

# 矿区大范围沉降区高精度快速监测技术研究

赵真真 禄占磊

河南省新郑煤电有限责任公司 河南 新郑 451184

**摘要：**目前，在煤矿生产和建设过程中，地面沉降区及对其所带来的各种安全隐患的监测已经被提到了很高的高度，特别是近几年来矿山地质环境恢复治理工程的开展，要求煤矿企业快速掌握沉降区高精度监测数据<sup>[1]</sup>。传统的方法依然是采用全站仪加水准仪进行碎步测量，这种方式对于大范围沉降区来使用，达到需要的精度和密度需要非常大的人力、物力和财力，效率十分低下。本文探讨利用航摄影像技术，使用数字摄影测量系统快速生成沉降区数字正射影像图（DOM）和数字表面模型（DSM），可以直观的了解当前沉降区的地貌特征，后期通过获取该地区不同时期航拍影像数据生成数字正射影像图（DOM）和数字表面模型（DSM），叠加处理分析从而获取该沉降区域的地物地貌变化情况变化量数据<sup>[1]</sup>。

**关键词：**大范围沉降区；航摄影像技术；数字正射影像

## 1 引言

在煤矿生产和建设过程中，工作面回采后所形成的塌陷区，特别是相邻工作面重复采动后形成的连片的大范围的沉降区，是煤矿安全生产的重大隐患，特别是近几年来矿山地质环境恢复治理工程的开展，要求煤矿企业快速掌握沉降区高精度的监测数据。当前，对于沉降区的监测主要采取以下几种技术：

（1）全站仪（水准仪配合）。该方案是地面沉降监测的主要方法，基于该方案的沉降监测系统主要有两种类型：1）数字测记模式（全站仪+电子手簿或人工记录数据，内业成图）；2）电子平板模式（全站仪+便携计算机或PDA个人数据助理，实地成图）。

（2）GPS+RTK数字测图技术。此方法完全与全站仪类似，利用RTK系统代替全站仪或与全站仪组合使用。

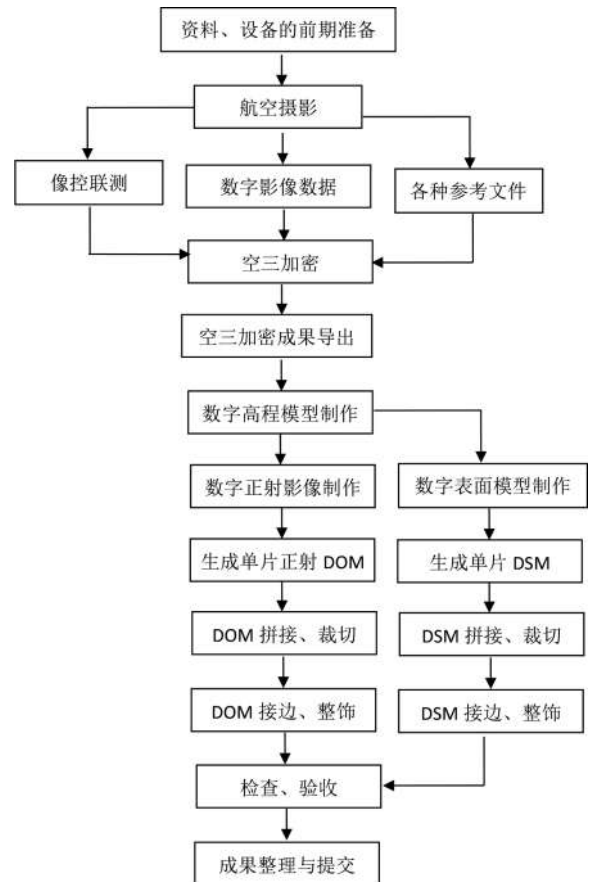
（3）数字摄影测量和遥感测图技术。利用航摄影像、遥感影像、机载激光雷达扫描系统LIDAR或使用轻型飞机摄取影像，使用数字摄影测量或遥感图像处理系统生产生成DOM（数字正射影像图）、DEM（数字高程模型）、DRG（数字栅格地图）、DLG（数字线划地图）以及复合模式组成。

本文针对新郑煤电公司采用无人机航拍更新地形图的案例，探讨利用航摄影像技术，快速生成沉降区数字正射影像图（DOM）和数字表面模型（DSM），直观的了解当前沉降区的地貌特征，后期通过获取该地区不同时期的影像数据进行叠加处理分析从而获取该沉降区的地貌变化情况。

## 2 前期收集资料，制定方案

新郑煤电公司井田东西长约13.5公里，南北宽约3.7

公里，GNSS控制网布设后，采用传统的全站仪进行碎步点测量采集数据，或者高精度RTK采集数据，都存在数据采集任务量巨大的问题，需要投入大量的人力、设备，工期较长，费用较高。综合考虑后我们选择了航摄影像技术进行数据采集，数字摄影测量系统分析处理方式完成。流程如下：



## 2.1 机型及飞行参数确定

本次拟投入航摄的旋翼无人机为飞马飞马D2000。该飞机性能优异，飞行速度适中，抗风性能优异，航摄效率较高。

2.1.1 航摄区划分。由于航摄区域地形平坦，依据大比例尺航空摄影相关规范，划分6个航摄分区即可满足成图精度要求。

2.1.2 飞行高度确定。使用无人机航飞，要求影像的地面分辨率（GSD）应在0.05米。根据无人机焦距25mm及像元尺寸，本次航高设定在155米。

2.1.3 航向、旁向重叠度确定。本次航飞为满足各类精度，设定航向重叠度为70%，旁向重叠度为70%。

## 2.2 航线及像控点布设

按照《低空数字航空摄影测量外业规范》、《1:500 1:1000 1:2000地形图航空摄影测量外业规范》等相关规范，布点方案采取平高区域网，其中像控点的位置考虑到航线分布进行适当调整，增加区域网周边和凸、凹转折处像控点的密度。按照要求，航向两相邻像片像控点间的跨度为46根基线，不超过规定的50根基线，旁向邻像片像控点间跨度为4-6条航线。

像控点布设在航向及旁向六片或五片重叠范围内，布设的像控点公用；位于自由图边的像控点，布设在图廓线4mm以外，成图满幅。航摄区域接合处，控制点布设在航线重叠接合处，邻区公用。当像主点或标准点位处于水域内，或被云影、阴影等覆盖，或无明显地物时，均视为点位落水。当落水范围的大小和位置尚不影响立体模型连接时，按正常航线布点；否则，按全野外布点方法布设。部分山地及森林茂密区域，像控点布设困难；当出现航向连续12条（含）以上或旁向连续3条（含）以上基线无法在像片标准点位找到合适的目标时，适当放宽了基线跨度要求。平高控制网的航线跨度、控制点间基线遵照规范要求。

2.2.1 像控点布设及编号。用道路标线直角和自制像控点方式，自制像控点用喷漆喷绘出不小于50cm×50cm大小的L型，采集L内角坐标。像控点按测区排列顺序统一编号，不得重号。

2.2.2 像控点测量。本次采集采用河南省统一的CORS系统，测量技术要求应符合相关规定。每个点位观测2个测回，取2个测回的平均值为最终成果。

## 3 外业作业

### 3.1 像控点测量及像控成果的检查

按照要求到野外进行像控点测量工作。整个任务区控制点布设均匀，布设的像控点均为平高点，整个区域

共施测71个像控点。

作业过程中，分3批次对像控成果进行检查，主要检查像控点的选点、点号书写和点位精度，每批挑选80%的点位进行外业检查，共检查像控点57个，平面中误差为： $\pm 0.015\text{m}$ ，选点、点号书写和点位精度均满足规范要求。

### 3.2 航空摄影工作

严格按照技术设计要求进行飞行。为了保证数据的质量，在航摄飞行中尽量保持飞机姿态的平稳，转弯半径要大，飞机倾斜角不得大于 $12^\circ$ ，以防止GPS信号失锁。飞行中还应注意以下几点：

（1）像片倾斜角：像片倾斜角一般不大于 $5^\circ$ ，最大不大于 $12^\circ$ ，出现超过 $8^\circ$ 的片数不多于总数的10%。

（2）像片旋偏角：旋偏角一般不大于 $15^\circ$ ，在确保像片航向和旁向重叠度满足要求的前提下，个别最大不超过 $30^\circ$ ，在同一条航线上旋偏角超过 $20^\circ$ 的像片数不应超过三片。超过 $15^\circ$ 旋偏角的像片数不应超过摄区像片总数的10%。

（3）严格按照设计的航线飞行，保证航向重叠度和旁向重叠度以及覆盖范围满足要求。

飞行结束后，摄影员要立即下载原始影像，对原始影像进行初步分析，检查每条航带有无断裂及有无云影及烟雾等情况。发现以下问题要现场立即处理：

（1）若出现烟雾遮盖时，应反风向补飞。

（2）若出现诸如航带断裂、旁向漏洞（或相对漏洞）、绝对漏洞、弯曲度超限、倾斜角超限、旋偏角超限、影像质量差、航摄比例尺小于设计比例尺、覆盖范围不够等不满足规范要求的问题时，应立即组织补飞。应注意，与设计航线不符的补飞航线长度不得大于设计航线总长度的5%。

（3）对不影响内业加密模型连接的相对漏洞，可只在漏洞处补摄，补摄航线的长度应超出漏洞之外一条基线。需要补摄时，应整条航线重摄。

同时也要检查航摄飞行质量及相关航摄参数是否满足精度要求，不符合要求的要调换设备重新进行飞行作业。

### 3.3 航摄成果后处理

利用后处理软件，进行辐射及几何纠正、组合。首先对其中若干张像片调色、匀光，而后利用这些像片对样区进行调色、匀光后，确定一组最佳的影像，最终依此为依据对全摄区进行调色、匀光处理，最后对个别像片进行单独处理。保证像片影像清晰，相同地物影像色调基本一致，不同架次像片的色调效果也要基本一致。像片校色正确，色调均匀、色彩分明。

像控点刺点工作使用软件在内业进行，使用飞马无人

机管家软件把航拍照片进行对齐,然后根据像控点坐标,把坐标在照片上刺出来,用于后面空中三角测量计算。

#### 4 空三加密和数字高程模型 DEM 制作

使用飞马无人机管家软件,先建立总工程,按照航摄区进行POS数据解算预处理、导入影像及其相关参数、并建立金字塔影像、资料收集和分析、无约束空三平差改正,获得各扫描线精确定位定向的外方位元素,采用空三加密模块进行解算,获得加密点成果,输出成果影像。在空三加密时需要注意以下几点:

(1) 平差计算前应编制外业像控点成果文件并经第二人检查校对。当点位位置与刺点说明及点位略图不一致时,以刺点说明和点位略图为准。

(2) 利用POS数据、像控点数据进行联合区域网平差,对存在的少量像点及控制点的残差需要进行人工干预,直至各项中误差、残差指标满足要求。

(3) 计算过程中出现超限或错误,应认真检查相对定向精度、控制点起始数据和转点精度,仔细分析找出原因后认真进行处理。加密完成后,应与相邻航线、相邻加密区域的进行接边,并将成果通过接口程序直接传输给测图定向使用<sup>[2]</sup>。

根据加密点成果使用飞马无人机管家软件直接生成数字高程模型DEM。

#### 5 数字正射影像 DOM 制作

根据生成的DEM和做好空三加密的总工程,对单张影像进行单像纠正,生成单片正射影像,然后采用匀光算法进行图像调整<sup>[2]</sup>,在保证影像色彩损失最小的情况下,尽可能保持原影像的色调、亮度与反差,而达到整体影像色调的一致。

处理完成后重新加载所有正射纠正后单片正射影像进行拼接,软件自动生成拼接线,确保拼接线无交叉,且在房屋非密集区,可有效的避开房屋。拼接线的选择沿地物边线或高差变化平缓区域进行,避开高差急剧变化地区和高大、明显建筑物。航摄影像重叠度较大时,在影像拼接时,保持影像投影方向一致。拼接完成后查看生成拼接线后的DOM,确保无错位、扭曲、拉花、变形等现象,且接边处影像过渡自然、不存在空白缝隙,接边处影像的亮度、反差、色彩一致,地物未出现错位情况。对编辑后的DOM进行镶嵌、裁切,得到标准分幅的DOM成果(如图1所示)。

#### 6 数字表面模型 DSM 制作

利用空三加密成果,在无人机管家里,利用全自动影像匹配技术生成单个的DSM,并进行自动镶嵌、自动内插后,生成规则格网的数字表面模型数据。对于DSM

自动匹配的粗差,利用像素工厂平面编辑环境,通过自动滤波、人工交互编辑等方法改正,并采用无人机管家,基于区域网平差优化后的RPC参数叠加自动匹配的DSM进行编辑,以改正平面编辑环境无法改正的错误。对编辑后的DSM进行镶嵌、裁切,得到标准分幅的DSM成果。



图1 工业广场数字正射影像



图2 工业广场数字表面模型

#### 7 成果的检验与应用

对于生成的数字正射影像DOM成果和数字表面模型DSM成果,经抽查特征点坐标及高程原有的测量成果进行对比,精度符合要求,可以用于后期地形图的制作、沉降区及其周围地貌的真实展现等,十分方便。

#### 8 结束语

通过本次实践表明,通过航空摄影测量的方式,合理编制技术方案,可以从时效上、精度上及成本上满足目前矿区大范围沉降区高精度监测要求的。随着INSAR监测技术的逐渐成熟,后期可以配合INSAR监测技术更快捷的对大范围沉降区域进行高精度监测。

#### 参考文献

[1] 龚崇辉. 新型无人飞机在矿山生态环境动态监测的实践运用问题与建议探讨[C]. 中国地质学会2015年学术年会论文集. 2015: 96-97.

[2] 戴雨, 封利根. 数字正射影像图(DOM)技术在矿山勘测中的应用[J]. 世界有色金属, 2018(15)