

基于 TLS 的树高转换模型构建研究

傅根深¹, 黄志强², 吕海燕¹, 黄庆丰¹, 唐雪海^{1*}

(1. 安徽农业大学林学与园林学院, 安徽合肥 230061; 2. 休宁县西田国有林场, 安徽黄山 245421)

摘要 树高是森林资源调查中重要的结构参数,也是森林蓄积量、树木生长模拟及森林碳汇计算的基础因子。以安徽省休宁县西田国有林场的杉木人工林为研究对象,使用地基激光雷达(TLS)采集单株样木的激光点云数据,通过 HDSScene 软件完成测站拼接、去噪等预处理,并直接提取单株杉木树高。同时,联立获取的伐倒样木树高实测值,运用相关分析和回归分析方法构建树高转换模型。结果表明,树高转换模型关系式为 $y=0.970x+0.312$, $R^2=0.973$, $RMSE=0.441$, 并且当树高超过 9 m 时, TLS 树高测量值与伐倒木真实值之间的误差会降低且趋于平稳。该研究提出一种获取高精度树高参数的方法,可为解决传统方法获取树高时精度不高或工作量大等不足提供科学依据。

关键词 地基激光雷达;树高;转换模型;误差分析;杉木

中图分类号 S75 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)05-0113-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.05.028



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Construction of Tree Height Conversion Model Based on Terrestrial Laser Scanning

FU Gen-shen¹, HUANG Zhi-qiang², LÜ Hai-yan¹ et al (1. School of Forestry and Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230061; 2. Xitian State-owned Forest Farm, Xiuning County, Huangshan, Anhui 245421)

Abstract Tree height is an important structural parameter in forest resource survey and a fundamental factor in forest stock, tree growth simulation and forest carbon sink calculation. In this paper, laser point cloud data of single sample trees were collected using terrestrial laser scanning (TLS). Pre-processed by HDSScene software, such as station stitching and denoising, and extracted directly from single fir tree heights in Xitian state-owned forest in Xiuning County, Anhui Province. At the same time, the measured height of the felled sample trees was obtained by the correlation analysis and regression analysis to construct a tree height conversion model. The results showed that the relationship between the tree height conversion model was $y=0.970x+0.312$, $R^2=0.973$, $RMSE=0.441$, and it was found that the error between the TLS tree height measurement and the real value of the felled wood decreased and became smooth when the tree height exceeded 9 m. This study proposed a method to obtain high-precision tree height parameters to solve the shortcomings of traditional methods in obtaining tree height with low accuracy or high workload.

Key words Terrestrial laser scanning; Tree height; Conversion model; Error analysis; *Cunninghamia lanceolata*

树高是重要的森林垂直结构参数,既能够反映立地质量的差异,又是计算林分蓄积和生物量的重要因子^[1]。通常,树高数据真实程度直接影响着立地质量的评价结果和生物量模型构建精度^[2-4]。因此,外业调查都尽可能地选择精度较高的仪器测量,或者通过构建模型减少树高估算误差,使树高测量值最大程度地接近“树高真值”^[5-6]。树高真值一般是取单木伐倒后尺量树基至树干梢头的长度,由于获取大量树高真值意味着要对林分进行皆伐,这对生态环境将产生极大的破坏,违背了我国森林生态保护的方针和政策^[7-8]。为此,林业工作者开发出许多测高仪器来提高树高量测精度。传统的测高仪器主要依据相似三角形和三角函数的测高原理(如布鲁莱斯测高器、圆筒测高器和克里斯屯测高器),靠人力获取树高信息。由于外业调查实测难度的限制,仅测得小范围少许树高点差的数据,精度易受人因素和林况影响,不利于大区域范围森林结构参数的定量研究^[9-10]。运用超声波技术研制的测高器通过发射超声波接受回波信号能够获取准确的点位距离,高度则可通过距离和角度的三角函数关系算出,这种仪器虽然可在一定程度上减少人力,但在复杂的林况下难以精准瞄到树干梢头,具有较大的测量

误差。激光测高器的原理类似超声波测高器,虽然使用上更方便,但在实际测量中,仍无法避免林下量测难以确定树干梢头的情况。光学遥感技术主要应用于大尺度范围的森林资源监测,如使用航片与卫星影像观测森林空间分布特征和格局^[11-13],理论上将高分辨率的遥感或航空影像结合高程值即可快速获取大量树高数据,但实际操作中,获取大量单木树高数据非常耗时,且难以在三维结构上根据树木生长方向提取到真实树高。

激光雷达技术是近些年国际上快速发展的一种主动遥感技术,采用非破坏性的三维测量手段,能够快速获取目标对象垂直结构的高精度 3D 点云数据,自动化提取森林结构参数,参数反演上具有其他光学遥感技术无可比拟的优势^[14]。地基激光雷达(terrestrial laser scanning, TLS)通过扫描样地得到点云数据,构建出真实的内部场景图,相比较传统的林业调查手段,更加省时省力,且仪器自身具有较高抗干扰能力和高分辨率,将使树高量测值更加接近真实值^[15]。由于任何仪器都会在使用过程中产生各种误差,因此,笔者提出树高转换是模型的概念。树高转换是指在统计学层面利用转换关系将树高估测值校正为对应的“树高真值”,树高转换模型是通过数理统计方法客观刻画出实际的转换关系,以此来分析 TLS 测量的树高数据与树高真值间的误差关系。

笔者以安徽省黄山市休宁县西田林场 7 块杉木样地为研究区域,结合外业实测树高真值与 TLS 树高测量数据来构建树高转换模型并验证模型精度,通过树高转换模型可将地

基金项目 安徽省自然科学基金项目(1808085QC74)。

作者简介 傅根深(1997—),男,安徽合肥人,硕士研究生,研究方向:森林经理。*通信作者,讲师,博士,从事森林资源经营管理和林业 3S 技术研究。

收稿日期 2021-06-10

基取样数据转换为大量高精度的“树高真值”,以提升区域森林生物量调查的精度化定量研究水平。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 研究区位于安徽省黄山市休宁县西田国有林场,地理位置见图 1。研究区内有中山、低山、丘陵 3 种地形,区内平均海拔 500 m,最高和最低处相差 1 000 m,地处

中纬度地带,属北亚热带季风气候,年平均气温 16.2 ℃,年平均降水量 1 613.7 mm,无霜期 220 d。区内植被类型丰富,常见的树种有杉木 [*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.]、马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.)、枫香 (*Liquidambar formosana* Hance)、毛竹 [*Phyllostachys heterocyclus* (Carr.) Mitford cv. *Pubescens*]、栓皮栎 (*Quercus variabilis* Bl.) 等。

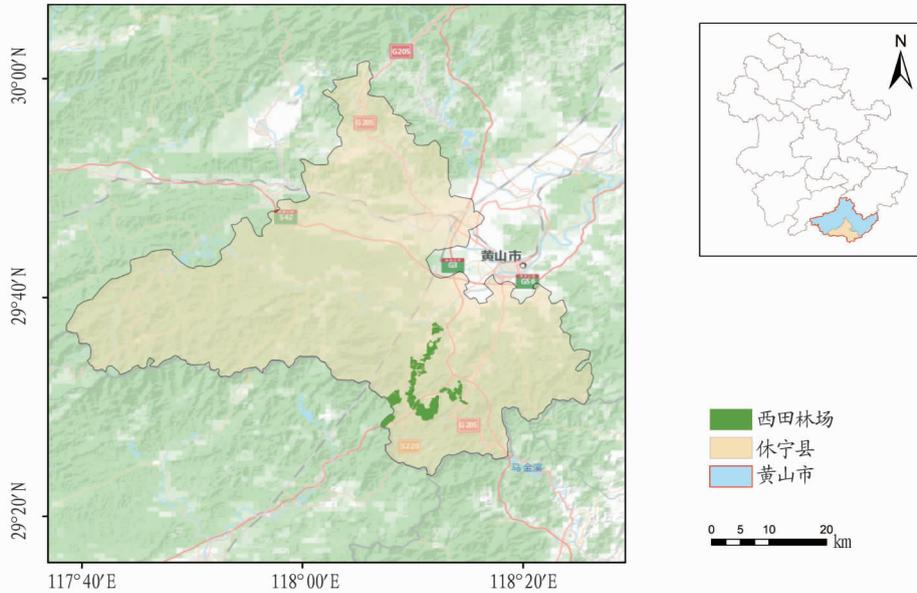


图 1 研究区位置

Fig.1 Location of study area

1.2 样地设置与调查 该研究在休宁县西田林场共设置样地 21 个。样地依据标准地要求设置成规格 20 m×20 m 的正方形,随机选取其中 7 块样地架设 TLS 装置扫描。样地设置步骤如下:①使用罗盘仪架设在设定的方位起点,瞄向某个方向,并用皮尺沿该方向拉取 20 m 至下一测点,皮尺确保要直,且与地面平行。同时,边界内外侧树木作好区分标记。②将罗盘仪移至下一点,偏转 90°瞄向另一边。以此类推,直至首位点位重合,即完成一处标准观测样地设置。样地设置好后,利用 GPS 对边界进行绕测,同时开展每木检尺和单木定位工作。每木检尺的调查因子有树种、胸径、树高、冠幅、枝下高、坡度和坡向等。

在 TLS 扫描工作结束后,根据样地检尺数据,按照径阶进行分层,随机抽取样木。伐倒木类型包括优势木和非优势木,结合伐倒木 GPS 坐标位置绘制点 shp 文件,便于在 TLS 三维视图中定位查找。

1.3 激光点云数据获取和处理 该研究所采用的 TLS 设备是中海达 HS450 三维激光扫描仪,其工作原理是利用激光脉冲从发射到接收的时间间隔计算出目标物体表面各点精确位置。利用地基激光雷达获取点云数据的流程分为外业数据采集和内业数据处理 2 部分。

1.3.1 外业数据采集。

(1)扫描站点选择。测站位置选择是获取点云重要的基础环节,原则上站点选取要充分考虑到样地周围环境(光线强弱和风力大小),一般选取地势较高、视野开阔无遮挡,兼顾

前后两站,确保样木落在各站仪器镜面的公共重叠区域。

(2)反射球、反射靶标布设。反射球与反射靶标是特别定制的具有良好反射特性的多站拼接标记点,扫描成像中成明显的黑色标记。为能够自动拼接或手动识别特征点,样地内需布设至少 3 个以上反射球或反射靶标,确保每站都能看到树干上的标记点。

(3)全站仪测量和 GPS 定位。在样地中心位置架设全站仪,测定各 TLS 测站和反射球、发射靶标的相对坐标。同时用 GPS 定位各 TLS 测站的坐标位置,具体仪器架设情况见图 2,T 为地基激光雷达,BB 为反射靶标,G 为 GPS,E 为全站仪。

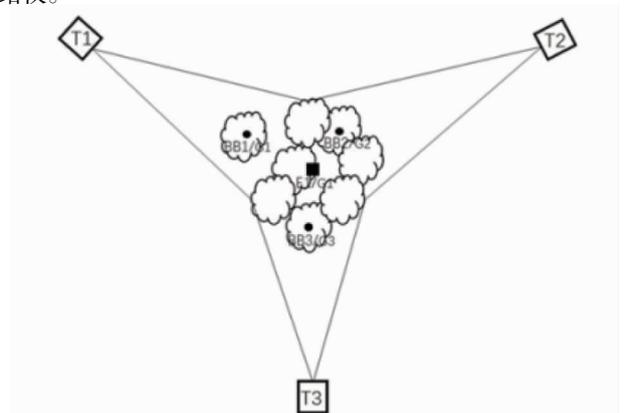


图 2 三维激光扫描站点布设

Fig.2 Layout of three dimensional laser scanning stations

1.3.2 内业数据处理。

(1)数据导入和坐标转换。将中海达 HS450 采集的默认为 HSR 格式的原始点云数据勾选导入 HDSScene 软件工作区。在工程文件的平面视图下,选择反射球和发射靶标控制点,打开单站坐标转换,分别输入各反射标记的大地坐标,保存即完成坐标转换,以此根据伐倒木定位信息可确定其立木状态下的树高估测值。

(2)点云拼接。在样地选取合适点位架设仪器可以获取一定范围的单木信息,由于野外地形复杂,易使扫描线受到树木和各类障碍物遮挡,致使难以通过单站数据获取完整的单木表面信息。因此在复杂林况下,仪器布设必须围绕扫描对象不同方位,通过获取不同部分的整体分块点云数据,再进行拼接即可获得完整的单木点云数据。按照架站顺序,利用各站扫描交会处设置的公共标记构建点云坐标转换模型,

求出各邻间的坐标平移和旋转参数,再依据闭合条件,对参数进行加权误差配置,以此将坐标转换模型归于同一坐标系,从而实现多站无缝拼接。

利用 HDSScene 软件的手动拼接方式完成多站扫描站点云数据拼接。首先,在拼接工程中建立 2 组拼接对和设定 1 个全局参考站,在拼接对中选择灰度图浏览,人工识别靶球和靶标,并依次在各站平面视图内进行同命名标记特征点。拼接后的三维视图见图 3a。

(3)点云去噪。由于 TLS 获取的是大量离散的点云数据,过程中不可避免地会受到外界因素影响而产生异常数据和掺杂噪声^[16]。因此,提取树高参数前需进行去噪处理。使用 HDSScene 软件对完成拼接的点云数据在三维视图进行人工识别和手动框选去噪,完整单株点云数据见图 3b。

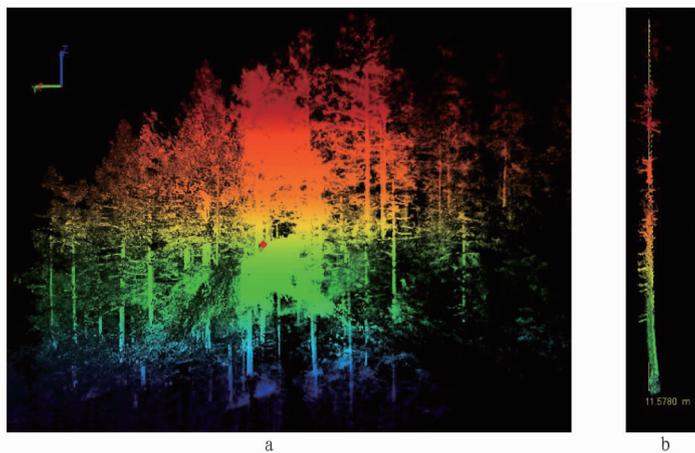


图 3 拼接后三维视图(a)及单株树高点云(b)

Fig. 3 3D view (a) and single tree high point cloud (b) after splicing

(4)单木树高提取。该研究对象为杉木,三维视图中多数呈现干形通直的特征,但由于地形原因和部分畸形,仍有少许树干生长方向不是垂直向上。因此,在提取树干高度前,需将单木分割和非树干点云去除,方便顺着树干直线方向从下至上提取单木树高。导入已处理的 HLS 格式点云数据,在三维视图下,点击点云选择工具,结合伐倒木定位信息将无关单木点云框选隐藏,分割出配对单木,并去除非树干部分点云。利用测量工具沿树干生长方向提取树高。

1.4 树高转换模型构建 将 7 块样地内所测得树高真值及其对应 TLS 树高测量数据分别编组为建模数据和验证数据,所有数据采用 Excel 2016 进行整理,并使用 IBM SPSS 24.0 进行相关分析和回归分析构建模型。利用决定系数 R^2 、残差平方和 SSE、均方根误差 RMSE 等指标对模型拟合程度进行评价。

2 结果与分析

2.1 基于 TLS 的树高转换模型 根据建模数据中 TLS 树高测量值与树高真值绘制散点图(图 4)判断变量间存在的线性关系。从图 4 可见,TLS 测得的树高与伐倒木对应的树高真值呈明显的直线关系。为进一步了解变量间线性关系的密切程度,还需进行相关分析,结果表明 2 个变量间的皮

尔逊相关系数为 0.987($P=0.000<0.01$),说明 TLS 树高测量值与伐倒木树高真值间线性关系显著。

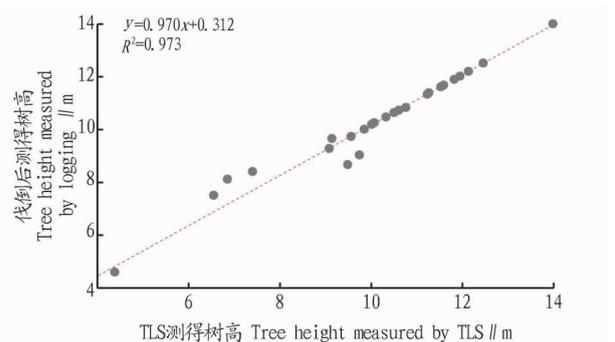


图 4 TLS 树高测量值与树高真值散点图

Fig. 4 Scatter plot of TLS tree height measurement and tree height truth

依据上述建模数据的线性相关特点,通过建立线性回归方程表征树高间的转换关系,构建出树高转换模型为 $y=0.970x+0.312$,式中, y 为伐倒木树高, x 为 TLS 提取的树高。决定系数 R^2 为 0.973,达到极显著,表明该函数式拟合精度高。

将 TLS 树高测量值验证数据代入已建立的树高转换关

系函数式,求得对应树高真值的比较数据,再与验证数据中伐倒木树高真值作相关分析,结果表明,皮尔逊相关系数为 0.964,标准误差为 0.024,说明该线性函数式能够较好地完成 TLS 树高测量值与树高真值转换。

从转换结果上看,虽然整体结果可以满足精度要求,但转换后误差并未明显降低。进一步对树高和标准误差进行数据分析,结果见图 5。从图 5 可见,当树高超过 9 m, TLS 的树高测量值与伐倒木树高之间的误差降低且趋于平稳,这说明树高转换模型的精度容易因非优势木树高普遍较低而受到影响,因此,需要进一步对比分析优势木和非优势木的树高转换精度,以便准确得出转换模型的误差来源。

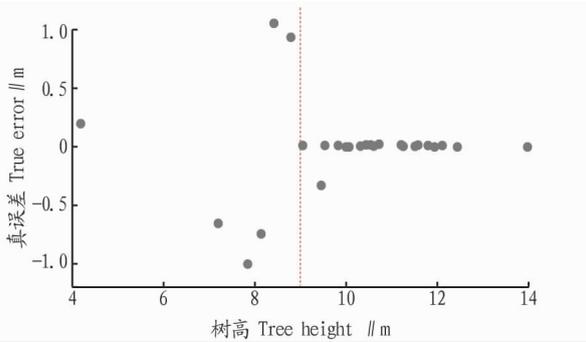


图 5 树高-真误差相关分析

Fig. 5 Correlation analysis between height of tree and true error

2.2 优势木和非优势木树高转换精度对比 将优势木和非优势木 TLS 树高测量值分别代入树高转换模型并与对应树高真值进行分析,结果见表 1。由表 1 可知,优势木的转换精度最高,皮尔逊相关系数达到 1.000,说明优势木转换树高值能很好地拟合树高真值。非优势木转换树高值的皮尔逊相关系数只有 0.949,与优势木转换精度相比具有较大差距。因此,需要单独对非优势木树高组进行相关性分析和模型构建。对非优势木 TLS 树高测量值与伐倒木树高进行回归分析,结果见图 6。由图 6 可知,非优势木的树高转换模型为 $y = 15.294 - 5.657x + 0.878x^2 - 0.036x^3$ (x 为 TLS 测量树高, y 为伐倒木树高),决定系数 R^2 为 0.920,说明该转换函数式能较好地拟合非优势木树高转换关系。

表 1 优势木与非优势木树高转换精度分析

Table 1 Analysis of high conversion accuracy of dominant and non-dominant trees

类别 Category	皮尔逊相关系数 Pearson correlation coefficient	显著性 Significance
优势木 Dominant wood	1.000	0.000
非优势木 Non dominant wood	0.949	0.000

2.3 TLS 测高及转换模型误差分析 从优势木和非优势木树高转换精度不同的特征,可以得出 TLS 对样地内不同高度层的单木空间结构提取能力存在差异,导致这一特点的主要原因是树木结构对 TLS 不同高度点云密度的影响。该研究采用样地外围架设三站的方法,虽然可以准确捕捉优势木的树干梢头点云,但对于郁闭度较大的林冠中下层非优势木的树干梢头识别起来较为困难。除此之外,拼接精度也会影响

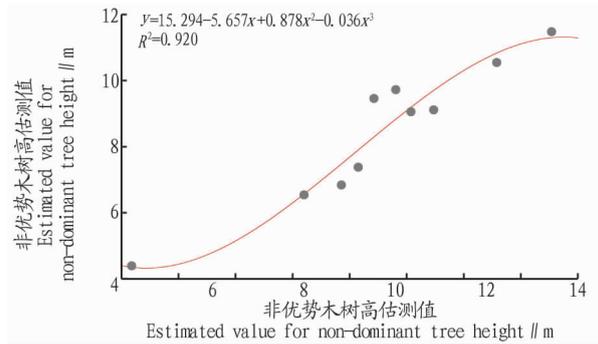


图 6 非优势木转换函数

Fig. 6 Transfer function of non-dominant tree

到树高提取,样木在三维视图中出现重影,树高梢头部分点云会有不同程度的发散。在点云数据的预处理环节主要采用手动识别方式,对于点云密度过大部分的处理效率低下且过程烦琐,精度很难保证。

3 结论与讨论

3.1 结论 该研究利用 TLS 对安徽省黄山市休宁县西田国有林场杉木样木进行扫描并提取单株样木树高数据,同步对相同样木进行伐倒获取真实树高,在 SPSS 平台构建树高转换模型,得到如下结论:

(1) TLS 测高与伐倒木测高的皮尔逊相关系数达到 0.987,树高转换模型为 $y = 0.970x + 0.312$, $R^2 = 0.973$, $RMSE = 0.441$, $F = 0.000$,达到极显著。模型验证的皮尔逊相关性达到 0.964,因此 TLS 测高值可以通过转换模型推算真实树高。

(2) 当树高超过 9 m 时, TLS 树高测量值与伐倒木真实值间的误差会降低且趋于平稳。进一步对优势木和非优势木分别进行树高转换,皮尔逊相关系数分别为 1.000 和 0.949。非优势木树高转换函数关系式为 $y = 15.294 - 5.657x + 0.878x^2 - 0.036x^3$, $R^2 = 0.920$ 。

3.2 讨论 机载激光雷达 (Airborne LiDAR Scanning, ALS) 和 TLS 已广泛应用于森林参数的提取与估测^[17]。ALS 可以获取较大范围森林冠层表面的水平分布和垂直结构信息,但点云密度一般较低,提取的树高参数误差较大,而 TLS 能够快速获取高精度的单木参数和林冠下层三维结构信息,但在复杂的林分条件下由于易受遮挡等原因,难以探测更大范围的林木信息^[18-20]。笔者通过对三站点云数据拼接,完整地拼接重叠区域的多株杉木三维空间结构扫描出来,且原始点云数据经过点云预处理后,可以提取到较高精度的树高参数。但在实际操作中,重叠区域杉木密度较大或者高度较低受到周围高树遮挡,会使树干梢头难以捕捉,导致提取过程耗时且易出错。通过将 ALS 和 TLS 取长补短,即利用地基树高数据来校正机载树高数据,这样既可获取到大尺度区域的树高数据,又能保证参数精度,这也是今后一段时间激光雷达数据高效应用的一种方法^[21]。

基于 TLS 树高测量值和伐倒木树高真值所建立的树高转换模型能够较好地表达出两者线性的转换关系,尤其对于优势木转换精度更高,而对于非优势木树高转换仍有一些误差。树高转换模型对优势木和非优势木的精度差异主要由

于树干梢头点云遮挡而使树高提取失真。为了提高树高转换模型对于非优势木树高转换精度,可以通过增设多个内部站点来增加样地内点云数量,减少或消除由于树枝遮挡对树干梢头辨识的影响。由于该试验关于非优势木样本数量偏少,因此,在样本数充足的情况下树高转换模型精度有待进一步研究。

参考文献

- [1] 李凤日. 测树学(国家林业和草原局普通高等教育十三五规划教材)[M]. 4版. 北京:中国林业出版社,2019.
- [2] 李增元,刘清旺,庞勇. 激光雷达森林参数反演研究进展[J]. 遥感学报,2016,20(5):1138-1150.
- [3] 晏颖杰,范少辉,官凤英. 地基激光雷达技术在森林调查中的应用研究进展[J]. 世界林业研究,2018,31(4):42-47.
- [4] DASSOT M, CONSTANT T, FOURNIER M. The use of terrestrial LiDAR technology in forest science; Application fields, benefits and challenges [J]. *Annals of forest science*, 2011, 68(5): 959-974.
- [5] LIANG X L, KANKARE V, HYYPÄ J, et al. Terrestrial laser scanning in forest inventories [J]. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 2016, 115: 63-77.
- [6] NEWNHAM G J, ARMSTON J D, CALDERS K, et al. Terrestrial laser scanning for plot-scale forest measurement [J]. *Current forestry reports*, 2015, 1(4): 239-251.
- [7] 王佳,张芳菲,高赫,等. 地基激光雷达提取单木冠层结构因子研究[J]. 农业机械学报,2018,49(2):199-206.
- [8] 马振宇,庞勇,李增元,等. 地基激光雷达森林近地面点云精细分类与倒木提取[J]. 遥感学报,2019,23(4):743-755.
- [9] WILKES P, LAU A, DISNEY M, et al. Data acquisition considerations for Terrestrial Laser Scanning of forest plots [J]. *Remote sensing of environ-*

- ment*, 2017, 196: 140-153.
- [10] 倪文俭,过志峰,孙国清,等. 基于地基激光雷达数据的单木结构参数提取研究[J]. 高技术通讯,2010,20(2):191-198.
- [11] TROCHTA J, KRŮČEK M, VRŠKA T, et al. 3D Forest: An application for descriptions of three-dimensional forest structures using terrestrial LiDAR [J]. *PLoS One*, 2017, 12(5): 1-17.
- [12] RAUMONEN P, KAASALAINEN M, ÅKERBLUM M, et al. Fast automatic precision tree models from terrestrial laser scanner data [J]. *Remote sensing*, 2013, 5(2): 491-520.
- [13] BAUWENS S, BARTHOLOMEUS H, CALDERS K, et al. Forest inventory with terrestrial LiDAR: A comparison of static and hand-held mobile laser scanning [J]. *Forests*, 2016, 7(12): 1-17.
- [14] 梁晓军,庞勇,陈博伟. 基于地基激光雷达胸径提取的单木位置精确测量[J]. 林业科学研究,2020,33(4):67-74.
- [15] 刘鲁霞,庞勇,李增元. 基于地基激光雷达的亚热带森林单木胸径与树高提取[J]. 林业科学,2016,52(2):26-37.
- [16] CALDERS K, NEWNHAM G, BURT A, et al. Nondestructive estimates of above-ground biomass using terrestrial laser scanning [J]. *Methods in ecology and evolution*, 2015, 6(2): 198-208.
- [17] 庞勇,李增元. 基于机载激光雷达的小兴安岭温带森林组分生物量反演[J]. 植物生态学报,2012,36(10):1095-1105.
- [18] 李丹,庞勇,岳彩荣,等. 基于 TLS 数据的单木胸径和树高提取研究[J]. 北京林业大学学报,2012,34(4):79-86.
- [19] PUENTE I, GONZÁLEZ-JORGE H, MARTÍNEZ-SÁNCHEZ J, et al. Review of mobile mapping and surveying technologies [J]. *Measurement*, 2013, 46(7): 2127-2145.
- [20] 王成, MENENTI M, STOLL M P, 等. 机载激光雷达数据的误差分析及校正[J]. 遥感学报,2007,11(3):390-397.
- [21] 庞勇,赵峰,李增元,等. 机载激光雷达平均树高提取研究[J]. 遥感学报,2008,12(1):152-158.

(上接第 112 页)

(2) 在发展方向上,要始终坚持生态优先,使旅游经济发展与生态功能相协调。生态功能是发展森林旅游的基础,在回归自然意识日益强烈的当下,人们对于森林游憩的意愿日益提升,评估森林公园的承载能力,避免因游客过量对森林公园生态环境造成不良影响。同时,在建设森林公园时,可以考虑与已有的旅游景区相结合,既可以有效利用已有的景区知名度,又可以提高森林公园的利用效益。

(3) 在质量提升方面,应注意森林公园与当地特色相结合,加强管理,提高森林游憩服务能力。目前多数森林公园的森林产品较为单一,可以引进社会资本以促进森林旅游产品多样化,如森林休闲、探险、体验等,提高服务供给能力。在取得经济效益后,也应将收益反哺林木培育,提高优质林木的数量,强化景观特色。

参考文献

- [1] 侯雪静. 2018 年全国森林旅游游客量预计达 16 亿人次 [EB/OL]. (2018-09-23) [2021-03-21]. http://www.ce.cn/culture/gd/201809/23/120180923_30369259.shtml.

- [2] 刘国明,杨效忠,林艳,等. 中国国家森林公园的空间集聚特征与规律分析[J]. 生态经济,2010,26(2):131-134.
- [3] 徐美,李达立,刘春腊,等. 湖南省森林公园空间分布特征及其影响因素分析[J]. 资源开发与市场,2018,34(7):1004-1009.
- [4] 孙盛楠,田国行. 基于 ROS 的森林公园总体规划功能分区研究:以嵩县天池山森林公园为例[J]. 西南林业大学学报,2014,34(2):78-83.
- [5] 胡洁,吴宜夏,吕璐珊. 北京奥林匹克森林公园竖向规划设计[J]. 中国园林,2006,22(6):8-13.
- [6] 潘竟虎. 中国国家森林公园空间可达性测度[J]. 长江流域资源与环境,2013,22(9):1180-1187.
- [7] 张辉. 2019 年前三季度福建省森林旅游接待游客近 1.8 亿人次 [EB/OL]. (2019-11-27) [2021-03-21]. <http://www.forestry.gov.cn/xdly/5196/20191127/085814992551961.html>.
- [8] 刘大均,胡静,陈君子. 武汉市休闲旅游地空间结构及差异研究[J]. 经济地理,2014,34(3):176-181.
- [9] 刘丽梅,吕君. 内蒙古 A 级旅游景区空间结构研究[J]. 干旱区资源与环境,2016,30(11):203-208.
- [10] 张永怀,洪常春,殷猛,等. 皖南国际文化旅游示范区复合应用型外语人才建设研究:以 HS 学院旅游外语人才培养为例[J]. 中国管理信息化,2019,22(3):209-213.
- [11] 魏琦,欧阳助志. 江西省国家森林公园空间分布特征分析[J]. 林业经济,2018,40(6):86-91.
- [12] 杨秀成,宋立中,钟姚越,等. 福建省康养旅游资源空间分布特征及其影响因素研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版),2019,35(5):106-116.