

南极长城站近二十九年气候特征

孙启振^{1,2}, 孟上¹, 马强³, 肖莺⁴

(1. 国家海洋环境预报中心, 北京 100081; 2. 中国海洋大学, 山东 青岛 266100; 3. 宁夏固原市气象局六盘山气象站, 宁夏 固原 756000; 4. 武汉区域气候中心, 湖北 武汉 430074)

摘要: 使用南极长城站常规地面气象观测资料、澳大利亚南极局海冰外缘线资料和NOAA南极涛动指数资料, 对长城站自1986—2014年的气候特征进行了多时间尺度的统计分析。结果表明: 长城站冬季气温有升高的趋势, 升温速率约为 $0.19\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$; 冬季气温与 59°W 经线上海冰外缘线位置的年际变化特征呈显著正相关, 但对于气候平均的海冰外缘线位置月变化比气温滞后约一个月; 夏季气温有降低的趋势, 其他季节总体增暖。长城站的风向主要集中在西北和东南方向; 1986—2014年间长城站年平均风速变化较小, 大风的每年累积日数分布情况与年平均风速变化曲线相似; 春季平均风速较大, 并且约有半数大风风向为西北, 夏季的大风天数少于其他季节。长城站年平均气压呈降低趋势, 其变化与南极涛动指数呈负相关。年平均云量持续增加, 且当风向为东北或西北时总云量较多; 夏季平均总云量最多, 冬季最少。长城站的年平均降水量变化明显, 先减少后增多; 降水量季节变化为秋季降水量最多, 夏季次之, 春季和冬季的降水量较少; 日平均降水量西南风时较少, 东北风时较多。雾的变化特点为春季和夏季雾天较多, 其中1—3月的浓雾日数多于轻雾日数; 大约三分之二有雾天的风向为西北向, 约二分之一的雾出现在风力为3—4级时。

关键词: 南极; 长城站; 气候特征

中图分类号: P468.0 **文献标识码:** A

文章编号: 1003-0239(2016)05-0048-13

1 引言

南极由于其特殊的冰雪属性和地理位置, 在全球气候系统中占有重要地位。南极大陆几乎全部被冰雪覆盖, 其高反照率对全球气温的变化会产生显著的放大作用。早在三十多年前就已有大量研究指出南极多个地区的地面气温有所升高, 尤其是南极半岛, 其升温速率可能高达 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$ ^[1-2]。Comiso等^[3]使用测站资料和卫星红外波段数据研究了南极大陆的升温速率, 发现1954—1998年的测站资料反映出气温存在上升的趋势($0.012\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$), 而1979—1998年的测站资料和卫星红外资料中的气温有下降的趋势($-0.008\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$)。

南极半岛的气温年际变率和长期增暖趋势比

南极其他地区都要显著, 该地区对气候变化的敏感性可能是源于此处海冰与气温的强烈相互作用^[2]。乔治王岛的冰盖对气温变化比较敏感, 据模式计算, 气温降低 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 将可能导致该地区冰盖体积增加10%, 气温升高 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 会使体积减少36%^[4]。Reusch等^[5]分析了西南极的自动气象观测站资料(1979—1993年), 发现多个站点在夏季有明显的升温过程。南极半岛地区表层温度的升高速率在过去50 a比地球上其他地区都要高^[6]。Francisco等^[7]使用测站资料研究了乔治王岛1947—1995年期间的气温变化状况, 发现该地区存在 $0.022\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 的增暖趋势, 且冬季的升温尤为明显, 约为 $0.038\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 。Turner等^[8]使用基于月平均的南极多个站点基本气象观测数据, 得到南极半岛在近50 a有显著升温过程的结论。进一

收稿日期: 2015-07-30

基金项目: 国家自然科学基金(41206185); 南北极环境资源调查专项(CHINARE-2016-02-04)

作者简介: 孙启振(1984-), 男, 助理研究员, 博士在读, 主要从事极地气象研究及预报。E-mail: sunqizhen@nmefc.gov.cn

步研究认为,在西南极的南极半岛地区,与东南极地区的情况截然不同,受到强的西风带影响更加明显,全球变暖使得半岛东面夏季大部分时间气温升高,导致南极半岛90%的冰川发生了退缩和冰架崩塌^[9]。

长城站(62°13'S, 58°58'W)位于南极半岛附近的乔治王岛上(见图1),其气候属于典型的亚南极海洋性气候^[10],近几十年来对于长城站的气候状况,国内已有大量研究。张林^[11]介绍了长城站的天气特征,如气旋活动规律、海雾、降水等情况,对长城站气旋和各天气要素的预报方法做了总结。黄耀荣等^[12]对长城站的晴好天气作了天气学研究,认为其形成是副热带高压南伸与极地高压北扩控制该区的结果。胡胜利^[13]使用长城站20 a的观测资料,对影响长城站天气系统和气象变化特征进行分析,发现长城站存在气温明显增温变暖、降水量减少、大风天数增多等现象。卞林根等^[10,14]研究了长城站的温度、风和降水的气候特征,发现长城站具有明显的气候变暖趋势,且秋季增温速率最大;降水量的年际变化呈减少趋势,气压变化趋势与风速、大风日数的变化倾向基本相同。杨清华等^[15]讨论了南极长城站海雾的特征和形成机制,认为长城站海雾大多为平流冷却雾,高频率的偏北风和南大洋极锋附近显著的经向海温梯度是长城站多海雾的根本原因。许淙等^[16-17]分析研究了长城站海雾的发生背景和天气形势,认为长城站的雾的季节性变化是大气

环流、地面气压场变化的综合结果。杨清华等^[18-19]分析了长城站2012年的气象及海冰特征,发现11月一次年3月能见度较好,6—10月能见度较差。孟上等^[20]根据长城站多年气象观测数据统计分析了该地区与航空飞行相关的气象要素特征和不同季节的天气条件。

上述已有研究多集中于长城站天气预报方法以及气温、海雾等气象要素的短期特征,对多种气象要素长期气候特征的研究尚不够全面,对于各要素之间的相互关联问题也少有阐述。本文利用多种数据,对长城站1986—2014年的气温、气压、风、雾、云量和降水量等关键气象要素进行月、季尺度和年、年代际尺度的统计,并分析多种气象要素之间的关系,以期获得长城站近29 a来的气候变化状况。

2 数据

本文所用实测数据来自南极长城站气象站(WMO区站号89058),其地面气象观测仪器和观测方法按照WMO和中国气象局地面气象观测规范建设和运行^[10]。测站海拔10 m,自动观测要素包括风、气温、湿度、气压、辐射、日照等,采样频率和算法为气温、湿度、气压和辐射6次/min,去掉最大值和最小值后,求算术平均值;风向、风速的采样速率为1次/s,求取3 s、2 min、10 min的滑动平均值;日照采样速率为1次/min。人工观测要素有云、能见度、天气现象、地温和降水量,观测频率为1次/6 h。对该测站气温变化趋势的分析表明该站具有所在区域的代表性^[14],其气象观测资料已成为研究南极半岛气候变化的重要资料。本文气温、气压、风向风速、降水量等要素的月、季节、年平均值由自动观测的每小时正点数据计算得到,云量和雾取自人工观测数据。本文将9—11月划分为春季,12月一次年2月为夏季,3—5月为秋季,6—8月为冬季。

南大洋冬季的海冰覆盖范围可达 $1.9 \times 10^7 \text{ km}^2$,海气之间的热量和气体交换与海冰范围的收缩和扩张、密集度、厚度密切相关。南极的海冰在海洋环流中起到非常重要的作用,而海冰的界线与气候变化密不可分,因此本文在讨论长城站气温时将与海冰外缘线相结合。本文所用的海冰外缘线(Sea

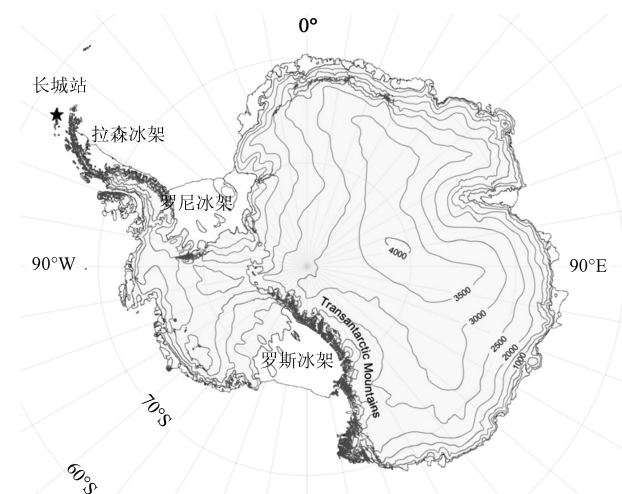


图1 南极长城站的位置
(地图来自澳大利亚南极局南极数据中心)

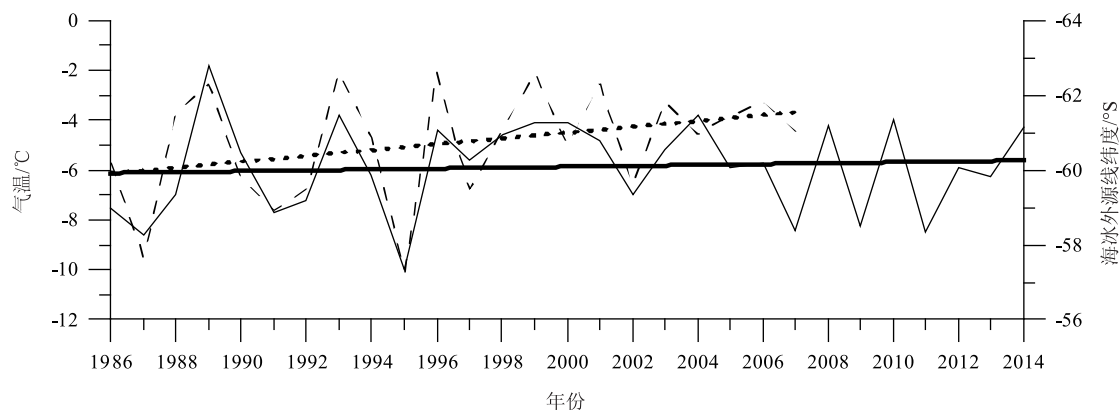


图2 1986—2014年长城站冬季平均气温(实曲线)及1986—2007年59°W经线海冰外缘线的纬度值(虚曲线)
(实直线为气温变化趋势拟合线,虚直线为海冰外缘线纬度值变化趋势拟合线)

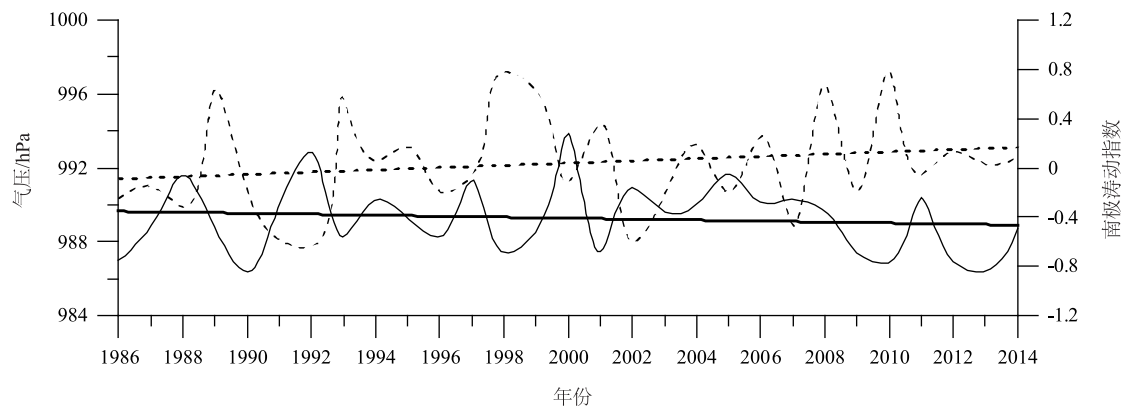


图3 长城站1986—2014年年平均气压及南极涛动指数
(实曲线为气压,虚曲线为南极涛动指数,实直线为气压变化趋势拟合线,虚直线为南极涛动指数变化趋势拟合线)

Ice Extent, SIE)位置数据来自澳大利亚南极数据中心^①, 选用距离长城站最近的59°W经线处海冰外缘线所在纬度的月平均值,该数据集的时间范围为1986—2007年。

南极涛动(Antarctic Oscillation, AO)即南半球环状模,是南半球最显著的大尺度大气活动模态^[21],其强弱反映了南半球中高纬大尺度大气运动的形式与强度变化。当南极涛动加强时,南半球中、高纬西风也加强,可能影响有关海域海水的垂直混合和Ekman漂流作用,使海面温度及气温发生变化^[22]。由于南极涛动可显著影响南极地区的气候状况,因此本文在分析长城站气候时将其加入进来。

本文使用的南极涛动指数(Antarctic Oscillation Index, AOI)月平均数据来自NOAA^②,该指数的计算方式是,对20°S以南区域的700 hPa位势高度异常场进行经验正交分解 EOF,将得到的第一主成分作标准化处理,即得到南极涛动指数。正(负)南极涛动指数代表南半球中高纬度地区出现西(东)风异常^[23]。

3 气候特征

3.1 概况

对于气候变化的研究,最受关注的是气温变

① https://www1.data.antarctica.gov.au/aadc/portal/drill_down.cfm?id=52

② http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/aao/aao.shtml

化。本文分析了自1986—2014年长城站冬季的气温变化趋势,发现该地区冬季升温速率约为 $0.19\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ (图2),可见冬季的气温变化速率小于卞林根等^[10]的年平均气温变化速率($0.27\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$),同时也小于Francisco等^[7]关于南极乔治王岛地区年平均温度变率约为 $0.22\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的分析结果。此外,29 a间长城站冬季平均气温变化存在大约为2—4 a的周期。

伴随着气温的升高,海冰外缘线不断向南收缩,其年际变化特征与冬季气温的变化趋势高度一致(见图2)。在1986—2007年期间,当冬季平均气温偏低,海冰外缘线北扩,其中1987年($-8.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, 57.68°)、1991年($-7.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, 58.93°)、1995年($-10.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 57.28°)和2002年($-7.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, -59.60°)比较有代表性;而当冬季平均气温偏高时,海冰外缘线南缩,如1989年($-1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, -62.31°)。在1986—2007年,海冰外缘线南缩的平均速率为 $0.078^{\circ}/\text{a}$ 。平均来说,长城站冬季平均每升温 $0.57\text{ }^{\circ}\text{C}$,则 59°W 经线上的海冰外缘线向南收缩大约1个纬度。

南极涛动的强弱反映出的大气环流变化是影响气温、降水变化的主要原因,对南半球的气候有重要影响。风速、气温和降水与南极涛动指数密切相关,当南极涛动指数较强时,来自西北方向的气流会偏多,并引起南极半岛及其邻近的西南极和威德尔海海域偏暖^[24]。这种情况下,南极大陆测站的平均海平面气压会有降低趋势^[8],而其气温会有长期的升高趋势^[6]。图3中的南极涛动指数为 20°S 以南区域700 hPa位势高度异常场经验正交分解的主模态结果,可见1986—2014年期间,南极涛动指数

与长城站气压的变化曲线在波动形态上基本呈负相关的趋势,二者年际变化相关系数为 -0.429 ,达到了95%的置信水平。南极涛动指数总体升高,变化趋势为 $0.009\text{ }1/\text{a}$;而长城站的气压在气候态上有所下降,趋势为 -0.026 hPa/a 。

长城站处于南极半岛北端,全年都有西风带气旋过境。南极半岛两侧有面积较大的冰架,冰-海-气的相互作用容易导致中小尺度气旋产生,因此,阴雪天气是当地的主要天气特征。长城站年平均气压呈现降低的趋势,与西风带的气旋活动对长城站的影响逐渐加强有关。1986—2014年的29 a,伴随着气压总体趋势的降低,长城站年平均云量呈增加趋势(拟合直线的上升速率为 0.009),近年来年平均云量已达9成以上(见图4),当地少有晴朗少云的天气出现。

图5表明:1986—2014年间长城站年平均风速变化不大,平均值为 7.28 m/s ,总体有较为平缓的增大趋势。大风的每年累积日数(有风速大于 17.0 m/s 现象的日数)分布情况与年平均风速变化曲线相似。多年平均的大风累积日数为 142 d/a ,其中2001年的大风累积日数最多,达到 226 d 。

近29 a以来,长城站的降水量总体先减少后增多,多年平均降水量为 542.5 mm (见图6)。需要说明的是,长城站气象站的降水量观测方式是用传统雨量筒进行人工器测,即每6 h将雨量筒中液态或固态降水称重,换算成降水量。然而,长城站平均风速较大,常有吹雪和雪暴现象,传统的雨量筒由于没有遮风罩,降水落入雨量筒时会有“飘逸”现

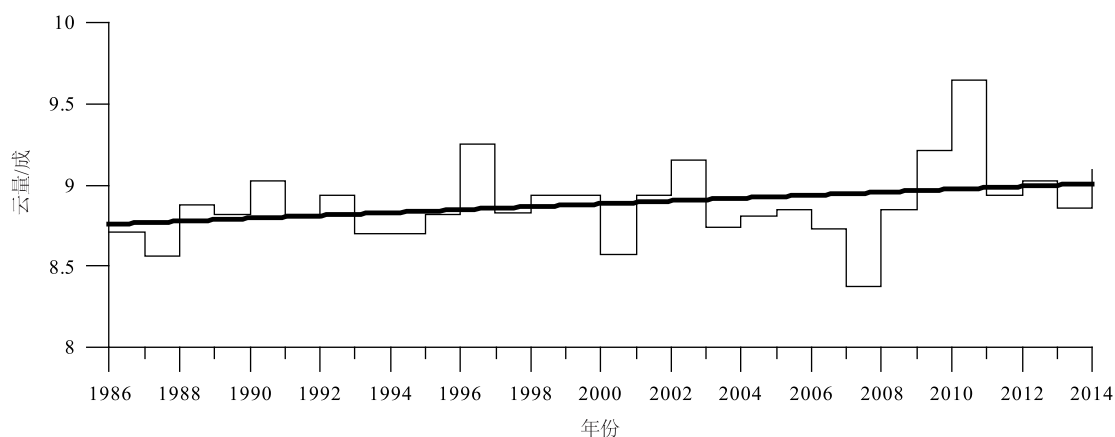


图4 长城站1986—2014年年平均云量(直线为云量变化趋势拟合线)

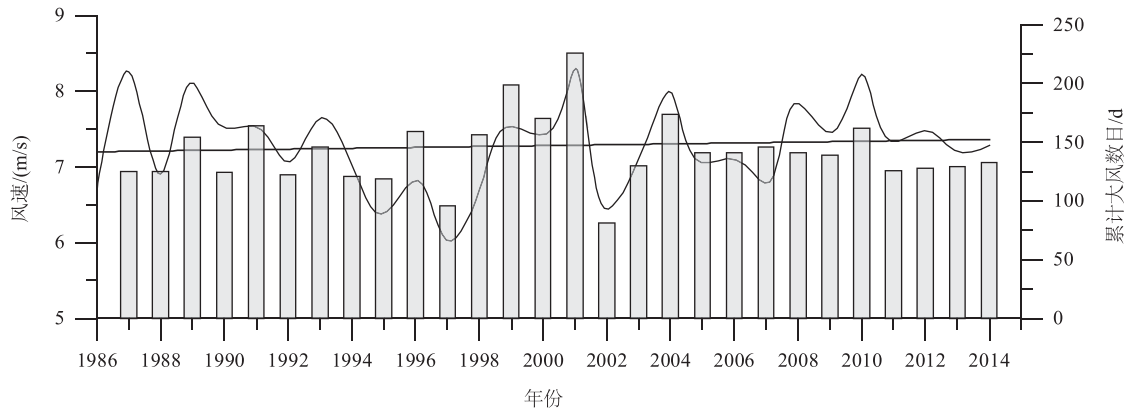


图5 长城站1986—2014年年平均风速(曲线)、年平均风速变化拟合(直线)和累积大风日数(柱形图)

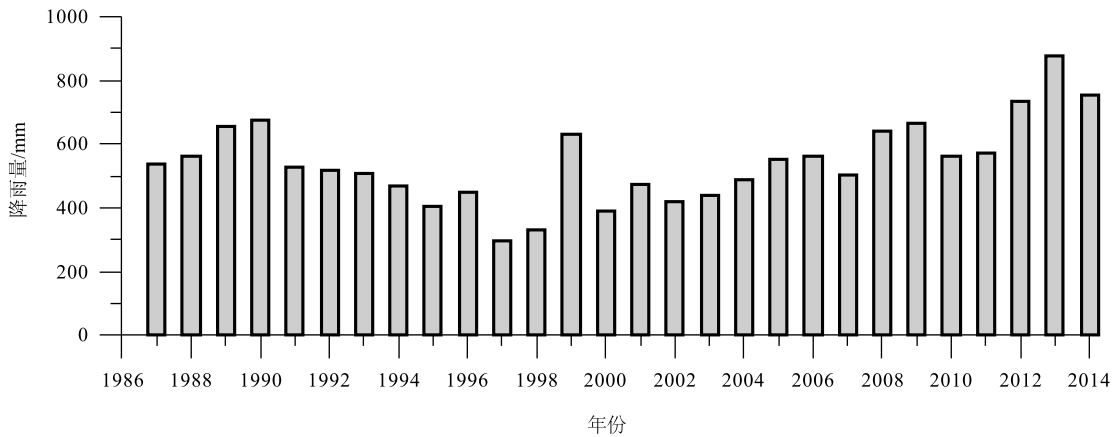


图6 1986—2014年长城站年降水量

象,长时间累积下来,观测到的降水量会比实际降水量偏小。

3.2 年代际和季节的气候特征

为了分析气温与海冰外缘线的关系,图2给出了1986—2014年长城站冬季的平均气温变化趋势。但经研究发现:如果将近29 a划分为1986—1995年、1996—2005年和2006—2014年3个时段(各时段的气温统计数据见表1)则可见1996—2005年10 a的年平均气温稍高,其间的气温波动相对较小,最高年平均气温与最低年平均气温之差仅为12.0℃,总体和过去30 a中全球气温变化趋势一致。总体来说,长城站由于纬度较低,气候相对温和,少有极端低温出现。

由表2可见,相对于其他季节,夏季气温变化幅

表1 长城站1986—2014年气温的年代际特征

年份	平均气温/℃	最低年均气温/℃	最高年均气温/℃	标准差/℃
1986—1995	-2.52	-13.3	2.9	3.58
1996—2005	-1.77	-9.2	2.8	2.90
2006—2014	-2.20	-12.1	2.6	3.20

度最小;29 a间夏季的最低平均气温为0.37℃;气温变化方面呈变冷的趋势,降温幅度0.41℃,其他季节的气温变化趋势均为总体增暖,尤以秋季为甚,共增暖0.77℃;有些年份秋季的平均气温大于0.0℃。冬季是各个年份之间温度变化幅度最大的季节,最高与最低季节平均气温相差达8.17℃,表明长城站地区在近29 a的各个冬季气候有较大波动。总体来看,近29 a长城站的气温升高了约0.37℃。

表2 长城站1986—2014年气温的季节特征

季节	季度平均气温/℃	最低季度平均气温/℃	最高季度平均气温/℃	标准差/℃	气温变化趋势/(℃/10 a)	气温变化幅度/℃
春季	-2.66	-4.33	-0.73	0.85	0.16	0.45
夏季	1.33	0.37	2.13	0.51	-0.15	-0.41
秋季	-1.50	-3.73	0.53	1.07	0.26	0.77
冬季	-5.87	-10.0	-1.83	1.88	0.19	0.55
全年平均	-2.17	-3.39	-0.69	0.77	0.13	0.37

根据人工定时观测的降水量数据,近29 a间,长城站春季和冬季的平均累积降水量几乎相同且相对较少,夏季次之,秋季降水量最多。各季节内降水量的年际波动都很大,不同年份之间的季度平均累积降水量最大值可达最小值的4—5倍。季度最高与最低累积降水量之差在秋季和冬季较高,最高达238.5 mm,从另一方面证实长城站地区29 a来冬季气候有较大波动。

长城站气象站在1986—2001年的风向观测分16个象限,用E、ES等符号记录,自2002年后改为0°—360°的实测记录。为了更精确地显示长城站的风向分布情况,本文只选取2002—2014年的风向观测数据绘制风玫瑰图。图7为2002—2014年日最大风速时的风玫瑰图。为直观理解长城站气候态风向的分布情况,将南美洲、德雷克海峡以及南极半岛地图作为风玫瑰图的底图,风玫瑰图的圆心为长城站所在位置。由图可见长城站气候态风向分布主要集中在西北和东南象限,这也是长城站附近的智利马尔什机场跑道设计为西北—东南向的主要原因。相对于西北象限,长城站风向在东南象限更为集中,多为东—东南风,而且在此风向区间大风频率也较高。这种风向分布特点除了受环流影响之外,还可能与局地地形有关。

根据日最大风速绘制的风玫瑰图的季节分布

表3 长城站1986—2014年降水量的季节特征

季节	季度平均累积降水量/mm	季度最低累积降水量/mm	季度最高累积降水量/mm	标准差/mm
春季	116.48	51.2	224.2	46.42
夏季	137.93	78.5	235.6	36.99
秋季	172.90	73.1	279.7	55.55
冬季	116.74	53.3	291.8	52.28

情况(见表4、图8),可见各季节风向分布形态与多年平均的风向分布形态都较为一致,处于西北和东南象限区间内的比例大致为所有风向的四分之三。各个季节的不同之处在于,春季的西北风较多而东南风较少,夏季的大风出现次数在各个风向内

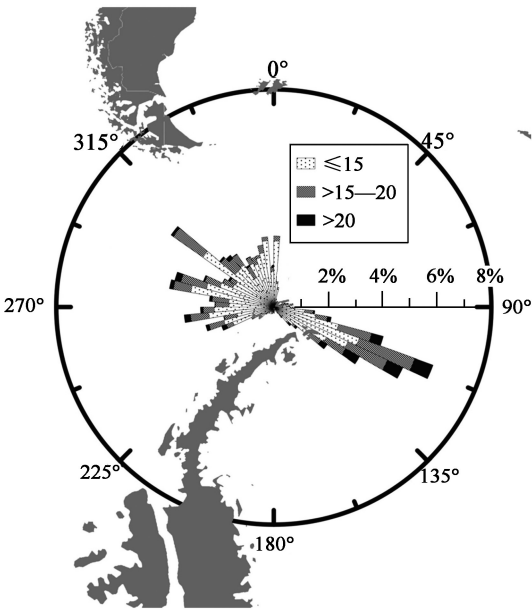


图7 长城站2002—2014年年平均风向玫瑰图
(底图为南美洲、德雷克海峡以及南极半岛地图,风向玫瑰图的圆心位于地图中长城站所在位置)

表4 长城站2002—2014年风向在各季节和各区间的分布

季节	东-北	东-南	西-南	西-北
春季	11.4%	21.1%	15.3%	52.2%
夏季	12.9%	27.1%	11.5%	48.6%
秋季	9.1%	33.6%	10.9%	46.3%
冬季	11.4%	30.4%	14.5%	43.7%
平均	11.2%	28.1%	13.1%	47.7%

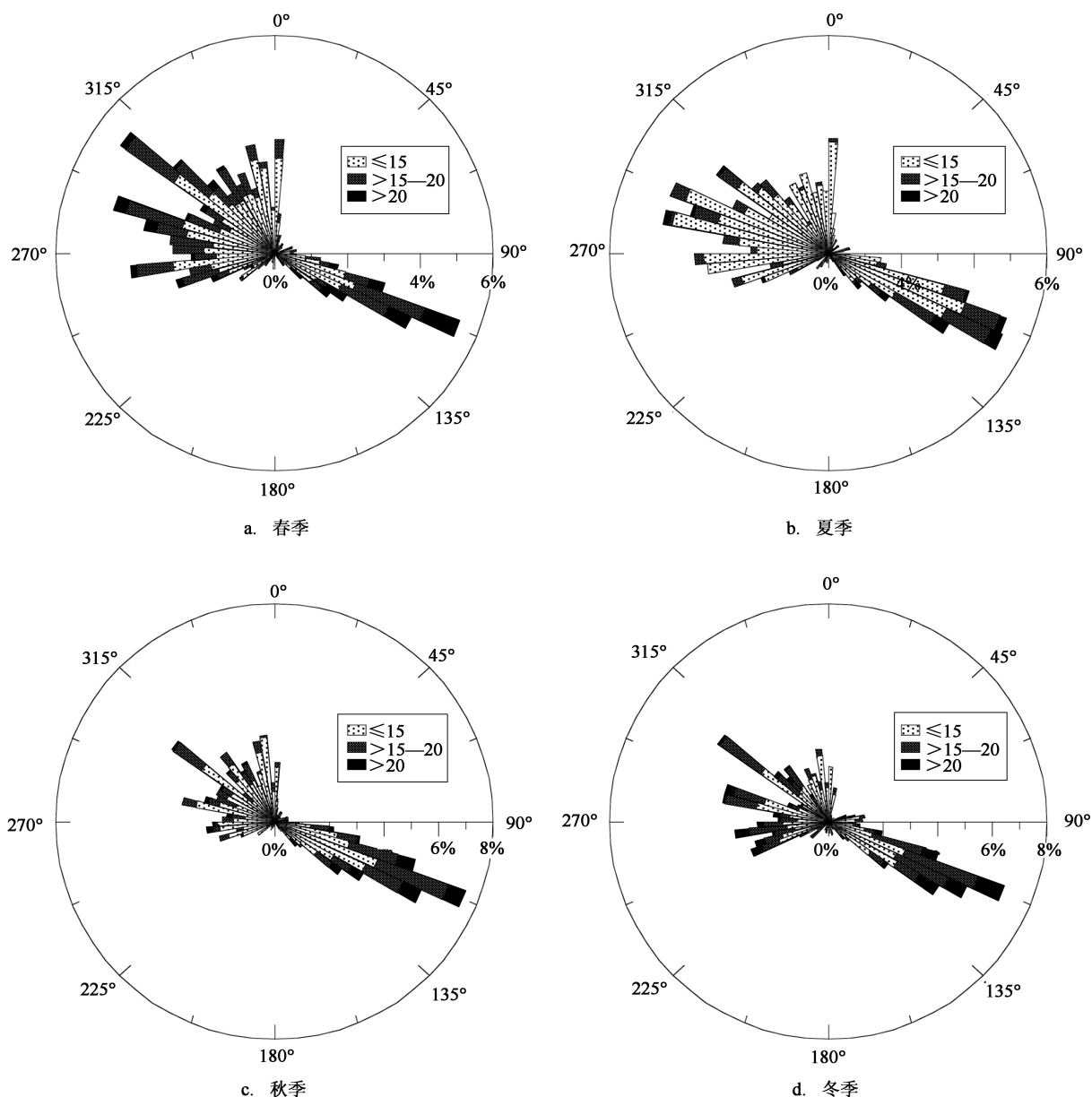


图8 长城站2002—2014年各季节平均风向玫瑰图

相对于其他季节都较少,秋季东南风较多,冬季西北风较少。

长城站近29 a来的月平均气温曲线呈一峰一谷的形态(见图9),7月份为最低值($-6.39\text{ }^{\circ}\text{C}$),2月份为最高值($1.76\text{ }^{\circ}\text{C}$)。1986—2007年 59°W 海冰外缘线所处纬度值的多年月平均曲线也有相似的分布形态,3月开始,伴随气温下降,海冰外缘线逐渐北扩,8月达到最北端;之后随着气温回升,海冰开始消融,外缘线不断南缩;9—11月海冰消融速度最

快,1月海冰达到最小范围,3月之后海冰开始再次冻结增长。由图9可见,海冰外缘线的变化比气温变化滞后约一个月,并且海冰融化的速度快于增长的速度。这说明冬季气温降低时海冰的北向延伸需要一定的时间,而夏季当气温回升以后,海冰的融化同样有所滞后。

图10给出了长城站1986—2014年的月平均风速和大风(风速大于 17.0 m/s)日数的统计情况。由图可见,夏季平均风速较小,1月份平均风速最小,

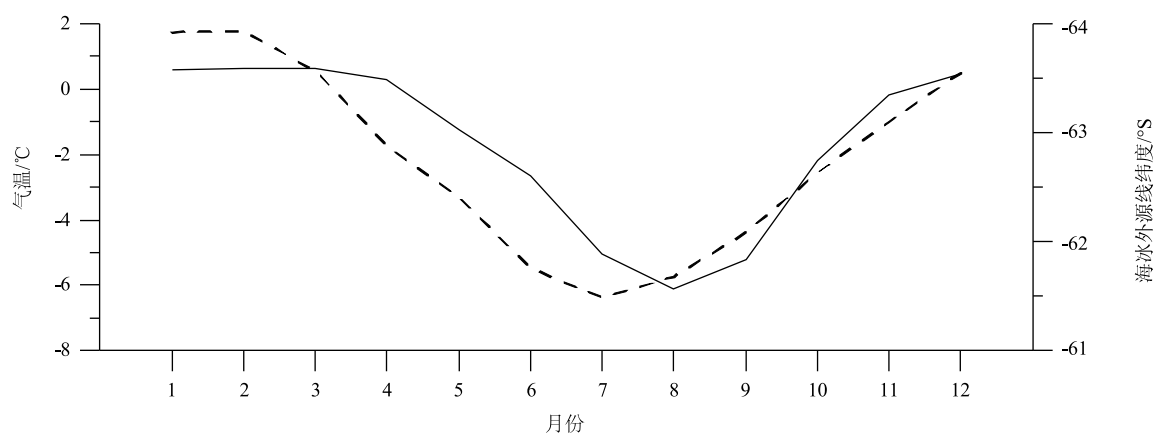


图9 长城站1986—2014年月平均气温(虚线)及1986—2007年59°W经线海冰外缘线的纬度值(实线)

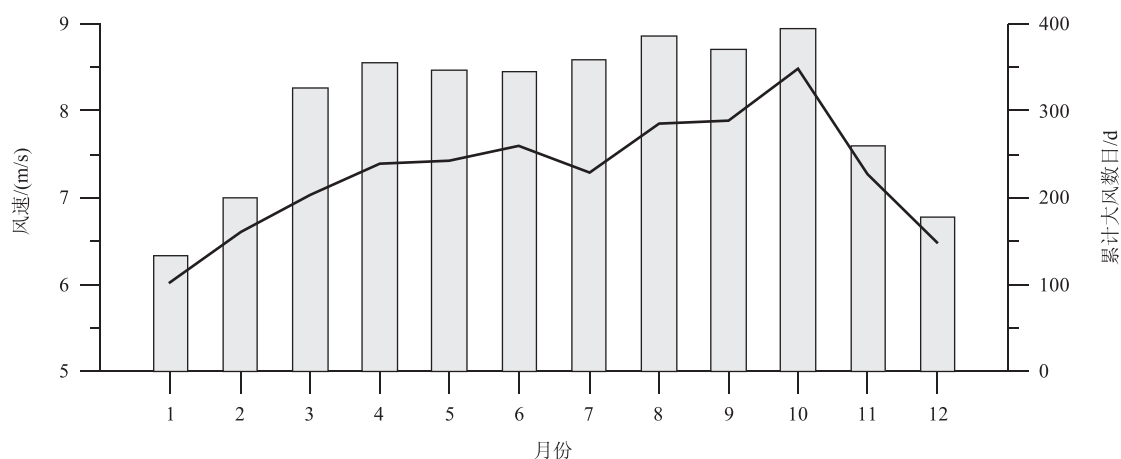


图10 长城站1986—2014年月平均风速(曲线)和累积大风日数(柱形图)

表5 按季节统计的1986—2014年长城站不同风向的大风日数(单位:d)

季节	东-北	东-南	西-南	西-北
春季	112	239	165	505
夏季	53	207	42	209
秋季	87	413	97	431
冬季	124	374	172	421

为6.02 m/s;春季平均风速较大,10月份平均风速最大,为8.48 m/s。除1月、2月和12月外,其他月份的大风日数均较多,平均约为每月12 d。总体来看,长城站地区夏季的气候相对温和。

从月平均气压和降水量变化曲线(见图11)来看,降水量与气压的变化趋势相反,冬季气压偏高,降水量偏低;夏、秋季气压偏低,降水量偏高。5—9

月平均气压较高,10—12月的平均气压较低;3—5月气压上升并维持较高值,直到9月才开始下降;3月降水量最大,之后开始下降,冬季一直偏低,直到9月份有所回升。因此,长城站夏季气候温和时,气旋带来的气压和降水量不具有较强的规律,而在秋冬季节,气旋活动的多寡会带来明显的降水量和气压变化。

极地地区的雾一般分为3类,一是从冷水面吹到临近更冷的冰雪面上形成的平流冷却雾,二是冷空气流向暖水面形成的平流蒸发雾,三是低云下降形成的雾^[25]。为了研究长城站的雾,本文按照风向和季节对雾进行统计分析。

根据气象观测规范,本文将能见度<1 km的雾称为浓雾,将能见度≥1 km但<10 km的雾称为轻雾。图12给出了长城站1986—2014年月累积的

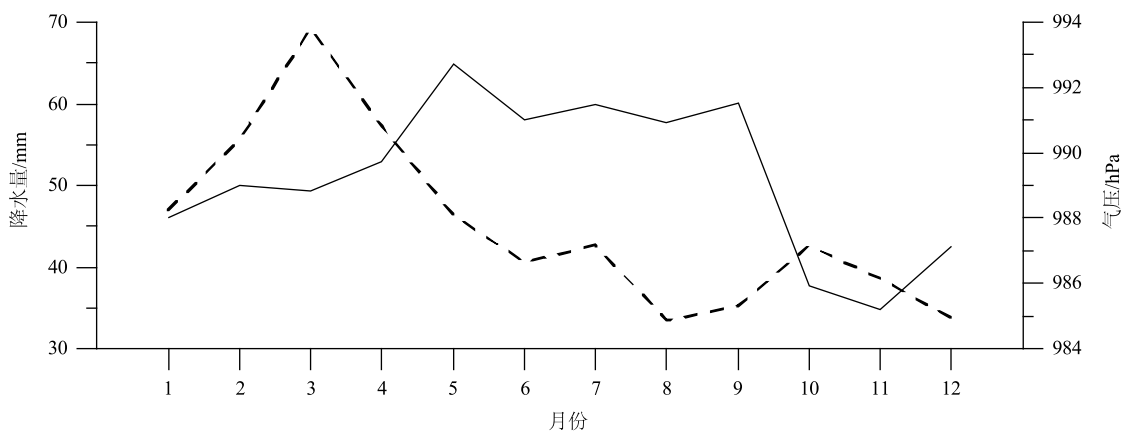


图 11 长城站 1986—2014 年月平均气压(实线)和降水量(虚线)

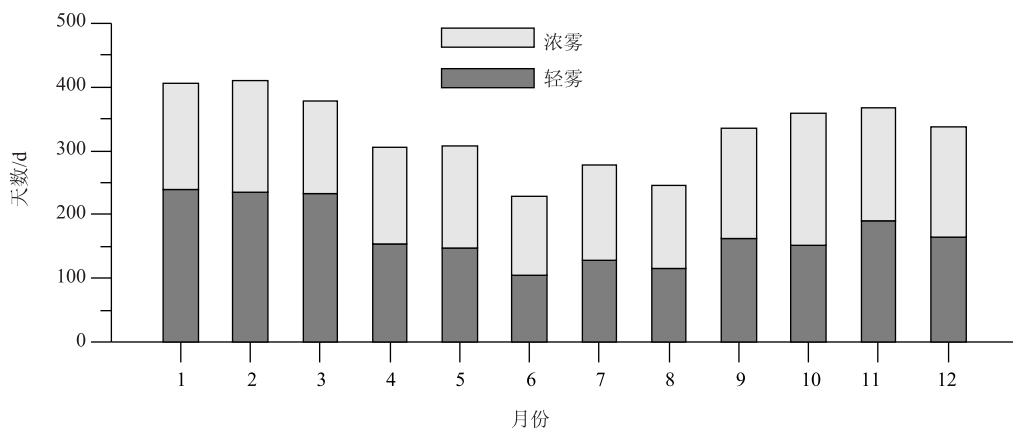


图 12 长城站 1986—2014 年月累积出现雾的日数

表 6 按季节和风向统计的长城站 1986—2014 年雾日数(单位:d)

季节	东-北		东-南		西-南		西-北		合计
	浓雾	轻雾	浓雾	轻雾	浓雾	轻雾	浓雾	轻雾	
春季	79	49	38	77	32	50	356	379	1 060
夏季	95	62	68	98	26	51	450	305	1 155
秋季	52	41	54	130	32	31	393	258	991
冬季	54	41	46	96	22	36	228	228	751
合计	473		607		280		2 597		3 957

出现雾的日数,可见春季和夏季的雾天比较多,其中1月和2月的雾天平均达每月14 d以上,冬季的雾天相对较少,最少的8月份平均只有8.4 d。各月份轻雾和浓雾的出现日数相差不大,但总体来看,1—3月的浓雾日数多于轻雾日数。表6给出不同季节、不同风向时雾日的统计结果。明显可见,大约有三分之二的雾对应处于西北象限的风向,南西南风向时发生的雾最少,此时平均能见度较高。当风向

处于东北象限时,春夏季多为浓雾;东南和西南风向时,各季节的轻雾多于浓雾。

表7给出不同风速下长城站雾的统计情况。约55%的雾出现在风力为3—4级时($3.3\text{ m/s} < \text{风速} < 7.9\text{ m/s}$),5级风以上的雾日数次之,风速小于或等于2级时很少有雾出现。当风力为3—4级时,风向为西北和东北时容易出现浓雾,而风向为东南时则轻雾较多。由此可见,长城站的平流冷却雾占大多

表7 按风速和风向统计的长城站1986—2014年的雾日数(单位:d)

风力/风速 (m/s)	东-北		东-南		西-南		西-北		合计
	浓雾	轻雾	浓雾	轻雾	浓雾	轻雾	浓雾	轻雾	
0—2级/0—3.3	16	10	32	38	10	18	88	66	278
3—4级/3.3—7.9	181	121	110	188	69	88	880	520	2 157
5级及以上/>7.9	83	62	64	175	33	62	459	584	1 522

数,偏北风容易带来暖湿空气,有利于海雾的形成。偏南的冷气流在海面蒸发作用下,使低空水汽压增大至饱和,即产生平流蒸发雾。风力大于5级时,由于浓雾在强风的作用下不易聚集,因此轻雾日数多于浓雾日数。

3.4 云、降水量和能见度的气候特征

根据1986—2014年长城站气象站的观测记录,将湿度、云量、降水量、日照和能见度根据风向和季节分类(见图13),其中1999年5—12月无云量观测记录,因此剔除此时段所有数据。

由图13可知,当东北和西北风向时,各个季节的平均总云量都较多,达9成以上;风向为西南时,平均总云量最少,平均不足8成。另外,夏季的平均总云量都大于其他季节的平均总云量;冬季的总云量比较少,但风向为西南时例外。直接影响当地降水天气的云为低云,各个季节中风向为西南时,低云量最少,平均仅有6成,东北风和西北风时的低云量最多。此外,西南风向的日照时数远远高于其他风向,尤其夏季西南风向的平均日照时间接近5 h;而东北风和西北风时日照相对较少,每天不足1 h。结合总云量数据可知,除秋季外,风向为东北和东南时的高云和中云最多,天气相对较好;风向为西南和西北时各个季节的高云和中云都相对较少。按季节划分,春季和夏季的平均高云量和中云量较多,最高可达2.5成。

从日平均降水量来看,风向为西南时各个季节的日平均降水量比较均衡,且都较少,平均每天仅0.7 mm,这与此风向的平均低云量较少密切相关;东北风时的平均降水量较多,夏季(日均2.4 mm)和秋季(日均2.6 mm)远高于春季和冬季。总体来看,长城站地区秋季的日平均降水量(1.8 mm)都高于其他季节。

长城站地区的平均能见度,夏季均高于其他季节,当风向为西南时(平均21.1 km)尤为显著;冬季

的能见度较小,但在各个风向上较为均衡,平均为13.3 km。当风向为西北时,能见度在各个季节均较低,平均仅为约12 km。

4 结论

本文使用南极长城站常规地面气象观测资料、澳大利亚南极局海冰外缘线资料和NOAA南极涛动指数资料,对长城站自1986—2014年的气候特征进行了多时间尺度的统计分析,得到了长城站最近29 a以来气候状况的综合分析结果。

1986—2014年长城站冬季的气温有升高的趋势,升温速率约为0.19 °C/10a。冬季气温与59°W经线上的海冰外缘线的年际变化趋势高度的一致,但在月尺度上海冰外缘线的进退比气温变化滞后一个月。平均来说,长城站冬季平均每升温0.57 °C,海冰外缘线向南收缩大约1个纬度。根据月平均气温统计结果分析,长城站地区全年三分之一的时间保持较高的气温,夏季气温年变化幅度最小,但有变冷的趋势,29 a共降温0.41 °C;其他3个季节气温变化趋势总体变暖,尤其是秋季共增暖0.77 °C;冬季是年温度变化幅度最大的季节。总体来说,长城站由于所处纬度较低,气候相对温和,近29 a长城站的年平均气温升高了约0.37 °C;气温年代际变化中,1996—2005年这10 a的年平均气温最高。

长城站风向分布主要集中在西北和东南方向。春季西北风较多,东南风较少;夏季的大风出现次数少于其他季节。春季平均风速较大,并且大约一半的大风时,风向为西北;其他季节的大风,风向在西北和东南象限的比例基本相同。1986—2014年间长城站年平均风速比较平稳,平均值为7.28 m/s。年大风日数与年平均风速趋势相似。

长城站最近29 a来年平均气压有降低的趋势,其变化趋势与南极涛动指数呈负相关,其中5—9月平均气压较高,10—12月的平均气压较低。长城站

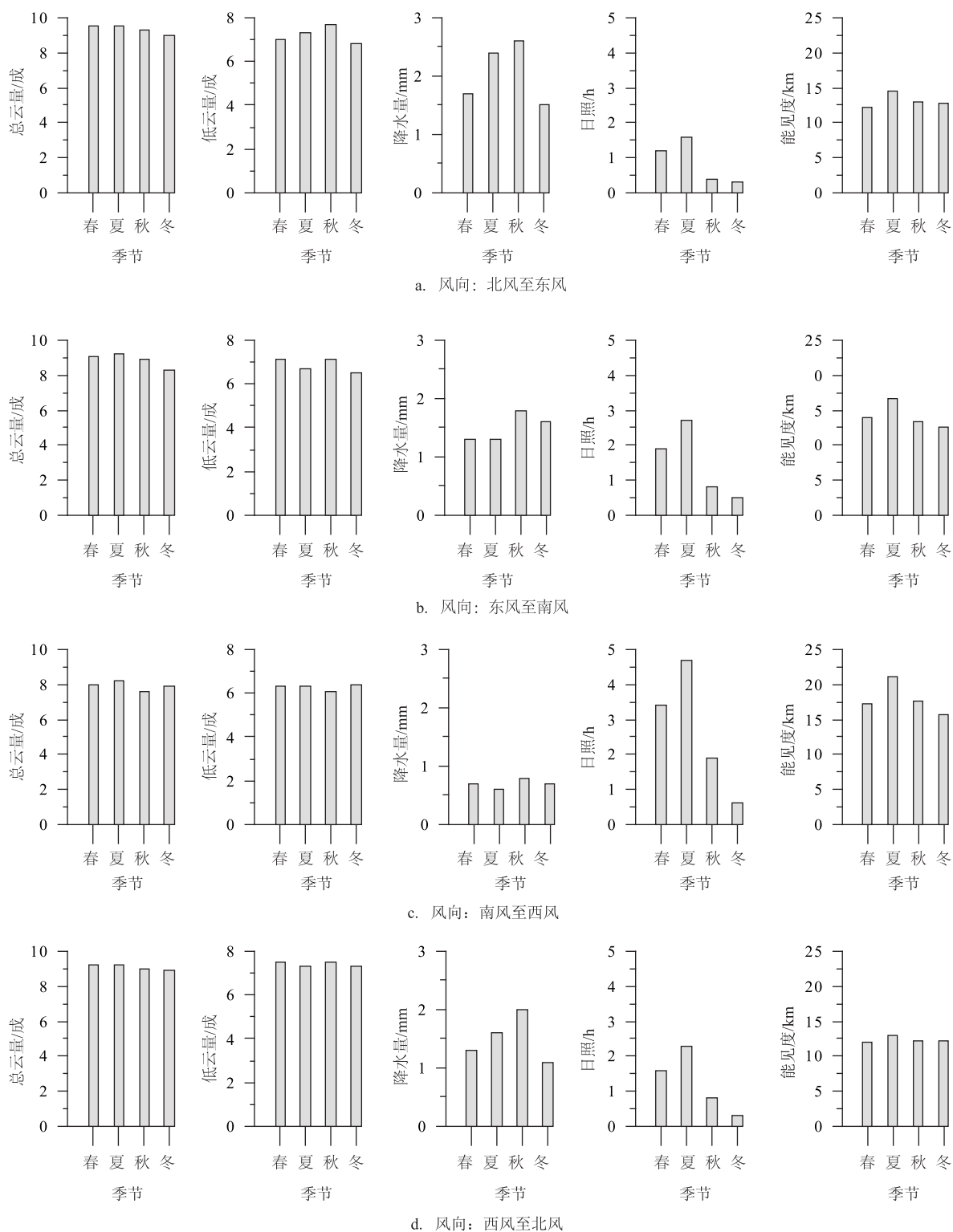


图 13 按季节和风向统计的长城站 1986—2014 年各气象要素特征

年平均云量有所增加,年平均云量已达 9 成以上。当风向为东北和西北时,总云量较多;当风向为西南时,平均总云量和低云量最少。夏季平均总云量

最多,冬季总云量较少;除秋季外,风向为东北和东南时的高云和中云最多。

最近 29 a 来,长城站的降水量总体上先减少后

增多,多年平均降水量为542.5 mm/a。秋季平均累积降水量最多,夏季次之,春季和冬季的降水量几乎相同且相对较少。各季节内降水量的年际变化很大。从月平均趋势看,降水量与气压的变化形态在大多数月份相反。风向为西南时,日平均降水量较少;东北风时平均降水量较多,并且夏季和秋季远高于春季和冬季。

春季和夏季的雾日较多,1—3月浓雾日数多于轻雾日数,冬季的雾日相对较少;约有三分之二的雾出现在风向为西北时,西南风时发生的雾最少;约55%的雾出现在风力为3—4级时,此时西北和东北风时容易出现浓雾,风向为东南时则轻雾较多。能见度在夏季高于其他季节,冬季的能见度较小。

参考文献:

- [1] Raper S C B, Wigley T M L, Mayes P R, et al. Variations in surface air temperatures. Part 3: the Antarctic, 1957-82[J]. *Monthly Weather Review*, 1984, 112(7): 1341-1353.
- [2] King J C. Recent climate variability in the vicinity of the Antarctic peninsula[J]. *International Journal of Climatology*, 1994, 14(4): 357-369.
- [3] Comiso J C. Variability and trends in Antarctic surface temperatures from in situ and satellite infrared measurements[J]. *Journal of Climate*, 2000, 13(10): 1674-1696.
- [4] Knap W H, Oerlemans J, Cadée M. Climate sensitivity of the ice cap of King George Island, South Shetland Islands, Antarctica[J]. *Annals of Glaciology*, 1996, 23: 154-159.
- [5] Reusch D B, Alley R B. A 15-year West Antarctic climatology from six automatic weather station temperature and pressure records[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2004, 109(D4): D04103.
- [6] Schneider D P, Steig E J, van Ommen T D, et al. Antarctic temperatures over the past two centuries from ice cores[J]. *Geophysical Research Letters*, 2006, 33(16): L16707.
- [7] Ferron F A, Simões J C, Aquino F E, et al. Air temperature time series for King George Island, Antarctica[J]. *Pesquisa Antartica Brasileira*, 2004, 4: 155-169.
- [8] Turner J, Colwell S R, Marshall G J, et al. Antarctic climate change during the last 50 years[J]. *International Journal of Climatology*, 2005, 25(3): 279-294.
- [9] Turner J, Bindshadler R, Convey P, et al. Antarctic climate change and the environment[M]. Cambridge: SCAR, 2009.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 黄耀荣, 许淙, 张海影, 等. 西南极长城站地区晴好天气研究[J]. *极地研究*, 2000, 12(3): 203-210.
- [13] 胡胜利. 南极长城站20年来天气温度及降水变化特征[J]. *海洋预报*, 2005, 22(S): 77-80.
- [14] 卞林根, 马永锋, 逯昌贵, 陆龙骅. 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.
- [15] 杨清华, 张林, 薛振和, 等. 南极长城站海雾特征分析[J]. *极地研究*, 2007, 19(2): 111-120.
- [16] 许淙, 杨清华, 薛振和. 南极长城站夏季海雾预报的初步研究[J]. *自然灾害学报*, 2011, 20(6): 112-116.
- [17] 许淙, 杨清华, 薛振和. 南极长城站海雾形成的气候背景及天气形势分析[J]. *极地研究*, 2010, 22(1): 42-47.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 孟上, 刘志刚, 许淙, 等. 南极长城站地区机场气象环境分析[J]. *海洋预报*, 2014, 31(4): 63-67.
- [21] Sinclair M R, Renwick J A, Kidson J W. Low-frequency variability of Southern Hemisphere sea level pressure and weather system activity[J]. *Monthly Weather Review*, 1997, 125(10): 2531-2543.
- [22] 龚道溢, 王绍武. 南极涛动[J]. *科学通报*, 1998, 43(3): 296-301.
- [23] 宋洁, 李崇银. 南极涛动和北半球大气环流异常的联系[J]. *大气科学*, 2009, 33(4): 847-858.
- [24] van den Broeke M R, van Lipzig N P M. Changes in Antarctic temperature, wind and precipitation in response to the Antarctic Oscillation[J]. *Annals of Glaciology*, 2004, 39(1): 119-126.
- [25] 王彬华. 海雾[M]. 北京: 海洋出版社, 1983.

Climatic characteristics in the past 29 years at the Great Wall Station, Antarctic

SUN Qi-zhen^{1,2}, MENG Shang¹, MA Qiang³, XIAO Ying⁴

(1. National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing 100081 China; 2. Ocean University of China, Qingdao 266100 China;

3. Liupanshan weather station, Guyuan Bureau of Meteorology, Guyuan 756000 China;

4. Wuhan Regional Climate Center, Wuhan 430074 China)

Abstract: A statistical analysis of multiple-time-scale climatic characteristics at the Great Wall Station from 1986 to 2014 were explored based on the Meteorological observation data at the Antarctic Great Wall Station, outer line of sea ice data from the Australian Antarctic Division and the Antarctic Oscillation index data from NOAA. The results showed that: the winter time temperatures at the Great Wall Station tended to increase at a rate of about 0.19°C/10 a, and had a significant positive correlation with the sea ice outer line annual trends at the northern boundary of the 59°W, while the monthly changes of the sea ice had a one-month delay comparing to the temperature. The temperature was decreasing in summers and increasing in other seasons. The prevailing winds at the Great Wall Station mainly came from northwest and southeast. From 1986 to 2014, the annual average wind speed at the Great Wall Station remained relatively stable, and had a similar tendency comparing to the number of windy days. The average wind speed in spring was large and about half gale winds came from northwest, and windy days in summer were less than that in other seasons. The annual mean surface air pressure at the Great Wall Station was decreasing; and was negatively correlated with the Antarctic Oscillation Index. The annual mean cloud amount continued to increase, and was largest when the wind came from northeast or northwest; Seasonally speaking, it was relative larger in summer and smaller in winter. The annual mean precipitation at the Great Wall station changed significantly: firstly decrease and then increase. The seasonal precipitation was the highest in autumn, followed by summer, and lowest in spring and winter; daily average precipitation was lowest with southwest wind and highest with northeast wind. Spring and summer experienced more fog days than other seasons. Days of thick fog were more than that of light fog from January to March; about two-thirds of the days of fog experienced winds from northwest and roughly half of fog appeared with the wind of Beaufort scale 3 to 4.

Key words: Antarctic; Great Wall Station; climatic characteristics