

基于无人机航测的光伏电站场地地形测量与施工规划优化研究

胡天银 吕 森 卢江波 成昌林 吴云龙
中建八局西南建设工程有限公司 四川 成都 610000

摘 要：随着全球能源结构向可再生能源的转型，光伏电站作为重要的清洁能源设施，其建设与运营效率日益受到关注。地形测量与施工规划是光伏电站建设初期的关键环节，直接关系到电站的发电效率、运维成本及安全性。本文旨在探讨无人机航测技术在光伏电站场地地形测量中的应用，并基于测量结果对施工规划进行优化，以期提高光伏电站建设的科学性和经济性。

关键词：无人机航测；光伏电站；地形测量；施工规划

引言

光伏电站的建设需要综合考虑地形地貌、气象条件、太阳辐射资源及电网接入条件等多种因素。地形测量作为获取场地基础数据的重要手段，对光伏电站的布局设计、光伏板安装角度及方向等具有决定性影响。传统地形测量方法如全站仪、GPS等，在面对大规模光伏电站时，存在效率低、成本高的问题。而无人机航测技术以其高效率、低成本、安全性好的优点，逐渐成为光伏电站地形测量的主流方法。

1 无人机航测技术原理及优势

1.1 无人机航测技术原理

无人机航测技术，作为现代测绘领域的一项创新技术，其核心在于利用无人机这一高效载体，搭载高精度相机、激光雷达等先进传感器，通过空中摄影测量的方式，精准获取地表信息。具体而言，该技术将调查图像采集模块及专业的图像处理软件引擎集成至无人机上。无人机按照预先规划的飞行路径自主航行，期间利用高精度相机连续拍摄地面图像，这些图像涵盖了广泛的地域范围^[1]。随后，通过专业的图像处理软件，对拍摄的图像进行拼接、校正和处理，将图像中的地理要素精确映射至地理坐标系统中，从而实现高精度的测绘与地理信息调查。

1.2 无人机航测技术优势

无人机航测技术具有显著的优势：（1）高效率：无人机飞行速度快，能够快速覆盖大面积区域，显著缩短测绘周期，提高工作效率。（2）高精度：搭载的高精度传感器能捕捉高分辨率影像，结合激光雷达技术，可获取准确的三维坐标信息，确保测绘数据的精准度。（3）低成本：相比传统测绘方法，无人机航测减少了大量人力投

入和野外作业风险，降低了测绘成本。（4）灵活性：无人机可根据实际需求调整飞行高度和航线，适应各种复杂地形和地貌的测绘需求，展现出极高的灵活性。

2 无人机航测在光伏电站地形测量中的具体应用

2.1 地形地貌测绘

光伏电站的选址和建设对地形地貌有着极为严格的要求。地形的起伏、坡度的变化以及高程的差异，都会直接影响到光伏板的布局、安装角度和发电效率。传统的地形测量方法，如人工徒步测绘或使用地面测量设备，不仅耗时费力，而且难以覆盖大面积区域，测量精度也往往受到限制。无人机航测技术的出现，为光伏电站的地形地貌测绘带来了革命性的改变。无人机可以搭载高精度相机和激光雷达等先进传感器，按照预定的飞行路径进行自主航行，快速、全面地获取光伏电站所在区域的地形、地貌、坡度、高程等详细信息。在具体操作中，无人机通过高空俯瞰，能够捕捉到地形的每一个细微变化，生成高精度的数字地形模型（DTM）和数字表面模型（DSM）。这些模型不仅展示了地形的三维形态，还准确反映了地表的高程信息。对于光伏电站的设计者来说，这些模型是场地规划和光伏板布局设计的宝贵基础数据。此外，无人机航测还能够提供地形的坡度信息，这对于确定光伏板的安装角度至关重要。坡度的大小直接影响到光伏板接收太阳辐射的效率和发电量。通过无人机航测获取的坡度数据，设计者可以更加科学地规划光伏板的布局，确保每一块光伏板都能以最优的角度接收太阳辐射。

2.2 障碍物分布测量

光伏电站的建设过程中，必须充分考虑场地内的障碍物分布情况。建筑物、树木、高压线等障碍物都会对

光伏板的安装造成干扰,甚至可能影响到光伏电站的安全运行。因此,在光伏电站建设前,必须对场地内的障碍物进行精确识别测量。无人机航测技术在这方面展现出了极大的优势。通过搭载高分辨率相机,无人机可以对场地进行全方位、多角度的拍摄,获取清晰的障碍物图像。这些图像经过专业的图像处理软件处理和分析后,可以精确识别出障碍物的位置、形状、大小以及高度等信息。对于光伏电站的设计者来说,这些障碍物信息至关重要。它们可以为光伏板的安装提供避障依据,确保光伏板在安装过程中不会受到障碍物的干扰^[2]。同时,无人机航测还可以对障碍物进行三维建模,生成障碍物的三维模型图。这有助于设计者更直观地了解障碍物的空间分布情况,为光伏板的布局设计提供更准确的参考。

2.3 太阳辐射资源评估

太阳辐射是光伏电站发电的主要能源来源。因此,对场地内的太阳辐射资源进行评估是光伏电站选址和布局设计的重要环节。传统的太阳辐射测量方法,如使用地面太阳辐射计进行长期观测,虽然精度较高,但受天气、地点等条件限制,难以全面、准确地反映场地内的太阳辐射情况。无人机航测技术为太阳辐射资源的评估提供了新的解决方案。无人机可以携带专业的太阳辐射测量设备,如太阳辐射计或光谱仪等,对场地内的太阳辐射强度进行实时、准确的测量。通过无人机的高空视角和快速移动能力,可以在短时间内对大面积区域进行太阳辐射强度的测量,大大提高了测量的效率和覆盖面。在测量过程中,无人机可以按照预定的飞行路径进行航行,确保每个区域都能得到充分的测量。同时,无人机还可以根据不同的时间段和天气条件进行多次测量,以获取更加全面、准确的太阳辐射数据。获取到太阳辐射数据后,可以通过专业的数据分析软件进行处理和分析。这些数据可以为光伏电站的选址提供科学依据,帮助设计者选择太阳辐射资源最丰富的区域进行建设。同时,这些数据还可以为光伏板的布局设计提供参考,确保光伏板能够以最优的角度接收太阳辐射,提高发电效率。

3 基于无人机航测数据的施工规划优化

在光伏电站的建设中,施工规划的精准性与高效性对于项目的成功至关重要。无人机航测技术,凭借其高分辨率、大范围覆盖和实时数据获取的能力,为光伏电站的施工规划提供了前所未有的支持。

3.1 光伏组件布局优化

光伏组件的布局直接影响到光伏电站的发电效率和

经济效益。传统的布局方法往往依赖于地面测量和人工经验,难以全面、准确地考虑地形、太阳辐射、阴影遮挡等多重因素。而无人机航测技术的引入,为光伏组件的布局优化提供了全新的视角和数据支持。通过无人机航测,可以获取光伏电站所在区域的高精度三维地形数据。这些数据包括地面的高程、坡度、朝向以及地表的粗糙度等,为确定光伏组件的最佳安装角度和布局提供了基础。例如,在坡度较大的地区,无人机航测数据可以帮助精确计算每个光伏组件的安装角度,以确保其能够最大程度地接收太阳辐射。同时,无人机航测还可以提供太阳辐射资源的分布信息。通过搭载专业的太阳辐射测量设备,无人机可以在不同时间段对光伏电站所在区域进行太阳辐射强度的测量。这些数据对于选择光伏组件的安装位置至关重要。可以根据太阳辐射资源的分布情况,将光伏组件布置在辐射强度较高的区域,从而提高发电效率。此外,无人机航测还可以帮助识别和分析潜在的阴影遮挡源^[3]。通过高分辨率的航拍图像,可以清晰地看到树木、建筑物等可能遮挡光伏组件的物体。基于这些数据,可以调整光伏组件的布局,避免阴影遮挡,减少反射损失,进一步提高发电量。

3.2 电缆和支架布局优化

电缆和支架是光伏电站的重要组成部分,其布局的合理性直接影响到系统的运行效率和运维成本。无人机航测技术为电缆和支架的布局优化提供了有力的数据支持。结合无人机航测获取的地形数据和光伏组件布局信息,可以更加科学地规划电缆的走向。通过缩短电缆的长度,可以减少电缆的损耗和故障率,降低系统的运维成本。无人机航测提供的高精度三维地形数据可以帮助确定电缆的最佳路径,避免地形起伏和障碍物对电缆铺设的影响。同时,无人机航测还可以为支架的布局优化提供支持。通过航拍图像,可以清晰地看到地面的平整度和土质情况,为支架的选择和布置提供依据。例如,在土质较松软的地区,可以选择更加稳固的支架类型,并确保支架的布置能够充分考虑到地面的承载能力和稳定性。此外,无人机航测还可以帮助实时监测支架的安装进度和质量。通过定期的航拍图像对比,可以及时发现支架安装中存在的问题和滞后环节,并采取相应的措施进行调整和优化。

3.3 施工进度监测与优化

在光伏电站的建设过程中,施工进度的控制是至关重要的。无人机航测技术为施工进度监测提供了新的手段和方法。通过定期对施工现场进行航拍,无人机可以获取高分辨率的图像和视频资料。这些资料可以直观地

展示施工现场的实际情况，包括光伏组件的安装进度、电缆和支架的布置情况、施工人员的作业情况以及施工设备的运行状态等。管理者可以通过这些资料及时了解施工进度情况，发现施工中存在的问题和滞后环节。基于无人机航测数据，管理者可以制定更加科学的施工计划和进度安排^[4]。例如，对于进度滞后的环节，可以根据航拍图像分析原因，并采取相应的措施进行调整。如果是由于施工人员不足导致的进度滞后，可以增加施工人员或调整施工班次；如果是由于设备故障或材料供应问题导致的进度滞后，可以及时维修设备或协调材料供应。此外，无人机航测还可以帮助实时监测施工现场的安全状况。通过航拍图像，可以及时发现施工现场存在的安全隐患和违规行为，并采取相应的措施进行整改和处理。这有助于确保施工现场的安全生产，避免事故的发生。

4 案例分析：某光伏电站场地地形测量与施工规划优化

4.1 项目背景

该光伏电站位于某地区，占地面积约100公顷，计划装机容量为50MW。为了确保光伏电站的高效建设和运营，项目团队决定采用无人机航测技术进行场地地形测量，并基于测量结果优化施工规划。

4.2 无人机航测实施过程

一是设备选择：选用搭载高精度相机的无人机，确保获取高分辨率的影像数据。二是航线规划：根据场地形状和大小，合理规划无人机飞行航线，确保全面覆盖测量区域。三是数据采集：无人机按照设定的航线进行飞行，拍摄大量高分辨率影像数据。四是数据处理：利用专业软件对采集的影像数据进行拼接、配准、纠正等处理，生成高精度的地形图和三维模型。

4.3 测量结果与分析

通过无人机航测，项目团队获取了该光伏电站场地的详细地形数据，包括地形起伏、坡度、高程等信息。如表1：

表1 部分测量数据展示

测量点编号	东坐标（m）	北坐标（m）	高程（m）	坡度（%）
1	1000	2000	50	3
2	1050	2050	48	5
3	1100	2100	52	2
...	...	...	...	...
n	1950	2950	45	4

注：表格中仅展示了部分测量数据，实际数据量根据场地大小和测量精度而定。

基于无人机航测获取的地形数据，项目团队对施工规划进行了以下优化：（1）光伏组件布局优化：根据地形起伏和坡度信息，合理调整光伏组件的安装角度和布局，减少阴影遮挡，提高发电效率。（2）电缆走向优化：结合地形图和三维模型，规划合理的电缆走向，缩短电缆长度，降低施工成本和运维难度。（3）施工进度安排：根据地形数据和施工难度，合理安排施工进度和资源调配，确保项目按时完成。

4.4 实施效果

通过采用无人机航测技术和优化施工规划，项目取得了显著成效：无人机航测大大缩短了测量周期，提高了测量效率。优化后的施工规划减少了电缆长度和施工难度，降低了施工成本。合理布局的光伏组件减少了阴影遮挡，提高了发电效率。无人机航测提前发现了施工现场的潜在风险和问题，为施工提供了安全保障。

结语

无人机航测技术在光伏电站场地地形测量与施工规划优化中具有显著优势。通过该技术，可以快速获取准

确的地形数据和太阳辐射资源分布信息，为光伏电站的科学布局 and 高效建设提供有力支持。未来，随着无人机技术和航拍测绘技术的不断发展，其在光伏电站建设中的应用将更加广泛和深入。同时，结合大数据、人工智能等先进技术，可以进一步提高光伏电站的建设效率和运营效益，推动可再生能源产业的持续发展。

参考文献

[1]伍雅晴,张健雄.无人机航测技术在山地光伏项目电站选址中的应用[J].测绘与空间地理信息,2022,45(10):247-249.

[2]鄯士彬,毛云华,何南,等.无人机机载LiDAR在光伏发电项目大比例尺地形图测量中的应用[J].太阳能,2024,(06):64-70.

[3]布然.多旋翼无人机在分布式光伏电站勘测设计中的应用[J].北京测绘,2024,38(02):222-226.

[4]李正洪,侯璐,胡庆忠,等.无人机航拍与三维建模技术在光伏发电资源勘察中的应用[J].集成电路应用,2024,41(01):174-175.