

陈传振,张秀娟,李莉,等.南极乔治王岛地区太阳光照气候特征及影响分析[J].海洋气象学报,2021,41(4):95-101.
CHEN Chuazhen, ZHANG Xiujuan, LI Li, et al. Climatic characteristics and impacts of sunshine duration in the region of King George Island, Antarctica[J]. Journal of Marine Meteorology, 2021, 41(4):95-101. DOI:10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2021.04.009. (in Chinese)

南极乔治王岛地区太阳光照气候特征及影响分析

陈传振^{1,2,3},张秀娟^{1,2,3},李莉^{1,2,3},董明^{1,2,3}

(1.山东省气象防灾减灾重点实验室,山东 济南 250031;2.济南市人工影响天气中心,山东 济南 250102;3.济南市气象局,山东 济南 250102)

摘要:利用南极长城站1988—2017年连续的日照、云量、天气现象、气温和湿度等观测资料,研究了南极西部乔治王岛30 a的日照变化特征及其与气象要素的关系。结果显示,南极地区的日照时间远少于中低纬度地区,这主要因为该地区常年以阴天天气为主,云层对太阳光的遮挡降低了日照时间的总量值。2000年以来,随着总云量和相对湿度的增加,日照时间呈减少趋势。根据统计分析月平均相对湿度以及每月出现雨、雪、雾、轻雾、吹雪等天气现象和最低气温 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的天数,发现液态(固态)现象的发生频率与日照百分率的变化趋势一致(相反),即日照百分率低(高)时,液态现象少(多),固态现象多(少)。

关键词: 南极; 长城站; 日照; 气象要素; 相关性

中图分类号: P468.0 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2021)04-0095-07

DOI:10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2021.04.009

Climatic characteristics and impacts of sunshine duration in the region of King George Island, Antarctica

CHEN Chuazhen^{1,2,3}, ZHANG Xiujuan^{1,2,3}, LI Li^{1,2,3}, DONG Ming^{1,2,3}

(1. Key Laboratory for Meteorological Disaster Prevention and Mitigation of Shandong, Jinan 250031, China; 2. Weather Modification Office of Jinan, Jinan 271100, China; 3. Jinan Meteorological Bureau, Jinan 271100, China)

Abstract Based on the observation data of sunshine, cloud cover, weather phenomenon, temperature and humidity from the Antarctic Great Wall Station of China during 1988–2017, the climatic variation characteristics of solar radiation and its relationship with the meteorological elements in the King Georges Island, West Antarctic, are studied. The results show that the duration of sunshine in the Antarctic region is much lower than that in the mid-low latitudes, mainly because the cloudy weather dominants all year around and sunlight is blocked by cloud. Since 2000, the total cloud cover and relative humidity increase, while the duration of sunshine shows a decrease tendency. According to the statistical analysis of monthly averaged relative humidity and the monthly occurrence frequency of weather phenomena, such as rain, snow, fog, mist, blowing snow, and the number of days when the lowest temperature is equal to or greater than $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, it is found that occurrence frequency of the liquid (solid) phenomenon is consistent (opposite) to the variation trend of sunshine percentage, i. e. lower (higher) percentage of sunshine corresponds to less (more) liquid phenomenon and more (less) solid phenomenon.

Key words South Pole; Antarctic Great Wall Station of China; sunshine; meteorological elements; relationship

收稿日期:2020-08-11; 修订日期:2021-08-18

基金项目:中国气象科学研究院基本科研业务费专项(2018Z01)

通信作者:陈传振,男,高级工程师,主要从事气象探测、气候分析和技术保障等工作,914610390@qq.com。

引言

太阳光照是地球辐射能量的来源,是地球生物生长之能量源,对人类生活、社会经济影响甚广,也是可再生资源产业发展的重要要素之一^[1-2],因此研究太阳光照分布及其变化趋势十分重要。近年来,很多学者通过多个角度研究了不同区域太阳光照的变化。美洲、欧洲和亚洲的印度等全球大多数地区的日照时数都呈现出不同程度的减少^[3-6];中国近 50 a 大部分地区的日照时数都是比较一致的减少趋势,且东南部的日照时间在 20 世纪 80 年代出现显著的突变^[7-9]。南极洲位于地球的最南端,在西南极乔治王岛地区气象条件复杂多变,有效日照时间少^[1,10-11],现阶段也开展了关于南极日照气候特征的研究,但时间序列短,且与相关气象要素间的变化关系研究较少^[12-16],尤其是还没有关于南极地区日照时间变化的研究。中国南极长城站自 1985 年建站以来已连续开展了 30 多年的气象监测,为研究分析该地区日照气象条件积累了长期连续的气象数据,提供了可靠的理论研究依据,研究分析该地区日照等气象因素,发现其变化规律和要素间的相互关系,对于人类科学合理地利用南极、探索和保护南极有非常重要的意义。

1 数据与方法

1.1 日照气象要素量

在气象学上用来表征日照量值的气象要素有日照时间、可照时间和日照百分率等。日照时间用来记录太阳在一地实际照射的时间长短。世界气象组织(World Meteorological Organization, WMO)把日照时间定义为在一给定时间,太阳直接辐照度达到或超过 $120 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 的那段时间总和,也称实照时间。可照时间,是指在无任何遮蔽条件下,太阳中心从某地东方地平线到进入西方地平线,其光线照射到地面所经历的时间。日照百分率=(日照时间/可照时间) $\times 100\%$,说明一地的有效日照率,也称天文日照百分率^[11,17-18]。

1.2 西南极地区太阳活动规律

中国南极长城站,位于西南极乔治王岛的菲尔德斯半岛南端($62^{\circ}12'59''\text{S}$, $58^{\circ}57'52''\text{W}$),1985 年建站,自 1988 年 1 月 1 日开始日照观测,至 2017 年连续积累了 30 a 的长时间日照观测数据。该站太阳日出日落变化规律如图 1 所示,6 月 21 日是南极的仲冬节,自此以后黑夜减短,白天增长。长城站

在图中 A 点(方位角 31.4°)日出, B 点(方位角 328.6°)日落, AB 间夹角仅 62.8° ,为一年内最小,白天时间最短;自仲冬节后,日出方位从 A 点向 C 点(方位角 148.6°)偏移,日落方位从 B 点向 D 点(方位角 211.4°)偏移,白天时间增加。12 月 21—23 日,日出方位到达 C 点,日落方位到达 D 点, CD 间夹角为 297.2° ,为一年内最大,白天时间最长。12 月 23 日后日出、日落方位再按反方向偏移回 A、B 点。

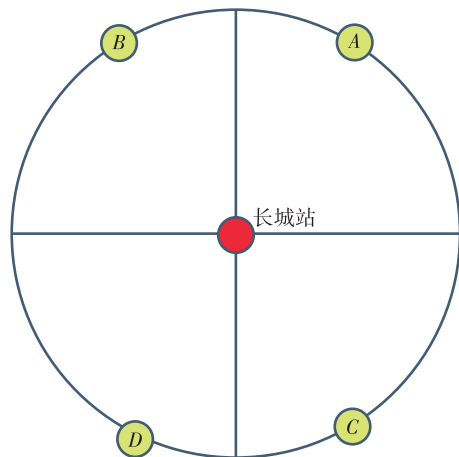


图 1 长城站日出和日落方位简图

Fig.1 Orientation diagram of sunrise and sunset in the Antarctic Great Wall Station of China

2 日照时间气候变化特征

2.1 日照时间逐月分布

长城站可照时间、日照时间、日照百分率逐月分布见图 2,年平均日照时间为 534.3 h,年日照百分率只有 12.1%,明显低于中低纬度地区^[1,19],太阳光照能量很弱,不适合开展光伏能源利用,极不利于植物生长。由图 2 可以看出,日照时间、日照百分率、可照时间年变化明显,均呈典型的“V”形变化,1—6 月逐月减少,6 月达最小值(最小值分别是 5.6 h、3.7%、153.2 h),6—12 月逐月增加,12 月出现最大值(最大值分别是 94.7 h、15.7%、603.3 h)。3—9 月日照百分率低于全年平均,其中又以 6 月最低。另外,6、7 月分别有 6 年(1992 年、2003—2007 年)、3 年(1992 年、2006—2007 年)无日照,日照时间月合计为 0.0 h。年平均可照时间为 4 418.3 h,日最长日照时间为 19.7 h,出现在 12 月 23 日,日最短日照时间为 4.9 h,出现在 6 月 20—23 日,最大与最小值相差 14.8 h。

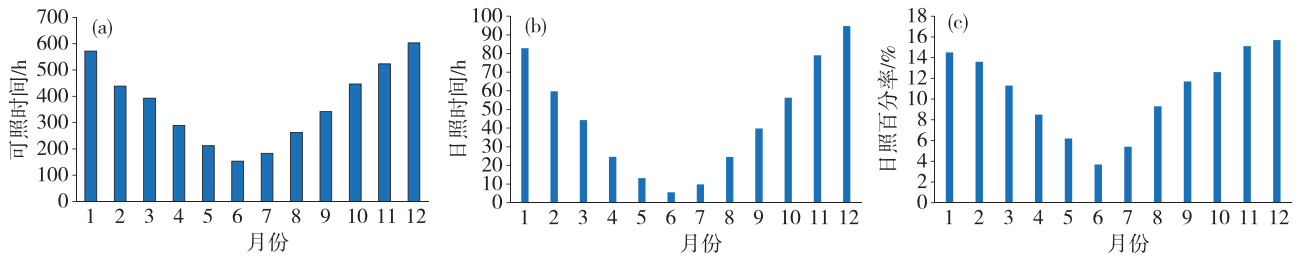


图 2 长城站可照时间(a;单位:h)、日照时间(b;单位:h)、日照百分率(c;单位:%)逐月分布

Fig.2 Monthly changes of duration of possible sunshine (a; units: h), duration of sunshine (b; units: h) and percentage of sunshine duration (c; units: %) at Antarctic Great Wall Station of China

2.2 量别日数及相关要素逐月分布

长城站 1988—2017 年平均各月日照百分率在 60% 以上和 20% 以下的日数统计如图 3 所示, 每月平均有 24.4 d 在 20% 以下, 平均只有 1 d 在 60% 以上, 说明该地区日照时间总量值低。同时, 6 月日照 $\leq 20\%$ 的日数和 $\geq 60\%$ 的日数差距最大。

2.3 年际变化特征

长城站年日照时间总量值的年际变化特征和趋势如图 4a 所示, 最小值为 348.6 h (1992 年), 最大值为 686.8 h (2000 年), 1988—2017 年总体呈增多趋势, 增多速率为 $34.2 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 。对长城站日照时间进行 M-K 检验, 如图 4b 所示, 在 ± 2 之间有两个交点, 即日照时间发生了年代际的突变。考虑到突变过后经过一段时间的稳定, 下文分析中取 2000 年之后的数据进行分析。2000 年之前, 大部分年份的日照时间低于平均值, 2000 年及其之后的年

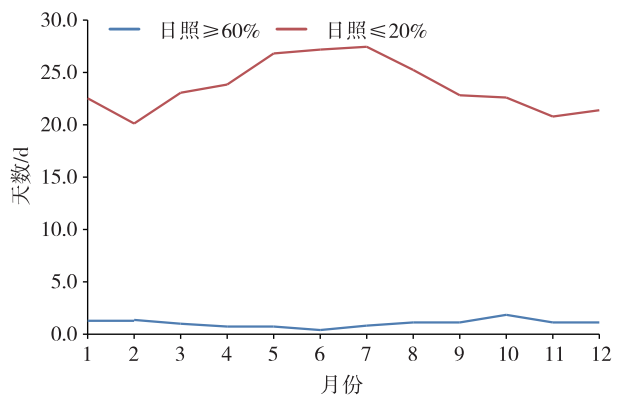


图 3 长城站日照量别日数年变化

Fig.3 Annual changes of the proportion of sunshine duration compared to duration of possible sunshine in the Antarctic Great Wall Station of China

份日照时间大多高于平均值(图 4a), 这也进一步说明, 日照时间发生了年代际的突变。

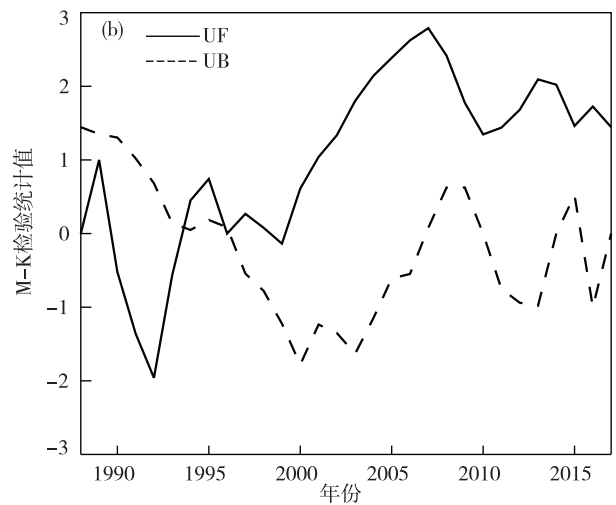
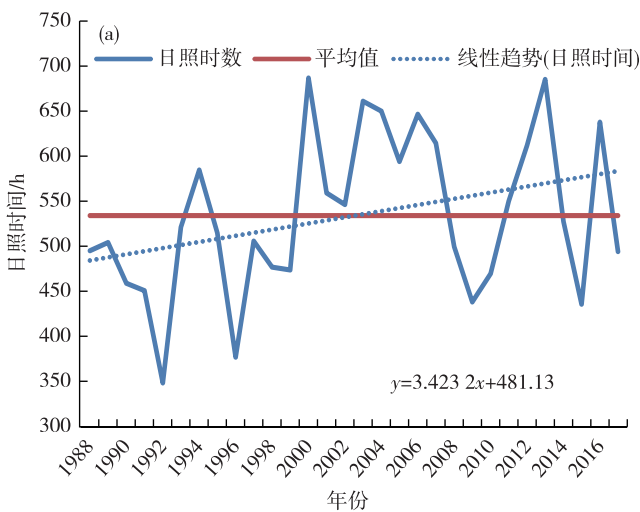


图 4 1988—2017 年长城站日照时间年际变化及线性趋势(a) 和 M-K 检验(b)

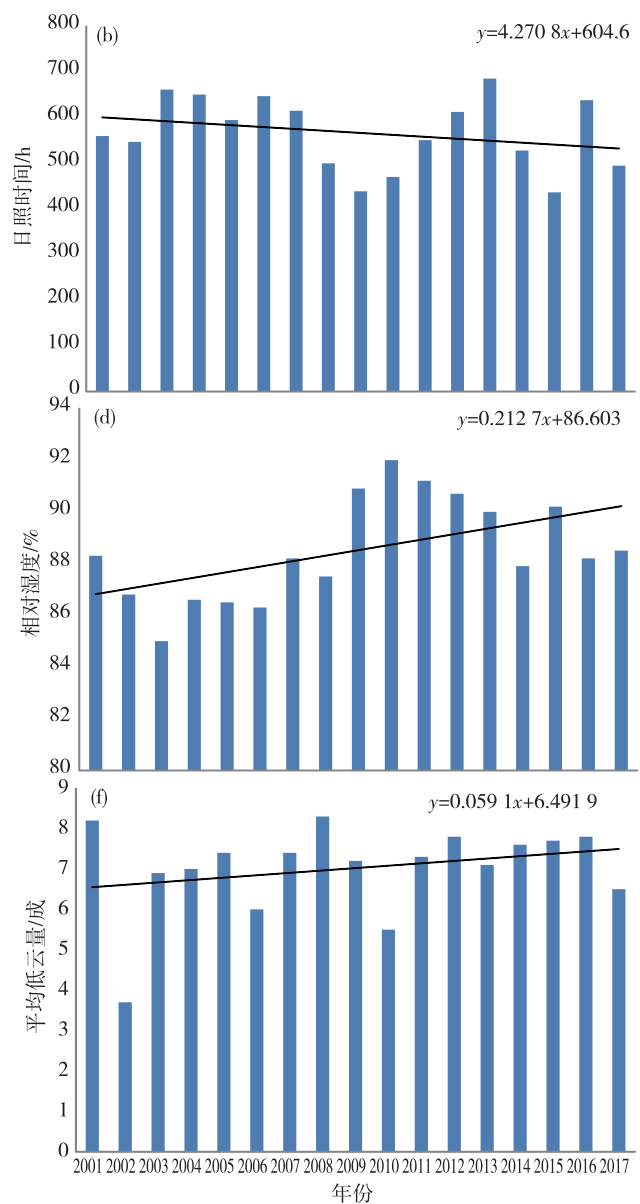
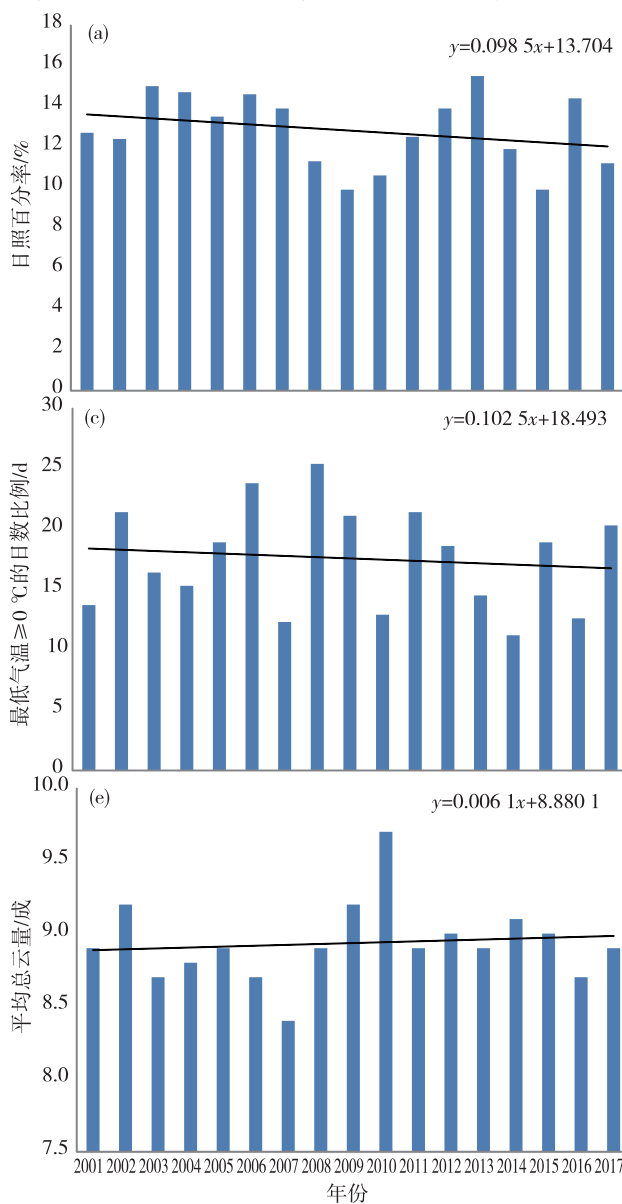
Fig.4 Interannual variation and trend of sunshine duration (a) and its M-K test (b) from 1988 to 2017 in Antarctic Great Wall Station of China

3 影响因子分析

3.1 相关气象要素统计

长城站处在南极高纬度地区,气候环境恶劣,气象要素变化剧烈^[20],对可能影响日照的云量、天气现象、气温和相对湿度等要素进行分析,以期发现它们与日照变化规律的关系。日照时间的变化与许多因子有关:云量、雾、雪、降水等都可能对日照时间产生影响。2001—2017年各要素的年际变化及趋势如图5所示,结果显示,2001—2017年日照百分率(图5a)和日照时间(图5b)是下降的,下降速率分别为 $1\% \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 和 $42.7\text{ h} \cdot (10\text{ a})^{-1}$,最低气温 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的日数减少(图5c),减少速率为 $1\text{ d} \cdot (10\text{ a})^{-1}$,相对湿度(图5d)、平均总云量(图5e)和平均低云量(图5f)均呈增加趋势,雨日比率

减少(图5g),减少速率为 $0.9\% \cdot (10\text{ a})^{-1}$,雪日比率增加(图5h),增加速率为 $2.3\% \cdot (10\text{ a})^{-1}$,吹雪日比率(图5i)和雾日比率(图5j)增加,增加速率分别为 $6.7\% \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 和 $4\% \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 。日照时间与相对湿度的相关系数为 -0.49 ,通过95%的显著性检验,日照时间与平均总云量的相关系数为 -0.61 ,通过99%的显著性检验。日照时间与雨日比率、雪日比率和雾日比率等其他要素的相关分析没有通过显著性检验。这说明南极地区的日照时间主要受总云量影响,因为总云量是决定日照时间变化的重要因子,云的遮挡也是影响日照时间最直接的因素。2000年以后,相对湿度增加,有利于总云量增加,与日照时间减少是对应的。值得注意的是,南极地区的日照时间与低云量的变化并没有明显的关系。



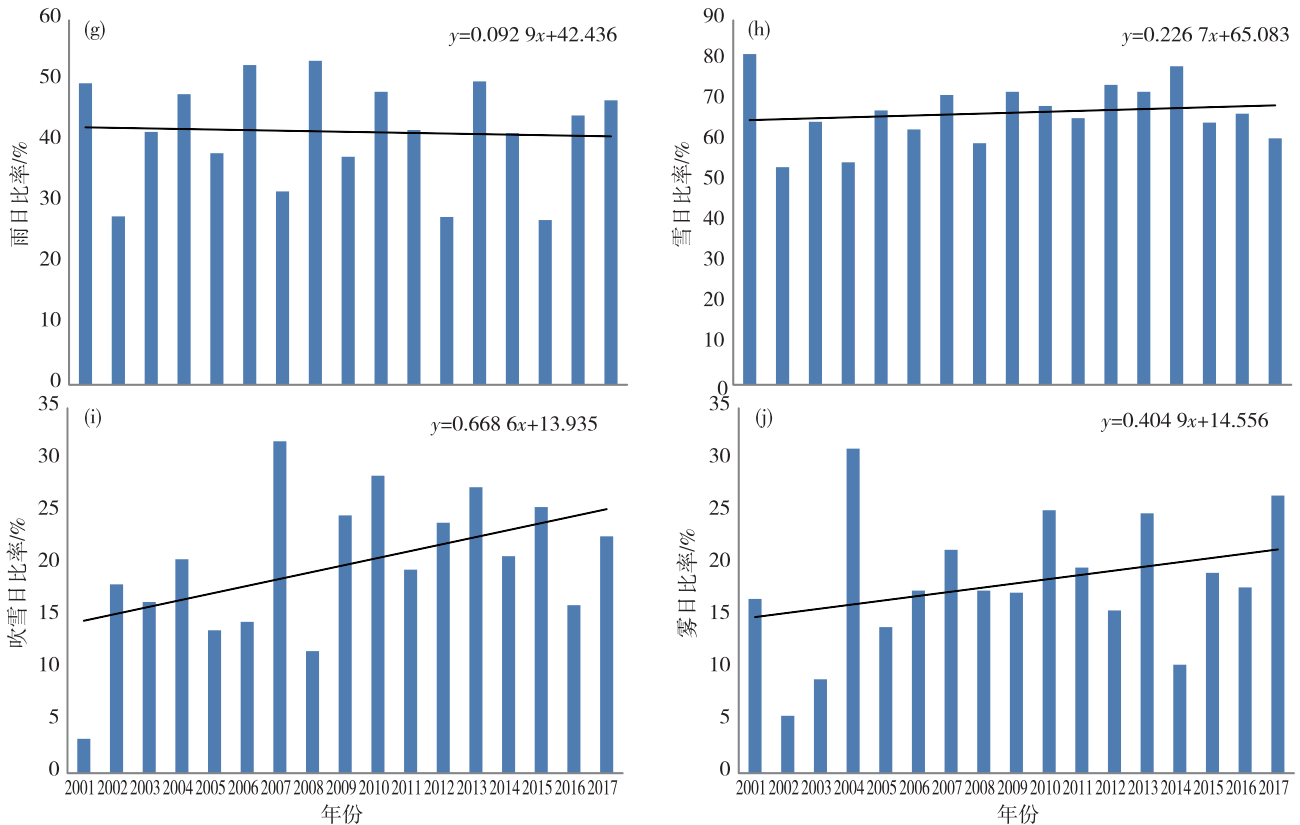


图5 2001—2017年长城站各要素年际变化及趋势(a.日照百分率,单位:%;b.日照时间,单位:h;c.最低气温 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的日数比率,单位:%;d.相对湿度,单位:%;e.平均总云量,单位:成;f.平均低云量,单位:成;g.雨日比率,单位:%;h.雪日比率,单位:%;i.吹雪日比率,单位:%;j.雾日比率,单位:%)

Fig.5 Interannual variation and trend of meteorological elements at the Great Wall Station of China from 2001 to 2017 (a. percentage of sunshine, units: %; b. duration of sunshine, units: h; c. proportion of days when the lowest temperature is greater than or equal to $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, units: %; d. relative humidity, units: %; e. averaged total cloud cover, units: 10%; f. averaged low cloud cover, units: 10%; g. ratio of rainy day, units: %; h. ratio of snow day, units: %; i. ratio of blowing snow day, units: %; j. ratio of fog day, units: %)

3.2 气象要素影响

表1统计了1988—2017年30a平均各月雨、雪、雾和轻雾、最低气温 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 出现的日数,以及月

平均日照百分率、相对湿度、日平均总云量、日平均低云量,逐项分析说明它们与日照百分率的关系。

表1 天气现象、气温、相对湿度、云量和日照百分率统计

Table 1 Statistics of weather phenomena, temperature, relative humidity, cloud cover and percentage of sunshine duration

月份	日照百分率/%	雨日数/d	雪日数/d	雾、轻雾日数/d	吹雪日数/d	最低气温 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 日数/d	月平均相对湿度/%	日平均总云量/成	日平均低云量/成
1	14.5	18.6	13.2	14.1	0.7	17.7	87.8	9.1	7.1
2	13.6	17.7	10.9	14.5	1.0	17.8	88.8	9.0	7.2
3	11.3	17.2	15.5	13.7	2.3	12.4	88.8	8.9	7.4
4	8.5	12.1	20.5	11.1	5.1	4.9	88.6	8.9	7.4
5	6.2	10.7	21.6	11.4	6.5	1.5	89.2	8.6	7.1
6	3.7	8.4	22.9	8.9	10.5	0.2	88.6	8.6	6.9
7	5.4	8.4	24.0	10.8	11.7	0.0	89.9	8.5	6.8
8	9.3	8.1	23.7	11.1	11.9	0.1	89.7	8.7	7.2
9	11.7	9.3	23.8	12.6	10.4	0.2	90.6	8.9	7.2
10	12.6	9.3	23.8	13.7	8.1	0.3	89.8	9.0	7.2

续表

月份	日照百分率/%	雨日数/d	雪日数/d	雾、轻雾日数/d	吹雪日数/d	最低气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 日数/d	月平均相对湿度/%	日平均总云量/成	日平均低云量/成
11	15.1	11.0	21.4	13.7	3.9	1.4	88.6	9.1	7.2
12	15.7	13.1	17.7	12.8	1.7	7.6	87.0	9.1	6.9
1—12	12.1	12.0	19.9	12.4	6.1	5.3	88.9	8.9	7.1

3.2.1 天气现象

雨、雾和轻雾在空中均以液态为主,本文统称为液态现象;雪和吹雪在空中以固态为主,本文统称为固态现象。逐月的液态和固态现象月平均出现的日数如表1所示:

1) 液态降水(雨)月平均出现次数与日照百分率年变化一致,日照百分率高的月份,液态降水(雨)多,日照百分率低的月份,液态降水(雨)少。

2) 固态降水(雪)月平均出现次数与日照百分率年变化相反,日照百分率低的月份,固态降水(雪)多,日照百分率高的月份,固态降水(雪)少。

3) 雾和轻雾说明空中浮游大量微小水滴,日照百分率低的月份,雾和轻雾较少,日照百分率高的月份,雾和轻雾较多。吹雪说明空中有大量雪和冰晶,吹雪月平均出现次数与日照百分率年变化相反,日照百分率低的时候,吹雪出现次数多,日照百分率高的时候,吹雪出现次数少。

液态和固态现象月平均出现日数与日照百分率的年变化如图6所示,液态现象月平均出现日数与日照百分率年变化一致,固态现象月平均出现日数与日照百分率的年变化相反,出现这种现象主要是因为11月—次年2月,日照百分率高,太阳高度角高,气温高(图7),故多出现液态现象。6—8月,

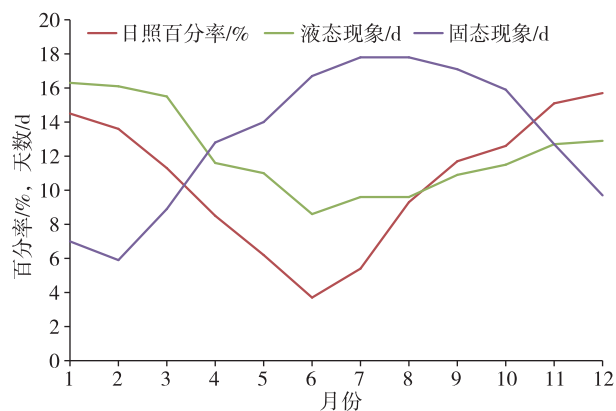


图6 液、固态现象月出现天数与日照百分率逐月变化
Fig.6 Monthly occurrence days of liquid phenomena and solid phenomena, and monthly changes of percentage sunshine duration

日照百分率低,太阳高度角低,气温低,易出现固态现象。

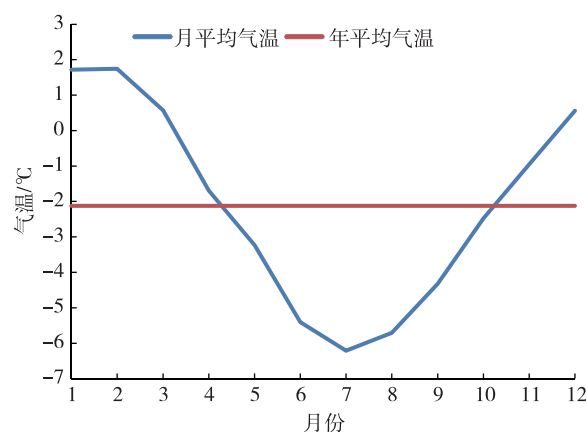


图7 1988—2017年长城站气温(单位:°C)逐月变化
Fig.7 Monthly changes of temperature at Antarctic Great Wall Station of China from 1988 to 2017 (units: °C)

3.2.2 气温和相对湿度

表1显示,长城站各月平均相对湿度均接近90%,全年平均相对湿度高。最低气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的月平均出现日数与日照百分率年变化一致,两者为正相关,即日照百分率低的时候,气温低于 0°C 的天数更多,这就意味着,近地面将有大量的冰晶形成。而近地表空气中冰晶对太阳光线的反射、折射等作用会减少到达地面的太阳直接辐射,导致近地面温度更低,形成更多的冰晶。这种正反馈作用,会显著降低南极冬季的日照百分率和气温。

3.2.3 云量

由表1数据统计可发现,日平均总云量各月均在9成左右,日平均低云量各月均在7成左右,虽然总云量和低云量在6、7月比较少,但是各月份的总云量和低云量并没有太明显的差异。对各月各时段总、低云量在8~10成(阴云)的出现次数进一步统计,为保证日照和云量要素数据统计时间的一致性,根据各月日出日落的时间,1、11、12月统计08、14、20时云量数据,2—4月和9—10月统计08、14时云量数据,5—8月统计14时云量数据。同样可

发现,长城站各月总云量 8~10 成的出现比率在 80%以上,低云量 8~10 成的出现比率在 50%以上。由云量平均值统计,发现长城站全年以阴云天气为主。厚的云层对太阳光线的遮挡,直接减少了有效到达地面的太阳辐射总量。

4 小结

通过对长城站 30 a 的气象数据分析研究,主要得出以下有关南极太阳光照的结论:

1) 由于地理位置的原因,南极日照时间年变化大,日最大日照时间为 19.7 h,最小日照时间为 4.9 h。

2) 年日照时间总量少,年变化明显,日照百分率低,年平均只有 12.1%,太阳光照能量很弱,不适合开展光伏能源利用,极不利于植物生长。

3) 该地区常年以阴云天气为主,云层对太阳光的遮挡降低了日照时间的总量值。2000 年以来南极地区的日照时间主要是受总云量和相对湿度的影响,该时段总云量和相对湿度增加,日照时间减少。

4) 雨、雾、轻雾等液态现象与日照百分率的年变化一致,雪、吹雪等固态现象与日照百分率的年变化正好相反。这说明日照百分率低的时候,固态现象多,液态现象少;日照百分率高的时候,固态现象少,液态现象多。

参考文献:

- [1] 雷杨娜,孙娴,程路,等.气象因子对光伏发电量的影响效应分析[J]. 太阳能,2016(6):33-36.
- [2] 闫全全,李芬,王丽娟,等.不同季节光伏发电量与气象影响因子的诊断分析[J]. 上海电力学院学报,2016,32(3):261-266.
- [3] URBAN G, MIGALA K, PAWLICZEK P. Sunshine duration and its variability in the main ridge of the Karkonosze Mountains in relation to with atmospheric circulation[J]. Theor Appl Climatol, 2018, 131(3/4): 1173-1189.
- [4] POWER H C. Trends in solar radiation over Germany and an assessment of the role of aerosols and sunshine duration [J]. Theor Appl Climatol, 2003, 76(1/2): 47-63.
- [5] KITSARA G, PAPAIOANNOU G, PAPATHANASIOU A, et al. Dimming/brightening in Athens: Trends in sunshine duration, cloud cover and reference evapotranspiration [J]. Water Resour Manag, 2013, 27(6): 1623-1633.
- [6] MATZARAKIS A P, KATSOULIS V D. Sunshine duration hours over the Greek region [J]. Theor Appl Climatol, 2006, 83(1/4): 107-120.
- [7] 肖风劲,张旭光,廖要明,等.中国日照时数时空变化特征及其影响分析[J]. 中国农学通报,2020,36(20): 92-100.
- [8] 李慧群,付遵涛,闻新宇,等.中国地区日照时数近 50 年来的变化特征[J]. 气候与环境研究,2013,18(2): 203-209.
- [9] 杜军,边多,胡军,等.西藏近 35 年日照时数的变化特征及其影响因素[J]. 地理学报,2007,62(5): 492-500.
- [10] KING J C, TURNER J. 南极天气和气候[M]. 张占海等,译.北京:海洋出版社,2007:61.
- [11] 杨溯,石广玉,王标,等.1961~2009 年我国地面太阳辐射变化特征及云对其影响的研究[J]. 大气科学,2013,37(5): 963-970.
- [12] 杨清华,汪孝清,张林.2006 年南极长城站的气象要素特征[J]. 海洋预报,2007,24(4): 55-64.
- [13] 翟兆锋.第十六次南极考察队中山站越冬队极地海洋气象考察报告[J]. 海洋预报,2002,19(2): 47-53.
- [14] 刘志刚,吴丽侠,许淙.关注极地气候:南极长城站 2013 年气象要素特征[J]. 环境与生活,2014(8): 138-139.
- [15] 王多民,杨宗英,李春筱,等.南极中山站极昼期间气象要素变化特征[J]. 冰川冻土,2013,35(5): 1112-1117.
- [16] 张林.第六次南极考察:长城站越冬气象考察报告[J]. 海洋预报,1993,10(2): 40-50.
- [17] 中国气象局.地面气象观测规范[M]. 北京:气象出版社,2003:81.
- [18] 世界气象组织.气象仪器和观测方法指南[M]. 6 版.北京:气象出版社,1996:175.
- [19] 盛裴轩,毛节泰,李建国,等.大气物理学[M]. 北京:北京大学出版社,2003.
- [20] 卞林根.南极气候简介(上)[J]. 气象,1984,10(3): 15-16.