

凉山地区高海拔山地光伏项目水土流失防控与生态友好型边坡治理技术

李荣春

中国水利水电第十二工程局有限公司 浙江 杭州 310000

摘要：本文聚焦凉山地区高海拔山地光伏项目，深入剖析水土流失现状。研究发现，该地区独特的气候、地质条件与工程建设活动，共同加剧了水土流失问题。为此，提出表土资源化利用、微地形改造等系列防控与治理技术。实践表明，这些技术可有效降低土壤侵蚀量、提升植被覆盖率，实现光伏产业发展与生态保护的协调统一，为同类地区光伏项目水土保持提供了科学参考与实践范例。

关键词：凉山地区；高海拔山地光伏项目；水土流失防控；生态友好型边坡治理

引言：随着全球清洁能源战略推进，凉山地区依托丰富太阳能资源大力发展高海拔山地光伏项目。然而其复杂的地形地貌、集中的强降雨气候，叠加项目建设中的植被破坏、弃土随意堆放等人为因素，致使水土流失问题日益严峻。这不仅威胁区域生态安全，也制约光伏产业可持续发展。因此探究凉山地区高海拔山地光伏项目水土流失防控与生态友好型边坡治理技术，对平衡能源开发与生态保护、推动区域绿色发展具有重要的现实意义。

1 凉山地区高海拔山地光伏项目概况

1.1 凉山地区自然生态特征

凉山彝族自治州地处四川省西南部，是典型的高海拔山地地貌，境内山峦起伏，地势复杂。区域内海拔差异显著，从河谷地带到高耸山峰，海拔跨度可达数千米，形成了独特的垂直气候带。低海拔河谷区域气候温暖湿润，年平均气温较高，而高海拔山区则寒冷多风，昼夜温差大，冬季常有积雪覆盖。这里的地形以山地、高原为主，坡度陡峭，岩石裸露率高，土壤层相对较薄且质地松散。由于复杂的地质构造和长期的风化侵蚀作用，山体稳定性较差，滑坡、泥石流等地质灾害隐患点分布广泛。植被类型丰富多样，垂直分布明显，低海拔地区多为亚热带常绿阔叶林，随着海拔升高，逐渐过渡为针阔混交林、针叶林，直至高海拔的灌丛和草甸。然而，近年来受人类活动影响，部分区域植被遭到破坏，生态系统的自我修复能力减弱。水资源方面，凉山地区河流众多，水系发达，但时空分布不均。雨季降水集中，易引发山洪和水土流失；旱季降水稀少，部分区域水资源短缺，对植被生长和生态系统稳定造成不利影响。另外，该地区生物多样性丰富，拥有许多珍稀动植

物物种，是我国重要的生态屏障之一，其生态环境的保护对于维护区域乃至全国的生态安全具有重要意义。

1.2 凉山地区光伏项目发展现状

随着全球对清洁能源需求的不断增长，凉山地区凭借丰富的太阳能资源，成为我国高海拔山地光伏项目的重要发展区域。近年来，当地政府积极推动光伏产业发展，出台了一系列优惠政策，吸引了众多企业投资建设光伏电站^[1]。目前，凉山盐源地区已建成多个大型高海拔山地光伏项目，装机容量不断攀升。这些项目大多分布在光照充足、地势开阔的高海拔山区，充分利用了当地的太阳能资源优势。然而，高海拔山地的特殊地形条件给光伏项目建设带来诸多挑战，如施工难度大、交通运输不便、设备安装和维护成本高等。在项目建设过程中，由于对生态环境保护重视不足，部分光伏电站的建设对当地自然生态造成了一定破坏。例如，大面积的场地平整和施工道路修建，导致植被破坏、土壤裸露，增加了水土流失的风险；光伏组件的铺设改变了原有的地形地貌和地表径流路径，进一步加剧了生态环境的脆弱性。

2 凉山高海拔山地光伏项目水土流失驱动因素分析

2.1 自然因素

凉山地区独特的自然地理条件构成了高海拔山地光伏项目水土流失的重要基础诱因。在气候层面，该区域属于亚热带季风气候，年平均降水量达900-1200毫米，其中70%-80%的降水集中于6-9月，暴雨日数年均超15天。2022年7月的一次特大暴雨中，局部地区1小时降雨量突破80毫米，强大的降雨动能直接将松散表土转化为泥浆流，致使某光伏项目施工区域出现2000立方米的土壤流失。高海拔山区地势陡峭，坡度普遍超过30°，径流流速可达5-8米/秒，是平原地区的5-10倍，这种高速水流对土

壤的切蚀力极强,进一步加剧了水土流失的程度。复杂的地质条件也为水土流失埋下隐患,凉山地处横断山脉东缘,板块碰撞形成的褶皱、断层等地质构造密集,区域内岩石破碎率超过60%。在光伏项目基础开挖过程中,机械震动易触发岩体失稳,2021年某项目因边坡开挖引发的小规模滑坡,导致约3000平方米植被损毁,大量土石冲入下游河道。同时,该地区土壤以黄壤、红壤为主,土质疏松,孔隙度高达45%-55%,抗剪强度仅为15-20千帕,在降雨和径流的作用下,极易被搬运流失^[2]。风力侵蚀同样不容忽视,高海拔山区年均风速达3-5米/秒,冬春季节瞬时风速可超20米/秒。干燥的表土在风力作用下,粒径小于0.05毫米的颗粒被大量吹扬,形成扬尘甚至沙尘暴。被风蚀后的地表变得更为松散破碎,为后续雨季的水蚀创造了有利条件。例如在凉山州盐源县部分光伏项目区,旱季风蚀使地表土层减薄达5-10厘米,土壤抗侵蚀能力下降40%以上,显著增加了雨季水土流失的风险。

2.2 人为因素

在凉山高海拔山地光伏项目建设和运营过程中,人为活动是导致水土流失的关键驱动因素。项目建设阶段,大规模的场地平整、基础开挖和施工道路修建等工程活动,直接破坏了原有的植被和土壤结构。植被具有保持水土、涵养水源的重要功能,植被的破坏使得土壤失去了天然的保护屏障,裸露的土壤在降雨和径流的作用下,极易发生水土流失。施工过程中产生的弃土弃渣,如果不进行合理堆放和防护,也会成为水土流失的重要来源。许多项目为了节省成本,随意堆放弃土弃渣,没有采取有效的拦挡和覆盖措施,在降雨时,弃土弃渣被冲刷进入周边的河流和沟渠,不仅造成水土流失,还会堵塞河道,引发洪涝灾害。例如,工作人员频繁在光伏区内行走和车辆通行,会进一步压实土壤,破坏地表植被,降低土壤的渗透能力,增加地表径流,从而加剧水土流失,部分项目对生态环境保护意识不足,缺乏有效的水土保持措施和生态修复计划,导致水土流失问题得不到及时治理和改善。

3 凉山地区高海拔山地光伏项目水土流失防控与生态友好型边坡治理技术

3.1 表土资源化利用技术

表土作为土壤中最具生态价值的部分,富含腐殖质、微生物群落和植物生长所需的关键养分,其肥力水平显著高于下层土壤,是维系植被健康生长与生态系统平衡的核心要素。在凉山高海拔山地光伏项目建设进程中,表土资源化利用技术的应用尤为关键。在凉山高海拔山地光伏项目建设中,鉴于项目所在地生态脆弱且处

于高海拔地区,施工团队采取了创新的微创施工技术,如灌注桩结构等,以替代传统的大开挖基础施工方式。这种施工方法显著减少了土石方的开挖量和对地表的扰动,从而降低了对土壤生态系统的直接破坏。尽管如此,在必要进行局部表土处理时,施工团队仍会利用先进的机械设备对拟建区域的表土进行精细剥离作业,但剥离范围和深度都经过严格控制,通常不超过土壤表层的关键生态层,即避免深入土层20至30厘米以下,以最大程度地留存土壤中的有机质及微生物群落。这些生态关键要素对于维持土壤肥力与生态平衡至关重要。剥离的表土会被谨慎转移至预设的、具有完善防护措施的临时储存区域,该区域周围筑有挡土墙及截水沟,顶部铺设防尘网,以确保表土在储存期间免受雨水冲刷、风力侵蚀等自然因素的破坏,为后续可能的生态恢复或土地利用工作提供宝贵的土壤资源。实践案例有力地证明了表土资源化利用技术的显著成效:在一个具体的光伏项目中,得益于该技术,植被的恢复周期由常规的3至4年大幅缩短至1至2年,植被的成活率也实现了约30%的显著提升。这一转变不仅加速了生态系统的自然恢复进程,还进一步体现了工程项目建设与生态环境保护之间的和谐共生,为实现可持续发展目标贡献了重要力量。

3.2 微地形改造与径流调控技术

凉山高海拔山地光伏项目区地形复杂多变,地表径流流速快、冲刷力强,极易引发严重的水土流失问题。微地形改造与径流调控技术正是针对这一难题的有效解决方案。在微地形改造方面,工程人员依据不同的坡度和地质条件,采取了因地制宜的策略,主要修建了水平阶等适宜的微地形结构,以适应高海拔及恶劣气候条件下的生态恢复需求。以水平阶为例,其沿着等高线修筑,形成台阶状平台,不仅能够减缓坡面水流速度,还能有效拦截泥沙,增加雨水下渗量。每个水平阶宽度约1.5-2米,阶面外高内低,可引导水流有序汇入排水沟^[3]。径流调控设施的合理布局同样至关重要,排水沟采用U型或梯形断面设计,根据汇水面积和降雨量确定尺寸,确保排水顺畅。沉砂池则设置在排水沟下游,通过物理沉淀作用去除径流中的泥沙,防止泥沙淤积河道和损坏光伏设备。在某光伏项目中,通过实施微地形改造与径流调控技术,项目区地表径流流速降低约40%,土壤侵蚀量减少近60%,有效保护项目区及周边生态环境,同时保障了光伏设备的安全稳定运行,实现水土保持与工程效益的双赢。

3.3 植被-工程复合修复技术

凉山高海拔山地光伏项目边坡坡度大、地质条件复

杂,单纯依靠植被恢复或工程措施难以达到理想的治理效果。植被-工程复合修复技术将工程防护与生态修复有机结合,为边坡治理提供了全面有效的解决方案。在工程措施层面,针对边坡的具体条件,灵活运用挡土墙、生态袋护坡等防治技术。例如,在天然冲沟等区域,采用挡土墙结构来有效阻挡土壤流失;而在其他坡度变化处,生态袋护坡以其良好的柔韧性和生态适应性,为边坡提供了稳固的支撑。在强化工程防护的同时,植被恢复工作同步推进,以期实现边坡治理的全面效果。在工程防护的基础上,植被恢复工作同步开展。依据当地的气候、土壤和光照条件,筛选出耐旱、耐寒、根系发达的本土植物品种,如狗牙根、高山杜鹃、多花木兰、索玛花、刺槐等。通过草本、高山杜鹃、灌木、索玛花、乔木的合理搭配,构建多层次的植被群落。草本植物能够快速覆盖地表,减少雨水冲刷;灌木和乔木则扎根更深,起到长期固土护坡的作用。这种复合修复技术在多个光伏项目边坡治理中成效显著,植被覆盖率提高至85%以上,边坡稳定性大幅增强,有效遏制水土流失,同时恢复边坡的生态景观,促进了生态系统的良性循环。

3.4 智能滴灌与微润技术

凉山高海拔山地气候干旱少雨,水资源时空分布不均,传统灌溉方式难以满足光伏项目区植被生长的用水需求。智能滴灌与微润技术凭借其精准高效的供水特性,成为解决这一问题的关键技术手段。微润技术则采用新型高分子材料制成的微润管,其表面布满纳米级微孔,能够利用土壤毛细管作用和渗透压,使水分缓慢均匀地向周围土壤扩散。在实际应用中,将微润管铺设在植物根系附近,可使土壤始终保持湿润状态,为植物生长创造稳定的水分环境。两种技术的结合应用,使水资源利用效率提高至80%以上,有效降低灌溉成本,同时显著提升植被的生长质量和抗旱能力,增强了植被在恶劣环境下的水土保持功能。

3.5 智能监测与预警系统

为实现对凉山高海拔山地光伏项目区水土流失的动态化、智能化管理,智能监测与预警系统发挥着不可或

缺的作用。该系统集成了多种先进传感器设备,土壤湿度传感器可实时监测土壤含水量变化,位移传感器能够精准捕捉边坡土体的微小位移,雨量传感器则实时记录降雨量和降雨强度。这些传感器通过无线传输网络将数据实时上传至数据中心。数据中心运用大数据分析和人工智能算法,对采集的数据进行深度处理和分析。通过建立水土流失预测模型,结合历史数据和实时监测信息,对水土流失的发展趋势进行精准预测^[4]。当监测数据超过预先设定的安全阈值时,系统会立即通过短信、邮件、APP推送等多种方式发出预警信息,提醒相关管理人员及时采取应对措施。在某光伏项目中,智能监测与预警系统成功预警了一次边坡局部滑动险情,管理人员及时启动应急预案,避免了大规模水土流失灾害的发生。该系统实现对水土流失的“早发现、早预警、早处置”,为光伏项目的生态安全和可持续发展提供强有力的技术保障。

结束语

本研究系统分析了凉山地区高海拔山地光伏项目水土流失的驱动因素,并针对性提出系列防控与治理技术。通过实践验证,这些技术在减少土壤侵蚀、增强边坡稳定性、提升植被覆盖率等方面成效显著。但随着光伏产业持续扩张,生态保护挑战依然存在。未来,需进一步优化现有技术,加强多学科融合创新,构建更完善的生态保护体系,助力凉山地区实现光伏产业与生态环境的协同高质量发展。

参考文献

- [1]郑阳光.新能源发电快速控制技术对新能源电力产业发展的影响[J].科技经济市场,2022(11):14-16.
- [2]降绍哲,赵金,李胜文等.光电互补供电下光照变化剧烈时电网的功率补偿控制[J].山西电力,2022(05):33-38.
- [3]杨兆科,王坤,王庆,等.超高海拔风电场风机机组吊装施工技术研究[J].房地产导刊,2023(11):174-175,178.
- [4]张博峰,刘俊波.山地风电场防雷接地施工技术研究[J].建筑工程技术与设计,2020(28):1180-1181.