

10. 可再生资源利用与可持续发展

多源数据建模揭示屋顶光伏生命周期内具有空间异质性的碳减排潜力：以新加坡为例

朱瑞¹、刘颖思²、由林麟³

¹ 新加坡高新能计算研究所；² 香港理工大学土地测量及地理资讯学系；³ 中山大学智能工程学院

摘要：准确估计动态地理环境下光伏农场碳减缓潜力对于制定可持续发展的可再生能源转型倡议至关重要。然而，先前的研究通常基于强烈假设，以避免空间异质性碳足迹建模，或者忽视天气和阴影效应对光伏发电产生的影响。这导致估计结果不可靠，甚至引发错误的政策制定。为了解决这一挑战，研究开发了多源时空数据建模与生命周期评估分析相结合的模型，以实现城市范围内分布式屋顶光伏的空间异质碳减缓潜力精确模拟。该模型由三个相互耦合模块组成：（1）利用一种特别针对光伏板的语义分割模型，实现从高分辨率卫星图像中准确分割光伏板区域；（2）利用一个完善的三维太阳辐射模型，来考虑天气影响、水平地表太阳辐射，和三维建筑产生的阴影效应，以准确模拟光伏板区域的年度发电量；（3）通过开发具有空间感知能力的生命周期模型，有效回溯光伏板从生产、运输、运行到报废全生命周期内的碳足迹。以新加坡为实验区的研究显示：工业、机场和住宅区域拥有最大规模的屋顶光伏安装；当前每千瓦时发电量对应 13.20 克的碳排放，0.81 年的碳回收时间，和 0.94 年的能量回收时间。与前期研究相比，结果表明新加坡光伏碳减排能力进一步提升。该研究有助于地信息科学的数据建模，并有助于了解城市规模光伏碳减排的地理空间特征。

关键词：信息地理；太阳能碳减排；全生命周期分析