

近50年来天山博格达峰地区四工河4号冰川表面高程变化特征

王璞玉^{1,2}, 李忠勤^{1,2}, 曹敏¹, 李慧林^{1,2}, 王飞腾^{1,2}, 张明军^{1,2}

(1 西北师范大学地理与环境科学学院 甘肃 兰州 730070)

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 天山冰川站 甘肃 兰州 730000)

摘要: 基于 GIS技术,利用 GPS测量数据和1962年地形图分别建立两期 DEM,通过对比重点研究了四工河4号冰川1962—2009年冰舌区的表面高程变化特征。结果表明:1962—2009年间,冰舌区平均减薄 15 ± 10 m,年均减薄约 0.32 ± 0.2 m,冰储量亏损达 $(14.3\pm9.5)\times10^{-3}$ km³,折合水当量 $(12.9\pm8.6)\times10^{-3}$ km³。不同海拔、坡度区间冰面高程变化差异显著,海拔较低、坡度较缓区域的变化最为强烈。在气候变暖的趋势下,四工河4号冰川发生强烈消融,标志着博格达峰地区的冰川正处于物质严重亏损的状态,直接影响到流域水资源状况。

关键词: 四工河4号冰川; 博格达峰地区; 冰面高程变化; GPS; GIS

中图分类号: P343.6 文献标识码: A 文章编号: 1000-6060(2011)03-0464-07(464~470)

物质平衡是联结冰川波动与气候变化的关键因子,反映了冰川物质积累与消融的状况,已经成为国际冰川学研究的传统课题,在全球气候变化研究中扮演着愈来愈重要的角色^[1~5]。在我国,仅有乌鲁木齐河源1号冰川具有长达50 a的物质平衡观测数据,其他冰川的物质平衡观测则在区域冰川考察中断续开展,多以短期积累或消融观测为主。虽然直接的物质平衡观测能够提供精确的结果,但耗时又费力,具有一定的局限性。冰面高程变化研究则可以通过计算一定时期内冰川厚度、储量(体积)的变化来反映物质积累或亏损,是一种估算缺少长期观测冰川物质平衡的有效方法,此项工作已经在一些冰川上有所开展^[6~8]。

博格达峰地区是天山东部最大的冰川作用区,备受国内外学者的关注。中日联合考察队于20世纪80年代初对该区开展过考察及研究工作^[9~16]。张文敬和谢自楚^[14]对考察期间四工河4号冰川的积累、消融特征及物质平衡进行了估算,但是,由于缺乏连续的观测资料,所以对该冰川长期的物质积累、消融状况仍然无法了解;伍光和等人^[15]对20世

纪60~80年代该冰川面积、末端变化进行了探讨,然而对冰川表面高程的变化即厚度的变化研究甚少,且由于冰川处于不同的气候响应阶段,其变化存在显著差异,尤其是最近20~30 a气温的持续升高又直接影响冰川的变化特征^[17~18]。

鉴于此,天山冰川站科考人员于2009年7月对博格达峰地区进行了大规模科学考察,对四工河4号冰川(4号冰川)重复监测,开展了高精度 RTK-GPS(Real Time Kinematic—Global Position System)冰川测量工作。基于GIS(Geographic Information System),本文利用2009年GPS测量数据和1962年地形图分别建立两期 DEM,通过对比重点研究了4号冰川冰舌区冰面高程变化特征,并估算冰川储量(体积)变化及物质平衡,以为流域水资源评估提供可靠数据支持。

1 研究区概况

博格达峰地区地处天山东部,分布有113条现

* 收稿日期: 2010-09-19 修订日期: 2010-12-06

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2010CB951003);中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-127);国家自然科学基金项目(40631001; 40571033; 40701034; 40371028; J630966);国家基金委创新群体项目(40121101)资助

作者简介: 王璞玉(1983-),女,博士研究生,主要从事冰川变化研究。E-mail: wangpuyu862@163.com

通讯作者: 李忠勤,男,研究员,冰川学专业。E-mail: lizq@126.ac.cn

代冰川, 绝大多数冰川的规模都很小, 分别位于南坡的古班博格达河、黑沟和阿克苏河, 北坡的三工河、四工河、甘河子沟和白杨河等河流源头^[16]。据中国冰川编目^[19], 四工河 4号冰川 ($43^{\circ}49'N$ $88^{\circ}21'E$) 位于博格达峰地区北坡, 冰川编号为 5Y725D0004, 是一条典型的冰斗山谷型冰川, 如图 1 所示。根据 1962 年地形图, 4号冰川面积为 3.33 km^2 , 长

3.2 km , 朝向 W, 海拔介于 $3600\sim4350 \text{ m}$

博格达山脉两侧盆地冬季受强大的蒙古冷高压控制, 寒冷而干燥。夏季高空盛行西风环流, 具有典型的中纬西风带大陆性气候特征。气温年较差、日较差大, 降水量少而变率大, 且集中分布在夏季。风沙地貌发育, 河网稀疏, 地表径流贫乏, 植被类型及植物种属不多, 呈现荒漠景观特征^[16]。

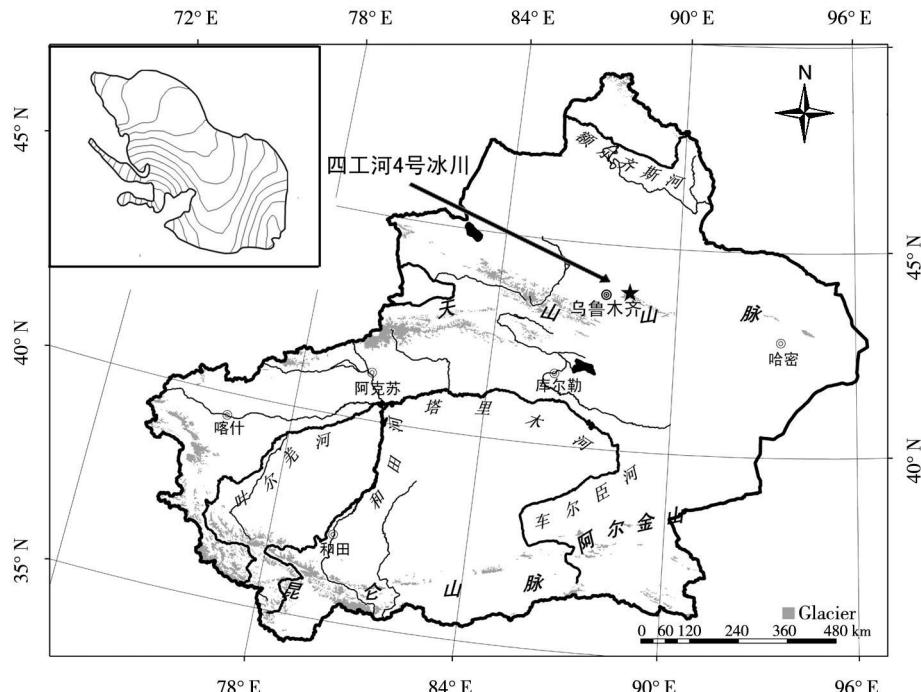


图 1 四工河 4号冰川位置图

Fig. 1 Location map of Glacier No. 4 of S Gong River

2 数据、方法及误差评估

2.1 数据

2009年 7月, 天山冰川站科考人员对 4号冰川开展了大规模的、全面的考察工作, 包括 RTK-GPS 测量、物质平衡、气溶胶、雪冰、水文、气象观测。本研究使用的数据主要包括: 2009年 RTK-GPS 冰川测量数据和 1962 年航空摄影绘制 1:50 000 地形图两幅(图幅号分别为: 11-45-9-乙和 11-45-9-丁)。

2.2 方法及误差评估

RTK-GPS 测量, 即实时载波相位差分定位技术。相比以往采用的静态、快速静态、准动态和动态相对定位等工作模式, 实时差分 GPS 大大提高了测量的工作效率, 野外实时可达 cm 级定位精度^[20]。测量时, GPS 接收机架设在冰川末端附近作为基准

站, 其余的接收机则由人工移动采集冰面地形点。由于 4号冰川积累区地势陡峭, 所以测量主要集中在冰舌区, 面积为 0.95 km^2 , 对冰川末端精确定位的同时, 以 $20\sim50 \text{ m}$ 间距布设测点确定冰面高程。测量点垂直误差为 0.30 m , 水平误差为 0.10 m 。原始测点为 UTM-WGS84 坐标, 处理过程中将其转化为 B54 坐标, 基准点取黄海平均海平面, 即青岛零点。基于 GPS 测量点, 在 ARCGIS 软件中建立 DEM, 像元大小为 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 。ARCGIS 软件具有强大屏幕矢量化、地图代数运算、拓扑关系建立、空间数据库建库以及三维显示等功能, 近年来已经被广泛运用到冰川变化研究当中^[21-25]。

基于 1962 年地形图建立 DEM。首先对 1962 年两幅地形图进行校正及拼接; 然后采用人工数字化等高线的方法提取 DEM, 像元大小均为 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 。坐标系取 B54, 对两期 DEM 进行精度评

价, 分别以 1962 年地形图和 2009 年 GPS 数据为准, 从中随机的选取了 200 个高程点与 DEM 上的同名点进行比较从而计算误差范围。在此基础上, 结合 1962 年和 2009 年两期 DEM 通过地图代数运算可以研究冰面高程变化特征。研究过程中对比选取了冰川末端基岩区域的 10 个离散的独立控制点进行误差评估^[26~28], 结果表明冰面高程变化误差在 $\pm 10 \text{ m}$ 以内。

3 结果

对比两期 DEM 可反映 4 号冰川表面高程变化特征(图 2)。1962—2009 年, 4 号冰川冰舌区域整体处于减薄状态, 平均减薄 $15 \pm 10 \text{ m}$, 减薄速率为

$0.32 \pm 0.2 \text{ m/a}$ 。末端位置减薄最为强烈, 可达 55 m 。海拔 $3800 \sim 3900 \text{ m}$ 有两处增厚现象, 但幅度不大, 最多仅 5 m 。一处位于冰川边缘, 可能是由地势陡峭处的冰、雪积累所造成; 另一处接近主流线位置, 可能与冰川运动有直接关系。据估算, 1962—2009 年, 4 号冰川冰舌区储量亏损 $(14.3 \pm 9.5) \times 10^{-3} \text{ km}^3$, 相当于水量 $(12.9 \pm 8.6) \times 10^{-3} \text{ km}^3$ (冰密度 $0.9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)。需要说明的是, 由于未对冰川已退缩区域进行测量, 因此无法评估冰川退缩造成的储量亏损值。但可以肯定, 近 50 年来 4 号冰川冰量至少亏损 $(14.3 \pm 9.5) \times 10^{-3} \text{ km}^3$, 即 4 号冰川至少提供了 $(12.9 \pm 8.6) \times 10^{-3} \text{ km}^3$ 的融水补给量。

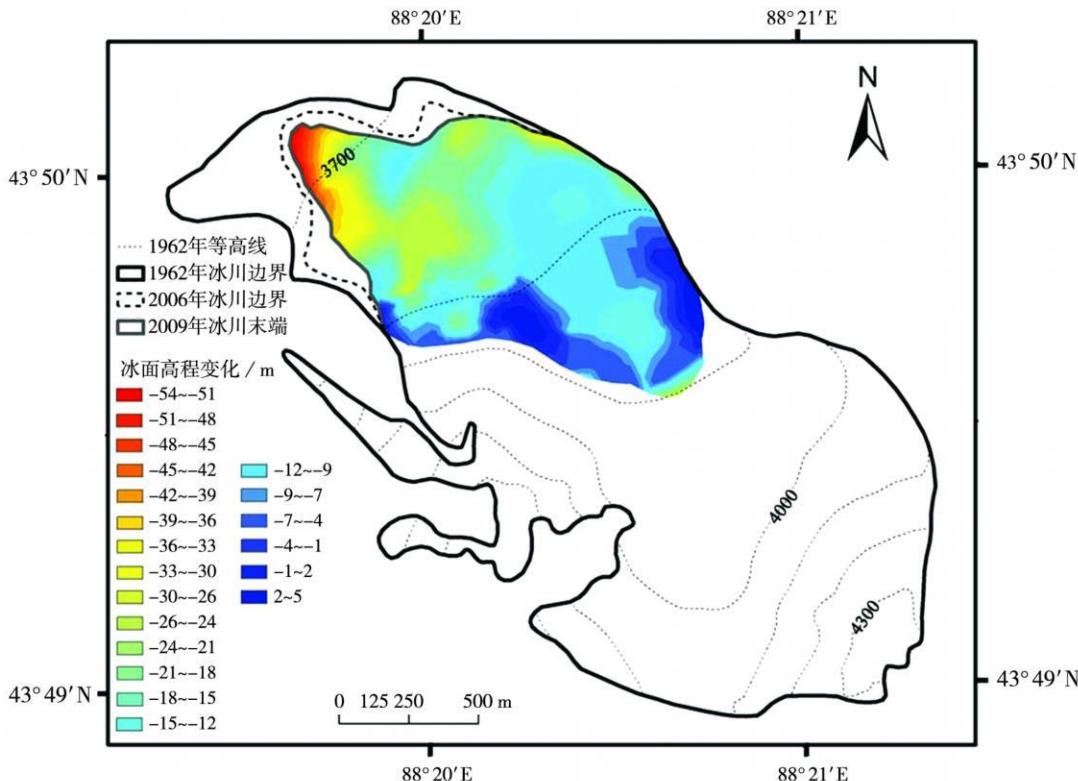


图 2 1962—2009 年四工河 4 号冰川表面高程变化

Fig 2 Ice surface elevation changes of Glacier No. 4 of Sigong River from 1962 to 2009

不同海拔、坡度区间, 冰面高程变化特征存在显著差异。取 5 个海拔高度带(相隔 50 m)以及 5 个坡度区间(相隔 10°)分别研究 4 号冰川冰舌区表面高程变化随海拔、坡度的分布特征, 如图 3 所示。图 3(a)显示不同海拔高度区间冰舌区冰面高程的变化特征。海拔最低区间($3675 \sim 3725 \text{ m}$)即冰川末端减薄了 32.5 m , 明显强于其它 4 个海拔高度

区间, 是冰川变化最敏感的区域。随着海拔的升高, 冰川减薄幅度逐渐缩小, 在海拔 $3825 \sim 3875 \text{ m}$ 区间达到最小, 约为 6.6 m ; 海拔 $3875 \sim 3903 \text{ m}$ 又增大为 9.4 m 。图 3(b)为不同坡度区间 4 号冰川冰舌区的冰面高程变化, 可以看出, 坡度最平缓的区域($0^\circ \sim 10^\circ$)减薄最强烈, 达 15.7 m 。随着坡度的增大, 冰川减薄亦呈现缩小趋势, 在 $30^\circ \sim 40^\circ$ 区间缩小

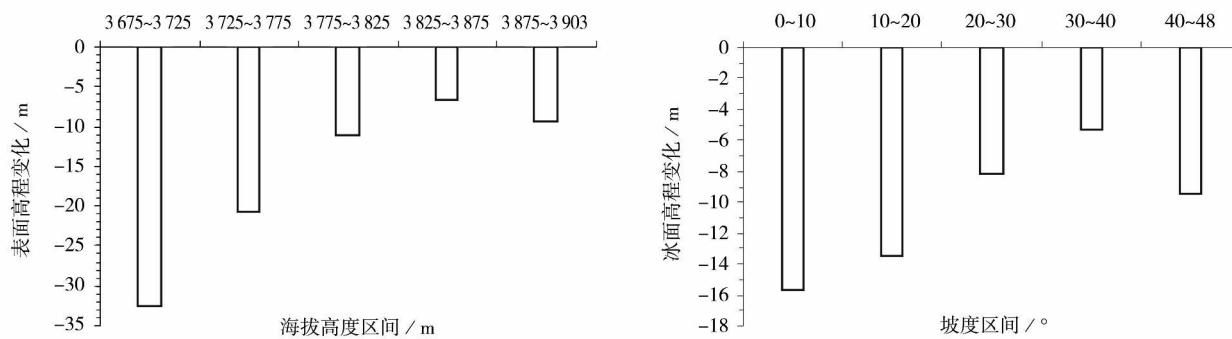


图 3 四工河 4号冰川冰舌区不同海拔高度、坡度区间冰面高程变化特征

Fig. 3 Ice surface elevation changes in the tongue of Glacier No. 4 of Sigong River within different ranges of elevation and slope

到 5.3 m^o 40°~48°区间, 冰川减薄又逐渐增大, 约为 9.4 m^o。总体来看, 海拔较低、坡度较缓的区域, 冰川减薄最强烈。

4 讨 论

结合 2006 年 9 月 15 m 分辨率 ASTER 遥感影像, 通过对比进一步分析 4 号冰川近 50 a 来的动态变化。ASTER 遥感影像以地形图为参考进行正射校正, 配准误差控制在 1 个像元之内。结果发现, 4 号冰川迅速减薄的同时, 末端持续退缩, 且呈加速趋势(表 1)。1962—2009 年 4 号冰川年均退缩 8.0 m, 其中, 1962—2006 年和 2006—2009 年退缩速率分别为 7.5 m/a 和 13.3 m/a。参考伍光和等人研究^[15]推算出 1981—2006 年年均退缩 8.9 m。20 世纪 60 年代初以来, 4 号冰川加速退缩, 近 3 a 来尤为显著, 已达 1962—2006 年的近 2 倍。与此同时, 冰川面积也大幅缩小, 1962—2009 年, 面积共缩小 0.53 km², 相当于 1962 年面积的 15.8% 已经消失殆尽。其中, 1962—2006 年冰川面积缩小 0.35 km², 缩小速率为 0.01 km²/a。2006—2009 年, 面积缩小了 0.18 km², 缩小速率已经增加到之前的 6 倍, 达 0.06 km²/a。分析发现, 4 号冰川面积的大幅度缩小主要发生在末端位置, 由冰川退缩引起。

气候变化是冰川变化的直接驱动因素。气温决定消融量, 降水决定补给量, 二者是冰川变化的主要气候影响因素^[29~31]。宋文娟等^[32]根据博格达山北麓 6 个气象站 1971—2006 年的气温和降水记录对该区近 35 a 来季及年际水热组合变化做了详细分析, 博格达山北麓地区气温整体呈上升趋势, 春、夏、

秋、冬四季的气温均有不同程度的增加, 年均气温 2006 年比 1971 年升高了 1.58 °C, 而年降水量的增加趋势却不明显。气候的日益变暖导致 4 号冰川物质严重亏损, 引起冰川运动特征及冰川热状况的改变, 最终造成冰川末端的急剧退缩、面积的大幅度减少、冰川厚度的迅速减薄。

表 1 四工河 4 号冰川长度、面积及冰面高程变化

Tab. 1 Variation of length, area and ice surface elevation of Glacier No. 4 of Sigong River

	时间段	变化量	年均变化量	资料来源
长度变化 / m	1962—1981	-114	-6.0	伍光和等 ^[15] 本研究
	1981—2006	-222	-8.9	
	2006—2009	-40	-13.3	
面积变化 / km ²	1962—2006	-0.35	-0.01	
	2006—2009	-0.18	-0.06	
冰面高程变化 / m	1962—2009	-15±10	-0.32±0.2	

5 结 论

在 GIS 技术的支持下, 本文利用 RTK-GPS 测量数据和 1962 年地形图, 重点研究了四工河 4 号冰川 1962—2009 年冰舌区的表面高程变化特征, 并结合 2006 年遥感影像进一步分析了该冰川近 50 a 来的动态变化。

(1) 1962—2009 年, 4 号冰川冰舌区域整体处于减薄状态, 平均减薄 15±10 m, 年均减薄 0.32±0.2 m, 冰储量亏损达 $(14.3±9.5) \times 10^{-3}$ km³, 即 4 号冰川至少提供了 $(12.9±8.6) \times 10^{-3}$ km³ 的融水补给量。随海拔、坡度变化, 冰川表面高程变化特征存在显著差异。海拔较低、坡度较缓区域冰面高程变化最为强烈。

(2) 冰川快速减薄的同时,末端急剧退缩,面积不断减少,1962—2009年共退缩376 m,退缩速率为8.0 m/a,冰川面积减少0.53 km²,占1962年15.8%的冰川已经完全消失,主要是由冰川退缩造成。4号冰川对于区域冰川的变化情况具有一定代表性,标志着博格达峰地区的冰川正处于强烈消融状态,在全球变暖的背景下,冰川消融必将呈现出加速趋势,对流域水资源及人民的生产、生活会产生直接影响。

致谢:本研究所采用的2009年资料是博格达峰地区考察队全体队员艰辛工作的结果,在此对参加此项工作的所有人员深表感谢!

参考文献 (References)

- [1] 刘潮海, 谢自楚, 王纯足. 天山乌鲁木齐河源1号冰川物质平衡过程研究 [J]. 冰川冻土, 1997, 19(1): 17—24 [LU Chao-hai XE Zichu WANG Chunzu A research on the mass balance processes of Glacier No. 1 at the headwaters of the Urumqi River Tianshan Mountains [J]. Journal of Glaciology and Geocryology 1997 19(1): 17—24.]
- [2] 康尔泗, 刘潮海, 王纯足, 等. 乌鲁木齐河源冰川物质平衡季节变化和总消融海拔分布 [J]. 冰川冻土, 1994, 16(2): 119—127 [KANG Ershi LU Chao-hai WANG Chunzu et al Seasonal variation of mass balance and altitude dependency of total melt in the glacierized source area of the Urumqi River [J]. Journal of Glaciology and Geocryology 1994 16(2): 119—127.]
- [3] 杨惠安, 李忠勤, 叶柏生, 等. 过去44 a 乌鲁木齐河源1号冰川物质平衡结果及其过程研究 [J]. 干旱区地理, 2005, 28(1): 76—80 [YANG Huian LI Zhongqin YE Bai sheng et al Study on mass balance and Process of Glacier No. 1 at the headwaters of the Urumqi River in the past 44 years [J]. Arid Land Geography 2005 28(1): 76—80.]
- [4] BRAIHWA II R J ZHANG Y RAPER S C B Temperature sensitivity of the mass balance of mountain glaciers and ice caps as a climatological characteristic [J]. Z Gletschekd Glazialgeol 2003 38(1): 35—61.
- [5] KASER G COGLEY J G DYURGEROV M B et al Mass balance of glaciers and ice caps: consensus estimates for 1961—2004 [J]. Geophysical Research Letters, 2006, 33, L19501 doi: 10.1029/2006GL027511
- [6] PAUL F HAEBERLI W Spatial variability of glacier elevation changes in the Swiss Alps obtained from two digital elevation models [J]. Geophysical Research Letters, 2008, 35, L21502 doi: (C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net
- [7] CHUECA J JULIAN A LOPEZ-MORENO J I Recent evolution (1981—2005) of the Maladeta glacier Pyrenees Spain extent and volume losses and their relation with climatic and topographic factors [J]. Journal of Glaciology 2007, 53(183): 547—557
- [8] SHANGGUAN D H LIU S Y DING Y J et al Thinning and retreat of Xiao Dongkemadi glacier Tibetan Plateau since 1993 [J]. Journal of Glaciology 2008, 54(188): 949—951
- [9] 谢自楚, 伍光和, 王仲祥, 等. 天山博格达峰北坡冰川的成冰作用 [J]. 冰川冻土, 1983, 5(3): 37—45 [XE Zichu WUGuanghe WANG Zhongxiang et al Ice formation of the glaciers on the northern slope of Bogda Tianshan [J]. Journal of Glaciology and Geocryology 1983, 5(3): 37—45.]
- [10] 邓养鑫, 邓晓峰. 天山博格达峰地区现代冰缘地貌特征 [J]. 冰川冻土, 1983, 5(3): 179—190 [DENG Yangxun DENG Xiaofeng Characteristics of periglacial landforms in Bogda area Tianshan [J]. Journal of Glaciology and Geocryology 1983, 5(3): 179—190.]
- [11] 渡边兴亚, 上田丰, 任贾文. 东天山博格达峰地区四工河源冰川的粒雪特征 [J]. 冰川冻土, 1983, 5(3): 25—36 [WATANABE Q AGETA Y REN Jiawen Characteristics of firm stratigraphy in a glacier of Sigong River Headwaters Mt. Bogda region Eastern Tianshan [J]. Journal of Glaciology and Geocryology 1983, 5(3): 25—36.]
- [12] 渡边兴亚, 上田丰, 张文敬. 天山博格达北坡冰川结构观测 [J]. 冰川冻土, 1983, 5(3): 71—82 [WATANABE Q AGETA Y ZHANG Wenjing Structural observations of the glaciers on the north slope of Mt. Bogda Tianshan [J]. Journal of Glaciology and Geocryology 1983, 5(3): 71—82.]
- [13] 邓晓峰, 王存年. 天山博格达峰地区冰碛物和冰缘沉积物的砾石组构特征 [J]. 冰川冻土, 1983, 5(3): 217—226 [DENG Xiaofeng WANG Cunyan Some features of gravel fabric in glacial and periglacial deposits in Bogda region Tianshan [J]. Journal of Glaciology and Geocryology 1983, 5(3): 217—226.]
- [14] 张文敬, 谢自楚. 天山博格达峰北坡现代冰川积累和消融特征及物质平衡的估算 [J]. 冰川冻土, 1983, 5(3): 59—70 [ZHANG Wenjing XE Zichu Features of accumulation and ablation of existing glaciers on the northern slope of Bogda Tianshan and an estimation of the firm mass balance [J]. Journal of Glaciology and Geocryology 1983, 5(3): 59—70.]
- [15] 伍光和, 张顺英, 王仲祥. 天山博格达峰现代冰川的进退变化 [J]. 冰川冻土, 1983, 5(3): 143—152 [WU Guanghe ZHANG Shunying WANG Zhongxiang Retreat and advance of modern glaciers in Bogda Tianshan [J]. Journal of Glaciology and Geocryology 1983, 5(3): 143—152.]
- [16] 伍光和, 上田丰, 仇家琪. 天山博格达山脉的自然地理特征及冰川发育的气候条件 [J]. 冰川冻土, 1983, 5(3): 5—16 [WU Guanghe, SATO Toshihiro, QIU Jiaqi Natural geographical characteristics and climatic conditions of ice川 development in the Tianshan Mountains [J]. Journal of Glaciology and Geocryology 1983, 5(3): 5—16.]

- Guanghe Yutaka Age et al QU Jiaqi Physical geographic features and climate conditions of glacial development in Bogda area Tianshan[J]. Journal of Glaciology and Geocryology 1983 5(3): 5—16.]
- [17] 姚永慧, 励惠国, 张百平. 近 30年来天山托木尔峰东侧分水岭处冰川变化 [J]. 干旱区地理, 2009 32(6): 828—833. [YAO Yonghui LIHuiqiu ZHANG Baiping Glacier changes in the past 30 years at the east watershed of Mt Tömür [J]. Arid Land Geography 2009 32(6): 828—833.]
- [18] 焦克勤, 井哲帆, 成鹏, 等. 天山奎屯河哈希勒根 51号冰川变化监测结果分析 [J]. 干旱区地理, 2009 32(5): 733—738. [JIAO Keqin JING Zhefan CHENG Peng et al Monitoring results on the Glacier No 51 at Haxilegen in the Kuyun River Basin Tianshan Mountains [J]. Arid Land Geography 2009 32(5): 733—738.]
- [19] 施雅风. 简明中国冰川目录 [M]. 上海: 上海科学普及出版社, 2005 61—64. [SHIYafeng Brief of Glacier Inventory of China [M] Shanghai: Shanghai Popular Science Press, 2005 61—64.]
- [20] 上官冬辉. 基于 3S 的塔里木河流域冰川变化应用研究 [D]. 兰州: 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 2007. [SHANGGUAN Donghui Glacier changes in Tarim interior river basin using 3S [D]. Lanzhou: Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute Chinese Academy of Science, 2007.]
- [21] KHROMOVA TE OSPOVA G B TSVEIKOV D G et al Changes in glacier extent in the eastern Pamir Central Asia determined from historical data and ASTER imagery [J]. Remote sensing of environment 2006 102: 24—32.
- [22] KOCH J MENNOUNOS B CLAQUE J J Glacier change in Garibaldi Provincial Park southern Coast Mountains British Columbia since the Little Ice Age [J]. Global and Planetary Change 2009 66: 161—178.
- [23] 刘时银, 丁永建, 张勇, 等. 塔里木河流域冰川变化及其对水资源影响 [J]. 地理学报, 2006 61(5): 482—490. [LIU Shiyin DING Yongjian ZHANG Yong et al Impact of the glacial change on water resources in the Tarim River Basin [J]. Acta Geographic Sinica 2006 61(5): 482—490.]
- [24] 阳勇 陈仁升, 吉喜斌. 近几十年来黑河野牛沟流域的冰川变化 [J]. 冰川冻土, 2007 29(1): 100—106. [YANG Yong CHEN Rensheng JIXibin Variations of glaciers in the Yenjungou Watershed of Heihe River basin from 1956—2003 [J]. Journal of Glaciology and Geocryology 2007 29(1): 100—106.]
- [25] 王叶堂, 候书贵, 鲁安新, 等. 近 40 a来天山东段冰川变化及其对气候的响应 [J]. 干旱区地理, 2008 31(6): 813—821. [WANG Yetang HOU Shugui LU Anxin et al Response of glacier variations in the eastern Tianshan Mountains to climate change during the last 40 years [J]. Arid Land Geography 2008 31(6): 813—821.]
- [26] RAYMOND C NEUMANN T A RIGNOT E et al Retreat of Glacier Tyndall Patagonia over the last half century [J]. Journal of Glaciology 2005 51(173): 239—247.
- [27] RIVERA A BENHAM T CASASSA G et al Ice elevation and area changes of glaciers from the Northern Patagonia Icefield Chile [J]. Global and Planetary Change 2007 59: 126—137.
- [28] VANLOOY J A FORSTIER R R Glacial changes of five southwest British Columbia icefields Canada mid-1980 s to 1999 [J]. Journal of Glaciology 2008 54(186): 469—478.
- [29] 姚玉璧, 肖国举, 王润元, 等. 近 50 a来西北半干旱区气候变化特征 [J]. 干旱区地理, 2009 32(2): 159—165. [YAO Yubai XIAO Guoju WANG Runyuan et al Climatic changes of semi-arid region over the northwest China in recent 50 a [J]. Arid Land Geography 2009 32(2): 159—165.]
- [30] 卢爱钢, 康世昌, 庞德谦, 等. 全球升温下中国各地气温变化不同步性研究 [J]. 干旱区地理, 2009 32(4): 506—511. [LU Aigang KANG Shichang PANG Deqian et al A synchronous temperature variation across China under the background of global warming [J]. Arid Land Geography 2009 32(4): 506—511.]
- [31] 叶朝霞, 陈亚宁, 张霞, 等. 塔里木河断流与未来水文情势分析 [J]. 干旱区地理, 2009 32(6): 841—849. [YE Zhaoxia CHEN Yaning ZHANG Xia et al Dried up riverway of Tarim River and the future state of hydrology [J]. Arid Land Geography 2009 32(6): 841—849.]
- [32] 宋文娟, 熊黑钢, 穆桂金. 新疆博格达山北麓气候变化分析 [J]. 干旱区研究, 2009 26(5): 628—633. [SONG Wenjuan XIONG Heigang MUGuijin Analysis on climatic change in northern Piedmont of the Bogda Mountains Xinjiang [J]. Arid Zone Research 2009 26(5): 628—633.]

Ice surface elevation changes of Glacier No. 4 of Sigong River in Bogda Tianshan Mountains during the last 50 years

WANG Pu-yu², LI Zhong-qiu², CAO Min¹, LI Hui-lin²,
WANG Fei-teng², ZHANG Ming-jun²

¹ College of Geography and Environment Science Northwest Normal University Lanzhou 730070 Gansu China

² State Key Laboratory of Cryospheric Sciences/Tianshan Glaciological Station Cold and Arid Region Environment and Engineering Research Institute CAS Lanzhou 730000 Gansu China

Abstract Mountain glaciers are important water resources in the arid region and their mass loss or accumulation directly influence the water runoff. In addition, glaciers are one of potential climate indicators because they are sensitive to climate changes. Bogda is the biggest glaciation area in the eastern Tianshan Mountains and the glacier changes in this region directly influence water resources, living environment and other aspects which have attracted wide attention of many researchers at home and abroad. Therefore, in the context of global warming, it is urgent to study the glacier changes in this region. In 2009, a large scale scientific expedition was taken in Bogda by staffs of Tianshan Glaciological Station and Glacier No. 4 of the Sigong River was measured by high accuracy Real Time Kinematic—Global Position System (RTK—GPS). In this paper, ice surface elevation changes of Glacier No. 4 of the Sigong River from 1962 to 2009 had were studied by comparing the DEMs in the two periods, which were established from the GPS surveying data in 2009 and the topographic map (1:50 000) in 1962, respectively. The study of ice surface elevation changes can be used to estimate the mass loss or accumulation by calculating changes in ice thickness and ice volume, which is an effective method to estimate mass balance of glaciers. Lack of long term observations, supplying reliable data for the evaluation of water resources accordingly. Moreover, ice surface elevation changes within different ranges of elevation and slope were also analyzed in detail. Results indicated that the ice surface elevation of the tongue area was decreased by 15 ± 10 m with a rate of 0.32 ± 0.2 m·a⁻¹ during 1962—2009. It can be calculated that the wasting ice volume caused by the glacier thinning reaches to $(14.3 \pm 9.5) \times 10^{-3}$ km³, corresponding to $(12.9 \pm 8.6) \times 10^{-3}$ km³ water equivalent. That is to say, Glacier No. 4 of the Sigong River supplied water runoff of $(12.9 \pm 8.6) \times 10^{-3}$ km³ at least in the past 50 years. Analysis shows that there is considerable variability of ice surface elevation changes within different range of elevation and slope. The changes of ice surface elevation are especially intense at low elevations and on small slopes. During the past several decades, due to climatic warming, Glacier No. 4 of the Sigong River was in the state of rapid thinning, retreating, shrinkage and ice volume wasting, which obviously represents that glaciers in Bogda are experiencing serious mass losses and will make a direct impact on water resources.

Key Words Glacier No. 4 of Sigong River; Bogda; ice surface elevation changes; GPS; GIS