

当代大气科学的几个重大研究课题

李崇银

(LASG, 中国科学院大气物理研究所)

自70年代末特别是80年代以来,随着全球大气研究计划(GARP)的完成,大气科学研究的重点以及国际合作计划基本上已集中到几个新的重大领域,它们是:气候变化及异常,灾害性天气的临近预报。大气化学监测及研究,地球流体力学,另外还有中层大气研究。这几个重大科学领域中的前三项,直接同国民经济有关,而第四项的研究则为前三项中的问题提供理论基础,并开拓新的探索。因此,上述新领域的研究结果,既可以解决人类社会提出来的迫切问题,为国民经济和人民生活服务,也必将带动整个大气科学的发展,把大气科学水平推向一个新的高度。

一、气候变化及异常

自七十年代起,世界范围的粮食问题和能源问题引起了世界各国的普遍关注。然而,这些问题的出现又都受到气候变化及异常的显著影响,并且人类活动还在危及气候变化和人类生活的环境。这样,气候变化及异常问题就自然地引起了全世界气象学家和海洋学家的极大重视。

1. 世界气候计划

气候及其变化都是大范围的以至全球尺度的,这方面的工作没有世界各国和各国科学家的合作是难以进行的。为了集中目标和协调,促进国际合作,1979年在日内瓦召开的世界气候大会上提出了世界气候计划(WCP)。它包括既有联系又有独立性的四个部分,即世界气候资料计划(WCDP),世界气候应用计划(WCAP)世界气候影响计划(WCIP)以及世界气候研究计划(WCRP)。

WCRP是WCP中更为活跃和突出的部分,它由世界气象组织(WMO)和国际科学联合会理事会(ICSU)共同制定,其主要目标是通过研究确定对气候预报所能达到的程度,以及人类活动对气候的影响情况。为了实现这个目标,WCRP拟定:1)研究历史上最显著的气候变化的实例,寻找其规律性;2)探索控制气候变化的主要因子,建立气候变化过程的理论;3)建立数学-物理模式,对气候变化及其预测进行数值模拟研究;4)规划并建立气候监测用的观测系统;5)组织和实现与此有关的各项专门试验。

目前,一般把气候变化划分为三种时间尺度,即季节气候变化(距平),年际气候变化和年代际(十年以上)气候变化趋势。其中季节气候变化的预报又同长期天气预报相覆

盖,甚至可以把两者视为一回事。

根据 WCRP 的设想,通过努力可望在本世纪内对季节气候变化的部分内容(例如月和季的平均温度距平)实现业务性试验预报。由于这类气候变化过程对初值有一定的依赖关系,因此既要改进现有观测又要进行初值化问题的研究;短期季节气候变化的物理基础和对物理过程的参数化研究是另一重要课题;现有大气环流模式的改进研究,以适用于短期气候变化预报的要求。

年际气候变化涉及到众多系统间的相互作用,特别是海洋和大气的相互作用,因此必须有包括云层和洋面温度在内的监测系统以提供观测资料;还必须搞清各种系统间相互作用的过程和理论;建立包括各种物理过程的大气-海洋耦合数值模式。国际上已有的一些合作计划,例如,云和辐射相互作用;地-气相互作用和 TOGA(热带海洋和全球大气计划)等都主要为研究年际气候变化而设立。其它如季风气候计划和卫星资料分析计划也都与此有关。

年代际气候变化趋势,目前一般认为它可能同海洋环流(包括深层海流)、极冰、生态环境都有关系,特别是这些年人们普遍认为人类活动(特别是 CO_2 含量的增加)可能会对今后半个世纪的气候变化发生重要影响。因此,有关海洋状况的一些国际合作项目正在进行,例如全球海洋环流试验(WOCE)和海冰预测国际气候实验(SIPICE)等。而有关 CO_2 增加的气候效应也在进行大量分析研究和模拟试验。

下面我们要特别再介绍一下 TOGA 计划。TOGA 是 WCRP 的组成部分,它是由 IOC(联合国教科文组织政府间海洋学委员会)和 SCOR(国际科联海洋科学研究委员会)共同组成的气候变化与海洋委员会(CCCO)制定的。主要有三个科学目标:1)把热带海洋和全球大气作为一个随时间变化的系统,确定这个系统在时间尺度为几个月到几年的可预报性,并了解这个系统变化的机制和过程;2)研究模拟耦合海-气系统的可行性,目的在于对其时间尺度为几个月到几年的变化进行预报;3)为业务预报设计观测和资料传输系统提供科学依据,如果海-气耦合模式证明有这个能力的话。

TOGA 计划包括三个重要方面:1)十年观测,包括对大气、海气交界面以及与科学目标有关的海洋变量的监测;2)实时评价,对热带海洋和全球大气中的大尺度气候变化(例如,El Niño,亚洲和非洲季风的变化,非洲和南美的干旱,以及其它特殊事件)进行实时评价;3)模拟研究,包括各种复杂程度的模拟研究,以用于实时检测潜在气候变化的简单模式到耦合大气和海洋动力学的非常复杂的研究模式。

2. ENSO

ENSO 是埃尔尼诺(El Niño)和南方涛动(Southern Oscillation)的合称。El Niño 是赤道东太平洋地区海表水温(SST)的持续异常升高现象;南方涛动则是东南太平洋和印度洋海面气压的一种跷跷板式变化。近些年的观测分析表明,如果南方涛动指数(Tahiti 岛的气压减澳大利亚达尔文的气压)有明显变化,往往伴之发生 El Niño 事件。因此,人们认为它们是同一现象的两种不同反映,称其为 ENSO。

起初,人们只知道 El Niño 出现后,赤道东太平洋及秘鲁近海一带海洋变暖,海水上翻,随之有鱼类、海鸟及海洋哺乳动物的大量死亡。其后的观测表明,El Niño 的出现,

不仅影响到热带广大地区(印度尼西亚、澳大利亚、南亚、非洲和南美等)的天气气候变化,而且对中高纬度大气环流也有重要影响。这种影响往往造成巨大的经济损失,从而引起各国政府和科学家对 ENSO 的严重关注。

以 1982—1983 年 El Niño 现象发生为例,看其对气候和经济的影响。El Niño 现象的发生不仅造成鲱鱼、沙丁鱼的大量减少,使厄瓜多尔、秘鲁和玻利维亚等国渔业生产受到严重损失;同时,在哥伦比亚、厄瓜多尔和秘鲁等地又出现持续大雨,秘鲁北部的降雨量竟达多年平均的 340 倍,这样巨大的降水,使河水流量猛增,有些河流的流量达到正常值的 1000 倍,因此洪水灾害又给南美一些国家造成重大损失。表 1 是 1982—1983 年 El Niño 现象发生期间,南美一些国家所遭受到的实际损失估算,厄瓜多尔损失为 6.4 亿美元,玻利维亚达 8 亿美元,而秘鲁高达 20 亿美元,足见其损失的惨重。

表 1 1982—1983 年 El Niño 期间,厄瓜多尔、秘鲁和玻利维亚经济损失估计

(单位: 100 万美元)

	厄瓜多尔	秘 鲁	玻利维亚
农业	233.8	649.0	716.0
渔业	117.2	105.9	
工业	54.6	479.3	
电力		16.1	
采矿		310.4	
交通和通讯	209.3	303.1	98.0
住房	6.3	70.0	17.8
卫生、供水和排污系统	10.7	57.1	4.7
教育	6.6	5.9	
其他	2.1		
合 计	640.6	1996.8	836.5

1982—1983 年的 El Niño 还造成印度、菲律宾、印度尼西亚和澳大利亚一带的持续干旱。澳大利亚出现了 200 年间最严重的干旱,除 20 亿美元的农牧产品损失外,还有强烈尘暴和丛林大火造成的损失,使人们难以忘怀。

El Niño 期间,热带地区天气气候的异常,看来同对流活动区的位置和强度的改变,赤道信风的变化,进而同 Hodley 环流和 Walker 环流的异常变化,有着密切关系。

El Niño 事件的出现,对于大气运动来讲就好像加上了一个异常的外源强迫,大气对外源的强迫响应不仅发生在热带大气中,而且其遥响应可以影响中高纬度地区的大气运动。例如,引起 PNA 流型造成北美天气气候异常;在我国东北造成夏季低温冷害等。

ENSO 本身是一种极为复杂的现象,特别是 1982—1983 年的 El Niño 出现之后,人们对此有了更深的认识,因为它的发生过程及其影响都同过去发生的大多数 ENSO 现象有些不同。目前,王绍武和符淙斌的研究认为 El Niño 有不同的类型,彼此间存在一定差异,研究它们的影响时也应注意这一点。ENSO 发生的规律性比较差,平均来说,3~7 年出现一次。关于 ENSO 发生的机制还很不清楚,看来同赤道地区偏东信风的减弱有关。李崇银最近的分析研究表明,冬半年东亚频繁的强冷空气活动,可能是引起赤道中西

太平洋信风减弱, 导致 El Niño 发生的重要因子。

3. 大气低频变化

所谓低频变化, 一般指时间尺度大于 7—10 天的大气环流的周期变化, 也称低频振荡。由于大气低频变化直接同大范围天气和短期气候异常有关, 因此近年来引起了人们的广泛注意。目前比较肯定的大气低频变化是 30—60 天振荡和 10—20 天振荡, 特别是 30—60 天振荡更为受到大家重视。热带地区的准两年振荡和同 ENSO 相联系的大气变化, 目前被视为一种“甚低频变化”。这里主要介绍 30—60 天振荡。

早在 70 年代初, Madden 在分析热带地区纬向风的变化时就发现其有 40—50 天振荡现象; 后来有人又发现夏季季风区云量也有 30—40 天的周期变化。通过对 MONEX 资料的分析, Krishnamurti 等发现季风活动存在 30—50 天的周期振荡。现在, 大家都普遍认为这种大气低频变化是全球性现象, 但以热带特别是季风区最突出。这种“低频系统”的时间变化和垂直结构都不同于斜压波, 它活动的地理分布在中高纬度地区同大气环流的阻塞有关, 在热带地区同热源异常有关。

关于 30—50 天低频系统的波数特征分析表明, 风场的 u 分量以 1 波为主, 且最大振幅在热带地区; 3 波的 u 和 v 分量也相当重要, 但主要在中高纬度地区明显。

Wallace 提出了产生低频系统的 6 种因素, 但归纳起来, 只能算两类, 其一是外源强迫(尤其是海温异常的强迫), 另一个是大气非线性过程的激发。1985 年在南亚季风槽脊的 30—50 天振荡的动力学研究中, 李崇银强调了积云对流的反馈作用, 提出了“移动性 CISK 波”驱动季风槽脊等的 30—50 天周期变化的观点。1986 年底 K. M. Lau 等也提出了类似的理论, 他们认为, 通过“mobile wave-CISK”机制, 热源和东-西不对称赤道波相互作用且向东传播, Kelvin 波被有选择地增幅, 从而出现 30—50 天振荡。

通过研究和 GCM 模拟, 刘家铭等还把 30—50 天振荡和 ENSO 联系起来, 认为低频振荡是大气的一种固有变化, 没有外界强迫也会存在, 但是, 有了海洋的作用后, 40—50 天振荡会增幅和频率减慢, 从而引起 ENSO 的产生。尽管这种观点刚提出, 但把 30—50 天振荡和 ENSO 这两种著名的现象联系起来, 是极有意思的, 值得好好研究。

4. 人类活动对气候的影响

随着工业化的进程, 由于燃料的使用和地球植被的破坏, 大气中的 CO_2 浓度已在以每年 15ppm 的速度增长。工业化前大气中 CO_2 浓度约为 280ppm, 到 1985 年已达 345ppm, 预计到 21 世纪中期(2040 年) CO_2 含量可达工业化前的两倍。因此, CO_2 含量增加会不会引起气候扰动, 以及气候变化的幅度有多大, 成为科学家严重关注的问题。世界上许多科学组织对这个问题都进行了研究, 表 2 给出了一些有影响的研究组织的结论。可以看到, 尽管有些差异, 但都一致认为到 2025 年左右大气中 CO_2 浓度将达到 400—480ppm, CO_2 浓度增加一倍将使全球地面平均温度升高 1.5—4.5℃。这是一个相当可观的气候变化, 足见 CO_2 浓度增加对气候影响的严重性。

最近几年的研究发现, 大气中除了 CO_2 外, CH_4 、 N_2O 以及氯氟碳类化合物等对地-气系统辐射有重要作用的气体浓度也在逐年增加, 而且它们的增加速度比 CO_2 更快, 大约到

表 2 CO₂ 气候效应的主要研究结果

研究组织或个人	未来大气中 CO ₂ 浓度	CO ₂ 浓度加倍造成的地面平均温度增加
WCP (1981)	2025 年达到 410—490ppm	1.5—3.5℃
CDAC (1983)	2025 年达到 428ppm	1.5—4.5℃
EPA (1983)	2025 年达到 440ppm	1.5—4.5℃
Jülich (1983)	2030 年达到 375—500ppm	1—3℃
Clark (1982)	2030 年达到 371—637ppm	2—3℃
Bolin (1985)	2025 年达到 380—470ppm	2.5—4.5℃

2030 年, 这些成分的增加所引起的气候效应将与 CO₂ 相当 (表 3)。由于它们增加得更快, 所以 2030 年后它们对气候的影响就可能比 CO₂ 还重要。大气微量成份浓度变化不仅通过辐射直接影响气候, 还通过化学过程影响 O₃ 和其它成份的浓度, 反过来, 这些大气成份的变化又影响辐射过程, 形成气候-化学反馈系统。

表 3 大气微量成份的浓度变化及其气候效应

大气成份	估计年增加率(%)	浓度变化	造成的地面温度平均变化
CO ₂	0.4	330—660ppm	1.5—4.5℃
CH ₄	1—2	1.7—3.4ppm	0.2—0.4℃
N ₂ O	0.2	0.3—0.6ppm	0.3—0.4℃
对流层 O ₃	0—0.7	加倍	0.9℃
CFCl ₃	5—8	0—1.8ppb	1.0℃
CF ₂ Cl ₂	5—8	0—2.7ppb	0.5℃
平流层水汽		加倍	0.6℃

5. 气候数值模拟

用流体力学方程组进行数值计算的方法研究气候的形成及其变动目前开展得比较广泛, 它既是一种研究手段同时又是一个学科分支, 对难于进行实验的大气运动来讲, 具有重要的意义。

气候数值模拟就其采用的模式可分为两类。一类是采用简化模式 (最简单可用一维模式), 对影响气候变化的个别因素进行数值试验, 确定其可能的影响。另一类是采用大气环流模式 (GCM) 对气候形成和变化进行全面的数值试验研究 (当然也包括单因子试验)。随着计算机科学的迅速发展, 目前已更多地采用 GCM 数值模拟。

要用 GCM 模拟好气候及其变化, 有两个关键的问题必须研究解决好, 一个是 GCM 的设计和构造, 另一个是基本物理过程的参数化。关于 GCM 的构造问题近些年人们有所忽视, 以为是已经解决了的问题。但是, 最近中国科学院大气物理研究所的试验研究表明, 不同的模式构造, 对于数值模拟结果的影响高达 15—20%。可见, 设计一种既稳定又可靠的 GCM 计算格式还是一个值得继续研究的问题。基本物理过程 (包括辐射、对流凝结、下垫面作用、地形等) 如何在 GCM 中考虑, 一直是人们研究的问题。不仅要研究对某种过程的参数化, 还要研究试验各种过程间的相互影响。

用 GCM 进行气候数值模拟,大体可分为如下 4 个方面:

1) 基本气候特征的模拟 用 GCM 模拟出全球范围的基本气候特征,特别是主要气候带和风系的地理分布以及它们的季节性演变,目前仍然存在一些问题,可以说还没有一个 GCM 令人满意。

2) 异常气候的模拟 用 GCM 对一些异常事件(例如 ENSO、极冰异常、强烈火山爆发等)所引起的气候变化进行数值模拟。这方面的研究还包括各种异常事件同气候变化在理论上的联系以及这种联系在模拟模式中的数学处理。

3) 人类活动对气候影响的数值模拟 大气中 CO_2 以及其他微量气体浓度增加的气候效应问题已引起全世界的普遍关注,70 年代中期以来已开始关于 CO_2 含量增加后气候变化的数值模拟。各种模拟结果还存在相当大的差异,说明这些问题尚有待继续研究。

4) 古气候的复原 古气候的复原,不仅对于研究气候的形成和演变规律,而且对于其它学科(例如生物演变和地质构造等)也有一定意义,因此近年来已有一些试验研究。

二、灾害性天气的临近预报

1. 临近预报 (Nowcasting)

60 年代以来,1—3 天的短期天气形势预报的准确率有了显著的提高,但一些同强对流相联系的灾害性天气的预报准确率却仍然很低。目前有关局地强风暴的预报水平仅为 20—30% 的准确率,远远不能满足实际需要。

为了对产生风暴的中尺度系统进行加密的现场观测,探索其发生发展的物理图象,并进行数值试验,美国在 1979 年提出了 SESAME 计划。在 SESAME 的基础上,1982 年美国又制定了 Storm 计划,要在 1985—1994 年内进行十年研究,希望对局地灾害性对流风暴的预报水平有所突破,准确率达到 50—60%。

由于局地强对流风暴系统的活动特征,以及卫星、雷达和计算机等新技术的发展,80 年代初人们提出了临近预报 (Nowcasting) 的概念。它把监测和预报相结合,用以预报超短期天气,特别是灾害性天气。临近预报将使用一系列现代化观测系统,例如卫星、多普勒雷达等,对强对流风暴系统进行观测监视,还要进行大量资料分析和理论研究,并利用高速计算机把它们结合在一起,从而更准确地预报强对流风暴系统的活动及影响。

2. 中尺度对流复合体

从静止卫星增强显示的红外云图上,近年来人们发现了一种重要的中尺度对流天气系统,1980 年 Maddox 将它命名为中尺度对流复合体 (MCC)。在暖空气活动的季节(3—9月),MCC 的出现比较频繁,它可以造成许多重要的强对流天气,包括龙卷、冰雹和毁灭性的暴雨。MCC 是对流驱动的有组织的天气系统,它同大尺度环境相互作用并改变着环境,从而又可以影响大范围的天气变化。

中纬度地区的 MCC 和飚线有明显差异。一般的 MCC 出现在弱气压梯度和微风环境中,其雷达回波是椭圆形,地面上的流出边界、气压槽和中高压直接与对流系统联结;

MCC 过境时先是突发暴雨,其后转为数小时连续小雨和雷暴。而飑线的雷达回波是带状,常出现在强气旋的暖区;飑线过境时气象要素有剧烈变化。在热带地区,中尺度对流复合体一般呈现出混乱的云罩,边缘比较光滑;而热带风暴虽也有近圆形云罩,但中心有限,且外围有许多流出的云线。

MCC 在初期阶段往往同对流层下部强暖平流产生的中 α 尺度的上升运动相联系,常引起龙卷、冰雹和强风等天气。随着对流层中暖区的形成,中 β 尺度系统将产生, MCC 进入发展阶段,在浅边界层中产生一个中高压和冷空气的流出边界。在成熟阶段,由于低层暖湿空气的不断供给,强对流单体不断形成并合并;而且因垂直风切变弱,降水效率很高。

3. 中尺度动力学和数值模拟

要作出准确的强对流天气预报,除了现代化设备进行监视外,中尺度动力学理论研究和数值模拟是极为重要的课题。首先,是关于 MCC 的动力学研究,要搞清 MCC 形成的机制,以及湿对流和中尺度复合体之间的相互作用。第二,各种类型的不稳定的研究,包括对称不稳定、惯性不稳定、超高速不稳定等,由此了解中尺度系统的激发。第三,锋生问题近年来又吸引不少气象学家的注意,特别是边界层过程和凝结反馈的作用对锋生的影响。

强对流天气无疑都同对流活动有关,湿对流及凝结反馈有着重要的作用,要在中尺度动力学及其有关的天气预报上有所突破,把云物理过程、湿对流和大尺度环境三者有机地结合起来,研究其相互关系和影响,可能是很有意义的。

三、大气化学

1. 大气气溶胶

气溶胶是自然大气中的一种微量成份,含量低于 10 微克/米³,但大气中气溶胶含量的增加会引起能见度的下降,严重时影响航空、航天和交通;还会影响人类和其他生物的健康;通过对辐射收支和云雨生成的作用影响天气气候变化。

目前国际上研究的主要内容有: a) 气溶胶的光学特性以及它对辐射传输的影响; b) 气溶胶的天气气候效应; c) 气溶胶在非均相大气化学中的作用。

2. 酸雨

酸雨是 50 年代后期由英国和北欧一些国家的研究人员首先检测出来的。近十年来,由于酸雨的影响日益严重,有些相邻国家还因为酸雨问题导致法律纠纷,因此酸雨已引起世界各国的普遍重视。

70 年代各国相继制订了大规模综合监测研究计划,但是对酸雨的形成和环境影响的一些重要方面还未有明确的结论。特别是关于酸雨的发展趋势,酸雨与排放源的关系等还有不同的看法。目前大家比较集中的研究方向是: a) 排放量 and 沉降量数据的高精度采样和分析技术; b) 酸雨的形成机制,致酸物质在云和雨水中的物理化学过程的研究; c) 区域性传输和沉降模式的研究。

3. 平流层化学

平流层光化学可以说是大气化学的最先研究领域,70年代以来,人类活动造成的平流层臭氧量的减少引起了人们的极大注意,大家集中研究了平流层 O_3 减少的化学机制,建立了一百多个同臭氧生成和破坏有关系的光化学反应式,主要是考虑氮的氧化物、氢氧化物和氯化物的光化学反应,及其对臭氧生消的影响。例如人们发现氟里昂(一种冷冻剂)到了平流层之后,受到 0.175—0.22 微米的太阳紫外线的照射,便发生光化反应,分解出氯原子,氯原子同臭氧和原子氧均能起化学反应,从而导致臭氧的破坏。

当前国外对平流层化学的研究主要集中在两个方面,其一是改进大气动力学-化学模型,从动力学和化学的结合研究平流层臭氧;其二是研究新的活性自由基的光化学反应,并更精确地测定平流层化学反应速度常数。

4. 对流层化学

对流层化学是目前极为活跃的学科领域,目前人们普遍认为 O_3 、 OH 、 NO 、 CO 这四种成份是对流层光化学中十分关键的角色,其中特别是 OH 自由基尤为人们所关注。这四个成份的相互约束及其演变已成为当代大气化学的重要研究课题。

1983 年 NASA 开始执行为期十年的“全球对流层实验”计划,简称 GTE,内容首先是进行现场测量、实验室研究和模式研究,目前是研究对流层化学-动力学,以及与平流层、陆地、海洋之间的相互作用。

污染物在大气中的化学转化及相互作用;对流层微量气体的温室效应及对气候的影响;对流层光化反应及反应速度常数的测定等都是当前集中研究的领域。特别是 CO_2 和 CH_4 的监测和分析研究,以及它们对气候变化的影响,更是目前对流层化学最活跃的区域。

过去一般都把下垫面视为 O_3 的汇,而近年来的有关研究表明,通过某些化学过程,对流层中 O_3 的生成量也是相当可观的,值得引起重视。

四、地球流体力学

1. 遥相关和行星波动力学

遥相关一词在文献上出现起始于 1969 年, Bjerknes 在分析赤道太平洋地区海温异常和东北太平洋西风带环流及其与南方涛动的关系时,把这种远距离的大气环流变化的相关称为遥相关。事实上,大气运动存在着遥相关的首次揭露可追溯到 1897 年,当时 Hildebrandson 指出的、后由 Walker 命名的南方涛动(SO)正是一种典型的遥相关。

为了说明大气中的遥相关现象,人们首先想到了地形和准定常热源的影响,即对于外界强迫,大气不仅在源区有响应,而且在离强迫源甚远的地方也出现不同形式的响应,即所谓遥响应。对于局地热源的定常响应所作的进一步模拟试验表明,位于低纬度地区的热源扰动可以造成较强的遥响应,而对中纬度扰源,只在平均纬向气流较弱的夏季才会出现强的响应。同时,数值模拟还表明,当大气基本态(流型)相同时,对于不同地方的强迫

源,大气的遥响应最终会出现大致相近的环流型,表明遥响应极大地依赖于大气基本态。20°N 地方热源的静态响应试验表明,当基本气流为东风时,仅在热源处有响应;当基本气流为西风时,大气响应便形成波列,并可越过赤道影响南半球。

关于遥相关和遥响应的分析和数值模拟都表明,行星尺度扰动都具有波列的传播特征。为了说明这种现象,Hoskins 提出了所谓大圆理论,即大气中的行星波在球面上有沿地球大圆传播的特征。按照大圆理论,遥相关波列可视为零频($\omega = 0$)球面二维罗斯贝波的活动,大气行星尺度系统的能量频散是遥相关的重要机制。

行星波的垂直传播也是一个重要的问题,根据已有的研究,行星波的垂直传播是按一定的路径(波导)进行的。1968年 Dickinson 用简化的模式作分析,最早指出:地球大气中存在着两个行星波传播波导,即较强的极地波导和相对较弱的热带波导。后来黄荣辉等用多层模式进行分析,并用实际资料计算,确实得到了实际大气的两支波导。

在行星波传播的研究中, $E-P$ 通量已广泛得到应用,在大尺度系统的动力学诊断中有重要的意义。

最近,张可苏的研究表明,要能较好地描写行星波的结构和活动,必须采用包括平流层的多层模式。

2. 非线性大气动力学

非线性大气动力学的研究自七十年代中期以来有了蓬勃的发展,对于大气中各种运动现象的理论解释以及天气预报实践有很重要的作用。归纳起来大致可以分为如下几个方面:

a) 波与平均气流的相互作用

目前,大家特别注意时间平均行星尺度气流的特征及其与瞬时天气尺度涡旋间的相互作用。所谓时间平均行星尺度气流就是纬向对称气流和准静止行星波共同组成的基本气流,它往往不是纬向对称的。

曾庆存用 Rossby 波包概念研究大气扰动的演变,以及扰动与基本气流之间的相互作用,取得了有意义的结果,从理论上得到了扰动振幅、扰动波长、移动速度和扰动结构的变化规律。这方面的工作正在继续展开。

b) 非线性失稳——突变、分岔和混沌

大气中的突变现象是气象工作者时常遇到却难以解释的问题,自 Lorenz 模型问世以来,有关突变、分岔和混沌这些非线性失稳所引起的现象已成为广泛研究的问题。

c) 多重平衡态

1979年 Charney 提出了多重平衡态理论,给阻塞形势提出了一种新的理论解释,近年来这个领域的研究一直是很活跃的,特别是截谱模式是否对结果有影响的问题正引起极大的重视。

d) 共振理论

董加杰和 Lindzen 已用垂直传播定常强迫行星波的线性共振来解释大气阻塞现象。人们还发现,在正常情况下,对于亚共振气流($u < c = \beta/K^2$)当扰动发展时,有效基本状态波的振幅将减弱,扰动阻尼时,则振幅将增加,从而通过非线性反馈形成一种稳定振

荡现象;但对于超共振气流 ($u > c$), 则有效基本状态波将会同扰动一起增幅, 造成一种暴发性不稳定现象。

3 水汽凝结反馈

水汽凝结潜热释放对大气环流的反馈作用已越来越引起人们的重视, 当然尤其是热带地区, 但也不仅限于热带系统。例如在斜压不稳定中考虑凝结加热的作用, 不仅可以使扰动的发展率增加, 而且可以使最不稳定波的波长减小。

积云对流参数化, 以及积云对流同各类波动间的相互作用仍然是一个尚待更好研究的问题。

五、中层大气研究计划 (MAP)

除 O_3 的一些观测研究外, 平流层和中层大气的研究尚是一个有待开拓的领域。特别是有关平流层和中层大气的动力学研究。因此, 国际上已提出了中层大气研究计划, 根据这个计划, 如下几个问题将是极为突出的研究课题:

1. 中层大气重力波及其影响

重力波及其对湍流形成的作用, 在整个中层大气大尺度动力学中有着极为重要的作用。首先, 重力波对能量的耗散作用不仅对纬向气流有很大影响, 而且它们也直接对大尺度扰动有消散的作用。其次, 重力波“破碎” (breaking) 后变为湍流, 将严重影响大气中痕量物质和热量的输送。一方面, 湍流“碎块”的出现会产生一种使痕量成份或热量呈单向输送的机制; 另一方面, 消失中的重力波所引起的纬向动量的减弱, 可以对气块的经向平均运动起激发增强作用。

30 公里以下, 相对大尺度运动来讲重力波不怎么重要, 而在 60 公里以上, 已初步确定重力波的作用是很重要的, 甚至是主要的。而 30—60 公里范围内重力波的作用如何, 以及它们对湍流形成和对大尺度运动的影响都是急待研究的问题。

2. 中层大气上层的辐射、化学和动力学问题

可以说当前最不清楚的部份是中层大气上层的问题, 包括经向温度梯度的形成和变化, 纬向急流的隔断现象, 离子化学, 非局地热平衡下的红外放射, 与其上面热层的相互作用等。问题的出现有两方面的原因, 其一是理论上的原因。在这个高度层以上和以下, 在理论模式中都可以引进某些假定和近似, 从而可以了解一些基本过程和规律; 可是在这里, 那些近似均不再成立, 所以在理论上需要有特殊的考虑。另一方面是探测的原因, 这也是整个中层大气研究的问题, 即常规探测达不到, 卫星测定也不怎么行。因此资料的数量和质量都存在严重的问题, 难于确定这个区域的精确结构以及它们的演变。

3. 中层大气探测问题

目前, 探测对中层大气的研究具有特别重要的意义是不言而喻的事情, 但要真正详

决,本身又是一个突出的研究项目,需要从理论上、实验上和设计上进行探索。

主要的探测项目有:

- (1) O_3 含量、大气温度和太阳紫外辐射通量。
- (2) 平流层气溶胶含量及其辐射特性。
- (3) 同 O_3 生消有关的一些稳定成份,例如 N_2O 、 CH_4 、 $CFCl_3$ 、 CF_2Cl_2 等。

4. 各种热带波的结构及其起源

目前都认为,各种低纬度波对认识热带中层大气极为重要,而它们实际上均源于对流层。尚需从观测、理论分析和数学模式等方面对其进一步研究。

鉴于文献太多,恕不在此列出。

ON SEVERAL SIGNIFICANT PROBLEMS OF THE ATMOSPHERIC SCIENCES IN THE WORLD OF TODAY

Li Chongyin

(LASG, Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica)

Abstract

Several significant problems of the atmospheric sciences at the present time are comprehensively expounded in this paper. The paper mainly focuses on climatic changes and anomalies; nowcasting in relation to disastrous weather; atmospheric chemistry; geophysical fluid dynamics, and researches of the stratosphere and mesosphere.

The studies in the above-mentioned field are not only closely related with the development of the atmospheric sciences, but also with the national economy and the people's life.

Since late 1970's, scientists all over the world have started to investigate these significant problems and have made encouraging progress. The purpose of this paper is to introduce some main projects in the above-mentioned field and some important results.