

文章编号 1001-8166(2004)04- -

大气科学 : 一个充满活力的前沿科学^{*}

王会军, 徐永福, 周天军, 陈洪滨, 高守亭, 王普才, 陆日宇, 张美根
(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘 要 着眼于未来发展的若干战略问题, 阐述了对当前大气科学发展的状况与趋势的意见, 提出了我国未来发展大气科学的思路和重点任务建议, 还分析了我国大气科学研究中存在的若干问题并提出一些政策建议。

关 键 词 大气科学, 发展状况与趋势, 建议
中国分类号: 文献标识码:

1 现状和趋势

近年来, 随着地球系统科学和圈层相互作用概念的提出、学科交叉的不断深入, 以及现代大气探测技术的突飞猛进, 大气科学研究进入了一个崭新的历史发展时期^[1-3]。大气科学的主要任务是认识大气运动和大气中各种物理、化学、生物过程的基本规律及其与周围环境相互作用, 发展新的探测和试验手段, 为天气、气候和环境的监测、预报和控制提供理论和方法, 从而服务于国民经济和社会发展。大气圈是地球系统中一个活跃的圈层, 在地球系统各圈层相互作用中, 大气圈占有重要地位, 它与地球其他圈层的相互作用决定着地球系统的整体行为。因此, 当代大气科学的发展已从水圈、岩石圈、冰雪圈、生物圈和人类活动对全球气候的相互影响、相互作用、相互反馈的角度来全方位地研究大气运动变化的本质, 研究天气、气候系统演变规律和预测预报; 研究影响局部天气的调控技术和措施, 研究人类活动对天气、气候、环境系统的影响以及气候、环境的变化对人体健康的影响和预防等。从而赋予大气科学以更广阔的内涵和外延。

探测大气中的各种过程是大气科学发展的基础和重要途径。当前, 大气探测正在向综合观测系统

方向发展。地面观测不断采用先进、成熟的遥测遥感技术, 并向自动化方向发展, 常规地面观测已实现高度自动化和网络化。高空观测正逐步应用各种更为先进的遥感探测系统。自动商业飞机气象观测已实现业务化, GPS-MET(全球定位系统—气象学)技术、GPS(全球定位系统)测风技术逐步实现业务化; 多普勒雷达技术、激光遥感技术等都得到迅速发展, 并广泛应用于高空探测^[4,5]。

大气各种数值模式的出现和发展是理论发展到相当高阶段的标志, 而模式的发展反过来又可以大大推动大气科学的发展和进步。当前, 气候系统数值模式的分辨率越来越高, 物理过程越来越完善、复杂, 并将逐步考虑物理气候系统内部各分量之间的耦合以及物理气候系统和地球生物地球化学过程和人类活动的耦合。由于遥感资料的增加, 资料的四维同化和分析理论、技术获得突破性进展, 资料同化越来越和模式协调, 同化技术逐步在业务应用上得到实现, 高水平数值预报的时效已超过一周, 集合预报技术愈发重要。欧洲中期数值天气预报中心中期数值预报的目标是未来 15 年发展到 T639 的分辨率, 全球模式达到 20 km 以内的分辨率, 中尺度模式达到 1 ~10 km 的分辨率。

随着地球系统科学和地球系统模式概念的提

* 收稿日期: 2004-04-06, 修回日期: 2004-04-14。

作者简介: 王会军(1964-) 男, 人, 研究员, 主要从事气候动力学研究。E-mail: wjhj@mail.iap.ac.cn

* 本文是根据作者王会军 2004 年 3 月 22 日在国家自然科学基金委员会地球科学部地球系统科学战略调研组研讨会上的报告整理而成。

出,大气科学正走向全方位的交叉与开放,各分支领域在继续深化研究的同时,更加重视交叉、综合和集成研究,强调观测、分析、理论、模拟和预测等各种研究方法的有机联系和结合,重视全球气候和环境变化及其影响、预测和控制问题,重视人类自身生存环境的优化和对自然灾害在一定范围内的人为调控。高性能计算机向大规模并行方向发展,性能价格比不断提高,气候变化的模拟和灾害性天气的高分辨率数值预报所需的每秒万亿次的计算能力已在 21 世纪初成为现实;高速度、智能化、综合化的通信网络技术、分布式数据库技术和海量存储技术的发展,使气象通信、计算机网络以及大气科学信息处理融为一体,形成综合信息网络系统,从而使高度分散的气象台站网,在采集、存取、分发与应用等方面真正做到信息资源共享。

完全可以说,建立大气—冰雪—陆地—海洋—生物过程相耦合的完整的天气、气候和环境动力学模式系统,注重系统中各组成成分相互作用的研究,尤其是其中物理、化学和生物过程的相互作用以及人类活动的影响,已成为国际大气科学发展的必然趋势^[6]。

目前,大气科学已经成为地球科学最为活跃的分支学科之一。据统计,1991—2001 年间地学领域论文被引用量最多的前 25 位科学家中,从事大气科学的占 10 位,大气化学的占 6 位,气候学的占 2 位,另外大气物理学/地球物理学 1 位,生物气象学 1 位。美国和欧洲、日本都把大气科学的发展作为未来的发展重点来考虑,并制定了中长期发展规划,如美国的国家大气研究中心(NCAR)、国家环境预报中心(NCEP)、国家航空与航天局(NASA)、欧洲中期数值预报中心(ECMWF)、德国的马普气象研究所(MPI)、日本的全球变化研究所(FRSGC)等。如美国在 2003 年制定了“美国气候变化科学计划”,其科学委员会直接挂在总统办公室,该计划制定了 5 个科学目标:改进对地球气候与环境历史和变化及其成因的认识,改进对气候及其相关系统变化的强迫因子的定量认识,减小预测气候未来变化的不确定性,认识生态系统和人类系统对气候变化的敏感性和适应性,认识气候变化带来的风险和机遇的阈值。

我国大气科学在国际上以东亚季风动力学及其预测、青藏高原气象学、江淮梅雨、短期气候预测、季风区全球变化等研究而著称^[6-9]。多年来我国大气科学界取得了众多的高水平科研成果,特别近 20 多

年来进步更加快速,国家攀登计划、国家基础发展规划项目(“973”)计划、国家自然科学基金和中国科学院科技计划的支持使得大气科学界的体制改革、科研水平、人才队伍、国际合作等方面都取得了大幅度的进步。

未来 20 年应该遵循重点突破的原则,实现跨越式发展和可持续发展,特别是要集中研究季风气候变动及其年际、年代际和百年尺度的预测,季风区气候和环境集成研究、东亚暴雨、大气化学和大气环境等重大课题,以满足国家防洪抗旱、水资源保护和可持续利用,环境建设和保护、可持续发展等重大迫切需求。

目前,全国大气科学的研究力量主要集中在中国科学院和部分研究型大学,以及部门和军队的科研机构中。

2 未来需求及发展思路

20 世纪 70 年代以来,世界正面临日益严重的粮食、能源和水资源危机以及大气污染和生态平衡破坏所引起的环境恶化问题。与此同时,气候异常频繁发生,我国的气候和天气灾害非常严重,经济损失数目巨大^[9]。这些问题的解决,很大程度上依赖于大气科学的研究。社会和经济的发展对大气科学的研究提出了更高和更迫切的要求,不仅需要大气科学研究能提供准确的天气预报和气象服务,而且要求能够预测出气候异常的出现,能够对大气环境的保护和治理以及经济发展战略的制定提供科学依据。大气科学对社会经济可持续发展具有越来越重要的意义。因此,世界各国,尤其是发达国家无不把对大气科学的支持和发展放在战略性的重要地位。

我国未来 20 年发展所面临的重大环境和灾害问题中,几乎所有的问题都与大气科学有关,特别是气候长期变化(十年际气候变化和全球变暖问题)、气候和天气灾害及其预报、环境和生态变化及其整治、水资源问题、气象预报和环境预报、国防和重大工程建设等。

大气科学和其他基础科学与技术科学的关系非常密切。大气科学发展的历史表明,自然科学尤其是基础科学的重大理论突破和新技术的出现对大气科学的发展有很大的影响。从 50 年代起,计算机技术和遥感技术的引入,使大气科学有了突飞猛进的发展,已成为一门分支学科众多的综合性科学。

因此,大气科学的发展思路应该是坚持走观测—分析和理论研究—模式和模拟—预测和调控 4

个环节和方法的密切结合的道路。观测是基础,分析和理论研究是基础创新的关键,模式和模拟研究是大气科学研究和预测应用的主要工具,预测和调控是大气科学发展的最终目的;特别加强大气科学与海洋科学、生物学、化学、数理科学等的交叉,大力抓好公共的观测和信息及模式等方面的平台建设和建设,为大气科学的发展提供强有力的支持和发展空间,积极推进大气科学成果的应用,为解决国家发展所面临的气候、天气、环境、生态、减灾等重大课题服务。

3 我国大气科学发展重点与主要任务的思考

结合国际大气科学和相关学科发展的前沿和趋势,并充分考虑到我国未来经济和社会在气候灾害、强天气过程、气候与环境变化、大气污染、军事与航空气象、水分循环与水资源等方面的重大需求,笔者就我国大气科学战略重点和主要任务发表几点意见和建议。

3.1 气候的多尺度变异与预测新理论

(1) 不同尺度气候变化的相互作用过程和机制。气候变化具有不同的时间尺度,其中包括低频振荡、年际变化、年代际及其以上的变化^[10-11]。目前对低频振荡和年际变化的物理机制有了一些了解,但由于资料时间长度较短,对年代际及其以上变化的物理机制了解甚少。此外,目前已经知道气候变化中不同时间尺度之间的相互作用十分显著,如年际变化规律在不同年代可能有不同的表现,低频振荡在很大程度上决定年际变化等。但是,我们对这些不同时间尺度之间相互作用的具体物理机理只有一些初步的认识,严重地制约着对气候变化规律的认识水平。

(2) 半球间相互作用和海陆气耦合与气候可预测性。南北两个半球之间的相互作用、极地冰雪过程以及极地冰雪—海洋—大气相互作用对东亚气候影响甚大,因此要预测东亚气候的变化就必需开展这些方面的研究工作,特别是以下几方面^[12]:

北半球中高纬地区冰雪—海洋—大气相互作用对东亚气候的影响。

南北半球主要环流系统的季节变化,及其与中国夏季降水年际异常的关系。

南极海冰的变化及其与南半球主要环流系统特别是南半球副高、越赤道气流的关系,及其对西太平洋副高活动和东亚夏季风活动的影响。

结合观测分析和数值模拟试验,进一步研究南半球环流影响东亚夏季风异常的过程和机理。

圈层间相互作用与年代际气候和环境变化及其预测。

(3) 云、气溶胶与气候变化。由于目前气候模式对云和气溶胶如何影响气候过程模拟水平极低,其中存在极大的不确定性。气溶胶、云与气候变化之间可能有某种正的或负的反馈关系,从而造成气溶胶、云和气候变化之间可能是一种非线性相互作用关系。应通过观测资料分析、数值模拟等方法加强这方面的研究,这方面的研究也将为全球变化研究提供理论和手段等基础。

3.2 短期天气变化的预测理论和关键技术

(1) 中小尺度动力学、数值模式和同化理论与技术。中小尺度动力学研究的重点之一在于如何把大气中的水汽及与水汽有关的相变效应考虑到动力学方程组中去,建立湿空气、液态水、冰晶三相混合的湿空气动力学理论。过去受大尺度动力学的影响,长期研究干空气动力学,但中小尺度系统绝大部分是同湿过程相联系,特别是暴雨及冰雹过程更为突出。如果在动力学上不能很好地描述湿过程,中小尺度动力学的研究就很难深入下去。另一方面,在中小尺度系统的发生与演变过程中,辐散、辐合明显,散度效应同涡度效应同等重要,如何在动力方面体现散度效应也是中小尺度动力学未来研究的方向。

在数值模拟方面,目前已有很多工作,但大部分工作是使用国外的数值模式,如MM5、ARPs及RAMS模式等完成的。我们应该重点研究发展能够较好地刻画我国云系特征及边界层的特征来发展具有自己知识产权的物理参数化过程,如积云参数化、边界层参数化是未来中尺度数值模式建设中的重要研究方面。

我们需要大力发展同化理论和技术,利用大量的实测和模式信息来改进对各种尺度短期天气变化的预测水平。

(2) 暴雨等灾害性天气的模拟和预测研究。我国是世界上自然灾害,尤其是气象灾害频繁发生的国家之一,自然灾害对人民生命财产构成了重大的威胁,而且经济越发展,灾害损失越大。1998年长江流域和松花江流域特大洪涝灾害就造成了巨大的损失。

暴雨等中尺度系统发生发展的机理是当今大气科学研究的一个薄弱环节,国际科学界近年来一直

把它作为一个重要的研究方向。我国应在以下几个方面加强研究。

季风和青藏高原环境对我国暴雨系统发生发展的影响,这些系统有梅雨锋、静止锋、低空急流、西南低涡、切变线等。

暴雨等中尺度系统发生发展的机理涉及中尺度对流系统的动力热力结构,云物理过程对暴雨的影响,边界层、下垫面、地形等对暴雨的影响。

暴雨等强对流的探测理论。

新一代暴雨数值模式的研制。

3.3 大气化学动力过程和大气环境动力学、预测与调控

(1) 大气化学过程的观测和数值模拟研究。始于 20 世纪 50 年代的大气化学,经过约半个世纪的发展,已成为大气科学的一门新兴分支学科,它涉及的研究领域越来越广泛,同时其研究成果也为其它学科的发展奠定了坚实的基础。在过去 10 多年中,以温室气体为主要对象的研究已取得了不少成果,对于因人为排放造成的对“背景”大气的影 响已有一定的认识,现在清楚地认识到人为活动已扰动了局地、区域和全球的大气化学成分。目前,国际大气化学研究面临着新的课题。准确地确定大气中短寿命和长寿命的化学物种的全球分布并记录它们随时间变化的浓度,理解对于控制大气中化学物种分布及其对全球变化和空气质量影响的过程,提高预测未来几十年的大气化学成分的能力,这些构成了未来 10~20 年大气化学研究的基本目标。

大气微量成分的观测分析。探测未知的大气微量成分是大气化学的研究课题,准确确定已知的大气微量成分的时空分布也是大气化学的研究领域。要达到此目的,需不断改进或发展新的分析方法,包括探测仪器。这里也应包括一些背景站(区域、全球)的完善,以阐明大气化学成分的长期变化以及某些物理化学过程。

大气微量成分的源。尽管我国已经开展了这方面的研究工作,但由于缺少统筹的计划,至今未有国产的数据库,目前在用的一些微量成分(或污染物)的排放源来自于国外。我国应该建立从城市尺度到区域尺度的微量成分排放源清单,并能做到随时更新。

大气中均相和非均相化学过程。该研究目的是为了更好地了解大气对流层中的一些重要的基本化学过程,阐明大气中某些物种产生和消耗的主要控制因子。该研究工作需要通过外场观测和实验室

工作的配合。烟雾箱实验是实验室工作的一个较好的例子。

大气化学成分与气候变化。在过去的 10 多年中,已经对某些辐射活性物质的分布及其辐射强度有了一定的认识,然而对于气溶胶这样的微量成分存在着很大的不确定性。气候变化不再被认为仅是 CO_2 增加驱动的。其它温室气体和不同类型气溶胶的共同作用可能更为重要。更好地了解短寿命辐射活性物质(如 O_3)的时空分布以及某些微量成分(如 CO 和有机物)对大气辐射的间接效应。在研究气溶胶对云及其光学特性和降水影响时,一个中心问题是气溶胶的化学成分(无机和有机的)在确定气溶胶的间接辐射强迫中的作用是什么?

化学输送模式。过去几年的研究已表明:气溶胶和臭氧这样的短寿命物质也能在洲际间输送。由于输送过程中伴随着化学转化,所以这种输送引起区域尺度的大气成分的变化,导致区域气候变化和大气环境质量的改变。一个典型的例子是沙尘暴。大气化学输送模式是一个研究工具,模式尚需不断发展以用于解决不同的科学问题。

(2) 大气质量的多尺度变化过程、数值模拟及预测、调控。近 20 年来,随着我国工业生产的发展和人民生活水平的提高,化石燃料的大量使用和人们对能源的需求日益增加,使得排向大气的工业废弃物如 CO_2 、一氧化碳、二氧化硫、氮氧化物和颗粒物等急剧增加。与此同时,交通运输业的发展,汽车大量增加,也使得汽车尾气的排放物如氮氧化物、碳氢化合物和颗粒物等急剧增加。二氧化硫、氮氧化物、碳氢化合物和颗粒物等废弃物排放量的大量增加,不仅使得大气污染、酸雨等一系列环境问题极为突出,而且影响云雨的形成和地气系统的能量平衡,对区域乃至全球气候发生重要影响。

按照目前我国的能源结构和经济发展趋势,在今后一段时间内大气污染排放将会持续增加。因此,开展大气污染形成机理、大气污染物的输送与演变过程及其影响与控制研究不仅是当前,而且也是今后一段时间内的研究热点^[23,24]。

大气污染形成机理及其影响与控制研究涉及大气动力学、大气边界层物理、大气化学和自然控制论等诸多学科领域,是一项多学科交叉的应用基础研究。在未来 10 年内,主要任务应该包括 3 个方面:

研究全球大气污染物的时空分布、我国大气污染排放对全球大气质量的影响以及其他地区排放的污染物在我国大气污染形成中的作用,建立我国自

主产权的全球大气化学模式。目前我国在大气化学物种的全球分布及其时空变化方面的研究还相当少(如果不是空白)关于全球大气化学模式的研制也只是处于起始阶段。此外,大气污染物跨国输送是国际全球大气化学研究计划(IGAC)未来10~20年的重要研究内容之一。

研究区域(或城市群)尺度大气污染物的输送与演变规律和沙尘(或扬尘)气溶胶的产生机理,评估外来污染物在某一地区或城市大气污染形成中的作用以及大气污染(如酸沉降、高浓度臭氧等)对农作物的危害。城市之间或地区之间污染物的相互传输对于某些城市或地区的空气质量具有非常重要的影响,因此,正确评估这一影响对于这些地区的空气污染预报与控制是十分重要的。

研究城市地区光化学烟雾的形成与演化机理以及控制对策,评估大气污染对人体健康的影响,研制高分辨率(可分辨街区或建筑群影响)的城市空气质量预报模式系统,和建立大气污染优化控制综合模式系统。随着我国汽车拥有量的增长,光化学污染已日渐突出,但目前仍缺乏有关光化学烟雾形成机理与控制对策的系统研究。

3.4 中高层大气与气候和环境

(1) 中层大气动力/化学/辐射过程探测与模式研究。在气候变化和全球环境变化的同时,位于10~100 km高度的中层大气中出现了更为显著的变化,如中高纬度臭氧的损耗,南北臭氧洞的出现,平流层大气湿度的增加,以及中层大气温度的大幅度下降等。作为大气圈层的一部分,中层大气虽然仅占总质量的15%左右,但它不仅作为气候变化的指示器,而且其中的动力/化学/辐射过程的变化必将影响整个大气圈层的结构,进而影响全球大气环流型式和气候。

中层大气还是日—地关系中连接上下层的中间环节,因此是研究日—地整体行为中不可缺少的部分^[4,5,25]。中层大气的深入研究,将为数值天气预报模式、气候系统模式以及空间环境预报模式的改进扩展,提供相应的知识基础和模式。主要任务:

先从上对流层和下平流层做起,逐渐向上平流层和中间层研究过渡,在4~6年后实现与空间物理和空间天气的上下沟通。

借助卫星观测资料和数值模式,研究中层大气中的物理、化学和辐射过程。

引进国外中层大气模式,加以研析和发展,在条件成熟时(5~8年)引入或耦合到数值天气、空间天

气以及气候系统模式中去。

(2) 大气遥感与环境监测的新方法、新技术及其应用研究。大气探测与环境监测仍是从事气象和相关业务以及大气科学研究的一项基本工作内容。随着业务和科研工作的发展,对高时空分辨率、高精度、全要素的观测的需求日益增长。为此,我们要坚持不断地探索大气探测和环境监测的新方法和新技术,并加以及时的推广应用。

大气遥感是大气探测中一个重要方面。随着地球观测系统(EOS)时代的到来和遥感技术的发展,卫星大气遥感将在全球大气观测系统中扮演越来越重要的角色,15~20年后有可能起主导作用,那时地面常规气象观测和探空观测将仅起到辅助定标的作用^[4,26]。主要任务:

根据现有技术条件和基础,近3~5年改进和完善一批探测仪器设备,如数字臭氧探空系统,平流层气球探空系统,地基主被动微波云雨探测系统等。

在4~8年内研制发展一批新技术,如多普勒(Doppler)激光测风雷达和全天空多波段成像系统等。

8~15年内力求在空间实验室或中国科学院系列小卫星上搭载以我所为主研制的遥感器,例如紫外临边光谱(或多波段)成像仪和星地微波衰减双波长发射机等。

3.5 地球系统数值模式的研究与发展

(1) 发展完善海—陆—气—冰耦合的气候系统模式(即物理气候系统模式)。其技术发展动向是采用耦合器框架(coupler)、具备模块化结构、实现直接耦合(即不采用通量调整)。

耦合器的开发,现阶段必须满足大气、海洋、陆面和海冰4个子系统模式相互耦合的需要,长远必须满足地球系统模式中各子系统模式相互耦合的需要,技术上需具备高度的灵活性,便于耦合分量的增加、替换,必须最大限度地方便模式用户、促进模式的推广使用,科学上必须满足整个耦合系统的物质和能量的守恒。

模块化结构的实现,主要强调模式开发中的标准化问题,从系统工程的角度,在标准的总体框架设计下,按照统一的标准进行模式编程,各子模式分量、子模式中可分割的部分各自形成相对独立的模块单元,可以方便地进行修改、替换。

直接耦合目标的实现,在科学上依赖于对大气模式等内部物理过程的改进,目前一般认为直接耦合过程中出现的“气候平衡态”的漂移问题,主要是

由于大气模式对与辐射收支相关的云物理过程处理不尽合理造成的。

在物理气候系统模式的发展中,大气模式、海洋模式、陆面模式、海冰模式的开发和改进依然是一项长期的任务。模式的并行化是随着模式分辨率的提高、适应高性能计算机发展态势的必然选择。

(2) 开发生物地球化学(biogeochemical)系统模式。这方面的任务尤为迫切,目前国际上一些知名的研究机构已有成型的模式产品问世,而国内在某些领域尚没有起步。目前 NCAR 把在通用气候模式(CCSM)中加入生物地球化学过程模式(重点考虑碳、氮和铁循环)从而形成“通用地球系统模式”(Community Earth System Model, CESM)列为当前工作的最高优先级。这方面的工作包括:

发展对流层大气化学/动力学模式和气溶胶模式;发展对流层化学模式。作为发展真正意义上的地球系统模式的第一步,尽早实现上述子模式系统与物理气候系统模式和其它分量的耦合,乃是当务之急。

海洋生物地球化学模式的研制(包括海洋生态系统、碳循环等海洋生物地球化学循环过程)。生态系统模式包括对铁的吸收、浮游生物的生长、固氮过程、钙化过程、循环再生过程等进行参数化。

陆地生态系统模式的研制(包括陆地生态系统、碳循环等)。陆地生态系统模式的研制是和现在意义上的陆面模式的发展结合在一起的。

(3) 在发展物理气候系统模式、生物地球化学系统模式的基础上,实现两套模式系统的耦合,并引入人文过程的影响,从而形成完整的地球系统模式。物理气候系统模式、生物地球化学系统模式的发展,将主要是在 WCRP 和 IGBP 的主持下进行。人文影响模式将主要在全球环境变化的人类因素计划(IHDP)下进行。

未来的 10 年将是地球系统模式快速发展的黄金时段,经过 10 余年的努力,将形成比较完美的(State-of-the-art)的地球系统模式。

4 我国大气科学发展中存在的问题及政策建议

我国大气科学的发展在过去半个多世纪特别是近 20 多年来取得了许多主要成就,但也存在着一些问题制约着大气科学的发展。

4.1 结构问题

目前我国大气科学学科的发展是不均衡的,存

在结构性问题,或者说是严重失调的。气候学科过重,而天气学、大气物理学、大气化学、大气探测与遥感等学科分支过轻。这可以从我国现在国家自然科学基金的面上基金资助的项目分布上看得一清二楚,气候学科占了 1/2 左右。我国唯一的 SCI(外国)杂志发表的我国学者的论文中有约 2/3 的论文是有关气候研究的论文,我国大气科学领域的 12 位中国科学院院士中气候领域的院士有 8 位(占 2/3),中国科学院大气物理研究所是我国大气科学博士的主要培养单位,其在学博士生有 1/2 以上是气候方向的,导师的比例也大致如此。

另外,我国的大气科学人才培养中也存在知识结构和梯次结构不尽合理的问题。在知识结构方面,新的知识和交叉学科的知识传输不够,如化学、生物学、地球物理学等方面的知识传输明显不够,不能很好地适应大气科学与其他学科交叉的需要。在人才的梯次结构方面,大学本科的人才比例有下降趋势,硕士的比例下降明显,而博士的比例增长过快,这些结构性问题都是非常值得关注和研究的。

4.2 投入强度问题

我国大气科学的投入相对不足也是一个客观存在。以美国科学基金为例,其大气科学的投入占地球科学的 1/3,而我国由于大气科学的队伍规模等方面的原因只占约 1/10。此外,在国家“973”项目等方面存在类似的投入比例过低的问题。

4.3 国际化问题

大气科学是一个需要全球科学家密切合作研究的学科,因此需要最紧密和广泛的国际合作。我国的大气科学研究目前的国际化水平不够,人才、杂志、科研、仪器等方面的国际化水平都有待大大提高。可喜的是近年来相继有一些重要的国际化举措出台,如建立国际高层次气候论坛(CTWF Forum)、倡导季风亚洲集成研究国际计划、建立国际性的竺可桢—南森研究中心、东亚区域气候研究中心、国际气候与环境科学中心等,杂志也开始走向国际,更多的科学家开始担任国际学术组织的成员。应该说,发展的势头是喜人的。

4.4 基础与应用研究的关系问题

大气科学是一个有很强应用目标的公益性基础学科,大气科学的发展可以服务于环境与气象预报、农业规划、防灾减灾、水利、航空航天、军事、林业、生态建设等诸多的方面。客观上需要其基础研究与应用基础研究及实际应用紧密结合,但目前机制不明、条块分割、资源竞争等都不利于这种结合,而这种结

合才是符合大气科学发展需要和满足国家需求的。

鉴于这些情况,笔者建议国家有关部门采取相应措施,切实搞好大气科学研究与应用的顶层设计和机制制定,适当增加投入,并充分重视高水平科学研究机构的建设和稳定投入,以推动我国大气科学更快地达到国际先进水平。

(1) 建议国家成立“气候与环境变化研究国家实验室”。我国在该领域已经有2个国家重点实验室,即大气科学与地球流体力学数值模拟国家重点试验(LASG)和边界层物理与化学国家重点实验室(LAPC),以及中国科学院、教育部和气象局的部门实验室若干个。建议以此为基础,加强气候与环境科学研究,组建高水平的国家实验室,长期稳定地支持其围绕气候系统动力学、气候预测科学、气候系统模式研制、气候变化的影响、气候与生态环境相互作用、大气化学等相关重大科学问题展开深入研究。在此基础上,积极参与国际科技合作,为我国制定气候与环境问题的相关战略提供强有力的科学支撑;有力推动我国可持续发展战略和全面建设小康社会战略的实施。

(2) 适当增加对大气科学的资金投入,开展结构性部署和调整。大学的大气科学研究单元要进一步加强协调和统筹规划,成立中国大学大气科学研究会(类似于美国的UCAR)。以便协调人才培养、学科布局、教育教学、协作研究等方面的工作。

(3) 在国家自然科学基金委员会建立地球科学超级计算中心,以支持大气科学及整个地球科学领域的超级计算。这样可以减少重复投资,提高投资效率,也可以更好地协调大气科学和地球科学领域的数值模拟和数值模式发展方面的工作。

(4) 大力加强大气遥感和大气探测理论研究与应用,加重对卫星资料应用方面的研究和数据同化理论和技术的研究。

(5) 大力研究解决大气科学学科发展、人才培养、资源分配等方面的结构性问题。

(6) 大力推进国际化,加快我国地球科学人才、研究和杂志等方面的国际化步伐,建立联合研究单元,共同开展科研项目,联合培养研究生和博士后,短期培训中青年科技人员,以便迅速提高我国大气科学研究的水平。

致谢 在本文的完成中得到了黄鼎成、林海、陈泮勤、范蔚茗先生的热情支持和有益的讨论,作者在此一并致谢!

参考文献(References):

- [1] W CRP. Scientific Plan for the World Climate Research Programme, W CRP Public No.2, W MO /TD -No.6, World Meteorology Organizing, Geneva.1984.
- [2] W CRP. CLIVAR Science Plan, W CRP Public. No.89, W MO /TD-No.690, World Meteor. Organiz., Geneva.1995.
- [3] IPCC. Climate Change, 2001: The science basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Houghton J H, et al, eds. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 769.
- [4] W CRP, 1995: CLIVAR Science Plan, W CRP Pub. No. 89, W MO /TD -No.690, World Meteor. Organiz., Geneva.
- [5] Hu Fei(胡非), Hong Zhongxiang(洪钟祥), Lei Xiaoen(雷孝恩). Review on advances of atmospheric boundary layer and atmospheric environment research[J]. Chinese J Atmos Sci(大气科学), 2003, 27(4), 712-728(in Chinese).
- [6] Huang Meiyuan(黄美元), Shen Zhilixi(沈志来), Hong Yanchao(洪延超), Advances of cloud, precipitation, and weather modification studies[J]. Chinese J Atmos Sci(大气科学), 2003, 27(4), 536-551(in Chinese).
- [7] Huang Ronghui(黄荣辉), Chen Jilong(陈际龙), Zhou Liantong(周连童). Review on researches of China severe climatic disasters and their relationship with east Asian climate system [J]. Chinese J Atmos Sci(大气科学), 2003, 27(4), 770-787(in Chinese).
- [8] Li Chongyin(李崇银), et al. On the researches of the decadal climate changes, Climate and Environm. Res(气候与环境研究), 2002, 17(2), 209-219(in Chinese).
- [9] Lu Daren(吕达仁), Chen Hongbin(陈洪滨), Advances in researches of stratosphere and middle level atmosphere [J], Chinese J Atmos Sci(大气科学), 2003, 27(4), 750-769(in Chinese).
- [10] Lu Daren(吕达仁), Wang Pucai(王普才), Qiu Jinhuan(邱金桓). Reviews on researches in atmospheric remote sensing and satellite meteorology [J]. Chinese J Atmos Sci(大气科学). 2003, 27(4), 552-566(in Chinese).
- [11] Qiu Jinhuan(邱金桓), Lu Daren(吕达仁), Chen Hongbin(陈洪滨), et al. Advances in modern atmospheric physics studies [J]. Chinese J Atmos Sci(大气科学), 2003, 27(4), 628-652(in Chinese).
- [12] Tao Shiyun(陶诗言), Zhao Sixiong(赵思雄), Zhou Xiaoping(周晓平), et al. Advances in studies of synoptic and weather forecast [J]. Chinese J Atmos Sci, 2003, 27(4), 451-467(in Chinese).
- [13] Wang Huijun, On the uncertainty of short-term climate prediction [J]. Climate and Environm Res(气候与环境研究), 1997, 2(4), 333-338(in Chinese).
- [14] Ye Duzheng(叶笃正), Fu Congbin(符淙斌), Dong Wenjie(董文杰), et al, 2003: Several advances in studies of global change science [J]. Chinese J Atmos Sci(大气科学), 27(4), 435-450(in Chinese).

- [15] Zeng Qingcun(曾庆存), Wang Huijun(王会军), Lin Zhaohui(林朝晖), et al. 2003: Review on the climate dynamics and climate prediction studies[J]. Chinese J Atmos Sci(大气科学), 27(4), 468-483 (in Chinese).
- [16] Zhou Xiuzhi(周秀骥), Lu Daren(吕达仁), Zhou Mingyu(周明煜), 1997: Development of atmospheric physics in China and Zhao Jiuzhang, in Memorial Collecting for Zhao Jiuzhang(赵九章纪念文集), Edited by Ye Duzhang(叶笃正主编), Beijing, Science Press, 87-92(in Chinese).

ATMOSPHERIC SCIENCE : A VIGOROUS FRONTIER SCIENCE

WANG Hui-jun , XU Yong-fu , ZHOU Tian-jun , CHEN Hong-bin ,
 GAO Shou-ting , WANG Pu-cai , LU Ri-yu , ZHANG Mei-gen
 (Institute of Atmospheric Physics , Chinese Academy of Sciences , Beijing 100029 , China)

Abstract : Aiming at the future development, the authors analyzed the present situation of the atmospheric science. Based on the analysis, the strategy and the main tasks of the future research in China are proposed. The authors also analyzed the existing problems in the atmospheric research in China and provide some suggestions for the policy makers.

Key words : Atmospheric science ; Future development ; Suggestions.