

(3)作者在三个不同的城市生活和和工作(弗雷德里克顿·屋太华·卡尔加里)。这三个城市分别相距575公里、3010公里和3490公里。这都给通讯和讨论造成了困难。

致谢

本书的准备过程是集体进行的。最初各章的图分配给各小组来完成，每组由1~5名作者组成，然后由全部作者对这些图进行检核，但由一位不属于该小组的作者对检核和修正负主要责任。对某些有争议的章节则进行反复的检核和修纹。因而本书的最后定稿是全体作者共同的结果，而不是各人所写的章节的汇编本。因而在封面上用了“在某某主持下”而不用某某主编”这种词语。这样写并不是为了减轻我对最后定稿所承担的责任，而只是为了说明我和其他作者之间的一种特殊的联系。

然而每章的工作主要还是由一个组完成的，在此表示感谢是合适的：

Vanicek 在 Langley 和 Wells 协助下准备第一章

Kleusberg 在 Tranquilla 协助下准备第二章

Langley 在 Wells 协助下准备第三章

Wells, Vanicek, Langley 和 Tranquilla 准备第四章

Wells, Delikaraoglu, Nakiboglu, Kleusberg
和 Langley 准备第五章

Wells 在 Langley 协助下准备第六章

Langley 在 Tranquilla 和 Wells 协助下准备第七章

Delikaraoglou, Kleusberg, Tranquilla 和 Vanicek 准备第八章

Delikaraoglou, Wells, Vanicek, Kleusberg 和 Tranquilla 准备第九章

Krakiwsky 在 Wells 和 Kleusberg 协助下准备第十章

Lachapelle, Wells, Langley, Vanicek 和 Kleusberg 准备第十一章

Schwarz 在 Kleusberg, Lachapelle 和 Wells 协助下准备第十二章

Tranquilla 在 Kleusberg 协助下准备第十三章

Vanicek 在 Kleusberg, Wells 和 Langley 协助下准备第十四章

Beck 在 Wells 协助下准备第十五章

Beck 在 Langley 协助下准备附录 A

Wells 为先前的一本出版物准备了附录 B

Wells 和 Langley 准备附录 C

Wendy Wells 准备附录 D

我们从同事的建议中获益非浅，而且从学生和助理研究人员那里得到了许多帮助。我们要特别感谢 See Hean Quek 先生。在准备这本书的过程中，加拿大 GPS 联合会应邀准备并进行了两次有

关GPS的辅导：一次是为 Alberta 测绘局准备的三个各为两天的讨论会，另一次是给加拿大水道测量局各地区办公室准备的五个各为一天的辅导。这些辅导基本上都是有关本书中关于野外试验的问题。从这两次辅导中反馈回来的信息对改进本书的最后定稿起了很好的作用。

大多数的图和文最初是由作者准备的。但组成本书的三百多个文件（取4兆字节）的维护、管理，使每个文件变为精确的、符合语法规则、符号一致的文件，以及准备附录D中的文献目录等工作都是由我的妹妹 Wendy Wells 负责的。没有她的帮助本书还得拖延更多时间才能完成。

我们欢迎批评和建议，这样才能在再版时作进一步的改进。正如附录A中所提到的那样，我们也很希望从生产厂家和程序设计人员那里听到有关GPS产品的最新信息。

David Wells

弗雷德里克顿

1986, 12, 31

目 录

第 1 章 空间定位概论

- 1. 0 空间定位概论
- 1. 1 单点定位
- 1. 2 相对定位
- 1. 3 网
- 1. 4 置信区域和相对误差
- 1. 5 水平基准和垂直基准
- 1. 6 天文定位
- 1. 7 卫星单点定位的基本概念
- 1. 8 至卫星的距离和方向
- 1. 9 至卫星的距离
- 1. 10 相对卫星定位

第 2 章 空间定位的应用

- 2. 0 空间定位的应用
- 2. 1 在地面测量和制图中的应用
- 2. 2 在地面交通运输中的应用
- 2. 3 在海上测量和制图中的应用
- 2. 4 在海上运输和海洋科学中的应用
- 2. 5 在空中测量和制图中的应用
- 2. 6 在空中运输中的应用
- 2. 7 在空间技术中的应用
- 2. 8 在旅游方面的应用

- 2.9 在军事方面的应用

第3章 空间定位系统

- 3.0 空间定位系统
- 3.1 空间定位所采用的技术
- 3.2 光学系统
- 3.3 早期的无线电测距和定向系统
- 3.4 子午卫星定位
- 3.5 多普勒定位的原理
- 3.6 子午卫星多普勒测量
- 3.7 ARGOS
- 3.8 全球定位系统
- 3.9 激光测卫
- 3.10 甚长基线干涉测量
- 3.11 新技术,精度与距离的关系
- 3.12 GPS和其它系统
- 3.13 GEOSTAR
- 3.14 NAVSAT
- 3.15 卫星定位的前景

第4章 全球定位系统的基本原理

- 4.0 全球定位系统的基本原理
- 4.1 GPS卫星
- 4.2 GPS原型卫星的状况
- 4.3 原型卫星轨道
- 4.4 GPS卫星发射的时间表

- 4. 5 1990 年的 GPS 星座
- 4. 6 21 颗卫星星座的分布
- 4. 7 卫星的地面轨迹
- 4. 8 卫星极坐标图
- 4. 9 全球定位系统的控制站
- 4. 10 GPS 的信号结构
- 4. 11 电磁波的传播
- 4. 12 双程测距和单程测距
- 4. 13 脉冲测距和连续波测距
- 4. 14 伪距测量
- 4. 15 载波差频相位测量
- 4. 16 GPS 用户装置的组成
- 4. 17 一般的 GPS 接收机
- 4. 18 静态定位和动态定位
- 4. 19 相对定位
- 4. 20 多台接收机定位
- 4. 21 相对动态定位
- 4. 22 GPS 的几何图形和精度
- 4. 23 图形强度因子
- 4. 24 约束解
- 4. 25 美国政府的无线电导航计划
- 4. 26 GPS 对现有定位方法的影响
- 4. 27 用户数量
- 4. 28 全球定位系统的主要性能
- 4. 29 GPS 目前和未来的特征

第5章 轨道的描述, 确定及传播

- 5.0 轨道的描述, 确定及传播
- 5.1 对精密轨道信息的要求
- 5.2 对近似轨道信息的要求
- 5.3 卫星的选择
- 5.4 卫星围绕理想的地球运动
- 5.5 卫星的发射及进入轨道
- 5.6 坐标系
- 5.7 作用在卫星上的力
- 5.8 开普勒第一定律
- 5.9 开普勒第二定律
- 5.10 开普勒第三定律
- 5.11 开普勒轨道根数
- 5.12 不同时刻卫星的位置和速度
- 5.13 测站坐标系中的距离和距离变率
- 5.14 非中心重力场的影响
- 5.15 第三体的影响和潮汐的影响
- 5.16 太阳光压和大气阻力
- 5.17 星历预报
- 5.18 事后计算的星历
- 5.19 主动控制系统 AGS
- 5.20 广播星历电文中的参数
- 5.21 升交点的经度
- 5.22 GPS 轨道描述
- 5.23 卫星坐标计算

第6章 信号结构

- 6.0 信号结构
- 6.1 为什么GPS信号会如此复杂?
- 6.2 定义
- 6.3 码调制技术
- 6.4 码的产生
- 6.5 GPS电文格式
- 6.6 GPS电文的内容
- 6.7 离开卫星天线的是什么信号?
- 6.8 GPS信号的允许误差
- 6.9 对‘部分利用’的预测
- 6.10 GPS信号的多普勒效应

第7章 天线和接收机

- 7.0 天线和接收机
- 7.1 天线的基本原理
- 7.2 GPS天线的种类
- 7.3 天线增益图形的要求
- 7.4 定义相位中心
- 7.5 GPS天线发展趋势
- 7.6 通讯通道的概念
- 7.7 接收机的无线电射频部件
- 7.8 相关通道
- 7.9 平方通道
- 7.10 码相位通道
- 7.11 码相关法与平方法的比较

- 7.12 连续跟踪接收机和序贯跟踪接收机的比较
- 7.13 多路并发通道和序贯通道
- 7.14 单频接收机和双频接收机的比较
- 7.15 频标和钟
- 7.16 频率标准的稳定性
- 7.17 振荡器的稳定性和定位精度
- 7.18 GPS接收机的类型
- 7.19 GPS接收机的价格

第8章 观测方程

- 8.0 观测方程
- 8.1 伪距观测
- 8.2 载波相位观测
- 8.3 连续载波相位
- 8.4 观测值的线性组合
- 8.5 在不同历元间求一次差(多普勒)
- 8.6 在接收机间求一次差
- 8.7 在卫星间求一次差
- 8.8 接收机--历元二次差
- 8.9 接收机--卫星二次差
- 8.10 接收机--卫星--历元三次差
- 8.11 观测值间的相关性

第9章 偏差和误差

- 9.0 偏差和误差
- 9.1 用户设备的测距误差

- 9.2 计时(钟)偏差
- 9.3 轨道偏差
- 9.4 轨道偏差模型
- 9.5 电离层的弥散效应
- 9.6 电离层模型
- 9.7 对流层的影响
- 9.8 载波差频相位的整周待定值
- 9.9 整周待定值的解算
- 9.10 整周跳变
- 9.11 多路径和映象
- 9.12 多路径对码信号的影响
- 9.13 由于相位中心的移动而产生的误差
- 9.14 观测误差
- 9.15 测站坐标

第 10 章 解算

- 10.0 解
- 10.1 定位问题
- 10.2 静态定位和动态定位的主要特征
- 10.3 解的分类
- 10.4 利用伪距测量进行单点定位
- 10.5 对多个卫星进行测距
- 10.6 单点定位的最小二乘解
- 10.7 利用伪距测量进行相对定位
- 10.8 利用相位测量进行相对定位
- 10.9 GPS 相位测量差分法

- 10.10 网平差解
- 10.11 网的解算和轨道改进
- 10.12 带权短弧平差
- 10.13 动态绝对定位
- 10.14 动态相对定位
- 10.15 联合动态单点定位
- 10.16 事后平滑处理
- 10.17 约束解
- 10.18 求出天线在椭球体面上的高度
- 10.19 求大地水准面高：精度和困难
- 10.20 典型的大地水准面形状

第 11 章 静态应用及其结果

- 11.0 静态应用及其结果
- 11.1 地理定位方面的应用
- 11.2 GPS 对控制网的影响
- 11.3 高程和大地水准面的确定
- 11.4 地球动力学方面的应用
- 11.5 监测位移
- 11.6 渥太华试验网
- 11.7 加拿大西部试验三角网
- 11.8 阿尔伯达地区试验
- 11.9 魁北克市试验
- 11.10 马尼托巴省基姆里试验网
- 11.11 长基线试验
- 11.12 1985 年 8 月 12/13 日盖色斯堡试验

第 1 2 章 动态应用及其结果

- 12.0 动态应用及其结果
- 12.1 动态定位的原理
- 12.2 动态定位模型
- 12.3 动态模型的比较
- 12.4 实时处理和事后处理的比较
- 12.5 精度和仪器
- 12.6 应用范围
- 12.7 地面车辆的应用
- 12.8 地面车辆试验导线
- 12.9 地面车辆定位结果
- 12.10 地面车辆测速的结果
- 12.11 船上应用
- 12.12 水道测量的试验区域
- 12.13 水道测量试验结果
- 12.14 三维地震测量
- 12.15 飞机应用
- 12.16 激光海洋测深
- 12.17 没有地面控制的空中三角测量
- 12.18 空中重力测量
- 12.19 直升飞机应用

第 1 3 章 差分数据的通信联系

- 13.0 差分数据的通信联系
- 13.1 差分 GPS 的要求
- 13.2 通信联系的要求