

# 海洋-大气-陆地相互作用与水分循环

吴国雄

(中国科学院大气物理研究所大气科学与地球流体力学国家重点实验室,北京 100029)

**[摘要]** 阐明了开展海洋-大气-陆地相互作用与水分循环研究的重要意义、国际和国内的背景,以及开展研究的可行性;并提出 21 世纪研究的切入点。

**[关键词]** 水分循环,陆面过程,冻土和积雪,海气相互作用,海陆相互作用

大气运动的最终能源是太阳辐射,但是直接驱动大气运动的能源 70% 来自下垫面。因此,水圈/冰雪圈-气圈-陆圈/生物圈相互作用是地球系统中的基本物理过程;而水份循环则是海陆气相互作用中的一种最活跃,最重要的纽带<sup>[1]</sup>。两者在全球变化的区域响应中起着关键的作用。开展海陆气相互作用及水分循环研究是“国际气候研究计划(WCRP)”属下的“气候变化及可预报性研究(CLI-VAR)”和“全球能量及水分循环试验(GEWEX)”项目以及“国际地圈和生物圈相互作用研究计划(IGBP)”属下的“水循环中的生物圈作用(BAHC)”项目的研究主题,是“国际人类和环境相互作用研究计划(I-HDP)”的重要内容;因此是地学界关注的一个焦点。其研究具有重要的前瞻性,是 21 世纪初科学发展的核心和热点问题。“八五”和“九五”期间,围绕上述主题在我国进行了一大批前期性的大型野外观测试验,取得大量的极为宝贵的资料,发现不少新的事实,引起国际科学界的极大关注,也为进一步开展海陆气相互作用及水分循环研究奠定基础。开展该领域的研究、认识其规律及产生的原因是进行准确的季节和年际气候预测的保障,是国家防洪抗旱决策的需要。它有望在若干方面在国际上取得创新成果,将为全球变化的区域响应研究作出中国科学家应有的贡献。

## 1 海-气-陆相互作用

### 1.1 海洋-大气相互作用

如果把海洋和大气视为两部热机,其持续做功

驱动了流体的南北运动。导致这两种热机做功的一个重要因素是流体的垂直不稳定性。暖而轻的热带大气上升使近地层空气自北向南运动。冷而咸的温、寒带海水下沉使表层海水自南向北运动。在海气交界面上,南来的冷气流和北往的暖海流交互作用使海洋向大气释放热量,从而影响气候。这种交互作用在大洋西部十分激烈,成为控制气候型的重要因子。局地的海温异常对邻域的大气环流也产生重大影响。图 1 中<sup>[2]</sup>,赤道印度洋 1℃ 的海温异常在夏季即可导致我国天气及副高的异常。

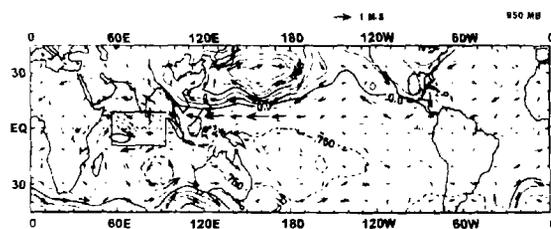


图 1 在应用 GFDL 大气环流模式进行的往夏 7 月的试验中,当在赤道印度洋置以 1℃ 的海表温度异常时,950hPa 出现西太平洋副高异常

### 1.2 陆面-大气相互作用

陆面的水分蒸发和加热对气候有着重大的影响。图 2 和图 3 是利用 LASG 所发展的全球海洋-大气-陆面系统气候模式(IAP/LASG GOALS)进行的一组试验<sup>[3]</sup>。在没有陆面模式耦合的试验中,7 月份的陆面水分蒸发太大,降水太多。欧洲、非洲及东亚季风区大于  $2\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$  的区域联成一片;加拿大和北美西岸的干旱区消逝(图 2 (a))。还由于北非陆面

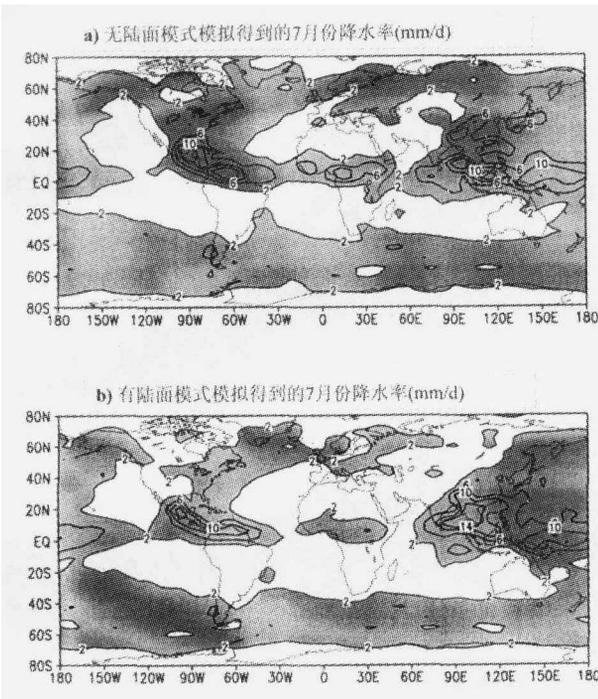


图2 应用 IAP/LASG GOALS 气候模式进行的 10 年模拟所得到的 7 月份降水的分布

- (a) 没有耦合陆面过程模式的结果;  
(b) 耦合了陆面过程模式的结果

感热太弱,使北大西洋副高不合理地向东伸至地中海(图 3(a))。在有陆面模式耦合的试验中,上述问题得到克服,雨区分布与实况接近(图 2(b))。由于北非陆面感热( $> 150 \text{Wm}^{-2}$ )得到合理描述,使模拟得到的北大西洋副高也与实况相符(图 3(b))。

冬季我国大半的面积为冻土和冰雪所复盖。其在春天的融化改变了地表的水分蒸发和感热输送状况,冻土融化的异常从而影响着气候异常。

## 2 国内外研究动态

近 30 年来,世界气候出现显著变化,严重影响人类的生存环境。国际上组织了接续不断大规模研究和观测计划。尤其是 80 年代以来一系列的海洋观测试验,如大规模的“热带海洋和全球大气观测计划(TOGA)”,“全球海洋环流试验(WOCE)”等,已经结束,为我们积累了丰富的海气相互作用资料。从 1995 年开始实施的“气候变化及可预报性研究计划(CLIVAR)”将执行到 2010—2015 年,被称 21 世纪的气候研究计划<sup>[4]</sup>。基本科学目标是认识全球海洋-大气-陆地耦合气候系统的季节、年际和年代际时间尺度的变化规律及其可预报性。

在全球气候不断增暖的环境下,我国大范围气象灾害也不断出现。1991 年及 1998 年发生在我国

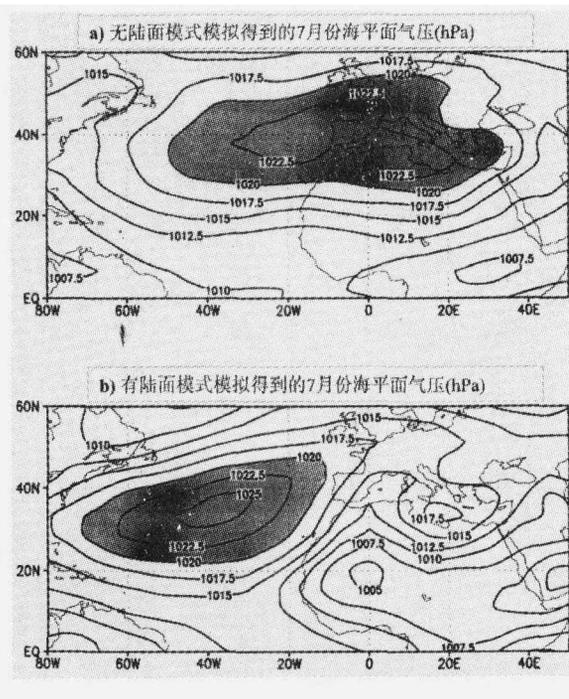


图3 应用 IAP/LASG GOALS 气候模式进行的 10 年模拟所得到的 7 月份大西洋海平面气压的分布

- (a) 没有耦合陆面过程模式的结果;  
(b) 耦合了陆面过程模式的结果

的洪涝灾害就是在强厄尔尼诺事件的背景下全球海-陆-气相互作用产生激烈异常,使我国及周边海域的水分循环出现显著变化造成的。此外,80 年代以来我国北方地区频繁发生的干旱也给我们提出了一系列的科学问题。其中最为主要的核心问题是海-陆-气相互作用产生异常的机制是什么,以及这种异常是如何引起水份循环的变化而导致旱涝气候发生。这些问题引起了科学界和管理决策部门的高度重视。80 年代我国组织了第一个大规模场地观测试验“黑河试验(HEIFE)”。“九五”期间我国已开展了如下 5 大科学试验(简写):(1) 内蒙古草原试验(IMGRASS);(2) 淮河流域试验(HUBEX/GAME);(3) 南海季风试验(SCSMEX);(4) 华南暴雨试验(HUAMEX);(5) 青藏高原试验(TIPEX)。1999 年还进行长江三角洲试验(CJDELTAEX)。这些陆面过程试验于 1998、1999 年陆续结束,积累了丰富的、有待开发的海-陆-气相互作用资料。这对于认识海-陆-气相互作用和建立相应的区域气候模式,以及进一步研究全球变化对我国气候异常变化的影响十分重要。

## 3 可行性分析

本研究具有重大国家需求,活跃的国际合作环

境,以及所需的前期知识积累。

#### (1) 重大国家需求

干旱和洪涝是我国主要的自然灾害。1991年和1998年的严重洪涝造成生命和财产的重大损失,给我们提出了气候环境变化及其预测的重要课题。开展海-陆-气相互作用及水份循环的研究对防灾、减灾,保障国民经济的持续发展极其重要,具有重大的国家需求。

#### (2) 活跃的国际合作环境

多年来,我国积极参与国际上重大的研究计划,如IGBP、WCRP等,在开展CLIVAR、GEWEX、SPARC等研究上与国际交往十分活跃,具备良好的国际合作环境。

#### (3) 前期知识积累

在进行HEIFE、TIPEX、IMGRASS、SCSMEX、HUBEX、以及HUAMEX等试验中,我们已经积累了丰富的场地观测试验的经验。在季风、青藏高原的天气气候效应、东亚大气环流、气候和天气动力学、海气和陆气相互作用等领域中也已经取得了一批先进的或初步的科研成果。在气候模式发展、跨季度气候预测研究中也取得瞩目的成就。为开展本项目的研究打下良好的基础。

### 4 21世纪的切入点

我国位于东亚季风区,地跨寒、温、热带,其海-陆-气相互作用过程远比其他地区复杂。印度洋和太平洋的环流背景及水汽输送各具特色。隆起的青藏高原使影响我国的天气气候系统形态各异。从戈壁沙漠到热带雨林,陆面状况变化万千。复杂的陆-气相互作用通过改变陆面与大气间的能量和水份交换从而影响大气环流。陆面过程的异常,如高纬度地区冬春季积雪、土壤湿度、深层土壤温度的异常等,都具有较长的持续性,因而对后期的环流、天气和江河流量造成一定的影响。我国西北、华北干旱、半干旱地区有极强的太阳辐射,很高的势蒸发,很大的温度日变化,较低的降水量及大气湿度。由于不合理地利用土地,由于全球变化的区域影响,我国北方荒漠化的范围逐年扩大,加剧了本已干旱的气候环境。开展对季风湿润地区、干旱和半干旱地区、以及河流域陆面过程和水份循环的气候效应的研究,将有助于认识下述若干基本天气和气候问题,可为短期气候和水文预测提供依据。它们涵盖如下的研究内容:

(1) 季风(包括热带和副热带季风);

- (2) 青藏高原对天气和气候的影响;
- (3) 副热带高压和天气、气候的关系;
- (4) ENSO和太平洋暖池动力效应;
- (5) 印度洋海温异常和降水及副高异常;
- (6) 中高纬度海气相互作用对我国天气和气候的影响;
- (7) 积雪和冻土变化对气候异常的影响;
- (8) 区域水循环的观测和模拟;
- (9) 可预报性研究,等等。

基于此,在1999年6月份国家自然科学基金委员会举行的“九华论坛”上,专家们提出了如下的21世纪该领域创新研究的切入点:

(1) 全球变化与大气-海洋相互作用研究:太平洋暖池海气相互作用以及ENSO事件;印度洋海气相互作用和季风;南海热状况及水循环对中国气候变化的影响。

(2) 全球变化与大气-陆地相互作用研究:冻土和积雪;植被和土壤以及空间非均匀性研究;热带和副热带季风;青藏高原表面过程对中国区域气候的影响。

(3) 全球变化与海洋-陆地相互作用研究:人类活动和气候变化对河流入海水沙通量的影响;入海水沙通量减少对近海环境的影响;水环境悬浮颗粒物迁移与输送。

(4) 我国及周边区域水循环研究:地表径流和表层水;人类活动在水循环和水量平衡自然演变过程中的作用。

(5) 有限区域多圈层相互作用模式发展和模拟:有限区域多圈层相互作用模式发展;全球变暖和我国区域气候的响应。

### 5 关键科学问题及预期目标

#### 5.1 关键科学问题

- (1) 获取主要江河流量资料以进行水循环分析;
- (2) 发展有限区域多圈层相互作用模式以进行全球变化对我国生态和环境的影响研究。

#### 5.2 主要创新点

(1) 把地球水分系统的大气分支和陆地分支联接起来,完成水分循环,并揭示其与区域响应的联系;

(2) 开展冻土和积雪对全球变化区域响应的贡献的研究是国内外的新增长点。

#### 5.3 预期目标

基本弄清研究区域水分循环的空间分布和季节

与年际变化特征。揭示水汽输送、降水、主要河流的径流、主要经济区域的表层水供需在全球变化的背景下的变异规律。

总而言之,随着学科的发展,WCRP、IGBP、以及IHDP这3个计划已经紧密地结合在一起,成为全球变化研究中不可分割的3个组成部分。本文所建议的研究内容为我国的区域气候环境对全球变化的响应;具有重大的国家需求;涉及大气、海洋、地理、水文和生态多种学科。在上述资料积累的基础上,可在十五期间在周围海域及特定流域再深入开展海-陆-气相互作用的观测分析,模拟及理论研究,分析其对水份循环的影响,从而揭示全球变化对气候和水份循环异常的影响,为改善气候和水文预测提供理论依据。

**致谢** 在1999年6月举行的、由国家自然科学

基金委员会主办的“九华论坛”上,陆则慰、刘昌明、胡敦欣、王会军、王东晓、于革等先生对本内容进行重要修改。本文是根据论坛的讨论结果对原稿进行充实而成。是集体努力的成果。

### 参 考 文 献

- [1] Peixoto J P, Oort A. 气候物理学. 吴国雄、刘辉等译,北京:气象出版社,1995:415.
- [2] 吴国雄,刘还珠. 降水对热带海表温度异常的邻域响应. I. 数值模拟. 大气科学,1995,19(4):422—434.
- [3] 吴国雄,孙岚,刘辉等. 陆面感热和潜热输送对盛夏降水和副高分布的影响. 中国科学院大气物理所编,东亚季风和中國暴雨. 北京:气象出版社,1998:161—169.
- [4] CLIVAR Scientific Steering Group. CLIVAR- A study of climate variability and predictability, Science Plan, 1995, WCRP-89. WMO/TD No. 690:157.

## OCEAN- ATMOSPHERE- LAND SURFACE INTERACTION AND WATER CYCLE

Wu Guoxiong

(State Key Lab of Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, CAS, Beijing 100029)

**Abstract** The significance, the domestic and international progresses, and the feasibility in the research of the ocean-atmosphere-land surface interaction and water cycle are stressed. The preliminary studies for the research in the 21st century are also explored briefly in this paper.

**Key words** Water cycle, land surface process, tundra and snow cover, atmosphere-ocean interaction, land-ocean interaction

·资料·信息·

### 纳米晶金属块材料研究领域的最新进展

国家自然科学基金委员会工程与材料科学部的金属材料学科,自1988年开始支持纳米金属材料方面的研究。1994年,又支持了“纳米金属材料制备科学”重点项目并取得重要成果,1998年成功地制备出大块金属银、铝和铜纳米晶材料。

中国科学院金属研究所卢柯研究员及其课题组在该项重点项目和国家杰出青年科学基金项目的资助下,取得了令人鼓舞的最新进展。研究成果发表在2000年2月25日出版的美国《科学》杂志上,论文题目为“室温下纳米晶体铜的超塑延展性”。该项研究采用电沉积方法制备的高纯、高密

度纳米铜,通过室温轧制获得了5000%的延伸率,没有产生明显的形变硬化。研究表明,形变不是通过晶格位错滑移进行,而是由晶界的运动所控制。这为纳米材料相关的科学与技术发展提供了新的可能性。这一重大进展的意义在于,金属材料纳米化后不但可望大大简化加工工艺过程,也可能是对材料传统变形机制的一个挑战。1999年卢柯研究组的工作已被纳入“国家重点基础研究发展规划”项目。

(工程与材料科学部 车成卫 靳达申 供稿)