

ENSO 现象及成因的模拟与预测研究进展

赵宗慈

(国家气候中心,北京,100081)

摘要 文章介绍近十年来国外对 ENSO 现象和成因的模拟与预测的研究成果。

1 引言

大量研究工作表明,ENSO 是引起短期气候变化的一个重要因子,特别是在热带地区。因而许多研究工作从观测事实出发,利用统计方法或物理模式分析 ENSO 的各种特征与现象,发现 ENSO 是热带地区大气与海洋相互作用的结果,从而在研究 ENSO 时必须同时分析大气与海洋这对系统的相互作用^[1-6]。

本文侧重总结国外近些年来利用各种大气耦合海洋模式对 ENSO 现象与成因进行的模拟研究以及利用统计模式和大气耦合海洋模式对 ENSO 作预测的研究进展。文中第 2 与第 3 部分将重点介绍利用简单的大气耦合海洋模式和复杂的全球大气耦合海洋环流模式(A/O GCM)模拟 ENSO 现象与成因的主要结果。第 4 部分将总结利用统计模式与大气耦合海洋模式作 ENSO 预测的现状,并着重介绍几种实际预测的结果。

2 利用简单大气耦合海洋模式对 ENSO 现象与成因的模拟

自八十年代初期开始,科学家们已经试图建立热带海洋地区,特别是热带太平洋地区简单的大气耦合海洋模式来模拟 ENSO 现象以及 ENSO 的形成、发展、结束和成因。

这种简单的大气耦合海洋模式包括理论

的与基本概念的模式、简单的模式以及介于简单与复杂模式之间的称为中等模式。模式的大气部分与海洋部分的动力学一般选用浅水方程并在赤道 β 面上求解。模式大气与海洋之间的相互作用与耦合一般只考虑热量与风应力。从而大大简化大气与海洋的空间结构,仅有几个主要变量构成其基本方程组,进而突出了热带海洋与大气之间的主要作用。表 1 给出一些有代表性的简单的大气耦合海洋模式,这些模式均已用来作 ENSO 的模拟研究^[2,5,11-18]。

总括这些热带地区简单的大气耦合海洋模式对 ENSO 现象及成因的模拟,大致可以得到以下几点主要结果:

(1)简单的大气耦合海洋模式可以描述在热带地区海气相互作用的三种重要的机制,即:海洋罗斯贝波穿过太平洋缓慢传播;热带太平洋地区正常状态与 ENSO 状态这两种平衡态的产生以及具有触发系统使之从一个平衡态转换成另一个平衡态;海气一对不稳定性的发展^[19]。

(2)简单的大气耦合海洋模式成功地描述了两种不同途径的涛动:一种形式是海气一对不稳定发生在西、中太平洋,然后向东太平洋传播并加强,最后在东太平洋消失;另一种形式是海气一对不稳定出现在东、中太平洋,并且从西部边界反弹回来的海洋罗斯贝波也参与到 ENSO 的建立与衰退的作用中

表 1 研究 ENSO 的热带地区简单的大气耦合海洋模式

作者	年代	模式范围
Lau	1981 ^[7]	赤道 140°E—80°W
Gill 和 Rasmusson	1983 ^[8]	赤道
McCreary 和 Anderson	1983 ^[9-10]	热带太平洋 15000km
	1985	热带印度洋, 印尼, 太平洋 30000km
Yamagata	1985 ^[5]	赤道 130°E—90°W
Hirst	1986 ^[11]	赤道 15000km
Zebiak 和 Cane	1987 ^[12]	29°S—29°N, 124°E—80°W
Schopf 和 Suarez	1988 ^[13]	120°E—80°W
Battisti	1988 ^[14]	30°S—30°N, 120°E—80°W
Graham 和 White	1988 ^[15]	赤道
Davey 和 Budin	1989 ^[2]	30°S—30°N, 120°E—80°W
Battisti 和 Hirst	1989 ^[16]	赤道海洋两区: 125°E—160°W 160°W—80°W
Xie 等	1989 ^[17]	热带 15000km
Hirst 和 Lau	1990 ^[18]	赤道 15000km

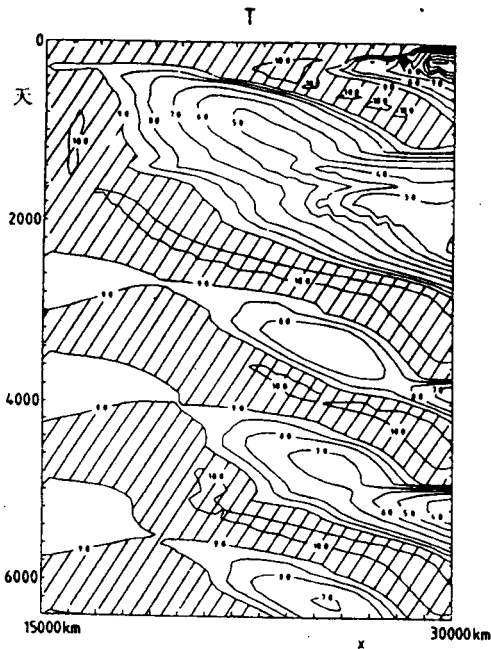


图 1 简单大气耦合海洋模式模拟赤道海温的经向-时间剖面图^[10]

来^[1-2,5-19]。

为节省篇幅,这里只给出两个模式的部分计算结果。图 1 为简单的大气耦合海洋模式模拟赤道海温的经向与时间剖面图^[10],其中海洋是有边界的状况,取其范围为 30,000km,区域西部 15,000km 为陆地边界,东

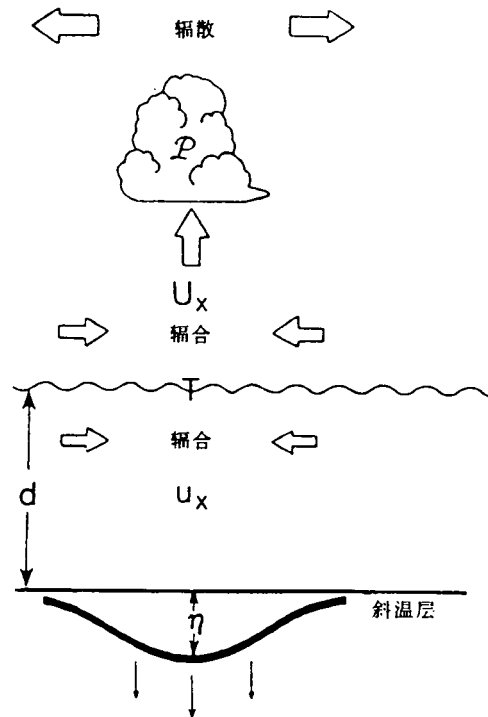


图 2 热带地区不稳定的海气相互作用重要机制示意图^[5,19]

部 15,000km 为热带太平洋。从图 1 明显注意到,当在陆地与海洋西部大气加热(相当于在印尼附近加热与对流发展),热带太平洋一对海气系统发展了振动,其周期大约为 4.5

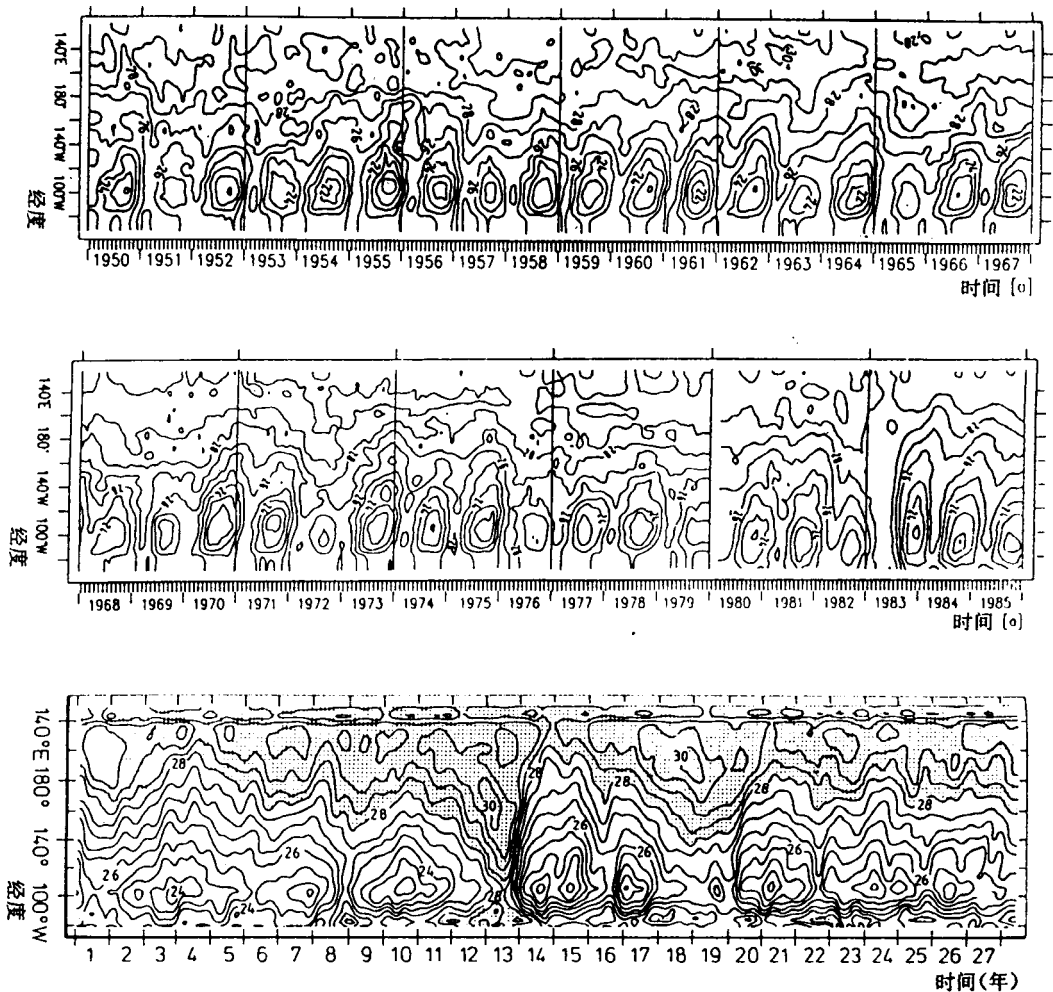


图3 赤道太平洋海温变化(°C). (a)观测值, (b)GFDL(Philander等)模拟结果^[21]

年。不稳定发生在西部与中部海洋,然后缓慢向东部传播,其传播速度约为 11cm/s ,最后在东部边界附近消散,而且很明显,其消散与西部另一次扰动增长密切相联系。

图2给出海气一对系统不稳定发展的重要机制^[5,19]。根据模式计算表明,假定一开始,在海洋内界面(斜温层面)加深 η ,由于加深引起海温增加,相应大气中降水量增加,引起低层大气风场 U 辐合,海洋洋流 u 辐合,由于海洋洋流 u 辐合,导致 η 进一步增加,如此循环下去。

从以上分析表明,简单的一对大气耦合海洋模式虽然其构造极其简单,但能较为成功地模拟出ENSO的许多重要现象及成因

与机制,而复杂的全球大气耦合海洋环流模式却不能模拟出来。因而这些简单模式是值得重视的。

3 利用复杂的全球大气耦合海洋环流模式对ENSO现象与成因的模拟

自八十年代末期开始,美国、英国、德国等国家更多地开始使用复杂的全球大气耦合海洋环流模式(简称A/O GCM)对ENSO现象与成因进行数值模拟,表2给出模拟ENSO的主要的A/O GCM及其基本特征。

从表2注意到,A/O GCM大致可分为全球多层大气与全球多层海洋环流耦合模式与混合型海气耦合模式。后者为大气或海洋

表 2 研究 ENSO 的复杂的全球大气耦合海洋环流模式

模式名	作者及年代	模式主要特征		耦合后积分年数
		AGCM	OGCM	
GFDL	Philander 等 1989 ^[2] 1992 ^[20]	L9 R15	L12 4.5×3.8 28°S—50°N L27 130°E—80°W 1/3×1	100
UKMO	Gordon 和 Ineson 1989 ^[2,21]	L11 2.5×3.75	L16 30°S—30°N 0.33×0.5 30°S—30°N	13
MPI	Latif 等 1990 ^[22]	L19 T21	L17 130°E—70°W 5.6×5.6 ±10 0.5×0.5	11
MPI	Latif 和 Sterl 1992 ^[21]	L19 T21	L17 ±20 1.0×1.0 其它 5.0×5.0	20
NCAR	Gent 和 Tribbia 1992 ^[21]	L12 T42	简单物理海洋模式	11
UCLA	Mechoso 等 1990 ^[23]	L9 4×5	L27 28°S—50°N 130°E—80°W 1/3×1	10
GFDL	Lau 等 1992 ^[24]	L9 R15	L12 4.5×3.75	60 年, 取后 20 年
MRI	Tokioka 等 1992 ^[21]	L5 4×5	L16 热带太平洋 1×2.5	8
MPI/MI	Oberhuber 等 1992 ^[21]	L19 T21	L9 T42 陆地 5 层模式, 海冰模式	10
MPI	Cubasch 和 Bottinger 1992 ^[21]	L19 T21	L19 2×2	25
NCAR	Meehl 和 Washington 1990 ^[25] 1992 ^[21]	L9 R15	L4 5×5	30 年, 取后 10 年
OSU/ LLNL	Gates 等 1992 ^[5,21]	L2 4×5	L6 4×5	16
OSU/ LLNL	Gates 和 Sperber 1992 ^[21]	L2 4×5	L2 4×5	15 年, 取后 10 年

表中, GFDL——美国地球物理流体动力学实验室;

MPI——德国马普气象研究所;

NCAR——美国国家大气研究中心;

OSU/LLNL——美国俄勒冈州立大学/美国罗利国家实验室;

AGCM——全球大气环流模式, OGCM——全球海洋环流模式;

MI——德国汉堡大学气候研究所;

MRI——日本气象研究所;

UCLA——美国加州大学洛杉矶分校;

UKMO——英国气象局;

L——模式垂直层次, R 与 T——谱模式特征

模式为多层 GCM, 而另一个为简单模式。表 2 给出 13 个有代表性的 A/O GCM 作的 14 个计算模拟(以下简称 14 个模式)。为对比各个模式的优劣, 14 个模式共同选用计算的热带太平洋海温(SST)作为模拟好坏的评比标准。之所以选择 SST 作对比, 是因为 SST 是气候系统中的一个重要的物理因子, 同时 SST 又能最敏感地反映模式的弱点。通过与观测的 SST 的对比分析, 大致可以得到以下几点共识:

(1) A/O GCM 可以粗略地模拟出热带太平洋海温的年际变率; 海温的大致分布形式如西太平洋海温高, 东太平洋冷舌以及赤

道东太平洋上翻现象; 模式还可大致模拟出热带太平洋海温的 3—5 年的振动特点。图 3 给出的模拟结果是 14 个模式中最好之一, 为作对比, 图中相应给出 1950—1985 年观测的赤道太平洋海温的变化。

(2) A/O GCM 存在气候漂移, 且有些模式的气候漂移非常明显。对比 14 个模式计算的 SST 表明, 仅 GFDL(Philander 等), GFDL(Lau 等)和 NCAR(Gent 和 Tribbia)模式没有明显的气候漂移, 即较为接近观测场。另有两个模式对气候漂移作了调整。因此总的来说, 14 个模式中只有 5 个模式气候漂移不明显或作调整, 约占全部对比模式的 36%。

表 3 作 ENSO 预测的统计学模式与动力学模式

模式名	作者与年代	模式特征	预报因子	预报对象
1. CCA/SOI	Barnett 和 Graham 等 1988 ^[26] Barnsten 和 Ropelewski 1992 ^[27]	统计学模式	SLP	Nino3 季 SSTA
2. POP/MPI	Xu 和 Storch 1990 ^[28]	统计学模式	15°S 以南 SLP	月 SOIA
3. CCA/MPI	Latif 和 Graham 1992 ^[29]	统计学模式	焓变化	Nino3 月 SSTA
4. LIM/UC	Penland 和 Magorian 1993 ^[30]	统计学模式 (EOF, PC)	全球海洋	Nino3 月 SSTA
5. A-O/FSU	Inoue 和 O'Brien 1994 ^[31-32]	海洋模式/统计大气模式		ENSO 有/无预报
6. OGCM-A/ MPI	Latif 和 Flügel 1991 ^[33]	OGCM/统计大气模式		SSTA
7. A-O/SIO	Graham 等 1992 ^[34]	海洋模式/统计大气模式		Nino3 月 SSTA
8. OGCM-A/ MPI	Barnett 等 1991 ^[35]	OGCM/统计大气模式		Nino3 月 SSTA
9. A-O/L-DEO	Zebiak 和 Cane 等 1986 ^[36] 1987 ^[12]	海洋模式/大气模式		热带月 SSTA
10. A/O GCM /MPI	Latif 等 1994 ^[32]	A/O GCM		SSTA
11. A/O GCM /NMC	GCM 项目组 1994 ^[37]	A/O GCM		SSTA

表中: SSTA——海面温度距平; SLP——海平面气压; CCA——正交相关分析;
 POP——主振动型分析; EOF——经验正交函数; PC——主分量分析;
 LIM——线性转置模式; A-O——简单大气耦合海洋模式;
 A/O GCM——复杂全球大气耦合海洋环流模式; SOI——美国 Scripps 海洋研究所;
 MPI——德国马普研究所; UC——美国科罗拉多大学;
 FSU——美国佛罗里达州立大学; NMC——美国国家气象中心;
 L-DEO——美国哥伦比亚大学 Lamont-Doherty 地球观察台

表 4 用各种模式预测 Nino3 区 SSTA 与观测值的相关系数
(表中最后一行为持续性预测检验)

模式号 (参见表 3)	预测未来的月数								
	0	3	6	9	12	15	18	21	24
1	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40				
2	0.80	0.70	0.57	0.45	0.30	0.28	0.33		
3	0.70	0.68	0.50	0.22	-0.10	-0.20			
6		0.63	0.42	0.48	0.50	0.41	0.39	0.35	0.26
8		0.72	0.45	0.39	0.41	0.48	0.43		
9		0.75	0.82	0.80	0.80	0.73	0.45	0.05	-0.20
10		0.65	0.60	0.55	0.70	0.60			
11		0.72	0.64	0.58					
持续性	1.00	0.75	0.35	0.00	-0.25	-0.30	-0.30	-0.33	-0.30

(3) A/O GCM 在描述海温的年际变率方面有些模式也表现出明显弱点。对比 14 个模式的模拟结果表明, 只有 GFDL (Philander 等), NCAR (Gent 和 Tribbia) 和 MPI (Latif

和 Sterl) 的模式能够较好地模拟出海面温度的年际变率及海温距平的稳定变化, 约占全部参加对比模式的 21%。

综上所述, 虽然复杂的全球大气耦合海

洋环流模式从理论上更接近气候系统,而且在其模式中包括了更多的气候反馈过程与机制,但是至今的大多数 A/O GCM 在模拟 ENSO 现象及成因方面尚存在较多问题,目前许多模式研究工作正在解决这些问题。

4 利用统计学模式与动力学模式作 ENSO 预测

自八十年代后期开始,科学家们已经用统计学模式与动力学模式对 ENSO 进行预测,其预测变量主要集中在对热带太平洋海温的预测,尤其是对 Nino1+2,3,4 区海温距平(SSTA)的预测。从预测试验到每个月发布 SST 预测,其中有些模式对 1982—1983,1986—1987,1991—1992 年的 ENSO 事件作了成功的预测。美国国家大气海洋局气候分析中心也开始发布 Nino 区 SST 预测^[1-4,12,26-37]。以下将着重介绍利用统计学模式与动力学模式作 ENSO 的预测。

利用统计学模式与动力学模式对 ENSO 作预测的模式很多,大致可分为三类。一类为纯粹统计学模式,主要用统计学方法如正交相关分析(CCA),主振型分析(POP),经验正交函数 EOF 与主分量分析(PC)或线性转置分析(LIM);一类为统计大气模式与物理海洋模式嵌套作 ENSO 预测;一类为物理海洋与物理大气模式耦合作 ENSO 预测。表 3 给出 11 个有代表性的 ENSO 预测模式,其中 CCA/SOI 与 CCA/CAC 统计学模式, LIM/UC 统计学模式, A-O/L-DEO 简单的物理海洋与大气耦合模式以及 A/O GCM/NMC 全球大气耦合海洋环流模式已先后加入美国 NOAA 月气候预测公报中作月 ENSO 预测。

大部分模式作 ENSO 或热带太平洋 SSTA 月或季预测时可作未来 1—24 个月预测,统计模式尚可作同时预测。表 4 给出 8 个模式的预测可靠性检验,检验各个模式对 Nino 3 区 SSTA 的预测效果。表 4 中前 3 个

模式为统计学模式,6,8,9 为简单海气模式,10,11 为 A/O GCM。其检验方法为计算预测值与观测值的相关系数,其中统计学模式的检验结果一般超过 20 年,而物理模式的模拟一般超过 20 个个例。为对比,表 4 中最后一行给出利用持续性预测的相关系数。

从表 4 中以及综合各种模式预测结果,大致可以得到以下几个结论:

(1)所有模式在预测未来 1—3 个月的 SSTA 时,都劣于持续性预测,表明海温的持续性较强,目前的统计学模式与动力学模式在该时段的预测水平尚未超过持续性预测。

(2)注意到各个模式在作未来 3 个月以上的预测时,其可靠性均高于持续性预测,其中尤以模式 9(美国哥伦比亚大学 Lamont-Doherty 地球观象台的简单物理海洋与大气耦合模式)的预测效果最佳,作未来 3—15 个月的预测可靠性(相关系数)均在 0.73 以上。

(3)物理海洋与大气耦合模式的预测结果是令人可喜的。模式 9,10,11 在 6 个月与 9 个月预测上的可靠性是较高的。

(4)一般来说,各个模式的预测可靠性随着预测时段愈长,预报效果愈差,在超过 18 个月的时段,可信程度已很低。

(5)预测可靠性的高低还取决于预报起始月的季节以及 ENSO 发生的季节。从 L-DEO 的 A-O 模式预测可靠性评估表明,一般预报起始月在春季效果较差。

(6)大多数模式在预测 ENSO 的发生与发展上可靠性高于预测 La Nina。这可能与一些模式的设计方案是考虑预测 ENSO 作为出发点有关。

人们关心未来热带太平洋以及 ENSO 的变化情况,图 4 给出美国气候分析中心 1994 年公报中的四个模式(模式 1,4,9 和 11)发布的自 1994 年 2 月至 8 月的热带太平洋 Nino3 区的 SSTA 的预测及前期该区的 SSTA 观测值。

图 4 表明,四个模式一致预测 1994 年 6—8 月 Nino3 区 SSTA 明显变冷,但其变冷

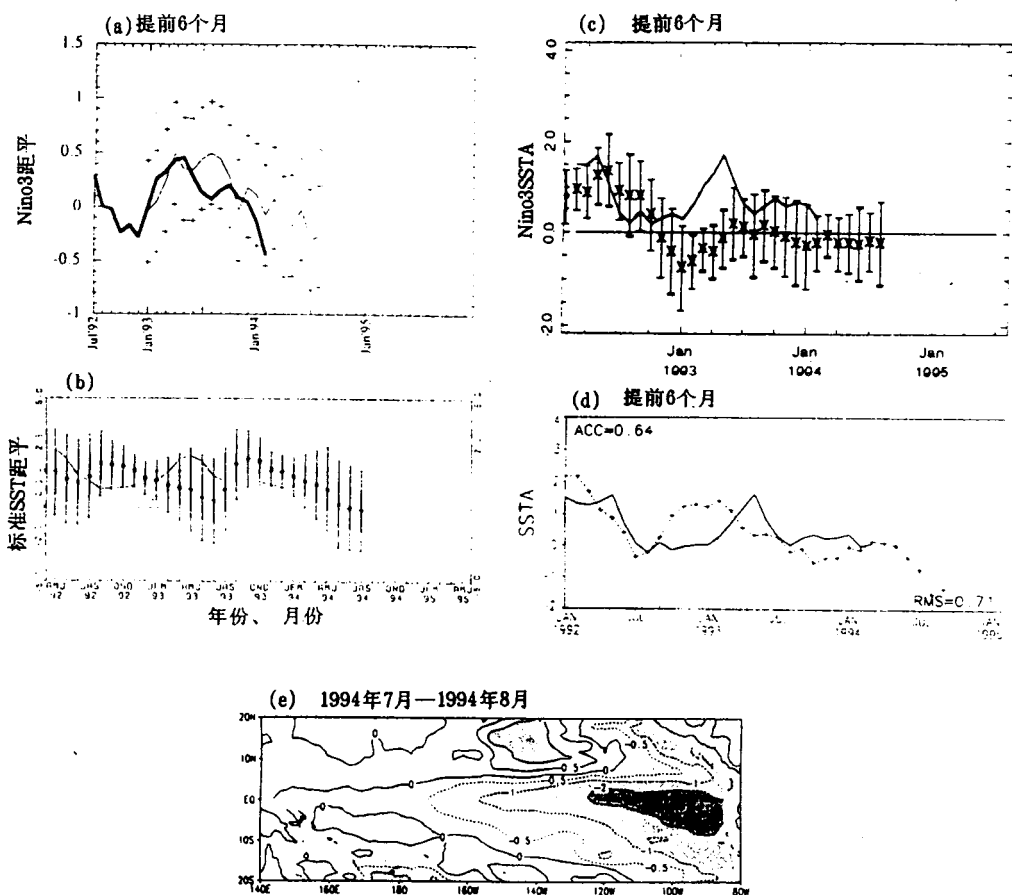


图4 (a)~(d)四个模式对1994年2—8月热带太平洋Nino3区的SSTA预测以及(e)模式11对热带太平洋1994年6—8月SSTA预测.其中(a)为模式4,(b)为模式1,(c)为模式9,(d)为模式11.(a)~(d)中粗实线为观测值,细线或×线为预测值

数值四个模式差异较大,其中模式11预测1994年6—8月SSTA变冷约 $-1\sim-2^{\circ}\text{C}$.

5 结束语

综上所述,利用简单的与复杂的大气耦合海洋模式已经能模拟出ENSO的许多重要现象,并对其成因亦作了研究与模拟试验,但是至今对ENSO形成的原因尚未从模式的计算得到一致的令人信服的答案,有待于进一步的研究工作来回答这一问题.

统计学模式与动力学模式对ENSO的

预测取得可喜的成果,但是注意到大部分模式没有预测出1993年上半年热带太平洋Nino3区SSTA明显的正值(见图4).ENSO的预测开始的时间不长,因而要通过更多的预测来检验各种模式的预测可靠性.

致 谢

作者由衷感谢中国气象局与国际气候预测研究所给予一个极好的对ENSO的学习与研究的机会,使作者有机会得到许多长期从事ENSO研究的科学家们的指教.在此对

R. J. Allan (澳大利亚), G. Berri (阿根廷), M. Cane (美国), I. Held (美国), Y. Kushnir (美国), J. McCreary (美国), E. Rasmusson (美国), A. Moura (巴西), E. Sarachik (美国), E.

Schneider (美国), R. Seager (英国), J. M. Wallace (美国), S. Z. Zebiak (美国) 等深表谢意。

国), A. Moura (巴西), E. Sarachik (美国), E.

参考文献

- 1 Philander S G H. El Nino, La Nina and the Southern Oscillation. Academic. San Diego, Calif. 1990; 287
- 2 H Charnock F R S, S G H Philander Eds. The Dynamics of the Coupled Atmosphere and Ocean. Cambridge University Press. 1989; 315
- 3 Enfield D B. El Nino, past and present. Rev Geophys. 1989, 27; 159—187
- 4 Glantz M H Ed. Teleconnections linking worldwide climate anomalies. Cambridge University Press. 1991; 320
- 5 J C J Nihoul Ed. Coupled Ocean—Atmosphere Models. Elsevier Science Publisher. 1985; 767
- 6 A E Gill. Atmosphere—Ocean Dynamics, Academic Press. New York. 1982; 662
- 7 Lau K M. Oscillations in a simple equatorial climate system. J Atmos Sci. 1981, 38; 248—261
- 8 Gill A E and Rasmusson E M. The 1982—1983 climate anomaly in the equatorial Pacific. Nature. 1983, 306; 229—234
- 9 McCreary J P. A model of tropical ocean—atmosphere interaction. Mon Wea Rev. 1983, 111; 370—387
- 10 Anderson D L T and J P McCreary. Slowly propagating disturbances in a coupled ocean—atmosphere model. J Atmos Sci. 1985, 42; 615—629
- 11 Hirst A C. Unstable and damped equatorial modes in simple coupled ocean—atmosphere models. J Atmos Sci. 1986, 43; 606—630
- 12 Zebiak S E and M A Cane. A model El Nino—Southern Oscillation. Mon Wea Rev. 1987, 115; 2262—2278
- 13 Schopf P S and M J Suarez. Vacillations in a coupled ocean—atmosphere model. J Atmos Sci. 1988, 45; 549—566
- 14 Battisti D S. Dynamics and thermodynamics of a warming event in a coupled tropical atmosphere—ocean model. J Atmos Sci. 1988, 45; 2889—2919.
- 15 Graham N E and W B White. The El Nino cycle: A natural oscillator of the Pacific ocean—atmosphere system. Science. 1988, 240; 1293—1302
- 16 Battisti D S and A C Hirst. Interannual variability in a tropical atmosphere—ocean model; Influence of the basic state, ocean geometry and nonlinearity. J Atmos Sci. 1989, 46; 1687—1712
- 17 Xie S P, A Kubokawa and K Hanawa. Oscillation with two feedback processes in a coupled ocean—atmosphere model. J Clim. 1989, 2; 946—964
- 18 Hirst A C and K M Lau. Intraseasonal and interannual oscillations in coupled ocean—atmosphere models. J Clim. 1990, 3; 713—725
- 19 McCreary J P and D L T Anderson. An overview of coupled ocean—atmosphere models of El Nino and the Southern Oscillation. J G R. 1991, 96; 3125—3150
- 20 Philander S G H, Pacanowski R C, Lau N C, Nath M J. Simulation of ENSO with a global atmospheric GCM coupled to a high—resolution, tropical Pacific Ocean GCM. J Climate. 1992, 5; 308—329.
- 21 Neelin J D, Latif M, Allaart M A F, M A Cane, U Cubasch, W L Gates, P R gent, M Ghil, C Gordon, N C Lau, C R Mechoso, G A Meehl, J M Oberhuber, S G H Philander, P S Schopf, K R Sperber, A Sterl, T Tokioka, J Tribbia and S E Zebiak. Tropical air—sea interaction in general circulation models. Climate Dynamics. 1992, 7; 73—104
- 22 Latif M, A Villwock. Interannual variability as simulated in coupled ocean—atmosphere models. J Marine Systems. 1990, 1; 51—60
- 23 Mechoso C R, M Fisher, M Ghil, M Halpern, M Spahr. Coupling experiments of an atmospheric and oceanic GCM. Proc Int TOGA Scientific Conference WMO. 1990; Technical Document NO 379, WCRP 43
- 24 Lau N C, S G H Philander, M J Nath. Simulation of ENSO—like phenomena with a low—resolution coupled GCM of the global ocean and atmosphere. J Climate. 1992, 5; 284—307
- 25 Meehl G A. Seasonal cycle forcing of El Nino—Southern Oscillation in a global coupled ocean—atmosphere GCM. J Climate. 1990, 3; 72—98
- 26 Barnett T, N Graham, M Canè, S Zebiak, S Dolan, J O'Brien, D Legler. On the prediction of the El Nino

- of 1986—1987. *Science*. 1988, 241:192—195
- 27 Barnston A G and C F Ropelewski. Prediction of ENSO episodes using canonical correlation analysis. *J Climate*. 1992, 5:1316—1345
- 28 Xu J S and H Storch. Principal oscillations patterns—prediction of state of ENSO. *J Climate*. 1990, 3:1316—1329
- 29 Latif M and N E Graham. How much predictive skill is contained in the thermal structure of the OGCM? *J Phys Oceanogr*. 1992, 22:951—962
- 30 Penland C, T Magorian. Prediction of Nino 3 sea surface temperature using linear inverse modeling. *J Climate*. 1993, 6:1067—1076
- 31 Inoue M, J J O'Brien. A forecasting model for the onset of El Niño. *Mon Wea Rev*. 1984, 112:2326—2337
- 32 Latif M, T P Barnett, M A Cane, M Flugel, N E Graham, H von Storch, J—S Xu, S E Zebiak, A review of ENSO prediction studies. *Climate Dynamics*. 1994, 9:167—179
- 33 Latif M and M Flugel. An investigation of short range climate predictability in the tropical Pacific. *J G R*. 1991, 96(C2):2661—2673
- 34 Graham N E, T P Barnett, M Latif. Considerations of the predictability of ENSO with a low—order coupled model. *TOGA Notes*. 1992, 7:11—15
- 35 Barnett T P, M Latif, E Kirk, E Roeckner. On ENSO physics. *J Climate*. 1991, 4:487—515
- 36 Cane M A, S E Zebiak, S C Dolan. Experimental forecasts of ENSO. *Nature*, 1986, 321:827—832
- 37 Climate Analysis Center, NOAA, US, 1990—1994, *Climate Diagnostics Bulletin*. National Oceanic and Atmospheric Administration published Bulletin