

“基于遥感数据的森林质量评价（95469）”中期进展

余涛¹, Zuyuan Wang², 杜黎明¹, Marius Rüetschi², Daniel Kükenbrink²,
Mauro Marty², Charis Gretler², David Small², Andrea Manconi², Livia Piermattei²,
Christian Ginzler², 孔丹¹

1 中国林业科学研究院资源信息研究所

2 瑞士联邦森林、雪和景观研究所

本项目的研究目标为生产高精度高分辨率的森林类型分类图、基于多时相激光雷达数据监测森林生长动态、反演森林垂直结构参数、并研发多尺度的森林质量评价方法。当前项目开展的主要工作包括：

(1) 将植被高度模型（VHM）与 Alpha shape 方法相结合，提升了基于激光雷达的林隙检测能力。VHM 通过 CHM 与 DTM 的差值识别高度降低区域，从而确定潜在林隙。然而，仅依靠 VHM 阈值法难以在破碎或受干扰的森林中准确刻画不规则林隙边界。Alpha shape 方法通过调节 Alpha 参数重建点集边界，能够保留局部几何特征，捕捉自然扰动形成的不规则林隙形态。结果表明，该组合方法提高了林隙检测精度和边界刻画能力。在应用高度阈值从 VHM 中分离冠层空隙与低矮植被后，Alpha shape 方法在保留局部几何特征的同时去除噪声，并精确拟合林隙边缘。

(2) 针对林下幼树与上层大树之间缺乏明显高度分界、导致混交冠层分割困难的问题，我们提出了一种基于高密度无人机激光雷达数据、结合局部区域增长与连通性分析的林下幼树提取方法。通过将该方法与前期机载激光雷达分割结果相融合，生成了幼树长势分布图。幼树检测精度在 0.68 至 0.90 之间，且随冠层郁闭度升高而下降。基于无人机激光雷达获取的幼树高度能有效反映实测数据的变化（ $R^2=0.78$, $rRMSE=9.07\%$ ）。此外，整合后的幼树长势信息与实测数据具有高度一致性。本研究为通过调控林隙动态和优化光资源利用以提升森林碳汇能力奠定了基础。

(3) 针对星载光子计数激光雷达在复杂森林场景中普适性有限的问题，本研究以去噪后的 ICESat-2 ATL03 点云为数据源，将沿轨数据分割为 100 米的估测

单元并进行质量控制，提取了三类结构特征：高度分布特征（HD）、冠层高度与异质性特征（HH）以及垂直结构特征（VS）。通过“分组预筛选+有规则的全子集回归”方法确定最优特征组合，并采用十折交叉验证评估模型精度，同时与仅使用传统高度/密度变量的模型进行对比。结果表明，针对瑞士阿尔高州针阔混交林的最优蓄积量估测模型由冠层顶部平均高（TCH）、65%密度分位数（Dp65）、叶面积加权冠层体积（LAVH）与枝叶剖面均值（VFPmean）共同构成。十折交叉验证的精度为 $R^2=0.78$ 、 $RMSE=92.48 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $rRMSE=0.24$ 。与传统模型相比， R^2 平均提升约 10%， $rRMSE$ 由 0.28 降至 0.24，在冠层异质性较高的林分中表现出更稳定的估测能力。该成果为基于 ICESat-2 开展大区域森林蓄积量/碳储量监测与质量评价提供了参考。

（4）SAR 后向散射对森林结构敏感，可通过 Sentinel-1 和 NISAR 等卫星星座支持大范围监测。然而，结构变化对后向散射的影响机制尚不明确。为此，我们将时间序列无人机激光雷达点云与 Sentinel-1 C 波段和 SAOCOM L 波段 SAR 数据在整个植被生长季（13 个时相，两个 0.25 公顷样地，温带混交林）进行关联分析。森林结构代理变量（如叶面积指数 PAI）与 γ^0 后向散射（VV、VH）在样地和像元尺度上进行了相关性分析。初步结果显示：PAI 与 C 波段呈中等相关，阔叶林样地中 VH 呈现季节性变化（可能受物候驱动），而针叶林样地的 VV 相关性更高且无季节性趋势。这证实了星载 SAR 能够捕捉森林结构的时间变化，推动了对温带森林动态的景观尺度理解。