平原风电项目水土保持措施及效益分析

吴杰

宜春市水利局, 江西 宜春 336300

摘要 : 本文聚焦平原风电项目, 全面探究其建设中引发水土流失的各类因素, 详细阐述对应的水土保持策略, 并结合实例量化评估水土保持效益。研究表明, 工程与植物等多种措施协同运用, 能切实防控水土流失, 助力生态环境优化, 为平原风电项目可持续推进及类似工程水土保持实践提供有力支撑。

关键词 : 平原风电项目; 水土流失; 水土保持措施; 效益分析

Water and Soil Conservation Measures and Benefit Analysis of Wind Power Projects in Plains

Wu Jie

Yichun Water Resources Bureau, Yichun, Jiangxi 336300

Abstract : This article focuses on wind power projects in plains, comprehensively explores various factors that cause soil erosion during construction, elaborates on corresponding soil and water conservation strategies, and quantitatively evaluates the benefits of soil and water conservation through practical examples. The research shows that the coordinated application of various measures such as engineering and plant measures can effectively prevent and control soil erosion, promote ecological environment optimization, and provide strong support for the sustainable promotion of wind power projects in plains and soil and water conservation practices in similar projects.

Keywords : plain wind power project; soil erosion; soil and water conservation measures; benefit analysis

在全球能源转型加速、环境问题备受瞩目的当下, 风电作为清洁、可再生能源迎来蓬勃发展契机。平原地区以其地势平坦、风能资源分布相对集中等优势, 成为风电项目布局的重点区域。然而, 风电项目从前期场地平整、基础施工, 到后期运维阶段, 一系列建设活动不可避免地扰动地表, 改变原有土壤结构与植被覆盖状态, 若缺乏系统有效的水土保持规划与实施, 极易引发水土流失问题, 对周边生态系统、农业生产以及工程设施自身安全与寿命构成威胁。深入研究平原风电项目水土保持, 既是保障项目顺利落地运营的现实需求, 也是践行生态优先、绿色发展理念的必然选择。

一、平原风电项目建设特点与水土流失成因

(一) 项目建设特点

平原风电项目基础设施涵盖风电机组、箱式变压器、集电线路以及场内道路等核心部分。风电机组作为核心发电单元, 其基础多为大型混凝土结构, 为确保稳定性, 开挖深度可达数米, 土方开挖量可观; 箱式变压器紧密配合机组运行, 相应的基础建设也涉及一定土地开挖与填方作业; 集电线路为实现电能汇集与传输, 常以架空线穿梭于风机之间, 或采用地埋电缆形式, 线路延展距离长, 施工过程涉及狭长地带的土地扰动; 场内道路为满足大型风电机组部件运输、施工设备通行以及后续运维车辆往来需求, 路面宽度一般在4-6米, 部分路段因地势起伏需进行大规模填方或挖方处理, 以保障道路坡度符合通行标准^[1]。

(二) 水土流失成因

1. 扰动地表

施工前期场地平整阶段, 推平原始地形、清理地表杂物与植被, 直接破坏了地表长期形成的植被防护层以及稳定的土壤结

构^[2]。原本紧密结合的土壤颗粒被打散, 土壤团聚体遭到破坏, 土壤的抗侵蚀能力瞬间大幅降低, 大面积表土裸露在外, 在自然降水、风力等外力作用下, 水土流失风险急剧攀升。

2. 土方堆置

项目建设过程中挖填方作业频繁, 大量土方临时或长期堆放。这些弃土弃渣往往只是简单堆积, 未进行合理整形与压实, 结构松散、孔隙率大^[3]。而且堆置场地选址若缺乏考量, 常处于地势较高或坡面等易受冲刷位置, 堆体坡度自然状态下较陡且不稳定, 一旦遭遇降雨, 坡面径流迅速汇聚, 极易裹挟堆土形成泥石流或泥流, 造成严重的土壤流失, 还可能淤塞周边排水系统与河道。

3. 植被破坏

施工区域原有自然植被或人工植被被彻底清除, 土地失去植被根系的固持作用^[4]。植被根系不仅能够机械性地锚定土壤颗粒, 增强土壤整体性, 其生长代谢过程还能改善土壤结构、增加土壤有机质含量, 提升土壤抗蚀性能。施工结束后, 若未能及时跟进植被恢复措施, 地表将长期处于裸露状态, 任由雨水直接冲击、溅蚀表土, 加速土壤侵蚀进程。

4.降水与大风

平原地区气候条件具有鲜明特点，降水多集中于特定季节，短时间内降雨量较大，雨滴降落地面时具有较强的动能，对裸露表土产生溅蚀作用，打散土壤颗粒，使其更易被坡面径流携带流失。同时，平原地形开阔，大风天气较为频繁，强劲风力直接吹蚀裸露地表，将细小土壤颗粒卷扬至空中形成扬尘，不仅造成土壤肥力损失，还会在风力减弱处沉降堆积，扩大水土流失影响范围，进一步恶化生态环境^[5]。

二、平原风电项目水土保持措施

(一)工程措施

1.表土剥离与回填

在项目破土动工前，精准划定风电机组、场内道路、施工场地等占地范围，运用专业机械设备将表层肥沃土壤按一定厚度（通常20-30厘米）有序剥离。剥离后的表土集中堆放在预先规划、防护到位的临时堆土场，采用装土编织袋修筑挡墙围挡，表面苫盖密目网，防止雨水冲刷与大风扬尘。待项目主体工程完工，场地进入收尾阶段，再将保存良好的表土按照设计要求均匀回填至风电机组基础周边、道路绿化带、临时占地复垦区域等，为后续植被恢复提供优质的土壤基质，奠定植被生长根基。

2.边坡防护

针对填方与挖方形成的边坡，依据边坡高度、坡度以及地质条件因地制宜采取防护手段。对于高度较低、坡度较缓（一般坡高小于3米、坡度小于30°）的边坡，优先采用生态友好型的撒播草籽护坡方式，选择狗牙根、黑麦草等耐瘠薄、耐旱、生根快的草种，按合理密度均匀播撒，借助草种萌发后的根系固土与茎叶覆盖，减轻坡面水土流失；对于高度较高（3-10米）、坡度较陡（30°-60°）的边坡，采用浆砌石护坡、混凝土护坡增强边坡结构强度，以抵抗坡面径流冲刷与土体自重下滑力，同时在坡面适当位置预留排水孔，排除坡体积水；部分高陡土质边坡还可结合土工格栅护坡技术，利用土工格栅的加筋作用，提升边坡土体稳定性，防止崩塌、滑坡等地质灾害诱发的水土流失加剧^[6]。

3.排水工程

依据项目区整体地形走势，在道路两侧、风电机组基础周边等关键汇水区域规划布局排水沟渠系统。排水沟多采用梯形或矩形断面，底部与边坡用混凝土预制板或浆砌石衬砌，增强渠道耐久性与抗冲刷能力，确保排水顺畅。各级排水沟相互连通，将雨水有序汇集后引入沉沙池，利用沉沙池的沉淀作用，使雨水中携带的泥沙颗粒沉降，净化后的雨水再排入周边自然水系，有效防控因雨水漫流引发的坡面冲刷与水土流失，维护区域水系生态稳定。

4.土地整治

施工末期，对风电机组施工场地、材料堆放场、临时道路等临时占地以及因施工造成局部地形改变的区域开展全面土地整治。运用平地机、推土机等设备平整土地，消除施工遗留的坑洼、凸起，使地形恢复至适宜后续利用状态；同时，通过翻耕、松土等措施改善土壤通气性、透水性等理化性质，为植被恢复或土地复垦为农田、草地等用途创造有利条件，促进土地资源可持续利用。

(二)植物措施

1.风电机组区绿化

环绕风电机组基础、箱变设施周边空闲地带，精心规划绿化布局。选取紫穗槐、柠条等低矮灌木，呈环状或带状栽植，株行距依据植物生长特性合理设定，一般灌木株距0.5-1米。在灌木行间及基础外围空地撒播三叶草、早熟禾等草本植物种子，构建乔灌木结合的立体绿化模式^[7]。所选植物既要适应风电场地的光照、风力、土壤肥力等环境条件，具备耐干旱、耐瘠薄、抗风倒伏能力，又要兼顾景观美化效果，减少工程设施突兀感，在发挥水土保持功能的同时，打造生态友好型风电场景观。

2.道路绿化

场内道路两侧规划宽度适宜（一般1-3米）的绿化带，按一定株距（3-5米）种植杨树、柳树等速生、高大乔木作为行道树，其发达根系可稳固路基，树冠枝叶能有效降低风速、拦截雨水，减少雨滴对路面及边坡的直接冲击侵蚀。在路肩及边坡坡面，撒播披碱草、高羊茅等草种，配合适量灌木种植，形成连续的道路绿化带，将道路施工区域与周边生态环境有机融合，提升道路生态防护效能。

3.临时占地植被恢复

施工营地、材料堆放场等临时占地在完成使用使命后，迅速拆除临时建筑、清理杂物，对场地进行深耕细耙，依据原土地类型与周边生态环境，优先选用当地乡土草种、灌木种子进行混播。如在原农田区域可播撒小麦、苜蓿等混合种子，促进植被快速恢复，还原土地生态功能，防止土地撂荒引发的水土流失，推动临时占地生态修复回归自然状态。

(三)临时措施

1.临时排水

施工期间，为应对频繁降雨干扰，沿施工场地周边、临时道路路边迅速开挖临时土质排水沟，沟底与边坡铺设塑料薄膜，提升沟道防渗与抗冲刷性能。定期巡查清理沟内淤积物，保障排水路径畅通，及时排除场地内积水，避免积水长时间浸泡土壤导致结构破坏、强度降低，进而引发水土流失，为施工营造相对稳定的土壤条件。

2.临时苫盖

针对临时堆放的土方、砂石料等易受侵蚀物料，采用高密度聚乙烯密目网进行全面苫盖，苫盖面积需超出物料堆边缘一定范围（一般0.5-1米），并用沙袋、石块压实网角，防止大风掀开。对于粉状物料如水泥，还需增设防风抑尘网围挡，双重防护降低扬尘污染，减少物料因风吹雨淋造成的损失与水土流失风险。

3.临时拦挡

在弃土场、临时堆土坡脚四周，利用装满土的编织袋堆砌临时挡土墙，墙高依据堆土高度合理设计，一般0.5-1米，墙体坡度保持稳定，底部宽度适当大于顶部，确保墙体具备足够抗滑、抗倾覆能力。挡土墙能够有效拦截堆土坡面径流，阻挡松散土料随水流外溢，在临时堆土存续期间为其提供稳固边界防护，降低水土流失突发危害。

三、案例分析

(一)项目概况

高安祥符平价风电场项目位于长江中下游平原，规划总装机容量100MW，共安装20台单机容量5MW的风电机组，配套构建

35kV集电线路27.58km、场内交通道路体系以及1座110kV升压站。项目所在区域地势极为平坦开阔，属典型亚热带季风气候，年平均降水量1672.3毫米，降水集中于夏季，多暴雨天气；土壤类型以粉质黏土为主，颗粒组成相对均匀，保水保肥能力一般；原生植被多为农田防护林网与季节性农作物，生态系统相对单一且脆弱，易受工程建设扰动影响。

（二）水土保持方案实施

项目筹备初期，即委托编制详尽水土保持方案，并在施工全过程严格遵循方案落实各项措施。施工前，动用大型挖掘机、装载机设备精细剥离表土约4.1万立方米，转运至设置规范的临时堆土场，堆土场四周用双层编织袋挡墙防护，高度1米，表面满铺密目网，防风、防雨、防扬尘。风电机组基础施工阶段，针对10余处深挖方边坡（总计约2万平方米），依据坡高、坡比采用不同护坡形式，其中1-3米低边坡撒播草籽护坡，3米以上高边坡采用混凝土护坡，累计浇筑混凝土0.8万余立方米；场内道路修筑中，同步开展边坡防护，撒播草籽面积达3万平方米。沿道路与风机基础周边共修筑排水沟8千米，配套建设沉沙池20座，形成完善排水网络。道路绿化方面，种植松树1万株，株距3米，风电机组区绿化3万平方米，选用紫穗槐、狗牙根搭配种植。施工全程严格实施临时排水、苫盖、拦挡措施，动态监管，确保水土保持工作无死角。

（三）水土保持效益监测

1. 监测方法

构建定位监测与调查监测有机结合的综合监测体系。在风电机组、道路边坡等典型水土流失易发区域设置5处径流小区，通过收集、测量小区出口径流泥沙含量与径流量，精准量化土壤流失数据；在各级排水沟出口、沉沙池安装自动采样监测设备，实时记录泥沙淤积动态；同时，定期组织专业人员深入项目区开展实地调查，运用无人机航拍、卫星遥感影像对比分析土地扰动范围、植被覆盖度变化，结合样方调查统计植被种类、数量、生长状况等指标，全面掌握水土保持措施实施成效。

2. 监测结果

施工初期，场地大面积扰动，土壤侵蚀模数一度飙升至峰值1500吨/平方千米·年，随着水土保持措施逐步落地生效，侵蚀模数呈稳步下降趋势。至施工末期，降至500吨/平方千米·年左右，项目进入稳定运行期后第二年，土壤侵蚀模数已稳定控制在350吨/平方千米·年以下，远低于当地土壤容许侵蚀模数500吨/平方千米·年标准。植被覆盖度监测显示，施工前项目区平均植被覆盖度约28%，施工过程中受扰动区域植被骤减，随着绿化工程推进，运行期第一年植被覆盖度回升至40%，第二年进一步提升至70%，区域生态环境逐步向良性发展，水土流失得到有效遏制^[9]。

（四）效益分析

1. 生态效益

大规模植被恢复显著增加项目区绿地面积，改变局地小气候，通过植物蒸腾与遮荫作用，调节空气温湿度，缓解热岛效应，为鸟类、昆虫等野生动植物营造栖息繁衍空间，生物多样性逐步丰富。有效拦蓄的泥沙减少入河入库泥沙量，减轻下游河道淤积与水体浑浊度，维护河流生态系统健康，保障水生生物生存环境稳定，促进生态系统正向演替。

2. 经济效益

水土保持措施降低水土流失危害，避免土壤肥力随泥沙大量

流失，周边农田得以持续高产稳产，保障农业经济收益；风电场内植被防护减少风沙对风电机组、输电线路、道路等设施侵蚀磨损，降低设备故障率与维修成本，延长设施使用寿命，间接产生显著经济效益，据估算每年节省运维成本超百万元^[9]。

3. 社会效益

项目作为当地水土保持工程，通过举办现场观摩、技术培训等活动，带动周边企业、村镇生态保护意识觉醒，掀起生态建设热潮；优化的绿化景观吸引游客，催生乡村生态旅游、休闲观光等新业态，创造就业岗位数百个，助力乡村振兴，提升居民生活品质，促进社会和谐发展。

四、结论与展望

（一）结论

平原风电项目建设虽对地表扰动强烈，但通过科学规划、精准实施工程、植物与临时相结合的多元水土保持措施，水土流失问题能够得到有效防控。案例实践充分证明，从项目前期筹备到后期运维，始终将水土保持贯穿全过程，严格落实各项策略，不仅能将工程建设对生态环境的负面影响降至最低，还能收获生态、经济、社会效益的多重红利，实现风电开发与生态保护协同共进，为平原地区清洁能源产业可持续发展筑牢根基^[10]。

（二）展望

面向未来，平原风电产业持续扩张，水土保持工作任重道远。需进一步强化项目前期水土保持专项规划，深度融合生态设计理念，从风机选型、布局到施工工艺优化，全方位探索更高效、更生态友好的水土保持路径；加大科研投入，研发适应平原风电环境的新型生态修复技术、材料，提升植被恢复质量与效率；充分利用物联网、大数据、卫星遥感等前沿技术，搭建智慧水土保持监测平台，实现水土流失动态实时管控；同时，政府应持续完善政策法规，加强监管执法力度，压实企业主体责任，多方合力保障平原风电项目全生命周期水土保持成效显著，推动绿色风电照亮可持续未来。

参考文献

- [1]李智广,刘秉正,赵方莹等.水土保持学.北京:中国林业出版社,2016.
- [2]刘霞.水土保持监测技术指标体系.北京:中国水利水电出版社,2017.
- [3]赵永军,王云琦,刘宝元等.中国水土保持监测技术与应用.北京:中国水利水电出版社,2018.
- [4]张伟伟,雷东.华北平原区风电场项目水土保持措施配置探讨[J].河南建材,2016(01):125-127.DOI:10.16053/j.cnki.hnjc.2016.01.056.
- [5]邓香平,张晓亮.长江冲积平原区风电场工程水土保持措施研究[J].绿色科技,2016(20):17-19+24.DOI:10.16663/j.cnki.lskj.2016.20.008.
- [6]李远,杨慧.平原风电场与山地风电场环境影响重点问题研究[J].风能,2021(05):74-76.
- [7]蒋丹丹,葛亮,冷慧梅,施丹.浅谈江苏平原地区风电场水土保持方案编制及后续设计优化——以盐城某县150MW风电场工程为例[J].亚热带水土保持,2021,33(02):50-54.
- [8]程艳辉.南方平原风电建设项目水土保持措施设计初探[J].绿色科技,2021,23(18):190-192.DOI:10.16663/j.cnki.lskj.2021.18.056.
- [9]王鹤鸣.平原区风电项目水土保持方案编制技术要点分析[J].河北水利,2024(07):24+35.
- [10]陈璐.长江冲积平原风电开发建设管理与思考[J].智能城市,2018,4(23):115-116.DOI:10.19301/j.cnki.zncs.2018.23.071.