DOI:10.13203/j.whugis20250087 文章编号:1671-8860(2026)04-0866-01

地表辐射收支遥感估算及其时空变化分析

徐蒋磊 香港大学社会科学学院,香港,999077

Remote Sensing Estimation of Surface Radiation Budget and Its Spatiotemporal Variation Analysis

XU Jianglei Faculty of Social Sciences, The University of Hong Kong, Hong Kong 999077, China

中图分类号:P237 文献标识码:D

地表辐射收支通量是地球大气和陆表及海洋能量交换的主要部分,包括短波辐射收支和长波辐射收支。短波辐射收支由下行短波辐射和地表宽波段反照率决定,而长波辐射收支需要下行长波辐射、地表温度和地表宽波段发射率的信息。地表辐射收支与大气顶部的净辐射通量一起决定了大气的辐射强迫,因此对于地球气候变化研究和长期天气预报具有重要意义。遥感是获取地表辐射收支的重要技术手段。多种方法已经被开发来估算地表辐射收支,包括经验统计方法、辐射传输模拟、参数化公式和混合算法。然而,当前的方法仍存在一些不足:(1)注重卫星光谱信息的使用,却忽略地表辐射本身的时空自相关性特征;(2)云天地表辐射收支数据精度仍需进一步提升;(3)忽略不同辐射成分之间的物理相关特性。

针对以上不足,该研究提出相应的策略来加以解决和改善:(1)采用提取空间内容信息的卷积神经网络和学习序列依赖信息的循环神经网络来考虑地表辐射收支的时空变化特征,提高地表辐射估算值的精度;(2)在参数化方法和混合算法的研究基础上,结合卫星短波和热红外辐亮度观测及近地表气象数据,发展新的全天空地表长波辐射估算模型;(3)采用多任务学习范式和集成地表辐射能量平衡到损失函数训练的策略来发展联合估算方法。因此开展以下4个研究:

1)结合地面实测数据、AVHRR遥感数据和MERRA-2再分析数据,使用残差连接卷积神经网络发展估算全球陆表全波段净辐射算法,生产长时序的净辐射遥感产品。验证结果表明,模型估算的地表全波段净辐射数据有着更高的精度,且有着合理的时空分布特征。在厚云(云光学厚度大于50)和浑浊大气(气溶胶光学厚度大于0.3)条件下,得益于邻近空间信息的使用,模型的估算值相比于GLASS-MODIS的净辐射有着更好的精度表现(均方根误差(root mean square error,RMSE)最大减少约8 W/m^2)。

2)结合AHHRR大气层顶的短波和热红外观测值及近地表的气象参数,使用密度连接卷积神经网络模型来发展估算模型,生成长时序的全球长波辐射收支数据集。评估结果表明,在全球尺度下,生产的长波辐射数据相比于当前长波辐射产品有着更高的精度、更长的时间跨度(1981—2021年),以及完整的时空连续等特征。卫星短波观测对于全天空长波辐射估算的帮助主要体现在高纬度的高云覆盖(RMSE减少范围为0%~10%)以及热带地区的高大气水汽场景(RMSE减少范围为0%~20%)。模型预测的解译结果表明,统计性质的深度网络模型遵循长波辐射在不同区域出现的温度廓线、水汽和云的水平及垂直分布情况下的物理特征响应。

3)采用将地表辐射收支平衡集成到损失函数的多任务学习深度分离卷积神经网络模型从MODIS数据中联合估算全天空地表辐射收支数据,为生产高精度和物理一致性的地表辐射收支数据提供支撑。分析结果表明,联合估算的地表辐射收支数据相比其他的地表辐射数据集(CERES、ERA5、GLASS、BESS、MCD18A1)具有更高的精度(RMSE减少1~3 W/m^{2}不等)。多任务学习和单任务学习范式的比较也突显出多任务学习深度神经网络估算的地表辐射收支数据具有更好的辐射能量平衡表现(RMSE减少约2 W/m^2),其中MODIS短波的反射率(波段1、3、5、7、19)对高纬度的高积云和高层云发射的长波辐射具有显著的贡献,而热红外的发射率(波段32、34)在中低纬度存在层积云和层云的情况下,对下行短波辐射的估算有显著贡献。

4)使用生成的长时序、时空完整的地表长波辐射数据集来分析全球地表长波辐射收支的时空变化趋势。全球下行(每十年1.03 W/m^2)和上行长波辐射(每十年1.08 W/m^2)在过去近40年内出现明显的增加趋势,尤其是在2002年以后增加趋势更加显著(每十年1.79 W/m^2,每十年1.45 W/m^2)。高纬度地区的长波辐射收支具有最显著的增加趋势(海冰反照率的反馈作用),主导着80%以上的全球长波辐射的时空变化,是中低纬度长波辐射收支增加速率的3倍以上;低纬度地区的厄尔尼诺南方涛动现象会在短期内扰动全球地表长波辐射的增加趋势。

作者简介:徐蒋磊,2023年6月毕业于武汉大学,获工学博士学位(指导教师:梁顺林教授),研究方向为定量遥感。jiangleixurs@gmail.com

引文格式:XU Jianglei. Remote Sensing Estimation of Surface Radiation Budget and Its Spatiotemporal Variation Analysis[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2026, 51(4): 866. DOI: 10.13203/j.whugis20250087.(徐蒋磊.地表辐射收支遥感估算及其时空变化分析[J].武汉大学学报(信息科学版),2026,51(4):866.DOI:10.13203/j.whugis20250087.)