

Research on the Application of Real-Scene 3D in Hydrological and Topographic Surveying: A Case Study of Gaoyao Hydrological Station

Jintiao Lin

Zhaoqing Hydrological Branch of Guangdong Provincial Hydrology Bureau, Zhaoqing, Guangdong, 526060, China

Abstract

This paper takes the topographic measurement of Xijiang Gaoyao Hydrological Station as an example. Through the application of new measurement equipment and data post-processing platforms on land and underwater as a starting point, it explores the innovative application of real-life three-dimensional technology in hydrotopography measurement, analyzes the high-precision three-dimensional modeling of water bodies and surrounding terrain through drone tilt photography, lidar, multi-beam underwater topography measurement and other technologies, and explores the technical advantages of real-life three-dimensional in improving data accuracy, timeliness, visual analysis and dynamic monitoring.

Keywords

Real-scene 3D; Hydrological and topographic surveying; Oblique photography; Terrain modeling

实景三维在水文地形测量中的应用研究——以高要水文站为例

林进条

广东省水文局肇庆水文分局, 中国·广东 肇庆 526060

摘要

本文以国家重要水文站——西江高要水文站的地形测量为例, 通过陆上水下分别应用新型测量设备及数据后处理平台等为抓手, 探讨实景三维技术在水文地形测量中的创新应用, 分析其通过无人机倾斜摄影、激光雷达、多波束水下地形测量等技术实现水体及周边地形的高精度三维建模, 探讨实景三维在提升数据精准度、时效性、可视化分析及动态监测中的技术优势, 为水文地形测量方法探索新模式, 为类似测量项目提供更高精度、更便捷、更直观显示的借鉴案例, 凸显新质生产力在水利行业特别是数字孪生场景的强大支撑能力。

关键词

实景三维; 水文地形测量; 倾斜摄影; 地形建模

1 引言

实景三维是实体化、三维化、语义化、结构化、全空间和人机兼容理解的现实世界的数字孪生, 通过在三维地理场景上承载结构化、语义化、人机兼容理解和物联实时感知的地理实体进行构建, 其前提任务和最核心的内容是地理实体的生产和建设^{[1][2]}。实景三维是新型基础测绘标准化产品, 是国家新型基础设施建设的重要组成部分, 为经济社会发展和各部门信息化提供统一的空间基底^{[3][4]}。

开展重点河段河道地形测量, 及时更新重要水文站大

断面、重点河段河道地形信息, 根据河道冲淤和河势变化情况, 可以进一步动态更新水位流量关系, 优化完善水文水动力学模型和参数, 为提高洪水预报调度精度和延迟预见期提供算据支撑, 提升“四预”(预报、预警、预演、预案)支撑的能力和水平^[5]。

河段地形测量分为岸上和水下两个部分。传统的测量方法如岸上使用全站仪、单点GNSS, 水下使用单波束数字测深仪等, 存在效率低、覆盖范围有限等问题。本文以西江中下游国家重要水文站——高要水文站为例, 通过无人机倾斜摄影+激光雷达+多波束水下地形测量系统等技术实现水陆高精度三维建模来进行水文重点河段地形测量, 提高测量效率和测量精度^[5]。

【作者简介】林进条(1976-), 男, 中国广东省阳江人, 本科, 高级工程师, 从事水文测验、水文水资源分析及站网规划等研究。

2 倾斜摄影

倾斜摄影是近年来航测领域逐渐发展起来的新技术，相对于传统航测采集的垂直摄影数据，通过无人机新增多个不同角度镜头，获取具有一定倾斜角度的倾斜影像。

以西江中下游国家重要水文站—高要水文站监测河段范围为例，结合水文站实际地形要求，本次采用激光点云数据和数字正射影像数据同步进行的作业方式进行数据采集^{[7][8][9][10]}。

内业利用前期航飞数据进行空中三角测量，利用空三加密成果创建立体模型，进行全要素立体测图。内业软件中对立测数据进行分层、分要素的数据整合、图面相互关系处理，制图编辑以得到 DLG 制图数据 (*.DWG)。利用 DLG 制图数据中提取相关的三维地形矢量数据，构 TIN 并分幅裁切制作 DEM 数据。利用 DEM 和原始单片和空三成果数据纠正单片，通过镶嵌裁切得到最终 DOM 数据。

3 多波束水下地形测量

多波束水下地形测量系统集成现代空间测控技术、声呐技术、计算机技术、信息处理技术，是一种具有高效率、高精度和高分辨率的面状水下地形测量新技术，其基本原理是利用声波的反射时间来计算测点水深的。多波束换能器以较大的扇区开角向水下发射声波，同时通过多阵列单元接收几十束或上百束声波。每发出一组声波，可在垂直于航线上得到一组水深数据。当测船连续航行时，便可得到一个宽带的带状水下地形资料。

多波束发射和接收的声呐是呈扇形的，犹如手电筒光照在水底，其最显著的特点是条带覆盖测量，在河床中间可以扫描河床水下地形宽度 $W = 2 \times H \times \text{tg}(a/2)$ ，扫描宽度 W 取决于最边缘波束对应的实际水深 H 和最边缘波束所张成的角度 a 。这样水深越大，扫描宽度越宽，工作效率就快。

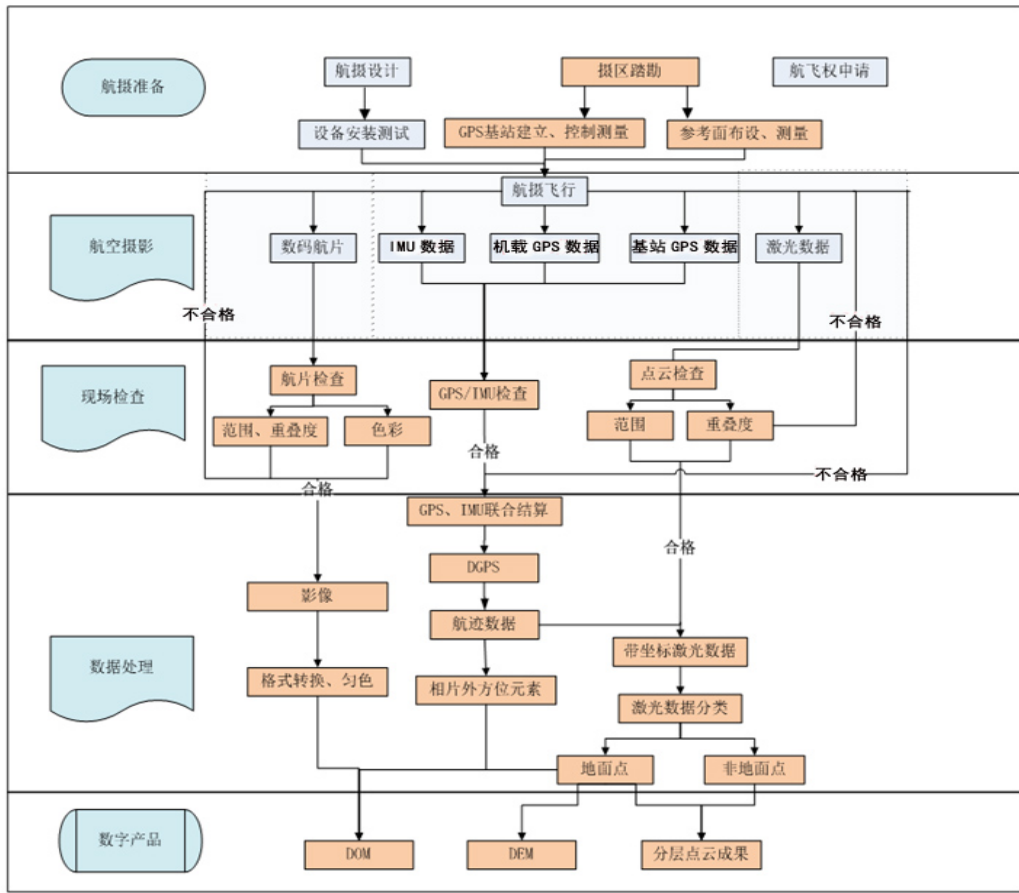


图 1 无人机载激光雷达作业流程

表 1 多波束与传统测深仪的不同点

	多波束测量系统	单波束测深仪
采集模式	全覆盖	测线间没有数据
影响因素	测量时同步记录船体姿态信息，并进行校正，使影响减到最低	无相应校正设备
软件成图	后处理软件功能强大，可以生成等值线图、彩色三维图、三维动画	断面测量，网格内插
实时直观	实时监测、直观明了，便于指挥决策	很难建立 DTM，不能直观展示河床地貌

3.1 多波束参数校正

在受到风浪影响时，多波束测船会在 XYZ 三维空间三个方向摆动。多波束测量前最重要的工作是三参数校正。由于转角度安装时，多波束探头有 10° ~ 30° 的偏转，这就导致换能器与真实水平面存在夹角，把换能器与船只水平面纵向的夹角称为纵摇偏差 (pitch)，换能器与船只水平面垂直方向的夹角为横摇偏差 (roll) [11]。

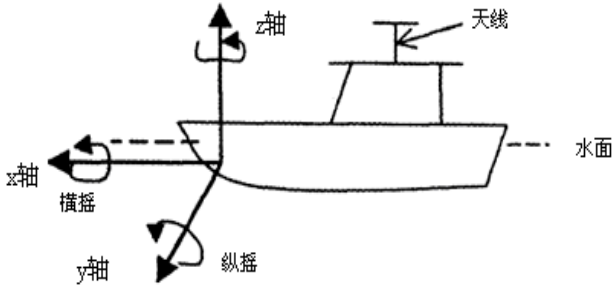


图2 多波束三参数示意图

在实际测量中，由于船只的运动会导致换能器与水平面也产生一个夹角，所以对应某一时刻 t，换能器的横摇角 roll (t)、纵摇角 pitch (t)、艏向 yaw (t) 都由两部分组成：

$$\text{roll}(t) = \text{roll}(\text{静}) + \Delta \text{roll}(\text{动})$$

$$\text{pitch}(t) = \text{pitch}(\text{静}) + \Delta \text{pitch}(\text{动})$$

$$\text{yaw}(t) = \text{yaw}(\text{静}) + \Delta \text{yaw}(\text{动})$$

即 roll (t)、pitch (t)、yaw (t) 都包含一个动态分量和一个静态分量。动态分量是由于风、涌、波浪等因素造

成的，可以通过光纤罗经予以校正；静态分量是由于设备安装造成的，即平时所说的横摇偏角、纵摇偏角和艏向偏角，这里校正的就是安装时的角度偏差。

3.2 数据采集及后处理

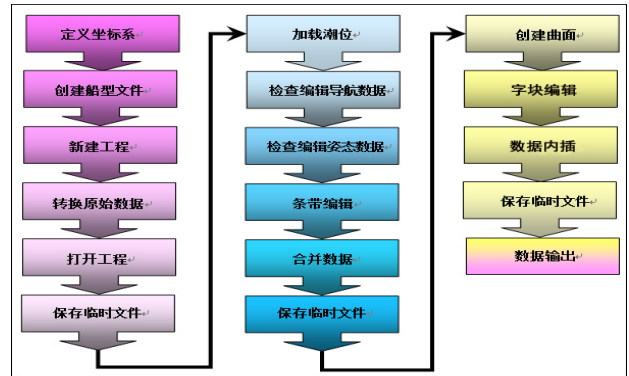


图3 多波束数据后处理流程图

3.3 效率提升评价

多波束水下地形测量系统将水下地形测量的设备集成在一起，由高性能的计算机控制，自动化程度高。平面定位应用先进的全球定位系统，接收卫星信息，具有全天候、精度高的特点。所有的设备整合在水文测船上，机动性强。多波束系统从外业到内业全过程真正实现了自动化、智能化和数字化，由下表的有关测量数据可以看出，与传统的险段监测测量相比，多波束系统的效率非常高，尤其是水深较大的大面积水下地形测量，优势更为明显。下表为多波束实地测量案例效率分析情况 [12]。

表2 多波束实地测量案例效率统计表

测区	面积 (km ²)	平均水深 (m)	收集到的数据量	用时 (h)
横门水道 (17 ~ 18 涌)	1.0	9~10	182M/584 万组	2.5
蕉门水道 (6 ~ 8 涌)	1.5	8~9	179M/575 万组	2.5
蕉门水道 (11 ~ 13 涌)	1.4	8~9	154M/495 万组	2.5
狮子洋下游	0.7	5~6	183M/588 万组	2.5
狮子洋中游	1.1	5~6	189M/607 万组	3.0
狮子洋上游	1.9	7~8	132M/424 万组	2.5
虎门大桥上游	1.1	9~10	115M/369 万组	2.0
西江羚羊峡	4.5	30~70	21.7M/70 万组	2.0

4 数据融合及成果展示

4.1 建立 DEM

数字高程模型 (Digital Elevation Model)，简称 DEM，是通过有限的地形高程数据实现对地面地形的数字化模拟 (即地形表面形态的数字化表达)。一般认为，数字地形模型是描述包括高程在内的各种地貌因子，如坡度、坡向、坡度变化率等因子在内的线性和非线性组合的空间分布，其中 DEM 是零阶单纯的单项数字地貌模型，其他如坡度、坡向及坡度变化率等地貌特性可在 DEM 的基础上派生。

水下地形图是表示河道水下地形的高低起伏，高程和

等深线是描述河床的深浅，地貌图是表示河床表面地物材质结构，通常说的沙、石、泥这些地貌要素，通常是以图像表示的。目前地形图可以有多种方式实现三维空间，直观显示

地形地貌数据是直接表达河床特征的关键，可以把两者叠加在一起，能生动地表现河床的地形地貌特征，既可以表达河床的深浅，还能表达深浅处的地物高低大小。

地形地貌图叠加法把水下地形数据与地貌图像叠加，利用地形图的高程和对应地貌图的地物，即在三维地形上覆盖一层地貌，在 GIS 平台里建立模型，实现地貌三维可视化。

4.2 DOM 制作

数字正射影像图 (Digital Orthophoto Map, DOM) 是以航摄像片或遥感影像 (单色 / 彩色) 为基础, 经扫描处理并经逐像元进行辐射改正、微分纠正和镶嵌, 按地形图范围裁剪成的影像数据, 可以从中提取和派生新的信息, 实现地图的修测更新。

4.3 DLG 制作

数字线划地图 (Digital Line Graphic, DLG) 是对经过扫描, 几何纠正后的每幅图中, 将其中一种或多种地图要素进行矢量化而形成的一种矢量化数据文件。数字线划地图的数据按图幅进行组织, 每幅数字线划地图由 3 类数据文件组成, 即元数据文件、属性数据文件和坐标数据文件。

利用正射影像图 (DOM) 结合地面点模型 (DEM), 绘制地物要素: 管线、水系、房子、道路、坎、地类界等地形图 (DLG) 的制作, 包括数据导入、平面图绘制、等高线绘制、文字标记、图像编辑、饰图廓整等^[13]。

4.4 实景三维展示

将数字正射影像图跟水下多波束三维图融合在一起, 可以直观展示整个河段陆上水下的实景三维地形图, 根据实际需要可以进行放大、缩小、旋转等操作, 还可以制作成实景动画, 满足不同应用场景需求。

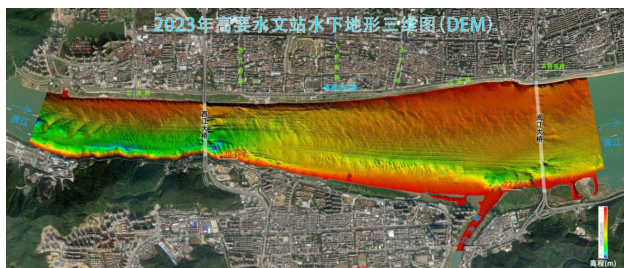


图4 高要水文站实景三维图

5 结语

倾斜摄影以多角度、大范围、高精度、高清晰的方式全面感知复杂场景, 可以高效获取地物正射影像, 快速实现基于倾斜摄影技术的三维模型建立^[14]。

集空、天、地的数据为一体的三维实景模型, 能提供有关智慧水利、应急指挥等全方位、多维度动态、跨网络、

跨行业、跨终端的地理信息解决方案和服务, 多源数据融合大大降低了水文河道三维模型构建成本, 提升了构建水文数字孪生的效率, 在叠加水文数据后可以在淹没分析、流速模拟、洪水演进模拟与风险评估等应用场景大有作为, 助力水利工程规划、灾害预警从“经验驱动”向“数据驱动”转型, 亦是将来数字孪生发展的趋势。

参考文献

- [1] 林丹, 张济善. 三维实景服务与WebGIS应用系统快速集成研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2018(11): 43-45.
- [2] 张兆省, 马山玉, 皇甫英杰, 历从实, 皇甫泽华, 张玉明. 基于三维实景模型的水库无线视频监控系统设计与应用[J]. 水力发电学报, 2018(9): 2-7.
- [3] 倪自强. 无人机倾斜摄影测量在城市三维建模中的应用[J]. 智能建筑与智慧城市, 2017(9): 57-58.
- [4] 金逸宸, 张正晓, 潘豪蒙, 吴金相, 徐炯. 基于三维实景大数据的架空输电线路无人机高精度廊道巡检线关键技术研究[J]. 通信电源技术, 2018(12): 38-39.
- [5] 肇庆水文分局《2023年国家基本水文站河道地形测量工程技术总结》.
- [6] 沈照庆, 李健, 鲁武当, 温振国. 基于UAV航拍影像的三维实景建模及其应用[J]. 市政技术, 2019(1): 26-28.
- [7] 国家测绘地理信息局.《数字表面模型机载激光雷达测量技术规程》(CH/T3014—2015).
- [8] 国家测绘地理信息局.《地面三维激光扫描作业技术规程》(CH/Z 3017-2015).
- [9] 国家测绘地理信息局.《数字航空摄影测量测图规范》(CH/T 3007-2011).
- [10] 国家测绘局.《基础地理信息数字成果》(CH/T 9008-2010).
- [11] 佛山水文分局《河道数字化关键技术研究及应用技术研究总结报告》, 2025-01.
- [12] 广东省水文局《多波束水下地形测量系统在我省堤围险段监测的应用技术报告》, 2006-7.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会.《全球定位系统(GPS)测量规范》(GB/T 18314-2009).
- [14] 范香香. 基于Web3D的倾斜三维实景模型漫游系统实现[J]. 城市勘测, 2018(4): 104-107.