

融合 SAR 反演的积累与消融特征揭示高亚洲冰川物质平衡 异质性

高亚洲地区的冰川是干旱区数百万人口的重要水源，但其物质平衡存在强烈的区域异质性，由于高海拔地区缺乏高分辨率气温与降水数据，这种异质性的成因尚不明确。本研究整合了两种互补的哨兵 1 号合成孔径雷达 (SAR) 方法，以同步约束冰川的消融与积累过程。首先，我们基于粒雪和积雪观测构建了冰川消融与积累指数，该指数能够反映整个高亚洲地区冰川的季节性消融和积累模式。通过夏季雪线、冰川上气象站的气温和降水记录进行验证，证实了该指数的可靠性；结合现有物质平衡数据分析发现，消融和夏季积累指数均最低的高亚洲中部地区冰川状态最为平衡 ($+0.05 \text{ m w. e. a}^{-1}$)，而消融指数高、夏季积累指数中等的冰川则呈现高度负物质平衡 ($-0.47 \text{ m w. e. a}^{-1}$)。其次，我们利用 SAR 后向散射阈值法结合高程约束绘制了干雪带 (冰川中海拔最高、无夏季消融的区域) 分布图，首次实现了 2015—2024 年区域尺度的干雪分布及其变率的十年尺度评估。干雪主要局限于高亚洲西部和南部的高海拔地区，其他区域则基本缺失；其范围对夏季气温表现出强烈的年际敏感性，与降水的关系较弱或不一致，并在若干内部子区域与冰川物质平衡呈正相关关系。这两类独立的 SAR 指标共同构建了理解高亚洲冰川异质性的物理一致性框架。通过将季节性积累消融机制与干雪动态相联结，该综合方法为预测这一复杂山地冰川的变化提供了新的观测约束条件。