

库布齐沙漠光伏电站防风固沙解决思路浅析

刘子涵¹, 程海峰^{1,2}, 安健¹, 瑶泽文¹, 施浩²

1. 上海勘测设计研究院有限公司, 上海 200335

2. 河海大学岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室, 江苏 南京 210024

DOI: 10.61369/SSSD.2025060042

摘要: 在库布齐沙漠建立光伏电站是一项极具创新性的举措, 对于改善当地生态环境、推动清洁能源发展具有深远的意义。库布齐沙漠位于中国内蒙古自治区鄂尔多斯高原北部, 总面积约1.88万平方公里, 是中国第七大沙漠。然而, 在这片广袤无垠的沙漠中建设光伏电站面临着诸多挑战, 传统治沙方法主要依赖草方格等物理屏障, 但这种方法在大规模应用时存在成本高、维护难等问题。因此, 探索更加高效、可持续的防风固沙方案成为库布齐沙漠光伏电站建设的关键所在。

关键词: 库布齐沙漠; 光伏电站; 防风固沙

Brief Analysis of Windbreak and Sand Fixation Solutions for Kubuqi Desert Photovoltaic Power Station

Liu Zihan¹, Cheng Haifeng^{1,2}, An Jian¹, Ju Zewen¹, Shi Hao²

1. Shanghai Investigation, Design & Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200335

2. Key Laboratory of Ministry of Education for Geomechanics and Embankment Engineering, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210024

Abstract: The establishment of a photovoltaic power station in the Kubuqi Desert is an extremely innovative initiative, which is of far-reaching significance for improving the local ecological environment and promoting the development of clean energy. The Kubuqi Desert is located in the northern part of the Ordos Plateau in the Inner Mongolia Autonomous Region of China, with a total area of approximately 18,800 square kilometers, making it the seventh largest desert in China. However, the construction of photovoltaic power stations in this vast desert faces many challenges. Traditional sand control methods mainly rely on physical barriers such as straw checkerboards, but this method has problems such as high cost and difficulty in maintenance when applied on a large scale. Therefore, exploring more efficient and sustainable windbreak and sand fixation schemes has become the key to the construction of the Kubuqi Desert photovoltaic power station.

Keywords: Kubuqi Desert; photovoltaic power station; windbreak and sand fixation

一、库布齐沙漠的太阳能资源分析

库布齐沙漠位于中国内蒙古自治区鄂尔多斯高原北部, 属于典型的温带大陆性气候区, 这里光照强烈, 日照时间长, 年平均日照时数高达3180小时以上^[4]。在这样独特的地理和气候条件下, 库布齐沙漠蕴含着极其丰富的太阳能资源。据实地测量数据表明, 库布齐沙漠的年太阳辐射总量约为每平方米6000兆焦耳左右, 远高于全国平均水平, 这种高能量密度为光伏发电提供了得天独厚的优势条件。从季节变化来看, 夏季是库布齐沙漠接收太阳辐射最强的时期, 此时太阳高度角较大, 日照时间最长, 有利于提高光伏发电效率。即便是在冬季, 由于冷空气活动频繁带来的晴朗天气, 也保证了较为充足的日照。这种全年稳定而充足的日照特点, 对于构建稳定的光伏电站具有重要意义^[5]。除了自然条件优越外, 库布齐沙漠广袤无垠的土地资源同样不可忽视。与

东部沿海地区相比, 这里不仅减少了土地成本支出, 更避免了因占用耕地而导致的一系列社会问题。

二、库布齐沙漠光伏电站防风固沙的优势

(一) 传统治沙方法

传统的治沙方法以植树造林为主要手段, 旨在减缓流动沙漠的扩张速度。植树造林通过植被根系固定沙土, 降低风速, 减少沙尘飞扬, 对改善沙漠环境具有积极意义。然而, 植树造林需要大量的前期准备^[6]。为了确保树木能够顺利生长, 必须先进行土地平整、灌溉系统建设等一系列基础设施的铺设。这不仅耗费大量资金, 还需要长期的人力维护。尤其是在水资源匮乏的沙漠地区, 保证树木的水分供应成为一大难题。即使有了完善的灌溉设施, 由于沙漠气候干燥, 蒸发量大, 水分流失快, 树木的存活率

依然难以得到保障。

有学者提出了一种更为科学合理的沙漠育林方法，即乔木、灌木和草本植物混合种植。这种组合方式充分利用了不同类型植物的特点，形成了多层次、多结构的植被群落。乔木具有较高的抗风能力，可以有效阻挡风沙侵袭；灌木根系发达，能够更好地固定沙土；而草本植物则能快速覆盖地表，减少土壤侵蚀。三者结合，可以在较短时间内形成较为稳定的生态体系，提高治沙效率^[7]。

在库布齐沙漠的不同地段，风沙活动强度和方向存在差异，因此需要因地制宜地规划植树方案。例如，在风蚀严重的迎风坡，应优先选用耐旱、抗风能力强的乔木；而在背风坡或较为平坦的区域，则可适当增加灌木和草本植物的比例，促进生态系统的自我修复能力。通过合理配置植物种类，不仅可以提高树木的成活率，还能增强整个生态系统的稳定性和适应性，为库布齐沙漠的防风固沙提供更加坚实的基础^[8]。

（二）草方格防风固沙的优势分析

草方格是一种被广泛应用在沙漠治理中的技术手段，在库布齐沙漠光伏电站的建设中发挥着不可替代的作用^[9]。这种技术利用麦草、稻草等材料，在流动沙丘上扎设成方格状的挡风墙。草方格的存在，改变了风沙流场结构，当风沙流经过草方格时，草方格会阻碍沙粒的移动，使风速降低。原本在强风作用下可以长距离搬运的沙粒，在遇到草方格后，其运动轨迹发生改变，部分沙粒会在草方格附近沉积下来，这就在草方格内部形成了一个相对稳定的区域。

从成本效益方面来看，草方格的制作材料简单易得，主要为农作物秸秆等废弃物，这些材料成本低廉且来源广泛，不会给项目建设带来过大的经济压力。同时，草方格的施工过程相对简单，不需要复杂的机械设备和专业技术人员，普通工人经过简单培训就能胜任这项工作，大大降低了人力成本。而且草方格具有一定的柔韧性，能够适应沙漠地区复杂多变的地貌环境，无论是平坦沙地还是有起伏的沙丘，都可以铺设草方格，不会因为地形因素而增加额外的成本或降低施工效率^[10]。

草方格对植被恢复有着积极影响，为植物种子提供了良好的萌发条件，草方格内的微环境相对稳定，温度、湿度更适合植物生长。沙粒沉积形成的稳定土壤层，可以积存更多的水分，减少水分蒸发，提高植物根系对水分的吸收效率。草方格还能够阻挡风沙对幼苗的直接侵蚀，保护植物幼苗健康成长，随着植被覆盖率的逐渐提高，进一步增强了固定沙丘的能力，形成了良性循环，对整个库布齐沙漠光伏电站周边环境改善起到了关键性作用。草方格防风固沙技术与光伏电站的结合，不仅解决了光伏电站面临的风沙威胁，也为沙漠治理提供了一种可持续发展的模式。

三、库布齐沙漠光伏电站防风固沙的解决思路

（一）光伏支架基础的防风沙设计

沙漠环境具有极端恶劣的特点，如强风、流沙等，这些因素对光伏支架基础提出了特殊要求^[11]。对此，光伏支架基础的设计

需要综合考虑防风沙性能、结构稳定性以及施工可行性。

首先，光伏支架基础的材料选择至关重要。考虑到库布齐沙漠的地理环境，混凝土和钢筋混凝土成为主要选项^[12]。混凝土具有良好的耐久性和抗压强度，能够有效抵抗风沙侵蚀。同时，为了增强基础的抗风沙能力，在混凝土中加入适量的添加剂，如减水剂和防水剂，可以提高其密实度，减少风沙侵入的可能性。

其次，基础形状设计也需特别注意。传统的矩形或方形基础在面对强风时容易形成涡流，增加风压荷载。为降低风压影响，采用流线型或圆角矩形的基础形状，使得风力能够更顺畅地绕过基础，减少了涡流产生的可能性。这种设计不仅有助于减轻风沙对基础的直接冲击，还能降低风沙堆积的概率。通过计算机模拟实验验证，流线型基础相比传统形状，风压系数可降低约20%–30%^[13]。

在基础高度方面，根据库布齐沙漠的风速和风向统计数据进行优化设计。将光伏支架基础适当抬高，避免地面附近高速流动的风沙直接冲击基础底部。具体抬升高度依据当地多年平均最大风速确定，一般控制在1–1.5米之间。这样既保证了基础的安全性，又不会因为过度抬高而增加工程成本。同时，在基础周围设置一定宽度的缓冲区，种植耐旱植物或者铺设草方格，进一步削弱近地表风力，保护基础免受风沙侵害。

最后，光伏支架基础的连接方式同样不容忽视。由于沙漠地区地基条件复杂多变，采用柔性连接方式比刚性连接更为适宜。柔性连接允许支架在一定范围内自由移动，当遭遇强风或地震等突发情况时，可以通过自身的变形来消耗能量，避免了刚性连接下可能发生的断裂风险。例如，在光伏支架与基础之间使用橡胶垫片作为过渡层，既能起到减震作用，又能适应基础不均匀沉降的问题。同时，在连接部位采取密封措施，防止风沙进入内部结构，确保连接点的长期可靠性。

（二）流动沙漠地区光伏支架的防风设计

在流动沙漠地区，光伏支架的防风设计至关重要^[14]。这一设计不仅要确保光伏板能够稳定运行，还要最大限度地减少风沙对设备的损害，提高发电效率并延长设备寿命。为了实现这一目标，设计者需要充分考虑库布齐沙漠独特的地理环境和气候特点，采取一系列创新性措施来增强光伏支架的抗风性能。

在库布齐沙漠，强烈的风力和频繁的沙尘天气对光伏支架构成了严峻挑战。为了应对这种极端环境，光伏支架的设计采用了多种加固措施。例如，在材料选择方面，支架选用高强度、耐腐蚀的钢材，以确保其在恶劣环境下具备足够的强度和稳定性^[15]。此外，为了减轻风荷载对支架的影响，设计中还特别优化了支架的结构形状，使其在迎风面具有更小的阻力系数。通过这种流线型的设计，可以有效降低风力对支架造成的冲击，减少因强风引发的结构变形或损坏风险。

除了优化结构设计外，光伏支架的高度也经过精心调整。考虑到库布齐沙漠的地形起伏较大，风速随高度变化显著，合理设置支架高度对于提高系统的抗风能力至关重要。研究表明，适当增加光伏板的安装高度可以在一定程度上避开近地面的强风带，从而降低风沙对设备的直接冲击。然而，过高的安装位置会增加

支架的建造成本和维护难度，因此需要在经济性和安全性之间找到最佳平衡点。通常情况下，光伏板的最佳安装高度应在2至3米之间，既能有效抵御风沙侵袭，又能控制成本。

针对库布齐沙漠中常见的流沙现象，光伏支架的基础部分也进行了特殊处理。由于流沙容易导致地基不稳定，进而影响整个光伏系统的安全运行，设计团队采用了一种新型的基础加固技术——螺旋桩基础。螺旋桩具有较强的穿透力和抓地力，能够深入地下较深土层，将光伏支架牢固地固定在地面上。与传统的混凝土基础相比，螺旋桩不仅施工速度快，而且对周围环境影响较小，非常适合在流动性强的沙漠环境中应用。

为了进一步提升光伏支架的防风效果，设计人员还在支架四周设置了防护网。这些防护网由高强度尼龙纤维编织而成，具有良好的韧性和透气性。当强风吹来时，防护网可以起到缓冲作用，减缓风速并阻挡部分沙粒进入光伏系统内部。同时，防护网

上还涂覆了一层特殊的防沙涂层，可有效防止沙粒附着在其表面，保持网面清洁，确保其长期处于良好工作状态。防护网的存在不仅增强了光伏支架的整体稳定性，也为后期运维提供了便利条件。

四、结束语

综上所述，库布齐沙漠光伏电站在防风固沙方面取得了一系列重要进展，从传统治沙方法到如今的光伏支架基础防风沙设计以及流动沙漠地区光伏支架的防风设计，每一个环节都凝聚着科研人员智慧与汗水。这些成果不仅有助于提升库布齐沙漠光伏电站自身的稳定性和发电效率，也为全球荒漠化治理贡献了中国方案。未来，随着技术不断进步和完善，会有更多更有效的防风固沙措施应用于实际项目当中，为实现绿色低碳发展目标贡献力量。

参考文献

- [1] 杨伟华,胡雪扬,张浦阳,甘毅,陈青山.砂土中海上倾斜螺旋桩基础承载特性研究 [J].南方能源建设,2024,11(2):82-92.
- [2] 曾鹏.柔性光伏支架基础设计与分析 [J].低温建筑技术,2024,46(3):160-163.
- [3] 丁晓勇,许能权,邢皓枫.砂土地型钢桩现场载荷试验及其承载特性分析 [J].水文地质工程地质,2024,51(3):69-79.
- [4] 何晨晨,王振亭,张春来.河西走廊绿洲外缘典型风沙防护体系的功能稳定性评估 [J].福建农林大学学报(自然科学版),2024,53(4):549-555.
- [5] 丁晓勇,徐开源,邢皓枫.光伏支架型钢桩承载特性研究 [J].太阳能,2024(6):95-103.
- [6] 胡传鹏,高志毓,董旭光.交能融合项目路域光伏支架结构方案比较 [J].南方能源建设,2024,11(S01):7-13.
- [7] 阿依努尔·买买提吐逊,努尔比亚·吐尼亚孜,尼娅孜艾力·买买提吐逊.极端破坏性大风天气对喀什地区光伏电站的影响分析 [J].农业灾害研究,2024,14(9):208-210.
- [8] 刘坤,王波,张发国,吴晓,王睿,张峰,贾蓉,张红星,朱丽,董礼,包爱科.光伏电站建设的生态效应:光伏治沙研究进展与展望 [J].中国沙漠,2025,45(1):277-291.
- [9] 赵捷,商长征,杨景龙,侯现乐.高回填土排土场光伏支架及基础选型分析 [J].煤炭工程,2025,57(1):29-34.
- [10] 刘锐,徐杰,杜玲,何玉萍,刘雪锋,尹强,孟元发.库布齐沙漠生物结皮蓝藻和绿藻物种多样性及分子生物学鉴定 [J].生态环境学报,2025,34(3):421-431.
- [11] 杨显玉,朱俊橙,文军,孟丽霞,赵勇,孟宪红,吕世华.南疆大风气候特征分析及其对沙尘天气的影响 [J].高原气象,2023,42(1):186-196.
- [12] 李乔木.特殊地质条件下地面光伏支架基础设计要点 [J].石材,2023(8):119-121.
- [13] 张伟杰,王文君,尹航,关靖,安九吉,郭恒志,孙鹏飞.干旱荒漠草原型流域水文干旱和气象干旱关系 [J].科学技术与工程,2023,23(24):10568-10574.
- [14] 史永革,刘斌,韩诚,李奕超.近年兰新线和南疆线主要风区大风特征研究 [J].铁道技术监督,2023,51(7):53-59.
- [15] 唐远程,卢小龙,孙志云,谢彬,陈贺伟,韦启珍.光伏支架成本及选型分析 [J].太阳能,2023(10):81-87