

降水相位变化加剧了藏东南地区冰川物质损失

冰川是“亚洲水塔”的关键组成部分，是下游居民，农业和工业用水的重要来源。相较于青藏高原其他地区，尽管气候变暖导致藏东南地区冰川在过去 40 年的物质损失最为严重，但长期降水变化以及与气候变化的相互作用对该地区冰川消融的影响仍不清晰。此外，对于青藏高原地区冰川在流域尺度的水文过程中所起的作用还了解较少。本研究使用分布式冰川水文模型（TOPKAPI-ETH）获取了自 1975 年以来帕隆 4 号冰川的径流和冰川物质变化，揭示了该地区季风主导的春季积累型冰川物质损失的驱动因素。自 2006 年以来，由于帕隆 4 号冰川在气象，表面能量通量和物质平衡都已进行了广泛的研究和试验，因而被视作该地区的典型冰川。该冰川属于春季积累型的海洋型冰川，在印度夏季季风（通常是 6 月至 9 月）期间同时处于积累和消融的状态。本研究将再分析数据（ERA5-Land, CMFD）和 Zayu 国家气象站数据校正到该冰川附近的自动气象站，并利用该气象站的气象数据、流域径流、冰川物质平衡遥感及花杆观测和 MODIS 雪盖数据对 TOPKAPI-ETH 进行了校准和验证。模拟结果显示，该地区年均温（ $0.23^{\circ}\text{C dec}^{-1}$ ）的上升同时导致了冰川物质消融的增加和积累的减少。20 世纪 90 年代后期，年降水量的增加最初抵消了气候变暖对冰川物质损失的不利影响，但在 21 世纪初，季风期降水相位（固态和液态）的变化最终主导了该地区冰川物质变化，导致冰川物质积累减少和反照率降低，从而进一步加剧了融冰和流域径流。通常，春季降水可同时增加冰川物质并减缓其在季风初期的消融速率，进而减缓冰川物质流失，过去 20 年，该地区春季降水的增加在这方面扮演着越来越重要的角色。尽管春季积聚对近期的气候变暖并不十分敏感，但其在减缓冰川质量损失方面的潜力仍取决于气候变暖与季风动力学之间复杂的相互作用关系。