

# 新型基础测绘体系建设的关键技术与实践路径研究

——以山西省太原市为例

吴玉龙

(太原太工天昊土木工程检测有限公司, 太原 030000)

**摘要:**针对传统基础测绘数据更新滞后,要素表达单一等问题,探索新型基础测绘体系建设的技术方法与实施路径。以太原市为例,突破倾斜摄影与激光雷达融合建模,AI 驱动要素智能识别等关键技术构建“空天地网”协同数据采集体系在迎泽区、汾河流域与西山矿区开展分区试点建立多层次地理实体数据库实现季度级增量更新。建成核心城区 652km<sup>2</sup> 实景三维模型,地理实体识别准确率达 94.3%,数据更新周期从年度缩短至季度,形成“分区试点—协同采集—动态更新”的可推广实践模式为自然资源监管与城市精细化治理提供高精度时空信息支撑。

**关键词:**新型基础测绘;实景三维;地理实体;时空大数据

**中图分类号:**P231.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2736(2025)12-0041-6

## 0 引言

随着数字中国战略的深入实施与新型智慧城市建设的加速推进,传统基础测绘已难以满足自然资源精细化管理与城市高质量发展的需求。传统测绘存在数据更新周期长,要素表达维度单一,与实际应用场景脱节等突出问题。亟需构建以实景三维为核心、地理实体为对象、时空大数据为支撑的新型基础测绘体系。太原市作为山西省省会城市具有复杂的地形地貌与多样化的应用场景,既有老城区改造的测绘需求又面临生态保护与资源型地区转型的双重挑战。研究以太原市为典型案例,系统探索新型基础测绘体系建设的关键技术突破与实践路径通过分区试点、技术创新与模式探索,形成可复制、可推广的经验,为全国同类城市新型基础测绘转型提供参考借鉴。

## 1 太原市基础测绘现状与新型体系建设需求分析

### 1.1 太原市地理环境特征与测绘工作基础

太原市位于山西省中部盆地,东依太行,西

傍吕梁与汾河纵贯形成“两山夹一川”地貌格局,城区集中于海拔 780-800m 河谷平原,外围分布高差达 500 余 m 的山地丘陵,地形起伏显著为测绘工作带来技术挑战<sup>[1]</sup>。作为历史文化名城与资源型城市转型试点,太原已建立覆盖全市 6988km<sup>2</sup> 的多尺度基础地形数据库,布设包含 GPS 连续运行参考站的现代测绘基准体系形成完整技术流程,但传统测绘成果面对城市快速扩张,生态保护与资源环境监测等新需求时,数据更新机制滞后要素表达局限性日益凸显<sup>[2]</sup>。

### 1.2 传统基础测绘存在的问题与转型需求

传统基础测绘以二维要素表达为主,难以还原地理空间三维结构与动态演变,导致国土空间规划监督与生态红线监管等业务信息支撑不足。数据更新周期长达一至数年,测绘成果与地表现状存在显著时间差,新建建筑与道路改扩建等变化无法及时纳入数据库动态维护,城市建设项目缺乏实时空间基底支撑<sup>[3]</sup>。面对数字孪生城市建设与自然资源精细化监管需求,亟需构建以实景三维为统一表达、以地理实体为管理单元、以时空大数据为驱动的新型基础测绘体系,实现从

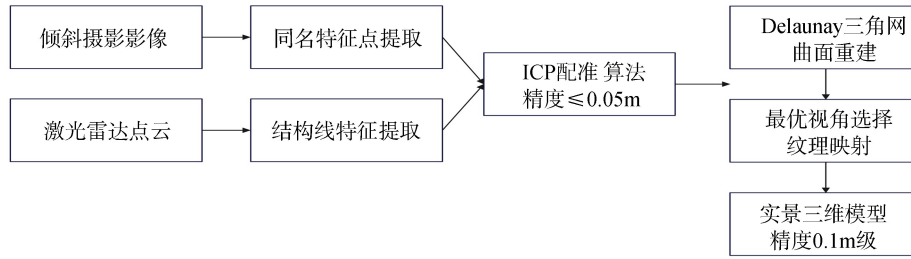


图 1 倾斜摄影与激光雷达融合建模技术

静态成果向动态信息服务的根本转变<sup>[4]</sup>。

## 2 新型基础测绘关键技术攻关与创新应用

### 2.1 倾斜摄影与激光雷达融合的实景三维建模技术

倾斜摄影测量通过多角度影像采集获取地物的纹理信息与几何结构,但在植被茂密区域与建筑物密集区域易出现遮挡盲区,而机载激光雷达虽具备穿透植被冠层直达地表的能力,并能精确测定垂直高程,却无法捕获地物的真彩色纹理特征,两种技术的互补性为融合建模提供了技术基础(图 1)。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(X_i - X_{ref})^2 + (Y_i - Y_{ref})^2 + (Z_i - Z_{ref})^2]} \quad (1)$$

式(1)中: $RMSE$  为融合模型的均方根误差,表征建模精度; $n$  为检核点总数, $X_i$ 、 $Y_i$ 、 $Z_i$  分别为融合模型第  $i$  个检核点的三维坐标实测值, $X_{ref}$ 、 $Y_{ref}$ 、 $Z_{ref}$  分别为对应检核点的高精度参考坐标值通常通过  $RTK$  测量获取。

研究构建了基于特征点云配准与纹理映射的双源数据融合算法,通过提取激光点云结构线与倾斜影像同名特征点建立空间对应采用迭代最近点算法实现高精度配准(精度 0.05m 内)。利用约束 Delaunay 三角网重建曲面,通过最优视角选择算法映射纹理解决了单一数据源几何精度不足或纹理缺失问题,在太原市 652km<sup>2</sup> 范围内构建的实景三维模型精度达 0.1m 级,建筑立面纹理清晰度较传统方法提升 40%以上。

### 2.2 多时相卫星遥感的地理实体动态监测技术

地理实体动态演变监测是新型基础测绘体

系保障数据现势性的核心,作为含空间位置、几何形态、属性及时态信息的真实地理对象,传统像元级方法在实体边界提取与语义识别上存在局限。研究基于高分二号与资源三号等国产卫星的多时相遥感影像序列,发展面向地理实体的变化检测与更新算法体系,采用深度学习孪生神经网络架构以不同时相影像为双通道输入编码,通过注意力机制,增强变化区域特征响应,结合经验知识约束结果完整性及一致性<sup>[5]</sup>。该技术应用于太原汾河流域生态修复工程构建季度级监测序列,实现相关实体自动化识别,检测精度达 91.7%,漏检率与误检率分别控制在 4.2%、4.1% 内,为生态保护红线监管与自然资源执法提供精准空间证据,提升基础测绘成果及动态管理的响应能力。

### 2.3 AI 驱动的地理要素智能识别与分类技术

传统地理要素提取依赖人工目视判读与交互编辑,劳动强度大且生产效率低下,难以适应大规模实景三维数据的自动化处理需求(表 1)。研究引入改进的 Mask R-CNN 深度卷积神经网络模型,构建了面向多类别地理要素的端到端智能识别框架。通过区域建议网络生成候选目标框,并利用特征金字塔网络,提取多尺度语义特征,实现了对建筑物、道路、植被与水体等典型地理要素的像素级精确分割与语义标注。

$$F1 = \frac{2 \times Precision \times Recall}{Precision + Recall} = \frac{2TP}{2TP + FP + FN} \quad (2)$$

式(2)中: $F1$  为综合评价识别精度的调与平均值, $Precision$  为查准率,表示识别为正样本中真正为正样本的比例, $Recall$  为查全率表示实际

正样本中被正确识别的比例,  $TP$  为真正例数量,  $FP$  为假正例数量,  $FN$  为假负例数量。

表 1 太原市核心城区地理要素智能识别精度统计表

要素类型	样本数量	查准率 (%)	查全率 (%)	F1 得分 (%)
建筑物	8,642	95.1	93.6	94.3
道路网络	3,267	91.5	94.2	92.8
植被覆盖	5,418	88.3	91.0	89.6
水体	1,235	97.2	95.1	96.1

注:样本数量为太原市核心城区实际采集的各类地理要素影像标注样本总数。

模型训练采用太原市 2.3 万张高分辨率影像样本,通过数据增强与迁移学习提升泛化能力。识别结果显示:建筑物 F1 得分 94.3%,道路提取完整率 92.8%,植被与水体分类精度分别达 89.6%与 96.1%,效率较传统方法提升约 15 倍。智能识别与地理实体数据库深度耦合,实现影像到结构化实体的自动转换,为实景三维模型语义赋能与增量更新奠定基础,推动基础测绘向技术密集型转型。

### 3 太原市新型基础测绘体系建设的实施案例

#### 3.1 典型场景应用案例:分区分类建设模式探索

##### 3.1.1 城市核心区:迎泽区实景三维一体化建设

迎泽区 92.6km<sup>2</sup> 建成区汇聚高密度建筑群与复杂路网,传统测绘难以满足城市精细化管理需求。项目采用“空天地网”协同架构(图 2):无人机获取 0.03m 分辨率影像,激光雷达采集地表高程,移动测量车补充立面细节,物联网传感器回传管网设施数据。经点云配准融合与 AI 智能识别,自动提取 18 类地理实体构建语义化三维模型,建立季度级增量更新机制,数据现势性较传统年度更新提升 4 倍为规划审批建设监管提供厘米级精度时空底座。

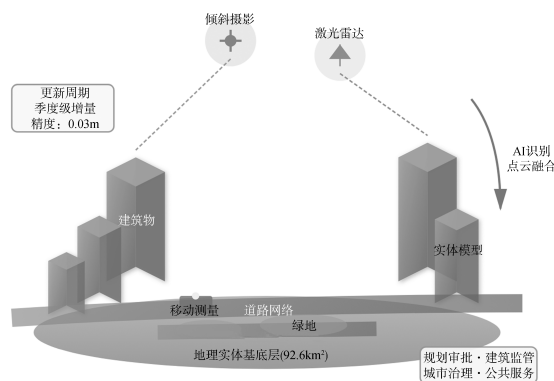


图 2 迎泽区实景三维一体化建设空间架构

##### 3.1.2 生态功能区:汾河流域地理实体全周期管理

汾河流域纵贯太原市域 148km,流域面积 2060km<sup>2</sup> 内分布着湿地公园、生态廊道与水源保护区,生态修复工程与水资源管理对测绘数据的动态性与精准性提出更高要求。建立以地理实体为核心的全生命周期管理体系。将河道、堤防、湿地与植被等自然要素抽象为独立实体对象,赋予唯一标识码与多维属性信息。部署高分二号卫星构建季度级遥感监测序列,通过孪生神经网络变化检测算法捕捉水体边界扩张、植被覆盖度变化与岸线侵蚀位移,检测精度达 91.7%。结合无人船搭载声呐设备开展水下地形测量,获取河床淤积深度与断面形态数据,更新频率由年度缩短至汛期月度级,构建实体关联图谱,建立水位—流量—生态指标的动态响应模型,当监测到水体面积异常波动超过阈值时,自动触发预警机制为生态保护红线监管<sup>[6]</sup>。

##### 3.1.3 资源型地区:西山矿区环境监测预警体系

西山矿区历史开采导致地表沉陷,边坡失稳与植被退化等问题交织,构建起 InSAR 差分干涉测量与地基倾斜仪协同的形变监测网络(图 3)。Sentinel-1 卫星影像序列提取地表垂直与水平位移形变监测精度达毫米级,时间分辨率 6d,重点沉陷区布设 32 个 GNSS 连续观测站与 48 个地基倾斜监测点,构建厘米级三维形变场模型,无人机倾斜摄影与激光雷达对采空区边坡、排土场进行季度级实景三维重建,多期模型

表 2 太原市“空天地网”多源数据采集技术参数统计表

采集平台	传感器类型	空间分辨率/精度	覆盖范围	采集周期
高分二号卫星	全色+多光谱相机	1m/0.8m	全市域 6988km <sup>2</sup>	季度级
固定翼航摄	框幅式数字航摄影	0.1m	建成区 1460km <sup>2</sup>	年度
多旋翼无人机	五镜头倾斜相机	0.03m	核心区 652km <sup>2</sup>	季度级
机载激光雷达	多回波扫描系统	点云密度 ≥ 16 点/m <sup>2</sup>	核心区 652km <sup>2</sup>	半年度
移动测量车	全景相机+激光扫描	0.02m	主干道网 1247km	月度

注:空间分辨率指影像地面采样距离,精度指几何定位中误差;采集周期为常态化更新频率,应急测绘可提升至日级响应。

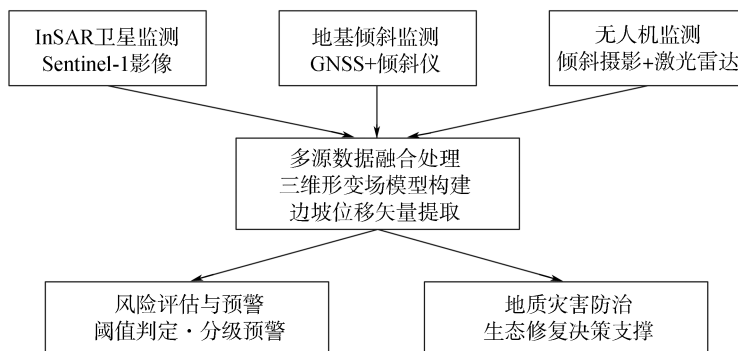


图 3 西山矿区环境监测预警体系架构

差分计算提取边坡位移矢量累积,位移超过阈值时触发橙色预警。建立地理实体—监测数据—风险评估关联机制,实现从被动监测向主动预警转变,为矿山地质灾害防治提供精准空间决策依据<sup>[7]</sup>。

### 3.2 数据生产案例:“空天地网”一体化采集技术应用

太原市核心城区 652km<sup>2</sup> 实景三维生产突破传统单一数据源瓶颈构建卫星遥感,航空摄影、无人机倾斜、地面移动测量与地下管网探测融合的立体采集网络(表 2)。无人机按航向重叠度 75%,旁向重叠度 65% 获取 0.03m 分辨率影像,激光雷达以 550kHz 频率穿透植被采集地表高程,移动测量车补充建筑立面与街道细节探地雷探测管线位置偏差控制在 0.15m 内。多源数据经特征点云配准统一至城市坐标系,配准残差 0.042m,融合模型精度达 0.1m 级。

### 3.3 运维管理案例:地理实体数据库动态更新实践

地理实体数据库动态更新机制突破传统全

要素周期性重测范式,建立基于变化检测触发的智能化增量更新体系。系统以实体唯一标识码为索引将建筑物、道路与水系等 18 类对象抽象为实体表关联空间几何、属性特征、时态信息与关系图谱四维结构。部署改进孪生神经网络,对季度级遥感影像与实景三维模型进行自动变化检测。当实体几何变化超过 5% 或属性更新触发业务事件时,系统自动推送更新任务,无人机按需补飞变化区域,AI 识别算法提取新增或变更实体,经质检后写入数据库并生成版本快照。2024 年度识别变化图斑 3247 个,含新增建筑 892 栋,道路改扩建 67.3km,数据库现势性从年度更新的 75% 提升至季度级 94.6%,为自然资源监管与城市治理提供准实时空间信息支撑。

## 4 太原市新型基础测绘建设成效与推广策略

### 4.1 测绘数据质量与服务效能提升成效

新型基础测绘体系建设使太原市测绘成果的时空精度与现势性实现质的跃升。实景三维

表 3 太原市新型基础测绘典型应用场景效益统计表

应用领域	典型场景	关键成果	效益量化指标
自然资源监管	违法用地执法	发现违规建设 1.8 万 m <sup>2</sup>	查处效率提升 4 倍
生态保护修复	汾河流域监测	识别侵占图斑 37 处	生态修复精准度提升 85%
城市精细治理	违建拆除决策	三维比对分析 427 栋	拆除成本降低 32%
地质灾害防治	西山矿区预警	预报边坡失稳 2 次	避免经济损失 8000 万元

注:效益量化指标基于 2024 年度实际应用统计数据;经济损失避免额通过灾害风险评估模型测算得出。

模型平面精度从传统航测的 0.5m 提升至 0.1m,高程精度达到 0.15m,建筑物立面纹理分辨率突破 3cm,地理实体边界提取的位置不确定性降低至 0.08m。数据更新机制的革新使核心区 652km<sup>2</sup> 范围内的现势性指标,从年度更新模式下的 75% 跃升至季度增量更新的 94.6%,变化要素响应时效由传统的 3-6 个月缩短至 15 天以内。服务效能层面构建起涵盖实景三维浏览、地理实体查询、时空演变分析与专题应用定制的多层次服务体系,日均接口调用量达 12.7 万次,较传统地形图服务增长 8.3 倍,服务响应时间控制在 200ms 以内,建立面向自然资源、城乡规划与应急管理 15 个部门的数据共享机制,消除了部门间的信息孤岛,空间数据重复采集率下降 62%。

#### 4.2 典型应用场景与社会经济效益分析

新型基础测绘成果深度嵌入自然资源全业务链条,在国土空间规划编制中提供三维现状基底支撑,规划方案的合理性论证,建设项目竣工验收环节<sup>[8]</sup>。通过实景三维模型比对发现违规建设面积累计 1.8 万 m<sup>2</sup>,生态保护红线监管依托汾河流域季度级遥感监测序列识别侵占湿地图斑 37 处,违法采砂点 12 个,执法查处时效提升 4 倍。城市治理领域服务于违建拆除、地下管线普查与应急指挥等场景,西山矿区形变监测预警系统成功预报 2 次边坡失稳风险。经济效益评估显示(表 3),测绘成果复用率从 38% 提升至 76%,避免重复测绘投资约 2300 万元,自然资源执法效率提升,带来的违法用地罚没收入增加 1.2 亿元,数字孪生城市应用吸引信息产业投资 5.6 亿元,投入产出比达到 1:6.8。

#### 4.3 可复制可推广的经验模式与优化建议

太原市实践凝练出“分区试点—技术攻关—标准先行—协同推进”的建设路径,形成针对不同地理环境与应用需求的差异化解决方案<sup>[9]</sup>。城市核心区注重实景三维精细化表达与动态更新生态功能区,强化遥感监测与地理实体管理,资源型地区聚焦形变监测与风险预警,这种分区分类策略避免了“一刀切”导致的资源浪费。技术体系突出多源数据融合、AI 智能识别与增量更新三大核心能力。建立涵盖数据采集、处理、管理与服务全流程的标准规范体系,保障成果质量的一致性<sup>[10]</sup>。推广建议包括:完善省级统筹协调机制,建立跨部门数据共享与业务协同平台,加大关键技术研发,投入突破时空大数据智能分析瓶颈,培育专业化服务市场,引导社会资本参与新型基础测绘建设,健全质量监管体系,建立基于区块链的成果溯源机制,推动新型基础测绘向智能化、实时化、服务化方向持续演进。

### 5 结语

太原市新型基础测绘体系建设实践证明,技术创新与模式创新双轮驱动能够有效破解传统测绘数据更新滞后,要素表达单一等瓶颈。“空天地网”协同采集,AI 智能识别与动态增量更新等关键技术应用实现了从静态成果向动态服务,从二维表达向三维实景,从要素数据向实体管理的根本性转变。迎泽区、汾河流域与西山矿区的分区分类实践为不同场景测绘体系构建提供了可行方案,未来应深化时空大数据与人工智能融合应用,拓展服务深度完善标准规范,推动新型基础测绘向智能化、实时化与服务化发展为数字

中国建设提供坚实的时空信息底座。

#### 参考文献(References):

- [1] 薛向阳, 邹宏, 赵进, 等. 数据基础设施抗测绘理论与技术发展研究[J]. 中国工程科学, 2025, 27(01): 72-87.
- [2] 张莉, 涂康, 詹伟, 等. 面向新型基础测绘的测绘地理信息档案数字化实践[J]. 城市勘测, 2024, (05): 25-28.
- [3] 王艳, 潜成胜. 新型基础测绘体系建设及技术实现研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2023, 46(11): 115-117.
- [4] 兀伟, 赵鑫, 王焕萍, 等. 新型基础测绘与实景三维中国建设标准需求分析[J]. 测绘标准化, 2023, 39(01): 1-8.
- [5] 韩文立, 张继贤, 陈海鹏, 等. 新型基础测绘质检技术探讨[J]. 测绘通报, 2022, (07): 148-153.
- [6] 贺瑜琦, 曾一笑, 陈光, 等. 新型测绘视角下的山地城市规划实施场景预警模拟技术探索[J]. 测绘通报, 2022, (04): 11-15.
- [7] 姜东兴. 基于案例驱动的应急测绘空间服务组合技术及其实现[J]. 测绘技术装备, 2021, 23(02): 34-37.
- [8] 于明辉, 巴瑞宇, 朱慧慧, 宫浩. 信息化赋能工程建设项目审批制度改革——威海市“多测合一”管理服务平台应用实践[J]. 山东国土资源, 2021, 37(09): 60-64.
- [9] 张保钢, 杨伯钢, 易致礼, 时守志, 李金刚, 曹雨傲. 我国“多测合一”工作开展情况综述[J]. 北京测绘, 2021, 35(11): 1353-1365.
- [10] 卓旭宏, 郭少洲. “多测合一”在提升测绘成果质量中的优势分析[J]. 浙江测绘, 2022, (01): 59-62.

#### 作者简介:

第一作者/通讯作者: 吴玉龙, 男, 1990 年生, 太原人, 太原太工天昊土木工程检测有限公司, 工程师, 主要研究方向为土木工程。Email: 1194705456@qq.com

## Research on Key Technologies and Practical Approaches for Building a New Fundamental Surveying and Mapping System: A Case Study of Taiyuan City, Shanxi Province

WU Yulong

(Taiyuan Taigong Tianhao Civil Engineering Testing Co., Ltd., Taiyuan 030000, China)

**Abstract:** To address issues such as delayed data updates and single-feature representation in traditional fundamental surveying and mapping, this study explores technical methods and implementation pathways for constructing a new fundamental surveying and mapping system. Taking Taiyuan City as an example, the research achieves breakthroughs in key technologies including oblique photogrammetry-LiDAR fusion modeling and AI-driven intelligent feature recognition, establishing an “air-space-ground-network” collaborative data acquisition system. Pilot projects were conducted in Yingze District, the Fenhe River Basin, and the Xishan Mining Area, establishing a multi-level geographic entity database and achieving quarterly incremental updates. A 652-square-kilometer 3D real-scene model of the core urban area was constructed, with geographic entity recognition accuracy reaching 94.3% and data update cycles shortened from annual to quarterly. This forms a replicable practical model of “zoned pilots-collaborative acquisition-dynamic updates”, providing high-precision spatiotemporal information support for natural resource supervision and refined urban governance.

**Key words:** new fundamental surveying and mapping; 3D real-scene modeling; geographic entities; spatiotemporal big data