

极地系统科学考察——大科学系统工程管理探索

陈立奇^{1,2}

(1. 国家海洋局极地考察办公室, 北京 100860;

2. 国家海洋局海洋-大气化学与全球变化重点实验室, 福建 厦门 361005)

[摘要] 人与地球系统之间的相互作用已成为全球变化的重要驱动力, 极地系统是感应全球变化的放大器和指示器, 极地系统科学进入了一个大科学研究时代。极地系统科学不但是一门研究极地系统对全球变化的响应与反馈作用中运转的机制、规律和控制这些变化的机理, 并为区域复杂性及其对全球变化预测提供科学基础的科学, 同时也是一门高新技术应用和人类认识自然活动并科学管理极地系统的系统工程学。20年来, 中国科学家对极地系统复杂性有了深入的认识, 对极地科学考察管理也进行了有益的探索。

[关键词] 全球变化科学; 极地系统科学; 系统工程管理

[中图分类号] P714; P727; P728; F205 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2004)02-0001-07

1 引言

南极和北极是地球系统的重要组成部分。

南极地区, $5\,200 \times 10^4 \text{ km}^2$, 由南极洲和南大洋组成。南极洲面积 $1\,400 \times 10^4 \text{ km}^2$, 冰盖体积大于 $3\,000 \times 10^4 \text{ km}^3$, 集中了全球90%冰川。如果南极洲全部冰川融化, 那么全球海平面将增高约65 m。

北极地区是指北极圈以北的广大地区, 面积 $2\,100 \times 10^4 \text{ km}^2$, 包括北冰洋、诸多岛屿和亚、欧、北美大陆北部的苔原带和部分泰加林带。北冰洋面积约 $1\,400 \times 10^4 \text{ km}^2$, 与南极大陆面积相当, 几乎终年海冰覆盖。北极冰川集中在格陵兰岛, 占全球9%。它的融化, 海平面会升高5~6 m。

人类对极地在全球系统的重要意义认识, 经历了100多年的3次国际极地年(IPY)的行动计划而进一步加深。1882年至1883年第1个国际极地年, 11支考察队开展北极考察; 1932至1933年第2个国际极地年, 34个国家在北极建立了43个常年观测站; 1957年至1958年的国际地球物理年

(IGY, 也称为第3个国际极地年)以来, 更加深了对两极在地球系统中作用的认识。

人类刚跨入21世纪, 由国际科联(ICSU)发起的新一轮的国际极地年计划, 即在2007—2008年, 纪念1957—1958年第3个国际极地年开展50周年, 同时启动第4个国际极地年。第4个国际极地年的计划, 将是一个全球规模宏大, 各国积极参与, 应用最新的技术、信息和后勤保障, 围绕变化中的地球系统对极地系统的作用和反作用, 开展具有时间和空间尺度, 具有生物、海洋、大气、岩石的圈层作用、星球之间相互影响以及人类干扰因素等集成的关键过程研究^[1,2]。可以预测, 随着新的国际极地年计划的开展, 将极大地丰富和提高人们对全球气候和环境变化的了解和预测能力。

中国在迎接新一轮的极地科学考察热潮中, 总结20年来极地科学考察的经验, 探索极地大科学系统工程管理的路子, 这将有益于促进我国极地科学发展, 更好地发挥我国在国际极地事务中的作用。

[收稿日期] 2003-09-22

[基金项目] 国家自然科学基金(40276001), 科技部社会公益研究专项基金(2001DIA50040)和国家“九五”重点科技攻关(98927)等资助项目

[作者简介] 陈立奇(1945-), 男, 福建晋江市人, 国家海洋局海洋-大气化学与全球变化重点实验室研究员, 博士生导师

2 地球系统中的南北极系统

地球系统是指由岩石圈、大气圈、水圈和生物圈组成的作为整体的地球,是一个复杂的巨系统(giant system)。但是,长期以来,地球被认为是一个具有海洋、大气和陆地以及它们之中存在的生命和非生命物种的稳定联系体系。这种地球体系的设想很难形成全球变化科学研究的基础,对理解地球是如何作为一个系统工作的,地球各部分是如何联系着的,各个部分在系统中的重要性认识也很缺乏。对各子系统的反馈机制也不太清楚,尤其是控制系统的动力学过程。

20世纪80年代中期,地球系统科学(earth system science)和全球变化科学(global change science)为一对孪生兄弟出世,开始成为全球热点的新兴科学前沿领域。它们的产生和发展是人类为解决所面临的全球性环境问题的需要,也是地球科学与其他科学技术的结合,并向深度和广度发展的必然结果^[3,4]。

地球系统科学和全球变化科学把极地系统作为地球系统不可分割而又强烈相互作用的有机组成。围绕极地系统运转的机制、规律和控制这些变化的机理,进行了长期不懈的观测研究,丰富了对极地系统认识,促进了极地系统科学的发展。因此,地球系统科学和全球变化科学的重要进展,首先得益于极地科学考察的进步和对极地系统重要意义的认识。

全球变化研究在极地研究中取得了重大的突破。从20世纪80年代的20年来,科学家在围绕全球变化的南极研究中,发现了臭氧层在每年南极的春天受到人造化学物质的破坏;大气温室气体浓度变化与全球气候在40万年的时间尺度上的联系;工业化对全球尺度污染和大气组成变化的影响;电离层高度降低与全球变暖一致;冰期和间冰期的天然循环周期;南大洋生态系对海洋环境变化的敏感性;南极洲在冈瓦纳超级古大陆分裂过程研究以及在全球板块和动物分布研究的关键作用;南极冰盖下的大湖可能存在有生活几百万年的古生命形式和极端环境生态系等。其中,最具有影响力的是南极臭氧空洞的发现,大气温室气体浓度变化与全球气候在40万年的时间尺度上的联系,工业化对全球尺度污染和大气组成变化的影响,冰期和间冰期的天然循环周期等现象^[5,6]。

1985年,南极臭氧空洞现象首先在英国《自然》杂志上提出^[7],引起了世界的震惊,从而使人类第一次认识到,人为的作用叠加在自然变化上是能够产生对地球环境具有巨大破坏力的作用。因此,促使世界各国走到一起,共同致力于减少乃至制止氟氯烃生产的行动。

从南极东方站3000 m厚的冰芯的同位素和气体分析获得了地球过去42万年的有关全球变化的重要数据。 CO_2 、 CH_4 、气溶胶微粒和上覆大气温度的数据,则在工业化前的42万年中表现有规律的随冰期和间冰期变化的4个自然循环,基本保持一种稳态;而在工业化后,它们直线上升并超过了自然循环的任何最高峰值,至今没有下降趋势^[8]。

最近,大量关于“快速变化的北极(rapid changing arctic)”报道^[9~11],主要是指在全球变暖的驱动下,引起北极地区大气、海洋、陆地圈层发生了显著的变化。20世纪70年代以来,北冰洋、欧亚大陆和北美大陆北部地区温度持续升高,有些地区升高 $2\sim 2.5^\circ\text{C}$ 。此外,北极的大气环流系统也在发生变化,极区表面气压降低,涡旋明显加强,增加了大气热量和湿度的大尺度经向通量。20世纪90年代同50年代相比,北冰洋冰盖范围和厚度明显减小和变薄,夏季海冰的范围减少 $10\%\sim 15\%$,海冰的厚度减少了1.3 m,中央地区的海冰40年来变薄了40%,一些模式指出,到21世纪80年代,北冰洋海冰在夏季将全部融化。

由于在南北极系统科学研究的重要进展,因此,最近在美国《科学》和英国《自然》等杂志上,连续发表了一些重要的科学论断:气候正在从“有序营力”(ordered forcing)进入“无序特性”(chaotic behavior or randomness),即地球“有序系统”(ordered system)对“人为营力”(anthropogenic forcing)的响应所产生的“无序分量”(chaotic component)叠加,大大超出了有序营力而进入无序系统,而这种无序分量是很难预测的,是一种很复杂的体系,因此,派生了复杂性科学——研究区域变化复杂性和全球变化复杂性的科学。为此,围绕区域和全球变化的研究必须采用系统论和集成论的研究方法^[12~14],这就为全球变化科学的形成提供了理论基础。随后,以诺贝尔奖获得者、著名的大气化学家Crutzen教授为代表提出了划分一个新的地质时代,既“人类世”(anthropocene)的新概念^[15]。他们认为,自工业

化以来乃至今后的百万年内人类仍将会是一个主要的地质推动力。

人类刚跨入 21 世纪，全球变化科学的发展又迅速促成了可持续发展科学 (sustainability science) 的形成。要解决面临着正在变化的地球的人类可持续发展问题，需要把当代自然科学和社会科学紧密地结合，即要求可持续发展科学研究，一方面要考虑世界正面临着环境问题日益严峻的发展趋势，另一方面又要为政策的制定者和决定者提供急需的不断发展的自然科学准确新信息^[16,17]。

因此，全球变化科学和可持续发展科学的发展，迅速促使极地系统科学成为现代地球系统科学研究前缘，极地系统科学考察也进入了一个崭新的大科学时代。

3 大科学系统工程管理探索

我国于 1985 年 2 月和 1989 年 2 月分别在南极半岛的乔治王岛和东南极的拉斯曼丘陵上建立了中国南极长城站和中山站。1984 年，中国首次南极科学考察队登上了南极洲；1999 年，中国首次北极科学考察队乘中国“雪龙”号极地科学考察船，完成了对白令海和西北冰洋的综合考察；2003 年，又进行了第二次北极科学考察和在北极的斯匹次卑尔根群岛 (Spitsbergen) 上建立长期科学考察站。实现了中国科学家直接从两极观测地球系统的研究平台。如何充分利用我国 20 年来对南北极考察获得的基础研究资源，实现更有效的科学管理和获取最大的效益，认真开展极地科学考察的大科学系统工程管理探索，是有其重要意义的。

3.1 极地科学考察目标

极地科学考察具有很强的国家行为，也突显出鲜明的国家目标，即在理解极地系统在地球系统和全球变化中的角色基础上，深入了解和预测极地系统变异对全球变化反馈及其可能引起对我国可持续发展的影响。

分析中国南极考察 20 年来所走过的历程，可分为 2 个重要的阶段，在 20 世纪 80 年代的 10 年中，主要是以建站为主和对南极系统的基本认识的科学考察；20 世纪 90 年代则主要向突出科考为重点的转移。

从 1991—2000 年，我国先后实施了 2 个南极科学考察的国家重点攻关计划和首次北极科学考察计划。尤其是 1996—2000 年的“南极地区对全球

变化响应与反馈作用研究”的国家重点攻关计划和“中国首次北极科学考察”国家专项科考计划的实施，使我国的极地系统科学研究向地球系统科学集成研究目标发展。

3.2 发挥基础 国际接轨 突出重点 有所突破

我国在制定国家“九五”南极科学考察计划时，就是根据国际南极科学考察进展，结合我国实际情况和优势，提出了“发挥基础、国际接轨、突出重点、有所突破”的指导方针，即集中精力，针对南极地区对全球变化的作用进行考察研究，围绕有限的研究内容重点攻关^[18]。

3.2.1 发挥基础 通过十年的建站和科学考察，我国已在南极建成 2 个科学考察站，具有向内陆冰盖纵深科学考察作业的后勤保障能力，拥有一支适应极区环境作业的科技力量。通过“首次南极和南大洋考察”、“七五”和“八五”南极科学研究计划实施，对南极地区加深了了解，积累了知识，促进我国南极科学研究的进步^[2]。

3.2.2 国际接轨 国际科联南极研究科学委员会 (SCAR) 于 1993 年 10 月正式推出了 GLOCHANT (全球变化与南极地区计划) 这一南极地区国际合作研究计划^[19]，该计划提出了在南极地区进行全球变化研究的 6 个关键过程研究内容。1994 年 9 月召开的第 23 届 SCAR 大会上，决定把 GLOCHANT 计划定为今后国际南极合作研究的优先领域。我国的南极研究计划做出了相应调整，与 GLOCHANT 计划紧密接轨，制定国家计划。

3.2.3 突出重点 突出我国 10 几年来南极考察形成的优势，尤其是我国在南极形成的站基、船基科考平台资源。在西南极的长城站地区，重点是研究人类活动对南极生态环境的影响，在东南极的中山站地区重点是海—冰—气—生物相互作用对地球系统影响，建立高空大气物理观测系统开展日—地系统观测、开展从中山站向南极最高冰穹—Dome A 地区的南极冰盖断面考察，格罗夫山地质综合考察，以中国“雪龙”号极地考察船为平台的普里兹湾和南大洋海洋综合考察。

3.2.4 有所突破 围绕南极系统在全球变化作用下的可能变异为重点，利用我国南极科学考察的 10 年以上的连续观测数据，尤其是在“八五”期间，我国的南极科学研究所获得的重要进步，例如，南大洋磷虾资源考察和开发利用研究，南极法尔兹半岛及其临近地区生态系统研究，南大洋大陆

和陆架盆地岩石结构、形成、演化和地球动力学研究,晚更新世晚期以来气候与环境的相互作用和影响,南极地区日地系统整体行为研究等领域所取得的成果,结合国际上的长期观测资料,争取对南极在全球变化作用下的区域性特征认识获取新的进展和突破。

3.3 完善硬件和软件保障体系

南北极的特殊地理位置和极端的自然环境,大大加重了极地科学考察的难度。目前有能力在南极圈内建站越冬的国家也只有十几个。有人把在南极圈内考察比喻为在太空舱内进行宇宙考察一样艰难。因此,极地考察具有明显的四高,即高风险、高技术、高投入、高收益。

南极的冷极、风极、白化天气和冰裂隙,北极的浓雾、流冰等现象对考察装备和队员造成极大的威胁。为了增加极地考察的安全性,极地科学考察装备必须现代化和高技术化,例如卫星、探空火箭、航空器、破冰船、雪地车以及各种机械电子设备得以广泛应用。因此,极地科学考察需要较高的投入,据统计,完成一项同样规模的建筑费用,极地是其他地方的6倍。当然,一个国家在极地考察的投入,除了展现一个国家的综合实力外,也会对国家的科学和高新技术发展有很大的促进和收获。我国经过了20年的极地考察,在对极地大科学系统工程的管理探索中,逐步建立和完善极地系统科学考察的硬件和软件体系。

3.3.1 极地科学考察的硬件体系 极地科学考察的硬件体系主要是极地科学考察的基础设施和后勤保障体系的建设。要在极端的极区环境中顺利进行考察,就必须要有强有力的后勤保障体系。这个体系包括科学考察站、考察船的建设以及相应的航海、通讯、气象、医疗、材料、能源、运输以及环保工程技术^[20]。

中国南极长城站和中山站,为适应科学考察、环境保护和国际合作,从20世纪90年代以来,进行了较大的扩建、维修和维护工作。中山站是我国南极考察向内陆发展的重要基地,也是国际合作的重要实验基地。为实施内陆冰盖断面考察和日地系统观测计划,分别购置了大型雪地车、雪橇和建设高空大气物理观测系统以及极光观测天线阵。90年代初改装的中国“雪龙”号极地考察船,提高了极区海冰区的科学考察能力和为考察站后勤补给能力,船载的国产“直九”直升机也大大加强了极区

远程的空中支持和立体观测能力。

我国不断发展和试验在极区使用太阳能等新能源;轻便、耐腐蚀的彩色钢板,透气、舒适、耐用的防寒服装等新材料;具有高营养复合食品、速冻蔬菜、仿青干菜等新型食品;发展高精度船用卫星接收系统,提高利用极轨通信卫星接收,建立船舶的局域通信联络网络,提高了我国寒冷冬季科学考察和向内陆冰盖纵深挺进能力。

3.3.2 极地系统科学考察的软件体系 极地系统科学考察的软件体系包括有国家完善的管理机构和管理体系,有一套严格的极地考察工作管理制度、组织国家考察队包括对考察队员的选拔培训办法,如进行模拟极区生活环境、改善考察队员的心理、生理承受能力的人体医学测验规范方法;重点科研经费纳入国家五年计划和国家自然科学基金申请渠道;有一支能在酷寒的极地环境中特别能战斗的具有很强创新意识的中青年科技队伍;培育了以爱国主义、集体主义和革命英雄主义为特征的南极精神。

软件体系还包括对科学考察样品、资料、数据和成果的管理。尤其是对许多现场第一手资料和样品的保存尤为重要,许多极地样品的采集艰难性和不可再生性,需要优良的储存实验室和制定严格管理措施。“九五”期间在国家重点科技攻关计划“南极地区对全球变化的响应与反馈作用研究”中,设立了中国南极数据目录系统的研究和开发,促进了中国南极数据目录系统(CN-ADDS)的建立^[21]。1999年中国极地科学数据库系统成为国家科技部基础工作重点资助的项目,并在中国极地科学考察网站上(www.chinare.org.cn)对公众开放。

3.4 极地科学考察现场实施规划

极地科学考察现场实施规划是完成科学目标和获取现场观测数据和第一手样品的极其重要的保障。严酷的极区自然环境、随时不可预见的灾害发生和外部救援滞后等现场作业环境下,我们提出极地科学考察现场实施规划的“精心规划、精细计划、精密实施、精确保障”原则。

中国南极内陆冰盖考察计划和格罗夫山地质综合考察计划是“九五”国家南极科学考察计划的重要内容。南极内陆冰盖考察计划从中山站到南极最高冰穹Dome A地区,距离1000多km,沿途要经过冰盖断裂带、海拔超过4000m的冰原和遭受白

化天气；格罗夫山地质综合考察计划，从中山站到格罗夫山脉，距离400多km，该地区地形地貌复杂，周边雪冰覆盖着断裂冰架。为了尽量减少风险，制定现场实施规划时，首先收集历史信息和卫星资料，选择处事果断的考察队队长，选拔有国外冰盖考察经历的队员和丰富经验的工程技术人员等组成的考察队，并到我国亚布力极地训练基地和天山“1号”冰川等地方进行模拟极地环境训练，精细计划到每天的行程和具体任务。在实施过程中，周密到考虑设备在零下50℃的防冻油和机械载力、各种配件和应急维修设备，从考察队员的服装、食品到无公害的垃圾和粪便处理。同时，为了提高出现事故时的应急处理能力，还获得了澳大利亚临近考察站直升机紧急救援时的支持。考察队建立了定时汇报和随时应急报告制度。

上述严格工程管理措施的落实，保障了安全地3次深入内陆冰盖的冰川学综合考察和2次格罗夫山综合地质调查。中山站到Dome A的1100 km断面研究，首次获得了该区现代大气环境和气候特征的第一手资料，重建了250年以来气候环境变化的高分辨率记录，指出以Lambert冰川为界的气候差异，综合评估了南极冰盖物质平衡变化的趋势及对海平面变化的影响^[22]。开辟了格罗夫山新的研究区域，确定该区大陆基底主期变质属于“泛非”事件，发现了新的陨石聚集区，回收32块陨石并发现了一块火星陨石，提出东南极地盾存在“泛非”期造山带的新观点^[23,24]。

中国首次北极科学考察是继我国南极考察后，在北极地区开展的国内多部门合作与国际接轨的一次大型考察研究活动。充分利用我国南极考察十几年来形成的硬件和软件基础，围绕了解北极地区在全球变化作用下的变异对我国环境和社会可持续发展影响的国家目标，突出“北极在全球变化中的作用和对我国气候的影响”、“北冰洋与北太平洋水团交换对北太平洋环流的变异影响”和“北冰洋及其邻近海域生态系统与生物资源对我国渔业发展的影响”三个科学问题。

1999年7—9月实施了西北冰洋和白令海的现场综合考察，开展浮冰为观测平台的海—冰—气联合考察，以“雪龙”号船为平台进行了多学科、多专业、多项目的现场工作以及以直升机为支撑的远距离常年海冰区和气象探测。克服了北极地区的坚冰、流冰、暗流、浅滩、气旋、阴霾和北极熊等不

利的自然条件，当进入楚科奇海作业遇到严重冰情时，及时调整考察计划，返回白令海执行综合海洋考察后，二进北极圈。

中国首次北极科学考察应用国际先进技术和观测手段，在获得第一手样品和资料基础上进行了大量的分析、综合和集成研究，研究成果对认识北极海洋—大气—海冰—生物相互作用的过程及其在全球变化中的作用，对进一步研究北极对我国环境和气候变化的影响具有重要的价值，为我国的北极研究做出了开拓性的贡献，为今后研究奠定了良好基础^[25]。

4 极地系统科学考察大科学工程和管理展望

由于极地系统科学在地球系统科学、全球变化科学和可持续发展科学中的重要地位，因此，21世纪的极地系统科学研究将会以空前的深度和广度发展^[1]。许多国家都制定了21世纪的极地系统科学研究规划和计划，加大投入。国际合作进行南北极科学考察的大工程计划和管理是一个很明显的特征。

南极冰盖断面考察计划(ATASE)；Dome C, Dome F和东方站的冰芯钻取工程；Dome A和Dome B计划；南极冰下湖计划(SALE)；冰川移动速率研究计划(VELMAP)；南极冰边缘海的深海钻探计划(CAPE ROBERTS计划)；南极新构造学研究计划(ANTEC)；臭氧空洞监测计划；南极气溶胶研究计划(ATAC)；南极气象观测计划；南极气候演化研究计划(ACE)；南极高空大气物理和极光观测计划；南极日地系统的气象气候研究计划(CAWSES)；南极洲演化和生物多样性研究计划(EBA)；南大洋的全球海洋生态系统动力学研究计划(SO-GLOBEC)；南大洋碳生物地球化学循环和南大洋海水加铁实验(SOIREE)等。

人类刚进入21世纪，就在北极地区开展了许多国际合作研究计划，如国际北极冰间湖研究计划(international arctic polynya program)、北极古河流排放研究计划(arctic paleo-river discharge)、北极钻探计划(arctic drilling)、国际北冰洋深海测深制图计划(international bathymetric chart of the arctic oceans)、北极沿岸动力学(arctic coastal dynamics)、WCRP北极气候系统研究(WCRP arctic climate systems study)、陆架—海盆相互作用

(shelf basin interactions)、北极—亚北极海洋通量 (arctic-subarctic ocean fluxes) 以及以欧共体为主的欧盟计划 (European Union Programs)、美国为主的北极系统科学 (ARCSS)、多国联合的北冰洋科学委员会计划 (AOSB)、北极理事会 (AC) 支持下的北极环境监测评估计划 (AMAP) 和北极气候影响评估 (arctic climate impact assessment)。

为了适应 21 世纪南极科学考察目标, 国际科联南极科学研究委员会 (SCAR) 对该委员会的职能和架构做了重大的改革, 把原来下设的 8 个学科组和 4 个工作组调整综合成 3 个常设科学组, 即地球科学、物理科学和生命科学组, 目的是加强南极系统科学和多学科交叉的综合研究。国际国家南极局局长理事会 (COMNAP)、国际南极后勤和作业常设委员会 (SCALOP)、南极环境保护委员会 (CEP) 等, 正在为 21 世纪南极科学考察提供更有力的保障、作业规范和环境保护, 制定可操作的规范、措施和条例。如南极航空网和南极蓝冰跑道的建设, 提供从智利最南端城市蓬塔·埃里诺斯到南极半岛的乔治王岛, 从南非开普敦到东南极, 从新西兰的克里斯特彻奇到罗斯冰架及南极点的 3 条通道, 以期更加方便进出南极洲。制定南极活动环境影响评价和应急防护措施, 南大洋海洋航行和救护指南。

国际北极科学委员会 (IASC), 计划在 2005 年召开第 2 届北极研究规划国际大会, 提出下一个 10 年的北极系统科学的研究规划。IASC 于 2000 年成立战略研究组, 分为全球系统、可持续发展、气候变化影响、新开发项目组, 分别对相关的北极科学考察计划项目提出评估和指导意见。IASC 于 2000 年成立了北极作业者论坛 (forum of arctic research operators), 为北极科学考察活动提供信息、经验和资源共享。2003 年成立太平洋北极组 (pacific arctic group), 其宗旨是促进日益发展的环太平洋国家北极科学考察的合作。

我国也制定了“十五”和 21 世纪初的极地科学考察规划和计划。“十五”南极科学考察计划, 突出南极地区特有的关键过程, 围绕南极地区的全球变化问题和在地球系统中的特殊环境特征, 实施“南极地区地球环境监测与关键过程研究”计划。北极科学考察计划将继续围绕北极地区的快速变化对我国环境、气候和可持续发展影响, 开展第二次北极科学考察和北极科学考察站的建设。

围绕“十五”和 21 世纪的国际极地科学考察发展战略目标, 提出了“突出科考、完善船站基础设施、加强极地环境措施”的工作方针。21 世纪, 我国决定加大投入, 提高极地科学考察能力。启动和建设几个重要的大科学工程, 长城站的“亚南极生态环境动力学实验室”, 中山站的“极区地球空间环境实验室”和“南极冰雪与气候环境实验室”, “雪龙”号科考船的“南大洋全球变化研究实验室”。利用“雪龙”号考察船继续开展北极和亚北极海—冰—气—生物相互作用综合研究和在北冰洋投放浮标和布设潜标, 在北极北纬 80° 的斯匹次卑尔根群岛上建设科学考察站。

参考文献

- [1] 陈立奇. 21 世纪南极科学研究展望[J]. 世界科技研究与发展, 2002, 24(4): 29~34
- [2] 陈立奇. 南极和北极地区在全球变化中的作用研究[J]. 地学前沿, 2002, 9(2): 245~253
- [3] 毕思文, 许强编著. 地球系统科学[M], 北京: 科学出版社, 2002, 2~21
- [4] Earth System Sciences Committee NASA Advisory Council[J]. Earth System Science, a Closer View, NASA, 1992
- [5] 陈立奇. 南极地区与全球变化作用的集成研究展望[J]. 地球科学进展, 2003, 18(1): 133~137
- [6] Petit J R, Jouzel J, Raynaud D, et al. Climate and atmospheric history of the past 420 000 years Vostok Ice Core, Antarctica[J]. Nature, 1999, (399): 429~438
- [7] Farman J C, Gardiner B G, Shanklin J D. Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction[J]. Nature, 1985, 315(16): 207~210
- [8] IGBP. Environmental variability and climate change[J]. IGBP Science 2001, (3)
- [9] Manabe S, Souffer R J, Spelman M J, et al. Transient response of a coupled ocean-atmosphere model to gradual changes in atmospheric CO₂: Part I. Annual mean response[J]. J Climate, 1991, 4(8): 785~818
- [10] Walsh J E, Chapman W L, Shy T L. Recent decrease of sea level pressure in the central Arctic [J]. J Climate, 1996, 9(2): 480~485
- [11] Rigor I G, Colony R L, Martin S. Variations in surface air temperature observations in the Arctic, 1979—1997[J]. J Climate, 2000, 13(5): 896~914
- [12] Rind D. Complexity and climate[J]. Science, 1998, (84): 105~107

- [13] Poon Chi-Sang, Barahon Mauricio. Titration of chaos with added noise[J]. Proceedings of National Academy of Science, USA, 2001, **98**(13), 7107~7112
- [14] Wigley T M L, Richels R, Edmonds J A. Economic and environmental choices in the stabilization of atmospheric CO₂ concentrations [J]. Nature, 1996, **379**: 240~243
- [15] Crutzen P J, Stoermer E F. The anthropocene [J]. IGBP Newsletter, 2000, **41**: 17~18
- [16] Kates R W, Clark W C, Corell R, et al. Sustainability Science [J]. Science, 2001, **292**: 611~642
- [17] 刘东生. 全球变化和可持续发展科学[J]. 地学前沿, 2002, **9**(1): 1~9
- [18] 陈立奇. 南极考察回顾及今后极地研究展望[J]. 地球科学进展, 1997, **12**(2): 127~133
- [19] SCAR. The Role of the Antarctic in global change——An international plan for a regional research programme [R]. 1993, prepared by the SCAR Steering Committee for the IGBP. Published by SCAR, August, 1992
- [20] 陈立奇. 极地科学与技术——探索地球保护地球[A]. 中国海洋学会编. 中国海洋科学与技术展望[M], 北京: 海洋出版社, 1998, 115~129
- [21] 程少华, 等著, 中国南极科学数据目录系统的研究与开发[M](修订版). 上海: 科学出版社, 2001, 1~296
- [22] Ren Jiawen, Qin Dahe, Allison I. Variations of snow accumulation and temperature over past decades in the Lambert Glacier Basin, East Antarctica[J]. Annals of Glaciology, 1999, **29**: 29~32
- [23] 刘小汉, 方爱民, 李金雁, 等. 东南极大陆腹地首次发现新生代沉积岩[J]. 地质科学, 2001, **36**(1): 136~139
- [24] Zhao Yue, Song Biao, Liu Xiaohan, et al. Syn-tectonic cooling and exhumation in the Larsemann Hills, East Antarctica: ⁴⁰Ar/³⁹Ar thermochronological evidence[A]. Chen Liqi(C) Collection of Papers from Phase III (1991—1995), Chinese Research Program on Antarctic, Beijing: China Ocean Press, 1999, 56~66
- [25] 陈立奇, 等编著, 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

A Review of Development and Management of Systemic Engineering for a Giant Science Expedition in the Arctic and Antarctic System

Chen Liqi^{1,2}

(1. *Chinese Arctic and Antarctic Administration, Beijing 100860, China*; 2. *Key Laboratory of Global Change and Marine-Atmospheric Chemistry, SOA, Xiamen, Fujian 361005, China*)

[Abstract] The Arctic and Antarctic is a significant component in the earth system. There are increasing evidences showing that the interaction between human and the earth has become a driving force to the global change. The polar system has been playing an important role as a magnifier and an indicator to the global change. In the period of exchange between the old and the new century, researches on the Arctic and Antarctic system science represent a giant science era. The Arctic and Antarctic system science is not only studying operational mechanism, order, and controlling principle in the response and feedback of the Arctic and Antarctic system to the global change to provide scientific bases for regional complexity and the global change forecasting, but it is also a systematic engineering science to study high innovative technological utility and to improve human's understanding the nature as well as to effectively manage the polar system. In the past 20 years, through the effort by the Chinese Arctic and Antarctic National Research Expedition, Chinese scientists have obtained a further knowledge about the polar system complexity under the global change and the development and management of polar science expedition.

[Key words] global change science; arctic and antarctic system science; systemic engineering management