

高原地区光伏项目建设施工环境影响因素分析

曹高强 童远鑫 于东焯 蓝宇新 耿 驰
中建八局西南建设工程有限公司 四川 成都 610041

摘要: 随着“双碳”战略目标的深入推进,我国可再生能源发展进入快车道,光伏发电作为清洁能源的重要组成部分,在高原地区展现出巨大的开发潜力。然而,高原地区特殊的自然地理环境、脆弱的生态系统以及复杂的社会人文条件,对光伏项目的建设施工带来了显著挑战。本文系统梳理高原地区光伏项目建设施工过程中面临的主要环境影响因素,从气候气象、地形地质、生态环境、水文水资源、社会人文等维度进行深入剖析,并结合典型工程案例,探讨其对施工组织、技术方案、安全管理和生态保护等方面的具体影响机制。在此基础上,提出针对性的应对策略与优化建议,旨在为高原地区光伏项目的科学规划、绿色施工与可持续发展提供理论支撑与实践指导。

关键词: 高原地区; 光伏发电; 施工环境; 影响因素; 生态保护; 绿色施工

引言

在全球气候变化与能源结构转型的双重驱动下,发展可再生能源已成为国际社会的普遍共识。中国作为全球最大的能源消费国,明确提出“2030年前碳达峰、2060年前碳中和”的战略目标,加速推进以风电、光伏为代表的清洁能源体系建设。其中,高原地区凭借其高海拔、强日照、低云量、空气稀薄等自然禀赋,成为我国太阳能资源最富集的区域之一。据国家能源局数据显示,青藏高原、云贵高原及黄土高原等区域年均太阳总辐射量普遍超过 $1600\text{kWh}/\text{m}^2$,部分地区甚至高达 $2000\text{kWh}/\text{m}^2$ 以上,具备建设大型集中式光伏电站的天然优势。然而,高原地区同时也是我国生态屏障的关键区域,生态系统敏感脆弱,环境承载力有限。在此背景下,大规模光伏项目的建设施工不可避免地会对当地自然环境与社会系统产生扰动。若缺乏科学评估与有效管控,不仅可能引发水土流失、植被破坏、生物多样性下降等生态问题,还可能加剧区域水资源压力,影响牧民生产生活,甚至诱发地质灾害。因此,深入分析高原地区光伏项目建设施工所面临的环境影响因素,厘清其作用机理与潜在风险,对于实现能源开发与生态保护的协同发展具有重要的现实意义。本文聚焦于高原地区光伏项目建设施工阶段,系统识别并分类各类环境影响因素,以期为相关工程实践提供科学参考。

1 高原地区光伏项目施工环境特征概述

高原地区通常指海拔在1000米以上的广阔台地或山地,我国主要涵盖青藏高原、内蒙古高原、黄土高原和云贵高原四大区域。这些区域在自然环境中具有以下共性特征:

1.1 高寒缺氧

海拔升高导致大气压降低,氧气含量减少,对施工人员健康与机械设备效率构成挑战。

1.2 强辐射与昼夜温差大

太阳辐射强烈,紫外线指数高;日温差可达 20℃ 以上,对材料性能与施工工艺提出特殊要求。

1.3 地形复杂

多山地、丘陵、沟壑,地势起伏大,交通不便,场地平整难度高。

1.4 生态脆弱

植被覆盖率低,土壤贫瘠,一旦破坏恢复周期极长,部分区域属国家级生态功能区或自然保护区。

1.5 水资源分布不均

部分高原地区干旱少雨,水资源稀缺;而另一些区域(如青藏高原)虽为“亚洲水塔”,但施工用水仍受季节性限制。

1.6 冻土与地质灾害频发

高海拔地区广泛分布季节性冻土或多年冻土,易引发冻胀、融沉;滑坡、泥石流等地质灾害风险较高。上述特征共同构成了高原光伏项目施工的独特环境背景,决定了其环境影响因素的复杂性与特殊性。

2 高原地区光伏项目建设施工主要环境影响因素分析

2.1 气候气象因素

2.1.1 低温与冻融循环

高原地区冬季漫长,气温常低于 -20℃ ,极端可达 -40℃ 。低温环境严重影响混凝土浇筑、焊接、电缆敷设等关键工序的质量。例如,混凝土在低温下水化反应缓慢,易产生冻害,导致强度不足;金属材料脆性增加,焊接易产生裂纹^[1]。此外,季节性冻土在春夏季融化、秋冬季冻结,形成反复冻融循环,可能导致支架基

础不均匀沉降,威胁电站结构安全。

2.1.2 强风与沙尘暴

高原地势开阔,风力强劲,年均风速普遍在3-5m/s以上,部分风口区域可达8m/s以上。强风不仅影响吊装、组件安装等高空作业安全,还可能造成临时设施损毁。在干旱高原(如柴达木盆地),春季沙尘暴频发,能见度低,严重影响施工进度,并对光伏组件表面造成磨损,降低发电效率。

2.1.3 强紫外线辐射

高原空气稀薄,大气对紫外线的吸收减弱,紫外线辐射强度可达平原地区的1.5-2倍。长期暴露不仅危害施工人员皮肤与眼睛健康,还会加速高分子材料(如电缆护套、密封胶)的老化,缩短设备使用寿命。

2.2 地形地质因素

2.2.1 地形起伏与坡度限制

高原地区多山地丘陵,坡度变化大。光伏阵列需满足一定坡度要求(通常 $\leq 25^\circ$),过陡区域需进行大规模土方开挖或采用柔性支架,增加工程成本与生态扰动。同时,复杂地形导致施工机械难以进场,材料运输效率低下。

2.2.2 冻土与不良地质

在青藏高原等高寒地区,多年冻土广泛分布。施工扰动会破坏冻土热平衡,引发融沉,导致支架倾斜甚至倒塌。此外,黄土高原的湿陷性黄土、云贵高原的岩溶地貌等特殊地质条件,均对基础设计与施工提出更高要求。

2.2.3 地质灾害风险

高原地区构造活动活跃,加之降水集中,易诱发滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害。施工过程中若未进行充分地质勘察与风险评估,可能因开挖、堆载等行为触发灾害,威胁人员与工程安全。

2.3 生态环境因素

2.3.1 植被破坏与水土流失

光伏项目需大面积清理地表植被以铺设组件。高原植被生长缓慢,一旦破坏难以自然恢复^[2]。施工期裸露地表在强降雨或大风作用下极易发生水土流失,尤其在坡耕地或草甸区域,可能造成表土流失、沟壑发育,影响区域生态功能。

2.3.2 生物多样性影响

部分高原区域为珍稀物种栖息地(如藏羚羊、雪豹、黑颈鹤等)。施工噪声、灯光、人员活动可能干扰野生动物迁徙路径与繁殖行为。若项目选址不当,甚至可能切割生态廊道,导致种群隔离。

2.3.3 土壤扰动与盐碱化

在干旱半干旱高原,土壤结构疏松,施工机械碾压易导致土壤板结,降低透水性及肥力。在盐碱化地区(如青海柴达木盆地),不当的排水设计可能抬升地下水位,加剧土壤次生盐渍化。

2.4 水文水资源因素

2.4.1 水资源短缺

高原多数地区降水稀少,蒸发量大,水资源本就紧张。施工期需大量用水(如混凝土搅拌、降尘、生活用水),若无有效节水与循环利用措施,将加剧区域水资源压力,影响当地农牧民生计。

2.4.2 水体污染风险

施工废水(含油污、泥浆、化学药剂)若未经处理直接排放,可能污染地表水或地下水。在青藏高原等水源涵养区,此类污染将对下游数亿人口的饮水安全构成潜在威胁。

2.4.3 径流改变与洪涝风险

大规模场地平整可能改变原有地表径流路径,增加局部汇流速度,诱发山洪或内涝。尤其在雨季,若排水系统设计不合理,易造成场区积水,影响施工进度与设备安全。

3 典型案例分析:青海某高原光伏项目

以青海省海南州某100MW光伏电站为例。该项目位于海拔3200米的共和盆地,属典型高寒干旱区。施工过程中面临以下环境挑战:

3.1 冻土问题

春季施工时,表层冻土融化导致重型机械下陷,延误工期。后采用“冬季施工+保温基础”方案,有效控制冻胀。

3.2 生态修复

项目区原为退化草场,施工后实施“光伏+牧草”模式,在组件下方种植耐寒牧草,既固土保水,又支持当地畜牧业。

3.3 水资源管理

采用干法施工减少用水,生活污水经一体化处理设备回用于绿化,实现零外排。该项目的经验表明,通过科学规划与技术创新,高原光伏项目可在保障生态安全的前提下实现高效建设。

4 应对策略与优化建议

须从全生命周期视角出发,全面识别施工阶段的环境影响因素,并制定针对性的应对策略与优化建议。以下从五个维度系统阐述高原光伏项目施工环境影响的应对路径。

4.1 强化前期环境评估与选址优化

科学选址是减少生态扰动的第一道防线。高原地区生态敏感性高，一旦破坏，恢复周期长、成本高。因此，必须严格执行《中华人民共和国环境影响评价法》，在项目立项前开展详尽的生态本底调查与环境影响预评估。通过划定生态敏感性分区，明确禁止开发区域（如自然保护区核心区、重要水源涵养区、珍稀野生动物迁徙通道等），坚决避让生态保护红线。同时，应充分运用现代空间信息技术，如地理信息系统（GIS）与遥感（RS），整合地形坡度、太阳辐射强度、土地利用现状、植被覆盖度、冻土分布、水文地质等多源数据，进行多因子叠加分析与适宜性评价，优选出资源禀赋优、生态干扰小、工程可行性高的场址^[3]。例如，在青藏高原部分区域，可优先选择已退化草地或荒漠化土地，避免占用高寒草甸等高生态价值区域，实现“开发一保护”双赢。

4.2 推广绿色施工技术与装备

传统施工方式在高原环境下易加剧生态扰动。为此，应大力推广绿色、低碳、低扰动的施工技术。一是推行预制化、模块化建设模式，将光伏支架、基础构件等在工厂预制完成，现场仅进行组装作业，大幅减少土方开挖、混凝土浇筑等高扰动工序，缩短施工周期，降低对地表植被和土壤结构的破坏。二是推广使用电动或混合动力施工机械，替代传统柴油设备，有效减少碳排放、氮氧化物及噪声污染，尤其在靠近居民点或野生动物栖息地的区域更具环保优势。三是在多年冻土区，必须高度重视冻土热稳定性问题。可采用热棒（Thermosyphon）、通风管路、碎石护坡等主动或被动冷却技术，在施工及运行阶段维持地基冻土温度，防止因热扰动导致冻土融化、地基沉降甚至结构失稳。

4.3 构建全过程生态修复体系

高原生态系统恢复能力弱，必须坚持“预防为主、修复同步”的原则。实施“边施工、边修复”策略，在施工完成后立即对临时占地、施工便道、裸露地表进行覆盖或复绿，防止风蚀、水蚀加剧。优先选用本地乡土耐寒、耐旱、抗风沙的植物种（如高山嵩草、针茅、沙棘等），提高植被恢复成活率与生态适应性^[4]。更进一步，可探索“光伏+生态修复”复合模式：在沙化区域，利用光伏板遮阴减少地表蒸发，配合草方格固沙与植被种植，实现“光伏治沙”；在牧区，则可发展“光伏牧场”，板下种植牧草或放养牲畜，既提升土地利用效率，又增加牧民收入，形成生态效益与经济效益协同发展的良性循环。

4.4 完善水资源与废弃物管理

高原水资源稀缺且脆弱，施工期用水管理至关重

要。应建立雨水收集系统，将施工区雨水导入蓄水池，经处理后用于洒水降尘、绿化灌溉等，实现水资源循环利用。施工废水（如设备清洗水、生活污水）须经沉淀、隔油、生化处理等多级净化，确保达标后方可排放或回用，严禁直排河流或渗入地下。同时，强化建筑垃圾与光伏组件废弃物的分类管理。施工废料如混凝土块、金属边角料等应分类回收再利用；项目退役后的废弃光伏组件含有硅、银、铅等物质，需交由具备资质的专业回收机构处理，防止重金属污染土壤与水体，推动光伏产业绿色闭环发展。

4.5 健全安全与应急管理体系

高原施工不仅关乎生态，也直接关系到人员安全。应设立高原医疗站，配备制氧机、高压氧舱等设施，并对施工人员开展高原病识别与应急处培训，落实“阶梯式适应”上岗制度。同时，高原地区地质灾害（如滑坡、泥石流）和极端天气（如暴雪、强风、雷暴）频发，需建立覆盖全施工区域的灾害监测与预警系统，结合气象、地质数据实时发布风险提示。制定详尽的应急预案，涵盖人员疏散、设备保护、生态应急处置等内容，并定期组织演练，提升快速响应与协同处置能力。

5 结语

高原地区光伏项目建设施工面临气候、地质、生态、水文及社会等多重环境影响因素的交织作用，其复杂性与敏感性远高于平原地区。这些因素不仅制约施工效率与工程质量，更对区域生态安全构成潜在威胁。因此，必须摒弃“先开发、后治理”的传统思维，将生态保护理念贯穿于项目全生命周期。通过科学选址、绿色施工、生态修复等综合措施，推动高原光伏项目从“能源工程”向“生态工程”转型，真正实现清洁能源开发与高原生态屏障保护的有机统一。未来，随着智能建造、生态材料、数字孪生等技术的发展，高原光伏项目的环境友好性将进一步提升，为我国“双碳”目标与生态文明建设提供坚实支撑。

参考文献

- [1]刘一瑾,李杰伟.高海拔地区光伏电站建设难点与关键技术分析[J].光源与照明,2025,(06):162-164.
- [2]林旭洲.分布式光伏电站在高原地区的应用与前景分析[J].青海交通科技,2024,36(04):98-102.
- [3]闫仕焱.高海拔地区光伏发电工程项目综合评价研究[D].华北电力大学,2024.
- [4]奋战在海拔4600米的高原上——全球最大水光互补项目柯拉光伏电站正在加紧施工[J].军事文摘,2023,(06):65.