

Analysis of Application Methods and Efficiency Enhancement Paths of Multi-source Data Fusion in Topographic Surveying

Jiahe Lu

Third Topographic Surveying Team of the Ministry of Natural Resources, Harbin, Heilongjiang, 150001, China

Abstract

Multi-source data fusion has become a common path for China's topographic surveying to shift from a single method to a combined production approach. On-site projects often have conditions such as unmanned aerial vehicle images, laser point clouds, GNSS control points, total station re-measurements, and existing topographic data at the same time. However, the various source data are inconsistent in coordinate reference, density, coverage, and error structure. If directly stitched, it is prone to edge-matching misalignment and elevation jumps. Based on the practical operation process of topographic surveying, this paper focuses on data selection, unified reference, quality inspection and mapping expression, and sorts out feasible fusion methods, and proposes specific paths for improving application efficiency.

Keywords

Topographic Surveying; Multi-source Data Fusion; Application; Method; Efficiency Enhancement; Path

多源数据融合在地形测绘中的应用方法与效率提升路径探析

卢佳河

自然资源部第三地形测量队, 中国·黑龙江 哈尔滨 150001

摘要

多源数据融合已成为中国地形测绘从单一手段向组合生产转变的常用路径。工程现场往往同时具备无人机影像、激光点云、GNSS控制点、全站仪补测和既有地形资料等条件,但各源数据在坐标基准、密度、覆盖与误差结构上不一致,若直接拼接易产生接边错位与高程跳变。本文立足地形测绘作业流程实践,围绕数据选型、统一基准、质量检核与成图表达,梳理可落地的融合方法,并提出具体的应用效率提升路径。

关键词

地形测绘; 多源数据融合; 应用; 方法; 效率提升; 路径

1 引言

随着遥感技术、全球定位系统(GPS)和激光雷达(LiDAR)等技术的发展,地形数据获取手段日益丰富。然而,单一数据源往往存在精度局限和适用范围窄等问题。多源数据融合技术为提升地形测绘精度提供了新的可能^[1]。本文结合相关规范与项目经验,讨论融合含义、常用实施方法与效率提升策略,以供参考。

2 多源数据融合概述

多源数据融合在地形测绘中通常指以统一的平面与高程基准为前提,将来自不同平台、不同观测原理和不同精度等级的数据,按同一比例尺的成图要求进行配准、互补与检核,最终形成可验收的地形图、数字高程模型或点线面要

素成果。在实践中,常见数据源包括 CORS 支持下的 GNSS 控制测量、全站仪细部与断面采集、无人机低空摄影测量成果、无人机或机载激光雷达点云,以及既有基础地理信息成果与现场踏勘记录。融合的核心任务是先解决基准一致与误差可追溯,再利用数据互补弥补遮挡、稀疏与时效差异,并通过检查验收标准把质量落到点位、线状与高程面上。现场常见问题是影像与点云的接边错台、植被区地面点缺失、控制点分布不均导致局部变形,因此作业单位需要在方案阶段就明确精度指标、检核点布设与替代测量手段^[2]。

3 多源数据融合在地形测绘中的应用方法

3.1 控制基准牵引的联合成图

多源数据联合成图应以控制基准牵引,把坐标与高程统一贯穿到采集、配准与检查。第一,地形测绘单位应采用 2000 国家大地坐标系和 1985 国家高程基准,按遮挡与高差布设平面、高程控制点,并在接边带加密联测点。平原区点间距宜 3-5 km,山区应沿谷地与垭口缩短间距。起算点数

【作者简介】卢佳河(1977—),男,中国山东莒南人,本科,高级工程师,从事测绘技术的发展研究。

量不少于3个以满足坐标转换,骨干点宜用GNSS静态观测网,加密点采用RTK或全站仪导线测设,平差后转换残差宜控制在0.02 m量级,关键高程点再以水准或三角高程复核。第二,外业人员应在影像覆盖区采集可识别同名点、断裂地貌点与典型地形特征线点,作为影像、点云与地面实测之间的配准锚点。对树冠下、巷道、堤脚及阴影区,应以全站仪补测建筑转角、道路边线和水系节点,并记录点位取舍依据。在坡折线、沟底线、堤顶线等处应按地形变化加密采点,折点间距宜10–30 m,陡坎与沟蚀段再加密以保证等高线连续闭合。第三,内业成图应先以控制点与检查点完成影像空三或点云条带调整,再开展线划提取、断裂线保形与要素编码。作业人员应对建筑物转角、道路边线、水系交汇与桥涵口逐段进行影像判读线划与实测线划对照,并以实测成果定形,冲突段必须回传外业复核。分区接边必须使用同一组控制点联测成果统领,对重叠带坐标较差进行配赋,禁止各分区独立拟合导致系统错位。第四,成果检查应按比例尺统计平面与高程中误差,并抽取典型地物做2次独立测值比较。在1:1000成图条件下,可按平地平面0.4 m、高程0.28 m等限差抽检,超限区域回外业补测,并补充记录观测日期、设备型号与检核方式。

3.2 点云主导的高程面构建与线划补充

在多源数据融合的地形测绘中,宜以激光点云构建高程面,并用影像解译与外业补测完善线划要素并开展交叉校核。第一,外业采集应把LiDAR、同步影像与控制测量一体化设计,山区可将地面有效点密度控制在4–6点/m²以上,并将相邻条带旁向重叠控制在20%–30%且布设交叉航带,控制点宜采用RTK或PPK获取并均匀分布于坡顶与谷底,在交会区设置检核带与独立检查点,通过高程差统计识别条带间系统差与姿态漂移,出现同向偏移时应回溯条带平差、杆臂与时间同步参数。第二,内业处理应先完成地面与非地面分离,采用渐进TIN加密或形态学滤波生成初始地面点集,并按地貌分区迭代调整滤波阈值,再对沟谷、陡坎、林下空隙等区域进行人工抽检和局部编辑,并以坡顶、坡脚、堤脚等实测特征点约束断裂线,高程面在水面和硬质地坪处应执行平面化约束并剔除离群点,避免插值形成虚假波纹。第三,线状与面状地物宜采用影像定平面、点云定高程的协同流程,道路边沟、河岸线、房屋外轮廓等先在正射或立体像对中采集平面形状,并结合点云强度与纹理差异判读边界,再沿要素方向提取点云剖面校核其边界高程连续性,桥涵下部、遮挡区与临水反射稀疏区应用全站仪或GNSS补测折点,必要时补采断面点。第四,等高线生成后应按闭合性、间距合理性与极值点完整性进行规则检查,同时复核水系汇流方向与坡向一致性,并在典型坡面抽取若干剖面与外业断面对比,高差超过规定限差的区段应回溯到对应观测条带与补测记录,明确修正边界并形成修改清单,逐项签认归档^[3]。

3.3 既有成果约束下的快速更新与差异补测

城镇更新或管线走廊测绘宜把既有地形成果作为约束底图,以多源数据对变化区做增量补测。第一,地形测绘单位应核对既有成果的比例尺、成图年代、坐标与高程基准、分幅接边与要素编码,建立稳定要素继承清单与高变化要素复核清单,并对既有DLG、DOM、控制点统一实施四参数或七参数转换与独立检核,带状边界可按中线两侧各50 m至100 m划定后再结合红线与遮挡修正,同时将继承要素固化为只读图层,所有改动写入更新日志、版本号与责任人字段。第二,外业宜以移动测量点云补足线状地物与断面高程,沿线设置轨迹闭合与重复段,交叉口、涵洞口、阀井群等节点加密测点,纵断面里程间距宜取10 m至20 m,横断面在突变处加密到5 m至10 m,并以RTK结合三级或四等水准点每1 km至2 km控制高程,避免累积漂移,点云解算后对关键断面即时抽核,并记录交通封控与遮挡情况。第三,新旧要素整合应先完成配准再做差异提取,点云与既有矢量可用路缘线、堤顶线等特征作约束配准,DOM叠加后对同名同类要素逐段判定保留、改绘或注销,差异区输出变更面并附踏勘记录、照片编号、采集方式与时间戳,对注销要素保留历史状态标识与回溯字段,遮挡处应设置复测点或短基线补测以支撑判读。第四,更新成果应设置独立检查样带并执行图形接边、属性一致性与断面里程连续性核查,样带内对新增要素做全检并对继承要素按5%至10%抽检,发现平面或高程系统偏差时追溯基准转换、起算控制与轨迹漂移并复测修正。

4 多源数据融合在地形测绘中的应用效率提升路径

4.1 分区分层的地形测绘组织

为提升多源数据融合的生产周转率,地形测绘宜以分区分层组织把外业内业压缩在同一节拍内。第一,项目负责人应按地貌起伏、遮挡与交通条件把测区划为0.8–1.5 km²生产单元,并在单元内再分成控制层、影像点云层与细部核查层三类作业面,分别对应GNSS控制点、无人机影像或激光点云采集、全站仪补测与属性核验,同时为每层明确主数据源优先级与融合顺序,单元边界采用网格编号并锁定进出路线、补给点与禁入区,交付边界以可闭合面要素表达并附关键地物清单、预计点位置与成果命名规则。第二,进场前地形测绘单位应完成坐标基准统一、既有DEM与地形图时相和分辨率核对、控制点完好性复查与仪器检定,并把控制层一次性落到地面,二级控制点宜采用网络RTK方式实施且形成可追溯观测记录与复测对比结论,观测记录应包含改正源、历元信息与现场环境备注。第三,外业与内业应实施滚动交付,外业每日提交当日覆盖范围的RTK日志、外业草图、现场照片、点云或影像索引与问题清单,内业同步

开展首轮检查并回传次日补测点位,影像采集应在复杂地形下将航向重叠控制在约80%、旁向重叠约60%,点云作为控制源时密度不低于1点/m²并按GB/T 36100进行质量评价。第四,地形测绘针对降雨大风、临时封控与电磁干扰设置替代作业窗口与备选路线,优先安排受植被遮挡和水位变化影响大的区块先行完成,遇到禁飞或能见度不足时应切换为RTK加全站仪的核查层作业并保留统一坐标成果^[4]。

4.2 数据源分级选用与采集边界控制

为提高地形测绘多源数据融合效率,作业组织应先把数据源分级规则与采集边界写入技术设计并贯穿外内业。第一,项目负责人应按成图比例尺、等高距与遮挡程度建立主辅数据源矩阵,开阔区以航摄DOM与DSM为主,基准面地面分辨率按1:500≤5cm、1:1000≤10cm、1:2000≤20cm选取,并按航向65%~75%、旁向30%~45%设计重叠度,航摄出现漏洞应及时补摄,航向覆盖超出分区边界不少于两条基线,旁向覆盖超出边界不少于像幅50%,遮挡区则将RTK测线、全站仪断面或机载激光点云列为主数据源,并写清启动条件如树冠遮挡、水面反光或断裂线不可判读。第二,外业开工前应将必须实测要素按类别列成采集清单并定义队伍责任面,断裂线、沟谷转折、堤顶堤脚、道路交叉口等按地形变化加密采点,平直道路中心线宜按10~20m控制点距,堤顶与坡折宜按5~10m控制点距,并规定同一要素只允许一种采集方式入库,辅源仅补充遮挡段与属性,现场用统一点号与要素编码区分来源。第三,现场作业应实行边采边判,航测空三完成后以像控点与检核点残差开展快速抽检,满足限差时仅对疑难点补测并在记录中注明原因。当出现遮挡或纹理不足时,外业负责人应立即启用备选手段补齐,优先补测断裂线控制点与关键断面,并同步更新采集清单,避免返场与重复。第四,内业合成前应按分级规则核对覆盖率与空洞分布,空洞区按缺陷清单组织一次性集中补测并锁定边界,补测航线两端应超出漏洞之外两条基线,完成后按统一坐标框架接边并封存版本,后续仅允许通过变更单触发复测,不再接受点状追加。

4.3 控制点与检核点的精简布设与复测节奏优化

多源影像、点云与GNSS外业联合作业时,地形测绘单位应在保证精度的前提下压缩点位规模,并用固定复测节奏缩短问题暴露周期。第一,技术负责人应按比例尺与地形复杂度划分作业单元,在单元边界、角点、起伏突变带与遮挡区外缘布设骨架控制点,并沿高差梯度形成贯通约束,避

免控制点集中在道路等易测面,采用RTK点校正求转换参数时,单元周边与中部应选取不少于4个已知点参与拟合,平面精度宜不大于20mm、高程不大于30mm,并对残差、观测方式、天气及点位照片形成独立记录。第二,检核点应与控制点分离并保持独立观测,优先布设在接边带、坡折线附近、桥涵等典型节点与植被遮挡后的开阔补偿区,检核点数量按面积与复杂度设最低限,平坦区每单元不少于2个、复杂区不少于3个,并保证每单元均有跨源检核点用于同时检验DOM、DSM与DLG一致性,检核成果按地形图图式完成注记与编码。第三,复测组织应采用固定节奏,将生产拆分为闭环单元,每完成约1km²或完成一个接边单元即开展快速复测,复测覆盖接边带、控制点邻域与高风险要素,包括等高线坡折、沟渠连通与建构物拐点,复测时核对基准站坐标,天线高量取精确到1mm,单基站作业半径宜不超过5km,复测记录锁定时间、点号与差值,并当日回传差值清单^[5]。第四,一旦检核差值超出内控限,内控限可参照质量检验规程设置,质检员应先按误差类型定位原因并限定范围,重点排查RTK多路径、点云条带接缝、影像空三漂移与要素漏采,整改仅允许在问题带及其邻近扩展区补测,扩展宽度按接边两侧各50m至100m或按一个作业单元边界控制,不得以全域重测替代原因排查。

5 结语

多源数据融合在地形测绘中的落地效果取决于统一基准、作业组织与质量闭环三条线是否同时受控。地形测绘单位在选择数据源时应坚持以比例尺精度和地形条件为边界,避免盲目叠加造成检核成本上升。同时为提升多源数据融合在地形测绘中应用效率,应把组织方式、数据选用和检核控制作为同一条生产链来统筹。

参考文献

- [1] 刘文宾.多源数据融合提升地形测绘精度的方法研究——以江西省南城县典型地貌区为例[J].华北自然资源,2025(3):90-93.
- [2] 赵钧儒,孙亚娟,郑新鹏.多源遥感数据融合技术在海洋地形测绘中的应用研究[J].黑龙江国土资源,2025,23(1):54-60.
- [3] 王瑞.山区地形测绘中多源数据融合应用研究[J].行车指南,2024(5):0186-0187.
- [4] 丁忠园.基于多源数据融合的矿山地形图测绘方法研究[J].移动信息,2024,46(10):243-245.
- [5] 徐耀文,胡文学,李斐洋.多源数据融合技术在地形测绘中的应用[J].模型世界,2023(24).