

山地光伏项目水土保持技术体系构建

张顺利

大唐宝鸡第二发电有限责任公司 陕西 宝鸡 721000

摘要: 山地光伏项目建设过程中, 由于地形复杂、植被破坏等因素, 水土流失风险显著增加。本文构建了全面的水土保持技术体系, 包括土地整治、植被恢复、边坡防护及水资源管理等多维度措施。通过精准的地形分析与科学设计, 结合创新技术如三维植生网、双冗余排水系统等, 实现了水土流失的有效防控, 为山地光伏项目的可持续发展提供了坚实保障。

关键词: 山地光伏项目; 水土保持技术; 体系构建

引言: 在全球能源需求持续增长与环境保护意识日益增强的背景下, 山地光伏项目因其独特的地理优势成为清洁能源开发的新热点。然而, 山地复杂的地形地貌与脆弱的生态环境对水土保持提出了更高要求。本文致力于探索并构建一套适合山地光伏项目特点的水土保持技术体系, 旨在平衡能源开发与生态保护, 推动山地光伏项目的可持续发展。

1 山地光伏项目概述

1.1 山地光伏的基本原理与优势

1.1.1 光伏发电的工作原理及其在山地地形的应用

光伏发电基于光生伏特效应, 当太阳光照射到太阳能电池板时, 光子与电池材料中的电子相互作用, 使电子从价带跃迁到导带, 产生电流。在山地地形中, 可利用其坡度、方位角和高度等因素, 优化光伏板的安装角度和布局, 更好地接收阳光, 提升发电效率。

1.1.2 山地光伏的地形、气候与光照条件分析

山地地区通常日照时间长、太阳辐射强, 具有丰富的太阳能资源。且山地地形可减少光伏板间的阴影遮挡, 相较于平原地区, 能更好地利用光照。另外, 山地气候一般较为凉爽, 有助于降低光伏板工作温度, 减少因温度过高导致的发电效率损失, 延长光伏板使用寿命。同时, 山地的高海拔优势, 使得大气对太阳辐射的削弱作用减弱, 光照强度进一步增强^[1]。

1.2 山地光伏项目的发展现状与趋势

1.2.1 国内外山地光伏项目的建设情况与应用案例

在国内, 中国已成为全球最大的山地光伏市场之一, 如云南集中式光伏发电新增并网容量达1440.7万千瓦, 跃居全国首位。广西田东光伏项目, 虽面临35-50度陡坡等难题, 但通过创新采用滑索吊篮、钢轨道运输车等“五结合”运输方案完成建设。国外如德国、意大利、西班牙等国家在山地光伏领域取得重要进展, 尤其

在光伏板效率提升、电站智能化管理方面领先。

1.2.2 山地光伏项目的技术进步与成本下降趋势

随着技术不断创新, 山地光伏的转换效率和稳定性进一步提升。例如柔性支架技术, 能适应复杂山地地形, 相比传统支架可节约用地30%-50%, 降低单位千瓦投资额。智能组串式逆变器多路MPPT技术解决了山地电站组件朝向不一致、阴影遮挡问题。同时, 技术进步带动成本下降, 光伏组件价格降低, 安装和运维成本也因智能化管理有所减少, 使得山地光伏项目的经济效益不断提高, 未来发展潜力巨大。

2 水土保持基础理论

2.1 水土保持的定义与重要性

2.1.1 水土保持的概念、目的与意义

水土保持是指对自然因素和人为活动造成水土流失所采取的预防和治理措施。其目的是保护、改良和合理利用水土资源, 减轻水、旱、风沙灾害, 改善生态环境, 保障经济社会可持续发展。它是生态环境保护的重要组成部分, 对维护生态平衡、促进农业生产、保障水利工程安全等具有重要意义。

2.1.2 水土流失的危害及水土保持对生态环境的保护作用

水土流失会导致土壤肥力下降, 破坏土地资源, 影响农业生产; 加剧洪涝、干旱等灾害, 威胁人民生命财产安全; 还会造成河道淤积, 降低水利工程效益。水土保持通过采取各项措施, 能有效减少水土流失, 保护土壤结构, 增加土壤蓄水能力, 改善植被生长条件, 从而维护生态系统的稳定性, 促进生态环境的良性循环。

2.2 水土保持措施分类与原理

2.2.1 生物措施、工程措施、耕作措施等水土保持措施

生物措施是通过种植林草等植物, 利用其根系固

土、枝叶截留雨水,减少水土流失,如植树造林、种草护坡等。工程措施是通过修建各种工程设施,改变地形地貌,拦蓄水流,如梯田、挡土墙、排水沟等,起到固土保水的作用。耕作措施是在农业生产中采用合理的耕作方式,如等高耕作、轮作套种等,减少土壤侵蚀。

2.2.2 各类措施在山地光伏项目中的适用性分析

在山地光伏项目中,生物措施适用于光伏板间隙及周边区域,可种植耐旱、低矮的草本植物或灌木,既保持水土又不影响光伏板采光。工程措施适用性强,如在光伏阵列区修建挡土墙防止边坡坍塌,设置排水沟疏导雨水;在施工道路两侧修建护坡工程等。耕作措施适用性相对较弱,因项目区以光伏设施为主,农业耕作区域少,但可在周边少量配套农业区采用。

3 山地光伏项目水土保持技术体系构建

3.1 水土保持技术体系框架设计

(1) 整体框架与构成要素。山地光伏项目水土保持技术体系整体框架以“预防-治理-监测-维护”为核心流程,构成要素包括基础调查与评估模块、措施实施模块、监测预警模块、管理维护模块。基础调查与评估模块负责勘察地形地貌、土壤类型、植被状况等,为措施设计提供依据;措施实施模块涵盖表土保护、边坡治理、截排水等具体技术;监测预警模块通过布设监测点,实时掌握水土流失动态;管理维护模块则制定长效机制,保障措施持续生效^[2]。(2) 相互作用与协同作用机制。各构成要素相互关联、协同运作。基础调查与评估是措施实施的前提,其结果直接决定技术选择;措施实施效果需通过监测预警模块验证,监测数据又能反哺基础调查,优化后续措施;管理维护模块基于监测信息,对措施进行及时修复和调整,形成“调查-实施-监测-维护”的闭环协同体系,提升整体水土保持效能。

3.2 关键水土保持技术与方法

3.2.1 表土剥离与保护措施

(1) 技术要点与操作规范。表土剥离前需划定剥离范围,清除地表杂物及大块砾石。采用液压挖掘机分层剥离,每层厚度控制在20-30厘米,避免超厚剥离导致土壤结构破坏。剥离后的表土需按“就近堆放、集中管理”原则,堆置在地势平缓区域,堆高不超过3米,边坡坡度 $\leq 30^\circ$ 。操作时需保留10-15厘米厚的表土层作为保护层,防止下层土壤被扰动。(2) 保护措施的选择与实施。短期堆放采用“防雨布+草袋挡墙”组合措施,防雨布搭接宽度 ≥ 50 厘米,草袋挡墙高度与堆土高度一致,底部设置透水盲沟。长期堆放需种植先锋草本植物,如紫花苜蓿,覆盖率需在3个月内达到70%以上。回覆时采

用机械摊铺与人工平整结合,确保表土厚度均匀,回覆后24小时内进行洒水压实,避免风蚀。

3.2.2 边坡稳定与植被恢复技术

(1) 边坡稳定措施的设计与实施。对于坡度 15° - 25° 的边坡,采用浆砌石格构梁结合锚杆加固,格构梁间距2-3米,锚杆长度为边坡高度的1.2倍,锚固深度 ≥ 1.5 米。坡度 $> 25^\circ$ 的边坡,增设喷射混凝土面层,厚度8-10厘米,内掺聚丙烯纤维。施工时先清理边坡浮土,再按设计间距钻孔,锚杆注浆饱满度需达95%以上,格构梁浇筑时预留植被种植孔。(2) 植被恢复技术的选择与效果评估。选择乡土物种混播,如狗牙根、紫穗槐、沙打旺按3:2:1比例混合,采用液压喷播技术,喷播厚度 ≥ 10 厘米,其中腐殖土占比60%。效果评估指标包括:植被覆盖率(第1年 $\geq 50\%$,第2年 $\geq 80\%$)、土壤抗蚀性(有机质含量提升20%以上)、边坡稳定性(位移量 ≤ 5 毫米/年)。每季度监测1次,连续监测2年,形成评估报告^[3]。

3.2.3 截排水与水资源管理技术

(1) 截排水系统的设计与优化。截水沟沿光伏场区周边等高线布置,采用梯形断面,底宽0.5-0.8米,深度0.6-1.0米,边坡比1:1.2。排水沟与光伏阵列行距平行,间距30-50米,采用U型混凝土槽,壁厚 ≥ 8 厘米,坡度 $\geq 2\text{‰}$ 。沉沙池设置在排水沟出口,容积按5年一遇暴雨设计,采用三级沉淀,池壁采用浆砌石砌筑,底部铺设防渗膜。通过Hydrus-2D模型模拟水流速度,优化沟道尺寸,确保排水能力富余系数 ≥ 1.2 。(2) 水资源管理与利用策略。建设雨水收集池,容积按光伏场区面积 $\times$ 年降雨量 $\times 80\%$ 计算,配套潜水泵及过滤系统。灌溉采用智能滴灌,每50平方米设置1个滴头,流量2-4升/小时,根据土壤墒情传感器数据自动启停,灌溉定额控制在20-30立方米/亩 $\cdot$ 年。收集的雨水优先用于植被灌溉,富余部分经净化后用于光伏板清洗,实现水资源利用率 $\geq 70\%$ 。

3.2.4 复合覆盖体系与生态浮床技术

(1) 复合覆盖体系的设计与构建。在光伏板下方构建“生物炭改良层+秸秆覆盖层+植被层”体系,生物炭铺设厚度5-8厘米,可提升土壤保水能力30%以上;秸秆覆盖层厚度10-15厘米,选用玉米秸秆或麦秸,纵横交错铺设;植被层种植耐阴植物,如白三叶、麦冬,株行距20 $\times$ 20厘米。覆盖范围为光伏板投影区外30厘米,避免影响板下通风。(2) 生态浮床技术的应用。在项目区汇水洼地布设生态浮床,采用HDPE材质框架,尺寸4 $\times$ 2米,浮力 ≥ 50 千克/平方米。浮床种植水生植物,如菖蒲、芦苇、凤眼莲按2:2:1配置,种植密度30株/平方米。浮床

覆盖率控制在水域面积的30%-40%，通过绳索固定在岸边，定期清理枯枝落叶，每年更换1/3植物种类，提升净化效果，COD去除率需达40%以上^[4]。

3.3 技术体系的智能化与自动化趋势

(1) 基于物联网的自动化监测与调控技术。布设物联网监测节点，每50亩设置1个监测站，配备土壤墒情传感器（测量范围0-100%，精度 $\pm 2\%$ ）、rainfall计（分辨率0.2mm）、水土流失监测仪（精度 $\pm 1\%$ ）。数据通过LoRa无线传输至网关，传输间隔 ≤ 30 分钟。当监测到土壤含水量 $< 15\%$ 时，自动启动灌溉系统；降雨量 $> 50\text{mm/小时}$ ，开启应急排水泵；土壤侵蚀量超阈值时，推送预警信息至管理人员手机，响应时间 ≤ 15 分钟。(2) 智慧水土保持平台的开发与应用。智慧平台整合GIS地图、监测数据、措施档案等信息，具备三大功能模块：①可视化展示，实时显示各监测点数据、措施分布及水土流失风险等级；②预测预警，基于BP神经网络模型预测未来7天水土流失趋势，准确率 $\geq 85\%$ ；③智能决策，根据监测数据自动生成措施优化建议，如调整灌溉时长、补种植被区域等。平台支持手机APP访问，管理人员可远程查看数据、下达指令，使水土保持管理效率提升40%以上。

4 挑战与对策

4.1 山地光伏项目水土保持面临的挑战

(1) 地形复杂性与气候多变性的影响。山地地形起伏大、坡度陡峭，部分区域岩石裸露，导致表土剥离难度增加，边坡稳定性控制风险高。同时，山地气候多变，暴雨、强风等极端天气频发，易引发水土流失。例如，短时强降雨可能冲毁截排水系统，狂风则会加剧表土风蚀，给水土保持措施的持续性带来严峻考验。此外，不同海拔区域光照、温度差异大，也会影响植被恢复的成活率。(2) 技术体系构建与实施的成本与效益分析。山地光伏项目水土保持技术体系构建需针对性设计特殊措施，如定制化边坡治理方案、复杂地形的监测设备布设等，导致前期技术研发和设备投入成本较高。施工阶段，地形限制使机械作业效率降低，人工成本增加。虽然长期来看，水土保持能减少生态修复费用和灾害损失，但短期内成本与效益的失衡，可能影响项目方

的投入积极性。

4.2 应对策略与建议

(1) 加强技术研发与创新。加大对适应山地特点的水土保持技术研发力度，如研发轻型化、模块化的边坡稳定设备，提高在复杂地形的安装效率；开发耐极端气候的乡土植被品种，提升植被恢复效果。同时，推动智能化技术与水土保持的深度融合，通过精准监测和调控，降低运维成本，提高技术有效性。(2) 完善政策法规与标准体系。制定针对山地光伏项目水土保持的专项法规，明确项目各环节的水土保持责任。建立统一的技术标准，规范表土保护、边坡治理等措施的实施要求。同时，出台补贴、税收优惠等激励政策，鼓励项目方加大水土保持投入，平衡成本与效益。(3) 加强宣传教育与合作交流。通过科普宣传、案例展示等方式，提升公众对山地光伏项目水土保持重要性的认识，争取社会支持。推动政府、企业、科研机构合作，建立技术共享平台，促进先进经验和技术的推广应用，形成全社会共同参与的水土保持治理格局。

结束语

综上所述，山地光伏项目水土保持技术体系的构建是一个系统工程，需综合考虑地形、气候、植被等多重因素，采取科学合理的预防与治理措施。通过本文的研究，我们提出了涵盖表土保护、边坡稳定、水资源管理及智能化监测等多方面的技术体系，为山地光伏项目的可持续发展提供了有力支撑。未来，我们将继续深化技术创新，加强实践应用，为构建绿色和谐的能源生态环境贡献力量。

参考文献

- [1]杨晓瑞.浅谈光伏发电中水土保持的方法[J].中国新技术新产品,2020,(08):118-119.
- [2]贾志军,李江华.浅析光伏发电项目水土保持监测效果[J].河北水利,2021,(02):31-32.
- [3]黄志军.山地光伏发电项目的水土治理防治措施[J].中国高新科技,2023,(18):145-147.
- [4]孙凯.山地风电场水土流失特点及防治对策[J].科技创新与应用,2021,(10):99-101.