

国土测绘应用实景三维 DEM 技术的分析

文 / 黎 欢 蒙山县自然资源局

摘要：实用三维 DEM（数字高程模型）技术作为国土测绘领域的关键技术手段，在提升数据质量、支撑规划决策及强化空间管理等方面发挥着重要作用。本文围绕国土测绘中实用三维 DEM 技术的应用展开分析，论证其应用的重要性，明确技术应用的主要思路，深入探讨密集点云自动匹配、滤波处理等关键技术的应用路径，旨在为国土测绘工作中三维 DEM 技术的科学应用提供参考，推动国土测绘的高精度、精细化。

关键词：三维 DEM 技术；国土测绘；应用思路；方法路径

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.20.122

引言

实用三维 DEM 技术通过构建连续的地面高程模型，能够真实、准确地反映地表形态特征，为国土测绘工作提供了全新的技术支撑，在国土资源调查、国土空间开发保护、生态环境保护等领域发挥着关键性作用^[1]。深入研究国土测绘中实用三维 DEM 技术的应用，对于提升国土测绘工作质量与效率，满足新时代国土管理工作的需求具有重要的现实意义。

一、实用三维 DEM 技术在国土测绘中应用的重要性

（一）提升国土基础数据的可靠性

国土基础数据是国土测绘工作的核心成果，其可靠性直接影响后续各项国土管理工作的开展。实用三维 DEM 技术采用先进的测量原理和数据处理方法，能够有效减少传统测绘技术中人为因素和环境因素带来的误差。通过对地表高程信息进行全面、细致的采集和建模，三维 DEM 技术所生成的数据具有更高的精度和一致性，能够真实反映地表的起伏变化和地形特征。

（二）增强国土规划决策的科学性

国土规划决策需要以准确、全面的地理信息数据为依据。使用三维 DEM 技术能够提供丰富的地表形态信息，包括坡度、坡向、地形起伏度等地形因子，这些信息对于国土规划中的用地适宜性评价、生态敏感性分析、工程建设可行性研究等工作至关重要^[2]。借助三维 DEM 技术，规划人员可以更加直观地了解国土空间的地形地貌特征，对不同区域的开发潜力和限制因素进行科学评估。通过对 DEM 数据的深入分析和挖掘，能够为国土规划方案的制定提供量化的参考指标，避免规划决策的主观性和盲目性，增强其科学性和合理性。

（三）确保国土空间管理的精准性

国土空间管理的核心在于对国土空间资源的合理配置和有效监管，需要实现对国土空间的精细化把控。实用三维 DEM 技术能够为国土空间管理提供高精度的空间定位和高程信息支持。在国土界线划定工作中，基于三维 DEM 数据可以准确确定界线的走向和位置，避免因地

形复杂而产生的界限模糊问题，通过对比不同时期的 DEM 数据，及时发现地表的变化情况。

二、国土测绘应用实用三维 DEM 技术的主要思路

（一）完善数据质量管控体系

数据质量是三维 DEM 技术在国土测绘中有效应用的前提和保障，完善全链条质量管控体系需构建“事前预防-事中控制-事后验收”的三维管控框架。在事前预防阶段，建立设备计量溯源机制，对激光雷达扫描仪、航摄相机等采集设备实行年度强制检定，作业前进行现场校核（校核误差 $\leq 1/20000$ ），确保硬件设备处于合格状态^[3]。事中控制环节实施三级检查制度：作业员自检率达 100%，重点核查点云数据完整性；作业组互检覆盖率 $\geq 30\%$ ，采用随机抽样法验证高程精度；专职质检员终检聚焦关键指标，对 DEM 高程中误差、平面位置中误差等核心参数进行全量检测。事后验收阶段制定量化指标体系，明确验收通过率需满足：内业检查合格率 $\geq 98\%$ 、外业检测优良率 $\geq 95\%$ ，对不合格数据建立“问题溯源-整改方案-复检验证”的闭环处理机制，整改完成后需重新进行全项检测，确保最终交付的三维 DEM 数据完全符合《国家基本比例尺地形图测绘规范》（GB/T 12341-2022 要求）。

（二）优化三维 DEM 数据生产全流程

三维 DEM 数据生产是一个涵盖数据采集、处理、建模等多个环节的复杂过程，优化全流程是提升技术应用效果的关键。在数据采集阶段，应根据国土测绘的具体需求，合理选择数据源和采集方法，借助航空摄影测量、卫星遥感、激光雷达等路径，确保采集的数据能够满足 DEM 建模的精度要求，如图 1 所示：

在数据处理环节，建立标准化的处理流程，对原始数据进行预处理、坐标转换、数据融合等操作，减少数据误差和冗余。在建模过程中，采用先进的建模算法和软件工具，提高 DEM 模型的精度和表现力。同时，注重各环节之间的衔接与协调，实现数据的顺畅流转，提高三维 DEM 数据生产的效率和质量。对城市建成区采用“倾斜摄影 + LiDAR”融合采集模式，农村地区采用无人机航测，偏远山区结合卫星遥感立体像，确保不同地形区

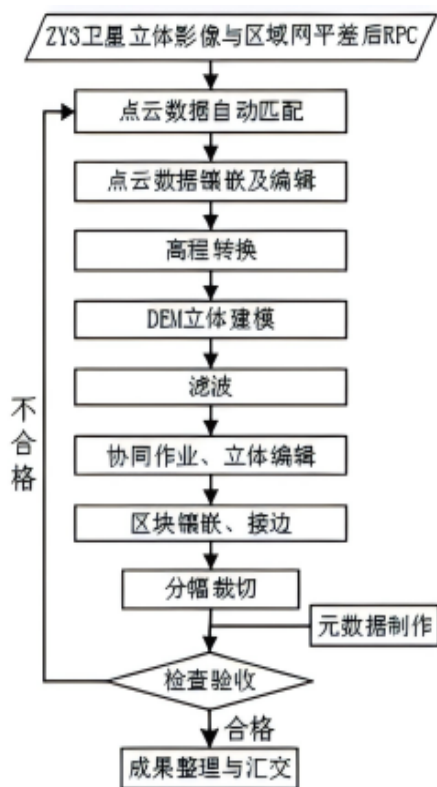


图1 实用三维DEM技术基本流程

域数据采集精度与成本的最优平衡。数据预处理环节建立标准化流水线,原始数据需经过辐射校正、几何精校正、多源数据融合等工序,通过编写自动化处理脚本将预处理效率提升40%以上。

三、国土测绘应用实用三维DEM技术的方法路径

(一) 密集点云自动匹配技术

密集点云自动匹配技术是三维DEM数据获取的核心手段,其通过对高分辨率影像或激光点云数据进行多视匹配处理,能够生成点密度达2-5点/m²的地面点云数据。在国土测绘中,该技术结合固定翼无人机航测系统实现单日50-100平方公里的大范围地表扫描,针对城市建成区采用多旋翼无人机倾斜摄影,能获取立面细节丰富的点云数据,数据采集效率较传统全站仪测量提升8-10倍^[4]。采用SIFT、SURF等先进影像匹配算法时,通过构建高斯金字塔实现多尺度特征提取,匹配精度可达0.5个像素以内,在1:2000比例尺测绘中平面中误差控制在0.3m-0.5m,高程中误差优于0.2m-0.3m,能精准捕捉地表0.1m级微小地形特征。针对复杂地形区域,通过多视影像匹配技术构建三维点云密集匹配网络,有效解决建筑物遮挡、阴影区域等匹配盲区问题,使点云数据完整率提升至95%以上,为三维DEM模型构建提供高密度、高精度的原始数据支撑。

(二) 滤波处理技术的应用

激光点云滤波处理技术的核心原理是基于地面点与

非地面点在空间分布特征、高程变化规律及地形关联性上的本质差异,通过算法模型实现两类点云的精准分离。算法实现过程采用多尺度迭代策略,通过大窗口初步分离明显的非地面点,再通过小窗口精细提取地面细节,每轮迭代后进行残差分析,确保滤波结果既保留地形特征又剔除干扰信息,最终实现地面点提取精度 $\geq 90\%$ 的技术目标。针对平原农业区,采用基于坡度的滤波算法,结合高程标准差分析实现90%以上的地面点提取精度;对于山区地形,选用基于形态学的滤波算法,通过开闭运算分离地面与非地面特征,结合高程差阈值能有效区分陡峭山坡的地面点与岩石露头^[5]。滤波处理过程中通过设置迭代检验机制,每轮滤波后对地面点进行趋势面拟合,残差分析确保地面点识别准确率 $\geq 98\%$ 。经滤波处理后的点云数据,在丘陵地区平面位置中误差 $\leq 0.4\text{m}$,高程中误差 $\leq 0.2\text{m}$,地形特征点保留率 $\geq 95\%$,为后续DEM建模提供纯净的地面数据源。

(三) 立体编辑技术的应用

立体编辑技术是DEM数据精细化处理的关键环节,通过在JX4、VirtuoZo等立体测图系统中对DEM模型进行交互式编辑,可消除数据采集阶段产生的误差。编辑过程中重点处理三类问题:对DEM模型中的毛刺采用三次多项式平滑处理,对漏洞区域采用反距离加权插值法填补,对地形突变带进行特征线强化编辑。编辑人员借助双目立体观测设备,在1:2000比例尺下可实现0.1m精度的地形细节编辑,通过坡度坡向分析工具对编辑结果进行校验,采用最小二乘拟合计算坡度偏差,确保地形坡度计算误差 $\leq 2^\circ$,坡向误差 $\leq 5^\circ$ 。最终编辑后的DEM模型通过野外RTK实测点验证,与实地地形吻合度 $\geq 95\%$,满足国土测绘对地形表达的高精度要求。

(四) 数据接边技术的应用

在大面积国土测绘中,当测区面积超过50平方公里时需进行多测区DEM数据拼接,接边区域重叠度需保持在500m-1000m。采用基于最小二乘法的接边算法,构建重叠区域高程差异方程,对同名点高程差异进行加权调整,使接边处高程偏差控制在0.3m以内。接边处理过程中实施三级检查机制:自动接边后进行差值统计,人工复核接边精度,最终通过三维可视化对比检查接边连续性。针对山地与平原过渡带的特殊接边场景,采用分区域自适应接边策略,山地段加密接边检查点至50m间隔,确保接边完成后的DEM数据接边区域连续率达100%,地形变化梯度一致率 $\geq 98\%$,有效解决台阶状偏差问题。

(五) 元数据填写技术的应用

元数据填写需严格遵循《地理信息元数据规范》(GB/T19710-2005)及《基础地理信息数字成果元数据》(CH/T1007-2001),涵盖数据标识、空间参考、质量信息、

内容信息等 12 个核心要素集共 86 项必填字段。数据基本信息部分需明确坐标系统、数据比例尺、采集日期及数据源类型；质量信息部分需填写平面中误差、高程中误差、数据完整率等量化指标，并附质量检查报告编号；处理信息部分需详细记录滤波算法名称、立体编辑软件及版本号，注明关键参数设置。元数据采用 XML 格式存储，通过 MetaEditor 等校验工具进行完整性检查、逻辑性验证，确保元数据准确率 $\geq 99\%$ ，为数据共享与管理提供标准化的描述依据。

四、国土测绘中实景三维 DEM 质量控制策略

（一）立体模型检查法的应用

立体模型检查法是基于三维可视化环境实现 DEM 质量管控的核心手段，通过构建 1:1 比例的立体影像模型与 DEM 数据的叠加显示，实现对地形表达准确性的直观校验。该方法需在 JX4C、VirtuoZo 等专业立体测图系统中完成，采用双目立体观测设备建立立体观测环境，检查人员需按 200m \times 200m 网格划分检查单元，对每个单元实施全面巡视。重点检查山顶、鞍部等地形特征点的高程精度、地形突变线的连续性以及微地形的完整性（遗漏率 $\leq 5\%$ ）。检查过程中采用“特征点量测对比法”，每平方公里选取不少于 30 个明显地物点，将 DEM 高程值与立体模型量测值进行比对，差异超过 1.5 倍误差时需标记为可疑区域并进行二次复核，确保立体模型与 DEM 数据的吻合度 $\geq 95\%$ ，有效识别 DEM 建模中的地形扭曲、特征丢失等问题。

（二）晕渲效果检查法的应用

晕渲效果检查法通过模拟太阳光照射下的地形光影变化，直观反映 DEM 数据的地形起伏合理性。采用 ArcGIS 或 GlobalMapper 等软件的光照晕渲模块，设置光源方位角 315°、高度角 45° 的标准光照参数，生成 1:2000-1:10000 比例尺的晕渲图。检查时重点关注光影过渡的自然性，杜绝出现无地形依据的光影突变，山地地区需确保等高线走向与晕渲阴影梯度一致，平原地区需识别因数据平滑过渡导致的虚假地形。对晕渲图实施网格化检查，每个网格的光影异常区域面积占比需 $\leq 3\%$ ，同时采用“剖面线分析法”验证地形起伏连续性，沿主要地貌走向每 500m 绘制一条高程剖面，确保剖面线与晕渲阴影变化的吻合度 $\geq 90\%$ ，有效发现 DEM 中的高程跳变、地形失真等质量缺陷。

（三）DOM 套合检查法的应用

DOM 套合检查法通过高精度数字正射影像（DOM）与 DEM 数据的空间位置匹配校验，实现对 DEM 平面精度与地形定位准确性的量化评估。操作时需将 DOM 数据与 DEM 数据在统一坐标系统下进行叠加，采用“特征线套合对比法”对道路中线、河流岸线等线性地物实施检查，套合偏差需控制在 0.5 个像素以内。对城区区域

重点检查建筑物基底与 DEM 高程的匹配性（高程偏差 $\leq 0.5\text{m}$ ），对郊区区域重点检查田埂、沟渠等微地形的套合精度（平面偏差 $\leq 1\text{m}$ ）。采用“随机采样法”每平方公里选取不少于 20 个均匀分布的检查点，计算 DOM 地物边缘与 DEM 地形边界的偏移量。套合检查完成后需生成偏差热力图，对超过限差的区域（偏差 ≥ 2 倍中误差）进行标记并追溯至原始数据处理环节，确保 DEM 与 DOM 的空间匹配精度 $\geq 95\%$ 。

（四）软件自动检查法的应用

软件自动检查法依托专业 DEM 质量检查软件实现对数据规范性与精度指标的批量校验，显著提升质量控制效率。该方法通过预设检查规则库，实现对 DEM 数据的自动化扫描：在数据规范性方面，检查格网间距一致性、坐标系统正确性及数据格式完整性；在精度指标方面，计算相邻格网点高程差、坡度极值及地形粗糙度系数。软件检查需设置三级阈值机制：警告阈值、超限阈值及严重超限阈值，对超限区域自动生成质量报告并标记位置坐标。检查完成后需对软件识别的问题进行人工复核，确保错误识别率 $\leq 5\%$ ，最终形成“自动检查-人工确认-整改反馈”的闭环控制流程，使 DEM 数据的合格率提升至 98% 以上。

结语

实用三维 DEM 技术在国土测绘中具有不可替代的重要作用，其通过提升数据可靠性、增强决策科学性和保障管理精准性，为国土测绘工作的高质量开展提供了有力支撑。未来，随着技术的不断创新与发展，应当进一步加强三维 DEM 技术与国土测绘实际需求的融合，持续探索技术应用的新路径和新方法，不断提升国土测绘的技术水平和成果质量，为国土空间规划、管理和保护提供更加坚实的技术保障。

参考文献

- [1] 何建宁, 吴燕平, 李冬芳等. 实景三维 DEM 数据生产及质量控制技术探索 [J]. 时空信息学报, 2022 (3): 43-48.
- [2] 马静, 张晓东. 实景三维建设中空三加密、DEM、DSM、DOM 部分技术探究 [J]. 测绘与空间地理信息, 2024 (1): 310-312.
- [3] 王伟丽, 穆利娜, 任峻. 实景三维 DEM 生产关键技术及质量检查方法 [J]. 测绘标准化, 2022 (2): 96-100.
- [4] 荣涛. 河南省测绘地理信息技术中心召开实景三维河南建设 DEM 生产技术培训会 [J]. 资源导刊(河南), 2023 (24): 7-7.
- [5] 刘俊, 张天祥, 刘杰. 实景三维技术在自然保护地中的应用——以景德镇玉田湖国家级湿地公园为例 [J]. 北京测绘, 2023 (4): 519-523.