

MM5 模式输出对流参数的效果检验

吴庆梅 付宗钰 郭 虎

(北京市气象台, 100089)

提 要: 利用 MM5 的输出资料计算各种强对流参数和物理量, 结合北京地区 20 个雷暴个例对其使用效果作了相关检验。结果表明模式输出参数能较好地反映雷暴和非雷暴日的区别, 较实况探空而言, 模式输出不仅可以从参数的大小, 而且可以从参数的变化趋势来判断雷暴的发生; 模式输出参数同时能较准确地预报雷暴发生的时间和落区; 和实况探空的对比以及不同预报时效的对比表明, 模式和实况及业务需求还存在差距, 模式输出还有待进一步提高。

关键词: MM5 数值模式 雷暴 K 指数 风暴相对螺旋度 SRH

Forecasting Effect Test of Convective Parameters Output by MM5 Model

Wu Qingmei Fu Zhongyu Guo Hu

(Beijing Meteorological Bureau, Beijing 100089)

Abstract: The forecasting effect of convective parameters output by MM5 model is tested with the data of 20 thunderstorm cases. The results show that the model output convective parameters can reflect the difference between the storm and no storm days and can forecast the happening time and area of the storm. The storm can be judged not only through parameter values but also through the changing tendency of convective parameters. At the same time, the model output still need to be improved because the difference is obvious compared to observation data and the different time range outputs is so varied.

Key Words: numerical model MM5 thunderstorm index K storm-relative helicity (SRH)

引言

强对流天气的分析和预报历来是气象业务工作的难点,最近几十年发展的一些强对流参数和物理量对强对流天气的预报提供了很好的帮助。业务所用对流参数历来采用实况探空资料所得,由于实况探空的时空分辨率较差,而对流性天气的时空尺度较小,实况探空已远不能满足预报要求。随着数值模式时空分辨率的提高,对于各个对流参数,可以使用各种预报时效的预报模式输出资料计算得出,使它们成为更有用的工具(Ostby, 1999)^[1]。早在1992年前后,美国由NMC生成的模式预报探空已可供使用,对所选的横贯美国大陆的城市,预报员可从终端上调出48小时内的模式预报热力廓线和风廓线,并可调出模式输出资料中关键因子是如何随时间变化的。另外,就模式来说,输出资料大大增多,如何方便有效地应用这些资料也是使用中尺度模式输出带来的问题之一,各种对流参数浓缩包含了很多物理因子,使用对流参数可以作为一种便捷的信息提取手段。Stensrud (1997)等^[2]认为,在预报决策过程中必须采用一些释用方法。他们提出了模式输出参数法,并利用高分辨率中尺度数值模式输出的对流参数,通过9个不同类型的强对流爆发过程个例的分析,归纳出了利用对流参数分辨超单体以及龙卷超单体雷暴的可行途径。陈艳等^[3]利用MM5模拟了2003年华北秋季大暴雨,并用输出结果计算分析了包括风暴相对螺旋度(简称SRH,下同)在内的3个对流参数,结果表明对流参数对大暴雨的发生发展有较好的指示作用。张芳华等^[4]利用模式结果计算局地SRH,诊断分析了2003年6月24~25日江南特大暴雨,表明低层局地SRH大值中心轴线与切变线和地面倒槽辐合线走向

一致。

文章利用MM5的输出资料来计算各种强对流参数和物理量,结合北京地区20个雷暴个例使用效果作了统计检验。选取离观象台测站最近的一个格点,采用效果比较好的K指数和SRH从4个方面对格点输出资料计算的对流参数进行了效果检验,包括雷暴与非雷暴、雷暴发生的时间先后、与实况的对比以及不同预报时效的对比;另外,对于SRH的区域预报与雷暴实况也作了对比。

1 模式与资料说明

采用的中尺度数值预报模式为MM5 v3版15和45km两重嵌套非静力模式,输出参数分辨率为15km。雷暴资料以2003—2004年的小图报为准,该小图报包括北京城郊22个观测站资料,挑选了2003—2004两年间10站以上且包括了南郊观象台有雷暴发生的20个个例。与MM5的输出相同,各物理参数的预报时效为0~36小时,时间间隔为3小时,每天08时和20时各预报一次。对于20个雷暴个例,按雷暴发生的时间先后分为4组:午后(5)、傍晚(5)、傍晚-夜间(7)、夜间(3)。

2 K指数与SRH定义

K指数的定义式为:

$$K = (T_{850} - T_{500}) + T_{a850} - (T - T_d)_{700}$$

式中第一项表示温度直减率,第二项表示低层水汽条件,第三项表示中层饱和程度,所以K指数能够反映大气的层结稳定情况,K指数越大,层结越不稳定,但它不能明显表示出大气整个层结不稳定程度。K值大小与可能出现的雷暴活动的关系为:

当 $K < 20^\circ\text{C}$ 时,无雷暴;

当 $20^{\circ}\text{C} < K < 25^{\circ}\text{C}$ 时, 孤立雷暴;
 当 $25^{\circ}\text{C} < K < 30^{\circ}\text{C}$ 时, 零星雷暴;
 当 $30^{\circ}\text{C} < K < 35^{\circ}\text{C}$ 时, 分散雷暴;
 当 $K > 35^{\circ}\text{C}$ 时, 成片雷暴。

考虑到风暴入流空气主要来自于对流层低层几公里范围内, Davies-Jones 等 (1990)^[5] 发展了一个可利用单站探空风资料计算 SRH 的公式:

$$H_{\tau, \tau'}(C) = \int_0^z (V - C) \cdot \Omega_{xy} dz$$

其中, V 为环境风, C 为风暴移动速度。在计算 SRH 时, 主要有两个问题: 积分上限 z 怎样取法和风暴移速 C 怎样取法。这里垂直积分从 1000hPa 至 700hPa, 共 6 层, 风暴运动取 800hPa 至 400hPa 之间平均风速的 75%。在我国, SRH 也有一定的研究应用^[6,7], 结果表明, 对我国局部地区强对流天气发生有一定的指示意义。

3 雷暴与非雷暴的对比分析

实况探空计算对流参数的有无雷暴对比分析表明, 在众多参数中, K 指数能够最大程度的区分雷暴和非雷暴天气。图 1a 为 39 个雷暴个例与非雷暴个例的 K 指数变化图 (雷暴发生在夜间的采用 20 时探空实况, 发生在白天的采用 08 时探空)。由图可见雷暴个例的 K 大多数都大于 30°C , 平均值为 29.3°C , 非雷暴个例大于 30°C 的相对较少, 其平均值为 19.4°C 。 $K \geq 30^{\circ}\text{C}$ 可作为雷暴阈值。同时也可看到, 尽管 K 指数能够最大程度的区分雷暴和非雷暴天气, $K \geq 30^{\circ}\text{C}$ 的雷暴阈值的使用效果也相当有限, 这很大程度上与探空资料的时间间隔太长, K 值与雷暴发生时间不一致有关。

模式输出参数也进行了同样的对比分析, 利用傍晚一夜间发生的 7 个雷暴个例平均 K 指数, 与 10 个无雷暴日的平均 K 指数

作了对比。图 1b 为当日 08 时 24 小时时效的输出对比, 可见两者有非常明显的区别, 无雷暴的 K 较小, 都在 20°C 左右, 而且变化幅度很小; 雷暴日的 K 指数都在 25°C 以上, 且在雷暴发生前后有一个明显上升过程, 在 20 时达到的峰值, 与雷暴发生时间吻合, 达到了 35°C 以上, 与前面的结论较为一致, 说明模式输出参数能较好地反映雷暴和非雷暴日的区别。相对于实况探空来说, 模式输出不仅可以从 K 的大小, 而且可以从 K 的变化趋势来判断雷暴的发生。

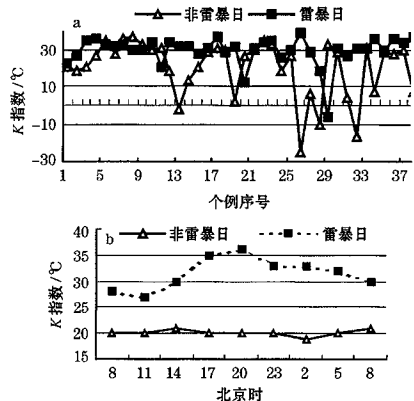


图 1 实况探空 (a) 与模式输出 (b) 有无雷暴的 K 指数对比分析

4 不同时段发生雷暴的对比分析

如前所述, 20 个雷暴个例按发生的时间先后分为 4 组, 将每组的参数对个例数进行平均, 作了 08 时预报的 24 小时预报时效内变化曲线, 发现 K 和 SRH 都能体现出雷暴发生时段的先后, SRH 似乎更具优势。由图 2 考察峰值达到时间, 对于 K 而言, 午后雷暴的峰值时间为 17 时, 傍晚和傍晚一夜间雷暴均为 20 时, 夜间的为 23 时; 对于 SRH 来说, 午后雷暴的峰值时间为 17 时, 傍晚的为 20 时, 傍晚一夜间和夜间的均为 23 时。可见, K 和 SRH 的峰值出现

随雷暴发生的时间不同都有比较清楚的先后顺序, 午后和夜间的个例对照尤为清楚, 两者均在 17 时和 23 时达到峰值, 与雷暴发生时段对应很好; 傍晚一夜间与前后时段不是很好区分, 另外相对雷暴发生的时间, 达到峰值的时间偏晚一些, 这与 3 小时的时间间隔可能有关系。3 小时间隔相对对流天气来说间隔确实长了点; K 和 SRH 的不同之处在于, 就达到阈值的时间来说, $K > 30^{\circ}\text{C}$ 相对 $SRH > 120\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ 的时间出现早, 结束晚, 范围比较宽广, 其峰值与前后时段不突出, 而 SRH 的峰值较突出, 这一点有利于判断雷暴发生时段。

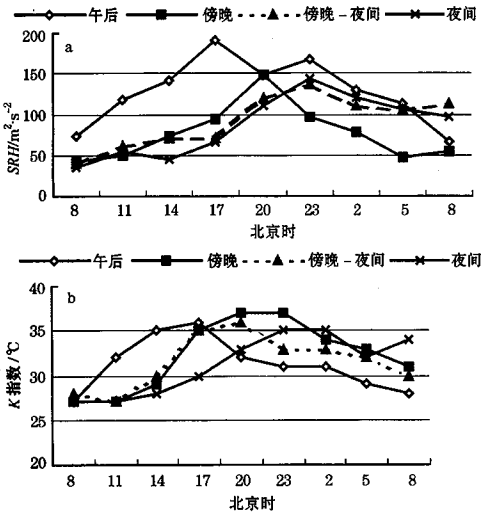


图 2 不同时段雷暴的 SRH 变化 (a) 和 K 指数变化 (b)

SRH 与 K 的不同之处从两者的物理含义上很好理解, K 代表了大气的温湿层结, 在雷暴发生之前, 条件就已具备, 可以说 K 本身具有预报意义, 这也是为什么实况探空的 K 也能有效的原因之一; 雷暴结束后, 由于空气中湿度较高, K 也会居高不下。 SRH 代表的是雷暴的移速与上升气流的旋转, 与雷暴发生时刻紧密联系, 随着雷

暴的发生迅速升高, 随之结束而迅速减小, 所以其能相对准确地预报雷暴发生的时间。

5 预报与实况探空的对比

利用所有 20 个雷暴个例, 对 08 时预报的初始场和 12 小时时效的预报场分别与 08 时和 20 时的实况探空资料计算所得 K 与 SRH 进行了对比分析。结果很出乎意料, 初始场与实况的指数相差较大 (图 3), 尤其是 SRH , 模式输出初始场的变化范围小, 而且均为正值, 幅度明显小于实况探空; 初始场与实况的相关系数 K 为 0.34, SRH 为 0.35; 由于初始场已经相差较大, 20 时的预报与实况也有很大出入 (图略)。其中一方面与实况探空的气球飘逸有关, 另一方面与模式性能也有关系, MM5 的背景场由国家气象中心的 T213 模式的预报结果提供, 再加上相应的观测实况资料处理成 MM5 的初始场, 初始场与实况差别较大说明模式还有待提高, 具体原因还有待进一步探讨。虽然初始场有差别, 如果指数的变化趋势能反映雷暴的发生发展, 其仍然不失为一个好的预报因子。

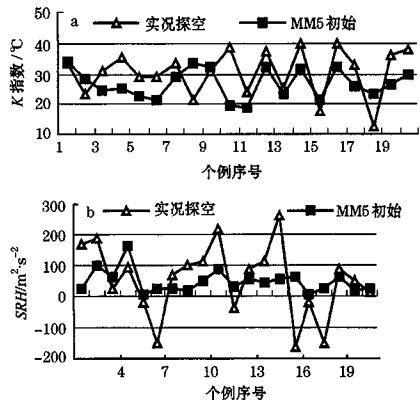


图 3 实况探空与 MM5 初始场的 K 指数 (a) 和 SRH (b) 比较

6 不同预报时效的对比分析

数值预报的预报时效越长,就能越早作出预报,但往往随着预报时效的加长,预报的效果减弱。前面的结果利用 08 时的预报做当天的预报,在实际业务中,08 时的预报在 14 时左右才能出来,而对流天气往往发生在午后和傍晚,导致预报的指导意义不大。如果利用前一天 20 时的数值模式输出参数预报当天的对流天气,在业务的实际操作中应该是可行的。这里对前一天 20 时的 12~36 小时的预报与当天 08 时的 0~24 小时预报(两者为同时段的预报,即当天 08 时至第二天 08 时)作了比较,如图 4。输出参数为 SRH ,采用傍晚一夜间有雷暴发生的 4 个个例。由图 4 可见,相对于 08 时输出的较成功的预报,20 时预报效果较差,其峰值偏后,变化趋势也有很大不同,说明随着时效的延长,预报效果明显变差,模式与业务需求还存在差距。

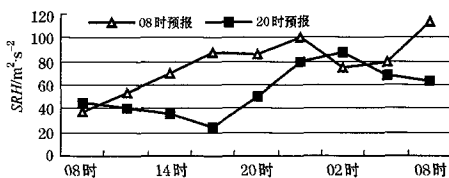


图 4 不同预报时效的对比分析

7 区域预报试验

2002 年 3 月 29 日下午,北京地区出现了一次早春雷暴天气,南郊观象台还出现了直径 8mm 的冰雹。模式输出的 SRH 区域预报与雷暴实况的对应关系如图 5 (见彩页),可看出两者有对应关系,不过雷暴旺盛时期似乎发生在 SRH 开始减弱分散时段。

8 结论和讨论

通过上面的分析,我们初步得出如下几点结论:

(1) 模式输出 K 和 SRH 能清楚地反映雷暴和非雷暴日的区别,雷暴日的参数表现与研究结果一致;较实况探空而言,模式输出不仅可以从 K 的大小,而且可以从 K 的变化趋势来判断雷暴的发生。

(2) K 和 SRH 能体现出雷暴发生时段的先后, SRH 似乎更具优势,能较准确地预报雷暴发生的时间和落区。

(3) 和实况探空的对比以及不同预报时效的对比表明,模式和实况及业务需求还存在差距,模式输出还有待进一步提高。

(4) 模式参数的应用效果最终决定于模式发展的水平,随着模式的发展完善,相信模式输出参数有着更为广泛和出色的应用。

参考文献

- Ostby, F. P. Improved accuracy in severe local storms unit during the last 25 years; then versus now. *Wea. Forecasting*, 1999, 14: 526—543.
- Stensrud, D. J., J. V. Cortinas, Jr., and H. E. Brooks. Discriminating between tornadic and nontornadic thunderstorms using mesoscale model output, *Wea. Forecasting*, 1997, 12: 613—632.
- 陈艳, 寿绍文, 宿海良. CAPE 等环境参数在华北罕见秋季大暴雨中的应用. *气象*, 2005, 31 (10): 56—60.
- 张芳华, 马旭林, 杨克明. 2003 年 6 月 24~25 日江南特大暴雨数值模拟和诊断分析. *气象*, 2004, 30 (1): 28~32.
- Brooks H E, Doswell III C A, Davies-Jones R P. Environmental helicit and the maintenance and evolution of low-level meso-cyclones. *The tornaso: Its structure, Dynamics, Prediction, and Hazards*. *Geophys. Monogr. Amer. Geophys. Union*, 1993, 79: 97—104.
- 李英. 春季滇南冰雹大风天气的螺旋度分析. *南京气象学院学报*, 1999, 22 (2): 164—169.
- 李耀东, 刘健文, 高守亭. 动力和能量参数在强对流天气预报中的应用研究. *气象学报*, 2004, 62 (4): 401—406.

吴庆梅等: MM5模式输出对流参数的效果检验

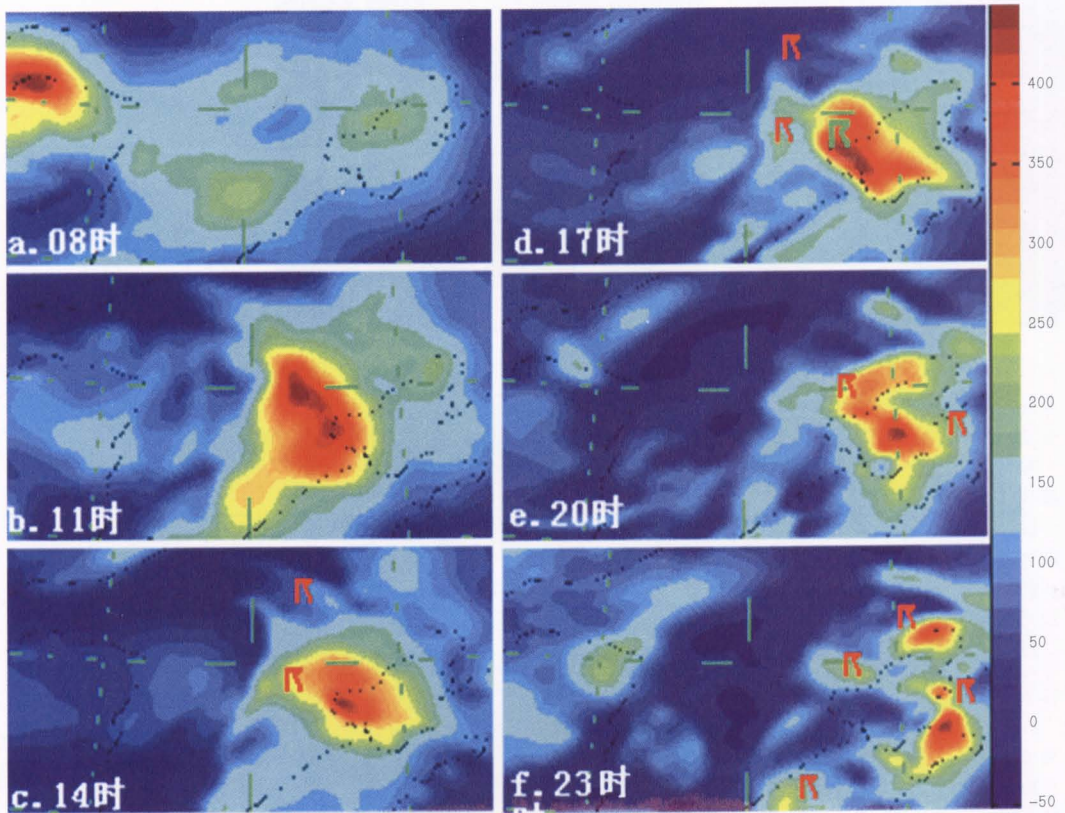


图5 SRH区域预报与雷暴实况分布
右侧色标代表SRH, 雷电符号为实况

陈秋萍等: 闽中北前汛期多普勒雷达定量估测降水分析

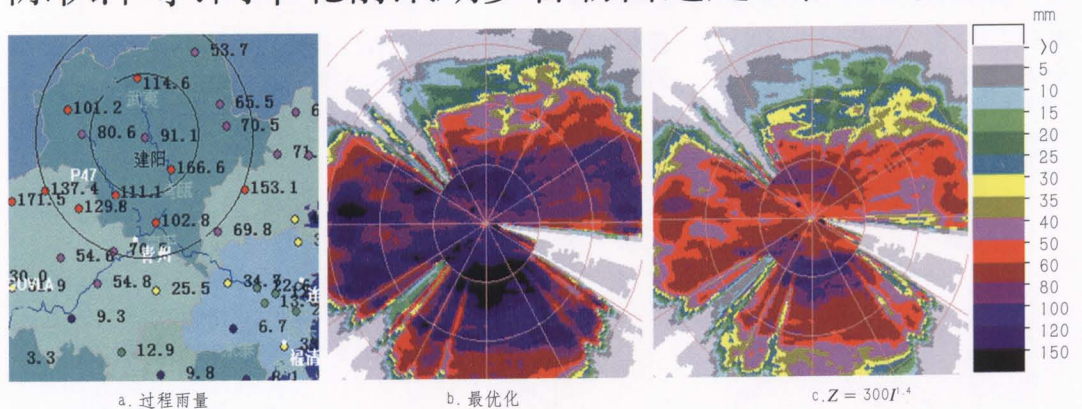


图2 2005年6月18日20时—19日20时过程雨量及不同Z-I关系雷达估测雨量
距离圈间隔50km, 中心为建阳雷达位置