

专题评述

近年来我国大气科学研究的进展

叶笃正

(中国科学院大气物理所)

由于生产和军事上的需要,又有新技术尤其是电子计算机和卫星技术的引进,以及其他科学特别是海洋学与数学等的互相渗透,近二、三十年来,大气科学有了飞跃的进展。自六十年代中期到七十年代中期,我国科学虽然连续遭到林彪和“四人帮”的严重破坏,但由于各级大气科学工作者对他们的反革命修正主义路线的坚决抵制,近年来我国大气科学也取得了一定的进展。首先应该提出的是在新技术设备方面取得了进展,全国已有一些气象部门安装了专用电子计算机,其中比较大的是 M170; 711 雷达观测网已在全国基本建成,目前, 713 雷达正在建设中; 卫星云图设备已在全国各大台应用,同步卫星云图设备也于 1978 年开始工作; 我国第一个 325 米高的专用气象观测塔已经建成, 并且还利用了 164 米高的输电铁塔进行气象观测; 此外还制成了不少遥感仪器, 如声雷达、激光雷达、遥感大气温度和降水的微波辐射计及微波气象雷达等。这些新技术在我国大气物理科学的引进,才使得近十年来我国能在这门学科中补了一些空白, 开辟了些新领域, 并使一些老学科得到新生。电子计算机在我国一些地方比较广泛地应用, 使得我国大气科学开始进入定量的和试验的科学。限于篇幅, 下面就近年来我国大气科学一些主要成果简述于下:

1. 大气遥感探测 大气遥感探测方面的工作在我国已初具规模, 也取得了一些观测和科研成果。用遥感大气温度和降水的微波辐射计探测了十公里以下的大气温度廓线和一百公里范围内总降水分布; 用声雷达研究了边界层逆温层生消过程, 湍流结构系数以及边界层内的重力波等; 用激光雷达探测了斜视能见度、大气烟团扩散以及低层大气光学特性等。

近年来, 我国对大气热辐射信号遥感大气也进行了不少研究工作, 在红外遥感和微波遥感大气温、湿和降水强度等的理论和观测方面都取得了一定的成绩, 如何从辐射信号反演大气的温度廓线的研究也有我国的特色。我们知道关于大气中水汽的遥感和反演是个重要而又有一定困难的问题, 在这方面, 我国也进行了理论研究。在大气中除热辐射外, 也有由大气电活动过程而引起的电磁波辐射。由此我国已故的著名气象学家顾震潮同志曾提出“射电气象学”, 据此我国曾进行大气射电特征观测、水滴破碎过程中发射电磁波的模拟试验以及雷电单站定位的原理试验研究, 此外对人工触发闪电也进行过试验研究。

2. 边界层气象 上述仪器在边界层大气污染观测方面也起了作用。164 米高的输电铁塔已积累了一年多的边界层风速廓线资料。近年来,在一些山区、北京、上海、天津、南京、徐州等工业污染区开展了污染扩散规律研究,为我国工业部门提供了许多资料、数据和建设性意见。同时对边界层大气湍流、逆温层生消、边界层中的重力波现象以及山谷风等方面都作了不少的研究。声雷达测风国外一般是应用多普勒方法,但我国提出了用相关法测风,并进行了初步试验,结果令人鼓舞。边界层有不少动力学问题,我国一些单位在不同程度上在这方面进行了研究,如对浅海,用四层模式模拟了大气和海洋边界层结构。对近地面层湍流结构进行过一些观测,发现湍流有爆发现象。中距离扩散是污染气象学中一个重要问题,一些单位利用六氟化硫示踪法研究了大气扩散规律,这是一种有效的新技术,为中距离扩散研究提供了新手段。

3. 人工影响天气 我国在人工影响天气方面的工作是 1958 年开始的,由于它直接关系到工农业生产和水利服务,所以十余年来不仅组成了专业队伍,还开展了规模较大的群众性科学试验活动。不少研究单位和不少省份对云和降水的微结构特征进行了许多观测研究。通过观测发现了两个值得注意的事实:一是在层状云中冰晶数量不少,每升几十个到几百个;二是暖性积云中大水滴很多。这些事实可能反映了我国云层的特点,值得深入研究。近十年来,许多地方进行了人工影响积状云和层状云的试验,取得一定的结果。

人工防雹在许多地方进行得很广泛。主要有三方面工作,首先是雹云的观测,观测了雹云的种类(分为强单体、传播单体、弱单体、多单体)、云高、回波移动速度、回波的垂直剖面结构等,并利用观测判别雹云和雷雨云;二是研制了防雹火箭和催化剂;三是对防雹原理也进行了初步的工作。

4. 天气学 这是我国一个比较基础的学科,也是广大台站研究得最广的学科,涉及的方面很广泛,包括一般性环流、寒潮、暴雨、冰雹、大风、低温、阴雨天气以及一般的中短期预报方法等等。有关天气学的问题我们只概括讲以下几方面。

(a) 为解决中期预报问题从事大气环流和天气形势的研究 大范围大气环流形势是较小地区天气的背景,研究它们之间的关系,每被看成较小区域中期天气预报的起始点。这方面工作有副热带高压、西风急流、高空槽脊配置等与梅雨、秋雨和早秋连阴雨的研究。找出多雨时段和少雨时段的主要差异、转换特点等,提出了一些预报着眼点和预报指标。有些研究分析了青藏高原(南亚高压)对我国降水和旱涝的重要影响,这些结果不仅可供中期预报参考,还可为长期预报提供线索。

为了进一步做好中期预报,许多同志从事大范围环流形势变化(中期过程)的成因研究和超长波研究。并设计和试用一些方法和工具,如谐波分析,非倍频谐波分析,自然正交函数方法,平均图和环流型,天气平均图和西风廓线,以及低纬指标等。其中有的还具有独创性。这些工作具有实用意义,应该加强和提高。另一些工作,为了阐明中期过程的物理特征,进行了诊断分析研究。

有些工作中,从低纬度相互关系出发,研究我国夏季中期降水预报,经过几年反复实践和提高,看来是一条有希望的途径。

(b) 灾害性天气分析和预报的研究 灾害性天气的研究是我国的重点项目之一,

近年来这方面的工作开展得比较多。研究最多的是暴雨和台风。本节只谈暴雨, 台风留在热带气象一节中讨论。

(1) 形成暴雨的主要天气系统的研究, 其中低涡和台风尤其受到重视, 人们还发现强暴雨可以由一些浅层的低空扰动引起。有些单位还开展了这方面动力学的研究。

(2) 暴雨发生发展的环流条件和物理条件, 包括潜热、垂直运动、湿舌、低空急流、大气层结、地形等。其中低空急流的作用受到特别的重视, 指出不仅有明显的热力作用, 还有重要的动力作用, 低层辐合和重力波, 尤其是不连续线的相遇可以成为暴雨的重要触发条件。最近边界层对暴雨和强对流天气的作用也受到了重视, 发现暴雨发生前最大的水平辐合层在500米高度, 并且边界层的水汽、热量的积累都达最大值。近年来在暴雨和强对流天气分析中, 比较普遍地采用了总能量分析, 由此揭示出暴雨和强对流天气经常出现在强能量锋区附近。在环流背景方面, 人们强调了三个方面: 一是低纬度环流, 发现几乎每次我国特大暴雨的例子都有低纬度系统的作用; 二是弱冷空气作用; 三是副热带高压和日本海高压的阻挡作用。

(3) 暴雨的中尺度系统研究也开始进行。一些个例分析提出了暴雨的中尺度系统的传播机制, 这是值得重视的, 应当进一步作出肯定。

(4) 暴雨分析和预报方法的研究。前几年提出的能量分析方法得到了广泛的应用和发展。

暴雨问题, 是天气学中的一个难题, 它涉及了几种尺度的相互作用。这方面工作已经取得了进展, 但还需要进一步提高。一方面要改善观测网, 取得更多的资料; 另一方面要多进行一些诊断分析和动力学研究, 尤其是中尺度动力学和湿空气动力学。中尺度方面由于观测网的限制, 研究得还不多。次天气尺度的分析和与其有关的湿空气动力学, 这是我国独创的, 今年试用, 取得令人鼓舞的结果, 但对解决暴雨短期预报问题还有相当的距离, 应当继续探索。

(c) 卫星气象 我国从1969年开始接收气象卫星资料, 现在又开始接收日本地球静止气象卫星云图, 这些云图资料已广泛地用于天气分析和预报。首先云图对于青藏高原上的天气分析和预报有很大帮助, 因为这里常规资料非常缺。从卫星云图人们发现在冬季, 寒潮和冷锋常常在高原上活动。高原上有没有暖锋, 在过去预报员是有不同意见的, 卫星云图证实了高原上有暖锋活动。云图分析还指出, 有时候印度季风低压云系以及热带云涌可以越过喜马拉雅山脉伸展到高原上, 孟加拉湾热带气旋也能影响高原天气, 当风暴入侵印度时, 如有高空槽过境, 两种系统的云系可以连结在一起, 造成高原上的强降水过程。

卫星云图是监视海上天气系统的有利工具。从云图分析, 我国概括出四种近海台风发生发展的云型: 一是单一云团的加强发展而成的; 二是由二条云带相互旋转合并发展而成的; 三是由两个云团合并发展而成的; 四是由散乱的积雨群组织化后发展而成的。从卫星云图还发现南半球西风环流型式同西太平洋赤道辐合带和台风活动有关系。如据1978年6—8月的观测, 当澳洲有寒潮时, 西太平洋会有台风活动。此外, 云图对于监测常规天气图难于分析的热带海洋上的扰动也是很有用的。

我国还用卫星云图分析了大陆上的暴雨和雷暴, 并将APT收到的云图红外信号分

成 64 个亮度,送入电子计算机处理,得出数字化云图,用由此得出的资料同相应的 6 小时降水进行分析,概括出了相对亮度同梅雨锋 6 小时降水的关系。这样,从数字云图可以统计出 6 小时降水量。

总之,卫星云图已在我国天气分析和预报上发挥了作用,今后其他卫星资料也将在我国气象应用中发挥作用。

5. 热带气象 在热带气象学方面也取得一定进展。利用赤道附近地面气压值作指标,提出西太平洋热带环流特征及转换规律,即付高和赤道缓冲带连通型及季风槽和热带辐合带连通型交替变化。讨论了热带高层和低层环流的两种型式与台风活动关系。讨论了西太平洋强或弱辐合带时期热带环流特征,指出均是全球环流变化的局地反映,有一定的高低空热带系统相配合,且在强辐合带时期存在赤道太平洋东部上升西部下沉的东西向环流圈。在讨论东太平洋冷暖海水环流特征时也得到相同结果。讨论了西太平洋主要气流的来源,指出该区辐合带南侧气流主要来自南半球,并在加里曼丹和 150°E 附近越过赤道。波谱分析发现在南亚、南海和太平洋,热带环流存在二周左右的准周期振荡,对其机制作了初步分析。许多研究工作讨论了中印半岛、南海和西太平洋热带辐合带的活动和结构,并给出这些地区辐合带动力学和热力学参数的垂直分布。在南海地区还发现有中层气旋活动。

关于台风研究近年来着重台风路径的预报,向客观化和定量化方向发展,先后提出多因子回归法,两层引导气流订正方法、相似法、动力统计等九种客观预报方法,台风数值预报方法设计了正压初始方程模式。其特点在于采用四阶差分 and 考虑了预报起始后台风实况位置的订正,效果明显提高。在台风发生发展方面,着重分析与环境流场的关系,已概括出一套预报模式图,用来定性判定发生发展可能性。对于南海热带低压,则提出了一个统计预报方法,对于秋季冷性切变扰动上的近海台风发生也作了细致分析。西太平洋热带辐合带活动对台风发展的影响以及多台风同时发展的环流条件也都作了讨论。

近年来,对登陆台风降水的环境流场、物理因子和机制作了较为系统的研究,利用单站要素和群众经验也取得相当好的效果。

在台风研究中,还开展了台风流体动力学模型试验,研究了台风的结构和移动等问题。例如发现台风自东移到台湾附近,就会在其西边出现一新台风中心等现象,这些现象为预报员提供了预报依据。

热带数值预报和动力学方面也取得不少进展,设计了可用实测风的半隐式热带正压初始方程模式。一个四层初始方程模式已初步设计成功。通过个例试报,表明有一定预报能力。

6. 青藏高原气象学的研究 近年来我国在青藏高原气象学方面取得了不少的进展,首先应该提出的是在高原气象科研协作组领导下举行的几次科研会战,得到了不少较好的结果,例如气候会战给出了百余幅各种气候图,使高原气候学前进了一大步,夏季青藏高原高压的会战使人们对这个巨大系统对我国环流和天气的影响以及对它的预报等都有了较深的认识;高原低值系统的会战使人们对高原上低涡的发生发展和结构有了较深入的研究,从而对它的预报提供了新依据。

高原上的冷热源是个重要问题,经过定量的计算,人们对它的年变化有了量的概念,

进而研究了它对环流以及天气的影响,发现在夏季高原上的环流和遥远地区——如东太平洋和南半球的环流有着遥相关。人们还发现,由于高原上冷热源的作用,在夏季高原上近地面的热低压和印度的热低压在平均图上并非一个系统,是相隔一个狭窄的高压带的两个系统,而在冬季的 600 毫巴平均图上,高原上也自有一个高压系统,因之高原上有自己独自季风的现像。同时高原上热源的年变化对东亚环流的年变化有着重要作用。

近年来我国对高原上的天气系统以及这些系统对我国天气的影响作了大量工作,对这些系统的预报也作了不少的研究。

高原对我国气候的形成有着重要作用,对东亚的长期天气过程也有影响,如高原上冬季积雪特多(或特少)对夏季环流来临的较迟(或较早)就有着相关。

珠穆朗玛峰是世界最高峰,这里的天气和气候是人们希望了解的。近年来我国气象工作者在这个地区作了大量的资料收集工作,不但了解了各种气象要素在它北坡的分布,也了解了当地冰川风结构,各种特殊云系以及由地形而引起的许多天气现象,如涡旋运动等。

近年来我国还在旋转流体中模拟了青藏高原对环流的影响,取得了一定的成绩。

7. 长期预报和气候学的研究

(1) 长期预报 长期预报与国民经济建设,尤其是农业生产有密切关系,但是这也是一个世界性的困难课题。我国气象部门包括许多台站都开展了这一工作,有了一定的发展。前几年各单位普遍开展了用 500 毫巴月平均环流和平流层高层月平均环流普查前期指标的工作,和揭示各指标的天气学意义。重点研究旱涝前期环流的演变过程,特别注意分析大气环流的季节变化与旱涝的联系。不少单位研究各地区造成自然灾害的长期天气过程,其中以对造成夏季东北低温的长期天气过程的研究比较详细,有了初步成果。

海温是 70 年代初期作为一个因子引入长期预报研究的。开始大家多只注意寻求预报关系,现在对海气相互作用的物理过程已进行了不少探索。不但着重分析海温异常与长期天气过程的关系,而且从动力学和热力学角度对海气之间的耦合振荡也进行研究,增进了对一些长期天气过程的年周期性活动的了解。几年来,利用海温作长期预报,实践证明是有成效的。现在已成为我国气象和水文部门主要的长期预报方法之一。海洋与大气是一个复杂的反馈系统,国外近年来已开始强调大气在某些情况下对海洋的影响,这个问题在我们的工作中也得到注意。海气关系的深入研究必然会对长期预报的改进有重大影响。

除海温外,积雪、陆面温度等因子也受到了重视。

在多年工作的基础上,我国已整理出了较长而完整的大气环流资料,这是长期预报一项十分重要的基本建设。今天我们已有了 1951 年以来逐月北半球 500 毫巴平均图,1871 年以来的 1, 4, 7, 10 月南北半球海面气压图。这些资料已经在长期预报中初步显示出重要作用。

目前我们已有两种长期数值预报方案。一是用前期环流预报下一个月下垫面温度场,再通过后者预报下一个月的环流;另一种是考虑月平均环流的历史演变来做月平均环流预报。前一种方案的初步试验证明有一定效果;后一种方案正在试验中。目前国外长期数值预报工作也还做得不多。

此外近年来用统计方法和统计——动力学方法研究自然季节、旱涝与季风、季风与大气环流等问题也作了不少研究。对农谚及群众经验的总结提高工作也在进行。

(2) 气候学研究 自1973年周总理关于要好好研究气候变异问题的批示以来,普遍开展了气候变迁和超长期预报研究工作。在气候史料的整理方面,我们气候工作者根据二千一百多种地方志及明、清实录,正史、故宫清朝档案和奏书等材料,绘制了历史上(1736年2月2日—5日)第一张雨量分布图,并由此推论出当时的冷空气路径,以及各地近年旱涝调查材料和现代器测雨量资料,整理出了自1470年以来的旱涝史料;评定了全国118个代表站1470—1977年逐年旱涝等级;绘制了一套全国近五百年旱涝等级分布图。通过分析和研究,发现我国大范围旱涝的变化除了36年周期,22年周期及2—3年周期变化外,可能还有200多年左右的周期变化。并且根据历史资料中的寒潮、霜冻、大旱、大涝的记载以及本世纪以来仪器观测资料的分析,讨论了十五世纪以来我国气候变化的主要特征,对近五百年来,我国气候变化的大致轮廓有了初步认识。

全国大部份省都开展了树木年轮气候学的研究。通过树木年轮的分析,延长了气候序列,探讨了观测资料及史料都稀少的我国西部地区的气候变化。还通过树轮分析,孢粉分析,文史记载以及一些自然现象的变化记载对青藏高原近两千年来的气候变化作了初步分析。另外对于青藏高原隆起前后的气候状况以及高原气候区域也作了初步探讨。

超长期预报是1973年以后开展起来的一项新的试验研究,不少单位根据群众经验、阶段分析、时间序列分析、太阳活动、以及下垫面等影响因子,分析了超长期预报的可能性。

近年来,从云图上整理出全国辐射平衡和热量平衡的资料和图表,并对复杂地形辐射平衡提出了具有实用价值的方法。人类活动对局地气候变化的影响也有初步研究。这些工作对发展我国的物理——动力气候学都有着重要的意义,是基础性的研究。

8. 大气动力学和数值预报 气象发展的历史和实践表明,理论工作对气象的研究和发展起着重要的作用。近年来大家进一步明辨了是非,澄清了思想,对“四人帮”干扰和破坏理论研究工作的罪行有了较清楚的认识,大家愈来愈感到理论工作的重要性。我们感到高兴的是不仅仅科研单位和大专院校进行理论工作研究,不少气象台站也结合自己的工作需要开展了这方面的工作。这是我国气象研究工作中的一个新气象。在这方面研究的内容相当广泛,包括大气动力学,如适应过程,不稳定理论、海气边界层、地形作用、不同尺度运动相互作用等;各种大气模式的建立和比较;数值预报中的一些重要问题,如客观分析、初值问题、积云对流问题等也作了不少工作。对于一些基本理论问题,如旋转流体的基本性质问题等也开始研究,并取得了初步结果。所研究的很多问题是目前业务中或国际上所关心的重要课题。这里尤其应当提出的是:由于我国广大气象工作者比较普遍地注意使用电子计算机,这就使我国气象学研究开始进入了定量的和试验科学阶段,这是一个大进步。所有这些表明,这些年来,尤其是打倒“四人帮”之后,我国理论气象工作的研究是很有成绩的。

(a) 比较系统地研究了旋转大气中的适应过程,建立了关于局地扰动的地转适应过程的系统的理论(其中包括非线性理论),并提出多时间尺度概念。我们还研究了全球范围流场的演变,指出有旋转适应过程存在,即在无源汇情况下,若满足一定条件,行星波

的能量最终全部为纬圈环流所吸收,这是维持纬圈环流以及大气环流中期演变过程的一种重要机理。

(b) 研究了行星波的螺旋结构,结果表明行星波在水平和垂直方向都是螺旋结构,这是由于基本气流切变和科氏参数的变化所形成。螺旋波有频散作用,它是能量传递和维持大气环流的重要角色。

(c) 青藏高原对东亚大气环流及天气演变有明显影响,我们对其热力和动力作用进行了研究,得到了一些结果。如凸起的山脉和固定的气旋式流场相当,对温度场的影响则和一固定的暖中心相当。我们还研究了与此有关的许多动力学问题以及超长波动力学问题。

(d) 结合暴雨预报以及高原影响等问题开展了强对流研究,得到在科氏力场中有惯性对流运动,并指出静力平衡近似不利于作中尺度预报。对于非地转不稳定,以及非线性重力波等方面也取得了新的结果。

(e) 在低纬度动力学方面也作了研究。如东风气流中以及东西风界面上扰动发展和双台风相互作用的动力学都取得一定的成果。

(f) 研究了和大气动力学有关的数学问题,探讨了各种模式的初-边值问题的正确提法及其适用性,并对各种简化模式进行了比较,指出其适用范围。

(g) 设计了一些在时间空间都作差分的具有能量守恒的灵活格式,以及一些高精度的差分格式和谐模式。设计了 P (气压)和 $\sigma(=P/P_s)$ 混合坐标系的数值预报模式,并算出了预报例子。三层原始方程模式以及相应的客观分析已付之实用,此外,对计算数学问题,初始场处理,参数化也作了不少研究,对台风路径预报和热带数值预报,江淮气旋发展和其他一些重要天气过程的研究也得到了可喜的进展。

9. 农业气象方面 农业气象工作和研究已在全国广泛开展,除个别省份外,都在不同程度上进行了试验和科研工作。从内容上看,有农业气候、农业气象预报、农田小气候、主要农业气象灾害、农业生产和气象条件的相互关系,以及仪器研制等。研究的作物有稻、麦、棉、玉米、大豆和橡胶等。

在农业灾害性天气方面,寒露风的指标、发生规律、天气气候类型、生理机制、防御措施等方面作了很多的研究并在服务上获得了一定效果;对造成“干热风”危害的生理机制发生规律和防御措施,如灌水、喷草木灰、喷石油助长剂等方面做了很多研究,对东北的低温冷害指标、发生规律、生理机制和各种防御措施等方面都作了探索,近十多年来,对危害橡胶树的冬季寒潮,华南山地气候与橡胶树栽培和橡胶树防寒措施的气象效应分析等作了较多工作。另外,近来对于杂交稻生育和播种的农业气象条件以及亲本播种期的农业气象根据也及时作了很多研究。

农业气候资源的研究是一个很重要的战略性问题。我国自然条件复杂,作物种类繁多,农业气候资源各地千差万别。因此,进行作物品种的培育与引进、耕作制度和农业技术措施的改革都必须深入细致地探明农业气候资源,才能做到因地制宜,为国家的农业规划和现代化农业提供气候依据。在这方面已作了很多工作。例如研究了水稻品种布局问题,北方地区间、套、复种与热量资源的问题,海南岛西南部光感、热量及水份资源问题,新疆的农业气候季节问题等。近年来,在农业气象理论研究方面,也作了一些工作。如开展

了模拟试验和模式研究,这些工作对于今后深入了解农业气象的一些主要理论问题会有重要帮助。

在农田小气候方面,针对北方地区农业生产上推行的间作套种,许多单位进行了农田通风透光的观测和理论研究,对农田作物蒸发也进行了一些理论研究。开展农田小气候资源调查是全国科学大会提出的重点科研项目之一,许多省、市、自治区都在进行这方面的工作,促进了农田小气候研究工作的开展,提出了一些资料处理、气象要素值推算的理论和方法。有些单位还专门研究了温室、塑料大棚等保护地栽培的小气候效应,进行了模拟模式的研究,对防御某些农业气象灾害所采取措施进行农田小气候效应也进行了研究。

从上面的讨论,我们可以看出,我国广大的气象工作者在坚决反对林彪和“四人帮”的同时,作了大量的研究工作,我们虽然取得了不小的成绩,但和国际先进水平比,我国气象研究不论在广度上和深度上是落后的,在探测或观测技术和理论上尤其如此。我们要在以华主席为首的党中央领导下,奋起直追,为四个现代化而努力奋斗!

致谢:在写作过程中丁一汇、曾庆存、沈如金、陈烈庭和陈隆勋等给予很大的帮助,特此感谢。