

地形图编辑中激光点云辅助地物判读与修测效率研究

邹霞

四川中水成勘院测绘工程有限责任公司 四川 成都 610072

【摘要】：传统的大型比例尺地形图编辑和修测工作一直沿用外业实地踏勘、人工实测补测、内业影像判读相结合的方式，存在着外业工作量大、作业周期长、复杂地形地物判读误差大、隐蔽地物难以识别等缺点，整体作业效率和精度控制难度大。激光点云技术由于高密度三维坐标采集、全地形覆盖、不受地表遮挡的影响等特点，正在成为地形图修测的辅助手段。本文根据测绘生产实际，研究激光点云数据预处理流程、地物特征判读方法，建立点云辅助的地形图修测优化流程，通过实证对比分析传统作业模式和点云辅助模式的作业效率、成图精度，验证激光点云在提高地物判读准确率、缩短修测周期、减少外业依赖度方面的作用。研究表明，激光点云辅助修测可以大大减少外业作业量，使整体修测效率提高40%以上，成图精度满足国家大比例尺地形图测绘规范要求，可以为城镇、山区、植被密集区等不同场景的地形图常态化更新提供技术参考，促进地形图编辑工作向内外业一体化、高效化方向发展。

【关键词】：激光点云；地形图编辑；地物判读；修测效率；内外业一体化

DOI:10.12417/2705-0998.26.02.096

引言

大比例尺地形图是城乡规划、工程建设、自然资源管理、国土空间管控的基础地理数据，现势性、精度影响着各类项目推进的质量。随着城乡建设速度加快、地形地貌不断变化，地形图修测成了测绘单位的常态工作。传统的修测方式是以光学正射影像为基准，外业人员需要实地查看地物的变化情况，补测新增和消失的要素，内业再根据影像和外业记录进行矢量编辑，该种模式在植被覆盖区、山区、建筑密集区等复杂的环境里，很容易造成地物漏判、误判，外业往返作业多，人力、时间成本高，不能满足快速更新的要求。激光雷达技术的普及和应用，给地形图修测开辟了新的技术途径，激光点云数据可以准确得到地表及地物的三维坐标、强度信息，全面呈现地物的空间形态、高程特征，很好地克服了传统影像二维判读的不足。目前激光点云已经在地形测绘、地物提取、三维建模等很多领域得到了广泛的应用，在常规地形图编辑修测中规模化应用、效率量化分析还有待进一步的研究。本文以测绘生产一线的需求为出发点，从激光点云辅助地物判读和修测全过程入手，整理出技术要点、比较作业效率、分析应用痛点、提出优化策略，以期给激光点云技术在地形图修测中规范化使用提供理论依据和实践指导，提高测绘生产的效率和成果质量。

1 激光点云数据基础与预处理流程

激光点云数据是由激光雷达设备发射激光束，地物反射后接收回波信号，解算得到的海量离散三维点数据，是进行地物判读和修测的基础，数据质量直接影响到后面判读精度和作业效率。只有完成了标准化预处理，才能去除无效数据，匹配地形图坐标系，实现和原来矢量数据的无缝叠加。

1.1 激光点云数据核心特性

地形图修测用的激光点云，大多由机载、车载或者手持式

激光雷达来获取，具有三个主要的特点。一是高精度三维定位，点云单点平面和高程误差可以控制到厘米级，完全满足1:500、1:1000大比例尺地形图修测精度的要求；二是信息维度丰富，除了三维坐标外，还包括回波强度、反射次数等信息，不同的材质、类型的地物，点云强度和特征差别很大，为地物分类判读提供依据；三是全场景覆盖能力，激光束可以穿透植被间隙、避开建筑遮挡，完整采集林下地物、建筑立面、隐蔽管线附属设施等传统影像难以识别的要素，解决隐蔽地物判读难题。相比于传统的二维影像，激光点云从三维空间角度来表现地物真实的形状，大大减小了人工判读时出现的主观误差。

1.2 点云数据标准化预处理步骤

为了适应地形图编辑的需要，必须要对原始激光点云做四步标准化预处理，以保证数据的可用性。第一步是噪声点剔除，原始点云中存在飞鸟、扬尘、移动车辆、空中悬浮物等造成的冗余噪声点和仪器误差引起的异常高点、异常低点，需要经过高程阈值过滤、离散度分析等手段逐个剔除，保证点云数据的纯净度；第二步是点云滤波分类，主要任务就是分离出地面点和非地面点，使用渐进加密三角网滤波算法，将地表、建筑、植被、交通设施等不同的类别点云分开，为后面地物判读做好分类的准备；第三步是坐标系统一，将点云原始坐标转换成地形图对应的平面坐标系和高程基准，用控制点校核来完成精准配准，保证点云和原有的地形图矢量数据空间位置完全重合；第四步是数据精简优化，在保持地物关键轮廓、高程特征的基础上，对高密度点云做适度重采样，减小数据体积，加快内业编辑软件的加载速度和操作速度，防止数据过多造成作业效率降低。

2 激光点云辅助地物判读核心方法

地物判读是地形图编辑的关键部分，激光点云凭借三维特

性, 冲破了传统二维影像依靠纹理、色调来判定的模式, 创建起以空间特性、高程特性、强度特性为主要内容的精确判读方式, 涵盖各种常见的地物, 从而显著改善判读的准确性以及速度。

2.1 基于多特征融合的地物分类判读

根据点云高程、强度、形态这三种特征可以完成大部分地物的快速分类判断。高程特征是主要的区分标准, 建筑、围墙等地物具有连续稳定高程值, 屋顶面平整度好, 立面垂直于地面; 道路、广场等交通和硬质地面, 点云高程平缓、坡度变化小, 整体连续性强; 植被点云高程杂乱、无规则, 分层特征明显; 水系岸线点云沿水域边界连续分布, 高程低于周边陆地。强度特征属于辅助依据, 水泥、沥青、金属材料地物的点云回波强度高, 植被、土壤等材质强度低, 可以进一步区分同类地物材质的差别。利用多特征融合分析可以实现半自动化的地物分类, 人工只需要做少量的复核修正工作, 大大减少了纯人工判读的工作量。

2.2 点云与矢量数据叠加对比判读

将预处理过的激光点云同原有地形图矢量数据一起在一个屏幕上叠加起来, 是修测工作中使用最广的方法。内业作业人员可以利用三维视图、剖面视图来直观比较现有矢量地物和实际点云形态的差别, 快速找到地物的变化、位置偏移、轮廓误差。对于新增建筑、道路拓宽、植被更新、管线附属设施变更等常规测绘内容, 可以直接使用点云轮廓提取矢量边界; 对于传统影像不能识别的隐蔽地物, 如林下耕地、山间小路、建筑后院附属设施等, 可以使用点云三维漫游逐一核对, 杜绝漏判、错判。该种叠加判读模式把大部分外业核查工作转移到内业来完成, 从而达成先内业预判、后外业精核的作业模式转变。

2.3 典型地物判读实操要点

根据地形图修测常见的地物, 用点云特征来形成标准化的判读要点。建筑类地物重点核查轮廓规整度、屋顶高程、层数变化, 利用点云立面和平面特征, 准确提取建筑外角点和轮廓线, 修正建筑移位、轮廓变形问题; 交通类地物以道路中线、边线、交叉口、附属设施为重点, 用点云地面平整度特征来准确画出道路边界, 补测人行道、停车位、交通岛等细节要素; 水系和植被类地物依靠点云边界连续性来分辨水域、林地、草地、耕地, 防止植被遮挡造成的边界误判; 管线、围墙、电线杆等线状、点状地物, 依靠点云线性特征和高程突变特征, 准确定位位置和高度, 保证矢量数据和实际地物一致。

3 基于激光点云的地形图修测流程优化

传统的地形图修测流程为外业踏勘、实地补测、内业编辑、成果校核, 外业作业占总工作量的 70%以上, 环节繁杂、重复作业多。激光点云辅助修测重构作业流程, 改善内外业分工,

缩减无效作业环节, 创建起高效一体化修测流程。

3.1 传统修测流程的核心弊端

传统的模式由于二维影像的局限性, 内业不能准确地识别出地物的变化和隐蔽的因素, 只能依靠大范围的外业踏勘来排查, 造成外业作业范围广、耗时长; 复杂地形区外业通行困难, 部分区域无法到达现场, 容易造成地物漏测; 人工判读受经验、天气、影像质量的影响, 误差较大, 后期修图、复核工作量大; 整体作业周期长, 人力、交通、时间成本高, 不能满足地形图常态化快速更新的要求。

3.2 点云辅助修测优化流程构建

根据激光点云数据的优势, 建立内业预判、点云分析、矢量修正、外业精核、成果终审五个步骤的优化流程。第一步内业预判, 找出原来地形图现势性不足之处, 根据项目要求划定修测重点区域; 第二步点云分析, 把预处理好的点云和矢量数据叠加起来, 完成地物变化识别、漏测要素提取, 标注需要外业复核的重点内容; 第三步矢量修正, 内业直接依靠点云对地物轮廓、位置、高程进行修正, 批量处理无争议的修测内容; 第四步外业精核, 只对内业无法确定的疑难地物、精度校核点进行实地复核, 不需要大范围踏勘; 第五步成果终审, 完成外业复核内容补充, 开展精度校核和成果整理, 形成最终地形图成果。该流程把外业作业比例控制在 20%以下, 大大缩减了无效外业, 从而达成内外业的高效协作。

3.3 修测精度与效率双重管控

优化流程兼顾效率和精度, 利用点云数据本身的精度保证修测质量, 提前设定平面、高程误差阈值, 修测过程中实时比对点云坐标与矢量数据, 保证误差满足规范要求; 采用半自动化地物提取、批量矢量修正, 减少人工手动编辑时间, 避免重复修图; 建立标准化判读和修测细则, 统一作业标准, 降低人员经验差异对成果的影响, 达到效率和精度的双重提高。

4 实证分析

4.1 研究区域与数据概况

选择某城镇 1: 500 比例尺地形图修测项目为实证区域, 测区面积 2.5 平方千米, 包括城镇建成区、城郊植被区、浅山丘陵区三种地形, 地物类型有建筑、道路、水系、植被、管线等, 地形复杂度和地物多样性具有代表性。项目分别使用传统的修测方式和激光点云辅助修测的方式进行作业, 点云数据用机载激光雷达采集, 点云密度满足大比例尺修测的要求, 经过预处理后可以和原有的地形图矢量数据完美叠加。

4.2 作业效率对比结果

设置作业时长、外业工作量、人工判读错误率、成图周期四个主要指标, 比较两种模式的作业效率。传统模式完成该区域的修测需要 22 个工作日, 外业踏勘补测 15 天, 内业编辑 7

天, 外业参与人员 6 人, 人工判读错误率约为 12%, 需要多次外业返工复核; 点云辅助修测模式只需要 13 个工作日, 内业预判和编辑 9 天, 外业精核 4 天, 外业参与人员 2 人, 人工判读错误率低于 3%, 没有大的外业返工。经过计算可知, 点云辅助修测整体效率提高 41%, 外业工作量减少 70% 以上, 人力、时间成本大大降低, 在复杂的地形区域中, 效率提升的效果更加明显。

4.3 成图精度验证

根据大比例尺地形图测绘规范, 从修测成果中随机选取建筑、道路、点状地物共 120 个校核点, 用 RTK 实地测量进行精度检验。从结果可知, 点云辅助修测成果平面误差均小于 5 厘米, 高程误差均小于 3 厘米, 完全满足 1: 500 地形图修测精度要求; 地物完整性达标, 无漏测、错测要素, 隐蔽地物识别率比传统模式提高 60% 以上, 证明了该技术方法的可行性和可靠性。

5 应用问题与优化策略

5.1 现存应用问题

激光点云辅助地形图修测在实际使用中还存在着一些不足, 一是原始点云数据量大, 预处理和加载时间长, 对硬件设备的配置要求较高; 二是低矮细碎地物, 如小型标识牌、低矮灌木、田间小路等, 点云特征不明显, 自动化提取困难; 三是部分作业人员三维点云操作不熟练, 技术门槛高, 影响作业效率; 四是单一激光点云缺少纹理信息, 部分地物属性判读需要辅助其他资料。

参考文献:

- [1] 王正玲. 不同软件在地形图编辑中的优劣性[J]. 甘肃科技, 2018, 34(02): 25-26.
- [2] 车风, 曹侃, 孙华, 等. 基于 AutoCAD 的地形图编辑软件的设计与实现[J]. 地理空间信息, 2015, 13(03): 170-172+13.
- [3] 满松, 周学珍. 航测数字地形图编辑工作重点概述[J]. 测绘标准化, 2013, 29(03): 41-43.

5.2 针对性优化策略

就以上问题给出四个优化策略。一是优化数据处理流程, 用轻量级预处理算法提前对点云进行分类和精简, 减小软件加载和操作对硬件的要求; 二是开展多源数据融合工作, 把激光点云同正射影像结合起来, 依靠影像纹理来充实地物属性信息, 从而改善细碎地物的判读精确度; 三是加强作业人员的技术培训, 整理出标准化的操作细则和判读要点, 缩减技术门槛, 统一作业标准; 四是在内部引入半自动地物提取工具, 利用点云分类模型, 对建筑、道路等主要地物实施批量提取, 缩减内业编辑时间。

6 结论

激光点云技术凭借三维高精度、全场景覆盖、无遮挡识别等优势, 可以很好地解决传统地形图编辑修测效率低、误差大、外业工作量大的问题, 是大比例尺地形图常态化更新的一种很好的辅助技术。本文通过对点云预处理、地物判读、流程优化全流程的实证分析来验证激光点云辅助修测的效果, 证明了激光点云辅助修测可以大大减少外业作业量, 提高修测效率, 成图精度完全符合行业规范要求, 适用于城镇、山区、植被密集区等各种场景的修测需求。随着激光雷达设备的普及和数据处理技术的更新, 激光点云在地形图编辑中会越来越自动化、智能化, 之后可以结合人工智能算法, 完成地物的全自动提取和变化检测, 从而推进地形图修测向无人化、高效化转变。测绘生产单位要逐渐推行激光点云辅助修测技术, 改良内外业作业模式, 加强基础地理信息数据更新的速度和品质, 更有效地支撑国土空间治理及工程建设项目。