

自然科学学科发展战略研究报告之四:大气科学

Strategic Research on Natural Science Disciplines: Atmospheric Science

国家自然科学基金委员会

提 要 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。随着人口的增长和工业经济的发展,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,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,这些问题的解决,在很大程度上有赖于大气科学研究。

发展趋势

大气科学主要依据物理学和化学的基本原理,运用各种技术手段和数学工具,研究大气的物理和化学特性、大气运动的各种能量及其转换过程、各种天气气候现象及其演变过程、天气以及其他大气现象的预报方法、影响局部天气的技术措施、各种大气现象信息的观测和获取以及传递的方法和手段,等等。50年代计算机技术和遥感技术引进大气科学领域后,大气科学已成为一门分支学科众多的综合性科学,其主要分支有大气探测学、气候学、天气学、动力气象学、大气物理学、大气化学、人工影响天气、应用气象学等。随着气象观测技术的发展,逐渐形成了大气遥感、雷达气象学和卫星气象学等分支。随着大气动力学和海洋动力学的发展和相互渗透,地球流体力学已开始成为一个重要学科领域。与此同时,计算机科学的发展和进一步促进了数值天气预报及大气物理、大气化学和气候学数值模拟研究的发展;现代声学、现代光学及微电子学等方面的进展已广泛地用于研究大气结构、大气辐射及大气遥感;凝聚态物理学的成就将有可能对云雾降水物理学及大气辐射等大气物理学研究起促进作用。

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。预计今后二三十年内,我国大气科学将会进一步缩短与国际先进水平之间的差距,在一些重要领域攀登世界高峰。

总体发展战略

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的需求,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和短期灾害性天气预报的准确率,建立全球及区域性气候预测能力,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,以及应用气象学的理论和试验研究;在研究和业务手段上,充分发展和采用空间技术、遥感技术、计算机技术及高速通信和信息处理等现代技术,加快研究成果的转化,实现科研手段和气象业务系统现代化;在技术政策上,使大气科学研究与业务实践及国民经济的发展密切结合,重视人才培养,充分调动智力资源,加强国际竞争意识,发挥我国大气科学发展中的优势,在不断总结经验的基础上走出一条具有我国特色的大

气科学的发展道路,使我国大气科学工作有较高的经济、社会、生态效益,在总体上缩短与世界先进水平的差距,在若干领域达到世界一流水平。

战略措施

1. 重视交叉科学的发展,加强跨学科的科研活动

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,在发展交叉学科的基础上取得进展。例如国际科联于1985年正式提出《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: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、冰雪圈及生物圈之间的相互作用,就很难设想未来的大气科学研究会取得成就。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大气计划及南极考察也正在实施。今后尚需制订相应的措施,使组织、协调职责分明,经费支持有保证,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. 重视和应用科学发展的新成就,加强大气科学的理论研究

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”。当前大气科学中存在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,“新三论”的发展和运用,无疑将会促进大气科学的发展。在未来20年中,随着数学中非线性计算方法和非线性物理学取得新的进展,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将导致新的概念和方法的产生,从而在研究和预报转折性天

气或大气状态的突变方面很可能会有所突破。

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。从大气科学的发展历史和前景看,本世纪40年代以来大气动力学起了大气科学领域带头学科的作用,今后10年中大气动力学将与地球流体力学共同承担带头学科的任务;而随着地球流体力学的发展,它将在21世纪成为大气科学的带头学科。实际上地球流体力学是大气和海洋科学的基础理论学科,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、能量的传播和转换问题、大气和海洋的耦合机理、各种尺度运动的相互作用、非地转流动的演变问题和稳定性问题、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问题和稳定问题、分叉和突变等非线性现象的理论,还有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。目前我国地球流体力学研究已有一定的基础,其理论研究及相应的数值模拟近年来有显著加强,大气和海洋学者之间的联系也较前更为密切。今后应继续重视我国地球流体力学的发展,逐步明确主攻方向,使它真正起到带头学科的作用,进一步促进大气科学、海洋科学和环境科学等多学科的相互渗透和发展。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。

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,信息科学取得了迅速发展,它已成为当前新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,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。为促进我国大气科学和技术的发展,必须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,中长期数值天气预报和气候研究迫切需要有分辨率均匀的气象水文资料。鉴于全球观测的极端重要性,应同步发展极轨和地

球静止气象卫星全球观测系统和相应的地面通信处理和反演系统,加强国际协作,加速发展全天候高精度的空间遥感技术、理论和方法。同时,也应努力发展飞机探测技术。在地基遥感方面,应在健全天气雷达网布局的基础上努力发展微波、激光、声学及红外等多种主动和被动遥感手段,充分利用计算机使遥感技术更快地转入业务应用。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。计算机已成为当今大气科学技术发展的重要条件,我国气象部门在2000年和2020年前计算机的运算速度至少应分别达到每秒4亿次和10亿次以上,中期数值预报及数值模拟能力才不致与世界先进水平拉开太大的差距。为充分发挥计算机的效用,还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,以利于在计算机的利用方面作到资源共享。目前巨型机已是国际气象界开展气象业务和研究工作的基本手段,其在我国气象部门的起用,有赖国家财政的大力支持。

4. 大力支持前沿学科的发展

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。今后30年,大气科学将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;季风异常的原因及影响;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、组织或参与综合性观测试验、加快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预报。它面临的主要科学问题是:关于中尺度对流系统及暴雨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、甚短期和临近预报方法研究。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,现已建成和即将建成的中尺度观测试验基地应使中尺度灾害性天气的监测、研究更紧密地与预报业务相结合,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,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: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的研究;大气化学反应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估以及大气污染的全球效应的研究。尤其应重视大气痕量气体(CO_2 , CH_4 , NO_2 , CFC_5 , 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研究。为此必须加强大气化学监测仪器设备的研制,重视大气化学实验室模拟和数值模拟研究手段的发展,以及综合性大气化学观测试验的设计和组织的。

(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;建立适用于热带地区的非绝热海气耦合数值模式,以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发展。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,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: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的研究。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。今后应继续完善高层大气的探测手段,建立起自己的探测网或探测基地,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。利用云室、风洞已可模拟云雾和冰雹的形成、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,它可模拟小至积云单体、龙卷这样的中尺度现象,大至大气环流甚至数万年前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,综合使用多种观测和探测手段进行的大气试验,以获得常规观测网不可能得到的大量资料,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。由于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。

积极开展我国的大气科学试验,应着眼于试验水平和效果的不断提高。为此,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;要加强大气观测试验基地的现代化建设,并逐步培养一支大气试验的工程技术队伍;要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。

对于国际性的大型大气科学试验,过去我国参加不多。今后应充分利用我国自然条件和智力优势,积极参与。为此,要组织、协调好全国力量,打破部门所有,精选队伍,为积极参与创造良好的国际合作环境。

6. 加强科技管理改革

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,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,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,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) 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,自由选题与集中攻关的关系,以及重点与一般的关系等。

(3) 加强国内联合,避免低水平上的重复劳动,以利于集中力量。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,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。

(5) 培养新型科技人才。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”。只有这样,才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。

近期优先领域

1、大尺度大气动力学

天气过程物理机制和预报方法;非线性大气动力学;大气低频振荡和动力学理论;湿空气动力学及水汽的凝结反馈;海气相互作用;东亚季风。

2、中尺度气象学

中尺度系统的结构和动力学研究;各类尺度天气系统和尺度系统的相互作用;边界层中的物理过程及其与对流的关系;中尺度数值模拟和预报方法。

3、气候变化及预测研究

气候系统的性质和演变的动力学理论;气候系统的物理过程;气候系统的数值模拟;灾害性气候的预测研究;近千年来我国气候变化历史以及本世纪末气候变化预测研究;气候资源与灾害的评价和对策;气候资源的开发、利用及大气环境的保护。

4、热带气象学

热带边界层动力学;季风动力学;中低纬度环

(下转第15页)

省际之间议价粮的调剂,尚未有协调统一的计划和措施。权威性协调机构的主要任务是:协调各部门调节手段的综合利用;统一管理使用政府的财政补贴;发布年度保护价格;协调农、工、商、外贸和政府与农产品经营和流通上的关系,以及中央与地方的经济利益关系。可以设想在一个综合协调机构的领导下,把农村经济工作各有关部门组织起来,建立若干服务中心(如信息传递、技术推广、资金融通、物质调配、储运销售、教育培训等),并按产品大类分设若干专业公司和专业批发市场,把产供销组合为一个整体,形成系列化服务。又如国家在现有的省级粮食批发市场的基础上,可以规定省际间粮食交易必须进入国家批发市场,国家专项储粮的吞吐量也须通过国家批发市场来实现。这既有利于中央对全国粮食流通量的控制,也有利于把现货交易发展到期货交易;既有利于形成正确反映供求关系的价格,又有利于国家对粮食产供销的计划指导。在省级市场成立市场协调委员会,协商与农产品流通和市场建设相关部门的关系,提出改革配套政策,做到有职、有权、有令、有行、有效。

6. 正确处理国营商业承担的双重职能,进一步推进和深化改革,重振国营商业雄风,塑造国营商业主渠道新模式。

国营商业所具有的双重职能,一是作为独立的商品经营者的经营职能,一是承担国家某些调节市场的职能,两者时常发生摩擦。改革目标是要逐步把商业企业办成自主经营、自负盈亏、自我约束、自我发展的社会主义商品经营者。改革着力点放在转换企业内部机制,增强企业活力。这种经营机制的转换要与改善宏观经济环境和市场条件相结合,与搞活流通相结合,与外地行之有效的经验和本地的实际情况相结合,逐步塑造出一个新型的商业主渠道模式。即把产品经济分配式的主渠道改变为有计划商品经济的经营型的主渠道,变采购销售型为销售采购经营型的独立的商品经营者;把低效率、低效益、传统方式运行的主渠道改变为经营结构、组织结构、网络结构合理,规模经营、高效率、高效益、现代化方式运行的主渠道;把单纯强调扶持生产、保障市场的主渠道改变为既注重社会效益,又不忽视经济效益的主渠道;把不分行业、商品、企业、环节和时间的全方位主渠道改变为区别行业、商品、企业、环节和时间的有选择的主渠道,在经营方式、经营范围、价格执行、政策执行和文明经营上起主导作用。

7. 农产品流通体制改革应与商业物流改革配套,通过物流技术的发展,加速农产品流通体制改革,加强道路、仓储、冷冻设施和其它储运设施建设,完善国家安全储备制度以及储备风险基

金制度的建设。

物流是商品使用价值的运动,商流是商品价值的运动,两者相辅相成。商流是物流的前提,物流是实现商流的保证,只有物流畅通无阻,才能使商品顺利地、完成从生产领域到消费领域的转移。农产品流通体制的改革必须依靠先进的物流设施支撑。可以设想,在有条件的地方将批发站与储运公司结合,逐步发展为跨地区的物流公司,使各自的业务范围得以延伸。在商品集散的大中城市,将现有的仓库改建成配送中心,承担商品订购、拣选、组配、发运、装卸等业务。加速物流设施(计算机技术和数据传输技术的应用、建立大跨或连跨的高大房式仓型等)的改进与建设。国家储备可分两级:一级是国家安全储备,粮食的安全储备大约为15%。只在特大自然灾害、战备需要等非常条件下才可动用。另一级为国家周期调节储备,即通过有效吞吐,平抑物价,对流通进行宏观调控。国家安全储备,要注意:国家专储指标主要分配于粮食主产区,保护其生产粮食的积极性;对农户实行专储和定购挂钩,按完成定购的一定比例分给农户专储指标,把专储的优惠直接给农户。粮食储备专项基金可国家拨一点,银行贷一点,集体挤一点,农民筹一点,专款专用。逐步建立以国家储备为中心的多层次粮食储备体系,即国家储备、地方储备、集体储备、藏粮于民。农户所储备的专储粮,除了给予专储优惠,仍有许多问题需要慎重解决:一是粮食季节差价损失风险由谁承担,二是储备费用与利息由谁承担,三是储备中的自然损耗由谁承担。

(责任编辑 冷远猷)

(上接第32页)

流的相互作用;低纬度大气环流的异常机理。

5、大气化学

大气微量气体的来源、分布和输送规律;大气气溶胶特性;臭氧变化及其机制;大气化学及光化学参数数值模拟。

6、中层大气科学

中层大气物理、化学和动力特征;中层大气和对流层、平流层之间的耦合及物质、能量和动量的交换过程;中层大气动力—辐射—光化学模拟。

7、大气遥感

晴空和云雨大气及地表参数的遥感理论和反演方法;实际地球大气辐射传输理论和数值模拟;卫星和常规资料的综合分析方法;遥感方法及其业务化系统研究。

8、云物理学和人工影响天气

云的微物理学和动力学特征;云化学和酸雨;人工影响天气的原理和催化技术。

(责任编辑 刘先曙)