

哈密地区冰川变化趋势分析^①谢伟¹, 姜逢清²

(1. 哈密水文水资源勘测局 新疆 哈密 839000; 2. 中国科学院新疆生态与地理研究所 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: 雪冰融水是哈密地区地表径流的一种主要方式。受全球气候变暖的影响,哈密地区的冰川处于加速融化的阶段,水资源成为哈密地区发展的主要瓶颈。通过对哈密地区冰川物质平衡、面积、厚度、冰川区水文气象等参数的观测,预测冰川水文和水资源的变化,为更好地利用好哈密地区有限的水资源,为可持续发展,提出应对措施。

关键词: 冰川; 物质平衡; 末端变化; 雪冰融水; 冰储量; 哈密; 新疆

我国干旱区的基本自然生态地理格局是山地森林草原—盆地平原绿洲寓于荒漠,并与荒漠共存^[1]。哈密地区是我国极端干旱区的组成部分,高山极地雪冰气候与盆地平原极端高温并存,是该地区标志性的气候环境特征。降水集中在山区,盆地平原降水稀少,年降水量不到40 mm,且蒸散旺盛,年最大可能蒸发量在1500 mm以上,地表不形成径流。这样,盆地平原的地表径流和地下水完全依赖于山区河流出山口的径流量补给,哈密成为我国典型的以地下水补给为主的荒漠绿洲区^[2]。受全球气候变暖的影响,哈密地区正在经历着气温明显上升和降水波动增加的过程,且极端天气现象增多,暴雨、暴雪、洪水灾害增加,河流年际变化增大并伴随干旱加剧等趋势。同时,导致哈密地区河流水文也出现一些变化^[3]。在哈密地区山区雪冰融水对河流的补给作用显得十分重要,有、无雪冰融水补给的河流径流变化显著不同^[4-5],这些水资源被视为哈密地区经济发展的生命线^[6]。结合2011—2012年哈密水文水资源勘测局与中国科学院寒区旱区环境与工程研究所在庙尔沟冰川和新建的榆树沟冰川观测研究成果,开展哈密地区冰川变化、雪冰融水对河川径流的影响研究,以为哈密地区的可持续发展提供科学依据。

1 哈密地区冰川分布及变化特征

1.1 冰川信息获取手段

冰川信息包括冰川面积、长度(末端变化)和体积(储量)等变化量,获取冰川信息的手段主要依靠

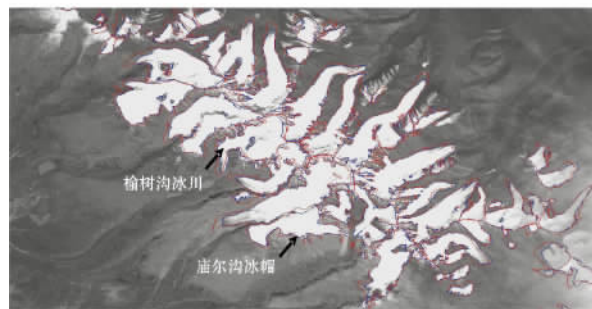
地面或遥感观测。通过近期遥感影像与早期影像或地形图的比较,可以得到区域冰川面积、长度和末端位置变化等信息,是对单条冰川观测的重要补充,在国际上也被普遍采用。

1.2 冰川分布

根据冰川编目统计,哈密地区在庙尔沟—伊吾河流域共有冰川134条^[7],通过遥感和地面验证的方法,共研究了75条冰川,其中南坡50条,北坡25条,累计冰川面积98.25 km²,冰储量约5.678 km³,南坡冰川规模大于北坡,冰川规模分布不均的结果导致融水补给比例的分布不均,南坡大于北坡,东段大于西段。

1.3 冰川变化

从图1可以看出,75条冰川在1972—2005年面积由98.252 km²缩小到87.964 km²,面积减小约11%,末端退缩5.0 m·a⁻¹^[8]。有4条冰川在这一时期消失。而面积小于1 km²的冰川面积变化率为-20.47%,超过流域冰川平均面积变化率的2倍。



红线表示1972年边界 蓝线表示2005年边界

图1 哈尔力克山区冰川变化

Fig. 1 Change of glaciers in the Harik Mountasin

① 收稿日期: 2012-11-19; 修订日期: 2013-05-23

基金项目: 国家自然科学基金(41171378); 哈密榆树沟冰川水资源研究(Y150K11001)

作者简介: 谢伟(1979-),男,工程师,主要从事水文水资源勘测和冰川水文的研究工作。E-mail: xiewei6223@126.com

在所有影响冰川面积变化的因素中,冰川规模占主要因素,冰川的朝向次之。

1972 年哈尔力克山南坡有 50 条冰川,在 2005 年的 SPOT 5 影像图上仅有 48 条冰川,面积小于 0.1 km² 的冰川消失了 2 条。50 条冰川绝大多数处于萎缩状态,只有很少的冰川面积增大。面积变化率从 -100% ~ 14.3%,大冰川面积的变化决定了冰川变化的水平。根据观测记录分析,1972—2005 年 2~5 km² 冰川面积减小幅度较大,而 <0.1 km² 的冰川面积更大,但绝对量值仅为 -0.19 km²,对于总面积的贡献率仅达到 2%,表明较大规模的冰川对径流贡献较大。

冰川变化受规模、周围地形和局部气候环境的影响。如 <0.1 km² 的冰川位于海拔 4 600 m 以下,

平均坡度达到 32.4°,地理特征导致其夏季的高消融和冬季的低积累,很容易导致冰川物质平衡为负,从而使冰川强烈退缩。

随着冰川规模的增大,冰川表现为坡度减小,平均海拔升高(表 1)。位于较低海拔的小冰川坡度较大,对气候响应敏感。冰川长度和冰川面积的变化趋势一致,随着面积的减小长度缩短。

1972 年该区域冰川长度在 316~6 554 m,平均长度 1 713 m,2005 年冰川平均长度变为 1 589 m,变化了 -7.3%,长度变化幅度最大是面积 <0.1 km² 的冰川,平均长度从 456 m 缩短到 342 m,变化率 -25%。而面积 5~10 km² 的冰川平均长度缩短了 368 m,变化率为 -6.4%,从 5 717 m 缩短为 5 349 m。

表 1 哈尔力克山南坡区域冰川特征

Tab.1 Features of glaciers on the southern slope of the Harik Mountasin

面积/km ²	冰川/条	总面积/km ²	平均海拔/m	最大海拔/m	平均坡度/(°)	平均长度/m
<0.1	9	0.631	4 344	4 600	32.4	456
0.1~0.5	15	4.015	4 322	4 680	28.9	770
0.5~1	10	7.821	4 379	4 528	24.0	1 370
1~2	4	4.968	4 537	4 602	23.4	1 519
2~5	10	36.566	4 643	4 880	13.7	3 880
5~10	2	12.302	4 814	4 888	11.7	5 717
合 计	50	66.303	4 438	4 888	24.4	1 713

1.4 定位监测冰川变化

哈密盆地水系中,定位观测的冰川为庙儿沟冰帽(43°03′N,94°19′E)。该冰川为庙尔沟河源 3 号冰川(编码 5Y822C3),朝向西南,面积 3.45 km²,总长度 2.4 km,最高海拔 4 512 m,冰舌末端海拔 3 840 m,雪线海拔 4 100 m 左右,该冰川最高处北距哈尔力克山主峰托木尔提(4 888 m)约 3 km,是哈尔力克山主山脊南侧沿西南向山岭发育的冰川^[9]。现有观测项目包括冰川物质平衡、运动速度、末端、面积变化、雪冰物理化学过程等。从 20 世纪 70 年代起开展了考察研究工作,定位观测从 2004 年开始。

研究表明,该冰川在 1972—2005 年面积由 3.64 km² 缩小到 3.28 km²,缩小了 9.9%。冰帽末端最大退缩速率平均为 2.3 m·a⁻¹,2005 年以后最大退缩速率平均增至为 2.7 m·a⁻¹。物质平衡观测显示,顶部的消融微弱^[10]。从冰芯资料来看,冰川在最近 20~30 a 消融加快。冰帽的厚度在 1981—2007 年间减薄了 0~20 m,主要发生在冰帽

的中下部,顶端减薄不明显。冰川温度比较低,在冰帽底部 60 m 处,冰川温度为 -8℃。

2004 年 9 月对庙尔沟冰帽进行了冰芯钻取的试验性考察,并观测了消融情况,采集了各类水化学样品^[11]。2005 年 8 月在海拔 4 512 m 的冰川顶部钻取了 2 个约 60 m 长的透底冰芯,为重建这一地区的气候环境,尤其是沙尘暴、水资源变化及人类活动的历史记录提供了新的途径。

1.4.1 厚度变化

(1) 庙尔沟冰川:庙尔沟冰帽有 3 次测厚^[12]。第 1 次于 1981 年 8 月 26 日使用的是 B1 型冰雷达,由冰舌末端向上沿主流线方向每 50 m 测厚 1 次,直到海拔 4 380 m 的高度,共计测点 34 个。第 2 次于 2005 年 8 月 21 日使用的冰雷达为 B1 改进型,测量沿第 1 次测量的剖面进行,共测得 7 个高度的数据。第 3 次于 2007 年 8 月 20 日进行,由冰舌沿主流线方向每 20 m 测厚 1 次,并对 2 个横剖面进行了测厚,1981 年与 2005 年测量结果见表 2。

由表 2 可知,在 1981—2005 年的 24 a 间,冰川

表2 1981年与2005年庙尔沟冰帽厚度对比

Tab.2 Compared result of glacier cap in the Miaoergou Valley during the period of 1981–2005

测点海拔 高度/m	1981–08–26 冰川厚度/m	2005–08–21 冰川厚度/m	冰川厚度变化/m
4 295	68.0	62.6	5.4
4 340	66.0	60.9	5.1
4 357	59.0	54.0	5.0

厚度在海拔4 295~4 357 m处减薄了5 m左右,冰川下部的减薄程度略大于上部。2007年8月对庙尔沟冰帽再次进行了测量,结果如图2所示。

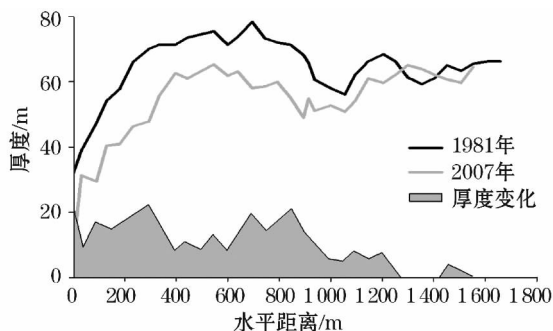


图2 庙尔沟冰帽1981年和2007年纵剖面雷达测厚结果比较

Fig. 2 Compared result of glacier thickness measured with radar in the Miaoergou Valley in 1981 and 2007

从图2看出,自1981—2007年冰川明显减薄,上部减薄幅度小于中下部,减薄最大部位在海拔4 300 m左右,于冰川横断面最窄处,这可能与此处冰川比较狭窄,两边都是悬崖,受局部地形影响有关。这一气候变化很可能对应于20世纪80年代中期,尤其是90年代中期以来天山地区气温的显著升高。气温升高引起冰川消融加剧,这点也在冰芯上部的物理特征上得以表现。在钻取的冰芯上部5 m内,特别是2 m内出现了显著的污化层,具有明显融水改造搬运的特征。根据冰川温度的测定和冰芯记录,发现天山东端的庙尔沟冰帽区年均气温为 -7°C 左右,冰川累积率在 $200\text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ 左右,是一条典型的大陆型冰川。过去的24 a,冰川的中上部减薄了5 m左右。研究发现,冰川底部温度为 -8.3°C ,表明冰川底部与基岩冻结,无滑动现象发生,表明该冰川过去一直处在相对稳定的状态,但在近10~20 a里出现了显著的消融,表现为冰芯剖面上部污化层增多。

(2) 榆树沟6号冰川:冰川编目显示,1972年

榆树沟6号冰川平均厚度 $70\text{ m}^{(5)}$ 。根据实测数据,该冰川冰舌2011年平均厚度约47 m。按其他冰川研究结果推断,该冰川整体厚度至少为50 m。相比之下,从1972—2011年,该冰川厚度平均减薄了20 m,年均减薄约 0.51 m 。

1.4.2 冰川末端变化 冰川长度的变化体现在末端变化上,从1972年1:50 000地形图及2005年Spot 5卫片数据得到,庙尔沟冰川长度从1972年的2.367 km变为2005年的2.290 km,长度缩短了77 m,变化速率 $-2.3\text{ m}\cdot\text{a}^{-1}$,而2007年实际测量数据较1982年退缩了70.8 m,变化速率为 $2.7\text{ m}\cdot\text{a}^{-1}$ 。实测冰川面积变化如图3所示,面积由1972年的 3.64 km^2 缩小为现在的 3.4 km^2 ,面积变化率为 -6.6% 。

1.4.3 榆树沟6号冰川物质平衡 2011年8月,榆树沟冰川末端日物质亏损量达到50 mm水当量,冰川中部(4 000 m)也在15~40 mm水当量,体现出强烈消融特征。冰川下游表面特征较为相似,消融空间差异主要受气温直减率影响,消融量随海拔高度升高呈近线性趋势减小。冰川上部时有冰雪崩塌发生,物质积消及再分布过程较为复杂。根据实测消融数据及榆树沟水文站、ERA再分析气象数据,采用度日模型对该冰川2011年物质平衡进行推算,冰川平均物质平衡为 $-760\sim-500\text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ 水当量,年物质亏损为 $3.5\times 10^6\sim 5.5\times 10^6\text{ m}^3$ (图4),而纯雪冰消融量(对河流补给量)达到 $6.6\times 10^6\sim 8.0\times 10^6\text{ m}^3$ 。

通过对比天山和祁连山其他地区冰川厚度及储量的变化^[13-16],得知哈密地区的冰川变化速度在加快,但与新疆其他地区冰川变化速度相比变化较缓。

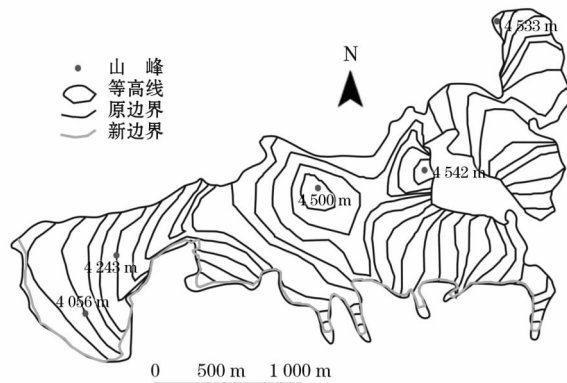


图3 哈密庙尔沟冰帽末端和面积变化

Fig. 3 Change of terminal and area of the glacier cap in the Miaoergou Valley

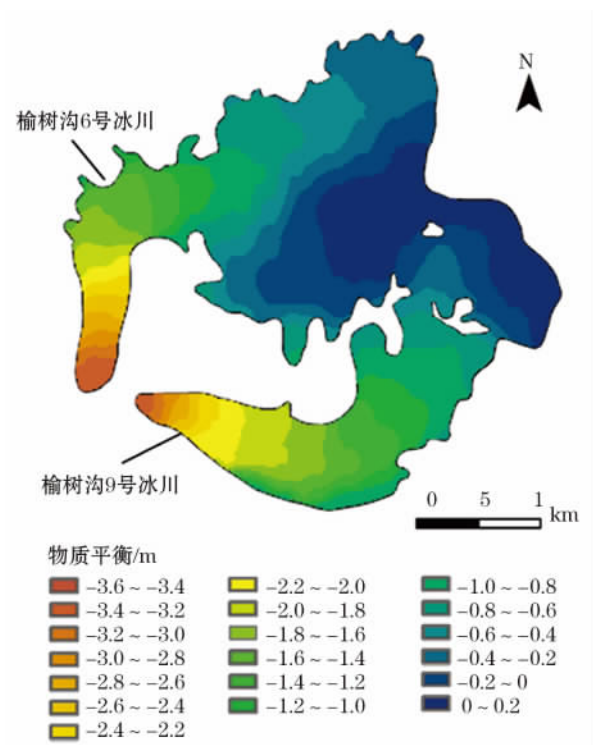


图4 榆树沟冰川2011年物质平衡分布

Fig. 4 Material balance of the glaciers in the Yushugou Valley in 2011

慢⁽¹¹⁾ 这可能受哈密地区地球陆地上所处的大气环流位置有关 哈密地区水汽主要来源于西风气流 且处于气流东移的尾闾 在气流进入哈密地区后又受天山山脉 特别是蒙古高压的影响 造成该区域内的气候环境变化相对较为缓慢。

2 结论

上述分析表明 榆树沟与庙尔沟的冰川厚度都发生了变化 且变化的趋势基本一致 现状冰川变化较为缓慢。说明该冰川对气候变化响应的初期阶段迟钝 在今后的很长一段时间内 该区域冰川的动力学响应还会持续下去。同时 依据现有资料推测 庙尔沟冰川与榆树沟冰川仍然储存大量水资源 近几十年内对河流的补给作用不会产生强烈的变化。但哈密地区冰川仍处于融化阶段 这已引起了自治区水利厅及哈密地区领导的高度重视 因此有必要在哈密地区开展气候变化对冰川水文及水资源的监测研究 为预测冰川水文和水资源的变化提供科学数据 对这一生态脆弱地区的区域发展和水资源可持续利用提出应对措施 更好地为哈密地区经济、社会的发展提供水资源保障。

参考文献(References):

- (1) 陈曦,姜逢清,王亚俊,等. 亚洲中部干旱区生态地理格局研究(J). 干旱区研究, 2013, 30(3): 385-391. (Chen Xi, Jiang Fengqing, Wang Yajun, et al. Characteristics of the eco-geographical pattern in arid land of central asia (J). Arid Zone Research, 2013, 30(3): 385-391.)
- (2) 胡汝骥,王亚俊,姜逢清,等. 哈密: 一个典型的地下水补给型荒漠绿洲(J). 干旱区地理, 2003, 26(2): 136-142. (Hu Ruji, Wang Yajun, Jiang Fengqing, et al. Hami: A typical oasis group nourished by ground water in arid land (J). Arid Land Geography, 2003, 26(2): 136-142.)
- (3) 高建芳,骆光晓. 气候变化对新疆哈密地区河川径流的影响分析(J). 冰川冻土, 2009, 31(4): 748-758. (Gao Jianfang, Luo Guangxiao. Analysis of the impact of climate changes on river's runoff in Hami prefecture, Xinjiang (J). Journal of Glaciology and Geocryology, 2009, 31(4): 748-758.)
- (4) 骆光晓,吴力平,尹进莉,等. 新疆哈密地区地表水资源量趋势分析(J). 水文, 2007, 27(5): 92-95. (Luo Guangxiao, Wu Liping, Yin Jinli, et al. Change trend of surface water resources in Hami area of Xinjiang autonomous region (J). Journal of China Hydrology, 2007, 27(5): 92-95.)
- (5) 高照. 从伊吾河流域径流量变化分析哈密地区高山区冰川消融(J). 黑龙江水利科技, 2010, 38(1): 10-12. (Gao Zhao. Analysis on alpine glacier melt in the Hami region based on the change of runoff volume in the Yiwu River Basin (J). Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2010, 38(1): 10-12.)
- (6) 胡汝骥,许世远,李善征. 新疆哈密庙尔沟古冰川作用初步观察(C) // 新疆维吾尔自治区科学技术委员会. 新疆冰川积雪研究论文集. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1964: 36-42. (Hu Ruji, Xu Shiyan, Li Shanzheng. Preliminary investigation on paleo-glaciation in the Miao'ergou Valley in Hami, Xinjiang (C) // Scientific and Technological Committee of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Collected Papers about Glacier and Snow Cover Research. Urumqi: Xinjiang People's Press, 1964: 36-42.)
- (7) 中国科学院兰州冰川冻土研究所. 中国冰川目录Ⅲ(天山山脉: 东部散流内陆区) [M]. 北京: 科学出版社, 1986. (Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Science. Glacier Inventory of China Ⅲ (Tianshan Mountain: Interior Drainage Area of Scattered Flow in East) [M]. Beijing: Science Press, 1986.)
- (8) 李忠勤,王飞腾,朱国才,等. 天山庙尔沟平顶冰川的基本特征和过去24年的厚度变化(J). 冰川冻土, 2007, 29(1): 61-65. (Li Zhongqin, Wang Feiteng, Zhu Guocai, et al. Basic features of the Miaoergou flat-topped glacier in east Tianshan mountains and its thickness change over the past 24 years (J). Journal of Glaciology and Geocryology, 2007, 29(1): 61-65.)
- (9) 胡汝骥,许世远,李善征. 新疆哈密庙尔沟现代冰川发育特征初步探讨(C) // 新疆维吾尔自治区科学技术委员会. 新疆冰川积雪研究论文集. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1964: 43-50. (Hu Ruji, Xu Shiyan, Li Shanzheng. Preliminary study on modern glacier development in the Miao'ergou Valley in Hami, Xinjiang (C) // Scientific and Technological Committee of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Collected Papers about Glacier and Snow Cover Research. Urumqi: Xinjiang People's Press, 1964: 43-50.)

- (C) // Scientific and Technological Committee of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Collected Papers about Glacier and Snow Cover Research. Urumqi: Xinjiang People's Press, 1964: 43 – 50.)
- (10) 谢自楚. 冰川物质平衡及其与冰川特征的关系 (J). 冰川冻土, 1980 2(4): 1 – 10. (Xie Zichu. Mass balance of glaciers and its relationship with characteristics of glaciers (J). Journal of Glaciology and Geocryology, 1980 2(4): 1 – 10.)
- (11) 宋琳琳, 侯书贵, 刘亚平, 等. 天山东部哈尔里克山庙儿沟冰芯 1953 年以来的 $\delta^{18}\text{O}$ 记录 (J). 兰州大学学报, 2011 47(5): 36 – 41. (Song Linlin, Hou Shugui, Liu Yaping, et al. $\delta^{18}\text{O}$ record of the Miaogou ice core from the Karlik mountains of east Tianshan since 1953 (J). Journal of Lanzhou university, 2011 47(5): 36 – 41.)
- (12) 王璞玉, 李忠勤, 李慧林, 等. 近 50 年来天山地区典型冰川厚度及储量变化 (J). 地理学报, 2012 67(1): 929 – 940. (Wang Puyu, Li Zhongqin, Li Huilin, et al. Changes of ice-thickness and volume for representative glaciers in Tianshan Mountains in the past 50 years (J). Acta Geographica Sinica, 2012 67(1): 929 – 940.)
- (13) 李亚举, 张明军, 李忠勤, 等. 乌鲁木齐河源 1 号冰川雪坑 $\delta^{18}\text{O}$ 剖面特征与气候关系 (J). 干旱区研究, 2010 27(6): 950 – 956. (Li Yaju, Zhang Mingjun, Li Zhongqin, et al. Relationship between profile features of $\delta^{18}\text{O}$ in snow pits over a mountain glacier and local climate: A case study on glacier No. 1 at the headwaters of the Urumqi river in the Tianshan mountains (J). Arid Zone Research, 2010 27(6): 950 – 956.)
- (14) 李珊珊, 张明军, 李忠勤, 等. 1960—2009 年中国天山现代冰川末端变化特征 (J). 干旱区研究, 2013 30(2): 378 – 394. (Li Shanshan, Zhang Mingjun, Li Zhongqin, et al. Variation of glacier terminuses in the Tianshan mountains, China, during the period of 1960 – 2009 (J). Arid Zone Research, 2013 30(2): 378 – 384.)
- (15) 颜东海, 李忠勤, 高闻宇, 等. 祁连山北大河流域冰川变化遥感监测 (J). 干旱区研究, 2012 29(2): 245 – 250. (Yan Donghai, Li Zhongqin, Gao Wenyu, et al. Rs-based monitoring of glacier in the Beidahe River basin in the Qilian mountain (J). Arid Zone Research, 2012 29(2): 245 – 250.)
- (16) 陈辉, 李忠勤, 王璞玉, 等. 近年来祁连山中段冰川变化 (J). 干旱区研究, 2013 30(4): 588 – 593. (Chen Hui, Li Zhongqin, Wang Puyu, et al. Change of glaciers in the Central Qilian mountain (J). Arid Zone Research, 2013 30(4): 588 – 593.)

Change Trend of Glaciers in the Hami Region

XIE Wei¹, JIANG Feng-qing²

(1. Hami Bureau of Hydrological and Water Resources Survey, Hami 839000, Xinjiang, China;

2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

Abstract: Glacier-snow melt water in the main form of surface runoff in the Hami region, Xinjiang, China. Affected by global climate warming, the glaciers in the Hami region are currently at the accelerating melt stage, and the shortage of water resources is the main restriction factor for social and economic development in the Hami region. In this study, the values of material balance, area and thickness of glaciers and the hydrological and meteorological data in the Hami region were measured and observed so as to predict the change trend of glacial hydrology and water resources, provide the references for further utilizing limited water resources, and work out the measures for the local sustainable development. The results revealed that the area and thickness of the glaciers in both Yushugou and Miaogou valleys were in a slow reduction, a violent change of fluvial recharge will not occur in next decades, and such change trend will continue in the future.

Key words: glacier; material balance; glacier terminal; glacier-snow melt water; glacier storage; Hami region; Xinjiang