# 复杂地形下光伏阵列倾角间距优化设计研究

张关明
中国水利水电第十四工程局有限公司　云南　昆明　650200

**摘　要：**复杂地形下光伏阵列布设长期受地貌不规则性制约，传统统一参数设计思路难以适配多变的坡面与空间条件，容易出现倾角适配偏差、间距排布失衡等问题。结合不同区域的坡面朝向、地势起伏特征梳理布设逻辑，本文从基础适配规律、现存设计短板出发，提出分区域动态调整倾角、随地形高差灵活设定间距的优化路径，兼顾局部地形特性与整体排布协同性，为复杂场地光伏阵列布设提供可落地的设计思路。

**关键词：**复杂地形光伏阵列；倾角动态适配；间距差异化布设；阵列协同优化

引言：光伏产业逐步向山地、丘陵等非平整场地拓展，传统适配平坦地形的标准化布设方法，在复杂地貌场景下逐渐显现出适配局限。这类场地普遍存在坡面朝向杂乱、地势高低错落、可用空间碎片化等特征，固定的倾角与间距参数很难匹配各处差异化的采光与空间条件。梳理复杂地形下光伏阵列的布设规律，厘清地形要素对两类核心参数的作用逻辑，能为这类特殊场地的光伏设计提供清晰的调整方向。

## 1 光伏阵列基础理论与地形适配特性

### 1.1 光伏阵列倾角与间距设计原理

光伏阵列倾角设计依托自然光照的传播规律调整组件安装角度，优化组件受光面和太阳入射光线的几何关系。区域光照角度会随季节更迭发生偏移，倾角参数结合这类自然变化规律设定，有效提升组件对自然光的吸收利用率。光伏阵列间距设计主要用于规避阵列之间的光线遮挡，合理控制各行各列组件的排布距离[1]。太阳高度角会随时间不断改变，组件投影尺寸也会随之伸缩变化，间距参数依据投影变化规律设计，缓解前排组件对后排组件的光线遮挡问题。倾角大小直接决定单块组件的采光覆盖面，影响光能收集效率。合理的间距布局能够规整场区整体空间结构，为全部光伏组件提供充足的采光空间。两组参数相互配合，构成光伏阵列布设设计的核心内容。

### 1.2 常规地形光伏阵列设计特征

常规地形大多地势平坦开阔，地表起伏幅度微弱，场地整体形态规整统一。平整的地表条件能够支撑全场光伏组件采用统一安装角度，倾角参数可以保持整体一致。规整的场地空间便于光伏组件有序排布，能够采用固定间距完成规模化、标准化布局。这类地形不存在明显地势高差与凸起地貌，不会形成天然光线遮挡。地表光照分布均匀，不同布设区域的采光环境基本保持一致。平整场地适配成熟的标准化布设方案，简化前期设计流程，降低现场布局调整难度，适配大规模集中式光伏电站的建设需求。

### 1.3 复杂地形光伏布设的特殊属性

复杂地形普遍存在坡面起伏、地势高差、局部凹凸不均等地貌特征，地表结构零散且不规则。不同坡面的朝向存在明显差异，各处接收的光照角度各不相同，统一的倾角布设方式无法适配多变的坡面环境。高低错落的地势会改变组件投影的长度和覆盖范围，固定的间距标准无法化解地形带来的遮光问题。局部凸起地貌会遮挡自然光线，干扰周边光伏组件的正常采光。可用施工场地碎片化分布，标准整齐的行列排布模式无法直接套用。地形条件的差异性，要求光伏阵列结合现场地貌特征灵活调整倾角与间距参数，以个性化布设方案适配复杂场地环境。

## 2 复杂地形光伏阵列布设影响因素

### 2.1 地形地貌形态带来的布设约束

复杂地形涵盖斜坡、沟壑、凸起、凹陷等多样地貌，地表整体结构极不规则。不同坡面存在大小不一的倾斜角度，坡面倾角超出常规范围时，会大幅提升光伏组件的安装难度，无法沿用常规安装工艺[2]。高低错落的地势打乱场地平整结构，难以形成连片规整的布设基面。场地低洼区域易积存雨水，长期潮湿环境会加速光伏组件老化腐蚀，降低设备运行稳定性。场地内的凸起岩体、高地结构会占用有效施工区域，压缩光伏组件的布设空间。无序变化的地貌条件打破标准化布设逻辑，传统平铺式光伏阵列布局无法落地，对整体场区规划形成硬性约束。

### 2.2 地表空间形态对阵列排布的干扰

复杂场地的地表空间普遍具备碎片化特征，完整连片的可施工区域较为稀缺。零散割裂的地块形态会拆分

光伏阵列整体布局，规模化、一体化的排布设计难以落地。各地块边界走向杂乱无序，规整的行列对齐布设模式会受到多重空间限制。场地局部区域空间狭窄，无法容纳完整的光伏组件及配套结构，只能缩减布设点位、舍弃部分施工区域。错落无序的地表结构会被动拉大组件排布间距，破坏场区均匀的排布密度，造成土地资源浪费。差异化的空间格局无法套用固定布设形式，标准网格布局很难适配复杂多变的场地条件，阵列排布方式需要做出灵活调整。

2.3 光照接收条件的差异化影响

地形起伏会改变场地各区域的空间朝向，让不同坡面的光照入射角度产生明显偏差。向阳坡面遮挡少、采光条件好，自然光可以充分覆盖组件板面。背阴坡面采光条件薄弱，自然光入射量大幅减少，组件采光效率大幅降低。场地高位区域视野开阔，遮挡干扰更少，光照资源更加充足。场地低位区域容易被周边山体、高地遮挡，光照时长会明显缩短。坡面倾角的动态变化会改变光线入射夹角，让不同位置组件的受光状态出现明显差异。复杂地形光照分布不均匀，固定统一的布设参数，无法适配全场差异化的采光环境。

2.4 阵列结构参数的相互制约关系

光伏阵列各类布设参数存在紧密关联，参数之间相互牵制、相互影响。布设倾角发生改动时，光伏组件的投影长度和覆盖范围会随之改变，原本适配的阵列间距不再适用。适度放大阵列间距，能够弱化遮光隐患，但会减少场区可布设组件数量，降低整体排布密度。过度收缩阵列间距，会提升相邻组件投影重叠的概率，加剧场区遮光问题。复杂地形的特殊环境会压缩倾角可调区间，倾角浮动范围受到场地条件的严格制约[3]。单一参数的独立调整存在局限性，无法兼顾整体布设效果，需要结合地形特征统筹协调各项参数，匹配场地实际布设需求。

## 3 复杂地形光伏阵列传统设计存在的问题

3.1 倾角设计通用性适配性不足

传统光伏倾角设计普遍采用固定参数标准，依托平坦场地的光照环境完成参数设定。这类设计思路适配地形规整的常规项目，很难适配复杂场地多变的地貌环境。复杂场地坡面角度各不相同，坡面朝向存在明显区别，不同区域的光照入射状态存在明显差异。固定不变的倾角参数难以适配多样的坡面环境，组件无法保持良好的采光状态。传统设计方式模式固化，没有结合地形起伏做出灵活调整。场地高低落差与坡面角度变化，都会改变组件的实际受光状态。固化的倾角设计无法适配这类动态变化，拉低光伏组件对光能的吸收水平。

3.2 间距排布方式存在不合理性

传统光伏阵列间距计算多基于平整场地的投影规律，以统一数值完成全场排布布置。平整场地地形条件简单，投影变化规律平稳，固定间距可以有效规避遮光问题。复杂地形地势高低错落，高位安装的组件投影范围会进一步延伸。低位布设的组件更容易受到周边组件的遮挡影响。传统间距设计忽略地形高差带来的投影变化，参数设置很难贴合现场实际布设条件。部分区域预留间距不足，组件投影出现重叠，场区遮光问题突出。部分区域预留间距过大，场地空间无法得到充分利用，布设密度偏低，造成土地资源浪费。

3.3 地形差异化考量维度不全面

传统光伏设计更多关注光照、纬度这类基础气象条件，对复杂地形的细节特征考虑不够充分。设计过程很少区分不同坡面的朝向差异，不会针对向阳、背阴区域调整布设方案。场地空间碎片化、边界不规则等地形特点，经常不在常规设计的考量范围内，依旧套用规整连片的布局方式。地形高差、局部凹凸等地貌细节容易被忽略，这类细节会持续影响阵列采光效果与排布质量。传统设计思路覆盖维度较为单一，侧重宏观层面的布设条件分析，缺少对局部场地的精细化研判。最终成型的布设方案，会和现场实际地形工况产生明显偏差。

3.4 阵列整体排布协同性偏弱

传统光伏设计习惯将倾角、间距、整体布局拆分处理，分项完成计算与设定，整体统筹思维较为欠缺。各项布设参数单独确定，参数之间的联动关系缺少统筹梳理。倾角数值做出改动后，匹配的间距参数不会随之调整，参数搭配出现明显矛盾。局部点位的布局调整只聚焦小范围区域，不会兼顾周边阵列的整体布局，场区布设标准杂乱。复杂地形内部参数约束关系复杂，单一维度的独立调整会破坏整体布局合理性。拆分式的设计方式，会让整场阵列排布秩序混乱，不同区块布设标准不统一，整体适配效果大幅弱化。

## 4 复杂地形光伏阵列倾角与间距优化设计路径

4.1 基于地形特征的倾角适配设计方式

复杂地形坡面形态杂乱，坡度大小、坡面朝向没有统一规律，传统统一倾角参数很难适配全域光伏布设工作。光伏组件倾角设计需要依托现场实地勘测的坡面数据开展，依据不同区块的坡面倾斜程度，灵活调整组件安装角度。场地内坡度平缓的区域，地形条件相对优越，只需在常规采光参数范围内小幅调整，就能保障组件稳定接收自然光[4]。坡度较陡的区域，地形约束更强，需要摆脱固定参数的束缚，顺着坡面自然走势调整组件

受光角度，最大化利用现有光照资源。场地向阳区域光照资源充足，精细调整倾角可以充分发挥采光优势，提升光能吸收效率。背阴区域先天光照资源匮乏，倾角调整以拓宽组件受光覆盖面为核心，缓解采光不足的问题。摒弃一成不变的模板化设计，针对局部地形特点定制专属倾角参数，能够适配复杂场地多变的布设环境，适配不同坡面的实际采光需求。

4.2 结合地形起伏的阵列间距排布设计

地形高低错落的结构会改变光伏组件投影的延展形态，平整场地沿用的固定间距标准，无法适配复杂山地的特殊布设环境。阵列间距排布设计需要结合场地竖向高差分层考量，对地势高低不同的布设区域区分设计标准。布设位置偏高的光伏组件，投影覆盖范围会向低处延伸扩散，适当拉大组件排布间距，可以减少投影重叠造成的遮光问题。布设位置偏低的光伏组件，长期处于周边高地及上部组件的阴影影响范围内，需要结合周边地貌结构微调间距数值，弱化外部遮光带来的负面影响。场地零散分布的凹陷、凸起地貌，会局部改变光线投射路径，需要单独测算地貌扰动带来的投影变化，灵活调整局部阵列排布距离。依据地形起伏规律动态设定间距参数，替换僵化统一的数值标准，有效改善复杂地形遮光频发、土地空间利用不均的各类布设问题。

4.3 多维度地形要素协同优化方案

复杂地形光伏布设优化不能局限于单一参数的简单调整，需要整合多重地形要素开展全方位优化设计。设计工作需要综合坡面角度、坡面朝向、地势高差、场地空间格局等核心指标，搭建多维度的布设设计参考体系。面对碎片化明显的场地结构，优先梳理可布设区域的边界轮廓与空间范围，依托地块原生形态匹配适配的倾角、间距参数。地势高差密集的区域，优先平衡竖向地形带来的采光差异，再细化平面空间的阵列排布密度与布局方式。坡向混乱、光照分布不均的场地，可划分独立的采光布设单元，结合每个单元的光照禀赋制定差异化优化方案。各类地形要素相互交织、互相影响，单一参数优化无法从根源上提升布设质量。多维度统筹调整的设计模式，能够弥补单项设计的短板，让光伏布设方案匹配场地真实的地貌结构与光照环境。

4.4 阵列整体布局的系统性优化思路

复杂地形光伏阵列优化设计需要树立全局思维，打破传统设计中分项参数独立设计的割裂模式。深度梳理倾角参数、间距参数与区块布局的内在关联，让各项参数调整相互适配、互相支撑，形成完整的布设体系。完成倾角参数优化后，需要对对应区域的间距标准进行全面校核修正，规避参数搭配失衡引发的布设缺陷。局部点位的布局调整不能局限于小范围区域，需要兼顾周边所有阵列的布设状态，维持整片场区布局逻辑的统一性，消除区块之间的设计偏差。结合场地整体地貌格局划分标准化布设单元，每个单元依据自身地形特征设置专属参数，同时保障各单元之间布局衔接连贯[5]。放宽传统网格布局的固化限制，让阵列排布形态顺应地形自然走势灵活变化，在适配复杂地貌的基础上，持续提升光伏场区的布设合理性与土地空间利用率。

**结束语**

复杂地形光伏阵列的倾角间距优化是一项牵涉地形几何、光照传播与空间排布的系统性设计工作。坡面朝向的离散性、地势高差的不均匀性以及场地空间的碎片化特征，共同打破了传统统一化布设逻辑的适用边界。通过梳理地形要素对倾角间距耦合关系的干扰路径，构建面向多坡面场景的参数协同调整方案，能够在贴合地貌自然走势的前提下提升场区土地利用效率与光能捕获水平。阵列整体布局的全局统筹思维替代分项独立设计模式，是复杂地形光伏精细化布设的必然走向，也是推动山地光伏高质量开发的技术基础。

**参考文献**

[1]梁晓越.山地光伏电站阵列倾角与间距设计对发电效率的影响[J].电力设备管理,2025(22):128-130.

[2]於立峰,吴序芳.光伏阵列间距规划下的山地电厂发电量优化方法[J].微型电脑应用,2025,41(12):242-245,255.

[3]桑晨亮.考虑光伏阵列布局优化的盐光互补系统发电量计算方法[J].四川电力技术,2026,49(1):8-13.

[4]龙鼎.基于改进萤火虫算法的分布式光伏发电板倾角优化方法[J].电气技术与经济,2025(4):373-375,382.

[5]江燕兴.极高纬度地区光伏电站阵列优化与设备管理策略研究[J].电力设备管理,2025(7):83-85.