

考虑海面温度初值和边界值影响的区域 月数值预报结果分析

山西省气候预报研究课题组

(山西省气象科学研究所, 太原, 030002)

摘 要

运用中国区域气候模式对 1996 年 6 月进行了一个月的区域性月预报的初步试验, 并进一步研究了海表温度场(SST)变化和单向嵌套时的初值和边界条件变化对区域性月预报影响的试验。

关键词: 区域气候模式, 嵌套试验, 月数值预报。

1 引 言

自 20 世纪 80 年代以来, 区域性气候变化的预测手段, 除了用统计预报方法外, 国内外科学家都把发展数值预报模式作为预测的重要手段之一。然而网格尺度在几百公里以上的全球气候模式在模拟区域性气候问题时往往表现的不理想。针对这一情况, 对区域性气候特征的模拟和预测上采取了如下途径来改进: 一是提高模式的水平和垂直分辨率; 二是改进模式的物理参数化方案, 以达到进一步考虑更为逼真和细致的物理过程为目的, 从而提高模式的模拟和预测能力。在计算机资源有限的条件下, 采用在较粗网格的全球模式中单向嵌套一个水平分辨率高的细网格区域气候模式, 是提高区域性气候模拟的一个途径。美国 NCAR^[1] 首先在这方面作了尝试研究, 经过十几年的努力, 在这方面基本获得了成功。国内中国气象科学研究院^[2] 在引进美国 NCAR 有限区域气候模式基础上, 针对中国的气候特征作了必要的改动, 使之适合于研究中国区域性气候特征的模式——中国区域气候模式。这就为模拟和预测中国区域性气候特征创造了基础。在“八五”期间, 山西省气象科学研究所承担了省科委的重大科研任务——山西省短期气候预报课题。根据山西的计算条件, 引进了中国气象科学研究院的中国区域气候模式^[3], 逐步改造和发展该模式, 使之成为更适合山西省区域性气候特征的区域性气候模式。

本文是运用中国区域气候模式对 1996 年 6 月进行了一个月的区域性月预测的初步试验, 并进一步研究了海表温度场(SST)变化和单向嵌套网格时的初值和边界值条件变化所带来的对区域性气候月预测的影响试验。通过试验表明, 该模式有预测月区域性气候

的一定能力,这就为山西省今后开展建立和发展区域性月预测业务创造了条件。文中的第二部分是中國区域气候模式的简单介绍;第三部分为 1996 年 6 月的月区域性预测试验;第四部分为 SST 变化对月区域性预测的影响;第五部分为单向嵌套网格时初值和边界值条件变化对月区域性预测的影响;最后为小结。

2 模式简介和试验设计

这里只简单介绍中国区域气候模式的情况,有关详细的情况可参阅文献[3]。

中国区域气候模式所用的是原始动力方程组。在垂直方向用 σ 坐标,水平方向为经兰勃托投影的直角坐标系。定义为: $\sigma = \frac{P - P_1}{P_s - P_1}$ 。其中 P 为气压, P_s 为地面气压, P_1 为模式大气顶的气压(取为 10 hPa)。模式中的物理过程参数化为:

(1) 水平扩散——为了控制非线性不稳定,在模式中用水平扩散项是非常重要的。模式中用了两种扩散方案,一种是 2 次扩散方案;另一种是 4 次扩散方案。

(2) 辐射参数化方案——模式的辐射计算方案采用了 CCM 1 的辐射软件包(Kiehl, et al, 1987)^[4],计算短波辐射的表面通量及辐射加热率。辐射方案还显示考虑了 O_3 , H_2O , CO_2 和 O_2 的吸收和放射作用以及瑞利散射,云与地面的反射以及云之间的多次反射等。

(3) 行星边界层物理参数化方案——在区域气候模式中除了在 MM4 模式所考虑的边界层参数化方案之外,还耦合进生物圈-大气输送方案(BATS)^[5]。BATS 方案包括了一层植被层,一层地表土壤和一层深土壤(或根系层),土壤覆盖面特征一共考虑了 18 种。有各种植被类型、内陆水(湖)、土壤类型(沙漠、半沙漠)和海洋及雪的覆盖也考虑在内。运用该方案可计算得到植冠温度、叶子温度、地面气温、地面土壤温度、深层土壤温度和地面水循环(地面土壤湿度、总的土壤湿度和地面径流)、积雪量等。

(4) 凝结加热——可分两种:一种发生在稳定层结的大气中通过大尺度运动引起的凝结加热;另一种是积云对流加热,该模式用的是 Kuo 类型的方案(Kuo 1974, Anthes 1977)^[6]。

(5) 垂直扩散——在大气混合层上面是用 K 理论所求得的。

该模式的水平范围从 17.5 ~ 55 N, 70 ~ 135 E, 覆盖整个中国,其总面积为 4800 km × 4300 km,其水平格距为 100 km。模式垂直方向共分 14 层,其中行星边界层有 5 层,对流层 5 层,平流层 4 层。其差分格式在水平方向用 Arakawa- 方案,而垂直方向用蛙跳格式。其时间差分是由 Bronn 和 Capana(1987)所设计。时间步长为 150 s。模式中的地形高度是由 10 × 10 的全球地形资料经标准双线性插值而得到。下垫面特征的 18 种类型,国内是由中国科学院植物所提供的,国外资料由美国橡树岭国家气候资料中心提供。

试验设计方案:

控制试验——用欧洲中心 T42 实况客观分析得到的 1996 年 6 月的气象要素场,作为嵌套中国区域气候模式的初值和边值,然后对区域模式作一个月的时间积分所取得的试验结果称之为控制试验。

敏感试验——用欧洲中心 T42 实况客观分析得到的 1996 年 6 月的气象要素场,作为嵌套中国区域气候模式的初值和边值,但在中国区域气候模式中部分海域原用的是

气候月平均 SST 值。现在取 1996 年 5 月的 SST 距平作为 1996 年 6 月距平, 加到 6 月的 SST 气候值上, 修改后的 SST 值作为 1996 年 6 月 SST 预报值, 加到模式中作为强迫值。然后对区域模式作一个月的时间积分所取得的试验结果称之为敏感性试验。

敏性试验——用文献[4]中用(CCM1)全球动力气候模式所积分得到的 1996 年 6 月控制试验的结果, 作为嵌套中国区域气候模式的初值和边界值。然后对区域气候模式作一个月的时间积分所取得的试验结果称之为敏感性试验。

3 1996 年 6 月模拟结果

图 1a 和 1b 分别是 1996 年 6 月 500 hPa 月平均高度场的模拟和观测结果。

1996 年 6 月 500 hPa 月平均高度场图是用欧洲中心 T42 实况客观分析场得到的。因水平格距为 250 km 左右, 故等值线比较平直(在下面分析 200 hPa 时也是这样)。从图 1b 中可以看到 1996 年 6 月 500 hPa 月平均高度场的特点:

(1) 高纬度冷槽中心位于 50°N , 110°E 附近, 东亚大槽从冬季的平均位置 120°E 已西退到 115°E , 且大槽并不深厚, 西风急流位置已北撤到 40°N 附近。

(2) 中国大陆的东南部太平洋为明显的副热带高压所控制, 其 588 dagpm 线已北抬到 28°N 。其副热带高压轴线已在 20°N 以北。

(3) 在青藏高原的南部和下游都有明显的槽区。以上的形势是夏季中国大陆较为普遍的高空形势。对比图 1a(模拟结果和实况作对比), 可以看到其模拟结果和实况很一致, 不管是高纬度槽位置还是西风急流的位置和强度、槽线所在的位置以及副热带高压带强度和位置都模拟得很好。其中不足之处有二点: 一是副热带高压轴线实况比模拟更趋于东西向; 二是青藏高原下游的槽实况比模拟要来得更明显。为了进一步分析模式对高空形势场的模拟结果, 参看图 2a 和图 2b。

对比图 2a 和图 2b, 从如下几点可以看到对中国上空 1996 年 6 月 200 hPa 的 U 分量模拟结果也是好的。第一点就是 200 hPa 高度西风急流轴的模拟, 大于 30 m/s 的西风急流轴位于 40°N 上空, 实况也是这样, 差别在于西风强度中心(阴影部分), 模拟的要比实况要来得强, 且其中心强度所处的位置也有差别, 模拟比实况要偏西; 第二, 低纬度的东风(浅阴影部分)除模拟比实况略偏强、位置略偏北外, 其它方面都很好。

从以上的分析可以看到, 用中国区域气候模式模拟中国地区上空的形势是相当好的。

下面再来看对降水量和地面气温的模拟结果。这两个气象要素从气候角度来说是重要的。图 3a 是用中国地区 160 个台站的降水量汇集而成, 表示了 1996 年 6 月的月降水总量的实况图。

从图 3a 可得到 6 月降水总量的分布特点:

(1) 长江流域中下游有一片明显的降水区, 其降水总量的强度中心位于安徽黄山附近, 总雨量超过 500 mm 。该雨区的分布轴线大致和北纬 30° 度线重叠呈东西走向。

(2) 第二片降水总量大的雨区范围从广东、广西沿海一直向北扩展至长江流域三峡地区, 最大的降水总量强度中心位于南宁、梧州、桂林之间, 中心强度超过 400 mm 。

(3) 第三片雨区在横断山南麓, 此地每到夏季都是常年雨量大的地方。另外在广州汕头和东北的东部和青海、甘肃东部也有小片雨量总量较大的分布区, 其它地区全国雨量较

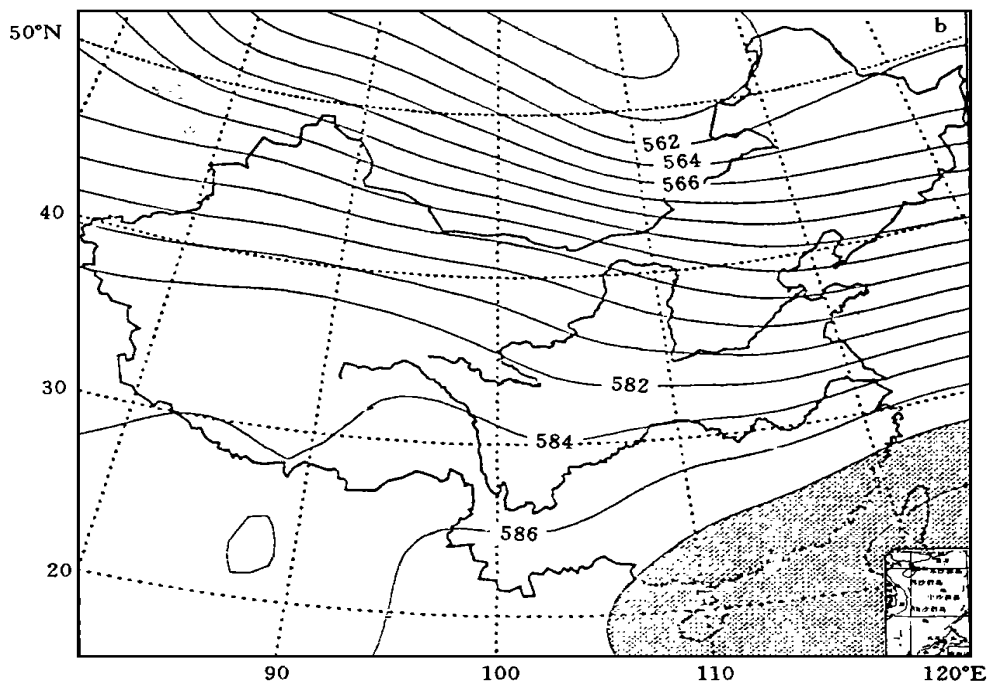
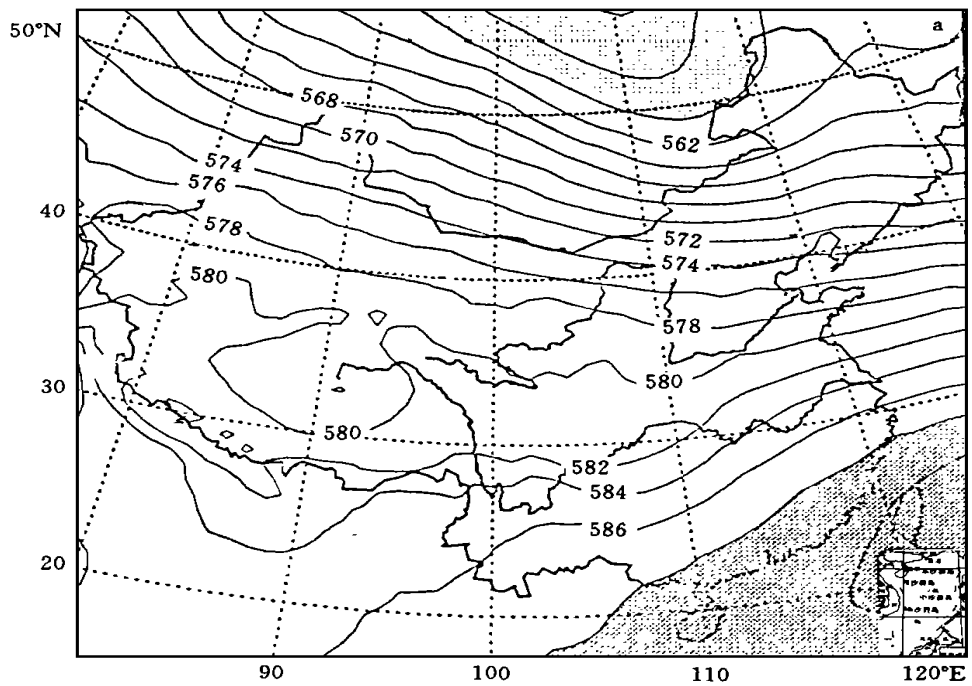


图 1 模拟和观测的 1996 年 6 月 500 hPa 月平均高度场

(a. 模拟; b. 实况)

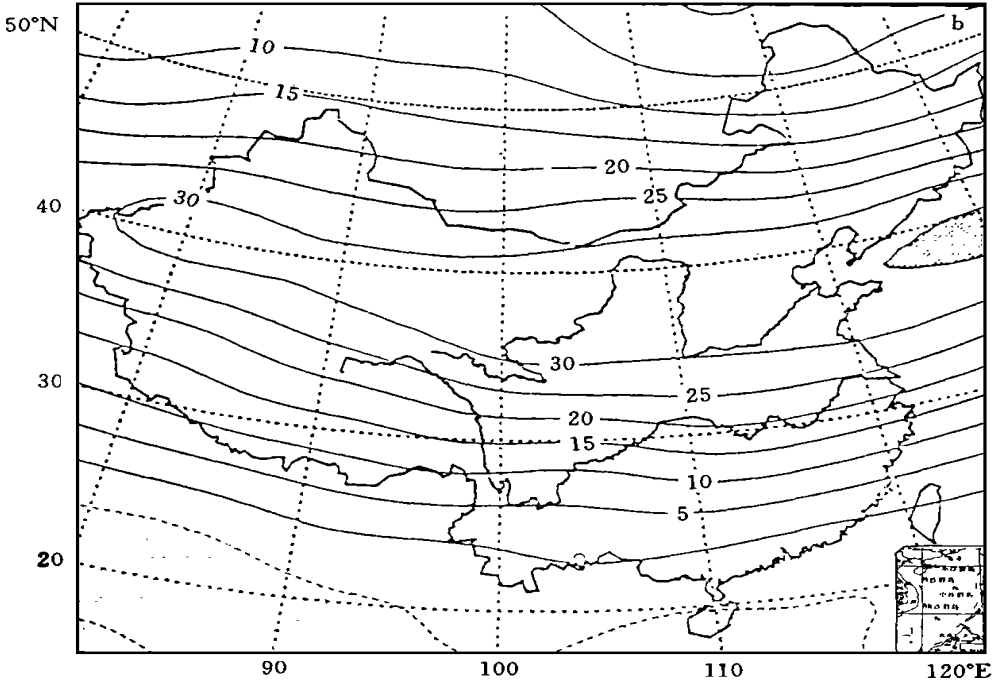
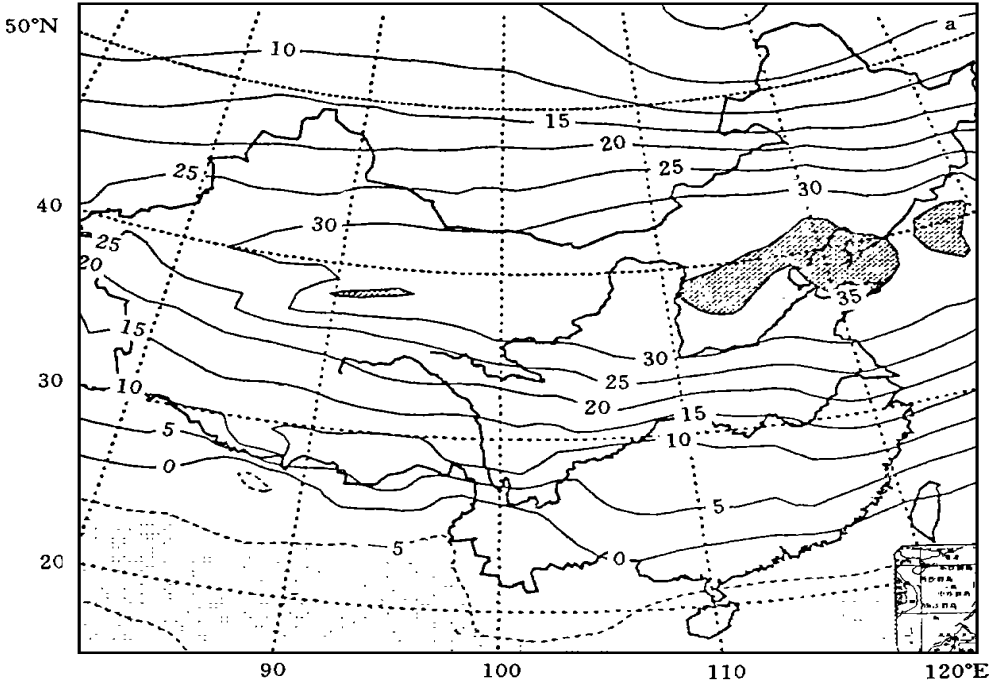


图2 模拟和观测的1996年6月200 hPa U 分量

(a. 模拟; b. 实况)

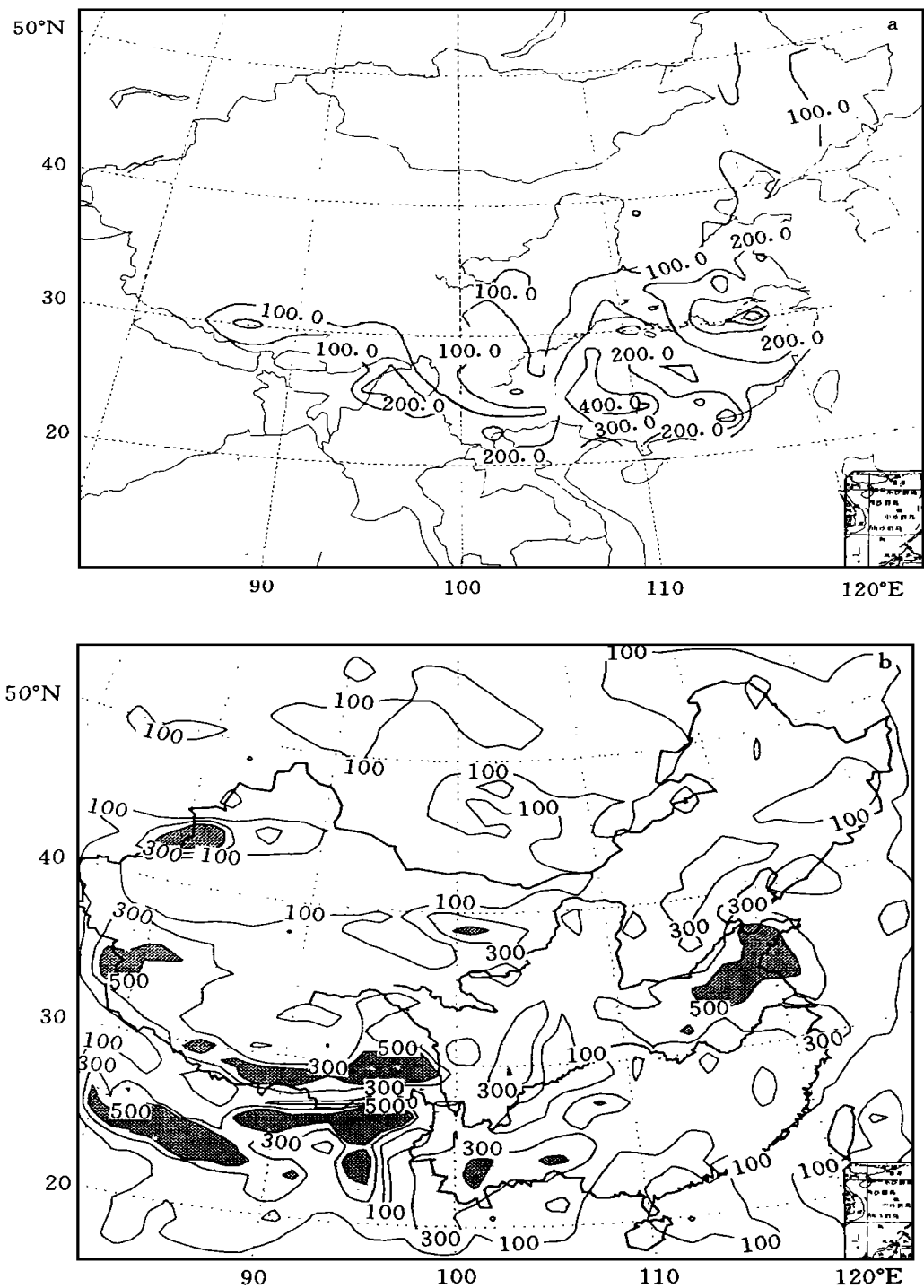


图3 模拟和观测的1996年6月的月降水量

(a. 实况; b. 模拟)

小,在 100 mm 以下。图 3b 是模拟的结果(见图 3b)。模拟和实况相比较,对全国而言,6 月降水总量的模拟基本上是成功的。

在实况图上,上述所讲的几片雨区都能够模拟出来。具体为:(1)原在长江中下游的雨区能够模拟出来,其不够之处在于模拟的整个雨量总量区域比实况偏北,模拟中心位于江苏连云港、徐州一带,而实况此地仅为次中心。其模拟的雨区轴线呈东北—西南向。(2)原在实况图上南宁、桂林为强降水中心的一片雨区,模拟的较为零乱,没有连成一大片,并且降水总量的强中心比实况向西南方向移至昆明一带。原在实况图上四川盆地东部降水较少的情况也模拟出来了,但模拟的区域扩大了一些,把原连成片的降水总量的大片雨区割开了。(3)甘肃和青海东部的雨区模拟出来,结果比实况偏强。(4)东北的东部雨区能够模拟出来,横断山南麓的雨区也能够模拟出来。具体分析到山西省 6 月雨量总量的模拟情况,在实况图上 1996 年 6 月山西省的降水总量是偏少的。看到在山西吕梁山一带和山西省东南部降水模拟是可以的,但是在模拟图上出现一片从山西五台山向东北到燕山山脉的一片强降水区,这是模拟不好的地方,其原因尚不清楚,可能是五台山脉较高,模式出现虚假的爬坡降水所引起的。

4 中国沿海附近 SST 变化对月区域性预测的影响

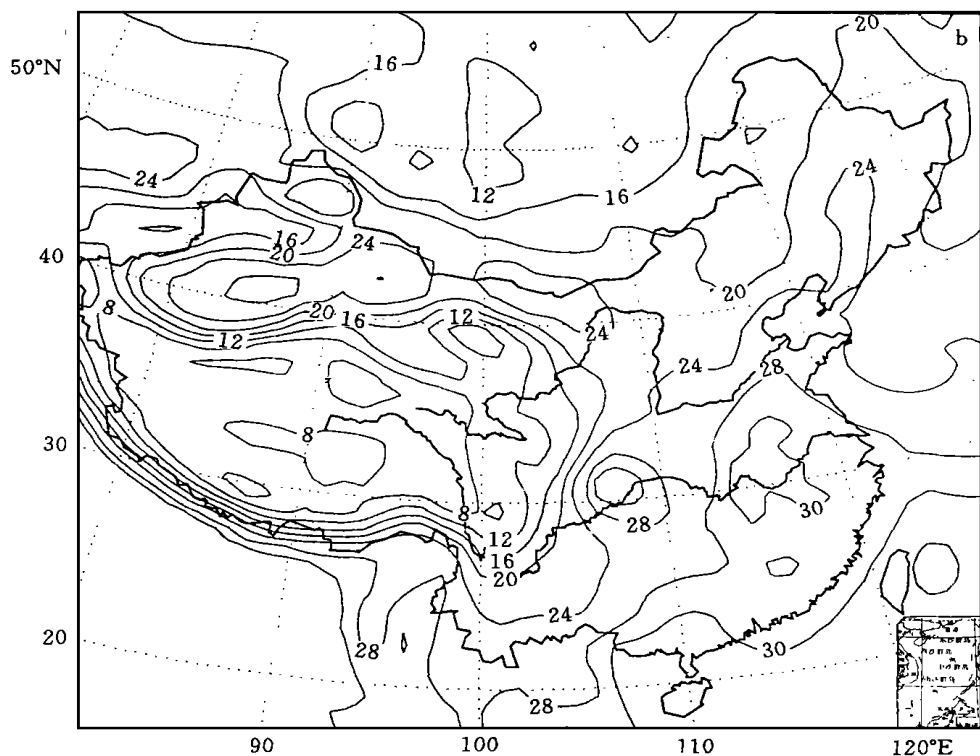
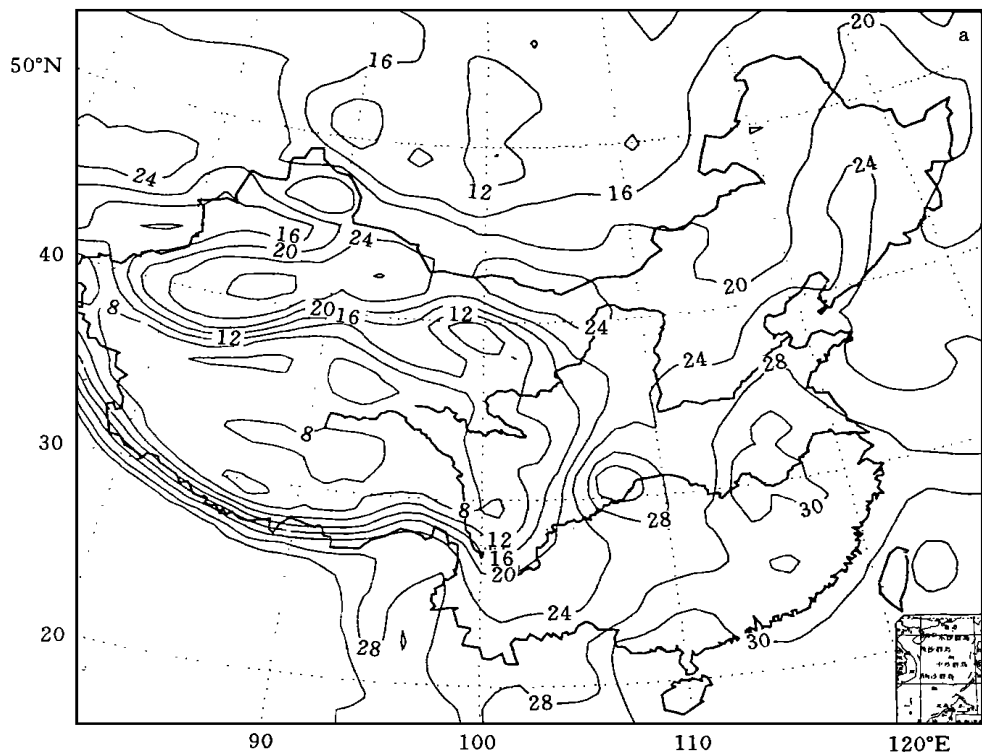
这一节将要讨论中国沿海附近 SST 变化对月区域性预测的影响。众所周知,海温异常对天气和气候会带来很大的影响。海洋中 El Niño 现象的出现给全球或区域气候带来严重影响就是一个海—气相互作用的最突出的例子。在以往的月预测试验中应用的是全球模式,在文献[7]中经过试验指出用上一个月的海温实况来代替用 SST 的气候值预测下一个月,其结果令人鼓舞。对于用区域气候模式,这方面研究不多,原因是有一部分区域模式下垫面并不包括海洋部分。中国区域气候模式其覆盖范围在第二节中已讲到,除整个中国大陆外,尚有一部分覆盖包含有中国沿海(台湾周围、海南岛周围等),在原来模式运行过程中这部分海域用的是气候月平均 SST 值。现在为了研究中国沿海附近 SST 变化对月区域性预测的影响,把这部分 SST 值由前面指出的修改后的 SST 值作为 1996 年 6 月 SST 预报值,加到模式中作为强迫值,然后对模式作 6 月数值积分,看其影响。

图 4a, b, c 分别是控制试验模拟的 1996 年 6 月月平均地面气温、敏感性试验 模拟的 1996 年 6 月月平均地面气温、敏感性试验 的结果减去控制试验的结果的 1996 年 6 月月平均地面气温差值图。

比较这 3 张图可以看到:图 4a 和 4b 是相当的一致,不管从数值上还是形态上都很相似。这表明 SST 变化对地面月平均温度的影响不太大。再分析图 4c 可以看到,虽然分布形态上基本相似,但是对其强度而言有所改变,当然改变的量级最大为 ± 0.3 。对月平均而言这改变的量是不小的。最大的改变区在黄河流域,黄河河套以东地面气温减小,而河套以西是增加的。

图 5a, b 分别表示由敏感性试验 所模拟的 1996 年 6 月降水总量结果和敏感性试验 减去控制试验的月降水总量的差值图。

先对比图 5a 和图 3b,可以看到其变化显然比地面气温要大得多。从整个分布上没有出现反向的情况,即在原来沿大兴安岭南站经北京西北部燕山山脉连接太行山脉有一片



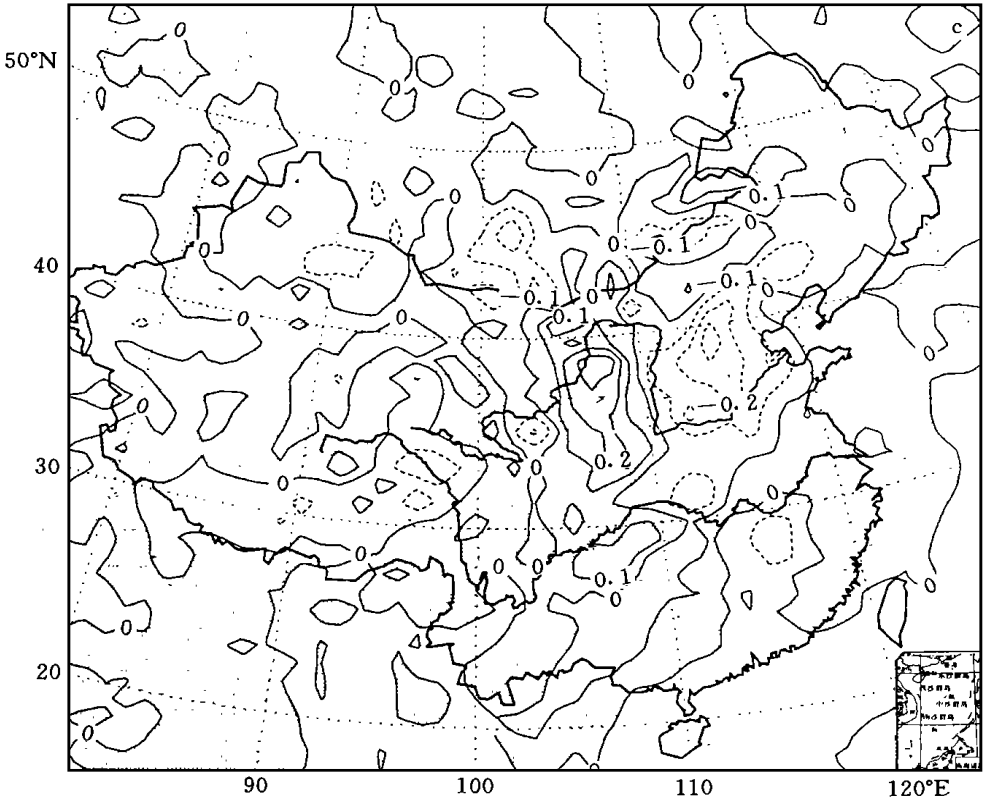


图4 控制试验和敏感试验 模拟的1996年6月月平均地面温度和两个试验模拟的温度差值
(a. 控制试验模拟; b. 敏感性试验 模拟; c. 敏感性试验模拟减去控制试验模拟的温度差值)

强度大于 300mm 的降水区(图5), 该片降水区有所减弱, 这从图5b的差值图中更能清楚。从图5b还可看出, 有明显的改进、与实况更接近的是一片长江流域中下游的降水总量大区。对于前面的一片降水区, 海温变化之后是降水总量强度减少 50mm 左右, 而且大于 500mm 等值线比控制试验要小, 这更接近于实况。而对于山西东北部的强降水区也有较大的减弱。

5 单向嵌套网格时初、边界条件变化对月区域性预测的影响

除全球模式可以长时间积分之外, 一般的区域模式因受边界的限制而不可能积分时间长, 必然要用一个全球模式单向或双向嵌套区域模式运行才能作长时间的积分。因此, 全球模式的计算是否正确是很重要的, 为此, 作了如下的试验, 控制试验是用 T42 客观分析场作为中国区域气候模式的初值和边值。而敏感性试验 是由 CCM1 全球气候模式的6月预测值单向嵌套中国区域气候模式, 也即是 CCM1 的输出值作为中国区域气候模式的初值和边值, 由此其结果比较可研究由于初、边值的变化所带来的影响。

在讨论由于初、边值的变化所带来的影响之前, 简单对比一下由 CCM1 全球气候模

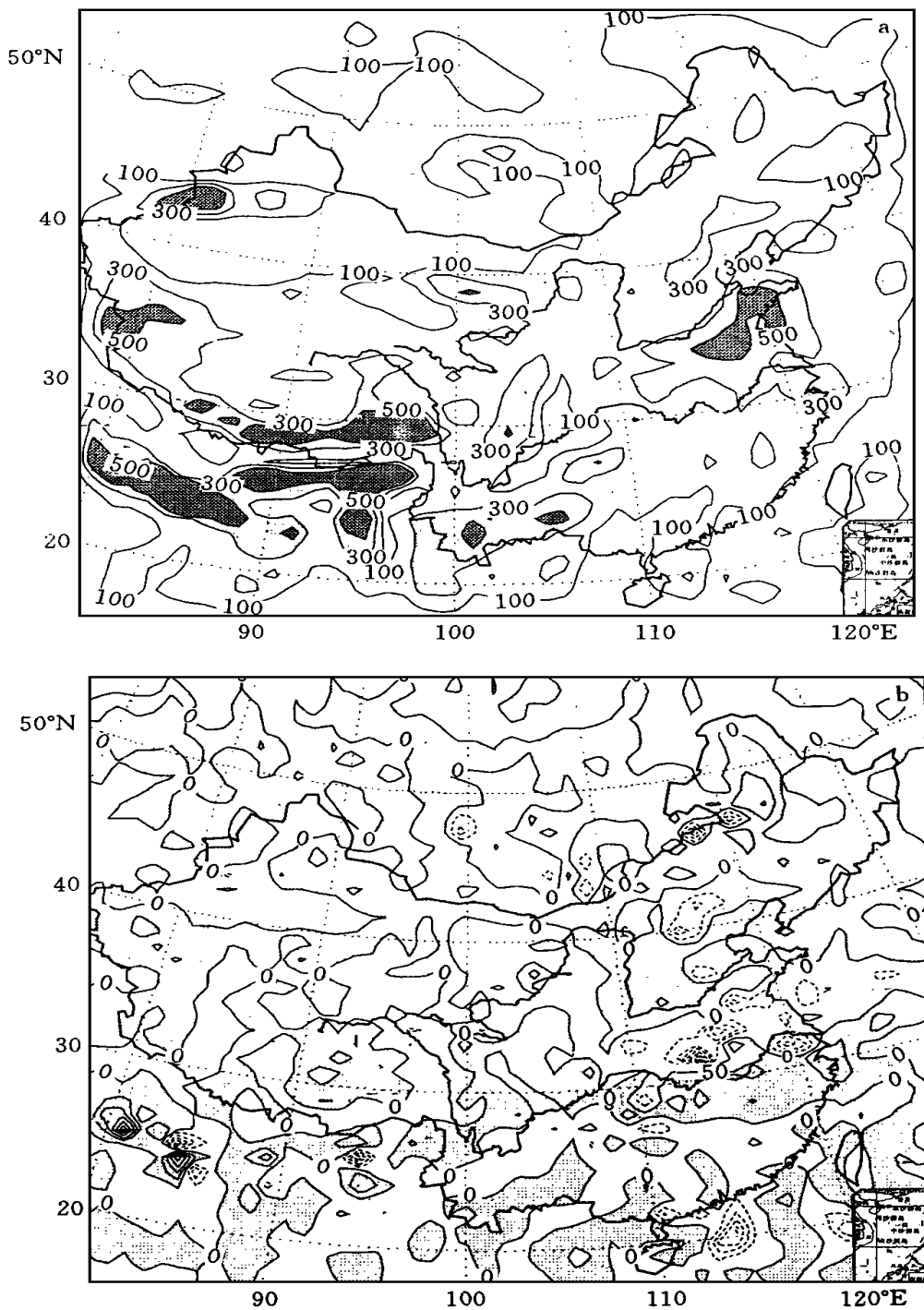


图5 模拟的1996年6月降水总量和降水差值
(a. 敏感性试验模拟的降水; b. 降水差值(敏感 - 控制))

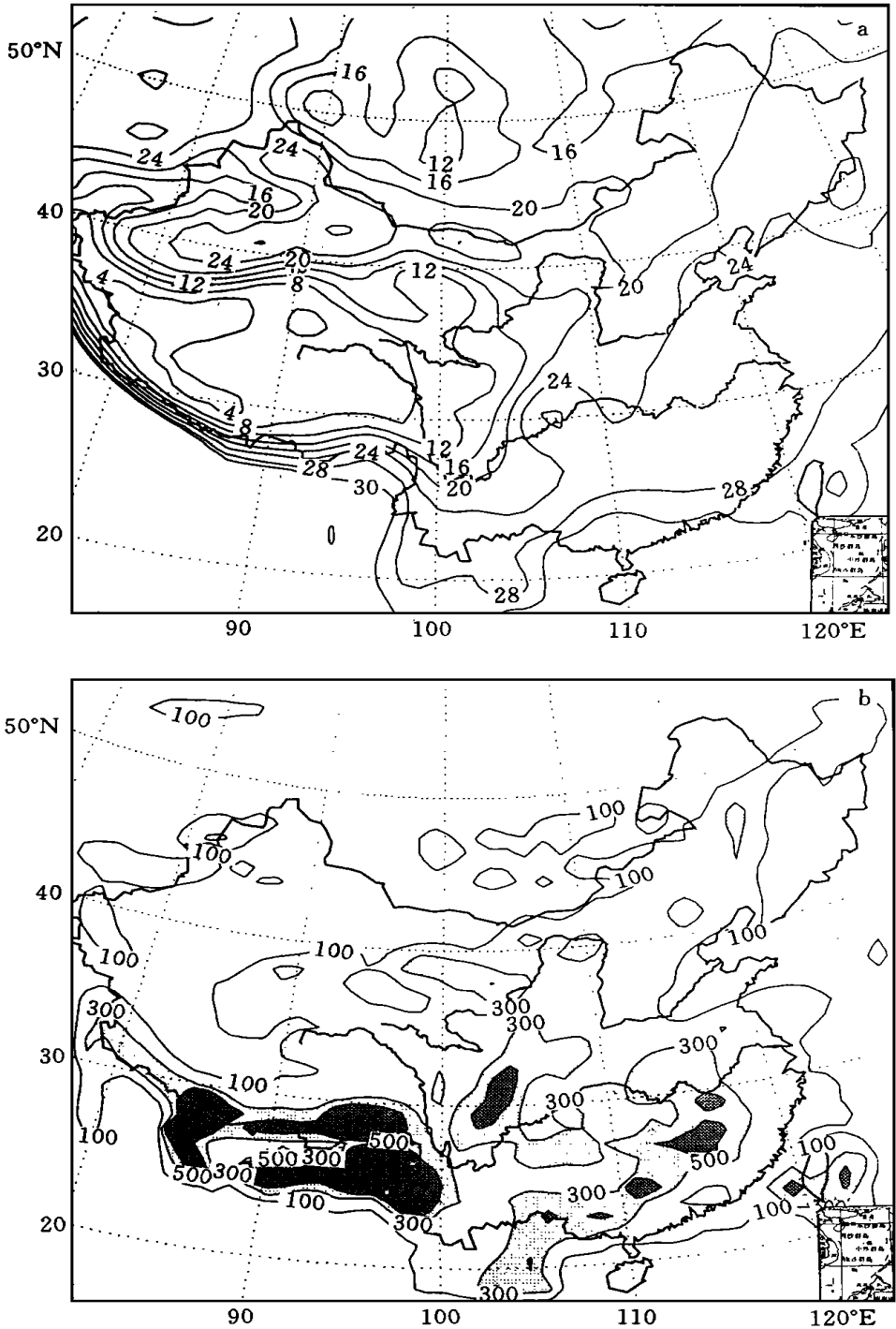


图6 敏感性试验 模拟的1996年6月平均地面气温和降水总量

(a. 平均地面气温; b. 降水总量)

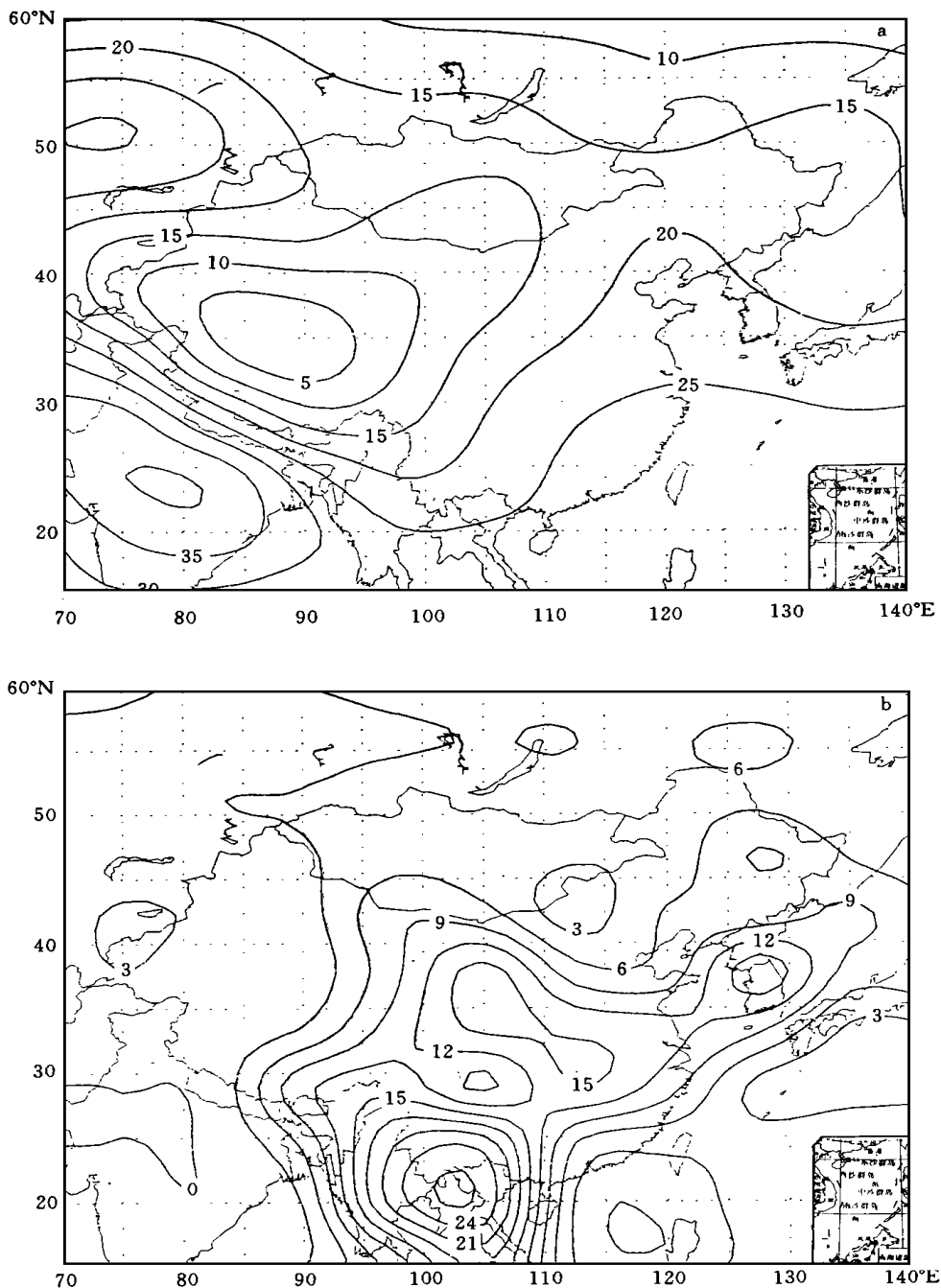


图7 CCM1 模拟的 1996 年 6 月平均地面气温和降水总量
(a. 平均地面气温; b. 降水总量)

式所模拟出 6 月份平均的中国地区地面温度和降水量的结果和由 CCM1 嵌套中国区域气候模式所计算出的 6 月份平均中国地区地面温度和降水量的结果是有意义的, 这方面

在文献[2]中作了更详细的研究。

首先比较图 6a 和图 7a, 用全球模式模拟的结果其地面气温简单表现为在青藏高原地面有一个冷中心, 而中国东部沿海为一暖脊。但用区域模式所模拟的结果由于考虑了次网络尺度的强迫模拟得更为合理, 如新疆盆地的暖区能模拟出来, 而全球模式不能模拟出来。

再对比降水量图(图 6b, 图 7b, 图 3a)。可以看到用区域气候模式模拟的中国地区 6 月份降水总量分布(对比实况)要比用 CCM1 模拟的结果要合理得多, 例如原实况图上长江中下游的雨带强度和位置、区域模式模拟要比全球模式模拟结果来得好。

从以上简单分析表明了用中国区域气候模式来模拟所模拟的 96 年 6 月平均地面气温和降水总量比用 NCAR(CM) 全球模式模拟的结果要好。

现在来看图 6b, 可以看到其所计算的降水总量分布和图 3a 相比较发现有如下几点差别: 一是原长江中下游的雨带移至武夷山一带, 长江下游已无强降水区。四川盆地东部实况为降水少区现在出现了较强降水, 而且使四川盆地中西部的降水区又进一步加大而更偏离实况。可以发现这降水总量的分布更加不合理。当然因为我们并没有实际计算检验其相关系数, 而不能定量得出那个更趋近实况。但仅从降水总量的分布而言用 T42 实况观测场嵌套中国区域气候模式所计算的结果要比用模式输出作为嵌套的初、边条件其计算的结果要好。也就是说作区域气候的月预测其所用的全球气候模式的预测结果要好, 嵌套区域气候模式后所计算的结果会更好。若全球模式所作的月预测结果不好, 那么嵌套区域气候模式后所计算的结果就差。这样在作区域月预测试验时选择一个好的全球气候模式就很重要。

6 小 结

通过以上的分析研究可得到如下几点:

(1) 用中国区域气候模式所计算得到的 1996 年 6 月月预测场、500 hPa 平均高度场预测比地面气温度和降水要好。所计算得到的区域性降水总量的几个主要分布区基本上能够计算出来。

(2) 中国大陆附近的海温 SST 的变化对 6 月的温度和降水会产生影响。由于用了修改后的 SST 值, 使预测的地面气温和降水总量在强度上更接近于实况。

(3) 嵌套区域气候模式所用的初值和边界值条件很重要。区域气候模式计算结果的好坏依赖于所用的初值和边界值条件。

致谢: 在本工作的研究过程中得到中国气象科学研究院李维亮教授的指导和热情帮助。

参考文献

- 1 Giorgi F. On the simulation of regional climate using a limited area model nested in a general circulation model. *J Climate*, 1990, 3: 941- 963
- 2 李维亮, 龚威. 中国区域气候模式对中国地区的区域性气候变化情景的模拟. 见: 85- 913 项目 02 课题论文编委会编, 气候变化规律及其数值模拟研究论文; 第二集. 北京: 气象出版社. 1996. 255 ~ 272
- 3 龚威, 李维亮. 中国区域气候模式的建立和模拟试验结果的分析. 气候变化规律及其数值模拟研究论文. 北京: 气

象出版社, 1996. 273~288

- 4 Kiehl J T, Wolski R J, Briegleb B P, et al. Documentation of radiation and cloud routines in the NCAR community climate model (CCM1). NCAR Tech. Note NCAR/TN-288+1A, 1987. 109pp
- 5 Dickinson R E, Keonedy P J, Henderson-Seller A, et al. Biosphere-atmosphere transfer scheme (BATS) for the NCAR community climate model. NCAR Tech. Note, NCAR/TN-275+STR, 1986. 69pp
- 6 Anthes R A, Hsie E Y, Kuo Y H. Description of the Penn State/NCAR Mesoscale Model version 4 (MM4). NCAR Tech Note, NCAR/TN-282+STR, 1987. 66
- 7 山西省气候预报研究课题组. 一个考虑 SST 变化的月数值预报结果分析. 气象学报. 1999, 57(2): 168~179

THE RESULT ANALYSIS OF REGIONAL MONTHLY NUMERICAL PREDICTION WITH CONSIDERING THE EFFECTS OF SST INITIAL VALUE AND BOUNDARY VALUE

Shanxi Research Group of Climate Prediction

(*Shanxi Research Institute of Meteorological Sciences, Taiyuan, 030002*)

Abstract

By using Chinese regional climate model, the preliminary experiment for regional monthly prediction in June 1996 has been done. We have also further studied the influence of the SST, the initial value and boundary conditions variation on the regional monthly prediction under one way nesting condition.

Key words: regional climate model, Nesting experiment, Monthly numerical prediction.