

高登义, 邹捍, 周立波, 等. 极地大气科学考察研究与展望. 大气科学, 2008, 32 (4): 882~892

Gao Dengyi, Zou Han, Zhou Libo, et al. Expedition research and prospect on atmospheric sciences in the polar regions. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2008, 32 (4): 882~892

极地大气科学考察研究与展望

高登义 邹捍 周立波 曲绍厚 王庚辰

中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

摘 要 本文包括四部分。第一部分是对中国科学院大气物理研究所 1984 年以来的极地大气科学考察研究工作概要地作了回顾; 第二部分是中科院大气物理研究所近 5 年来在极地大气科学方面研究的主要进展; 第三部分是对未来极地大气科学考察研究的重点问题的展望与建议; 第四部分是结论与讨论。作者认为, 未来极地大气科学考察研究的重点问题应该包括: (1) 南极北极冰雪变化差异成因, (2) 北极冰雪变化异常与我国气候变化关系, (3) 南极冰雪变化与人类未来。

关键词 极地大气科学考察研究 臭氧洞 冰雪变化 气候变化

文章编号 1006-9895 (2008) 04-0882-11 **中图分类号** P412 **文献标识码** A

Expedition Research and Prospect on Atmospheric Sciences in the Polar Regions

GAO Dengyi, ZOU Han, ZHOU Libo, QU Shaohou, and WANG Gengchen

Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

Abstract There are four parts in this paper. The first part is an outline review on the expedition research of atmospheric sciences in the polar region for the Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences (IAP, CAS) since 1984. The second part is its advance during recent 5 years for IAP, CAS. The third part is about the prospect and suggestion of the important projects for researching polar atmospheric sciences in the future. The fourth part is on the conclusions and discussions. The authors think that the important projects for researching polar atmospheric sciences in the future should include the followings: (a) the origin on the ice-snow variation difference between Antarctic and Arctic, (b) the relations between the anomaly of ice-snow variation in Arctic and the climate change in China, (c) the ice-snow variation in Antarctic and the mankind future.

Key words expedition research on atmospheric sciences in the polar regions, the ozone hole, ice-snow variation, climate change

1 回顾

1981 年 5 月 11 日, 国务院批准了国家科委上报的“关于成立国家南极考察委员会的报告”, 国家南极考察委员会正式成立。1984 年 2 月 7 日, 中

国科学院王富葆、孙鸿烈、谢自楚……高登义等 32 名科学家联名致函中共中央和国务院, 建议中国尽快独立组建南极考察队, 到南极洲建立考察站, 从事南极科学考察活动。中共中央和国务院对这封信极为重视, 经过反复考虑后认为, 中国这样大国应

该在南极洲有自己的考察站, 同意在南极洲建立考察站, 开展南极科学考察。根据中共中央和国务院同意在南极建站的批示, 国家南极考察委员会积极组织筹备, 于 1984 年 11 月~1985 年 2 月完成了我国南极长城站的建站工作。自此, 中国自己组织的南极科学考察步入了世界之林。1986 年 5 月 17 日, 中国南极研究学术委员会在北京正式成立, 中国科学院副院长孙鸿烈担任主任; 中国科学院大气物理研究所(简称大气所) 科学家叶笃正、曾庆存院士是第一屆委员, 吕达仁、高登义为第二、三届委员。

自 1984 年以来, 高登义和大气所的同行人先后 18 人次参加南极科学考察, 其中有 10 人次参加南极越冬科学考察, 有 4 人次应邀参加日本南极昭和基地科学考察。自 1991 年起, 大气所先后 22 人次参加北极科学考察。

在参加南极、北极科学考察研究过程中, 大气所介入了国家南极和北极科学考察研究计划, 先后承担国家南极考察委员会、国家海洋局极地考察办公室的南极、北极研究项目, 中国科学院的“八五”、“九五”南极北极研究项目, 国家自然科学基金委员会的委主任基金、重点基金、面上基金等极地研究项目, 取得了宝贵的野外观测资料和科学研究成果。大气所的科学家不仅在建立我国南极中山站和促进我国政府建立中国北极科学考察站中做出了应有的贡献, 而且在极地科学研究中也取得了可喜的科学研究成果。

1984~1988 年, 高登义、曲绍厚、邹捍、熊康等四人先后应邀参加了日本南极昭和站的南极科学考察, 利用在日本南极的科学考察资料, 与国内外的科学家刘树华、石广玉、吕位秀、王明星、麻益民、川口贞男、山内恭等合作, 于 1986~1994 年发表论文 21 篇^[1~21]。在这 21 篇文献中, 研究大气臭氧变化的有 8 篇, 其中 4 篇研究指出, 春季青藏高原对流层臭氧含量突然减小会引起对流层内突然增温, 这种增温过程从低层逐渐向上层传递到平流层, 而南极上空平流层臭氧突然增加引起的平流层爆发性增温会从高层向下传递到对流层^[1~4]; 另外 4 篇研究南极平流层爆发性增温与臭氧突变关系^[8]、南极极夜期间臭氧含量变化及其与平流层风温关系^[12]、“臭氧洞”形成的分析研究^[13]以及全球大气臭氧层的主要特征和变化趋势^[21]。研究南极大气边界层物理特征及近地面热量输送的论

文^[5, 6, 9, 15~17]有 6 篇; 研究南极大气化学的论文^[7, 10, 11]有 3 篇; 研究南极下降风的论文^[14, 18] 2 篇; 研究南极大气光学特征的论文^[19, 20] 2 篇。

1988 年 11 月~1989 年 4 月, 高登义应邀参加了我国南极中山站的建站工作, 作为气象组负责人之一, 圆满完成了建站过程中的天气预报任务。自此以后, 大气所南极大气科学考察研究工作转向以中山站为中心的科学研究。曲绍厚、孙金辉等先后 14 人次参加了南极中山站的科学考察研究; 其中, 以南极高层大气观测研究为主。与此同时, 大气所吕达仁、高登义、王庚辰、曲绍厚等承担了国家南极科学研究课题, 如, 国家南极研究计划中的“八五”国家科技攻关项目“中国南极科学考察研究”、“九五”国家科技攻关项目“南极地区对全球变化的影响与反馈作用研究”, 中国科学院重大项目“南北极典型地区资源环境与全球变化研究”中的二级课题“南极地区地气日相互作用与无冰区环境及其演化过程研究”, 国家自然科学基金委员会的“地球三极区域环境本底和地气交换对气候影响的考察研究”、“南北极冰雪圈大气边界层结构和湍流通量输送的试验研究”等项目, 宋正山、李国庆、李鸿洲、孔琴心、汪宏七等 10 余名科学研究人员参加了这些项目的室内分析研究。

1991~1998 年, 先后发表 33 篇论文, 其中, 发表在期刊学报上的论文有 15 篇, 发表在 1995、1996 和 1998 年出版的南极科学考察论文集上有 18 篇。研究内容包括如下方面, 科学考察研究方面包括: 第一, 南极高空大气物理的探测研究, 包括南极上空大气臭氧直接测量和南极上空臭氧总量变化研究^[22~27]、大气辐射和分光测量与分析研究^[28, 29]、云和气溶胶的遥感与分析^[30, 31]、大气电场特征^[32]等, 第二, 在边界层大气物理方面, 研究了南极中山站边界层大气结构及湍流输送^[33, 34]; 室内分析研究方面包括: 南极地区大气环流的流体力学模拟实验研究^[35~38], 南极地区大气环流和天气系统的数值模拟实验研究^[39~43], 南极地区与全球天气气候变化关系^[44~48], 南极大气边界层结构与通量输送观测研究^[49~52], 南极上空臭氧洞观测和形成机制研究^[53], 南极地区日地系统整体行为综合观测研究^[54]。

大气所北极科学考察研究开始于 1991 年, 之后, 先后于 1996、1997、1999、2000、2001、2002、

2003 年共 18 人次参加了北极大气科学考察。其间,承担国家极地科研项目和国家自然科学基金委的研究项目,如国家重大项目“中国首次北极科学考察”、国家自然科学基金委员会的“北极斯瓦尔巴地区与青藏高原生态环境系统对比研究(40352001)”、“北极部分地区大气臭氧亏损的动力学研究”、“鄂霍次克海大气臭氧极大值研究”等。

1991 年 7~8 月,应挪威卑尔根大学的邀请,高登义乘挪威极地研究所的“LANCE(南森)”号科学考察船,参加了由挪威、苏联、中国和冰岛四国科学家组成的北极斯瓦尔巴群岛邻近海域的北极综合科学考察。在挪威卑尔根大学 Y. 叶新教授的帮助下,把《SVALBARD TRTAEY》(斯瓦尔巴条约)的原文版带回国内,并积极向国家有关部门汇报,宣传我国是斯瓦尔巴条约的成员国,呼吁尽快在斯瓦尔巴群岛建立我国的北极科学考察站,以促进我国北极科学考察研究事业。此举得到了当时的南极考察办公室和外交部条法司的关心和理解,中国科学院领导大力支持,在“九五”科学院的重大研究项目“南北极典型地区资源环境与全球变化研究”中,特别设立了“北极斯瓦尔巴建站研究”的子课题,高登义和邹捍先后为该课题负责人。1995 年 10 月聘任高登义为中国科学院极地科学委员会委员。

1995 和 1996 年,高登义研究员先后陪同陈宜瑜副院长、秦大河局长、刘东生院士等访问挪威和斯瓦尔巴洲,就与挪威广泛开展科学合作,尤其是关于北极斯瓦尔巴建站事宜,进行调查、交流,得到了挪威政府及有关部门的大力支持,先后于 1997 和 2001 年得到挪威驻华大使馆的两次邀请函,邀请中国科学院赴斯瓦尔巴群岛建立科学考察站。

2001 年底至 2003 年,在中国科学院、中国科协和国家海洋局极地办公室的关心、领导和支持下,在我国企业家的赞助下,挂靠在大气所的中国科学探险协会组织了“中国伊力特·沐林北极科学探险考察队”,在北极斯瓦尔巴群岛的 Longyearbyen (78°13.5'N, 15°37.7'E) 建立了“中国伊力特·沐林北极科学探险考察站”,进行“北极斯瓦尔巴与青藏高原生态、环境对比研究”,并促进我国政府于 2004 年在北极斯瓦尔巴群岛上建立了中国北极黄河站。

1999 年,邹捍、曲绍厚、王维、周立波等四人乘“雪龙”号考察船,参加了我国政府组织的北极

科学考察,进行北极海域海气交换观测研究。

通过上述北极考察研究,发表论文 13 篇。与此同时,黄荣辉院士、武炳义等也在室内进行北极大气科学研究,发表论文 9 篇。

在 1991 年 7~8 月的考察中,中国和挪威科学家合作,在北极海域 80°N 附近的浮冰上,选取不同面积浮冰以及在浮冰的不同位置,使用 3 m、3 层的自动气象站和系留汽艇同时进行 7 天的热量交换观测。观测研究表明^[55],浮冰冰面与大气之间的感热交换通量大小与浮冰面积大小呈反比,即浮冰面积越大(小),感热通量越小(大);与观测点位置关系密切,即观测点离浮冰边缘越近(远),感热通量越大(小)。

1999 年、2001~2003 年的北极科学考察中,有关大气科学方面发表了 12 篇论文^[56~67]。

观测研究表明,在极昼期间,北极海域大气边界层内的逆温层与南极和其他地区边界层内的逆温层都有所不同,北极海域的逆温层具有强度和厚度大、持续时间长的特点^[56~58];天气系统变化能够影响北极海域大气臭氧总量及臭氧分压的垂直变化^[59~62];大气中的暖平流会影响北极海域大气边界层内的逆温层结分布^[63];夏季北极斯瓦尔巴苔原表面是大气的微弱热源^[64, 65]。从斯瓦尔巴 Bolterskardet 湖钻取的湖芯样品的分析结果^[66, 67]表明,在 1850~2000 年的 150 年期间,北极斯瓦尔巴夏天的气温变化具有准 20 年的振荡,即在 1868、1900、1930、1950、1970、1990 年前后有六个气温的峰值,其中,尤以 1981~2000 年期间的峰值为最显著,正距平达到 0.5°C 左右;另外,1920 年是一个转变点,之前的夏季气温以负距平为主,之后的夏季气温以正距平为主。

室内分析研究表明,北极地区海冰与气温变化都具有年代际的振荡特征^[68~70];冬季北极海域(格陵兰海、喀拉-巴伦支海)海冰年际变化与 ESON 事件密切相关^[71, 72];北极喀拉-巴伦支海海冰变化对东亚冬季风变化影响明显^[73, 74];北极浮冰厚度和面积变化对大气环流影响的数值实验说明,浮冰厚度变化对大气环流变化的影响非常重要^[75, 76]。

2 五年来极地大气科学研究进展

2.1 北极地区大气臭氧变化研究

近年来,北极地区臭氧的长期变化及其亏损机

制越来越得到科学家的关注^[77~80]。北半球高纬度地区 50°N~60°N 与北极地区相邻, 是联系北极与低纬度地区大气臭氧和大气环流变化的关键区域, 该地区的大气臭氧可以通过行星波传播和 Rossby 波列等大气动力过程将北极的臭氧亏损物质与中纬度地区进行交换^[81,82]。因此研究该地区大气臭氧的长期变化对于认识北极臭氧亏损机制和保护该地区的人类生存环境至关重要。邹捍等利用臭氧的长期资料 (1979~2002), 通过各种方法 (如统计回归模式和强加信号法等), 对影响臭氧长期变化的因子包括太阳辐射通量、准两年振荡 (QBO)、厄尔尼诺-南方涛动 (ENSO) 和北极涛动 (AO) 等进行分析。研究指出, 50°N~60°N 臭氧长期变化存在很强的经向非对称性, 75°E~125°E 是臭氧减少趋势最强, 也是对各种大气信号响应最强的经度。因此认为, 臭氧总量分布及其长期变化趋势都存在显著的经向非对称性, 其减少趋势最强出现在 3 月的 75°E~125°E 经度带上, 该经度带是可能联系北极和低纬度地区大气交换的关键区域 (图 1)。进一步研究还发现, 上述臭氧的非对称性与北极极涡的伸展、ENSO 及 AO 密切相关^[62]。

2.2 楚科奇海域大气臭氧的观测研究

1999 年 7 月 1 日至 9 月 9 日, 60 多名中国科学家乘坐“雪龙”号破冰船进行了中国政府组织的首次北极科学考察。利用考察期间位于冰站 (75°N, 160°W) 获得的连续 7 天的臭氧探空资料, 我们分析了该期间楚科奇海地区大气臭氧变化 [图 2 (见文后彩图)], 结果指出: 该地区大气臭氧垂直分布呈双峰型, 主峰值出现在 20~22 km 附近, 臭氧

浓度为 12~14 mPa, 次峰值出现在 10~12.5 km, 臭氧浓度为 4~8 mPa。进一步研究表明探测到的 25 km 以下的臭氧总量可以代表整层臭氧总量的变化。考察期间, 对流层的高度从 1999 年 8 月 18 日和 19 日的 10 km 增加到 21 日的 12.5 km 附近, 24 日又降低到 10.5 km, 经历了一个低-高-低过程。这种变化与卫星遥感 TOMS 臭氧总量、0~25 km 臭氧总量变化相吻合^[59,60]。在对流层低层, 温度呈暖-冷-暖变化, 而在对流层大部分包括对流层顶, 温度均呈冷-暖-冷变化 (图 2)。从温度的这一变化可以看出, 考察测站经历了一次暖空气过境, 使得该区域对流层顶抬升^[61]。对比分析该区域对流层顶高度和臭氧总量变化规律, 高对流层顶与上层低臭氧浓度相一致, 反之亦然。在等熵面分析中发现, 考察期间与臭氧总量变化相对应的对流层大气物质在臭氧减少的过程中有明显的抬升运动。从天气形势分析中可以看到, 来自考察站东南的大气暖平流过程为该地区注入了热量, 使得该地区低层低密度臭氧空气辐合抬升, 造成对流层顶以上高臭氧浓度空气辐散, 从而导致整层臭氧减少。

2.3 北极极涡的年际变化及其对氧化亚氮分布影响的研究

北极极涡是冬季北半球中高纬度的一个重要环流结构, 其形成、维持、减弱和崩溃等的变化对北极乃至北半球中高纬度地区臭氧的年际变化都有着十分重要的影响^[83~85]。我们利用 ECMWF ERA40 资料和 Nash 等^[83]的标准计算北极极涡崩溃时间的年际变化 (图 3), 可以看出, 极涡崩溃时间存在明显的年际变化, 1990 年代极涡崩溃时间明显落后

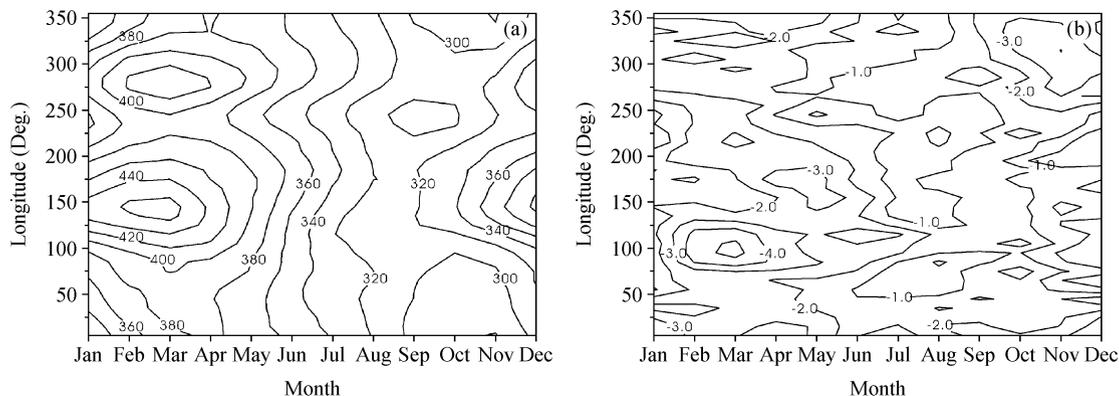


图 1 1979~2002 年 50°N~60°N 平均臭氧总量 (a) 和臭氧变化趋势 (b) 的季节变化 (引自文献^[62])

Fig. 1 Seasonal variations of (a) total ozone (contour interval; 20 DU) and (b) ozone trends (contour interval; 1%/10 a) averaged between 50°N and 60°N for 1979-2002 (from reference ^[62])

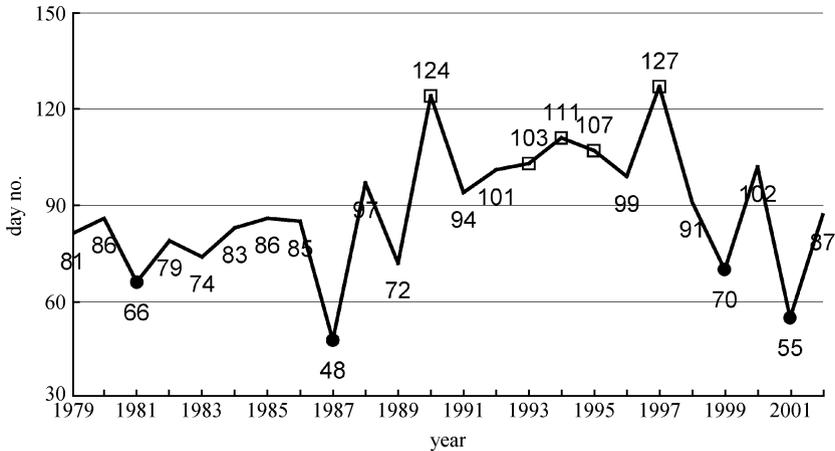


图3 北极极涡崩溃时间的年际变化, 圆形和正方形分别指崩溃极早和极晚年份(引自文献[90])

Fig. 3 The year-to-year variation of the Arctic vortex breakup time, and the circle and square symbols denote the early and late breakup years, respectively (from reference [90])

与1980年代, 这与 Waugh 等^[84]的研究结果相一致。极涡的存在与消亡对北极臭氧的亏损有重要意义: 极涡存在时间长, 一方面通过极涡内极低的温度导致极地平流层云 PSCs 的生成, 造成臭氧的消亡; 另一方面极涡的长时间存在阻碍了极涡内外大气的混合, 使得极涡内部臭氧亏损更加严重。由此, 北极极涡崩溃时间的早晚对极涡内外大气混合传输至关重要, 也直接影响着北半球中高纬度的大气痕量气体的分布与变化特征。利用日本气候研究中心和国立环境研究所 (CCSR/NIES 光化学模式, 我们模拟了 1958~2002 年氧化亚氮的分布状况, 该模式和数值实验的详细介绍见文献[86~89]。图4(见文后彩图)给出北极极涡崩溃早、晚年份氧化亚氮浓度随相当纬度 (Equivalent Latitude) 的分布状况, 其中黑线为 60×10^{-9} 氧化亚氮浓度 (体积) 等值线, 可以近似代表极涡边界^[83]。可以看出, 冬春季节, 北半球中纬度地区, 极涡崩溃极早年份内氧化亚氮的浓度明显低于极晚的年份, 表明极涡崩溃早则极涡稳定性差, 中高纬度间的空气混合就强烈, 从而导致极涡内的氧化亚氮低值快速输送到中纬度地区。极涡崩溃极晚年份, 极涡稳定, 北半球中高纬度空气输送有限, 从而导致极涡崩溃极晚年份的氧化亚氮在中纬度地区保持稳定浓度值^[90]。

2.4 北极斯瓦尔巴地气交换观测研究

2002年7月25日~9月9日, 中国科学探险协会组织我国科学家对北极斯瓦尔巴地区的气候、环境、资源、生物等方面进行了一个多月大规模的

综合科学考察。在考察中, 中国科学院大气物理研究所、北京大学环境科学中心和中国气象科学研究院等单位的科学家们, 利用多种科学仪器, 获得了该地区大量的边界层气象资料。

大气科学组选定一处由冰川溶冻作用形成的辫状河谷河滩地为主观测点 [$(78^{\circ}11'N, 15^{\circ}55'E)$, 海拔高度 11 m]。该河谷呈东北-西南走向, 下垫面为极地苔原, 植被为季节性草甸, 粗糙度为几个到十几个厘米, 宽度大于 5 km, 视野比较开阔。

观测内容主要包括: 近地层常规气象要素平均量观测, 使用的仪器是由芬兰 VAISALA 公司研制的两套便携式自动气象站 (MAWS201), 该仪器于 2001 年年初进口的, 各感应器出厂前均作过严格的标定, 其观测项目和仪器性能指标参见文献[91]。

根据预考察期间确定的试验目的和实际考察期间具体试验场地的选取, 观测分为两个阶段进行。

第1阶段的观测目的主要是了解朗伊尔地区夏季冰川风的变化规律。MAWS2 设在朗伊尔城镇南面山上一号冰川上部的一小片岩石裸露区, 下垫面为泥沙、碎石堆积。冰川南高北低, 其坡度约为 30° , 由于太阳辐射等原因, 冰川融化严重。MAWS1 则设在山脚下冰川融化形成的南北走向的河谷里, 下垫面是密集排列的鹅卵石。

第2阶段的观测则主要是为了考察北极地区山谷风的变化。MAWS2 设在朗伊尔城镇东南 10 km 以外的小山坡上, 下垫面是冰川消退后形成的冰积垅, 生有季节性草甸。MAWS1 则设在山坡的西南

方向本次大气考察的主观测点。

2.4.1 大气湍流通量特征

图 5 给出利用涡旋相关法计算的朗伊尔地区大气近地层感热通量 H 和动量通量 τ 的日变化^[65]。可以看出，朗伊尔地区感热通量呈明显的单峰分布，每日的最大感热通量出现在 12 时（当地夏令时，下同），约为 60 W/m^2 ；谷值出现在 00~04 时，

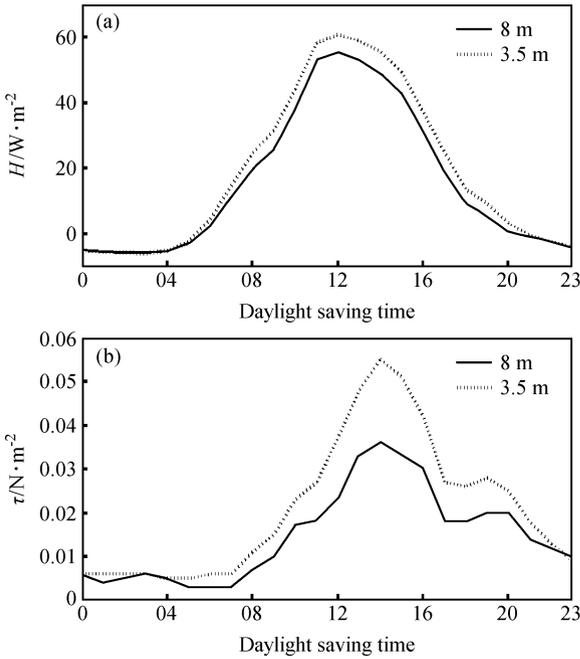


图 5 北极朗伊尔地区近地层感热通量 H (a) 和动量通量 τ (b) 的日变化 (引自文献^[65])

Fig. 5 Diurnal variation of (a) sensible heat flux (H) and (b) momentum flux (τ) at Longyearbyen (from reference ^[65])

且感热通量为负值，说明在该时段大气向地面传输热量；但就全天而言，感热通量的日均值为 17.5 W/m^2 ，表明该地区极昼期间陆地表面是大气的热源。

分析感热湍流通量如此微弱的原因，我们认为主要是由于其特殊的地理位置和特殊的下垫面条件决定的。观测地点处于 $78^{\circ}13'N$ 的高纬地区，即使在夏季，太阳高度角依然很低，太阳辐射比较弱且日变化不明显；同时由于下垫面是辫状河谷的苔原带，周围是湿地沼泽并长有丰富的低矮茅草，地面以下 80 cm 处即为永冻带，因此，下垫面的热容量比较大，其响应微弱太阳辐射外强迫的速度比较慢，地-气温差相对中低纬度地区比较小，从而导致感热湍流通量较弱。

朗伊尔地区动量通量日分布有双峰现象，主峰值出现在 14 时，3.5 m 高度处约为 0.055 N/m^2 ，次峰值出现在 19 时，仅为 0.025 N/m^2 。与感热通量日变化规律相似，动量通量的小值区集中在 00~07 时。对全天而言，8 m 高度处的动量通量略小于 3.5 m 高度处的值，这是因为下垫面对低层大气风速的影响较大，使得低处大气的风速脉动较强，从而造成动量通量相应较大。

2.5 北极斯瓦尔巴 150 年来夏季气温变化

在 2002 年 7 月 25 日~9 月 9 日在北极斯瓦尔巴考察期间，在 Bolterskardet Lake ($78^{\circ}06'N, 16^{\circ}01'E$) 钻取了 2 m 深的湖芯样品，分析反演结果^[66]如图 6。由图 6 可见，在北极斯瓦尔巴地区，150 年

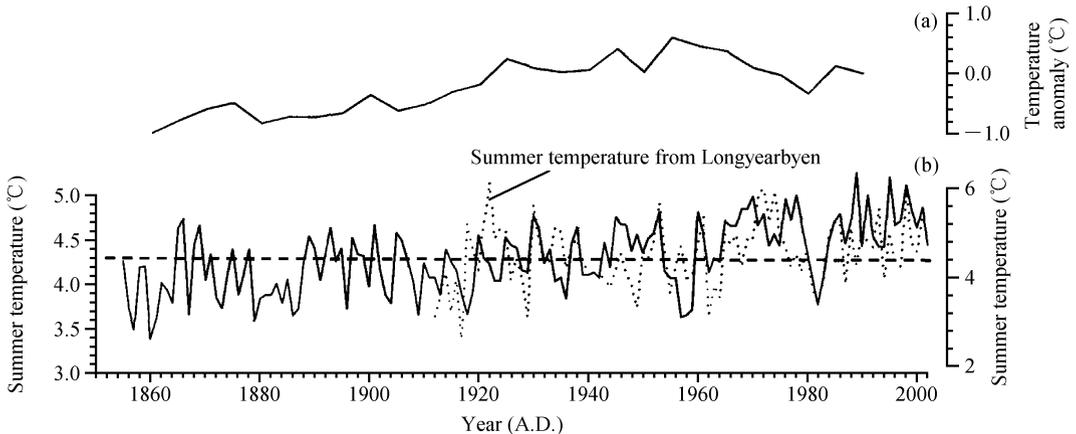


图 6 150 年 (1850~2000) 来古气候变化对比图：(a) 北极地区气温距平 (引自文献^[92])；(b) 从 Bolterskardet Lake 湖芯得到的夏季气温变化 (引自文献^[66])

Fig. 6 Comparative diagram of paleoclimatic changes over past 150 years (1850-2000): (a) Temperature anomaly in the Arctic (from reference ^[92]); (b) summer temperature from Bolterskardet Lake (dashed line; mean value) (from reference ^[66])

以来(1850~2000),夏季气温逐年变化具有准 20 年的年代际振荡,即在 1868、1900、1930、1950、1970、1990 年前后有六个气温的峰值,其中,尤以 1981~2000 年期间的峰值为最显著,正距平达到 0.5°C 左右,而在 1860、1885、1910、1936、1956 和 1982 年前后有谷值,其中尤以 1860 和 1885 年前后的谷值最低,负距平值达到 -0.6°C 左右。另外,150 年以来,北极斯瓦尔巴地区夏季的气温在逐渐增加,由初期的 $3.5\sim 4.0^{\circ}\text{C}$ 增加到近 20 年来的 $4.5\sim 5.0^{\circ}\text{C}$,其中,1920 年是一个转折点,之前的夏季气温以负距平为主,之后的夏季气温以正距平为主;这与图 6a 的趋势相当接近,那是北极地区夏季气温 150 年来的距平值,只不过斯瓦尔巴地区近 20 年来夏季气温升高更为显著。

3 展望与建议

极地大气科学研究工作,尤其是极地大气科学考察研究工作,是大气所大气科学研究工作的重要组成部分之一。目前,大气所邹捍研究员等仍然承担着国家极地科学考察研究项目和国家自然科学基金资助的极地研究课题。

近来,随着全球气候变暖,南极和北极冰雪变化却出现很大的差异(图略):北极浮冰面积和厚度迅速减小,冰盖融化快,而南极浮冰面积自 1988 年以来一直处于正距平,南极冰盖主要部分(东南极冰盖)的冰雪也在增加。

显然,上述变化对于全球气候和环境变化的影响会有不同。因此,研究极地冰雪变化规律和成因及其对全球气候环境的影响是非常重要的研究课题。我们建议,国家有关部门应尽快组织国内大气科学研究单位开展如下研究课题:探讨极地冰雪变化与全球气候环境变异的相互作用。它们应该包括:

(1) 南极、北极浮冰变化及其成因:

① 南极下降风变化及其成因的观测研究;

② 南极下降风对南极地区上空热量、动量及物质交换观测研究;

③ 南极下降风变化对南极浮冰(面积、分布、厚度)变化影响;

④ 北极浮冰(面积、分布、厚度)变化与全球气候变暖、海洋环流变化关系;

⑤ 南极下降风成因及其对南极浮冰影响的模

拟研究;

⑥ 北极浮冰变化成因的模拟研究。

(2) 南极、北极冰盖变化及其成因:

① 南极、北极冰盖变化监测;

② 北极冰盖变化与全球变暖关系;

③ 南极冰盖变化与全球变暖及南极下降风变化关系;

④ 南极、北极冰盖变化成因的模拟研究。

(3) 南极、北极冰雪变化对全球气候环境的影响

① 北极浮冰、冰盖变化对我国及全球气候环境影响;

② 南极浮冰、冰盖变化对我国及全球气候环境影响;

③ 南北极冰雪变化耦合作用对我国及全球气候环境变化的影响;

④ 北极冰雪变化对我国及全球气候环境影响的模拟研究;

⑤ 南极冰雪变化对我国及全球气候环境影响的模拟研究;

⑥ 南北极冰雪变化耦合作用对我国及全球气候环境变化影响的模拟研究。

(4) 极地冰雪变化与人类未来——21 世纪极地冰雪变化预测研究。

4 结论与讨论

(1) 大气所在我国南极北极建站及科学考察研究中做出了比较重要的贡献;

(2) 近五年来,大气所在极地科学考察研究工作中的主要成果是:

① 在建立中国人的北极科学探险考察站及促进我国政府建立中国北极站中做出了重要贡献;

② 研究表明,在 $50^{\circ}\text{N}\sim 60^{\circ}\text{N}$,臭氧长期变化存在很强的经向非对称性; $75^{\circ}\text{E}\sim 125^{\circ}\text{E}$ 是臭氧减少趋势最强、对各种大气信号响应最强的经度,因此认为,该经度是可能联系北极和低纬度地区大气交换的关键区域;

③ 冬春季节,北半球中纬度地区,极涡崩溃极早年份氧化亚氮的浓度明显低于极涡崩溃极晚的年份,即极涡崩溃早则极涡稳定性差,中高纬度间的空气混合就强烈,从而导致极涡内的氧化亚氮低值快速输送到中纬度地区;极涡崩溃的极晚年份,极

涡稳定, 北半球中高纬度空气输送有限, 从而导致极涡崩溃极晚年份的氧化亚氮在中纬度地区保持稳定浓度值;

④ 夏季, 北极斯瓦尔巴地区的下垫面是大气的微弱热源;

⑤ 近 150 年来, 北极斯瓦尔巴地区的夏季气温在逐渐增加, 1920 年是转折点, 近 20 年来增温最显著。

(3) 开展极地冰雪变化成因及其对全球, 尤其是对我国气候环境变化影响的考察研究非常重要。

参考文献 (References)

- [1] Gao Dengyi, Sadao Kawagochi. Relationship between the increase temperature and variation of ozone level over the Antarctica and Tibetan Plateau in spring. *Advance in Atmospheric Sciences*, 1986, **3** (4): 489~498
- [2] 高登义, 川口贞男. 春季南极昭和站上空增温与臭氧含量和分布的关系. *大气科学*, 1987, **11** (3): 257~262
- [3] 高登义, 川口贞男. 春季南极平流层爆发性增温与臭氧变化的关系. *南极科学考察论文集(第四集)*. 北京: 海洋出版社, 1989. 130~136
- [4] 高登义, 川口贞男. 春季南极区域和青藏高原上空增温过程对比分析. *南极科学考察论文集(第四集)*. 北京: 海洋出版社, 1989. 137~144
- [5] 高登义, 邹捍, 姜德忠. 南极地区近地面太阳气压潮汐初探. *南极研究*, 1989, **1** (3): 1~7
- [6] 曲绍厚, 山内恭. 南极瑞德站动量和感热等湍流通量的观测研究. *南极研究*, 1989, **1** (4): 1~11
- [7] 吕位秀, 高登义, 王明星, 等. 南极昭和基地背景气溶胶的化学成分. *南极科学考察论文集(第四集)*. 北京: 海洋出版社, 1989. 113~115
- [8] 邹捍. 1988 年 8 月下旬南极平流层爆发性增温及其与臭氧的关系. *南极研究*, 1990, **2** (2): 51~60
- [9] Qu Shaohou, Observation and research on the turbulent fluxes of momentum and sensible heat over Mizuho station (70°41'53"S, 44°19'54"E), East Antarctica. *Annual Report, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences*, 1990. 115~125
- [10] Qu Shaohou, Yamalouchi T. Variation of atmospheric carbon dioxide concentration and its greenhouse effect at Syowa station (69°00'S, 39°35'E) Antarctica. *Advances in Atmospheric Sciences*, 1991, **8** (3): 363~368
- [11] 曲绍厚, 山内恭. 南极昭和站大气中二氧化碳浓度变化. *南极研究*, 1991, **3** (1): 54~58
- [12] 熊康, 胡荣明, 石广玉. 南极极夜期间臭氧含量变化及其与平流层风温关系. *南极研究*, 1992, **4** (2): 43~49
- [13] 曲绍厚. 南极上空“臭氧洞”形成和演变分析研究. *高原气象*, 1992, **11** (1): 83~89
- [14] Ma Yimin. Simulation of katabatic winds at Mizuho station, Antarctica. *Antarctic Research*, 1992, **3** (1): 25~30
- [15] 刘树华, 熊康. 南极瑞德站的辐射特征. *南极研究*, 1993, **5** (1): 39~45
- [16] Liu Shuhua, Yu Peng, Xiong Kang. Radiation balance and turbulent flux characteristics over Mizuho station in Antarctica. *Acta Meteorologica Sinica*, 1993, **7** (3): 316~326
- [17] 刘树华, 熊康. 南极瑞德站辐射特征的初步研究. *北京大学学报(自然科学版)*, 1993, **29** (1): 96~106
- [18] 刘树华, 熊康. 南极大气环流特征探讨. *北京大学学报(自然科学版)*, 1994, **30** (1): 86~91
- [19] 刘树华, 熊康. 南极瑞德站太阳分光辐射及大气透明状况. *北京大学学报(自然科学版)*, 1994, **30** (1): 92~97
- [20] 刘树华, 熊康. 南极瑞德站大气光学特征研究. *北京大学学报(自然科学版)*, 1994, **30** (1): 98~105
- [21] 曲绍厚. 全球大气臭氧层的主要特征和变化趋势. *地球科学进展*, 1994, **9** (5): 39~47
- [22] 王庚辰. 我国大气臭氧探测技术进展现状. *地球科学进展*, 1991, **6** (6): 31~35
- [23] 孔琴心, 刘广仁, 王庚辰. 南极中山站上空大气臭氧的直接测量. *南极研究*, 1996, **8** (1): 59~64
- [24] 赵永净, 孔琴心, 王庚辰. 南极昭和站上空臭氧变化与 NAT 凝结温度的关系. *应用气象学报*, 1996, **7** (1): 118~123
- [25] 孔琴心, 刘广仁, 王庚辰. 1993 年春季南极中山站上空大气臭氧的观测分析研究. *大气科学*, 1996, **20** (4): 395~400
- [26] 孔琴心, 刘广仁, 王庚辰. 南极中山站上空大气臭氧的直接测量. *南极研究*, 1996, **8** (1): 59~64
- [27] 王庚辰. 我国中层大气臭氧研究的某些进展. *科技导报*, 1996, **5** (8): 31~34
- [28] 王庚辰, 熊效振. 南极中山站地区太阳辐射的某些特征分布. *南极研究*, 1991, **3** (3): 63~68
- [29] 吕达仁, 李卫. 南极地区 UV-B 气候学现状与展望. *南极研究*, 1994, **6** (4): 59~66
- [30] 张金定, 邱金桓, 汪宏七. 南极长城站云和气溶胶光学特性的遥感和分析. *南极研究*, 1991, **3** (1): 47~53
- [31] 孙金辉, 夏其林, 邱金桓, 等. 激光雷达探测南极平流层云. *南极研究*, 1995, **7** (1): 44~49
- [32] 吕达仁, 张凌, 宣越健, 等. 南极中山站大气电场基本特征. *南极研究*, 1995, **7** (1): 36~43
- [33] 曲绍厚, 高登义. 中山站地区大气边界层结构和湍流输送特征. *南极研究*, 1996, **8** (4): 1~10
- [34] Qu Shaohou, Gao Dengyi, Zou Han. Atmospheric boundary layer structure and turbulent flux transfer over the Zhongshan station area, Antarctica. *Journal of Polar Science*, 1997, **8** (2): 79~88
- [35] 李国庆, 谷秀函. 南极地区大气环流的流体物理实验. *中国科学(B)*, 1995, **6** (25): 655~664
- [36] 李国庆, 谷修函. 南极地区大气环流的流体物理实验. *气象学报*, 1997, **55** (2): 163~173
- [37] 李国庆. 南半球大气环流的模拟实验. *南极与全球气候环境的*

- 相互作用和影响研究进展. 北京: 科学出版社, 1995. 24~31
- [38] 李国庆, 谷修函. 南极地形及冷源对大气环流影响的流体物理实验. 南极与全球气候环境相互作用和影响的研究. 北京: 气象出版社, 1996. 22~35
- [39] 宋正山, 张道民, 杨辉. 南半球中期数值预报及天气过程的数值试验研究. 南极与全球气候环境的相互作用和影响研究进展. 北京: 科学出版社, 1995. 32~41
- [40] 高登义, 郜永祺. 极地海-冰-气相互作用的观测和模拟研究进展. 南极与全球气候环境的相互作用和影响研究进展. 北京: 科学出版社, 1995. 157~166
- [41] 宋正山, 纪立人, 杨辉, 等. 南半球的中期数值预报试验. 南极与全球气候环境相互作用和影响的研究. 北京: 气象出版社, 1996. 59~67
- [42] 张道民, 纪立人, 李金龙. 南半球动力延伸(月)预报试验. 南极与全球气候环境相互作用和影响的研究. 北京: 气象出版社, 1996. 68~75
- [43] 杨辉, 宋正山, 张道民. 季风区 5 月南北半球相互作用的数值预报试验. 南极与全球气候环境相互作用和影响的研究. 北京: 气象出版社, 1996. 87~96
- [44] 宋正山, 杨辉, 张道民. 南极大陆对中期过程的动力和热力作用. 南极与全球气候环境相互作用和影响的研究. 北京: 气象出版社, 1996. 76~86
- [45] 李玉兰, 李鸿洲, 杜长萱. 南半球中高纬地区气旋的研究. 南极与全球气候环境相互作用和影响的研究. 北京: 气象出版社, 1996. 14~21
- [46] 李鸿洲, 彭金备, 刘瑞晨. 南极海冰同我国汛期降水的统计研究. 南极与全球气候环境相互作用和影响的研究. 北京: 气象出版社, 1996. 97~103
- [47] 李鸿洲, 彭金备. 南极海冰对我国东部沿海地区汛期旱涝影响的初步研究. 南极与全球气候环境相互作用和影响的研究. 北京: 气象出版社, 1996. 104~110
- [48] 陆龙骅, 宋正山, 李国庆. 南极地区天气气候变化及其与全球气候变化关系的研究. 中国南极科学研究成果与进展. 北京: 海洋出版社, 1998. 422~438
- [49] 曲绍厚, 周秀骥, 陆龙骅. 南半球大气臭氧层的主要特征和变化趋势. 南极与全球气候环境的相互作用和影响研究进展. 北京: 科学出版社, 1995. 167~174
- [50] 卞林根, 张永萍, 高登义. 南极大陆辐射和边界层的观测研究. 南极与全球气候环境的相互作用和影响研究进展. 北京: 科学出版社, 1995. 145~156
- [51] 曲绍厚, 高登义, 卞林根. 中山站地区大气边界层结构和湍流通量输送的观测研究. 南极与全球气候环境相互作用和影响研究. 北京: 气象出版社, 1996. 293~303
- [52] 卞林根, 高登义, 曲绍厚. 南极地区辐射和大气边界层结构特征的观测研究. 中国南极科学研究成果与进展. 北京: 海洋出版社, 1998. 497~510
- [53] 王庚辰. 南极臭氧洞的观测和形成机制研究. 中国南极科学研究成果与进展. 北京: 海洋出版社, 1998. 584~597
- [54] 吕达仁, 傅其俊, 徐文耀. 南极地区日地系统整体行为综合观测与研究. 中国南极科学研究成果与进展. 北京: 海洋出版社, 1998. 537~543
- [55] Gao Dengyi, Gao Yongqi, Gjessing Y, et al. Arctic air/ice exchange and physical characteristics of ice floe in summer. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1998, **20** (4): 326~329
- [56] 曲绍厚, 胡飞. 北冰洋海域极昼期间海-冰-气间湍流通量交换特征. 自然科学进展, 2000, **10** (9): 836~841
- [57] 曲绍厚, 胡飞, 李亚秋, 等. 北冰洋及其邻近海域极昼期间大气边界层结构特征试验研究. 地球物理学报, 2002, **45** (1): 16~24
- [58] Hu Fei, Qu Shaohou, Li Yaqin, et al. Experiment research on the characteristics of ABL structure over the Arctic Ocean and adjacent sea area during the polar day period. *Chinese Journal of Geophysics*, 2002, **45** (1): 1~10
- [59] Zhou Libo, Liu Yu, Zou Han. Vertical characteristics of ozone variation over Arctic Chukchi Sea region in 1999. *Chinese Journal of Polar Science*, 2002, **13** (1): 75~82
- [60] Zou Han, Zhou Libo, Jian Yongxiao. An observation study on vertical distribution and synoptic variation of ozone in the Arctic. *Adv. Atmos. Sci.*, 2002, **19** (5): 855~862
- [61] 周立波, 邹捍, 刘宇. 北极楚克奇海上空臭氧垂直变化的探测与分析. 气候与环境研究, 2002, **7** (4): 409~414
- [62] Zou H, Zhou L, Gao Y, et al. Total ozone variation between 50° and 60°N. *Geophys. Res. Lett.*, 2005, **32**, L23812, doi: 10.1029/2005GL 024012
- [63] 周立波, 刘宇, 邹捍. 北极地区楚科奇海域一次强逆温过程的分析. 气候与环境研究, 2003, **8** (2): 188~195
- [64] 刘宇, 胡非, 邹捍, 等. 北极斯瓦尔巴德地区近地层大气观测研究 I. 平均场特征. 气候与环境研究, 2005, **10** (1): 92~100
- [65] 刘宇, 胡非, 邹捍, 等. 北极斯瓦尔巴德地区近地层大气观测研究 II. 湍流场特征. 气候与环境研究, 2005, **10** (2): 175~184
- [66] Chu Guoqing, Liu Jiaqi, Gao Dengyi, et al. Mechanism of varve formation and paleoenvironmental research at Lake Bolterskardet, Svalbard, the Arctic. *Acta Geologica Sinica*, 2006, **80** (4): 557~563
- [67] Sun Qing, Chu Guoqing, Liu Jiaqi, et al. A 150-year record of heavy metals in the varved sediments of Lake Bolterskardet, Svalbard. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 2006, **38** (3): 436~445
- [68] Gao Dengyi, Wu Bingyi. Preliminary study on decadal oscillation and its oscillation source of sea-ice-air system in the Northern Hemisphere. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 1998, **22** (2): 112~119
- [69] Gao Dengyi, Wu Bingyi. A preliminary study on decadal oscillation and its oscillation source in the sea-ice-air system in the Northern Hemisphere. *Polar Meteorology and Glaciology*, No. 12, National Institute of Polar Research, Tokyo, November 1998. 68~78

- [70] 高登义, 武炳义. 北半球海-冰-气系统的 10 年振荡及其振源初探. *大气科学*, 1998, **22** (2): 137~144
- [71] Wu Bingyi, Gao Dengyi, Huang Ronghui. ENSO events and interannual variations of winter sea-ice in the Greenland, the Kara and the Barents Seas. *Chinese Science Bulletin*, 1997, **42** (16): 1382~1384
- [72] 武炳义, 高登义, 黄荣辉. 冬季格陵兰、喀拉海和巴伦支海海冰年际变化与 ENSO 事件. *科学通报*, 1998, **42** (18): 1979~1982
- [73] 武炳义, 黄荣辉. 冬季北大西洋涛动极端异常与东亚冬季风. *大气科学*, 1999, **23** (6): 641~651
- [74] 武炳义, 黄荣辉, 高登义. 冬季北极喀拉海、巴伦支海海冰变化对东亚冬季风的影响. *大气科学*, 1999, **23** (3): 267~275
- [75] 武炳义, 黄荣辉, 高登义. 与北大西洋接壤的北极海冰与年际气候变化. *科学通报*, 2000, **45** (18): 1993~1997
- [76] 武炳义, 黄荣辉, 高登义. 北极海冰的厚度和面积变化对大气环流影响的数值模拟研究. *气象学报*, 2001, **59** (4): 414~428
- [77] Bodeker G E, Scott J C, Kreher K, et al. Global ozone trends in potential vorticity coordinates using TOMS and GOME intercompared against the Dobson network: 1978 - 1998. *J. Geophys. Res.*, 2001, **106** (D19): 23029~23042
- [78] Randel W J, Wu F, Stolarski R. Changes in column ozone correlated with the stratospheric EP flux. *J. Meteor. Soc. Japan*, 2002, **80**: 849~862
- [79] Andersen S B, Knudsen B M. The influence of vortex ozone depletion on Arctic ozone trends. *Geophys. Res. Lett.*, 2002, **29**: 2013, doi: 10.1029/2001GL014595
- [80] Rex M, Salawitch R J, von der Gathen P, et al. Arctic ozone loss and climate change. *Geophys. Res. Lett.*, 2004, **31**: L0416, doi: 10.1029/2003GL018844
- [81] Holton J R. Meridional distribution of stratospheric trace constituents. *J. Atmos. Sci.*, 1986, **43**: 1238~1242
- [82] Hood L, Rossi S, Beulen M. Trends in lower stratospheric zonal winds, Rossby wave breaking behavior, and column ozone at northern midlatitudes. *J. Geophys. Res.*, 1999, **104**: 24321~24339
- [83] Nash E R, Newman P A, Rosenfield J E, et al. An objective determination of the polar vortex using Ertel's potential vorticity. *J. Geophys. Res.*, 1996, **101**: 9471~9478
- [84] Waugh D W, Plumb R A, Elkins J W, et al. Mixing of polar vortex air into middle latitudes as revealed by tracer-tracer scatter plots. *J. Geophys. Res.*, 1997, **102**: 13119~13134
- [85] Waugh D W, Rong P P. Interannual variability in the decay of lower stratospheric Arctic vortices. *J. Meteor. Soc. Japan*, 2002, **80**(4): 997~1012
- [86] Akiyoshi H, Zhou L B, Takahashi M. Northern Hemisphere lower stratospheric N₂O distributions in the early and late polar vortex breakup years. *CGER's Supercomputer Activity Report*, 2004, **13**: 3~13
- [87] Zhou L B, Akiyoshi H. Lower stratospheric N₂O distributions in the early and late Arctic polar vortex years in the past and future from chemical transport model and chemistry-climate model. *EFF 2006 Report*, 2007. 33~43
- [88] Zhou L B, Akiyoshi H. Mid- and high-latitude N₂O distributions in the lower stratosphere in the early and late vortex years. *EFF 2005 Report*, 2006. 157~166
- [89] Zhou L B, Akiyoshi H. N₂O distributions in the early and late breakup years. *Atmospheric Chemistry Symposium*, Naguoya, 2004. 112~115
- [90] Akiyoshi H, Zhou L B. Middle-latitude and high-latitude N₂O distributions in the Northern Hemisphere in early and late Arctic polar vortex breakup years. *J. Geophys. Res.*, 2007, **112**: D18305, doi: 10.1029/2007JD008491
- [91] 刘宇, 周立波, 邹捍, 等. 青藏高原珠峰地区绒布河谷大气近地层观测研究. *高原气象*, 2004, **23** (4): 512~518
- [92] Overpeck J, Hughen K, Hardy D, et al. Arctic environmental change of the last four centuries. *Science*, **278**: 1253~1256

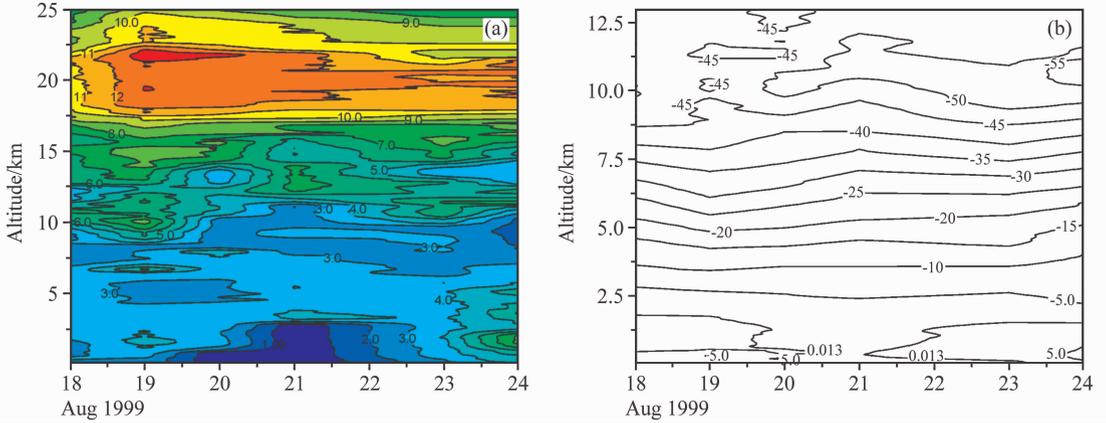


图2 1999年8月18~24日探测到的冰站(75°N, 160°W)大气臭氧(a)和温度(b)的垂直分布变化(引自文献[60])
 Fig. 2 Vertical distribution of (a) ozone (mPa) and (b) air temperature (°C) at (75°N, 160°W) during 18–24 Aug 1999 (from reference [60])

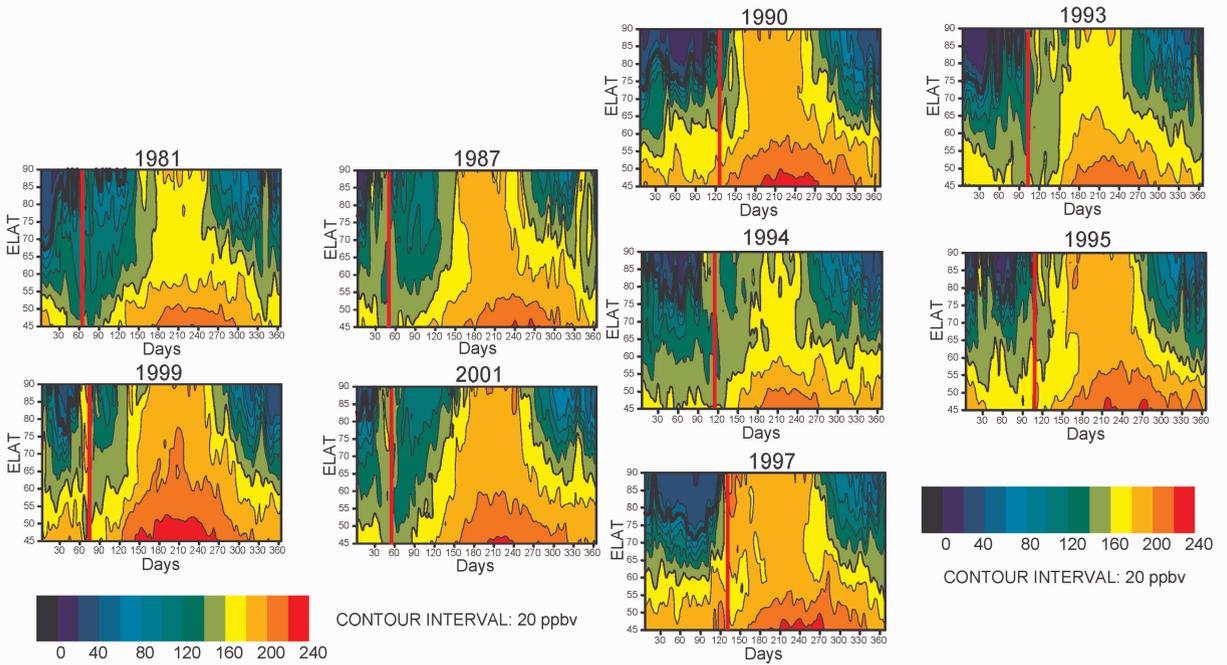


图4 北极极涡崩溃极早(1981、1987、1999、2001)和极晚(1990、1993、1994、1995、1997)年份600 K等熵面上氧化亚氮浓度随相当纬度(Equivalent Latitude)的分布状况(引自文献[90])。红竖线代表极涡崩溃时间
 Fig. 4 The N_2O mixing ratio variation with the equivalent latitude at 600 K isentropic level in the early Arctic vortex breakup years (1981, 1987, 1999, and 2001) and late years (1990, 1993, 1994, 1995, and 1997). The red vertical line denotes the vortex breakup time (from reference [90])