

无人机倾斜摄影技术在云冈石窟的应用

潘 鹏

(山西云冈数字科技有限公司, 山西大同, 037007)

摘要 传统的文物建筑现场调查往往受限于周边的复杂地形, 而小型多旋翼无人机携带相机具备灵活性、高效性等优势。通过对云冈石窟的地形采用无人机进行现场调查和数据处理, 可以获取文物本体及周边环境的详细影像资料。应用表明无人机影像结合三维重建技术, 不仅提高了文物保护工作的效率, 而且提供了更为准确的数据。

关键词 无人机 倾斜摄影 云冈石窟

引 言

在以往的文物保护工作中, 经常会因文物建筑本体周边地形环境复杂, 人的视角无法看到文物本体的每个部位和细节^[1], 以云冈石窟为例, 石窟依山开凿, 由于存在一些体量庞大的洞窟, 研究人员很难近距离地观察到洞窟高处的形态或者调查残损状况, 而以前的洞窟三维激光扫描和影像采集也是非常烦琐的, 需要在洞窟周围搭设许多脚手架, 小型多旋翼无人机的出现就为这种情况下的工作提供了极大便利。当人自身视角受到限制时, 小型多旋翼无人机携带相机可为我们提供文物本体及周边环境的详细影像资料。

1 无人机倾斜摄影测量技术的优势

无人机倾斜摄影测量, 是利用无人机搭载的光学相机获取的相片, 经过处理以获取被摄物体的形状、大小、位置、特性及其相互关系等。在获取文物影像后, 我们结合三维重建技术, 实现文物全面数字化的分析与建档。此种工作方法, 相比于三维激光扫描技术, 具有操作简便、外业作业效率高、内业数据处理快、模型效果更加真实等优势, 适合在文物保护工作中推广使用。

2 无人机倾斜摄影测量技术在云冈石窟中的应用

2.1 无人机的选择

电动多旋翼无人机因其飞行速度较慢, 可垂直起降, 可稳定悬停, 对起降场地要求简单, 携带便捷等优势成为我们选择的类型(图1)。我们选定的无人机还要具备以下几个要求: 第一, 具



图1 DAS-V6小型多旋翼无人机

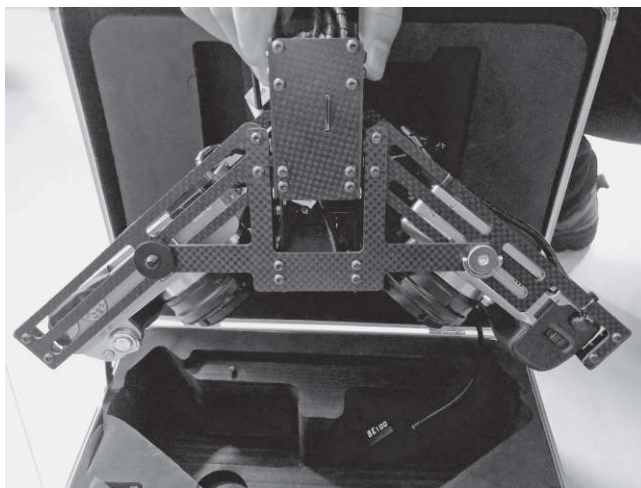


图2 双鱼座倾斜摄影云台相机

有高度安全的飞行性能，由于云冈石窟是5A级旅游景区，每天的游客量非常多，这就需要无人机飞行稳定，减少故障率，抗干扰能力强等。第二，能获取高分辨率的影像，保证文物保护工作的严谨性。第三，需要持续飞行时间长，具备执行复杂航空遥感任务能力，由于云冈石窟大景区面积约8km²，无人机较长的续航时间可以减少起降次数。基于以上要求，我们选择DAS-V6小型多旋翼无人机作为工作平台，采用双鱼座倾斜摄影云台相机（图2），搭载单镜头2430万像素的相机，每个摇摆拍摄周期有效像素近1.5亿。

2.2 航线规划

由于云冈石窟大景区面积比较大，在外业采集前，我们共规划了两种航线，一种是以石窟区为主体的100m航高的航线共5个架次，另一种是大景区范围的150m航高的航线共19个（图3）。为了保证实景三维模型的效果，本次倾斜航空摄影共分两种高度的航线，航高越低，采集数据精度越高（表1），航向重叠度设计为80%，旁向重叠度应为80%（图4）。

表1 飞行限速表

地物分辨率	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	8cm	10cm
飞行航高/m	50	100	150	200	250	410	500
架次（30min）	14	4	2	1	1	1	1
航片数	25848	8586	3696	1980	1404	492	354
速度限制/（m/s）	2.5	5.0	5.0	10	12	20	25

注：双鱼倾斜相机等同1km²测区无外延不同航高倾斜摄影数据参数对比。

资料来源：引自武汉大势智慧科技有限公司官方微信。

2.3 无人机影像采集

在遥控无人机采集影像之前，要在每个拍摄区域的四角布设至少4个控制点，在控制点地面上放标靶。标靶颜色要醒目，保证在采集的影像中能明确看到标靶中心。对标靶位置坐标进行测量，



图3 地面站航线规划工作界面



图4 无人机航线拍摄点位以及拍照覆盖面积

虽然无人机影像中带有GPS信息，但是为了减少后期软件运算难度，为了能够将测量精度误差控制在3~5mm，还要对布设的控制点进行方位和拍照记录，避免后期数据处理时出现录入错误。控制无人机起飞之前，要对天气环境进行判断，观察有无干扰源，每次飞行的地点距离超过10km都要重新校准地磁，保证飞行安全是首要前提。尽量选择在阳光较弱的时间或避免阳光直射时（如中午）进行影像采集工作，这样能减弱晴天阳光直射下相机对石窟的明暗部拍摄时因光照不同产生曝

光量的巨大反差，明暗差距过大的照片会增加后期处理的工作量，增加软件的运算难度。无人机起飞前还需检查云台相机，连接地面站遥控云台相机进行试拍，检查相机曝光是否正常，参数是否准确，如无误，将地面站航线数据写入无人机飞控，上浆，准备起飞。

无人机以手动模式起飞，当无人机飞离地面到达安全高度后，将手动模式切换到定高定点模式，然后由电脑地面站托管，无人机在升至指定高度后会自动进入事先规划好的航线，进行该架次的拍摄任务。为了更好地采集到石窟立面的细节，航线规划是沿石窟的山体走势规划的，而且双鱼座倾斜摄影云台相机采用的是双相机摇摆式的拍摄方式（图5），不但减轻了机身的重量，更增加了照片拍摄数量。无人机每个架次飞行时长大约为25min，完成拍摄任务后，无人机会自动返航，返回到起飞点然后自动降落。经长期使用验证，DAS-V6小型多旋翼无人机配合双鱼座倾斜摄影云台相机使用具有飞行稳定性高、工作效率高、影像采集精准无死角等特点（图6和图7）。

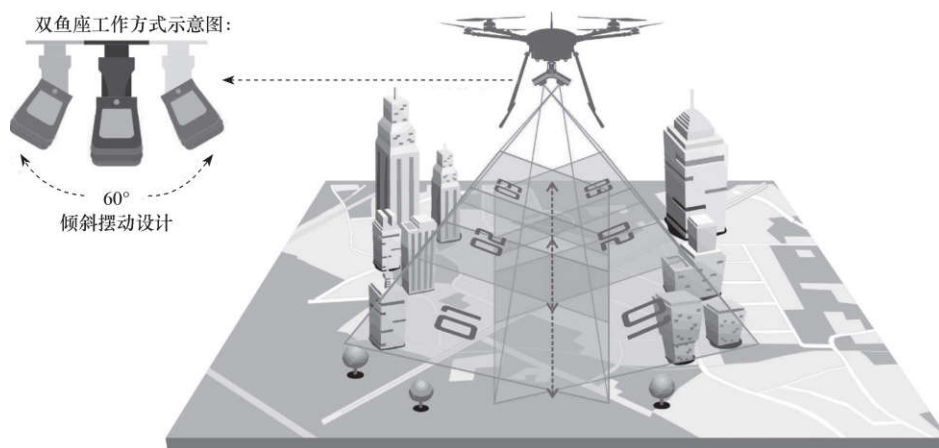


图5 双鱼座倾斜摄影云台工作方式

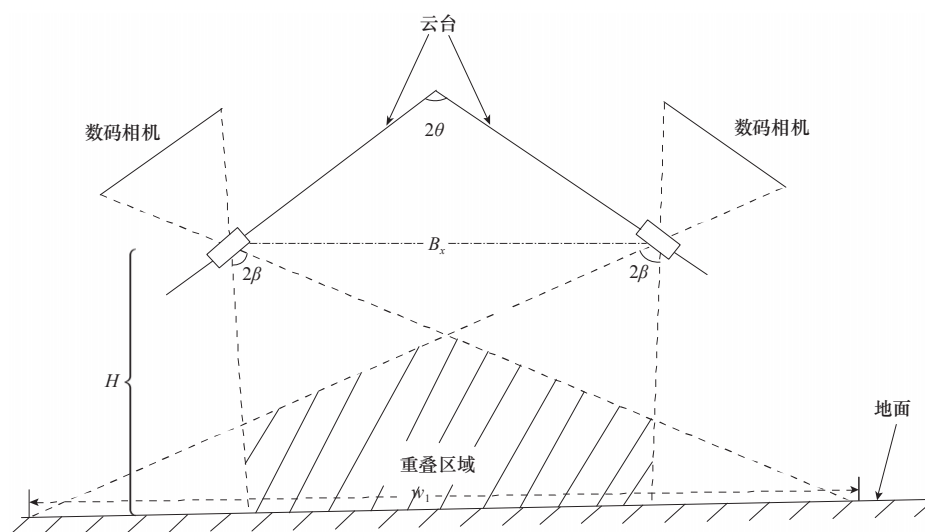


图6 单次拍照覆盖范围（引自武汉大势智慧有限公司官方微信）

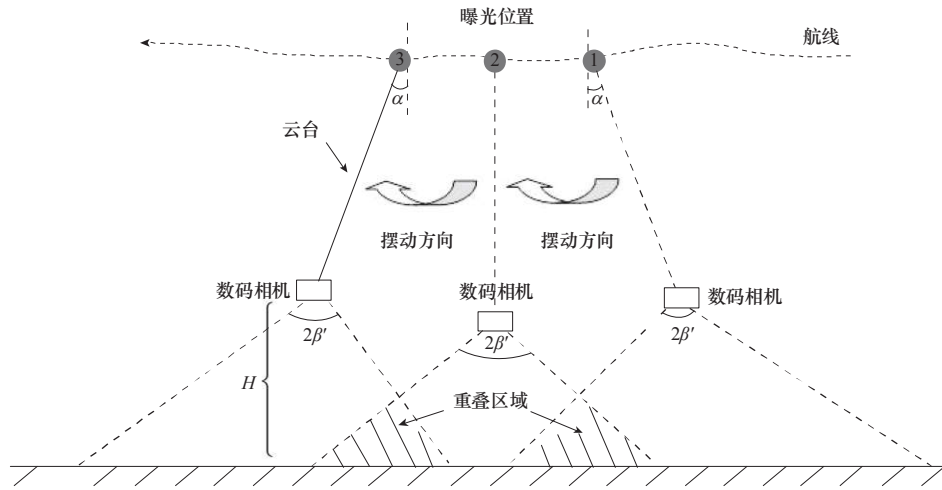


图7 无人机作业时曝光示意

2.4 数据处理及应用

在数据处理阶段，首先对采集的影像进行亮度和对比度的调节，保证处理前影像的明暗效果较为统一。通过 Adobe Photoshop软件的“色阶”和“曲线”功能调整影像的亮度和对比度，必要时可用“阴影/高光”功能找回暗部或亮部细节，但是要根据情况控制找回细节的程度，设置数值过大会造成大量噪点的产生，影响三维重建的模型质量^[2]。

将影像导入Adobe Photoshop软件，处理步骤分为对齐照片、生成密集点云、生成网格、生成纹理四个步骤。首先选择对齐照片，精度选择“高”，生成稀疏点云。利用调整区域大小工具，选择工作区域，剔除不需要的稀疏点云以提高运算速度。选择“建立密集点云”选择使用中等或中等以上的精度（图8）。再通过生成网格和生成纹理两步，完成三维模型重建，这四个步骤的参数设置可根据石窟本体的复杂程度自行设置参数。最后在建好的模型中找到事先布设的控制点通过“创建标记”输入各个控制点的三维坐标，这样组成整个模型的每个密集点云就都有了自己的空间位置信息^[3]。云冈石窟大景区三维数据外业采集共历时36天，航测范围约5km²，采集航片大小约233GB，航片数量约24200张（图9），为今后建立云冈石窟数字化信息系

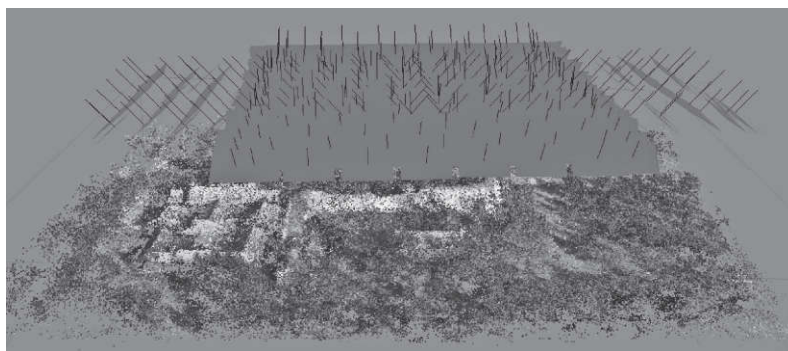


图8 密集点云建立

统做出了重要的基础数据准备。利用生成的三维模型（图10），可以逼真地表现文化遗产场景（图11），为云冈石窟景区的建设规划、游览路线设计、文化弘扬和旅游资源宣传等提供了重要的技术平台。可在导出的三维模型上石窟各个部位的尺寸进行精细测量，为考古研究提供数据支持。这种工作方法基本将以往繁重的外业测绘工作，以数字化的形式在电脑上进行，使得测绘精度和工作效率都得到了提高，同时也建立了完整的云冈石窟大景区数字化的档案。

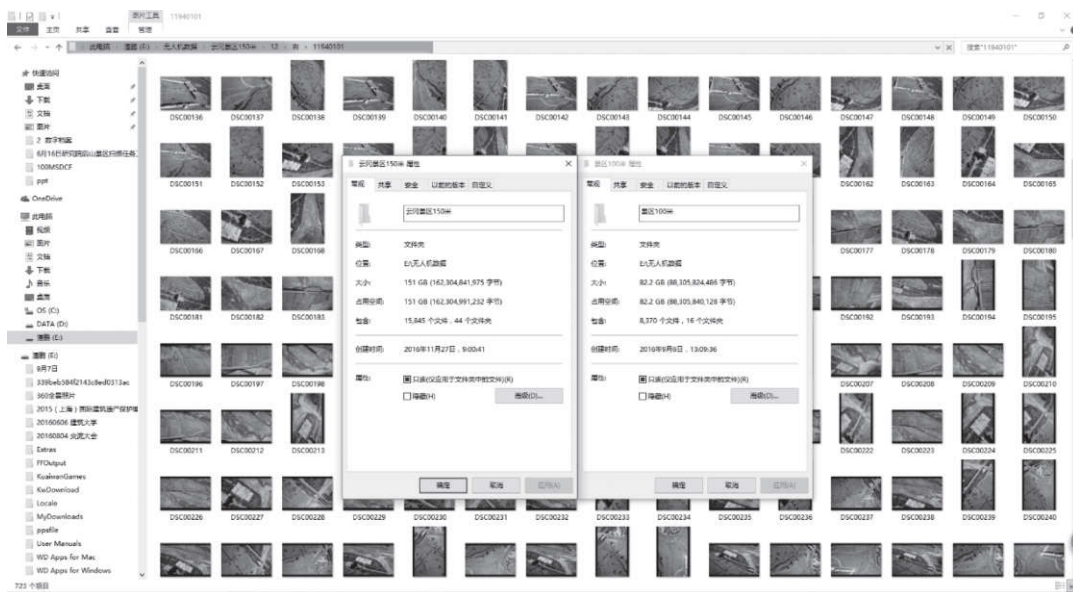


图9 采集航片数量



图10 云冈石窟大景区模型



图11 云冈石窟景区模型近景

结 语

无人机影像结合三维重建技术，不仅提高了文物保护工作的效率，而且提供了更为准确的数据，随着无人机技术的发展和相关软件的不断进步，这种方法将会更广泛地应用于文物保护工作中，成为文物科技保护工作的重要方式。

文化遗产不可再生，也不能永生，文化遗产是我国的一种奇特的艺术成就，通过对云冈石窟大景区进行高精度的逼真三维场景的建模，随着更多洞窟数字化记录工作的开展，这些成果将逐步形成体系完整、内容充实的“云冈石窟资源数据库”，为云冈石窟今后的研究、保护及文化产业的发展奠定坚实的基础。

参 考 文 献

- [1] 付力. 无人机影像在文物建筑保护中的应用 [J]. 中国文化遗产, 2016, 5 (1): 59-64.
- [2] 王琳. 无人机倾斜摄影技术在三维城市建模中的应用 [J]. 测绘与空间地理信息, 2015, (12): 30-32.
- [3] 孙运豪, 高洪, 胡朵朵, 等. 无人机倾斜摄影在文物修复中的应用 [J]. 北京测绘, 2017, (5): 92-95.