

# Research on 3D Integration Technology and Application of Ground and Underwater Reality

Yigao Liao

The First Surveying and Mapping Institute of Hunan Province, Changsha, Hunan, 410004, China

## Abstract

With the development of unmanned aerial vehicle (UAV) and 3D technology, on-the-ground 3D technology has been greatly developed. However, there is relatively little research on the three-dimensional integrated production process of ground and underwater real scenes. The paper adopts unmanned aerial vehicle oblique photogrammetry technology and close proximity photogrammetry technology for above ground 3D data acquisition, and applies unmanned ships equipped with multi beam depth sounders for underwater terrain 3D data acquisition to construct above ground and underwater 3D models, and fuse them to obtain an integrated 3D scene of above ground and underwater reality. The research results can provide technical assistance for integrated mapping and visualization of surface, water and underwater, which will help promote the construction and application development of real-life 3D China.

## Keywords

tilt photogrammetry; close photogrammetry; underwater LiDAR measurement; mode integration

## 地上水下实景三维一体化技术及应用研究

廖义告

湖南省第一测绘院, 中国·湖南长沙 410004

## 摘要

随着无人机与3D技术的发展,地上实景三维技术得到极大的发展。而针对地上与水下实景三维一体化生产过程的研究相对较少。论文采用无人机倾斜摄影测量技术和贴近摄影测量技术进行地上三维数据采集,应用无人船搭载多波束测深仪进行水下地形三维数据采集,用以构建地上和水下三维模型,并进行融合处理,得到地上水下实景三维一体化场景。其研究成果可为地上水下一体化测绘与可视化提供技术帮助,有助于推进实景三维中国的建设和应用发展。

## 关键词

倾斜摄影测量;贴近摄影测量;水下激光雷达测量;模型一体化

## 1 引言

实景三维作为人类生产、生活和生态空间进行真实、立体、时序化反映和表达的数据空间<sup>[1]</sup>,不仅包含了地上实景三维,也包含了水下实景三维。不过,目前水下实景三维建设比较少,且和地上实景三维相互独立,没有进行有效的融合。为解决该类问题,论文以湖南某水库地上水下实景三维一体化建模工作为例,将倾斜摄影测量技术、贴近摄影测量技术和水下激光雷达测量技术三种技术相结合,阐述从地上水下地形三维数据获取、实景三维一体化构建和模型应用等方面,并对地上水下实景三维一体化技术进行了总结,以期为地上水下实景三维一体化提供高效高精度的手段。

**【作者简介】**廖义告(1992-),男,中国湖南常宁人,本科,助理工程师,从事基础测绘、航空摄影测量、地形测量研究。

## 2 数据获取

### 2.1 地上地形三维数据采集

地上实景三维常用无人机搭载倾斜摄影相机,从空中进行影像采集,获取地面物体完整准确的信息。根据作业范围和地形条件选择合适的无人机和镜头,对于地形落差较大的山区可选用具备仿地飞行的无人机,既可以保证无人机安全,也可以保证精度。地上地形三维数据采集具体步骤:

①像控布设。像控布设原则:均匀分布、足够数量、实地稳定、标志清晰、兼顾高低点、视野开阔。用油漆制作明显标示或者用靶标板作为像控点。像控点的测量主要采用“GPS RTK”的方法,采集时尽量采用三脚架以保证采集精度。

②航线规划。在实地勘察测区地形地貌后,根据收集到的航飞区域内数字高程模型(DEM)所提供高程数据,利用无人机飞行路径规划软件进行航线设计。飞行路径应沿着航飞区域的走向直线进行布置,并在边界外增加一条飞行航线,以确保首尾两条与航飞区域边界线平行的航线上的侧

视相机能够捕获到区域内的有效图像<sup>[2]</sup>。

③倾斜摄影。根据精度要求和天气情况设置好航高、重叠度、速度、相机参数。选择光照适中、无雾霾、空气能见度高的天气，作业时间一般在9点—17点之间。飞行完成后，下载POS数据和影像数据，并对数据进行检查和整理。

④贴近摄影。采用无人机对大坝、房屋、水涯线等容易被遮挡的地物开展贴近摄影测量。保障无人机安全的前提下，在倾斜摄影的航高下均匀地分2~3个高度进行拍摄，同时保证相邻相片重叠度大于60%，确保贴近摄影与倾斜摄影的影像能够一起完成空三加密。

## 2.2 水下地形三维数据采集

为确保精度要求和点云建模要求，水下地形测量采用无人船搭载多波束测深仪来完成。水下地形三维数据采集具体步骤：

①安装调试。将多波束测深仪装置于无人船上，完成无线电通信设备的搭建与调试流程，以保障该设备与陆地工作站之间的信息传递畅通。连接HNCORS和设置软件参数后，在水域测设多条往返重复测线进行横倾、纵倾、定位延迟、电罗经偏差等系统参数改正<sup>[3]</sup>。

②航测线路规划。利用无人船航测线路规划软件，根据实地勘察情况，在综合考虑测区水深、HNCORS信号覆盖情况等测线规划<sup>[4]</sup>。规划的基本原则如下：

基于水深、比例尺和障碍物规划测线。

测线尽量规划在无遮挡区域。

测幅的覆盖宽度要和相邻的测幅拼接或者小部分重叠。

③无人船数据采集。在船控软件中加载规划测线后，保存HOME点位置，随后即可进行正式采集工作。其间，保证GPS信号为固定解。开始记录数据后，使船按照计划线路航行，并根据回波实时调节增益，待测区航线全部扫测结束后，垂直跑测几条航线以确认数据的准确性。检查设计的采集路线是否已完成采集，漏采集的路线应及时补充采集<sup>[4]</sup>。

## 3 实景三维一体化构建

根据获取数据的不同，三维建模方法分为两类：一是基于图像建模与绘制，利用倾斜摄影测量获取目标的图像，在图像的基础上生成三维外观；二是基于获取的地形数据，通过插值和添加纹理等算法形成三维场景<sup>[5]</sup>。

### 3.1 地上三维建模

地上三维建模一般采用的是第一种方式建模，分为三个步骤：

①数据预处理。首先，差分数据解算。对RTK/PPK无人机获取的差分POS观测数据进行融合差分GPS解算，得到5组相机的精确POS，确定测区坐标系，保证坐标系的统一，发挥高精度POS的作用。然后，倾斜影像数据预处理。倾斜影像预处理是对倾斜相机所拍摄的影像进行去雾、像素调整、匀光匀色、影像增强等方面的处理，原始影像数据用于空三运算，处理后的成果数据用于空三运算完成后的三维

模型构建与纹理映射。

②空三加密。将相机参数、影像数据、POS数据进行多视角影像特征密集匹配，并以此进行区域网的自由网平差，完成相对定向；将外业测定的像片控制点成果，在内业环境中进行转换。像控点刺点完成后，完成绝对定向和区域网平差。

③模型构建。在建模软件平台下，设定空间坐标系、建模区域、瓦片设置、处理设定等，根据测区情况，划分作业区，将测区内的不同作业区分优先级，按照优先级由高到低进行作业。利用空三加密后的成果进行密集点云生成、模型重构、自动纹理映射完成批量三维模型场景建模工作，生成地上实景三维（见图1）。



图1 地上实景三维

### 3.2 水下三维建模

水下地形建模一般采用的是第二种方式建模，建模分为5个步骤：

①滤波去噪。首先利用处理软件，对于噪声和明显离群噪声数据进行删除，再利用滤波手段去除多波束点云数据中的近地面噪声数据，最常用的是通过“左右舷角度门限”进行滤波，一般根据波形边缘质量及数据重合度情况进行适当的调整，建议左右均是60°~70°之间，其他滤波项根据需要进行设置。去噪后进行数据校准，通过选取两个测线数据取校准数据，先后进行横摇校准、纵摇校准和竖向校准，最后获得处理好的点云数据。

②数据插补。由于多波束无法测量到吃水以上、水面以下部分的地形，需要利用地上模型生成的点云数据和水下点云数据进行插值。插值方式有三种，分别是不规则三角网法、距离反比权值法、克吕金内插法。一般常用的是不规则三角网法。通过构建TIN，对点云数据中稀疏部分进行插值，获得完整的水下地形点云数据。

③数据精简。多波束测深仪获取点云数据体量太大，需要在精度允许下减少点云数据的数据，提取有效信息，以提高数据的操作运算速度、建模效率以及模型精度。一般分为两步：去除冗余与抽稀简化。

④数据建模。业内使用较多的点云数据建模软件为ContextCapture。将精简后的点云数据导入Context Capture软件后，自动完成模型重建，获得水下地形的三维曲面。

⑤纹理映射。水下点云数据缺乏颜色信息（RGB），模型重建后纹理为黑色，需要进行纹理映射。水下的地形真实纹理难以获取，一般将淤泥特征的纹理映射到三维曲面，即可生成水下地形三维模型。不过一般的内陆河流湖泊由于水深在百米以内，如果只是映射淤泥纹理，立体感不强，需要进行渲染加强立体感，可通过划分高程区间和颜色渐变来进行纹理映射，获得三维可视化增强的水下地形三维模型。

### 3.3 模型一体化

地上水下模型一体化需要将地上三维模型和水下地形三维模型进行接边处理，同时制作水面模型，具体步骤：

①地上三维模型上的水面一般是高低不平，需要用精修软件对水面进行压平、补洞处理。

②将地上三维模型上与水下地形三维模型接边的水面部分进行切割，并将切割后的水面模型单独保存。

③将地上三维模型上与水下地形三维模型叠放在一起，隐藏水面部分模型，然后用精修软件处理好接边位置，有缺失的部分用搭桥工具进行补充，多余部分进行删除，使接边处过渡自然，实现地上水下实景三维一体化（见图2）。

## 4 应用

地上水下三维模型一体化不仅可以清晰展示地上三维场景，还可以良好地展示水下地形场景。主要应用如下：

①可以为水利工程、桥梁隧道工程的规划建设提供精准的数据支撑和可视化服务。

②通过调整水面模型的高程可以模拟不同水位对地面的影响，如洪灾时洪水淹没范围、救援逃生路线规划等。

③可以通过量取积雨面积，分析出不同雨量对河流水库的影响，为洪峰时间预测和泄洪时间判断以及泄洪影响分析提供依据。

④根据泄洪口的高程信息可以直接计算水库实际库容量，同时与总库容对比，可计算出淤泥厚度，为河流水库清

淤工作提供帮助。

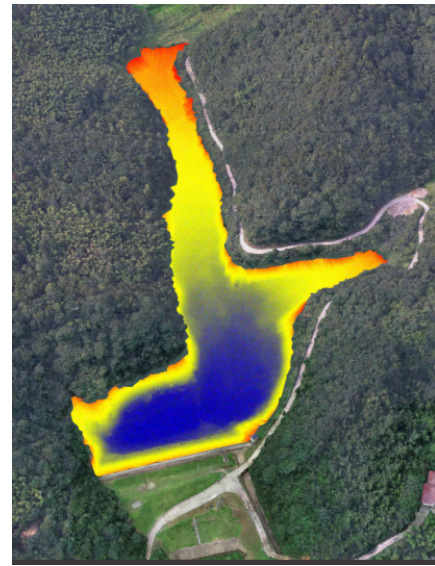


图2 地上水下实景三维一体化

## 5 结语

论文针对地上水下三维数据采集、实景三维一体化进行了分析和探究，获得地上水下三维一体化模型，并对其应用展开分析。通过地上水下实景三维一体化技术研究，实现地上和水下三维模型的融合表达和水陆实景三维立体全覆盖，为实景三维中国建设提出新思路。当然这次建立的地上水下实景三维一体化模型的水下地形相对地物比较简单，后续可以增强水下地形三维可视化，还可以在实景三维场景的动态交互方面进一步发展。

### 参考文献

- [1] 陆芬.转型升级赋能高质量发展——自然资源系统推进测绘地理信息领域改革述评[J].中国测绘,2024(9):34-37.
- [2] 章永斌.倾斜摄影三维建模在农房不动产确权登记中的应用实践[J].浙江国土资源,2020(2):3.
- [3] 朱晓龙.基于多波束测深技术的长江航道测量研究[J].科技创新导报,2013(13):52-53.
- [4] 王彦龙.无人船在决口封堵现场的应用与实践[J].四川水利,2022(Z1):53-57.
- [5] 黄云康.海底三维建模关键技术[J].测绘地理信息,2014,39(6):77-79.