

1998年中国科学院大气物理研究所 气候与环境预测研究中心 汛期暴雨短期数值预测^{*}

陈红 孙建华 贝耐芳 王俊
张宝严 杜长萱 蔡则怡 赵思雄

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

摘要 对1998年夏季汛期(6~8月)天气过程进行了分析;在6~8月期间用IAP-ETA暴雨数值预报模式进行了每天的24小时的降水实时预报;首次采用从Internet网上获取的NCEP资料,作为初值。预报的结果表明,ETA坐标有限区域模式对暴雨预报有较好的参考价值;NCEP资料是有用的,尤其是在高原和广大海洋资料稀少地区。

关键词 ETA坐标模式 夏季汛期降水

1 引言

中国位于世界著名的季风区。夏季风爆发和盛行的时期,是中国的暴雨季节。暴雨在中国大陆的出现先后集中于3个时期:5~6月初主要暴雨区出现在南岭以南,即所谓的华南前汛期暴雨;6~7月暴雨区出现在江淮流域,这是长江流域的梅雨;7月下旬至8月上旬,暴雨区主要移至华北,这是盛夏华北暴雨。夏季暴雨对我国国民经济建设和人民的生活有重要影响。其中长江流域的梅雨对我国的影响很大。我国作为一个多暴雨的国家,经常受到突发性洪水或持续性洪水的影响,在有些年份灾害相当严重。如,1963年8月海河大范围的洪水,1975年8月河南省破历史记录的特大暴雨和1991年江淮流域的特大洪水。因此,暴雨的研究和预报问题一直是中国气象工作者最关心的问题之一。1998年长江流域发生了1954年以来最大的洪涝灾害,对国家和人民的生命财产构成严重威胁。

中国科学院大气物理研究所(IAP)国际气候与环境科学中心(ICCES),一直从事中国气候与天气灾害机理和预测的研究。不但研制了月、季、年际或更长时间尺度的气候预测系统,而且发展和不断改进现有的短期和短时预报系统。每年汛期,ICCES

1998-11-25收到

^{*} 本工作得到中国科学院重点基金项目,中国科学院大气物理所所长择优基金项目的资助和国家自然科学基金项目的资助

采用这些系统,除对我国汛期的旱涝趋势进行预测外,还使用 ETA 坐标暴雨有限区域数值模式等工具进行每天预报,并进行会商。会商结果既提供给有关部门使用参考,也在因特网上公布。本文主要就 1998 年夏季汛期预报的情况做一介绍。

2 模式简介

中国是一个地形比较复杂的国家。在数值天气预报模式中如何处理地形一直是一个很困难的问题。目前,大多数模式采用 SIGMA 坐标作为垂直坐标来考虑地形。这是因为,在 SIGMA 坐标下,地表为坐标面,从而就下边界条件而言,无论地形如何复杂总是较为容易描写。SIGMA 坐标对平缓的地形是可行的,但对于陡峭地形将引入较大的计算误差^[1]。我们采用 IAP-ETA 坐标模式进行夏季汛期预报^[2,3]。IAP-ETA 坐标保留了 SIGMA 坐标具有的简单的下边界条件,又避免了在陡峭地形下 SIGMA 等值面过于倾斜的缺点,可把地形表示为三维阶梯状,在模式内部形成侧边界。另外,由于该模式以 IAP-GCM 模式的动力框架为基础,可以保证完全能量守恒,有较好的稳定性和精度^[2,4]。由于对温度和位势作了静力扣除,对减少地形坡度带来的计算误差非常有效。又,由于模式中采用了保形水汽平流方案,在试验中水汽平流计算,不会出现负水汽现象^[3]。

模式的物理过程主要包括:(1)大尺度凝结降水;(2)Betts 对流调整和对流降水;(3)水平扩散和垂直通量输送;(4)边界层参数化。

目前,模式水平分辨率约 $1^\circ \times 1^\circ$, 约为 75 km,垂直分层为 8 层。部分个例已采用 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$, 约为 35 km。计算区域在纬向取 40 个经度,经向取 40 个纬度,约为 $90^\circ \sim 130^\circ \text{E}$, $10^\circ \sim 50^\circ \text{N}$ 。目前,该模式既可在巨型机、工作站上运行,也发展出在微机上工作的版本。还发展了前处理和后处理系统,可以用批处理方式运行。至今为止,该模式已对一批实例进行了预报,并提供了实时预报产品^[5,6]。

3 天气实况

3.1 环流形势

对于 1998 年汛期尤其是 7 月(“二度梅”)的环流形势,赵思雄等^[7]已经作过一些分析。他们认为,1998 年汛期我国的降水大体可分为 4 个阶段:6 月中下旬为第 1 阶段梅雨;7 月上、中旬为过渡阶段;7 月下旬为第 2 阶段梅雨(即“二度梅”);8 月份为第 4 阶段,雨区明显移至东北和长江上游等地。可以看到,副热带高压进退与中纬度阻塞系统调整,对中国降水天气系统的位置与生消有很直接的关系。

整个 5 月份直至 6 月 10 日以前,副热带高压维持在 15°N 左右,属于华南前汛期暴雨阶段,尚未入梅。

6 月 11 日开始,副热带高压突然北跳,5880 线移到了 20°N 以北,中高纬度鄂霍茨克海和乌拉尔阻塞高压出现并维持。同时,贝加尔低槽逐渐建立,典型的梅雨形势已形成。从 6 月 25 日开始,副高 5880 线更向北、向西推进,到 28 日,5880 线控制整个长江流域及其以南地区,并出现了 5920 线。28 日以后,5880 线又东撤南退。7 月 2 日,

随着冷空气的南移,副高主体向东退到了海上。此后,中高纬的形势有较大的调整,长江流域第 1 阶段梅雨结束。

7 月 7 日 5880 线移过长江,北方出现强降水。强降水主要由西风带槽东移造成的。南方的暖湿气流比较活跃,亦有贡献。还要指出,由于副热带高压西伸进入大陆,500 hPa 上出现闭合高压单体,并较为稳定地维持在长江中下游一带,因而使长江流域(如南京、上海等地)出现高温闷热天气。这一阶段副高闭合单体一直维持在我国大陆。由于天气形势没有明显调整,基本维持华北多雨形势。

7 月 20 日左右,500 hPa 中高纬由两槽一脊形势逐渐演变成两脊一槽形势(乌拉尔和鄂霍茨克海出现阻塞),两阻塞之间为一宽槽,宽槽底部不断有小槽东移,与副高西侧的暖湿西南气流相遇,引发了第 2 次梅雨(即“二度梅”),长江流域再次出现大范围的降雨,使洪涝灾害的形势更加严峻。7 月 30 日以后至 8 月份,副高西伸北跳,长江流域中下游降水逐渐减弱并结束,而长江流域上游及北方处于多雨阶段。

3.2 降水实况

通过对 1998 年 6~8 月的降水实况的分析,我们发现 1998 年汛期降水比较特殊,长江流域出现了两度梅雨。6~8 月降水的情况可扼要总结如下。

(1) 第 1 阶段:6 月上旬,雨区位于华南低纬地区。6 月 12 日长江流域开始出现第 1 次梅雨,13 日长江流域大范围的雨带从湖南沅陵、长沙至江西宜春、贵溪,直到福建浦城一线。此后,主要雨区由华南移到华南北部和江南一带,这个雨带维持了半个月左右,致使江西、湖南、浙江等地多出现特大暴雨。另外,由于冷涡的存在,华北地区这一时期雨水也偏多。从 6 月 27 日开始,长江流域及其以南地区的雨带有所减弱;29 日,暴雨区集中在长江中下游及淮河流域;7 月 2 日,主要的暴雨区移至黄淮,7 月 3 日以后,长江流域降水结束。

(2) 第 2 阶段:7 月上中旬主要雨区在长江以北。4~6 日中国的北方出现了一次降水过程。7~13 日雨区主要位于河套和华北地区。

(3) 第 3 阶段:7 月下旬长江流域又出现大范围的降雨。21 日以后长江流域开始二度梅雨。特别是 7 月 21 日晨~23 日晚湖北武汉出现了百年不遇的大暴雨,它可能是小槽东移遇副高阻挡加深引起的。到 22 日武汉大暴雨已达 280 mm,汉阳地区达 438 mm。武汉平地积水 1 尺多深,有的地方深达腰部。由于中国上游里海东侧大槽形成,纬度较低,形成横跨青藏高原北部的强西风带,故而卫星云图上不断有云系从高原东移,长江中下游降水不断。

(4) 第 4 阶段:进入 8 月,副热带高压西伸北跳,我国北方多雨,长江上游的川江也属多雨区。另外,由于东北气旋活动频繁,使今年夏季我国东北雨水大大多于往年。

4 模式应用及预报结果分析

1998 年 6~8 月,中国科学院大气物理研究所采用 ETA 模式进行了每天的降水预报。在 1997 年以前,模式所用的原始资料来自于 GTS,由专线提供。1998 年由于网络的开通,改为从因特网上获取资料,具体来讲,使用来自网络上的美国 NCEP 资料。这种资料主要的特点是能覆盖全球范围,对高原及广大海洋洋面等资料稀少的地区尤其

有用。但是这种资料的最小分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ，对中小尺度系统和模式而言似乎仍然粗了些，当预报较小的中尺度系统引起的暴雨时，预报结果可能会受一定的影响，这是需要注意的。另外，由于 NCEP 资料中不包括实况雨量场，所以进行 Ts 评分时所用的雨量资料需其它途径获取。总的说来，由于 NCEP 资料每天准时公布在网上，所以获取时较为方便、省事，也有利于预报的批处理运行。

通过 1998 年 6~8 月 3 个月的实时预报，总的看来，IAP-ETA 模式对于中国汛期降水有较好的预报能力。它能成功地模拟出长江流域的雨带和雨量，特别是对第 1 阶段和第 2 阶段梅雨的预报。图 1 为以 1998 年 6 月 13 日 00 时为初值的 24 小时雨量预报与实况。6 月 13 日长江流域第 1 次入梅，长江中下游地区出现了强降水。模式准确地预报出了长江流域的雨区。预报的 Ts 评分也较高，包括大于 25 mm 的降水在内，Ts 评分达 18.5%，这个降水预报是有参考价值的。图 2 给出了“二度梅”时以 1998 年 7 月 23 日 00 时为初始场的 24 小时预报和实测的较强降水分布。观测雨量图（图 2a）上两片雨区分别位于长江流域和东北。在图 2b 上可见 ETA 模式成功地模拟出了这两个雨带，高原西部的雨区也模拟了出来。由于收集的测站较密，实测的雨量，其分布要比预

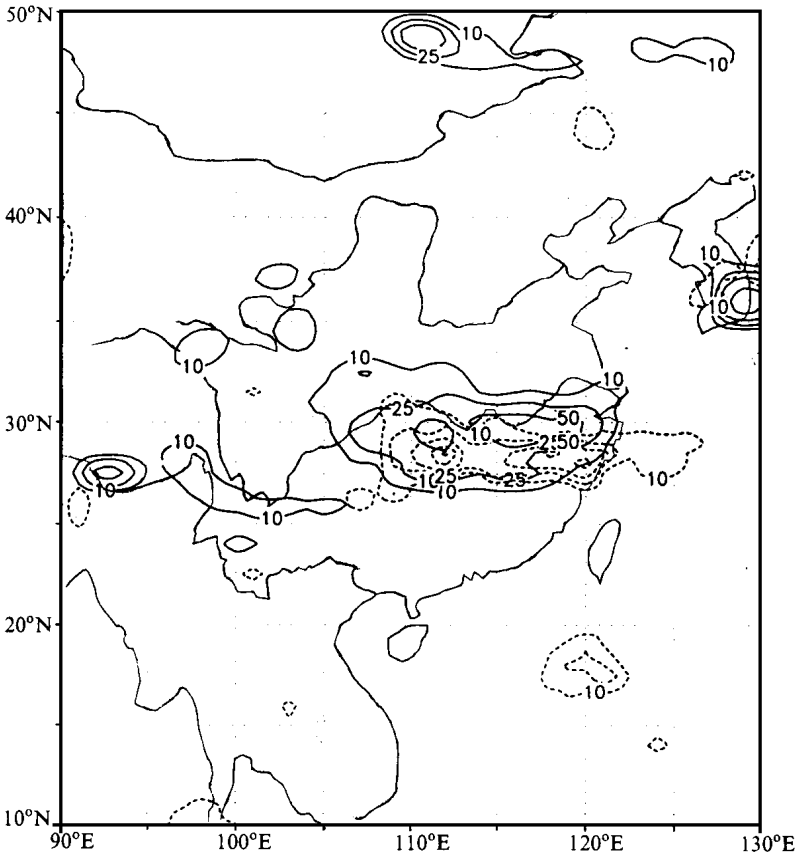


图 1 以 1998 年 6 月 13 日 00 时为初值的 24 小时雨量预报与实况
实线：预报；虚线：实况。单位：mm

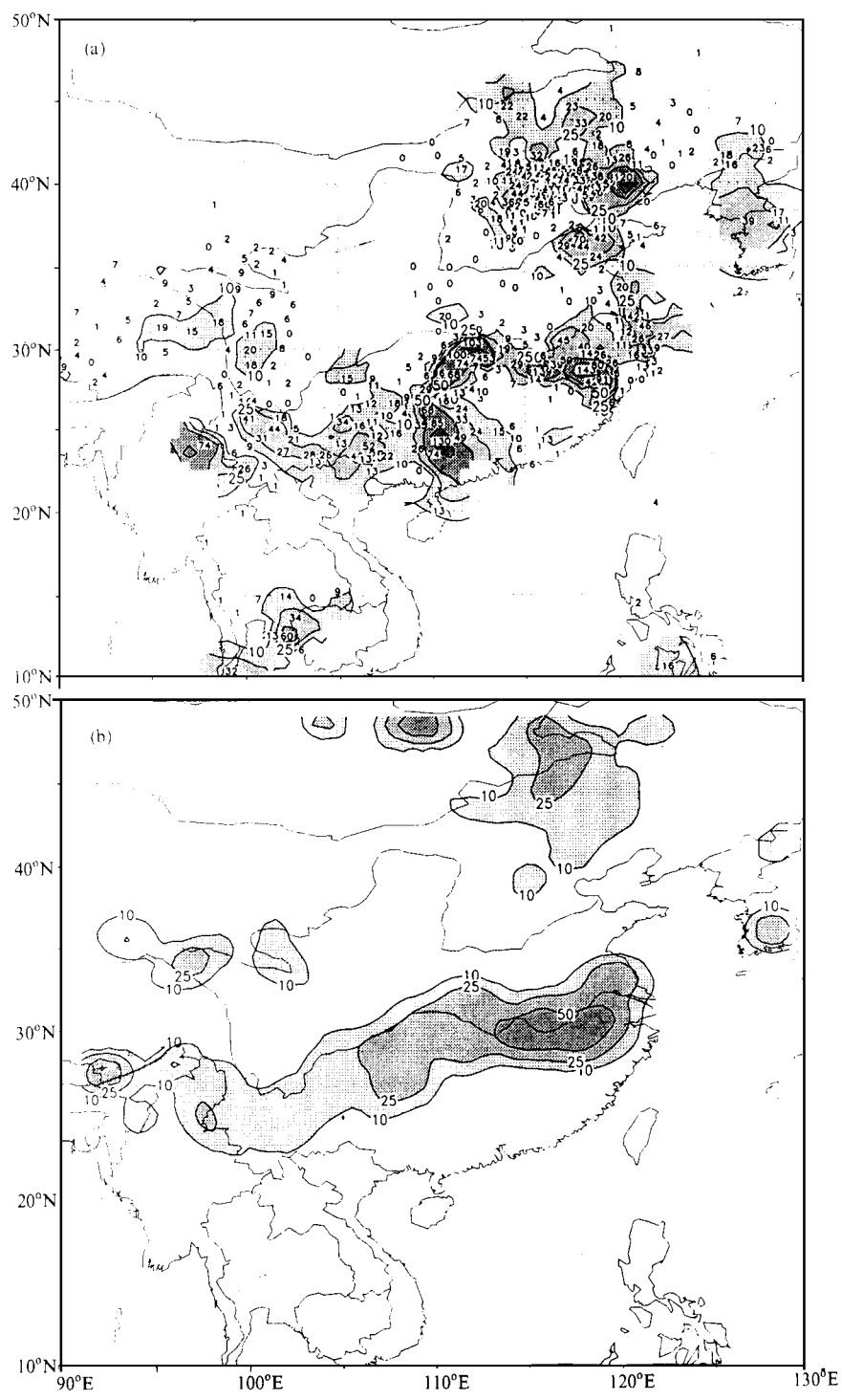


图2 以1998年7月23日00时为初值的24小时雨量预报与实况
(a) 实况; (b) 预报。单位: mm

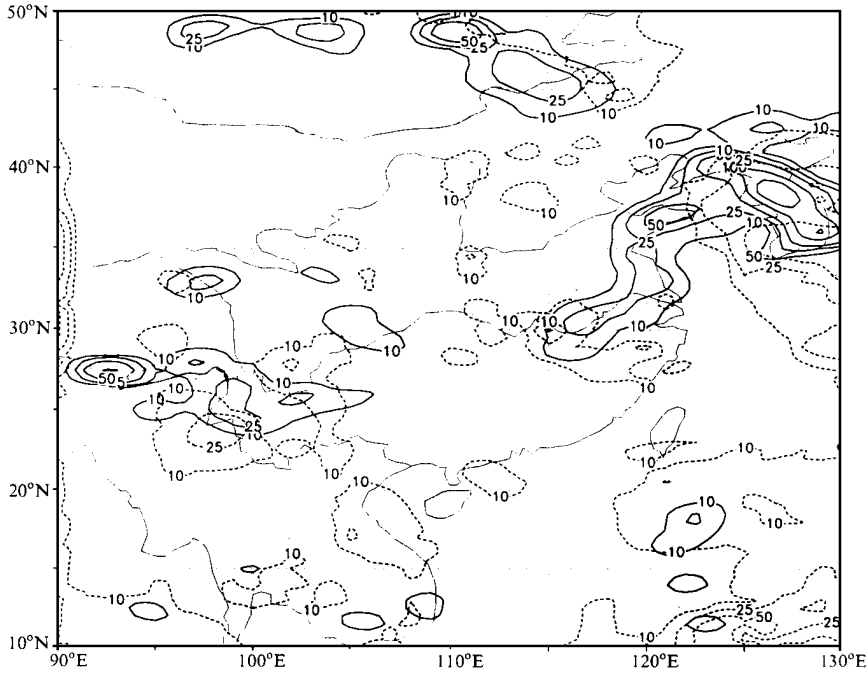


图 3 以 1998 年 7 月 31 日 00 时为初值的 24 小时雨量预报与实况
实线：预报；虚线：实况。单位：mm

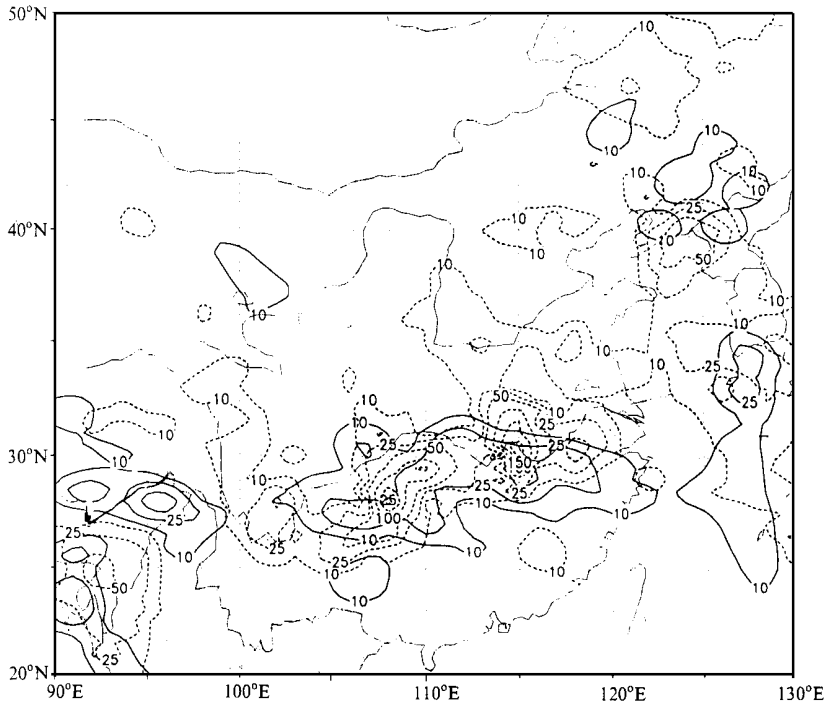


图 4 以 1998 年 7 月 21 日 00 时为初值的 24 小时雨量预报与实况
实线：预报；虚线：实况。单位：mm

报雨量的分布更细。另一方面, 由于模式的分辨率还不太高, 预报的雨区较光滑, 雨量偏小一些。但是, 在“二度梅”期间, ETA 模式每日几乎在长江流域均成功地预报出一条雨带, 该雨带的南北摆动亦得到较好的描述。图 3 给出了 1998 年 7 月 31 日对二度梅结束时的预报结果, 图中显示, 沿长江流域的梅雨的降水大体结束, 雨带已移至我国北方, 在我国东北和朝鲜半岛出现了较强降水。这个预报也是符合实际的。另外, 需要强调的是, ETA 模式还成功地预报出 1998 年春季南亚地区西风带槽引起的强降水, 这一结果将另文发表。

需要指出的是, 我们未能预报出始于 7 月 21 日凌晨“二度梅”时武汉地区的局地特大降水, 甚至雨带的位置亦有较大出入(图略), 这也许是 NCEP 资料用于中尺度暴雨模式预报中的不足之处, 是否可能当天 NCEP 资料收集的中国方面的资料信息不完全, 也有待确认。我们改用包括地面测站和高空测站在内的实时资料, 用 ETA 模式重新进行模拟预报, 结果雨区的分布有较大的改进(图 4), 雨区已伸展并覆盖长江中下游的广大区域, 但最大暴雨中心, 仍不理想。这可能是由于较小的中尺度的云团尺度太小, 大大小于模式网格的尺度, 因而, 现有分辨率的模式可能难于描写这样小尺度的突发系统。我们检查了国内外的数值预报结果, 发现国内外模式对 7 月 21 日这一实例, 同样都缺乏必要的预报能力, 这也许正是今后中尺度数值预报要继续研究的一个课题。

综上所述, ETA 模式在夏季降水预报中, 效果是好的, 但为满足经济和社会发展的需求, 某些方面还需进一步改进, 如提高模式分辨率, 物理过程的改进等。总体来说, 作为中尺度模式, 它使用简单, 所需计算量不大, 预报降水时效果好, 而且能适用于亚洲的广大区域(含中国及中国以外的其它区域), 因此, 有进一步推广的价值。

5 结论与讨论

中国科学院大气物理研究所气候与环境科学中心对 1998 年汛期的气候与天气演变过程进行了实时预测, 得到了一些看法:

(1) 1998 年长江流域两度出现梅雨: 第 1 次为 6 月 13 日至 7 月 3 日, 第 2 次为 7 月 21 日至 7 月底。第 2 阶段梅雨时间虽不算太长, 但影响很大。此外, 我国东北降水也大大多于往年, 造成特大洪涝。

(2) 在夏季汛期期间, 用 IAP-ETA 有限区域数值模式对降水进行预报。ETA 模式对于降水, 尤其是长江流域的梅雨具有较好的预报能力。例如, 对于第 1 阶段梅雨的开始(即入梅)及结束, 第 2 阶段梅雨的开始及结束(出梅)等, 以及雨带维持期间位置的南北方向摆动, 均有较好的预报。这说明 ETA 模式在暴雨预报方面有一定的参考价值。

(3) 1998 年首次采用通过因特网获取的 NCEP 资料作为模式的初始场。总的来讲, 这份资料对汛期降水预报是有用的, 尤其是在高原及广大海洋等资料稀少地区, 其优点更为突出。但是, 目前使用的 NCEP 资料在分辨率上, 对于描写较小的中尺度系统方面似乎仍显不够。因此, 在相当一个时期内, 应同时采用高空和地面测站资料以及其它的非常规资料, 尤其是加密资料等, 可能效果更佳。

(4) 为了获取更高精度的预报结果, 在已有模式基础上, 改进并发展有更高水平和垂直分辨率的 ETA 模式是今后的一项重要任务。

(5) 为了产生更好的预报结果, 如文中指出的那样, 今后对于模式的物理过程, 如积云对流参数化方案, 行星边界层参数化方案, 也有进一步改进与继续完善的必要。

参 考 文 献

- 1 曾庆存, 1979, 数值天气预报的数学物理基础 (第一卷), 北京: 科学出版社.
- 2 Yu Rucong, 1994, Documentation of the LASG regional ETA - coordinate model, Technical Report No. 1, State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Science and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences.
- 3 宇如聪、曾庆存、彭贵康、柴复新, 1994, “雅安天漏”研究, II. 数值预报试验, 大气科学, **18** (5), 535 ~ 551.
- 4 Zeng Qingcun, Yuan Chongguang, Liang Xinzong and Bao Ning, 1986, A global grid point general circulation model, short and medium range numerical weather prediction, *Collection of Papers Presented at the WMO/ IUGG NWP Symposium*, Tokyo, 4 - 8 August 1986.
- 5 宇如聪, 1994, 一个 坐标有限区域数值预报模式对 93 年中国汛期降水的实时预报试验, 大气科学, **18** (3), 284 ~ 291.
- 6 赵思雄、张宝严、孙建华、杜长萱、陈红、蔡则怡、贝耐芳和王俊, 1998, 长江三峡工程大江截流时期降水短期数值预报的应用研究, 东亚季风和中国暴雨——庆贺陶诗言院士 80 华诞, 北京: 气象出版社, 439 ~ 447.
- 7 赵思雄、孙建华、陈红、张凤, 1998, 1998 年 7 月长江流域特大洪水期间暴雨特征的分析研究, 气候与环境研究, **3** (4), 368 ~ 381.

Short Range Heavy Rain Numerical Prediction in the Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences during Rainy Season of 1998

Chen Hong, Sun Jianhua, Bei Naifang, Wang Jun,
Zhang Baoyan, Du Changxuan, Cai Zeyi and Zhao Sixiong
(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract The very severe flooding occurred in the Changjinag River during rainy season of 1998. In this paper, heavy rainfall processes are analyzed from June to August and the results of the real time heavy rain numerical predictions by IAP ETA Model are introduced. NCEP data is used as initial fields for input of the ETA model since 1998 and predictional results are showed publicly through Internet. The predictional products showed that ETA coordinate limited area numerical model is one of very useful tools for the prediction of heavy rainfall during rainy season of 1998. And, NCEP data is also very helpful to prediction, especially in the data - sparse areas of Tibetan Plateau and vast ocean.

Key words ETA coordinate model rainy season precipitation