

Annual to seasonal glacier mass changes in High Mountain Asia from multi-source satellite data

基于多源卫星数据的高亚洲年度和季度的冰川物质质量变化观测

Tobias Bolch¹, Lei Huang (黄磊)², Daniel Falaschi³, Francesca Baldacchino, Atanu Bhattacharya⁴, Ying Huang (黄莹)², Owen King⁵

¹Graz University of Technology, Graz, Austria
(奥地利 格拉茨技术大学)

²Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, China
(中国科学院空天信息创新研究院)

³IANIGLA, CONICET, Medoza, Argentina

⁴Department of Remote Sensing & GIS, JIS University, Kolkata, India

⁵Newcastle University, Newcastle UK

冰川是淡水的重要来源，尤其是对亚洲高山区周围干旱的低海拔地区而言。然而，冰川总体上正加速流失，而冰川质量流失在不同区域差异很大。在西昆仑、东帕米尔和喀喇昆仑山中部的冰川质量损失很小，但即使是这些地区，冰川的物质质量损失也很普遍。之前的研究表明，这种异质性可能是由不同的气候和积累机制、表碛覆盖、冰川湖和冰川跃动等因素造成的。

在本项目中，我们利用多源卫星数据，对整个亚洲高山地区的冰川变化及其原因进行整体监测，并对一些特定地区进行了详细调查。

首先，我们提出了一个完全基于 Sentinel-1 合成孔径雷达 (SAR) 观测冰川表面湿雪和粒雪的新指数来表征积累类型。该指数基于以下假设，即对于夏季积累型冰川，在频繁 SAR 观测下获取的夏季湿雪区面积比例更高（通常高于粒雪区比例），否则倾向于冬季积累型。研究表明，该指数是积累类型的有力指标，与冰川物质平衡（即单位面积的质量变化）密切相关。

然后，我们使用不同的立体卫星数据，包括 ASTER、SPOT 和 Pléiades 数据，评估了自 2000 年以来不同积累条件下不同区域的物质平衡变化和趋势。我们发现，所有地区的物质损失都在加速，喜马拉雅中部的朗塘山谷（属于过渡积累型）和念青唐古拉西部（夏季积累型）的物质损失最高，2000 年后的物质质量损失率在 -0.4 至 -0.5 m w.e.a⁻¹ 之间。帕米尔东部慕士塔格峰的冰川属于冬季积累型，物质质量趋向于零平衡。但即使在那里，近年来物质损失也普遍存在。

最后，我们研究了超高分辨率的 Pléiades 数据在年尺度和季节尺度上监测念青唐古拉和慕士塔格峰西部两个区域冰川范围物质平衡的潜力。2019-2020 年至 2020-2021 年间，慕士塔格峰地块的年物质平衡整体为负平衡（分别为 -0.24 ± 0.19 m w.e.a⁻¹ 和 $+0.17 \pm 0.35$ m w.e.m⁻¹）。2022 年冬季（ $+0.17 \pm 0.64$ m w.e.a⁻¹）的正平衡为冬季积累机制提供了证据。由于时间基线较短，在某些情况下物质平衡的不确定性仍然很高。相反，念青唐古拉山脉西部相近时期的年度物质平衡显示出高度负平衡（ -0.87 ± 0.22 m w.e.a⁻¹ 和 -0.52 ± 0.11 m w.e.a⁻¹），这表明 2019 年后的物质质量损失比前 60 年高得多。由于高不确定性限制，冬季（ -0.05 ± 0.70 m w.e.a⁻¹）物质平衡没有显示任何恢复迹象。

未来的工作将侧重于将 Sentinel-1/2 的季节性雪线观测与高分辨率卫星数据、ICESat-2 和速度计算的物质平衡测量相结合，以进一步提高对物质平衡异质性及其驱动因素的理解。