

倾斜实景建模技术在多领域工程项目中的应用研究

倾斜摄影测量可以快速构建坐标准确、纹理精细的实景三维模型，可在智慧城市、智慧工程的建设中起到举足轻重的作用。本项目对倾斜建模数据采集处理、平台研发、工程应用全流程关键技术进行了全面研究，极大提升了三维建模效率和质量，自主研发的开源三维GIS平台实现了不同类型三维模型的集成应用，极大拓展了实景三维在多类型工程项目中的应用范围和场景。本项目完成的主要科技内容如下：

(1) 倾斜建模数据采集处理关键技术和算法革新，提升了建模效率以及模型质量：①无人机影像预处理关键技术研究及软件研发；②实现了OSGB倾斜三维模型的悬浮物自动删除；③倾斜三维与Lidar点云联合测图研究，包括点云建模和成图关键技术研究及软件研发。

(2) 开源三维GIS平台开发，将倾斜三维模型与国土空间规划、不动产管理、工程建设管理等多种业务结合，具有完善的数据处理、发布、集成、展示、分析、应用开源解决方案。平台基于开源Cesium引擎，所有代码自主可控，支持倾斜三维、点云、BIM模型、Geojson、KML、WMS、WMTS、矢量、影像等不同服务与类型的多源数据。

(3) 开创了实景三维辅助规划、设计新方法。①通过自主研发的三维GIS平台实现规划模型与实景三维的融合，应用于方案比选、方案优化、方案展示等；②通过插件转换实景三维格式，可将实景三维导入到Civil 3D等设计软件中，辅助规划设计。

(4) 在大比例尺测图、地灾防治、农村房地一体、不动产管理、“美

丽县城”建设、国土空间规划、辅助设计、扶贫安置、数字城市、智慧工地等领域深化了实景三维的应用，提升了工程项目的效率和可靠性，增加了实景三维产品的附加值。

本项目的科技成果的应用工程实、范围广、场景新、程度深，取得了良好的推广应用，在滇中饮水小鱼坝进场道路危岩体监测、巫家坝中央公园勘察设计、泸西县国土空间规划、泸西县农村房地一体、镇康县数字城市建设、昌都扶贫安置、金平县“美丽县城”建设、建元高速智慧工地等典型工程项目中获得了具体应用。

经统计，在本成果应用的三年时间中，累计直接经济效益约 4509.85 万元，具有巨大的市场和经济社会效益的前景。本项目的科技成果已申请发明专利 6 项（2 项已授权、4 项公示）、9 项软件著作权（授权 8 项）、发表 4 篇论文（2 篇中文核心）。经第三方科技评价，项目研究成果总体处于国内领先水平。”

1、立项背景

近年来，实景三维在各行各业尤其是数字城市的建设中逐步展示出其高空间精度、高分辨率、真纹理的优势。在未来近十年中，我国将逐步实现三维城市数字化，将形成千亿级的城市三维建模产业规模，因此，研究三维场景建模技术及应用有着极强的产业化需求和实际意义。但是，当前倾斜三维建模生产及应用方面还存在着如下问题：

（1）倾斜三维模型的生产虽然整体自动化程度高、流程已较为成熟，但是在影像预处理及模型后处理上还存在着人工干涉较多的情况。

（2）部分主流软件（比如 Autodesk 下的 Civil3D 三维设计软件）对倾斜三维格式支持不足，制约了其在工程规划设计中的应用。相较于

传统的地形图，倾斜三维模型能够更好的辅助道路、桥梁等工程项目的设计，但是 Civil3D 并不支持 OSGB、OBJ 等倾斜三维格式的导入。

(3) 倾斜三维作为智慧城市、智慧工程和其他应用的空间定位和载体，和具体业务结合的还不够广泛和深入，导致倾斜三维的应用场景较为单一，在多种应用中处于“只能看、不能用”的层次。

为了拓宽倾斜三维模型应用范围，让倾斜建模技术能够真正辅助“数字城市”、“智慧工程”等多项战略性业务的推进，经过公司专家组讨论，决定对“倾斜实景建模技术在多领域工程项目中的应用研究”立项。旨在通过研究倾斜三维生产及应用的诸多关键技术，通过算法研究、平台开发等方式，结合公司开展的各项战略业务，推广实景三维模型的应用场景。

2、科技含量

2.1 总体思路

为了提升倾斜三维建模的效率和质量，拓宽倾斜三维模型的应用场景，本项目对倾斜建模数据采集处理、平台研发、工程应用全流程关键技术进行了全面研究。研究了倾斜建模影像预处理及模型后处理关键技术和算法，研发了开源三维 GIS 平台实现了不同类型三维模型的集成应用，极大拓展了实景三维在多类型工程项目中的应用范围和场景。

2.2 技术方案与创新成果

一、倾斜建模数据采集处理关键技术和算法革新

(1) 无人机预处理关键技术研发以及软件开发。①高海拔地区无人机影像冗余自动识别与剔除。根据测区高程模型及无人机飞行姿态

POS 数据, 自动计算出测区所有像片重叠度。根据指定的重叠度阈值, 对影像进行智能分析, 在尽可能多的剔除冗余影像的同时, 保证剔除像片后相邻像片间重叠度大于规范要求。②无人机影像像控点自动布设。针对人工布设像控存在的不规范、效率低、易出错等问题, 研究了像控自动布设算法。只需用户输入像控密度和旁向间隔等参数, 即可自动构建出像控分布网。刺点影像的自动匹配算法以摄影测量共线方程为基础, 自动计算地物点和像点之间的匹配关系, 并依据筛选算法挑选出最合适的刺点照片和匹配位置, 并自动标注可选测量范围。

(2) OSGB 倾斜模型的悬浮物自动批量删除。利用 OSG 库解析并获得几何信息、纹理信息以及两者之间的对应关系, 通过三角面片的连通性判断实现对悬浮物的自动识别, 从而实现 OSGB 模型中悬浮物的自动批量删除功能; 识别出的悬浮物准确且不存在遗漏, 避免人工剔除时误删和漏删的缺点; 自动化程度高, 整个过程中无需人工干预; 整个三维模型场景视为一个整体进行处理, 考虑了瓦片间的邻接关系, 能够保证最终结果模型的完整性。

(3) 倾斜三维与 Lidar 点云联合测图, 包括点云建模和成图关键技术研究与软件研发。①研究了实景三维模型与 Lidar 点云联合制图、建模新工艺。②提出了一种改进的布料滤波 (CSF) 点云分类算法, 实现点云地面点和非地面点的分类。改进之处在于 CSF 算法使用之前采用其它滤波算法组合初步处理。③提出了一种点云漏洞修补方法。相比于对比常规方式, 生成的 DTM 模型和等高线地形图精细化程度更高。

二、开源三维 GIS 平台开发

平台基于开源 Cesium 和 WebGL 技术自主开发，采用前后端分离开发的方式，后端部分由 Spring 框架搭建，通过连接数据库和数据服务，为前端提供请求响应、服务接口、数据库管理和项目相关功能的支持。将倾斜三维模型与国土空间规划、不动产管理、工程建设管理等多种业务结合，支持倾斜三维、点云、BIM 模型、Geojson、KML、WMS、WMTS、矢量、影像等不同服务与类型的多源数据，具有完善的数据处理、发布、集成、展示、分析、应用开源解决方案。

(1) 国土空间规划平台。平台提供国土空间规划过程中的三维可视化、多源数据整合、量测分析、规划监测评估等服务，主要实现了如下功能：

- ①数据集成、量测、定位、查询统计，将各种自然、社会和经济要素的专题数据与三维数据叠加显示；
- ②三维空间分析，比如视域分析、控高分析等；
- ③辅助详细规划，多源数据叠加显示，模型种植等；
- ④方案评估，基于三维分析功能，实现模拟、计算、预估规划方案；
- ⑤规划审批、用途管制。规划管控系统一方面结合三区三线控制线成果进行国土空间用途管制，提供科学、可落地的用途管制决策；另一方面面向项目实施提供用地合规性审查与台账统计。

(2) 三维不动产管理平台。把实景三维引入不动产权籍管理，把倾斜摄影三维测量成果和已有的二维地籍、房产、权利人等数据成果集成到三维 GIS 中，实现了“人、房、地关联”，在不动产登记办理时

无需到实地确认位置，即可现场完成落宗工作，极大便利了不动产统一登记业务的办理。

(3) 工程建设管理平台。基于“GIS+BIM+业务”的理念，结合信息化平台，从设计、施工、运维阶段的深化应用服务于基础设施工程全生命周期，实现了：

- ①实景三维模型、BIM 模型、全景影像、视频数据的集成；
- ②全面管控费用、质量、进度、安全、设计变更、农名工实名制、征地移民等；
- ③工程建设管理无缝融入隧洞监控量测、桥梁结构监测、质量检测、视频施工可视化，基于 BIM 的进度模拟、计量支付和 BIM 咨询深化应用功能；
- ④基于实景三维、BIM、工程数据的大屏显示系统；

三、开创实景三维辅助规划、设计新方法

(1)通过自主研发的三维 GIS 平台实现规划模型与实景三维的融合，应用于方案比选、方案优化、方案展示等。将规划模型经过比例缩放、位置平移和旋转后，放置于实景三维场景中，比较不同方案对城市景观、对周围建筑的影响，同时配合方案上报数据包中的属性数据、指标数据进行综合对比评价分析，以直观的方式评估各个方案的优点。

(2) 通过插件转换实景三维格式，导入到 Civil 3D 等设计软件中，辅助规划设计。为了将实景三维导入至 Civil 3D，需要对倾斜实景三维模型的格式进行转换，将.osgb 文件拆分为表达结构信息的.qxsy 文件以及表达纹理信息的.jpg 文件。并生成索引文件，通过插件将

模型导入 Civil 3D。

2.3 实施效果

本项目的科技成果取得了良好的实施效果，在滇中饮水小鱼坝进场道路危岩体监测、巫家坝中央公园勘察设计、泸西县国土空间规划、泸西县农村房地一体、镇康县数字城市建设、昌都扶贫安置、金平县“美丽县城”建设、建元高速智慧工地等典型工程项目中获得了具体应用。

本项目在推广应用上有如下特点：

(1) 技术难度高。本项目在数据处理、平台研发、应用方面攻克了多项关键技术，提供了全流程的倾斜三维数据处理与应用方案。

(2) 可推广性强。自主研发的平台均基于开源库，所有代码自主可控。针对于不同的工程业务场景，只需要作部分功能更改就可轻易移植，平台通用性好；平台基于前后端分离开发模式，后端整体基于 MVC 设计模式，采用松耦合的开发方式和面向切面的编程来构建三维平台后端程序，平台可扩展性强；

(3) 应用场景新。很多实景三维的应用场景为国内首创。

(4) 应用领域广。本项目的成果在多个不同的工程领域均获得了深入应用，通过引入实景三维模型和传统的工程业务相结合，提升了工程项目的可靠性和附加值。

3、创新点

(1) 倾斜实景建模关键技术和算法革新，解决了影像预处理和模型后处理人工工作量大、自动化程度低的问题，提升了建模效率及模型质量，具体包含以下技术创新：

①无人机预处理关键技术创新。提出了两项关键算法（见附件：发明专利 1、2），并研发了无人机影像预处理软件（见附件：软件著作权 1），实现了高海拔地区无人机冗余影像自动剔除、非量测相机畸变纠正、像控点自动布设等功能。

②OSGB 倾斜模型的悬浮物自动批量删除。提出一种自动批量删除的算法（见附件：发明专利 4），并研发了悬浮物自动删除软件（见附件：软件著作权 2），整个过程中无需人工干预，自动化程度高，解决目前倾斜摄影三维模型建模中 OSGB 格式的悬浮物需要手动修补存在的费时费力的问题。

③Lidar 点云数据处理、倾斜三维与 Lidar 点云联合测图关键技术创新（见附件：发明专利 5、6，软件著作权 6,7）。提出了一种改进的布料滤波 (CSF) 点云分类算法，实现点云地面点和非地面点的分类。改进之处在于 CSF 算法使用之前采用其它滤波算法组合初步处理，对比常规方式，不需人工剔除和设置复杂参数，自动完成点云初分类；提出了一种点云漏洞修补方法，能够有效修补点云漏洞。

（2）实现了不动产、自然资源、工程项目管理系统从二维到三维的转变（见附件：发明专利 3，软件著作权 3、4、5，论文 1）。基于 Cesium 和 WebGL 技术研发了开源 GIS 平台，将倾斜三维模型与国土空间规划、不动产管理、工程建设管理等多种业务结合，支持倾斜三维、点云、BIM 模型、Geojson、KML、WMS、WMTS、矢量、影像等不同服务与类型的多源数据，具有完善的数据处理、发布、集成、展示、分析、应用开源解决方案。平台采用前后端分离开发的方式，所有代码自主可

控，平台通用性好、可扩展性强，使得实景三维的工程领域应用的广度和深度得以拓展。

(3) 开创了实景三维辅助规划设计新方法。借助于自主研发的平台（见附件：软件著作权 8），实现了规划模型与实景三维的融合，并进行方案优化、比选、展示；通过插件转换实景三维格式，可将实景三维导入到 Civil 3D 等设计软件中，辅助规划设计。

(4) 具体实践了实景三维模型在大比例尺测图、地灾防治、农村“房地一体”、不动产管理、“美丽县城”建设、国土空间规划、数字城市、智慧工地等多各工程项目中的应用，应用工程实、场景新、范围广、程度深。其中，实景三维模型在“美丽县城”各阶段的应用在国内属于首创。（见附件：应用证明 1 至 9，论文 2 至 4）

4、保密方面

以下部分由于相关专利还未受理、相关论文还未发表，应属于保密内容，具体包含以下方面：

- (1) 实景三维辅助规划设计新方法的实现方式及应用；
- (2) 实景三维在本文所涉及的所有工程项目领域的具体应用方式。

5、国内外比较

本项目成果总体科技水平处于国内领先水平（见附件：科学技术成果评价报告，以及其他相关发明专利），主要体现在如下方面：

- (1) 影像预处理与模型后处理成果填补了国内研究的空白。

无人机进行倾斜航飞是当前的主流方式，但对于无人机影像预处理环节存在的一些问题却未有专门的解决方案，市面上亦缺乏解决相关问

题的无人机影像预处理软件。本项目研发的无人机影像预处理软件实现的冗余影像剔除、像控自动布设功能均为国内首创，弥补了相关领域的空白。

针对倾斜三维模型的后处理，国内应用得最多的软件是 dp-modeler，但是 dp-modeler 针对于树木、石头等悬浮物的处理是采取人工选择并删除的方式，工作量相对较大。本项目提出并实现的 OSGB 悬浮物自动删除软件，可以自动识别并删除悬浮物，此功能在国内其他倾斜三维模型后处理软件中均不包含。

(2) Lidar 点云模型修补与点云分类效率处于国内领先水平。

点云的初分类改进了布料滤波(CSF)算法，取得良好的效果，相较于国内其他软件对于功能目前有以下优势：(1) 多线程自动解算；(2) ISPR 实验结果得出 CSF 算法平均总误差为 4.58%；(3) 对比常规方式，不需人工剔除和设置复杂参数，自动完成点云初分类；本项目 DTM 和等高线自动生成相比于对比常规方式，精细化程度更高，经过测试，约 1700 万点云，采用单个线程，耗时 118 秒。

(3) 在辅助规划设计领域，通过插件将实景三维模型导入 Civil3D 属于国内首创成果。

(4) 通过开源 GIS 平台的研发，将实景三维和工程业务具体结合，使得本项目在应用新颖度、广度、深度上处于国内领先地位，其中实景三维模型在“美丽县城”各阶段的应用在国内属于首创。”“一、应用情况

(1) 实景三维模型及大比例地形图生产。本项目成果应用后共计生

产了 1101.4km² 的实景三维模型，成地形测图面积 401.3 km²，成果的应用使得实景三维模型生产效率提升了 20%。在地形图生产方面，相较于传统测绘方式，在能够提供相同产品的同时，还可以提供多样化的产品（实景三维模型、DSM、TDOM 等），提高产品附加值。（见附件：论文 2）

（2）在地灾防治领域，已应用于红石岩堰塞体裂缝监测项目以及中引水小鱼坝进场公路边坡危岩体监测项目。通过高清实景三维模型，可以排查诸如危岩体等类型的其他危险源。在分辨率达到 1 厘米以上的高清三维模型上，地质工程师可以便利的进行地质解译，从而进行各类风险性评估。（见附件：论文 3、4，应用证明 1）

（3）在辅助规划与设计领域，通过将实景三维模型用过插件导入到三维设计平台的方式，已成功应用于滦平抽水蓄能电站勘察设计、巫家坝中央公园勘察设计等多个设计项目；通过自主研发的国土空间规划平台，已经成功应用于泸西县、金平县、镇康县国土空间规划等项目之中。（见附件：应用证明 2、3）

（4）在不动产测绘和不动产管理领域，开发了三维不动产管理平台，已成功应用于泸西农村“房地一体”、昆明市五华区三维不动产管理等多个项目；（见附件：应用证明 4）

（5）在云南省“美丽县城”建设的过程中，通过实景三维模型和规划设计模型的结合，已成功应用于“美丽县城”建设的规划、设计、施工、评比等各个环节之中，已成功应用于泸西县、金平县、镇康县等地的“美丽县城”建设工作之中。（见附件：应用证明 5、6）

(6) 以实景三维和开源 GIS 平台为核心，挂接相关扶贫信息数据，可实现安置区域可视化管理，已成功应用于昌都市扶贫安置业务中，提高了扶贫工作的智能化、决策科学化水平。(见附件：应用证明 7)

(7) 利用实景三维模型作为基础场景，通过系统中集成视频、全景影像以及其他传感器设备，利用大屏系统实现现场状况快速响应和管理，已成功应用于建元高速公路全生命周期管理平台、镇康县数字城市等项目中。(见附件：应用证明 8、9)

二、应用前景

本项目的应用，攻克了多项倾斜实景建模关键技术，拓宽了倾斜建模的应用范围，具有较大的行业影响力和先进性。本项目在工程应用上有“实”、“广”、“新”、“深”四大优势：

(1) 项目的应用能够实在的解决工程中遇到的各种问题，提升了工程项目的可靠性和附加值。

(2) 项目的应用易于推广。自主研发的平台均基于开源库，所有代码自主可控。针对于不同的工程业务场景，只需要作部分功能更改就可轻易移植，平台通用性好；平台基于前后端分离开发模式，后端整体基于 MVC (Model View Controller) 设计模式，结合项目业务流程，采用松耦合的开发方式和面向切面的编程来构建三维平台后端程序。平台可扩展性强。

(3) 项目应用场景新。很多实景三维的应用场景为国内首创。比如实景三维模型在“美丽县城”建设的各阶段的应用属于国内首次应用。

(4) 项目研究和应用的程度深入，倾斜三维生产应用技术环节全流

程覆盖，实现了实景三维模型和业务的深度结合。项目跨领域应用于多个工程项目，在多个场景中实现了实景三维模型和传统的工程业务相结合；本项目在数据处理、平台研发、应用方面攻克了多项技术，提供了全流程的倾斜三维数据处理与应用方案。

综上所述，本项目在已有工程案例的成功应用，以及本项目成果应用“实”、“广”、“新”、“深”的四大优势，可以预见本项目具有良好的应用前景。” ”（1）成果应用于地灾防治领域，提高了地灾普查准确性、灾后受损评估精确性，起到了辅助国家的应急保障的作用。

（2）成果应用于农村房地一体，从数据源上保障了农民产权精确、可追溯，避免了产权纠纷；利用三维不动产管理平台可更加方便的进行不动产管理工作，增加了政府的便民服务水平。

（3）在“美丽县城”、数字城市等诸多领域的实际工程应用，为未来智慧城市的建设起到的示范性作用。” ”本项目通过研究倾斜实景建模关键技术与研发三维地理信息平台，提升了三维建模效率，实现了不同类型三维模型的集成应用，并结合工程项目的具体业务极大拓展了实景三维的应用范围和场景。本项目的应用将实景三维模型的生产效率提升了约 20%；借助于自主开发的平台，可以将 3dmax, sketchup 等主流建模软件制作的规划模型与实景三维的融合；通过插件转换实景三维格式，可将实景三维导入到 Civil 3D 等设计软件中，辅助规划设计。

本项目的科技成果在实施后取得了良好的推广应用，在地灾防治领域，完成了红石岩堰塞体裂缝监测等项目、滇中引水小鱼坝进场公路危岩

体排查；在大比例尺测图领域已完成了广州南岗河、河北滦平等多已累计完成约 401.3 平方公里的 1: 500 地形图测绘；实景三维模型以及自主研发的三维地理信息平台亦在五华区、泸西县、镇康县等地的农村“房地一体”、不动产管理、“美丽县城”建设、国土空间规划、数字城市的各类业务上获得了具体应用。本成果应用累计直接经济效益 4509.85 万元，申请发明专利 6 项（2 项已授权、4 项公示）、授权 9 项软件著作权、发表 4 篇论文，具有显著的社会和经济效益。

项目研究内容全面、深入，研究目标明确、方法正确、技术路线清晰。经查新，该研究成果总体达到国内领先水平，成果具有较好的推广和应用前景。