

初论我国大气科学发展战略*

殷显曦 林 海

(国家气象局气象科学研究所) (国家自然科学基金委员会)

本文在论述大气科学发展趋势的基础上,提出了关于我国大气科学发展的总体战略,以及为实现此总体战略所应采取的战略措施。

大气科学是研究大气状态及其变化规律以及如何利用这些规律为人类服务的科学,它与人类社会的生产和生活密切相关。本世纪 70 年代以来,许多地区出现了大范围的气候异常现象,同时也由于人口的增长和工业经济的发展,世界面临着日益严重的粮食、能源和水资源危机,以及人类活动造成的大气污染和生态平衡破坏所引起的环境恶化问题,这些问题的解决都涉及大气科学研究。因此人类社会对大气科学提出了更高的要求,不仅要求提供准确的天气预报、气候服务及人工影响天气,而且要求能够预测气候异常的出现,能够对环境的保护和治理以及国民经济发展战略的制订提供科学依据。所以大气科学的发展对我国社会主义建设事业具有重要意义。

自本世纪 50 年代以来,在第三次世界新技术革命的影响下,尤其是随着世界天气监视网(WWW)及全球大气研究计划(GARP)的建立和完成,国际大气科学尤其是短、中期数值天气预报取得了较显著的成就^[1-3]。因此,80 年代世界气候计划(WCP)代替了全球大气研究计划,一些发达国家已经和正在开展中尺度气象试验及加强大气化学研究,国际大气科学的发展重点已转向气候学、中尺度气象学(包括中尺度灾害性天气的甚短期预报)及大气化学。此外,中层大气科学和热带气象学也是当前比较活跃的研究领域。目前国际科联、世界气象组织及一些发达国家的气象部门均制订了长期发展规划或科研计划^[4,5],今后将继续开展国际科研协作,进行一系列大型综合性观测试验,例如国际地圈-生物圈计划(IGBP,1984—2000 年)^[6]、热带海洋和全球大气计划(TOGA,1985—2000 年)^[7]、全球对流层化学计划(GTCP,1985—2005 年)^[8]以及美国的国家风暴计划(STORM,1987—1997 年)^[9]等,这些计划的执行将无疑会促进国际大气科学的发展。

建国以来,经过近 40 年的努力,尤其是十一届三中全会以来,随着我国科技界逐步完善开放、流动和合作的新体制,我国大气科学也取得较显著的成就^[10]。例如近年来我国大气科学的基础研究得到了加强,有关大气科学国家级开放实验室的陆续建立以及国家自然科学基金的实施,更有利于大气科学研究的发展^[11]。我国的大尺度大气动力学及大气环流研究、季风研究、短期和长期天气预报研究以及大气遥感的某些理论研究已取得世界瞩目的进步。在应用研究及应用推广研究方面也取得了较显著的成就。近年来,我国气象业务系统现代化建设也是迅速的,在为国民经济和国防建设服务方面也作出了较显著的贡献。当前我国大气科学的发展虽然有了一个好的基础,有一支优秀的科技队伍,但我们面临着世界大气科学发展的新阶段,要跻身于世界先进行列尚需作出巨大的努力。首先是在大气科技队伍中要使思想活跃、具有开拓精神的年青学者逐步成为中坚力量,健全科技队伍结构;其次要改变大气科学中研究设施落后于业务部门的倒挂现象;要大力发展大专院校的大气科学研究力量,要从政策和条件上促成我国大气科学各方面的联合,在基础理论、技术装备以及业务应用等各个方面,围绕着密切结合我国自然

* 本文于 1989 年 3 月 1 日收到, 1989 年 10 月 23 日收到最后修改稿。

条件特点和社会发展需要的几个关键领域，集中优势予以突破，创造出世界一流的研究成果。展望未来，国际大气科学将迈入一个多学科交叉发展^[12]，与现代物理学、化学、数学及新技术更进一步结合的新阶段。今后 30 年将是大气科学、海洋科学及环境科学密切结合的 30 年，气候学和大气化学将取得重大进展。随着大气遥感技术广泛地应用于中小尺度系统的探测，中尺度气象学研究将有所突破，相应地中尺度灾害性天气的甚短期预报会取得显著进步。气象业务系统将在更高的程度上实现自动化，中期数值预报将普遍用于预报业务和服务。可以预期，大气科学将为人类社会作出更大的贡献。为促进我国大气科学的发展，必须认清形势、找出差距，制订切实可行的发展战略和具体措施，以积极的姿态迎接世界新挑战。

根据国际大气科学的发展趋势，结合我国国民经济和社会的发展对大气科学提出的要求，我国大气科学的总体发展战略应是：以提高中长期天气预报、全球及区域性气候预测和短期灾害性天气预报的准确率，有效地为国民经济和国防建设服务为目标，在科研工作中以中长期天气变化的物理过程、气候变化、中尺度气象学和大气化学为重点，大力开展全球综合性科学问题、地球行星大气内发生的各种时空尺度的大气运动规律、灾害性天气及异常气候的发生和发展机制及预报和预测方法以及应用气象学的试验研究。同时应充分发展空间技术、遥感技术、计算机技术和通信技术等现代技术，并用于大气科学研究和气象业务系统之中，这是提高研究水平、加快研究成果的转化，实现气象业务系统现代化的有力的物质支持。在技术政策上，应注意使科技管理体制的改革与世界新的技术革命相结合；使大气科学研究与业务实践及国民经济的发展密切结合；充分调动智力资源，树立国际竞争思想，发扬我国大气科学发展中的优势，使我国大气科学的若干领域走向世界，在国际上取得应有地位，在不断总结经验和成就的基础上走出一条具有我国特色的大气科学的发展道路，形成我国的大气科学学派，从而不断提高我国大气科学的学术水平和为社会服务的经济效益。

为实现上述总体发展战略，应采取的战略措施是：

1. 重视交叉科学的发展，加强跨学科的科研活动

科学发展的历史已经证明，科学的突破点往往发生于社会需要和科学的内在逻辑的交叉点上，因此交叉科学的发展将会促进科学的新突破。目前，不同学科的相互渗透正在促使大气科学的发展日益趋向综合，一些重大的大气科学课题往往具有高度的综合性，需要通过有关学科科研人员的通力协作，才能顺利地得到解决。当前国际地学发展的一个重要趋势是开展多学科研究，走向综合化，在发展交叉科学的基础上取得进展。例如国际科联于 1985 年正式提出的为期 15 年的《国际地圈-生物圈计划 (IGBP)》，就是开展多学科研究的一个范例。它所面临的综合性科学问题是^[13]：地球生物圈-大气化学相互作用、海洋-大气的相互作用、水文循环的生物学问题，以及气候变化对地球生态系统的影响。这些科学问题的研究和解决必将促进和导致大气科学的发展和突破。21 世纪大气科学的研究重点将是构成气候系统的不同介质之间的相互作用，如果不考虑出现在大气圈与水圈、岩石圈、低温圈及生物圈之间的相互作用，就很难设想未来的大气研究会取得成就。因此，为促进我国大气科学的发展，必须重视发展交叉科学，加强跨学科的科研活动。目前我国一些重要研究机构和学术团体已开始重视综合性科学问题和多学科研究，例如我国正在制订国家气候计划和国家地圈-生物圈计划，多学科结合的热带海洋全球计划及南极考察也正在实施。今后尚需大力加强跨学科的科技活动，推动全球变化研究，要从体制和学科发展规划上明确交叉科学的发展，并制订相应的措施，使组织、协调职责分明，经费支持有所保证。除了各部门研究机构切实重视交叉学科的发展外，还应注意发挥 IGBP 中国委员会、南极委员会、国家气候委员会，以及中国气象学会和中国大气科学委员会在支持、组织和协调综合性科研活动方面的积极作用。有条件的综合性大学，应建立以大气科学为主体的跨学科研究中心。

2. 重视和应用科学革命的新成就,加强大气科学的理论研究

大气科学的发展是建立在自然科学与技术发展的基础上的。从16世纪至今的近500年中,自然科学经历了一系列科学革命或突破,其中有许多曾直接或间接地促进了大气科学的发展,今后要使大气科学取得突破性的进展,也必须重视和应用科学革命中所取得的新成就。近来有人把非线性数学和非线性物理学中的突变论、耗散结构理论及协同学称作“新三论”(“老三论”指系统论、控制论和信息论),而且认为它代表了新的科学革命。突变论是在拓朴学、奇点论的基础上,通过描述系统在临界点的状态来研究非线性突变现象;耗散结构理论研究的是一个系统从混沌向有序转化的机理、条件和规律,协同学则是通过分析类比,来描述各种系统和运动现象从无序向有序转变的共同规律,使人们更易于从一个已知的领域进入未知的领域,把一个学科的成果推广到另一个学科。当前大气科学面临的一个重要问题是对非线性大气过程的物理本质认识不够,因此“新三论”的发展和应用,对促进大气科学的发展将是重要的。在未来20年中,随着数学中非线性计算方法的发展,非线性物理学将会有新的突破,从而在大气湍流、大气随机过程与确定性过程转换、不同尺度大气过程的非线性相互作用、天气预报及人工影响天气等方面导致新的概念和方法的产生,并从而使大气科学在研究和预报转折性天气或大气状态的突变方面有所突破。

此外,为促进大气科学的发展,应该注重气象探测资料的理论掌握,加强科学思维和基础理论研究。本世纪30年代以来,通过对高空探测资料的理论掌握,发现了气旋结构、建立了长波理论,从而促进了大尺度天气学的发展,并为后来的数值预报奠定了理论基础。而50年代以来,大气动力学的发展尤其是数值模拟和数值预报的成功使大气科学的面貌发生了重大变化,它已从定性描述的学科逐步发展为可定量处理的属于数理范畴的学科。近10余年来,大气动力学与海洋动力学相结合,已形成了地球流体力学这门新学科,它是大气科学和海洋科学的理论基础。当前它所面临的主要科学问题是,行星波的传播和演变及大气扰动的遥相关问题、大气和海洋的耦合机理、各种尺度运动的相互作用、非线性流动的演变问题、分叉和突变等非线性现象的理论,以及具有多种时空尺度的运动场演变过程的计算方法等等。这方面的研究将会促进今后中长期天气预报、气候学及海洋学的发展。此外,随着地球系统科学的发展,也正在形成地球热力动力学这门新兴的综合性基础理论学科,它的主要研究对象是地球系统中各介质及介质之间的热力和动力过程,这方面的研究无疑将会促进地学各分支学科的发展。因此,为使大气科学的发展有所突破,必须切实加强这些基础理论学科的研究。

3. 重视信息技术的发展和应用,促进气象业务系统和科研手段的现代化

近30年来,信息科学(信息论、控制论和系统论)取得了迅速发展,它已成为当前面临的世界新的技术革命的理论基础,并已广泛应用于许多学科、工程技术和管理的实践之中,从而促进了这些学科和技术的发展;而信息技术(遥感技术、通信技术和计算机技术)的迅速发展和应用,已使许多领域的技术面貌发生了根本的变革。在国际大气科学的发展过程中,世界天气监视网(WWW)的发展以及一系列综合性观测试验所取得的成就已充分说明信息技术的重要作用。我国在大气科学的某些领域迄今存在着一些空白或较大的差距,关键也是技术问题。因此,为促进我国大气科学和技术的发展,必须以积极的姿态迎接世界新技术革命的挑战,以信息科学为指导,充分利用先进的信息技术,建立和发展我国的国家大气监视网,促进气象业务系统和科研手段的现代化。

在今后10年中,我国在发展空基或星载遥感技术方面,应以发展对地静止气象卫星遥感为重点,加强国际协作,加速发展大气定量遥感技术。在地基遥感技术方面,应在健全天气雷达网布局的基础上努力发展微波、激光、声学及红外和光学遥感等多种遥感手段;主动遥感和被动遥感相结合;以及充分利用计算机技术从而使遥感技术更快地转入业务应用。在此基础上努力解决业务和研究工作中所面临的气象资料问题。在气象通信技术方面,应进一步争取邮电部门的协作,在通信技术与计算机技术相结合

的基础上实现气象通信的高速化和自动化。至于电子计算机，它已成为当今大气科学技术发展的重要条件，国家应在财政上给予大力支持。我国气象部门在公元 2000 年前应能利用运算速度达每秒 4 亿次的计算机，公元 2020 年前争取能利用每秒十亿次以上的计算机，使我国在中期数值预报及数值模拟能力方面尽早达到世界先进水平。同时，为节约开支及充分发挥计算机的效用，应建立大气科学研究和业务部门能共同使用的计算机中心和网络，从而使我国大气科学研究和业务部门在计算机的利用方面作到资源共享。

4. 大力支持前沿学科的发展

科学的发展是在不断创新的过程中实现的，科学研究的价值也在于推陈出新。在任何一个科学体系中，根据社会发展的需要及随着有关基础学科的发展和新技术的应用，会不断形成一些前沿学科或发展学科。当前大气科学的前沿学科是气候学、中尺度气象学、大气化学和热带气象学，中层大气科学也是比较活跃的研究领域。这些前沿学科既标志着大气科学的发展趋势，也反映了社会需要及大气科学在社会经济发展中的重要作用，因而它最具有生命力和发展前途。在今后 30 年中，大气科学也正是在这些前沿学科领域出现突破，因此必须大力支持它们的发展。这些前沿学科当前面临的主要科学问题是：

1) 气候学

当前我国气候学研究面临的主要科学问题是：我国主要灾害性气候的成因和预测研究；气候变化的海气、地气、热力和动力过程研究；辐射和云相互作用对气候影响的研究；季风异常、火山和日地关系对气候影响的研究；人类活动对气候影响的研究；近千年来我国气候变化历史的研究；以及气候变化的数值模拟。为此必须加强气候监测、组织或参予综合性观测试验、加强气候资料处理的现代化，并建立多学科气候系统信息库。

2) 中尺度气象学

中尺度气象学包括中尺度大气物理学、中尺度大气动力学及中尺度灾害性天气的短期和甚短期天气预报。它面临的主要科学问题是：关于中尺度对流系统及雨暴的三维结构和发生发展过程的观测研究；中尺度系统与地形的关系研究；各类尺度天气系统与中尺度系统的相互作用研究；中尺度系统触发机制研究；中尺度不稳定理论研究；中尺度数值模拟和预报研究；以及中尺度灾害性天气的短期、甚短期和现时预报方法研究。为此必须加强中尺度观测技术和仪器的研制以及中尺度试验基地的建设。我国即将建成的四个中尺度观测试验基地将使中尺度灾害性天气的研究与监测和预报业务紧密结合，它应向全国甚至国际开放，吸收国内外的一流科学家作出高水平的研究成果，从而推动中尺度气象学的发展，提高灾害性天气的监测和预报能力。

3) 大气化学

当前我国大气化学面临的主要科学问题是：我国大气化学成分分布和变化特征的研究；大气中微量元素的来源和输送规律的研究；大气气溶胶物理、化学、辐射特性及其时空变化规律研究；大气化学反映及光化学参数值和数值模拟研究；大气污染对局部气候的影响和评价以及大气污染的全球效应研究。尤其是，应重视大气痕量气体(CO_2 , CH_4 , NO_2 , CFC_2 , O_3)的监测、排放量及其来源、循环过程及对气候的影响；臭氧层变化特征及其机制的研究；大气污染物(包括酸雨)的监测、远距离传输和沉降机制及其对气候变化的影响。为此必须加强大气化学监测手段的研制、重视大气化学实验室模拟和数值模拟研究手段的发展，以及组织综合性的大气化学观测试验。

4) 热带气象学

我国热带气象学面临的主要科学问题是：关于东亚季风，特别是季风低频振荡和超低频振荡的研究；台风等热带扰动的结构、发生发展和移动的物理机制和预报研究；积云对流反馈作用研究；海气相互作用的动力学研究；中低纬度天气系统的相互影响研究；以及建立适用于热带地区的非绝热海气耦合数

值模式,从而促进热带天气预报的发展。为此必须尽早建立以遥感为主的大气探测系统,弥补热带海洋地区的资料空白,以及组织和开展热带大气观测试验。

5) 中层大气科学

近年来随着空间探测技术的进步,显著推动了高层大气研究的进展。中层大气科学的主要任务是研究中层(包括平流层、中间层和热层的一部分,高度为10—100公里)大气现象的发生和变化规律及其和对流层大气的耦合关系,从而为天气预报和气候学研究提供理论基础。当前中层大气科学面临的主要科学问题是:关于中层大气的结构和组成的研究;太阳、地球、上下层大气与中层大气之间的相互作用研究;尤其是要着重研究中层大气上层的辐射、化学和动力学过程、中层大气重力波的性质和影响,以及热带对流层顶的水汽输送问题。在这方面我国刚刚起步,观测手段正逐渐得到加强。例如,高空气球试验基地已经建成,VHF和UHF多普勒测风雷达正在研制,开展了这类雷达探测中层大气的原理和方法研究,气象火箭将得到进一步发展和应用;我国气象卫星已发射成功等等。今后应继续不断完善高层大气的探测手段,建立起我国自己的观测网或观测基地,同时积极开展国际合作,充分利用外国资料加强中层大气科学的理论研究。

5. 积极开展大气科学试验

大气科学的发展特点之一是它已进入试验科学的阶段。近年来大气科学的发展进程表明,进行各种类型的大气科学试验是发展大气科学的有效途径。

大气科学试验包括实验室模拟试验、数值试验和综合性观测试验。实验室模拟试验是利用模拟地球自转的转台、工作盘、风洞或云室等模拟和分析大气状态的手段。[利用转台或工作盘已可模拟台风、低涡和地形对大气环流的影响以及大气扩散问题和热岛效应等一系列大气现象;利用云室可模拟云雾的形成,试验人工催化的效果等。数值试验是借助电子计算机,利用数值模式,通过改变模式的物理因子组合及初始场的结构,模拟大气状态及其变化,从而研究大气状态变化的规律。近年来这种数值试验在大气科学研究中已得到广泛应用,它可以模拟小至山谷风、海陆风这样的中尺度现象,大至大气环流,甚至可模拟数万年前的地球上的古气候状态,以及核战争对全球气候的影响后果。综合性观测试验是针对一定的研究目标,在一定地区和一定期间,利用多种观测和探测手段,设计并组织综合性的大气观测试验,以获得用常规观测网所不可能得到的大量资料,从而对试验目标进行深入细致的分析研究。60年代以来,国内外已开展了一系列这类综合性观测试验,积累了宝贵的资料,并通过对观测事实、概念模式和数值试验的综合分析研究,有效地促进了大气科学的发展。特别是由于观测和探测技术的日益进步和电子计算机的发展,综合性的观测试验与数值试验相结合,已成为近代大气科学研究的重要手段。

在相当长的时期内,我国受财力和技术条件所限,在要开展的大气试验方面不可能也不应该与国际性计划相比,而应采取积极投入的政策,充分利用我国自然条件和智力优势,努力参加国际试验计划,同时也要努力提高我国大气试验的能力和水平。当前我国参加国际性大气试验为数不多,尤其是在组织、协调好全国力量,打破部门所有,精选队伍等方面需大力加强,要为自己创造良好的国际合作环境。为提高我国大气试验的水平和效果,在试验设计方面必须结合我国特有的自然资源条件和国民经济发展的需要,应以理论研究为指导,使数值试验与观测试验相结合,加强大气观测试验基地的现代化建设,逐步培养一支大气试验的工程技术队伍;以及重视观测试验资料的加工和应用,并应鼓励业务单位试用研究成果以检验成效。

6. 加强科技管理改革

科学活动作为一项社会活动,不仅受到自身发展规律的制约,而且受到社会经济规律的制约,有效的科技管理将能促进科学技术潜力的发挥。在我国大气科学的管理改革中,应注意的是:

1) 科技管理的改革必须与当前世界面临的新的技术革命相结合,要面向现代化、面向世界、面向未来。新的管理体制必须适应当前开放、流动和合作的新形势,要使经济规律特别是竞争机制和价值规律在大气科学活动中发挥作用,要从体制上使研究和业务工作以及经济发展建立起更为直接的有机联系。

2) 适应大气科学的发展规律,正确处理科学技术的内部关系。例如基础研究、应用研究和开发工作之间的比例关系;学科带头人与优化群体之间的关系;积累与创新的关系;竞争与联合的关系;自由选择与集中攻关的关系;以及重点与一般的关系等。

3) 加强国内联合。为避免低水平上的重复劳动及有利于集中力量,应建立面向全行业的大气科学研究的联合体或研究中心,向国内外开放,吸收优秀人才开展合作研究。在科研设备上,要充分发挥现有仪器设备的潜力,尤其是对大型设施,有关部门应制订切实可行的措施,对外开放,作到资源共享。

4) 积极参与和支持国际协作和学术交流

大气科学的研究对象是全球大气,因此为促进大气科学的发展必须加强国际协作和学术交流,这也是使我国大气科学事业跻身于世界先进行列的必由之路。近年来我国大气科学界在开展国际协作、引进技术及学术交流方面已经作了有成效的工作,但协作的领域和水平有待扩大和深化,要注意培养一支能够以高水平的学术论著活跃在国际大气科学讲坛上的科技队伍,各有关部门应给予足够的经费支持。

5) 培养新型科技人才

当前世界面临的新的技术革命,从实质上讲是一场知识革命,技术革命的领先地位决定于教育的领先地位。尤其是,为适应大气科学的发展趋势,必须加强气象教育工作的改革,培养新型的科技人才。对这种人才所具备知识的要求是“博、专、新”。所谓“博”就是知识的丰富性和综合性,“专”指知识的深度,“新”指随着科学技术的发展,科技人员的知识也要随之调整。同时,也应欢迎有关专业的科技工作者加入气象队伍的行列,而不应有任何歧视。

综上所述,我国大气科学的发展既面临着机会,又面临着巨大的挑战。发展的任务是艰巨的,但前景是光明的。只要我们以只争朝夕、努力振兴中华的革命精神,加强各方面的改革工作,就有可能在本世纪末或下世纪前期,使我国大气科学事业跻身于世界先进行列。这就要求我们既要能够总结、创造和发扬我国大气科学发展中的成就和优势,又不致浮夸和固步自封;既要承认差距、看到空白,又要有信心克服差距和消除空白;既要能够综观国际大气科学的发展潮流,汲取和借鉴国际大气科学发展中的成就和经验,又要注意结合我国实际有所创新;尤其是,应该在科学与技术、理论与实践密切结合的基础上,不断总结和完善的具有我国特色的大气科学的发展道路。为此,也必须加强气象软科学研究,尤其是关于大气科学发展的预测和战略研究。近来国家自然科学基金委员会和国家气象局正在集思广议,分别研究和制订《我国大气科学基础研究的发展战略》及《我国中长期气象科学技术发展纲要》,我们深信,这些战略研究将会促进我国大气科学的发展。本文旨在抛砖引玉,欠妥之处尚希读者指正。

本文写作过程中,曾蒙陶诗言、谢义炳、章基嘉、曾庆存、周秀骥等教授的指导,并得到京内外大气科学界多位专家的宝贵意见,在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 章基嘉、殷显曦, 从第19届 IUGG 大会看国际大气科学的发展——1983—1986 年国际大气科学发展的调研报告, 国际大气科学的发展, 中国大气科学委员会, 1988年。
- [2] 殷显曦, 天气预报和气候学研究的进展, 气象出版社, 1986年。
- [3] 殷显曦、彭光宜, 气象科技发展战略概论, 15—49, 中国科学技术出版社, 1988。
- [4] WMO, The WMO long-term plan, overall policy and strategy, 1988—1997, WMO No. 690, 1987.
- [5] NSF-UCAR, The atmospheric science, a vision for 1983—1994, report of the NSF-UCAR long-range planning committee, 1987.
- [6] Spacial committee for IGBP, The International geosphere-biosphere programme, a study of global change, a plan for action, *global change report* No. 4, 1988.
- [7] Tropical ocean/global atmosphere, An International scientific plan, world climate research program, World Meteorological Organization, Geneva, 1985.
- [8] UCAR, Global tropospheric chemistry plans for the U. S. Research Effort, UCAR, 1986.
- [9] UCAR, The National STORM program—scientific and technological bases and major objectives, UCAR, Boulder, CO 80307, 462, 1983.
- [10] Chinese Committee of Meteorology and Atmospheric Physics, China National Committee for IUGG, Advances in the Atmospheric Sciences of China, 1983—1986, *Acta Meteor. Sinica*, 1, 2, 206—257, 1987.
- [11] 林海、刘传志, 利用优势, 鼓励竞争, 发挥科学基金在大气科学研究中的主导作用, 地球科学进展, 1, 43—44, 1989。
- [12] 张知非、沈文雄、林海、王永法, 迎接全球变化的新挑战, 地球科学信息, 3, 1—3, 1988。
- [13] 林海, 地球系统科学展望, 中国科学基金, 2, 29—34, 1988。