

强降水过程模式中尺度水汽初值的敏感性试验^①

崔春光

(武汉暴雨研究所, 武汉 430074)

提 要

用 η 坐标中尺度模式模拟了1998年7月20日20时~21日20时(北京时,下同)发生在湖北省东部的一次强降水过程。根据20日20时降水的实际发生区域,调整了武汉以南的一块与实际降水对应区域的850~400hPa的湿度初始场。试验结果表明,模式降水预报效果强烈地依赖于中低层中尺度水汽初值。当探空网资料的客观分析场不能正确地反映出中尺度高湿区的存在时,预报结果与实际偏差很大。根据实际降水区域对湿度场作人为调整后,预报效果大大地趋近于实际情况。模拟试验效果说明了随着数值模式分辨率的提高,利用较密集的地面降水观测资料改善模式初值场的重要性。

关键词: 数值模式 水汽初值 降水量

引 言

1998年7月20~22日,西南低涡稳定维持在川、黔、鄂交界处,由低涡主体至鄂东一线,中低层有逐日加强的切变线,沿切变线不断有降雨云团东移,受其影响,湖北省东部出现了历史上罕见的持续性特大暴雨过程,其中雨量超过300mm的测站共有9个,黄石和汉口站过程降水量分别达到518mm和466mm。持续性特大暴雨过程由两个相对独立的集中强降水过程组成,集中降水期分别出现于21日和22日凌晨至下午16时,两次过程发生的时间、强度和落区都十分相似。21日过程的降水中心位于汉口,22日位于黄石。

我们用水水平分辨率约35km(0.5°×0.5°E型网络),垂直分为16层的有限区域 η 坐标模式,模拟了20~21日和21~22日的两次强降水过程。针对两个相似过程的模拟结

果的巨大反差探究引起差别的原因,本文作了20日20时客观分析场中尺度水汽初值的敏感性试验,取得了一些有益的结果。

1 降水预报模拟试验

1.1 模式简介

本文采用的数值模式是中国科学院大气物理所宇如聪等人设计的有限区域暴雨研究模式^[1~3],模式垂直坐标选用 η 坐标,其表达式为:

$$\eta = \sigma\eta_s$$

$$\eta_s = \frac{P_{rf}(Z_s) - P_t}{P_{rf}(Z_b) - P_t}; \sigma = \frac{P - P_t}{P_s - P_t}$$

其中 Z_s 是模式中的地形高度, Z_b 是用来构造坐标面的平缓地形, $P_{rf}(Z)$ 是标准层结大气在 Z 高度处气压, P_t 、 P_s 和 P 分别表示模式层顶气压、地面气压和气压。 η 坐标保留了 σ 坐标具有的简单下边界条件,又避免了在陡峭地形下 σ 坐标模式计算误差较大的缺点, η 坐

^① 国家重点基础研究发展规划项目“我国重大气候和天气灾害形成机理与预测理论研究”G1998040910号课题和“湖北省大涝年暴雨洪涝成因分析和预报技术研究”课题共同资助。

标把地形表示为三维阶梯状,在模式内部形成侧边界。

模式中变量的水平分布采用E网格,水平分辨率平均约35km对应E网格的两个子C网格水平分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$,垂直方向等距分为16层,模式顶为100hPa。

模式的物理过程包含着水平扩散、大尺度凝结降水及Betts对流参数化调整方案,采用简单的整块边界层参数化(Bulk Aerodynamic PLB);用地面热平衡方程预报地面温度 T_g ,考虑了地面对长、短波辐射的能量收支以及地面的感热、潜热通量输送。侧边界为固定边界。

1.2 降水预报试验

模式网格范围为:20~50°N、100~130°E,分别用7月20日20时和21日20时资料作24小时预报^[2]。图1a是20日20时~21日20时湖北省24小时降水量分布图,图1b是模式预报20日20时~21日20时24小时降水量分布;图2a和图2b分别是21日20时~22日20时实况降水和预报降水分布。可以看出,模式对21日20时~22日20时降水过程预报比较成功,预报出了位于鄂东的大暴雨区,中心强度达113mm,雨区的位置也有较好的对应。从图1还可以看到,模式对20日20时~21日20时鄂东降水预报基本失败,无论是中心强度、降水区域与实况都相差甚远。

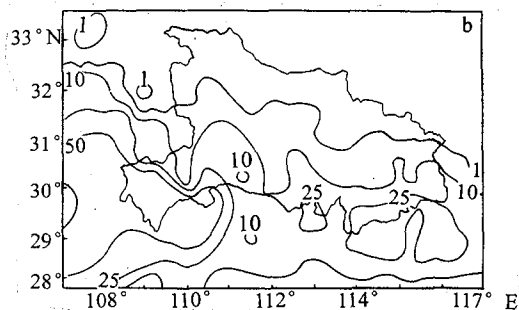


图1b 模式预报图1a时段的降水量/mm

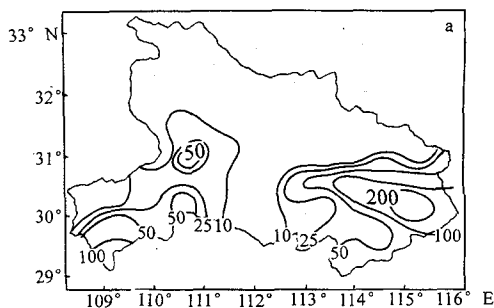


图2a 1998年7月21日20时~22日20时湖北省降水量/mm

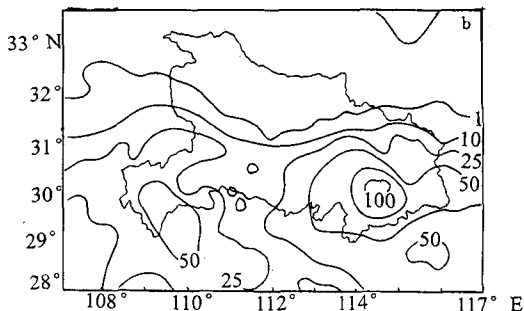


图2b 模式预报图2a时段的降水量/mm

2 中尺度水汽初值的敏感性试验

在上述降水预报试验中,两个相似的个例出现了迥然不同的两种预报结果,究其原因,首先要看一下探空测站的分布。在长江中

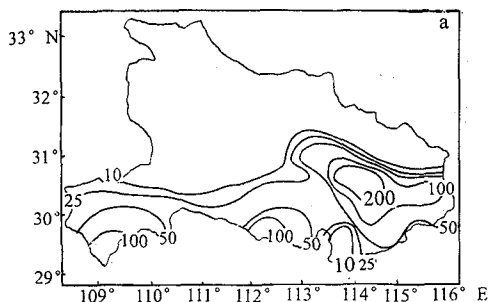


图1a 1998年7月20日20时~21日20时湖北省降水量/mm

游地区,分布着数量不多的几个探空站,包括宜昌、长沙、南昌、汉口、安庆、南阳等,平均距离约300km,这些探空站资料是数值模式客观分析场的基本来源。

查阅1998年7月20日20时和21日20时汉口站探空数据,可以看出,20日20时测站上空中低层湿度较小,温度露点差一般在4℃以上,21日20时测站上空中低层湿度趋近于饱和。图3a是根据20日20时探空资料所绘制的700hPa相对湿度分析场,可看到114°E附近高湿区位于29°N以南;而在此时刻武汉南边的咸宁、崇阳等地都出现了逐小时10mm以上的降水(图3b),尽管该片雨区

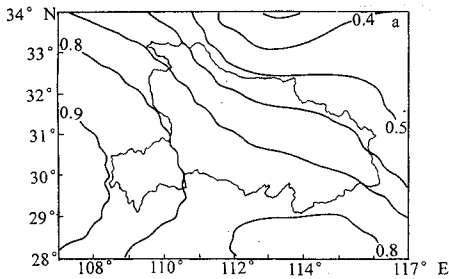


图3a 1998年7月20日20时700hPa客观分析相对湿度

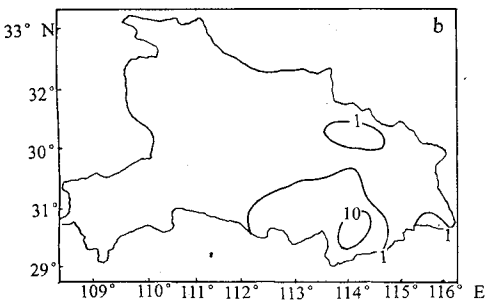


图3b 1998年7月20日20~21时1小时实况降水量/0.1mm

范围不大,但强度较强,显然有一个中尺度高湿区存在。从卫星云图的演变^[3]我们也注意到,在20日下午至晚上有中 α 尺度云团自西

向东从武汉南边的鄂南山区北坡移过,20时前后造成了该地区短时间的强降水,但对汉口测站及邻近区域没有造成影响,因此汉口站20日20时的探测资料没有反应。

从以上描述情况我们不难理解:由于探空网站的稀疏,当有明显的中尺度系统活动并且系统特征没有被测站所捕捉到时,由探空站资料得到的客观分析场会与实际偏差较大。图4是模式预报的20日20~21时1小时降雨量,显然,从一开始积分,模式的预报就偏离实况较远。

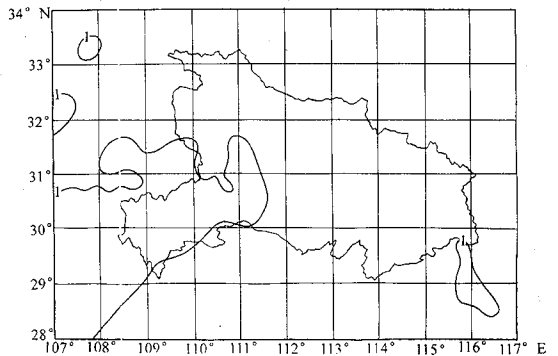


图4 模式预报图3b时段的降水量/mm

根据上面分析并参照20日20时实际降水发生区域,我们对20日20时模式相对湿度客观分析场作了调整,假定在29.5~30.5°N和113~114.5°E的区域从850hPa至400hPa各层的相对湿度值取0.999,即趋近于饱和(图5a),湿度场调整后的模式预报20日20~21时1小时降水量见图5b。可以看到,与实况大致对应的区域出现了10mm以上的降水区。同时由于潜热释放的反馈作用,到21时鄂东地区的中低层中尺度辐合中心发展起来,随后1个小时(即22时),中尺度正涡度中心也明显出现并不断加强(图6)。

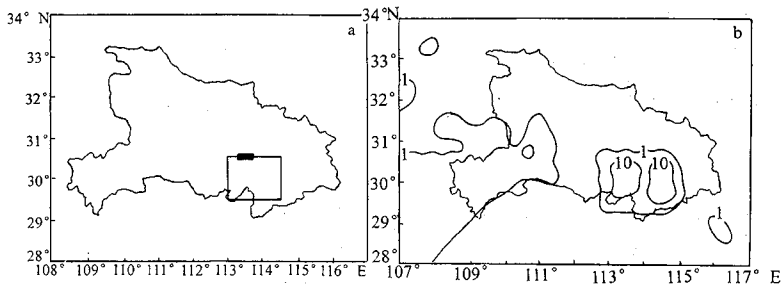


图5 调整湿度场(a)区域后模式预报图 3b时段降水量(b)/mm

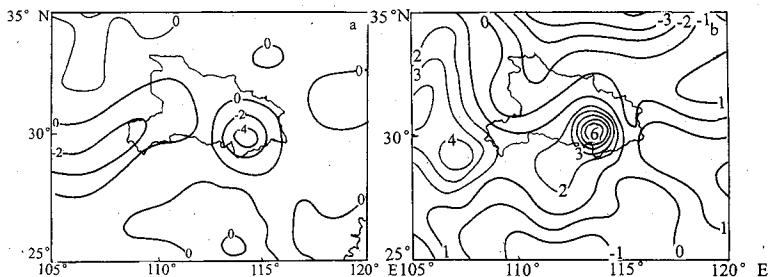


图6 调整湿度场后模式计算7月20日21时700hPa散度(a)/ $\times 10^{-5} \cdot s^{-1}$ 和22时涡度(b)/ $\times 10^{-5} \cdot s^{-1}$

图7是调整湿度场后模式24小时降水量预报,在鄂东地区从武汉至黄石一带,出现了150mm的强降水中心,其强度和落区都接近于实况。模式预报结果趋近于实际情况,充分表明了中尺度水汽初值对本次强降水过程发生与发展的重要贡献。

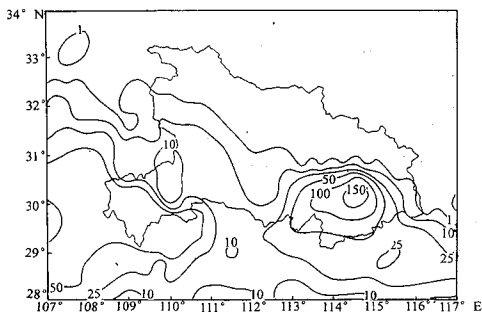


图7 在图6a状态下模式预报7月20日20时~21日20时降水量/mm

3 结论

敏感性试验的结果表明:初始场中尺度高湿区的存在,对7月20日20时~21日20时强降水过程的模拟效果有着至关重要的意义。如果我们能用非常规探测资料反演同化给出接近实际的中尺度湿度场,就可能较好地报出这次被普遍视为难点的特大暴雨过程。因此,随着数值模式分辨率的不断提高,地面降水等中尺度资料的同化处理变得越来越重要。

参考文献

- 1 字如聪. 一个7坐标有限区域数值预报模式对1993年中国汛期降水的实时预报试验. 大气科学, 1994, 18(3): 284~292.
- 2 崔春光等. 1998年7月鄂东特大暴雨过程的数值模拟试验. 暴雨·灾害, 1999年第1期.
- 3 胡伯威等. 1998年7月21~22日鄂东沿江特大暴雨成因探讨. 待发表.

Sensitivity Test for Mesoscale Moisture Initial Value in Numerical Model for a Severe Rainfall Process

Cui Chunguang

(Wuhan Heavy Rain Institute, Wuhan 430074)

Abstract

A severe rainfall process occurring in the east of Hubei province from 2000 BST of July 20 to 2000 BST of July 21, 1998 was simulated by a η -coordinate mesoscale numerical model. According to the actual rainfall area, the humidity initial field at the level from 850hPa to 400hPa was adjusted. The test result shows that the forecast efficiency is strongly determined by the initial value of the mesoscale moisture at the mid-level and low-level. When the objective analysis on the radio-sounding data fails to correctly indicate the existence of the mesoscale high humidity area, the forecast extremely deviates from the actual situation. But when the humidity field is adjusted in accordance with the actual rainfall area, the forecast efficiency is greatly improved. The simulation effect reveals the importance of using intensive observation rainfall data to improve the initial field of the numerical model especially after the resolution of the model is increased.

Key Words: numerical model moisture initial value rainfall