

# 建国以来气象研究的进展

周秀骥 丁一汇

(气象科学研究院)

## 提 要

本文简要回顾和评述了1949年中华人民共和国成立以来40年间,我国气象科学研究在大气探测、人工影响天气试验、大气物理和大气化学、大气环流及其数值模拟、东亚季风和热带大气动力学、中尺度气象学、气候和气候变化、农业气象等方面的进展。

新中国成立已经四十年了。我国经济建设各个方面获得了飞速的发展。像其它事业一样,我国的气象事业也得到空前的发展。尤其是自十一届三中全会以来,我国的气象科研工作的发展进入了一个新阶段,在国际上赢得了声誉。

气象科学研究是气象事业的一个重要组成部分。40年来,气象研究的领域不断拓宽,研究队伍不断壮大,对我国气象事业的发展起着愈来愈重要的作用。新中国建立初期,我国的气象科学工作者利用少数地面观测资料,开拓了气象科研工作,当时的研究队伍不足百人。通过40年的发展,我国的科研队伍迅增到二千人左右,并且形成了以国家气象局、中国科学院和教委为主的研究系统。研究领域包括了几乎所有的气象学分支,在不少方面接近或达到了国际先进水平,例如东亚大气环流和青藏高原气象学的研究。同时也开拓了许多新的领域,如大气遥感,大气化学,大气环流数值模拟,气候动力学,中尺度动力学和数值模拟,季风气候和动力学,海气交换,卫星气象,农业气象和应用气象等。本文试图对近40年,尤其是近10年来我国在气象科研方面取得的主要成果作一简略的回顾。

## 一、大气探测

我国气象观测网是随着新中国诞生而逐步形成的。为了建设这个基本站网,我国科技人员从掌握清洗水银工艺技术研制水银气压表开始,自行设计生产了地面气象观测仪器系列,装备了全国2000多个地面气象站。同时,结合我国特点,建立了严格的气象计量技术与标准,制定了完整的观测与管理规范。这一切使我国地面气象观测在站网密度与观测质量都达到了国际上较高水平。

近5年来,在研制地面自动气象站方面又取得了新的突破。目前,我们已经在青海高原、新疆、内蒙古沙漠、泰山及沿海岛屿等地区建立了8个自动气象观测站,进行了成功的试验。在北京、上海、武汉、广州4个中尺度气象试验基地,适应于平原中尺度网的自动气象站也投入了应用试验。预计从90年代开始,我国地面气象观测将逐步走向自动化。

我国自行设计定型了新一代的太阳与天空辐射遥测仪,它具有较好的自动化与测量精度,将更新原有的辐射观测仪。一种新型的雨雪量自动遥测仪已经研制试验成功,它不仅连续地测量降雨强度,同时还能测量降雪量。湿度测量元件一直是气象要素测量传

感元件中比较困难的一个问题,经过多年的试验和实际观测的考核,我国成功地研制成了高分子膜测湿元件,其性能已达到国际先进水平。

在高空探测方面,1959年开始,我国生产了自行设计研制的59型探空仪,装备了全国100多个气象探空站。目前,用701测风雷达配备的高空气象探测已逐步走向自动化。经过与美国探空仪的对比试验,59型探空仪测量100百帕高度以下大气温度、压力和风等要素的性能已达到相当水平,但对100百帕高度以上大气测量以及湿度测量方面,尚有不小差距。目前,新一代的电子探空仪已初步研制试验成功,初步结果表明,其探测性能达到了国际先进水平,预计从90年代开始,我国高空探测系统将进入电子探空仪的自动化探测阶段。

1969年,我国第一台X波段711型天气雷达试制成功并投入了应用,其波长为3.2cm。1976年与1982年,我国又先后研制成功C波段713型(波长5.7cm)与S波段714(波长10.3cm)天气雷达。由此形成了中国天气雷达系列,装备了全国200多个天气雷达站,提高了灾害性天气监测水平。近几年来,天气雷达数据处理自动化技术获得了普遍的发展与广泛的应用,多普勒天气雷达与双线偏振雷达的研制工作也取得了新的发展。

根据中小尺度灾害性天气监测与预报水平提高的要求,现代化国防建设发展对军事气象保证的迫切需要,早在1964年我国大气遥感探测工作就开始起步。1966年研制出了我国第一台气象激光雷达,在此基础上,我国机场逐步推广应用了激光测云仪,以探测云高与云厚。近10年内,激光探测仪实现了数据处理自动化,正逐步扩展到能见度探测。

1970年开始,我国先后独立自主地研制成了极轨气象卫星与地球同步气象卫星资料

接收与数据图象处理系统,建成了我国气象卫星接收站网,使气象卫星资料在我国获得广泛的应用。与此同时,在多年大气遥感探测理论与技术工作基础上,依靠我国先进的航天技术,终于在1988年9月成功发射了我国第一颗极轨气象卫星——风云一号。获得了高质量的五通道扫描辐射图象资料,它标志着我国大气探测进入了一个新的时期。

1989年,我国研制成了第一台UHF多普勒测风雷达。结合微波辐射计的不断完善,在京津冀灾害性天气监测试验基地,建成了我国第一套大气廓线探测系统。

在特种观测方面,虽然我国已有三个区域性环境污染监测站和两个Dobson仪大气臭氧观测站。但是,根据当前气候环境变化以及农业生态影响监测与预测的需要,我国的气候环境与农业生态变化监测网还远远落后于国际先进水平。我国至今还没有一个反映大气本底的监测站,也没有一个臭氧探空观测站。基本监测技术与仪器研制,特种观测方法与规范的制定都刚刚起步,形成一个完整的监测站网还需要付出很大的努力。

## 二、人工影响天气试验

我国地域辽阔,天气复杂多变,干旱、洪水、台风、冰雹、雷电等自然灾害频繁,严重威胁经济建设和人民的安全。因此,除了不断提高天气预报水平外,积极主动地进行人工影响天气,趋利避害,具有特别重要的社会与经济效益。

1958年,为缓解吉林地区夏季出现的60年来未遇的大旱,中国气象科技人员首先用飞机撒播干冰,进行了20多次人工增雨试验,取得了效果。同年,为缓解西北干旱,在甘肃省进行了人工增雨、融化冰雪以及抑制河西水库蒸发等综合考察与试验。此外,在武汉、南京地区也都进行了人工增雨试验,在河北地区做了人工消雾试验。由此,揭开了我国人工影响天气试验的序幕。

30年来, 尽管人工影响天气工作中还有许多科学问题有待解决, 对试验的效果检验, 国内外还存在不同的看法。但由于生产发展的需要, 我国人工影响天气的科学试验仍然坚持不懈, 几乎遍及全国各省、市、自治区。大量人工增雨试验都取得了不同程度的效果, 不少地区增加的雨量平均为10—30%, 增加了水库蓄水, 缓解了旱象, 在扑灭类似于1987年大兴安岭林区大火中也发挥了积极作用。很多地区由于开展了人工防雹, 减少雹灾的幅度为40—80%, 不少地区已经把防雹工作列入保证农业生产的一项措施。

我国大气探测与大气物理研究的进展, 有力地促进了人工影响天气试验。近20年来, 我国引进了先进的云降水物理飞机观测分析系统, 在不少地区开展了综合观测, 积累了比较系统完整的资料。对我国东北气旋云系、新疆冬季降雪云系、西北冰雹、长江流域梅雨锋与冬季锋面云系和南方对流云的宏微观结构有了许多新的认识。例如云中高浓度冰晶及大水滴、层云中的对流结构、雹云分类模式、盐核与冰核分布特征、冰雹多核心结构等。这些认识使我们能够更加科学地掌握人工催化云系的时空条件。此外, 我国主要地区云水资源与降水效率的研究也取得了进展。云降水物理数值模拟的结果愈来愈多地应用于指导人工影响天气试验。

用实验模拟方法研究云降水物理机制以及催化机制, 是发展人工影响天气试验的一个重要途径。30年来, 我们对碘化银、干冰、尿素、四聚乙醛、苯酞、盐粉、硝酸、樟脑、石灰等10多种冷暖气催化剂进行了大量试验。最近几年的云室试验结果, 发展了一种新的焰弹配方, 使碘化银成冰核效率(在 $-10^{\circ}\text{C}$ 时)比现有三七炮爆炸分散法有很大提高, 达到了国际先进水平。

此外, 在爆炸波对气流的影响, 冰雹生长与降落速度, 水滴碰并破碎, 电场对冰

晶与水滴的作用, 冰晶生长过程等方面也做了不少模拟试验, 取得了有意义的结果, 并正在不断深化。当前, 我国已建成了一些云降水模拟试验室, 其环境条件可控, 试验容积从 $\text{m}^3$ 到近百 $\text{m}^3$ , 为今后更加完善地进行有关人工影响试验的模拟工作提供了条件。

通过多年实践, 我国人工影响天气试验的作业技术也逐步有了提高。形成了一个以地面高炮发射催化弹为主体并结合飞机撒播的作业系统。通用的三七型高炮的最大作业高度达7km左右。其它在用热力动力消散机场暖雾、人工引发闪电等技术方面也取得了明显进展。

人工影响天气效果的检验, 也由定性地主观估算进入较严格的物理或统计检验试验阶段。在福建、湖南、吉林、新疆、内蒙古、新安江、安徽等地区分别采用了区域回归、随机试验, 历史回归与分类统计等不同统计方法来进行效果检验。福建古田水库人工增雨效果统计检验, 就是利用12年对比区与试验区的结果, 用比较严格的统计方案做出来的。人工影响天气效果的物理检验方法也在开始探索。

### 三、大气物理与大气化学

建国以前, 由于历史条件的限制, 我国大气物理研究几乎处于空白状态。建国初期的近10年中, 在闪电光谱、臭氧观测, 垂直能见度试验以及结合西北风沙、农业气象与水库蒸发等进行了一些近地层大气结构的研究。但是, 全面发展我国现代大气物理学还是1958年以后的事。首先由于农业生产对人工增雨的需要, 加速了我国云雾降水物理学的创建和发展。在全国范围内很快成立了一支云雾降水物理的科研队伍, 全面开展了云降水宏观与微观的研究。60年代初就自行设计研制了颇有特色的三用滴谱仪、飞机滴谱仪、含水量仪、温度仪、冰粒及冰晶观测仪与地面大气电场观测仪等。充分利用我国多

山特点,先后在庐山、黄山、衡山、泰山、天山、峨眉山、长白山等地广泛开展高山云雾降水物理观测,并建立了高山观测站,取得了较为系统的资料。在此基础上,我国积云动力学、暖云降水起伏理论以及云降水微物理结构特征等研究也取得了重要成果。

60年代中期,云降水研究深入到雷雨云物理,带动了我国大气电学的进展。我国自行设计了雷雨云结构综合探测系统,首次成功进行了我国雷雨云中温、湿、压、垂直气流与加速度、电场及云层分布的综合探测试验。建成了雷电物理模拟试验室,取得了雷雨云中水滴放电、雷电通道等新的结果。为了解决大兴安岭林区森林防火任务,开展了多站及单站雷电定位及闪电计数器的系统监测试验。

近10多年来,我国云降水数值模拟试验取得了较明显的进步。从一维模式到二维模式都取得了有特色的成果,三维模式也正在起步。在这些模式中,相当完整细微地处理了微物理过程,达到了较高水平,引起国际上的重视。在冰雹和雾的数值模拟上,也做不少工作。

随着云降水物理研究的深入,对西北地区雷暴云电结构和闪电过程,也多年坚持不懈地进行了观测分析与理论研究工作,对雷暴云底部正负电荷中心分布、雷雨云起电机制以及闪电形成等问题,都提出了一些新的观点,引起了国内外的重视。此外在中层大气电与人工引雷方面也取得了有意义的结果。

60年代中期开始,我国开展了大气边界层物理的研究。70年代后期以来,北京等地的专用气象铁塔(高达325m)相继建成,边界层气象观测系统以及用于湍流测量的超声风温仪相继研制成功,自行设计研制成功的单点测温声雷达,多普勒测风声雷达,激光测烟雷达以及投入应用的系留气球与低空探空仪等,使从几十米近地层到整个边界层

的观测工作得到全面开展。从复杂地形的山区、西北沙漠和绿洲、江湖和海岛,直到城市地区,积累了大量风、温度场的边界层资料。对“典型天气系统影响下边界层大气结构的特征”、“边界层湍流参数随高度的分布”、“城市热岛效应与热岛环流”、“行星边界层多极值分层结构”、“西北绿洲冷岛效应”、“复杂地形的风速廓线”、“边界层大气团块结构”等进行了比较深入的分析研究。在青藏高原边界层大气观测中,确定了符合实际的拖曳系数,修正了理论结果。近几年来,在大气边界层动力学与数值模拟以及大气湍流非线性动力学与数值模拟方面都取得了明显的进展与成果。

大气边界层研究推动了大气污染扩散研究工作。根据我国不同地区的特点,建立了具有我国特点的大气扩散模式,在环境经济和大气质量预测中得到了广泛的应用。

随着60年代中我国卫星、“两弹”与航空现代化建设的开始,大气光学辐射与遥感物理研究也取得了迅速的发展。利用大气红外与可见光辐射遥感大气温度、水汽与臭氧等分布的理论与实验研究,利用激光雷达和太阳天空辐射遥感大气光学特性与气溶胶光学特性,利用光学信号遥感大气风和湍流以及利用大气微波辐射信号遥感大气温度、水汽以及云含水量和降水强度分布等方面,都取得了具有先进水平的成果。

非球形粒散射和非均匀大气及其它介质的辐射传输理论与当前前沿课题的研究已经起步,并且取得了可喜的成果,在雷达探测、卫星遥感与曙暮光等方面得到了初步的应用。

我国大气辐射收支研究,经过多年工作,取得了相当完整系统的结果。尤其是在青藏高原大气辐射特征研究中获得了许多新的认识。

近10多年来,我国中层大气物理研究有了重大的进展。初步建立了我国高层大气火

箭探测和 $30\text{万m}^3$ 平流层大气高空科学气球探测系统,为中层大气研究提供了扎实的基础。我们开始取得中层大气结构、气溶胶、大气成分以及平流层温度脉动与湍流的观测资料。中层大气波动与湍流,光化学与离子化学等理论研究开始起步。我国大气物理学在近10年中的一个重要进展是与大气化学的密切结合。由于大气环境与气候变化问题日益引起国内外的极大重视,我国人口众多,工农业建设发展速度与规模愈来愈大,人类活动对我国大气环境与气候变化的影响日益显著。由于我国煤燃料量占世界前列,排放大量烟粒子与二氧化硫( $\text{SO}_2$ )。西北戈壁沙漠又是具有世界影响的沙尘暴源,因此,对气溶胶物理化学以及二氧化碳与酸雨研究就成为首要的课题。几年来,对我国气溶胶粒子物理化学结构与特征,全国分布与传输规律,酸雨的地区分布与形成机制以及传输规律等问题进行了大量的综合观测分析与理论研究,取得很有特色的成果。对我国环境保护与治理做出了贡献。当前,对我国 $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CFCs}$ 以及对流层 $\text{O}_3$ 等温室气体分布特征与变化规律,又开始进行了研究并逐步深入。

总之,建国40多年来,是我国大气物理与大气化学研究全面创建与蓬勃发展的时期。当前,我们在大气物理与大气化学的各个领域,都已有了基础。许多研究成果进入了世界先进水平的行列,这也是我国大气科学的一个重要方面的进展。

#### 四、大气环流及其数值模拟

大气环流的研究是天气、气候和数值天气预报的基础,一直受到我国气象工作者的重视。早在50年代初,根据当时国内外日益增多的高空观测资料,重点研究了东亚大气环流特征。从地面和高空环流相互联系的角度出发对东亚的大型过程进行了分析,提出了许多新事实和新概念。在此基础上,对东

亚大气环流的一些基本问题进行了研究。包括东亚平均槽脊的形成,青藏高原的热力和动力作用,东亚寒潮和季风形成的大尺度环流条件,季节突变和平流层环流等。并且对一些基本的理论问题也进行了研究,尤其是大气适应和阻塞高压问题。70年代以后,在世界范围内气象科学进入了实验科学的阶段,一方面广泛地开展各种类型的外场观测试验,以取得更多更准确的气象资料;另一方面以数值模拟为工具,对大气环流的物理本质进行了深入的研究。我国的大气环流和大尺度动力学的研究也是在这种有利的条件下获得了新的发展。

东亚冬半年和夏半年平均环流显著不同。冬季低空受西伯利亚高压,夏季受大陆低压控制;高空平均槽脊有“冬三夏四”之差。对平均环流形成的原因,有的强调地形的动力作用,有的强调海陆热力作用,我国学者强调了它们的共同作用。上述明显不同的冬夏平均环流的转变或季节过渡是一个突变过程,这种季节突变发生在每年6月和10月,并且是全球尺度的现象。这是大气环流的双元性和季节突变过程。但这种过程在亚洲季风区表现得特别显著。大部分学者认为这与青藏高原的热力和动力作用,尤其是热力作用有关。但近年来的分析表明,季节突变最早并不出现在高原地区,而出现在高原的上游或下游地区。大气环流的季节突变已在大气环流数值试验中模拟出来。利用中国科学院大气物理所环流模式(IAP-GCM)已模拟出6月和10月两次带状环流的突变,ITCZ的季节位移和东亚雨带的经向位移等。进一步证实了这种环流的季节突变是与大气热源尤其是凝结加热密切相关。东亚大气环流的双元性及其转变的突变性是值得进一步研究的问题。

最近10几年来,从大尺度动力学和数值试验方面对中长期天气过程的物理机制进行了很多研究。这对了解其控制因子和改进中、

长期预报方法和数值预报模式是十分需要的。但由于它所涉及的问题如阻塞高压、指数循环、季节突变、副高北跳等问题,与各种尺度运动的相互作用以及地形和海陆差异等都有密切的关系,因而是一个比较困难的问题。近年来的研究表明,地形对于阻塞高压的形成可能起着更重要的作用。对带状环流和扰动相互作用的理论和数值试验表明:若初值带状环流比较强而且有明显的急流,则在无能源和耗散情况下,扰动很迅速地被带状环流所吸收(“旋转适应”过程);但若带状环流比较弱和有比较强的扰动,则扰动维持下来且有比较规则的演变过程,例如“上游效应”过程,指数循环等。

无论是环流突变,阻塞高压或是指数循环问题,目前普遍认为是大气中不同尺度运动的非线性相互作用。因而非线性动力学已成为大气环流研究中不可分割的一个重要部分。在大多数情况下利用简单的截谱模式的研究表明,当带状环流状态或某些外部参数变化到某种“临界”状态之后,行星波系可以有有一个跳跃式的变化。大气环流的多平衡态理论比较广泛地被用于研究大气环流的变化。通过非线性效应,强迫波和自由波与平均流之间的相互作用,可以产生高低指数和非均匀的振荡;外强迫的变化可以引起指数循环的突变;多平衡不仅存在于中高纬地区,也存在于副热带地区。从理论的观点,对于突变、分岔或混沌现象也进行了研究。利用这些方面的成果可以解释许多复杂的大气现象。非线性模式中平衡态的失稳可以说明季节突变,混沌可以解释厄尔尼诺现象等。

大气环流及其数值模拟的研究不但有明显的学术和理论意义,而且有重要的实际意义。50—70年代我国学者在这方面的大量研究成果对于1982年开始建立的我国数值预报业务(五层原始方格北半球模式和五层有限区域模式)起了很大的推动作用。而近10年这

方面的研究对我国中期数值预报的建立也必将起着更积极的作用。

## 五、东亚季风和热带大气动力学

早在50年前,竺可桢先生在“东南季风与中国之雨量”一文中对东亚季风的特征、原因及其与中国降水的关系作了开拓性的研究。以后我国的气象工作者对此作了大量的研究。概括起来主要有三个方面:夏季风的爆发和进退及其有关的降水分布;热源分布及其对季风环流的影响;冬季风的形成、爆发、传播及其对行星尺度的影响。

亚洲夏季风的建立是自东向西推进的。5月份首先在我国南海和东南亚地区盛行西南气流,雨季开始。然后向西偏北推进,6月份到达印度,因而东亚季风的建立早于印度季风。季风爆发的原因基本上有三种,一是强调来自南半球跨赤道气流的影响;二是强调中高纬度阻塞活动的作用;三是强调青藏高原的热力或动力作用。例如有人认为高原诱发的下沉增温可能是季风建立的主要机制。

夏季风热力过程中的一个重要问题是热源问题。我国气象学者对热源分布的研究始于50年代。根据稀少的观测资料得到夏季高原是一个巨大的热源,到70年代,随着观测资料的增加,尤其1979年青藏高原试验以后,又进行了一系列试验。虽然计算方法和所用资料有所不同,但基本上肯定了夏季高原大气是热源、冬季是冷源的结论。而对于高原而言,冬夏皆是热源。但目前还有一些分歧,例如新的研究表明,夏季风的最大加热中心不在高原上空,而是偏于孟加拉湾东部和缅甸附近;过去认为西部热源在夏季以地面感热输送为主、潜热很小的结论应作适当修改。在西部,潜热也有一定贡献,至少1979年夏季是如此。根据热源分布和环流系统的差异,有人认为东亚季风系统可能是一个独立的季风系统,尽管在不少方面它与南亚季风系统有着明显的相互作用。

早在50年代初期,对于东亚寒潮与北半球环流变化的联系就有过许多研究。近年来,又进一步研究了寒潮的中期过程,指出其90%都与北半球倒 $\Omega$ 流型的酝酿、建立和衰退相对应。一次寒潮爆发的过程至少可包括四个阶段:西伯利亚高压的建立;高压的南下及其在陆上和海洋上变性的过程;冷涌的发展和向赤道的传播;冬季风的行星尺度效应(哈得莱和瓦克环流的加强)。

70年代以前,我国对热带大气动力学的研究并不多,主要偏重于天气学和气候学的分析。70年代以后涌现出大量的工作,使这个领域成为国内气象研究较活跃的分支之一。并且这方面的研究密切结合中国和东亚的实际,为解决实际业务预报问题提供了有益的理论基础。

根据 Charney 的特征尺度分析方法和热带大气波动动力特征的研究,在热带经常见到的超长波系统是准无辐散和准地转的,类似中纬度长波的特征。其产生机制除了地形和定常热源以外(产生定常行星波),对流凝结加热起着十分重要的作用。热带超长波的运动具有多时间尺度的特征,除了慢、快变化外,还有静止状态。行星波能量的经向传播和垂直传播,涉及到中低纬和高低层之间的相互作用问题。对于垂直传播,除存在从中纬低层向高纬高层的波导以外,还发现从中纬度低层指向低纬对流层上层和平流层低层的热带波导。研究也发现低纬地区重力惯性波的能量频散主要是沿经向的。这可能是低纬大气向中高纬大气输送能量的一种方式。

低频振荡问题是热带大气动力学的一个新的重要问题。它与季风的活动和降水,旱涝、台风发生频数以及厄尔尼诺现象有密切的关系。最近10年来国内进行了不少研究,这包括双周振荡,30—60天振荡,季节振荡以及年际低频振荡(准两年、3.5年、5年振荡)。关于低频振荡的机制目前还没有一致

的看法,有人认为与季风的非绝热加热强迫作用有关,有人认为这是南半球通过冷空气爆发相互作用的产物。

对流凝结加热和垂直输送在热带大气研究中受到了很大的重视。对流凝结加热通过反馈作用可以影响热带大气和行星波,例如可以影响行星波的不稳定性。积云除了对热量和水汽进行垂直输送并影响热带大气和环流条件外( $Q_1$ 和 $Q_2$ ),还对动量进行垂直输送。把这种所谓积云摩擦作用引入 CISK 机制就导致了积云动量混合——第二类条件不稳定机制(CMM-CISK),用这种机制可以讨论台风的基本特征和增长。

早在60年代初就开始了台风的动力学研究,包括惯性重力波的作用,涡旋运动动力学等。以后研究了台风螺旋云带和台风眼的形成机制,积云加热和对流云系的作用以及辐射加热的作用等。另外对台风和低压的能量学,次级环流等也作了不少有意义的诊断分析。近年来在台风运动动力学方面(双台风, $\beta$ -效应等)也取得了一定的进展。

## 六、中尺度气象学

由于中尺度气象学与许多灾害性天气如暴雨、冰雹、大风和雷暴等有密切的关系,最近一、二十年来受到国内气象工作者的普遍重视。首先是积极地改进观测技术和方法以获取更多、更准确的中尺度资料。其次是进行了专门的中尺度外场观测试验,其中规模较大的有华南前汛期暴雨试验(1977—1982年),华东中尺度天气试验(1980—1983年),以及目前正在进行的(1986—1990年)灾害性天气监测和超短时预报国家计划。根据这个计划在京津冀、长江中游、长江三角洲和珠江三角洲地区建立了中尺度观测基地。第三是发展中尺度天气的短期预报(0—48小时)方法,尤其是超短时(0—12小时)预报方法。第四是加强中尺度动力学和数值模拟的研究,不断改进中尺度数值模式并在业

务预报中应用。

在中尺度天气和动力学研究中主要的进展有两个方面：中尺度扰动和低空急流。首先对于华南前汛期和梅雨期的 $\alpha$ 中尺度系统有了较深入的了解。梅雨期 $\alpha$ 中尺度系统有两类：江淮切变线和低涡。切变线是较浅薄的系统，它是梅雨中尺度云雨带在流场上的表现，并有明显的锋区和露点锋区相配合。在低空锋区上方，对流层中高层存在着暖湿空气带，这与雨带中的对流加热有关。目前对这种中间尺度雨带或切变线形成的动力学机制还没有一致的看法。有人认为是一种 $R_i < 1$ 的斜压波，有人认为是一种包含积云对流作用的不稳定波，斜压-CISK机制起着重要的作用。对于 $\alpha$ 中尺度低压，研究表明，它们可在大尺度天气系统中新生出来。在发生阶段，动力因子起着主要作用，但在发展阶段，降水产生的凝结潜热起着重要作用。

过去由于资料关系，对 $\beta$ 中尺度的系统研究得很少。长江中下游梅雨试验以较稠密的高空和地面观测网第一次提供了研究这种25—250km尺度系统的可能性，得到不少有意义的结果。例如 $\beta$ 中系统在低层具有明显的斜压特性，在中高层具有明显的对流系统特征。

华南前汛期暴雨和江淮梅雨都与低空急流密切相关。根据1971—1978年40次前汛期暴雨过程统计，75%对应在暴雨的前一天以前有低空急流。这支低层西南或偏南强风带是一支超地转的强气流，其形成原因目前看法很不一致。有人认为低空急流的出现与西侧低压系统的发展和东移有关；也有人认为是行星边界层惯性振荡的结果。最近，有人用质量-动量调整理论，从高低空急流的耦合角度解释了低空急流的形成。

近年来中尺度气象学的理论研究也有很大的进展，共有五个方面：(1)中尺度环流的动力机制。包括中尺度环流的动力结构、

产生和维持的机理，尤其是一些动力不稳定性问题。(2)中尺度强迫机制和中尺度波的传播特征。(3)积云与中尺度系统的相互作用。(4)中尺度环流与大尺度环流的相互作用。(5)中尺度环流的可预报性问题。

## 七、气候和气候变化

在70年代以前，我国气候的研究基本上是属于经典气候学范畴，从方法上是以统计学为主的。70年代以后，气候问题变得愈来愈重要。尤其是世界气候研究计划(WCRP)制定以后，气候及气候变化问题已成为大气科学的主要研究方向之一。许多研究表明，最近几十年来，气候总的趋势是增暖的。我国的情况也是如此。目前把这种增暖主要归因于人类活动的影响，尤其是温室气体(如二氧化碳、甲烷等)大量增加的结果。数值实验表明，如果二氧化碳增加一倍，全球平均气温将增加1—4℃，从而对社会经济各方面，尤其是农业、林业、水资源以及生态环境等产生明显的影响。目前气候变化的问题已作为极重要的环境问题之一引起了各国的注意和重视。人们试图对未来的气候变化作出科学的评价，预测其未来的可能变化，并制定出有效的对策。由于各国的重视和迫切的需要，气候学获得了迅速的发展，它已从基本上是描述性的学科分支逐渐演变成物理-动力气候学。利用大气环流模式(GCM)、气候模式以及海气耦合模式对气候的变化进行模拟，得到了许多新的重要结果。

中国有悠久的历史和丰富的古书和记载。其中有不少对历史时期的气候作了描述。我国的气候工作者一直十分重视历史气候的研究，尤其是70年代以后，曾编绘和出版了500年旱涝图集。并且也利用树木年轮的分析研究了近几百年中国气候的脉动。对于中国的大部分地区，现在利用各种代用资料基本上重建了近500年甚至近千年的气候变化及主要的旱涝事件。历史气候的研究不

但对中国气候变化的研究是一个贡献,而且对世界上气候变化的研究也是一个重要的贡献,一直受到国际气象界的重视。

气候的变化主要受外界强迫因子的作用,其中主要的是太阳辐射及下垫面的作用。对于后者海洋和陆面皆有重要的作用。早在50年代,我国气象学者就认识西太平洋海温的变化对台风等天气系统以及我国降水的影响。从70年代开始,积极地开展海气相互作用的研究,发现黑潮的海温高低及热通量不但与长江流域的春夏降水有正的超前关系,而且与华北降水也有一定的关系。近10年来,对于厄尔尼诺事件和南方涛动的发生原因及其对中国天气气候的影响进行了大量的研究,得到了不少有意义的新结果。例如人们发现东北夏季的低温冷害与厄尔尼诺事件有密切关系。长江中下游,在绝大部分厄尔尼诺事件期间,夏季皆出现干旱,台风偏少。近年来,除了南方涛动外,还发现存在着北方涛动。它可以影响西太平洋到南海地区的降水和气压场。在这个地区,对流活动的强弱不但有局地的影响,而且通过遥相关作用可以影响我国和日本的中高纬地区的天气气候。十分类似于PNA型(太平洋北美型)的遥相关作用,对这种遥相关问题作了不少观测和理论研究。从1985年开始,为了获得更多热带海洋的资料,在世界范围内进行了TOGA计划(热带海洋全球大气计划)。我国同美国也进行了热带西太平洋海气考察,取得了大量的有价值的资料。

地气交换是下垫面影响气候变化的另一个重要因子。包括雪盖,极冰,植被等影响。人们发现,欧亚地区和青藏高原的积雪多少与东亚季风的强度和东亚环流有密切的关系。目前有关部门正在西北地区进行较大范围的地气试验计划以获得更多的资料。

气候模拟是研究气候变化的主要工具之一。过去,我国在这方面的比较薄弱,但近10年来,通过积极的研究以及引进消化

国外的模式已初步建立了我国的气候模式。用这种模式不但可以模拟气候系统中各种因子的作用以及气候变化的过程,而且可以模拟气候改造的问题。例如模拟因大面积灌溉使土壤增墒等而造成的气候效应。

气候变化研究的最终目的是要建立全球和区域的气候监测和预报系统。也就是说主要应作出月与季的预报(也称长期预报),年际气候预测以及年代际(10年以上)气候趋势预测。在这方面我们主要在月预报上取得了一定的进展。由距平滤波模式和GCM模式给出的一批预报试验结果是相当令人鼓舞的,但要建立这方面的业务预报系统还要走相当长的路。

## 八、应用气象和农业气象研究

我国应用气候的研究已有较长的历史,从50年代后期就开展了这一领域的研究,紧密结合国家经济建设和国防建设急需的若干重大方面进行了有成效的工作,完成了对我国国民经济若干领域具有重大意义的气候应用问题的研究,取得了明显的社会、经济效益。30多年来,在建筑、电力通讯、能源等方面进行了专业气候研究,均已取得了较好成绩。

在建筑气候研究方面,1965年完成了全国建筑气候分区的研究,该项目被国务院科学规划委员会列为我国建筑科学重点研究项目之一。从50年代后期起,与建筑部门一起,为制定我国自己的建筑结构荷载规范,对其中的主要部分,风压和雪压,进行了深入研究和探讨,开展了大规模的沿海风压和山区风压专题研究,使结果不断完善和补充,这些成果已正式列入中华人民共和国国家标准《建筑结构荷载规范(GBJ9-87)》以及《高耸结构设计规范》和其它部颁规范中。在建筑气候研究方面,还进行了城市规划与风的研究,高耸建筑物风振的测量与研究,采暖通风与空气调节设计中气象参数计

算研究,建筑采光气候研究等,都已得到有关部门的确认和采用。

在能源气候研究方面,新能源开发在70年代列入国家重点攻关项目,风能、太阳能资源研究取得了重大进展,先后完成了我国风能、太阳能资源计算,风能和太阳能利用区划及风能、太阳能资源数据库等国家急需项目的研究,成果多次获奖。这些成果已直接应用于国家决策部门和使用部门。我国开展的这些工作还受到WMO气候应用委员会的好评和重视。

除上述外,我国应用气候工作者还开展并完成了“全国电力通讯线网气候区划”、“全国电气化铁路接触网气象条件标准(铁基86-22)”等应用项目,参加了“全国农村能源资源调查和综合区划”,进行了“城市气候”、“医疗气候”等方面的研究。

许多成果填补了我国多年来的空白,不少成果已达到国际同类研究的水平,例如,考虑了我国青藏高原的重要影响,使风能、太阳能资源计算的精度有了较大的提高,完成的全国范围风能、太阳能资源调查及资源数据库,无论广度或深度,在国际上都是先进的。我国的应用气候研究从无到有,已成为我国气候工作一项重要的特色和在气候研究的领域中一个重要的分支。

农业气象是大气科学的一个重要分支。30多年来,由于农业生产发展的迫切需要,农业气象科学有了很大发展。特别是,近年来,农业气象科研、试验研究及服务性工作均取得较为显著的成绩。

针对农业生产中的主要农业气象问题,深入开展农业气候资源合理利用、农业气候区划、农业气象预报方法、农作物病虫害发生发展气象条件的预测方法、新技术的引用开发等方面的研究,并获得了一些重要科研成果,有些领域达到了先进水平。

“全国农业气候资源和农业气候区划”研究是“1978—1985年全国科学发展规划纲

要”中“农业自然资源和农业区划”项目中的一个重要组成部分。在全国农业气候资源分析中,根据近30年的资料,从宏观上阐述了光、热、水资源的时空分布规律,多雨、干旱、干热风、台风、冰雹、低温冷害等灾害的发生规律和可能的防御措施,探讨了各地区的气候生产潜力。这项研究包括“中国农业区划”、“中国农林作物气候区划”等7个子课题。此外对丘陵山区等地的农业气候资源及其合理利用,也进行了大量实地考察与试验研究。这些研究工作的完成对于合理开发利用我国的丰富气候资源,因地制宜地规划与指导农业生产,实现我国社会主义农业现代化具有重要意义。

从1983年起开始“华北平原作物水分胁迫和干旱”课题的研究,系中美两大平原气候和农业比较中的一个子课题。经过4年的试验研究,获得了大量农气和作物资料;通过分析明确了作物产量与耗水量呈抛物线关系;确定了作物最佳耗水量;建立了作物形态、生理生态与土壤水分的定量关系,并结合我国情况,修正了美国帕默尔干旱指标,建立了适宜于我国 $100^{\circ}\text{E}$ 以东地区的气象旱度评估模式。

完成了“全国土壤湿度观测站合理布局 and 若干观测方法业务试验”课题研究,提出了确定土壤湿度测站合理布局的比较完整的技术方法。

农业气象预报方法的研究,尤其是我国主要粮食作物产量预报方法和研究发展迅速。70年代后期,着重研究了各种农业气象灾害预报(包括作物病虫害预报)方法,并对产量预报方法进行初探。1982年后大规模地开展粮食产量气象预报方法的研究。经过4年多的努力,已初步建立起一整套适合我国情况的不同尺度的(五级)粮食总产和单产预报模式,建模思路不断开拓,考虑因子不断增多,趋势产量的处理方法也有新的进展。随着遥感技术的广泛应用,遥感估产方法

在农业气象中的应用也有了可喜的进展。冬小麦大网络遥感综合测产系统的研究取得了显著成效,并在我国农业产量业务预测工作中日益起着重要作用。

在病虫害预报方法的研究中,建立了预报粘虫发生期、发生量、发生程度的中、长气象模式、海温模式等,推动了病虫害预报工作向数字模式化发展。

与此同时,根据国家经委等部门的要求,还积极开展农业气象情报服务工作,按“大农业”概念重新组建农业气象情报监测网,由546个站点组成,约占全国台站总数的1/5。这些站点尽可能覆盖农区、林区、

牧区,同时在监测项目上也从单一抓粮食作物,拓宽到经济作物。目前,基层台站农气情报编码、发报的手工操作已逐步由微机代替;省级、国家级农业气象情报传输处理系统逐步实现了自动化。同时,也建立健全了农业气象产量预报业务服务系统,实现农业气象产量预报业务流程自动化。

近年来,开展了气候变化对农业影响的研究。目前,正在探讨,如果近20—30年气候发生明显变暖,对我国的农作物将会有什么样的影响,并已取得初步成果。

致谢:应用气象与农业气象部分分别由薛衍、刘树泽同志撰写。特此致谢。

## Progress in meteorological research of China

Zhou Xiuji     Ding Yihui

(Academy of Meteorological Science)

### Abstract

An extensive review of the progress made in the research aspect of meteorology in China for the last 40 years is presented. It covers the eight topics as follows: the meteorological observation, artificial weather modification, atmospheric physics and chemistry, general circulation and its numerical simulation, monsoon in East Asia and large-scale dynamics in tropics, meso-scale meteorology, climatic change, applied meteorology and agrometeorology.