

# 极地气象与全球变化

卞林根 陈百炼 辛羽飞

(中国气象科学研究院,北京 100081)

**提 要:** 目前,全球变化加快,极地地区变化尤为突出,这对区域或全球的社会、经济和生态系统都将产生显著的影响。最明显的证据是极区的冰川和冰雪范围持续减少,永久冻土在消融和消失,北冰洋海冰范围和厚度减小。极地环境的变化跟地球其它区域的变化息息相关,如臭氧洞的形成与来自低纬度的污染物积聚有关。极地地区的科学研究非常重要,不断地给我们提出新的科学挑战。极地冰盖下和大面积海冰下存在着大量的未知领域,许多极地研究的前沿问题实际上存在于传统学科的交叉领域。因此,世界气象组织(WMO)和国际科联(ICSU)共同发起并于2007年3月1日启动实施2007—2008年国际极地年(IPY),旨在为极地气象学、海洋学、冰川和水文学等领域的科学研究和观测做出贡献,有助于发展更精确的海-冰-大气环流模式,进一步提高对天气预报和气候变化的预测和预估水平。

**关键词:** 极地气象 全球变化 国际极地年

## Polar Meteorology and Global Change

Bian Lingen Chen Bailian Xin Yufei

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

**Abstract:** The polar regions are presently changing faster than any other regions of the Earth, with both regional and global implications for societies, economics and ecosystems. This is particularly evident in globally shrinking snow and ice, including reductions in the extent of glaciers and ice sheets, reductions in area, diminishing and warming permafrost and reductions in the extent and thickness of Arctic sea ice. Changing polar environments are closely linked to environmental change elsewhere on our planet, examples of the formation of the ozone hole by the processes of the accumulation of pollutants from lower latitudes. Within the polar regions lie important scientific challenges yet to be investigated as well as unique vantage points for science. The regions

资助项目:科技部国际合作重点(2005DFA20930)和国家自然科学基金(40575033)项目的资助

收稿日期:2007年1月29日; 修定稿日期:2007年2月4日

beneath the polar ice sheets and under the ice-covered oceans remain largely unknown. Many of the new scientific frontiers in the polar regions are at the intersection of traditional scientific disciplines. Therefore, International Polar Year(IPY) in 2007—2008 will start from 1 March 2007 cosponsored by the International Council of Scientific Unions (ICSU) and the World Meteorological Organization (WMO) for making a great contribution to the study of polar meteorology, oceanography, glaciology, hydrology.

**Key Words:** polar meteorology global change International Polar Year

## 引 言

2007 年 3 月 23 世界气象日的主题是“极地气象:认识全球影响”。这一主题的背景是体现世界气象组织(WMO)对国际科联(ICSU)和 WMO 共同发起并于 2007 年 3 月 1 日启动的 2007—2008 年国际极地年(IPY)的重视。第一次 IPY(1882—1883)、第二次 IPY(1932—1933)和第三次地球物理年会(1957—1958)都是在 WMO 的倡导下开展的。全世界 60 多个国家的科学家们推动和促成了本次 IPY2007—2008,大约总共有 229 个议题被 ICSU/WMO 联合委员会正式批准作为此次 IPY 的研究计划。IPY 实施期为 2007 年 3 月 1 日—2009 年 3 月 1 日,对南北极科学研究而言,这将是卓有成效、硕果累累的三年。IPY 将会提高我们迎接南北极地区主要科学挑战的能力,帮助我们更好地了解极地各种过程及其与全球的联系,包括评估未来变化程度的大尺度数据,新的仪器设备或升级改造的观测系统,一批年轻的科研人才和把这些研究带向更新领域的科研领导者。

极地作为地球气候系统的热汇区,驱动或响应其他地区的气候变化。今天,极地变化比其他地区变化要快得多,这对当地的动植物、人类和公共基础设施以及全球海岸线居民都将产生不小的影响。极地地区存在许多科学前沿问题,有着独一无二的科研价值。

然而由于地理位置遥远,自然环境恶劣,人们对此的了解程度比较贫乏。近年来,随着科学技术的发展和人类对环境变化知识的渴求,在国际的相互协作下,极地科学研究正步入了一个前所未有的大发展时期。本文在参考有关 IPY 有关文件的基础上<sup>[1]</sup>,概述了国际上 IPY 大气科学方面行动计划和科学目的,将有助于推动我国 IPY 极地大气和冰雪圈科学的考察与研究工作。

## 1 极地气象

南北极极地大部分地区被冰雪所覆盖,气候寒冷、暴风雪频繁、自然环境恶劣。作为全球大气的主要冷源,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。极地大气边界层与冰雪下垫面之间的动力和热力相互作用,不仅影响着大气层结构和局地天气气候,而且对全球大气环流和气候演变也有重要的作用。在中长期天气预报模式、气候系统动力诊断和模拟中,都需要了解两极地区的各种热力和动力参数。目前许多先进的大气环流模式和气候模式对极地大气环流和气候的模拟存在较大偏差。其主要原因之一是对北极和南极地区冰雪与大气相互作用过程认知不足。因此,需要对极地的辐射平衡、水汽、动量输送和能量交换过程及其参数化方案进行深入的研究,为气候模式提供更适合极地大气边界层的物理特征参数,进而合理评估极地在全

球气候变化中的作用。南北极的气候变化是全球气候变化的指示器。南极是地球的“冷极”和“风极”。南极东方站曾实测到地面最低气温为 $-89.2^{\circ}\text{C}$ ,比在西伯利亚测得的北半球地面最低气温( $-71^{\circ}\text{C}$ )低 $18^{\circ}\text{C}$ ;南极迪·迪尔维尔站实测的最大瞬时风速达 $96\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,是全球地面风速最大的地方。

南北极近代气候变化规律及其对全球气候变化的响应和反馈过程,从极地气候变化信息中发现和提取能用于我国旱涝、汛期降水、台风活动、东北低温冷害等重大气候灾害短期气候预测的强预测信号,已成为我国极地大气科学研究的重点内容。近20年来我国极地气象的观测与研究已揭示出南极地区的增暖趋势主要发生在南极半岛地区,而东南极大陆还有降温趋势。我国南极长城站和中山站正好处于南极半岛和东南极两个不同的气候区中,两站的气象资料已证实此结论,但究其原因尚无结论。由我国学者定义的南极海冰涛动指数(ASOI)与SOI、Nino3指数的变化有密切关系。南极威德尔海是南极海冰的正反馈中心,罗斯海是负反馈中心,其结果可以解释南极海冰、厄尔尼诺事件和海平面变化之间相互关系的物理机制,为进一步认识南极海冰变化对大气环流及中国天气气候影响的研究提供了新思路。天气学诊断分析表明,南极大陆冷空气活动和越赤道气流异常对我国灾害性天气可能有重大影响,南极地区热汇强度和冰雪消涨与越赤道气流及季风区的环流有显著的相关。南极海冰异常会影响赤道海温、西太平洋副热带高压及台风路径。北极海冰变化对东亚气候变化也有影响。冬季巴伦支海和喀拉海海冰变化与我国气候年际和年代际变化有密切的联系。

南北极是目前全球最少受人类活动影响和环境污染的地区。臭氧洞的产生与人类活动排放到大气中的污染物(CFCs、Halons、 $\text{NO}_x$ 等)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。春季臭氧低值的出现,与极夜结束后人类活动排放到大气中的氟氯烃(CFCs)和溴化烃(alons)等含氯和溴的化合物,在平流层低温条件下形成的冰晶云(PSCs)或液态硫酸气溶胶表面,通过光化学反应大量消耗臭氧有关。在南极春季,极地平流层冰晶云的形成增加了氯化物浓度,降低了臭氧的生成速率,使其氯成份对臭氧的损耗占主导地位,这是南极臭氧洞形成的直接原因。除氟里昂外,大气中氮氧化物等污染物也对南极臭氧洞形成有重要影响。对极地大气化学特征、大气本底环境的监测和研究,对了解人类活动与全球环境变化的关系有重要的意义。对极地温度和极冰范围的监测及对冰原稳定性的研究能为判断“温室效应”的影响程度而提供依据;开展大气臭氧变化规律和氟里昂等气体向两极输送过程研究将为揭示“南极臭氧洞”产生机理,以及人类活动对臭氧层破坏的影响程度提供依据。我国南极中山站地区9—10月常出现低于200 DU的大气臭氧总量低值,中山站处在南极大陆的边缘地带,也常处于极地涡旋及南极“臭氧洞”的边缘,对“臭氧洞”的变化反应十分敏感,已成为我国极地大气本底环境的监测和研究的基地。

未来几十年极地大气无论是物理状态还是化学成分都将经历大的变化。这些变化将出现在从地表一直到中层大气中。变化的主要驱动原因是 $\text{CO}_2$ 和其他温室气体的增加。通过加强监测和观测能力及提高数据同化和模拟效果,对未来温室气体增加及其产生的影响将得到更好的描述。极地大气动力结构的变化将通过传统天气模型和灾害的异常表露出来。THORPEX-IPY是WMO实验计划的极地部分,旨在加强对全球增暖导致的极端天气事件的了解。这些极端天气事件包括雪暴、暴风雪、极地低压(polar lows)和雾等等。在大气层上部,不断增加的温室气体

导致了平流层的降温,这种降温又反过来改变了极涡和经向环流的强度和特征。关于变率的大气—海洋耦合模型,例如北极涛动、南半球环状模(southern annular mode)和南极偶极子对于长期变化都是重要过程。自然变率应在对人类活动影响的分析前被确定下来。为此耦合模式是不可或缺的重要工具。长期变化可能以一种突变和不可逆转的方式发生,对这种变化可能性的试验和估量也是一个重要的工作。大气与海洋变化之间另一个重要的关联是通过淡水循环,其维持机制包括局地降水、河流径流、冻结差异和海冰陆冰的融化。这些过程间的反馈及其对局地 and 整个大洋环流模型的影响,将是 IPY 的研究内容之一。

一系列极地的变化与大气的化学状态有关。由于 1987 年开始生效的蒙特利尔协议,极地臭氧层空洞得到一定的恢复,这个恢复过程将受到平流层降温和环流变化的影响。IPY 将对该过程的化学和动力性质及其许多复杂的相互作用进行观测、监测和模拟。在低层大气中,人类导致的空气污染传播到北极地区的不同路径以及它们的沉降和吸收,将在一些 IPY 项目中进行仔细研究。导致北极海冰的最终消融都将对低层大气与地表间的交换和复杂的化学过程产生重大的影响。那些给食物链和最终存活的动物及人类带来损害危险的变化显得特别重要。降水和热力性质方面的变化会影响到冰雪圈和低层大气间的化学交换,而这种交换部分地决定着臭氧和汞循环的化学作用。

生活在北极圈内的 4 百万居民正面临着天气气候、自然环境、资源和食物的急剧变化,变化的速度和幅度超过了以往经验和传统认知。除此之外,北极居民还要面对:由于大气和海洋的作用,从全球各地输送和汇集到极区的污染物对他们健康产生的威胁;气候快速变化,对健康产生的一些未知的风险;

快速发展的工业、极地能源资源的开采以及交通商业活动等对他们生活的重重压力。

## 2 极地冰雪

极地冰雪变化会引发大气环流和海平面变化及气候的变化,从而对人类生存环境产生潜在影响。主要表现在积雪和冰覆盖范围的变化引起地球表面反照率改变,进而影响表面加热状况,最终导致大气环流的异常。冰芯中高分辨率记录是研究过去全球变化的主要资料。已经取得的科学成果革新了一系列有关地球环境演变规律的传统认识。这些冰芯包括格陵兰和南极的深孔冰芯以及中低纬地区高山冰川钻取的浅冰芯。IPY 将致力于了解多种时空尺度的冰雪变化和变率,特别是那些质量变化会显著影响大洋环流和海平面变化的大型冰储体。对全球冰量的全面评估需要进行广泛而准确的观测,包括冰的积累、陆冰和浮冰表面和基础融化、冰川冰架的运动和分解、融水渗透和表面反照率变化以及冰流的季节性变化。

IPY 将对冰盖的变化进行监测和估计,特别对格陵兰岛边缘、西南极和南极半岛地区,那里的冰正在快速融化。最近对格陵兰冰盖边缘的外流冰川系统表面高度和径流速度变化的调查显示冰川积累、表面融化和冰川径流之间的平衡有显著的局地变化。这种快速的变化与冰盖内部地区表面高度的相对缓慢变化形成了鲜明的对比。后者的变化是由于积累率和数十年时间尺度的粒雪压实过程的变化。IPY 将开展对上述这些变化的研究,手段包括使用广泛的观测模拟技术,发展大气模式的潜力,应用遥感测量冰的运动及表面状况以及陆基和空基观测技术的应用。

西南极冰盖的融化,特别是其流到阿蒙森海区的冰,已经对海平面上升产生了贡献。IPY 在这一区域的观测活动包括:(1)开展冰

动力学观测研究;(2)由关键点地震波探测进行冰体底部条件分析;(3)通过在冰架及周边海区船舶观测,对冰架底部和海洋的相互作用研究;(4)从地质样品、海洋沉积物和深冰芯的研究获取冰界范围的历史记录。这些研究获得的新知识将改进冰流模式的构造、初始化和效果。

发生在南极半岛的变化包括高海拔地区的降水增加,低海拔地区融化加剧,陆冰和冰架表面及底部的融化增加,冰川冰架的分解,冰盖上的融水渗透,冰流的季节变化以及由于支撑冰架崩塌而导致的冰流加速。近期的地区性增暖引发了1995年的拉森A冰架和2002年拉森B冰架的崩塌。在其南边的拉森C冰架也已经变薄,预计持续的增暖可能导致其在10年内崩解。IPY将对这个敏感地区发生的复杂而快速的变化进行考察研究。

极地冰的核化过程尚不清楚,但其对了解当今冰盖的稳定性和解释冰芯中的古气候记录是重要的。在IPY的项目中将应用场观测和数值模拟方法对格陵兰和现代东南极冰盖的稳定性及其演化进行研究,后者的Gamburtsev次冰川山脉地区被认为有成核作用。

### 3 极地海洋

两极地区的海洋都发生着显著的变化。伴随着海冰覆盖面积收缩、淡水径流增加和海岸带侵蚀加剧,北极海洋环境最近几十年来经历了巨大的变化。在南大洋中层海水的盐度和温度以及深层海水平流的性质都发生了变化。海洋低层水体的特征变化也被检测到,但在不同的地区呈现出相反的变化。北极海冰覆盖面积的剧烈减少和几乎维持稳定不变的南极冰盖(南极半岛外),这种南北极冰覆盖变化间的巨大差异仍没有得到解释。在IPY期间将收集新的海洋数据,不仅能提

供与历史观测数据的比较,而且可以提供对未来变化评估的基础。全球环境变化受到年际和局地变率的调节,获取足够的数据对分辨这种变率与长期变化极其重要。IPY对极地海洋将设计一个可行的具有成本效益的可持续的观测系统,该系统对两极地区的海洋-冰-大气系统进行观测,能够首次记录到许多地方的年际和季节变率。从浅陆架到两极深海盆,国际间合作开展的对海冰、海水和海底中的生物多样性进行系统编目的工作,将有助于了解和评估物理变化对海洋生态系统带来的影响。

北极地区最近几十年经历了显著的环境变化,主要是气候变暖造成的后果。海洋边缘地带正在增暖并经历着一系列重大变化。北极海冰的消退正改变着生存在冰上冰下和冰内的海洋生物的生命周期,这也影响着相关的海洋资源的开发利用,因此也影响到北极本地居民的生活方式。

由于大约3千万年前南极绕极洋流的发展使南极海洋与外界相对隔绝,造成了南北海洋生态系统间交换的障碍,导致南极地区还保留着前第四纪的海洋环境,其生态系统的演化与其他主要海洋有很大的不同。高寒环境产生了独特的生物生理适应性和生存方式,以及甚至超过热带雨林的惊人的生物多样性。对造成如此生物多样化的环境尚几乎没有研究。海洋的增暖将给适应了独特的寒冷环境的南极海洋生物带来有害的影响,并可能会导致北方外来物种的入侵。IPY的研究计划将包括对南大洋生命多样性、海洋生物的生理适应性和它们对环境变化的响应的研究,以及在这些水域渔业受到的影响研究。

### 4 极地对全球气候变化的响应

极地大气状态及其由于自然和人类原因导致的变化具有全球性的影响。大气运动不

受阻碍,大气环流型在短短数周的时间尺度内就在全球所有地区相互连通。而且,由于大气与海洋和冰雪圈的相互作用,任何改变环流型的显著的扰动都会在全球范围内激起响应,这不仅对于大气的物理状态是如此,对于大气的化学成分同样如此。IPY 的项目将致力于研究这些关联中的许多方面。IPY 期间对于上层大气环流及其化学成分的加密监测,将使我们更好地了解温室气体增加对臭氧层的影响,以及臭氧层恢复的过程。IPY 的大气监测还将使我们更好地认识全球遥相关产生的根源,以及观察到的变率模型如北半球环状模的起因,而它对中纬度的天气型产生着主要影响。

由于极地寒冷,没有地方工业污染源,极地大气还起着全球警示的作用。许多污染物通过经向大气环流型最终进入极地环境。它们的去向及其对局部大气化学性质的影响,以及地表沉降过程对局地生态系统的影响,将是许多 IPY 项目重点研究的内容。随着极地天气和气候系统的变化,这些污染物的流入和最终去向将发生演变,可能会影响到更广大的中纬度地区。因此了解这种演变的控制过程十分重要。通过影响辐射作用,大气中的污染物直接影响到对流层的热力结构和环流系统,并通过地表沉降和对食物链的污染影响到极地的居民。低层大气增暖当然会直接影响到许多和气候相关的地表过程。在北极,随着冰覆盖面积收缩导致更大的开阔洋面出现,热通量和水汽通量的变化将给局地天气和气候带来大的转变。其进一步通过与中纬度环流型的相互作用,将对大气波动系统产生显著的调制作用。而且对海气相互作用也将产生间接的影响:极地风的变化将会改变极地海洋和大气之间的热交换,从而影响所谓的海洋传输带环流。

极地降水系统对南极和北极冰川的发育起着决定作用,不仅影响冰川的动力学,并最

终通过冰川范围的变化导致海平面上升而产生全球性影响。另一个间接联系是通过绕极的河流系统的径流注入,改变北冰洋海水的盐度和密度,进而改变其环流型。增暖将加速广大永冻区的融化,这不仅将会对土壤中输送和结构产生局部影响,还将会释放出温室气体比如融化层中所含的甲烷。而温室气体地面排放的任何明显的局部增加都将会迅速产生全球扩散和混合,加快全球变暖的进程。IPY 的许多项目重点在更好地理解这些复杂的互相作用和过程。研究结果将有助于发展更精确的海-冰-大气环流模式,最终提高对天气预报和气候变化的预测和预估水平。

## 5 认识过去和现在极地变化,预测未来的变化

当今极地正在发生着快速的不同时间尺度和不同空间尺度的环境变化。气象观测记录能用于对从年际到年代际时间尺度变化的评估,同时来自沉积物和冰芯的代用资料能够提供更长时间尺度的气候变化信息。IPY 通过收集新的直接观测数据、扩展时间序列可用性、评估时间序列数据有效性并进一步发展模式来揭示变化及其信息是如何转移到代用记录中,IPY 的科学家将对所有这些资料进行整合利用。IPY 将设计在北极和南大洋上建立优化的观测系统来追踪正在发生的变化,并将利用模式对观测数据进行校准化和初始化,为数值模式的资料同化提供数据支持。通过这样的途径,我们将能够达到对极地耦合的大气-海洋-冰雪圈系统未来状况更加可信的预测。

## 6 我国 IPY 大气科学行动计划

国际极地年是最大规模的国际极地考察合作行动,各国都以此为契机,组织大型的极

地考察和广泛极地科普活动,增强国民的极地意识。由于历史原因,我国未能参加前3次国际极地年,失去了参加早期极地考察和占据有利建站位置的历史性机会。自上世纪80年代以来,我国开展了大量的极地科学考察工作,建立了南极长城站、南极中山站、北极黄河站,开展了一系列的极地大气和冰雪科学的观测与研究并取得重要进展<sup>[2-5]</sup>。我国提交的PANDA计划受到国际IPY组织的认可和极大关注,并吸引了美、英、德、法、澳、日、韩等国科学家的积极参与。IPY期间我国将通过实施国际极地年中国计划——PANDA计划,在Dome-A地区以及中山站-Dome A沿线,利用国内外先进的观测仪器,开展雪冰-大气-地球物理综合观测,建立南极冰盖大气本底观测系统,获取南极冰雪/大气相互作用的物理过程和化学过程的研究资料,开展极地国际前沿问题的研究,进一步量化和理解南极冰盖演化历史和现代气候与环境变化过程及其对全球变化的影响。继续在极地监测和探测环境变化,特别是监测极地大气环境参数变化,研究极地臭氧和二氧化碳等特征变化规律及其对生态和环境的影响。

响。对极地地区的温室气体及其海气交换、大气污染物的转化和远程传输等进行研究,加深对有关全球变化的认识。研究极地气候及环境变化对全球变化影响的时空分布模型,揭示极地各环境因子对全球变化耦合影响的气候过程;研究南北极近代气候变化规律,及其对全球气候变化和区划气候变化的响应和反馈。从极地气候变化信息中发现和提取能用于我国短期气候预测的强预测信号。

### 参考文献

- [1] Ian Allison et al. The Scope of Science for the International Polar Year 2007—2008, Produced by the IC-SU/WMO Joint Committee for IPY 2007-2008.
- [2] 陆龙骅,卞林根,效存德,等. 近20年来中国极地大气科学研究进展[J]. 气象学报, 2004, 62(5): 672-691.
- [3] 陆龙骅,卞林根,效存德,等. 极地大气科学与全球变化研究[J]. 应用气象学报, 2006, 17(6): 743-755.
- [4] 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, 1: 3-8.
- [5] 秦大河、效存德、丁永建,等. 国际冰冻圈研究动态和我国冰冻圈研究的现状与展望[J]. 应用气象学报, 2006, 17(6): 649-656.