山地光伏场区水土保持生态修复技术

李金先　张　浩　杨明东

中国电建集团四川工程有限公司 四川 成都 610000

【摘　要】：山地光伏场区建设会切割原有坡面径流路径，支架基础、箱变平台、施工便道和电缆沟开挖容易形成裸露表土、线状汇流和冲沟扩展。本文识别地形扰动和表土破碎对水土流失的触发条件，分析微地形整治、排水消能、边坡固土、植被配置和施工防护的技术衔接，并把雨季巡查、冲沟复修、排水清淤和覆盖度管护纳入修复效果维护。水土保持生态修复技术只有同时处理坡面来水、泥沙沉降、土壤稳定和植物恢复，才能使光伏发电设施与山地坡面生态保持稳定关系。

【关键词】：山地光伏；水土保持；生态修复；坡面径流；植被恢复

DOI:10.12417/2811-0528.26.21.002

山地光伏场区通常布置在坡度变化大、地表土层薄、原生植被斑块化的山地或丘陵边坡。光伏阵列不需要大面积硬化，但支架基础、检修道路、集电线路和场内排水会改变坡面微地形，雨季径流在板下滴落线、道路边沟和基础周边重新集中，局部裸露地表很快从面蚀转向细沟侵蚀。生态修复技术要把施工扰动控制、径流分散、泥沙沉降、土壤稳定和植物群落恢复放在同一个坡面单元内处理。

1 山地光伏场区水土流失特征

（1）地形扰动与坡面径流集中：山地光伏场区的水土流失先由地形扰动改变坡面连通性。阵列区为适应朝向和间距，常在原有山脊、缓坡和沟谷边缘布置支架，局部削坡、回填和机械通行会打断枯落物层与根系层，雨水沿板面滴落线、基础周边低洼带和临时道路边缘重新汇集[1]。坡面原本分散入渗的水流被排成线状后，细粒表土在短历时强降雨中先被剥离，随后在坡脚或排水出口形成冲沟；若截排水线没有避开裸露土带，沟头会向上游扩展并切入支架基础附近。坡面扰动与径流集中关系见图 1。



图 1 山地光伏场区坡面径流集中风险

图 1 中，光伏阵列顺坡布置后，板下滴落线和支架基础周边成为径流重新汇合的位置；裸露表土区域缺少根系约束，蓝色箭头在下坡段并入冲沟风险部位，说明截排水线必须先削弱连续汇流，再与下游消能和沉砂设施衔接。

（2）支架基础施工与表土破碎：支架基础、箱变平台和电缆沟开挖对表土结构的破坏具有点状分散、范围连续的特点。单个桩基扰动面积不大，但多排基础沿坡排列后，会在板下形成密集裸露斑块；混凝土垫层、弃土临时堆放和车辆碾压又会降低表层土孔隙连通性，降雨初期入渗能力下降，坡面产流提前。表土剥离后若没有分层堆放和回覆，种子库和细根残体随弃土混杂，后期复绿依赖外来客土或播撒草籽，根系固土速度滞后于雨季侵蚀过程。施工组织应把基础开挖、弃土调运、临时覆盖和复绿窗口连在一起安排，避免完成支架后才处理裸露地表。

2 山地光伏场区生态修复技术

（1）微地形整治与排水消能：微地形整治的作用是把集中水流重新拆分为可控的短坡段，而不是在坡脚简单增设一条排水沟。阵列上方应按天然汇水方向布置截水沟，板间和道路两侧排水沟要与沉砂消能池、跌水坎或砾石消能段衔接，使水流在进入自然沟道前降低流速并沉降泥沙[2]。坡面回填区可采用反坡台阶、小平台和浅沟导排组合，台阶外缘不得形成连续悬空边坡；沟底铺砌、急弯和跌坎位置要留出检修空间，避免淤积后无人清理。工程和植物修复措施组合见图 2。

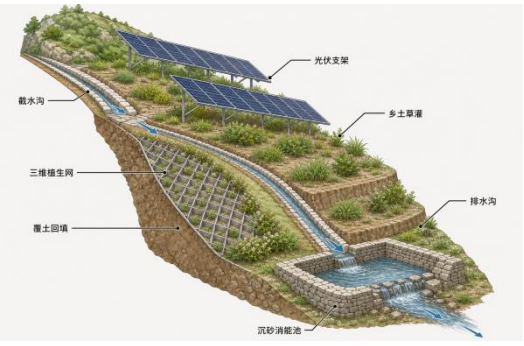


图 2 山地光伏场区生态修复技术组合

图 2 中，截水沟先控制上方来水，排水沟把场内径流导入沉砂消能池，三维植生网和覆土回填承担坡面固土，乡土草灌

则填补光伏板下和台阶边缘的裸露空间。工程措施与植物措施在同一坡面上交错布置，可降低排水出口集中冲刷和边坡浅层滑塌风险。

（2）边坡固土与植被恢复配置：边坡固土要要把工程约束和植物根系恢复放在同一时序内完成。土层薄、坡面破碎或岩土裸露的位置，可先用三维植生网、生态袋、格构或椰丝毯固定表层土，再覆回原表土和有机改良材料；坡度较缓、检修通行要求较低的板下区域，可采用耐阴、耐旱、根系分蘖能力强的乡土草本和低矮灌木混播。植被恢复不宜追求高大乔灌快速成景，高杆植物会影响组件遮挡和运维通道，根系过强的灌木也可能扰动浅埋电缆[3]。光伏板遮阴会改变土壤温湿条件，局部水分增加有利于草灌生长，但滴落线附近仍要防止冲刷，植物配置要同时考虑光照、根幅、维护高度和坡面固土位置。在土层厚度不足的岩质坡面，植被措施要与格构、锚固网或客土袋配合，先保证根系有可持续附着层，再评价覆盖度变化。

（3）施工便道和裸露地表防护：施工便道和临时堆土区是山地场区容易被低估的部位。便道沿等高线布置时，应在外侧设置浅边沟和分散出水口；顺坡便道无法避免时，路面应采用碎石稳定层、横向截水坎和短距离导流，防止车辆压实面变成坡面径流通道，并在转弯、会车和坡脚汇水处增设碎石缓冲带。临时堆土应避开沟头、排水出口和支架基础密集区，堆体周边设置拦挡和覆盖，回填前保留表土与深层弃土的分层关系。裸露地表在等待下一道工序时，也要用无纺布、草帘或临时喷播保护，防护时间越接近雨季，越要减少一次性大面积开挖。

3 水土保持修复效果维护

（1）雨季巡查与冲沟复修：雨季维护决定生态修复措施能否从施工期防护转入长期稳定。雨前排查重点检查截水沟入口、排水沟急弯、沉砂池出水口、便道横向截水坎和板下滴落线，清除落石、枯枝和淤泥；暴雨后复查沿冲刷痕迹向上追踪，判断问题来自沟道堵塞、边坡裸露、基础周边沉陷还是出水口消能不足。冲沟复修不能只回填沟槽，应先处理上游来水，再分层回填、压实和覆盖表土，必要时增设砾石跌坎或植生袋稳脚[4]。台账记录应写清缺陷位置、来水来源、复修材料和复查时间，同一部位多次冲刷时，维护重点要从回填修补转为调整排水路径。残余风险随维护响应增强而下降的相对关系，可用于区分排水类缺陷和植被类缺陷的处置先后。维护响应与残余冲刷风险关系见图 3。

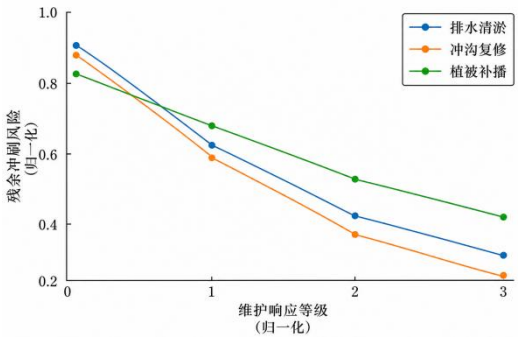


图 3 雨季维护响应与残余冲刷风险关系

图 3 中，排水清淤和冲沟复修曲线随维护响应等级提高下降更快，说明沟道通畅和冲沟稳定直接控制暴雨后的残余冲刷风险；植被补播曲线下降较缓，原因在于根系固土和覆盖恢复存在生长期，短期内仍要依靠排水和坡面稳脚措施共同控制风险。

（2）植被成活率和覆盖度管护：植被管护应把成活状态、覆盖度变化和水土流失部位放在同一张现场记录中。板下阴影区、阵列间通风带、道路边坡和排水沟两侧的植物生长条件不同，补播补植不能使用同一草种和密度；低覆盖度地块若同时出现表土结皮、沟蚀或水流冲刷，说明问题不只是缺苗，还可能是坡面汇流和土壤基质未处理到位。管护周期内要保留枯死斑块、补播位置、覆盖度记录和复查结果，连续两次复绿失败的部位应回到排水和覆土环节重新判断。山地光伏场区也应将植被恢复作为工程措施有效性的现场反馈，而不是把绿化完成时间当作修复终点。

4 结语

山地光伏场区水土保持生态修复技术应围绕坡面径流重组和土壤结构破碎展开，先识别支架基础、施工便道、排水出口和裸露边坡等高风险部位，再用微地形整治、截排水衔接、沉砂消能、覆土回填、三维植生网和乡土草灌配置恢复坡面稳定。雨季巡查、冲沟复修、排水清淤和植被补播决定修复效果能否延续，维护记录也应绑定具体部位、问题状态和处理结果。该技术链适用于坡面破碎、汇流路径复杂、施工扰动分散的山地光伏场区，后续实施中仍需根据土层厚度、坡度、降雨集中度和植物成活状态调整工程措施强度。

参考文献：

[1] 杨帅,王亮,黎启帆,等.光伏遮蔽对半干旱区露天矿生态修复微环境影响研究[J].价值工程,2026,45(21):13-15.

[2] 张怀畅.生态修复下沙漠光伏项目工程的场景重构新策略[J].新发现,2026,(2):43-45.

[3] 王大春.生态脆弱区光伏电站植被修复策略[J].低碳世界,2025,15(10):7-9.

[4] 王为旖楠.广东能源葵潭农场光伏电站接入系统项目水土保持措施体系探讨[J].中国水土保持,2026,(1):112-114.