

王珏,寿绍文,张家国,等.利用中尺度数值模式产品建立暴雨落区潜势预报[J].暴雨灾害,2010,29(4):350-355

利用中尺度数值模式产品建立暴雨落区潜势预报

王 珏^{1,2},寿绍文¹,张家国²,毛以伟²

(1.南京信息工程大学,南京 210044;2.武汉中心气象台,武汉 430074)

摘要:统计 2005—2006 年 AREM 模式输出相关物理量与暴雨的关系,采用模糊逻辑方法建立暴雨潜势预报多参数组合方程,然后分别代入 AREM 模式预报场相关物理量 24 h 平均值和最大值,进行暴雨落区潜势预报。对比分析 2007—2009 年潜势预报情况和暴雨 T_s 评分,结果表明:最大值方法潜势预报强中心偏多,暴雨空报较多;平均值方法能够较好反映 24 h 内整体降水分布情况,其 T_s 评分较高,虽然对强降水中心落区预报仍有偏差,但其总体预报效果要优于最大值方法。

关键词:暴雨;中尺度模式;潜势预报

中图分类号:P458.1*21.1 文献标识码:A 文章编号:1004-9045(2010)04-0350-06

1 引言

暴雨是影响我国的主要气象灾害之一,往往引发洪水、渍涝等,给人民生活带来极大影响。暴雨落区预报一直是气象工作者研究的重点。目前,数值预报对天气尺度强迫显著的暴雨过程有较好预报效果;对动力强迫抬升较弱,而热力作用明显的对流性局地暴雨预报效果较差。研究表明:暴雨的发生与物理量、对流参数有着密切关系。C Calas 等^[1]利用同化自动站资料的 ALADIN model 诊断资料做中尺度分析,主要研究对流有效位能和水汽辐合与雷暴的关系,结果表明雷暴常发生在对流有效位能的连续集中大值区,而且雷暴系统沿 1~3 h 前的水汽辐合区发展。T Haiden 等^[2]使用对流边界层流场辐合和水汽、对流有效位能、抬升凝结高度等对流参量结合卫星可见光图像做降水临近预报比单纯从对流单体转换做预报结果有改进。尹东屏等^[3]将 2003 年 7 月 5 日江苏区域性大暴雨作为典型个例,与 2003 年梅汛期 12 个暴雨日的合成平均场在天气形势、物理量场等方面进行对比,认为在同样的梅雨天气形势下,大暴雨的产生与暖湿气流强度、水汽辐合大小、动力因子的增强有密切关联。蔡义勇等^[4]认为 K 指数、比湿、涡度和垂直速度对预报福建省热带气旋区域暴雨有较好的指示意义;郑仙照等^[5]认为暴雨产生在低层正螺旋度中心与高层负螺旋度中心相配合和中低层有不稳定能量储存的高能区。

目前使用物理量场及对流参数做暴雨预报的方法有很多,来小芳等^[6]利用配料法,用 Q 矢量、湿位涡、水汽通量散度设计了一个表示强降水趋势的参数(强

降水指数 I_{ZH}),得到 I_{ZH} 与降水的对应关系,之后用 MM5 模式进行运算,得到预报时刻的 I_{ZH} 值,用来预报强降水的产生,此方法在南通地区应用后发现比单一参量预报暴雨效果要好;张海玲等^[7]采用决策树方法研究了空间环境物理量场变化与暴雨中心的关系;梁钰等^[8]在建立高度场分型的基础上,选用 500 hPa 温度、700 hPa 风场、850 hPa 水汽通量散度、850 hPa 假相当位温、700 hPa 散度、500 hPa 涡度和 500 hPa 垂直速度等 7 个因子,采用合成法求取平均场,建立致洪暴雨预报模型应用于面雨量预报,研究和使用的资料是天气尺度模式,对中尺度天气系统影响考虑较少。张家国等^[9]利用中尺度数值预报模式,计算、输出若干与强风暴发生发展有密切关系的常规物理量和对流参数,应用模糊逻辑学技术对强天气潜势进行诊断,开发出雷暴、冰雹、雷雨大风 3 类对流性天气落区的潜势预报产品,并进行了初步的业务试验,效果较好。模糊逻辑模拟人脑思维方式,应用模糊集合和模糊规则进行推理,其优点是不要求物理量的具体量值,根据宽松的原则,可求得较为合适结果,并具有扩充性和兼容性。本文基于模糊逻辑方法,使用 AREM (Advanced Regional η -Coordinate Model)模式 2005—2006 年物理量诊断场和湖北省逐日降水资料,研究表征大气稳定度、水汽、辐合等特征的物理量和对流参量与暴雨落区的关系,建立暴雨潜势预报方程,并在 2007—2009 年进行业务试用。

2 资料简介

AREM 综合考虑中国区域的地形特点和复杂的

收稿日期:2010-08-28;定稿日期:2010-11-18

资助项目:华中区域气象中心科技发展基金重点课题(QY-Z-200806 和 QY-Z-201015)和湖北省气象局科技发展基金项目(2010Q01)

作者简介:王珏,女,1976 年生,高级工程师,主要从事强对流天气临近预报。E-mail: hbwjue@163.com

水汽演变过程,是宇如聪等^[10]设计并改进的一个对中国区域暴雨有较强预报能力的暴雨数值预报模式。AREM 采用静力框架,垂直坐标为 η 坐标,变量的水平分布采用 E 网格,水平分辨率平均约 37 km,垂直方向等距分为 32 层,模式顶为 10 hPa^[11]。以较大范围降水为研究对象,本文选取湖北日降水量(08—08 时)至少相邻 3 站分别达 50 mm 及以上记为一次过程,2005—2006 年共出现 28 场 535 站次暴雨。AREM 模式提供 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 格点数据,为统计分析各站点出现暴雨时物理量及对流参数量值出现的频度,取暴雨当日 08、20 时中尺度模式计算的物理量格点值,插值到站点后再进行统计分析。

3 参数选取

AREM 模式提供地面气压、温度、风、各层高度、温度、露点温度、比湿、风向风速、涡度、散度、水汽通量散度、假相当位温以及 CAPE、K 指数、抬升指数、相对螺旋度、垂直风切变、理查森数等参数。暴雨大多发生在高能、高湿、有强烈水汽辐合的地区,根据暴雨发

生的动力、热力、水汽等条件选择参与统计的参量。影响暴雨的物理量因子很多,研究表明^[11-20],暴雨过程与 CAPE、K 指数、水汽通量散度、假相当位温、涡度、散度、垂直速度等物理量关系密切。例如通常情况下,大多选用 CAPE、K 指数作为不稳定条件的指标,对模式提供的 CAPE、K 指数和暴雨天气的相关性进行研究,进而确定建立预报公式时使用的不稳定因子。这里选用湖北省 2005—2006 年 78 个站点 677 站次暴雨的模式输出 CAPE 和 K 指数进行统计分析,CAPE 值在湖北西部经常为 0(共 391 站次),统计时不做分析,其余 CAPE 和 K 指数与暴雨之间的相关性基本相当,而对 2005—2006 年 5—9 月 78 个站点资料同时次 CAPE 和 K 指数的对比分析发现(CAPE 为 0 时不做分析),两者具有相同的变化趋势,即当 K 指数出现峰值时,相应时刻 CAPE 值亦达到最大(图 1)。故文中最后选取 K 指数、850 hPa 假相当位温、300—850 hPa 涡度差、各层平均湿度和 850 hPa 水汽通量散度代表暴雨发生的热力、动力及水汽条件,进行统计分析并建立预报方程。



图 1 CAPE、K 指数统计分布图

4 参数统计特征

统计前述 28 场暴雨当日 08、20 时 AREM 模式输出初值分析场(0 时刻)中站点上空各参量值分段区间的频率分布(图 2),找出频率峰值区间,下面对各参数的统计结果进行分析。

4.1 K 指数

K 指数能够反映大气的层结稳定情况,不稳定的层结有利于对流发生,K 值大的地区有利于暴雨的发生。对 2005—2006 年 28 场区域性暴雨个例统计分析表明,发生暴雨时站点上空 K 值有 80% 分布在 34°C 以上。

4.2 假相当位温

一般而言,对流性天气多发生在近地层 θ_{se} 能量锋

区附近,即冷暖空气交汇处。由于建立方程时不易对锋区进行表征,故选取特征值进行统计。结果表明,暴雨过程的 850 hPa θ_{se} 大部分在 330 K 以上。

4.3 300—850 hPa 涡度差

维持强的上升运动,是产生强降水的重要条件之一。暴雨发生在低空辐合、高空辐散,低空为正涡度区、高空为负涡度区中^[21]。统计站点附近 300—850 hPa 的涡度差,发现多数暴雨天气高低层涡度差值都是负值,且在 $-50 \sim -25 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 之间出现峰值。

4.4 平均相对湿度

暴雨的产生需要有充沛的水汽,相当深厚的湿空气层。用 850—700 hPa、700—500 hPa、500—300 hPa (分别代表低、中、高层)的平均相对湿度来考察各层在暴雨发生时大气湿润程度。统计表明,中、低层的平

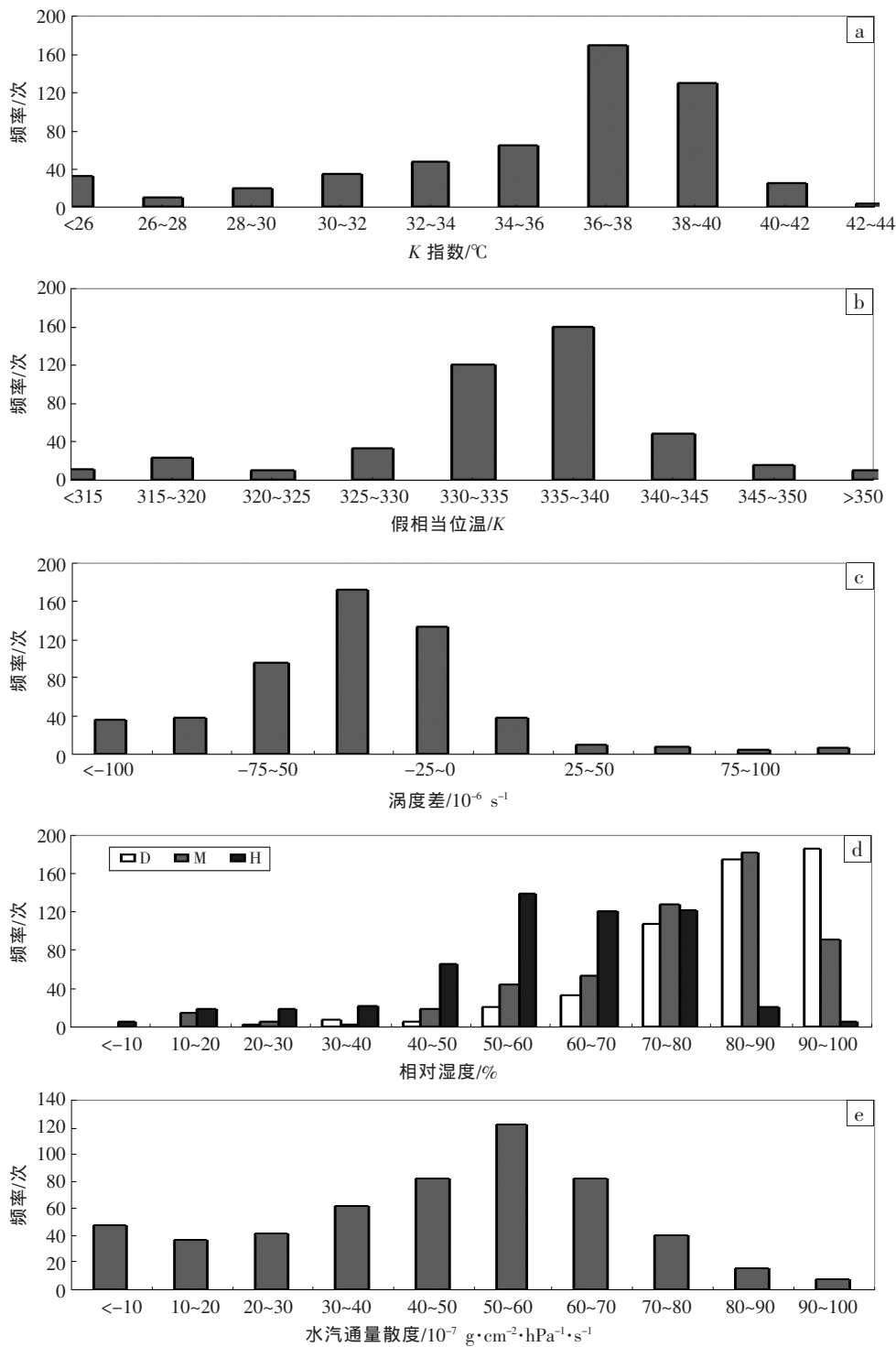


图 2 参量频率统计分布图(a:K 指数;b:假相当位温;c:300 与 850 hPa 涡度差;d:各层平均相对湿度,其中 D 表示 850—700 hPa 平均相对湿度、M 表示 700—500 hPa、H 表示 500—300 hPa 的平均相对湿度;e: 850 hPa 水汽通量散度)

均相对湿度大多在60%以上，此时高层在平均相对湿度达到 30%就可能出现暴雨。

4.5 水汽通量散度

暴雨同低空急流联系紧密，急流轴附近强烈的水汽输送是产生强降水不可或缺的条件。水汽通量散度表示单位时间内单位体积中水汽的净流失量。水汽通

量散度为正，表示有水汽流失；水汽通量散度为负，表示有水汽积聚^[22]。在统计中发现模式提供的 900 hPa 的水汽通量散度同 CAPE 值一样在湖北省西部常出现缺值现象，所以选用 850 hPa 的水汽通量散度作为研究对象。统计的暴雨个例有 77%的站点上空水汽通量散度在 0 以下。

5 预报方程的建立

统计每次暴雨过程各参数的平均值,将个例中频率分布比例达到 80%和 30%的值(表 1)设定为该参数建立函数时的上下限 $[a,b]$,并建立参数与暴雨相关的分段隶属函数

$$y = \begin{cases} 0 & (x \leq a) \\ \frac{x-a}{b-a} & (a < x < b) \\ 1 & (x \geq b) \end{cases}$$

当 $x < 0$ 时,有

$$y = \begin{cases} 0 & (x \geq b) \\ \frac{x-b}{a-b} & (a < x < b) \\ 1 & (x \leq a) \end{cases}$$

y 值大小对应暴雨可能性大小;将模式提供的各种参量,根据相应隶属函数,整理到区间 $[0,1]$ 内;然后求取各参量的平均值与暴雨的相关性作为权重进行加权平均,进而得到与发生暴雨可能性相关的组合值,并将组合值除以权重总和做归一化处理,即得到暴雨潜势预报产品。

表 1 参数隶属函数关系表

参数	24 h 平均值	下限	上限	权重
K 指数/ $^{\circ}\text{C}$	15~41	32.4	37.9	0.5
850 hPa 水汽通量散度/ $(10^{-7}\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1})$	-6.4~2	-2.4	0.3	0.6
850—700 hPa 平均相对湿度/%	48~97	73	91	0.6
700—500 hPa 平均相对湿度/%	23~96	66	86	0.6
500—300 hPa 平均相对湿度/%	13~81	48	69	0.5
850 hPa 假相当位温/ K	315~353	331	338	0.5
300—850 hPa 涡度差/ 10^{-6} s^{-1}	-345~50	-52	-11	0.5

6 预报评估及实例

利用 AREM 模式输出的表 1 中列出的 7 个物理量 24 h 逐时预报产品,计算各物理量 24 h 平均值、最大值,分别代入方程,得到 24 h 平均值和最大值暴雨潜势预报产品,进行预报落区比较。

用 2007—2009 年 5—9 月 08—08 时湖北日降水实况资料对平均值法和最大值法制作的暴雨潜势预

报产品进行评估。先将潜势预报产品插值到湖北 78 个常规站点上,然后进行站点 T_s 评分。表 2 列出了 y 值从 0.3~0.7 以 0.1 为间隔的组合值做暴雨潜势预报时的 T_s 评分结果。结果表明,平均法的 T_s 评分整体上优于最大值法,平均高出 5%,最大高出 12%,平均值法在 y 取值 0.6 时 T_s 评分结果最好,最大值法的 T_s 评分结果则是随着组合值的增大而增大, y 取值 0.7 时 T_s 评分结果最好。

表 2 2007—2009 年 5—9 月暴雨潜势预报产品不同等级的 T_s 评分

年份	平均值法					最大值法				
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
2007	0.043	0.067	0.095	0.105	0.022	0.026	0.021	0.025	0.028	0.030
2008	0.056	0.083	0.127	0.184	0.141	0.033	0.039	0.052	0.069	0.088
2009	0.039	0.066	0.107	0.177	0.101	0.023	0.027	0.038	0.050	0.066

2009 年 6 月 8—9 日湖北省江汉平原南部、鄂东北降大到暴雨(图 3a),强降水中心位于江汉平原南部石首(107.5 mm),次中心位于仙桃—武汉附近,整条雨带近似西南—东北走向。平均值法潜势预报较好地反映了雨带的走势及强中心位置,但是强降水的范围较大,包括了整个湖北东部。最大值法预报的强中心虽然包含了石首及武汉,但是其预报的雨带位置偏西范围更大,大量的空报导致 T_s 评分较差。

将 AREM 模式输出的逐时预报物理量代入潜势预报方程,可以得到逐时潜势预报产品。与逐时雨量对比来看,18 时(图 3e)江汉平原降水加强,19 时(图

3f) 雨势进一步加强,在嘉鱼一带出现第二个降水中心。而潜势预报的结果大值区位于江汉平原到鄂东北,18 时后大值区范围扩大,中心向东偏移,与实况雨带相比,整体偏北。可见逐时潜势预报能大致体现雨带走向和变化趋势(东移),但在反应整体降水范围和强降水中心位置上能力较弱,这与目前数值预报模式刻画中尺度系统的细节能力有关。

7 结论

对 2005—2006 年区域性暴雨个例的对流参数和物理量(K 指数、850 hPa 假相当位温、300—850 hPa 涡

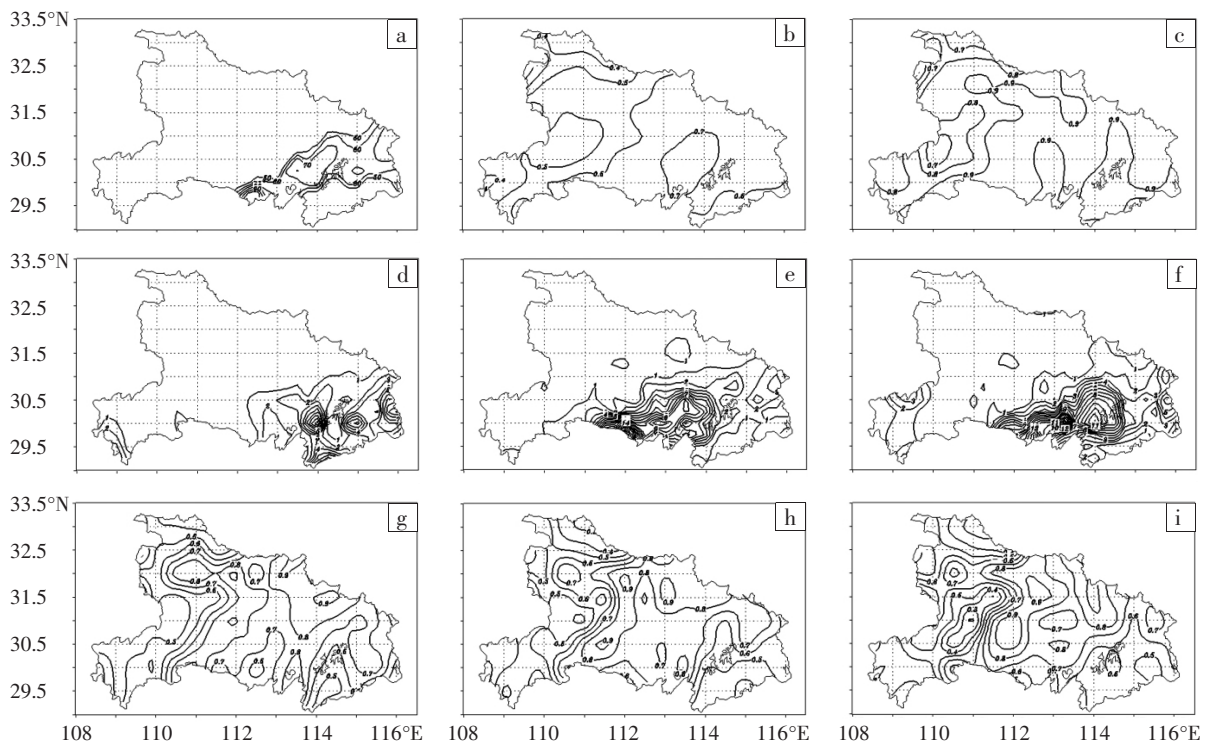


图 3 2009 年 6 月 8—9 日降水实况和潜势预报对比图

(a 为 24 h 50 mm 以上降水实况; b 为平均值潜势预报结果; c 为最大值潜势预报结果;
d-f 为 17—19 时逐时雨量实况; g-i 为 17—19 时潜势预报)

度差、各层平均相对湿度和 850 hPa 水汽通量散度) 等级出现频率进行统计分析,发现暴雨发生时(或之前)这些参数均有高频数据区间出现,利用该区间建立暴雨潜势预报方程,代入 AREM 模式 24 h 预报场参量的平均值和最大值,进行暴雨潜势预报。通过对气象站点预报实例和 24 h 暴雨 T_s 评分比较发现,最大值法比平均值法的强降水预报范围偏大,强中心偏多,能体现一天中的某个偶然时刻降水条件较为有利,而平均值一定程度上反应了 24 h 整体降水条件的空间分布情况,相对有效地平滑了偶然误差,整体预报性能较好。2007—2009 年暴雨潜势预报 T_s 评分结果显示,平均值法较最大值法偏高 5%。逐时潜势预报产品大致体现了雨带的走向和变化趋势,在雨带分布和移动趋势预报上具有一定的参考价值。

参考文献:

[1] Calas C, Ducrocq V, Sényesi S. Mesoscale analyses and diagnostic parameters for deep convection nowcasting [J]. *Meteorological Applications*, 2000,7(2):145-161.

[2] Haiden T, Steinheimer M. Improved nowcasting of precipitation based on convective analysis fields [G]// *Precipitation: Advances in Measurement, Estimation and Prediction*. Springer Berlin Heidelberg, 2008.

[3] 尹东屏,胡洛林,曾明剑,等.梅汛期中的暴雨和大暴雨环流特征及物理量诊断分析[J].*气象科学*, 2007,27(1):42-48.

[4] 蔡义勇,刘爱鸣,陈雪钦,等.福建省热带气旋暴雨落区完全预报方法

[J].*气象科技*, 2006,34(2): 132-137.

[5] 郑仙照,寿绍文,沈新勇.一次暴雨天气过程的物理量分析[J].*气象*, 2006,32(1):102-106.

[6] 来小芳,张艳玲,陆汉城,等.“配料法”用于长江下游暴雨预报[J].*南京气象学院学报*,2007,3(4):556-560.

[7] 张海玲,过仲阳,吴健平,等.决策树方法在环境物理量场与暴雨之间关系研究中的应用[J].*地球信息科学*,2005,7(2):39-42.

[8] 梁钰,布亚林,王蕊,等.致洪暴雨预报模型应用研究[J].*气象科技*, 2005,33(4):305-310.

[9] 张家国,王珏,王叶红.用中尺度数值模式诊断强风暴潜势研究[J].*气象科技*,2008,36(2):129-133.

[10] 宇如聪,薛纪善,徐幼平,等.AREMS 中尺度暴雨数值模式预报系统 [G]//国家 973“中国暴雨”项目研究专著系列丛书(六). 北京:气象出版社,2004.

[11] 王叶红,赵玉春,张兵.改进的 AREMS 对 2003 年汛期降水预报及对比检验[J].*热带气象学报*,2005,21(6):597-604.

[12] 侯淑梅,李灿,王月兰,等.一次暴雨过程预报的多模式 NWP 产品与物理参数的综合分析应用[J].*暴雨灾害*,2009,28(1):36-42.

[13] 张广周,靖春悦,王红燕,等.物理量场配置对豫中地区暴雨落区的影响分析[J].*暴雨灾害*,2008,27(3):225-252.

[14] 贾瑞生,李义,高坤.浙江梅汛期分片暴雨前期气象因子场的相关分析[J].*浙江大学学报(理学版)*,2005,32(3):333-342.

[15] 李武阶,李俊,石燕.梅雨期武汉两类暴雨“配料”特征的对比分析[J].*暴雨灾害*,2008,27(4):313-319.

[16] 徐远波,尹恒,谭永秀,等.副高边缘一次局地突发性大暴雨过程的中尺度分析[J].*暴雨灾害*,2009,28(1):58-63.

[17] 李世刚,梁涛,彭盼盼,等.“07.5”湖北大暴雨的中尺度系统及降水成因分析[J].*暴雨灾害*,2007,26(3):230-235.

[18] 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[J].气象,2005,31(10):56-61.
- [19] 刘玉玲. 对流参数在强对流天气潜势预测中的作用[J]. 气象科技, 2003,31(3):147-151.
- [20] 谷秀杰,牛淑贞,介玉娥,等.2007年8月2日郑州大暴雨过程分析 [J].气象与环境科学,2010,33(2):53-58.
- [21] 刘建文,郭虎,李耀东,等.天气分析预报物理量计算基础[M].北京:气象出版社,2005.
- [22] 陆汉城,杨国祥.中尺度天气原理和预报[M].北京:气象出版社,2004.

The Rainstorm Potential Predictability for Rain Area Using the Mesoscale Numerical Model

WANG Jue^{1,2}, SHOU Shao-wen¹, ZHANG Jia-guo², MAO Yi-wei²

(1.Nanjing University of Information Science & Technology,Nanjing 210044;
2.Wuhan Central Weather Office,Wuhan 430074)

Abstract: By studying the relation between the physical quantity output from AREM and rainstorm from 2005 to 2006 and using fuzzy logic method, a potential predictability combination equation with multiple parameters was setup and applied to forecast rainstorm with the average and maximum values of 24hr AREM forecast field. Through contractive analysis of the potential predictability and rainstorm Ts scores from 2007 to 2009, the conclusion is that more strong centers and the false alarms were forecasted by the potential predictability with maximum value. The potential predictability with average value can reflect the whole precipitation condition in 24 hours and its Ts scores are higher, and its whole effect is better though it has deviation to forecast the central rain area of severe precipitation.

Key words: Rainstorm; Mesoscale Model; Potential predictability

(上接第 336 页)

Applications of Support Vector Machines in the Solar Radiation Forecasting

ZHANG Li-ping¹, CHENG Zheng-hong², Cheng Chi², WANG Xiao-li³

(1.Wuhan Central Meteorological Observatory,Wuhan 430074;
2.Hubei Service Center of Meteorological Science and Technology,Wuhan 430074;
3.Public meteorological service center of Hubei, Wuhan 430074)

Abstract: With the superiority of both of EOF (Empirical orthogonal functions) separating fields and nonlinear SVM regression forecasting, a program is projected considering the following: (1) Both of factors and predictors are variance standardized, then EOF, and principal components of both are extracted respectively; (2) With SVM regression, principal components of predictors are estimated by factors; (3) The original predictors are recovered by linear combination of principal components and the eigenvectors.

Solar radiation over Wuhan is forecasted hour by hour with Solar radiation of previous day, the maximum temperature, temperature range and weather type of both previous day and forecasting day. It is indicated that Solar radiation forecasted hour by hour were approximate to the observations.

Key words: Support vector machines; Regression; Solar radiation