

# 天山1号冰川成冰带和积雪特征对气候变化的响应

李向应<sup>①②</sup>, 丁永建<sup>②</sup>, 叶柏生<sup>②</sup>, 韩添丁<sup>②</sup>

① 中国气象科学研究院气候系统研究所, 北京 100081;

② 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 冰冻圈科学国家重点实验室, 兰州 730000

E-mail: shaanxilxy@163.com

冰川是气候变化的指示器. 成冰带是冰川表面成冰作用有差异的区带, 与物质平衡密切相关; 积雪由层位组成, 层位通过沉积、风蚀和变质作用形成. 成冰带的界限(如粒雪线、湿雪线、干雪线)保存着气候环境信息(如消融区大小、0 等温线、极端消融事件), 消融末期的粒雪线代表着反映物质平衡变化的零平衡线(ELA). 因积雪表面的辐射通量以垂向为主, 所以物质能量的转化与积雪层位的数量和性质密切相关. 可见, 冰川消融与积雪的物理性质密切联系且受气温影响. 成冰带分布和积雪组成逐年波动, 在较长时间尺度上(10 年或更长)对物质平衡和气候变化敏感, 尤其在全球变暖下.

观测表明, 1962~1989 年, 附加冰带出现在东支顶部且面积增大, 湿雪带与附加冰带的界限上移且面积减小, 渗浸带消失且被湿雪带代替. 消融区和附加冰带附加冰的最大厚度分别减小 22 和 227 cm. 然而, 1989~2004 年, 消融区面积明显增大, 附加冰带面积减小, 东支顶部的部分附加冰带消失且被消融区代替. 附加冰带和消融区的界限在东、西支分别上升 141 和 53 m, 湿雪带和附加冰带的界限分别上升 23 和 6 m. 说明融水量增加且渗浸作用增强, 这与冰内热量增加和气候变暖关系密切. 雪冰的转化时间明显减小, 积雪密度及融水体积显著增加. 如, 1961~1962 年积雪保存着 5 a 的物质积累, 而 1980~1981 年和 2003~2004 年的物质积累分别为 4 和 3 a. 1961~1962 年的冰片为 8 个, 而 1980~1981 年和 2003~

2004 年分别减小为 3.3 和 2.5 个. 2003~2004 年的积雪深度较 1961~1962 年和 1980~1981 年分别减小 57 和 33 cm, 积雪密度分别增加 130 和 80 kg m<sup>-3</sup>. 2003~2004 年粗粒雪较 1980~1981 年和 1961~1962 年显著增加, 细粒和中粒雪显著减小(图 1). 积雪组成变得简单, 层位的界限变得模糊, 这可能与潜在的气候变暖密切相关.

分析表明, 1963~1981 年(P1<sub>0</sub>), 降水量与物质平衡显著正相关(R<sup>2</sup>=0.27, P=0.02), 气温与物质平衡的关系不显著, 说明降水主要影响积雪组成且其影响明显大于气温. 1963~1989 年, 气温与物质平衡负相关(R<sup>2</sup>=0.1, P=0.1)且与径流量正相关, 降水与物质平衡正

相关(R<sup>2</sup>=0.21, P=0.02)但与径流量的关系不显著, 说明气温和降水影响成冰带且降水的影响更加显著. 可见, 气温和降水的年际波动影响成冰带和积雪组成的变化. 1982~2007 年(P2<sub>0</sub>)和 1990~2007 年(P2<sub>1</sub>), 气温与物质平衡显著负相关(P2<sub>0</sub>: R<sup>2</sup>=0.61, P<0.01; P2<sub>1</sub>: R<sup>2</sup>=0.60, P<0.01)且与径流量显著正相关(P2<sub>0</sub>: R<sup>2</sup>=0.54, P<0.01; P2<sub>1</sub>: R<sup>2</sup>=0.47, P<0.01), 降水与径流量正相关但与物质平衡的关系不显著, 说明气温的影响大于降水且气温主要控制着物质平衡和径流量、从而影响成冰带和积雪组成的变化. 可见, 近几十年天山 1 号冰川成冰带和积雪组成的变化很可能是由全球变暖背景下气候的快速变暖引起的.

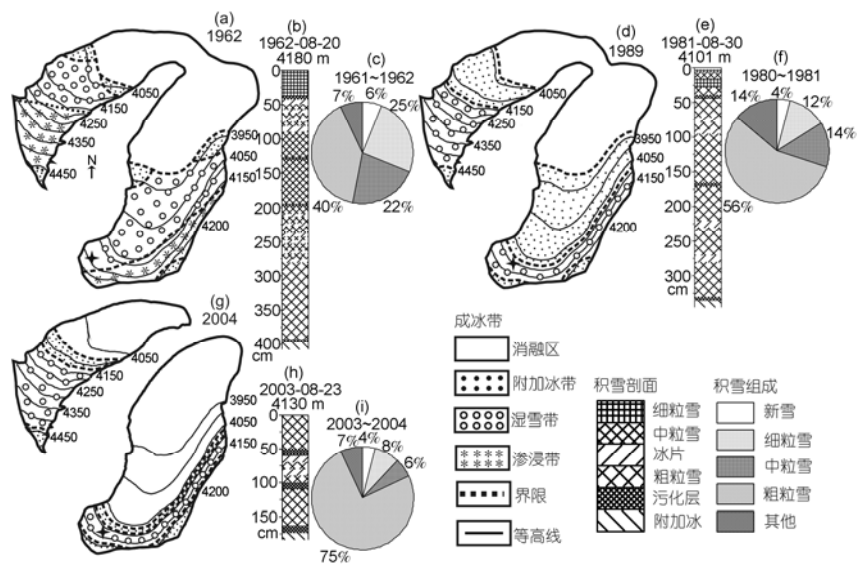


图 1 不同时期的成冰带、积雪组成及其典型剖面

“\*”代表积雪剖面的位置, “新雪”和“其他”分别代表“新降雪”和“混合层”(如冰片、污化层)