

全国高等林业院校教材

测 树 学

(第2版)

孟宪宇 主编

中国林业出版社

全国高等林业院校教材

测 树 学

(第2版)

孟宪宇 主编

林业专业用

中国林业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

测树学/孟宪宇主编. -2 版. -北京: 中国林业出版社, 1995

全国高等林业院校教材

ISBN 7-5038-1540-X

I. 测… I. 孟… III. 测树-高等学校-教材 IV. S758

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 14656 号

中国林业出版社出版

(100009 北京西城区刘海胡同 7 号)

北京市卫顺印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

1996 年 10 月第 2 版 1996 年 10 月第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 19

字数: 461 千字 印数: 1~3000 册

定价: 14.70 元

主 编 孟宪宇 (北京林业大学)

副主编 佘光辉 (南京林业大学)

编写者 吴富桢 (南京林业大学)
郎奎健 (东北林业大学)
张少昂 (北京林业大学)

主 审 关毓秀 (北京林业大学)

审 稿 林昌庚 (南京林业大学)

第1版前言

本书是为高等农林院校林学系林业专业测树学课程编写的教材,它是根据1978年9月在昆明和1982年8月在北京两次召开的编写小组会议精神,在广泛征求各院、系对试用教材《林木测算学》的意见基础上编写修订而成的。与上书相比,本教材在内容上有较大的变动,增加了林分材种出材量和重量测定、森林抽样调查、森林连续清查等内容,压缩了收获表。这是由于上述技术和方法发展得比较迅速,并已较广泛地应用于林业生产与科学研究,因此,教材必须作相应的修正。对于过去教材中的“森林分子学说”,因森林调查技术体系的改变,只就其定义作了简略的介绍。角规测树虽已成为一个独立的新的测树体系,但因教学时数和教材篇幅的限制,仍以单位面积的胸高断面面积总和的测定为主,适当地介绍一些最近的发展。

全书所讲授的时间,根据院校的具体情况分别安排,对内容可作适当的增删。如抽样调查和林业遥感两部分内容,作为两门课程单独讲授时,测树学可讲授60~80学时;全部内容作为一门课时,可讲授100~120学时。竹林调查只适用于南方的院校,林分重量的测定一章可根据需要与可能加以取舍。

为满足各院、校师生查阅文献的要求,编写时将较为重要的参考教文献,特别是一些经典著作和论文进行了校订,对题目、著者和出处都有所改正,因限于篇幅,只择重要的列于各章之后。这部分工作是由南京林业大学林昌庚同志负责的,特志于此。

本书经过三次讨论,四易其稿,参加编写和讨论工作的教师达20余人。现在虽已出版,但存在的问题较多,如材种出材量的测定、收获预估、林分结构等,均有待完善和补充,希望各院、校的同行,结合各地区的特点,发挥专长,编写出更好的教材,以提高教学质量。

本书编写修订时,还邀请黄道年、周林生等同志参加了各章的修订工作,同时也得到各院、校老师的帮助和鼓励,并提出了很多宝贵意见,谨此致谢。

编者

1986年7月

第2版前言

1987年由林业出版社出版的全国高等林业院校试用教材《测树学》，是经过国内许多测树学教师历时8年的辛勤工作编写而成的。这本教材改变了过去以原苏联教材为蓝本的编写方法。该教材从初稿试用（1980年）到现在，已历经了10余年，在教学、科研及生产中起了很大的作用，1992年被评为林业部高等院校优秀教材一等奖及国家教育委员会普通高等院校优秀教材奖。

但是，随着我国林业生产、教育及科学研究工作的发展，该教材已不应当前的需要，因此，早在1991年，原教材的主编关毓秀教授就提出了修订测树学教材的大纲和计划。在广泛征求各院校测树学老师意见的基础上，于1992年3月在南京林业大学召开了修订测树学教材工作会议，对修订测树学教材的内容、结构等进行了深入的讨论，进一步明确修订教材的指导思想和目的，即在继承过去教材的优点和经验的基础上，着眼于我国营林工作的需要，推出新的体系和内容，使我国测树学教材接近现代国际水平。同时商定了在修订中遵循的四个原则：

- (1) 进一步明确测树学是林业专业的一门实践性很强的专业基础课。
- (2) 处理好传统内容、技术与近代方法、技术的选择。
- (3) 处理好与其它学科交叉的内容，防止重复与遗漏。
- (4) 处理好理论与实践的关系。

根据上述原则而修订的新教材与1987年版的测树学相比，在内容和结构上都作了较大的变动，例如，由于近年来国内大部分院校已将森林抽样调查和遥感技术在林业中的应用两部分内容从测树学中独立出来单独设课，因此，本教材中不再含有这些内容。由于单木材积测定理论推导过多且实践应用意义较小，所以，也进行了大幅度的精减。为了突出测树学的实践性，加强了实践方面的内容。为适应集约经营及生长收获预估的需要，将林分结构、立地质量及林分密度、林分生长收获预估模型等重要内容分别独立成章，力图使本教材形成一个技术与知识兼容、理论与实践并重的新体系。

全书共10章，讲授时数为50~60学时。为便于学者对本教材内容的理解和掌握，在各章之后附有思考题。有些章节内容已超出现行的林业专业本科测树学教学大纲的范围（目录中带有“*”号的章节），各院校教师可根据具体情况确定是否纳入讲授内容之中。

本书经两次讨论，三易其稿。参加编写的教师有南京林业大学吴富桢（第五章、第七章）、余光辉（绪论、第九章），东北林业大学郎奎健（第一章、第八章），北京林业大学孟宪宇（第二章、第三章、第六章）、张少昂（第四章、第十章）。由于编者的水平所限，难免有遗漏和错误之处，请广大读者给予指正。

本书在修订过程中，得到各院校老师的帮助和鼓励，谨此致谢。

编者

1994.12

目 录

第2版前言

第1版前言

绪 论..... (1)

第一章 单株树木材积测定..... (9)

第一节 基本测树因子与测定工具..... (9)

第二节 树干形状与一般求积式..... (17)

第三节 伐倒木的近似求积式与区分求积式..... (20)

第四节 形数与形率..... (26)

第五节 单株立木材积的测定..... (34)

第六节 枝条、树皮及薪材材积的测定..... (41)

第二章 林分调查..... (45)

第一节 林分调查因子..... (45)

第二节 标准地调查..... (58)

第三章 林分结构..... (66)

第一节 林分直径结构..... (66)

第二节 林分直径分布拟合方法..... (74)

第三节 林分树高结构..... (81)

第四节 形数、形率及材积结构..... (87)

第四章 立地质量及林分密度..... (97)

第一节 立地质量及立地质量的评价方法..... (98)

第二节 地位指数表和地位级表的编制..... (107)

第三节 林分密度和林分生长..... (112)

• 第四节 单木竞争指标..... (119)

• 第五节 林分密度控制..... (122)

第五章 林分蓄积量测定..... (128)

第一节 标准木法..... (128)

第二节 材积表法..... (132)

• 第三节 3P 样木法..... (144)

第四节 标准表法和实验形数法..... (148)

第五节 目测法..... (151)

第六章 林分材种出材量测定..... (153)

第一节 伐倒木材种划分和材种材积测定..... (153)

第二节 林分材种出材量测定..... (160)

第三节 材种出材率表的编制..... (172)

第七章 树木生长量测定	(188)
第一节 树木年龄的测定.....	(188)
第二节 树木生长量.....	(191)
第三节 树木生长方程.....	(193)
第四节 平均生长量与连年生长量的关系.....	(200)
第五节 树木生长率.....	(203)
第六节 树木生长量的测定.....	(210)
第七节 树干解析.....	(211)
第八章 林分生长量测定	(217)
第一节 林分生长的概念及林分生长量的种类.....	(217)
第二节 一次调查法确定林分蓄积生长量.....	(219)
第三节 固定标准地法.....	(231)
* 第四节 林分生长的随机过程与林分表法的实质分析.....	(233)
第九章 角规测树	(244)
第一节 基本原理.....	(244)
第二节 常用角规测器.....	(249)
第三节 用角规测定林分单位面积断面积.....	(252)
第四节 用角规测定林分单位面积株数和蓄积量.....	(256)
第五节 用角规测定林分生长量.....	(258)
第六节 其他角规测树方法.....	(261)
第十章 林分生长量和收获量预估模型	(267)
第一节 林分生长量和收获量预估模型的分类.....	(267)
第二节 全林分模型.....	(269)
第三节 径阶分布模型.....	(278)
第四节 单木生长模型.....	(285)
第五节 林分生长模型的发展.....	(293)

绪 论

一、测树学的概念和内容范围

我国“测树学”一词是本世纪 30 年代直接引自日文“测树学”的。日本测树学早期主要学习德国，日文的这一名词译自德文“Holzmesslehre”和“Holzmesskunde”。但此学科的英文通用名词是“Forest mensuration”，俄文是“Лесная Таксация”，德文现在也有的采用“Forstabschätzung”。所有这些词都是森林测定或森林评价的意思。日本现在也改用“森林测定法”或“森林计测学”。我国台湾省杨荣启教授 1970 年也采用了“森林计测学”名称。考虑到本书的内容安排和我国多年的习惯，本书仍沿用“测树学”这一名称。

古典测树学的内容，吉拉维斯 (Graves, 1906) 所给的定义是：“论述原木、树木和林分材积的确定并研究生长和收获”。直到现在，这一传统内容仍然是世界各国本学科教科书的共同基础。

如果把本学科定名为森林测定学或森林计测学，大森林调查就应是必要内容，其定义也就需要与之相对应。例如，Н. П. Анучин 教授在其所著《Лесная Таксация》一书中对本学科所下的定义是：“研究树木材积、采伐木材积、林分蓄积、大森林蓄积以及树木和林分生长量的确定方法”。大隅真一教授在其所著《森林计测学》中所下的定义是：“研究森林及其产品——木材各种量的测定、估计和计算方法”。也就是说，除树木和林分测定外，大森林调查也被列为本学科的重要内容。

近一二十年来，有些作者进一步把一些非林地的自然资源调查也列入本学科著作中，例如，美国艾弗里 (Avery T. E., 1975) 在修订他 1967 年所著《Forest mensuration》一书时，增加了放牧、野生动物、渔业、水利、旅游等非林地自然资源估测的内容，并把书名更改为《Natural Resources measurements》。美国的胡希 (Husch B., 1983) 在其所著《Forest mensuration》一书的第 3 版中，增加了野生动物和旅游用地的调查内容。我国白云庆教授等 1987 年在其所著《测树学》中，把非林地自然资源估测列为附属的一章，这样就完全超出了传统《测树学》或《森林计测学》以林木测定为中心的内容范畴。

看来这里区分两个不同的概念是必要的。一个概念是学科内容，另一个概念是教材或专著内容。

从学科概念出发，如果把本学科定名为森林计测学，则树木和林分测定、大森林调查（例如森林抽样调查、遥感在森林调查中的应用、森林资源动态监测及预测）、森林资源信息处理等都应属于本学科的正常内容范畴，而野生动物、放牧、水利、渔业等非林地自然资源调查已分别属于性质完全不同的其他学科，并各自分属不同的专业和部门，把它们看成和林木测定都属于同一学科显然是不合适的。

从专著或教材考虑，情况就不同了。同一个学科内容，可以编写成若干种内容不同的专著或教材。反过来，不同的学科内容，也可以合编写在一本专著或教材里。这两种情况都是常有的做法。

二、测树学的目的和任务

测树学的目的和任务有两个，一是为森林调查所要取得的有关木材数量和质量、林分结构和生长规律、质量评定、森林资源经济价值评估、森林资源动态及其发展趋势提供理论、方法和技术。二是为各林业学科提供研究、分析森林的测算理论、方法和技术。同时，为发挥森林的多种效益，保持森林生态平衡，加强森林资源管理及合理利用等提供所需的基础数据。

在《测树学》(1987)教材中，包括树木测定、林分调查及大森林调查三大部分内容。现在，我国大多数高等林业院校已将森林抽样调查和林业遥感技术分别作为两门课程单独讲授，并且分别编印了专著和教材。因此，本书已不必要再重复这些内容。作为全国性测树学教材，删去了树木的重量测定及竹林调查等内容，而只保留了树木和林分测定内容，并根据我国林业生产、经营技术的需要，加强或增添了与林分生长收获预测有关的内容。具体内容分为单株树木材积、材种划分与材种材积测定、生长量的测定、林分调查、林分结构、密度及林地质量评价、林分蓄积量、材种出材量、生长量的测定、角规测树原理与应用、林分生长收获预测等。这是从我国当前高等林业院校实际情况出发，对本教材所作的一种具体安排，并不代表本学科应有的内容和范围。

三、测树学与其他学科的关系及其在林业中的地位

测树学科内容涉及树木、林分及森林的测定理论、方法和技术，需要对大量观测数据进行分析处理，同时还要建立许多数学模型，因此，测量学、数学、数理统计学、遥感及电子计算机数据处理技术、物理学、现代控制论以及森林生态学等都是本学科的基础学科。

在制订国家（或者省、县林场）长期林业发展规划、国家林业方针政策时，必须掌握森林资源的现状及其变化规律，为此需进行森林资源调查或森林资源连续清查（我国通称为一类调查）。在以国营林业局（场）、县为单位编制森林经营方案、总体规划设计时，也需进行森林小班调查（简称二类调查）。在制定森林采伐或森林抚育作业设计时，则需进行作业设计调查（简称三类调查）。各类森林调查的最主要核心工作（林木测算）都属于测树学内容范畴。

此外，为了林业持续发展、保护森林环境和生物多样性，在研究森林与环境的关系中，测树学也是测定、分析群体动态的生物学依据。因此，测树学不仅是森林经理学、森林经营学、森林生态学的基础课程，也是整个林业的一门重要专业基础学科。任何林业工作者都需要在不同程度上掌握一定的测树学知识。

四、测树学发展简史

在森林茂密、人口稀少的古代，木材尚未成为商品之前，没有必要对森林或木材进行量测，因而也不可能存在测树学。只有当人口增加、经济发展、森林减少、木材开始成为商品进行交易之后，才有对木材大小、数量等进行测算的必要，从此才开始出现测树技术。

据文献记载，最早较完备的木材计量、计价方法是我国的“龙泉码价”，它发源于明朝崇祯年间（17世纪40年代）江西省的遂川县（当时名龙泉县），以后逐步在我国南方所有杉木木材交易中普遍采用，一直延续了300多年，直到1954年我国政府规定了全国统一采用以立方米（ m^3 ）为木材计量、计价单位，才停止使用“龙泉码价”。

所谓龙泉码价是用细篾制的滩尺（1滩尺=0.3422m=1.0267市尺）围量杉木原条眉高处

($\approx 1.7\text{m}$) 的周围长,叫眉高围。用粗篾滩尺量材长。按眉围大小和木材长度的不同分成若干级,规定出每个级的“码价”,以“两”为单位。木材交易中,定出每“两”木材的价格。按量测木材眉围和长度所求得的木材两数乘以每两单价,即得木材总价格。如木材有缺陷(弯曲、腐朽等),规定有让篾、让码的标准(如表1中所示)。

表1 龙泉码价表(摘要)

等 级		周 围 (滩 尺)	码价 (两)	周围每加五分 的码价递减数 (分)	规定长度(丈)	备 考
子 木 石 木 小 分 码 大 分 码 小 钱 码 中 钱 码 大 钱 码 七八九码 单 两 码 双 两 码		0.95 以下				如木材长度不足或有瑕疵,则酌量“让篾”或“让码”
		0.95	0.02		3.2	
		1.00~1.35	0.03~0.065	0.5	3.2	
		1.40~1.50	0.07~0.09	1.0	3.2	
		1.55~1.80	0.105~0.18	1.5	3.6	
		1.85~2.20	0.205~0.38	2.5	4.0	
		2.25~2.65	0.405~0.68	2.5	4.6	
		2.70~2.95	0.73~0.98	5.0	5.2	
		3.00~3.45	1.03~1.93	10.0	6.0	
		3.50~4.00	2.03~4.03	20.0	6.0	
飞 码	一级	4.05~4.50	4.43~8.03	40.0	6.0 以上	
	二级	4.55~5.00	8.83~16.03	80.0	6.0 以上	
	三级	5.05~5.50	17.63~32.03	160.0	6.0 以上	
	四级	5.55~6.00	35.23~64.03	320.0	6.0 以上	
	五级	6.05~6.50	70.43~128.03	640.0	6.0 以上	
	六级	6.55~7.00	140.83~256.03	1280.0	6.0 以上	

注:本表引自赵宗哲,1953,实用测树学。

从表格形式看,码价表近似于现代的材积表,但材积表只反映木材的数量(材积),而码价则兼顾了木材的数量和大小、质量。在木材材积相等时,木材愈粗大,码价愈高,因而价格也就愈高。从木材交易考虑,显然用码价比用材积更方便。由于码价有这种优越性,所以能在我国长期采用。

到19世纪初,在欧洲出现了求原木材积的平均断面求积式(1806年)和中央断面求积式(1825年)。这些求积式一直沿用到现在,并被世界各国所采用。日本最早的原木材积测定法是天保六年(1835年)德川幕府制定的“御林方尺缔法”:量出小头直径,根据从小头起长度每增加6日尺($=1.818\text{m}$),直径增加1日寸的关系推求出大头直径,再按大小头直径的平均值作为中央直径,把中央直径平方乘以 0.79 ($\frac{\pi}{4}$ 的近似值),再乘上长度,计算出其材积值。所以这种方法近似于平均断面求积式。

这一时期虽然出现了一些经验性的木材测定方法,但还没有形成系统的测树学,但进入19世纪后,西欧,特别是德国,测树学各领域的研究有了很大的发展,现在采用的材积测算方法许多都是这一时期所形成的。孔兹(Kunzem, 1873)、包尔(Baur F., 1875)等人编写出版的有关测树学的著作,使测树学作为一门学科,初步形成体系。1927年,蒂森道夫(Tischendorf W.)的名著《Lehrbuch der Holzmassenermittlung》(测树学教科书)问世,完备地奠定了古典测树学的科学体系。

20世纪是测树学在全世界形成并飞速发展的时期,在20世纪20年代前后,世界各主要国家都先后出版了测树学著作。例如,1919年G.Huffel出版了法国的第一本

《Dendrometrie》(《测树学》), 1923 年奥尔洛夫 (Орлов М. М.) 出版了原苏联最早的 “Лесная Таксация” (《测树学》)。堀田正逸 (1928 年)、铃木茂次 (1928 年)、吉田正男 (1930 年) 出版了日本早期的《测树学》。侯过在 30 年代初编印了我国最早的测树学教材。这些国家的测树学著作基本上都是以德国测树学为蓝本。

美国早在 1906 年就出版了吉拉维斯 (Graves H. S.) 的 “Forest Mensuration”, 其后, 查普曼 (Chapman H. H., 1924)、比拉亚 (Belyea H. C., 1931)、布鲁斯 (Bruce D.) 和舒马赫 (Schumacher F. X., 1935) 也相继出版了美国早期的《Forest Mensuration》著作。美国是采用英制的国家, 和英国、加拿大等英制国家一样, 其木材交易是以 “板英尺” (board feet) 作为计量、计价单位, 在《Forest Mensuration》中对板英尺的特定测算方法有着详细的介绍, 这是该国测树学的一个重要特点。此外, 美国和北欧当时的森林调查多采用带状调查法, 在《Forest Mensuration》教科书中对此有所介绍, 这一森林调查方法为森林抽样调查法提供了良好基础。

第二次世界大战后, 测树学获得了飞跃的发展, 主要表现在数理统计方法 (主要是抽样技术) 和航空摄影技术 (主要是航摄像片判读及成图) 在森林调查中得到日益广泛的应用。在这方面美国起了先导作用。斯泊尔 (Spurr S. H., 1948) 出版了第一部森林航测的著作《Aerial photographs in forestry》。1952 年他又出版的全面论述森林清查的著作《Forest Inventory》, 对应用数理统计方法和航摄像片进行了广泛的讨论。舒马赫 (Schumacher, F. X.) 和查普曼 (Chapman R. A., 1949)、查普曼 (Chapman H. H.) 和迈耶 (Meyer W. H., 1953)、胡希 (Husch B., 1963)、艾弗里 (Avery E. F., 1967) 等人的著作反映了美国森林测定技术和方法在这一新领域中的兴盛和发展。

继美国之后, 德国普勒丹 (Prodan. M., 1965) 出版的《Holzmesslehre》, 日本大隅真一等人 1971 年出版的《森林计测学》, 我国关毓秀、林昌庚等人 1987 年出版的《测树学》都较详细地介绍了数理统计方法及航摄像片在森林调查中的应用。

奥地利毕特利希 (Bitterlich W., 1947) 首创了角规测树理论和方法, 此后逐步发展形成了角规测树新体系, 这是对测树学的一个重要贡献。

近一二十年来, 电子计算机数据处理技术、航天遥感技术、预测理论和方法有了飞跃发展, 并在森林调查和森林资源动态监测、预测中得到日益广泛应用。这些新技术已经并且必将进一步对测树学科的发展产生巨大影响和推动。

综上所述, 测树学的发展大体可以分成 4 个阶段:

第一个阶段: 是测树学的孕育期, 时间大体是 19 世纪早、中期。在这一时期, 测树方法开始作为一门科学进行广泛的研究, 并提出了许多测树理论和方法, 但还没有形成完整的学科体系。

第二阶段: 是完整的古典测树学形成和发展时期。时间大体是从 19 世纪末期到第二次世界大战。在这一时期, 各国都先后出版了《测树学》著作, 其内容都以原木、树木和林分材积测定为中心, 并包含生长和收获预估。对这种古典测树学的形成和发展, 德国起了重要作用。

第三阶段: 数理统计方法, 尤其是抽样技术和航摄像片广泛引用于森林调查, 并在测树学中占据了重要地位。这一时期基本上是从第二次世界大战后开始并以美国为先导, 目前在全世界大多数国家, 这一发展阶段已趋于成熟和稳定。

第四阶段：近一二十年来，电子计算机数据处理、航天遥感、动态预测等新技术在森林调查中开始并日益得到广泛应用。这预示着本学科将会发展到一个崭新的更高阶段。另外，由于森林资源的定义和内涵愈来愈广，即森林资源既包括木材资源，又包括非木材资源（林地上的动、植物资源、水资源、景观资源及旅游资源等）。因此，它已大大超过了传统测树学测定的对象，并且还涉及到上述森林资源与环境关联的效益评价，甚至于涉及到社会和经济调查方法和技术。这些将是测树学发展过程中需要深入研究和探讨的问题，即由测树学改为森林评价（Forest Mensuration 改为 Forest Assessment）的问题。

五、测树学中的误差、精确度及准确度

任何被观测物体，其大小、数量都有一个客观存在的真值（true value）。观测的目的就是为了求得这个真值。但由于物质的无限可分性以及其它主客观因素的影响，这个真值是不能确知的，只能通过一定量测和推算方法求得其近似值。近似值和真值之差称为误差（error），即：

$$\text{误差} = \text{测算值} - \text{真值}$$

误差可以从不同角度加以分类，通过分类可帮助对不同误差的特点有更明确的了解。

误差都是在量测和计算过程中产生，由此可分为量测误差（指量测过程产生的误差）和计算误差（指计算过程产生的误差）。

从抽样技术角度，可分为抽样误差（指由样本估计总体产生的随机误差）和非抽样误差（抽样误差以外的其他误差）。

从误差来源可分为过失误差、系统误差和偶然误差。

为了减小测算结果的误差，必须认真考虑误差的不同来源，方能有针对性的在工作过程中加以注意。因此有必要较详细地讨论误差的来源。

（1）过失误差（error of mistake）：也称错误（mistake），是由工作者过失引起的。例如错误使用仪器、读错数字、计算错误等。这类误差只有通过细心工作和严格督促检查才能避免。

（2）系统误差（systematic error）：由于某种原因引起一个不变的恒定误差值，并朝一个固定方向偏大或偏小。这类偏差（bias），有的可在事后对结果加以改正，例如仪器刻度有错、测计尺度（轮尺、皮尺、材积表等）偏大或偏小、计算公式有偏等，但有些系统误差在事后却无法改正，且无法知道其偏差大小，例如系统抽样设计不当由周期性引起的系统偏差等。这种偏差只有在抽样设计中严加注意，尽力避免。

（3）偶然误差（accidental error）：此种误差的大小和正负符号完全是偶然的。可看作是随机变数。这种误差的来源在测树工作中可以是多方面的，例如用轮尺测定树干直径、用材积表确定树木材积、林分或森林蓄积、用随机样地估计森林总蓄积等都会产生偶然误差。抽样误差也属于偶然误差。偶然误差是无法避免的，但其误差值的大小却可以控制，且可以根据概率论的原理和方法估计出误差的取值范围。这是森林抽样调查设计所要考虑的重要问题之一。

明确了以上各种误差的概念，就不难进一步弄清精确度（precision）和准确度（accuracy）的概念。精确度和准确度这两个名词在日常生活中往往被混淆，但在科学技术上它们各有不同的含义。

精确度也叫精密度，是指由于偶然误差而使观测值在其平均值周围的一致性程度。例如用同一个测高器重复测同一株树的高度若干次，每次量测结果不会完全相同。各次量测值之间差别小的（一致程度高）表示测定的精确度高，反之则低。在抽样调查中，各个样本单元观测值与样本平均值的一致程度也同样是用精确度表示。因此，精确度可用来表示仪器的效能或抽样调查结果与总体一致程度。

准确度则表示测算求得的近似值与真值的接近程度。它和总误差相对应，总误差小的，准确度高，反之准确度低。任一个测算结果可能混合含有过失、系统和偶然三种误差。一个测算结果，即使偶然误差或抽样误差很小，精确度很高，但却含有较大的过失误差或系统误差，其结果的总误差仍可能很大，即准确度可能很低。

在测树工作中，有些量可以直接量测求得，如树干直径等，有些量则只能推算出，如树干材积、森林蓄积等。综合应用量测、推算方法求得调查对象的近似值是测树学的基本测算技术。因此最后求得的结果必然会包含了各种性质的误差。尽管实践中通常只计算出抽样误差或精确度，但全面考虑各种可能发生的误差，力求提高最后测计结果的准确度，这是测树工作中必须特别注意的问题。

六、测树学中的有效数字

有效数字(significant digit)是指能有效反映某一数量大小的数字。由于误差的客观存在，测算只能取得近似值，由此产生有效数字问题。测算过程中记录和运算所取的数字位数，如少于有效数字，会损失精度，如多于有效数字，会造成无效劳动。因此有必要掌握有效数字的规律。

一个数的有效位数是从左向右自第一个非零数字开始到最后一个可能是零的数字为止的位数。例如 24、2.4、0.24、0.024 等数字都有 2 和 4 两个有效数字。240、24.0、2.40、0.240、0.0240 都有 2、4、0 三个有效数字。

一个数量，如只改变其计量单位，则只移动其小数点位置，有效数字的数目不变。例如 1.341m 和 134.1cm 都是有 4 个有效数字。

在量测、计算过程中，首先碰到的有效数字问题是量测数字的记录要遵从有效数字规则。例如用测高器测树高，可以 m 为单位记录，如要求记录到 cm，则应该被认为是不正确的，因为这种量测达不到这个精度。在数据处理上，如树高量测值是 13.1m，不可写成 13.10m，如果是 13.0m，不可写成 13m。因为 13.1 和 13.0 这两个数字的有效数字是三个，而 13.10 是四个有效数字，13 则是两个有效数字。

记录的有效数字可以认为都是整化值。例如 13.1 这个数可认为是由 13.05 到 13.14 之间的任一个数整化而来。整化可采取四舍五入的法则，也可以采取舍去尾数的办法。例如 13.06 这个数，如采用四舍五入法则，则应整化为 13.1，如采取舍去尾数的办法，则应整化为 13.0。

在大量测定工作中，往往需要更大幅度的整化。例如测定大量树木的直径时，通常是按 2cm 或 4cm 间距进行整化。此时只记录 2、4、6、8……或 4、8、12、16……等整化值。两个整化值中间的数值，可按统计上规定的上限排外法或下限排外法，归入上一个或下一个整化值。例如若按 2cm 整化，采取上限排外法，则 3.0、5.0、7.0 等值应分别归入 4、6、8 等整化值中。

对记录的数字作加减乘除运算时，同样会碰到有效数字问题。

在加减运算中，得数中的小数点后的有效数字取决于加数或减数中小数点后位数最少的值，例如量测值 123.241 和 31.5 相加得 154.741。由于加数中的 31.5 在小数点后只有一位有效数，所以得数的有效数字应是 154.7。因此，量测工作开始之前应统一规定好记录单位和小数点后应取的位数，否则会造成一些无效劳动。

在乘除运算中，乘积或商的有效数字取决于乘数或被乘数、除数或被除数中有效数字最少的量测值。例如 $51.28 \times 5.6 = 287.168$ 。此乘积尽管有 6 位数，但因乘数 5.6 只有两个有效数字，因而乘积也只是前面两个值 2 和 8 是有效数字。分析一下其中道理。

51.28 这个整化值是表示介于 51.275 和 51.285 之间的一个观测值，5.6 则表示 5.55 和 5.65 之间的一个观测值。4 个可能组合的乘积是：

$$(51.275)(5.55) = 284.57625$$

$$(51.275)(5.65) = 289.70375$$

$$(51.285)(5.55) = 284.63175$$

$$(51.285)(5.65) = 289.76025$$

这 4 个乘积中只有开头两个数字相同，被认为可信赖。所以其有效数字是 2 和 8。除法也是一样。为了减少整化误差，通常的规则是乘除运算过程中取的数字比结果的有效数字多一位。

一个测定值与一个确实的数值相乘或相除时，积或商的有效数目取决于测定值。例如 π 或 e 都是确定的值，但其数字的数目可以增多到任意个数，如用 π 或 e 乘或除一个量测值，则 π 或 e 所取的有效数字的个数应与量测值一致，其积或商的有效数字个数也应与量测值一致或多一位。

七、本书调查因子使用的计量单位及符号

测树学调查因子主要有直径、断面积、高（长）度、材积（或蓄积）、年龄等。我国是采用米制的国家。在测树学中，各种量的计量单位及惯用符号列于表 2。

表 2 测树学主要测量及其单位符号

测 计 量	惯用符号	米 制		英 制	
		计量单位	符号	计量单位	符号
树干直径	d	厘米	cm	英寸	in
林分平均直径	D_g				
林分算术平均直径	$\bar{D}$				
树干断面积	g	平方米	m^2	平方英尺	ft^2
林分总断面积	G				
林分平均断面积	$\bar{g}$				
林分每公顷林木断面积	G/hm^2				
树干全部或局部长度	L 或 l	米	m	英尺	ft
树木全高或某部位高度	H 或 h				
林分平均高	H_D				
林分算术平均高	$\bar{H}$				

(续)

测 计 量	惯用符号	米 制		英 制	
		计量单位	符号	计量单位	符号
林分优势木平均高	H_T				
树干全部或局部材积	V 或 v	立方米	m^3	立方英尺 板英尺	ft^3 board feet
林分或森林蓄积	M				
林分每公顷林木蓄积量	M/hm^2				
材积(连年)生长量	Z_v				
林木年龄	a	年			
林分年龄	A				

注: $1cm=0.3937in$, $1m=3.28084ft$; $1in=2.54cm$, $1ft=0.3047m$, $1acre=0.4047m^2$; 全书同。

还有其他许多量,如不同种类的生长量、形数、形率、生长率、密度、立地指数等,将在有关章节中介绍。

不论树木材积或林分、森林蓄积,英文文献都称材积(volume),例如树干材积(stem volume)、林分材积(stand volume)等。符号都用 V ,尽管蓄积有时采用stock这个词,但蓄积的符号却总是用 V 。我国把材积和蓄积严格分开并分别用不同的符号 V 和 M 表示,这是50年代学自原苏联。俄文材积的词是объем,蓄积是запас,但代表符号却不是取自这两个词的第一个字母,而是分别采用 V 和 M ,我国也引用了过来。这些符号在我国已普遍沿用了40多年,大家都熟悉和习惯了,本书也就暂不改动。

第一章 单株树木材积测定

树木都是由树干、树根和枝叶构成的。从利用木材的观点出发，树干价值最高，且在整个树木体积中占比例最大，约占 $2/3$ ，而根和枝叶只各占 $1/6$ 左右，因此测定树干的材积是测树学主要任务之一。

生长着的树木称为立木，立木伐倒后称为伐倒木。同样是树干材积，由于立木和伐倒木的测定条件不同，所以测定方法也有所不同。特别测定立木条件比较困难，所以直至今天，对于单株立木测定仍无比较好方法。

本章首先介绍基本测树因子概念和测定工具，然后讨论树干形状及树干曲线的理论和经验表达式。在一定假设条件下（假设树干为抛物体），导出几个伐倒木近似求积公式，并介绍树木的枝条、树皮及薪材的测定方法。对于立木引出形数理论以及介绍几个单株立木材积测定方法。因此，本章内容为测树学最基础知识之一。

第一节 基本测树因子与测定工具

一、基本测树因子

树木的直接测量因子及其派生的因子称为基本测树因子，如树干的直径、树高等。这些均是树木直接测定因子。还有一些因子，如树干横断面积、树干材积、形数等是在直接测定因子的基础上派生的。

（一）树木的直径

树干直径（Diameter）是指垂直于树干轴的横断面的直径。用 D 或 d 表示。

树干直径分为带皮直径和去皮直径两种，测定单位是厘米（cm）。树干直径随着其在树干上的位置不同而变化，从根颈至树端其树干直径呈现出由大到小的变化规律。其中有一种距根颈 1.3m 处的直径，称为胸高直径，简称为胸径（diameter at breast height）。由于胸径在立木条件下容易测定，所以胸径是一个重要的测树因子。

（二）树高

树干的根径处至主干梢顶的长度称为树高（height），测量单位是米（m），一般要求精确至 0.1m。树高通常用 H 或 h 表示。

（三）树干横断面积

树干横断面积同树干直径一样也可以有许多个，其中位于胸高处横断面积是一种重要测树因子，通常简称为树木的胸高断面积，记为 g ，测量单位是平方米（ m^2 ）。

（四）树干材积

树干材积是指根径以上树干的体积，记为 V 。单位是立方米（ m^3 ）。

二、树干直径测定工具

测定直径的工具种类很多，常用的有轮尺、直径卷尺和检径尺（钩尺）等。