

试论短期气候预测的不确定性*

王会军

(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, 北京 100080)

摘要 基于系统的模式预测试验和理论分析, 研究了气候之短期变化预测中的不确定性问题, 着重探讨大气系统内部的不确定性因素。首先, 给出模式预测效能(可预测性)的概念模式; 然后, 详细研究预测结果的不确定性及其动力学机制; 最后, 对短期气候预测的出路提出了一点想法。

关键词 气候 预测 不确定性

1 气候预测与气候可预测度

气候预测 (Climate Predictability) 是当今人类社会面临的一个重大课题, 特别是对我国这样一个气候多变、灾害频繁而又人口众多的发展中国家。国内外都投入巨资加以研究。研究的重点首先是季节—年际 (即短期) 气候预测问题。由于影响气候短期变化的因子众多, 且其间又有复杂的相互作用, 而目前我们尚未对其中任何一个因子的详细物理过程及其影响有明晰的科学认识。因此, 国际 CLIVAR (Climate Variability and Predictability) 计划的重点是气候变率及可预测性, 即, 气候的可预测度 (气候是否以及在多大程度上是可以预测的)。这一计划的提出对国际气候预测研究具有重大的指导意义。首先, 大气系统中混沌机制的存在使得大气系统对初始状态具有较大的敏感性, 这种敏感性是气候可预测度的一个削弱因素。其次, 作为最大的年际变率信号 El Nino 与反 El Nino 对大气环流的影响尽管比较广泛但主要限于热带, 而在中高纬区则影响较小, 这又大大削弱了热带以外区域的气候可预测度。另外, 我们对于影响气候短期变化的其它一些因子 (陆面过程、土壤深部、冰雪过程等等) 的演变规律及其对气候短期变化的综合影响知之甚少, 这又大大削弱了我们利用现有知识和模型进行较为准确的气候预测的程度。

本文初步研究了大气环流模式预测的不确定性问题, 并探讨了造成这种不确定性的可能因素和机制。作为对比, 文中同时采用了改进的 IAP 两层大气环流模式耦合陆面过程方案和美国俄勒冈州立大学 (OSU) 的两层大气环流模式。

2 海面温度与短期气候预测

为了系统地研究海面温度 (SST) 对气候短期预测的影响, 我们开展了 IAP SMIP

1997-10-13 收到, 1997-11-11 收到修改稿

* 本项研究得到“九五”国家重中之重项目“我国短期气候预测系统的研究”96-908-04-01-2和攀登项目“气候动力学及气候预测理论的研究”的经费支持

试验（国际季节动力预测比较计划），试验中我们采用了 IAP 两层大气模式耦合陆面过程方案。试验共分两种，一种是以 11 月 27、28、29、30 日和 12 月 1 日 12 时的实测场作为初条件，SST 也为实测值，包括 1982、1986、1987 和 1992 年，共 20 个预测个例；另一种以 5 月 28、29、30、31 和 6 月 1 日 12 时实测场作为初条件，SST 亦为实测值，包括 1983、1988、1993、和 1994 年，共 20 个预测个例。

鉴于我国区域最重要的气候要素是降水，此处就降水的预测作细致分析。首先，40 个预测个例平均的夏季降水分布（图略），基本可反映出东亚夏季风降水的分布特征，即，由我国东南沿海向西北方向降水量递减，等值线呈东北-西南向。图 1 是 IAP 大气环流模式/陆面模式利用 5 个不同实测初始场和同年实测 SST 预测降水的相对离差，可以清楚地看出，离差总体上在热带区域和南半球海洋区域较小，可以认为这些区域的预测结果可信度比较高。有趣的是，亚非季风区和美洲季风区也是离差值较小的区域，而其它陆地区（中高纬）离差均较高。就我国区域而言，离差最小的区域是在长江以南，最大的区域是河套及其西北地区，或者说长江以北的区域预测降水离差一般较大，但也有年际差异。10% 的等离差线大都在长江以南，后向东北延伸，偶尔也会出现在长江以北的东部地区。从这一结果分析，长江以北的夏季降水，目前，该模式的预报可信度一般较低。

图 2 给出了 120°E 经线上 3 个点的所有 40 个预测个例的预测降水的分布，可以发现 42°N 处，预测个例间离差较大，而且总体上偏差实测降水值也较大，而在 38°N 和 34°N 处预测个例间离差小且与实测值比较吻合。类似地，我们可以对我国区域其它有代表性的点作类似分析。结果发现 110°E 以东的华南、长江下游、黄淮下游及东北西部的预测效果较好；另外，110°E 以西，100°E 以东，34°N 以南的区域预测效果也较好。其它区域预测效果较差。

以上是 IAP 两层大气模式耦合陆面过程方案的结果，OSU 模式的结果也基本类似，但预测效能较好的区域较 IAP 的小些。

总体上，关于模式可预测性（预测效力），我们可给出如图 3 的概念模型，即青藏高原东部（西南季风控制区）和我国东部沿海区（东南季风控制区），可预测性较好；而黄河中上游以北和长江中游区可预测性较差，或者说，热带季风影响为主的区域为可预测性较好的区域。

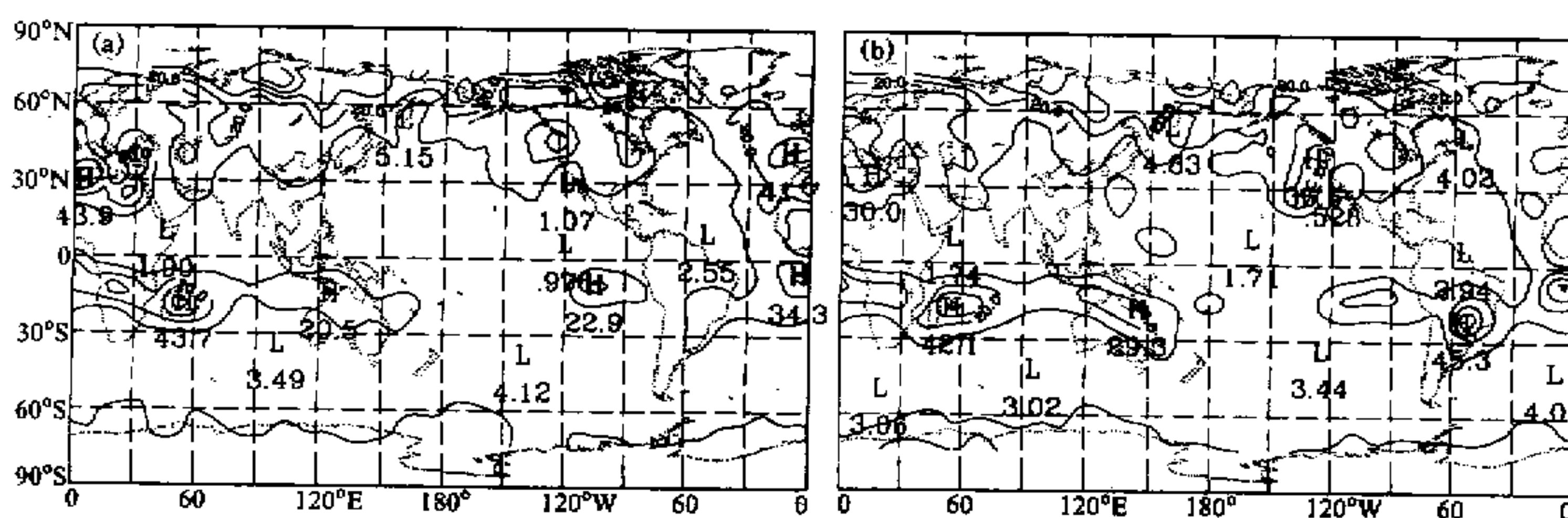


图 1 IAP 大气/陆面模式利用 5 个不同时刻实测初始场和同年实测 SST 预测降水的相对离差 (%)

(a) 1988 年 5 月 28、29、30、31 日和 6 月 1 日 12 时初始场；(b) 同 (a)，但为 1993 年

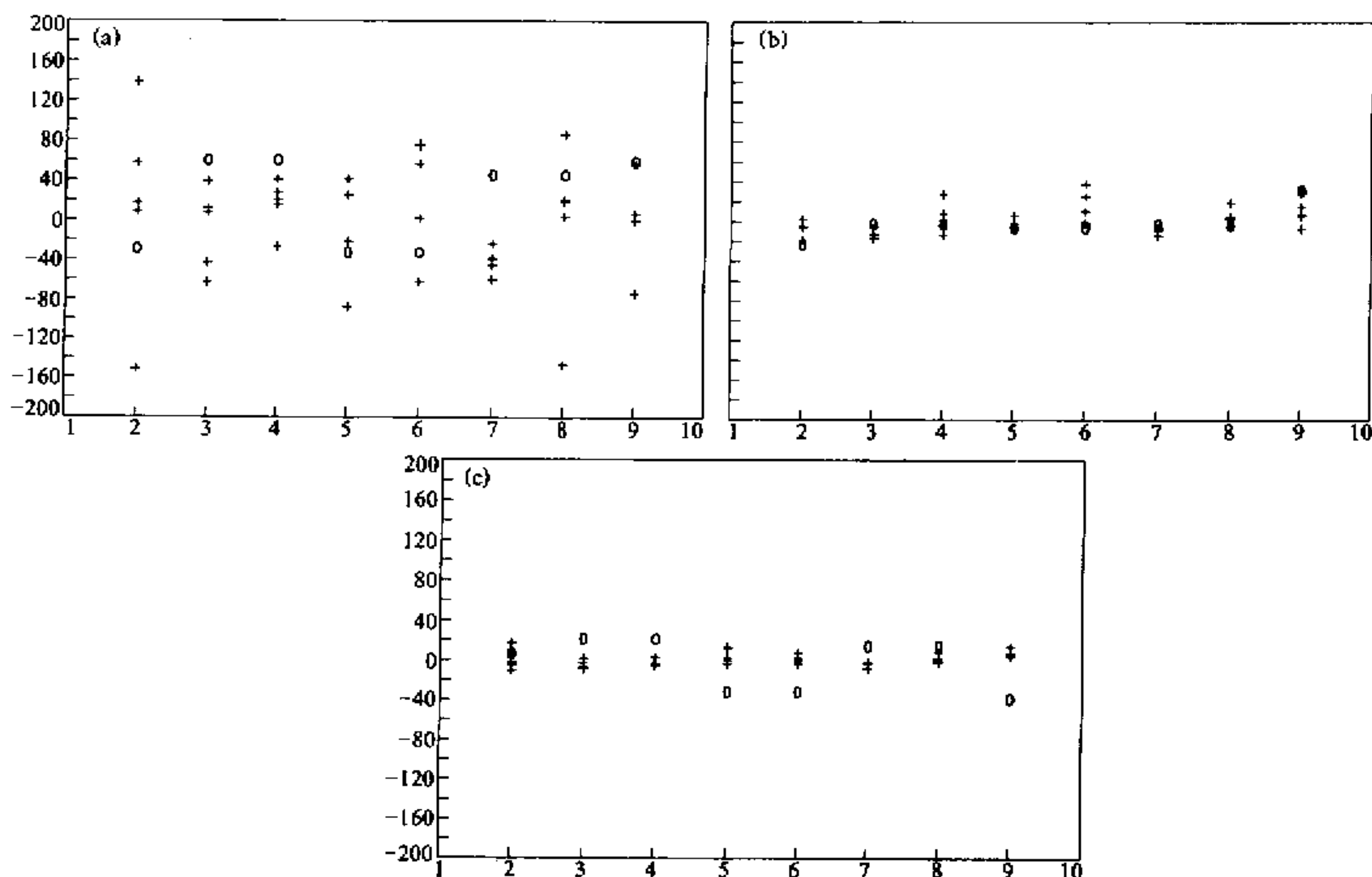


图2 实测与预测降水距平百分数的分布。横坐标2~9分别为1982-11-27~1982-12-01、1986-11-27~1982-12-01、.....、1994-05-28~1994-06-01共8组个例, 图中“0”为实测值, “+”为预测值。(a) 120°E, 42°N; (b) 120°E, 38°N; (c) 120°E, 34°N

3 来自大气内部的不确定性

3.1 来自 SMIP 预测试验的结果

由于预测试验采用了不同时刻的初始场, 我们分析一下其预测结果之间的离差。首先看一下预测(6、7、8三个月平均)的环流场的离差, 图4给出了两个模式500 hPa高度场离差分布, 非常清楚的是离差小的区域仅限于热带区, 在IAP模式结果中离差小的低纬带状区域较OSU模式更宽一些, 可以达到30°N和20°S(离差<3 m。在两半球之中高纬离差都达6 m以上, 高纬区可达18 m以上。海平面气压离差场也有类似的分布。有时青藏高原区和蒙古国地区是一个大离差中心区。

热带区系统也有不确定性, 最显著的是OLR场, 它反映出对流活动对初始场的高度敏感性(见图5)。比较显著的大离差区有青藏高原区、菲律宾以东的西太平洋区以及赤道北的东太平洋和东大西

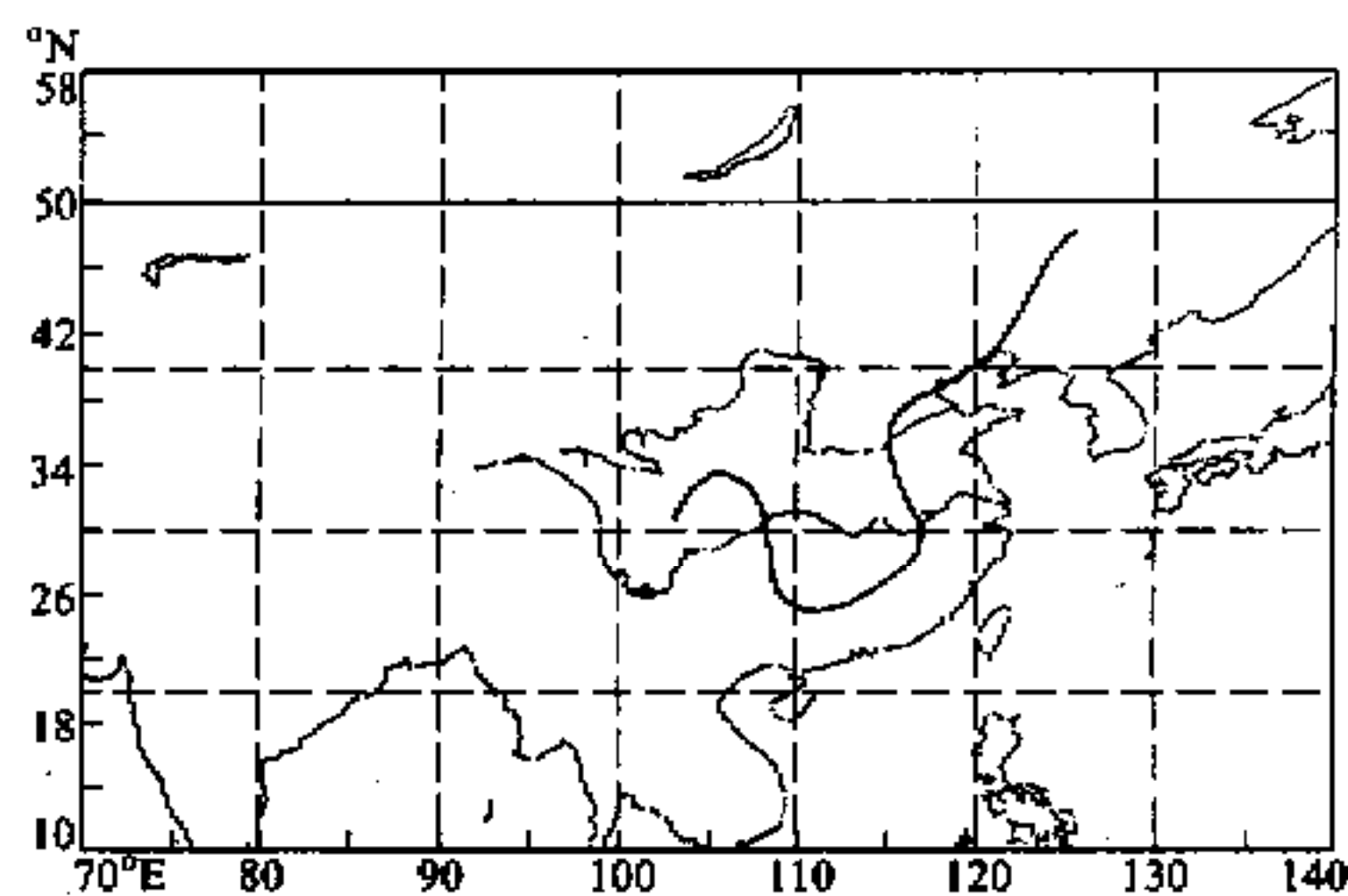


图3 我国夏季气候可预测性概念模型
黑实线以南区为可预测性较好的区域

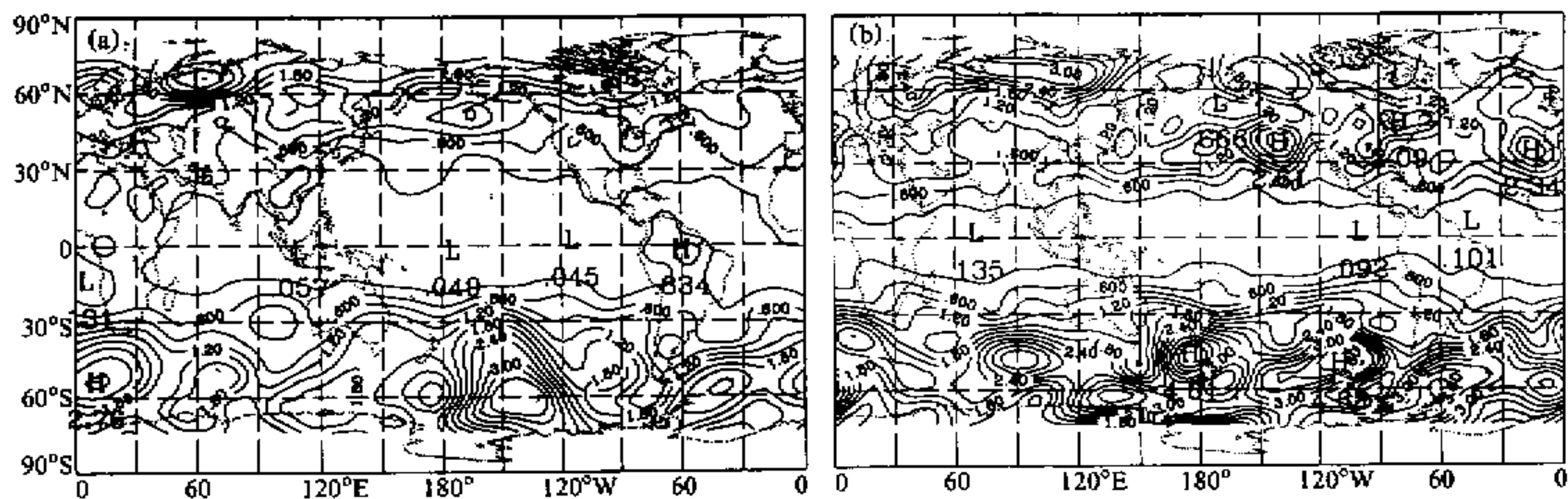


图4 IAP和OSU模式针对1982年11月27日~12月1日12时5个初始场预测的1983年夏季(6~8月)500 hPa高度场间的离差(10 m)。 (a) IAP模式; (b) OSU模式

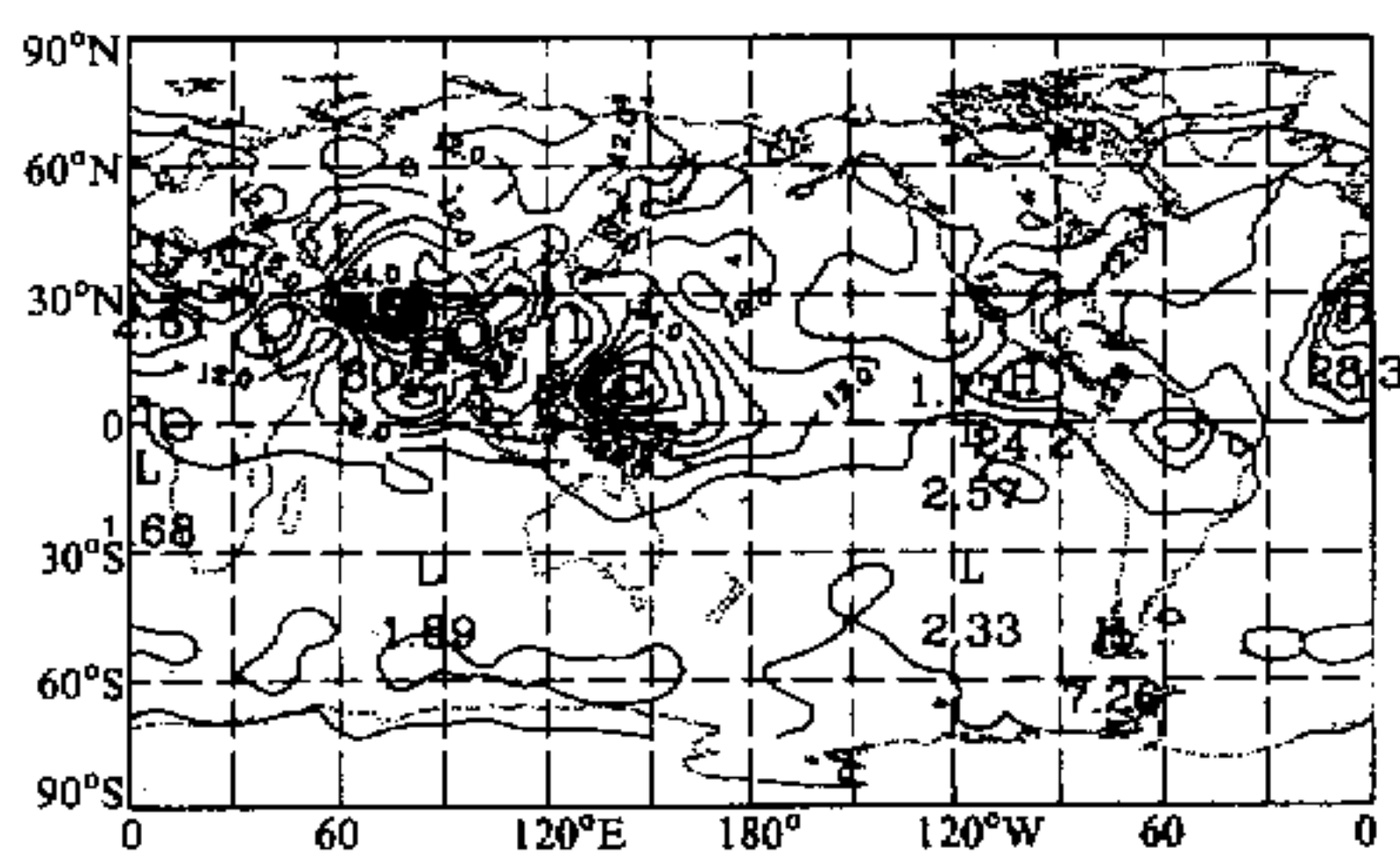


图5 同图4a, 但为OLR离差。单位: 0.49 W/m^2

洋。尽管也有年际差异, 这些区域的大离差特别是菲律宾以东洋区非常显著, 而且总体上热带区的离差较热带外区要明显大。另外, 从云量的离差来看, 青藏高原区和菲律宾以东区也经常是高离差区, 西北太平洋区亦是高离差区。由于青藏高原和西太的热源变化对亚太地区大气环流的影响很大, 故而来自这些区域的不确定性足以对亚太区及全球气候的可预测度构成削弱作用。但由于下文所述的动力学因素, 总体上热带气候可预测度仍较热带外区要高。

我们再看一下作为主要气候要素之一的降水的离差(见图1和图6), 两个模式的结果均显示出离差在热带外区域都相当大, 一般可达当年夏季平均雨量的10%以上, 而在热带区则一般小于10%。对我国而言, 小离差区主要集中在黄河以南的东部沿海区和华南区及以西南部分地区。另外, 对于表面气温而言, 仍以中高纬区的离差为较

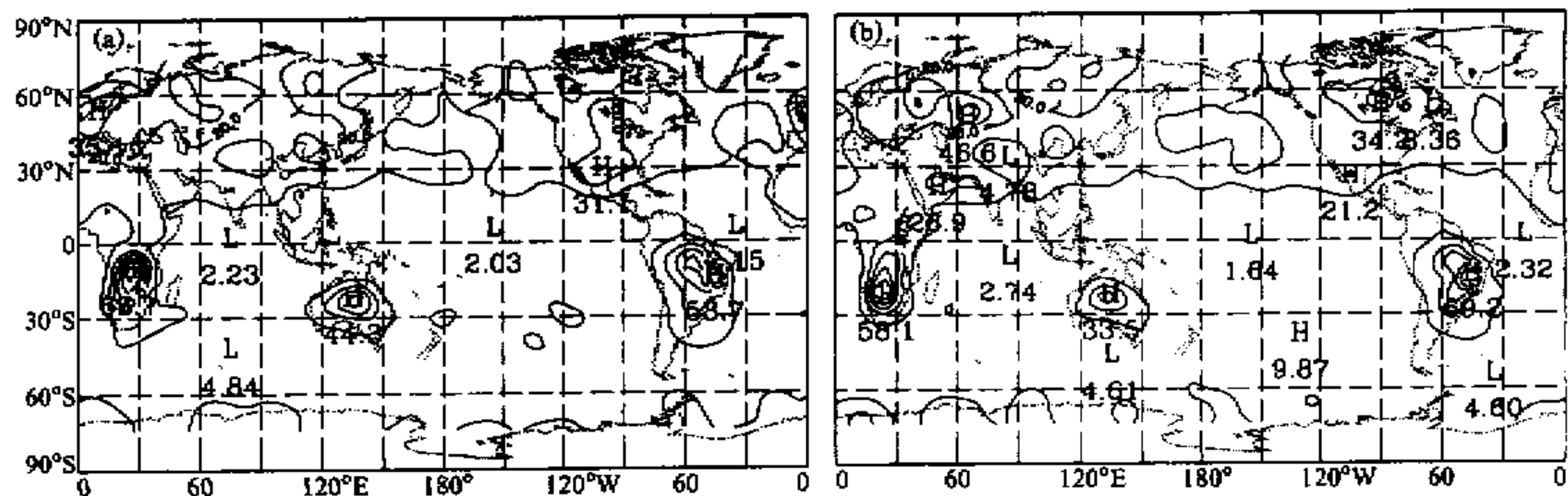


图6 同图1, 但为OSU模式结果

大, 对 OSU 模式而言, 欧亚大陆大都在 1.40°C 以上, 我国黄河以南在 $0.4\sim 1.4^{\circ}\text{C}$ 之间。而加入了陆面过程方案的 IAP 模式, 其偏差要小些。

3.2 动力学上的考虑

产生这种不确定性的动力学原因可能是多方面的。

首先, 我们注意到大气环流基本气流的正压与斜压稳定性问题。在热带外区域, 斜压稳定性主要受控于运动的空间尺度和基流的垂直切变等因素, 不稳定条件较易满足^[1]。同时, 当大气斜压性较小时, 还存在正压不稳定性。由于中高纬斜压不稳定条件更易满足, 故中高纬的基流更加不稳定。这些不稳定性导致即使是微小差别的初值也可能产生完全不同的环流发展。

第二, 中高纬指数循环过程的存在是中高纬不确定性的另一重要原因。由于环流低指数和高指数的交替在 3 个月中只有几次, 况且这种指数循环过程具有混沌机制^[2], 因而一段时间内指数循环过程可以高度依赖于初始状态。事实上, 阻塞高压的建立和崩溃都是具有非线性动力学背景的, 是中长期天气预报和短期气候预测中的一个不确定性所在。

第三, 低频振荡是大气环流的一个重要特征, 而现有的全球大气环流模式大都低估了实际大气中的低频分量^[3], 这也削弱了气候短期变化的可预测度。另外, 热带 ENSO 循环似与低频振荡的强度有关^[4]。而在中高纬, 这种关系未知是否存在。

第四, 积云对流与非对流云存在着不稳定性 (特别是在热带)。这种短时间尺度上的不稳定性事实上导致了季节尺度上的不确定性——高度依赖于初始状态。这些动力学机制是造成大气模式本身预测结果不确定性的主要成因。由于它文有述, 这里, 我们未谈及大气系统以外的不确定性因素。

4 短期气候预测的出路

基于以上研究和考虑, 要改进气候模式的预测效能, 需要同时研究大气系统内部和外部两种相关过程及其影响。

就大气系统内部而言, 需要加深对指数循环和低频振荡规律的认识和改善模拟; 需要加强对积云对流和非对流云的过程的认识和改善模拟。由于土壤中的过程和陆表过程对气候的重要作用, 研究陆地的异常过程和规律 (包括冰雪过程和规律) 及其对气候短期变化的影响是至关重要的。继续开展天文因子对气候变化的影响也将是有益的。当然, 海洋 SST 的模拟和预测的改善对热带大气环流的模拟改进无疑是重要的。另外, 肯定地讲, 对于任何预测模式, 由于不稳定性非线性机制的存在, 完善四维同化方案的研究都是必需的。

可以确切地讲, 上述研究的深入涉及一系列大规模观测计划的支持, 如, 云和对流的遥感测量, 深层海洋及陆地 (包括陆表和陆地内部) 一系列过程的观测。故此, 短期气候预测的任务是极其艰巨的, 国际上计划在 10~15 年内取得重要进展是非常科学的^[5,6]。

参 考 文 献

- 1 曾庆存, 1979, 数值天气预报的数学物理基础, 北京: 科学出版社.
- 2 罗哲贤、马镜娴, 1991, 强迫耗散非线性系统的局域阻塞流型, 大气科学, 15(1), 17~25.
- 3 Slingo J.M. et al., 1996. Intraseasonal oscillations in 15 atmospheric general circulation models: results from an AMIP diagnostic subproject, *Climate Dynamics*, 12, 325~357.
- 4 李崇银, 1988, 频繁强东亚大槽活动与 El Nino 的发生, 中国科学 (B), 667~678.
- 5 International CLIVAR Project Office, 1997, CLIVAR, Max-Planck Institute for Meteorology, D-20146 Hamburg.
- 6 Wang Huijun et al., 1997. The interannual variability and predictability in a global atmospheric GCM, *Advances in Atmos. Sci.*, 14(4), 554~562.

A Preliminary Study on the Uncertainty of Short-Term Climate Prediction

Wang Huijun

(State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics,
Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract Based on a set of systematic hindcast experiments by IAP and OSU AGCMs and theoretical analysis the uncertainty of short-term climate prediction were studied preliminarily. The paper stressed on the uncertainties induced by atmospheric internal dynamics. The conceptual model of short-term climate predictability were concluded and the preliminary dynamical mechanisms were analysed. Future suggestions of research were proposed in the last.

Key words climate prediction uncertainty