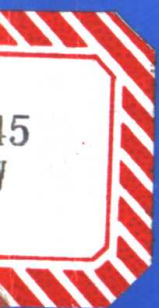
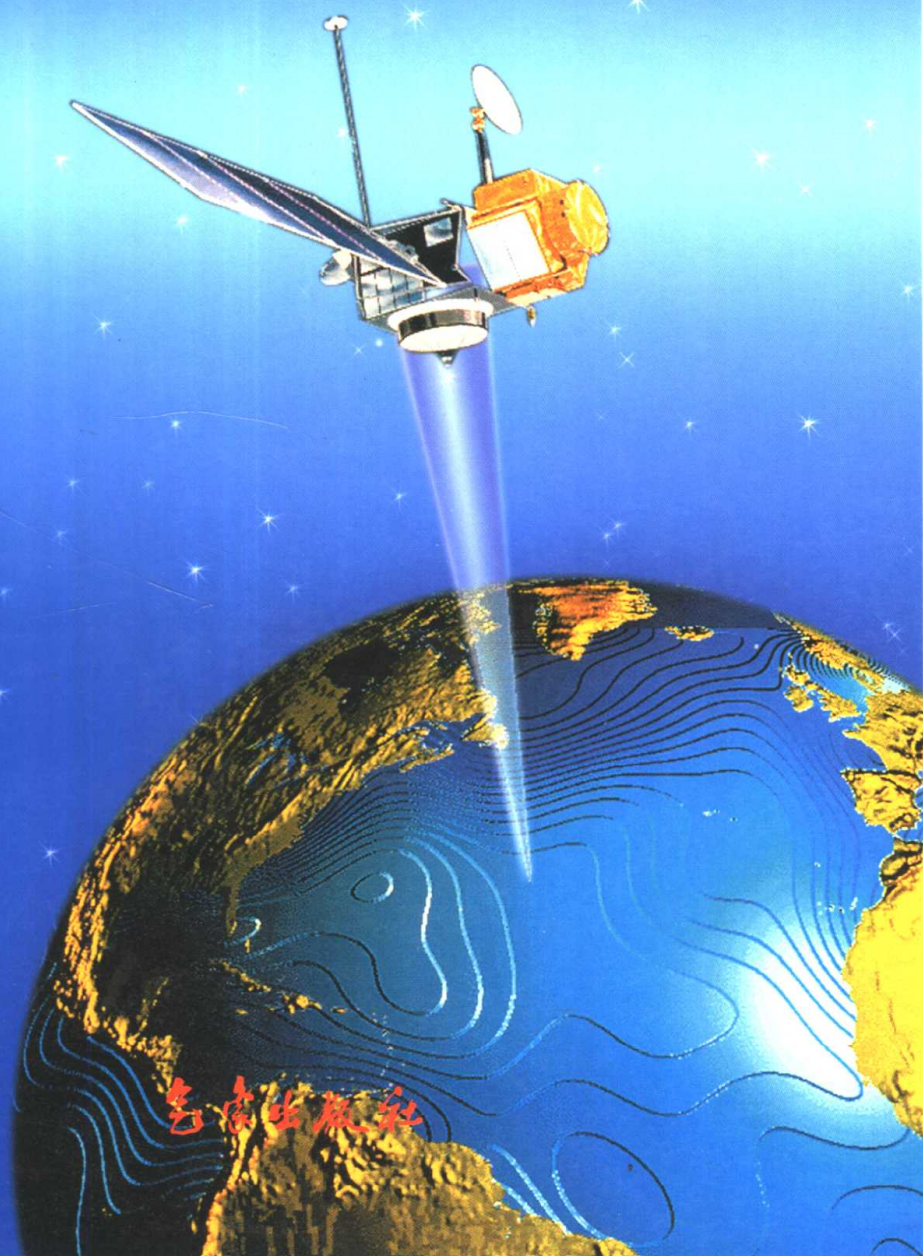


气候诊断与预测研究进展

1991 ~ 2000 年

王绍武 编著



气象出版社

ADVANCE IN CLIMATE DIAGNOSTICS
AND PREDICTION STUDIES IN 1991—2000

气候诊断与预测研究进展 1991~2000 年

王绍武 编著

气象出版社

内 容 简 介

本书介绍了美国自 1991 至 2000 年召开的 10 届气候诊断与预测年会中气候诊断与预测研究的最新成果。全书共分 11 章,第 1 章到第 10 章介绍每一届气候诊断与预测年会的主要情况及世界范围内气候诊断与预测研究的最新成果,第 11 章对近 10 年的气候诊断与预测研究进行了系统的总结。

本书可供气象学及气候学研究人员和广大师生在科研和教学中使用,还可作为自然科学和社会科学其它领域对当代气候研究进展感兴趣的人士参阅。

图书在版编目(CIP)数据

气候诊断与预测研究进展 1991~2000 年/王绍武编著. —北京:气象出版社,2001. 12

ISBN 7-5029-3288-7

I. 气… II. 王… III. 气候学—预测—研究—进展—世界
N. P46-11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 087035 号

气候诊断与预测研究进展 1991~2000 年

王绍武 编著

责任编辑:林雨晨 终审:周诗健

封面设计:李洪杰 责任技编:王丽梅 责任校对:谢志辉

*

气象出版社出版

(北京市海淀区中关村南大街 46 号 邮政编码:100081)

北京怀柔奥龙印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 全国各地新华书店经销

*

开本:850mm×1168mm 1/32 印张:6.75 字数:173 千字

2001 年 12 月第一版 2001 年 12 月第一次印刷

印数:1~1500 册 定价:15.00 元

前 言

1993 年出版了《气候诊断研究进展》一书,介绍了 1976~1990 年第 1 到第 15 届“气候诊断年会”。此后,自 1991 年到 2000 年又举行了 10 届年会。承《气象科技》杂志支持,依然每年按时刊登一篇文章,介绍年会中所反映出来的研究进展。如果把这些文章汇集在一起,会方便读者查阅,而且十年也是一个不短的时间了,回顾一下这段时期气候诊断与预测研究的进展显然是有益的。1995 年 9 月美国 NOAA 的气候分析中心(CAC)更名为气候预测中心(CPC)。1996 年 10 月的第 21 届年会也更名为“气候诊断与预测年会”。这充分说明了气候预测研究的进展,也反映出气候诊断与气候预测研究紧密的联系,所以本书也取名为《气候诊断与预测研究进展》。

坐下来仔细翻看大约十年前写的关于气候诊断研究的总结,发现确实十年来气候诊断与预测研究又有了很大进步。例如经过 TOGA10 年的研究,ENSO 预测有了成功与失败两个方面的经验教训,已日渐趋于成熟。气候资料整编工作已经有了系统性的成果,再分析资料已经向前延伸到 1947 年。这样人们就有了 50 年连续的高、低层大气及海洋全球格点资料,这是一个了不起的成绩。年代际变率又是一个新的课题,10 年以前人们还很少用到这个名词,现在年代际变率已成为 CLIVAR 计划第 2 个子计划的中心问题。20 世纪 90 年代之前,虽然已经开始了气候模拟的研究,但是大多数还只限于敏感性实验,很少能与气候变化的过程比较,现在则广泛地应用于气候研究,形成了模式诊断这一新的方向。仅仅举出这几个例子就可以看出 10 年来气候诊断与预测研究发生了多么大的变化。当我们回顾气候诊断年会的成果时,仅对某一年或某

个方面来讲也许感觉不到多大的进展,但是从更长时间来看,从总体上看,变化确实是惊人的。本书第十一章尝试作一个初步的小结,也可能不够全面,或者包含一些不恰当的评述,欢迎读者指正。

《气候诊断研究进展》一书中有一些错误。例如,在介绍第7届(1982年)会议上 Madden 的气候噪声定义时,有的符号就解释错了,把平均值 μ 也当作了方差,有的同志给出了热情的指正,对于这些错误给读者带来的不便深表歉意。实际上,类似的错误还有,例如复活节岛,自己就曾错译为东方岛,幸亏发现得早,及时作了更正。因此,本书中也可能还有这样那样的错误,或者一些新名词翻译的不当。对此,请读者不吝指正,作者在此预先表示感谢。

谢志辉博士对本书进行了细心校对和主题词索引,陈振华作了文字录入,在此深表谢意。

本书的出版得到了《国家重点基础研究发展计划》“我国重大气候和天气灾害形成机理和预测理论的研究”(G1998040900)项目及自然科学基金重点项目《20世纪中国与全球气候变率研究》(No. 49635190)资助。

王绍武

2001年9月于北京大学

目 录

前言

第一章 第 16 届(1991 年)气候诊断年会	(1)
§ 1.1 全球温度变化	(1)
§ 1.2 全球降水变化	(3)
§ 1.3 ENSO 的预报	(6)
§ 1.4 QBO 与 ENSO	(9)
§ 1.5 长期数值预报	(11)
§ 1.6 统计长期预报	(14)
第二章 第 17 届(1992 年)气候诊断年会	(19)
§ 2.1 全球气候变化趋势	(19)
§ 2.2 1991~1992 年的厄尔尼诺事件	(22)
§ 2.3 ENSO 的长期变化	(24)
§ 2.4 海气相互作用	(26)
§ 2.5 40~50 天低频振荡	(29)
§ 2.6 QBO 及其气候影响	(31)
§ 2.7 长期数值预报	(33)
第三章 第 18 届(1993 年)气候诊断年会	(36)
§ 3.1 气候变化趋势	(36)
§ 3.2 ENSO 对降水的影响	(39)
§ 3.3 QBO	(41)
§ 3.4 降水观测与降水变化	(43)
§ 3.5 海气相互作用	(45)
§ 3.6 气候模拟	(47)
§ 3.7 气候预测	(50)
第四章 第 19 届(1994 年)气候诊断年会	(54)

§ 4.1	1993~1994 年气候异常	(54)
§ 4.2	气候变暖	(57)
§ 4.3	大气环流的低频变化	(59)
§ 4.4	ENSO 与亚洲季风	(61)
§ 4.5	可预报性研究	(63)
§ 4.6	下垫面对气候的影响	(67)
§ 4.7	气候预报业务	(69)
第五章	第 20 届(1995 年)气候诊断年会	(72)
§ 5.1	全球变暖	(72)
§ 5.2	ENSO 及其对外热带的影响	(76)
§ 5.3	全球降水分析	(78)
§ 5.4	年代际气候变率	(80)
§ 5.5	ENSO 预测	(83)
§ 5.6	数值预报	(85)
§ 5.7	统计预报	(86)
§ 5.8	气候模拟	(88)
第六章	第 21 届(1996 年)气候诊断与预测年会	(91)
§ 6.1	当前的气候异常	(92)
§ 6.2	亚洲季风与 ENSO	(94)
§ 6.3	年代际气候变率	(97)
§ 6.4	两周到月尺度数值预报	(100)
§ 6.5	季度数值预测研究	(102)
§ 6.6	热带地区的统计预报	(106)
§ 6.7	气候预报业务	(108)
第七章	第 22 届(1997 年)气候诊断与预测年会	(111)
§ 7.1	1997 年的厄尔尼诺预报	(112)
§ 7.2	年代际气候变率	(114)
§ 7.3	美洲季风与亚洲季风	(115)
§ 7.4	季度气候预测	(118)

§ 7.5	可预报性研究	(122)
第八章	第 23 届(1998 年)气候诊断与预测年会	(127)
§ 8.1	1997~1998 年厄尔尼诺	(128)
§ 8.2	1997~1998 年 ENSO 的预测	(130)
§ 8.3	ENSO 影响的研究	(132)
§ 8.4	ENSO 的年代际变率	(134)
§ 8.5	年代际气候变率	(136)
§ 8.6	气候预测业务	(139)
§ 8.7	气候可预报性研究	(140)
第九章	第 24 届(1999 年)气候诊断与预测年会	(144)
§ 9.1	气候诊断	(145)
§ 9.2	季节内振荡	(149)
§ 9.3	ENSO 影响	(151)
§ 9.4	夏季风降水	(154)
§ 9.5	季度预测	(157)
§ 9.6	气候与疾病及健康	(160)
第十章	第 25 届(2000 年)气候诊断与预测年会	(162)
§ 10.1	最近的 ENSO 特征	(162)
§ 10.2	气候异常的诊断	(164)
§ 10.3	季风降水	(167)
§ 10.4	ENSO 预测	(169)
§ 10.5	ENSO 影响的模拟	(172)
§ 10.6	陆面过程影响	(174)
§ 10.7	模式预测和可预报性	(176)
§ 10.8	气候预测业务	(179)
第十一章	近十年气候诊断与预测研究进展	(183)
§ 11.1	全球气候变暖	(183)
§ 11.2	ENSO 与 ENSO 预测	(186)
§ 11.3	年代际气候变率	(188)

§ 11.4	QBO	(191)
§ 11.5	夏季风降水.....	(193)
§ 11.6	气候模拟.....	(196)
§ 11.7	季度气候预测.....	(198)
§ 11.8	气候可预报性研究.....	(201)
主题词索引.....		(204)

第一章 第 16 届(1991 年)气候诊断年会

美国第 16 届气候诊断年会于 1991 年 10 月 28 日~11 月 1 日在加利福尼亚大学洛杉矶分校(UCLA)召开,到会 88 人,发表论文 85 篇,共分 10 个组:

1. ENSO	6 篇
2. 低频变化	13 篇
3. 平流层	3 篇
4. 海洋环流	7 篇
5. 海气相互作用	7 篇
6. 当代气候	7 篇
7. 全球气温变化	11 篇
8. 水文与降水	9 篇
9. ENSO 预报与季节预报	8 篇
10. 气候预报	14 篇

下面分 6 个问题介绍会议的主要内容。

§ 1.1 全球温度变化

全球气候变暖仍然是受到广泛关注的问题。Wigley 等指出 1990 年为有观测记录以来最暖的 1 年。1990 年 3 月是最暖的 1 个月。Robinson 等(1991)认为这个月气候暖的主要原因是雪盖退得早。1991 年估计气温要稍低一些。其一个原因可能是菲律宾皮纳图博火山爆发。根据 Sear 等(1987)的研究,大约强火山爆发之后 2 个月气温下降,最大可下降 1.2 方差。考虑到 8~12 月的影响,可能使年平均气温下降 0.07 C。因此,可能相当第 2 个暖年或第 3

个暖年’。

Belokrylova 等根据全苏联(前)243 个站的气温观测比较了 1931~1960 年与 1961~1990 年两个 30 年,发现全苏联(前)平均后 30 年上升 0.3°C 。但主要在冬半年,11~3 月上升 0.7°C ,而夏半年变化为 0。分地区来看, 60°N 以北不仅未上升,还有所下降。新地岛到太梅尔半岛之间下降 1.0°C ,最大下降 1.3°C ,但 60°N 以南气温普遍上升。哈萨克斯坦上升最多,中心达到 1.2°C 。把前苏联分为北部、东南部及西南部,后 30 年—前 30 年的气温变化为 -0.2°C 、 0.8°C 及 0.9°C 。据 Bulygina 等的报告,1988~1989 年及 1989~1990 年冬是近百年来前苏联两个最暖的冬季。全苏平均 11~3 月气温距平均为 2.1°C ,其中 1989 年 2 月为 4.0°C ,1990 年达到破记录的 5.0°C ,为该月的方差(1.8°C)的两倍以上。即使从年平均气温来看,1989 年与 1990 年也是近百年来最暖的两年。气温距平均为 1.3°C 。

Dettinger 与 Ghil 分析了美国的气温变化,共用 870 个站,对观测时间及城市扩展的影响做了订正。然后用最优插值法,插到 131 个格点,格点距 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ 。自 1910 年到 1987 年共 936 个月,做经验正交函数分析。前 5 个特征向量占总方差 85%,其特征分别为:(1)全国一致(占总方差 39%);(2)东西相反(27%);(3)南北相反(10%);(4)中部与东部及西部相反(5%);(5)西北、东南与西南、东北相反(4%)。EOF1 的时间系数表明,1915~1935 年美国气温上升 0.4°C ,然后到 1970 年代中又下降 0.3°C ,1970 年代中之后又回升。此外,EOF5 有一定变化趋势,即东北、西南气温上升,西北、东南气温下降、其余各特征向量有 30~60 周期、23 年周期及 10.4 周期,也有更短一些的如 5.4 年、3.3 年及准两年周期。

• 实际情况是 1991 年的全球平均气温仅次于 1990 年,成为有观测记录以来的第 2 个暖年。1991~1992 年冬,北美、欧亚大陆北部显著正气温距平。但南亚到地中海为负距平。是否这与火山爆发有关,还要继续监测。

Sezginer 及 Ghil 研究了全球海平面高度变化。气候变暖海水膨胀,冰川融化故海平面上升,但是陆面也有垂直运动,主要是冰后期陆地反弹以及大地构造变化。全球 846 个潮位站对陆面垂直运动进行订正后有 183 个可用。发现除短期振荡外,上升趋势为 $1.8 \pm 0.3 \text{ mm/a}$ 。这也是对全球气候变暖的一个有力旁证。

O'Lenic 等研究了用 700hPa 高度来计算地面气温。这种方法称为规范化(Specify)。一般用 3~4 个高度因子拟合一个站的月平均气温距平。用 1948~1981 年的资料对 109 个站建立规范方程,发现用这个方程拟合的气温,1988 年以来一直偏低。对 24 个受城市扩展影响比较小的站做分析,得到相同的结论。因此,这可能不是城市扩展的结果,很可能与温室效应有关。

在分析温室效应对全球气温的影响时,Wigley 等指出,对流层 SO_2 气溶胶可能使地面气温下降,产生与温室效应相反的结果。因为硫化物气溶胶可以通过两种途径使地面变冷:在海上形成更多的小云滴,增加云的反照率。在无云区硫化物凝结核本身的后向散射减少入射的太阳辐射。Wigley 等(1989)估计可能在 20 世纪造成 -1.5 W/m^2 的辐射强迫。而 Charlson 等(1991)估计为 -1.1 W/m^2 。硫化物气溶胶主要是 1950 年代中期之后才大量增加。以后烟囱加高又使气溶胶在大气中停留的时间增加。但这个因素可能在南半球影响不大。比较影响 $>2 \text{ W/m}^2$ 的地区与 10°N 以南影响不大地区的气温。发现确实前一地区比后一地区气温低。

§ 1.2 全球降水变化

1980 年代是有观测记录以来最暖的 10 年。据 Ropelewski 与 Halpert 分析,北半球主要是冬半年暖。12~5 月平均气温距平(图 1.1(a))表明,变暖最大的亚洲北部、加拿大西北部。但格陵兰为负距平,冰岛、阿留申群岛地区亦为负距平。夏半年只有北非及南欧为正距平(图略)。南半球则冬夏差别不大,主要是副热带变暖。

但是,要对 1980 年代降水距平分布做出归纳就很困难了。分季来看北半球冬季(12~2 月)、北美及亚洲中部为负距平,即暖干气候。春季(3~5 月)则不同,北美西部多雨,东南部少雨,地中海地区也少雨。夏季(6~8 月)则萨赫勒干旱突出(图 1.1(b)),10 年平均低于分布的 30% 概率。干旱区向南一直伸展到西非沿岸。此外,从中国东北部到东南亚亦少雨。即季风区除印度降水接近正常外,普遍少雨。秋季(9~11 月)东南亚及萨赫勒地区继续少雨,北美包括美国多雨(图略)。

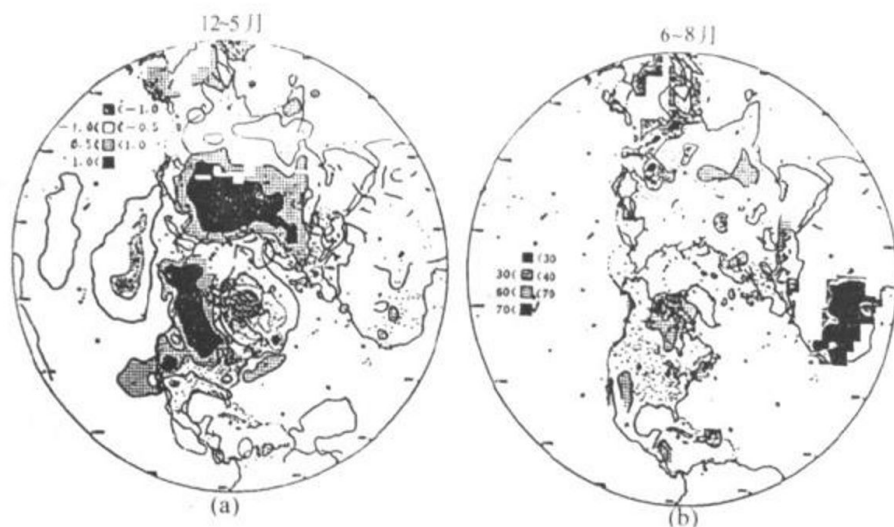


图 1.1 1980 年代冬半年(12~5 月)气温高斯概率百分比(a)及夏季(6~8 月)降水量概率 p 百分比(b)(Ropelewski 和 Halpert)

Nicholson 分析了 20 世纪以来的非洲降水量变化。指出近 20 年中南萨赫勒最早,无任何一年为正距平。北萨赫勒 1988 年、1989 年为正距平,1976 年及 1979 年也是正距平,不过正值均不大。苏丹—几内亚 1978 年为正距平。几内亚沿岸 1988、1989 年及 1979 年为正距平。但西非所有各区 1990 年又均为较大负距平。这表明持续 20 年的西非干旱曾在 1988 年及 1989 年一度缓和,但目前仍很难说干旱期已经结束。图 1.2 给出 1970 年代及 1980 年代非洲降水距平。可见 1970 年代南非多雨、西非干旱,1980 年代则几乎全非洲干旱。

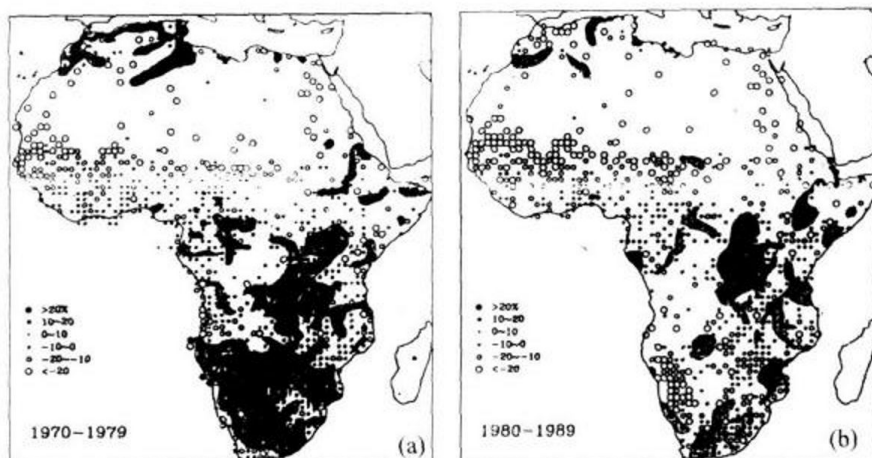


图 1.2 1970 年代(a)及 1980 年代(b)非洲降水距平百分比(Nicholson)

此外,关于降水量变化的研究仍然集中在与 ENSO 的关系上。Aceituno 与 Rutllant 研究了智利降水与风的关系,发现降水比中太平洋的风的变化超前 2 天。赤道中太平洋为西风时,南太平洋副热带高压弱,而东南太平洋高纬气压高。这种阻塞形势对厄尔尼诺冬季讲是很典型的。Sperber 与 Hameed 分析了巴西东北部降水与海温的关系,指出赤道东太平洋与北大西洋 SST 同降水有负相关,南大西洋为正相关。根据 1950~1985 年资料,降水有 3.6 年周期,也有 6 年、9~12 年周期,而 QBO 很小。但据 Hastenrath 与 Kaczmarczyk 研究,1921~1972 年间 QBO 占较大优势。这表明降水变化的周期性可能随时间改变。三个地区的海温也有类似的周期性,不过强度不同。但用南、北大西洋海温的差可以说明 80% 的降水方差。

Ropeleuski 与 Halpert(1986),厄尔尼诺年冬季美国东南部降水多,夏季大峡谷降水多。Epstein 根据 1900 年以来 116 个站的逐日降水量研究厄尔尼诺年降水多是由于降水量大或者是雨日多。结果发现主要是降水量大,但南部高原夏季降水频率也增加。Nicholson 与 Palao 研究了非洲降水与 ENSO 的关系,指出只有西北萨赫勒 8~9 月降水可能与厄尔尼诺有关。其它非洲地区降水与

ENSO 关系不明显。但西非降水与几内亚湾及其以西海域的海温关系较好,海温高萨赫勒降水少,但几内亚沿岸降水多。

Rasmusson 与 Mo 研究了热带与热带外的遥相关,指出除了冷的大西洋及东太平洋以外,存在一个热带向东向极地伸展的云带(tropical-extratropical cloud bands,缩写为 TECB)。不少作者曾指出这时热带与热带外地区相互作用的主要指标。当对流层上层的高空槽与急流接近赤道与深对流区衔接就会出现这种现象。无论气候平均,还是 1~5 天的天气扰动或年际变化均有此特点。Rasmusson 与 Mo 比较了 1987 年 1~3 月及 1989 年 1~3 月,前者代表暖事件,后者代表冷事件。可以很明显地看到热带-热带外辐散带(tropical-extratropical divergence zones,缩写为 TEDAZ)的异常。暖事件—冷事件的特点是:(1)赤道东太平洋暖,28°C 线东移到 160°E~150°W;(2)200hPa 赤道为辐散,30°N 及 30°S 有辐合中心;(3)Hadley 环流的下沉支在 30°N 及 30°S;(4)下沉支上空有涡度源;(5)涡度源的下游西风分支;(6)西风侵入较低纬度赤道强对流区的东部;(7)TEDAZ 从赤道东太平洋穿过墨西哥,到达墨西哥湾;(8)TEDAZ 向热带外扩展,造成涡度异常。同时 Mo 与 Kousky 分析了 1979~1990 年的 5 天平均 250hPa 流函数及 OLR,证实 TEDAZ 是与 ENSO 有关的一个重要分量。

§ 1.3 ENSO 的预报

Graham 等对 Cane 等的简化耦合模式预报 ENSO 的能力做了一个很好的分析。用实测风应力作外强迫,计算 SST,这样就构成一个计算的 SST 场。按道理讲,这个场也包括了模式积分的系统误差。取 1967 年 1 月到 1990 年 12 月作初始场,共做 288 次预报。每次报 24 个月,把预报结果与计算的 SST 场(Nino 3 区)比较(图 1.3 粗实线与虚线),发现相关系数还不如与观测的 SST 场(图 1.3 细实线)大。特别在 4~5 个月之后用实测 SST 来检查预

报,比用计算的 SST 效果好(图 1.3)。这表明模式中有增长很快的误差。Blumenthal 与 Cane(1989),Goswami 与 Shukla(1991)都讨论过这个问题。他们认为模式误差受两种过程控制:一种时间尺度较小,大约 4~5 个月加倍,称为快变过程,另一种为慢变过程,大约 15 个月加倍。后者形成准周期振荡,模式的长期预报能力即依赖于此。预测与实测 SST 更为接近,说明用实测风应力强迫形成的 SST 序列中有高频误差。接下来作者用统计动力模式 SDCM 从 SST 场计算风应力,发现对预报改进不大。因此认为对这样一个简化耦合模式,初始场的动力信号有重要意义。

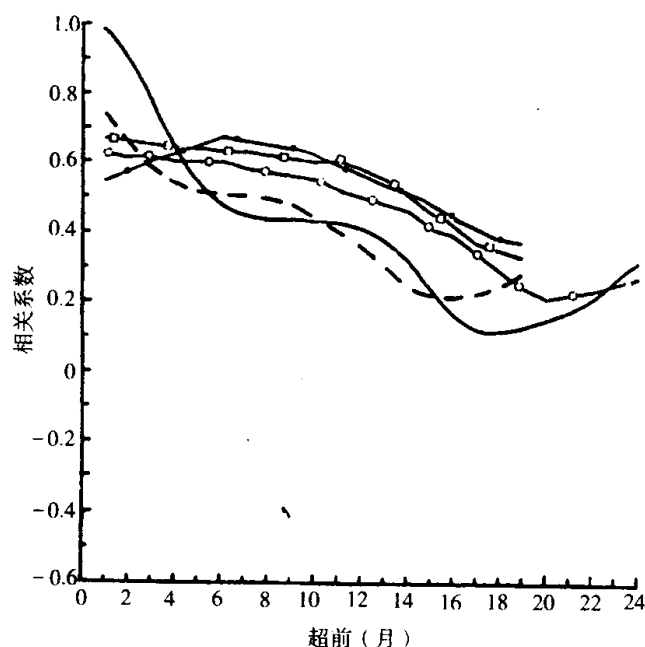


图 1.3 288 次 Nino 3 区 SST 预报与实况的
相关系数(Graham 等)

Miller 等比较了四种 ENSO 预报模式的预报结果,即 Lamont 模式(Zebiak 和 Cane,1987),MPIZ 模式(Latif,1987),OPYC 模式(Oberhuber,1986,1991;Miller 等,1991),及 GFDL 模式(Philander 和 Siegel,1985),对 1970~1985 年做回报(hindcast)

检查。Lamont 模式是一个浅水方程模式,预报洋流与斜温层深度。其余三种全是 GCM。MPIZ 及 GFDL 为 z 坐标,垂直混合依赖于雷恰森数。OPYC 垂直方向为 8 个等比重层,与表层湍流边界混合层模式,用相关系数及异常相关* 来检查。计算风与 SST, SST 与垂直混合、经向平流、纬向平流,及热通量的典型相关(canonical correlation),从预报的 SST 来看,Nino 4 区 GCM 报得较好,因为那里 SST 在更大程度上决定于局地风应力。Nino 3 区 SST 主要受赤道波传播的影响。在这个区 GCM 的预报仍简化模式好,尽管 Lamont 模式也较 Nino 4 区的预报有改善,但在 Nino 2 区则 Lamont 模式预报最好。局地 SST 预报相关系数达到 0.7 以上。典型相关分析表明,Lamont 模式赤道东太平洋 SST 与上翻关系最好。同时与赤道中太平洋的纬向平流及赤道东太平洋两侧的经向平流关系密切。MPIZ 及 OPYC 模式反映,赤道中太平洋 SST 与三个因子关系都好,但 MPIZ 集中在中、西太平洋,OPYC 在东太平洋。Lamont 模式 Nino 2 区报得最好,说明该模式上翻作用考虑得好。

Penland 与 Magorian 介绍了他们预报 ENSO 的线性反演模式。这是一个统计模式。对太平洋、印度洋及全球热带海洋分别做 EOF,取前 10 个 EOF 作预报因子。报下一个时刻、再报再下一个时刻。用 1950 年 1 月到 1984 年 12 月建立预报方程,用 1985 年及其以后的资料做检验,发现预报时效可达 9 个月,主要预报 Nino 3 区 SST。各种预报时效的预报误差均低于持续性预报,但用 20 个 EOF 作预报因子反而不如用 10 个 EOF,这说明用的因子愈多,产生的噪声也愈大。用三个大洋中的任何一个都关系不大。不过由于模式是线性的,因此,预报出来的距平符号是衰减的。结果预报的 SST 的冷期及暖期都不够长。

* 异常相关 $S = 1 - \epsilon^2/T_0^2$, $\epsilon = T_m - T_0$, T_m 与 T_0 分别为模拟及观测的 SST。