引文格式：刘伦华,周胜洁,夏袁菡子. 基于三维实景模型的水利工程划界确权研究[J]. 地理空间信息, 2023, 21(12): 89-92. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2023.12.021

基于三维实景模型的水利工程划界确权研究

刘伦华[1]，周胜洁[2*]，夏袁菡子[2]
（1. 湖北省引江济汉工程管理局，湖北 武汉 430064；2. 湖北省水利水电规划勘测设计院，湖北 武汉 430064）

摘　要：倾斜摄影测量技术具有高精度、多视角、高效率的特点，生成的三维实景模型可作为水利数字孪生项目的底座。为提高水利工程测绘成果精度，直观地展现工程项目范围内的地形地物，为划界确权工作提供数据支撑，采用倾斜摄影测量技术建立了引江济汉工程三维实景模型，因其高度直观化、高精度、可量测等特点，利用 ArcGIS pro 软件实现了二、三维数据融合，显著提高了勘界效率，在引江济汉工程划界确权项目中发挥了重要作用。由此可以得出结论，三维实景模型融合技术可以运用于水利划界确权工作，为水利项目的建设管理工作提供数据保障。

关键词：倾斜摄影；三维实景模型；划界确权；数据融合
中图分类号：P231　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）12-0089-04

Research on Delimitation and Confirmation of Water Conservancy Project Based on 3D RealSenseModel

LIU Lunhua[1], ZHOU Shengjie[2], XIA Yuanhanzi[2]
(1. The Yin Jiang Ji Han Engineering Management Bureau in Hubei Province, Wuhan 430064, China;
2. Hubei Institute of Water Resources Survey and Design, Wuhan 430064, China)

Abstract: The oblique photogrammetry technology has the characteristics of high accuracy, multiple angles of view and high efficiency. The generated 3D real sense model can be used as the base of digital twin of water conservancy project.To improve the accuracy of surveying and mapping results of the water conservancy project so as to visually display the terrain and features within the scope of project and provide data support for the delimitation and confirmation of the right, we established a 3D real sense model of the Yin Jiang Ji Han project by using the oblique photogrammetry technology. Due to its advantages such as highly intuitive, high-precision,measurable, etc., we used the ArcGIS Pro software to achieve the integration of 2D and 3D data, significantly improving the efficiency of delimitationwhichplayed an important role in the delimitation and right confirmation project of the Yin Jiang Ji Han project. Therefore, the 3D real sense model fusion technology can be applied to the water conservancy delimitation and confirmation work, providing data guarantee for the construction and management of water conservancy project.

Key words: oblique photography, 3D real sense model, delimitation and confirmation, data fusion

近年来，全国水利行业划界确权工作稳步推进。传统方式一般是采用数字线划图作为水利工程划界确权的底图，而随着倾斜摄影测量技术的发展，三维实景模型因其高效高精度、低成本且高度直观化的特点[1-3]，在水利工程划界确权工作中能够发挥极大的作用。

本文以南水北调中线一期引江济汉工程划界确权项目为例，通过构建引江济汉工程全线的三维实景模型，在满足项目位置精度和纹理精度的基础上，借助二维矢量要素与三维模型叠加作为底图[4]，由管理单位确认了引江济汉工程的界桩位置、管理范围线和永久征地线，高效地完成了引江济汉工程的划界确权工作。

1　实际案例分析

1.1　测区基本情况

实验地点位于湖北省引江济汉工程区域。测区面积约 56.7 km^2，呈带状分布，水域面积较多。实验区据项目需求，分为 3 个大区，如图 A、B、C，其中 B 区要求地面分辨率为 2 cm，A、C 区要求地面分辨率为 8 cm。为此，A、C 两区采用成都纵横 CW10 无人机配备的 DP-5-0-2400 相机，其中正射镜头焦距为 20 mm，4 个倾斜镜头焦距为 35 mm，像幅 6 000×

收稿日期：2023-01-02。
项目来源：湖北省水利重点科研项目（HBSLKY202110）。
第一作者简介：刘伦华（1970—），高级工程师，研究方向为水利水电工程，E-mail：281724166@qq.com。
通信作者：周胜洁（1988—），硕士，工程师，研究方向为地理信息研究与应用，E-mail：545125532@qq.com。

4 000，以下简称相机1；B区采用大疆公司M300配备的赛尔102S pro相机，其中正射镜头焦距为25 mm，4个倾斜镜头焦距为35 mm，像幅6 000×4 000，以下简称相机2。测区及相机如图1所示。

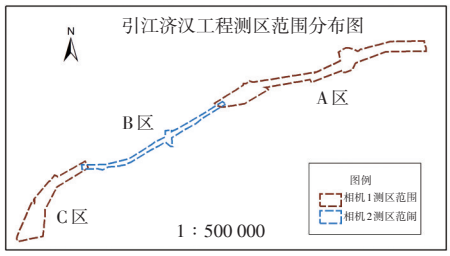


图1 测区及相机示意图

1.2 航空摄影

根据续航时间及测区范围，设计飞行多个架次，不同架次重叠3~4条航线，三区航向重叠度80%，旁向重叠度70%，因分辨率及相机焦距不同，三区航高也有所差别。A、C测区平均相对航高约为300 m，B区平均相对航高约为120 m。最终获得244 069张影像，其中A、C区影像51 056张，B区影像共193 013张。全区共布设256个控制点，分布在带状研究区域的两侧。

1.3 内业数据处理

1.3.1 技术路线

采用倾斜摄影软件对影像数据进行预处理、相对定向、绝对定向、空中三角测量之后，对空三结果进行分析，在满足项目所需精度的前提下，生成整体三维实景模型。模型纹理精度及位置精度经检查通过后，在ArcGISpro中将三维模型转化成.slpk格式，将初始界桩位置、原来的管理范围线及永久占地线转化成ArcGIS支持的数据格式.mdb后，将其叠加在三维模型上。在经由管理单位多方调整确认后，得到最终的界桩位置、管理范围线和永久占地线等划界成果流程图如图2所示。

1.3.2 软件选择

1）模型生成软件的选择。倾斜摄影软件多以国外软件为主，如Context Capture、Pix4D、Photo Scan等。随着国内自主研发摄影测量软件的不断改进，瞰景Smart3D、大势智慧、大疆制图等国产软件在空三效率与质量上已经可与国外软件一较高下[5]。倾斜摄影测量中影像处理的关键技术主要有区域网联合平差、多视影像密集匹配等[6-8]，通过密集匹配得到的真彩色点云，构建三维格网，利用纹理映射技术，把二维空间点的颜色映射到三维物体表面[9]。国内外倾斜摄影空三软件原理大致相同，但由于算法不同，优缺

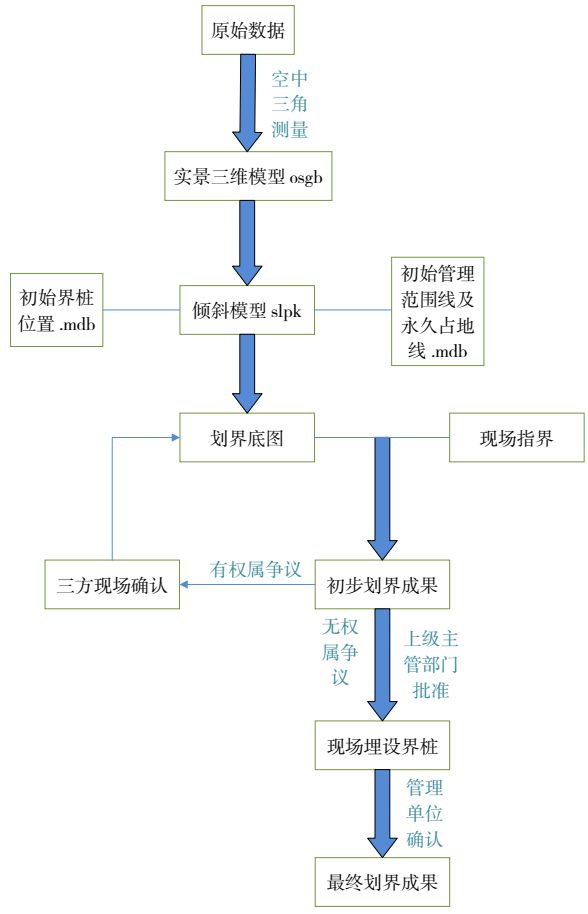


图2 操作流程图

点不一，因此在效率与质量上综合考量后，结合项目数据量、航高差异较大及硬件水平，采用了瞰景Smart3D全自动实景三维建模软件作为空三处理软件，以生成项目区域的三维实景模型。

瞰景Smart3D全自动实景三维建模软件，是一套以数字摄影测量、计算视觉、计算机图形学等技术为核心，开发的一套适用于快速全自动倾斜摄影测量三维实景建模国产软件，其空三算法高效，独有的分布式空中三角测量算法让测量成果更精确、稳健，实现了倾斜实景三维大数据全流程的并行处理，它不仅支持集群运算，多种操作系统(包括Linux)，而且支持单机多开充分利用计算机资源，具有更高的处理效率，节省大量建模时间，在对较大数据量的倾斜摄影空三建模中具有显著的优势。

2）二三维数据融合显示软件的选择。目前市面上主流的GIS软件，如超图、天际航、Skyline、ArcGISpro、图新地球、大势智慧等，都支持二三维数据的融合显示，可在实景三维模型上叠加显示二维数据，但每个软件支持的三维模型格式不同，侧重点不一，显示效率及支持的数据量也有差别。在综合考量后，选择了ArcGISpro作为引江济汉划界确权项目的

二三维数据融合显示平台。

ArcGISpro作为ESRI公司面向新时代的GIS产品，在继承原有的Arcmap强大的数据管理、制图、空间分析等能力的基础上，独有的二三维融合、大数据、超强制图等功能都极为强大。划界确权工作的重要内容是确定界桩位置、管理范围线和永久占地线是否符合现实情况，因此，ArcGISpro二三维一体化的数据可视化、管理、分析和发布等功能，能够在项目中发挥重要作用。

1.3.3　模型成果精度检查

通过瞰景Smart3D软件对项目数据进行处理生成三维模型后，可以从纹理和位置精度2个方面对模型精度进行检查[10]。从图3中可以看出，在三维模型浏览软件中参照航拍角度固定浏览视角，同时拉伸到与实际分辨率相符的高度去查看模型，模型整体较完整，地理要素的类型齐全，而且要素之间无缝衔接，看不出明显的变形、拉花，模型的部位结构（如楼层、墙角、外部门窗）的相对位置关系正确，管线、道路的直线特征明显，可判定模型纹理质量合格。



图3　拾桥河闸站模型俯瞰图

三维模型作为测绘产品，平面及高程精度需要满足相应的规程规范。整体的三维实景模型生成后，采用天际航实景三维测图系统DP-Mapper软件进行控制点精度检查。像控点X、Y、Z（高程）位于误差区间[-0.05，0.05]的占比分别为85.21%、97.04%、90.53%（参见图4），像控点X、Y、Z中误差分别为0.036 m、0.034 m、0.020 m，本项目空三精度满足项目需求。

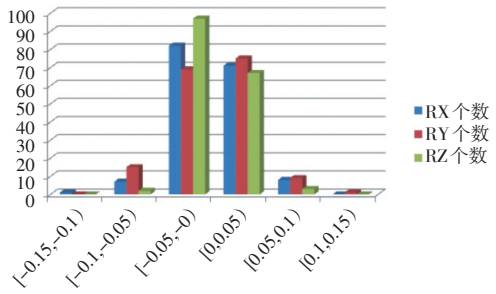


图4　控制点误差直方图

采用HBCORS方法对三维实景模型的特征点（里程碑）进行检核，共131点，特征点X、Y、Z（高程）中误差分别为0.060 m、0.085 m、0.174 m。三维实景模型数学精度符合1∶1 000比例尺精度要求。

1.4　二、三维数据融合

借助二维矢量要素与三维模型叠加，通过二维矢量要素间接将模型进行逻辑和视觉切割，同时在二维矢量要素中可挂接属性信息，满足在三维模型中基本的GIS查询、分析等功能。

1.4.1　数据格式转换

划界确权工作是在原有资料的基础上，确认原有界桩位置，增补损毁的旧界桩，在原有管理范围线和永久占地红线的基础上，根据项目区域内实际情况，进行调整的过程。实验区域获得的原始界桩位置及范围线格式都为dwg，而获得的三维模型数据格式为osgb格式。为了实现二三维数据的融合显示，需要对原有数据进行格式转换。

ArcGIS pro中可以在加载dwg数据后，直接导出.mdb数据，经过数据整理后可以得到带有界桩编号等属性数据的界桩位置层。三维模型的转换，可利用ArcGIS pro中创建集成网格场景图层包工具，将osgb格式转换成为.slpk格式

1.4.2　二三维数据融合显示

格式转换完成后，在ArcGIS pro中创建一个场景工程，即可同时加载原有界桩位置数据，管理范围线和永久占地红线，为方便划界工作，同时将公里碑位置数据加载到场景中。

1.5　三维模型在划界确权工作中的优势

划界确权工作的主要过程是：作业单位在管理单位协助下，整理原有界桩及管理范围，经过现场查勘确定原有界桩损毁情况，并确定是否需要增补。确认初始的界桩位置及管理范围线后，由管理单位指定界桩具体位置，并提交自然资源局进行审批，如果发现冲突部分，由邻宗权属人与管理单位协商确定最终界限。然后由作业单位绘制出界桩位置和管理范围线图，由管理单位进行最终成果的确认，并在之后埋设界桩，最终提交界桩位置及管理范围线等作业成果。

1.5.1　高度直观化

传统的划界确权工作过程中，管理人员和作业人员主要依据数字线划图进行沟通，确认界桩位置及管理范围线。管理单位对数字线划图的认知水平不高，因此对于管理单位而言，三维实景模型的直观性远超数字线划图，可以有效减少作业单位与管理单位的沟

通成本，提高确权工作效率。

图5为引江济汉闸口位置的地形图及三维模型划界对比，可以看出，在可视化方面，三维模型具有二维地图无法比拟的高度直观化和具体化，能够让管理单位人员在缺乏专业测绘知识的情况下，通过三维模型上的标志性地形地貌，迅速确认及检查划界成果。如图5所示为引江济汉工程中一处重点闸站，使用数字线划图划界及三维模型划界的对比图。

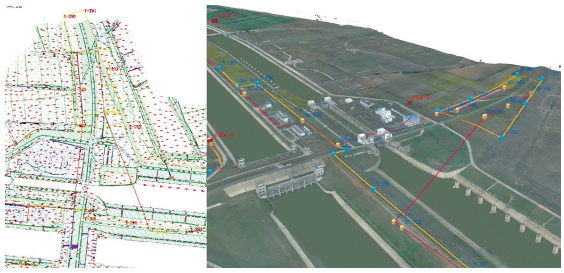


图5 线划图划界与模型划界对比图

1.5.2 低成本高精度高效率

随着测绘技术的发展，无人机技术和计算机集群的应用，大幅减少了三维模型生产的人力成本，集群生产模型的效率远超人力绘制线划图。同时，三维模型的位置及纹理精度也可以得到保障。在划界确权工作中，初期埋桩阶段和后期检查确认成果阶段，三维模型可以有效替代外业现场指界这一工序，减少时间成本和人力成本。本文以引江济汉工程为例，从现场指界、确认成果两方面，对比传统划界确权方式与三维模型划界确权方式的效率，如表1所示。

表1 传统划界确权与三维模型划界确权效率对比

范围	传统数字线划图划界确权	三维实景模型划界确权
指定界桩位置	16	3
管理单位确认界桩及范围线	15	5

从表1中可以看出，利用三维模型进行划界确权，可以在减少人力投入的基础上，提高效率。指定界桩位置效率与传统划界方法相比，提高了4.33倍；管理单位确认界桩及范围线效率与传统划界方法相比，提高了2倍，提升效果极为显著。

1.5.3 及时量测随时调整

在划界确权工作中，确定划界确权最终成果时，管理单位可以在三维模型上随时量测任意2点间的距离面积，确认管理范围线与标志地物之间的距离关系，可以随时调整并最终确认管理线及永久占地线的准确位置，提高划界确权工作的效率及成果质量。

由于三维模型数据的特性，植被覆盖及地物遮挡区域仍然需要现场指界，且由于三维模型所需的存储空间远大于数字线划图，利用三维模型进行划界确权工作，对管理单位的计算机硬件配置具有较高要求，增加了管理及存储成本，在后期对三维实景模型的应用中，对管理单位人员的专业水平也有一定要求，增加了一定的人力成本。

2 结论及展望

三维实景模型在水利划界确权工作还不能完全取代现场指界，对于管理单位的计算机硬件配置也有一定的要求，但是对比数字线划图为底图进行水利划界确权的传统方法，构建工程区域的三维实景模型进行确权工作，可以在大部分场景中替代现场确认指界，减少划界过程中的人力成本及时间成本，显著提高划界确权工作的效率和质量，同时为将来数字孪生水利工程的开展提供宝贵的经验和数据基础。

总体来看，三维实景模型在水利工程的划界确权工作中得到了成功的应用。下一步研究可以将水利工程更多维度的数据，叠加到三维实景模型上，为水利工程的管理建设提供更好的数据支撑。

参考文献

[1] 张荣斌. 倾斜摄影测量在水利工程中的应用与展望[J]. 陕西水利,2021(11):210-211

[2] 周胜洁,邸国辉,李秉乾,等. 倾斜摄影测量的像控布点研究[J]. 测绘与空间地理信息,2021,43(11):23-26

[3] 乐黎明,覃雪梅,王祥,等. 实景三维模型的建设技术与应用[J]. 地理空间信息,2022,20(11):96-99

[4] 梁鹏飞. 农村地籍与房屋三维实景管理分析系统研建[J]. 地理空间信息,2020,18(5):80-82

[5] 张中月,吴长悦. 基于多源融合数据处理的航测软件对比分析[J]. 农业与技术,2022,42(12):50-54

[6] 谭金石,黄正忠. 基于倾斜摄影测量技术的实景三维建模及精度评估[J]. 现代测绘,2015,38(5):21-24

[7] 田野,向宇,高峰,等. 利用Pictometry倾斜摄影技术进行全自动快速三维实景城市生产:以常州市三维实景城市生产为例[J]. 测绘通报,2013(2):59-62

[8] 饶小康,黄声享,马瑞. 智能测绘在水利数字孪生中的应用研究[J]. 测绘通报,2022(增刊):297-302

[9] 范冲,王学. 三维城市建筑物的纹理映射综述[J]. 测绘与空间地理信息,2014,37(7):1-4

[10] 曹晋奎. 多源数据融合的三维实景建模与可视化技术研究及应用[D]. 西安:西安工业大学,2019