

基于3Dmine和无人机的危岩体产状测量与体积估算研究

刘 晓

华东冶金地质勘查局超硬材料研究所 安徽马鞍山 243000

【摘 要】在崩塌危岩体的稳定性评价工作中,时常需要对危岩体的结构面产状进行测量,对危岩体体积进行估算。当面对不规则危岩体时,三维激光扫描仪固然可以胜任这一工作,但其高昂的价格无疑增加了工作成本。那么,在没有三维激光扫描仪的情况下,该如何更为准确高效地获得不规则危岩体的产状及体积数据呢?通过项目实践,本次总结出一种基于3Dmine软件和无人机建立三维地质模型来实现危岩体产状测量与体积估算的工作方法。

【关键词】无人机; 三维; 危岩体; 产状; 体积

引言

小九华关刀石危岩体位于安徽省绩溪县东北部,距离绩溪县城约75公里,行政区划属于宣城市溪县荆州乡九华村管辖。区内交通以公路交通为主,主要道路为省道S346,其贯穿调查区域,向西北侧延伸S215及S01相交。

S346荆白路灾毁恢复工程修建的小九华一、二号桥位于绩溪县荆州乡九华村关刀石东侧,为保障关刀石安全,避免和减小桥梁桩基础施工对关刀石稳定性的不利影响,需要对小九华关刀石危岩体的结构面产状进行测量,对危岩体体积进行估算,为小九华关刀石的稳定性评价工作打下基础。



图1 关刀石危岩体全景

1 研究对象概况

1.1 危岩体现状

关刀石又名关王刀,呈底宽上窄弯刀状,上部形如刀尖,下部形如底座,如一把青龙偃月刀立于天地间。关刀石“底座”部分局部有植被覆盖,“刀尖”部分裸露在外,裂隙发育。危岩体成分为硅质岩,主体向北西方向倾斜,倾角近 80° 。



图2 不同角度的关刀石危岩体形态

1.2 危岩体形成机制

1.2.1 陡崖、坡面岩体特征演变阶段

岩体底部被流水切割严重,周围临空。在卸荷作用下,陡崖、坡面岩体的临空周围主应力迹线发生明显偏转,其附近产生应力集中带,临空面趾部附近形成最大剪力增高带,而产生与坡面平行的拉裂面;坡缘附近形成张力带,岩体被拉裂,形成与坡面近于平行的拉裂面;在长期卸荷作用及雨水不断入渗溶蚀作用下,岩体原有构造陡倾裂隙进一步加深加大,形成卸荷裂隙带^[1]。

1.2.2 陡崖岩体的时效变形破坏阶段

陡崖裂隙的形成为其进入时效变形破坏创造了条件,受风化、溶蚀等长期作用,陡倾裂隙进一步拉裂扩张,岩体逐步向临空面产生进一步变形,最终陡崖岩体演变成危岩体^[2]。

1.3 危岩体形成影响因素

1.3.1 主导因素

1、高陡临空面:岩体坡面近于直立,为危岩的形成提供了空间条件,岩体被垂直于层面的多组高角度结构面切割是主要原因。

2、岩性：岩体成分为硅质岩，贯穿裂隙，岩体破碎，易溶蚀风化，陡崖脚易形成凹岩腔。

1.3.2 诱导因素

1、大气降雨：雨水具酸性，加剧对石灰岩的溶蚀作用，裂缝加宽加深，促进岩体的风化作用^[3]。

2、风化与生物作用：岩体由于溶蚀风化作用，在陡崖底部形成凹岩腔，增大了上部岩体的力矩，破坏了岩体中力学平衡，促使岩体应力释放，使岩体中原有裂隙进一步扩展。沿陡崖顶部及崖面上生长有较多花草树木，根茎发育，根劈作用可使裂缝进一步扩大，破坏了岩体的完整性，另一方面树木本身重量加大了岩体荷载，并向岩体传送风的动力荷载，对岩体的稳定不利。

2 研究方法、设备软件选用及技术路线

2.1 研究方法

本次研究工作需要对不规则危岩体体积进行估算，经过不断探索，笔者总结了一种运用无人机+三维矿业软件的组合方法来应对这一问题。

2.1.1 外业测量方法比选

1、技术手段：无人机测绘采用无人机设备，搭载多光谱相机、激光雷达等设备，通过GPS航迹、空中高度、航拍角度等参数高效测绘并生成地图信息。传统测绘则需人力参与，利用手持GPS、全站仪等工具记录地理数据，再进行绘图。

2、适用范围：无人机测绘可应用于土地勘测、城市规划、水利、林业、矿产勘探等多个领域，具有环境控制性更强、范围更广、时间和人员成本更低的特点。传统测绘仅适用于室内环境以及简单的地形地貌数据收集测绘。

3、数据处理：无人机测绘中搭载的多光谱相机、激光雷达等设备能随时采集信息，数据处理高效，可通过云计算技术、大数据处理等方式快速形成数据产品。传统测绘需要耗费大量时间和人力进行手动处理，工序繁琐，容易产生误差，导致数据准确度低。

4、成本投入：无人机测绘不受天气影响，配备防水防尘功能，降低人力、财力和物力的投入。传统测绘需要大量的测绘工具和人力配备，整体成本较大。

5、精度和安全性：无人机测绘的精度高，能更准确地获得目标区域的数据。无人机测绘具有灵活机动的特点，受空中管制和气候的影响小，能够在恶劣环境下直接获取影像，即便设备出现故障，也不会出现人员伤亡，具有较高的安全性。效率。无人机测绘不受天气影响，数据处理高效，大大提高了测绘的效率。

表1 无人机测绘与传统测绘比选情况统计表

类别	无人机测绘	传统测绘	备注
技术手段	人工依赖度低、效率高	人工依赖度高、效率低	
适用范围	地形受限少、适用范围广	地形受限多、适用范围窄	
数据处理	速度快	速度慢	
成本投入	综合成本低	综合成本高	
精度和安全性	精度高、安全性高	精度受限因素多、存在安全风险	

综上所述，相较于传统测绘，无人机测绘在技术手段、数据处理、精度和安全性优势明显，因而本次危岩体外业测量工作选用无人机进行测绘。

2.1.2 内业数据处理方法

内业处理数据处理方法主要采用大疆智图软件V4.0生成研究区的三维影像模型，进而提取危岩体高程点和结构面产状数据并导入三维矿业软件中生成危岩体三维模型。

2.2 设备软件选用

本次采用无人机+三维矿业软件组合的工作方法进行研究工作，设备软件选择大疆精灵4RTK+3DMine三维矿业工程软件。大疆精灵4RTK是一款小型多旋翼高精度航测无人机，面向低空摄影测量应用，具备厘米级导航定位系统和高性能成像系统，便携易用，全面提升航测效率。3DMine矿业工程软件，是一款面向工程师的采矿、地质、测量三维设计、建模、计算型专业工具软件。软件功能涵盖：勘查地质、矿山地质、工程地质和水文地质的勘探和生产地质数据库，三维地质建模，实体模型，块体模型，地质统计、储量计算。

2.3 技术路线

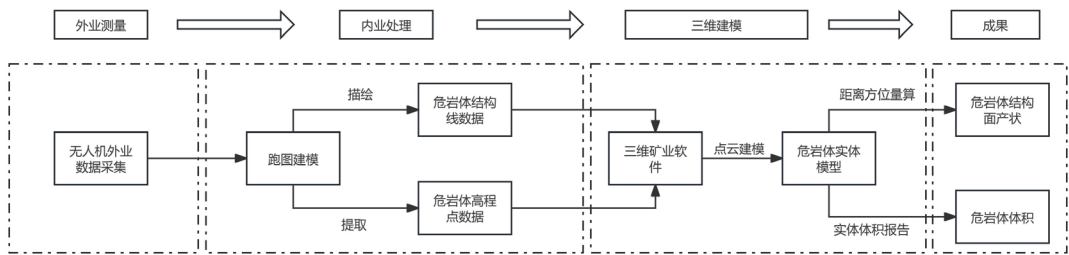


图3 技术路线图

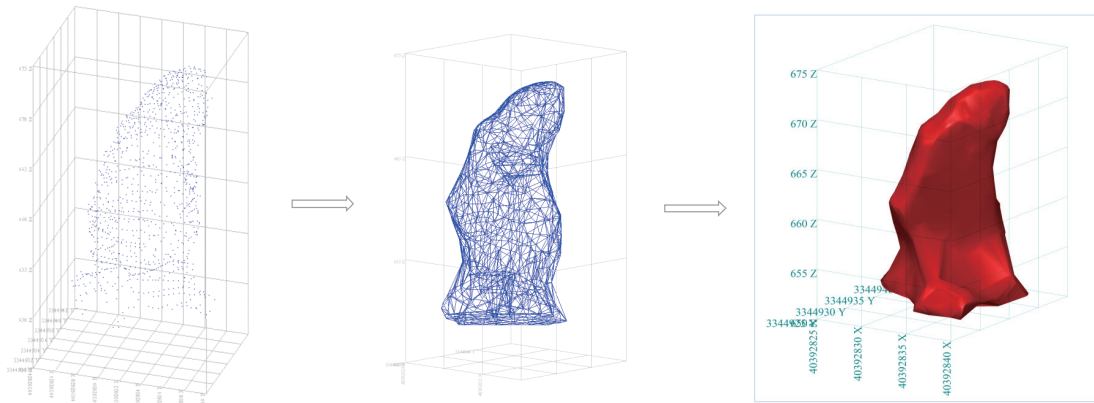


图4 关刀石三维建模流程

首先，利用无人机进行外业测量并进行跑图建立三维模型；其次，对三维模型危岩体的节理进行线状描绘并提取危岩体的高程点数据；再者，利用提取到的数据通过三维矿业软件的三维建模功能生成实体模型；最后，利用三维矿业软件的距离方位量算功能读取危岩体在三维空间内的产状，并利用三维矿业软件的实体体积报告功能对实体模型进行体积估算。技术路线图如下所示：（见图3）

3 危岩体产状测量

3.1 产状测量方法

基于无人机拍摄的影像进行内业跑图生成三维影像模型，在三维影像模型上描绘危岩体的节理及层理产状线条并导出，然后导入到3Dmine三维矿业软件中，利用软件自带的距离方位角量算功能对产状线条进行量算，得到产状数据。此外，对于层理产状的量算，可以软件的表面模型工具生成DTM面，进而利用绘制坡向工具得到层理面的倾斜方向，从而较为精确的得出层理产状。

3.2 产状测量结果

危岩体结构面产状如下：

表2 关刀石危岩体结构面产状统计表

序号	倾向	倾角	类型	备注
①	308	79	层理	主倾方向
②	19	62	节理	
③	222	18	节理	
④	38	30	节理	优势结构面
⑤	234	49	层理	
⑥	34	67	节理	优势结构面
⑦	36	82	节理	优势结构面

4 危岩体体积估算

4.1 估算方法

基于从三维影像模型中提取到的危岩体高程点数据利用3Dmine软件的点云生成实体外壳功能建立危岩体三维实体模型，利用软件的实体体积报告功能得到危岩体的体积估算结果。（见图4）

4.2 估算结果

关刀石“刀尖”部分底部面积约110m²，顶部面积约15m²，高差近30m，经三维模型估算，体积857.309m³。

表3 关刀石危岩体体积估算成果表

名称	高程范围（m）	体积（m ³ ）	备注
关刀石	645~650	49.704	
	650~655	218.653	
	655~660	198.192	
	660~665	190.135	
	665~670	167.1	
	670~675	33.525	
	合计	857.309	

5 结论

本次研究通过无人机+三维矿业软件相结合建立三维地质模型的方法，实现了对危岩体的产状测量和体积估算，解决了在没有三维激光扫描仪的情况下，如何低成本、高效率完成对不规则危岩体的产状测量和体积估算的问题。值得注意的是，如果危岩体表面存在植被覆盖的情况，那么从无人机影像提取的高程点数据会受到植被高度的影响，进而影响到危岩体体积估算结果，在实际工作中要注意消除这种不利影响。

参考文献：

- [1] 黄青能. 滑坡、崩塌和危岩地质灾害的发育特征及形成机制[J]. 中国资源综合利用, 2020, 38(07): 158-160+165.
- [2] 张超, 魏松涛, 刘彬, 等. 山区高速公路灰岩质高陡边坡失稳与加固措施分析[J]. 公路, 2023, 68(07): 264-269.
- [3] 程军, 谭德军. 贵州桐梓水竹湾煤矿危岩崩落运程分析[J]. 中国煤炭地质, 2008, (09): 36-38.

作者简介：

刘晓（1990-），男，汉，河南南阳人，学士学位，地质工程师，研究方向：资源勘查地质灾害生态修复。