

南极长城站和中山站辐射特征的研究*

卞林根 陆龙骅 逯昌贵 薛正夫 贾朋群 王 勇

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

提 要

对南极长城站和中山站 1993~1994 年辐射资料的分析表明: 两站辐射分量的季节变化特征基本相似. 但由于气候状况的差异, 长城站到达地面的总辐射和吸收辐射分别为中山站的 51% 和 42%. 极昼期间(11~1 月)中山站总辐射和紫外辐射总量均超过了青藏高原夏季(6~8 月)的总量, 两站净辐射夏半年为正, 冬半年为负, 显示出南极绿洲的辐射气候特点.

关键词: 南极 辐射特征 季节变化

引 言

定量地揭示南极地区辐射平衡的基本特征是研究南极在全球气候变化中的作用的基础性工作, 也是为了反演南极地区卫星资料提供地面真值和研究冰雪与大气相互作用的重要措施之一. 南极春季臭氧减少, 到达地面的紫外辐射明显增加, 对极区生物圈环境与全球生态系统都有重要影响. 因此, 在极区开展辐射和臭氧的观测研究具有重要意义. 美国南极站 1988 年开始实施包括紫外辐射在内的监测计划, 英国和日本的南极站近年来也开始对紫外等辐射分量进行观测^[1, 2]. 我国对长城站和中山站的辐射和热量平衡状况进行了观测和初步的研究^[3~5]. 为系统地分析和研究南极地区的辐射状况, 在中国南极科学考察计划的支持下, 自 1993 年以来, 在长城站和中山站分别建立了辐射和臭氧观测系统, 已获取了连续资料. 本文主要分析长城站 1993 年 5 月~1994 年 12 月和中山站 1993 年 2 月~1994 年 12 月辐射分量的特征, 并对两站的辐射状况进行比较.

1 观测环境和仪器

1.1 观测环境

长城站(62°13'S 58°58'W)位于南极半岛附近的乔治王岛, 常年受极地海洋性气候的影响, 从表 1 可以看出, 长城站有湿度高、云量大和日照寡的气候特点. 全年日照时数仅为中山站的 30% 左右. 辐射观测表安装在气象观测场内, 水平自然遮蔽角小于 10°^[3].

* 本工作得到国家自然科学基金(No. 49675252)项目的资助.
1996-09-10 收到, 1996-11-06 收到修改稿.

12~3 月地面基本无积雪, 为褐色卵石, 4~11 月地表维持积雪。

中山站位于 $69^{\circ}22'S$, $76^{\circ}22'E$, 处于极地东风带, 全年主要受南极大陆地面冷高压的影响, 与长城站相比, 它具有湿度小、云量少和日照多的气候特点(表 1)。最低气温可达 $-38^{\circ}C$, 大风频繁, 年平均风速为 7 m/s , 处于春季南极臭氧洞的边缘。辐射观测点设在站区北部的气象山上, 水平自然遮蔽角 $<4^{\circ}$ ^[4]。11~2 月地表无积雪, 地表特征为片麻岩, 3~10 月常有短时间积雪。

表 1 长城站(1985~1994 年)和中山站(1989~1994 年)气象要素平均值

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
温 度($^{\circ}C$)	1.8	1.8	0.4	-1.9	-4.7	-5.9	-6.5	-5.3	-3.9	-2.9	-0.9	0.5
长 降 水 量(mm)	46	63	97	54	41	50	56	38	43	42	43	31
相 对 湿 度(%)	88	89	88	87	87	88	90	89	90	88	89	86
云 量(成)	9.2	8.8	9.0	8.9	8.2	8.4	8.4	8.7	8.8	8.9	9.2	9.2
日 照 时 数(h)	74	64	38	23	17	5	14	20	49	61	60	74
大 风 日 数(d)	2	4	8	8	10	11	11	10	14	12	6	4
温 度($^{\circ}C$)	0.2	-2.5	-8.4	-12.5	-16.6	-14.1	-16.1	-16.3	-16.1	-11.4	-5.9	-1.0
中 相 对 湿 度(%)	61	57	56	50	54	54	52	51	49	53	55	59
山 云 量(成)	6.4	6.4	6.9	6.0	5.7	5.8	5.2	5.8	5.7	6.3	6.4	5.2
日 照 时 数(h)	296	202	110	59	12	0	3	38	122	186	242	363
大 风 日 数(d)	8	13	12	12	9	16	13	16	14	14	12	11

1.2 观测仪器

长城站和中山站辐射观测使用的采样系统均为 RYJ-2 全自动辐射记录仪, 分辨率瞬时值为 1 W/m^2 , 时累值为 0.01 MJ/m^2 , 采样速率为 1 min , 精度为 0.6% 。观测项目有总辐射、反射辐射、净辐射和紫外辐射。紫外辐射表和天空辐射表均系美国 EPPLEY 公司用于低温环境下的产品, 紫外辐射波长为 $290\sim 385\text{ nm}$, 灵敏度为 $160\text{ }\mu\text{V/Wm}^{-2}$, 仪器运往南极观测前在中国气象局计量检定中心进行了标定。

2 辐射特性

2.1 总辐射和地面吸收辐射

表 2 给出长城站和中山站总辐射(Q)和地面吸收辐射($Q(1-A)$)月总量的年变化。两站到达地面总辐射的年总量分别为 1932 MJ/m^2 和 3815 MJ/m^2 。中山站总辐射年总量与南极大陆沿岸纬度相近的昭和站($69^{\circ}S$, $39^{\circ}35'E$) 3847 MJ/m^2 的观测结果^[6]非常接近, 而明显小于南极内陆高原站($79^{\circ}15'S$, $40^{\circ}30'E$) 4509 MJ/m^2 的观测结果^[7]。长城站太阳总辐射年总量仅为南极大陆沿岸地区的 50% , 说明中山站的太阳辐射能比较丰富。两站地面吸收辐射年总量分别占总辐射的 65% 和 78% , 与南极绿洲地区的观测结果相似。两站总辐射和吸收辐射的季节变化具有明显的夏半年(10~3 月)和冬半年(4~9 月)之分。夏半年中山站辐射总量和吸收辐射总量占年总量的 92% 和 93% , 长城站分别占年总量的 84% 和 88% 。极昼期间辐射最强, 中山站(11~1 月)辐射总量占年总量的 64% 。长城站虽然没有极昼, 11~1 月也是辐射最强期, 占年总量的 53% 。由此可见, 两站地面接

收到的太阳辐射能主要集中在暖季, 寒季辐射能极少.

表 2 长城站和中山站总辐射 Q 、吸收辐射 $Q(1-A)$ 、有效辐射 F 、净辐射 B 的月总量(单位: MJ/m^2)和地表反射率 $A(\%)$

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
长 城 站												
Q	308	184	149	72	28	7	16	58	130	257	348	382
A	16	19	28	29	60	60	61	57	59	56	46	27
$Q(1-A)$	259	149	107	51	11	3	6	25	53	113	188	279
F	110	72	76	63	66	53	45	41	66	95	126	148
B	150	78	31	-12	-55	-50	-39	-16	-13	18	62	141
中 山 站												
Q	728	423	216	74	8	0	2	44	178	448	745	938
A	17	24	30	28	46	0	0	45	32	25	20	20
$Q(1-A)$	604	321	151	53	4	0	2	24	121	336	596	750
F	351	197	143	142	136	117	129	141	170	215	331	402
B	255	130	13	-88	-132	-117	-128	-116	-58	121	265	348

两站总辐射日变化特点基本相同, 随着太阳高度角的增高, 辐射强度加强, 正午达到最大值, 其后又随太阳高度角的下降而减弱. 图 1 给出两站 1993 年 12 月典型晴天(0~2 成云)和阴天(8~10 成云)总辐射强度的日变化. 中山站晴天辐射强度非常大, 中午前后维持在 $850 \text{ W}/\text{m}^2$ 左右, 最大瞬时强度达到 $1093 \text{ W}/\text{m}^2$, 1993 年和 1994 年极昼期间分别记录到 419 和 $411 \text{ W}/\text{m}^2$ 的日平均最大强度. 根据到达大气上界的日平均太阳辐射最大值出现在南极夏至的观点^[6]和中山站、瑞穗站^[7]的观测结果, 南极地区日平均太阳辐射最大值出现在南极内陆高原上. 由图 1 可见, 中山站阴天的辐射仅为晴天的 50%. 长城站晴天辐射强度正午前后达到 $649 \text{ W}/\text{m}^2$, 阴天为晴天的 35%左右. 由此可见, 长城站云对总辐射强度的影响要比中山站大.

2.2 地面反射率

表 2 给出了长城站和中山站逐月地表反射率(A)的年变化. 其中长城站年平均反射率为 0.43, 中山站为 0.29, 相当于南极绿洲地区的观测结果, 比南极内陆冰雪下垫面的反射率明显偏小. 从表 2 还可以看出, 两站反射率有明显的季节变化. 长城站 5~11 月地表维持积雪, 平均反射率为 0.57, 12~3 月地表积雪融化, 反射率降低, 平均为 0.25. 中山站辐射观测点一年中没有稳定的积雪期, 暴风雪或吹雪天气常形成地表有短时间的

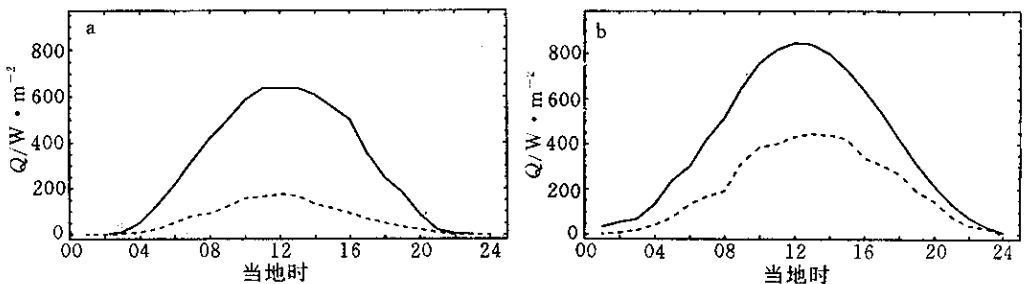


图 1 长城站(a)和中山站(b)12月晴天(实线)和阴天(虚线)总辐射(Q)的日变化

积雪,使地表反射率增大,晴天有时达到0.8以上.因此,各月地表反射率的差异较大.平均状况是冬季的反射率大于暖季,长城站冬季的地表反射率又明显大于中山站.

地表反射率受太阳入射角变化的影响,晴天有显著的日变化.平均反射率为早晚大,其它时间小,最大日振幅可达0.2~0.3.

2.3 地面有效辐射

地面有效辐射(F)又称长波净辐射,其大小受地面长波辐射和大气逆辐射的制约.两站观测结果(表2)表明,地面温度的差异是引起两站有效辐射不同的主要因素.在暖季,中山站观测点为露岩区,在晴天和辐射量大的条件下,岩面干燥,白天地表温度很高,可达 25°C 以上,因而地表放出的长波辐射比较强.而长城站观测点下垫面潮湿,加之阴天和降水天气多(表1)等因素,地面放出的长波辐射比中山站弱.长城站有效辐射年总量(961 MJ/m^2)为中山站(2474 MJ/m^2)的39%,11~1月总量(384 MJ/m^2)为中山站(1084 MJ/m^2)的35%.长城站夏半年月总量振幅为 80 MJ/m^2 ,冬半年为 20 MJ/m^2 .中山站夏半年月总量振幅为 250 MJ/m^2 ,冬半年为 30 MJ/m^2 .因此,两站有效辐射都具有暖季变化大,寒季变化小的特点.

图2和图3给出长城站和中山站12月和6月吸收辐射($Q(1-A)$)、有效辐射(F)和辐射平衡(B)平均强度的日变化.在极昼期间有效辐射和吸收辐射的日变化十分明显.昼间大,早晚小.正午达到峰值,中山站日振幅约为 150 W/m^2 ,长城站约为 100 W/m^2 ,最小值出现在太阳高度角的最低点.在极夜期间,中山站有效辐射与净辐射相等,没有明显的日变化,全天维持在 45 W/m^2 左右.长城站在6月份太阳高度角是全年最低的时候,日照时间很短,地面能够接收到的太阳能很少,有效辐射的日变化也很小.

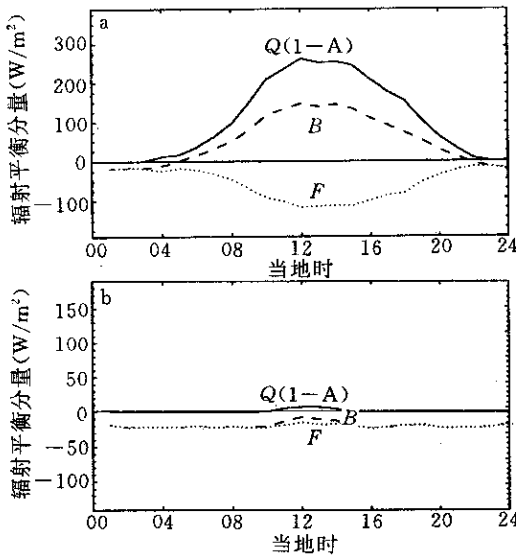


图2 长城站12月(a)和6月(b)辐射平衡分量的日变化

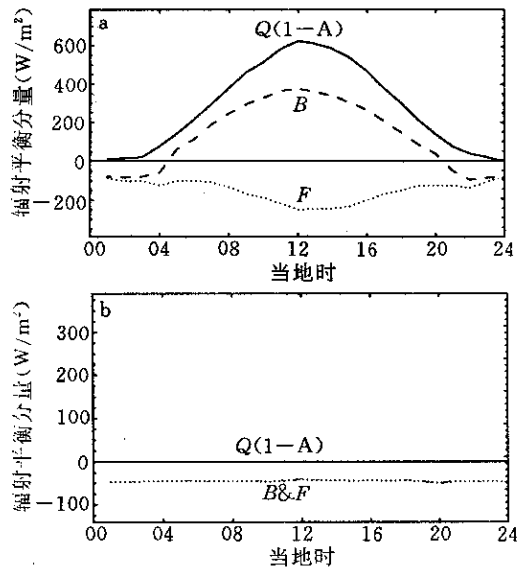


图3 中山站12月(a)和6月(b)辐射平衡分量的日变化

通过统计分析两站极昼期间总辐射和有效辐射之间的关系发现，长城站和中山站有效辐射日总量与总辐射日总量相关十分显著，相关系数分别达到 0.96 和 0.89。图 4 表明有效辐射占总辐射的比例较大，长城站为 40%，中山站为 50%。由此可见，地面有效辐射是辐射平衡中的重要支出项。

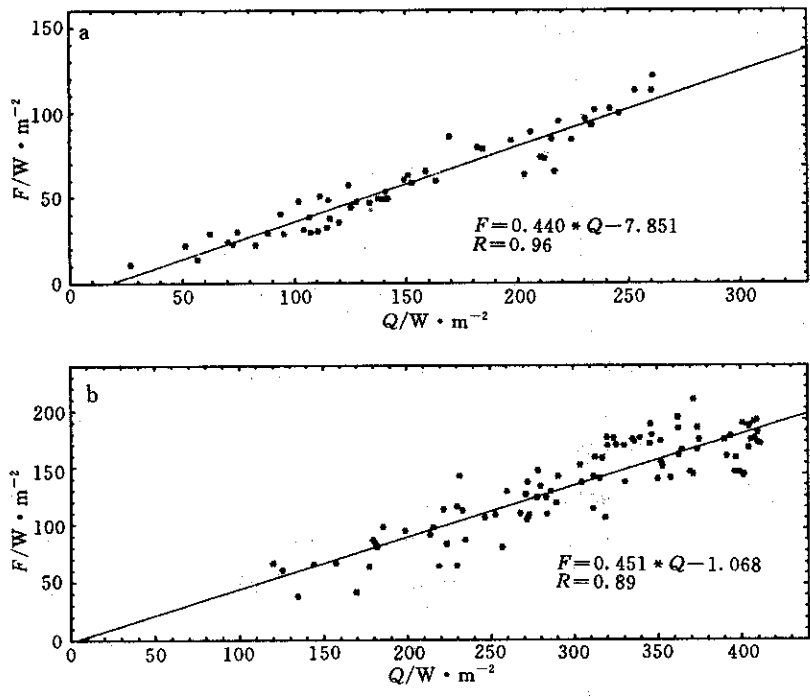


图 4 长城站(a)和中山站(b)有效辐射(F)与总辐射(Q)的线性关系

2.4 净辐射

表 2 给出了长城站和中山站净辐射月总量的年变化，长城站净辐射年总量为 295 MJ/m²，占总辐射年总量的 15%。夏半年(10~3月)为正，月平均总量为 80 MJ/m²，表示地面获得热量；冬半年(4~9月)为负，月平均总量为 -31 MJ/m²，地面损失热量。中山站净辐射的季节变化特点与长城站相似，夏半年获得热量，冬半年损失热量。中山站夏半年获得的热量比长城站多，冬半年放出的热量也多。表明辐射冷却导致热量损失的强度比长城站大，加之长城站在中山站的极夜期间能接收到一定的太阳辐射，补充一部分地表损失的热量。两站辐射平衡季节变化特点与文献[7]中昭和站的观测结果相似，而不同于南极内陆地区，内陆地区一般只有 12 月和 1 月净辐射为正值，其它时间为负值。说明在南极的不同地区辐射收支状况是不同的，辐射冷却是南极大陆巨大冷源形成的重要原因。

中山站极昼期间，全天都有太阳辐射，中午前后可以观测到较大净辐射值。夜间，太阳高度角很低时，以辐射冷却为主。净辐射在 01~05 时和 22~24 时为负值(图 3、图 4)。长城站 12 月日照时间长达 20 h，辐射平衡在日出后和日落前 1~2 h 由负向正过渡

和由正向负过渡, 中午前后峰值可达 150 W/m^2 . 6 月长城站净辐射的日变化比中山站明显, 但日振幅相对较小.

图 5 给出了两站净辐射日总量和日平均云量的日际变化. 由于受云和天气的影响, 净辐射的日际变化较大. 云量的峰、谷值与净辐射波动的关系非常密切. 冬半年净辐射维持负值, 在暴风雪或来自北方暖湿气流控制站区的天气条件下, 两站的净辐射均可以出现 >0 的情况. 从图 5 还可以看出, 两站净辐射的季节变化与温度的变化特点相似, 在短暂的夏季变化较大, 漫长的寒季变化相对平缓, 但没有明显的低值阶段. 一年中由正变负和由负变正出现在由秋季向冬季过渡的 4 月和由冬季向春季过渡的 9 月.

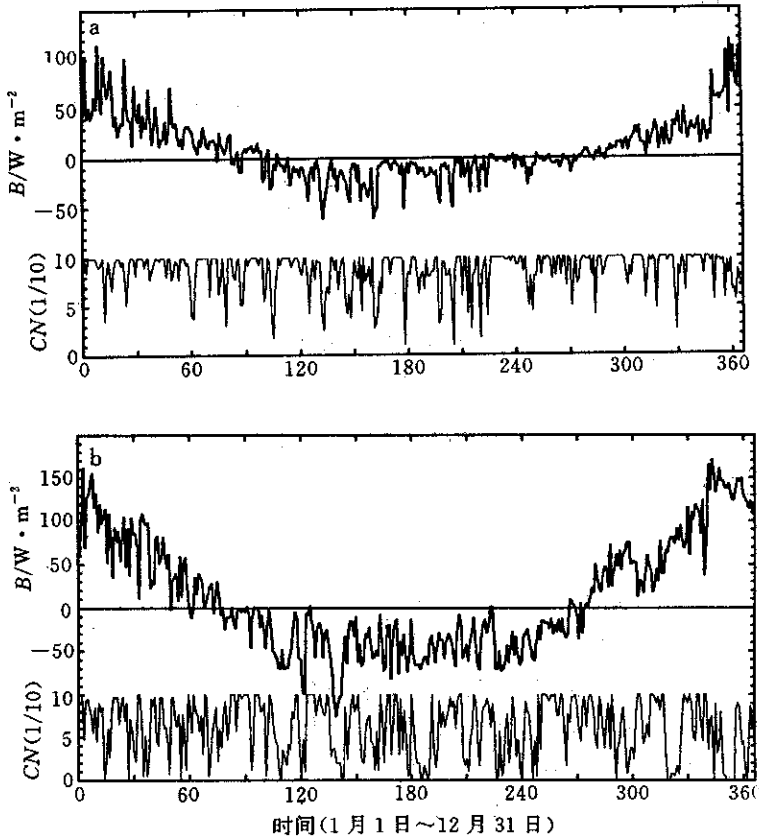


图 5 长城站(a)和中山站(b)净辐射(B)与云量(CN)的日际变化

为进一步分析净辐射与云量的关系, 图 6 给出了两站极夜净辐射月总量与月平均云量的线性相关. 长城站和中山站的相关系数分别达到 0.81 和 0.80, 相关是十分显著的, 净辐射随云量的增多而明显增大. 其它时段, 净辐射与云量的关系较复杂, 有待于进一步分析.

2.5 中山站紫外辐射特征

图 7 给出 1 月(夏季)、4 月(秋季)和 10 月(春季)紫外辐射(UV)平均强度的日变化. 夏季中午前后 2 h 紫外辐射平均强度保持在 30 W/m^2 以上, 正午达到最大为 36 W/m^2 .

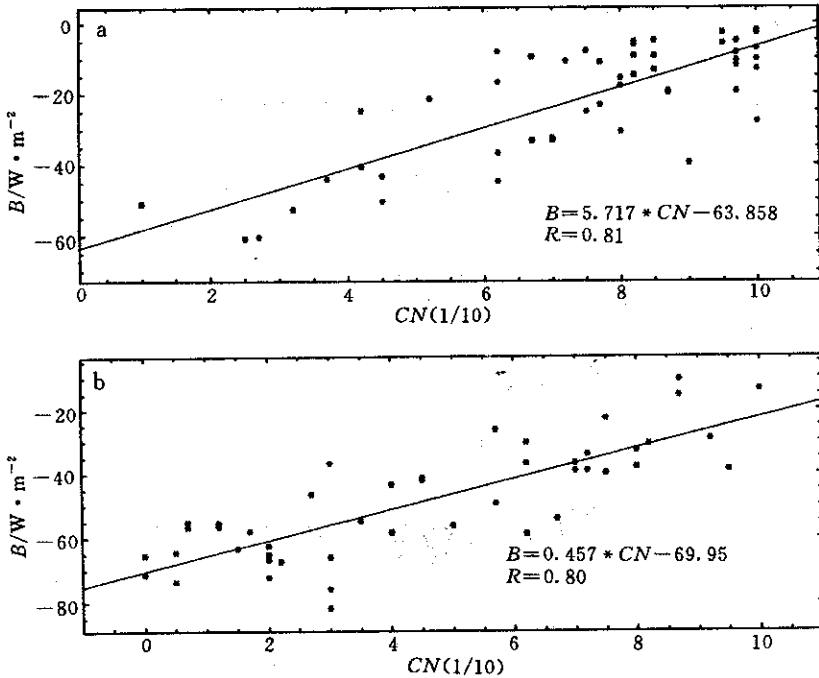


图6 长城站(a)和中山站(b)极夜期间净辐射(B)与云量(CN)的相关关系

当秋季太阳高度角为 10°左右时,中午前后紫外辐射平均强度仅为夏季的 20%左右.春季太阳高度角升至 30°以上,紫外辐射随之加强,中午前后达到 25 W/m² 以上.

中山站极昼期间晴天的紫外辐射强度非常大,瞬时最大强度为 57 W/m².用同样仪器在青藏高原上观测^[8]的紫外辐射最大强度为 60 W/m²,考虑到两地海拔高度的差异,则说明南极大气透明度极好,气溶胶含量比青藏高原还要低.阴天正午前后总辐射强度仅为晴天的 50%;而紫外辐射为晴天的 60%,说明云对总辐射的影响比对紫外辐射的影响大,我们统计了晴天和阴天不同太阳高度角下紫外辐射占总辐射的比例,阴天紫外辐射占总辐射的比例明显大于晴天,并随太阳高度角的增大而增大.紫外辐射与总辐射的比例晴天为 5.6%,阴天为 6.2%,大于我国在漠河和高原地区的观测结果^[9].

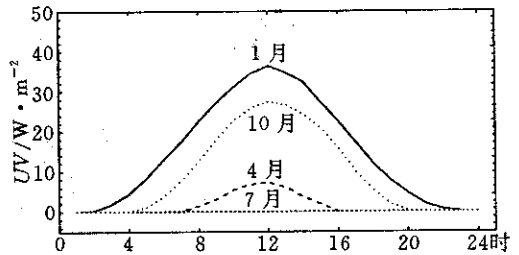


图7 中山站紫外辐射(UV)的平均日变化

中山站紫外辐射和总辐射的年总量分别为 214.7 MJ/m² 和 3788.8 MJ/m²,月最大值均出现在 12月,分别为 56.5 MJ/m² 和 968.0 MJ/m²,大于青藏高原^[9]和北极圈附近^[10]夏季辐射最强的 7月份辐射总量.中山站紫外辐射的季节变化基本与气象要素相似(图8),具有明显的暖季(10~2月)和寒季(3~9月)之分,暖季紫外辐射和总辐射为全年各自总量的 87%和 86%.极昼为辐射最强期,紫外辐射为年总量的 65%.由此可见,南极极昼期间可能是全球紫外辐射最强的地区.

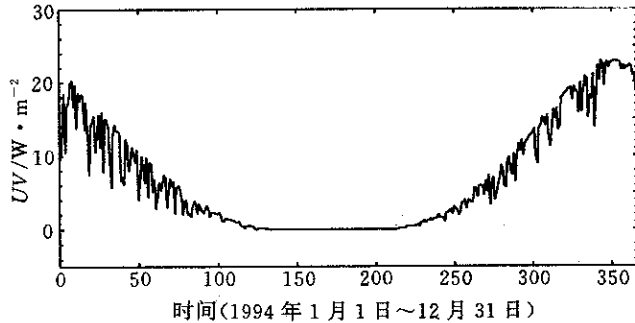


图 8 中山站紫外辐射的日际变化

3 结果与讨论

根据南极长城站和中山站辐射资料的分析,我们对两站的近地面的总辐射、吸收辐射、反射辐射、净辐射和紫外辐射的季节变化特点有了初步认识。

(1) 地处亚南极的长城站由于全年云量多日照寡,年辐射总量仅有南极大陆沿岸的 50%左右,表明两站位于不同的气候带中,辐射强度有显著差异。

(2) 极昼期间是两站地面获取太阳辐射能的主要时段,夏半年长城站和中山站总辐射分别达到全年总量的 84%和 92%,吸收辐射分别达到全年总量的 88%和 93%,其辐射特点具有明显的暖季和寒季之分。

(3) 长城站和中山站净辐射年平均强度分别在 10.1 W/m^2 和 12.1 W/m^2 ,表明两站除了以长波方式加热大气外,仍有热量以其它方式加热大气。两站夏半年和冬半年地表辐射收支状况相反。

(4) 中山站紫外辐射与总辐射相似,有明显的日变化和季节变化。测得的紫外辐射最大通量与青藏高原地区基本相当,11~1月紫外辐射和总辐射的总量高于青藏高原和北半球高纬度地区辐射最强的夏季(6~8月)总量,说明南极大陆极昼期间太阳能是十分丰富的。

由于辐射资料的长度限制,有关两站辐射分量的季节和年际变化特征有待获得较长的资料加以深入研究。

致谢:国家海洋局极地办公室对本工作给予了大力支持。林峰、周国贤、王文东和高学杰参加了观测。周秀骥院士和高登义教授对本文提出了宝贵意见,在此一并表示衷心感谢。

参 考 文 献

- 1 Booth C R, Lucas T B and Tusson J R, et al. Antarctic ultraviolet spectroradiation monitoring program; South pole and Barrow Contrasts in UV Irradiance. Summary report of climate monitoring and diagnostics laboratory, NOAA, 1987, 21: 81~83.
- 2 Japan Meteorological Agency. Antarctic meteorological data. JMA, 1994, 1~384.
- 3 卞林根,陈善敏,贾朋群. 长城站的辐射状况. 南极科学考察论文集(4). 北京:海洋出版社,1989. 85~93.

- 4 卞林根, 陆龙骅, 贾朋群. 拉斯曼丘陵地区的辐射状况. 南极研究, 1993, 4(3): 43~51.
- 5 周秀骥, 卞林根, 贾朋群, 陆龙骅. 南极长城站夏季热状况的初步分析. 科学通报, 1989, 34(17): 1323~1325.
- 6 日本国立极地研究所. 南极气象学. 解思梅等译. 北京: 海洋出版社, 1991. 28~29.
- 7 Yamanouch T and Kawaguch S. Properties of the surface radiation budget at Mizuho station, Antarctica in 1979(extended abstract). *Mem. Natl. Inst. Polar Res. Spec. Issue*, 1982, 24: 13~18.
- 8 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. 太阳能学报, 1995, 16(3): 229~232.
- 9 季国良, 陈有虞. 青藏高原的紫外辐射. 高原气象, 1985, 4(4): 112~117.
- 10 Arvid S and Frank C. Radiation Yearbook. Bergen; University of Bergen Geophysical Institute. 1992, (27): 5~80.

A STUDY OF RADIATIVE FEATURES AT THE GREAT WALL AND ZHONGSHAN STATIONS OF ANTARCTICA

Bian Lingen Lu Longhua Lu Changgui
Xue Zhengfu Jia Penqun Wang Yong

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract

The radiative components in 1993~1994 at the Great Wall Station(GWS) and Zhongshan Station(ZSS), Antarctica are analysed. The results show that the features of seasonal changes of radiation in GWS are almost similar to those in ZSS. Global and surface absorbed radiations in GWS are 51% and 42% of those in ZSS, respectively, because of the difference of climate conditions between the two stations. During the polar days(Nov. ~Jan.), the total amounts of global and ultraviolet radiations are greater than those in summer (Jun. ~Aug.) for the Qinghai-Xizang Plateau. The positive net radiation in summer half year and negative in winter half year in the two stations illustrate the climatic features of radiation in the Antarctic oasis area.

Key words: Antarctica Radiative features Seasonal change