

能量与水分循环——气候研究的热点^①

张 雁

(国家气候中心,北京 100081)

提 要

主要介绍了能量与水分循环研究的关键科学问题,并介绍了近年来国际和国内开展的一系列大型科学试验计划。这些计划都是以开展大尺度水循环过程、陆面水循环过程、云与降水过程的观测试验为生长点,以分析、了解、模拟大气-陆地-海表的水分和热量交换及循环为研究基础,旨在进一步弄清气候变暖的物理成因和未来气候变化趋势;弄清中国、日本等东亚国家的旱涝形成机理;建立相应的气候模式,提出新的预报方法,从而实现较准确地预测气候变化和大尺度灾害性天气,合理调配水资源之目的。

关键词: 能量与水分循环 研究热点 科学试验

1 能量与水分循环的主要科学问题

亚洲季风试验——淮河流域能量与水分循环试验和研究(GAME-HUBEX)的观测和研究重点是:云辐射与降水过程、陆面水循环过程及陆-气相互作用和梅雨锋多尺度降水系统的相互作用。众所周知,大气环流能量主要来自太阳辐射和云雨过程的潜热能量,它们是气候变化的驱动因子。由于加热这一重要的强迫作用主要由气、液、固态水所支配,因此能量循环过程主要通过水循环来实现^[1]。地球上71%是海洋,海洋是提供大气水汽的主要源泉,这些水汽成云化雨在陆地上形成径流,构成陆地的水文过程。同时陆地的水文过程对降水的变异亦有重要贡献。只有把三者有机地结合起来才能正确地描述水循环特征,并提供可靠的旱涝预报依据^[2]。

1.1 云-辐射的作用

全球气候研究计划(WCRP)指出(1992)^[3],季风环流与降水模拟的系统误差对积云对流参数化非常敏感。观测和研究表明,东亚季风雨带存在着层状云和对流云混合云系。但是由于对这种复杂的多尺度云系的水循环特征、辐射过程及其与陆面的相互作用还不十分清楚,因此目前还没有非常有

效的办法来解决云系参数化问题。我们知道,云是红外辐射的吸收器,对于来自地球表面的热辐射有极好的吸收作用,同时云也放出热辐射,从而构成温室气体作用;另一方面云又能有效地反射太阳的短波辐射。这两种相反的作用使云在地球的辐射平衡中成为既有效又复杂的调节因子。尽管云系在云-辐射反馈机制中起重要作用,但是云的各种反馈又很难评估,因为这不仅依赖于云量的变化,还依赖于云状、云高、云中液态水和冰晶含量以及云的微物理结构等^[4]。因而准确地确定云系的分布和结构是改进辐射计算的关键,对改进气候模式、更好地模拟季风环流和降水也至关重要。

1.2 陆面水文过程

在东亚季风区,各种尺度的地形和不同的陆面状况可能会影响区域尺度的水汽场,从而影响云系的组织结构。锋区中的中尺度云系与陆地表面的水文过程密切相关。许多数值实验结果表明,陆面过程可影响东亚季风活动和旱涝发生,不同的陆面条件下可产生不同性质的降水,从而影响旱涝程度。陆面过程通过与大气之间的热量、动量及水分交换来影响大气的物理过程。陆气之间的这种

① 本文得到国家自然科学基金项目(项目号 49794030)资助。

水热通量交换强烈地依赖于陆面特征,如植被、土壤湿度、地温、地面反照率、地形、土壤特征等。植被改变了地表粗糙度、地面反照率、蒸发、径流及土壤场容,从而直接影响了陆气之间的动量、通量、热量、水分交换和陆面水文过程;土壤湿度影响了地表和植被的蒸发,从而影响了地气之间的水分交换和潜热释放,有研究表明,土壤湿度-蒸发-对流的反馈过程是陆气相互作用的重要过程之一;地温持续性异常可影响地表的大气热量输送,对大气环流变化或旱涝都有影响;地面反照率主要依赖于陆面特征,它是地气系统能量平衡的重要因素;陆面水文过程亦是陆面过程的重要组成部分,不同土壤水状态下的水力学及热力学参数对陆面过程有很大影响,还可直接影响气候变异;径流是人们开发利用的重要水资源,对气候变化非常敏感,因此精确地描述和模拟径流,改进气候和水文模式中的陆面水文参数,无论对气候变化研究、降水预报还是水资源预测都极为重要^[2,5,6]。

1.3 东亚夏季风活动异常与我国天气气候

江淮流域位于东亚副热带-温带季风区,每年的天气气候深受东亚季风活动的影响,降水年际变率大,旱涝灾害频繁发生。特别是初夏季节的持续性梅雨锋暴雨经常造成严重的洪水灾害,直接影响到该地区的经济发展和人民生活。1991年江淮流域大水,1998年长江全流域大洪水,1999年长江下游地区的特大洪涝都给当地的国民经济和工农业生产带来了巨大的损失。研究表明,梅雨锋的活动主要受东亚季风和副热带高压、中高纬地区的环流系统、青藏高原东移的低涡影响,造成洪涝灾害的持续性梅雨锋暴雨是由低、中、高纬多尺度天气系统共同作用的结果^[7,8]。西南季风和副热带高压后部的东南气流所形成的水汽输送带向锋区输送水汽^[9,10];不断南下的北方冷空气在中纬度地区形成一支偏东(北)气流,与南风急流构成辐合带,加强并维持了锋区的活动^[7];高原生成的低涡移出高原后,沿中低层切变线东移过程中加强了锋区内的扰动,从而使降水增强。从气候学角度

来看,东亚季风雨带活动有其气候规律^[11]。6月上旬以前,季风雨带主要位于我国华南地区。6月上旬~7月中旬,随着副高的北跳季风雨带北推到江淮流域,这就是江淮地区的梅雨天气。7月下旬~8月上旬,副高进一步北跳,季风雨带北上控制华北地区。季风雨带的年际变化和活动异常直接影响了江淮地区区域和局地的水文过程,进而影响日本、韩国等下游地区。但是,由于我们对梅雨锋区多尺度云系的动力学特征以及它们与亚洲季风、陆面过程的关系缺乏足够的认识,因而大部分大气模式(GCM)不能很好地模拟这一锋系^[2]。

GAME-HUBEX正是基于上述事实,制定了项目的科学目标和试验研究方案。1998、1999年夏,该项目配合全球能量与水循环试验计划(GEWEX)在亚洲季风试验区(GAME)进行了其它试验,在以淮河流域为中心的我国东部16个省市开展了气象-水文科学试验,进行了加密探空和地面、天气雷达和多普勒雷达、加密雨量、雨滴微物理结构、长波和短波辐射、地表通量、边界层通量、AWS、卫星遥感、气溶胶等项气象观测;选择具有典型下垫面特征的陆地及河网进行蒸发、降水、地下水、土壤含水量、河川流量、流速和巡回通量等水文观测项目。希望通过开展科学试验,进一步研究和改进气候-水文模式中的辐射参数、陆面过程参数和水文参数,提高区域旱涝的预测能力和水资源管理水平。

2 相关的国际科学试验研究计划

2.1 GEWEX 计划

全球能量与水循环试验计划(GEWEX, 1987~2005年)是世界气候研究计划(WCRP)的分计划。其主要任务是观测、了解、模拟大气-陆地-海表的水分和热量交换及循环以及对全球气候变化的反映。研究领域主要包括全球水文系统变化及其与大气、地表的相互作用,区域水文过程和水资源变化及上述因素对环境的影响。GEWEX在全球设立了五个试验区:美国的密西西比河流域、加拿大的麦肯兹克、欧洲的波罗的海、南

美洲的亚马逊河及亚洲季风试验区 (GAME, 1996~2000)。GAME 在不同气候带选择具有典型下垫面特征的四个区域开展外场观测试验: 南亚和东南亚热带季风区 (TROPICS)、东亚副热带半湿润地区 (HUBEX)、青藏高原 (TIPEX)、西伯利亚永冻区 (SIBERIA)。为了加强陆面过程和陆气相互作用观测, 进一步了解亚洲地区能量与水文过程, 确定亚洲季风在全球能量与水循环过程中的作用, GAME 还在东亚和南亚大陆设置了自动通量观测站网 (GAME-AAN 计划), 从 1996 年开始进行长期观测^[12]。各国政府和科学界对 GEWEX 计划都十分重视。在 GEWEX 确定的全球五个试验区中, 有些试验已进行了数年, 有些观测结果已在模式中应用, 明显地改善了气候、水文模式的模拟和预测能力。

2.2 FRONTIER 计划

近年来, 人类活动所产生的温室效应在大气中积蓄, 自然界的能量平衡遭到破坏。冷夏、暖冬、洪涝、干旱、地球变暖、环境污染、酸性雨及二氧化碳的增加, 臭氧减少, 热带雨林等原始森林的锐减, 使气候和生态系统遭到严重破坏, 并且已危害到人类的生存。1996 年在日本京都国际会议上, 大气、海洋、水文学者回顾了 30 年来的学科研究进展, 深切地认识到开展国际大联合进行气候变异和预测的机理研究已刻不容缓^[13]。为此美日科学家共拟了“实现气候变化预测”科学报告。1997 年日本提出了由机理研究-观测系统-模式模拟三部分为一体的“地球前沿研究系统计划 (FRONTIER)”, 并成立了相应的研究机构。该项目计划实施十年 (1999~2008 年), 第一阶段为 1999~2003 年, 实施“东亚水循环观测试验 (J-SOWSE)”。该计划把观测海-陆-气相互作用作为科学的生长点, 旨在通过在东亚大陆及西太平洋热带地区开展大尺度水循环过程、陆面水循环过程、云与降水过程的观测, 进一步弄清气候变暖的物理成因和未来变化趋势以及中国、日本等东亚国家的旱涝形成机理, 建立相应的气候模式, 提出新的预报方法, 从而实现较准确地预测气候变化和大尺度灾害性天气之目的。我国的青藏高

原和长江下游地区也在观测计划之列。这是 21 世纪初在亚洲进行的又一大型的水循环研究项目。

2.3 CEOP 计划

目前 GEWEX 正在筹备一个重大的联合观测计划——CEOP (Coordinated Enhanced Observing Period), 即所有的区域性气象-水文试验 (包括亚洲、美洲大陆、加拿大麦克肯斯河、波罗的海和亚马逊河流域等) 将于 2002~2003 年进行统一的联合观测试验和收集资料。该计划的实施, 将对大陆尺度的热量和水汽源和汇, 对全球气候系统的影响做出重要评估^[14]。为配合 CEOP 计划, 美日将继续实施 TRMM 卫星观测研究计划 (Tropical Rainfall Measurement Mission, 1998~2003) 和 NOAA-K 卫星长期观测研究计划; 日本还将继续开展 GHP 水文气象观测计划 (GEWEX Hydrometeorology Panel, 2001~2003)。总之, 这将是 21 世纪初的一次大型的综合性国际联合行动。

3 我国相关的科学试验研究计划

我国学者在能量与水分循环方面开展了大量的研究。如华东中尺度天气试验 (1980~1987)、淮河流域大尺度水文模型研究 (1991~1994)、第一次青藏高原试验 (1979)、热带海洋和全球大气试验计划 (TOGA) 等, 都取得了重要的研究成果。

3.1 五大科学试验

近年来, 我国科学家积极参与 GEWEX 计划, 经过几年的酝酿和筹备, 于 1998 年夏开展了著名的五大科学试验, 进行了大气-海洋-水文联合观测。观测区覆盖了我国 29 个省市和南海及周边海域。这是首次以我国科学家为主体领导或主要参加的科学试验, 取得了世人瞩目的成果。五大试验中两项为国家自然科学基金资助项目: (1) 淮河流域能量与水分循环试验和研究 (HUBEX, 1997~2001)。如前所述, 该项目重点观测和研究江淮梅雨锋云系多尺度特征及东亚季风条件下淮河流域能量与水分循环特征, 这种以气象-水文联合观测和研究暴雨和干旱问题, 在我国还是第一次。(2) 内蒙古半干旱地区草原土壤-植被-大气相互作用研究 (IMGARSS,

1997~2001)。这是目前在温带半干旱草原地区开展的气候-生态-人类活动及其响应反馈过程的唯一试验计划。另外三项为中国科技部资助项目:(3)南海季风试验(SESMEX, 1996~2000)。这是一个多国别、多地区参加的大型大气-海洋观测试验。该项目重点观测和研究南海季风主要演变特征及其对华南和江淮流域旱涝的影响。(4)第二次青藏高原地-气系统物理过程及其对全球气候和中国灾害性天气影响的观测和理论研究(TIPEX, 1996~2000)。该项目重点进行高原大气边界层及地气相互作用的观测试验,研究高原气象及其对东亚乃至全球气候变化的影响。(5)海峡两岸及临近地区暴雨试验研究(HUAMEX, 1996~2000)。该项目重点研究华南暴雨和登陆台风系统的中尺度结构和演变机制。

3.2 目前正在开展或计划开展的相关科学试验研究计划

“十五”期间我国继续加大对基础研究的支持力度,1999年启动的“我国重大气候和天气灾害形成机理和预测理论的研究”(1999~2003年)是科技部支持的国家重点基础研究项目,也是国际合作项目。该项目计划在高原及长江流域开展常规和特殊及加密的大气-水文观测,并充分利用上述五大试验观测研究成果,力求在中尺度系统发生、发展及其与大尺度天气系统的相互作用和影响机理及预测方法等科学问题上有所突破。由于青藏高原地-气系统及其水循环过程对东亚气候异常乃至全球气候变化的影响已被越来越多的科学家所认识,中日科学家还将联合进行第三次试验研究——青藏高原区域水循环过程观测及其影响理论研究。该项目的启动不仅对气候变异和预测的机理研究非常重要,而且符合我国西部大开发的战略需要,因此具有深远的社会和经济意义。

为了提高我国气候变化和旱涝预测水平,与国际大计划接轨,我国正在启动相关的科学试验研究计划,还将开展海洋、大气、水文、生态等观测计划。

4 结 语

综上所述,能量与水循环过程研究在今后的一段时期内仍是世界气候研究的热点。

打开国界,开展国际大联合,进行学科交叉,共同探讨气候变化规律的科学问题已成为气候研究发展的必然趋势。

参考文献

- 1 张兰生,方修琦,任国玉主编. 全球变化. 北京:高等教育出版社,2000:23~30.
- 2 HUBEX 项目编写组. 淮河流域能量与水分循环试验和研究科学报告. 北京,43.
- 3 GAME,GEWEX Asian Monsoon Experiment (GAME)-Sinience Plan Japan National Committee for WCRP.
- 4 Ramanathan, V., R. D. Cess., E. F. Harrison et al. Cloud-radioactive forcing and climate; Results from the Earth Radiation Budget Experiment. Science, 1989, 243, 57~63.
- 5 Ji Jinjun and Hu Yuchun. A Simple land surface process model for use in climate study, Acta Meteor. Sinica, 1989, 3, 334~353.
- 6 Yeh. T. C., R. T. Wetherald and S. Manabe. The effect of soil moisture on the short-term climate and hydrology change-a numerical experiment, Mon. Wea. Rev. 1984.
- 7 Ding, Y. H., Y. Zhang, Q. Ma, G. Q. Hu. Analysis of the Large-Scale Circulation Features and Synoptic Systems in East Asia During the Intensive Observation Period of GAME/HUBEX, J. Meteor. Soc. Japan, 2001, Vol. 79: 277~300.
- 8 Wang Y., Bin Wang and Jai-Ho Oh. Impact of preceding El Nino on the East Asian summer atmosphere circulation. J. Meteor. Soc. Japan, 2001, Vol. 79, 575~589.
- 9 Ninomiya, K., and H. Muraki. Large-scale circulations over East Asia during Baiu period of 1979. J. Meteor. Soc. Japan, 1986, 64: 409~429.
- 10 Kato, K. Air mass transformation over the semi-arid around North China and abrupt change in the structure of the Baiu front in the early summer. J. Meteor. Soc. Japan, 1987, 65, 737~750.
- 11 Yeh Tucheng., Tao Siyan and Li Maichun. The abrupt change of circulation over the Northern Hemisphere during June and October. In: B. Bolin, ed., The Atmosphere and Sea in Motion. Rockefeller Inst. Press, New York, 1959, 249~267.
- 12 张雁. 亚洲自动气象站网使用的 PAM-Ⅱ. 气象科技, 1999, 2: 55~58.
- 13 FRONTIER. FRONTIER Research System for Global Change. Japan, 1997, 14.
- 14 CEOP Implementation Plan (Penultimate Draft), Compiled by John A. Leese International GEWEX Project Office., 2001, 3: 89.

(下转第 17 页)

(上接第 12 页)

Energy and Water Cycle: The Research Focus on Climatology

Zhang Yan

(National Climate Center, Beijing 100081)

Abstract

The large scientific experiments for the process of the energy and water cycle are introduced. It is more and more clear that the study for the process of the energy and water cycle is the research focus on climatology henceforth. The aim of experiments is to further understand the physical process of the climatic changes e. g. The green house effect by simulation and analysis of the heat/water exchange among air-land-ocean. The experiments can be expected for solving the problem about the forecast floods and drought around East Asia.

Key Words: energy and water cycle research focus scientific experiment