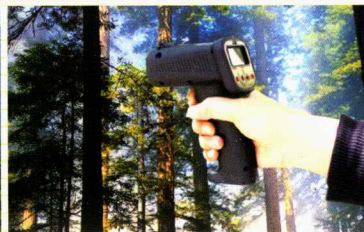
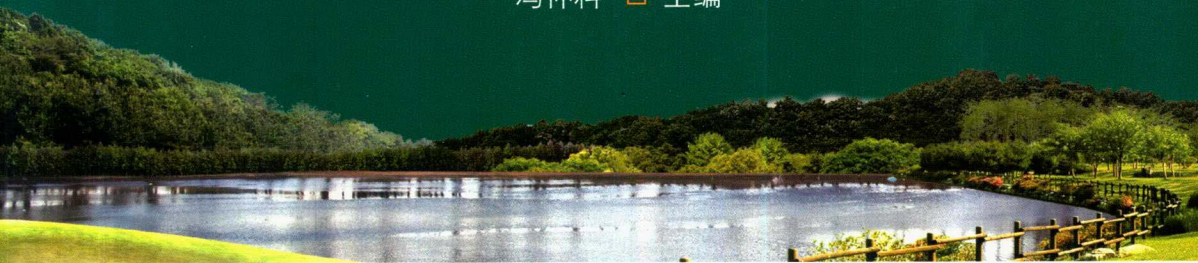


森林观测仪器 技术与方法

冯仲科 ■ 主编



中国林业出版社

森林观测仪器技术与方法

冯仲科 主编

中国林业出版社

图书在版编目(CIP)数据

森林观测仪器技术与方法/冯仲科主编. —北京:中国林业出版社, 2015. 12
ISBN 978-7-5038-8100-8

I. ①森… II. ①冯… III. ①森林—观测仪器 IV. ①S718.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 187811 号

中国林业出版社·教育出版分社

策划编辑: 杨长峰

责任编辑: 丰帆 杨长峰

电话: (010)83143516 83143558

传真: (010)83143516

出版发行 中国林业出版社(100009 北京市西城区德内大街刘海胡同7号)

E-mail: jiaocaipublic@163.com

电话: (010)83143500

http://lycb.forestry.gov.cn

经 销 新华书店

印 刷 北京北林印刷厂

版 次 2015 年 12 月第 1 版

印 次 2015 年 12 月第 1 次印刷

开 本 787mm×960mm 1/16

印 张 16.5

字 数 270 千字

定 价 40.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有 侵权必究

《森林观测仪器技术与方法》

编者名单

主 编：冯仲科

副主编：（以姓氏笔画为序）

宁月胜 杜鹏志 张 序

官凤英 姚 山 焦有权

前言

森林是林地、林木、植物、动物及其环境的综合体，是最大的陆地生态系统、全球生物圈中极其重要的一环。当今社会进步，经济发展，城市扩张，工业肆虐，材料燃料消耗剧增，导致森林面积减少，生态环境恶化，出现雾霾现象，严重影响人类健康与生态发展。为实现人类可持续发展，生态文明建设作为第五项重要发展目标写入十八大报告，国家大力开展森林经营、森林资源监测、森林计测等方面的研究，而基于“3S”技术的森林观测为上述内容的研究与应用提供了广阔的前景。

本书所介绍的相关内容团队 18 年研究的成果结晶，重点介绍全站仪、电子经纬仪、测树枪等多种仪器的测树原理及“3S”（RS、GIS、GPS）为核心的森林观测技术、林火防控观测技术，实现对包括单木的树高、胸径、材积、树冠表面积、树冠体积，以及林分的胸高断面积、平均树高、株数、蓄积量及生长量、林火等的观测。从观测仪器研发到观测技术创新，从产品专利到软件平台，从实际观测方法到模型应用都进行了说明，详细阐述了笔者多年来在森林观测领域开发的设备和创建的理论方法与技术体系。

本书共分为 6 章：

第 1 章 介绍森林观测的主要内容、技术与发展、特点，以及林业信息化的概念和内容；

第 2 章 介绍测树电子经纬仪/全站仪的立木精测与材积建模技术；

第 3 章 介绍测树枪的结构组成、工作原理及其在森林观测中的应用；

第 4 章 介绍航天遥感与数字摄影森林观测技术；

第 5 章 介绍林火防控监测技术，主要包括“3S”技术、航空摄影测量、地面观测技术和林火精准观测；

第 6 章 介绍北京地区森林观测试验成果，主要以北京地区活立木材积精测技术及成果进行示范。

本书考虑到相关专业对森林观测的要求，力求做到概念清楚、重点突出、图文并茂；侧重传授专业知识和技能，注重理论联系实际。在编写中参考了

大量国内外文献，在此对这些文献的作者表示诚挚的谢意。

同时我们团队博士生、硕士生及有关单位专业技术人员包括徐伟恒、闫飞、毛海颖、曹忠、张凝、赵芳、侯胜杰、杨立岩、于森、郑帆、于景鑫、丁秀珍、樊江川、郭江、郭欣雨、樊仲谋、李虹、高翔、何腾飞、王伟、高超、黄晓东、杨慧乔、高原、吴记贵、王晓懿、刘芳、祁曼、张琳原、刘明艳、孙微、杨慧、胡戎、李亚藏、杨柳、李亚东、解明星、郭慧敏、冯涛、程穆鹏、蒋万杰参加了相关野外实验、数据分析、报告撰写及相关研究工作，在此表示感谢。

本书出版中获得北京市科委项目“精准林业北京市重点实验室 2015 年度科技创新基地培育与发展专项项目”（Z15110000161596 号）及教育部项目“精准林业关键技术与装备研究”（2015ZCQ - LX - 01 号）资助，在此深表谢意。

本书为森林经理学、森林调查学等相关专业的参考书，也可作为农业、林业信息化专业课程的参考教材。

由于时间紧、任务重，加之科学视野和水平有限，对书中出现的任何错误，恳请广大读者批评指正。

冯仲科

2015. 2

目 录

前 言

第1章 导 论	1
1.1 森林观测的主要内容	1
1.2 林业信息化概论	3
1.2.1 林业信息化的基本概念	3
1.2.2 林业信息化战略内容	4
1.2.3 林业信息化的十大建设内容	5
1.3 现代森林观测的主要技术及其发展	6
1.3.1 全站仪观测技术	6
1.3.2 电子测树枪	7
1.3.3 森林观测“3S”技术	8
1.4 与森林观测相关的学科和技术	11
1.5 现代森林观测技术的特点	12
第2章 测树电经立木精测与材积建模技术	15
2.1 概 述	15
2.1.1 编制材积表的意义	15
2.1.2 原理、仪器、技术方法	19
2.1.3 技术方法	21
2.2 立木材积模型研建	27
2.2.1 建模样本整理及异常数据剔除	27
2.2.2 相容性材积模型建立方法	28
2.2.3 精度评价方法	29
2.2.4 算例	30
2.3 全站仪测树	33

2.3.1	模型研建	34
2.3.2	测量结果及数字化成图	40
第3章	测树枪森林观测技术	47
3.1	概 述	47
3.2	电子测树枪的组成	48
3.2.1	硬件结构	48
3.2.2	软件设计	49
3.2.3	主要功能及参数	50
3.3	电子测树枪森林计测功能及原理	50
3.3.1	闭合导线及标定	50
3.3.2	极坐标法测树	52
3.3.3	角尺度测量	53
3.3.4	单木测量	54
3.3.5	圆形样地测量	60
3.3.6	多边形样地测量	63
3.3.7	精密角规测量原理	65
3.3.8	大小比数	68
3.3.9	混交度	69
3.3.10	株数密度测量	70
3.3.11	林分平均高测量	71
3.4	测树枪的操作方法	72
3.4.1	基本测量	72
3.4.2	闭合导线及标定	73
3.4.3	极坐标法测量	73
3.4.4	单木测量	74
3.4.5	角规计数	76
3.4.6	林分平均高测量	76
3.4.7	圆形样地测量	76
3.4.8	多边形样地测量	77
3.4.9	精密角规测量	78
3.4.10	角尺度测量	78

3.4.11	大小比数测量	79
3.4.12	混角度测量	79
3.5	后处理软件及应用	80
3.5.1	软件的主要功能	80
3.5.2	面积测量	81
3.5.3	单木测量	83
3.5.4	样木坐标测量	84
3.5.5	样木统计	85
3.5.6	圆形样地测量	86
3.5.7	多边形样地测量	87
3.5.8	精密角规测量	89
3.6	前景与展望	90
第4章	航天遥感与数字摄影森林观测技术	93
4.1	航天遥感简介	93
4.1.1	遥感观测	93
4.1.2	航天遥感观测	94
4.1.3	遥感传感器	94
4.2	主要遥感平台及常用影像数据	97
4.2.1	主要遥感平台及其简介	97
4.2.2	常见影像数据	100
4.2.3	激光雷达数据	102
4.3	航天遥感在森林观测中的应用	103
4.3.1	植被遥感	104
4.3.2	森林遥感应用	105
4.4	航空森林观测技术	109
4.4.1	航空摄影航空单木参数关系模型的建立	110
4.4.2	航空摄影影像提取信息技术	116
4.4.3	航空摄影林木树高的提取技术	121
第5章	林火防控观测技术	129
5.1	林火防控概述	129

5.1.1	“3S”技术在林火防控中的应用	129
5.1.2	航空巡航林火防控	142
5.1.3	地面巡护林火防控	154
5.2	林火精准观测	162
5.2.1	火线蔓延速度的观测	162
5.2.2	测算火焰长度	168
5.2.3	计算火线区温度	168
5.2.4	计算火场形状	168
5.2.5	观测火场周边长和过火面积	169
5.3	森林火灾防控技术	172
5.3.1	瞭望塔设计	172
5.3.2	森林火险等级划分	178
5.3.3	林火蔓延模型	193
5.3.4	林火损失评价	200
第6章	北京森林观测成果	212
6.1	传统森林样地观测成果	212
6.1.1	北京市标准地简介	212
6.1.2	标准地调查的重要性	213
6.1.3	野外标准地实测方法	213
6.1.4	标准样地内业成果展示	213
6.2	伐倒解析木观测成果	241
6.2.1	伐倒木树干解析外业工作	241
6.2.2	伐倒木树干解析内业处理	244
6.2.3	树干纵断面图绘制	246
6.2.4	伐倒解析木的材积测定	247
6.3	电子经纬仪无伐倒活立木观测成果	249
6.3.1	电子经纬仪无伐倒活立木观测过程	249
6.3.2	电子经纬活立木材积观测成果	250
6.3.3	无伐倒立木材积观测值统计分析	251

第1章 导 论

1.1 森林观测的主要内容

森林是地球上最大的陆地生态系统，是全球生物圈中重要的一环，是地球表面最为壮观的植被景观。森林是林木、伴生植物、动物及其与环境的综合体。森林是可再生自然资源，具有经济、生态和社会三大效益。森林是“地球的肺”。森林能防风固沙，涵养水源，保持水土，净化空气，降低噪音，美化环境，调节气候，防灾抗灾，它是陆地生态的主体。森林为人类提供多种木材、干鲜果品、木本粮油、野生动物、中草药和其他林副产品。随着社会的发展，城市扩张，工矿厂房拔地而起，私有汽车和生活使用的矿物燃料剧增，这些导致森林面积减少、生态环境恶化和空气中有害气体增加。在我国多地出现了雾霾等现象，严重影响着人们的健康与生活。人们开始重视生态环境的保护与建设，以期提高生活质量。

森林资源不仅包括树木资源，也包括林地和生活在其中的动植物和微生物。通过观测森林资源的数量、质量、分布和健康状态，能够及时掌握森林资源现状及消长变化动态，从而为制定相关政策提供决策依据，编制出符合时代要求的森林经营方案。森林是人类生存资源支持系统的重要组成部分，具有分布广、生产周期长等特点，还具有经济、社会和生态综合效益。森林资源监测，是对森林、林木、林地以及依托森林、林木、林地生存的野生动物、植物和微生物的现状及其消长变化情况，以及森林经营管理的各个环节，进行定期的调查、核查检查、统计分析、监督管理的过程(陈火春，2002)。

森林资源监测是林业学科的基础，是森林经营的基础，是森林评价的基础，也是研究全球气候变化的基础。所以，森林资源监测具有十分重要的意义。森林的观测从宏观上有权属、森林生长与收获、林分蒸散量、可及度、生物量、森林蓄积量、土地覆盖、森林健康、野生动物等的观测。

森林计测学在林业及相关学科领域是最基本的学科之一。它用于树木和林分的计测，以及由此所产生的森林信息的分析和森林知识的获取。早期的

可持续森林经营的简单计测和评估方法,使林业数据的存取、分析、研究成为可能。20世纪中叶以来,随着对林业调查数据的精准性和全球化要求越来越高,对单木和林分方面的量化信息需求日益增长,由此产生了更多有关林业数据获取和分析的成熟方法。这些方法主要关注于树木和林分生活史中特定时刻特征的量化评估,以及为高效森林经营提供数据支撑。

森林观测为上述观测内容提供技术、方法和工具,它的主要研究内容是在树木和林分生长的全过程中,在给定的时间点为描述树木和林分的特征提供定量的评估。

综上所述,森林观测的主要内容有以下几个方面:

- ①观测树木和林分的相关因子,包括胸径、树高、断面积、蓄积量、生长量、树皮参数等。
- ②确定树木的干形、树木年龄和林分年龄。
- ③确定立木和伐倒木材积。
- ④测量树冠结构参数和叶片质量。
- ⑤估测单木和林分生物量及其成分组成。
- ⑥为林木交易提供林分蓄积量和径阶分布。
- ⑦评估林木和林分的损害程度(包括森林火灾、虫害病害等自然灾害和人为灾害)和健康状况。

本书中森林观测主要包括单木的树高、胸径、材积、树冠表面积、树冠体积,以及林分的胸高断面积、平均树高、株数、蓄积量及生长量、林火等的观测。实现森林的观测需要相应的仪器与技术,特别是现代化林业的发展,需要精准设备来实现,在本书中介绍了笔者多年来所开发的设备和创建的理论方法与技术体系,作为林业现代化的技术支撑。

本书森林观测主要内容包括全站仪、电子经纬仪测树的技术和原理、测树枪测树技术和原理、以“3S”(RS、GIS、GPS)为核心的森林观测技术以及林火防控观测技术。

电子经纬仪,全站仪,电子测树枪以及GPS,近景摄影测量,航空摄影测量,遥感对林木、林地、森林的观测,构成一个从微观到宏观的天地空立体化自动监测系统(图1-1)。

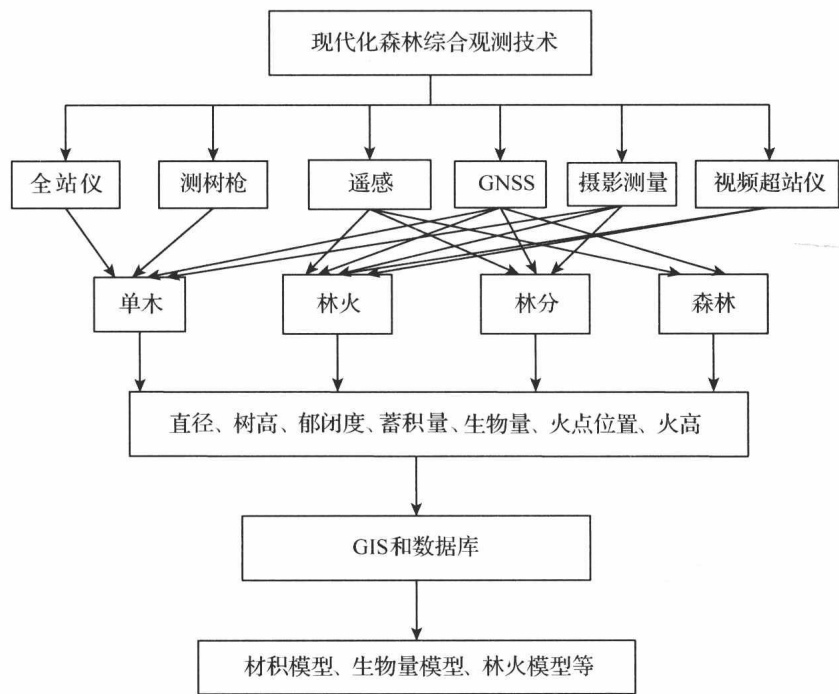


图 1-1 森林综合观测技术体系

1.2 林业信息化概论

信息化是当今世界经济和社会发展的的大趋势，是推动经济发展和社会变革的重要力量，信息化发展水平已成为衡量国家综合国力与国际竞争力的重要标志。大力推进国民经济和社会信息化，是我国加快实现工业化和现代化的必然选择，是促进生产力快速发展、增强综合国力和国际竞争力、维护国家的关键环节，也是贯彻落实科学发展观、构建社会主义和谐社会、建设创新型国家的战略任务。

1.2.1 林业信息化的基本概念

林业信息化是指在林业各个领域应用信息技术，采集、开发和利用信息资源，促进生态建设、林业产业、生态文化和行政管理的科学发展，带动林业实现现代化的过程。林业信息化是国家信息化的重要组成部分，是现代林

业建设的基本内容,也是衡量林业生产力发展水平的重要标志。

林业信息化的内涵主要体现在:从范围上看,林业信息化涉及林业的各个领域;从手段上看,林业信息化是利用现代信息技术;从内容上看,林业信息化是采集、开发和利用信息资源;从目的上看,林业信息化是促进生态建设、林业产业、生态文化和行政管理的科学发展;从本质上看,林业信息化是带动林业实现现代化的过程。

1.2.2 林业信息化战略内容

(1) 电子政务与生态领域信息化

发展内容包括3个方面:生态保护与建设信息获取的信息化、政府管理的信息化、政府服务的信息化。生态保护与建设信息获取的信息化是林业电子政务建设的基础,发展内容包括移动和智能采集终端、数据中心、共享交换平台、业务应用系统、标准规范建设等,以实现信息采集的现代化、信息管理的规范化、信息利用的快捷化。政府管理信息化的发展内容包括综合办公系统、行政审批系统、公文传输系统、监察审计系统、综合信息监管平台建设等,以实现办公自动化、管理信息化、决策科学化。政府服务信息化的发展内容主要是内外网网站建设,以方便政府部门与社会利用网络信息平台充分进行信息共享与服务、加强群众监督、提高办事效率、促进政务公开等。

(2) 电子商务与产业领域信息化

发展内容包括3个方面:林农的信息化、林企的信息化、服务商的信息化。林农信息化的发展内容主要包括林产品生产过程的信息化、市场供求信息获取与发布的信息化等。林企信息化的发展内容主要包括企业产品设计的信息化、企业生产过程的信息化、企业产品销售的信息化、经营管理信息化、决策信息化以及信息化人才培养等多个方面。服务商信息化的发展内容主要是电子商务平台建设及规范运营,如林业网络博览会、各类林业商务网站等。

(3) 网络文化与生态文化领域信息化

发展内容主要是围绕生态文化创作、传播、交流、服务等环节,开展信息化建设,为繁荣生态文化提供载体和手段。例如,建设林业网络博物馆、网络电视、网络博览会、网络植树、网络论坛、共享数据库以及开通网络微博等。

(4) 电子社区与新林区建设领域信息化

发展内容包括:基于全要素数字地形图、数字正射影像(包括航空、卫星

遥感影像)、数字地形模型(DEM)、林区三维景观模型等空间基本信息,结合地下管线、土地、交通、绿化、道路、环境、旅游、人口、工业、商业、电力等与空间位置有关的信息,建立林区基础数据库。在此基础上,建立各种信息管理系统、综合办公系统、监控与决策系统、网站等,促进林区人流、物流、资金流、信息流、交通流的通畅、协调。

(5) 信息安全与支撑保障领域信息化

发展内容包括:完善林业信息获取基础设施,如利用遥感、导航、气象等卫星提高林业宏观感知能力,建立林区视频监控网络、多功能传感网络等提高中观和微观感知能力。优化林业信息传输基础设施,如加强新一代移动通信网、下一代互联网、数字广播电视网、卫星通信等设施建设,加强林区宽带网络建设等。建设林业数据中心、灾备中心,推动物联网在林业重点业务领域的应用,加强云计算服务平台建设。推进林业科技、教育、人力资源、后勤服务、装备的信息化。

1.2.3 林业信息化的十大建设内容

(1) 林业内外网及综合办公系统建设

加强外网网站改造和整合,打造中国林业统一的对外服务窗口。加强内网平台改造和整合,为行政办公、业务协同等提供强大支撑。在各级林业主管部门全面推广应用综合办公系统,并根据政府职能和业务管理需求的变化不断加以改进和完善。

(2) 林业资源监管系统建设

包括森林资源监管系统、荒漠化土地资源监管系统、湿地资源监管系统、生物多样性资源监管系统的建设和完善等,以解决“林业资源分布在哪里”的问题,提高国家对林业资源开发利用的监管能力。

(3) 营造林管理系统建设

以实现营造林全过程的信息化管理为主线,建立和完善国家及地方营造林管理系统,解决好“林子造在哪里”的问题。

(4) 林业灾害防控与应急系统建设

以提高林业行业灾害应急管理水平为目的,在国家和地方建设森林防火监控与应急指挥系统、林业有害生物监测与防控管理系统、野生动物疫源疫病监测与防控管理系统,在国家和相关省级单位建设沙尘暴监测与防控管理系统。

(5) 林权改革管理系统建设

包括集体林权制度改革管理系统、国有林场改革管理系统建设等。建设内容包括林权数据库、林权交易数据库、应用系统等。

(6) 林业经济运行服务系统建设

建设内容包括林业单位数据库、林业从业人员数据库、林业产业数据库、林业经济运行监测数据库、林业统计年鉴数据库、林业产业信息交流平台、业务应用系统等。

(7) 林业信息资源整合与开发利用

梳理林业信息资源,建立林业信息资源目录体系和交换体系。在此基础上,将各类信息资源有机整合在统一平台上,进行合理开发利用,最大限度地挖掘信息资源的价值。

(8) 林业信息化标准规范体系建设

按照行业标准《林业信息化标准体系》的规定,建设内容包括总体标准、信息资源标准、应用标准、基础设施标准、管理标准等。

(9) 林业信息安全保障体系建设

建设内容包括物理安全、网络安全、系统安全、应用安全、数据安全、制度保障等6个方面,其中物理安全、网络安全属于安全基础设施。

(10) 林业信息化基础平台建设

建设国家级和省级林业信息化基础平台,建设内容为具有基础性、公共性意义的基础设施、数据库、应用支撑、应用系统等。

1.3 现代森林观测的主要技术及其发展

1.3.1 全站仪观测技术

全站仪是一种集测距、测角及数据传输于一体的测量仪器,因其具有高精度、自动记录等功能,已在林业定位工作中得到广泛应用(景海涛等,2004)。电子全站仪由电源部分、测角系统、测距系统、数据处理部分、通讯接口及显示屏、键盘等组成。美国天宝公司于1971年制造了世界第一台全站仪;20世纪80年代,尼康、宾得、索佳等也开始制造全站仪;20世纪90年代,天宝公司推出了全自动全站仪和WIN全站仪;1997年,莱卡公司推出了无棱镜测距全站仪;2004年,拓普康推出1200m免棱镜激光全站仪。而在我

国,全站仪生产的代表为南方测绘公司,1995年推出NTS-202中国第一台国产全站仪;2004年推出智能型NTS-660系列全站仪,它具有绝对编码、双轴补偿、激光免棱镜测距、WIN操作系统、高等级防水防尘性能;2007年推出免棱镜激光全站仪NTS-330R系列,是国内首台带SD卡数据存储+USB通讯接口的全站仪;2011年推出中国第一台高精度自动全站仪(测量机器人)NTS-391RLWA,测距精度 $1+1\text{ppm}$,测角精度 $1''$,可自动寻找并跟踪目标。

全站仪具有角度测量、距离测量、三维坐标测量、导线测量、交会定点测量和放样测量等多种用途。全站仪测树的模型主要有三位前方交会法、三角高程法和全站仪解析法等。在测点设立全站仪,测量到树干的水平夹角和天顶距,以及仪器到棱镜的斜距,棱镜的厚度,可以推出树木任意处的直径。同样,由距离、角度两个测量值可以得到树木任意处的坐标、树高和树木的材积。此外,还有测树型全站仪—南方测绘仪的NTS-372RLC型全站仪,该全站仪使用Windows CE 4.2操作系统,提供硬件接口,可进行二次开发。

1.3.2 电子测树枪

电子测树枪是由北京林业大学的冯仲科团队所研制的数字化多功能电子测树仪,于2011年开始研发,目前电子测树枪已发展到第二代,它经过试验、验证和推广,能够满足森林资源测量精度的需求。它由中央控制单元、倾角传感器、激光测距传感器、电子罗盘、存储器、液晶显示屏、微型按键、USB数据通信接口、电源等硬件组成(徐伟恒,2013)。电子测树枪能够进行基本测量,包括倾角、斜距、磁偏角的测量。通过激光传感器发射与接收激光的时间差,再由光速来计算距离,有反射片时测量范围为 $0.5\sim 100\text{ m}$,而由树体自身反射时测量范围为 $0.5\sim 60\text{ m}$ 。倾角传感器为微机电系统(micro electro mechanical systems, MEMS)倾角传感器,生产厂商主要有意法半导体(ST)、飞思卡尔半导体(Freescale)两家。国内从事MEMS研发的单位包括中电集团电子第十三所、二十四所、四十九所,北京大学,东南大学,上海交通大学等重点院所。这些厂家生产的产品通过双轴的配合,可以实现 360° 倾角的测量,精度在几秒到 1° 之间不等,完全能满足林业测量精度要求。目前这些产品已经非常稳定,在土木建筑、水文地质、兵器、航空航天、生物医学等工程技术领域已经开始广泛应用。GY-26电路芯片用于测量电子测树枪到测点的磁方位角。

电子测树枪通过测量出站点到胸径处的距离和倾角 α ,以及站点到树梢顶