

η 坐标有限区域数值预报模式的实时预报试验

方慈安 梅修宁 毛光祥

(湖南省气象台, 长沙 410007)

提 要

给出了 η 坐标有限区域数值模式对 1998 年汛期降水的实时预报试验结果, 表明利用 T106 资料作初值, 模式对湖南汛期降水有相当的预报能力。在 6 月中、下旬和 7 月下旬的主汛期预报中, 雨区范围(24 小时降水大于 1mm)预报的 TS 值为 56.4%; 24 小时降水大于 10mm、25mm 和 50mm 的 TS 值分别为 33.9%、21.6% 和 10.6%, 优于 HLAFS 和 T106 的预报结果, 其中降水大于 25mm 的 TS 值要比 HLAFS 的提高 13.1%。

关键词: 数值预报 η 坐标 T106 资料

引 言

1998 年 6 月中旬到 7 月初以及 7 月下旬, 东亚上空大气经向环流盛行, 中高纬度地区出现了双阻高形势, 北方冷空气活动频繁, 副热带高压长期维持在 18°N 附近, 冷暖空气交汇于长江流域, 出现了持续时间长、强度大、范围广的暴雨、大暴雨天气, 使湖南省遭受了 1954 年以来最严重的洪涝灾害。

为了提高湖南省暴雨预报水平, 从 1993 年开始引进中科院大气物理所宇如聪同志的 η 坐标有限区域数值预报模式, 该模式考虑了我国的复杂地形, 对青藏高原的背风气旋的发生、发展^[1], 75.8 河南大暴雨^[2] 和著名的“雅安天漏”^[3] 的数值模拟都取得了成功, 可见在考虑地形方面, 该模式确较其它的 σ 坐标模式有明显的改进。

从 1994、1995 两年试报情况看^[4], 该模式计算稳定, 结果较可靠, 运行速度也能满足实时预报要求, 但其预报质量和预报域的探空资料密切相关, 资料太少或差错太多时, 不仅影响预报质量, 严重时则根本无法运算; 其

次预报质量随时效延长下降明显, 暴雨中心位置也存在一定偏差。这一方面可能和模式的参数方案有关, 更主要的是受固定边界的局限, 不可能作时效较长的预报。为了解决以上问题, 1997 年下半年试用 T106 实时分析资料作初值, 运行第二版的 η 模式。第二版 η 模式和第一版相比, 在资料的预处理和下边界条件方面作了较大的改进, 引进了实时地面资料, 更新了客观分析程序, 在插值前对原始资料进行检误和垂直订正, 剔除错误记录。另外, 在夜间辐射处理方面也有所改进, 从 1997 年 10 月至 1998 年 5 月的预报试验来看, 预报效果有所改善, 尤其是空报大为减少^[5]。

1 模式概述

该模式动力框架的主要特点^[3]是: (1) 模式的基本方程组便于构造出完全能量守恒的差分格式; (2) 采用了静力扣除; (3) 模式的垂直坐标选用了 η 坐标; (4) 选用 E 网格作为变量的水平分布形式; (5) 位势高度与其它预报量在垂直方向交错分布; (6) 对 E 网格的波

解分离问题采取了特殊的处理技巧;(7)首次采用“半格距”差分解决了矩形 E 网格及球坐标 E 网格沿对角线的差分计算;(8)采用显示分解的时间积分方案;(9)保留初始场的静力平衡误差,在静力平衡模式中,同时保留了位势高度和温度场的初值意义;(10)在一定的边界条件下,当时间积分采用梯形隐式方案时,模式有总有效能量守恒和总质量守恒。

模式的物理过程主要包括:(1)大尺度凝结降水;(2)对流调整及对流降水;(3)水平扩散和垂直通量输送;(4)地面辐射收支和边界层参数化。

模式分辨率,在水平方向,注意到模式的水平网格选用的是 E 网格,对 E 网格的两个子 C 网格来说,它的水平分辨率是 $1^\circ \times 1^\circ$ 的经纬格点,实际 E 网格模式的水平分辨率约为 75km。在垂直方向,模式顶取为 100hPa,即只考虑对流层范围,从海平面到模式层顶按 η 坐标等分为 8 层,具体每层的厚度从下往上约为 977m、1083m、1219m、1402m、1661m、2062m、2775m、4498m。

2 1998 年汛期降水的实时预报试验

2.1 试验方案

考虑到计算工作量和计算速度,模式区域没有包括全国的范围,本次试验期内模式范围取 $20 \sim 45^\circ\text{N}$ 、 $95 \sim 125^\circ\text{E}$ 。在湖南省气象台的联想 P II 350 微机,24 小时预报模式运行的 CPU 时间为 120 秒。

为了使模式地形能兼顾我国东部的平滑矮小地形和我国西部的陡峭高大地形, η 坐标取为

$$\eta = \sigma \cdot \eta_s; \eta_s = \frac{p_{rf}(z_s) - p_t}{p_{rf}(z_b) - p_t};$$

$$\sigma = \frac{p - p_t}{p_s - p_t} \quad (1)$$

其中, z_s 是模式中的地形高度; z_b 是用来构造坐标平面的平缓地形高度,当原始的地形高度 $z^\circ < 1000\text{m}$ 时, $z_b = z^\circ = z_s$,而当 $z^\circ > 1000\text{m}$ 时, $z_b = 1000\text{m}$; $p_{rf}(z)$ 是标准层结大气在 z 高度处的气压; p_t 和 p_s 分别表示模式层顶气压,地面气压。

这样,在地形海拔高度小于 1000m 的地区,地形不作阶梯处理, η 坐标等同于 σ 坐标,对地形海拔高度大于 1000m 的地区,地形按下列原则作阶梯处理:对任一网格点的原始高度 z° ,先求

$$\eta_s^{(0)} = \frac{p_{rf}(z_s^{(0)}) - p_t}{p_{rf}(z_b) - p_t} \quad (2)$$

总存在一个 k (k 为整数,且 $0 \leq k \leq 8$),使得

$$\eta_{k-1/2} \leq \eta_s^{(0)} \leq \eta_{k+1/2} \quad (3)$$

如果 $\eta_s^{(0)} \geq \eta_k$ 则令该点的 $\eta_s = \eta_{k+1/2}$,否则,即 $\eta_s^{(0)} < \eta_k$,令该点 $\eta_s = \eta_{k-1/2}$ 。最后再根据公式 (1) 反算出该点的模式地形 (z_s) 高度。

模式运行所需要的初始资料, T106 基本上都能提供,为了和模式客观分析程序的结果相一致,对 T106 资料作如下处理:

(1) 将格距 $1^\circ \times 1^\circ$ 的 T106 资料内插成 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$;

(2) 所缺的 300hPa 以上层次的相对湿度全部取作 50%;

(3) 所缺的 0 时刻地面气温、地面相对湿度的实时分析资料,用前一天的 24 小时预报资料替代;

(4) 所缺的地面东西风和南北风,则根据地面气压在相应的高度内插得到。

得到了全部的所需资料后,分 6 次运行 η 模式,每次 24 小时,即首先用 T106 的实时分析资料为初值作 0~24 小时的降水预报,再用 T106 的 24 小时预报资料为初值作 24~48 小时的降水预报……,最后用 T106 的 120 小时预报资料为初值作 120~144 小时

的降水预报。

预报结果的检验采用常规方法,即把数值模式的预报内插到站点上,和气象台站的实测雨量作对比。

2.2 试验情况概述

整个试验期间(1998年6~8月),预报试验都很正常,从未出现因计算不稳定而导致预报失败的情况。

表1~5给出了整个试验期间全省及周边127个台站08时~08时(北京时,下同)降水的12~36小时预报检验结果。

表 1 1998年6~8月预报检验结果

	ET106	EDAT	HLAFS	T106	
	SFD/mm	6.9	3.5	2.5	1.0
	rr	0.198	0.143	0.115	0.129
TS	≥1	0.357	0.336	0.313	0.312
	≥10	0.171	0.151	0.125	0.138
	≥25	0.101	0.073	0.039	0.039
	≥50	0.037	0.018	0.006	0.003
PO	≥1	0.183	0.392	0.180	0.157
	≥10	0.391	0.513	0.548	0.544
	≥25	0.352	0.543	0.618	0.617
	≥50	0.392	0.472	0.491	0.497
NH	≥1	0.607	0.530	0.543	0.570
	≥10	0.700	0.632	0.464	0.590
	≥25	0.581	0.501	0.263	0.396
	≥50	0.485	0.414	0.093	0.143

注:ET106为利用T106资料作初值的 η 模式预报结果,EDAT为用实时探空资料的 η 模式预报结果,HLAFS为国家气象局HLAFS模式的预报结果,T106为中国气象局T106模式的降水预报结果.SFD为127站的平均预报误差的平均(正值预报偏大),rr为127站实况和预报的相关系数.TS为技术得分,PO为漏报率(最佳为0),NH为空报率(最佳为0),下表同。

表1为6~8月的平均,可见就整个试验期平均而言,除NH空报率外,其它检验指标都反应利用T106资料作初值的 η 模式的预报结果要优于HLAFS和T106模式的预报结果,也优于利用实时探空资料作初值的 η 模式的预报结果。TS得分虽不太高,但从 $R \geq 1\text{mm}$ 到 $R \geq 50\text{mm}$ 的得分,ET106都要比HLAFS和T106高出4%~6%,比EDAT

高出2%~3%,其中 $R \geq 25\text{mm}$ 降水的TS得分要高出6.2%。SFD基本上都为正值(T106预报在个别时段为负值),说明几种方法预报的降水量都偏大,就这一点而言,ET106预报的偏大更为明显一些,结合相关系数rr的分析,ET106在落区及降水中心强度的预报方面可能比其它模式更为优越一点。

表 2 1998年6月预报检验结果

	ET106	EDAT	HLAFS	T106	
	SFD/mm	11.6	2.7	5.3	-3.2
	rr	0.279	0.144	0.177	0.176
TS	≥1	0.507	0.419	0.455	0.439
	≥10	0.261	0.189	0.240	0.175
	≥25	0.164	0.091	0.105	0.042
	≥50	0.066	0.028	0.017	0.003
PO	≥1	0.079	0.355	0.149	0.240
	≥10	0.218	0.513	0.322	0.635
	≥25	0.259	0.639	0.555	0.765
	≥50	0.465	0.594	0.637	0.663
NH	≥1	0.468	0.451	0.427	0.411
	≥10	0.722	0.606	0.503	0.488
	≥25	0.736	0.534	0.534	0.408
	≥50	0.654	0.499	0.280	0.174

表 3 1998年7月预报检验结果

	ET106	EDAT	HLAFS	T106	
	SFD/mm	7.4	5.3	0.7	2.8
	rr	0.195	0.092	0.068	0.113
TS	≥1	0.367	0.346	0.338	0.326
	≥10	0.178	0.149	0.101	0.141
	≥25	0.111	0.076	0.007	0.065
	≥50	0.044	0.026	0.000	0.005
PO	≥1	0.066	0.375	0.111	0.141
	≥10	0.381	0.530	0.686	0.498
	≥25	0.427	0.617	0.862	0.714
	≥50	0.392	0.436	0.516	0.507
NH	≥1	0.619	0.531	0.564	0.542
	≥10	0.809	0.734	0.521	0.708
	≥25	0.658	0.569	0.189	0.471
	≥50	0.601	0.388	0.000	0.185

表2~4给出了分月的检验结果,可以看出,无论那种方法都是6月的预报最好,7月居中,8月最差,这里可能有气候上的因素,但更主要的是由降水的多少、强弱造成的,1998年6月降水强而维持时间长,8月除月初外,基本无大范围的强降水,这一点主汛期(6月23日~7月4日,7月21日~8月3

日)的检验结果更能说明问题。表5给出了主汛期的预报检验结果,主汛期的预报要明显优于各月预报,ET106的得分要比HLAFS和T106的得分提高6%~13%,比EDAT的得分提高5%~8%,其中 $R \geq 25\text{mm}$ 降水预报的得分ET106比HLAFS提高了13.1%。

ET106的空报率(NH)似乎是比其它方法高了一些,但仅气象台站的降水资料是不能完全反映暴雨的真实情况,如能收集更多的降水资料(如水文站资料)空报是会明显减少的,很多文献对此都有说明^[6]。

表4 1998年8月预报检验结果

		ET106	EDAT	HLAFS	T106
	SFD/mm	1.6	2.5	1.5	3.3
	rr	0.121	0.193	0.101	0.097
TS	≥ 1	0.189	0.243	0.146	0.171
	≥ 10	0.075	0.115	0.034	0.097
	≥ 25	0.028	0.052	0.004	0.011
	≥ 50	0.000	0.000	0.000	0.000
PO	≥ 1	0.403	0.447	0.307	0.091
	≥ 10	0.574	0.496	0.636	0.500
	≥ 25	0.369	0.373	0.436	0.371
	≥ 50	0.320	0.387	0.321	0.321
NH	≥ 1	0.733	0.636	0.638	0.756
	≥ 10	0.569	0.556	0.279	0.575
	≥ 25	0.348	0.400	0.067	0.310
	≥ 50	0.200	0.355	0.000	0.071

表5 1998年主汛期预报检验结果

		ET106	EDAT	HLAFS	T106
	SFD/mm	14.2	6.2	1.5	-1.6
	rr	0.287	0.100	0.117	0.147
TS	≥ 1	0.564	0.509	0.505	0.495
	≥ 10	0.339	0.250	0.242	0.244
	≥ 25	0.216	0.140	0.085	0.081
	≥ 50	0.106	0.040	0.015	0.008
PO	≥ 1	0.016	0.220	0.102	0.124
	≥ 10	0.132	0.401	0.425	0.488
	≥ 25	0.241	0.580	0.745	0.807
	≥ 50	0.566	0.768	0.840	0.854
NH	≥ 1	0.431	0.374	0.394	0.395
	≥ 10	0.642	0.636	0.571	0.577
	≥ 25	0.756	0.659	0.494	0.557
	≥ 50	0.839	0.714	0.218	0.348

2.3 1998年主汛期预报

湖南每年6月中旬到7月上旬都会出现一段雨水集中的主汛期,主汛期间大范围的

连续暴雨、大暴雨会给湖南省造成严重的洪涝灾害。20世纪90年代以来,除1997年外,差不多年年如此,1998年尤为明显,6月13~29日出现了第一次连续暴雨天气,三天后7月3~4日湘北又出现了大范围的暴雨,更为严重的是7月21日到8月3日又出现了第二次连续暴雨过程。

6月初预报试验开始后,13日前雨区分散在长江以南到华南一带,并没有形成稳定的雨带,6月12日08时起开始预报在长江以南有一稳定的强降水带,18日后雨带南移,23日后雨带重新北抬,27日后降水减弱,过程的实况和预报基本一致,其中13日08时到14日08时湘中一带的特大暴雨预报尤为成功(图略)。

7月4日后副高北抬,湖南省降水基本结束,出现了一段连晴高温天气,但7月21日后副高再次南落,湘中以北又出现了新的稳定雨带。这一时段的预报是相当成功的,逐日预报情况见表6。

由表6可见,主汛期32天预报中预报准确的23次(71.8%),落区和强度上稍有偏差的5次,完全报错仅4次(12.5%)。这里特别要指出的是利用T106资料,模式的中期预报也取得了相当成功(表略)。

3 存在的几个问题

这次的实时预报试验取得上述预报结果是可喜的,但作为这一阶段试验的体会,有必要指出下面几个问题,以便提高将来的预报质量。

3.1 提高模式的垂直分辨率

从这次实时试验看,暴雨中心有时与实况尚有偏差,其中一个重要原因是垂直分辨率不够。由于本模式的垂直坐标是 η 坐标,地形在模式中以阶梯状出现,增加模式的分辨率,除了有与其它模式同样的意义外,还可使模式地形的阶梯结构更逼近于真实地形。文献^[7]指出提高垂直分辨率后可明显的改进

降水预报质量。

3.2 汛期和盛夏应采用不同的计算区域

实时试验中7月中旬有一次明显的空报过程,探其原因可能与模式的计算区域有关。这次试验中湖南省位于计算区域的中下方,

湖南离模式下边界较近,这样的计算区域在盛夏可能就会有些问题,使模式对副高及东风系统的预报能力减弱,盛夏受东风系统影响时,湖南省应位于模式计算区域的左上方才合适。

表6 1998年主汛期暴雨预报(12~36小时)和实况对照表

日期 日/月	实况(08~08时)		预报		评定
	落区	降水中心及强度	落区	降水中心及强度	
13/6	湘中以北	长沙 102.9	湘中以北	中~大雨	C(漏)
14/6	湘中以北	安化 242.2, 桃江 154.1	湘中以北	桃江 98.7	A
15/6	湘西南	城步 52.5	湘西南	城步 85.1	A
16/6	湘东北 怀化	平江 141.7, 怀化 161.5	湘中偏北	中~大雨	C(漏)
17/6	湘东北-西南	平江 83.4	湘东北-西南	长沙北部 98.6	A
18/6	湘中以北	安化 120.5	湘东南	桂东 85.7	B(雨区报偏南)
19/6	湘中以南	桂东 96.1	湘中以南	桂东 105	A
20/6	湘南	永州, 郴州中到大雨	湘南	郴州中~大雨	A
21/6	湘东南	炎陵 70.1	湘东南	炎陵 >75	A
22/6	湘东南	中~大雨, 洞口 62.3	湘东南	中~大雨, 新宁 >50	A
23/6	湘中	涟源 74.9	湘中	涟源 >50	A
24/6	湘北	澧县 235.7	湘北	湖区 >200	A
25/6	湘东北-西南	宁乡 143.9	湘东北-西南	长沙东北 101	A
26/6	湘东北-西南	南岳 82.5	湘东北-西南	南岳 >75	A
27/6	湘东北-西南	株洲 83.7	湘东北-西南	长沙附近 >50	B(中心报偏西南)
28/6	湘中以南	小~中雨	湘中以南	小~中雨	A(转折)
3/7	湘西北	澧县 143.0	湘西北	慈利 73.3	A
4/7	全省	中~大雨	全省	中~大雨	A
21/7	湘西北	龙山 98.0	湘西北	桑植 84.4	A(转折)
22/7	湘西北	龙山 119.2	湘西北	桑植 125	A
23/7	湘西北	永顺 259.2	湘西北	永顺西部 >100	A
24/7	湘北-西南	慈利 158.0	湘东	慈利 >50	B(暴雨区报偏东南)
25/7	湘东北-西南	安乡 85.3	湘东北、湘南	湖区 >50	B(湘南降水报大)
26/7	湘东北-西南	怀化 90.5	湘东北	怀化 >50	B(湘东南报大)
27/7	湘中	中~大雨, 新化 45.5	湘中偏北	湖区 >96.9	C(空)
28/7	湘北	中~大雨, 龙山 37.4	湘中偏北	中~大雨	A
29/7	湘北	临湘 124.4	湘北	临湘 123.0	A
30/7	湘中偏北	平江 107.3	湘北	浏阳 103.0	A
31/7	湘东北	平江 70.1, 浏阳 66.2	湘东北	平江 77.5	A
1/8	湘东北	湘阴 53.7	湘东北	安乡 68.1	A
2/8	湘西北	龙山 74.2	湘西南	中~大雨	C(漏)
3/8	湘西北	桃源 83.4	湘西北	张家界 58.8	A

注:A:表示预报落区、强度与实况基本一致,落区误差小于1纬距

B:表示预报的降水强度略偏大或偏小,预报落区偏离大于1纬距

C:表示明显的空报、漏报

3.3 尽量扩大模式的计算区域

实时试验中曾采用大、中、小三个不同的预报区域,试验结果表明预报区域愈大,预报质量也愈好,因而随着计算机条件的改善,模式的计算区域也应尽量扩大一些。

3.4 建立完备的初值检误系统

T106 资料每天仅 20 点一个时次,08 点的预报仍需用实时探空资料,和模式的第一版相比,第二版增加了原始资料的自动检误程序,我们引进后又增加了人工检误系统,但仍有一些错误的记录保留下来,导致空报、漏报,甚至于预报完全失败。比如,7月13日08

时芷江站 500hPa、700hPa 和 850hPa 的位势高度分别为 566、291 和 125,而其周边台站均在 587、312 和 145 左右,保留该站资料的降水预报结果与除去该站资料后的预报结果相比,黔东和湘西特大暴雨的空报就是由这一错误记录造成的。要使模式投入业务运行,改进模式的客观分析,建立完备的检误系统就非常必要。

参考文献

1 字如聪. 陡峭地形有限区域数值预报模式设计. 大气科学, 1989, 13: 139~149.
 2 Cai Zeyi and Yu Rucong. A numerical trial-forecasting of the 1975 Henan extraordinarily heavy rainfall with the IAP mesoscale model, Proceeding of the 11th International Conference in Clouds and Precipitation in Atmo-

spheric Research, August 17-27, 1992, Montreal, Canada.
 3 Yu Rucong and Zeng Qingcun. The design of a limited area model with steep mountains and its application to the heavy rain simulations in the East Periphery of Tibetan Plateau, 22nd International Conference on Alpine Meteorology, Toulouse (France), 7 ~ 11 September 1992, 316~320.
 4 冯树常等. 1995 年夏季湖南省降水的实时试验. 湖南气象科技, 1995, 1/2: 1~10.
 5 方慈安等. LASG η 坐标有限区域数值预报模式利用 T106 资料作初值的试验. 湖南气象, 1998, 2: 34~36.
 6 蔡则怡等. LASG η 坐标有限区域数值预报模式对一次登陆台风特大暴雨的数值试验. 大气科学, 1997, 7: 459~470.
 7 字如聪. 一个 η 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, 5: 285~292.

A Real-time Precipitation Forecast in Flood Period of 1998 with the η -Coordinate Limited-area Nested Grid Model

Fang Ci'an Mei Xiuning Mao Guangxiang
 (Hunan Meteorological Observatory, Changsha 410007)

Abstract

A real-time testing result of precipitation forecast in 1998 flood period with a limited-area nested grid model (LNGM) of η -coordinate was given. And it has indicated that this NWP with real-time initial field data of T106L19 (the numerical weather forecast model of China) has a better *TS* forecast score of precipitation in the flood period in Hunan.

In the second & third dekad of June and the third dekad of July in 1998 i. e. Hunan's main flood period, the *TS* for precipitation forecast (24 hours) in the limited-area (hyetal region) with its center in Hunan, are 56.4%, 33.9%, 21.6% & 10.6% respectively to $\geq 1\text{mm}$, $\geq 10\text{mm}$, $\geq 25\text{mm}$, $\geq 50\text{mm}/24\text{h}$, better than T106L19 and HLAFS (the mesoscale numerical weather forecast model of China), and the *TS* of precipitation $\geq 25\text{mm}/24\text{h}$ is 13.1% higher than HLAFS.

Key Words: the mesoscale numerical forecast model real-time forecasting of precipitation η -coordinate T106