第29卷 第2期

2012年3月

干旱区研究 ARID ZONE RESEARCH

# 祁连山北大河流域冰川变化遥感监测®

颜东海<sup>1</sup> , 李忠勤<sup>1 2</sup> , 高闻宇<sup>1</sup> , 王璞玉<sup>2</sup> , 董志文<sup>2</sup>

(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 1956 年地形图和 2003 年 ASTER 影像数据 在 RS 和 GIS 技术支持下,确定了 1956 年和 2003 年的冰 川边界,对祁连山北大河流域冰川近 47 a 来的变化进行了研究。结果表明: 该流域 372 条冰川面积在 47 a 间共减 小了 33.56 km<sup>2</sup>,平均每条减小 0.09 km<sup>2</sup>,变化率 – 15.42%,冰川末端累计退缩 51 015 m。分析显示,小冰川比大 冰川消融的更快。对研究区附近气象站近年来的年平均气温、夏季平均气温和年降水量进行分析,认为气温升高 是北大河流域冰川快速萎缩的主要原因。与中国西部其他冰川进行对比研究发现,北大河流域冰川消融速率比新 疆要快,但较黑河流域及其他子流域要慢,初步推测是由冰川所在区域的气候及冰川自身因素共同作用的结果。 关键词:冰川; 消融速率; 气候变化; 遥感影像; 北大河流域; 祁连山

地球上陆地面积的 11% 为冰川所覆盖,而约 80% 的淡水资源就储存于冰川(冰盖) 之中。20 世 纪以来,随着气候变暖,全球多数山岳冰川出现退 缩,一些曾经前进或稳定的冰川也随着气候变暖而 转为后退,最近 20 a 这一退缩又出现了加速的趋 势,进而造成了一系列的环境问题,引起了全球的广 泛关注<sup>(1-2)</sup>。

我国冰川主要分布在天山、昆仑山、青藏高原和 祁连山。其中,祁连山现代冰川广泛分布于海拔 4 500 m 以上的高山区<sup>(3)</sup>,由于观测点少且分散,不 足以对大范围内冰川变化进行监测。但是遥感,尤 其是 3S 技术的快速发展和具有高分辨率的光学传 感器的应用,为偏远的、难以实地考察的冰川提供了 可靠、快速的分析方法<sup>(4-6)</sup>。

本文以祁连山北大河流域冰川为对象,以AS-TER 高分辨率卫星影像为数据源,探讨基于 ASTER 影像的冰川变化监测方法,并结合已有的航摄地形 图、冰川编目数据及1956-2005年的降水和气温数 据,对1956年和2003年两期冰川数据进行对比分 析,研究该区域冰川在过去47 a 间的变化特征和原 因。

### 1 研究区概况

北大河(临水河)流域位于河西走廊中部,祁连 山中段,广义上属于黑河流域,介于 98.1°~ 99.3°E 38.4°~40.7°N之间,流域先呈西北流向 再折向东北,为甘肃 - 内蒙古西部第二大内陆河。 流域受西风带环流控制和极地冷气团影响,气候干 燥,降水稀少而集中。该流域主要有丰乐河、关山 河、红山河、洪水坝4条支流。据1979年《中国冰川 目录 I.祁连山区》数据,北大河流域共有冰川 650 条,总面积 290.76 km<sup>2</sup>,总储量 10.37 km<sup>3</sup>,平均冰 川面积 0.45 km<sup>2</sup>,冰川末端最高海拔为 5 000 m,最 低为 3 860 m;最大冰川面积为 7.02 km<sup>2</sup>,长度 5.5 km,冰川流域编号分别为:5Y431(A~D),5Y432(A ~M),5Y433(A~D)。

# 2 数据来源及处理方法

#### 2.1 数据来源

数据源主要有:中国冰川信息系统、地形图、数 字高程模型(DEM)、ASTER 影像、北大河流域的气

① 收稿日期: 2011-06-29; 修订日期: 2011-09-21

基金项目:国家自然科学基金黑河重大研究计划培育项目(91025012);国家重点基础研究发展计划(973)项目(2010CB951003);国家自 然科学基金重点项目(40631001) 作者简介:颜东海(1985-),男,甘肃兰州人,硕士研究生,主要从事基于遥感的冰川动态监测与全球变化方面研究.E-mail:

<sup>110</sup>yandonghai@163.com 通讯作者: 李忠勤.E – mail: lizq@lzb.ac.cn

象数据,分别为:①1:50 000 的 1956 年黑河地形图 7 幅。②ASTER 影像,查询 SPOT5 和 ALOS 等多种 高分辨率遥感影像后,选择积雪覆盖量最少,质量最 好的 ASTER 影像5景,时相均为 2003 年 7~8月。 ASTER( advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer) 是搭载在 TERRA 卫星上的高分 辨率多光谱传感器,其中可见光和近红外段( VNIR) 波段的空间分辨率为 15 m。③DEM( digital elevation model) 精度为 30 m,来源于国家自然科学基金 委员会"中国西部环境与生态科学数据中心"。 ④研究区内 5 个气象站从 1956/1957/1960 - 2005 年的年平均气温和降水资料,气象站基本情况见 表1。

#### 表1 研究区气象站基本情况

 Tab. 1
 Basic information of the meteorological stations related to the study

站名	经纬度	<b>海拔</b> /m	资料时段
瓜洲	95°46′ E 40°32′ N	1 171	1956 - 2010
玉门镇	97°02´ E 40°16´ N	1 526	1956 - 2010
酒泉	98°29′ E 39°46′ N	1 477	1956 - 2010
托勒	98°25´ E 38°48´ N	3 368	1957 – 2010
野牛沟	99°21′ E 38°37′ N	3 180	1960 - 2010



图1 研究区地理位置

Fig. 1 Geographical location of the study area

#### 2.2 数据处理

首先将地形图用软件 ERDAS 9.1 进行几何校 正 均方根误差小于1 个像元 校正之后将投影设置 为高斯 – 克里格投影,椭球为 Krasovsky。为使7 幅 地形图与遥感影像投影信息一致,转换为 UTM 投 影,然后对多幅地形图进行拼接。以处理完成的地 形图作为底图 在 ERDAS 9.1 中选择在遥感影像和 地形图上都可以明确识别的地物点作为控制点 对 遥感影像和地形图进行配准,将 ASTER 影像的投 影、坐标系设置成与影像图一样的 WGMS 84。地形 因素会导致太阳入射角和高度角的变化,产生阴影, 影响冰川分类的精度。因此 引入数字高程模型对 ASTER 遥感影像进行地形校正 配准误差在1个像 元内,有效降低地形的影响,确保冰川信息提取的准 确性。对校正后的影像进一步锐化增强,处理后的 图像冰川运动的纹理更清晰,对区分雪斑与雪覆盖 的冰川有一定指示意义<sup>(7)</sup>。结合 DEM 通过目视解 译在 ArcGIS 9.2 和 Arcview 3.3 中对地形图和遥感 影像上冰川的各要素进行矢量化,得出不同年代的 冰川边界矢量叠加图(图2),然后将两期数据进行 空间叠加,对全部冰川的面积、长度进行比较研究 (图2)。虽然,人工目视解译费时、费力,但现阶段 仍然是分辨冰川形态的最佳方法<sup>[8-9]</sup>。对于有些边 界较难辨别的冰川,则参照地形图、Google Earth 进 行判断。Hall Silvreio, Ye 等研究得到冰川面积和长 度提取的总体精度主要与几何配准技术及像元分辨 率有关<sup>(7)</sup> 具体公式如(1)和(2)。因为有一部分影 像有积雪或者云层,为了保证精度不再使用,只选择 区域内的 372 条冰川进行研究。



图 2 冰川边界矢量叠加图



$$U_{T} = \sqrt{\sum \lambda^{2}} + \sqrt{\sum \varepsilon^{2}}$$
(1)

式中:  $U_T$  为长度不确定性;  $\lambda$  为影像分辨率;  $\varepsilon$  为配 准误差。

$$U_{A} = 2U_{T} \sqrt{\sum \lambda^{2}} + \sum \varepsilon^{2} \qquad (2)$$

表 2 不同冰川规模变化情况

Tab. 2 Change of d	ifferent-sized glaciers
--------------------	-------------------------

冰川 面积 /km <sup>2</sup>	面积 缩小量 /km <sup>2</sup>	退缩 百分比 /%	减小率 /%	冰储量 消融 /km <sup>3</sup>	消融 百分比 /%	减小率 /%
< 0.1	1.02	3.04	29.39	0.0410	1.39	19.16
$0.1 \sim 0.5$	10.43	31.08	23.55	0.9479	32.06	14.20
0.5~1	10.73	31.97	17.92	0.9848	33.31	9.82
1~5	10.39	30.96	10.73	0.9430	31.90	4.91
> 5	0.99	2.95	8.31	0.0395	1.34	3.49
总计	33.56	100	15.43	2.9562	100	5.16

式中:  $U_A$  为面积不确定性。结果表明冰川长度的不确定性为 ±48.2 m ,冰川面积的不确定性为 ±0.005 km<sup>2</sup>。

## 3 结果

3.1 冰川变化分析

对北大河流域的 372 条冰川数字化后发现,从 1956 - 2003 年,冰川面积从 217.54 km<sup>2</sup> 减小到 183.98 km<sup>2</sup>,共减小 33.56 km<sup>2</sup>,变化率为 - 15.42%, 年平均减小 0.71 km<sup>2</sup> 相当于平均每条冰川退缩了 0.09 km<sup>2</sup>,有6条冰川完全消失,面积介于 0.1~0.3 km<sup>2</sup>,且都具有末端海拔较低的特征。将所研究冰 川按照面积大小分为5个等级:①<0.1 km<sup>2</sup>; ② 0.1~0.5 km<sup>2</sup>; ③ 0.5~1 km<sup>2</sup>; ④ 1~5 km<sup>2</sup>; ⑤ >5 km<sup>2</sup>。如表2所示,面积小于 0.1 km<sup>2</sup>的冰川 面积缩小率最大,为 - 29.39%;面积大于5 km<sup>2</sup> 的 冰川缩小率最小,为 - 8.31%;而面积等级为 0.1~ 0.5 km<sup>2</sup> 0.5~1 km<sup>2</sup>,1~5 km<sup>2</sup> 的冰川缩小率分别 为 - 23.55%, - 17.92%, - 10.73%。由此可见,冰 川的面积与变化率成反比关系,这种现象与干旱区 其他地区相一致,表明小冰川对气候变化的敏感性 比大冰川强<sup>(10)</sup>。消失的6条冰川都是面积小于0.3 km<sup>2</sup>的小冰川。从1956 – 2003年北大河流域372 条冰川的长度从400903m变化为349888m,末端 累计退缩51015m。冰川储量变化应用刘时银<sup>(11)</sup> 等提出的储量计算修正公式:

$$V = 0.04S^{1.35} \tag{3}$$

式中: V 为冰川储量(km<sup>3</sup>); S 为冰川面积(km<sup>2</sup>)。 由上式得到这 47 a 间北大河的冰储量减少了 2.97 km<sup>3</sup>。面积小于 0.1 km<sup>2</sup> 的冰川的冰储量减小率是 -19.16%,在 5 个等级中减小率最大,而冰储量减 小率最小的是面积大于 5 km<sup>2</sup> 的冰川,为 -3.49%, 而面积等级为 0.1 ~ 0.5 km<sup>2</sup> 0.5 ~ 1 km<sup>2</sup>,  $1 ~ 5 km^2$ 的面积减小率分别为 - 14.20%, -9.82%, -4.91%。表明冰储量的变化率与面积大小成反比。 3.2 不同区域冰川变化对比

通过对遥感影像(2003年)与地形图(1956 年)两期资料的分析整理(表3)表明朱龙关河流域 冰川占研究区冰川总数的12.9% A7 a 间的冰川面 积变化率为-15.43% 在3条所研究的支流中变化 最大。洪水坝河流域冰川占研究区冰川总数的 44.35%,它的变化率介于丰乐河流域和朱龙关河流 域之间,为-14.38%。丰乐河流域的冰川占研究区 冰川的42.74%,变化率为-13.76%,在3条支流 中最小。相应的冰储量变化也是朱龙关河最大、洪水 坝河次之、丰乐河最小。而且,这3条河流在面积和 储量变化率方面差别并不是很明显,原因可能是处在 大致相同的气候条件下且冰川规模也大致相同。

表 3 北大河流域各支流 1956 年和 2003 年冰川分布及变化

Tab. 3	Distribution and	change of the	glaciers in the	distributaries of the	e Beidahe Rive	r Basin in 1956 and 200
140.0	Distribution and	change of the	glaciers in the	uistinouturites or the	c Deluane Inive	. Dusin in 1750 and 200

子流域	冰川数量			冰川面积					
	1956年/条	2003年/条	变化率/%	1956 年/km <sup>2</sup>	2003 年/km <sup>2</sup>	变化率/%	1956 年/km <sup>3</sup>	2003 年/km <sup>3</sup>	变化率/%
丰乐河 5Y431	159	159	0	24.28	20.94	-13.76	2.97	2.43	-18.18
洪水坝 5 ¥432	165	162	-1.82	123.65	105.87	-14.38	26.7	21.65	- 18.91
朱龙关 5 Y433	48	45	-6.25	69.61	57.17	-15.43	12.29	9.42	-23.34
总计	372	366	-1.61	217.54	183.98	-15.42	41.96	33.51	-20.15

#### 3.3 气候变化对冰川变化的影响

气候变化是冰川面积变化的主导因素<sup>(12)</sup>,冰川 主要受气温的影响,降水是第2重要因素<sup>(13-14)</sup>,因 为冰川的消融主要发生在夏季,也就是北大河流域 每年6~8月,所以夏季气温与降水是冰川变化的2 个最重要的原因<sup>(15)</sup>。由于研究区内除了托勒和野 牛沟外没有气象观测站,所以选择附近的瓜洲、玉门 镇和酒泉的气象数据做近似研究。对这5个国家站 的气象数据进行分析,得到降水和夏季气温的距平 值,并利用一元回归分析法进行趋势分析。如图3 显示,1995年前后是个分界点,之前的气温距平值 低于平均值,之后的则明显高于平均值。夏季的气 温呈明显的升高趋势,增幅为0.21℃/10 a,冰川消 融加剧。从1956-2005年,年平均气温的变化率为 0.22℃/10 a,表明冬季增温幅度较大<sup>(16)</sup>,且大于夏 季增温趋势。随着气温的升高,降水也在波动中上 升,由 1956 年的 161.71 mm 上升至 2005 年的 211.60 mm 增幅为 10.18 mm/10 a。但是当气温持 续升高到一定程度时,就是有大降水也难阻挡冰川 的强烈消融,包括冰川积累区<sup>(17)</sup>。而且冰川物质平 衡收入减小,支出在增加,冬季的积累不足以弥补物 质平衡亏损,使得冰川退缩加速。夏季降水增加主 要是液态降水而不是固态降水,因此北大河流域冰 川退缩主要是由于气候变暖造成的。



图 3 1956 - 2005 年北大河上游 5 个气象站年降水量及夏季(6~8月) 平均气温变化

Fig. 3 Variation of annual precipitation and mean temperature at 5 meteorological stations at upper reaches of the Beidahe River Basin in summer (from June to August) during the period of 1956 – 2005

表4 中国西部冰川近几十年变化比较

Tab. 4	Compared	results of	the	change of	glaciers	in	west	China	in recent	decades
--------	----------	------------	-----	-----------	----------	----	------	-------	-----------	---------

研究区	时段	冰川条数	面积变化/km <sup>2</sup>	变化率/%	资料来源
祁连山黑河流域	1950/1970 - 2003	335	-32.41	- 29.60	王璞玉等 <sup>(7)</sup>
祁连山野牛沟流域	1956 – 2003	165	- 16.22	-25.71	阳勇等 <sup>(18)</sup>
祁连山北大河流域	1956 - 2003	372	-32.45	-15.42	本文
乌鲁木齐河	1962 – 1992	155	-6.65	-13.8	<b>陈建明</b> <sup>(19)</sup>
开都河	1963 – 2000	70	-6.84	- 12.5	李宝林 <sup>(20)</sup>

### 3.4 对比分析

近年来高分辨率遥感卫星影像的广泛应用,使 得基于遥感和地理信息系统(GIS)的某流域或者某 区域冰川变化的研究变得非常方便<sup>(7,18-20)</sup>,为了进 一步研究北大河流域冰川变化的特征,本文仅选择 在地理位置上与北大河相近且研究时段大致相同的 西部地区进行对比(表4)。分析发现,包括北大河 流域在内的祁连山区冰川,其面积的变化率都较高, 与新疆的乌鲁木齐河流域、开都河流域相比较,祁连 山冰川的变化率要大。祁连山地区和我国西北地区 气温变化规律大致相同,祁连山及河西走廊在1960 -2005年的46 a 间气温变化率为2.98 ℃/10 a, 46 a间增加了约1.37 ℃。该地区降水量的变化率 为6.571 mm/10 a 46 a 间增加了约30 mm<sup>(21)</sup>。近 50 a 来新疆地区气温变化率为 0.34 ℃/10 a,约升 高了 1.7 ℃。降水量年际变化率为 1.1 mm/a,近 50 a增长了 55 mm<sup>(22)</sup>。无论气温还是降水,两地都 有升高的趋势,新疆的气温和降水增幅比祁连山区 明显; 与祁连山一样,新疆的冰川也处于强烈消融的 状态。东天山共有各类冰川约 9 035 条,面积达 9 225 km<sup>2(23)</sup>,平均每条冰川面积约为 1.02 km<sup>2</sup>,这 比以小冰川为主的祁连山区冰川的平均面积要大很 多,以上原因导致祁连山区的冰川变化率比新疆大。

在祁连山地区,广义上北大河流域属于黑河流 域,但是在冰川编目中两地是分开的将北大河流域 和黑河流域(包括野牛沟)进行对比发现,黑河流域 冰川变化要比北大河流域大近2倍。由于黑河流域 (除北大河流域)夏季增温趋势为0.27 ℃/10 a,降 水量平均增长率为 12.56 mm/10 a<sup>(7)</sup>,比北大河的 0.21 ℃/10 a 和 10.18 mm/10 a 都大,以致于黑河 流域冰川变化比北大河流域大近 2 倍。除了作为主 要影响因素的气温和降水之外,还有其他很多因素。 北大河流域及黑河流域冰川面积小于 1 km<sup>2</sup> 的占绝 大多数,冰川越小,对气候变化的敏感性则越强,面 积缩小、末端退缩速率则越快<sup>(24)</sup>。北大河流域完全 消失的冰川也比黑河流域及野牛沟要少很多。

#### 4 结论

(1) 祁连山北大河流域冰川在 1956 - 2003 年 的 47 a 间面积由 217.54 km<sup>2</sup> 退缩为 183.98 km<sup>2</sup> 6 条冰川完全消失,损失了 33.56 km<sup>2</sup>,即 15.42% 的 冰川消融,冰川末端累计退缩 51 015 m,冰储量减小 2.97 km<sup>3</sup>,西南和东南朝向冰川的面积缩小幅度较 大。综合分析表明,冰川变化与冰川面积大小及所 在区域气候条件有密切关系。

(2)通过与中国西部其他地区的冰川对比研究 发现,北大河流域冰川面积变化幅度比新疆大,但是 与祁连山其他流域相比却小很多,这可能与区域气 候差异和冰川规模有关。

参考文献(References):

- (1) 施雅风 沈永平 胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、 影响和前景初步探讨 (J). 冰川冻土 2002 24(3):219-225.
  (Shi Yafeng ,Shen Yongping ,Hu Ruji. Preliminary study on signal ,impact and foreground of climatic shift from warm-dry to warm-humid in Northwest China (J). Journal of Glaciology and Geocryology ,2002 24(3):219-225.)
- (2) Haeberli W , Barry R , Cihlar J. Glacier monitoring within the global climate observing system (J). Annals of Glaciology ,2000 ,31: 241 – 246.
- (3) 程瑛 徐殿祥,宋秀玲.近50年祁连山西段夏季气候变化对冰 川发育的影响(J).干旱区研究,2009,26(2):295-298.
  (Cheng Ying, Xu Dianxiang, Song Xiuling. Evaluation of the effects of summer climate change on glacier development in the West Qilian Mountain over the last 50 years (J). Arid Zone Research 2009 26(2):295-298.)
- (4) 晋锐 车涛,李新,等. 基于遥感和 GIS 的西藏朋曲流域冰川变 化研究(J). 冰川冻土,2004,26(3):262-266. (Jin Rui,Che Tao,Li Xin,et al. Glacier variation in the Pumqu Basin derived from remote sensing data and GIS technique(J). Journal of Glaciology and Geocryology, 2004, 26(3):262-266.)
- (5) 张国梁,王杰,潘保田,等.冰川变化遥感监测的研究进展(J). 兰州大学学报,2010,46(6):1-10. (Zhang Guoliang, Wang

Jie , Pan Baotian , et al. Progress in research on glacier changes using remote sensing (J). Journal of Lanzhou University , 2010 , 46 (6) : 1 - 10.

- (6) Frank Paul ,Andreas Kääb ,Wilfried Haeberli. Recent glacier changes in the Alps observed by satellite: Consequences for future monitoring strategies (J). Global and Planetary Change 2007 56(1/ 2):111-122.
- (7) 王璞玉,李忠勤,高闻宇,等. 气候变化背景下近 50 年来黑河流域冰川资源变化特征分析 (J). 资源科学 2011 33(3): 399-407. (Wang Puyu, Li Zhongqin, Gao Wenyu, et al. Glacier changes in the Heihe River Basin over the past 50 years in the context of climate change (J). Resources Science, 2011 33(3): 399-407.)
- (8) 高闻宇,李忠勤,李开明,等.基于遥感与 GIS 的库克苏河流域 冰川变化研究(J).干旱区地理 2011 34(2):252-261. (Gao Wenyu, Li Zhongqin, Li Kaiming, et al. Glacier variation in the Kukesu River Basin during 1963 - 2004 based on remote sensing data and GIS techniques (J). Arid Land Geography, 2011, 34 (2):252-261.)
- (9) Raup B Racoviteanu A Jodha S et al. The GLIMS geospatial glacier database: A new tool for studying glacier change (J). Global and Planetary Change 2007 56(1/2):101 – 110.
- (10) Jóhannesson T ,Raymond C ,Waddington E. Time-scale for adjustment of glaciers to changes in mass balance (J). Journal of Glaciology ,1989 35: 355 – 369.
- (11) Liu Shiyin ,Sun Wenxin ,Shen Yongping ,et al. Glacier changes since the Little Ice Age Maximum in the western Qilian Mountains , Northwest China (J). Journal of Glaciology 2003 49:117 – 124.
- (12) 姚檀栋,刘时银,蒲健辰,等.高亚洲冰川的近期退缩及其对西北水资源的影响(J).中国科学D辑:地球科学 2004 34 (6): 535 - 543. (Yao Tandong ,Liu Shiyin ,Pu Jianchen ,et al. Recent glacial retreat in High-Asia in China and it's impact on water resources in Northwest China (J). Science in China: Series D, 2004 34(6):535 - 543.)
- (13) Michael Zemp ,Wilfried Haeberli ,Martin Hoelzle , et al. Alpine glaciers to disappear within decades (J). Geophysical Research Letters 2006 , 33 , L13504 , doi: 10.1029/2006GL02631.
- (14) Christian Vincent ,Emmanuel Le Meur ,Delphine Six. Solving the paradox of the end of the Little Ice Age in the Alps (J). Geophysical Research Letters 2005 32, L09706, doi: 10.1029/2005GL0 22552.
- (15) 李忠勤 韩添丁,井哲帆,等. 乌鲁木齐河源区气候变化和1号 冰川40 a 观测事实(J). 冰川冻土 2003 25(2):117-123. (Li Zhongqin, Han Tianding, Jin Zhefan, et al. A summary of 40-year observed variation facts of climate and Glacier No. 1 at headwater of Urumqi River, Tianshan, China (J). Journal of Glaciology and Geocryology, 2003 25(2):117-123.)
- (16) 王根绪 程国栋 沈永平.近50 年来河西走廊区域生态环境变 化特征与综合防治对策(J).自然资源学报 2002,17(1):79 -86. (Wang Genxu, Cheng Guodong, Shen Yongping, Features of eco-environmental changes in Hexi Corridor Region in the last 50 years and comprehensive control strategies (J). Journal of Natural

Resources , 2002 ,17(1):79 - 86.)

- (17) 韩添丁,刘时银,丁永建,等.天山乌鲁木齐河源1号冰川物质 平衡特征(J).地球科学进展,2005,20(3):299-303.(Han Tianding, Liu Shiyin, Ding Yongjian, et al. A characteristics mass balance of Glacier NO.1 at the headwaters of the Urumqi River, Tianshan Mountains (J). Advances in Earth Science,2005,20 (3):299-303.)
- (18) 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 Ji Xibing. Variations of glaciers in the Yeniugou watershed of Heihe River Basin from 1956 to 2003 (J). Journal of Glaciology and Geocryology, 2007 29(1):100 - 106.)
- (19) 陈建明,刘潮海,金明燮. 重复航空摄影测量方法在乌鲁木齐 河流域冰川变化监测中的应用(J). 冰川冻土,1996,18(4): 331-336. (Chen Jianming Liu Chaohai Jin Mingxie. Application of the repeated aerial photogrammetry to monitoring glacier variation in the drainage area of the Urumqi River (J). Journal of Glaciology and Geocryology, 1996, 18(4):331-336.)
- (20) Li Baolin , Zhu Axing , Zhang Yichi , et al. Glacier change over the

past four decades in the middle Chinese Tien Shan (J). Journal of Glaciology 2006 52:425 – 432.

- (21) 贾文雄 / 何元庆 ,李宗省 ,等. 祁连山及河西走廊气候变化的时空分布特征 (J). 中国沙漠 ,2008 ,28(6):1 152 1 156. (Jia Wenxiong ,He Yuanqing ,Li Zongxing *e*t al. Spatio-temporal distribution characteristics of climate change in Qilian Mountains and Hexi Corridor (J). Journal of Desert Research , 2008 ,28(6): 1 152 1 156.)
- (22) 王圣杰 涨明军 李忠勤,等.近 50 年来中国天山冰川面积变 化对气候的响应 (J). 地理学报 2011 66(1):38-46. (Wang Shengjie ,Zhang Mingjun ,Li Zhongqin ,et al. Response of glacier area variation to climate change in Chinese Tianshan Mountains in the past 50 years (J). Acta Geographica Sinica , 2011 66(1):38 -46.)
- (23) Shi Yafeng. Glaciers and Related Environments in China (M). Beijing: Science Press 2008:42 – 51.
- (24) Evans I S ,Cox N J. Climatogenic north-south asymmetry of local glaciers in Spitsbergen and other parts of the Arctic (J). Annals of Glaciology 2010 51:16 – 22.

# RS-based Monitoring of Glacier Change in the Beidahe River Basin in the Qilian Mountains

YAN Dong-hai<sup>1</sup>, LI Zhong-qin<sup>1,2</sup>, GAO Wen-yu<sup>1</sup>, WANG Pu-yu<sup>2</sup>, DONG Zhi-wen<sup>2</sup>

(1. College of Geography and Environment Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China;
2. State Key Laboratory of Cryospheric Sciences, Cold and Arid Regions Environment and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** In this paper, the change of glaciers in the Beidahe River Basin in the Qilian Mountains in recent 47 years was studied using the topographic map in 1956 and the ASTER image data in 2003 so as to ascertain the glacial boundaries in these two years under the support of RS and GIS means. The results show that area of the 372 glaciers in the basin was reduced by 33.56 km<sup>2</sup> in recent 47 years ,0.09 km<sup>2</sup> per glacier in average , the change rate was -15.42% , and the total shrinkage of the glacier terminals was 51 015 m. The analyzed results revealed that the melting of small glaciers was faster than that of large ones. After comparing and analyzing the data of average annual temperature and summer temperature as well as annual precipitation , it was considered that the significant temperature increase was the main cause resulting in the rapid shrinkage of glaciers in the Beidahe River Basin. After carrying out a comparative study on glacier shrinkage in west China , it was found that the glacial melting rate in the Beidahe River Basin was higher than that in north Xinjiang but lower than that in the Heihe River Basin and other distributary basins. It was conferred preliminarily that the shrinkage of glaciers might be jointly caused by climate change and the factors of glaciers themselves.

Key words: glacier; glacier melting rate; climate change; RS image; Beidahe River Basin; Qilian Mountains