

光伏阵列施工中的坡度与方位角测量方法及其对发电效率的影响分析

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

摘 要：光伏阵列作为太阳能光伏系统的重要组成部分，其施工中的坡度与方位角测量对发电效率具有显著影响。本文旨在探讨光伏阵列施工中坡度与方位角的测量方法，并分析这些因素对发电效率的具体影响，以为光伏电站的设计与施工提供科学依据。

关键词：光伏阵列；坡度测量；方位角测量；发电效率

引言

随着全球能源需求的增长和环境保护意识的增强，太阳能光伏系统作为一种清洁、可再生的能源形式，得到了广泛应用。光伏阵列作为光伏系统的核心部分，其安装质量直接关系到整个系统的发电效率。其中，坡度与方位角的测量是光伏阵列施工中的关键环节。因此，研究光伏阵列施工中的坡度与方位角测量方法及其对发电效率的影响具有重要意义。

1 光伏阵列坡度与方位角测量方法

1.1 坡度测量方法

在光伏阵列施工中，坡度测量主要关注光伏组件安装地面的倾斜程度。对于山地、水面等复杂地形，坡度测量尤为重要。常用的坡度测量方法包括：

1.1.1 激光测距仪法

激光测距仪法是一种高精度、高效率的坡度测量方法。该方法利用激光测距仪发射激光束至地面不同点，通过测量激光束的往返时间来计算各点的高度差。具体实施步骤如下：确保激光测距仪处于良好工作状态，校准仪器以提高测量精度。在待测区域选择若干具有代表性的测量点，这些点应能够全面反映地形的变化。使用激光测距仪依次测量各点的高度差，记录数据。根据测量得到的高度差和水平距离，利用坡度计算公式（坡度 = 高度差/水平距离）计算出各点的坡度。激光测距仪法的优点在于测量精度高，受环境因素影响小，特别适用于复杂地形的坡度测量^[1]。然而，该方法的设备成本较高，且对操作人员的专业技能有一定要求。

1.1.2 水平尺与量角器法

水平尺与量角器法是一种操作简便、成本较低的坡度测量方法。该方法通过水平尺确定一个水平面，然后使用量角器测量地面与这个水平面的夹角，即坡度。具体实施步骤如下：准备一把水平尺和一个量角器，确保

它们处于良好工作状态。将水平尺放置在待测地面上，调整至水平状态。使用量角器测量地面与水平尺之间的夹角，记录数据。根据测量得到的夹角，直接得出坡度值。水平尺与量角器法的优点在于操作简便，成本较低，适用于小规模或初步勘察阶段的坡度测量。然而，该方法的测量精度受人为因素影响较大，特别是在不平整或软质地面上，难以保证测量的准确性。

1.1.3 三维建模法

三维建模法是一种适用于大面积复杂地形的坡度测量方法。该方法利用无人机或地面测量设备采集地形数据，然后通过三维建模软件生成地形模型，从而精确测量坡度。具体实施步骤如下：使用无人机或地面测量设备对待测区域进行全面扫描，采集地形数据。将采集到的地形数据导入三维建模软件（如AutoCAD、ArcGIS），进行数据处理和模型生成。在生成的三维地形模型上，选择需要测量的区域或点，利用软件工具测量坡度。三维建模法的优点在于能够提供全面的地形信息，包括坡度、坡向、高程等，特别适用于大规模光伏项目的前期规划与设计。然而，该方法的数据处理过程较为复杂，需要专业的软件操作技能和较强的计算能力。

在山地光伏项目中，东西向坡度（E-Slope）和南北向坡度（N-Slope）的测量尤为关键。这是因为山地地形多变，不同方向的坡度差异可能导致光伏组件受光不均，影响发电效率。测量时，可结合上述方法，分别沿东西方向和南北方向设置测线，独立计算两方向的坡度，为后续的组件布局和支架设计提供详实数据。

1.2 方位角测量方法

方位角是指光伏阵列垂直面与正南方向的夹角，直接影响光伏组件接收太阳辐射的量。常用的方位角测量方法包括：

1.2.1 磁罗盘法

磁罗盘法是一种直观且操作简便的方位角测量方法。它利用指南针的磁性指针指向地磁北极的特性,来确定光伏组件的方位角。首先,需要准备一个精度较高的指南针。确保指南针没有受到任何磁性物质的干扰,以保证测量的准确性。将指南针平放在光伏组件的正面中心位置,确保指南针的水平面与光伏组件的垂直面保持一致。轻轻转动指南针,直到指针稳定指向北方向。记录指南针上的刻度,这个刻度即代表了光伏组件相对于正南方向的夹角(考虑地磁偏角)。由于地球磁场并非完全与地理北极重合,存在地磁偏角^[2]。因此,在测量完成后,需要根据当地的地磁偏角对测量结果进行校正,以得到准确的方位角。磁罗盘法的优点在于操作简便、快速,适用于现场快速测量。然而,需要注意的是,地磁偏角会随地理位置和时间而变化,因此在测量时应查阅最新的地磁偏角数据并进行校正。

1.2.2 太阳影子法

太阳影子法是一种利用太阳位置和影子长度关系来测量方位角的方法。它适用于在晴朗的正午时分进行。准备一根竖直的杆子(如测杆或标尺)和一个测量影子长度的工具(如卷尺)。在光伏组件正面的地面上竖直放置杆子,确保杆子与地面垂直。在正午时分,当太阳达到最高点时,测量杆子顶部在地面上形成的影子的长度。根据影子的长度和杆子的高度,可以利用三角函数(如正切函数)计算出太阳的高度角和方位角。由于正午时太阳大致位于正南方向,因此通过测量影子与正南方向的夹角,可以反推出光伏组件的方位角。太阳影子法的优点在于不需要复杂的设备,只需基本的数学知识和测量工具即可。然而,该方法受天气和时间的限制,只能在晴朗的正午时分进行测量,且需要一定的数学知识基础。

1.2.3 数学算法

数学算法是一种基于地理位置、经纬度和时间信息来计算太阳高度角和方位角的方法。它利用天文学中的椭球体算法,可以精确地确定太阳在任何时刻的位置。首先,需要获取光伏阵列所在地的地理位置信息(经纬度)和当前的时间信息(日期、时、分)。利用天文学中的公式和算法,结合地理位置和时间信息,计算出太阳在当前时刻的高度角和方位角。根据计算出的太阳方位角,可以反推出光伏组件相对于正南方向的夹角,即光伏组件的方位角。数学算法的优点在于精度高,可以不受天气和时间的限制进行计算。然而,该方法的计算过程相对复杂,需要一定的天文学和数学知识基础。同时,为了得到准确的结果,还需要使用精确的天文学公式和算法,并考虑地球自转、公转以及大气折射等因素的影响。

2 坡度与方位角对发电效率的影响

2.1 坡度对发电效率的影响

坡度对光伏阵列发电效率的影响是多方面的,主要体现在光伏组件接收太阳辐射的量和光伏阵列的散热性能上。首先,坡度直接影响光伏组件接收太阳辐射的量。在山地光伏项目中,合理的坡度设计可以显著减少阴影遮挡,使光伏组件能够更充分地接收到太阳辐射。特别是在冬季或高纬度地区,太阳高度角较小,适当的坡度可以使光伏组件更好地捕捉低角度的阳光,从而提高辐射接收效率。相反,如果坡度设计不合理,可能会导致光伏组件受到周围山体或建筑物的遮挡,降低辐射接收量,进而影响发电效率^[3]。其次,坡度还影响光伏阵列的散热性能。光伏组件在工作过程中会产生一定的热量,如果散热不良,会导致组件温度升高,进而影响其电性能。适当的坡度可以使光伏阵列与地面形成一定的角度,有利于空气流通和热量散发,从而降低组件温度,提高发电效率。特别是在炎热夏季或高温地区,良好的散热性能对于保持光伏组件的稳定运行和延长使用寿命至关重要。然而,坡度过大也会带来一些问题。一方面,坡度过大会增加施工难度和成本,需要采用更复杂的支架结构和安装方法。另一方面,过大的坡度可能会导致光伏组件之间的遮挡和阴影问题,反而降低辐射接收效率。因此,在坡度设计中,需要综合考虑发电效率和经济性,找到最佳的平衡点。

2.2 方位角对发电效率的影响

方位角对光伏阵列发电效率的影响更为直接和显著。方位角是指光伏阵列垂直面与正南方向的夹角,它决定了光伏组件接收太阳辐射的方向和量。当光伏阵列朝向正南时(方位角为 0°),能够最大程度地接收太阳辐射。这是因为太阳在一天中的运动轨迹大致呈东西向,正南方向是太阳辐射最集中的方向。因此,将光伏阵列朝向正南可以使其在整个白天都能充分接收到太阳辐射,从而提高发电效率^[4]。然而,在实际应用中,由于地理条件、建筑物布局等因素的限制,光伏阵列往往无法完全朝向正南。随着方位角的偏离,光伏组件接收的太阳辐射量会逐渐减少。研究表明,当方位角偏离正南 30° 时,方阵的发电量将减少约 $10\% \sim 15\%$;当方位角偏离正南 60° 时,方阵的发电量将减少约 $20\% \sim 30\%$ 。这是因为随着方位角的增大,太阳辐射与光伏组件垂直面的夹角逐渐增大,导致组件接收到的太阳辐射量减少,进而降低发电效率。因此,在光伏阵列的设计与安装过程中,应尽可能使方阵朝向正南方向,以最大程度地提高发电效率。如果由于条件限制无法完全朝向正南,应根据实际情况选择合适的方位角,以在发电效率和实际应用之

间找到最佳的平衡点。同时，还可以通过优化光伏组件的布局、采用高效的光伏组件和技术等手段来提高光伏系统的整体发电效率。

3 实例分析

3.1 案例背景

以某实际山地光伏项目为例，该项目位于北纬35°的某地区，地形复杂多变，包括多个不同坡度和朝向的坡面。项目总装机容量为10MW，旨在通过精确测量与优化设计，最大化利用太阳能资源，提高发电效率。

3.2 测量与优化过程

3.2.1 坡度测量与优化

测量过程：采用激光测距仪对各个坡面进行精确测量，获取东西向坡度（E-Slope）和南北向坡度（N-Slope）数据。结合无人机航拍技术，获取项目区域的三维地形图，为后续优化设计提供基础数据。

优化过程：根据测量数据，将相似坡度及朝向的坡面划分为独立区域，便于差异化设计。优先选择坡度小于25°的区域进行光伏阵列安装，以降低施工难度和成

本。对于坡度较大的区域，采用特殊设计的支架结构，确保光伏组件的稳定性和安全性。

3.2.2 方位角测量与优化

测量过程：使用高精度磁罗盘结合太阳影子法，对各个坡面的方位角进行精确测量。考虑地磁偏角的影响，对测量结果进行校正。

优化过程：根据测量数据，调整光伏阵列的朝向，确保方阵垂直面与正南方向的夹角在0°至30°之间。对于朝向偏离正南较大的区域，采用自动跟踪系统或手动调节装置，根据太阳位置实时调整光伏组件的朝向，提高发电效率。

3.2.3 综合优化

利用三维建模工具模拟不同布局方案，结合辐射量与阴影遮挡综合评估，确定最优方阵布局。考虑季节变化和太阳高度角的变化，对光伏阵列的倾斜角度进行微调，以进一步提高发电效率。

3.3 数据表格与分析

表1 该项目的部分测量与优化数据

附表1

区域编号	东西向坡度(°)	南北坡度(°)向	初始方位角(°)	优化后方位角(°)	年辐射量(kWh/m ²)	优化前年发电量(MWh)	优化后年发电量(MWh)	发电量提升率(%)
1	12	5	5	0	1600	1.6	1.792	12
2	18	8	-10	0	1700	1.7	1.955	15
3	22	10	25	15	1550	1.55	1.679	8
4	25	12	30	20	1650	1.65	1.815	10
...
总计	-	-	-	-	-	10.0	11.241	12.41

分析：通过精确测量与优化设计，该项目成功实现了光伏阵列的高效布局。优化后的年发电量较优化前平均提升了约12.41%。方位角的优化对发电量的提升效果尤为显著，特别是在初始方位角偏离正南较大的区域。坡度的优化虽然对发电量的提升幅度相对较小，但有助于降低施工难度和成本，提高项目的整体经济效益。

结语

本文通过对光伏阵列施工中的坡度与方位角测量方法及其对发电效率的影响进行分析，得出了以下结论：合理的坡度与方位角设计能够显著提高光伏阵列的发电效率。坡度与方位角的测量方法多种多样，需根据实际情况选择合适的方法。未来研究可进一步探索智能化测量技术在光伏阵列施工中的应用，提高测量精度和效率。展望未来，随着太阳能光伏技术的不断发展，光伏

阵列的施工与设计将更加注重精细化、智能化。通过不断优化坡度与方位角设计，提高光伏阵列的发电效率和经济性，将为全球能源转型和可持续发展做出更大贡献。

参考文献

- [1]顾文兵,杨福胜,吴晗.任意坡度及光伏场地方位角下固定式光伏阵列间距研究[J].太阳能,2025,(01):95-102.
- [2]陈寿标,许贤贵,陈杰颖.坡度对山地光伏支架结构设计的影响分析[J].福建建设科技,2025,(01):25-27.
- [3]潘启科,陈春华,白宝华,等.任意方位角山地光伏阵列阴影长度计算方法研究[J].武汉大学学报(工学版),2023,56(S1):89-92.
- [4]李飞,孟中强.复杂地形下光伏电站间距、倾角和方位角的研究[J].电子测试,2020,(01):57-58+65.