

我国短期气候预测业务系统

丁一汇

(国家气候中心,北京 100081)

提 要

中国第一代短期气候监测、预测、评价和服务业务系统主要由6个部分组成:数据库、动力气候模式系统、气候监测诊断系统、短期气候预测系统、气候影响评价系统与气候应用服务系统。在建立短期气候业务系统过程中,主要获得了三方面的成果:第一,揭示出影响中国气候异常的最强气候信号是厄尔尼诺事件、高原积雪和季风;第二,发展并建立了复杂的全球与区域动力气候模式预测系统,该系统包括T63L16全球大气环流模式、高分辨率区域气候模式、T63L30全球海洋模式和海冰模式、太平洋和印度洋高分辨率海洋模式和厄尔尼诺预测模式;第三,在高性能计算机和网络的支持下建立了完整的业务应用系统,不仅可提供短期气候预测信息,而且可以快速、客观、准确地给出气候变化对水资源、农业、林业、交通、电力、重大工程等国民经济重要部门和关键地区的影响,及时为决策部门提供决策服务。1998年开始应用以来,国家和大区两级整体预报水平比“九五”以前20年平均提高了6%~10%。但对区域性强洪涝事件的预报能力偏低,尚需进一步提高。

关键词: 短期气候预测 气候监测 气候模式

引 言

随着我国国民经济迅速的发展,国家不但需要更准确的中短期天气预报,而且还迫切需要更长时期的气候预测,尤其是国家计划、农业、水利和防灾减灾等部门。

短期气候预测是国际大气科学和地球科学领域的前沿课题,也是极其困难的跨学科难题。表1是气候预测与天气预报的比较,由表可见,短期气候预测当前面临三大方面的难题,首先是预报的时间长度很长,天气预报一般是1~7天,而短期气候预测需预测未来1个月,1个季和下一年的气候变化。时间越长,不确定因素越多,预测的难度越大。第二是它们所依据的预报原理不同,对天气预报,只要知道了大气的初始状况,就可以用一套描述大气运动的方程组来预测未来的天气,它涉及的主要是大气圈;而气候预测则不同,它是从全球各圈层的变化及其与大气圈的相互作用来预测未来的气候变化,因而它

表1 气候预测与天气预报的比较

预报类型	天气预报	短期气候预测
时间尺度	1~7天	月、季、年
预报对象	每天的天气现象	长时期天气的统计平均状况(干湿冷暖及异常)
预报原理	从已知大气初始状态预测未来天气	从全球各圈层的变化及其与大气圈的相互作用预测未来气候
所需资料	大气圈	五个圈层(大气、岩石、生物、冰雪和水圈)
主要难点	海洋、高山、沙漠地区等大气观测资料缺少	五大圈层资料明显不足,预测理论问题未完全解决

涉及的是地球上的5个圈层,即大气圈、岩石圈、生物圈、冰雪圈和水圈。它所用的方程组极其复杂,而且从数学和物理上如何正确表征各圈层相互作用,还没有完全解决。因而面临着预测理论的困难,所以短期气候预测

不能沿用中短期天气预报的原理与方法,必须面对整个复杂的气候系统及其变化研制新的理论和方法,它的技术水平也受到其它相关学科发展的制约和限制。第三是资料和数据不足,由于气候预测需要各圈层即整个气候系统的资料,因此困难比天气预报要严重得多。

进一步,中国的短期气候预测具有更大的科学难度,中国由于有青藏高原、亚洲季风和太平洋与印度洋的共同影响,气候成因极其复杂和特殊,一般性气候理论和方法不能解决中国的气候预测问题,必须根据中国的气候特点,研究适用于中国的气候预测理论与方法。图1(见封三)说明了影响中国气候的主要因子,可以看到不但要考虑太平洋和印度洋的影响,还要考虑欧亚积雪,青藏高原与陆面状况的影响,以及大气环流本身变化等一系列因子的作用。

1 中国短期气候预测业务系统的建立

中国的短期气候预测(过去称长期天气预报)有近50年的历史,很多科学家为此作出了大量工作。但从预测方法来看,主要是经验和统计方法。预测结果常常不够稳定。气候模式的研究虽然起步也很早(主要是中国科学院大气物理所),并且也进行了试验性预报,但没有建立国家级业务化的动力预报系统。因而根据中国快速发展的国民经济的需要和国际的发展趋势,国家科技部在“九五”期间(1996~2000年)设立了“我国短期气候预测系统的研究”攻关项目,由于该项目具有重大社会科学意义和科学难度,被列为“九五”期间16个“重中之重”攻关项目之中。

通过全国400多位科学家(其中有5位院士和近80位教授和研究员)五年攻关研究,实现了攻关的总目标,建立了国家和地区两级第一代短期气候监测、预测、评价和服务业务系统,至今已成功运行了三年。系统的预测能力和准确性比过去有明显增强,客观化、定量化、自动化水平大大提高,为国内外用户提供了14种以上的气候产品,大大提高了我国气象业务现代化整体技术水平。

攻关的关键科学问题有三个,作为研究的切入点,首先根据长期资料的分析寻找有先兆意义的预测因子和气候信号,据此研制基于统计关系但有明确物理依据的预测模型。第二是根据揭示的预测信号设计和研制可用于我国业务预报的气候模式系统。它能合理包含上述影响中国气候变化的各种主要物理过程。由于这个问题具有很大的科学难度,因而这是攻关的核心部分。第三也是最后目标,是把研究的各部分在巨型计算机上进行科学集成、总装和运行,有机地形成一个用于气候业务监测、预测、灾害评估和服务的综合业务系统。

图2是2001年该系统建立时主要内容概图。这个综合系统由6个部分组成:数据库、动力气候模式系统、气候监测诊断系统、短期气候预测系统、气候影响评价系统与气候应用服务系统。每个系统又包括多方面的内容。这个综合系统作为一个业务系统具有先进性、稳定性、系统性、实用性和可扩性。

2 主要科学成果

在建立短期气候业务系统过程中,进行了大量前沿性的科学研究,其中有不少涉及气候领域中的科学难题,概括起来所获得的主要科学成果主要有三个方面^[1~6]。第一是揭示出影响中国气候异常的最强气候信号是厄尔尼诺事件,高原积雪和季风。根据这些信号已研制出新的物理概念预测模型,为我国气候预测提供了有物理依据的新思路和实用方法。过去对厄尔尼诺信号能否和如何影响中国降水的问题国际上知之甚少。从近期国外发布的厄尔尼诺事件对世界各地气候异常影响图上可见到这一点。我们的研究发现,厄尔尼诺现象对中国降水有重要影响,但其主要不在发生的当年,而是次年我国北方及长江流域以南多雨,黄淮地区少雨,呈现南北两条雨带的分布(图略)。对青藏高原如何影响中国气候的问题也进行了大量研究,发现由于全球变暖,虽然欧亚积雪不断减少,但青藏高原冬季的积雪在不断增加(图略)。它对中国气候的影响在不断加强,特别是它明

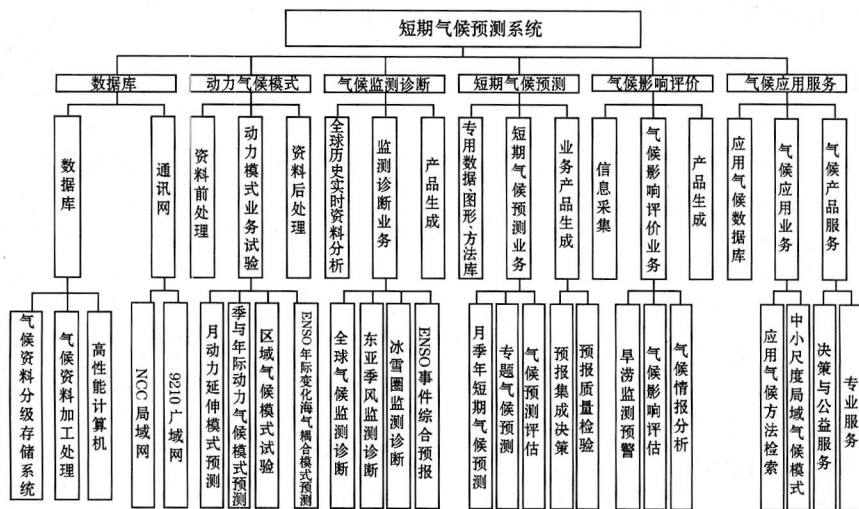


图2 中国短期气候业务系统主要内容概图(取自项目研究总结报告,2003)

显地影响中国夏季的降水。从近40年青藏高原积雪与中国夏季降水的相关图(图略)可见,青藏高原前冬积雪多,长江流域及华南多雨,北方少雨。还发现,南海季风爆发早晚与以后夏季降水有很好的负相关关系,季风爆发早,雨带偏北;爆发晚,雨带偏南。南海季风强,雨带偏北;反之则偏南(图略)。上述前兆气候信号的发现,明显增强了业务应用的可靠性和准确性,也为我们设计和研制气候模式系统,提供了基本指导和实际数据。

成果的第二点,也是核心部分,是发展并建立了复杂的全球与区域动力气候模式预测系统。该模式系统包括五个模式(图3),即T63L16全球大气环流模式、高分辨率区域气候模式、T63L30全球海洋模式和海冰模式、太平洋和印度洋高分辨率海洋模式和厄尔尼诺预测模式。这是通过国内这个领域中许多著名科学家的联合攻关完成的。与国际上同类型模式相比,我们研制的气候模式有下列特点:用新的日通量距平耦合和三维嵌套方法实现了气候系统中主要圈层的耦合及不同用途模式的嵌套,稳定和合理的动力框架,复杂和先进的物理参数化方案与青藏高原大地形的合理处理方法,更精细、合理的积雪模式和陆面过程模式;较高的垂直与水平分辨率,相匹配的多种资料同化分析系统。

上述成果的应用解决了国内外气候模式普遍存在的下列问题:(1)保证了气候模式系统能够稳定和准确的长期积分,这是制作气候预测的必备前提;(2)基本消除了海气耦合模式常有的气候漂移,也即系统性误差;(3)消除了由青藏高原大地形处理不当造成的大范围虚假降水;(4)用高分辨区域模式,更精细预测中国雨带的移动和降水强度,弥补了全球模式预报较粗的缺点;(5)可更准确地预测厄尔尼诺的发生与衰减趋势。作为一个例子,澳大利亚和加拿大的气候模式都在中国中部地区模拟和预报出大范围虚假的降水区。这主要是由于青藏高原大地形处理不当引起。本项目研制的气候模式由于引入了中国科学家研制的重力扣除法等新技术方案大大减少了这种虚假降水预报,从而提高了降水预报的可信性。

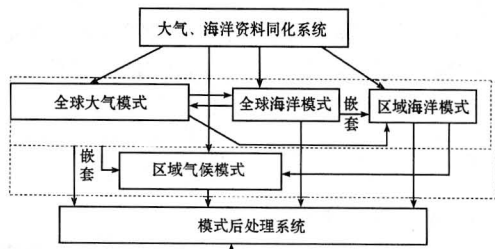


图3 短期气候预测动力模式系统结构图

根据我们的气候模式所做的20年历史

回报,海表问题的预报是很成功的(图4,封三),尤其是热带中东太平洋地区。这反映对 ENSO 事件有相当的预测能力,这一点是很重要的,因为影响中国气候异常主要的气候信号之一是来自于 ENSO 事件。汛期降水的距平相关系数,全国平均为 0.08(图5,封三),在旱涝多发的长江流域和华南地区高达 0.12~0.36。这与国际上是可以相比的(0.07~0.20)。值得提出的是,对 1998 年夏季长江大暴雨/洪水的预报。当时我们用初步研制成的气候模式提前 3 个月对 1998 年夏季中国大暴雨/洪水作出了正确预报(图6,封三)。而同时期著名的国际气候预测研究院(IRI)对亚洲 1998 年夏季降水的预测结果是:长江大暴雨未报出;东北报反。其他几年的预报情况这里就不再给出了。2003 年中国夏季的淮河暴雨和长江与华南的持续高温,虽然中国气象局通过对多家预报结果综合后对外发布的 2003 年汛期降水预报,没有报出 6 月下旬到 7 月上旬的淮河暴雨洪涝,但用本项目研制的高分辨率区域气候模式预报的淮河暴雨获得了成功(图7,封三)。这种模式的分辨率(60km)比全球气候模式(200km)提高 3 倍,有一定能力预测降水区的细致分布与中尺度系统的作用。

成果的第三点也是本项目的突出特点,是通过不同部委的合作攻关,本系统在高性能计算机和网络的支持下建立了完整的业务应用系统,可以满足国民经济多部门的需求。它不仅提供短期气候预测信息,而且可以根据预测的气候情景,快速、客观、准确地给出气候变化对水资源、农业、林业、交通、电力、重大工程等国民经济重要部门和关键地区的影响,及时为决策部门提供决策服务。在分布式异构数据库技术、跨平台的软件开发技术和系统集成等方面均有突出的创新点。

3 预报水平的评估

1998 年开始应用以来,国家和大区两级整体预报水平比“九五”以前 20 年的平均提高了 6%~10%。预测与实况的相关系数提

高了 0.07。特别是 1998 年长江全流域的严重暴雨洪涝和近 3 年北方地区的少雨干旱以及厄尔尼诺预报,冬季暖冬的预报,都相当成功。表 2 给出了攻关前后预报水平的比较。这是项目专门设立的一个预报水平评估组全程跟踪项目的进展而得到的结果。攻关前预报准确率为 59%~65%,相关系数为 0.05,美国为 0.06。攻关后对国家和大区两级平均,准确率提高了 6%~10%,相关系数达到了 0.12,与一些先进国家的水平相当(0.07~0.20)。特别值得一提的,最近几年来我国北方蒙受了连续的严重干旱,尤其是 2000~2002 年出现了三年连旱。从表 2 中可以看到,我们的预报系统对干旱预报准确率更高,达 77.08%,相关系数达 0.15。这个结果是很容易理解的,因为我们研制的气候预测系统主要的预测能力是表现在预测大范围、持续性的气候异常方面,而干旱正具有这种特征。

表 2 预报水平的比较(月与季降水预报)

预报指标		准确率	距平相关系数
攻关前	国内	59%~65%(1978~1997)	0.05(1988~1997)
	国际		0.06(美国,1959~1988)
攻关后	国内	62%~70%(1998~2000) 66.5%(1998~2003) 北方干旱:77.1%	0.12(1998~2003) 北方干旱:0.15
	国际		0.07~0.20 (美国等国,个别年)

* 资料不完全

最近 6 年(1998~2003 年)在国家气候中心制作的汛期降水预报水平的总结表明,正确预报的年份有 4 年,即 1998、2000、2001 和 2002 年;区域性严重洪涝未报出的年份有 2 年,即 1999 和 2003 年,这两年分别在太湖和淮河地区发生了短时期的强暴雨/洪涝。这表明本项目研究的预报系统的预报能力表现在对大范围长时期旱涝趋势预报较好,而对短时、区域性暴雨洪涝的气候预报能力较差。

厄尔尼诺预报在国际上也是衡量一个国家气候预测水平高低的指标。用项目研究的模式,我们成功地预报了自 1997 年以来发生的所有厄尔尼诺和拉尼娜事件(图 8)。从表

征厄尔尼诺事件的热带东太平洋海表温度的预测精度看,趋势十分一致,量值差别也不太大,相关系数达到了0.7。根据20世纪最强的厄尔尼诺事件(1997.6~1998.10)预报检查结果和对比,则我们预报的相关系数为0.78,明显高于国外模式预测的结果。

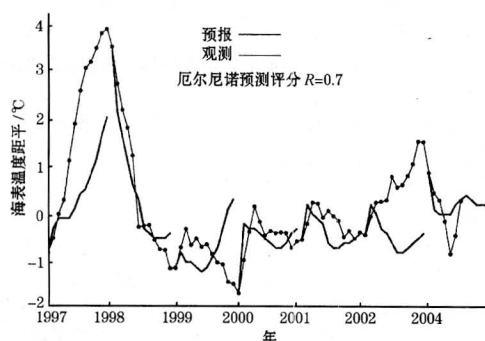


图8 热带东太平洋海表温度预测与实况的比较(1997~2003年1月预报的Niño3区海表温度距平)(李清泉提供)

4 应用推广和社会经济效益

从1998年开始,研制的综合业务系统已逐步成为国家气候中心和七大区域气象中心的主要业务系统,发挥了骨干作用。并且以不同的媒介形式定期和不定期向国内外发布各种气候产品和信息。

另一方面,中国短期气候系统在国际上进行了推广应用工作,拥有越来越多的用户。通过每年中、日、韩定期主办的东亚国际气候预测会,为东亚和东南亚地区提供冬、夏季和跨年度气候预报。奠定了国家气候中心升级为世界气象组织下属的亚洲区域气候中心的基础,将为该地区各国提供更多的气候产品和服务。另外,受政府间亚太网络组织(APN)资助已建立了亚洲及太平洋地区厄尔尼诺监测和预测网络,在国际上产生了重大影响。

该系统社会效益显著。据不完全统计,至2000年12月底至少有298个单位使用了由本项目提供的产品和成果。本项目是一个服务于全社会的重大公益性业务系统,其社会效益很难用一种经济指标来衡量。据国内外气象部门统计,平均气象灾害

每年的损失占GDP的3%~6%。短期气候预测如果报准,可使受灾损失减少1%~2%。1998年正确的汛期预报使受灾损失减少了约10%,大致为200~250亿元。这个数字是根据当年中国气象局系统各单位的调查和统计分析得到的。国家统计局和民政部没有这方面的资料。这主要是通过各大中型水库控泄、蓄水调度正确,分洪与不分洪决策正确,三峡库区未停止施工等措施实现的。仅据湖南气象与防灾部门统计,1996年7月由于预报不准,由一次暴雨洪涝造成的损失就达508亿元。而1998年,在8次洪峰影响下,损失仅329亿,比1996年还少了179亿,这主要归功于预报正确。其他省份的损失减少额这里就不多举了。另外,在干旱年和地区,由于预报正确,采取了人工增雨及其他抗旱措施,也取得了显著的经济效益。应该指出,上述的数字只能是一个参考。

通过这个项目成功的实施,大大提高了我国气象业务的现代化水平,并使我国气象预报业务迈上了一个新台阶,带动了我国整体数值天气和气候预报技术的发展,体现了技术进步和创新在气象工作发展中的重大作用,我国不但有了先进的中短期数值业务预报,而且也有了更长期的业务气候预测;另一方面,在国际短期气候领域中由于中国拥有了自己的业务预测系统和气候模式系统,大大增强了中国在这个领域的国际竞争能力,使中国占有了一席之地。今后随着这个系统的改进和完善,将会在国内外,发挥越来越大的作用。

5 未来的工作

短期气候预测综合业务系统的建立和应用是我国走向气候系统或地球系统预测的第一步,要全面建立完全业务化的气候预测系统并提供全球与区域的有用预测产品还有相当长的路要走,还有许多问题需要解决。在2020年之前,世界气候研究计划(WCRP)要启动COPES计划(地球系统协调观测与预测计划)。其主要目标就是要在未来15~20年内提高气候系统或地球系统预测的水平。

在这个大前提之下,中国的短期气候预测业务有四个方面的工作要做。

(1)进一步完善综合预测业务系统,通过多种预测方法的集合(统计与动力方法)与科学决策,使该系统具有更好的预测能力和服务能力。逐步提高动力气候预测的作用,并发展应用于不同地区的模式产品释用技术。加密滚动预报的频次以及及时修正预报结果等。

(2)动力气候预测主要是边值问题,但又是初值问题,因而未来的短期气候从方法上要进行集合预报,包括初值样本的集合与多模式的超级集合。目前我们的业务动力预报只用了8个成员。将来随着计算机能力的提高要大大提高集合的样本数,以得到更可靠的概率预报结果。

(3)大力改进大气与海洋资料同化系统,

这是提高预测准确率的一个关键。

致谢:深深感谢参加本项目的全体科学家与管理人員。感谢国家气候中心有关处室为本文提供图表,也感谢陈桂英、朱界平、宋亚芳为本文提供数据与支持。

参考文献

- 1 丁一汇,李清泉,李维京等.中国业务动力季节预报的进展.气象学报,2004,62(5):598~612.
- 2 项目办公室.短期气候变化的物理过程与预报信号的研究,北京:气象出版社,2001:136.
- 3 项目办公室.短期气候预测业务动力模式的研制,北京:气象出版社,2001:500.
- 4 项目办公室.气候异常对国民经济影响评估业务系统的研究,北京:气象出版社,2001:258.
- 5 项目办公室.短期气候监测、预测、服务综合业务系统的研制,北京:气象出版社,2001:458.
- 6 项目办公室.区域中心短期气候预测业务系统的建立与产品应用研究,北京:气象出版社,2001:52(简写本).

China Operational Short-range Climate Prediction System

Ding Yihui

(National Climate Center, Beijing 100081)

Abstract

The first-generation of the Operational Short-range Climate Prediction System in China consists of data base, dynamic climatic model system, climatic monitoring and diagnostic system, short-range climate prediction system, climatic impact and assessment system and climatic application and service system. The researches during the development of the system have revealed that the stronger signals for the climate anomalies in China are El Niño event, plateau snow cover, and monsoon. The global and regional dynamic climate model system, which includes T63L16 global general circulation model, high-resolution regional climate model, T63L30 global oceanic model and sea-ice model, the Pacific and the India Ocean high-resolution oceanic model and El Niño prediction model, is developed. The operational and application system supported by the high performance computers and network can supply the short-range climatic information, as well as the impacts of the climatic changes on the water resources, agriculture, forestry, communication, electric power, and so on, and supply the service to policy makers. It shows that the system has a certain skill. The prediction accuracy after using the system from 1998, as a whole, is above 6%—10% higher than that in the 20 years before 1998. But the climate prediction for regional severe floods has shown a low skill and needs to be improved.

Key Words: short-range climate prediction climate monitoring climate model

《我国短期气候预测业务系统》附图

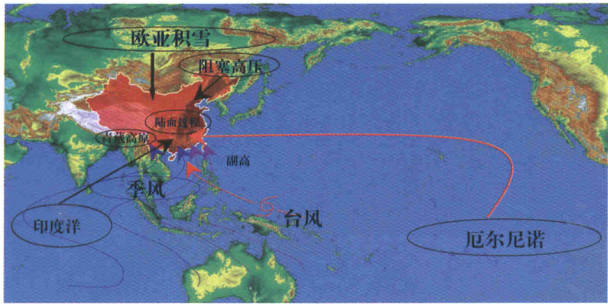


图1 影响中国气候的主要因子

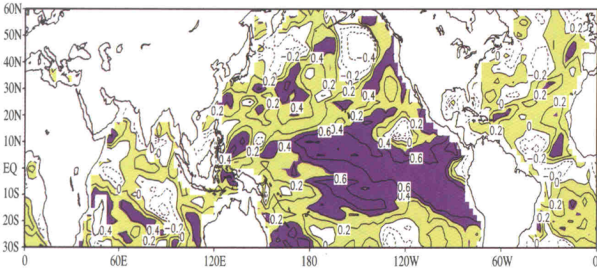


图4 1982~2000年海气耦合模式回报的海表温度与实况的相关分布图 阴影区为正相关,深阴影区为相关大于90%信度(引自丁一汇等,2004)

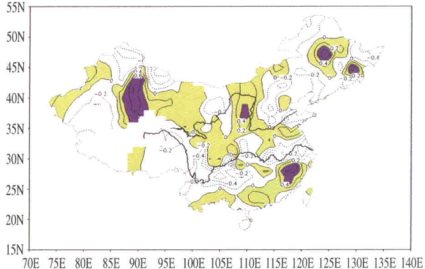


图5 1982~2000年海气耦合模式回报的中国汛期降水(6~8月)的相关系数分布图 阴影区为正相关,深阴影区为相关大于90%信度(引自丁一汇等,2004)

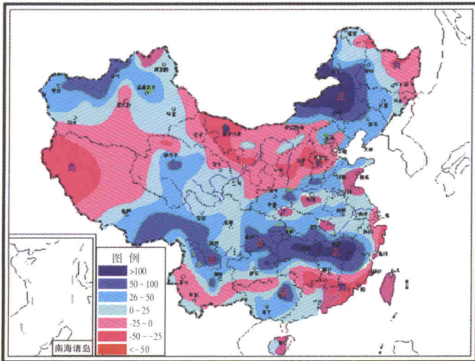
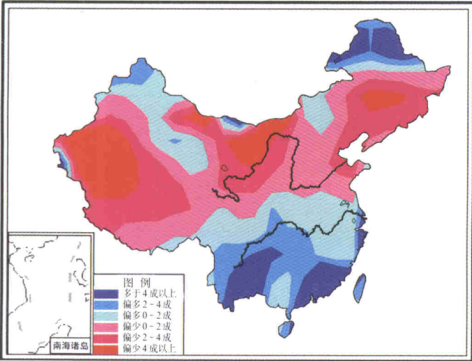


图6 1998年6~8月海气耦合模式预报(4月1日作出)的降水百分距平分布(左)与实况(右)(根据董敏的原图改绘)

MON (6~8) DR% 2003

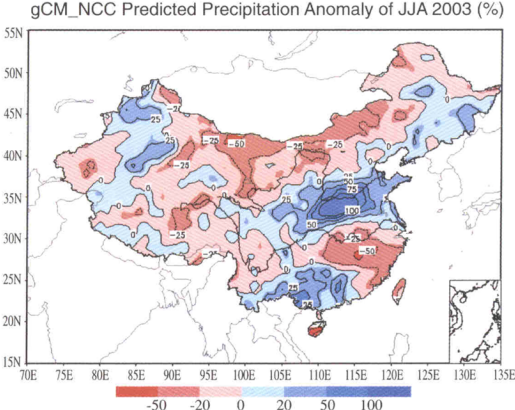
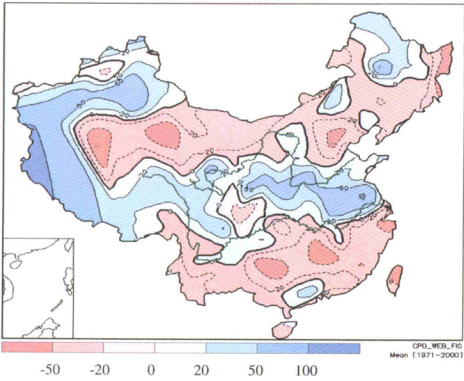


图7 2003年用区域气候模式(RegCM_NCC)预测的中国汛期降水百分距平分布(右)与实况(左)(史学丽提供)