

基于无人机测绘技术的露天矿区边坡变形识别方法

Identification Method of Slope Deformation in Open-pit Mining Area Based on UAV Surveying and Mapping Technology

吕红锁

Hongsuo Lv

河北钢铁集团研山铁矿 中国·河北 唐山 063700

Hebei Iron and Steel Group Yanshan Iron Mine, Tangshan, Hebei, 063700, China

摘要: 为强化对采矿的监督管理, 必须定期针对露天矿区实施监测, 以免矿区开采量过大或者超出规定范围, 出现边坡变形等不良问题。但是露天矿区地质复杂等, 导致之前的监测手段无法实现对露天矿区监测需求的满足, 因此需要采用新的科学技术, 如无人机测绘技术。无人机测绘技术在露天矿区边坡变形识别中, 可以采集矿区边坡图像, 实施图像配准, 能够在小面元微分校正法以及空三解算方法的应用下, 对图像偏移以及倾斜实施校正, 建构边坡三维模型, 以此实现对边坡变形问题的识别。检测发现这一方法在应用中具有比较高的识别准确率, 可以为露天矿区边坡变形监测提供重要信息。

Abstract: In order to strengthen the supervision and management of mining, it is necessary to carry out regular monitoring for open-pit mining area, in order to avoid mining too much or out of the range of regulations, slope deformation and other adverse problems. However, the complex geology of the open-pit mining area leads to that the previous monitoring methods can not meet the monitoring needs of the open-pit mining area, so it is necessary to adopt new scientific technology, such as UAV surveying and mapping technology. The UAV surveying and mapping technology can collect the mine slope image and carry out the image registration, and can be used in the small panel differential correction method and the space three solution method, the image migration and tilt are corrected, and the three-dimensional model of slope is constructed to recognize the deformation of slope. It is found that this method has a high recognition accuracy and can provide important information for slope deformation monitoring in open-pit mining area.

关键词: 无人机测绘技术; 露天矿区; 边坡变形; 识别

Keywords: UAV surveying and mapping technology; open-pit mining area; slope deformation; identification

DOI: 10.12346/edwch.v1i3.8406

1 引言

想要有效保障露天矿区的生产安全性, 并提升生产效率, 也就需要做好矿区监测等相关基础工作。通常露天矿区监测中, 需要借助相应监测手段, 然而传统监测技术存在一定不足, 无法实现对现代监测需求的满足, 如施工工作量大、监测周期长等, 容易引发监测工作出现安全隐患, 影响监测精确度, 尤其是在边坡变形识别中, 影响监测结果准确性^[1]。无人机测绘技术在监测中的应用, 正好能够解决以上问题,

实现对矿区各个角度的摄影, 优势显著, 如成本低、效率高以及监测精确度高等, 因此本次将其在露天矿区边坡变形识别中应用, 以明确其应用价值。

2 测区情况

本次所监测的露天矿区是在广东省云浮市, 开采方式大部分是高台阶开采, 相对台阶高度比较低, 可以达到 10m 到数百米, 走向长度能够达到数公里, 相对来讲地形也比较复杂, 相应的范围线具体如图 1 所示。

【作者简介】吕红锁(1987-), 男, 本科, 工程师。



图1 测区范围情况

3 监测方法选择

采矿本身对于生态建设具有危害性，可能会导致边坡变形，严重可能会出现地面塌陷、裂缝等问题。传统针对矿区灾情实施研究中，通常采用的是人工实地调查方法，但是这一调查方法耗时长、投入高以及效率低等，无法实现对具有较高时效性工程项目问题的解决^[2]。无人机测绘技术在应用中，可以及时得到真正的摄影像图，以此全面细致、直观生动地实施探测线周边情况分析，识别边坡变形等相关问题，以此确定重大安全隐患，便于针对性做好相关防治措施，提升矿区生产工作安全性^[3]。

4 无人机测绘技术的应用

4.1 制定航飞方案

监测前，实施项目需求调研，主要包括实地踏勘、确定监测范围、明确成果精度要求以及类型等，主要是对监测区域周边实地了解后，确定周围并不存在有航飞禁区等，另外也需要对其成果精度进行了解，本次则依照1:500地形图精度要求开展，在这一要求下完成像控点布设，以此保障成果精度。结合这一需求完成航飞方案制定，主要是无人机选择、划分摄像区域、设计飞行参数以及布设像控点等，本次实验所选取的无人机则为大疆精灵4无人机，监测过程中采用垂直结合倾斜摄影方式，相应的设置为相机焦距为8.8mm、像元为2.4012 μm ，一架无人机一次飞行时间为20min，拍摄中可设置垂直以及倾斜45度方案。在本次监测中，结合地面分辨率和航高，设置相应的飞行参数，航高计算公式为：

$$h = GDS \times f \div a$$

其中， h 为相对航高； f 为相机焦距； GDS 为影像的地面分辨率以及 a 为像元大小，最终航高计算结果为183m。

在对建模软件、地形等相关影响因素分析后，确定的航飞方案中航向为80%、旁向为75%。另外，在矿区中高差约为200m，需要实施监测区划分，依照不同航高实施航飞，合理规划航向，在航向布设方向中也需要对摄区长宽比、航向和航高比等因素实施综合探讨。

4.2 数据采集

制定航飞方案后，在需要识别的斜坡区域设置监测桩，设置监测桩时一定要对无人机飞行高度以及识别效果实施综合探讨。其中需要在图层稳定区域设置圆柱桩或方形桩，底盘浇筑需要达到地面高度，采用红色油漆对其进行涂抹，以便于做出标记。完成监测桩安装后，可以持续3~4天之后实施测绘。本次数据采集主要包括两个部分，低空倾斜摄影以及外业像控点测量，在无人机应用下，依照监测桩实施摄影测量，以便于获取需要识别区域的原始图像数据；结合监测桩所获取的控制点信息，可以实施后续边坡位移计算；获取控制点后，在倾斜摄影中也能够将其和坡度、地形等因素相结合，确定相应的方案，以此全面获取边坡相关数据信息^[4]。

4.3 图像配准

数据采集集中，也容易受到各种因素的影响，进而影响图像质量，如光照等^[5]，容易引发图像出现重叠、倾斜等问题，为提升图像质量，需要对其实施图像配准。在实际操作中，首先，匹配特征点。在此过程中能够通过尺度不变特征变换算法，一一提取原始图像中的对边缘特征值，并且在欧式距离的应用下对其特征点实施相似性度量，最后也就能够通过穷举匹配方法，一一搜索原始图像中的待配准特征点。为能够进一步提升特征点匹配准确率，可以设计目标函数。在对最小点集反复提取后，即可以获取目标函数参数的初始值，进而将相关数据分成外部以及内部点，在内部点的应用下再次对目标函数参数进行求解，在随机采样一致性原则下即将误匹配点提取出来^[6]。其次，校正特征点。若所采集的图像变形较大，实施特征点匹配后，即可以在小面元微分校正法的应用下实施图像偏移校正。图像中也可能出现倾斜问题，针对这一问题相应的处理方法即为空三解算方法，有助于进一步提升图像位置相对准确性，针对图像中的偏移问题实施纠正后，还可以另外再加上3个以上像控点，既能够在这一次平差范围内，保障最终成果坐标系和实际工程坐标系两者相同。另外在实施像控点刺点中，也必须保证存在有3张以上图片刺点，还需要和以上空三结果相结合，也就能推测出各个刺点所存在的误差，一般情况下这一阶段存在较大误差。完成刺点后，能够在以上一次像控点空三解算结果的应用下，自动实施刺点提取，也能够对其进一步实施光束网平差分析，进而完成图像倾斜纠正。

4.4 识别边坡变形

在实施边坡变形识别过程中，主要包括以下步骤：

第一，计算监测桩位移。在无人机测绘原始图像的应用下，结合以上方法也就可以得到和监测点位置一致的监测桩图像特征点，在其应用后，可以获取具体的空间坐标。计算所得相关特征点设置为基准点，即可以实现对各个监测桩空间坐标的计算分析。结合已存在的特征点，也就能对监测桩轮廓进行识别，以此得到相应的监测桩中心点空间坐标。

通过各监测桩空间坐标能够计算获取不同的监测桩位移变化量,详情如下:

$$d_{ki} = \sqrt{(x_{ki} - x_{k1})^2 + (y_{ki} - y_{k1})^2 + (z_{ki} - z_{k1})^2}$$

其中, d_{ki} 为第 k 各监测桩的第 i 次位移变化量; (x_{k1}, y_{k1}, z_{k1}) 和 (x_{ki}, y_{ki}, z_{ki}) 分别为第 k 个监测桩第 1 次以及第 i 次所获取的空间坐标。

第二,位移云图的生成。完成计算后即可获取各个监测桩的位移变化量,将其在奇函数插值算法的应用下,实现关于各个监测桩周围边坡位移情况的分析,且能够进一步通过 VTK 可视化也就可以完成监测桩位移云图生成。位移云图效果如图 2 所示。

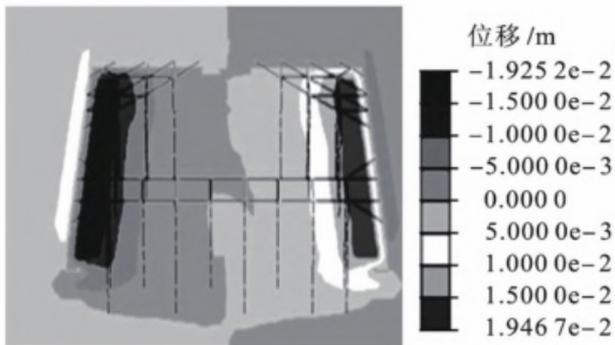


图 2 位移云图效果

第三,重构边坡三维模型。在高精度图像的应用下能够得到比较高密度的三维点云,这一图像为没有颜色信息黑白图像,在其应用下完成 TIN 网建构,即可以获取白模图像。具体如图 3 所示。确定 TIN 网内不同三角点和三角面的具体位置后,以此确定质量最佳和效果最好的纹理,实施着色,也就能够重构出具备纹理特征的边坡实景三维模型^[7]。其中在这一三维模型中所存在的一个重要问题,即为数据量较大,实际分析中需要实施层次细节模型建构,实施分块处理,以能够获取识别区域的最佳模型效果。其中三维实景模型图如图 4 所示。

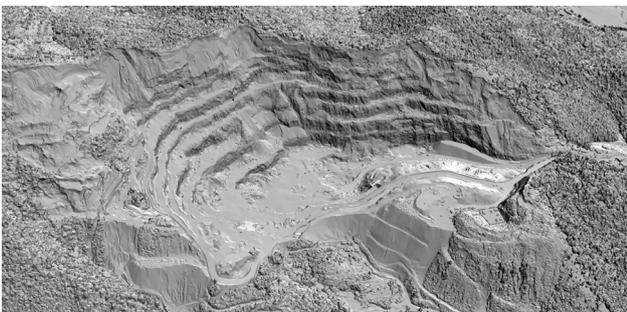


图 3 三维场景白模

第四,边坡变形识别。在针对边坡稳定性分析后,即可

以其变形状态进行识别。其中在针对边坡稳定性分析中,需要结合各个边坡稳定性系数以及位移系数实施定量分析。在针对边坡位移变形状态分析中,如果只是单纯地依照位移稳定系数对白边坡变形状态实施分析,存在比较大误差,还需要和位移变异系数 t_d 进行结合,以此实施边坡变形识别,以此进一步提升边坡变形识别准确性。

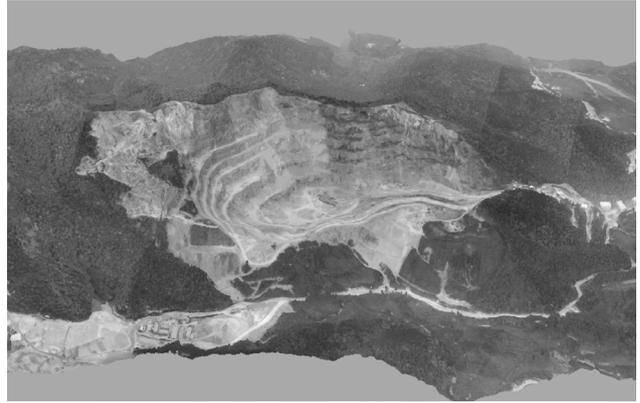


图 4 三维实景模型

5 实验研究

在这一测区范围内,采用无人机测绘技术和三维电子罗盘测绘工具测绘结果进行对比,以此分析这一测绘方法在应用中的边坡变形识别准确率。两种方案在边坡变形识别中的结果见表 1。通过表 1 可以发现,罗盘识别方法识别结果和实际位移存在较大差别,对其原因分析可能是会受到数据采集质量以及图像配准结果的影响;本次测绘方法最终所获取的位移识别结果和实际位移比较接近,可以得出在无人机测绘技术应用中,有助于进一步提升数据采集准确率,进而实现对边坡变形的准确识别。

针对边坡变形识别中,不同方法均为是在图像配准后建构边坡三维模型。模型重构中,可以适当地调整颜色权重及纹理权重,随着颜色以及纹理权重的不断变化也会直接影响到边坡变形程度识别准确率。本次研究中所选取的两种测绘方案在不同纹理和颜色权重下的识别准确率见表 2。其中在研究过程中,在颜色和纹理权重均为 0.5 条件下,相应的不同方法在不同监测点下的边坡变形状态识别效果见表 3。从表中可以看出本次方法在单一颜色权重或单一纹理权重下,存在比较低的边坡变形识别准确率,特别是在单一纹理权重中,识别准确率也最低;如果两者权重分别为 0.50 情况下,也就具有最高的识别准确率。另外,本次方法和罗盘工具应用下如果是在同等条件下,本次方法在各个监测点的边坡变相状态中具备比较高的识别准确率,可以有效保障获取良好的识别效果,以此提升所得结果的实际应用价值。

表1 不同测绘方案的边坡变形识别结果

测绘方案	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
本次方法	126.37	138.54	117.85	33.54	134.27	127.92	138.31	115.29	56.00	148.76
罗盘方法	138.75	124.67	116.24	39.74	147.35	132.47	128.31	127.23	69.47	127.61
实际位移	127.34	138.61	117.46	32.71	134.88	127.65	139.42	116.37	57.32	148.36

表2 本次方法在不同纹理和颜色权重识别准确率

颜色权重	1.00	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.00
纹理权重	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
识别准确率	82.34	83.46	84.69	85.47	88.39	95.93	89.42	84.37	80.41	78.24	71.64

表3 不同方法的边坡变形识别准确率

测绘方案	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
本次方法	95.37	95.48	96.76	98.34	95.14	96.47	97.24	96.41	98.35	95.37
罗盘方法	88.13	85.37	82.46	87.24	86.41	80.54	86.31	88.19	81.35	82.66

6 结论

通过本次研究可以得出以下结论:

第一,在露天矿区边坡变形识别中,无人机测绘技术具有重要应用价值,在无人机测绘技术的应用下,能够得到具备比较高精度的矿区图像,之后通过图像配准、图像校正、重构边坡三维模型等,实现对露天矿区边坡变形问题的有效识别。

第二,无人机测绘技术在露天矿区边坡变形识别中的应用,和三维电子罗盘测绘工具测绘结果对比可以发现,不但可以获取比较高的边坡变形识别准确率,另外在纹理和颜色权重分别为0.50情况下,所获取的识别准确率更高。可见在无人机测绘技术的应用下,有助于改善传统测绘方法的成本高、识别准确率低等相关问题,进而显著提升对于露天矿区边坡变形的识别准确率,具有重要应用价值。

参考文献

- [1] 李璟汶,蒋佩伶,李启航,等.岩质排土场边坡变形区域的自动识别与评估[J].江西冶金,2022,42(4):68-76.
- [2] 韦忠跟,王立文,董强.真实孔径边坡雷达监测数据可靠性获取方法研究[J].露天采矿技术,2022,37(1):12-15.
- [3] 王立文,韦忠跟,袁英杰.雷达技术在露天矿边坡监测预警中的应用[J].现代矿业,2020,36(12):145-147+150.
- [4] 谢小摧.无人机倾斜摄影技术在边坡监测中的应用探讨[J].城镇建设,2022(8):350-352.
- [5] 陈小鸿.无人机航测角度对某露天矿区边坡测量精度的影响分析[J].工程技术研究,2022,7(18):20-22.
- [6] 李翠,李杰林,张良兵,等.基于无人机贴近测量的露天矿岩质边坡结构面自动识别[J].金属矿山,2023(2):146-153.
- [7] 刘定帅,赵兆龙.无人机技术在布沼坝露天矿边坡管理中的应用[J].露天采矿技术,2022,37(3):85-87.