

Project 59199

User ID: 1102

亚洲水塔的水文遥感数据驱动超高分辨率的生态水文模型

Massimo Menenti^{1,2*}, Evan Miles, Shaoting Ren¹, Pascal Buri, Jing Zhang¹, Achille Jouberton, Junru Jia¹, Thomas Shaw, Lian Liu³, Mike McCarthy, Qiuxia Xie¹, Stefan Fugger, Catriona Fyffe, Yubao Qiu¹, Li Jia¹ and Francesca Pellicciotti⁴,

¹ State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; jiali@aircas.ac.cn

² Delft University of Technology, 2600 GA Delft, The Netherlands; m.menenti@tudelft.nl

³ Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; liliu@itpcas.ac.cn

⁴ Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL, 8903 Birmensdorf, Switzerland; francesca.pellicciotti@wsl.ch

* Correspondence: m.menenti@radi.ac.cn, francesca.pellicciotti@wsl.ch

亚洲高山 (HMA), 包括青藏高原及邻近山脉, 是世界上冰川聚集区。被称为“亚洲水塔”, 其中冰雪融水为亚洲主要河流提供水源, 是重要的淡水资源, 影响着区域水循环和生态。在此, 我们通过结合地球系统观测 (ESOs) 和一种新的生态水文模型, 对和亚洲高山关键水塔的水循环和冰冻圈有了新的认识。我们关注 HMA 中径流 (蓝色) 和蒸发蒸腾 (绿色) 水的相互作用, 将冰冻圈消失引起的供水变化与植被的影响结合起来, 以抑制或放大这些变化, 特别是在干旱时期。我们的调查策略有三个步骤, 我们在这三个方面都取得了实质性进展。

在第一步中, 我们的目标是基于遥感观测大幅提高我们对冰冻圈、植被和地表变化的理解。我们生成了积雪覆盖和冰川边界、冰川物质平衡、冰川流速、土壤水分、雪水当量、雪和冰川反照率、雪与冰川辐射平衡等产品。我们利用多时相遥感数据研究了塔里木盆地高山区积雪覆盖变化及其对冰川的影响。我们使用空间分辨率为 30m 的 Landsat 8/OLI 在晴空条件下进行了积雪覆盖监测。由于山区地形复杂, 针对喜马拉雅山脉归一化积雪覆盖指数法普遍存在的高估问题, 我们采用支持向量机器学习的分类方法 (SVM), 逐场景选取不同地形、阴影等条件的积雪覆盖训练样本, 监测 2013-2020 年的积雪积累情况。以使用 Sentinel-2 遥感数据为参考, 我们的反演结果的相关系数在了 0.95 以上, 均方根误差约为 0.1%。应用三重配置分析 (TCA) 和线性权重融合 (LWF) 方法, 在 25km 空间分辨率上构建了 2011-2018 年全球日尺度土壤水分融合数据集 (GDSMFD)。该数据集与全球 331 个观测点的测量数据进行了对比评估, 包括中国 57 个观测点, 其中包括青藏高原上所有的永久性观测站。并利用 MODIS 数据反演了 2001 - 2020 年尼亚青唐古拉山西部地区冰川反照率的时空变化特征。冰川反照率年际波动较大, 显著下降趋势为 $0.043 \pm 2.2 \times 10^{-4}$ / 每 10 年。将 WRF 对积雪深度及雪龄的估计与 MODIS 反演的积雪反照率相结合, 提出了一种新的积雪反照率参数化方法。这种方法导致在 WRF 对气温、反照率、感热通量和积雪深度的预测中 RMSE 的相对降低及相关系数的显著增加。

提出了两种先进的反演地表反照率和气溶胶含量及性质的算法: a) 提取地面背景特征通过分离地面和大气信号在气溶胶反演中; b) 分离直接辐照度与漫射辐

照度的分离在地表反照率反演中。通过对比 2009 - 2018 年纳木错站观测的气溶胶光学深度(AOD)与年青耿尔哈山西部冰川反照率的变化,揭示了冰雪反照率与气溶胶的相关性。针对资源三号(ZY-3)三线阵(TLA)立体像对数据,优化获取数字高程模型(DEM)的流程,并使用 ZY-3 DEM 和 c 波段 SRTM DEM 估算了 2000-2013 年、2013-2017 年和 2000-2017 年念青唐古拉山(NM)两个区域的冰川物质平衡。

利用 2013 - 2020 年 Sentinel 2 (S2) MSI 和 Landsat-8 (L8) OLI 影像数据,采用归一化图像相关方法,生成了青藏高原东南部帕尔布藏布盆地冰川表面流速的时间序列。

利用高分辨率的被动微波卫星数据(PMW)对青藏高原湖泊冰物候进行了研究。计算了 109 个湖泊的冻结期(FO)、完全冰覆盖期(CIC)、融化期(MO)和完全无冰期(CIF)数据,其中包括 2002 - 2021 年的 22 个湖泊(1978 - 2021 年)和 87 个湖泊。

第二步是重点调查生成冰川特定的海拔表面物质平衡剖面,为研究项目提供冰川物质平衡的变化模式。我们的方法是基于高质量的数字高程变化和冰川表面流速数据集,通过应用连续性方程估计冰厚度。我们推导了多年代际的海拔质量平衡剖面,量化了亚洲高山地区 5000 多个冰川的平衡线高度和累积面积比。我们应用高分辨 Pleiades, Deimos 和 UAV 数据集,精确反演冰川变薄和流速数据集。这些结果为验证冰川组成部分在内的生态水文陆面模型提供了重要的数据集。

在第三个步骤中,我们对选定研究流域的冰层、水圈和生物圈的陆面相互作用进行了模拟。我们使用了地表模型 Tethys Chloris,该模型描述了植被生物物理学和冰雪融化、雪重力再分配和积雪过程等。到目前为止,我们已经为五个研究集水区建立了模型,使用降尺度的 ERA5 数据。我们使用在 1 与 2 中估算的多个数据集进行了验证模拟。积雪升华和蒸散产生的潜热通量可以解释与冰融化一样高的水分损失。

关键词:高山亚洲;冰川物质平衡;陆地地表模型;冰川径流;多光谱遥感;气溶胶;地表反照率;冰雪;冰川表面流;大气边界层