

项目: 59199

用户 ID: 1091

高亚洲地区的反照率: 大气和陆面过程的复杂驱动因素

Massimo Menenti^{1,2*}, 任少亭¹, 张婧¹, 贾珺茹¹, 刘莲³, Francesca Pellicciotti⁴, 贾立¹,

¹ 中国科学院空天信息创新研究院, 遥感科学国家重点实验室, 中国北京 100101; jjali@aircas.ac.cn

² 代尔夫特大学, 荷兰代尔夫特 2600 GA; m.menenti@tudelft.nl

³ 中国科学院青藏高原研究所, 中国北京 100101; lliu@itpcas.ac.cn

⁴ 瑞士联邦森林、雪与景观研究所 (WSL), 瑞士苏黎世 8903; francesca.pellicciotti@wsl.ch

* 通讯作者: m.menenti@tudelft.nl

摘要:

冰雪反照率决定了积雪和冰川的能量和物质平衡, 且具有显著的时空变化特征。冰雪的积累和消融变化导致了冰川物质的流动。地-气界面上的能量平衡, 特别是净辐射决定了大气边界层的动力过程。利用空间成像辐射计观测的辐射准确反演冰雪表面反照率, 需要考虑地-气系统中的多种辐射过程的相互影响。陆地上的大气特性反演需要准确了解地表反射率信息, 从而能够同时反演陆地表面反射率和大气成分, 特别是气溶胶。

为了准确反演地表反照率, 特别是积雪和冰川的反照率, 需要考虑高亚洲地区复杂地形的影响。首先, 地表辐照度在很大程度上受到周围地形反射辐射的影响。第二, 需要考虑周围地形的空间异质性。第三, 地表反照率的地形效应和目标反射率的反演, 必须考虑地表反射率特别是冰雪反射率的各向异性。为了提高高亚洲地区反照率反演的准确性, 并了解地表反照率如何驱动且在何种程度上驱动大气边界层和陆面过程, 本项目正在开展上述提到的有关准确反演地表反照率几个方面的研究工作。

我们集成了两种先进的算法迭代改进了地表面反照率和气溶胶这两个强相关量的同步反演: a) 运用陆地表面背景的特征, 分离气溶胶反演中的表面和大气信号; b) 地表反照率反演算法中, 准确分离且估算直接辐照度和漫射辐照度。通过比较 2009-2018 年期间在中科院青藏高原研究所纳木错综合实验站观测的气溶胶光学厚度 (AOD) 的变化在西念青唐古拉山脉 (WNM) 的冰川反照率, 进一步探索了冰雪反照率与气溶胶光学厚度的相关性, 可以看到 AOD 在 2009 年偏低, 而反照率高, 两者相对稳定, 这是由于沉降细颗粒在冰雪表面的沉积。观测数据显示在 2013 年之后 AOD 迅速增加, 反照率迅速下降。

地形对利用空间辐射计获取的地表反射率有两方面的影响: 1) 在周围地形上经多次散射的向下辐射改变了特定面元上的辐照度。2) 地表粗糙面和地形起伏导致的观测到的反射具有固有的各向异性特征。我们在模型中改进这两个方面的影响, 并对模型表现进行了评估。我们在反射率反演过程中对地形进行了纠正, 并利用了 ERA5 结合 CALIPSO 气溶胶消光系数作为大气条件, 将这种考虑了地形和大气双重影响后反演的地表反射率与不考虑地形纠正并采用 MODIS 大气参数产品得到的反射率做了比较 ($\lambda = 0.64 \mu\text{m}$ 为例), 它们之间的差异证实了在对辐射-地形相互作用的评估时需要准确地描述大气辐射传输过程。

冰雪表面反照率的各向异性校正。本研究使用高质量机载 BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function) 实测数据, 校准和评估了 4 个涵盖主要短波波段的冰川表面 (积雪和冰) 反射率的各向异性校正模型。接着, 基于效果最好的校正模型, 分别构建了 Landsat 5/Thematic Mapper (L5/TM), Landsat 8/Operational Land Imager (L8/OLI) and Moderate Resolution Imaging Spectro-radiometer (MODIS) 数据的冰川反照率反演方法, 并在位于全球主要山地冰川分布区的 8 条冰川上评估了该反演方法的精度及适用性。

我们评估了天气与气候模式 WRF 对冰雪反照率的模拟能力，通过结合野外台站和卫星观测的冰雪反照率，改进了与雪龄和雪深有关的冰雪反照率参数化方案。我们利用站点观测的雪水当量，对模式利用不同的陆面过程参数化方案和初边值条件模拟的降雪过程进行了评估，结果表明青藏高原上大气运动过程对冰雪反照率非常敏感，数值模拟应该应用考虑了冰雪特性的近真实的冰雪反照率参数化方案。

现阶段，高分辨率的资源三号（ZY-3）三线阵立体像对数据（TLA）在估算冰川物质平衡方面的潜力还需进一步挖掘。我们优化了基于 ZY-3 TLA 数据中获取数字高程模型（DEM）的处理流程，并使用 ZY-3 DEM 和 C 波段 Shuttle Radar Topography Mission（SRTM）DEM 估算了念青唐古拉山地区的两个典型冰川在三个时期（即 2000-2013 年、2013-2017 年和 2000-2017 年）的冰川物质平衡。

我们通过对 2013-2020 年获取的哨兵 2 号（S2）MSI 和 Landsat-8（L8）OLI 遥感影像，应用归一化图像相关方法，获得了帕隆藏布盆地（PZB）的冰川表面流速。我们绘制了冰川表面流速图，并研究讨论了 PZB 的四条典型冰川（Yanong、Parlung No.4、Xueyougu 和 Azha）表面流速的驱动因素及其时空变化。

关键词：高亚洲；多光谱遥感；气溶胶；地表反照率；冰雪；冰川物质平衡；冰川表面流速；大气边界层