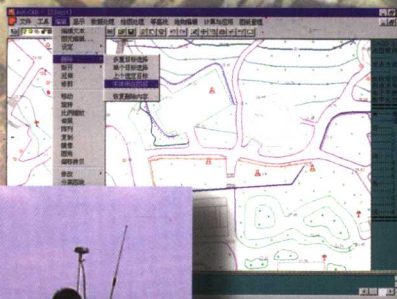


“3S” 系列丛书

“3S” 技术 及其应用

GPS
RS
GIS

冯仲科 余新晓 编著

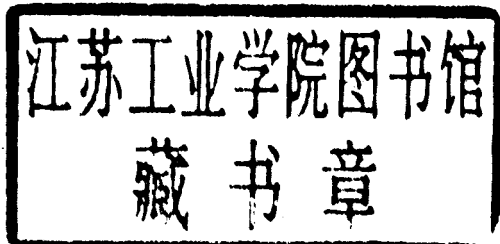


中国林业出版社

“3S”系列丛书

“3S” 技术及其应用

冯仲科 余新晓 编著



中国林业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

“3S”技术及其应用/冯仲科, 余新晓 编著. —北京: 中国林业出版社, 1999. 11 (2006. 7 重印)

(“3S”系列丛书)

ISBN 7-5038-2418-2

I. 3S… I. ①冯… ②余… II. 地理信息系统-应用-森林资源-资源管理 N. S757. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 63051 号

“3S”技术及其应用

出版 中国林业出版社 (北京市西城区刘海胡同7号)

邮编 100009

印刷 三河市富华印刷包装有限公司

发行 新华书店北京发行所

版次 2000 年 1 月第 1 版 2006 年 7 月第 3 次印刷

开本 850mm × 1168mm 1/32 印张: 10

字数 273 千字

印数 8001 ~ 10000 册

定价 23.00 元

内 容 提 要

“3S”技术指GPS（全球定位系统）、RS（遥感技术）、GIS（地理信息系统）及其集成技术，是当今国内外地学界高新技术之一。本书系统地介绍了森林资源与环境空间数据特征、GPS控制网建立、DGPS应用、辅助测量定位手段等内容，同时扼要地叙述了RS数字图像处理、GIS原理和“3S”集成技术。全书旨在建立一个以DGPS、RS为矢量、栅格数据源，通过DGPS实施校正、定位、补测、补绘，进而与GIS集成，实现预测与决策一体化的“3S”资源与环境调查监测系统。

本书可作为森林资源、环境、水保、测绘、海洋、地质、采矿、石油、土地、建筑、水利、道路、铁路、管线等专业大学本科、硕士和博士研究生课程教材及相关科技人员参考书。

序

资源过耗、环境恶化、人口激增、粮食短缺已成为举世瞩目的世界性问题,只有通过实施社会经济和资源环境可持续发展战略,这些难题才能予以控制和解决。

资源与环境问题,具有功能的多样性,形成周期的长期性,状态的动态性,分布的广域性和空间结构性,人类对其作用、功能的认识和控制必须借助于一系列的数学模型、物理模型和模拟模型,而这些模型往往又依赖于空间地理模型。因此,必须建立一个以 GPS、RS、GIS 及其“3S”集成技术为主导的对地观测系统,进而使我们对资源与环境问题能从整体上加以解决,并成为数字地球的重要组成部分。

在《“3S”技术及其应用》付梓之前,我先睹为快,并同二位作者多次商榷其中有关问题。冯仲科、余新晓是我熟悉的两位有才华、踏实、勤奋、具有创新精神的年轻学者,他们根据近年来承担的多项国家、部委和国外合作研究项目及在北京林业大学等院校为大学本科生、硕士和博士研究生开设的“3S”技术等课程基础上,结合资源环境方面的研究案例,编著本书。本书包括理论、方法和实践。全书以 GPS 为精密测地矢量数据源,以 RS 为海量栅格数据,以 GIS 为数据、图形、图像管理平台,以资源与环境的监测与控制为目标实现对地观测,这与我十多年前在生态系统控制工程研究中构想的上情下达、下情上达双锥决策反馈系统惊人地相似,也使这类问题得以解决。

我向资源、环境、林业、水保、农业、测绘类学科的本科生、研究生和学者推荐这本新书,并期望读者向作者多提意见,以推进“3S”技

术在我国资源与环境科研、教学、产业、管理等方面的广泛应用。



中国工程院院士

1999年8月18日

前 言

“3S”技术通常指 GPS、GIS、RS 三者的集成技术，是 20 世纪 90 年代兴起的集空间科技、计算机技术、电子技术、无线电传输技术与地理科学、信息科技、环境科技、资源科技、管理科技以及在地学相关的一切学科于一体，进而保证我们能对与地学相关问题从整体上优化、系统、实时、自动解决，并实现预测与科学决策一体化。在国外，与此相关的研究称之为 Geomatics，已是热点研究课题之一。

国家现代化建设的发展为资源、环境科技工作者提出了更高的要求，为其发挥聪明才智开拓了广阔天地。资源过耗、粮食短缺、环境恶化、人口激增，所有这些举世关注之难题，只有实施可持续发展战略才能得以控制和解决。而一切可持续发展的战略要依据“3S”技术提供对地观测信息、科学预测、辅助决策，其实施效果又要依据“3S”技术去评价。从微观资源环境调查、监测、评价去看，“3S”更是不可缺少的技术手段。基于此，“3S”从 20 世纪 90 年代初开始，迄今热度不减，有关院校纷纷开设此类课程，有关研究人员纷纷投入“3S”研究，产业部门尽力投入了“3S”运营，形势一片大好。为适应上述需要，作者结合近年来在北京林业大学等院校为硕士、博士研究生开设的课程，参考、引用国内外相关文献、专著中的资料，联系作者承担的国家、部委和国际合作项目，编著此书。

全书共七章，包括资源与环境空间数据导论、GPS 控制网、DGPS 应用、辅助测量手段、数字图像处理、GIS 原理、“3S”集成等内容。本书建立在以 DGPS 为矢量数据，对 RS 校正、定位、补测、测、算、绘，通过 GIS 实现预测与决策于一体的“3S”资源与环境调查

监测系统。

本书编著过程中，中国工程院院士关君蔚教授、北京林业大学“3S”方向博士生导师游先祥教授等给予热情鼓励、支持和指导，李崇贵、牟玉香、贾建华、赵俊兰、刘涛、南永天、刘月苏、范文义、王让会、刘世海等参加相关课题研究、讨论、实验。在此，深致谢意。

由于“3S”技术尚在发展探索阶段，许多问题还不确定，加之编著者水平有限，缺点、错误在所难免，恳望读者指正。

编著者

北京林业大学

1999年8月18日

“3S”系列丛书

中国林业出版社经过多年组织策划,近期推出“3S”系列丛书。该套丛书已出版《地理信息系统实用教程》和《“3S”技术及其应用》两种书。

《地理信息系统实用教程》(第2版)

陆守一 唐小明 王国胜 编著

16开 350千字 208页 定价:26.00元

主要内容:

本书系统全面地阐述了地理信息系统的原理方法及其应用前景。

全书共分九章,包含三部分内容。第一部分着重地理信息系统原理,介绍了地理信息系统的基本概念、运行硬件和软件环境、空间数据结构以及空间数据处理分析的原理方法;第二部分着重地理信息系统应用,介绍空间分析的功能及空间分析模型的应用,并根据地理信息系统的常用功能以 MapInfo 为平台列举了应用实例;第三部分以信息技术为基础介绍了“3S”技术和网络 GIS 等新技术。

读者对象:

本书内容丰富,结构紧凑,可作为相关专业的大学本科生和研究生的教材,亦可作为大专院校教师以及从事地理信息系统软件研究及应用系统开发技术人员的技术参考书。

目 录

序

前言

第一章 森林资源与环境空间数据导论	(1)
第一节 定位技术发展简史.....	(2)
第二节 面向森林资源调查监测空间定位方法体系	(16)
第三节 森林资源调查与环境监测定位的必要精度	(21)
第四节 国内外森林资源调查监测中的现代定位技术	(26)
第五节 GPS 在森林资源调查监测系统中的应用创新	(46)
第二章 资源与环境多功能 GPS 基础控制网的建立	(49)
第一节 森林 GPS 控制网的布设原则.....	(49)
第二节 森林 GPS 控制网的等级与布网方案设计.....	(52)
第三节 GPS 森林控制网实施	(54)
第四节 北京市十三陵林场多功能 GPS 控制网建立实例...	(57)
第三章 DGPS 用于森林资源调查、监测的定位研究	(60)
第一节 卫星坐标计算	(60)
第二节 基于两台手持 GPS 接收机的坐标差分	(68)
第三节 伪距差分	(73)
第四节 RTK 定位技术.....	(82)
第五节 数据链与数据格式	(88)
第六节 DGPS 定位研究	(93)
第七节 DGPS 线定位	(97)
第八节 DGPS 面积测量	(97)
第九节 DGPS 体积测量	(105)
第十节 DGPS 定位精度分析	(112)
第十一节 DGPS 用于标定点位及交会定位	(121)
第四章 辅助定位手段研究	(127)
第一节 罗盘三维导线定位系统.....	(127)

第二节 全站仪三维导线定位系统.....	(132)
第五章 数字图像处理.....	(141)
第一节 概论.....	(141)
第二节 数字图像预处理.....	(147)
第三节 数字图像处理的研究.....	(151)
第四节 专题信息特征提取技术.....	(160)
第五节 遥感图像的光学增强.....	(166)
第六节 遥感图像的数字增强.....	(171)
第七节 遥感图像目视判读.....	(182)
第八节 影像的分类识别.....	(185)
第九节 相关问题的研究及应用.....	(196)
第六章 GIS 原理.....	(207)
第一节 GIS 数据结构与数据模型.....	(207)
第二节 DGPS、TSS 支持下的野外数字电子地图测绘	(221)
第三节 数字地面模型及其内插.....	(232)
第四节 GIS 中的数据分析与输出.....	(234)
第七章 “3S”集成技术及其应用	(253)
第一节 “3S”集成原理	(253)
第二节 “3S”集成系统的应用	(264)
第三节 森林资源、水土保持、荒漠化调查、监测“3S”系统 介绍.....	(267)
第四节 “3S”在草地估产中的应用	(268)
第五节 DGPS、DPS、GIS 集成系统用于测树	(279)
第六节 基于“3S”技术的森林资源与环境	(286)
附录 1 “3S”基准与手持式 GPS 定位	(292)
附录 2 GPS 数据与 GIS 的转换	(295)
参考文献	(301)
后记 1	(304)
后记 2	(306)

第一章 森林资源与环境空间数据导论

现代科技和以工业为主导的生产力的发展，一方面扩大了人类改造自然的领域，提高了人类同自然作斗争的能力，从而把人类社会的物质文明和精神文明推向了一个前人无法想象的新高度；另一方面也带来了一系列棘手的社会问题。近百年来，世界人口的过快增长，粮食供应短缺，生态环境的明显恶化，自然资源和能源的过度消耗，以及核灾难的威胁等问题难以控制地恶性发展，使人类的处境受到越来越严重的困扰，成为举世关注的全球性问题。全球问题的出现，并不意味着社会经济和科学技术的发展应当终止，人类完全有能力解决这些问题。但是，这些问题的出现表明，人类的社会生活，至少是其某些方面，已经发展到需要进行全球性管理的时代。

森林，人们过去只强调其资源性能，即生产木材和其它林业产品，这种理解，显然有很大的片面性。作为陆地上最大的生态系统，森林除能为我们生产木材之外，还有多种经营、综合利用、防风固沙、水源涵养、抗污染、野生动物栖息、旅游等多种功能。因此，对森林资源开发与其生态环境作用和功能的研究是具有学术和实用价值的。

由于森林资源与森林生态环境，具有功能上的多样性，形成周期的长期性，资源与环境的动态性，森林成熟的不确定性，林区分布的广域性和空间结构性，人们对其作用和功能的认识和研究必须借助于一系列的数学模型、物理模型、模拟模型。地图就是人类最早用于认识森林的重要模拟工具，而以 GIS 为支持的现代电子地图则是人们研究森林的理想的数学模型、物理模型和模拟模型。GPS、GIS、RS 及其“3S”集成技术则能够实现现代对地观测系统，从而

使人类对森林资源、环境功能的认识建立在地球之外,实现数字化、自动化、实时化、动态化、集成化和智能化。由此,地学信息数据和地图在森林资源与环境中的作用是十分重要的。

地学信息和地图都是测量的产物。经典的测量学定义为“研究地球形状大小及确定空间点位的科学”,而现代测量则定义为“研究空间数据采集、传输、处理、变换、存贮、分析、制图、显示的科学和技术。”无论是经典测量学,还是高新科技武装的现代测量学都是研究将地形(含地物和地貌)测绘成图。现实客观世界的地表是非常复杂的,但是,任何复杂的地表空间物体都可以抽象,即从体到面,从面到线,从线到点,所以,复杂的地表形体的最终表现不过就像测量学定义所言,只是“确定空间点位”(即定位)的科学了。所谓定位,实质就是确定位置,科学而言,就是确定某点相对于某一坐标系(框架)的三维坐标,从动态的角度去看,还要考虑点的三维运动速度。

GPS(全球定位系统)是迄今为止人们认为最理想的空间对地、空间对空间、地对空间定位系统。因此,研究GPS定位的特点,使其在森林资源环境中发挥空间定位作用,解决相关问题,具有学术和技术上的双重意义。

第一节 定位技术发展简史

测绘的终端产品是制图,而其实质是定位,纵观测绘科技发展史,人类在认识自然和改造自然的过程中,发现和发明了一系列定位方法、定位工具,使人类能够认识地球及其之外的空间,这种认识的半径随科学技术的发展而迅速延长。

早在原始社会,我们的祖先们就将自己生息的地区做成类似于今天沙盘的模拟模型,从而形成了最早的测绘与定位。奴隶社会的产生,阶级的出现促进了原始社会的瓦解和社会生产力的发展,同时促使了土地权属的划分,形成了几何学、测量技术和定位技术。

空间定位的重要手段和技术有：

一、天文测量定位法

中国先人对古代天文测量贡献之大，是世界上其它任何国家无法相比的。早在公元前十一世纪，河南省登封县告成镇建周公测景（古“影”字）台。现存河南省开封观星台，建于元朝，是我国现存最早的天文台。大约在公元前三世纪，古希腊埃拉托色尼第一次用天文测量法推算地球的周长，并在其专著《地理学》一书中首次用经纬网绘图，同一时期，古希腊亚里士多德首先提出“大地测量”一词。公元前一世纪，中国最古的天文算法著作《周髀算经》发表，书中阐述了“盖天论”及利用直角三角形的性质，测量计算高度、距离等。不久，西汉落下闳创立“浑天说”，经他改进的赤道式浑天仪，在中国使用两千多年。公元160年，中国东汉张衡发明漏水转浑天仪，经后人发展，成为世界上最早的机械钟，而此前的150年，古希腊托勒著《地理学指南》，书中论述地球形状、大小、经纬度的测定方法，并选定经过大西洋中费罗岛的子午线为本初子午线，一直沿用到1884年。1276年，中国元朝郭守敬创制多种天文仪器，其中立运仪的结构与近代地平经纬仪相似，可以测定天体的高度和方位角。郭守敬还主持进行了大规模的天文测量，并采用球面三角形解算天文问题。1608年，中国明代徐光启和意大利利玛窦合著《测量法义》，实现了中西方测量的结合；同年，荷兰眼镜匠汉斯发明望远镜，为人类天文大地测量学的发展奠定了基础。1667年，法国首次在全圆分度器上安装望远镜进行测角，大大开阔了视野，扩展了观测半径。而德国科学家开普勒于1609、1619年提出的关于行星运动的三大定律（通称开普勒定律）为天文测量学的全面形成奠定了理论基础。1794年，德国高斯提出最小二乘法，并用于谷神星（小行星1号）轨道的平差计算，从而使经典测量平差有了理论依据。1769年，法国拉普拉斯提出用天文方位角控制三角测量误差积累的概念，被后世称之为“拉普拉斯”方位角。两年后，又发表《天体力学》一

书,建立了行星运动的摄动理论和行星的形状理论。1801年,德国高斯发明由三次观测决定天体运行轨道的方法。1810年,拉普拉斯发现测定的天文纬度同大地纬度有差异(垂线偏差),导致了19世纪大地测量学与天文测量学家联合进行大规模的弧度测量。1860年,俄国人福尔升首次用有线电报测定经度。1884年,国际子午线会议在美国华盛顿召开,会议决定,通过英国格林威治天文台的子午线为起始子午线。1890年,德国列普索尔特设计第一具目镜接触测微器并应用于天文测量。1925年,国际天文学联合会第二届大会通过国际经度联测计算,中国上海徐家汇天文台为世界三个基点之一,1926年开始首次国家经度联测之后,又进行过几次联测。

宇宙间天体的相关位置和运行都有一定的规律,天文测量就是利用其规律,在选定的地面点上,观测某天体(主要是恒星)的高度和方位,并记录观测瞬间的时刻,从而确定该地面点的地理位置——天文经纬度及由该点至另一地面点的天文方位角。这种方法是各点单独进行观测的,彼此观测点间没有任何依赖关系,因此是20世纪60年代以前数百年基本的大地测量定位方法。在那时,测量学家认为天文测量工作组织简单,误差不积累。然而,天文测量定位精度不高,一般为 $\pm 5\sim 9\text{m}$,而且受垂线偏差影响很大,如当地面某点垂线偏差达 $\pm 3\sim 4''$ 时,导致地面上的点位误差达 $\pm 90\sim 120\text{m}$,即使经过垂线偏差改正,其剩余误差仍有 $1.0\sim 1.5''$ 左右,反映在地面上的点位误差仍达 $\pm 30\sim 50\text{m}$,所以,20世纪60年代以来,空间技术(主要是人造地球卫星)、光电技术(主要是计算机和光波测距仪)发展,天文测量已趋淘汰。然而,对于垂线偏差的确定,重力点位置的测定,没有大地点的区域(如边远林区)进行小比例尺测图,拉普拉斯方位角测定、起始坐标、起始方位确定时仍有一定意义,但其应用前提是不具备手持式GPS接收机。目前,一个小小的手持式GPS接收机亦能达到当年天文测量的精度。

总之,用现代测绘的目光去看,天文测量精度低,观测时间长,易受天气及外界条件影响,数据处理复杂,虽然曾为空间定位的一

种重要手段，今天却已显得过时了。

二、罗盘定位法

中国是最早采用罗盘定向的国家，罗盘亦是古代中国人的四大发明之一，即使到了今天，从罗盘的故乡中国到测绘定位发达的美、德、日本等国，罗盘仍在一定条件下发挥定向、定位作用，是许多现代定位技术（如 GPS），在特殊条件下（如茂密的林区、井下）所无法替代的。

公元前三世纪，中国人开始应用最早的指南针仪器——司南。《韩非子·有度》称“故先王立司南以端朝夕（这里朝夕就是指东西方向）”。罗盘，又称磁罗经，利用地球磁场和磁针特性进行陆海空导向，属于结构简单、造价低廉、操作方便、经久耐用的仪器，可根据不同用途制造成军用式、矿井式、森林式等。磁偏角是磁子午线与真子午线之夹角，由地磁两极与地球二极不重合所致，其大小因地而异，同一地点的磁偏角也随时间有微小变动，有周年变化、周日变化，称为年变值和日变值。

罗盘应用于定位一个最为突出的问题就是定位精度太低和磁偏角影响问题，当然，还有在某些铁磁地区罗盘的失灵问题。通常罗盘定向误差 $m\alpha = \pm 40'$ ，森林罗盘仪用于林区定位时，定位精度大约为 $\pm 5.0\text{m/km}$ 。

罗盘的发展前景为电子化，目前，市面上已有定向误差为 $\pm 6'$ ，测距精度为 $\pm 100\text{mm/km}$ ，测程为 1km 的电子罗盘与光电测距仪的组合定位系统，定位精度为 $\pm 1.5\text{m/km}$ ，可实现自动、实时定位，可通过 RS—232C 与计算机通讯，是资源与环境自动定位中的理想设备之一，尤其是在 GPS 失灵的茂密林区和不能同时接收 4 颗以上卫星的峡谷地带。

现代数字电子罗盘与红外测距的组合体 (DCS) 将是未来定位的重要辅助工具之一。

三、大地测量仪器定位法

大地测量仪器观测定位法是空间定位的基本手段之一，也是迄今为止正在发展的一种手段和方法，从一定程度和角度去看，亦是其它任何手段无法代替的方法。

大地测量仪器定位法随大地测量仪器的发展而发展。早期多用以测角锁网为基础的三角测量法，20世纪50年代光电测距仪的出现和迅速发展，现代大地测量仪器定位法逐渐向边角网，测边网，全站仪三维实时、自动导线方向过渡。此外，20世纪70年代以来方兴未艾的电子经纬仪工业测量系统、全站仪工业测量系统亦是大地测量仪器定位法的重要组成部分。

经纬仪是大地测量仪器法空间定位中的重要仪器。1276年，中国元朝天文学家、地学家郭守敬就研制出立运仪，其结构、功能很像今天的平地经纬仪。望远镜发明不久，1667年，法国首次实现了在全圆分度器上安装望远镜进行测角，从而形成了近代光学经纬仪雏形。1783年，英国人制造出度盘直径为90cm，重91kg的游标经纬仪，要用特制的四轮马车运送。1792年，法国德朗勃和麦克奉政府之命，从敦刻尔克到马塞罗那进行子午线弧长精密测量，历时6年，为近代三角测量之开始；1821年，德国测量学家白塞尔首创三角测量方向观测法；1826年，又是德国人高斯发表按条件观测的三角测量整网平差理论。1846年，德国卡尔·蔡司光学仪器厂创建，生产游标经纬仪、水准仪等，近50年后的1904年，生产出了世界上第一台玻璃度盘的光学经纬仪，从而把大地测量经纬仪的精度推向了一个新水平，亦为测角锁网大地测量定位法提高定位精度提供了有效的工具。1947年，瑞典生产出世界上第一台光电测距仪，这是测绘科技史最重大的一次革命，解决了测量上为之奋斗几百年所要解决的跨峡谷、跨河流地区的精密测距问题，为现代大地测量提供了有效的工具和方法。测距仪诞生不久，就向精密化、小型化、自动化、数字化方向发展。20世纪70年代又诞生了电子经纬仪，并与