

无人机倾斜摄影在制造业信息化建设中的应用

孙 华, 徐央杰, 李 丹, 郑浩达, 赵珏晶, 张裕洲
(宝略科技(浙江)有限公司, 浙江 宁波 315000)

摘要: 制造业是国民经济的重要支柱, 对正处于工业化关键阶段的国家和地区来说至关重要, 是核心竞争力的汇聚点。制造业信息化建设是一种科学的决策工具, 是政府制定经济计划、预测计划实施、指导计划实施的重要依据之一。本文利用飞马无人机设备对宁波市鄞州区1180家制造业企业进行了倾斜摄影获取企业用地面积, 同时结合企业经营大数据, 对制造业企业产值的变化趋势进行了时空分析。先进的无人机倾斜摄影技术结合互联网大数据, 能够洞察经济动态变化规律, 从而提高政府制定经济计划和预测计划实施的能力。

关键词: 飞马无人机; 大数据; 制造业; 信息化

Application of the UAV oblique photography in the informatization construction of manufacturing industry

SUN Hua, XU Yangjie, Li Dan, ZHENG Haoda, ZHAO Yujing, ZHANG Yuzhou
(Popsmart Technology (Zhejiang) Co., Ltd, Ningbo 315000, China)

Abstract: Manufacturing industry is an important pillar of the national economy, which is crucial to countries and regions in the critical stage of industrialization and is the convergence point of core competitiveness. Manufacturing informatization construction is a scientific decision-making tool, which is one of the important bases for the government to formulate economic plans, predict the implementation of plans, and guide the implementation of plans. This paper uses the Feima UAV equipment to take oblique photography of 1180 manufacturing enterprises in Yinzhou District, Ningbo City to obtain the enterprise land area. At the same time, combining with the big data of enterprise operation, the paper analyzes the change trend of manufacturing enterprise output value in time and space. The advanced UAV oblique photography technology combined with internet big data can provide insight into the laws of economic dynamics over time, thus improving the government's ability to formulate economic plans and predict the implementation of plans.

Key words: Feima uav; Big data; Manufacturing industry; Informatization

1 引言

1.1 无人机倾斜摄影技术概述

倾斜摄影技术是国际测绘遥感领域近年发展起来的一项高新技术, 通过在同一飞行平台上搭载多台传感器, 同时从垂直、倾斜等不同角度采集影

像, 获取地面物体更为完整准确的信息。它不仅能够反映地物的真实情况, 获取物方纹理的精确信息, 还可通过先进的定位、融合、建模等技术, 生成真实的三维模型。倾斜摄影测量技术以大范围、高精度、高清晰度的方式全面感知复杂场景, 系统具备高性能的协同并行处理能力, 倾斜摄影三维数据可为水利、智慧城市、规划、国土、测绘等多种

行业提供二三维一体化的数据来源。

倾斜摄影是摄影机主光轴明显偏离铅垂线或水平方向并按一定倾斜角进行的摄影。倾斜摄影装置是一种机载装置，其特征包括多台高空间分辨率面阵数码相机，以一定角度安装在航空摄影稳定平台上。该高空间分辨率面阵数码相机摄影装置包括下视相机、前视相机、后视相机、左视相机、右视相机。下视相机为垂直摄影，用于制作数字高程模型（DEM）和数字正射影像（DOM）。前视相机、后视相机、左视相机和右视相机都为倾斜摄影，用于获取地物侧面纹理影像，倾斜角度在15-45°之间。相机之间通过时间同步装置进行成像时间精确对准，由姿态测量装置提供影像姿态和位置参数。倾斜摄影装置具有计算机控制系统和数据存储装置，负责对以上部件进行数据采集控制，发送同源触发信号启动该多台面阵相机，实现同步数据采集以及存储维护。通过相应的倾斜影像数据处理软件，对采集到的倾斜影像进行预处理，包括调色、纠偏、校正、镶嵌、融合等系列处理，形成符合应用需求的倾斜影像数据产品。

倾斜影像具有以下特点：（1）反映灾害体周边真实情况。相对于正射影像，倾斜影像能提供多角度观察地物，更加真实的反映灾害体的实际情况，极大的弥补了基于正射影像应用的不足。

（2）倾斜影像可实现单张影像量测。在影像成果的基础上，通过应用影像处理软件，可直接进行高度、长度、面积、角度、坡度、剖面等的量测以及堆积体体积的计算，扩展了倾斜摄影技术在行业中的应用。（3）数据量小易于网络发布。相较于三维GIS技术应用庞大的三维数据，应用倾斜摄影技术获取的影像的数据量大大减小，其影像的数据格式可采用成熟的技术快速进行网络发布，实现共享应用。

1.2 经济大数据概述

自互联网时代以来，大数据作为预测经济活动的一种新的数据来源受到了人们的关注。经济大数据在制造业的应用成为我国制造业转型升级的战略性课题^[1]，由生产要素转换导致的产业结构演进是影响区域经济增长的重要因素^[2]。关于制造业发展和其相关联影响因素的研究已经有所发展。Zhou等人研究了先进制造业的投资金额和制造业基础设施的投资情况，结果表明，这两种投资的交互作用对企业的利润增长和发展具有正向作用^[3]。程斌研究了义乌先进制造业与人力资源、技术创新

等关系，研究发现，先进制造业的产业结构及发展状况与上述因素呈现正相关关系^[4]。时空分析的进步使政府能够洞察经济动态模式、空间集群和随时间变化的趋势。然而，目前关于利用网络新闻预测中国经济模式的知识有限，特别是考虑到时空动态。

2 项目概况及技术路线

2.1 项目概况

根据实际调研结果，目前鄞州区各行业主管单位均存在对空间基础现状数据掌握不全的情况。通过本项目建设，可以弥补企业空间位置信息、所属地块信息、厂房分布信息等缺失数据，将产业布局规划和企业入园等工作与国土空间规划进行有效衔接，实现区域统筹管理以及对闲置、低效用地等进行精细化管理，促进土地资源要素有序流动、优化布局，盘活二次招商，提升土地经济集约利用水平。另一层面，反向促使全区实景三维地图建设，提供数字孪生的基础数据支撑。本项目实施效果为：

（1）监测分析全区制造业经济运行态势。能够提出并实施制造业经济运行调控目标，辅助开展制造业经济发展指标考核，根据各项指标遴选制造业重点企业。

（2）产业态势分析。辅助开展制造业发展规划编制与实施，分析产业结构合理性，针对传统产业，辅助开展产能排名、厂房改造等工作，针对新兴产业，辅助监测分析工作。

（3）土地治理辅助决策。通过空间化企业、土地等相关生产要素，推进制造业社区、小微园区、特色产业区和一般制造业集聚区改造与建设。

2.2 数据获取方法

2.2.1 无人机倾斜摄影

本次作业采用无人机航空摄影的方法获取影像资料，根据测区情况规划设计航线，实地踏勘测区，选取适宜起降场地进行无人机视频拍摄及航空摄影。航摄作业完成后，进行空三加密、DOM、DSM、DEM、图像制作，按空三布网区域分块提取线、断面线、高程等值线，通过对这些测绘资料生产实景三维模型、信息化平台建设及应用工作，作业技术流程如图1所示。

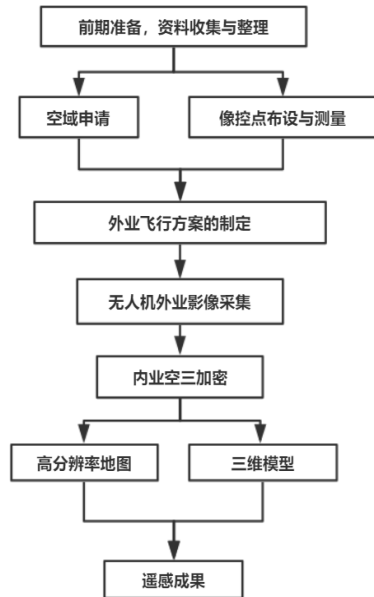


图1 作业技术流程图

2.2.2 经济大数据获取

企业经营大数据来自鄞州经济统计平台，包括研究中的鄞州1180家制造业企业。本文使用此数据集是因为制造业企业年产值占本研究区域（鄞州区）的国民生产总值比例很高（超过80%），入选企业按行业划分，包括高水平装备、关键基础零部件、汽车、时尚服装、新材料、智能家电、新服务等。企业经营大数据类型包括制造业企业的等价综合能耗、员工人数、科研投入、全员劳动生产率和企业研发支出占产值比例。

3 倾斜摄影三维实景建模实施

3.1 航空摄影实施

3.1.1 飞行保障

为保障项目顺利实施，本项目配备4个飞行组，拟投入2架固定翼无人机和2架多旋翼无人机，并配备与无人机数量相对应的多视角相机系统。为飞行组配备了航飞负责人1名、飞行员8名，飞行员均具备中国AOPA民用无人机驾驶员合格证，并为飞行组配备相应的维护、管理人员，保证项目的顺利实施。

3.1.2 倾斜摄影数据采集

3.1.2.1 硬件组成

考虑到作业区域实际情况，本项目采用飞马无人机V10 1架、V100 1架、D2000 1架、D200 1

架，同时搭载了飞马倾斜摄影测量模块D-OP300 2套、D-OP400 1套、D-OP3000 1套，部分实物如图2所示。



图2 (a)飞马无人机V100



图2 (b)飞马无人机D2000

3.1.2.2 作业流程

(1) 无人机倾斜摄影

统一按优于地面分辨率3cm的要求，一次性获取全部工作区域现势数据，优于招标要求，并且保证数据整体性好、现势性高。

本测区整体作为多个摄影区，对航摄区域内地形地物最大高差大于1/2相对航高时，采用旋翼航摄系统在按照最大高差的2倍进行加密航摄。

飞行时，曝光点依地形起伏、建筑物高低采用DEM或DSM设计；水域摄影时应尽可能避免垂直影像像主点落水；建筑物低矮、稀疏区域按大部分建筑物分布、朝向以及地形敷设；建筑物高大、密集区域可交叉敷设或加大航向旁向重叠度。若有补飞需求，则按实际补飞范围确定航线方向。摄影航线需超出摄区范围线不少于4条基线，旁向超出4条基线间距。

研究机载GNSS导航数据与RTK/PPK融合差分数据解算后的精度差异。每次执行飞行前，预先架设地面基站，通过地面基站、无人机流动站对GPS卫星进行同步观测，并记录相对位置信息，形成三者位置的线性关系，引入基准站的已知坐标，即可联立求解流动站的精准地理坐标。数据规格为每飞行一个架次，即可获取无人机机载数据*.rt27、地面基站*.GNS数据和轨迹文件*.gsof，用于精准POS的后差分解算。在数据准确性方面，*.rt27与*.GNS的时间节点应为相交关系，且rt27

的起始时间应早于*.GNS的起始时间。无人机也会记录GNSS导航数据，航摄原始影像对应的POS参数及相机参数。

(2) 像控点布设及测量

根据不同分辨率及成果数据不同数学精度的研究，我们利用GNSS辅助航摄、IMU/GNSS辅助航摄区域像控点布设有利于平面、高程精度控制，选用已有的一级GPS控制点作为检测点。流动站应使用三脚对中杆，每测回观测历元数应大于20，PDOP值小于4（PDOP值介于4和6之间的时候尽量避免观测），高度角15°以上的卫星数不少于6个。应正确设置仪器高类型和量取位置，检查接收机网络参数（主要包括通信参数、IP地址、APN、端口、差分数据格式等）的正确性。一测回观测结束后，应断开网络连接并重新连接ZJCORS网络后方可测第二测回。观测值应在得到网络RTK固定解，且收敛稳定后开始记录。每天观测结束后，应及时将各类原始观测数据、中间过程数据、转换数据和成果数据等转存至专用计算机专用文件夹里。外业观测数据在转存时，应提交完整的原始观测记录和数据，不得对数据进行任何剔除和修改。数据传输后应按A4大小输出GPS野外原始数据文件及野外报表，并及时将报表交予项目负责人。

3.2 数据预处理

无人机搭载模块与实际成像会产生误差，需要对影像畸变校正，以改正误差，这里使用建模软件自动化计算。由于原始航片在不同时段飞行，导致原始单片存在较大色彩差异，需对其进行匀光匀色。原始航片的匀光匀色采用可行的影像处理软件进行，主要分为检验区（模板）准备、匀光匀色方法选择、匀光匀色检验、匀光匀色等工作，具体技术流程如图3，原始航片匀光匀色前后的效果如图4所示。

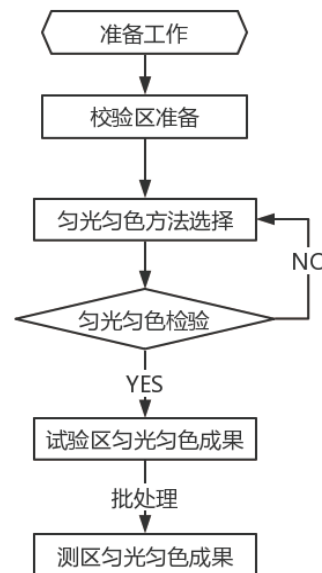


图3 匀光匀色流程示意图



图4 匀光匀色效果图

3.3 空中三角测量

空中三角测量的精度指标直接影响数据成果质量，在数据预处理完备后，软件采用Context Capture Center (CC) 通过自由网与控制网的联合平差计算高密度点位的外方位元素，应用基于深度融合框架密集匹配和计算深度图的Patch匹配

算法，对空三数据进行多尺度、多视密集匹配。该算法考虑多尺度信息，使高分辨率下的初始值由低分辨率计算结果导入，同时考虑了匹配的光照信息 (NCC)、几何信息 (投影误差 E_p 和法向量误差 E_n)、影像的可见性信息 z ，提升匹配精度，空三匹配流程如图5。

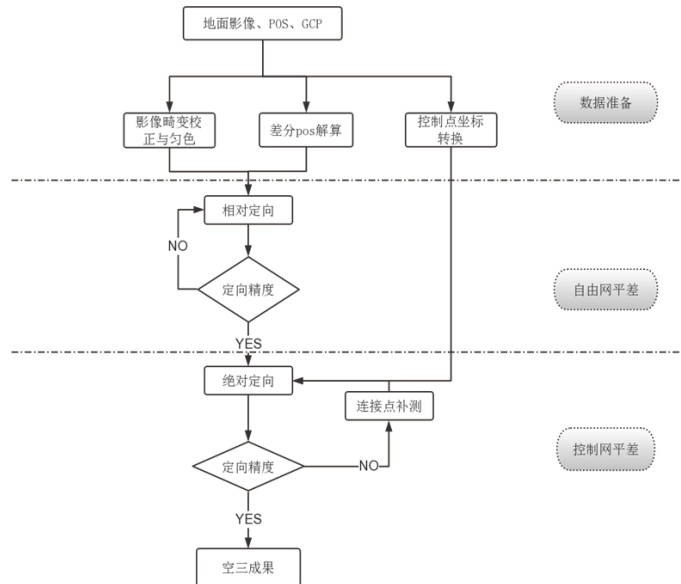


图5 空三匹配技术流程图

3.4 三维实景模型构建

三维实景地图主要采用基于航空摄影测量的三维建模方式进行制作，可真实反映试点区内建筑、交通、水系、植被、地形地貌等地物主要的特征和结构，通过表面纹理真实反映其表面的颜色、

质地、形状和图案等，达到色调协调、自然真实的效果。根据摄影测量原理，对获得的航空摄影影像数据进行数据预处理、空三加密、模型构建、场景修饰、检查等过程，最后进行整理提交，具体流程如图6所示。

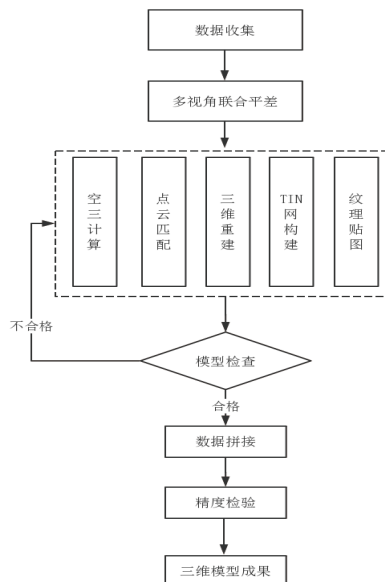


图6 三维实景模型重建流程图

基于CC软件分析选择合适的影像匹配单元,进行特征匹配和密集匹配生成点云,根据生成的密集点云进行三维建模,并实现自动化纹理映射。模型构建采用分块计算,自动选择不同视角上的最佳像对模型,生成三维尺度的密集点云。点云自动转换为不规则三角网(TIN)模型,基于内在几何关系,将TIN模型进行平滑和优化。根据三维TIN的空间位置信息,获取最佳视角影像纹理,自动赋予模型纹理,输出三维模型成果。

对分块内包含的所有立体像对进行点云匹配计算,自动生成高密度点云数据。根据作业区实际范围,划定建模区域,以作业区域整千位的原点平面坐标为原点基准进行分块,并对网格进行图幅编码,数据网格化管理的示例如图7所示。对高密度点云数据进行处理,自动构建不规则三角网(TIN),如图8所示。利用软件自动根据TIN网中每个三角形的空间位置从影像中获取与模型对应的纹理,构建完整的三维模型,效果如图9所示。



图7 数据分块示例图



图8 三角网构建示例图



图9 三维实景模型效果图

3.5 精度评价

经检验,三维实景数据成果整体干净整洁、

模型结构正确合理真实、可靠,能准确表现城市人工建筑和地形地貌,纹理清晰,色调较好,建筑物的细部结构大于0.8m表现较好。建筑模型的基底、外立面几何结构与建筑高度应准确,纹理拼接应过渡自然。倾斜影像纹理平均分辨率优于3cm/Pixel,纹理影像色彩自然,与实际基本一致,较为真实反映建模物体的颜色、质地和图案等。纹理中不得包含建筑以外的物体,物体外立面及屋顶主要的变化细节应清晰可辨,本项目三维实景模型明显地物特征点相对邻近控制点平面和高层中误差不超过0.15米。

4 制造业信息化应用场景建设

4.1 制造业数据展示系统

制造业数据信息管理系统是对涉及的制造业企业及宗地信息进行录入、编辑、删除、数据查询、导出及档案管理的数据管理系统,如图10。系统包括档案库管理、专题数据管理及自定义企业标签功能。建立制造业企业“一企一档”,实现历年制造业企业数据的浏览、编辑、查询、导出功能,基于企业数据累积,对企业发展走势及产出趋势等进行分析及今后发展预测。建立制造业用地“一地一档”,实现制造业用地档案的浏览、编辑、查询、导出功能。显示入库用地信息,包括宗地号、宗地面积、宗地用途、权属主等信息。建立制造业厂房“一地一档”,实现制造业厂房档案的浏览、编辑、查询、导出功能。厂房档案以列表形式展示所有入库工厂房信息,包括厂房名称、厂房面积、厂房结构及厂房内部实景等信息。

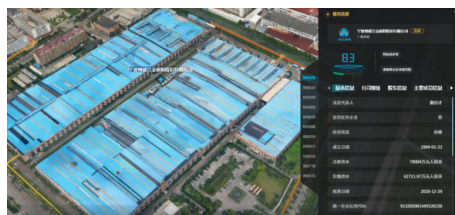


图10 制造业数据展示系统

4.2 制造业全域治理分析系统

制造业全域治理数据分析系统主要建设内容为企业全息画像、产业集群优化布局、土地亩均效益协同评价分析、土地全域治理、制造业科技能力分析系统建设。将鄞州区制造业核心业务的核心指标通过指标定义、指标刻画进行指标化、数字化,

根据分析需求将各项指标及数据接入到时空云地理信息中，实时反映鄞州区制造业的各项业务的关键指标，通过鄞州区制造业核心业务指标展示及趋势分析，全面、清晰展示鄞州区制造业业务全貌。打通信息孤岛，实现数据对接共享，用智能化数据辅助区经信局领导精准研判、科学决策，充分利用数据赋能鄞州区制造业监管服务的各业务，如图11。

获取海量的制造业企业基础数据，利用大数据分析技术，提取企业共性特征，总结制造业企业规律，从信用、资产、效益、创新、风险、环保等多方面，分解20多项评价指标项，并结合现行的制造业管理、治理重要程度，设置相应评价权重值，建立企业评价体系模型，为开展企业评价提供基础支撑。对辖区内制造业企业开展评价，展现企业评价结果分数、企业标签、企业评价等级，支持查看各小项评价结果。

建立企业运行监测体系，实现对企业征信、企业诉讼纠纷、企业风险等信息的实时监测与告警，对企业税收、营收、用能、排放、人力社保等数据指标以年度、季度、月度等时间周期为维度，建立数据指标曲线，通过模型算法，识别数据指标异常波动，预测数据指标走向趋势，对异常情况进行及时告警。



图11 制造业全域治理分析系统

4.3 制造业产业发展分析系统

设计产业集群发展指数模型，以产业总产值、总税收、产业聚集度、产业产值增长、就业增长、知识产权、重大项目投资情况、单位产值能耗等数据为模型计算指标，分析十大产业集群发展综合指数情况，为产业发展规划提供数据依据，如图12。

建立产业集群态势监测分析体系，实现对产业集群内龙头企业重大风险问题的实时监测与告警，对产业集群的总体税收、营收、用能、排放、人力社保、企业增长、科技增长等数据指标以年度、季度、月度等时间周期为维度，建立数据指标曲线，通过模型算法，识别数据指标异常波动，预测数据指标走向趋势，以产业集群发展规划目标指标为基线进行分析研判，反映规划目标实现程度，并对异常情况进行及时告警。



图12 制造业产业发展分析系统

5 项目特点及优势

本项目是飞马无人机应用的重要方向之一，将其速度快、成本低、周期短，高效生成正摄影像应用到具体的行业之中，具有较强到的代表性。

通过开展对全域制造业展开地毯式调查，详细梳理辖区内制造业企业数量、类型、经营状态等信息。运用无人机航拍技术，采集并整理基础影像、区划、规划国土、生态带、工业园区等数据，组织好各类数据内在关系，形成“综合管理一张图”。

在全域内利用无人机航飞作业等方式，进行三维建模扫描，构建实景三维模型，1:1还原现场实际情况，并对工业用地变化、厂房变化、重点项目现场实际情况进行更新，保障制造业全域治理数字化平台反映真实情况。依托最新制造业用地、集聚区分布等情况，辅助开展产业布局调整、企业下山入园、制造业用地规划等工作。利用无人机定期监测、BIM人工模型等技术手段，对标准地现状与约定情况进行分屏比对，直观呈现标准地历年变化情况。

6 总结

制造业作为稳定国民经济的重要手段，尤其传统制造业吸纳的就业多，占出口比重高，是稳就业稳外贸的重要行业。但与此同时，散乱污企业是我区长期以来制造业经济粗放式发展的一个顽疾，违建、整顿工作直接影响着制造业整体的发展。另一方面，制造业土地资源紧缺，发展空间受限，对统筹推进空间拓展、平台提升、企业集聚发展提出新的挑战。

本项目的建设将有助于弥补传统管理方式的不足，整合制造业产业数据资源，挖掘土地、企业、人才等综合价值，打造更为先进的制造业大数据平台。围绕数字产业化和产业数字化，实施数字经济“一号工程”2.0版，本项目的建设结合空间地理信息，挖掘分析数据内在价值，实现产业数据融合及分析成果在统一的城市空间可视化平台上展

示,实现“平台+数据”的管服模式,促进产业布局优化和产业结构调整。同时,利用平台深化研究挖掘产业发展规律,更有针对性地推动重点产业发展。

飞马无人机航测系统以其机动、快速、灵活、高效等特点得到了广泛的应用,其操作和维护简单,节省作业成本,且具有较强的作业能力,此外智能化、稳定性和可靠性都能得到保障。

参考文献:

- [1] 王晓义.宁波制造业转型升级:动力结构及路径创新[J].宁波经济(三江论坛),2015, 000 (001): 19-21,27.
- [2] 吕明元,王大伟.要素转换、结构演进与区域经济增长——以天津滨海新区制造业为例的实证分析[J].经济社会体制比较,2010, 000 (004): 178-182.
- [3] ZHOU H, LEONG G K, JONSSON P, et al. A comparative study of advanced manufacturing technology and manufacturing infrastructure investments in Singapore and Sweden,2009.
- [4] 程斌.义乌市先进制造业结构调整战略研究[J].中国外资,2011, 000 (004): 171-172.