

全球气候系统模式联合研究计划

(2001-2005)

(征求意见稿)

建议单位：中国科学院大气物理研究所
大气科学和地球流体力学
数值模拟国家重点实验室
中国气象局国家气象中心（国家气候中心）
中国气象科学研究院
南京大学大气科学系
中国科学院南海海洋研究所

联系人：王 斌、宇如聪、李维京、张人禾

地 址：北京 9804 信箱（100029）

电 话：（010）62380882，（010）62040681

（010）68408506，（010）68408142

E-MAIL: wab@lasg.iap.ac.cn

yrc@lasg.iap.ac.cn

liwj@cma.gov.cn

renhe@lasg.iap.ac.cn

2002 年 1 月 15 日

引 言

近年来随着地球不同圈层相互作用研究的深入,我国地球科学界的科学家及其相应的科技政策制订者,都已认识到建立可持续发展的具有我国自主知识产权的全球气候系统模式甚至地球系统模式的必要性和紧迫性。中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室(LASG)率先在二十世纪九十年代发展了我国第一个包括全球大气、海洋、陆地和海冰的物理气候系统模式(GOALS),并参与了国际模式比较和合作,受到了国内外同行的重视和好评。然而,气候系统模式的发展是一件巨大的系统工程,仅LASG的科学家难于长期保持我国气候系统模式的先进性和可持续发展。为此,在国家基金委地学部领导的委托和支持下,在全国众多科学家和有识之士的倡导和鼓励下,于2001年11月15日由LASG主持在北京举办了“第一届气候系统模式发展研讨会”。参加会议的有国家基金委、国家科技部、中国科学院和中国气象局的有关领导和国内众多知名科学家。会上在听取了有关国内外气候系统模式发展和管理状况的介绍后,与会代表就如何发展我国的气候系统模式展开了热烈讨论并达成共识。与会代表一致要求要在国家基金委、国家科技部、中国科学院和中国气象局的共同支持下,发扬“两弹一星”精神,集中我国大气界、地学界以及相关学科的有关科学家组织攻关,共同发展符合中国地理气候特点的气候系统模式。会议责成LASG联合中国气象局等有关单位的科学家,提出“气候系统模式联合研究计划”初稿,并提交国家自然科学基金委发至各有关科研业务部门和院校,广泛征求意见后形成正式计划。

一、立论依据

目前,国际国内都把对气候变化规律的掌握和气候预测研究作为重点研究领域,并投入了巨大的人才和经济力量。国际上,世界气候研究计划(WCRP)已制定并在全世界开始实施了一系列科学研究计划,主要有气候变化及可预报性研究计划(CLIVAR)、全球能量水份循环试验计划(GEWEX)、全球大洋环流试验计划(WOCE)、北极气候系统计划(ACSYS)、平流层过程及其在气候中的作用(SPARC)等。CLIVAR的主要科学目标是研究气候系统在季度、年际、年代际和百年际尺度上的变化规律以及这些变化的可预测性。世界各国积极响应和参加CLIVAR计划。我国也已制定和执行了一系列理论研究和试验计划,如:国家攀登项目“气候动力学和气候预测理论的研究”、国家“九五”重点攻关项目“我国短期气候预测系统的研究”、国家自然科学基金重大项目“内蒙古草原地区土壤—植被—大气相互作用”(IMGRASS)“—淮河流域水份和能量循环实验”(HUBEX),以及国家科技部组织实施的TIPEX、SCSMEX等一系列场地观测试验等等,积累了一定资料,为开展气候系统动力学和气候预测的深入研究和理论创新奠定了一定的基础。

气候和环境变化是气候系统五大圈层(气圈、水圈、岩石圈、冰雪圈、生物圈)相互作用的结果,而地球气候系统的各个组成部分之间存在着复杂的非线性相互作用。影响气候系统变化的因子很多且非常复杂,它包含海洋状况和海洋环流、冰雪过程、土壤的湿度和温度、大气环流的前期变化、大气中具有温室效应的气体成份含量变化、太阳活动等等。要真正掌握气候系统的变化规律,必须立足于研究大气—海洋—陆地—海冰之间繁复的相互作用,而就目前来看,可望胜任此项研究的工具就是耦合各圈层的气候系统模式。海—陆—气—冰耦合的数值气候系统模式正日益成为研究当前气候的特征和行为、了解其过去演变、预测其未来变异的不可替代的、最具潜力的工具。世界气候研究计划为推动气候模式的发展,在一系列观测试验的基础上,相继组织和推出了“大气模式比较计划”(AMIP)、海洋模式比较计划、陆面过程模式比较计划(PILPS)和“耦合模式比较计划”(CMIP)等,以AMIP为例,参加这个计划的有全世界从事气候模拟研究的主要研究机构的30个左右的知名大气环流模式(包括IAP模式),大家用统一的强迫场资料驱动各自的模式,以统一的格式输出计划规定的各种变量,从而获得了迄今最为丰富和系统的模式“资料”库。通过对不

同模式的比较,人们已经得到了一些初步的结果,发现模式本身的一些不确定性,为进一步改进模式打下了坚实的基础。

我国地处亚洲季风区。亚洲季风系统已成为全球气候系统中的重要组成部分。这不仅因为它涉及复杂的海陆气相互作用过程,影响着世界上人口最为集中区域的经济和社会,还因为亚洲季风气候和全球气候相互关联,有很强的相互作用。只有加深对这些相互作用和规律的认识,才能建立和完善具有坚实的科学基础和稳定、良好效果的预测理论和方法。而要真正明确亚洲季风在全球气候系统中的地位,理解与亚洲季风有关的海气和陆气相互作用机理,必须充分利用全球耦合气候模式系统去再现其复杂的非线性作用过程。影响我国气候季节、年际和年代际变化的物理因素非常复杂,既包括全球海温,也包括青藏高原积雪、极地海冰、陆地表面过程及土壤中的温湿状况等等。对于东亚气候短期变化而言,还包括大气环流的前期特征以及南半球大气环流的变化等等。就目前人们对东亚气候变化规律的掌握和理解,还远远达不到科学上令人信服的程度。原因也恰恰在于亚洲季风气候变化的高度复杂性。东亚地区西倚世界屋脊,东临太平洋,地形多变,周边海陆分布复杂,特殊的地理条件造就了特别的气候特征,这为利用数值模式系统来模拟、研究和预测东亚,特别是我国的天气和气候带来了极大的困难,对模式系统本身提出了更高的要求。现阶段,围绕着东亚气候的模拟和预测,国际科学界在模式的发展上面临着极高的难度,总体上来说,目前国内外通用的各种数值模式,对东亚天气和气候的模拟和预测能力都还非常有限。

当前也不乏利用气候模式来探讨东亚气候中的海气和陆气相互作用的工作,但它们多是利用单一大气模式所开展的简单的敏感性试验,利用耦合气候模式进行的研究工作则比较少,而且上述研究往往局限于对模式结果的描述,对于耦合模式模拟东亚气候的能力特别是对模式所存在的问题缺乏全面的认识,而只有借助耦合气候系统模式才能真正对于海气和陆气非线性相互作用影响东亚气候的机理作深入系统的研究。所以,针对东亚区域的地形和气候特点,发展对东亚区域气候有较好模拟能力的全球气候系统模式是开展东亚区域气候研究和预测的重中之重,是开展东亚区域气候对全球气候变化响应和作用研究的保障。

早在八十年代,中国科学家就开始了大气环流模式和海洋环流模式的研究工作。从九十年代初开始了海气耦合模式的研制,积累了丰

富的研究开发和发展气候数值模式的经验，受到了国内外同行的重视。利用我国自己的海气耦合模式研究了增强的温室效应对全球气候变化的影响，其结果分别被 1996 年和 2001 年政府间气候变化委员会（IPCC）的科学评估报告所引用。我国的海气耦合模式作为发展中国家唯一的模式参加了国际耦合模式比较计划（CMIP）的第一和第二阶段的研究。但在看到成绩的同时，我们更面临着前所未有的困难。

气候模式的改进和发展是一个长期的、渐进的、连续的过程。随着人类活动和政府决策对气候研究要求的不断提高，气候研究的领域越来越广，气候系统模式或地球系统模式的内容越来越丰富，也越来越复杂。发展气候系统模式需要多方面研究人员的长期稳定的合作。成果的不断积累和继承、队伍的相对稳定和发展是气候系统模式持续有效发展的保证。长期以来，对于从事模式发展的科研人员，由于缺乏一套科学合理的评价体系，缺少必要的经费支持，导致从事模式发展的科研人员流失和转向严重。再由于缺乏系统的管理和组织，从事模式发展的科研人员没有合理分工和合作，有的方面存在严重的重复劳动，有的方面则存在严重的空缺。总的来说，国内模式开发队伍人员缺乏、人心不稳、人力分散，模式的发展也存在目标不够明确、方法陈旧和不成系统等问题。模式程序的编写缺乏标准化、模块化和并行化，模式的升级和更新换代缓慢，模式系统自身缺乏持续发展的能力，与国际先进水平的总体差距不断拉大。耦合气候系统模式的发展兼有科研和工程的双重特性。其工程性要求系统的管理和组织是模式发展最为重要的必不可少的环节，要有系统的计划和安排，成员间既有分工又有协作，要充分发挥每个科学家的积极性，但更要强调团队精神。传统的“单兵作战”已不适当当今气候系统模式的发展要求。只有形成一个运转良好的分工、协作体系，我们的模式发展才有出路。美国国家大气研究中心（NCAR）的气候系统模式发展过程和成功经验告诉我们，一支稳定的、既拥有丰富的模式发展经验、又具备很强的协作精神和合作能力的模式发展团队是气候系统模式持续有效发展的保证。

程序的模块化、计算的并行化和输入输出的标准化是当今国际上气候系统模式发展的基本技术特点，大规模并行计算机代表着当今高性能计算机发展的国际主流方向，非并行化的模式系统难以适应这种国际潮流。系统的管理、工程式的组织、团队式的合作已是大势所趋。持续、集中的高强度经费支持，则是发展具备国际影响力的气候系统

模式的经济基础。从当今国际上最具影响力的耦合系统模式的发展中，我们可以清楚地看到上述特点，例如美国国家大气研究中心、英国 Hadley 气候中心和德国马普气象研究所的耦合气候系统模式等。其实，中国气象科学研究院数值预报基地正在以类似的管理运行模式发展有自身特色的和可持续发展的中国数值预报系统。所以，借鉴国内外大型数值模式系统的组织管理经验和运行大型数值模式系统的技术和方法，结合东亚的地理气候特点，是发展适合东亚区域的全球耦合气候系统模式的最有效途径。

二、研究目标

发展中国特色的气候系统模式的长远目标是建立地球系统模式，为国家可持续发展战略服务；经过若干年的努力，使我国能够进入世界地球系统研究的前沿。其中期目标是经过十五年的努力建立多圈层相互作用的，包括生物地球化学过程和水文过程的气候系统模式，经过十年的努力，使我国进入发展气候系统模式的先进行列，在季度、年际气候预测中发挥更重要作用，并能根据气候变化趋势为国家制定经济战略规划提供科学依据。其短期目标是经过 5 年的努力建立性能优良的以气候动力学和物理学的内容为主的气候系统模式，代表国家为 IPCC 第四次评估报告提供 21 世纪气候变化模拟结果，并为我国的气候动力学研究和短期气候预测研究提供工具。

在第一个五年内，基于已有气候系统模式的成果和模式发展经验，针对东亚区域的地理特点，建立一个适合我国气候特点的、具备可持续发展能力的、具有较高模块化、标准化和并行化程度的、能反映当代科学技术水平的新一代全球耦合气候系统基础模式。该模式将可被用于开展全球气候变化及其对东亚区域气候影响的高水平科学研究。该模式对全球平均气候的模拟能力与国际上的先进气候模式相当，对东亚区域气候及其变化的模拟能力在国际上处于领先地位。可基于该气候系统模式开展气候预测和评价的延伸和拓展。模式向国内外从事气候变化研究的科学家免费提供，并积极参与国际气候模式的比较与合作。同时，建立起一支稳定的并能吸引国内外大学和研究机构有关人员参加的开放、联合的不断壮大的气候系统模式发展、评估的研究团体。

目前利用气候系统模式开展气候预测仍处于研究和探索阶段。要基于气候系统模式开展令人信服的气候预测，还有待于气候系统模式

的进一步完善和对气候变化机理的进一步认识。这一方面需要我们有组织有目的地开展系统的观测试验和观测资料分析,揭示和认识气候变化的规律。一方面需要建立一个能反映当代科学技术水平和具备较高可持续发展能力(既能及时包括已揭示和认识的气候变化规律)的气候系统模式或地球系统模式。希望通过此研究计划的实施,在第二个五年(2006至2010年)里能建立一个以气候系统模式为主的具有可用水平的季度和年际尺度的气候预测系统。为实现这第二个五年研究目标,需要同步建立相应的气候观测系统和大气海洋的资料同化系统。

三、主要研究内容

在现有耦合气候模式研究工作基础上和可预见的硬件和软件提高和更新的条件下,其中包括高性能的计算机网络系统、耦合气候模式系统、各种观测数据和已有的工作基础,在未来五年里,就气候系统模式中的主要模式分量:大气、陆面和海洋(包括海冰)模式以及耦合框架拟开展以下方面的研究:

大气环流模式:

- (1) 就目前国内在用的(包括引进的)和在研的大气环流模式开展模式比较。综合评估它们在模拟全球平均气候和东亚气候方面的性能,检验模式模拟与东亚气候有关的海气和陆气相互作用的能力与不足。围绕着提高模拟东亚气候的能力,确定新一代模式的动力框架和物理过程的基本内容以及未来模式的改进和发展方向。
- (2) 发展适合青藏高原热力和动力作用过程的模式框架和物理过程的参数化方案。特别是针对东亚区域复杂的地形和植被特征,发展适合高度非均匀地表环境下的地表通量、大气边界层等参数化方案,改进和提高耦合气候系统模式模拟青藏高原热力和动力作用过程的能力。虽然青藏高原的热力和动力作用对全球气候的重要性是众所周知的,但由于在气候模式中再现高原真实地形作用的难度,大多国外的大气环流模式并没有足够重视这一问题。而青藏高原的热力和动力作用过程对东亚,特别是对中国气候起决定性作用,这是用于我国气候研究的气候模式必须重视的问题。
- (3) 在物理参数化中,注意大气边界层和边界层层云之间的联系,

以及层云和积云之间的联系和区别。目前大多数大气环流模式模拟大洋东岸层云的能力较差。已有的初步研究已表明，这可能是造成海气耦合模式气候漂移，特别是赤道双辐合带的主要原因之一。全球主要的层云是分布在海洋上，陆地上的主要层云分布区是青藏高原东部的我国地区。层云的形成与大气边界层内水汽在边界层顶附近的堆积密切相关，建立一个能正确反映大气边界层和边界层层云相互作用的物理参数化方案对改进海气耦合模式的气候漂移和对东亚气候模拟将有重要作用。

- (4) 利用目前最新的观测资料改进气候模式中的云辐射相互作用的参数化，以便使气候系统模式能合理模拟东亚区域独特的云辐射强迫过程。由于青藏高原东部在全球陆地上独特的层云分布，从而使得该地区也是全球中低纬度短波云辐射强迫和净云辐射强迫的负值最大区。目前大多数大气环流模式不能正确模拟高原东部的云辐射强迫特征，也就不能正确模拟该地区的能量循环，从而难于正确模拟东亚区域的基本气候特征。

陆面模式：

- (1) 有关陆面模式的工作已开展很多，但比较分散。为发展新一代耦合气候系统模式，我们将通过类似于大气模式的比较和分析，确定一个完整的陆面模式作为基础模式。逐渐根据我们的研究成果替代和改进对东亚气候模拟比较重要的过程或方案。
- (2) 在已有的陆面过程模式中，主要深入仔细考虑了一维垂直向上蒸发、蒸腾及感热计算，对水平方向有二维特征的地表径流只作为被动诊断的变量，对它的估算办法既粗糙又不准确，不能反映它对气候变化影响的重要机制。对于未来的陆面过程模型，必需包括较完整的水文过程。一个好的水文过程模拟对于全球水资源问题研究也是至关重要的，水循环过程是 IGBP 的重点研究领域。在气候系统模式框架下，计划利用已有流域水文的研究成果，发展适用于 GCM 网格尺度下的水文模型。
- (3) 陆地生物圈的碳循环从各个方面影响着全球气候。植物光合和呼吸作用的碳通量以及土壤中的碳通量决定陆地生态系统与大气之间的 CO_2 交换，是控制大气碳平衡的主要过程，并进而影响 GCM 的气候模拟。在当前大多数的陆面过程模式中，把应密切相关的碳循环、能量和水分交换过程彼此隔离开来，使模式

有很大的局限性，所以在未来陆面过程模式发展中，增加植被生物圈碳同化过程是十分必要的。

- (4) 现有陆面模式基本都建立在均匀下垫面假设的基础上，但实际下垫面存在着不同程度的二维非均匀性，这种非均匀性所引起的重要次网格过程会使原来建立在均匀性假设基础上的动力和热力作用过程严重失真。因此，在未来的模式中，必须对一些及为重要的次网格物理过程：降水、辐射、地下水位、地形地貌、植被和土壤性质、土壤含水量等非均匀性的影响做出改进和修正。
- (5) 陆面过程模型发展，必须要有重要的基础数据来支撑，比如全球陆地类型的详细分布和它们性质的确定。现有的植被、土壤土质分布及相应的性质确定与其真实情况有很大差异，这是一个十分迫切需要解决的问题。首先可以根据我国的情况，形成有关我国的下垫面类型详细分布和它们相应性质的基本数据库，并不断追踪新的遥感，航测及实际观测的数据，进行不断的更新修正，这必将大大促进我国区域（乃至全球）气候的研究。
- (6) 注重改进陆面和大气之间热量、水份和动量交换间的相互反馈，提高模式模拟陆气相互作用的能力。特别是地表热量、边界层和湿对流过程之间的耦合。逐步建立水文模式、生态模式和生物地球化学模式与陆面模式的耦合。

海洋海冰模式：

自 80 年代后期至今，LASG 一直致力于全球海洋环流模式的发展研究，已先后推出了三代海洋环流模式。第三代海洋环流模式(L30T63)的控制试验已稳定积分了 1000 年以上，并已和多个大气环流模式实现了耦合，进行了一系列模拟试验。基本的评估结果表明，L30T63 的性能至少具有目前国际上全球海洋模式的平均水平。所以，新一代气候系统模式中的海洋模式将以 L30T63 为基础进行改进，具体内容如下：

- (1) 众所周知，热带海洋环流的突出特点是交错存在的经向跨度较窄的东西流带。考查现有模式对赤道流系的模拟，发现年平均的北赤道逆流和赤道潜流均明显偏弱，而南赤道流偏强、偏厚。这些都至少部分地归因于模式的经向网格太粗。水平分辨率的

提高是改进现有海洋模式所需解决的首要问题。由此可改善模式对热带太平洋西岸及印尼群岛区域的一些重要海峡通道的分辨能力，改进对东亚气候有重要影响的赤道印度洋和西太平洋地区的海气相互作用过程的模拟。

- (2) 在耦合系统中，海洋模式对其它模式分量的主要作用是通过提供正确的海表温度 (SST) 实现的。然而 SST 的变化和海洋温跃层以及混合层的变化是相互关联的，其中混合层的作用在西太平洋暖池区以及高纬度海洋显得特别重要，因此在模式中引入一个合理的混合层方案成为当务之急。
- (3) 随着海洋模拟的分辨率和物质复杂性的增加，对更好的平流方案的需求更加紧迫。对于平流方案主要要求单调性、耗散小、计算稳定等特性。现有模式中的平流采用的是简单的中央差格式，耗散较大且稳定性较差。LASG 早已发展了一个经济实惠的保形平流方案，并已在 LASG 的区域暴雨模式、北冰洋模式和一个大气环流模式得到了很好的应用。所以更换现有模式中的平流方案是重要和可行的。
- (4) 现有模式采用正、斜压分解算法，时间积分为显式。为了抑制不稳定扰动，模式中还使用了 Asselin 滤波技术。这就使得 Asselin 滤波系数的取法成为调整模式稳定性的重要参数，同时也成为模式灵活运用的重要障碍。南海所的科学家提出了一种新的时间积分方案。LASG 的科学家曾发展了显式能量守恒差分格式。考虑这些算法，一方面可以减小分解算法带来的误差，另一方面也可以增加模式的稳定性，有利于今后模式调整的灵活性。
- (5) 对于格点模式，极区的计算稳定性和气候模式长时间积分始终是一对矛盾，如何解决它一直是一个难点。对于海洋模式而言，南极为陆地，因此只须考虑北冰洋。针对海洋模式的特点，现有的解决方案主要是依赖于数学方面的技巧，例如旋转坐标系，将极点移至大陆上；在极区减少网格数等等。一个值得探索的方向是对北极做单独处理，把由 IAP/LASG 发展的北冰洋模式接入海洋模式中。实现海洋模式与北冰洋模式的耦合，其关键在于如何处理好边界衔接处两种投影的变换，以及各种矢量和标量的交换。另外，LASG 的科学家目前对有关极地网格提出了新的处理技术，对解决极区计算稳定性非常有效。具体方案

正在酝酿中。

模式耦合和标准化的有关技术工作：

- (1) 借鉴国际著名“品牌”气候系统模式的模块化耦合经验，建立能“插拔式”连接各气候系统子模式的通量耦合器（Flux Coupler）。耦合器可以适用于不同模式格点系统的通量自由转换和插值，使得多种大气模式、陆面模式和海洋模式可在一种通量耦合器上实现任意组合的“插拔式”耦合，便于开展耦合模式比较试验和耦合系统模式中各子模式系统的更新换代。
- (2) 为便于模式的可持续发展，参照一些国际著名研究机构的成功作法，建立一个模式框架和各物理过程相对独立发展再进行组装的模块化模式发展体系。
- (3) 为便于模式的推广和充分发挥模式的作用，一方面要建立完整的模式说明和使用指南，同时要注意模式输入输出、模式和变量注释以及程序结构的标准化；模式计算的并行化；程序运行的一体化和程序移植的简单化。

开展全球气候变化的模拟并参与国际间的合作交流：

利用已发展的气候系统模式完成再现 20 世纪气候的新模拟试验，并以此为初始场，开展 21 世纪气候变化的模拟。这些模拟工作都是 IPCC 和 WCRP 气候变率与可预报性研究计划（CLIVAR）联合研究工作中的一部分。随着模式的不断发展和完善，我们希望能够针对国家在有关重大决策上所关心的一些特定问题，开展相应的模拟工作。完成人类活动对未来气候变化影响的数值试验，为第四次 IPCC 科学评估报告（2004）提供结果。积极参加各种国际合作和交流，例如国际大气模式比较计划（AMIP）和耦合模式比较计划（CMIP）等，通过国际合作不仅可以增加我们在国际上的影响力，更重要的是可以引进国外先进的技术。

资料同化和地球生物化学预研究

为保证此项研究长期目标的顺利实现，尽快赶上国际发达国家的气候研究步伐和水平，在第一个五年重点开展上述研究的同时，要逐步建立气候系统模式的资料同化系统和开展可预测性的研究，为下一个五年目标做准备。同时为实现从物理气候系统模式到地球气候模式完善的长期目标，除进一步了解有关云物理过程、辐射传输过程、边界层过程、大气中重力波与大尺度环流相互作用过程等以外，逐步开展和加强有关大气化学、气溶胶化学、

极地过程和地球生物化学等方面的研究。

气候预测试验研究

利用已有的气候预测模式继续开展季节的和年际的气候预测试验，积累经验和增加对目前气候预测模式能力和不足的认识。随着气候系统模式的不断完善和人类对气候变化机理的进一步认识，逐步更新和完备气候预测模式，为在未来建立真正意义上的业务气候预测系统模式做好准备。

四、拟重点解决的科学问题或关键技术：

- 基于已有的观测事实和人们对气候系统中各物理过程的认识，建立系统的模式评估框架，确定导致现有气候模式不能较好模拟东亚气候及其变化的动力、物理和技术原因。寻求最为有效的解决方案。
- 通过对现有观测资料，特别是有关青藏高原科学试验资料的深入分析，建立适合青藏高原地区陆气相互作用过程的地表通量计算、大气边界层、云辐射相互作用等参数化方案。
- 为加强人们对气候演变机理的认识，建立合理的物理参数化方案，系统计划和组织开展必要的科学观测试验是重要的。如何在可能的经济投入下使观测试验资料最大限度地用于气候模式发展研究，则需要高度严谨的科学调研；周密细致的设计；合理的计划和严格的管理。
- 综合目前通量校正耦合和直接耦合的海气耦合模式的成功与不足，掌握实现直接耦合而没有气候漂移的关键。克服目前直接耦合的海气耦合模式所存在的“双赤道辐合带”和海冰过多等问题，实现气候系统各子系统间的直接耦合。
- 解决模块化耦合框架和并行计算中的计算和编程技术问题。以便建立一个模式框架和各物理过程相对独立发展再进行组装的模块化的便于可持续发展的模式发展体系。
- 开发和应用现代的计算机技术和有关的软件技术，建立一个气候模式结果和观测资料的存储、分析和显示的数据管理系统。这不仅对及时方便地分析模式结果，评估模式的能力与不足是重要的，对模式资料的开发利用、资源共享和建立广泛的富有成效的合作也是必不可少的。

- 为未来气候系统模式实现有可靠预报精度的气候预测,需要逐步建立全球气候系统模式的同化系统和开展气候可预测性的理论研究、科学分析和预测试验。

五、研究基础

中国科学家自八十年代中期开始已陆续发展和应用大气环流模式、海洋环流模式、海气耦合模式和陆面过程模式,现在已经初具规模并自成体系,受到国内外同行的重视。特别是在有关复杂陡峭地形的处理方面,中国科学家有着国际先进甚至领先水平的工作。就全球耦合气候模式,到目前为止,LASG 已经发展和正在发展的共有四代全球耦合气候模式。其中,第二代(M2+20)和第三代(GOALS)全球海气耦合模式分别完成了两个长期积分,用来研究增强的温室效应对全球气候变化的影响,其结果分别被1996年和2001年政府间气候变化委员会(IPCC)的科学评估报告所引用。另外,第三代(GOALS)全球海气耦合模式还参加了国际耦合模式比较计划(CMIP)。正在研制的第四代耦合气候模式借鉴NCAR CSM的模块化耦合和直接耦合的经验,拟建立一个可以方便替换不同的大气、海洋、陆面和海冰子模式的模块化直接耦合系统框架,便于进行多种模式组合的耦合试验和比较分析。目前已就初始版本完成了60年无明显气候漂移的耦合积分。NCC在国家“九五”攻关期间,已发展了独具特色的气候模式系统。南京大学等许多单位也具有自身发展或引进的用于气候模拟的气候模式系统。特别是在涉及我国复杂陡峭地形区的气压梯度力计算和非均匀地表能量和通量计算等方面南京大学有较好的研究成果。

LASG 从八十年代中期就率先利用气候模式开展了跨季度预测试验,已取得了丰富的成果和经验。开展了实时的 ENSO 和中国夏季降水跨季度预测,其中跨季度中国夏季降水预测结果已成为中国气象局气候预测会商的重要参考依据。NCC 和 LASG 的科学家在“九五”攻关期间合作建立了一个短期气候预测模式系统,并已成功地进行了预测试验。该系统包括从月动力延伸预报模式,海气耦合的全球气候模式,到高分辨区域气候模式所组成的一套可用于业务的动力模式系统。通过近十年回报检验表明,这些新方案对于减少模拟的误差及在季风和季风雨带的推移及演变预报方面有较大的改进。另外,LASG 在有关资料同化、集合预报和可预报性的研究方面已有很好的理论基础和研究成果。中国气象科学研究院已基本掌握了建立模块化数值模

式系统的技术和方法。

为验证和评估模式对观测的再现能力，我们已从各种途径获取了目前用于气候研究所应有的基础数据资料。其中包括 NCEP 和 ECMWF 的再分析资料、多种海温资料、海洋再分析资料、海冰资料、ISCCP 等云的资料、ERBE 和 SRB 等辐射资料、高分辨率的地形和植被资料、多种降水资料、ARM 和 TRMM 等观测试验资料。利用这些资料，已开展关于气候模式对全球基本气候态、基本水循环和大气季内振荡模拟状况的评估分析以及气候模式对东亚区域气候特征模拟的验证和对比。上述研究结果表明，不能较好地刻画东亚季风降水的季节变化和云-辐射反馈机制是目前许多耦合模式在东亚气候模拟方面存在的主要问题，其原因至少可以部分地归结为热带海气相互作用以及青藏高原的热力和动力作用。这些资料和工作积累为发展新一代耦合气候系统模式奠定了坚实的基础。LASG 是一个向国际、国内开放的实验室，与美国、英国、法国、德国和日本等先进国家的气象业务和科研部门有着广泛的联系与合作交流，这将有利于我们及时获得国际上的各种新的观测资料和模式资料，有助于我们掌握国际气候系统模式的状况。国家气候中心则是以气候预测业务为主，同时具有较强科研开发能力的业务单位，可以及时开展有关气候模式系统预测试验，有利于开展该模式系统的模拟和实际预测能力的验证、评估和提高。

六、组织管理

由于模式发展具有很强的工程性，合理有效的组织管理是该研究计划能持续有效进行的根本保证。为此该研究计划将设立顾问领导组和科学技术指导组对具体模式发展的各研究小组给予调控和指导。

1、气候系统模式发展顾问领导组

顾问领导组是制定模式发展方针政策、提供咨询和协调各职能部门的委员会，由有关部门的领导和权威专家联合组成。顾问领导组定期开会听取有关气候系统模式发展的进展汇报，签署给国家基金委、国家科技部、中国科学院和中国气象局等主管部门的报告和推荐意见。

2、气候系统模式发展指导组

科学技术指导组是气候系统模式发展计划的具体指导组，其职能是监督各模式工作组的活动、协调模式试验、做出有关模式定型和发

展的决定。它也将应顾问领导组的要求，提供有关项目运行情况的信息。科学指导组的具体职能是：

- 保持模式发展计划的先进性和持续性。确定并推荐模式发展和应用中应予优先考虑的方面。制定有关模式的主要试验以及模式资料的分析和应用。
- 确定应当组织哪些工作组，负责任命和调换各工作组组长，并监督各工作组的活动，削减冗余，加强联络。
- 决定未来的气候系统模式版本中应当包括哪些分系统模式和选用哪些参数化方案。科学指导组对工作组的建议作出接受或拒绝的决定和解释。
- 提出为气候系统模式正式试验安排计算机资源的建议。科学指导组征求各工作组组长的意见，按照可得到的计算机资源对各工作组计算机需求作合理有效的调配。
- 定期举行管理会议（至少每年两次），听取从事模式研究的科学家和各工作组组长的报告。研究关于模式改进的建议，及时调整研究方向和内容，采取切实可行的措施保证气候系统模式顺利高效地发展。
- 负责定期筹建学术研讨会（大约每年一次）。一方面是向顾问领导组和有关职能部门，以及关心气候变化和从事气候研究的社会各界汇报气候系统模式发展的工作进展。同时便于模式研究团体能够更全面地了解整个模式发展的现状和各方面的应用需求。

3、气候系统模式发展研究组

气候系统模式发展计划各个方面的具体工作由若干研究小组承担。每一研究小组由对某一课题有共同兴趣的科学家组成。研究组长应当组织科学家们进行合作研究，以减少不必要的重复和竞争，使气候系统模式得以不断改进和高效发展和使用。研究组长应及时向科学指导组报告课题研究工作进展，提出增加或更新子系统模式和有关参数化方案的建议，并给出必要的理由和有关结果文件。根据我们现有的模式基础和人员状况，初步设立下面六个研究小组：大气模式研究组、海洋海冰模式研究组、陆面模式研究组、通用耦合框架研究组、模式结果分析评估研究组、计算机软件研究组。在下一阶段将逐步增加资料同化、可预报性、模式预测试验、气候变化评估、地球生物化学等研究组。

七、年度计划

2001: 完成实施该研究计划的筹备工作

在已开展的调研和征求意见的基础上,修改完备研究计划的各项内容,确定研究方案和具体研究计划。明确组织管理的结构、方法和主要人员组成。

2002: 建立模块化模式结构和全面收集整理各种观测资料

建立一个能灵活处理不同水平分辨率和网格分布子模式间通量交换的耦合器,对 LASG 现有的大气模式和海洋模式等实现模块化耦合。对主要模式过程建立子模块,开展物理过程参数化的单点柱模式的比较和分析。确定适合用于东亚区域气候研究的模式框架和新一代大气和海洋模式的分辨率。广泛搜集和整理现有的各种观测资料,以便用于对各模式过程的验证。

2003: 建立适合中国地理气候特点的物理参数化方案

充分利用我国已有的观测试验资料,分析我国区域的地气通量交换特性、边界层结构和云辐射强迫特征。检验现有参数化方案在我国区域应用的能力和不足。调整现有方案的参数或发展新的参数化方案,以适合我国区域的气候研究需求。

2004: 全面组装调试

对改进的各模式过程进行全面的组装和调试,建立第一版本的新一代气候系统模式。利用该模式完成百年左右的长期积分实验,并将模拟结果提交给下次的 IPCC 科学评估报告。同时,从本年度开始,可考虑筹建增加资料同化和气候预测工作组。

2005: 全面评估模式并完成模式的技术报告

全面分析模式结果,对模式作深入的了解和合理的评估。完成模式系统的技术报告和程序指南。全面对国内外开放模式的使用和咨询。与国内外的同行合作,全面分析模式的长期积分结果。基于已建立的新的气候系统模式,初步建立跨季度气候预测系统,并开展气候预测试验。为下一个五年的气候系统模式发展作好充分准备。