

项目 ID: 95462

## 基于冰冻圈遥感与生态水文模型反演山地气象 (IMMERSE)

F.Pellicciotti、M.Menenti、E.S.Miles、杨坤、邱玉、郑亮、贾立

### 摘要

本项目依托欧洲空间局 (ESA) 与国家卫星气象中心 (NRSCC) 提供的卫星对地观测数据, 评估气候再分析资料中降水与气温产品的偏差。本研究采用经独立观测验证的陆面模型 Tethys & Chloris (T&C), 深化对亚洲高山区关键水塔冰冻圈与水循环过程的科学认知。

本项目核心目标是利用对地观测数据约束冰川水文与生态水文过程, 量化亚洲高山区冰川流域内蓝水、绿水与白水通量的相互作用关系。遥感数据分析重点围绕冰雪表面能量平衡所驱动的气候强迫, 及其与冰冻圈动态 (积雪与冰川物质变化、运动特征) 之间的关联。

研究已构建长时序冰川观测数据集并实现与模型的融合, 具体开展了以下研究内容: a) 改进流域与冰川雪线反演算法, 并在亚洲高山区多个站点开展验证; b) 系统整合了覆盖 1970 年代至今的多站点立体卫星数据, 研发多年代际冰川物质平衡估算方法, 并在 Sangvor 站点实现应用; c) 发展冰川气象参数反演方法, 在单条冰川与子冰川区域尺度开展验证评估; d) 应用 T&C 模型解析帕米尔地区 Kyzylsu 流域历史积雪、冰川与水文变化。

同时, 研究利用多源卫星数据改进高海拔流域水文气象产品与模型, 主要包括: a) 水汽通量组分及其驱动因子; b) 近实时降水率反演; c) 短波太阳辐射反演精度提升; d) 冰川运动速度监测质量优化; e) 湖泊冰情演变监测。

流域与冰川雪线数据集可有效提供气候信息并约束气象强迫的偏差校正。Sentinel-2 与 Landsat 系列卫星实现了更高频次、更高精度的高分辨率反演。与此同时, 本研究整合了帕米尔地区 8 个站点 1970 年代至今的多时相立体卫星数据, 每个站点均获取了 7-20 景高质量立体影像, 数据源包括 KH-9 HEXAGON、CORONA、SPOT5、ALOS、SPOT6/7 及 Pleiades 卫星, 为喀喇昆仑异常区的多时相冰川物质平衡估算提供了丰富的冰川变化历史存档数据。

研究构建了贝叶斯反演框架, 结合物理模型与遥感数据反演气温与降水, 并重建季节性冰川物质平衡, 使物理建模方法可推广至缺乏甚至无野外观测的区域。本研究已在 3 个研究区 (帕隆 4 号冰川、Kyzylsu、Trambau-Trakarding) 应用 T&C 陆面模型, 依托地面观测与前期研究成果完成模型构建与验证。上述工作为后续开展更高分辨率的白水、蓝水与绿水通量平衡反演及大范围模型推广奠定了基础。

基于 2000–2023 年 1 km 分辨率高分辨率蒸散发数据集, 采用偏相关分析与偏最小二乘结构方程模型 (PLS-SEM), 识别了蒸散发 (ET) 变化趋势的主导驱动因子及其因果路径。基于静止卫星观测, 研究提出并验证了全新的动态两步实时降水反演算法 (D-PRA)。结果表明, 相较于全球降水产品 GSMaP\_NOW, D-PRA 的探测概率 (POD) 提升近 5 倍, 均方根误差 (RMSE) 降低 25.5%。

研究发展并应用了考虑地形的正射校正方法, 修正 Himawari-8 二级短波辐射产品的定位偏差。以经过地形校正的 MODIS MCD18A1 产品为空间参考基准, 校正后青藏高原区域空间相关系数提升 0.13, 均方根偏差降低  $30.8 \text{ W m}^{-2}$ 。

基于 Sentinel-2 多光谱 (MSI) 影像, 采用光学影像互相关法方法 (COSI-Corr) 反演冰川表面流速。通过优化影像对时间间隔与影像相干性, 显著提升了冰川流速时序数据集质量。利用 MODIS 观测数据, 研究构建了 2002–2024 年全球高时空分辨率湖泊冰情数据集, 覆盖 32800 个湖泊, 提供逐日冰覆盖信息、年度冰盖状态、关键物候参数及完全封冻概率。