

文章编号: 2096-1618(2022)04-0464-06

南极中山站和长城站日照时数的气候变化特征及其影响因素

武维刚^{1,2}, 董 剑³, 孟凡镭¹

(1. 华山气象站, 陕西 华阴 714200; 2. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 3. 五台山气象站, 山西 忻州 035515)

摘要:为研究南极日照的气候特征和变化趋势, 利用 1990–2020 年南极中山站和 1988–2020 年长城站逐年、月日照、云量等地面气象观测资料, 运用线性趋势分析、Mann-Kendall 检验和 Morlet 小波分析等方法, 分析日照时数的气候变化特征和影响因素。结果表明: 中山站和长城站日照时数年际变化呈波动上升趋势, 但变化趋势不显著。中山站和长城站年日照时数都存在 33 a 左右的长周期变化, 同时中山站 2 a 和长城站 6 a 左右的短周期变化也比较明显。中山站春、秋、冬季日照时数呈增加趋势, 8 月日照时数增加趋势最为显著。长城站夏、秋、冬季日照时数呈增加趋势, 4 月日照时数增加趋势最为显著。云量是影响中山站和长城站日照时数变化的重要因素之一, 日照时数增加与总云量减少有密切关系。

关键词: 大气科学; 气候变化; 日照时数; 南极; 中山站; 长城站

中图分类号: P467

文献标志码: A

doi: 10. 16836/j. cnki. jcuit. 2022. 04. 016

日照是气候变化的主要气象因素之一, 是太阳在一地实际照射的时数, 与人类日常生活及地球各圈层的相互影响密切相关^[1]。一个地方的日照情况一般用日照时数和日照百分率表示。日照时数是指在一定时间, 太阳直接辐照度达到或超过 120 W·m⁻² 的那段时间总和, 以小时为单位^[2]。日照百分率为日照时数与可照时数之比, 也是计算太阳辐射的一个关键因子^[3]。

南极中山站(69°22'S, 76°22'E)位于东南极普里兹湾沿岸的拉斯曼丘陵, 主要受南极大陆地面冷高压影响, 具有湿度小、云量少和日照多的气候特点。长城站(62°13'S, 58°58'W)位于西南极南设得兰群岛乔治王岛, 常年受极地海洋性气候影响, 具有湿度高、云量大和日照少的气候特点^[4]。南极半岛作为过去 50 年中全球变暖最剧烈的地区之一^[5], 南极中山站和长城站常年连续气象观测对于理解南极半岛地区的气候变化有重要意义。近年来, 一些学者对中山站和长城站地区的压、温、湿、风、降水和能见度等短期气候特征进行了研究^[6–13], 卞林根等^[4, 14]、陆龙骅等^[15]对南极地区的辐射和热平衡情况进行了初步分析和研究, 而对南极地区日照变化特征研究较少。日照时数直接影响地表可获得太阳辐射能量的多少, 进而影响其他气象要素和地表通量的空间分布^[16], 因而研究日照时数的

气候特征及变化趋势具有重要意义。本文利用南极中山站和长城站历史气象观测资料, 对比分析中山站和长城站日照时数的年、季、月等气候特征和变化规律, 探究影响日照变化的主要气象因子。

1 资料与方法

资料来源于南极中山气象台和长城气象台, 由中国气象科学研究院提供。资料时长分别为 1990–2020 年和 1988–2020 年, 资料类型包括逐年、月日照、云量、水汽压、相对湿度、降水日数等地面气象观测资料。观测数据按照《地面气象观测规范》要求, 经过严格的质量审核。中山站 2003 年 2 月因计算机硬盘出现故障, 导致部分日照数据缺失。选用线性趋势分析方法研究不同时间尺度日照时数的气候变化特征。利用 Mann-Kendall 检验法(以下简称 M-K 方法)对日照时数进行突变检验^[17]。选用 Morlet 小波分析气象要素时间序列局部变化特征^[18]。文中 9–11 月为春季、12 月至次年 2 月为夏季、3–5 月为秋季、6–8 月为冬季。

2 日照时数气候特征

2.1 日照时数的年际变化

1990–2020 年中山站年平均日照时数为 1651.7 h, 年平均日照百分率为 39%。图 1 给出了 1990–2020

年中山站日照时数年际变化。从图 1 可以看出,中山站日照时数呈增多趋势,这与极昼期间日照时数变化趋势相同^[6],气候倾向率和趋势系数为43.3 h/10 a、4.33,但未通过0.05显著性水平检验。从年代变化来看,20 世纪 90 年代日照时数整体偏少,仅 1991 年、1993 年、1998 年为正距平,距平值分别为 53.5 h、140.2 h、55.3 h。1997 年日照时数达到历年最小值,仅1408.2 h,距平值为-243.5 h。21 世纪初至 2020 年日照时数明显增多,日照时数年际变化波动增强振幅增大,日照时数在 2018 年达到最大,最大值为 2048.9 h,距平值为397.2 h,这与 2018 年出现的降水日数最少有一定的关系。滑动平均曲线表明 2001 年以后日照时数呈缓慢上升趋势。利用 M-K 方法(图 2a)对中山站日照时数进行突变检验,并利用滑动 t 检验方法进行验证,中山站日照时数未发生突变。

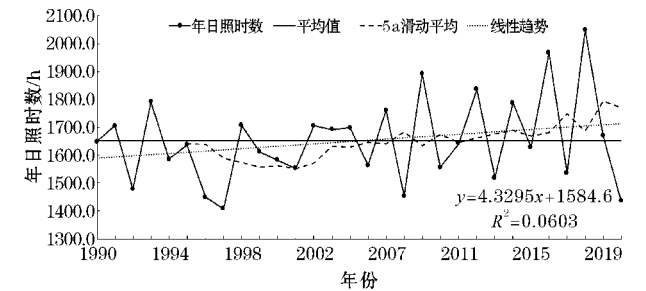
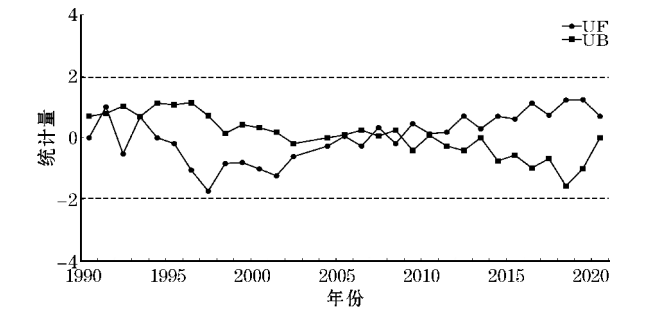
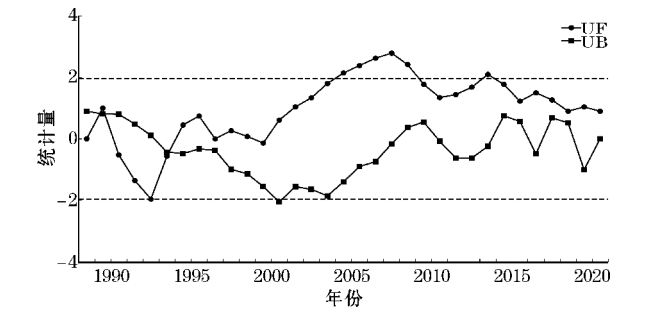


图 1 1990–2020 年中山站日照时数年际变化曲线



(a) 中山站



(b) 长城站

图 2 1990–2020 年中山站和 1988–2020 年长城站年日照时数 M-K 检验

1988–2020 年长城站年平均日照时数为 531.0 h,仅为中山站日照时数的 32%,年平均日照百分率为 12%。1988–2020 年长城站日照时数年际变化如图 3 所示,可以看出,与中山站类似,长城站日照时数也呈

增多趋势,与平均能见度变化趋势相同^[13]。日照时数的气候倾向率和趋势系数为21.0 h/10 a、1.95(未通过0.05显著性水平检验),相比中山站日照时数变化趋势较为缓慢。从年代变化来看,1998 年至 20 世纪 90 年代末长城站日照时数整体偏少,仅 1993 年高于平均值,年日照时数在 1992 年最小,最小值为348.6 h,距平值为-182.4 h。2000–2007 年日照时数显著偏多,均大于平均值,日照时数也在 2000 年达到最大值686.8 h,距平值为155.8 h。从滑动平均曲线来看,2007 年之前长城站日照时数呈上升趋势,2008–2020 年日照时数呈波动下降趋势。M-K 检验发现(图 2b),UF 与 UB 曲线在临界值±1.96之间相交于 1993 年附近,但因长城站数据从 1988 年开始,数据时间短,故无法确定 1993 年是日照时数发生突变的时间。

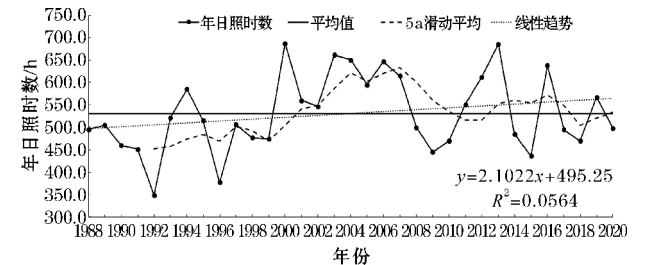


图 3 1988–2020 年长城站日照时数年际变化

可见,中山站和长城站分别处于东西两半球,南北相距 7 个纬距以上,但两地近 30 多年来的日照时数均呈增多趋势,不同的是 21 世纪以来,中山站日照时数年变化振幅呈明显增大趋势,而长城站的日照时数正距平振幅呈增大趋势,负距平振幅呈略微减小趋势。另外,21 世纪初,中山站有连续 3 ~ 4 a(2002–2005 年,2003 年缺测),长城站有连续 8 a(2000–2007 年)日照时数偏多,到达地面的太阳辐射增多。

2.2 日照时数的季节变化

对 1990–2020 年中山站和 1988–2020 年长城站四季日照时数进行统计分析可知,中山站和长城站日照时数具有明显的季节变化特征,平均日照时数夏季(12–2 月)最多,春季(9–11 月)次之,秋季(3–5 月)较少,冬季(6–8 月)最少。中山站春、夏、秋、冬四季平均日照时数分别为 603.7 h、787.4 h、176.1 h、40.3 h,其中春季和夏季日照时数占全年日照时数的 84.2%。中山站 2005 年夏季日照时数最多,为 905 h,1996 年冬季日照时数最少,0 h。长城站春、夏、秋、冬四季平均日照时数分别为 174.9 h、233.7 h、83.9 h、39.6 h,其中春季和夏季日照时数占全年日照时数的 76.9%。长城站日照时数最多出现在 2012 年夏季,为 334.5 h,比中山站少 570.5 h。日照时数最少出现在 2007 年冬季,为 8.3 h,比中山站多 8.3 h。

表 1 给出了 1990–2020 年中山站和 1988–2020 年

长城站四季日照时数的气候倾向率和趋势系数。可以看出,中山站春、秋、冬季日照时数变化趋势与年日照时数变化相同,呈增加趋势。中山站冬季日照时数增加最为显著,气候倾向率为8.0 h/10 a,春季和秋季日照时数增加比较缓和,气候倾向率分别为16.6 h/10 a和11.6 h/10 a。夏季日照时数呈减少趋势,气候倾向率为-51.3 h/10 a。与中山站不同,长城站夏、秋、冬季日照时数呈增加趋势,其中夏季日照时数增加最为明显,气候倾向率分别为20.5 h/10 a。秋季和冬季日照时数增加趋势比较缓和,气候倾向率分别为和7.9 h/10 a和3.0 h/10 a。春季日照时数呈减少趋势,气候倾向率分别为-3.2 h/10 a。显著性检验发现,中山站只有夏季日照时数的变化趋势通过0.01显著性水平检验,冬季日照时数的变化趋势通过0.05显著性水平检验,其他季节未通过显著性检验,说明其日照时数变化趋势不显著。长城站四季日照时数的变化趋势均未通过0.05显著性检验,只有夏季和秋季通过0.1显著性水平检验。从气候变化趋势看,中山站春季日照时数增加最为显著,说明春季日照时数增加对年日照时数增加贡献最大。长城站夏季日照时数增加最为明显,而且夏季日照时数占全年日照时数的比重最大,所以夏季日照时数增加对年日照时数增加贡献最大。

表 1 1990–2020 年中山站和 1988–2020 年长城站四季日照时数的气候倾向率(h/10 a)/趋势系数

站点	春季	夏季	秋季	冬季
中山站	16.6/0.02	-51.3 [*] */-0.06 [*] *	11.6/0.03	8.0 [*] */0.04 [*]
长城站	-3.2/-0.01	20.5/0.04	7.9/0.03	3.0/0.02

注: ^{*}为通过 0.01 显著性检验, ^{*}为通过 0.05 显著性检验, 无 ^{*}为未通过显著检验,下同。

表 2 1990–2020 年中山站和 1988–2020 年长城站 1–12 月日照时数的气候倾向率(h/10 a)和趋势系数

参数	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
中山站倾向率	-8.3	-9.8	6.0	6.6	-1.0			8.7 [*]	3.6	10.1	2.9	-38.1 ^{**}
中山站趋势系数	-0.02	-0.02	0.02	0.04	-0.02			0.04 [*]	0.01	0.03	0.01	-0.06 ^{**}
长城站倾向率	2.4	-1.2	1.7	4.6 ^{**}	1.5	-0.7	1.3	2.5	-1.1	-6.6 [*]	5.4	11.3
长城站趋势系数	0.01	-0.01	0.01	0.05 ^{**}	0.02	-0.01	0.02	0.02	-0.01	-0.04 [*]	0.02	0.03

从气候变化趋势来看,中山站春季 9–11 月日照时数均呈增加趋势。夏季 12–2 月日照时数均呈减小趋势,12 月日照时数减小趋势最显著。秋季 3–4 月日照时数均呈增加趋势,5 月日照时数呈微弱减少趋势。冬季 8 月日照时数呈增加趋势。长城站春季 9–10 月日照时数呈减少趋势,11 月日照时数呈增加趋势。夏季 12–1 月日照时数呈增加趋势,2 月日照时数呈减少趋势。秋季 3–5 月日照时数均呈增加趋势,其中 4 月日照时数增加趋势最为显著。冬季 6 月日照时数呈减少趋势,7–8 月日照时数呈增加趋势。

2.3 日照时数的月际变化

中山站和长城站月日照时数随时间均呈“U”字型,两头多,中间少,日照百分率变化趋势与日照时数的变化趋势基本相同。中山站每年 11 月下旬至次年 1 月中旬为极昼,5 月下旬至 7 月中旬为极夜。中山站 1 月日照时数最多为313.0 h,2 月日照时数迅速减少,6、7 月的日照时数最少,分别为0 h、0.6 h,9 月日照时数开始增多。3–9 月日照时数均小于平均值。长城站日照时数最多出现在 12 月,为92.8 h,6 月的日照时数最少为 5.5 h。从月日照时数的气候倾向率和趋势系数(表 2)来看,中山站 12 月–次年 2 月和 5 月的日照时数均呈减少趋势,12 月的日照时数减少趋势最为显著,气候倾向率为-38.1 h/10 a。3–4 月、8–11 月的日照时数呈增加趋势,8 月的日照时数增加趋势最为显著,气候倾向率为8.7 h/10 a。6 月和 7 月处于极夜期间,故不讨论日照时数变化趋势。长城站 11 月–次年 1 月、3–5 月、7–8 月的日照时数呈增加趋势,其他月份的日照时数呈减少趋势。4 月的日照时数增加趋势最为显著,气候倾向率为4.6 h/10 a。10 月的日照时数减少趋势最为显著,气候倾向率为-6.6 h/10 a。显著性检验发现,中山站 12 月日照时数变化趋势通过0.01 显著性水平检验,8 月通过0.05 显著性水平检验。长城站 4 月的日照时数变化趋势通过0.01 显著性水平检验,10 月通过0.05 显著性水平检验,其他月份的日照时数变化趋势均未通过显著性水平检验,说明其日照时数变化趋势不显著。

3 日照时数周期分析

利用 Morlet 小波方法分析南极中山站和长城站年日照时数的多时间尺度周期变化特征。图 4 中等值线代表日照时数在不同时间尺度振荡的变化,虚线表示日照时数偏少,实线表示日照时数偏多。图的上半部分等值线稀疏,对应较长的尺度周期振荡(低频振荡),而下半部分等值线相对密集,对应较短的尺度周期振荡(高频振荡)^[19]。由图 4 可以看出,中山站和长

城站日照时数存在33 a左右的长周期变化,同时中山站也有较为明显的2 a左右的短周期变化,长城站存在6 a左右的短周期变化。

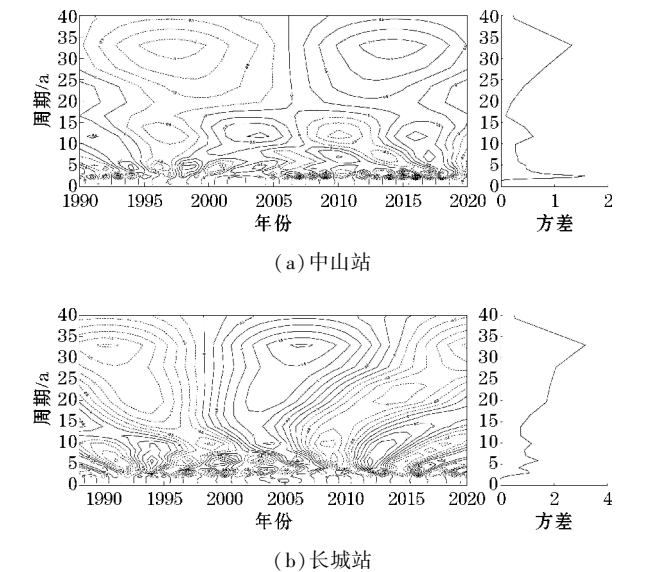


图4 1990–2020年中山站和1988–2020年长城站日照时数 Morlet 小波分析

从33 a周期尺度来看,中山站 20 世纪 90 年代至 21 世纪初日照时数处于偏少时期,2005 年以后日照时数处于偏多时期,但日照时数偏多阶段趋于末尾。长城站 1988 年至 20 世纪 90 年代后期和 21 世纪 10 年代中期至 2020 年日照时数处于偏少时期,20 世纪 90 年代后期至 21 世纪 10 年代前期日照时数偏多。中山站和长城站日照时数在 20 世纪 90 年代日照时数都偏少,进入 21 世纪日照时数都明显偏多。中山站对于 2 a短周期尺度而言,日照时数在偏多期和偏少期交替

变化。长城站对于6 a短周期尺度而言,1988–2020 年日照时数在偏多期和偏少期之间交替变化,2016 年后日照时数处于偏多期,但偏多阶段趋于结束。

4 云量、水汽压、相对湿度与日照时数的相关性

从中山站和长城站年、四季日照时数与云量、水汽压、相对湿度、降水日数的相关性分析来看(表 3),中山站年、春、秋、冬季日照时数与总云量、水汽压和相对湿度呈负相关,也就是总云量、水汽压、相对湿度增加,日照时数减少。云量以及空中水汽等的气溶胶浓度增加都将使大气对太阳光的反射及吸收作用增强,进而减少到达地面的太阳辐射,从而造成日照时数减少^[20]。中山站春季气旋活动频繁,降水日数较多,日照时数还与降水日数呈显著负相关,降水增多,云量增加,日照时数减少。夏季受极昼影响,日照时数与总云量、水汽压、相对湿度和降水日数的相关性不好。冬季受极夜影响,日照时数与总云量相关性不显著。长城站天气复杂多变,常会出现大雾、雨雪、大风、雪暴等恶劣天气现象,晴好天气较少^[21]。长城站年、春、夏、秋季日照时数与总云量呈显著的负相关。夏季气温上升 0℃以上,温度升高、冰雪消融,空中水汽等的气溶胶浓度增加,日照时数与水汽压和相对湿度呈显著负相关。冬季日照时数与总云量、水汽压、相对湿度、降水日数相关性不好。日照时数与总云量、水汽压、相对湿度、降水日数等气象要素的相关性分析表明,日照时数与总云量的关系最密切,呈显著负相关。

表3 中山站和长城站年、四季的日照时数与总云量、水汽压、相对湿度、降水日数的相关系数

气象要素	年	春季	夏季	秋季	冬季
	中山站/长城站	中山站/长城站	中山站/长城站	中山站/长城站	中山站/长城站
总云量	-0.47 **/-0.40 *	-0.49 **/-0.48 **	-0.02 /-0.54 **	-0.49 **/-0.62 **	-0.27/-0.15
水汽压	-0.34/-0.06	-0.43 */-0.10	-0.03/-0.44 *	-0.50 **/0.21	-0.48 **/-0.17
相对湿度	-0.37 */-0.32	-0.38 */-0.32	0.02/-0.66 **	-0.35/0.03	-0.45 */0.13
降水日数	0.06/0.38 *	-0.58 **/0.22	0.11/-0.08	-0.19/-0.21	0.08/0.06

5 日照时数减少的主要原因

南极地区大气透明度极好,气溶胶含量比青藏高原还要低^[4],总云量是影响中山站和长城站日照时数变化的重要因子之一。进一步分析南极中山站和长城站 1–12 月的日照时数、日照百分率与总云量的相关性(表 4),结果表明,日照时数与总云量呈显著负相关,相关系数大多通过了 0.01 显著性水平检验。中山

站日照时数、日照百分率与总云量最大相关系数分别为-0.78和-0.8。受极夜影响 5–7 月中山站日照较少,日照时数、日照百分率与总云量相关性不显著。受极昼影响,12 月日照时数与总云量不相关,1 月日照时数相关系数也只有-0.44。长城站日照时数、日照百分率与总云量相关系数最大为-0.8,通过显著性检验的最小相关系数也有-0.54。长城站虽没有极昼极夜现象,但受地球自转与公转影响,6–7 月日照时数较少,日照时数、日照百分率与总云量相关性不显著。

表 4 中山站和长城站 1-12 月的日照时数、日照百分率与总云量的相关系数

参数	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
中山站日照时数	-0.44 *	-0.78 **	-0.78 **	-0.6 **	-0.07		-0.07	-0.56 **	-0.65 **	-0.66 **	-0.74 **	-0.0
中山站日照百分率	-0.43 *	-0.8 **	-0.78 **	-0.58 **	-0.03		-0.07	-0.58 **	-0.66 **	-0.69 **	-0.75 **	-0.04
长城站日照时数	-0.8 **	-0.69 **	-0.76 **	-0.64 **	-0.54 **	-0.29	-0.19	-0.69 **	-0.75 **	-0.62 **	-0.58 **	-0.75 **
长城站日照百分率	-0.8 **	-0.68 **	-0.76 **	-0.64 **	-0.54 **	-0.29	-0.17	-0.69 **	-0.75 **	-0.63 **	-0.59 **	-0.74 **

表 5 为 1990-2020 年中山站和 1988-2020 年长城站 1-12 月平均总云量的气候倾向率。可以看出,中山站 1-3 月、5 月和 8 月总云量的气候倾向率小于 0.1 成/10 a,总云量比较稳定,变化趋势不明显。1 月、4-5 月和 9 月总云量与日照时数的变化趋势相同,2-3 月、10-12 月总云量与日照时数变化趋势相反。10-11 月总云量减少最为明显,气候倾向率分别为-0.26 成/10 a、-0.27 成/10 a,对应日照时数呈增加趋势,但未通过 0.05 显著性水平检验。长城站 1-4 月、7-11 月总云量的气候倾向率小于 0.1 成/10 a,变化趋势不明显。1 月、3 月、5 月和 9 月总云量与日照时数变化趋势相同,其他月份变化趋势相反。5 月总云量增加趋势最

为明显,但未通过 0.05 显著性水平检验。12 月总云量减小趋势最为显著,气候倾向率为-0.13 成/10 a,对应日照时数增加趋势明显。从表 6 可以看出,中山站春季和夏季平均总云量呈减小趋势,其中春季平均总云量减少趋势明显,气候倾向率为-0.3 成/10 a,对应春季日照时数呈增加趋势。长城站春季、夏季和冬季平均总云量均呈减小趋势,其中夏季总云量减少趋势明显,气候倾向率分别为-0.12 成/10 a,与相应季节日照时数增加呈负相关。秋季总云量呈增加趋势,气候倾向率为 0.12 成/10a。综上所述,中山站和长城站日照时数增加与总云量减少有密切的关系。

表 5 中山站和长城站 1-12 月平均总云量的气候倾向率(成/10 a)和趋势系数

月份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
中山站倾向率	-0.06	0.05	-0.02	0.16	-0.03	0.23	0.27	0.0	0.23	-0.26	-0.27	0.18
中山站趋势系数	-0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.02	0.03	0.00	0.02	-0.03	-0.03	0.02
长城站倾向率	0.03	0.06	0.02	-0.05	0.16	0.1	-0.08	-0.04	-0.04	0.04	-0.04	-0.13 *
长城站趋势系数	0.00	0.01	0.00	-0.01	0.02	0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01

表 6 中山站和长城站四季平均总云量的气候倾向率(成/10 a)/趋势系数

站点	春季	夏季	秋季	冬季
中山站	-0.3/-0.02	-0.08/0.0	0.11/0.01	0.49/0.02
长城站	-0.04/-0.00	-0.12/-0.02	0.12/0.01	-0.01 */-0.00

6 结论

通过对 1990-2020 年中山站和 1988-2020 年长城站日照时数的气候特征、变化趋势和主要影响因素的初步分析,得出如下结论:

(1) 1990-2020 年中山站年平均日照时数为 1651.7 h。1988-2020 年长城站年平均日照时数为 531.0 h,长城站年平均日照时数约为中山站日照时数的 32%。中山站和长城站日照时数存在明显的季节变化,夏季最多,春季次之,秋季较少,冬季最少。中山站和长城站月日照时数随时间均呈“U”字型,两头多,中间少。中山站 1 月日照时数最多,6 月日照时数为 0。长城站 12 月日照时数最多,6 月最少。

(2) 中山站和长城站年际变化呈波动上升趋势,但趋势变化不显著。利用 Morlet 小波分析年日照时数

的周期变化特征,中山站和长城站日照时数都存在 33 a 左右的长周期变化,同时中山站有较为明显 2 a 左右的周期变化,长城站存在 6 a 左右的短周期变化。从气候变化趋势看,中山站春、秋、冬季日照时数呈增加趋势,8 月日照时数增加趋势最为显著。长城站夏、秋、冬季日照时数呈增加趋势,4 月日照时数增加趋势最为显著。

(3) 南极地区气溶胶含量较低,云量是影响日照时数变化的重要因素之一,中山站和长城站日照时数与总云量呈显著的负相关。通过对四季、各月平均总云量和日照时数的变化趋势对比分析得出,南极中山站和长城站日照时数的增加与总云量的减少有密切的关系。

参考文献:

[1] 吴昊旻,姜燕敏,卢钊,等. 1953-2014 年丽水日照时数周期演变规律[J]. 气象科技,2016,44(6):1004-1008.

[2] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京:气象出版社,2003.

[3] 张运林,秦伯强,陈伟民,等. 太湖无锡地区近

- 40a 来日照的变化特征分析[J]. 气象科学, 2003 (2): 231-237.
- [4] 卞林根, 陆龙骅, 逯昌贵, 等. 南极长城站和中山站辐射特征的研究[J]. 应用气象学报, 1998 (2): 33-41.
- [5] Solomon S D, Qin D, Manning M, et al. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[J]. 2013 (2).
- [6] 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.
- [7] 杨清华, 张林, 李春花, 等. 南极中山站气象要素变化特征分析[J]. 海洋通报, 2010, 29(6): 601-607.
- [8] 卞林根, 薛正夫, 逯昌贵, 等. 拉斯曼丘陵的短期气候特征[J]. 极地研究, 1998(1): 40-49.
- [9] 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.
- [10] 杨清华, 张本正, 李明, 等. 2012 年南极长城站气象和海冰特征分析[J]. 极地研究, 2013, 25 (3): 268-277.
- [11] 卞林根, 马永锋, 逯昌贵, 等. 南极长城站 (1985—2008) 和中山站 (1989—2008) 风和降水等要素的气候特征[J]. 极地研究, 2010, 22 (4): 321-333.
- [12] 卞林根, 马永锋, 逯昌贵, 等. 南极长城站 (1985—2008) 和中山站 (1989—2008) 地面温度变化[J]. 极地研究, 2010, 22(1): 1-9.
- [13] 杨清华, 于乐江, 魏立新, 等. 南极长城站能见度变化分析[J]. 极地研究, 2014, 26(3): 336-341.
- [14] 卞林根, 陆龙骅, 贾朋群. 南极拉斯曼丘陵地区紫外辐射的特征[J]. 南极研究, 1996(3): 32-38.
- [15] 陆龙骅, 卞林根, 贾朋群. 南极中山站极夜和极昼期间的辐射特征[J]. 科学通报, 1992 (15): 1388-1391.
- [16] 何彬方, 冯妍, 荀尚培, 等. 安徽省 50 年日照时数的变化特征及影响因素[J]. 自然资源学报, 2009(7): 145-155.
- [17] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 2 版. 北京: 气象出版社, 2007.
- [18] 李茜, 魏凤英, 雷向杰. 1961—2016 年秦岭山区冷季积雪日数变化特征及其影响因子[J]. 冰川冻土, 2020, 42(3): 780-790.
- [19] 刘德, 李永华, 何卷雄. 重庆市夏季气温及降水变化的小波分析[J]. 高原气象, 2003, 22(2): 173-178.
- [20] 沈琪, 曾燕, 肖卉, 等. 江苏省日照时数的气候特征分析[J]. 气象科学, 2007(4): 425-429.
- [21] 马强, 王亚婷, 张翠, 等. 南极长城站气温、风和降水变化特征分析[J]. 陕西气象, 2016(1): 25-28.

Climatic Variation Characteristics and Influencing Factors of Sunshine Duration at Zhongshan Station and Great Wall Station in Antarctica

WU Weigang^{1,2}, DONG Jian³, MENG Fanlei¹

(1. Huashan Meteorological Station, Huayin 714200, China; 2. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 3. Wutaishan Meteorological Station, Xinzhou 035515, China)

Abstract: In order to study the climatic characteristics and variation trend of Antarctic sunshine, based on the annual, monthly sunshine and cloud cover data of Zhongshan Station in Antarctica from 1990 to 2020 and Great Wall Station from 1988 to 2020, the climatic change characteristics and influencing factors of sunshine hours were analyzed by means of linear trend analysis, Mann-Kendall test and Morlet wavelet analysis. The results show that the interannual variation of sunshine duration at Zhongshan station and Great Wall station shows a fluctuating upward trend, but the variation trend is not significant. The annual sunshine duration at Zhongshan station and Great Wall station has a long period change of about 33 years, and it is obvious that the short period changes of about 2 years at Zhongshan station and 6 years at Great Wall station. At Zhongshan station, the sunshine duration increases in spring, autumn and winter, and the sunshine duration increases most significantly in August. The sunshine duration of Great Wall Station increases in summer, autumn and winter, and the increasing trend is the most significant in April. Cloud cover is one of the important factors affecting sunshine duration at Zhongshan station and Great Wall Station, and the increase of sunshine duration is closely related to the decrease of total cloud cover.

Keywords: atmospheric science; climate change; sunshine duration; Antarctica; Zhongshan Station; Great Wall Station