

中国极地大气科学观测工程

陆龙骅, 卞林根

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

[摘要] 极地位于地球南北两端,是全球变化研究的关键地区,要了解全球变化,特别是全球气候变化,必须对极地有所研究。我国的南极和北极实地科学考察研究,分别始于20世纪80年代和90年代。作为国家行为,到2011年年底,组织了28次南极考察、4次北冰洋考察和8次北极陆地考察;在南北极建立了4个科学考察站,6个自动气象站;形成了以有人考察站、无人自动气象站和“雪龙”号破冰科学考察船为主体的极地科学考察研究硬件支撑体系。在此过程中初步建成了包括常规气象业务、准业务和短期考察在内的中国极地大气科学观测工程体系;该技术系统所获科学数据已在我国极地科学研究中广泛应用,并在国内外产生了重大影响。

[关键词] 南极;北极;大气科学;观测工程

[中图分类号] P461 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2012)09-0072-13

1 前言

极地位于地球南北两端,是多个国际科学计划研究全球气候变化的关键地区,在全球变化,尤其是全球及区域气候变化中有重要作用。极地是全球大气研究计划(GARP)、世界气候研究计划(WCRP)及国际岩石圈生物圈计划(IGBP)等研究全球变化的关键地区^[1-3];政府间气候变化委员会(IPCC)的历次报告也都对极地给予了足够的重视^[4]。极地由南极和北极地区两部分组成,其中南极地区位于60°S以南,包括南极大陆、亚南极岛屿和环绕南极大陆的南大洋,是一块被海洋包围的冰雪大陆;而北极地区,通常指北极圈(66°33'N)以北地区,包括北冰洋、边缘陆地海岸带及岛屿,是一片被大陆包围的冰雪海洋。南北极所处的特殊地理位置及其特有的生态和环境,突出了极地在全球变化研究中的作用与地位^[3]。在地球气候系统中,大气圈、海洋圈、冰冻圈、岩石圈和生物圈等各圈层是相互作用和影

响的统一整体,极地包含了五大圈层相互作用的全部过程,要了解全球变化,必须对极地有所研究。

大气是人类不可缺少的生存环境。大气科学是一门研究整个大气性质、结构和运动的学科,包括气象学、气候学、大气物理学和大气化学等分支。极地大气科学考察研究,历来是极地科学研究的重要组成部分,对极地大气和环境变化的监测和研究也是全球变化研究的重要内容^[5]。

我国的南极和北极实地科学考察研究,分别开始于20世纪80年代和90年代。作为国家行为,到2011年年底,组织了28次南极考察、4次北冰洋考察和8次北极陆地考察;在南北极建立了4个科学考察站,6个自动气象站;初步形成了以有人考察站、无人自动气象站和“雪龙”号破冰科学考察船为主体的极地科学考察研究硬件支撑体系^[6-8]。中国气象科学研究院、国家海洋环境预报中心和中国科学院大气物理研究所等单位的300余人次的气象人员参加了这些考察^[9]。在此过程中也逐步形成

[收稿日期] 2012-06-25

[基金项目] 国家自然科学基金面上项目(41076132);“十二五”国家海洋局“南北极环境综合考察与评估”专项(CHINARE2011-2015)

[作者简介] 陆龙骅(1942—),男,江苏无锡市人,研究员,研究方向为青藏高原、极地大气科学考察研究和全球变化研究;

E-mail: lulonghua@cma.cma.gov.cn

和完善了包括常规业务、准业务、短期大气科学考察站和大气科学观测系统在内的中国极地大气科学观测工程体系;该技术系统所获科学数据已在我国极地科学研究中广泛应用,并在国内外产生了重大影响。

2 极地大气科学观测的重要性

极地是地球大气的主要冷源,是全球气候系统的重要驱动源,在全球大气环流和天气气候形成,南北两半球热量、动量和水分的交换中起重要作用,对全球气候变化也有强烈的响应与反馈作用。要了解地球的气候变化,就必须对极地太阳辐射和热量平衡特征、极地各圈层之间的相互作用过程、以及极地对全球气候环境的相互作用和影响等进行深入的研究。

海洋是驱动大气能量的主要供应者和调节器,极地大洋环流和海冰变化与极地大气环境有密切关系,在全球能量平衡中起重要作用。北大西洋和南大洋是世界大洋中层水和底层水的主要源地,也是全球海洋大输送带的驱动器之一。极地冷水通过沉降从海底向较低纬度地区输送,因海水温度、盐度不同而形成的全球“温-盐环流”,对全球各大洋的热量和气体交换起重要作用。极地海冰是极区季节变化最大的下垫面特征,极地海冰覆盖状态的变化严重地影响着海冰区的能量收支和海洋-大气之间的热交换,影响全球大洋的温-盐环流,并对全球的天气和气候发生重大影响。

随着“京都协议”的签订,自然界温室气体 CO₂ 的源汇分布,不仅是国际学术界的一个前沿领域,也成了各国政治家们争论的热门话题。两极海区是全球碳循环的主要汇区,也是全球变化中的重要反馈窗口。南大洋是地球上大洋中层水和底层水的主要源地,也是全球三大高营养盐低叶绿素(HNLC)区域之一,如果其“生物泵”得以充分运转,将对全球碳循环产生极大的影响。由于极区海域各不相同的生物地球化学亚系统对碳循环的作用各不相同,构成了极区碳循环的复杂性和敏感性,地球系统的微小扰动,均可能使极区海洋对大气 CO₂ 正常源/汇的状况产生干扰。在全球变化背景下,研究海冰和海洋变化对极区碳循环的影响具有重要意义。

冰雪圈的大部分地区在极地,是气候系统的重要组成部分,它与大气和海洋的相互作用,尤其是反馈机制,对气候变化、大气和海洋环流有重要影响。南极大陆 98% 以上地区被冰盖、冰架和终年不化的

积雪所覆盖,平均厚度 2 000 m,加上周围海域的海冰,形成了一个名副其实的冰雪大陆,储存了全球冰雪总量 90% 以上,具有能使全球海平面升高 60 m 的水量;在北极地区,北冰洋及其周围陆地,被冰雪覆盖的时间也很长,其中格陵兰冰盖也具有能使全球海平面升高 6 m 的水量^[6]。就气候变化而言,南极大陆是地球上“惯性”最大的地区,南极冰盖,特别是东南极冰盖,物质平衡和变化趋势的监测和研究,对研究全球温室效应的增温作用及海平面变化有重要意义。冰盖变化对全球海平面高度有明显的影响,会直接影响到海岸线附近和地势低洼地带的居民生活。在全球变暖的大背景下,近年来,南北极地区的海冰也发生了一系列变化,特别是在北极海冰范围减少、厚度变薄的同时,南极海冰却有相反的变化,其指示意义,不可忽视。

极地冰盖及海相和湖相的沉积物中,保留着地球大气地质时期和历史时期气候变化的详细记录,是获取极地气候代用资料的载体。极地冰芯中的气候环境记录,具有信息量大、保真度好、分辨率高和时间尺度范围大等特点,更是研究过去全球变化的主要依据。根据对南极东方站和 DOME-C 冰芯同位素、气泡成分及微量物质的研究,科学家就获得了近 42 万年和近 74 万年以来南极地区温度和 CO₂ 等痕量气体浓度变化的资料;用生物地球化学等方法,通过对南极企鹅粪、海豹毛等沉积物中元素的分析,能了解近几千年企鹅、海豹数量的变化,并揭示企鹅、海豹种群与南极环境和温度变化的关系。

南极和北极是影响全球气候变化的敏感地区之一,极地气候和大气环境变化是全球气候变化的指示器,对我国天气气候及国民经济的可持续发展都会产生影响。南极是地球的“冷极”、“风极”和“白色沙漠”,南极和亚南极环境的各种参数对全球变化十分敏感。全球大气是一个统一的整体,来自南半球的冷空气活动对北半球的大气环流和天气、气候也会发生影响。例如,在南极和北极,中心地区和外围地区的气压,存在着人们称之为“涛动”的,像“翘翘板”一样的相反的变化。在南半球有“南方涛动”、“南极涛动”、“南极海冰涛动”等;在北半球有“北大西洋涛动”、“北太平洋涛动”、“北极涛动”等。这些“涛动”的活动及其异常对全球大气环流都会发生影响,也必然会影响到中国的天气气候。南极或北极冷暖和海冰状况,也可能对我国夏季灾害性天气产生影响,极地气候和大气环境变化对我国

天气气候影响的研究,将为寻找影响我国短期气候的强预测信号提供参考依据。南北极气象研究为南北两半球的天气预报也提供了实质性数据。

除气候外,极地对天气也会发生影响。早在 20 世纪 30 年代,李宪之先生利用极为稀少的气象资料,就做出了“侵袭东亚的强冷空气可以穿过赤道到达印尼和澳大利亚,并在那里形成特大暴雨”及“北半球西太平洋台风的生成与南半球强寒潮侵袭有关”的大胆论断^[5,6],这些结论已被近代气象观测资料和数值模拟结果所证实。我国位于北半球,人们对来自北极地区的冷空气活动的影响都有亲身体会,冬季来自北极地区的冷空气对我国天气的影响早已为人们熟知,对我国造成灾害的旱、涝、风、雹等天气气候事件也大多与冷、暖空气及其活动异常有关。2008 年春我国南方出现的低温雨雪冰冻灾害,就与北极极涡位置偏在东半球,导致在东亚地区冷空气活动频繁,路径偏西,以及来自青藏高原南侧和西太平洋的暖湿空气活跃等有关。

极地,尤其南极,是目前全球受人类活动影响和环境污染最少的地区。极地大气化学特征、大气本底环境的分析和研究,对了解人类活动与全球环境变化的关系、人类活动对全球环境变化影响程度有重要的意义,也能为各国政府制定与全球环境变化有关的政策提供参考依据。对极地温度和极地冰雪范围的监测及对冰原稳定性的研究能为判断“温室效应”的影响程度提供依据;开展大气臭氧变化规律和氟里昂等气体向两极输送过程的研究将为认识

“南极臭氧洞”产生机理、揭示人类活动对臭氧层破坏的影响程度提供线索。极地是我们观测和研究人类活动对地球变化影响独一无二的理想场所,是对全球变暖、大气臭氧减少、海平面变化等全球环境现象进行检测的天然实验室。

极地是地理和地磁极点所在地,是研究与日-地有关的各种地球和大气物理现象及来自我们星系以外的宇宙射线的最好场所。极区最适宜进行有关电离层、磁层、平流层-对流层特性及相互作用的探测研究,也可进行太阳活动及其长期变化对中低层大气活动影响和极区天气气候变化对太阳活动变化的响应的观测研究。在进入空间探索与开发时代的今天,宇宙空间已与陆地、海洋一起成为人类不可或缺的生存与发展环境。极区是太阳活动直接影响地球空间的重要区域和监测灾害性空间天气的最佳窗口。极区空间环境灾害性天气研究,对保护我国空间技术系统、减少航天事故和保障人类空间活动具有重要的指导作用。

3 中国极地大气科学考察站

南北极现场考察是极地大气科学发展的基础,近 30 年来我国在南极和北极建立了 4 个有人科学考察站,6 个无人自动气象站(含中澳/中美合作);并在 5 个短期的科学考察站点进行了大气科学考察^[9-17]。目前我国极地气象站(长期站)和短期大气科学考察站点的简要情况见表 1 和表 2。

表 1 中国极地气象站(长期站)
Table 1 Chinese polar weather station (long-term)

序号	站号	观察网络	站名	纬度 经度 海拔高度	主要业务	建站时间
1	89058	WWW; ABSN ABCN	中国南极长城站 (Great wall St.)	62°13'S 58°58'W 10.0 m	常规地面观测(南极基本天气站网 (ABSN)和南极基本气候站网 (ABCN))	1985-02-20
2	89573	WWW; ABSN ABCN GSN	中国南极中山站 (Zhongshan St.)	69°22'S 76°22'E 14.9 m	常规地面观测(ABSN、ABCN、全球 气候观测系统地面站网(GSN)) BRUWER 臭氧观测(GOOS)、地面 大气成分观测	1989-02-26
3	89576	WWW	中澳合作南极 LGB-69 自动气象站	70°50'S 77°04'E 1 854 m	高地 1 m、2 m、4 m 处,风速、风向、空 气温度、相对湿度;气压、总辐射、雪面 高度和 4 层雪温(0.1 m、1 m、3 m、10 m)	2002-01-22
4	89577	WWW	中澳合作南极 DOME-A 自动气象站	80°22'S 77°22'E 4 093 m	同上	2005-01-18

续表

序号	站号	观察网络	站名	纬度 经度 海拔高度	主要业务	建站时间
5	89578	WWW	中澳合作南极 EAGLE(飞鹰) 自动气象站	76°25'S 77°01'E 2 852 m	同上	2005-01-28
6	26407	ARGOS	中澳合作南极 PANDA-N 自动气象站	73°41'S 76°58'E 2 584 m	同上	2007-12-31
7	30416	ARGOS	中美合作南极 PANDA-S 自动气象站	81°19'S 75°59'E 4 027 m	离地 5 m 处, 风速、风向、空气温度、 相对湿度; 气压、雪面高度; 三层雪温 (20 cm, 40 cm, 100 cm)	2008-01-14
8			中国南极昆仑站 (Kunlun St.)	81°25'S 77°07'E 4 087 m	目前为度夏站, 尚无常规大气观测 项目	2009-01-27
9	CMADM	ARGOS	中国南极 PANDA-1(熊猫-1) 自动气象站	74°39'S 77°00'E 2 737 m	离地 2 m, 8 m 处, 风速、风向、空气温 度、相对湿度; 气压、太阳辐射、雪面 温度和雪温(10 cm, 40 cm)	2010-12-23
10			中国北极黄河站 (Yellow River St.)	78°55'N 11°56'E 11 m	近地面 2 m, 10 m 处, 温度、湿度、风梯 度和气压观测	2004-07-28

表 2 中国极地考察站点(短期站)
Table 2 Chinese polar meteorological station (short-term)

序号	站名	纬度 经度 海拔高度	主要考察内容	考察时间
1	中国首次北极 北冰洋考察联合冰站	75°N 161°W	近地层大气物理(辐射平衡、梯度和超声)、边界层 大气结构(TMT 软气象塔)、高空大气探测(GPS 探 空和臭氧探空)、极区大气化学和海水微量元素以 及大气气溶胶和底层大气温室气体采集	1999-08-19—1999-08-24 6 天 浮冰面积: 300 m ²
2	中国第二次北极 北冰洋考察联合冰站	78°N 143°W	近地层大气物理(辐射平衡、梯度和超声)、边界层大 气结构(TMT 软气象塔)、浮冰表面及 4 层冰雪温度、 大气成分采样	2003-08-21—2003-09-03 14 天 浮冰面积: 300 km ²
3	中国伊力特·沐林北极 科学探险考察队朗伊尔 北极苔原考察点	78°11'N 15°55'E 11 m	近地层辐射平衡, 湍流及水汽、CO ₂ 脉动, 近地面动 力和热力结构, 自动气象站	2002-07-31—2002-09-02 33 天
4	中国第三次北极 北冰洋考察联合冰站	85°N 147°W	近地层大气物理(辐射平衡、梯度和超声)、GPS 低空 探测、风廓线雷达、大气成分采样	2008-08-20—2008-08-29 10 天 浮冰面积: 200 km ²
5	中国第四次北极 北冰洋考察联合冰站	87°N 178°W	近地层大气物理(辐射平衡、梯度和超声)、GPS 低空 探测、自动气象站、系留气艇、大气成分采样	2010-08-09—2010-08-19 10 天 浮冰面积: 75 km ²

我国系统的南极实地科学考察始于20世纪80年代,起步较晚。1984年国家南极考察委员会组织了中国首次南极考察,1985年2月建成了我国在境外的第一个气象站——中国南极长城站(见图1a),揭开了中国南极大气科学考察的新篇章;1989年2月在东南极大陆建立了南极中山站气象站;2002年到2010年,我国先后在从南极中山站到南极大陆冰盖最高点的剖面上,设置了6个中澳/中美合作自动气象站;2009年1月,我国在南极大陆冰盖最高点(DOME A)西南方向约7.3 km处,建立了中国南极昆仑站,目前该站还只是度夏站,随着昆仑站站区建设和后勤保障能力的不断完善,5~10年后将成为全年有人工作的越冬站^[9-12]。

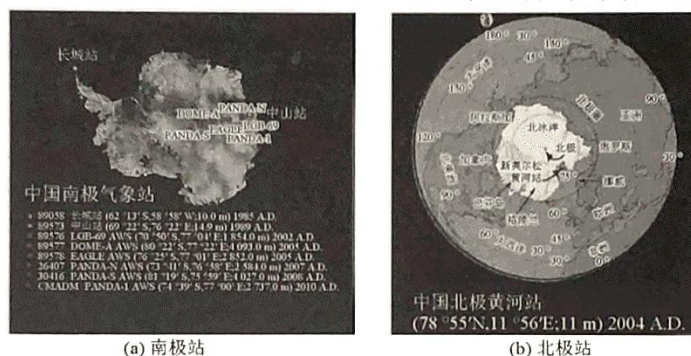


图1 中国极地气象站(长期站)
Fig. 1 Chinese polar weather station (long-term)

除表1和表2所示极地气象站(长期站)和极地考察站点(短期站,见图2)外,从1984年起我国“向阳红十”号、“极地”号和“雪龙”号等科学考察船执行南极考察任务,赴南极考察航渡期间,考察船上都进行了常规的海洋气象观测和与大气科学有关的科学考察^[9];在长城站、中山站邻近地区、中山站—DOME A沿途等地也进行了与气象和大气近地面物理有关的短期考察^[9]。

4 中国极地大气科学观测系统

随着全球变化研究的不断深入,极地气象科学考察也从传统的压、温、湿观测,向包括大气物理、大气化学和大气环境在内的更广泛的大气科学考察领域发展^[9]。目前我国极地大气科学观测工程体系的观测系统由常规地面气象观测业务、大气臭氧和大气化学、边界层物理、高空大气物理等观测子系统及极地大气科学考察基础数据集等组成,这些观测系统也是在中国极地科学考察过程中逐步形成和完

我国系统的北极实地科学考察始于20世纪90年代,比南极考察晚10年。1999年、2003年、2008年和2010年7—9月,中国组织了4次北极北冰洋科学考察,在白令海及北冰洋,以考察船、直升飞机、浮冰站为观测平台,进行了海洋—海冰—大气—生物的多学科联合综合观测^[13-17];2002年7月民间的中国伊力特·沐林北极科学探险考察,在斯瓦尔巴群岛的朗伊尔地区设立的科学考察站进行了有关大气、冰川、地质和植物等学科的综合考察^[9];2004年7月我国在斯瓦尔巴群岛的新奥尔松建立了中国第一个北极陆地科学考察站——北极黄河科学考察站(见图1b),进行高空大气物理、海洋生物、气象、GPS跟踪观测和冰雪等方面的考察^[9]。

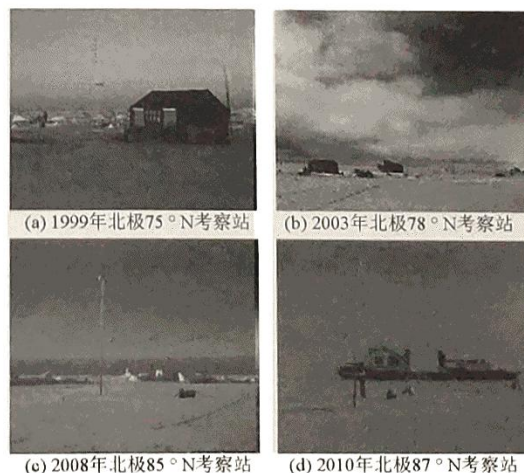


图2 中国北极北冰洋考察站(短期站)
Fig. 2 Chinese Arctic ocean research station (short-term)

善的,在我国极地常规气象业务、准业务工作和历次极地大气科学考察中都得到了广泛的应用。

4.1 极地常规地面气象观测业务系统

常规气象观测是气象工作和大气科学发展的基础,南极地区的气象台站也是世界天气监视网中不可缺少的重要组成部分。目前我国开展的极地常规气象业务主要有以下几方面^[18]。

4.1.1 中国南极考察站常规地面气象观测

目前我国在极地进行常规地面气象观测业务的只有南极长城站和中山站两个气象站(见图3)。中国南极长城气象站和中山气象站的国际区站号分别

为 89058 和 89573;两站都已列入 WMO(世界气象组织)南极基本天气站网(ABSIN)和南极基本气候站网(ABCN),中山气象站还列入了全球气候观测系统地面站网(GSN)^[18]。我国在 DOME A 建立了中国南极昆仑站(见图3),目前该站还只是度夏站,5年后将成为全年有人工作的越冬站^[9]。除极地考察站常规气象观测业务外,在我国赴极地的考察船上,也有准业务的海洋气象观测系统^[8]。

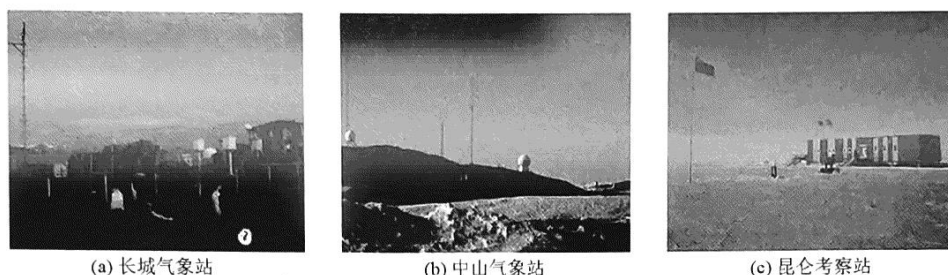


图3 中国南极考察站(有人站)

Fig.3 Chinese Antarctic research station (someone)

4.1.2 中国南极考察天气预报服务

中国南极考察的业务天气预报,由中国南极考察站(长城站及中山站)天气预报服务和中国南极考察船(“极地”和“雪龙”号)气象导航和随船气象保障工作等组成^[8,9,18]。南极考察站的天气预报由参加南极考察的气象工作人员,根据在考察站现场用气象资料无线短波接收系统接收到的南半球地面、高空图、气象报、站区附近地区冰情图和数值预报等传真产品,本站接收的高分辨气象卫星图像(HRPT),本站气象要素演变情况等对站区的天气形势进行分析,制作为科考服务站区天气预报。我国有关南极考察天气预报的情况和经验已收入国际南极研究科学委员会(SCAR)和WMO等编制的“国际南极天气预报手册”^[18]。

中国南极考察的海上运输和海洋考察,先后由“极地”号和“雪龙”号等科学考察船实施。自1984年中国南极考察队首次赴南极地区考察以来,国家海洋局指挥中心组织国家气象中心、国家海洋预报中心等有关部门进行南极考察航行的气象导航及航行保障。随船气象保障则由国家海洋环境预报中心派出的随船气象工作人员根据在船上获得的传真天气图、卫星云图、海洋和气象观测资料,对由北京传来的气象导航意见,进行修正后作出^[8]。

4.1.3 冰盖自动气象站

随着中国南极考察向南极内陆的延伸,从1997年(13次队)起,我国多次组织了对南极内陆冰盖的科学考察,影响较大的有海拔高度超过4000m的DOME A地区内陆冰雪考察和平均海拔高度在2000m以上的格罗夫山地区考察,在这些考察时,都利用车载气象观测仪器进行了气象考察^[9]。

2002年到2010年,我国先后在从南极中山站到南极大陆冰盖最高点的剖面上,设置了6个自动气象站(见图4、表1),直接通过卫星(DCP)将资料通过ARGOS传入GTS,通过互联网直接调用该自动气象站资料。其中LGB-69、DOME-A、飞鹰(EAGLE)、熊猫-N(PANDA-N)4站是中澳合作自动气象站,使用澳大利亚南极局研制2001型自动气象站^[19];中美合作南极熊猫-S(PANDA-S)自动气象站,使用美国威斯康辛大学研制的自动气象站^[9];南极熊猫-1(PANDA-1)自动气象站,采用的是由中国气象科学研究所和中国华云技术开发公司合作研制的国产自动气象站^[9]。

除已列入气象业务系统的南极冰盖自动气象站外,在南极昆仑站和北极黄河站也设置了为天文观测和冰川研究服务的自动气象观测站。

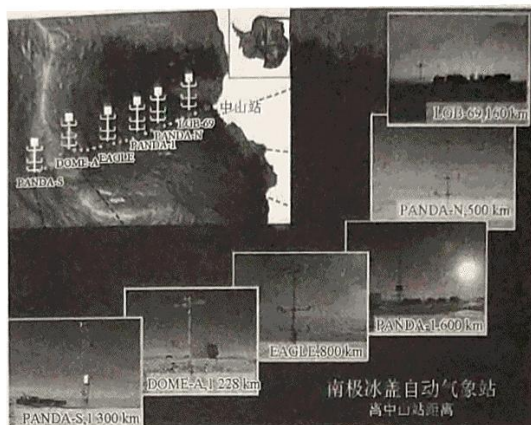


图4 中国南极冰盖自动气象站(无人站)

Fig. 4 Chinese Antarctic automatic weather station (self-service)

4.2 极地大气臭氧和大气化学观测系统

4.2.1 中山站 BREWER 大气臭氧观测

南极臭氧洞与全球变暖一样,是当前大气科学界、社会公众和政府广泛关注的热点问题。从1993年起,中国气象科学研究院在中山站开始用 BREWER 臭氧探测仪(#074)进行了大气臭氧总量、 SO_2 、 NO_2 总量及紫外 UVB 观测^[20]。2008 年年底,除继续使用 BREWER #074 进行大气臭氧总量观测外,还在中山站安装了新一代的 BREWER #193 臭氧观测仪,在进行了2年平行观测后,于2011年正式取代#074仪器,作为中山站大气臭氧总量的常规观测仪器;中山站的 BREWER 臭氧观测站已列入中国气象局的全国大气特种监测站网。目前在 WMO 南极臭氧公报中,已使用了南极中山站的 BREWER 臭氧观测资料(WMO Antarctic Ozone Bulletin #7/2003)^[9]。

在中国南极中山气象站,按全国大气特种监测网 BREWER 仪器观测规范,每天进行大气臭氧、 SO_2 、 NO_2 总量及紫外 UVB 观测。在每日 20:00(北京时)的天气报中,用加发第三段的方法,通过 GTS 传送当日地方时中午的臭氧观测值。除极夜缺测外,全年都发送该组数据。在每年8—12月南极臭氧洞期间,还每隔3~4天将前几天地方时中午的臭氧观测值,通过临近中山站的澳大利亚 DAVIS 站,用 E-mail 发往 WMO 秘书处。在每月月初,将上月逐日 BREWER 观测资料探测简报发往极地办并转中国气象科学研究院极地气象研究室。南极中山气象台 BREWER 观测资料经进一步审核和整编后,由中国气象科学研究院按年向 WMO 世界臭氧资料中心报送。

4.2.2 大气臭氧探空观测

在2007/2009国际极地年(IPY)行动期间,中山站进行了臭氧廓线探测^[9]。采用氦气灌制气球,使用国际通用的臭氧探空仪,在中山站进行了为期一年的臭氧和气象参数垂直分布探测试验。采用美国 EN-SCI 公司的 ECC(electrochemical concentration cell)2Z 型电化学臭氧探空仪和 Vaisala RS-80-15 型无线电气象探空仪以及 EN-SCI 公司的 DAS-1 型 403 MHz 地面接收系统和 GPS 定位系统,时获取臭氧、温度、相对湿度和风速、风向垂直廓线资料。此外,在南极冰盖最高点也进行了 GPS 低空探测^[9]。

4.2.3 极地大气化学监测

在2007—2008年国际极地年,中国提交了南极 PANDA 计划(普里兹湾—埃默里冰架—DOME A 观测计划),极地大气化学监测也是该核心科学计划的一部分。2007年12月,采用与国际接轨的标准大气化学观测和标校仪器,在离站区上风方向,建立了我国第一个南极大陆大气化学业务监测站,首次实现对中山站附近的大气化学本底进行连续监测,在线进行黑碳气溶胶、地面臭氧、CO 和 CO_2 等观测;原计划的 SO_2 和 NO_x ,因中山地区的实际大气浓度低于仪器(EC 9850T 紫外荧光 SO_2 分析仪和 EC 9841T 化学发光 NO_x 分析仪)最低检测限,不能检出而取消。因此,目前中山站的大气化学观测系统包括的设备有:黑碳仪(AE31)、紫外光度吸收地面臭氧分析仪(EC 9810A)、红外气体相关 CO 分析仪(EC 9830T)、红外气体相关 CO_2 分析仪(EC 9820A)及其配套使用的紫外光度吸收臭氧校准仪(EC 9811)、气体稀释校准仪(GasCal 1100)、零气发生器(8301LC,包括 HCS1000 CO 去除器)、数据采

集器 (CR1000)、CO 标准气瓶 (20 ppm, 1 ppm = 10^{-6})、奥斯源 (ASY20V100A) 直流电源 ($\times 2$) 等。除采样进气总管和标准气瓶外,全部设备安装在双

联 1.8 m 高的组合机柜中^[9]。中山站大气化学监测系统的数据采集流程见图 5。

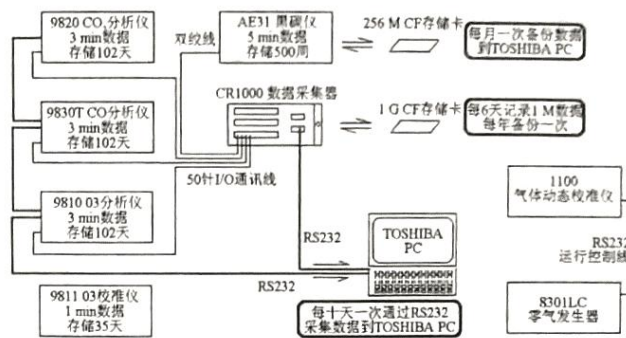


图 5 中山站大气化学监测系统

Fig. 5 The atmosphere chemistry monitors system at Zhongshan Station

在“雪龙”号考察船赴南极航渡期,船上进行了紫外辐射 (UVB) 和地面臭氧^[21,22]、黑碳气溶胶和 CO 浓度的在线观测;在海上每隔 10 个纬度用高压采气钢瓶采集空气样品^[9];并建有海-气 CO₂、N₂O 通量,气溶胶采样等观测系统^[12,17]在南极中山站,用玻璃瓶 (Flask) 每周一次采集空气样品,在冰盖内陆考察队赴 DOME A 的考察途中也用钢瓶采集了空气样品,一并带回国内分析^[9]。

4.3 极地边界层物理观测系统

除常规气象业务观测和站区天气预报外,1985 年、1987—1988 年和 1990—1991 年,分别在长城站和中山站开展了近地面微气象观测实验。1994 年 12 月至 1995 年 1 月,在中山站附近的大陆冰盖上进行了包括超声风温脉动观测、系留气艇、辐射平衡和热量平衡的近地面物理联合观测^[22]。2008 年 1—2 月,在距中山站西南方向约 6 km 的冰盖地区进行了大气边界层湍流观测试验。应用超声风温仪 (Gill, Wind master) 和辐射平衡观测系统 (KIPP-ZONEN, CNR1),用太阳能电池作为观测系统的电源,获取了南极冰盖近地层冰/气相互作用的详细资料。

1999 年、2003 年、2008 年和 2010 年 7—9 月,中国组织了 4 次北极北冰洋科学考察,在白令海及北冰洋,以考察船、直升飞机、浮冰站为观测平台,进行了海洋—海冰—大气—生物的多学科联合综合观测;其中在浮冰站上,主要进行了近地层大气物理 (梯度和超声)、GPS 低空 (18 000 m) 探测、极区大气气溶胶和低层大气温室气体采集^[14-17]。2002 年 7 月民间的中国伊力特·沐林北极科学探险考察,

在斯瓦尔巴群岛的朗伊尔地区设立的科学考察站进行了有关大气、冰川、地质和植物等学科的综合考察;2004 年 7 月北极黄河科学考察站建立后,利用有线遥测自动气象站,在离地 10 m 和 3 m 高度处安装了温度、湿度和风向风速传感器 (见图 6),进行了有关北极苔原近地面物理过程的准业务观测^[9]。



图 6 黄河站梯度观测

Fig. 6 The gradient observation at Yellow River Station

在这些考察活动中逐步建立和完善了下列极地边界层观测系统。

1) 近地面辐射平衡观测系统。采用有国际可比较性的辐射仪器,进行总辐射、反射辐射、地面长波辐射、大气逆辐射、净辐射等近地面辐射平衡分量 and 紫外辐射、UVB 等辐射量的观测。所用仪器有:荷兰 Kippzonen 公司净辐射表 (CNR-1);美国 Eppley 公司短波辐射表 (M-PSP) 和长波辐射表 (M-PIR);美国 Yankee 公司 UVB 紫外辐射表;锦州 322 所国产总辐射表等。

2) 近地面热量平衡梯度观测系统。利用 4、8、10、32 气象塔,分层架设温度、湿度、风等慢响应仪

器,借助于天气动力学的通量廓线法获取近地面感热、潜热、动量等边界层物理参数。所用感应元件有芬兰 VAISALA 温、湿度感应器(HMP45D),芬兰 VAISALA 气压传感器(PTB100220A),美国 APOGEE 公司红外温度传感器(IRR-P),国家海洋局海洋技术中心风传感器(XF3-1)等。

3) 近地面湍流和物质平衡观测系统。利用超声风温仪和水汽、CO₂ 脉动仪,了解近地面湍流特征,用直接方法获取近地面感热、潜热、动量通量和 CO₂ 的物质通量。所用仪器有:美国 Campbell 公司三维超声风温仪(CSAT5-L)、Wind Master Pro 三维超声风速仪(Gill),日本 Kaijo 公司的风温超声脉动仪(DA-600-3T),美国 Licor 公司的红外水汽、CO₂ 脉动仪(LI-7500),美国热电子公司的臭氧分析仪(TE49C),加拿大 UNISEREACH 的臭氧分析仪(LOZ-M)等。

4) 近地面大气结构系留汽艇和 GPS 低空探测系统。利用系留汽艇和 GPS 低空气球探测,了解近地面数百米和低空 18 000 m 以下的大气结构特征。所用仪器有:美国 Air 公司系留汽艇及探测器(TS-3A、5A、2A);中国气象科学研究院 GPS 低空探测系统。

5) 声雷达和风廓线仪。利用多普勒测风声雷达和风廓线仪对大气边界层风速、风向垂直分布及对流层中下部的风速、风向廓线进行无球连续观测。目前多普勒测风声雷达已安装在南极中山站,探测高度为 30~600 m,一般为 300 m;Airda 船载风廓线雷达已安装在“雪龙”号考察船,探测最大高度为 5 000 m。

4.4 中国极区高空大气物理观测系统

我国南极长城、中山、昆仑站和北极黄河站,在开展日地空间环境观测研究方面都有着得天独厚的地理位置,非常适合开展极区高空大气物理观测研究^[23]。这些工作是由中国极地研究中心、信息产业部电子 22 所和中科院地质与地球物理研究所等单位承担的。

南极长城站位于亚极光带和威德尔海电离层异常区及南大西洋地磁异常区,是地球空间环境的特殊区域,也是我国在西半球唯一的空间环境监测站。在日地空间环境研究方面,长城站主要开展了电离层和地磁观测^[23]。中国极地高层大气科学观测系统主要设在南极中山站和北极黄河站,进行与高层大气物理有关的电离层和极光观测。

我国南极中山站具有得天独厚的地理位置,离南磁极也较近,白天处于极隙区,晚上处于极盖区,可以观测到磁层动力学过程丰富的电离层征兆和极光现象,是地面监测空间环境的理想之地,也是世界上少数可以进行午后极光观测的台站之一。目前已建成与国际标准接轨的南极中山站高空大气综合观测系统,采用光学、电磁感应和无线电等多种观测手段,建造了专门的高空大气物理(UAP)观测栋,实现了对南极地区极光、电离层和地磁等要素的连续监测,成为世界上最有影响的 5 个高空大气物理观测站之一^[23]。

北极黄河站位于斯瓦尔巴群岛的新奥尔松镇,它处于地球北半球极隙区纬度,与南极中山站地磁共轭,基本上和中山站在同一根磁力线上。黄河站的极夜时间长达 4 个月,是观测极光等日地物理现象和高纬共轭现象的理想之地。在黄河站和中山站可以观测到同一极光事件在南、北极的表现。目前在黄河站采用三波段极光全天空 CCD 成像系统对极光三个谱线强度和沉降电子能量的二维空间分布进行连续、同步观测;用成像式宇宙噪声接收机全天候监测高能粒子沉降;安装了电离层闪烁监测仪监测极区电离层不均匀体及其引起的信号闪烁,参加了监测不均匀体漂移的电离层闪烁三角监测网。黄河站附近分布着国际上最先进的日地空间环境观测系统,包括欧洲非相干散射雷达(EISCAT)、国际超级双子极光雷达(Super DARN)、国际 SPEAR 电离层加热装置和挪威科学探测火箭发射试验场等,因此,黄河站也是开展空间环境国际联合观测的理想场所^[23]。

上述三个常年考察站的空间环境观测仪器自建成后均进行了常规观测,已积累了极区空间环境多要素的连续观测资料,实现了对南北极空间环境的连续监测。

南极昆仑站处于极隙区,目前还只是度夏站,今后在该地开展的高空大气物理观测,将在时间和空间上扩展对地球极隙区高空大气的观测范围。

4.5 中国极地大气科学考察基础数据集

极地是气象资料最为匮乏的地区之一,进行极地大气环境变化监测和全球变化研究时,极地现场考察资料尤为宝贵,资料共享也十分重要。在国家海洋局极地考察办公室的大力支持下,由中国气象科学研究院极地气象研究室整编的长城站和中山站 1992 年前的逐日常规气象资料及部分辐射和大气

臭氧资料,已以“南极考察资料报告”的形式,分成七集由气象出版社出版,除提供国内有关单位使用外,也与国外极地研究机构进行交换。长城站和中山站的气象考察资料,已在南极“八五”、“九五”、“十五”国家级科研项目的气象、海洋、地理地貌、冰川、生物、医学等学科研究中得到了广泛应用。中国南极大气科学考察的基础数据已收录进入“地球系统科学数据共享网——中国南北极数据中心”(http://polar.geodata.cn:8060/Portal/index.jsp)、“地球科学数据系统(WDC-D)——气象学科部分”的国家气象信息中心“中国气象科学数据共享服务网”(http://cdc.cma.gov.cn/index.jsp)和“中国气象科学研究院网站”的“大气科学数据库”(http://www.cams.cma.gov.cn/cams_kxsy/qky_kxsy_index.htm)等共享数据库^[5]。南极气象业务获得气象数据已收入我国“地球科学数据系统(WDC-D)——气象学科部分”、“中国极地科学数据库系统”和国际南极研究科学委员会(SCAR)整编的南极气候资料数据库中,这些资料都可以通过国际互联网查到^[9]。

在高层大气物理方面,开发了相应的数据处理平台,如极光全天空图像处理系统、感应式磁力计数据处理系统、完善了电离层频高图判读技术和电离层漂移数据处理方法等等。对观测的原始记录进行数据判读和整理,出版了电离层观测数据集和地磁观测数据集;目前极光(http://aurora.chinare.org.cn)、电离层数字测高仪(http://dps4.chonare.org.cn)和地磁(http://geomag.chinare.org.cn)数据库的部分数据已在网上发布^[23]。

5 极地大气科学观测工程的应用

极地气象科学考察与研究是近30年来在我国有较大进展的科学领域,通过研究对极地与全球变化的关系有了初步认识。特别是,在极地天气气候特征及气候变化时空多样性、极地考察业务天气预报和灾害性天气的研究、极地海冰变化的诊断和模拟、极地边界层物理和海冰气相互作用、极地大气化学的观测研究、极地大气环境对东亚环流和中国天气气候的影响等方面做出了很好成果^[9]。其中,中国极地大气科学观测工程体系所获科学数据,在我国极地科学研究中发挥了重要作用^[9]。其中影响较大的有以下几方面。

5.1 极地天气气候特征及气候变化时空多样性

利用实测资料为主,对极地天气气候和环流特

征,特别是南极长城站、中山站和南极中山站至冰盖最高DOME A考察断面、北极黄河站及临近地区的近地面气候特征和北冰洋浮冰区的气象要素特征和极地气候变化的时空多样性进行了研究^[9,19]。

南北极地区的气候变化从时间、空间上来说都是多样的,在南极地区,以温度和海冰为代表的气候特征的变化并不一致,存在着5个变化不同的区域^[24,25]。近50年来南极和邻近地区的温度变化与全球平均并不一致;我国南极长城站和中山站分别位于西南极和东南极。在长城站,近20余年来温度显著上升,而在中山站,增温不显著(见图7)^[26,27]。南极地区的增暖主要发生在南极半岛地区,而在南极大陆主体增暖并不明显,近十余年来还有降温趋势^[24-27];近年来西南极频繁发生的冰架融化和崩塌,在东南极也没有发生。

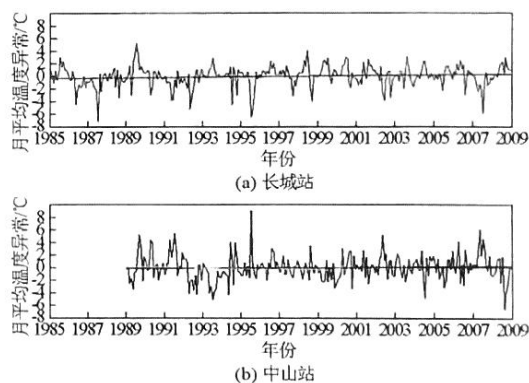


图7 南极长城站和中山站地区的温度变化

Fig.7 Variation of monthly mean air temperature at the Great Wall and Zhongshan Stations, Antarctic

南北极地区的气候系统十分复杂,有些变化也很难用单一的人类活动影响来解释。目前还没有足够的依据能说,近50余年来南极和邻近地区的温度变化是由于温室效应加强的结果,这种变化在很大程度上仍可能是气候系统内部的变化。对南北半球温度短期气候变化趋势的差异的气候学意义应予以重视^[24-27]。

5.2 南极臭氧和臭氧洞

利用中国极地大气科学观测工程体系所获南极中山站地面臭氧、大气臭氧探空和大气臭氧总量(见图8)等观测资料,对中山站地区大气臭氧的时空分布,特别是南极臭氧洞期间地面臭氧、对流层臭氧和平流层臭氧的变化特征进行了研究,揭示了南极平流层和对流层的臭氧和温度的季节变化特征、

探讨了中山站地区近地面温度、臭氧和水汽的分布特征^[9,20,27,28](见图9)。利用“雪龙”号赴极地考察的机会,获得了从75°N~70°S极地考察航线上的地面臭氧观测资料,对考察航线上地面臭氧浓度分布特征等进行了研究^[21](见图10)。

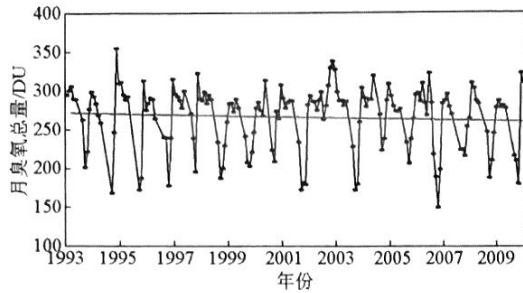
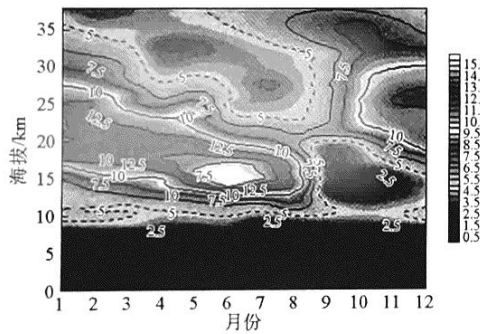
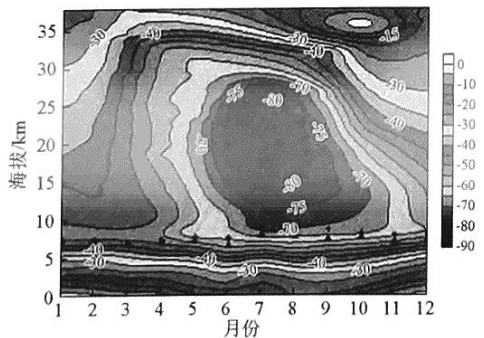


图8 南极中山站大气臭氧总量变化

Fig.8 Variations of monthly total ozone amount at Zhongshan Station



(a) 大气臭氧



(b) 大气温度

图9 南极中山站2008年臭氧和温度垂直剖面^[28]

Fig.9 Monthly mean vertical profiles of ozone and temperature at Zhongshan Station in 2008^[28]

南极臭氧洞的产生与人类活动排放到大气中的污染物,特别是氟里昂和溴化烃等含氯和溴的化合物,在平流层低温条件下气溶胶冰晶云(PSC)表面

的光化学反应密切相关。大气中存在有人类活动排放的氟里昂和溴化烃等消耗臭氧层物质(人为因素),是春季南极臭氧洞形成的必要条件;春季南极平流层极地涡旋中的低温(自然因素),是南极春季臭氧洞形成的又一个必要条件。只有这两个必要条件合起来,才是形成臭氧洞的充分必要条件。由此,可以解释为什么到目前为止,只是在南极上空春季出现了臭氧洞,在北极和青藏高原上空,并没有出现臭氧洞^[29]。

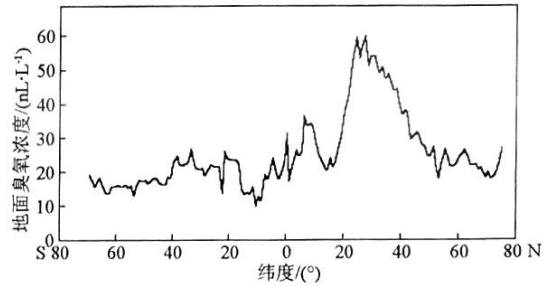


图10 “雪龙”号赴南北极航线地面臭氧的平均变化^[21]

Fig.10 Mean variation of surface ozone concentrations over the points along the “Snow-Dragon” ship's route^[21]

5.3 极地边界层物理和海冰气相互作用

利用实地考察获得的第一手资料,对南极冰盖、北极苔原、北极浮冰等不同下垫面近地面辐射和热平衡特征、大气边界层结构特征、极地边界层物理和海冰气相互作用等进行了研究,对海—气和冰—气边界层物理过程的差异有了新的认识,并为气候模式提供重要的边界层物理参数^[9,22,30]。对NCEP/NCAR和EC近地面资料的再分析结果,在北极苔原和海冰地区的适用性有了进一步的认识。总的来说,再分析资料能反映大范围要素的变化趋势,但由于对局地的下垫面状况及边界层特征考虑不周,在北极苔原和海冰地区,再分析资料中辐射和热量平衡各分量的模拟值与实测值的差异都很大,在实际运用时应尽可能用实测值,不能简单地直接引用再分析结果^[9]。针对极地层特点,利用实测资料,对用空气动力学方法计算湍流通量时,常用的普适函数方案进行了比较,设计了新的湍流通量参数化方案,为进一步优化北冰洋浮冰区边界层参数化方案和提高计算精度提供重要依据^[9]。

6 结语

近30年来,随着中国极地科学考察事业的发

展,中国极地大气科学观测工程体系从无到有也取得了长足进展,为我国南极科学考察和研究事业做出了重要贡献。极地大气的实地考察是极地大气科学发展的基础,随着全球变化研究的不断深入,极地气象科学考察也从传统的压、温、湿观测,向包括大气物理、大气化学和大气环境在内的更广泛的大气科学考察领域发展。

南北极是目前全球气象资料最贫乏的地区之一,气象台站的密度远小于人类居住的其他地区。在卫星遥感技术飞速发展的现代,虽利用高分辨率的卫星遥感资料计算获得大气温度、湿度及臭氧总量,并由此来填补南北极地区的资料不足,但必须用各种实测资料来进行对比和校正。目前,南北极地区的实地大气科学观测仍是不可取代的。

在南北极地区,瞄准极地气象科学研究的国际前沿,进一步加强国际合作;加强、完善野外观测站网,继续监测包括近地面温度在内的大气要素的变化,提高南北气象业务水平;拓展极地气象科学考察研究领域,积极获取气候代用资料;进一步量化和认识极地在全球变化中的作用,及其对我国天气气候和国民经济可持续发展的影响;建立完善极地大气科学观测和研究体系,提高研究水平,为我国国民经济可持续发展提供科学支撑;仍是我国极地气象科学与全球变化研究的重要内容。

参考文献

- [1] GARP. The Physical Basis of Climate and Climate Modeling[M]. GARP Publication Series, 1975, No: 16. WMO/ICSU.
- [2] IGBP. Towards Global Sustainability[M]. IGBP Science Series, 2001, 4:27-29.
- [3] SCAR. Antarctic Climate Change and Environment[M]. UK: Scientific Committee on Antarctic Research Scott Polar Research Institute, 2009.
- [4] IPCC. Climate change 2007, the physical scientific basis[C]// Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge. UK: Cambridge University Press, 2007.
- [5] 陆龙骅,卞林根. 极地对地球系统过程的作用[M]//孙九林,林海. 地球系统研究与科学数据. 北京:科学出版社, 2009: 414-433.
- [6] 陆龙骅,卞林根,效存德,等. 近20年来中国极地大气科学进展[J]. 气象学报, 2004, 62(5): 672-691.
- [7] 高登义,邹捍,周立波,等. 极地大气科学考察研究与展望[J]. 大气科学, 2008, 32(4): 882-892.
- [8] 魏文良. 中国极地考察航线海洋气象研究[M]. 北京:海洋出版社, 2008: 1-234.
- [9] 陆龙骅,卞林根. 近30年中国极地气象科学研究进展[J]. 极地研究, 2011, 23(1): 1-10.
- [10] 周秀骥,陆龙骅. 南极与全球气候环境相互作用和影响的研究[M]. 北京:气象出版社, 1996: 1-402.
- [11] 陈立奇. 北极海洋环境与海气相互作用研究[M]. 北京:海洋出版社, 2003: 1-339.
- [12] 陈立奇. 南极地区对全球变化的响应与反馈作用研究[M]. 北京:海洋出版社, 2004: 1-611.
- [13] 张占海. 快速变化中的北极海洋环境[M]. 北京:海洋出版社, 2011: 1-504.
- [14] 中国首次北极科学考察队. 中国首次北极科学考察报告[R]. 北京:海洋出版社, 2000: 1-191.
- [15] 张占海. 中国第二次北极科学考察报告[M]. 北京:海洋出版社, 2004: 1-229.
- [16] 张海生. 中国第三次北极科学考察报告[M]. 北京:海洋出版社, 2009: 1-225.
- [17] 余兴光. 中国第四次北极科学考察报告[M]. 北京:海洋出版社, 2011: 1-254.
- [18] 陆龙骅,卞林根,逯昌贵,等. 近20年中国南极科学考察的气象业务进展[J]. 气象, 2005, 31(1): 3-8.
- [19] 效存德,秦大河,卞林根,等. 东南极 Princess Elizabeth 地冰盖表面相对高程年内变化过场的精确监测[J]. 中国科学(D辑), 2004, 34(7): 675-685.
- [20] 郑向东,周秀骥,陆龙骅,等. 1993年中山站南极“臭氧洞”的观测研究[J]. 科学通报, 1995, 40(6): 533-535.
- [21] Lu Longhua, Bian Linggen, Cheng Yanjie, et al. Surface ozone observation during voyages to the Arctic and Antarctic regions [J]. Chinese Science Bulletin, 2001, 46(23): 1995-2000.
- [22] 卞林根,陆龙骅,贾朋群. 南极冰盖极昼期间近地面湍流特征的实验观测[J]. 中国科学(D辑), 1997, 27(5): 469-474.
- [23] 刘瑞源,杨惠根. 中国高空大气物理学观测研究进展[J]. 极地研究, 2011, 23(4): 241-258.
- [24] 陆龙骅,卞林根,贾朋群. 南极和邻近地区温度的时空变化特征[J]. 中国科学(D辑), 1997, 27(3): 284-288.
- [25] 周秀骥,陆龙骅,卞林根,等. 南极地区温度、海冰、臭氧的变化特征[J]. 自然科学进展, 1997, 7(4): 460-466.
- [26] Lu Longhua, Bian Linggen. The characteristics of Antarctic climatic change [C]. Beijing: Proceedings of ISCC China, 2003, 251-254.
- [27] 陆龙骅,卞林根,张正秋. 极地和青藏高原地区的气候变化及其影响[J]. 极地研究, 2011, 23(2): 82-89.
- [28] 卞林根,林忠,张东启,等. 南极大气臭氧和温度垂直结构及其季节变化的研究[J]. 中国科学:地球科学, 2011, 41(12): 1762-1770.
- [29] 陆龙骅. 臭氧与臭氧洞[J]. 自然杂志, 2012, 34(1): 24-28.
- [30] 卞林根,高志球,陆龙骅,等. 北冰洋夏季开阔洋面和浮冰近地层热通量参数的观测估算[J]. 中国科学, 2003, 33(2): 139-147.

The Chinese polar atmospheric sciences observation engineering system

Lu LongHua , Bian Lingen

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China)

[Abstract] The polar regions are located in the north and south ends on the earth, which are the key areas of global change research. To understand global change, especially the global climate change, it is needed to research on polar atmosphere. Chinese Arctic and Antarctic of scientific investigation started in 80s and 90s of last century. As a national action, by the end of 2011, 28 times Antarctic expeditions and 8 times Antarctic inland expeditions, and 4 time Arctic expeditions were organized. 3 Antarctic bases (Great Wall, Zhongshan and Kunlun) and 1 Arctic base (Yellow River) and 6 automatic weather stations were established. Formed by the manual weather station, automatic weather station and weather observation on the “Xuelong” icebreaker vessel as the main platform of the polar expedition of hardware support system. Chinese polar atmospheric science observation system is gradually formed including the meteorological operational observation and short-term investigation study. Chinese polar meteorological expedition and research work has made great progress by the efforts near 30 years.

[Key words] Antarctic; Arctic; atmospheric sciences; observation engineering

(上接 63 页)

Extreme weather/climate events and disaster prevention and mitigation under global warming background

Zhai Panmao, Liu Jing

(State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China)

[Abstract] The definitions of extreme weather/climate events and “climate extreme” are discussed in the paper. On the basis of classifying the extreme events into four categories (namely extremes caused by variations in a single variable, events related to weather phenomena, compound events and climate extremes), the related extreme indices as well as their trends and corresponding impacts under the background of global warming are summarized. The results showed that intense precipitation events over mid-lower reaches of the Yangtze River tend to be more frequent. Heat waves in eastern China are stronger and drought trend in northeast China and northern China, especially at the end of 20th century and at the beginning of 21 century, is increasing. Furthermore, drought events are frequent in southwest China over recent ten years. In order to minimize losses caused by the increasing meteorological disasters, it is extraordinary essential to strengthen the capability in monitoring and warning of high-impact extremes. Meanwhile, it is also necessary to strengthen engineering defense measures based on changes in extreme events to prevent flash floods and urban waterlogged disasters induced by intense precipitation as well as droughts and heat waves associated with insufficient precipitation.

[Key words] extreme climate indices; high impacts; meteorological disasters; engineering