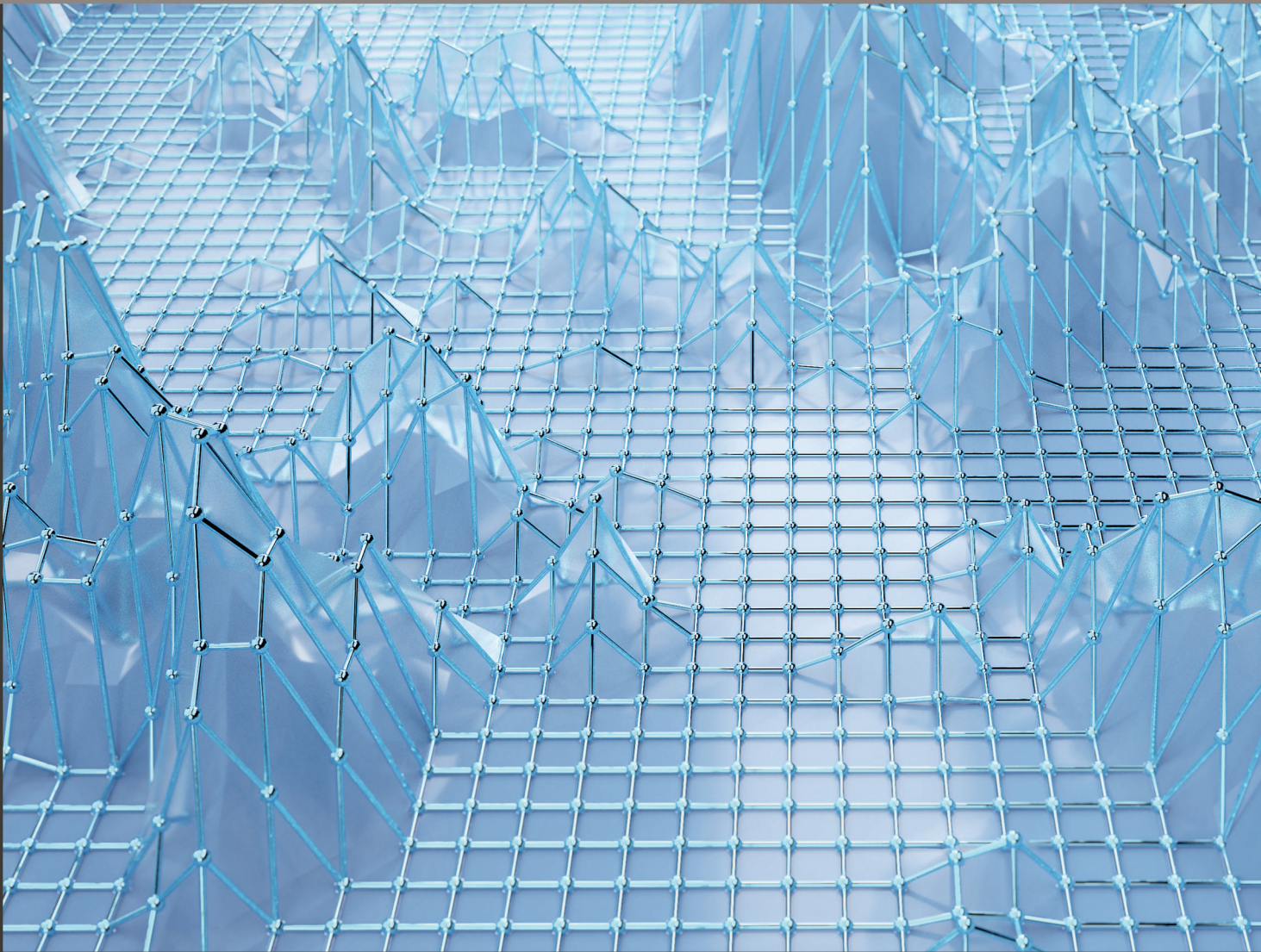


Surveying & Mapping and Geology

# 测绘与地质

Volume 2 • Issues 3 • December 2020 • ISSN 2705-0696



**AOSCI**  
Asia-Pacific Science Citation Index

CC creative commons BY-NC

**cnki** 中国知网  
www.cnki.net  
中国知识基础设施工程

**Google**  
scholar

**Crossref**

*My Science Work*

ISSN 2705-0696



《测绘与地质》本着反映现代高新技术的发展，推动测绘科技成果向生产力转化，促进地质行业科技进步的办刊宗旨，在广泛交流测绘和地质理论研究、应用技术、生产经验等方面受到了广大测绘科技和地质工作者的关爱。

为满足广大科研人员的需要，《测绘与地质》期刊文章收录范围包括但不限于：

- 测绘理论
- 地质综述
- 测绘实践
- 测绘标准制度
- 工程测绘
- 地质数据分析
- 地质勘察
- 地质勘察

#### 版权声明/Copyright

协同出版社出版的电子版和纸质版等文章和其他辅助材料，除另作说明外，作者有权依据Creative Commons国际署名—非商业使用4.0版权对于引用、评价及其他方面的要求，对文章进行公开使用、改编和处理。读者在分享及采用本刊文章时，必须注明原作者及出处，并标注对本刊文章所进行的修改。关于本刊文章版权的最终解释权归协同出版社所有。

All articles and any accompanying materials published by Synergy Publishing on any media (e.g. online, print etc.), unless otherwise indicated, are licensed by the respective author(s) for public use, adaptation and distribution but subjected to appropriate citation, crediting of the original source and other requirements in accordance with the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) license. In terms of sharing and using the article(s) of this journal, user(s) must mark the author(s) information and attribution, as well as modification of the article(s). Synergy Publishing Pte. Ltd. reserves the final interpretation of the copyright of the article(s) in this journal.

SYNERGY PUBLISHING PTE. LTD

12 Eu Tong Sen Street

#07-169

Singapore 059819



Surveying & Mapping and Geology

# 测绘与地质

December · 2020 | Volume 2 · Issue 3 | ISSN 2705-0696 (Print)

## 编委会

### 主 编

赵金凯 黑龙江省煤田地质勘查院第三勘探队

### 编 委

李怀奇 北京航天地基工程有限责任公司

赵晶晶 新疆维吾尔自治区第一测绘院

郑杰元 四川省川建勘察设计院

车登科 中煤航测遥感集团有限公司, 中煤(西安)地下空间科技发展有限公司

王晋 山西沁和能源集团曲堤煤业有限公司

安平利 广州市天驰测绘技术有限公司

秦豪抒 浙江度一信息科技有限公司

张军祥 山东省国土测绘院

- 1 浅谈北斗卫星导航系统的 RTK 定位性能  
/ 周泽
- 5 测绘新技术在建筑工程规划竣工测量中的应用  
/ 陈宇轩
- 11 工程地质监测简析  
/ 王方方
- 14 无人机摄影测量系统在土地调查中的优势比较  
/ 章茂观
- 18 消费级无人机倾斜摄影空中三角测量及三维模型精度分析  
/ 李孟达
- 1 Discussion on RTK Positioning Performance of Beidou Satellite Navigation System  
/ Ze Zhou
- 5 Application of New Surveying and Mapping Techniques in Construction Project Planning and Completion Surveying  
/ Yuxuan Chen
- 11 Brief Analysis of Engineering Geological Monitoring  
/ Fangfang Wang
- 14 Comparison of Advantages of UAV Photogrammetry System in Land Survey  
/ Maoguan Zhang
- 18 Analysis on Consumer-grade UAV Tilt Photography Aerial Triangulation and 3D Model Accuracy  
/ Mengda Li



# Discussion on RTK Positioning Performance of Beidou Satellite Navigation System

Ze Zhou

Guizhou Yunshang Tongtu Engineering Consulting Co., Ltd., Guiyang, Guizhou, 550008, China

## Abstract

The paper mainly expounds some basic theories of RTK technology. First introduces the system composition of RTK, and then explains the unified standards of BDS and GPS in time and space; then introduces several main error sources that affect the GNSS/RTK measurement, and explains the corresponding methods to correct these errors; finally analysis the types of GNSS observations and the corresponding observation equations are discussed, including code pseudorange measurement and carrier phase measurement, and the RINEX standard data format commonly used in GNSS measurement is introduced.

## Keywords

Beidou satellite; navigation system; RTK; positioning

## 浅谈北斗卫星导航系统的 RTK 定位性能

周泽

贵州云上通途工程咨询有限公司, 中国·贵州 贵阳 550008

## 摘要

论文主要阐述了 RTK 技术的一些基础理论。首先介绍了 RTK 的系统组成, 接着对 BDS 与 GPS 在时间和空间上的统一标准进行了说明; 然后介绍了影响 GNSS/RTK 测量的几种主要误差源, 同时阐述了修正这些误差的相应方法; 最后分析了 GNSS 观测值类型及相应的观测方程, 包括码伪距测量和载波相位测量, 并且对 GNSS 测量中普遍应用的 RINEX 标准数据格式进行了介绍。

## 关键词

北斗卫星; 导航系统; RTK; 定位

## 1 全球导航卫星系统简介

全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 是利用卫星技术为全球用户提供位置、时间等时空信息服务的空基无线电导航定位系统。目前, 全球有四大发展比较成熟的导航卫星系统, 主要包括美国的 GPS 系统 (Global Positioning System, GPS), 俄罗斯的 GLONASS 系统, 欧盟的 GALILEO 以及中国的北斗卫星导航系统 (BeiDou Navigation Satellite System, BDS)。这些卫星系统在系统组成和定位原理方面都大同小异。目前普遍的无线电定位方法有三种, 即测边交会定位、双曲线定位和多普勒定位, 这些方法构成了卫星导航定位的基本原理。

目前 GPS 应用最广, 全球用户最多, 现已广泛应用于陆

地、海洋、空间导航定位等多个领域。GPS 卫星系统米用的坐标系为 WGS-84, 米用的时间系统为 GPS 时 (GPST), 该系统采用码分多址技术, 主要由空间部分 (GPS 卫星星座)、地面控制部分 (监控跟踪系统) 和地面接收部分等三部分组成。其中, 最为关键的部分为空间部分, 共由 27 颗卫星组成, 包括 24 颗工作卫星和 3 颗备用卫星, 主要负责接收并处理地面监控跟踪中心注入的指令信息, 还需持续地向地面发射卫星导航信号; 地面控制部分由监测中心、主控中心和注入中心组成, 完成数据的采集、处理和传输等工作; 地面接收部分主要是由地面 GPS 卫星接收机、卫星数据解算软件及其他相应的用户设备组成, 该部分的作用是通过接收和处理 GPS 卫星信号来达到为用户完成导航定位等目的<sup>[1]</sup>。

GLONASS 系统是苏联研制的军用卫星导航系统, 是世界第二个全球导航卫星系统。GLONASS 采用的坐标系为 PZ-90 坐标系, 时间系统为 GLOT, 信号播发采用频分多址的技术。GLONASS 系统也由卫星星座、地面系统和用户设备三部分组成, 其中卫星星座由 21 颗工作卫星和 3 颗备用卫星组成; 地面系统由系统控制中心、中央同步器、遥测遥控站和外场导航控制设备组成; 用户设备由接收机和相关处理软件组成, 完成卫星信号的接收和定位解算。GLONASS 系统的开发是为了满足消费者不断增长的需求和系统的竞争力, 为了追赶上 GPS 的发展, GLONASS 系统也在积极推进现代化的进程<sup>[2]</sup>。

GALILEO 系统是欧盟正在设计建造的全球卫星导航系统, 其坐标系统采用伽利略地面参考框架 (GTRF), 时间系统为 GST, 与国际原子时 (TAI) 有一个标称常数偏差, 该系统采用频分多址播发信号。该卫星系统与 GPS 相似, 也分为卫星星座、地面部分和用户设备三部分, 卫星星座由分布在 3 个轨道面上的 30 颗 MEO 卫星构成, 每个轨道平面有 10 颗卫星, 其中 1 颗为备用, 运行周期约为 14 时 4 分, 计划于 2020 年发射完毕。

北斗卫星导航系统是中国独立建设和运营的全球卫星导航系统, 可与 GPS 等卫星导航系统兼容。北斗卫星导航系统采用被动式定位原理, 用户若想利用北斗卫星进行导航定位, 只需要接收来自北斗卫星发射的卫星导航信号, 就能够自主解算出用户自己的三维姿态参数和七维状态参数。

北斗系统所采用坐标系为中国 2000 国家大地坐标系, 时间系统为北斗时, 也由空间卫星星座、地面接收机与用户部分组成。北斗空间段卫星轨道并不是单一的类型, 而是由地球静止轨道 (GEO)、倾斜地球同步轨道 (IGSO) 和中圆轨道 (MEO) 这三种类型组成, 其中 IGSO 卫星和 MEO 卫星的瞬时位置计算方法与 GPS 卫星位置计算类似, GEO 稍有不同, 主要是考虑轨道倾角对同步轨道带来的影响; 北斗系统自 20 世纪 90 年代启动研制, 到 2020 年将完成全面建设, 进一步提升系统服务性能<sup>[3]</sup>。

## 2 RTK 技术与需求

随着社会的发展, 各行各业对导航定位的准确性要求也越来越高, 基于卫星定位的精度受到诸多因素的影响, 普通 GNSS 单点定位通常能达到 10m (95%) 的定位精度,

但在很多应用场合却无法满足不同精度的定位要求。由于在 GNSS 绝对定位中, 定位精度受到信号传播中电离层延迟和对流层延迟以及卫星轨道和卫星时钟等因素的影响, 会产生定位误差, 虽然通过相应的模型改正可以消除或减弱其中一部分误差, 但是模型残差的影响仍然存在, 并不能完全消除误差。

为了满足高精度的定位需求, 出现了 GNSS 相对定位技术, GNSS 相对定位也称为 GNSS 差分定位, 该技术利用了信号传播中对流层延迟、电离层延迟、卫星轨道误差和卫星钟差这四种误差的空间相关性, 通过建立差分系统, 尽可能地减弱四种误差的影响, 获得观测站的精确位置。差分技术的出现提高了定位的准确性, 使卫星定位技术从标准单点定位演变为差分定位, 定位精度从米级发展到分米级, 定位精度大大提高。

1983 年, B.W.Remondi 首次提出了一种基于卫星信号载波相位进行高精度相对定位的数学模型, 之后由此模型衍生了 RTK (Real Time Kinematic) 技术, 其基本原理是利用相邻两个观测站之间的空间相关性来消除或削弱测量过程中产生的误差, 并使用解算出整周模糊度后的载波相位进行定位解算, 可以得到高精度的定位结果。

RTK 是目前应用较广泛的精密定位技术, 该技术利用两台接收机分别安置在基准站和移动站两个测站上, 同步观测到的一组 GNSS 卫星, 基准站接收到卫星信号后, 由观测到的卫星数据和测站已知坐标计算出测站改正值, 并由基准站通过无线电台或移动网络将测站校正值和载波相位测量数据发送给移动站; 移动站结合两个站的观测数据进行解算实现差分定位。

若实现 RTK 定位, 需要至少两个接收机分别作为基准站和移动站来接收卫星信号, 此外还需数据通信链路和数据解算方法或软件来完成定位解算。目前一般的测量型接收机基于伪距定位可达到分米级定位精度, 基于载波相位定位精度可以达到厘米级, 基本能满足 RTK 技术的设备要求; 数据通信链路通常使用 UHF/VHF 无线电台, 其覆盖范围可达到 10~20km, 并且国际海运事业无线电技术委员会 (RTCM) 建立了用于 RTK 数据传输的格式标准, 为不同类型用户进行 RTK 数据传输提供了方便。由于在动态 RTK 观测过程中, 不能保证能够持续锁定所观测的卫星, 如果对卫星跟踪失败, 发生失锁现象, 则需要重新进行初始化工作, 这会耗费时间

使观测效率降低,为此近年来许多学者都致力解决这一难点,并根据数据处理方式提出了后处理 RTK 方法,后处理解算不需要建立观测数据的实时传输系统,因此卫星观测数据必须加以存储,以便在观测工作结束后进行处理,RTK 数据解算是基于后处理方式进行的。

### 3 RTK 理论基础

RTK 定位是基于载波相位的差分定位,因此需有两个接收机进行数据接收才能进行差分处理,若接收的卫星数据包含不同的卫星星座,还需统一时间基准和空间基准才能进行混合星座定位。因此本章介绍了 RTK 系统组成和时间基准与空间基准的统一方法,并分析了影响 RTK 定位精度的误差来源以及相关修正模型,最后说明了在进行 GNSS 定位时所需的观测值类型及数据格式。

#### 3.1 RTK 系统组成

RTK 系统由基准站、数据通信、数据处理和用户移动站这四部分组成,每个部分都包含特定的软件或硬件<sup>[4]</sup>。其中,基准站和用户移动站一般是由接收机及相关硬件构成,负责观测同步卫星并接收卫星数据;数据通信部分负责进行数据的传输,一般由移动网络或无线电台组成,数据处理部分主要是由各种数据解算法组成。RTK 基线分为短基线、中基线和长基线三种,其中短基线是指基线长度最多为几公里的情况,中等基线指的是相对倾斜电离层延迟的不确定性可以可靠地建模为基线长度的函数的情况,长基线是指有必要通过电离层-漂移模型和天顶电离层延迟来模拟倾斜电离层延迟的情况。

#### 3.2 RTK 时空基准的统一

时间和空间参照系统是卫星导航系统的基本系统,所有的导航问题均在此基本系统内讨论,卫星位置和用户接收机位置均对应于空间坐标系的一个点。卫星导航定位的观测量为时间延迟或多普勒频移,是与时间密切相关的,由于各卫星导航系统的时空系统不统一,因此不能进行多系统导航定位,如果分析 BDS 与 GPS 的混合系统定位性能,需要对这两个系统数据进行时空基准统一。一般来说, GPS 系统相对稳定和成熟,所以在 GPS/BDS 多系统数据融合处理过程中,以 GPS 系统的时空基准为主,对 BDS 数据进行处理实现时空基准统一。

### 3.3 影响 RTK 测量的主要误差源

在卫星定位过程中,无论采用哪种卫星观测量进行定位,多多少少都会受到各种因素的影响而产生定位误差,不同因素引起的定位误差大小也不相同,有的误差可以通过技术手段消除,有的误差不可消除。可以根据定位误差产生的原因将误差分为三类:第一类是与导航卫星有关的定位误差;第二类是与传播路径有关的定位误差;第三类是与接收机有关的定位误差<sup>[5]</sup>。

### 4 GNSS 观测值及观测方程

无论是其他国家的 GPS、GLONASS 或 GALILEO 卫星系统还是中国的北斗卫星导航系统,在进行导航定位时基本原理都是相同的,卫星观测量也是相似的。卫星观测量主要有测码伪距观测值、载波相位观测值和多普勒观测值这三种类型,测码伪距测量原理是计算卫星测距信号从发射开始直至地面接收到所用的时间;载波相位测量原理是计算卫星载波信号从发射到被接收时传播的相位;多普勒测量是指由多普勒频移计算得出的测量值,主要用于接收机测速,目前较常用于定位的测量值有伪距测量值与载波相位测量值。

GNSS 差分模型可以有效地消除或大大削弱各项系统偏差的影响,因此是目前 GNSS 相位测量中常用的数据模型,如果能获得准确的初始整周模糊度,便可得到精确的定位信息<sup>[6]</sup>。

### 5 RTK 数据格式

在 RTK 定位中,可以采用 RINEX 格式的卫星数据进行定位解算,几乎所有的数据分析和处理软件都可以直接读取 RINEX 格式的数据,通用性较强。

RINEX 格式已经有 2.10、2.11、3.00、3.02 等多个版本,2016 年 1 月 29 日至 30H,国际海事无线电技术委员会召开了第 104 专业委员会(RTCMSC-104)全体会议,会议发布了首个全面支持北斗的 RINEX<sup>[34]</sup>标准(3.03 版本),从此北斗完整进入 RINEX 标准,论文在进行 RTK 数据处理时所采用的 RINEX 版本为 3.03 版本。

RINEX 文件分为观测数据、导航数据和气象数据等多种类型,RTK 数据处理过程中只需观测数据和导航数据即可,该数据文件命名规则为 ssssdddff.yyt,其中 ssss 代表工作站名称,ddd 表示年积日,f 表示一天内的时段号,取值范围为 0~9 和 A~乙若取值为 0 则表示当天所有的数据,yy 表示两

位年号。例如, 18 代表为 2018 年, t 表示文件类型, 0 表示观测值文件, N 表示导航文件, M 表示气象文件, C 表示时钟文件。

## 6 结语

随着科技的发展和各国卫星系统的成熟, 利用卫星系统进行高精度定位的技术也应运而生。在进行卫星导航定位时, 可用的卫星信号观测值有伪距观测值和载波相位观测值, 其中基于伪距观测值的定位精度较低, 基于载波相位进行定位的精度远高于伪距定位精度。目前, 常用的 RTK 载波相位差分技术, 通过实时差分处理两个测站的载波相位观测量, 可以得到实时的高精度厘米级定位结果。北斗卫星导航系统是中国自主建设并独立运行的卫星导航系统, 因此进行基于北斗系统定位的研究对中国北斗卫星系统的建设和发展具有重

要意义。

## 参考文献

- [1] 马瑞峰. 基于北斗导航定位系统的伪卫星技术研究 [D]. 西安: 西北工业大学, 2005.
- [2] 赵龙. 北斗导航定位系统关键技术研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2006.
- [3] 郭陈江, 马瑞峰, 丁君, 等. 基于北斗导航定位系统改进技术的定位误差仿真和分析研究 [J]. 测绘技术, 2006, 26(001):21-23.
- [4] 沈笑云, 保宁鑫, 焦卫东. BDS RTK 定位性能分析 [J]. 信号处理, 2019(8):16-18.
- [5] 杨元喜, 李金龙, 王爱兵, 等. 北斗区域卫星导航系统基本导航定位性能初步评估 [J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 044(001):72-81.
- [6] 保宁鑫. 北斗卫星导航系统的 RTK 定位性能研究 [D]. 北京: 中国民航大学, 2020.



# Application of New Surveying and Mapping Techniques in Construction Project Planning and Completion Surveying

Yuxuan Chen

Liaoning Hengrui Surveying and Mapping Co., Ltd., Huludao, Liaoning, 125200, China

## Abstract

With the accelerating pace of China's modernization, the number of planning supervision and measurement projects after the approval of urban construction projects continues to increase, and high-rise, super high-rise and special-shaped buildings continue to emerge. Complex building contours, special building materials and unconventional building forms not only beautify the urban landscape and upgrade the urban level, but also pose new problems and challenges to the planning completion measurement.

## Keywords

new surveying and mapping technology; 3D laser scanning technology; UAV tilt photogrammetry technology; project planning completion survey

## 测绘新技术在建筑工程规划竣工测量中的应用

陈宇轩

辽宁恒睿测绘有限公司, 中国·辽宁 葫芦岛 125200

## 摘要

随着中国现代化建设步伐的不断加快, 城市建设工程批后规划监督测量项目量不断增加, 高层、超高层和异形建筑不断涌现, 复杂的建筑轮廓、特殊的建筑材料、非常规的建筑形式在美化城市景观、提升城市档次的同时, 也给规划竣工测量工作提出新的难题和挑战。

## 关键词

测绘新技术; 三维激光扫描技术; 无人机倾斜摄影测量技术; 工程规划竣工测量

## 1 建筑工程规划竣工测量主要存在的难题

### 1.1 控制点布测的作业效率和自动化程度较低

在实际工作中, 由于工程建设和人为破坏等原因竣工测量区域的控制点破坏较为严重。作为传统竣工测量的主要测绘手段, 全站仪内外业一体化配合草图法通过布设从外到内、从高级到低级的控制网, 布网时还需考虑测区范围、控制点间的通视情况和相邻点间的高差情况等, 因此控制点布测的作业效率和自动化程度较低。

### 1.2 工作人员难及区域数据值采集困难

传统全站仪需要配合棱镜进行测量, 即将全站仪安置在测站上, 棱镜放置在需要测量的位置进行测量。在规划竣工测量中, 很多建筑物空中结构变化复杂, 且存在楼顶拐角、高度过高测量人员难以抵达的区域, 在这些位置数据值采集困难。

### 1.3 不规则建筑物、异形建筑物数据获取效率低

传统竣工测量一次测量只能获取一个点数据, 即点测量模式。对于不规则、异形建筑物, 需要测定大量的点数据才能符合精度要求。这使传统全站仪竣工测量难以适应新时期的测量需求, 数据获取效率低。

### 1.4 规划竣工测量成果表现形式不够直观

目前竣工测量以二维平面图提供成果, 包含地形图、立面图等, 难以直观地表达异形、复杂、不规则建筑物的竣工现状。

## 2 测绘新技术应用的必要性

测绘新技术的飞速发展, 对建筑工程规划竣工测量将产生积极影响。近年来, 中国测绘新技术正朝着数字化、信息化方向迈进, 测绘新技术在传统技术的基础上进行了改善和

更新,优化了测量方式,提高了工作效率,并逐步实现了自动化、精确化和智能化,有效提高了建筑工程的测量精度,保障了建筑工程的施工质量。

三维激光扫描技术是一种新型、高精度、三维、立体扫描测绘技术,实现了测量方式从点测量到面测量转变的突破,被称为“继GPS技术之后的又一次技术革命”。它能快速、大量采集被测对象表面的空间点位信息,具有无接触、高精度、高密度、实时性、动态性、主动性等特点,提高了测绘工作的质量与效率,实现了被测物体三维影像模型的快速创建。

无人机倾斜摄影测量技术是一种新型的利用航空摄影相机进行复杂、高精度、大范围地物信息获取的测量手段,具有高效、快速、真实、高性价比等特点。为用户提供更高级、更直观、更丰富的体验,扩展了遥感影像的应用范围与领域<sup>[1]</sup>。

因此,测绘新技术在建筑工程规划竣工测量中的可行性研究与精度分析,以期为相关工程提供借鉴,提升规划竣工测量效率,丰富规划竣工测量成果,更好地辅助现代规划审批的流程,增加规划管理的科学性,提升建筑工程规划的监管力度。

近年来,随着测绘新技术的快速发展和传统测量方法的不足,连续运行卫星定位综合服务系统、三维激光扫描技术、无人机倾斜摄影测量技术等建筑工程规划竣工测量中的实践工作不断开展,中国和国际学者的研究成果也不断趋于成熟,大部分技术开始由理论研究转向工程实践,测绘新技术正在为建筑工程规划竣工测量带来越来越多的便利和更加丰富直观的竣工测量成果。

使用CORS系统进行建筑工程规划竣工测量的控制点布设与测量时,应严格执行CH/T2009-2010《全球定位系统实时动态测量(RTK)技术规范》的要求,控制点位置既要满足CORS系统的测量条件,又要满足规划竣工测量的要求,应选在远离电磁干扰、视野开阔、远离高大建筑物的区域。进行测量时,首先进行接收机手簿设置,依据已知的高等级起算点求取坐标转换参数,进行参数精度检核,平面坐标精度优于2cm、高程精度优于5cm时方可开始正式测量。测站采用三脚架对中整平,收敛稳定且得到固定解后记录,每次观测20个历元,每个控制点独立观测两次,平面较差小于2cm、高程较差小于3cm时取平均值

作为最终作业成果。

### 3 测绘新技术在建筑工程规划竣工测量中的意义

#### 3.1 CORS系统在建筑工程规划竣工测量中的意义

使用CORS系统进行建筑工程规划竣工测量提供全新、透明、实时、可视的测量服务。应用CORS系统进行批后竣工测量研究的意义主要体现在以下方面。

##### (1) 数据可靠、安全、稳定

CORS基准站进行全天候连续观测,数据实时采集,数据稳定、精度高。数据中心统一管理通过授权方式进行登录的用户,数据可靠性、安全性高。

##### (2) 作业区域广

基于南方测绘的单基站CORS系统可以实现半径30km范围内的cm级事后差分定位和实时定位,通过GPRS/CDMA实现50km作业半径范围内的成功定位的案例也已平淡无奇。

##### (3) 工作效率高

使用CORS系统技术不需要架设参考站,增加了作业便捷度,提高了工作效率,降低了作业成本。

##### (4) 测量精度高

使用CORS进行规划竣工测量中的图根控制测量时,无须通过控制点引测进行控制网布设,避免了传统测绘手段因控制点引测导致的误差积累,提高了测量精度。

#### 3.2 三维激光扫描技术在建筑工程规划竣工测量中的意义

三维激光扫描技术有效避免了传统作业方式外业劳动强度大、时间长、重复测量、工作效率低等弊端。三维激光点云数据可以真实的反映复杂建筑物的每一个细节,在建筑工程规划竣工测量,尤其在超高层、复杂、异形建筑的规划竣工测量中优势显著,具有重要的研究价值。

三维激光扫描技术为规划竣工测量突破传统单点测量模式提供了一种全新的数据获取手段。应用三维激光扫描技术进行规划竣工测量研究的意义主要体现在以下方面。

##### (1) 工作人员难及区域数据值采集便利

三维激光扫描技术通过非接触式数据获取手段,在规模宏大、结构复杂、造型奇特的建筑物的规划竣工测量工作中

有较好的应用价值<sup>[2]</sup>。

#### (2) 数据获取效率高

三维激光点云数据的野外获取速度可以达到 300000 点/s, 极大地减小了劳动强度, 缩短了工作时间, 提高了工作效率, 且信息获取更加全面, 细节特征保留更加完善。

#### (3) 竣工测量成果表现直观

传统竣工测量只测量平面数据和少量的高程数据, 制作二维竣工图, 并进行相关面积计算等。无人机倾斜摄影测量技术是全数字摄影测量系统的有力补充, 具有机动灵活、数据获取快捷、分辨率高、高效快速、作业成本低等优势, 由地面站系统、飞行平台、航拍摄影系统、数据处理软件等组成, 是高智能化、稳定可靠、作业能力强的低空遥感系统。在测量工作时, 无人机通过非测量型摄影相机获取丰富的正射和倾斜影像数据, 经数据处理软件处理获取三维地理信息模型, 具有数据准确、信息丰富、成本低、效率高等特点, 因此研究其在规划竣工测量中的应用具有重要意义。

### 3.3 无人机倾斜摄影测量技术在规划竣工测量研究的意义

应用无人机倾斜摄影测量技术进行规划竣工测量研究的意义主要体现在以下方面。

#### (1) 实现高精度测量, 提高生产效率

无人机作为一种新型的低空遥感对地观测手段, 具有易于操控、获取影像周期短、作业机动性强等特性, 可以有效避免传统作业方式的强度大、效率低、周期长和重复测量等弊端, 提升生产效率。

#### (2) 成果表现形式更加真实、形象, 符合人类感知

无人机倾斜摄影测量成果建立的三维模型, 更接近真实世界, 可以让用户从多个角度观察建筑模型, 且根据成果影像, 借助配套软件, 可直接进行长度、高度、角度、面积等的量测与获取。

#### (3) 建筑模型可提供丰富的纹理信息

无人机倾斜摄影测量成果可提供丰富的建筑物立面信息, 为规划验收提供更为丰富、直观的数据信息, 辅助行政审批部门管理决策。

因此, 研究连续运行卫星定位综合服务系统 (CORS 系统)、三维激光扫描技术、无人机倾斜摄影测量技术等测绘新技术在竣工测量方面的可行性实践并进行相关的精度分析

具有重要意义。

## 4 测绘新技术在规划竣工测量中的应用实例

在对 CORS 技术、三维激光扫描技术和无人机倾斜摄影测量技术等测绘新技术在规划竣工测量中的应用进行相关研究之后, 本书以国家重型汽车工程技术研究中心项目为例, 利用全站仪、测距仪、GPS-RTK、三维激光扫描仪、无人机等多种测绘新技术结合进行了建筑工程规划竣工验收测量, 并对各测绘手段的施测效率和测量精度进行了对比分析, 验证了测绘新技术在超高层建筑规划竣工测量中应用的可行性, 对规划竣工测量的技术手段进行了有益探索。

### 4.1 项目概况与作业依据

#### 4.1.1 项目概况

国家重型汽车工程技术研究中心位于中国山东省济南市高新技术开发区舜华南路以东, 奥体北路以南, 地理位置优越, 是济南“东拓战略”的重要建设工程项目, 填补了济南市工业企业在国家级工程技术研究中心方面的空白, 实现了历史性突破。该中心由科研综合楼和汽车展库两部分组成, 竣工建筑物单体 12 栋, 总建筑面积 15.8 万平方米, 研究中心流线型的建筑造型与浩瀚的天空交相辉映, “一柱擎天”的设计理念寓意着企业节节攀升、奋勇争先的理念追求。项目建筑特点如下:

(1) 科研综合楼塔楼建筑设计高度 173.3 米, 外观采用弧线三角形设计, 建筑轮廓由复杂曲线构成, 每层轮廓曲线各异, 曲率半径自标准层向上逐层缩小。

(2) 厂房外形采用弧形倒角处理, 外墙采用金属幕墙和玻璃幕墙适应弧形曲线设计的凹进和凸出线条。

(3) 弧形结构占建筑总体的 80%, 外圈框架梁和部分内连梁均为由多圆心控制的多曲线弧形梁, 内部空间布局复杂<sup>[3]</sup>。

#### 4.1.2 作业依据

本项目中引用的规范、标准等作业依据及其适用的工序。

### 4.2 技术路线及与工作流程

#### 4.2.1 技术路线

考虑到该工程项目科研综合楼塔楼穹顶最高点高度施测难度大; 金属幕墙、玻璃幕墙反光效果差; 建筑弧形轮廓设计, 外业采集数据量大, 数据层级多, 内业数据处理效率低等特点,

结合建筑工程规划竣工测量的内容包括以下几点:

- (1) 图纸审核;
- (2) 控制测量;
- (3) 建(构)筑物平面位置、自身长宽尺寸等相关要素测量;
- (4) 建(构)筑物高程、高度等相关要素测量;
- (5) 建筑物建筑面积测量、计算;
- (6) 现状地形图测绘、其他附属设施及相关地物的测绘;
- (7) 规划四至距离关系标注;
- (8) 平面布局及其他规划要素的测量;
- (9) 与规划指标的比对及说明。

为保证国家重型汽车工程技术研究中心顺利完成验收,结合中国先进工程施工经验,形成了技术流程。

#### 4.2.2 工作流程

##### (1) 控制测量

为了实现国家重型汽车工程技术研究中心建筑工程规划竣工测量,首先根据现场情况和作业任务布设控制点,布设 P1~P13,共计 13 个控制点。利用 JNCORS 系统进行网络 RTK 测量。

作业前首先对已知控制点进行检核,检测已知点的平面位置(水平分量与垂直分量的平方和求根号得)差值  $W \pm 5\text{cm}$ , 高程差值  $W \pm 5\text{cm}$ 。

作业时,采用 LeicaGS12 型 GPS 接收机,采用三脚架架设天线进行作业,采用济南城区参数进行参数配置,各控制点观测测回数不少于 3 个,各测回观测时间间隔不小于 60S,观测历元数不少于 30 个,观测 GPS 卫星数 5~10,采样间隔为 1S,PDOP 值最大为 4.420。控制点距离与坐标采用全站仪进行检测,实量边长与反算条件边长较差的相对误差  $< 1/10000$ ,距离超限时进行距离改正,现场做好标志。同时,在控制测量作业过程中满足以下要求:

①竣工规划测量的平面控制起算点,应以邻近的城市测量控制点为基础。

②高程控制起算点不得低于《城市测量规范》6.3.12 技术要求。

③联测水准点时,高程控制测量宜采用附和线路,对起闭于一个水准点的闭合环,应先行检核该点高程的正确性。

④使用网络 RTK 布设控制点应符合下列规定:

- 1) 观测值在得到 RTK 固定解且收敛稳定后开始记录。
- 2) RTK 严禁用站杆观测,PDOP 值应小于 6。
- 3) 经度、纬度记录到 0.000017,平面坐标和高程坐标记录到 0.01m。
- 4) 在铺装路面或其他坚固的地面镶嵌钢钉作为固定标志。
- 5) 取三个测回的中数作为成果。

采用固定解进行解算,解算成果测回间平面坐标分量较差最大值 0.017m,高程较差最大值 0.027m,平面点位精度最大值 0.020m,高程精度最大值 0.030m,各项数据满足规范要求。完成控制点布设和测量后,对控制点距离和坐标利用全站仪后视定向方法进行检测。全站仪获取数据与理论数据的平面坐标分量较差最大值为 0.019m,高程较差最大值为 0.029m,实量边长与反算边长较差的相对误差  $W1/10000$ ,满足技术设计书要求<sup>[9]</sup>。

##### (2) 高度测量

本项目中,利用钢尺测量、水准测量、激光测距仪三角高程测量、全站仪对边测量和无人机低空摄影测量相结合的方法,对建筑物进行室内坪、层高、楼高测量。

针对建筑物穹顶高度高,施测难度大,本项目充分探索新技术新方法在生产实践中的应用,采用电磁波测距三角高程测量方法、全站仪对边测量方法和无人机低空摄影测量方法分别对建筑物最高点进行高度测量,并进行对比分析。

为提高测量精度,保证成果质量,电磁波测距三角高程测量时,采用变换仪器高或觇标高法测量两次,两次较差不大于 100mm 时,取均值作为最终观测成果。

全站仪对边测量时,充分发挥其无须定向、可选择最佳观测角度、测量精度高等优势,在科研综合楼周边建筑上设站,以减少测站与目标间的高差,提高测量精度<sup>[9]</sup>。

无人机低空摄影测量时,首先采用基于空间后方交会模型的试验场检校法进行相机检校,然后进行航空摄影获取高分辨率影像,采用航测法进行空三加密,生成 DEM、DOM、点云数据及实景三维模型,然后根据实景三维模型进行建筑物高质量测,获取科研综合楼高度。

##### (3) 轮廓测量与面积核算

测量与《建设工程规划许可证》附图对应的建设用地区域内的其他现状地物,如保留的建筑物、道路及绿化用地、单独设立的配套设施等,并用必要的注记在地形图中标注相



关的信息。

在进行面积核算时,应计算建设工程总建筑面积、分栋建筑面积和每栋分层建筑面积,并应注明建筑功能。对建筑物的边长进行校核,各尺寸之间应没有矛盾。整幢建筑的外框边长和套内轴线边长应满足其几何图形构成的边长闭合几何关系,分段量测边长之和与总边长应一致,对多余观测引起的边长较差,应进行配赋处理后,再进行计算<sup>[6]</sup>。

除此之外,建筑面积测量应符合现行济南市城乡规划主管部门的规定,绘制面积图时注意竣工建筑物分层图形信息应按照约定图层管理要求,明确计算全部建筑规模部分的范围线、计算一半建筑规模部分的范围线、不计算建筑规模部分的范围线。

本项目中,针对国家重型汽车工程技术研究中心的弧形轮廓设计以及玻璃幕墙、金属幕墙反光效果差,项目中利用全站仪激光免棱镜测量、三维激光扫描测量和无人机倾斜摄影测量方式进行建筑工程轮廓测量与面积核算。

利用全站仪激光免棱镜测量采集建筑物特征点时,根据建筑物弧形倒角设计,应尽可能多的采集建筑物轮廓特征点,然后根据采集点位拟合建筑物弧线轮廓,确定建筑物轮廓并进行面积核算。

利用三维激光扫描仪进行测量时,首先在控制点上架设三维激光扫描仪,从主体塔楼内部和四周进行扫描测量,经外业扫描、数据预处理、点云去噪、修补数据空洞、点云切割、点云配准、点云抽稀、分层切片处理、建筑轮廓提取等步骤,获取主体塔楼的平面位置和轮廓信息,并进行面积核算。

利用无人机进行倾斜摄影测量时,经外业飞行数据采集、影像处理等,生成正射影像图和实景三维模型,分别提取建筑物外轮廓线和建筑物标高,并根据建筑物轮廓完成面积核算<sup>[7]</sup>。

#### (4) 总平面竣工图测绘

总平面竣工图应按照规定的数据分层进行,编绘时注意如下内容:

①建设工程竣工的地上、地下建(构)筑物轮廓(含阳台等其他附属设施,如柱廊、檐廊、架空通廊、底层阳台、门廊、门墩和室外楼梯及与房屋相连的台阶等)。

②项目周边地物、地貌,如道路、围墙、周边现状建筑物(尤其周边在建,或需拆除建筑)、绿化植被、景观水系、

小区内部主要道路及其上的管线设施等。

③必要的名称、属性注记,如建筑物名称、层数、功能、尺寸与距离、各特征线型名称等。

④规划控制线及勘测定界与甲方提供的一致,并保存叠图核对。

⑤尺寸标注位置与总平面甲方盖章纸图一致(含四至距离);

⑥建筑物定位位置符合采点的点圆半径0.05m的误差限制。

⑦建筑物轮廓与面积图的差异,有合理的相对关系。

⑧建筑物地下部分与地上部分的相对关系正确,车库出入口标识。

⑨按规划附图标注:周边楼号,配套功能,地块分界,消防控制线、地上停车位,回车场,公厕等内容。

⑩新增建筑的表示应突出,尤其注意压盖红线,湿地功能名称,实测与面积一致等情况。

#### (5) 内业计算与成果编制

依据外业采集的数据与建筑设计图纸,内业计算各项数据并填表、编制成果文档资料;内业利用南方CASS9.0绘图软件编绘成图,作图时特别注意立面图中的各项对应关系,面积图中的数据准确性与逻辑一致性,竣工总平面图中的标注规划建筑物本身距离和建(构)筑物距四至距离,标注位置应与规划附图保持一致。同时,充分利用EPS2008,利用VBScript脚本开发提高作图质量、效率。通过AUTOCAD二次开发VBA程序进行数据提取与EXCEL表格进行对照,多表格嵌套比对的方式开展计算与检查工作。

### 4.3 技术难点与创新

本项目由于建筑物结构复杂,规划竣工测量技术难度大,采用多种测绘新技术进行了有益探索,主要技术难点与创新情况如下。

#### 4.3.1 穹顶最高点施测难度大

国家重型汽车工程技术研究中心项目科研综合楼塔楼最高点设计高度173.3m,地面架设仪器无法构成直接测顶的视线。因此,本项目中采用多种方案解决此问题。

(1) 变换仪器高法进行多余观测求取平均值。

(2) 对边测量,选择最佳观测角度。

(3) 采用无人机倾斜摄影测量。

### 4.3.2 建筑物轮廓提取复杂

国家重型汽车工程技术研究中心项目的金属幕墙、玻璃幕墙反光效果差,建筑弧形轮廓设计,各层轮廓曲线各异,建筑物轮廓提取复杂。项目中,采用多种方式解决此技术难题:

(1) 利用全站仪采集接缝处特征点,逐层采点,拟合建筑物轮廓。

(2) 处理三维激光扫描点云数据,获取建筑物轮廓。

(3) 处理无人机正射影像,提取建筑物轮廓。

### 4.3.3 数据处理效率低,数据入库复杂

国家重型汽车工程技术研究中心项目外业采集数据量大,数据层级多,内业数据处理效率低,数据入库复杂,项目中,采用多种方式解决此技术难题:

(1) 充分利用 EPS2008,利用 VBScript 脚本开发提高作图质量、效率。

(2) 利用南方 CASS9.0 进行二次开发,形成生产自动化解决方案——CASS 竣工测量版。

(3) 进行辅助软件开发,提高工作效率。

## 5 结语

论文以国家重型汽车工程技术研究中心规划竣工测量为

例,将全站仪、CORS 技术、三维激光扫描技术和无人机倾斜摄影测量技术等测绘新技术应用于建筑工程规划竣工测量项目中,并通过工作量与精度对比分析,证实了测绘新技术在建筑工程规划竣工测量中应用的可行性,为规划竣工测量提供了有益探索。

## 参考文献

- [1] 冯炎,雷朝锋.GNSS 测量技术在都市建成区测绘工作中应用及分析[J].西部探矿工程,2021,33(01):169-170+175.
- [2] 陈剑峰.测绘工程中无人机技术的应用探讨[J].中国住宅设施,2020(12):52-53.
- [3] 阮文龙.三维激光扫描技术在道路测绘中的应用[J].中国住宅设施,2020(12):93-94.
- [4] 张伟.试论 GPS 测绘技术在测绘工程中的应用[J].智能城市,2020,6(24):47-48.
- [5] 赵福超.无人机倾斜摄影测量技术在农村房地一体测绘中的应用[J].工程建设与设计,2020(24):252-254.
- [6] 胡浩.无人机技术在测绘测量中的技术应用分析[J].电子世界,2020(15):194-195.
- [7] 储扬静.基于测绘发展现状的工程测绘技术应用分析[J].居舍,2020(09):52.

# Brief Analysis of Engineering Geological Monitoring

Fangfang Wang

No.6 Institute of Geology and Mineral Resources Exploration of Shandong Province, Weihai, Shandong, 264209, China

## Abstract

The dynamic observation of various geological processes must be carried out on the basis of clarifying the geological conditions, so that the development conditions and the main factors affecting development can be identified based on the observation data, and the similar geological processes in areas with similar engineering geological conditions can be predicted based on the observation data dynamic.

## Keywords

geological monitoring; rock and soil; groundwater

## 工程地质监测简析

王方方

山东省第六地质矿产勘查院, 中国·山东 威海 264209

## 摘要

各种地质作用的动态观测必须在查清地质条件的基础上进行, 这样才能根据观测资料判明其发育条件和影响发育的主要因素, 也才能根据观测资料预测工程地质条件类似区的同类地质作用的动态。

## 关键词

地质监测; 岩土体; 地下水

## 1 岩土体性质与状态的监测

岩土体性质和状态的现场监测, 可以归纳为岩土体变形观测和岩土体内部应力的观测两大方面。如果工程需要进行岩土体的监测, 则岩土体的监测内容应包括以下3个方面:

- ①洞室或岩石边坡的收敛量测;
- ②深基坑开挖的回弹量测;
- ③土压力或岩体应力量测。

岩土体性状监测主要应用于滑坡、崩塌变形监测, 洞室围岩变形监测, 地面沉降、采空区塌陷监测以及各类建筑工程在施工、运营期间的监测和对环境的监测等<sup>[1]</sup>。

### 1.1 岩土体的变形监测

岩土体的变形监测分为地面位移变形监测、洞壁位移变形监测和岩土体内部位移变形监测几种。

#### 1.1.1 地面位移变形监测

主要采用的方法是: ①用经纬仪、水准仪或光电测距仪重复观测各测点的方向和水平、铅直距离的变化, 以此来判定地面位移矢量随时间变化的情况, 测点可根据具体的条件和要求布置成不同形式的观测线、网, 一般在条件比较复杂

和位移较大的部位应当适当加密; ②对规模较大的地面变形还可采用航空摄影或全球卫星定位系统来进行监测; ③采用伸缩仪和倾斜计等简易方法进行监测; ④采用钢尺或皮尺观测测点的变化, 或用贴纸条的方法了解裂缝的张开情况。监测结果应整理成位移随时间变化的关系曲线, 以此来分析位移的变化和趋势<sup>[2]</sup>。

#### 1.1.2 洞壁位移变形监测

洞壁岩体表面两点间的距离改变量的量测是通过收敛量测来实现的, 它被用于了解洞壁间的相对变形和边坡上张裂缝的发展变化, 据此对工程稳定性趋势做出评价并对破坏的时间做出预报。测量的方法可采用专门的收敛计进行简易的可用钢卷尺直接量测。收敛计可分为垂直方向、水平方向及倾斜方向等几种, 分别用工具测量垂直、水平及倾斜方向的变形<sup>[3]</sup>。

#### 1.1.3 岩土体内部位移变形监测

准确地测定岩土体内部位移变化, 目前常用的方法有管式应变计、倾斜计和位移计等, 它们皆要借助于钻孔进行监测。管式应变计是在聚氯乙烯管上隔一定距离贴上电阻应变片,

随后将其埋植于钻孔中,用于测量由于岩土体内部位移而引起的管子变形。倾斜计是一种量测钻孔弯曲的装置,它是把传感器固定在钻孔不同的位置上,用以测量预定程度的变形,从而了解不同深度岩土体的变形情况。位移计是一种靠测量金属线伸长来确定岩土体变形的装置,一般采用多层位移计量测,将金属线固定于不同层位的岩土体上,末端固定于深部不动体上,用以测量不同深度岩土体随时间的位移变形。

## 1.2 岩土体内部的应力监测

岩土体内部的应力监测是借助于压力传感器装置来实现的,一般将压力传感器埋设在结构物与岩土体的接触面上或预埋在岩土体中。目前,国际采用的压力传感器多为压力盒,有液压式、气压式、钢弦式和电阻应变式等不同形式和规格的产品,以后两种较为常用。由于压力观测是在施工和运营期间进行的,互有干扰,所以务必防止量测装置被破坏。为了保证量测数据的可靠性,压力盒应有足够的强度和耐久性,加压、减压线形良好,能适应温度和环境变化而保持稳定。埋设时应避免对岩土体的扰动,回填土的性状应与周围土体一致。通过定时监测,便可获得岩土压力随时间的变化资料。

## 1.3 不良地质作用和地质灾害的监测

工程建设过程中,由于受到各种内、外因素的影响,如滑坡、崩塌、泥石流、岩溶等,这些不良地质作用及其所带来的地质灾害都会直接影响到工程的安全乃至人民生命财产的安全。因此,在现阶段的工程建设中对上述不良地质作用和地质灾害的监测已经是不可缺少的工作。

不良地质作用和地质灾害监测的目的:一是正确判定、评价已有不良地质作用和地质灾害的危害性,监视其对环境、建筑物和对人民财产的影响,对灾害的发生进行预报;二是为防治灾害提供科学依据;三是预测灾害发生及发展趋势和检验整治后的效果,为今后的防治、预测提供经验教训。

根据不同的不良地质作用和地质灾害的情况开展的地质灾害监测内容应包括以下几个方面。

(1) 应进行不良地质作用和地质灾害监测的情况是:①场地及其附近有不良地质作用或地质灾害,并可能危及工程的安全或正常使用时;②工程建设和运行,可能加速不良地质作用的发展或引发地质灾害时;③工程建设和运行,对附近环境可能产生显著不良影响时。

(2) 岩溶土洞发育区应着重监测的内容是:①地面变形;

②地下水位的动态变化;③场区及其附近的抽水情况;④地下水水位变化对土洞发育和塌陷发生的影响。

(3) 滑坡监测应包括下列内容:①滑坡体的位移;②滑面位置及错动;③滑坡裂缝的发生和发展;④滑坡体内外地下水位、流向、泉水流量和滑带孔隙水压力;⑤支挡结构及其他工程设施的位移、变形、裂缝的发生和发展。

(4) 当需判定崩塌剥离体或危岩的稳定性时,应对张裂缝进行监测。对可能造成较大危害的崩塌,应进行系统监测,并根据监测结果对可能发生崩塌的时间、规模、塌落方向和途径、影响范围等做出预报。

(5) 对现采空区,应进行地表移动和建筑物变形的观测,并应符合:①观测线宜平行和垂直矿层走向布置,其长度应超过移动盆地的范围;②观测点的间距可根据开采深度确定,并大致相等;③观测周期应根据地表变形速度和开采深度确定。

(6) 因城市或工业区抽水而引起区域性地面沉降,应进行区域性的地面沉降监测,监测要求和方法应按有关标准进行。

## 2 地下水的监测

当建筑场地内有地下水存在时,地下水的水位变化及其腐蚀性(侵蚀性)和渗流破坏等不良地质作用,对工程的稳定性、施工及正常使用都能产生严重的不利影响,必须予以重视。当地下水水位在建筑物基础底面以下压缩层范围内上升时,水浸湿和软化岩土,从而使地基土的强度降低,压缩性增大。尤其是对结构不稳定的岩土,这种现象更为严重,能导致建筑物的严重变形与破坏。当地下水在压缩层范围内下降时,则增加地基土的自重应力,引起基础的附加沉降。

在建筑工程施工中遇到地下水时,会增加施工难度。如需处理地下水,或降低地下水位,工期和造价必将受到影响。如基坑开挖时遇含水层,有可能会发生涌水涌沙事故,延长工期,直接影响经济指标。因此,在开挖基坑(槽)时,应预先做好排水工作。这样,可以减少或避免地下水的影响。

周围环境的改变,将会引起地下水位的变化,从而可能产生渗流破坏、基坑突涌、冻胀等不良地质作用,其中以渗流破坏最为常见。渗流破坏系指土(岩)体在地下水渗流的作用下其颗粒发生移动,或颗粒成分及土的结构发生改变的现象。渗流破坏的发生及形式不仅决定于渗透水流动力学的



大小,同时与土的颗粒级配、密度及透水性等条件有关,而对其影响最大的是地下水的动水压力<sup>[4]</sup>。

对于地下水监测,不同于水文地质学中的“长期观测”。因观测是针对地下水的天然水位、水质和水量的时间变化规律的观测,一般仅提供动态观测资料。而监测则不仅仅是观测,还要根据观测资料提出问题,制定处理方案和措施。

当地下水水位变化影响到建筑工程的稳定时,需对地下水进行监测。

### 2.1 对地下水实施监测的情况

对地下水实施监测的情况有:地下水水位升降影响岩土稳定时;地下水水位上升产生浮托力,对地下室或地下构筑物的防潮、防水或稳定性产生较大影响时;施工降水对拟建工程或相邻工程有较大影响时;施工或环境条件改变,造成的孔隙水压力、地下水压力变化,对工程设计或施工有较大影响时;地下水位的下降造成区域性地面下沉时;地下水位的升降可能使岩土产生软化、湿陷、胀缩时;需要进行污染物运移对环境影响的评价时。

### 2.2 监测工作的布置

应根据监测目的、场地条件、工程要求和水位地质条件决定监测工作的布置。地下水监测方法应符合下列规定。

(1) 地下水位的监测,可设置专门的地下水水位观测孔,或利用水井、泉等进行。

(2) 孔隙水压力、地下水压力的监测,可采用孔隙水压力计、测压计进行。

(3) 用化学分析法监测水质时,采样次数每年不应少于4次,并进行相关项目的分析。

(4) 动态监测时间不应少于一个水文年。

(5) 当孔隙水压力变化影响工程安全时,应在孔隙水压力降至安全值后方可停止监测。

(6) 受地下水浮托力的工程,地下水压力监测应进行至工程荷载大于浮托力后方可停止监测。

### 2.3 地下水的监测布置及内容

根据岩土体的性状和工程类型,对于地下水压力(水位)和水质的监测,一般顺延地下水流向布置观测线。在水位变化较大的地段、上层滞水或裂隙水变化聚集地带,都应布置观测孔。基坑开挖工程降水的监测孔应垂直基坑长边布置观测线,其深度应达到基础施工的最大降水深度以下1m处。

地下水监测的内容包括:地下水位的升降、变化幅度及其与地表水、大气降水的关系,工程降水对地质环境及建筑物的影响深基础、地下洞室、斜坡、岸边工程施工对软土地基孔隙水压力和地下水压力的观测监控,管涌和流土现象对动水压力的监测,通过评价地下水对建筑工程侵蚀性和腐蚀性而对地下水水质的监测等。

### 参考文献

- [1] 关键超,韦少典.柳州市静兰大桥改建工程地质勘察及监测[J].城市勘测,2012(06):163-167.
- [2] 魏彪,王开成,冯鹏,等.测氦技术的工程地质应用及其在三峡库区滑坡监测中的应用展望[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2003,22(s1):117-120.
- [3] 杨林德,潘洪科,王志义.复杂工程地质条件下公路隧道开挖及其监控量测[J].公路工程,2006,31(3):1-5.
- [4] 张学礼,徐乐昌.地浸采铀地下水污染防治措施探讨[J].中国人口资源与环境,2015(S2):360-364.

# Comparison of Advantages of UAV Photogrammetry System in Land Survey

Maoguan Zhang

Fujian Provincial Land and Resources Survey and Planning Institute, Fuzhou, Fujian 350003, China

## Abstract

With the continuous progress of science and technology, UAV tilt photogrammetry technology has played a positive role in a series of land survey. This paper analyzes the application of UAV tilt photogrammetry technology in China's land survey, and expounds the advantages of UAV Photogrammetry System in land survey, so as to further strengthen the application of UAV technology in China's land survey.

## Keywords

UAV photogrammetry; land survey; advantages

# 无人机摄影测量系统在土地调查中的优势比较

章茂观

福建省国土资源勘测规划院, 中国·福建 福州 350003

## 摘要

随着科技的不断进步, 无人机倾斜摄影测量技术在系列国土调查工作中发挥了积极效应。论文对无人机倾斜摄影测量技术在中国系列国土调查工作中的应用进行具体分析, 阐述了无人机摄影测量系统在土地调查中的优势, 以期进一步加强无人机技术在中国所开展的国土调查工作中的应用。

## 关键词

无人机摄影测量; 土地调查; 优势

## 1 引言

土地调查是国家为全面摸清中国土地的面积、地类及地类范围、土地等级、位置分布、使用状况、归属情况, 掌握真实的土地资源信息数据, 为国家决策提供重要的土地基础信息数据, 是进行土地评价、土地管理的基础性工作, 在以往的土地调查中, 技术手段相对落后, 基础资料不齐全, 调查周期较长, 社会的发展变化较大, 因此土地调查成果的现实性较差, 近年来, 伴随着航空摄影测量、RS、GPS、GIS、3S 集成及网络等技术手段的发展, 土地调查也逐渐采用新技术、新方法进行, 在 2007 年开展的全国第二次土地调查中, 统一采用国家下发的遥感卫星影像作为外业调查的工作底图, 但是对于小范围、大比例尺、工期紧的土地调查而言, 由于受卫星影像分辨率、卫星影像数据格式、轨道参数等因素的影响, 获取到满足于成图所需的高分辨率卫星遥感影像的周期较长, 同样, 利用大飞机航测具有航摄成本高、空域协调

难度大、起飞场地要求苛刻等弊端, 也不适合小面积、大比例尺区域测图, 而无人机成本较低、机动灵活、受天气影响较小, 飞行高度低, 影像分辨率高, 在小面积、大比例尺、工期紧的土地调查中, 优势比较明显。

## 2 土地利用现状调查

土地利用现状调查的主要工作是对每一块土地的位置坐落、图斑界线、图斑面积、土地利用地类、用地性质等进行调查。为保证图、数、实地一致, 一般采用综合调绘法进行, 即内业通过影像数据进行解译、外业逐地块核实的办法, 在小范围、大比例尺的土地调查中, 采用无人机航空摄影制作调查工作底图, 内业影像解译与外业实地核实相结合的方法进行<sup>[1]</sup>。

### 2.1 调查种类

#### 2.1.1 线状地物调查

线状地物主要包括道路、公路、铁路、沟渠、田埂等,

根据线状地物实际宽度,按照规范要求画成单线或图斑形式。

### 2.1.2 图斑调查

初次对数字正射影像图进行内业判绘,根据影像形状、色调等解译标志区分不同地类及图斑界线,并标出地类及图斑界线,外业对内业解译成果进行实地核实。

### 2.1.3 基本农田调查

收集已有的基本农田划定资料,并对其利用现状及变化情况进行实地调查,将最新的基本农田保护图块与最新的土地利用现状图相互叠加,确定基本农田保护图斑,并对其坐落、范围及分布状况、保护责任人等信息进行核实,是否与基本农田调整资料相一致。

## 2.2 实地核实测量

内业判绘完成后,调查人员对内业判绘成果进行外业实地核实,主要包含图斑范围的核实、变化地物更新、新增地物补测、利用类型确认,并对所有核实结果数据进行整理等。

### 2.2.1 图斑核实确认

根据内业解译成果,对图斑的界线范围及地类类型进行外业核实,对内业已确定、直接标绘在图上的图斑界线和地类,外业进行核实确认,调绘结果和内业解译结果一致时,直接采用内业解译成果,对内业不能准确判定的图斑界线和地类,在外业实地调绘上图。

### 2.2.2 变化地物更新、新增地物补测

根据地物的相对位置关系及方位,对变化的地物进行实地更新,或采用仪器设备进行实地采集,新增地物可采用全站仪或 GPS-RTK 等仪器设备进行全野外实地补测。

### 2.2.3 数据整理

在外业调查结束后,对调查底图进行整理,并将所有的调查成果标注在调查底图上,填写补测地物等相关表格<sup>[9]</sup>。

## 3 土地权属调查和条件调查

### 3.1 土地权属调查

在中国所有权和使用权是土地权属的两种方式。这些权限在一般情况下是统一的,但在特定情况下也可以是分离的,即土地所有权和使用权分离。

农村土地的土地权属状况一般是由建设用地使用权、宅基地使用权和农村集体土地所有权来体现,而经营权是在所有权范围内进行调查登记,在调查底图上进行权属调查,主要包

括以下几个方面。

### 3.1.1 权属调查内容

土地权属调查主要是对某块土地的权利人、面积、界址、四至、坐落、界线等相关信息,进行所有权、使用权或经营权状况调查。

### 3.1.2 土地权属调查方法

权属调查以行政村为基本单元,对整个乡镇行政区域内的所有集体土地或建设用地的权属界线进行调查和核实。

土地权属调查应由国土资源管理部门组织展开,由权属单位授权委托代表和权属调查员参与配合。

## 3.2 土地条件调查

土地条件调查是对影响土地利用状况的自然与社会经济属性相关的内容进行调查<sup>[9]</sup>。

土地调查完成后,按照国家规定的数据库标准,对土地调查成果进行数据库,建立国家、省、市(地区)、县四级数据库,并对各级数据库成果进行逐级汇总,建成集调查底图、矢量数据、簿册等内容为一体的土地调查数据库,为每年度的土地变更调查、土地资源信息评估、土地利用总体规划、建设用地审批等提供基础数据。

## 4 土地调查方法

土地调查方法有很多,主要有传统的以地形图、航片等为基础的野外测绘调查方法和以 3S 技术为支撑的遥感调查方法,随着技术的发展,常规调查手段的落后,土地调查已逐渐由原先的传统测量方法向现代高科技方式转变。

### 4.1 常规土地调查方法

常规的土地调查方法主要是以已有的地形图、航片、卫片等为工作底图,进行外业调查、内业数据整理、面积量算等,对土地利用状况进行调查,遥感影像获取方便,但是由于受当时的技术影响,所得到的影像分辨率并不能满足土地调查的需要,在大多数情况下,仍然由调查人员拿着调查底图去野外进行实地调查、室内进行内业整理。

### 4.1.1 外业调绘

外业调绘是土地利用现状调查工作的核心部分,它是已有的地形图资料、航片或卫片为调绘工作底图,依据外业调查规程和土地利用分类方法,对各类地物、新增地物进行勾绘、整饰,新增地物部分采用实际测量进行补测,对于形

状规则、附近易找到明显地物点,可以直接采用距离交会法、截距法等直接绘制新增地物,对于形状不规则、附近没有明显参照物的新增地物,则采取全站仪等仪器设备进行补测,将变更图斑补测至调查底图上<sup>[4]</sup>。

#### 4.1.2 内业数据处理

将外业调查底图数字化处理,经过纠正、配准,将数字化的外业调查底图进行投影配置,使其坐标系统、比例尺等与已有的地形图保持一致,对调查底图矢量化处理。

#### 4.1.3 面积量算

面积量算包括图斑面积量算、线状地物面积量算、田坎系数扣除以及其他的零星地物扣除等,并对各类面积汇总统计,图斑面积量算是面积汇总的基础,其量算原则是以图幅为基本控制、分幅进行量算、按面积比例平差、自下而上逐级汇总。

#### 4.1.4 土地利用现状图绘制

依据土地利用图的编制要求,按照标准图幅或按乡镇编制土地利用现状图。

由于调查手段的落后,调查底图的获取时间较长,传统的土地调查方法外业工作量较大,作业效率低,耗时较长,并且面积量算误差较大,同时每年的地物都在变化,调查的最终成果无法准确表示土地利用的现状,传统的土地调查方法无法提供及时准确的数据信息。

### 4.2 航空摄影测量方法

航空摄影测量的调查方法主要是以航空摄影的方式获取原始影像,通过有人机搭载数字航摄影仪,获取原始数字影像,通过外业像片控制测量、空三加密、制作数字正射影像图,通过叠加行政界线、基本农田等信息制作调查用工作底图,室内直接对正射影像进行解译,依据影像将能够确认的地物要素用不同的线化、颜色、符号注记等形式表现在形式上,室内不能判绘或判绘不清的地物,在室内用特殊的符号标识出来,然后到实地对内业标绘的地物要素内容逐一进行核实、补调和补测。与传统的土地调查方法相比,航空摄影方式进行土地调查,极大地减少了外业工作量,提高了劳动效率,缩短了作业工期,降低了生产成本,但是,航空摄影对天气条件要求较高,空域申请审批手续烦琐、机场使用申请麻烦、作业成本相对较高。

### 4.3 无人机摄影测量方法

随着无人机硬件技术及后处理设备的发展,无人机以其

独特的优势逐渐被应用到土地调查中来,与有人机航空摄影相比,数据的获取手段不同,而后期的数据处理基本一致。无人机用于土地调查的方法,主要是采用无人机搭载航摄影仪对任务区进行航空摄影,通过后期的相片控制测量,空三加密,立体采集地物界线、图斑界线、同时制作数字正射影像图,通过叠加行政界线、基本农田、矢量数据等信息制作调查用工作底图,采用室内外综合调绘法进行像片调绘,室内进行数字正射影像解译,将室内能够判读清楚的地类直接标绘在调查底图上,室内判读不清或无法判读的进行室外实地调查,核实和补测。与有人机相比,无人机机动灵活,对天气条件、起降场地要求较低,无须使用机场,一天可飞行多个架次,同时无人机飞行较低,获取的数字影像精度较高,影像清晰,判读准确率高。

### 4.4 三种方法比较

以无人机作为遥感平台的低空航空摄影测量,相对于有人机和卫星遥感,拥有以下优势:

#### 4.4.1 机动灵活,反应迅速

无人机体积小,便于携带运输,车载系统能够短时间内到达指定区域,受天气、空域、机场条件及地理条件影响小,而且无人机的起飞并不需要专业的机场跑道,在空地、草地等多种地理环境中均能实现快速起飞,可进行弹射起飞,通过降落伞及滑翔方式落回指定地面,可实时的获取准确的遥感影像资料,制作的调查底图数据时效性强、准确度高。无人机航空摄影根据地面分辨率设置飞行高度,相比有人机航摄影,飞行高度更低,飞行审批手续简单易办,受天气状况影响较小,无须使用专用机场起降,对起降场地要求低,在极其复杂的环境条件均可起飞,同时可以拆卸装箱,携带比较方便,可迅速到达测区,对于小面积、大比例尺、工期紧的测绘区域优势较为明显。

#### 4.4.2 作业效率高

无人机航空摄影受地形因素影响较小,可快速进入山区、高山区域等各种复杂地域进行航空摄影,同时受天气的影响较小,机动灵活,一天可飞行多个架次,有效拍摄时间长,覆盖范围较大,工作效率高。

#### 4.4.3 获取的遥感影像数据分辨率较高,精度较高

无人机航空摄影可根据调查底图需要的影像分辨率设定飞行高度,因此影像分辨率足以满足调查底图的精度需求,



利用无人机航空摄影手段获得的影像制作调查底图,田境清晰,地块分界明显,地类清晰,特殊地物清晰可见,内业解译速度快,精度高,准确率高,因此可以大大减少外业工作人员的工作量。无人机航空摄影测量技术可获得0.03米~0.5米分辨率遥感影像,而且无人机可携带不同类型的遥感设备,获得多分辨率、多光谱、不同时间段的影像数据。无人机携带的数码设备覆盖范围广,可搭载普通相机实现垂直成像,搭载两镜头或五镜头倾斜相机实现倾斜成像,制作三维模型,获得的影像分辨率精细到以厘米计算,可制作多种基础地理信息数字成果,如大比例尺数字线划图(DLG)、高精度的数字高程模型(DEM)、高分辨率数字正射影像(DOM)等。

#### 4.4.4 制作成本低,安全性高认可度高

采用无人机航空摄影方式获得的原始数字影像,具有分辨率高、工期短的特点,以此为基础制作完成的调查工作底图,影像的时效性更强,地块和田埋、道路、沟渠等轮廓清晰可辨,

权属界线走向明显,认可度较高,纠纷较少。

综合比较,与大飞机拍摄平台及卫星遥感技术相比,无人机拥有非常独特的优势,然而其仍有不足之处,如无人机的操作控制受复杂的地理环境影响较大,如果遇到大雨、大雪、大雾、大风等极端恶劣的天气,同样也是不适宜无人机航空摄影作业进行的。

#### 参考文献

- [1] 雷瑜,周吾珍.浅析无人机倾斜摄影测量技术在国土调查中的应用前景[J].资源与人居环境,2019(007):11-13.
- [2] 郑辉.浅谈无人机倾斜摄影测量技术在国土调查中的应用[J].门窗,2019(19):51-53.
- [3] 张昊,尚阳.无人机倾斜摄影测量技术在国土调查中的应用前景[J].科技创新导报,2020,017(001):40-41.
- [4] 邵龙,李芳林,李沛.无人机摄影测量技术在农村地籍调查中的应用研究[J].中国科技纵横,2017,000(016):245-246.

# Analysis on Consumer-grade UAV Tilt Photography Aerial Triangulation and 3D Model Accuracy

Mengda Li

Surveying and Mapping Institute of Linyi Natural Resources and Planning Bureau, Linyi, Shandong, 276000, China

## Abstract

With the advancement of digital cities, three-dimensional digital cities have become an important means of urban planning and urban management. They provide early warning of the future form of the city, complete the dynamic simulation of urban disasters and emergencies, and obtain scientific basis for the adjustment of urban planning plans. Planning is more forward-looking, and the demand for three-dimensional urban models is increasing. In recent years, the development of drone oblique photogrammetry technology has changed the limitation of traditional aerial photogrammetry to perceive ground objects from a single angle. Sensors equipped with multiple cameras at different angles can acquire all-round image information of ground objects, and construct real urban scenes quickly and efficiently. Three-dimensional model. However, compared with oblique photography based on consumer-grade drones, it is recognized by the public because of its convenient operation, light weight, low cost, and no need to apply for airspace. Using it as a platform for oblique cameras to observe the earth, there is little research on the accuracy of results based on consumer-grade drone tilt photogrammetry technology. Therefore, the dissertation focuses on the aerial triangulation of consumer drone tilt photography and the accuracy of the 3D model.

## Keywords

UAV tilt photography; triangulation; three-dimensional model; accuracy analysis

## 消费级无人机倾斜摄影空中三角测量及三维模型精度分析

李孟达

临沂市自然资源和规划局测绘院, 中国·山东 临沂 276000

### 摘要

随着数字化城市推进, 三维数字城市开始成为城市规划和城市管理重要手段, 对城市的未来形态进行预警, 完成城市灾害事件和突发事件的动态模拟, 获得城市规划方案调整的科学依据, 使城市规划更具前瞻性, 城市三维模型的需求越来越大。近些年, 无人机倾斜摄影测量技术的发展, 改变了传统航空摄影测量单一角度感知地物的局限, 搭载多个不同角度相机的传感器获取地物全方位影像信息, 快速高效的构建城市实景三维模型。然而与基于消费级无人机倾斜摄影相比, 因其操作方便、质量轻、成本低、无需申请空域等特点得到大众认可。将其作为倾斜相机对地观测的平台, 基于消费级无人机倾斜摄影测量技术在成果精度方面研究很少。因此, 论文围绕消费级无人机倾斜摄影空中三角测量及三维模型精度进行论述。

### 关键词

无人机倾斜摄影; 三角测量; 三维模型; 精度分析

## 1 消费级无人机倾斜摄影测量空中三角测量精度分析

### 1.1 空中三角测量简介

解析空中三角测量是利用少量控制点解求大量地面控制点(定向点), 提高工作效率, 减少外业工作量而提出来的方法。在平差过程中观测值是控制点和待定点的像点坐标, 最终需要解求待定点的测量坐标以及相片的外方位元素。随着数字图像处理技术的发展, 摆脱了传统需要人工在影像上选取待定点的相片坐标的局限性。通过特征点检测算子便可以得到

影像覆盖区域的稀疏点云数据。

控制点: 解析空中三角测量布设的地面控制点, 需要实地测量外业坐标。

定向点: 单模型绝对定向时的控制点, 一般是通过解析空中三角测量加密得到测量坐标。

待定点: 需要通过解析空中三角测量计算测量坐标的加密点, 一般是单模型的定向点。

模型点: 是上述三种点的统称, 指需要测量像点坐标的控制点、待定点通过一系列的解析空三过程计算出地面摄影测量坐标的点。

独立模型法区域网空中三角测量的基本思想是：把整个测区分成若干个小区域，每一个区域视为刚体，利用区域间连接点做平移、缩放、旋转变换，合并各区域变成整体区域。

光束法区域网空中三角测量的基本思想：摄影中心、像点、物点所组成的光束线为平差的基本单元，使用中心投影共线方程进行平差。在空间中旋转、平移各个光束线，以达到最佳交会。利用外业控制点使区域网具有真实的地理坐标。

## 1.2 倾斜摄影测量空中三角测量精度评估方法

空中三角测量的精度分析可以从以下方面分析：

(1) 理论精度：将加密点坐标改正数看作一个随机误差，通过最小二乘平差的函数关系和谐方差传播计算坐标改正数看作一个随机误差，通过最小二乘平差中的函数关系和谐方差传播定律计算坐标改正数的方差矩阵，从而得到平差精度。

实际精度：利用外业实测地面控制点作为真实坐标，真实坐标值与平差坐标值进行差值运算，求得的中差值作为真误差。

## 1.3 倾斜影像、下视影像、多视影像空中三角测量精度对比

在相同测区、相同的控制点数量、相同控制点的布设方式下，以4、6、8、10、12、13、15、18、22个数量控制点分别参与倾斜相片（四个倾斜相机拍摄得的影像）、下视相片（下视相机所拍摄得到的影像）、多视相片（包括四倾斜相机和一个下视相机所拍摄得到的影像）空中三角测量加密解算当中，外业测量40个点作为检查点，与模型相应量测点进行精度评估。可以得到以下结论：

(1) 实验结果表明，下视影像空中三角测量平面中误差最大为0.0933m，高程中误差最大为0.0264m，多视影像空中三角测量平面最大误差最大为0.07504m，高程中误差最大为0.0078m，均满足空中三角测量加密成果规范中的相应比例尺精度的要求。

(2) 相比而言，倾斜影像误差比较大，主要是因相片倾斜引起像点位移造成的。

(3) 相同测区、相同控制点数量、相同布设方式下，与多视影像空中三角测量精度相比，不论是平面中误差、高程中误差，下视影像的误差都要大。

(4) 控制点参与数量的增多，下视影像的平面中误差、高程中误差会降低；多视影像的空中三角测量的平面中误差、

高程中误差小幅度降低，但相对不明显。

## 1.4 相同传感器，高差不同测区（平坦测区北京建筑大学校园与高差较大测区北京房山区大安山）精度对比

为了探索消费级无人机搭载轻型便捷的倾斜相机进行摄影测量的可行性和可靠性，以4个、6个、8个、10个、12个控制点分别在两个高差不同测区参与空中三角测量加密解算，在北京建筑大学校园测区量测30个具有明显特征的地面检查点，在北京市房山区大安山测区量取12地面检查点，并利用GPSRTK进行坐标采集然后分别与影像上对应点的量测坐标进行对比，计算平面中误差、高程中误差。可以得到以下结论：

(1) 针对平面中误差和高程中误差，地势高差大测区的到要比地势平坦测区相对较大，主要是高差较大的测区，造成因地形起伏引起的像点位移，测区内植被干扰也会产生一定误差；

(2) 地势平坦测区的平面、高程中误差均有所降低但不是很明显；地势高差较大的测区高程中误差明显降低。

## 1.5 探讨消费级无人机搭载五镜头相机航测布设控制点的原则

目前消费级无人机搭载轻型便捷的五镜头倾斜相机获取的数据运用于倾斜摄影空中三角测量，尚存在一些技术难点需要改进和完善。

与传统的航空摄影获取的影像相比，消费级无人机航测获取的影像像幅小，影像数据量大，易受恶劣条件影响，航向、旁向重叠度不规则，航向倾角、旁向倾角、相片旋角大等。无人机搭载倾斜相机进行数据采集，一般航向重叠度在80%，旁向重叠度在70%~80%，根据影像覆盖密度图明显看出，相比测区中间区域，影像覆盖度的四周边缘是比较薄弱的。而测区中间的地物点可达几十张影像所捕获，所限制的条件很多，重叠度高、精度高而且均匀，故需要加强测区边角的控制，分析在满足精度的条件下，尽量减少控制点的布设数量，有效提高工作效率。

在控制点分布对消费级无人机航测空中三角测量精度影响的研究中，根据无人机获取的影像特点及整个场景覆盖特点，实验采用六种控制点布设方案，进行空中三角测量加密及成果精度的评估对比<sup>[1]</sup>。

六种不同的控制点布设参与空中三角测量解算后,对其相应的空中三角测量精度进行统计,利用中误差计算公式评定模型平面、高程位置精度,依据中华人民共和国国家标准里的《数字航空摄影测量——空中三角测量规范》中规定的空中三角加密成果,计算中误差值来评定消费级无人机搭载轻型便捷的五镜头倾斜相机进行倾斜摄影测量的空中三角测量的加密解算精度。

(1) 六种布设方案参与空中三角测量解算结果中平面、高程中误差均满足《数字航空摄影测量——空中三角测量规范》中相关比例尺的精度要求。

(2) 六种方案中,采用区域网均匀布设、四角点组布设方案结果精度高。

(3) 只在区域四角布设平高控制点,虽然控制了整个测区,但相比较而言精度太低。在受灾或人员无法到达测区,使用四角点组布设方式,是非常合适的。

(4) 根据点组布设与单点布设方案实验比较,点组布设比单点布设其精度有着明显的提高。

论文主要进行了在相同的测区,相同的控制点数量、相同的布设方式对倾斜影像、下视影像、多视影像的空中三角测量精度对比分析;对高差不同测区的空中三角测量的精度进行评价;根据消费级无人机搭载轻型便捷倾斜相机航测的特点及获取数据质量的特点及影像密度覆盖图,提出增强边角控制的控制点布设方案,进行空中三角测量解算并精度评估。

## 2 倾斜摄影测量三维模型单体建筑物立面细节精度评价

以 FARO 扫描仪获取的点云数据为基础,利用计算机手工辅助建模技术构建的三维模型作为标准模型,评价实景三维模型场景中的单体建筑物模型的细部结构的精度,为采用倾斜摄影测量生产高精度、精细化的三维模型产品提供相应实践指导<sup>[2]</sup>。

### 2.1 实景三维中综合楼模型数据规则立面细节精度评价

以北京建筑大学侧面为例进行规则立面的细部结构精度分析。

使用区域网均匀布设四角点组布设加密边角控制的19个控制点参与空中三角测量解算成果引入建模中,通

过倾斜摄影技术生成 OBJ 格式实景三维模型。生成的三维场景共由 113 个瓦片构成。生成的综合楼瓦片数据在 Tile\_+004\_+003>Tile\_+004\_+004 两个文件夹里,把数据导入 3smax 软件里,OBJ 数据中除了研究区以外的多余的图形要素需要删除,只保留综合楼整体数据,提取综合楼侧面规整面数据,通过 MATLAB 软件下写出的 objdis.m 程序分别读取综合楼整体模型、综合楼侧面模型的三维数据并显示。

以点云数据为基础,3dMAX 手工绘制的标准三维模型建模范围与倾斜摄影生成的场景三维模型中单体面模型保持一致,坐标需统一,进行对比分析。

建筑物细节精度分析。消费级无人机倾斜摄影技术生成的模型与计算机构建的模型作对比,进行细节精度评价。任何物体都是由点、线、面构成,点与点之间可以连接成一条直线,点、线可以构成立体。无数多个三角面片构成模型数据,每个三角面片都有三个顶点,且具有坐标信息。综合楼的标准模型和倾斜摄影方式获取的模型中 X 方向指的是综合楼正面的南北方向,范围从 4399721.60m~4399789.32m, Y 方向指的是综合楼侧面东西方向,范围从 438265.41 m ~438306.37 m, Z 方向指的是综合楼高程,范围是从 32.97 m ~56.78 m, X 方向指的是综合楼侧面的平整度,如窗户的深度用 X 值表示,在 X 方向上有变形和扭曲现象,因此需要从倾斜摄影生成三维场景中综合楼侧面规整立面上读取 X 方向值的细节坐标与标准模型上的 X 值做相减分析。获取模型点的坐标方式通过 ObtainsanweimoxingXYZ.m 程序。Z 方向从最低开始,在 Y 方向从最小值开始记录每隔十厘米的位置上的 X 方向值, Z 方向每隔十厘米迭代,再记录 Y 方向从最小值到最大值每隔十厘米位置上的 X 方向值, Z 增加到最大,迭代终止。所有获取的 X 值都存放在表格文档中。每行总共记录 409 个点的 X 值,总共 238 行。分别总共获取 409\*238 个点的 X 值,保存到文档表格中。

通过 Arcgis 软件,分别加载标准模型与倾斜模型上获取的 409\*238 个同名点的 X 方向值,分别构建相应 TIN 模型。

综合以上可知:

第一,从标准模型和倾斜摄影模型上分别获取 409\*238 个同名点,同名点的 X 方向值相减后计算中误差,得到综合楼侧面的总体误差是 1.832095 米。

第二,通过 ObtainsanweimoxingXYZ.m 分别读取 TIN 一与 TIN 二模型上 Z 值为 35.86、44.38、50.15 固定时相同位置



的点 X 方向坐标,通过绘制 X 方向值的折线对比图分析误差,总结造成的原因。

东西方向对比:

(1) 当  $Z=35.86$  固定时,东西方向(Y方向)每隔 10cm,读取南北方向(X方向)一个值,分别在标准 TIN 一与倾斜摄影 TIN 二上获取 379 值,得到 X 值对比图。

(2) 当  $Z=44.38$  固定时,东西方向(Y方向)每隔 10cm,读取南北方向(X方向)一个值,分别在标准 TIN 一与倾斜摄影 TIN 二上获取 379 值,得到 X 值对比图。

(3) 当  $Z=50.15$  固定时,东西方向(Y方向)每隔 10cm,读取南北方向(X方向)一个值,分别在标准 TIN 一与倾斜摄影 TIN 二上获取 379 值,得到 X 值对比图。

因此,我们可以得出这样的结论: $Z=35.86$  固定时, X 值对比图通过误差值计算得到 0.6873804 m;  $Z=44.38$  固定时, X 值对比图通过误差值计算得到 0.5354832 m;  $Z=50.15$  固定时, X 值对比图通过误差值计算得到 0.9526723 m。

第三,通过 ObtainsanweimoxingXYZ.m 程序分别读取 TIN 一与 TIN 二模型上 Y 值为 438277.63、4383292.35、438303.39 固定时相同位置的点 X 方向坐标,通过绘制 X 方向值的折线对比图分析误差,总结造成的原因。

高度方向的对比:

(1) 当  $Y=438277.63$  固定时,高度方向(Z方向)每隔 10cm,读取南北方向(X方向)一个值,分别在标准 TIN 一与倾斜摄影 TIN 二上获取 1 万个值,得到 X 值对比图。

(2) 当  $Y=438292.35$  固定时,高度方向(Z方向)每隔 10cm,读取南北方向(X方向)一个值,分别在标准 TIN 一与倾斜摄影 TIN 二上获取 1 万个值,得到 X 值对比图。

(3) 当  $Y=438292.35$  固定时,高度方向(Z方向)每隔 10cm,读取南北方向(X方向)一个值,分别在标准 TIN 一与倾斜摄影 TIN 二上获取 1 万个值,得到 X 值对比图。

因此,我们可以得出这样的结论: $Y=438277.63$  固定时, X 值对比图通过误差值计算得到 0.5692049 m;  $Y=438292.35$  固定时, X 值对比图通过误差值计算得到 0.4892704 m;  $Y=438292.35$  固定时, X 值对比图通过误差值计算得到 0.5595927 m。

位于屋檐处下方小范围模型变形大。除屋檐处下方,小范围模型变形大外,高程值越高,立面模型的建模效果越好。建筑物局部区域点云缺失,倾斜摄影三维重建系统会根据周

边点云,自动补充三角网,产生严重变形,其误差值大<sup>[3]</sup>。

## 2.2 北京建筑大学大兴校区实景三维中综合楼模型数据不规则面细节精度评价

以北京建筑大学正面为例进行不规则面特征的细部结构精度分析。该模型在 Tile+004+003、Tile+004+004 的两个文件夹里。

OBJ 数据中除了研究区以外的多余的图形要素需要删除,只保留综合楼整体数据,综合楼正面不规整面数据。

以点云数据为基础,3dmax 手工绘制的标准立面三维模型与倾斜摄影生成的三维场景中综合楼正面规整面模型的坐标系建模范围需要保持一致,便于后续分析。利用上述方法采用计算机辅助建模技术生成标准综合楼不规整面模型数据。

通过 MATLAB 软件下写出的 objdis.m 程序分别读取综合楼整体模型、综合楼侧面模型的三维数据并显示。

建筑物细节精度分析。消费级无人机倾斜摄影技术构建的模型和计算机构建模型作对比,精度分析。通过上面在 MATLAB 显示的单体模型可知,综合楼正面不规整立面模型 X 方向的范围是 4399721.60 m ~4399789.32 m,总长度 67.72 m。Z 方向从 32.97 m ~56.78 m。ObtainsanweimoxingXYZ.m 程序实现读取模型点位坐标值。Z 方向从最低开始,在 X 方向从最小值开始记录每隔十厘米的位置上的 Y 方向值,Z 方向每隔十厘米迭代,再记录 X 方向从最小值到最大值每隔十厘米位置上的 Y 方向值,Z 方向值达到最大,迭代终止。所有获取的 Y 值都存放在表格文档中。每行共记录 677 个点的 Y 值,总共 238 行。分别总共获取 677\*238 个点的 Y 值,保存到表格文档中<sup>[4]</sup>。

通过 Arcgis 软件,分别加载标准模型与倾斜模型上获取的 677\*238 个同名点的 Y 方向值,分别构建相应标准 TIN 模型一图 and 倾斜摄影 TIN 模型二图。

综合以上可知:

第一,综合楼正面的标准模型数据和倾斜摄影模型上分别获取 677\*238 个同名点,对应同名点的 Y 方向值相减后计算中误差,得到综合楼正面总体中误差是 3.085742 米。

第二,通过 ObtainsanweimoxingXYZ.m 程序分别读取标准 TIN 一与倾斜摄影 TIN 二模型上 Z 值为 35.86、44.38、50.15 固定时相同位置点的 Y 方向坐标,通过绘制 Y 方向值的折线对比图分析误差,总结造成的原因。

南北方向的对比:

(1) 当  $Z=35.86$  固定时, 南北方向 ( $X$  方向) 每隔  $10\text{cm}$ , 读取东西方向 ( $Y$  方向) 一个值, 分别在标准 TIN 一与倾斜摄影 TIN 二上总共获取 6 个值, 绘制  $Y$  值对比图。

(2) 当  $Z=44.38$  固定时, 高度方向 ( $Z$  方向) 每隔  $10\text{cm}$ , 读取东西方向 ( $Y$  方向) 一个值, 分别在标准 TIN 一与倾斜摄影 TIN 二上总共获取 6 个值, 绘制  $Y$  值对比图。

(3) 当  $Z=50.15$  固定时, 高度方向 ( $Z$  方向) 每隔  $10\text{cm}$ , 读取东西方向 ( $Y$  方向) 一个值, 分别在标准 TIN 一与倾斜摄影 TIN 二上总共获取 6 个值, 绘制  $Y$  值对比图。

因此, 我们可以得出这样的结论:  $Z=35.86$  固定时,  $Y$  值对比图通过误差值计算得到  $1.7864042\text{ m}$ ;  $Z=44.38$  固定时,  $Y$  值对比图通过误差值计算得到  $1.3776798\text{ m}$ ;  $Z=50.15$  固定时,  $Y$  值对比图通过误差值计算得到  $2.0685433\text{ m}$ 。

由以上可知, 竖直面落差比较大的地方误差值大变形大, 屋檐与门厅柱地方严重变形, 甚至粘连一片分辨不出支撑柱与通行空间, 主要原因还是未获取足够多的细节数据, 可以从数据源头寻找解决方案<sup>[5]</sup>。

消费级无人倾斜摄影技术构建的三维场景模型中的单体

建筑物存在边缘扭曲变形、窗沿、门厅柱粘连等。通过两组实验数据对场景中单体建筑物的规则立面和不规则 (立面落差比较大) 立面细部结构的精度分析。结果表明: 规则立面的综合楼侧面的细部结构总体中误差是  $1.83209\text{m}$ 。立面落差比较大的综合楼正面的细部结构的总体中误差是  $3.085742\text{m}$ 。注意的是, 落差面比较大的区域误差比较大。

## 参考文献

- [1] 李欢. 低空无人机倾斜摄影测量成果精度研究 [J]. 甘肃科学学报, 2020(2):27-33.
- [2] 张尔严, 高珊珊. 基于无人机倾斜摄影测量的城市大比例尺地形图更新与修测 [J]. 测绘标准化, 2018,034(004):59-62.
- [3] 夏祖伟. 消费级无人机倾斜摄影测量测图应用 [J]. 河南水利与南水北调, 2019,48(04):63-64.
- [4] FU Zhujun. 无人机倾斜摄影在建筑物立体测量中的应用 [J]. 北京测绘, 2019(7):839-842.
- [5] 余忠迪, 李辉, 巴芳, 等. 基于消费级无人机的城市三维建模 %3D city model construction based on a consumer-grade UAV [J]. 国土资源遥感, 2018,030(002):67-72.

## About the Publisher

Synergy Publishing Pte. Ltd. (SP) is an international publisher of online, open access and scholarly peer-reviewed journals covering a wide range of academic disciplines including science, technology, medicine, engineering, education and social science. Reflecting the latest research from a broad sweep of subjects, our content is accessible worldwide – both in print and online.

SP aims to provide an analytics as well as platform for information exchange and discussion that help organizations and professionals in advancing society for the betterment of mankind. SP hopes to be indexed by well-known databases in order to expand its reach to the science community, and eventually grow to be a reputable publisher recognized by scholars and researchers around the world.

SP adopts the Open Journal Systems, see on <http://ojs.s-p.sg>

## Database Inclusion



Asia & Pacific Science  
Citation Index



Creative Commons



China National Knowledge  
Infrastructure



Google Scholar



Crossref



MyScienceWork



Tel: +65 65881289

E-mail: [contact@s-p.sg](mailto:contact@s-p.sg)

Website: [www.s-p.sg](http://www.s-p.sg)