

文章编号: 1001-8166(2011)03-0347-08

祁连山老虎沟 12 号冰川辐射各分量年变化特征*

孙维君¹, 秦翔¹, 徐跃通², 吴秀平³, 刘宇硕¹, 任贾文¹

(1. 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/祁连山冰川与生态环境综合观测研究站, 甘肃 兰州 730000;

2. 山东师范大学人口·资源与环境学院, 山东 济南 250014;

3. 兰州大学西部环境气候变化研究院, 西部环境教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘要:在资料比较稀少的山地冰川进行辐射收支研究对于揭示现代冰川发育的水热条件以及冰川与气候的相互关系具有重要意义。利用祁连山老虎沟 12 号冰川海拔 5 040 m 自动气象站资料, 分析了 2008 年 10 月 20 日至 2009 年 10 月 19 日的辐射各分量年变化和平均日变化特征, 结果表明: 整年气温月平均值都高于冰川表面温度, 大气是冰川的感热热源。受高海拔、云和地形的共同作用, 老虎沟地区的太阳总辐射年总量达 6 937.9 MJ/m²; 有 21 天瞬时总辐射超过太阳常数, 最大值为 1 675 W/m²; 总辐射和反射辐射的平均日变化呈单峰型, 春夏季节辐射强度相差不大, 冬季最小; 大气和地面长波辐射的平均日变化呈单峰单谷型, 夏季辐射强度最强, 冬季最弱, 春秋相差不大; 秋冬季反照率大于春夏季, 年平均值为 0.74; 净辐射日变化出现明显的季节差异, 在 4~8 月为正值, 其他月份为负, 冰川表面辐射能量全年收入小于支出。

关键词:老虎沟 12 号冰川; 辐射各分量; 年变化; 日变化

中图分类号: P422.4 **文献标志码:** A

1 引言

作为气候系统的五大圈层之一, 冰冻圈是影响全球和区域变化的重要因子。其中作为冰冻圈主要组成部分之一的冰川, 不仅是气候变化的指示器, 而且在气候变化研究中扮演着重要的角色。太阳辐射是地球大气中各种现象和所有物理过程的基本源动力。太阳辐射的变化会影响气候的变化, 从而影响冰川的积累和消融, 尤其在融化季节, 太阳辐射能是控制雪冰消融的主要因素^[1]; 冰川的积累和消融又会影响冰川表面反照率的变化, 进而影响冰川表面的辐射收支状况, 导致气候变化。所以研究冰川表面的辐射收支状况对于揭示现代冰川发育的水热条

件以及冰川与气候的相互关系具有重要意义。作为高反照率的冰川, 有别于其他下垫面, 为评价冰雪在气候系统中的地位起着重要作用。辐射各分量的观测研究还可以为冰川动力模型和冰川能量—物质平衡模型提供重要参数。高原超太阳常数现象以及总辐射全球极值特征还可以为研究高原地区地表显著热力强迫及其强大的热对流动力源提供科学依据^[2]。20 世纪 50 年代以来, 中国冰川工作者在冰川表面开展了一系列辐射平衡观测试验^[3~8], 但这些研究大多限于一年中的 5~9 月, 而且冰川积累区的辐射收支研究更少, 在祁连山老虎沟 12 号冰川的辐射平衡研究更是有限, 基本处于空白。

老虎沟 12 号冰川(以下简称 12 号冰川)是祁

* 收稿日期: 2010-04-21; 修回日期: 2010-10-15.

* 基金项目: 国家自然科学基金面上项目“祁连山老虎沟 12 号冰川地表特征参数与蒸发/升华量观测研究”(编号: 41071046); 科技部科技基础性专项项目“中国冰川资源及其变化调查”(编号: 2006FY110200); 冰冻圈科学国家重点实验室资助课题“老虎沟 12 号冰川能量—物质平衡观测试验研究”(编号: SKLCS-zz-2009-04) 资助。

作者简介: 孙维君(1982-), 男, 山东邹城人, 博士研究生, 主要从事冰川气象研究. E-mail: sun1982wj@163.com

连山最大的山谷冰川,同时还是中国冰川监测研究最早的野外观测站所在地^[9]。自1958年以来,我国老一辈科学家先后于1958—1962年,1975—1976年,1985年对老虎沟12号冰川地区进行了3次气象、水文和冰川等多学科综合考察,但有关老虎沟12号冰川辐射平衡的研究基本处于空白。此后多年观测停滞,2005年开始,又恢复了对老虎沟12号冰川的全面观测。本文利用2008年10月20日至2009年10月19日海拔5040 m的辐射通量资料,分析了一整年的太阳总辐射、反射辐射、大气和地面长波辐射等辐射各分量年变化和不同季节的平均日变化特征,为丰富本区域的辐射资料和进一步研究本区域的气候变化以及冰川对气候变化的响应奠定基础。

2 研究区概况

12号冰川(图1,39°26.4'N,96°32.5'E)由东西2支组成,汇合于4560 m处,全长10.8 km,面积约为21.9 km²,冰储量达2.6292 km³,最高海拔为5483 m,冰舌末端海拔为4250 m,相对高差超过1000 m,该冰川积累区宽大,坡度平缓(3~6°),具有稳定性特征(稳定系数达0.36)^[10],是老虎沟流域中最具代表性的冰川。

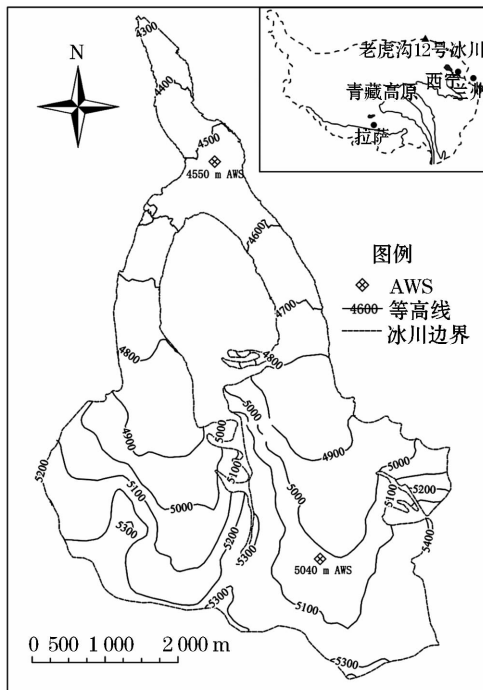


图1 祁连山老虎沟12号冰川

Fig. 1 Laohugou glacier No. 12 in the Qilian Mountains

3 资料来源及处理

自动气象站(AWS)架设在12号冰川粒雪盆(图1,39°25'39.5'' N,96°33'21.8'' E,5040 m a. s. l.),下垫面常年为积雪,辐射传感器(Kipp&Zonen, CM3,波长:0.305 < λ < 2.8 μm ,灵敏度:10~35 W/m²;CG3,波长:5 < λ < 50 μm ,灵敏度:10~35 W/m²;架设高度1.5 m),温湿度传感器(HMP45C, -40~60 °C,精度 ± 0.2 °C;0.8%~100%,精度 $\pm 2\%$,架设高度1.5 m)都与耐低温(-55 °C)数据采集器CR1000(Campbell,美国)连接,每10 s采集一次数据,30 min输出一次平均值。积雪和结霜是影响短波和长波辐射测量的主要因素,本文采用Van等^[11]提供的方法处理辐射资料。本文选用了2008年10月20日至2009年10月19日一整年的辐射通量数据,分析了辐射各分量的年变化和平均日变化特征。在统计气候学上,通常以阳历3~5月为春季,6~8月为夏季,9~11月为秋季,12月至第二年2月为冬季^[12],文中的时间均采用北京时间,气象站地方时比北京时间约晚1时34分。

4 结果与分析

4.1 气象条件

老虎沟地区属于典型的大陆性气候,常年受西风环流控制,降水主要集中在5~9月^[13]。表1是12号冰川海拔5040 m气温、空气相对湿度、比湿和冰川表面温度等气象要素2008—2009年的月平均值变化。这一年中,气温月平均值都在0 °C以下,3~4月气温增温最快,9~10月降温幅度最大,年最高和最低气温分别为10.8和-33.3 °C,年平均值为-12 °C。空气相对湿度和比湿在7月、8月和9月出现明显较高值,7月最大,月平均最大值分别为74%和4.8 g/kg。冰川表面温度年变化趋势同气温变化一样,在1月出现最低值,7月出现最高值,分别为-28.7和-3.4 °C,年平均值为-16.9 °C。

4.2 辐射各分量年变化特征

4.2.1 总辐射

总辐射的大小与太阳高度角、云量以及大气和地表面的物理状态等因子有关。从表2中可以看出,12号冰川海拔5040 m的春夏季节总辐射大于秋冬季节。随着太阳直射北半球后不断北移,进入春季总辐射快速增大,6月达到最大,为330.8 W/m²,7月以后逐渐变小,12月达到最小,为97.8 W/m²,6月的总辐射是12月的3.4倍,总辐射年平均

表1 12号冰川海拔5040 m气象要素月平均值

Table 1 Monthly mean meteorological values on the No. 12 glacier at the 5 040 m a. s. l

月份	气温 /°C	相对湿度 /%	空气比湿 g/kg	冰川表面 温度/°C
10月下旬	-14.8	38	0.8	-22.7
2008年11月	-18.5	49	0.7	-25
12月	-21.1	53	0.6	-26.3
1月	-22.7	47	0.5	-28.7
2月	-20.7	53	0.6	-24.9
3月	-17.7	50	0.8	-22
4月	-10.2	43	1.3	-14.5
2009年5月	-8.2	50	1.8	-12.7
6月	-3.3	54	2.9	-7.1
7月	-0.7	74	4.8	-3.4
8月	-2.6	61	3.3	-6.4
9月	-3.9	68	3.6	-7.7
10月中上旬	-11.2	47	1.3	-18.4

值为220 W/m²,年总量达6 937.9 MJ/m²。与晴天条件下的敦煌戈壁地区^[14]相比较,观测期间6月6日出现的总辐射日总量最大值35.5 MJ/m²比戈壁

地区的28.68 MJ/m²大了约24%,与唐古拉垭口^[15]相比较,6月出现的总辐射月总量最大值861.4 MJ/m²大于7月垭口的703.3 MJ/m²,这些现象主要是因为6月太阳直射点到达最北端,再加上对流积云的散射作用使得总辐射进一步增强。

有关青藏高原和其他地区瞬时总辐射大于太阳常数的现象已有很多观测事实^[16~18],出现于春夏季节。在老虎沟12号冰川海拔5040 m一年内也多次观测到类似的现象。全年的观测中,有21天的瞬时总辐射超过太阳常数的记录,绝大部分分布在5~8月,但是在秋季的9月也出现了这种现象,最大值为1 675 W/m²,超太阳常数约为23%,出现的时间集中在13:00前后,而且7月3日和8月18日出现30 min平均值大于太阳常数的现象。出现这种现象可能存在以下2点原因,一是5~9月多对流天气,当日面未被云覆盖,加上强对流积云的散射作用,这为出现总辐射大于太阳常数的现象提供了重要条件;二是气象站处于山谷中,高反照率的雪面和云层之间多重反射辐射会增强总辐射^[19,20]。

表2 12号冰川海拔5040 m辐射各分量和反照率月平均值

Table 2 Monthly mean values of the components of radiation and albedo on the No. 12 glacier at the 5 040 m a. s. l

月份	总辐射 W/m ²	反射辐射 W/m ²	大气长波辐射 W/m ²	地面长波辐射 W/m ²	反照率
10月下旬	184.7	133.6	145.2	223.1	0.72
2008年11月	138.1	101.1	151.6	214.9	0.73
12月	97.8	75.0	155.3	210.5	0.77
1月	122.9	93.2	142.9	202.4	0.76
2月	160.7	123.5	164.1	215.1	0.77
3月	242.8	185.4	166.2	225.8	0.76
4月	285.7	198.6	181.8	253.8	0.7
2009年5月	324.7	246.7	195.2	260.9	0.76
6月	330.8	231.5	212.8	284.0	0.7
7月	271.1	196.3	262.9	300.0	0.72
8月	271.7	195.1	229.9	287.1	0.72
9月	219.0	165.6	228.4	281.3	0.76
10月中上旬	210.3	154.3	167.9	239.0	0.73

4.2.2 反照率和反射辐射

反射辐射与总辐射之比称为地表反照率,其大小除了与地表状况有关外,还有天气状况关系密切。地表反照率的大小对地球表面吸收的太阳辐射能起决定作用,并对研究下垫面的热力性质以及地表面的能量平衡具有重要意义^[12]。表2中可看出,反照率的月平均值波动不大,都在0.7以上,春夏季节的反照率低于秋冬季节,而且波动变化也大于秋冬季节,4月和6月的反照率最小,为0.7,12月和2月

最大,为0.77,年平均值为0.74,反照率日平均最大值和最小值分别为0.89和0.52。老虎沟地区常年受西风环流的控制,但是进入4月,西风环流影响减弱,气温不断升高,冰川上的空气对流运动加强。气温的升高导致积雪的性状发生改变,积雪颗粒不断变形增大,向粗粒雪的方向发展,使反照率不断降低,当出现新的降雪,冰川下垫面反照率又会快速增大,春夏季节这种气温升温和降雪的交替出现,使冰川表面反照率波动变化较大;进入10月,西风环流

的影响占据主导,老虎沟以晴朗天气为主,气温降低,减缓了积雪密实化的过程,冰川表面反照率缓慢下降,波动较小。12号冰川海拔5040m处由于气温全年较低,月平均气温都在 0°C 以下,新雪的密实化过程比较缓慢,导致冰川下垫面反照率维持在一个较高的数值,月平均值都在0.7以上。

反射辐射和总辐射的年变化趋势基本一致(表2),春夏季节大于秋冬季节,而且春季大于夏季,主要是由于这2个季节总辐射相差不大,但是春季反照率大于夏季造成的。反射辐射在5月达到最大值,为 246.7 W/m^2 ,比总辐射达到最大值提前了1个月,主要因为虽然6月总辐射大于5月,但是相差不大,又因为5月的冰川下垫面反照率0.76明显大于6月的0.7,使反照率对反射辐射的影响占主导地位,出现了这种现象。进入9月后,虽然反照率有所升高,但总辐射快速减小对反射辐射的影响占主导,使反射辐射持续减小,12月出现最小值,为 76 W/m^2 ,冬季过后,随着总辐射的增加,下垫面反照率变化不大,反射辐射也开始持续增大,一直持续到5月,反射辐射年平均值为 164 W/m^2 。

4.2.3 大气和地面长波辐射

大气长波辐射与气温和大气中的水汽含量有着密切关系,气温和大气水汽含量是引起大气长波辐射变化的主要因子,从表1和表2中可以得出,两者与大气长波辐射的相关系数分别达到0.91和0.98。

受气温和空气比湿月平均极低值的影响,大气长波辐射月平均最小值出现在1月,为 142.9 W/m^2 ,随着气温不断升高,空气比湿不断增大,大气长波辐射也在逐渐增大,尤其是进入5月,降水明显增多,大气中的水汽含量明显增大,大气长波辐射也明显增强,7月出现最大值,为 262.9 W/m^2 ,9月过后快速减小,年平均值为 185 W/m^2 。

地面长波辐射与地面温度高低有着密切的联系。与大气长波辐射相比较,地面长波辐射要大的多,年变化趋势同大气长波辐射一样,5~9月明显大于其他月份(表2)。从表1和表2中可以看出,受冰川表面温度的影响,地面长波辐射最大值出现在7月,最小值出现在1月,分别为 300 和 202.4 W/m^2 ,年平均值为 246 W/m^2 。地面长波辐射一年中的变化呈现不对称分布,从冬季到夏季缓慢增加,从夏季到冬季快速减小,这种不对称性正好与总辐射和反射辐射相反。与总辐射相比较,大气和地面长波辐射的月平均最大和最小值都要滞后1个月出现。

4.3 辐射各分量不同季节的平均日变化

从图2a和b中可看出太阳总辐射和反射辐射日变化趋势基本一致,呈现明显的单峰型,日出后辐射强度增大,中午达到最大值,随后逐渐减小,日落后达到最小值。春季和夏季总辐射平均日变化相差不大,最大值分别为 901 和 842 W/m^2 ,秋季总辐射

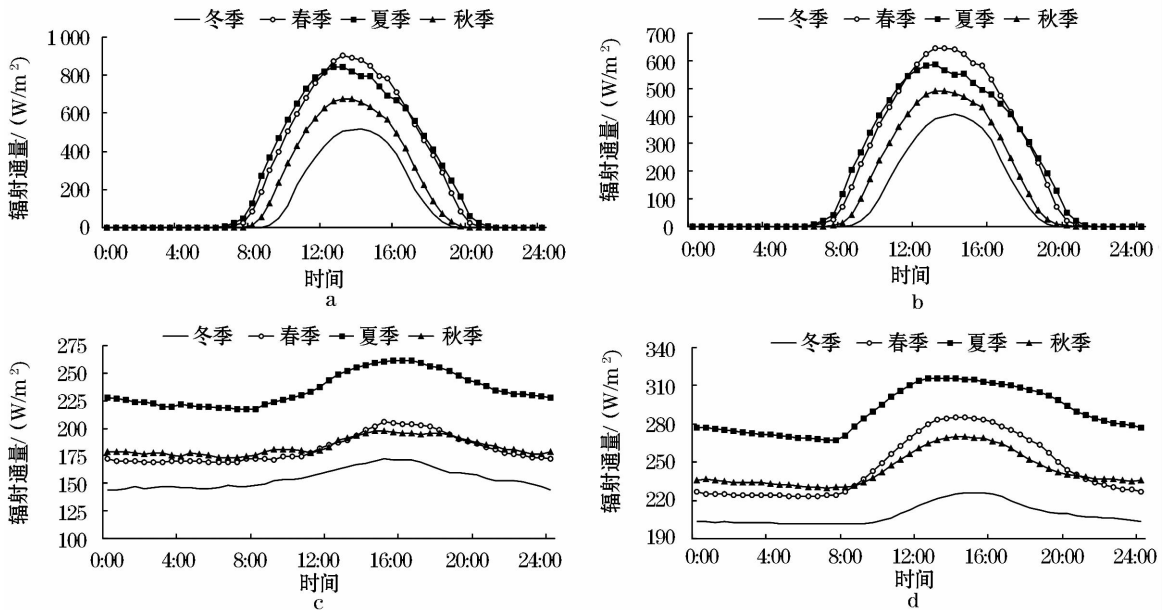


图2 老虎沟12号冰川总辐射(a)、反射辐射(b)、大气长波辐射(c)和地面长波辐射(d)的平均日变化

Fig. 2 Mean diurnal variations of incoming shortwave radiation(a), reflected shortwave radiation(b), incoming long wave radiation(c) and outgoing long wave radiation(d) on the Laohugou No. 12 glacier

小于春季,最大值为 676 W/m^2 ,冬季总辐射最小,为 519 W/m^2 。春秋两季比较,虽然太阳高度角近似相等,但可能由于秋季大气中水汽含量比春季高,而水汽又是太阳辐射的重要吸收体,导致到达地面的辐射量减少。春季反射辐射最大,极值为 646 W/m^2 ,冬季最小,为 405 W/m^2 ,两者相差达 241 W/m^2 ,夏季大于秋季,分别为 585 和 492 W/m^2 。从图上还可以看出,夏季总辐射为零的时间在上午要比冬季早 2 h,下午要比冬季晚 2 h,可见夏季的日照时数要比冬季长的多。

从图 2c 和 d 可以看出,大气和地面长波辐射的平均日变化曲线呈现单峰单谷型,上午在日出后快速增大,午后出现最大值,下午日落后缓慢减小,一直到次日日出前出现最小值。大气长波辐射受气温和空气中的水汽含量影响显著,除夏季外,其他季节大气长波辐射日变化振幅要小的多,日出后大气长波辐射缓慢增加,直到午后气温升高后的 15:00~16:00 才出现最大值,然后夜间比较缓慢的减小到日出前的最小值。从图中还可以看出,夏季最强,最大值为 205 W/m^2 ,这主要是夏季气温较高和空气中水汽含量较大导致的,春季和秋季非常相似,冬季最弱,最大值为 173 W/m^2 。与大气长波辐射相比,地面长波辐射在午后的 13:00~15:00 出现最大值,比大气长波辐射最大值出现时间早 1~2 个小时。各季节相比较,地面长波辐射夏季最大,极值为 316 W/m^2 ,冬季最小,为 226 W/m^2 ,春季和秋季相差不大;地面长波辐射最小值出现在太阳日出之前,夏季最强,为 268 W/m^2 ,超过冬季极大值 18%,冬季最弱,为 201 W/m^2 ,春季和秋季的几乎相等。

4.4 净辐射的变化特征

净辐射是表征下垫面辐射能量净收支状况的指标,是气候形成的主要因子之一,它在很大程度上决定着近地面的温度分布,在计算蒸发速度、冰雪消融等问题上具有重要意义。影响净辐射的基本因子取

决于当地的地理位置,一般的天气气候条件和地表面的状态和特性等^[10]。

4.4.1 净辐射的年变化特征

图 3a 中可看出,春秋季节的净辐射比夏季小,冬季的最小,因此春秋季节感热通量所占地面可利用能量的比例远大于夏季^[21]。冰川表面净辐射月平均值在 4~8 月为正值,表明冰川表面收入的辐射能量大于支出的辐射能量;其他月份为负,表明冰川表面收入的辐射能量小于支出的辐射能量。净辐射年平均值为 -2.5 W/m^2 ,表明 12 号冰川海拔 5 040 m 冰川表面全年收入辐射能量要小于支出的辐射通量。由于夏季太阳直射北半球,总辐射最强,气温高,空气中水汽含量大,下垫面反照率相对较小的缘故,净辐射月平均值最大出现在 8 月,为 37 W/m^2 ,冬季相反,净辐射月平均值最小出现在 12 月,为 -34 W/m^2 。

4.4.2 净辐射的季节平均日变化

图 3b 中可看出,同辐射其他各分量一样,净辐射有着明显的日变化特征。白天日出后,总辐射远大于其他各分量,起决定作用,净辐射在日出约 2 h 后达到正值,12:00~13:00 达到最大值,日落前约 2 h 出现负值,晚上波动变化非常小,表现比较稳定,一直持续到次日日出前。辐射平衡日变化在白天出现明显的季节差异,夏季最强,春季次之,冬季最弱。受下垫面高反照率的影响,净辐射季节日最大值都在 200 W/m^2 以下,夏季日平均最大值为 193 W/m^2 ,冬季为 65 W/m^2 ,夏季是冬季的近 3 倍。

5 结论

祁连山老虎沟 12 号冰川海拔 5 040 m 下垫面常年被积雪覆盖,辐射各分量变化具有独特的变化特征。通过对老虎沟 12 号冰川海拔 5 040 m 自动气象站一年的气象资料分析,可以得出以下结论:

气温月平均值都低于 $0 \text{ }^\circ\text{C}$,3~4 月气温增温最

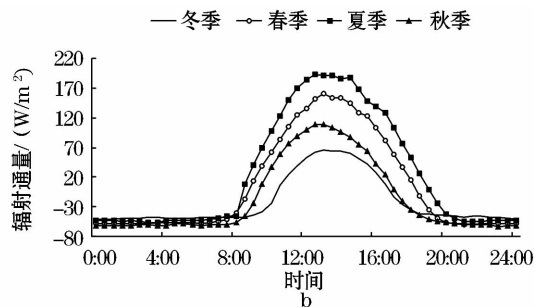


图 3 老虎沟 12 号冰川辐射平衡的季节平均日变化 (a) 和季节变化 (b)

Fig. 3 Diurnal (a) and seasonal (b) variations of the net radiation on the Laohugou No. 12 glacier

快,9~10月降温幅度最大,年平均值为 $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$;空气相对湿度和比湿月平均值在7月出现最大,分别为74%和 4.8 g/kg ;冰川表面温度年平均值为 $-16.9\text{ }^{\circ}\text{C}$;整年气温月平均值都高于冰川表面温度,出现逆温层现象,说明大气在一年中都是冰川的感热热源。

受高海拔、云和地形的共同作用,老虎沟地区的太阳能资源非常丰富,年总量达 $6\,937.9\text{ MJ/m}^2$;春夏季节的总辐射大于秋冬季节,年平均值为 220 W/m^2 ;总辐射日总量最大值 35.5 MJ/m^2 ,比敦煌戈壁地区的 28.68 MJ/m^2 大了约24%,6月出现的总辐射月总量最大值 861.4 MJ/m^2 ,大于7月唐古拉垭口的最大值 703.3 MJ/m^2 ;全年的观测中,有21天的瞬时总辐射超过太阳常数的记录,除了5~8月外,在秋季的9月也出现了这种现象,瞬时最大值为 $1\,675\text{ W/m}^2$,超太阳常数约为23%,在7月3日和8月18日出现30 min平均值大于太阳常数的现象。

反照率的月平均值都在0.7以上,春夏季节的反照率低于秋冬季节,受气温升温和降雪的交替出现的影响,春夏季节反照率的波动变化大于秋冬季节,年平均值为0.74;反射辐射和总辐射的年变化趋势基本一致,受总辐射和反照率的影响,反射辐射在5月达到最大值,12月出现最小值,年平均值为 164 W/m^2 。受气温和空气水汽含量的影响,大气长波辐射在7月达到最大值,1月出现最小值,年平均值为 185 W/m^2 ;地面长波辐射年变化趋势同大气长波辐射一样,但明显比大气长波辐射大的多,年平均值为 246 W/m^2 ;与总辐射相比较,大气和地面长波辐射的月平均最大和最小值都要滞后1个月出现。

总辐射和反射辐射日变化趋势基本一致,呈现明显的单峰型,春夏季节的辐射强度相差不大,冬季最小,夏季的日照时数要比冬季长约4 h;大气和地面长波辐射的平均日变化曲线呈现单峰单谷型,夏季辐射强度最强,冬季最弱,春秋相差不大。

净辐射在4~8月期间为正值,其他月份为负,冰川表面辐射能量全年收入小于支出,年平均值为 -2.5 W/m^2 ;净辐射日变化在白天出现明显的季节差异,夏季最强,春季次之,冬季最弱,受下垫面高反照率的影响,辐射平衡季节日最大值都在 200 W/m^2 以下,夏季日平均最大值为 193 W/m^2 ,是冬季的近3倍。

参考文献 (References):

[1] Zhao Jingping, Li Tao, Zhang Shugang, et al. The shortwave solar

radiation energy absorbed by packed sea ice in the central Arctic [J]. *Advances in Earth Science*, 2009, 24(1): 33-41. [赵进平, 李涛, 张树刚, 等. 北冰洋中央密集冰区海冰对太阳短波辐射能吸收的观测研究[J]. 地球科学进展, 2009, 24(1): 33-41.]

- [2] Zhou Mingyu, Xu Xiangde, Bian Lin'gen, et al. Observational Analysis and Dynamic Study of Atmospheric Boundary Layer on Tibetan Plateau [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2000. [周明煜, 徐祥德, 卞林根, 等. 青藏高原大气边界层观测分析与动力学研究[M]. 北京: 气象出版社, 2000.]
- [3] Xizang Science Expedition Team of the Chinese Academy of Sciences. Scientific Report of the Investigation on Mt Qomolangma (1966-1968), Meteorology and Solar Radiation [M]. Beijing: Science Press, 1975. [中国科学院西藏科学考察队. 珠穆朗玛峰地区科学考察报告(1966—1968), 气象与太阳辐射[M]. 北京: 科学出版社, 1975.]
- [4] Kang Ersi, Ohmura A. A parameterized energy balance model of glacier melting on the Tianshan Mountain [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1994, 49(5): 467-476. [康尔泗, Ohmura A. 天山冰川消融参数化能量平衡模型[J]. 地理学报, 1994, 49(5): 467-476.]
- [5] Zhang Yinsheng, Yao Tandong, Pu Jianchen, et al. Energy budget at ELA on Dongkemadi Glacier in the Tonggula Mts. Tibetan Plateau [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1996, 18(1): 10-19. [张寅生, 姚檀栋, 蒲健辰, 等. 唐古拉山冬克玛底冰川平衡线高度附近的能量平衡[J]. 冰川冻土, 1996, 18(1): 10-19.]
- [6] Chen Liang, Duan Keqin, Wang Ninglian, et al. Characteristics of the surface energy balance of the Qiyi Glacier in Qilian Mountains in melting season [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2007, 29(6): 882-888. [陈亮, 段克勤, 王宁练, 等. 祁连山七一冰川消融期间的能量平衡特征[J]. 冰川冻土, 2007, 29(6): 882-888.]
- [7] Jiang Youyan, Ren Jiawen, Qin Xiang, et al. Radiation balance observation at an elevation of 6 523 m on the north slope of Mount Qomolangma [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2007, 29(4): 589-594. [蒋友严, 任贾文, 秦翔, 等. 珠穆朗玛峰北坡海拔6 523 m辐射平衡观测结果分析[J]. 冰川冻土, 2007, 29(4): 589-594.]
- [8] Li Jing, Liu Shiyin, Zhang Yong. Snow surface energy balance over the Ablation period on the Keqicar Baxi Glacier in the Tianshan Mountains [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2007, 29(3): 366-373. [李晶, 刘时银, 张勇. 天山南坡科契卡尔巴西冰川消融期雪面能量平衡研究[J]. 冰川冻土, 2007, 29(3): 366-373.]
- [9] Shi Yafeng. An Introduction to the Glaciers in China [M]. Beijing: Science Press, 1988. [施雅风. 中国冰川概论[M]. 北京: 科学出版社, 1988.]
- [10] Wang Zongtai. Glacier Inventory of China I: Qilian Mountains [M]. Lanzhou: Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology, 1981. [王宗太. 中国冰川目录 I: 祁连山区[M]. 兰州: 中国科学院兰州冰川冻土研究所, 1981.]

- [11] Van den Broeke M, Van As D, Reijmer C, *et al.* Assessing and improving the quality of unattended radiation observations in Antarctica[J]. *Journal of Atmospheric Oceanic Technology*, 2004, 21:1 417-1 431.
- [12] Pan Shouwen. The Theory of Modern Climatology[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1994. [潘守文. 现代气候学原理[M]. 北京: 气象出版社, 1994.]
- [13] Memoirs of Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences, No. 5 (Glacier Variations and Utilizations in Qilian Mountains.) [C]. Beijing: Science Press, 1985: 9-15. [中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊第5号(祁连山冰川变化及利用)[C]. 北京: 科学出版社, 1985: 9-15.]
- [14] Zhang Qiang, Cao Xiaoyan. The influence of synoptic conditions on the averaged surface heat and radiation budget energy over desert or gobi [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2003, 27(2): 245-254. [张强, 曹晓彦. 敦煌地区荒漠戈壁地表热量和辐射平衡特征研究[J]. 大气科学, 2003, 27(2): 245-254.]
- [15] Yao Jimin. The Surface Energy and Water Budget in Tanggula Permafrost Region on the Tibetan Plateau [D]. Lanzhou: Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, 2009. [姚济敏. 青藏高原唐古拉垭口多年冻土区地表能水收支研究[D]. 兰州: 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 2009.]
- [16] Lu Longhua, Dai Jiayi. The global and net solar radiations in the region of Tanggula[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1979, 24(9): 400-404. [陆龙骅, 戴家洗. 唐古拉地区的总辐射和净辐射[J]. 科学通报, 1979, 24(9): 400-404.]
- [17] Lu Longhua, Zhou Guoxian, Zhang Zhengqiu. Direct and global solar radiations in the region of MT. Qomolangma during the summer 1992 [J]. *Acta Energiæ Solaris Sinica*, 1995, 16(3): 229-233. [陆龙骅, 周国贤, 张正秋. 1992年夏季珠穆朗玛峰地区的太阳直接辐射和总辐射[J]. 太阳能学报, 1995, 16(3): 229-233.]
- [18] Bian Lin'gen, Lu Longhua, Lu Changgui, *et al.* The characteristics of radiation balance components of the Tibetan Plateau in the summer of 1998 [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2001, 25(5): 577-588. [卞林根, 陆龙骅, 逯昌贵, 等. 1998年夏季青藏高原辐射平衡分量特征[J]. 大气科学, 2001, 25(5): 577-588.]
- [19] Rouse W R. Examples of enhanced global solar radiation through multiple reflection from an ice-covered Arctic sea[J]. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 1987, 26(6): 670-674.
- [20] Yang Xingguo, Qin Dahe, Zhang Tingjun, *et al.* Seasonal characteristics of surface radiative fluxes on the East Rongbuk Glacier in the north slope of Mt. Qomolangma (Mt. Everest) region[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2010, 68(1): 19-31. [杨兴国, 秦大河, 张廷军, 等. 珠穆朗玛峰北坡绒布冰川表面辐射特征观测研究[J]. 气象学报, 2010, 68(1): 19-31.]
- [21] Wang Weizhen, Xu Zhiwei, Liu Shaomin, *et al.* The characteristics of heat and water vapor fluxes over different surface in the Heihe river basin[J]. *Advances in Earth Science*, 2009, 24(7): 714-723. [王维真, 徐自为, 刘绍民, 等. 黑河流域不同下垫面水热通量特征分析[J]. 地球科学进展, 2009, 24(7): 714-723.]

Annual Variations of the Components of Radiation on the Laohugou No. 12 Glacier in the Qilian Mountains

Sun Weijun¹, Qin Xiang¹, Xu Yuetong², Wu Xiuping³, Liu Yushuo¹, Ren Jiawen¹

(1. State Key Laboratory of Cryospheric Sciences / Qilian Shan Station of Glaciology and Ecologic Environment, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. College of Population, Resources and Environment, Shandong Normal University, Jinan 250014, China; 3. Key Laboratory of Western China's Environmental (Ministry of Education), Lanzhou University Research School of Arid Environment & Climate Change, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The research of the radiation budget is valuable to reveal the hydrothermal conditions of the modern glacier's development and the interaction between glacier and climate, especially in the regions where the observational data are limit. annual and mean diurnal Variations of the components of radiation are analyzed based on observed meteorological data during October 20, 2008 and October 19, 2009, at an elevation of 5 040 meters of the Laohugou No. 12 glacier in the Qilian Mountains. The results are obtained as follows: monthly mean values of air temperature are higher than the surface temperature of glacier, and the atmosphere is the heat source of sensible heat flux on the glacier. The total annual value of the incoming shortwave radiation is 6 937.9 MJ/m² in the region

of Laohugou under the action of its high altitude, cloud and terrain. there are 21 days when the value of incoming shortwave radiation is larger than the Solar Constant, and the maximum is $1\ 675\ \text{W}/\text{m}^2$. Mean diurnal variations of the incoming and reflected shortwave radiation have a single peak curve, and the discrepancy of radiation intensity between spring and summer is feeble, and the smallest in winter. Mean diurnal of the incoming and outgoing long wave radiation appear single kurtosis and single vale, and the radiation intensity appears to be the largest (smallest) in summer (winter), and the discrepancy between spring and fall is feeble. The albedo of autumn and winter are higher than the spring and summer, and the annual average value is 0.74. Diurnal variations of the net radiation have an apparent seasonal change in the daytime. Except the period of from April to August, the net radiation is negative. The output of the radiation on the surface of the glacier exceeds the input during the year.

Key words: Laohugou No. 12 glacier; Components of the radiation; Annual variation; Diurnal variation.

IODP 340、341 航次开始召集船上科学家

由美国 USIO 负责实施的 IODP 340 和 341 航次目前开始向各成员国召集船上科学家。

IODP 340 航次(小安的列斯岛弧和滑坡体航次)计划于 2012 年 1~3 月在加勒比海区执行。该航次基于 IODP 681 号建议书,设计沿小安的列斯岛弧实施钻探,主要科学目标是研究火山喷发活动的过程和时间以及火山岛滑坡的触发、搬运和沉积机制。

IODP 341 航次(南阿拉斯加大陆边缘构造、气候和沉积航次)计划于 2012 年 7~9 月在阿拉斯加南部大陆边缘进行钻探。航次基于 IODP 686 号建议书,建议书设计在南阿拉斯加大陆边缘钻探晚新生代以来的高分辨率沉积物,研究构造控制的造山过程和冰期过程、北太平洋及全球气候变化,以及他们之间的相互关系。

以上 2 个航次的执行时间可能随钻探船的时间安排而调整。相关航次建议书等更详细信息请访问:<http://iodp.tamu.edu/scienceops>。中国 IODP 鼓励中国科学家积极申请参加航次,有意申请者请在截止日期前提交个人英文简历、航次后研究计划和航次申请表(可在中国 IODP 网站下载:<http://www.iodp-china.org>)。

联系人:拓守廷,电话:021-65982198

E-mail: iodp_china@tongji.edu.cn;

截止日期:IODP 340 2011 年 5 月 31 日;

IODP 341 2011 年 6 月 15 日