

论区域气候模式与全球模式 嵌套时边界区的选择^{*}

钱永甫 刘华强^{**}

(南京大学大气科学系, 南京 210093)

摘 要 做了3个试验, 第一个试验只用大气环流模式(GCM), 主要考察GCM的性能并确定其误差的区域分布。后两个为对比试验, 一个试验中, 将区域气候模式(RCM)(NjU-RCM)的侧边界放在全球模式(L9R15)中我们感兴趣的区域, 未考虑侧边界区GCM的误差大小, 另一个试验中, RCM的侧边界位置根据GCM预报误差的空间分布选取, 使其落在GCM预报误差较小的区域。3个试验都对1998年5、6、7月份中国区域的降水过程进行了模拟和比较。结果表明: 单独使用GCM的效果最差; 当用GCM-RCM嵌套模式对区域气候进行预测时, GCM侧边界值的误差对RCM的模拟结果有显著的影响, 嵌套侧边界若选择在GCM系统性误差较小的地区, 模拟或预测效果会有明显的改进。

关键词: 嵌套侧边界选择; 区域气候模式; 气候模拟

1 引言

当将区域气候模式(RCM)用于区域气候变化的预测时, 必须与全球大气环流模式(GCM)或全球海气耦合模式(CGCM)进行侧边界嵌套, 由GCM或CGCM提供边界值, 使其能长时间积分。RCM能捕获GCM或CGCM难以分辨的区域内中小尺度的地形、地表特征和其他因子对区域气候变化的强迫, 使区域气候的模拟和预测效果较单独使用GCM时有所提高。用GCM-RCM嵌套模式系统进行区域气候的模拟和预测时, 首先要回答的问题是, GCM-RCM嵌套模式能否较GCM提高区域气候的模拟和预测效果, 检验嵌套模式系统的有效性, 以便改进模式, 提高模拟的质量。当模式系统的有效性得到证实后, 侧边界嵌套方法对RCM模拟效果的影响, 也需进行认真探讨。许多研究工作都对此进行了讨论^[1~4], 但只是研究嵌套时两类模式值如何拟合和嵌套边界取几圈的问题。RCM的嵌套侧边界在GCM中的落区对模拟结果有何影响的问题尚有待于研究。

通常人们总是将区域模式的模式域放在感兴趣的地方, 对嵌套侧边界应位于GCM何处的问題很少进行研究。我们认为, RCM的嵌套侧边界在GCM或CGCM中的位置应尽量选在GCM或CGCM系统性误差较小的区域。这样GCM的系统误差对RCM模拟效果的影响将大为缩小。为了证实这种看法, 本文做了3个试验, 第一个试

1999-12-17收到, 2000-03-20收到修改稿

^{*} 国家自然科学基金资助项目49735170和国家“九五”攻关项目96-908-02-04联合资助

^{**} 现在工作单位: 中国人民解放军理工大学

验只用 GCM, 主要考察 GCM 的性能并确定其误差的区域分布。后两个为对比试验, 一个试验中, 将 RCM (NjU-RCM) 的侧边界放在全球模式 (L9R15) 中我们感兴趣的区域, 对其嵌套域的位置并无特别考虑。另一个试验中, RCM 的侧边界位置根据 GCM 预报误差的空间分布进行选取, 使其落在 GCM 预报误差较小的区域。3 个试验都对 1998 年 5、6、7 月份中国区域的降水过程进行了模拟, 并将模拟结果进行比较, 以检验我们的设想。

2 模式和试验方案

2.1 大气环流模式 (L9R15)

本文选取的大气环流模式是由 McAvaney 和 Bourke 设计^[5], 后经 Simmonds^[6]、林元弼等^[7]改进的一个菱形截断 15 波的 9 层全球大气环流模式 (简称 L9R15)。该模式系原始方程模式, 分辨率相当于 48×40 个格点, 纬向格距为 7.5 个经度, 经向取 40 个高斯纬度。垂直方向采用 σ 坐标系, 共 9 层, σ 值分别为 0.99、0.92、0.81、0.66、0.50、0.33、0.18、0.07 和 0.01。时间步长为 1 800 s。

模式的物理过程考虑了水平和垂直次网格扩散, 边界层采用了 Monin-Obuhov 参数化理论, 考虑了下垫面的粗糙度、潮湿度、海温、极冰和雪盖的影响。辐射过程包括长波和短波辐射并包含了日变化^[8], 同时还考虑了云、水汽、 CO_2 和 O_3 对辐射过程的影响, 云分为高、中、低云。对流参数化采用 Manabe 对流调整方案。

2.2 区域气候模式系统 (NjU-RCM)

区域气候模式系统采用在钱永甫等人设计的 $P-\sigma$ 混合坐标系原始方程模式^[9~11]的基础上发展而来的一个有限区域单向嵌套细网格数值模式系统 (简称 NjU-RCM)。该模式系统包含了大气模式、海洋模式和土壤模式 3 个子模式。

大气模式在垂直方向分为 5 层, 在 400 hPa 以上采用 P 坐标系, 划分为两层, 每层厚度为 200 hPa; 在 400 hPa 至 $P_s - 50$ hPa 之间 (P_s 为地面气压), 采用 σ 坐标系, 也划分为两层, σ 定义为 $\sigma = (P - 400) / (P_s - 450)$; 从 $P_s - 50$ hPa 至 P_s 也采用 σ 坐标, σ 定义为 $\sigma_b = (P - P_s + 50) / 50$, 该层内不再划分层次, 这一层代表大气边界层, 厚度为 $\Delta P_b = 50$ hPa。

模式中包含了各种绝热和非绝热物理过程。除了地-气和水-气的相互作用过程外, 还包含对流调整过程、大气的水平和垂直湍流扩散过程、大尺度和积云对流凝结过程、太阳短波辐射和大气长波辐射加热。太阳辐射有日变化, 并考虑了大气中几种主要吸收气体的影响以及云量的变化和气候效应。积云对流参数化采用郭晓岚方案, 边界层采用依据相似理论设计的参数化方案^[12]。模式的水平分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$, 使用真实地形及实际海温资料, 时间积分方案采用 1 h 欧拉后差和 5 h 中央差交替进行, 时间步长为 3 min。

为了较好地反映地-气或水-气的相互作用过程, 模式中土壤或海洋模式分为表层和深层两层, 两层的厚度分别为 Z_1 和 Z_2 。对于土壤模式, 第 1 模式层较薄, 反映土壤温度和湿度的日变化; 第 2 模式层较厚, 反映年变化。利用热量和水分守恒原理, 推导出表层和深层土壤平均温度和湿度的预报方程以及地表温、湿度的计算公式^[13]。对于

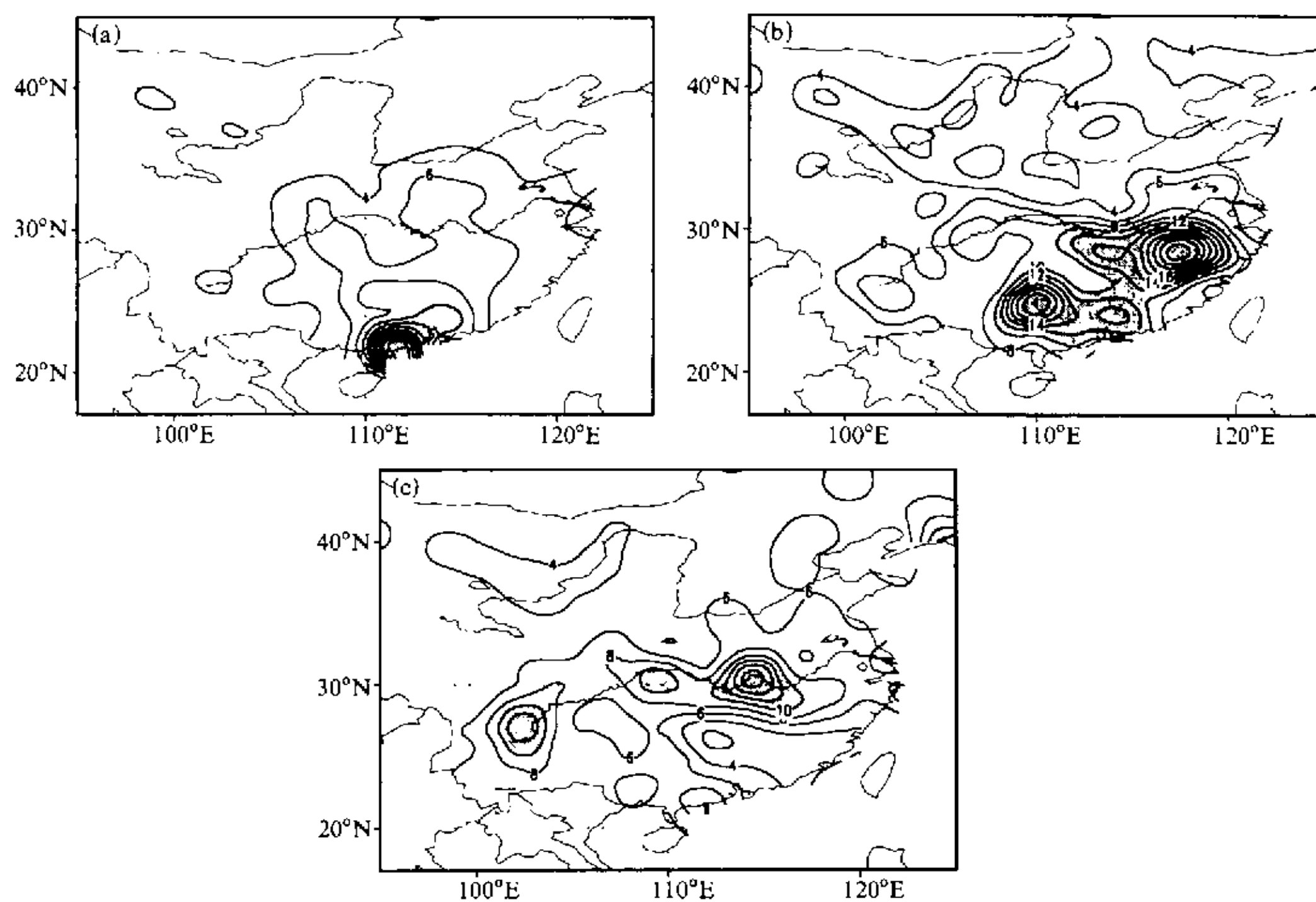


图1 1998年5月(a)、6月(b)、7月(c)中国区域实测的月降水场(单位: mm/d)

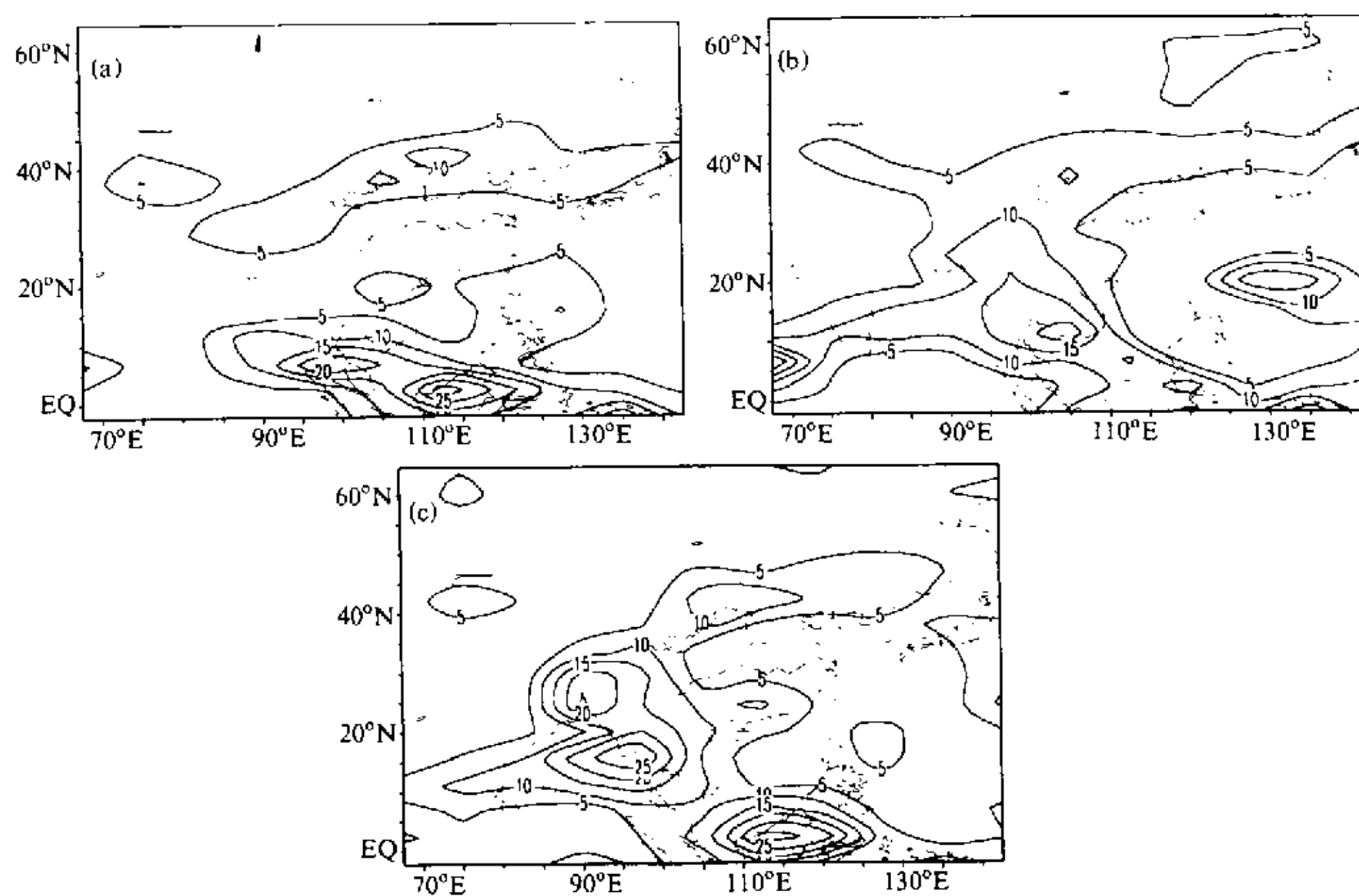


图2 L9R15模拟的1998年5月(a)、6月(b)、7月(c)中国区域的月降水场(单位: mm/d)

海洋模式, 第 1 层厚度 $Z_1 = 50 \text{ m}$, 假定在该层内海温随深度没有变化; 第 2 层厚度 $Z_2 = 250 \text{ m}$, 该层内海温随深度线性下降, 并设层底温度梯度为零; 但海洋模式没有考虑洋流, 仅考虑了海-气之间的热力耦合^[14]。

下垫面土壤分为 5 类, 分别是粘土草地、热带雨林、沙漠、泥泞土和雪面。

侧边界条件采用单向嵌套的倾向松弛方案, 权重系数的值由边界 ($n=1$) 沿法向向内的格点序号 n 的大小确定, 本文取 $n=1, 2, 3, 4$, 即 3 圈嵌套边界。RCM 模式值的权重系数从边界向内取为 0.0、0.4、0.7 和 0.9, 对其他区域内部的点权重系数为 1。

2.3 试验方案

选择 1998 年发生在中国长江流域的特大洪涝为个例, 进行 3 个数值试验, 即

GCM 试验: 采用 L9R15 全球模式, 使用气候平均的积雪和冰盖资料。

TEST1 试验: 采用 NjU-RCM 模式与 L9R15 模式结果相嵌套, 嵌套边界取 3 圈, 嵌套区域无特别选择。

TEST2 试验: 与 TEST1 试验相同, 但嵌套区域选择在 L9R15 模式误差较小的地区。

3 个试验的积分都开始于 1998 年 5 月 1 日 00:00 GMT, 积分终止时间为 7 月 31 日 24:00 GMT。初始场取自 NCEP 重分析资料, 资料的水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$, 垂直方向有 17 层。海温采用实际的 1998 年全球 $1^\circ \times 1^\circ$ 的周平均海面温度 (SST), 对其进行线性内插后, 可得出日平均的 SST 并逐日提供给模式。

3 试验结果讨论

3.1 1998 年 5、6、7 月的降水分布

作为对模拟结果检验的依据, 首先给出 1998 年 5、6、7 月份中国区域实测的月降水场, 如图 1 所示。从图中可以看出, 在 5 月份, 降水主要集中在我国长江中游和广东地区, 降水较往年同期偏多。其中河南中部和南部、湖北北部、湖南和江西大部的月总降水量可达 200 mm 以上, 广东阳江达 1367 mm, 为 1949 年以来同期之最。6 月份的降水主要集中在江南中部和华南部分地区, 降雨强度最大, 涉及范围最广, 月降水量在局部地区可达 500~700 mm。7 月份, 降水主要位于长江中上游, 降雨强度较大, 雨带位置明显较往年同期偏南, 因而延长了长江流域的降水期, 使洪涝灾害加重。

3.2 L9R15 模式对 1998 年降水的模拟结果

图 2 是 L9R15 模式模拟的亚洲区域 1998 年 5、6 和 7 月的月降水率分布。从图 2 中可以看出, 由于 GCM 的水平分辨率较低, 模式只能粗略地给出降水区大致的轮廓, 而无法描述降水的详细分布特征。雨带位置与实况的偏差较大, 模拟的 5、6、7 月份的降水主要位于我国的华北和东北地区, 较图 1 中雨带的实际位置明显偏北, 未能模拟出发生在我国长江中下游和南方地区的降水。另外, 在雨带降水强度的时间演变上, L9R15 的模拟结果也与实况的不一致。在实况场中, 6 月份的降水最强, 而在模拟场中, 6 月份的降水却最弱。可见, L9R15 作为低分辨率的全球模式, 对大范围的降水有一定的模拟能力, 但对区域性降水的模拟能力较差。

由于我国东部季风雨带的位置, 在很大程度上受西太平洋副热带高压强度及南北进

退的影响, 因此有必要检验 L9R15 对这一系统的模拟结果。图 3 是模拟的 5、6、7 月份的 500 hPa 位势高度场, 图 4 则是 NCEP 资料提供的相应 500 hPa 位势高度实况场。通过对比可以发现, 模拟场的位势高度值普遍较实况场偏低, 而且在 5、6、7 月的 3 个月中, 始终表现为东高西低的形势, 使我国东部地区处于高压控制之下, 而西部则为低压所控制。上述 500 hPa 形势的模拟场在东亚地区与观测场反位相, 尤其是在 6 月份。这种误差在 3 个模拟月中均存在, 应是模式的系统性误差, 可能是青藏高原地形效应处理不好所造成。

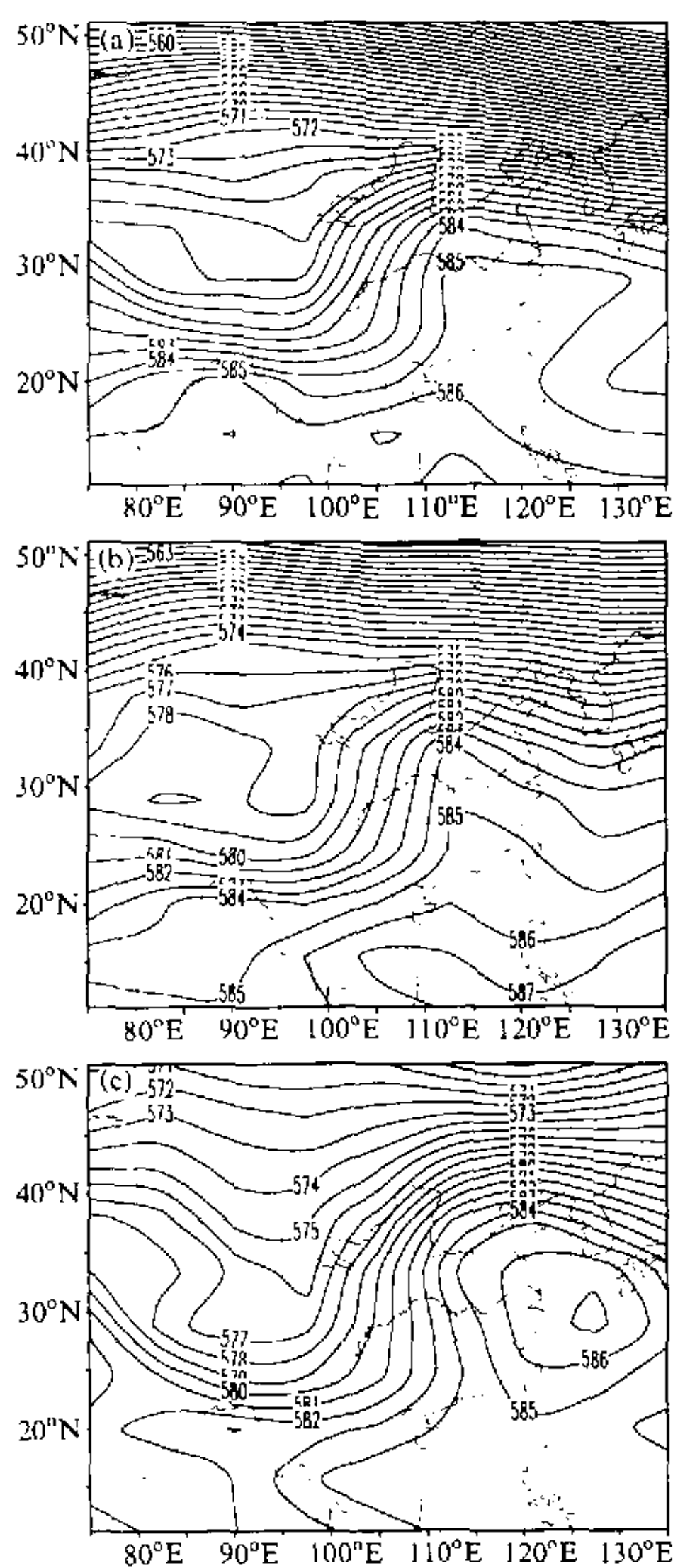


图 3 L9R15 模拟的 500 hPa 位势高度的月平均场 (单位: gpm)
(a) 5 月; (b) 6 月; (c) 7 月

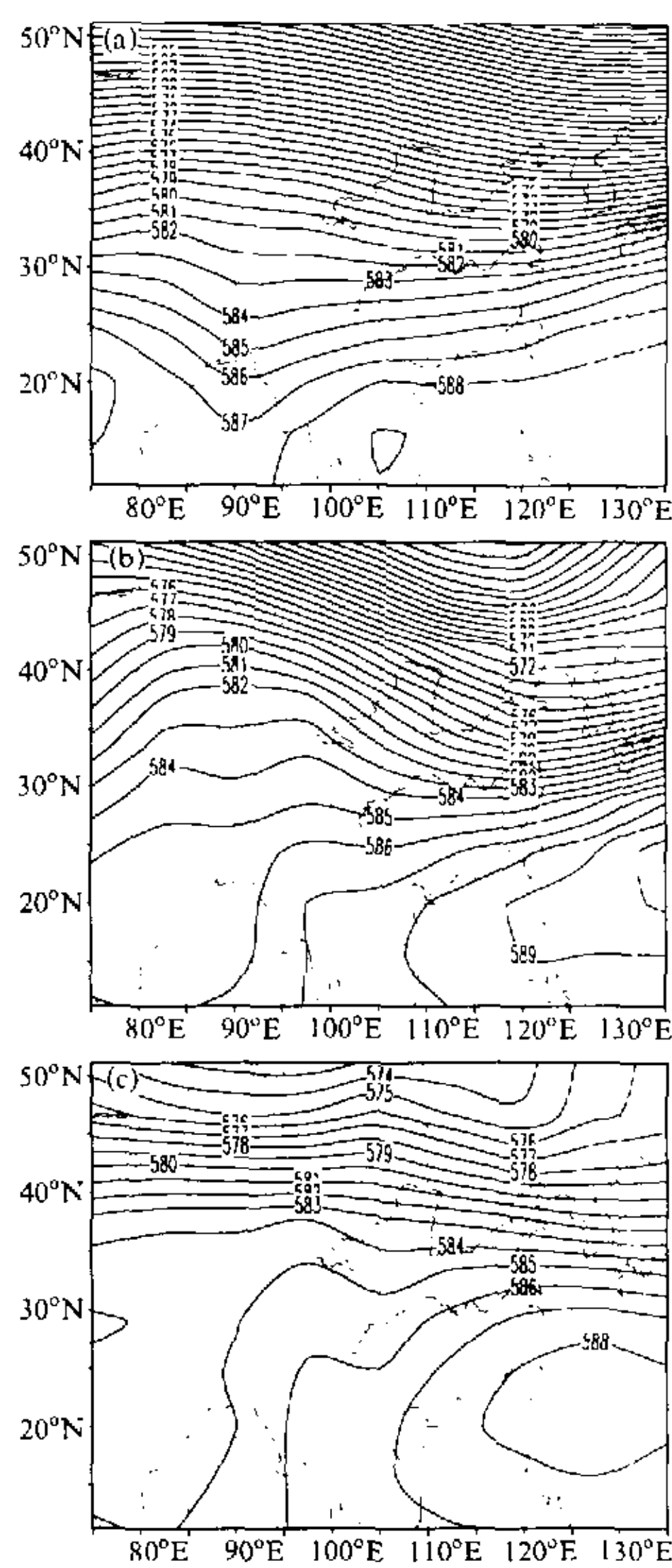


图 4 500 hPa 月平均位势高度的实际场 (单位: gpm)
(a) 5 月; (b) 6 月; (c) 7 月

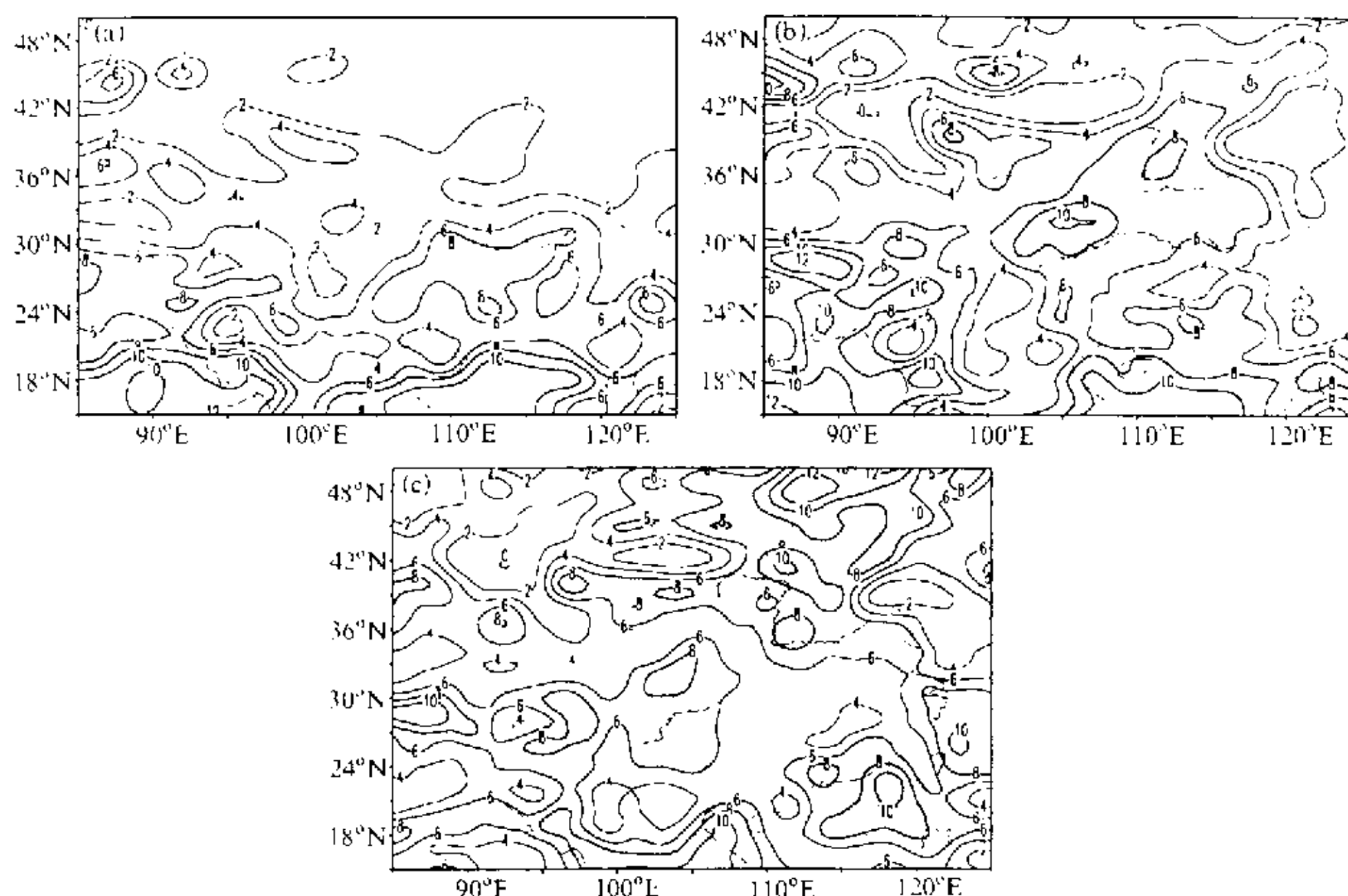


图6 TEST1 模拟的 1998 年 5 月 (a)、6 月 (b)、7 月 (c) 中国区域的月降水场 (单位: mm d)

拟出了 5 月份位于我国长江中下游和南方地区的降水区, 降水范围及降水强度与实况基本一致, 模拟效果明显优于 GCM 试验, 但未能模拟出广东境内的中尺度强降水。6 月份, 尽管 TEST1 试验模拟的降水区位置仍较实况偏北, 但比 L9R15 模拟的位置有所南移, 与实况较为接近。不足的是雨带中降水量偏小。7 月份, 降水的模拟不够理想, 未能模拟出长江中下游地区的降水带。虽然雨带位置较 GCM 试验中略有南移, 但模拟的主要降水区仍然位于我国北方, 对 GCM 模拟结果的改善不明显。

从上述分析可见, GCM-RCM 嵌套后的 TEST1 试验对 1998 年我国汛期降水的模拟效果较单独使用 L9R15 模式时有较明显的改进, 在一定程度上纠正了 L9R15 模拟的雨带位置过于偏北的倾向, 初步表明了 GCM-RCM 嵌套模式的优越性。

在 TEST1 的模拟结果中, 5 月份降水的模拟效果最好, 6 月份次之, 7 月份则较差, 说明模拟效果随着积分时间的增长而逐渐下降。显然, 这与 GCM 的可预报性有关。由于 GCM 的预报误差随时间增长, 以 GCM 提供的大尺度背景场作为侧边界强迫的 RCM 的模拟误差也必然随积分时间而增长。由此可见, 尽管 RCM 能够较好地描述区域尺度因子对气候变化的影响, 但当 GCM 提供的侧边界误差较大时, RCM 仍无法真实地再现区域内的气候特征。

图 7 是 TEST1 试验模拟的 500 hPa 月平均位势高度场。前面已经指出, L9R15 的模拟结果在青藏高原地区存在较大的误差, 即出现了虚假的低压槽, 其下游的西太平洋副热带高压也相应偏强。比较图 7 和图 3 可以发现, 在 TEST1 试验中, 青藏高原地区没有出现虚假的低压槽, 我国东部及邻海处的西太平洋副热带高压的强度也较 L9R15 中有所减弱, 没有出现过强的副热带高压脊。将 TEST1 的模拟结果与实际场 (图 4)

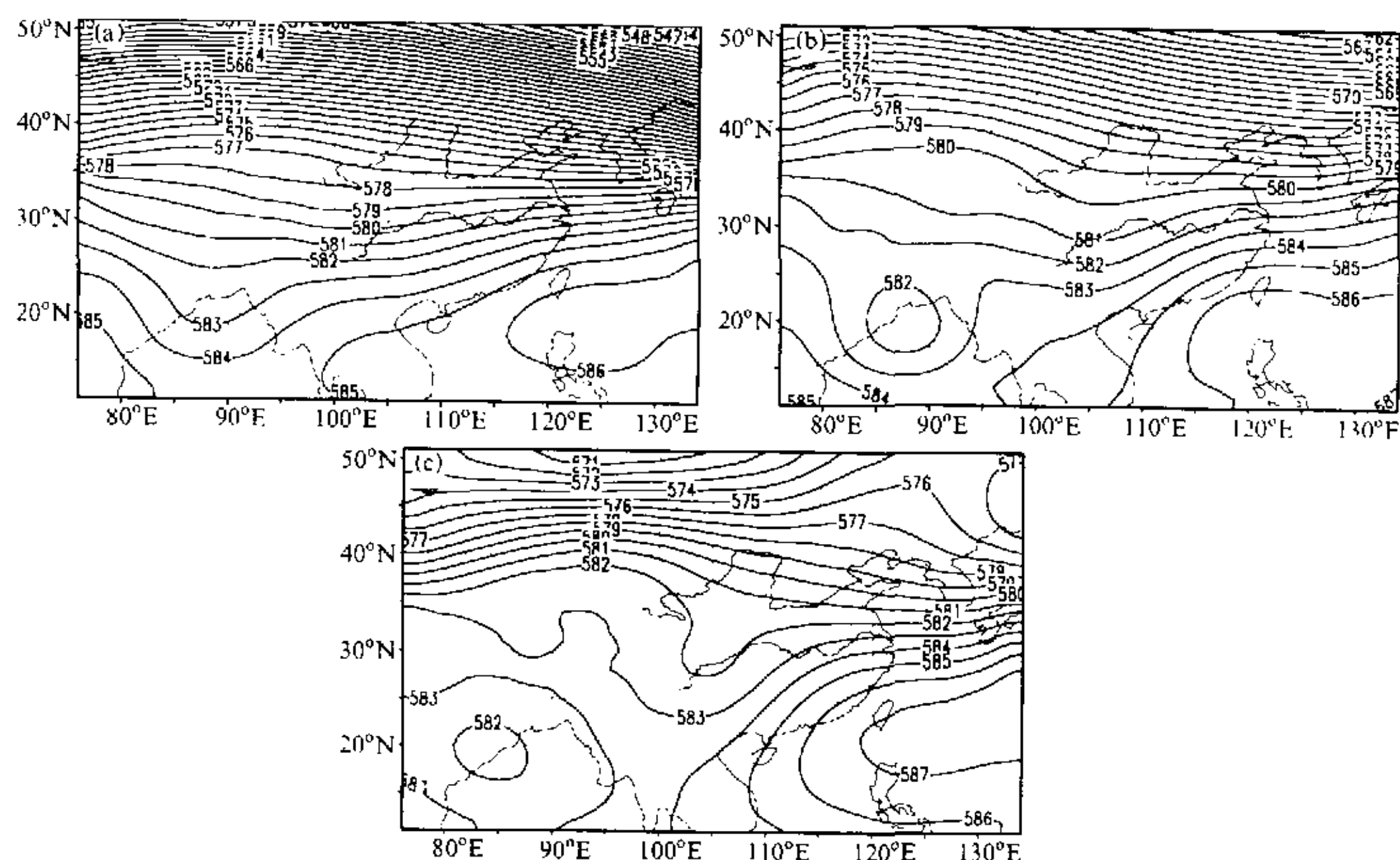


图 7 TEST1 模拟的 500 hPa 位势高度的月平均场 (单位: gpm)

(a) 5 月; (b) 6 月; (c) 7 月

进行对比, 可以看出, TEST1 的模拟场在形态上与实际场远较 L9R15 近。在青藏高原地区, TEST1 的模拟场与实际场具有基本相同的特征, 即在高原北侧为弱的高压脊, 由于高原的绕流作用, 西风带气流在这里呈反气旋性弯曲, 而在高原南侧, 两者均为南支槽, 在青藏高原地区两者均为等值线稀疏区。但 TEST1 中, 孟加拉湾低压的模拟仍偏强, 出现了闭合的中心。上述分析表明, 使用 L9R15 与 NjU-RCM 的嵌套模式比单独使用 L9R15 时明显地改善 500 hPa 位势高度场的模拟效果, 尤其是在青藏高原地区。这是因为区域气候模式具有较高的水平分辨率, 能够更细致、准确地描述地形等因子对大气运动的影响。

3.4 TEST2 的模拟结果

为使区域气候模式 NjU-RCM 的侧边界缓冲区尽可能地处 L9R15 系统性误差较小的区域, 在 TEST2 试验中, RCM 的南侧边界较 TEST1 有所南移, 使其靠近赤道, 这样可使南侧边界强迫的误差减小。由于低纬地区是我国夏季降水的主要水汽源地和西南季风气流的发源地, 因此低纬地区侧边界强迫的精度对 RCM 模拟我国季风降水的效果有更大的影响。TEST2 的其余 3 个边界也略有扩大, 模式域变为 ($70^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$, $0^{\circ}\sim 58^{\circ}\text{N}$), 如图 5a 中细线框所示。

图 8 是 TEST2 模拟的 5、6、7 月降水率分布。比较图 8a 和 6a 可以发现, 与 TEST1 试验相比, TEST2 模拟的我国长江流域的降水带更为清晰和完整, 降水范围及强度均有所增大。由图 8b 可见, TEST2 中 6 月份的降水带位置较 TEST1 中偏南, 降水量亦增大, 对 TEST1 中 6 月份降水带位置的偏北和降水量的低估有所纠正, 从而与

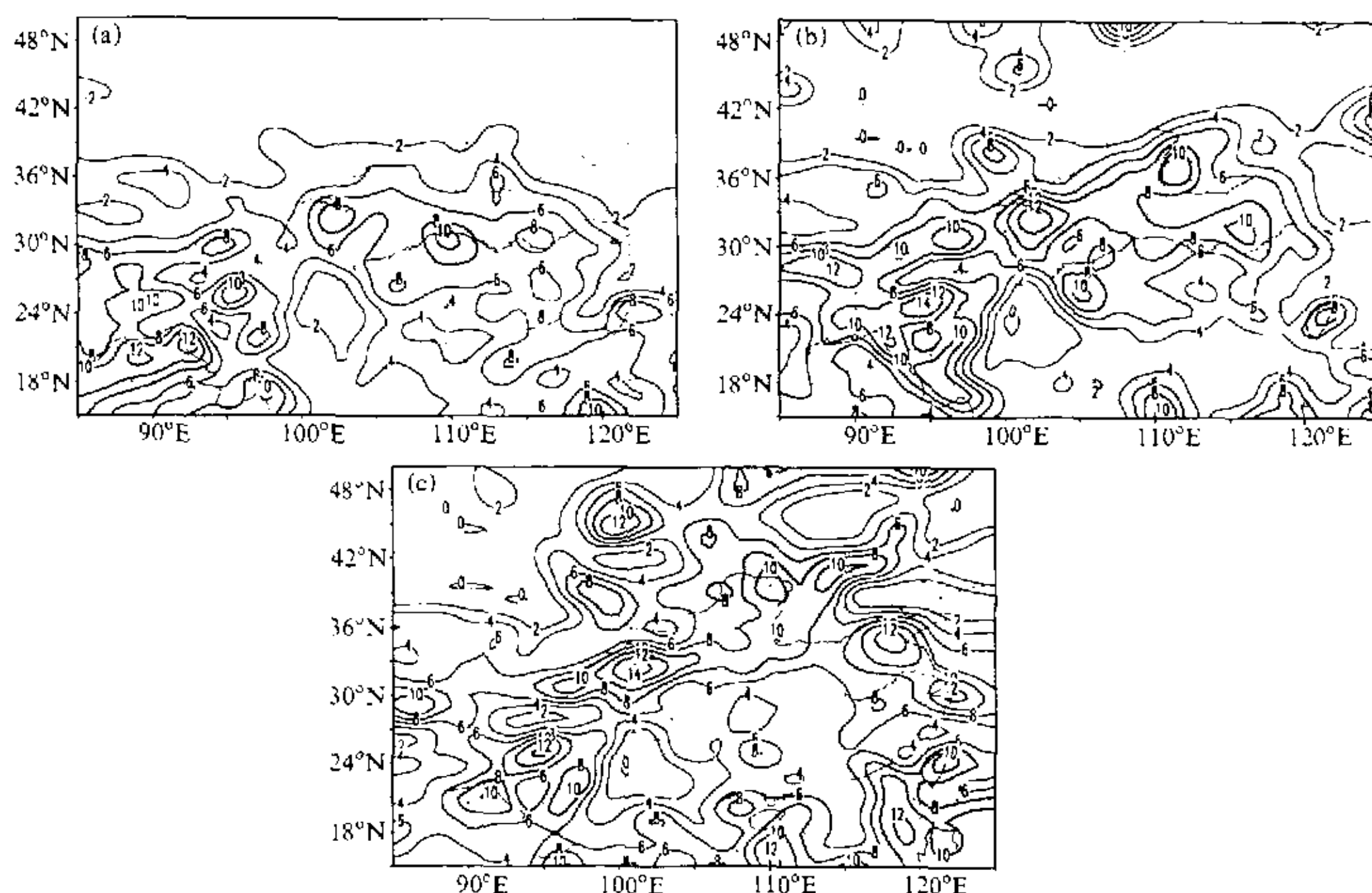


图8 TEST2 模拟的 1998 年 5 月 (a)、6 月 (b)、7 月 (c) 中国区域的月降水场 (单位: mm d)

降水实况更为接近。TEST2 对 7 月份降水的模拟结果也有明显的改进, 由图 8c 可见, 尽管 TEST2 中 7 月份的降水带位置仍较实况偏北, 但较 TEST1 有明显南移, 长江和黄河间有明显的条状雨带, 同时降水量亦较 TEST1 为大。另外, TEST2 对 TEST1 模拟的低纬地区降水过强现象也有所纠正, 这可能与 RCM 南侧边界强迫的误差减小有关。

图 9 是 TEST2 模拟的 500 hPa 位势高度场, 将其与 TEST1 的模拟结果 (图 7) 进行比较可以发现, TEST2 模拟的 5、6、7 月份的 500 hPa 西太平洋副热带高压的强度均比 TEST1 中偏弱, 其位置也相应偏南, 这与 TEST2 模拟的 6、7 月份的雨带位置较 TEST1 偏南是一致的。

3.5 模式域大小对模拟结果影响的讨论

TEST2 的模式域比 TEST1 的大, 因此, TEST2 中模拟结果的改进可能源于较大的模式域。为了估计模式域大小对模拟结果的影响, 我们又做了第三个试验, 名为 TEST3, 其模式域见图 5a 中的阴影区, 比 TEST1 的模式域还小, 但模式域的南部边界嵌套区相同。

从 TEST3 模拟的降水场和 500 hPa 月平均高度场看, 虽然 TEST3 的模式域较小, 其模拟效果仍比 L9R15 有所改进。500 hPa 的模拟形势场与 TEST1 相应区域内的形势基本接近, 但东部高压区的强度略偏强。降水形势与 TEST1 的也较接近, 尤其是在南部边界区内, 但模拟域内部的降水带比 TEST1 的偏北。可见, 模拟域的扩大确实也有利于模拟结果的改进。不过, 将 3 个试验的模拟场相互比较后可以发现, 南部嵌套

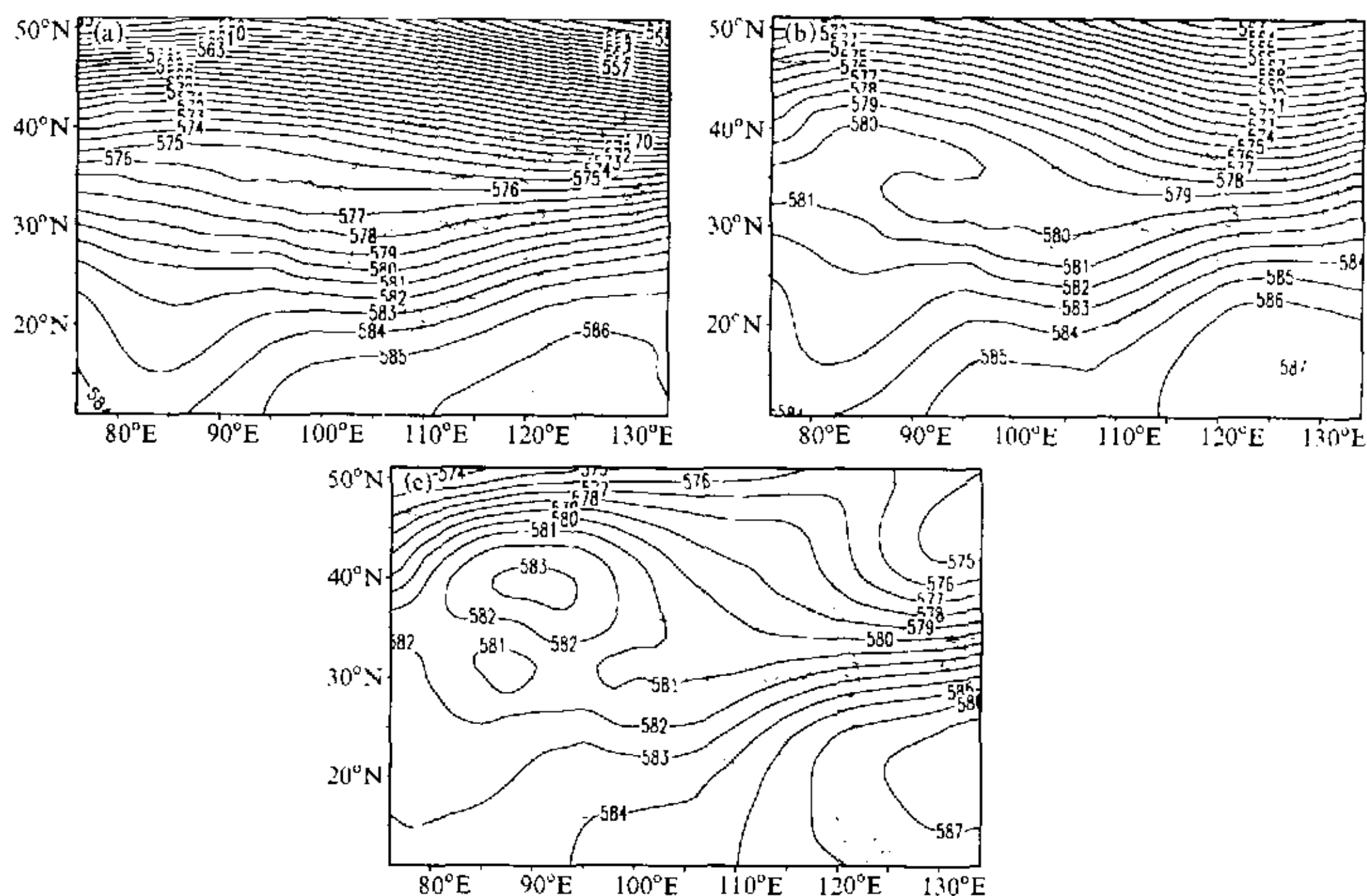


图9 TEST2 模拟的 500 hPa 位势高度的月平均场 (单位: gpdms)
(a) 5 月; (b) 6 月; (c) 7 月

边界取在 L9R15 误差小区的做法, 仍是 TEST2 模拟效果优于 TEST1 和 TEST3 的主要原因。

4 结论

从上节的模拟效果比较中可以看出, 单独使用 GCM (L9R15) 模拟或预测区域气候变化时, 其效果较 GCM-RCM 嵌套模式差。L9R15 模拟的西太平洋副热带高压偏强, 从而使模拟的夏季雨带偏北。GCM-RCM 嵌套模式能明显改进上述缺点。GCM 提供的侧边界值误差对 RCM 的模拟结果有显著的影响。当将 GCM-RCM 嵌套模式的嵌套侧边界选择在 GCM 系统误差较小的地区时, 则 RCM 对区域气候的模拟效果会有明显的改善。同时, 适当将模拟区域取得大一些, 也有利于改进模式的性能。

因此, 当我们用 GCM-RCM 嵌套模式进行区域气候变化的模拟和预测时, 首先应对选定的 GCM 作误差分析, 可用任意时段的逐日观测资料来作这种分析。由于模式的系统误差通常与地形处理和物理过程参数化方案有关, 而与初始场的关系较小, 因此, 模式系统误差的区域分布比较固定。在得到了模式系统误差的地理分布后, 即可选择 RCM 的模式域, 并将嵌套区选在 GCM 误差较小的地方。在计算条件允许时, 可将 RCM 的模式域取得大一些, 以便将复杂地形区 (如青藏高原地区) 包含在内。以上步骤都有利于提高 GCM-RCM 嵌套模式系统的模拟和预测性能。

参 考 文 献

- 1 Giorgi, F. and M. R. Marinucci, Validation of a regional atmospheric model over Europe: Sensivity of wintertime and summertime simulation to selected physics parameterization and lower boundary conditions, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1991, **117**, 1171~1206.
- 2 Giorgi, F., M. R. Marinucci, G. T. Bates and G. De Canio, Development of a second-generation regional climate model (RegCM2), Part II: Convective processes and assimilation of lateral boundary condition, *Mon. Wea. Rev.*, 1993, **121**, 2814~2832.
- 3 Warner, T. T., R. A. Peterson and R. E. Treadon, A tutorial on lateral boundary conditions as a basic and potential serious limitation to regional numerical weather prediction, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1997, **78**, 2599~2617.
- 4 赵宗慈、罗勇, 二十世纪九十年代区域气候模拟研究进展, *气象学报*, 1998, **56**, 225~246.
- 5 McAvaney, B., W. Bourke and K. Puri, A global spectral model for simulation of the general circulation, *J. Atmos. Sci.*, 1978, **35**, 1557~1583.
- 6 Simmonds, I., Analysis of the "Spinning" of a global circulation model, *J. Geophys. Res.*, 1985, **90**, 5637~5660.
- 7 林元弼, 南京大学大气科学系大气环流实验, 南京大学大气科学系, 1987.
- 8 邵慧、钱永甫、王谦谦, 太阳辐射日变化对R15L9气候模拟效果的影响, *高原气象*, 1998, **17**(2), 158~169.
- 9 钱永甫、颜宏、骆启仁、王谦谦, 一个有大地形影响的初始方程数值模式, *大气科学*, 1978, **29**(2), 91~102.
- 10 钱永甫、颜宏、王谦谦、王安宇, 行星大气中地形效应的数值研究, 北京: 科学出版社, 1998, 217pp.
- 11 Qian Yongfu, A five-layer primitive equation model with topography, *高原气象*, 1995, **4** (2) 增刊, 1~28.
- 12 Zhang Qiong and Qian Yongfu, Effects of boundary layer parameterization on the monthly mean simulation, *Acta Meteor. Sinica*, 1999, **13**(1), 73~85.
- 13 钱永甫, 地表热平衡温度的一种计算方法, *气象科学*, 1988, **8**(4), 14~27.
- 14 Qian Yongfu, The effects of different sea surface temperature distributions over the western Pacific on the summer monsoon properties, *Acta Oceano. Sinica*, 1993, **12**(4), 535~547.

On Nesting Area Selection of Regional Climate Models Coupled to a Global Climate Model

Qian Yongfu and Liu Huaqiang

(Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract Three experiments are conducted in this paper. The first one uses a GCM only and its purpose is to access the GCM capability of predicting the regional climate change and to determine the model error distribution. The second and the third ones are the comparative nesting experiments. One of them has a model domain that we are interested in and a nesting area without special consideration of the error distribution in the GCM, while the other has a nesting area selected according to the GCM error distribution. In all of the three experiments the precipitation processes in May, June and July of 1998 in China are simulated and comparisons of the models' results are made. It is found that the results of modeling by only use of a GCM are the worst, while the results of the third experiment are the best. Therefore, the errors of the boundary values in a GCM are of important influences on the simulated results when a regional climate model is coupled to the GCM. If the nesting area is selected in the minimum error district of the GCM, the efficiency of regional climate modeling and prediction would be much better than that without such selection of a nesting area.

Key words: selection of the lateral nesting boundary; regional climate model; climate modeling

参 考 文 献

- 1 Giorgi, F. and M. R. Marinucci, Validation of a regional atmospheric model over Europe: Sensivity of wintertime and summertime simulation to selected physics parameterization and lower boundary conditions, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1991, **117**, 1171~1206.
- 2 Giorgi, F., M. R. Marinucci, G. T. Bates and G. De Canio, Development of a second-generation regional climate model (RegCM2), Part II: Convective processes and assimilation of lateral boundary condition, *Mon. Wea. Rev.*, 1993, **121**, 2814~2832.
- 3 Warner, T. T., R. A. Peterson and R. E. Treadon, A tutorial on lateral boundary conditions as a basic and potential serious limitation to regional numerical weather prediction, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1997, **78**, 2599~2617.
- 4 赵宗慈、罗勇, 二十世纪九十年代区域气候模拟研究进展, *气象学报*, 1998, **56**, 225~246.
- 5 McAvaney, B., W. Bourke and K. Puri, A global spectral model for simulation of the general circulation, *J. Atmos. Sci.*, 1978, **35**, 1557~1583.
- 6 Simmonds, I., Analysis of the "Spinning" of a global circulation model, *J. Geophys. Res.*, 1985, **90**, 5637~5660.
- 7 林元弼, 南京大学大气科学系大气环流实验, 南京大学大气科学系, 1987.
- 8 邵慧、钱永甫、王谦谦, 太阳辐射日变化对R15L9气候模拟效果的影响, *高原气象*, 1998, **17**(2), 158~169.
- 9 钱永甫、颜宏、骆启仁、王谦谦, 一个有大地形影响的初始方程数值模式, *大气科学*, 1978, **29**(2), 91~102.
- 10 钱永甫、颜宏、王谦谦、王安宇, 行星大气中地形效应的数值研究, 北京: 科学出版社, 1998, 217pp.
- 11 Qian Yongfu, A five-layer primitive equation model with topography, *高原气象*, 1995, **4**(2) 增刊, 1~28.
- 12 Zhang Qiong and Qian Yongfu, Effects of boundary layer parameterization on the monthly mean simulation, *Acta Meteor. Sinica*, 1999, **13**(1), 73~85.
- 13 钱永甫, 地表热平衡温度的一种计算方法, *气象科学*, 1988, **8**(4), 14~27.
- 14 Qian Yongfu, The effects of different sea surface temperature distributions over the western Pacific on the summer monsoon properties, *Acta Oceano. Sinica*, 1993, **12**(4), 535~547.

On Nesting Area Selection of Regional Climate Models Coupled to a Global Climate Model

Qian Yongfu and Liu Huaqiang

(Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract Three experiments are conducted in this paper. The first one uses a GCM only and its purpose is to access the GCM capability of predicting the regional climate change and to determine the model error distribution. The second and the third ones are the comparative nesting experiments. One of them has a model domain that we are interested in and a nesting area without special consideration of the error distribution in the GCM, while the other has a nesting area selected according to the GCM error distribution. In all of the three experiments the precipitation processes in May, June and July of 1998 in China are simulated and comparisons of the models' results are made. It is found that the results of modeling by only use of a GCM are the worst, while the results of the third experiment are the best. Therefore, the errors of the boundary values in a GCM are of important influences on the simulated results when a regional climate model is coupled to the GCM. If the nesting area is selected in the minimum error district of the GCM, the efficiency of regional climate modeling and prediction would be much better than that without such selection of a nesting area.

Key words: selection of the lateral nesting boundary; regional climate model; climate modeling