

文章编号:1004-9045(2008)03-0258-06

基于 Web GIS 的长沙市雷暴天气短期预报模型的研究与应用

陈 勇, 匡方毅, 肖 波

(湖南省长沙市气象台, 长沙 410205)

摘要: 基于对长沙地区 1971—2000 年 30 年雷暴气候特征的分析研究, 采用数值模式输出统计、指数与经验指标、诊断分析三者相结合的 MED 法, 同时引入莱克力指数、修正的 K 指数等物理量, 综合应用数值预报产品、经验指标及区域气象站资料, 研究开发出该地区 249 个站点 3—10 月甚短期(6 h、6~12 h)雷暴危害度等级潜势预报模型; 同时, 采用 MOS 法, 研制出短期 0~48 h 雷暴活动移动趋势预报模型。模型以 Web GIS 技术为依托, 建立了集数据采集、存储、开发、管理、分析和信息传输与发布、信息实时处理等功能于一体的网络信息服务平台。长沙市甚短期雷暴危害度等级潜势预报模型两年(2006—2007 年)的业务运行情况表明, 该模型对雷暴落区及强度均有较强的预报能力。

关键词: 雷暴; 预报模型; MED 法; MOS 法; Web GIS

中图分类号: TP311.52 文献标识码: A

1 引言

雷暴天气是长沙市每年 4—8 月常见的天气现象, 也是一种对当地国民经济和人民生命财产安全危害较大的灾害性天气; 该市每年因雷击引起的人员伤亡事件均有不同程度发生, 造成的经济损失相当大。对雷暴天气研究者甚多^[1-3], 这些论据论述了雷暴天气的成因。作为一种对流性天气, 雷暴具有范围小、发展快等特点, 使用常规天气学方法很难精确预报雷暴的落区、强度。以往, 国内外许多学者利用天气雷达、气象卫星、闪电定位仪等现代化监测手段对雷暴临近(0~2 h)预报技术与方法做了大量研究, 并取得不少有价值的成果。如薛秋芳等^[4]利用单站闪电定位系统监测北京地区 1995—1997 年 3 年夏季闪电活动, 发现闪电频数的日变化与强对流天气发生有一定的对应关系; 蔡晓云等^[5]用雷暴日逐时闪电频数与相应雷达反射率因子叠加方法, 根据闪电轨迹推断对流天气中小尺度系统活动, 指出不同类型天气过程闪电中的地闪和云闪的比例有明显差异; 程铁军等^[6]通过物理量诊断分析提出暴雨与“相对辐散增强区”的对应关系, 为雷暴天气预报提供理论依据。而对雷暴甚短期(0~12 h)及短期(<3 d)预报技术方法研究相对较少。刘跃红等^[7]利用 T213 预报场资料制作雷暴趋势预报, 采用双判据修正 K 指数制作雷暴潜势预报, 为雷暴天气预报业务系统研制提供了一种可以借鉴的思路。

上述工作, 由于对雷电认识的不足, 还没有研制出成熟的雷暴天气短期预报业务系统; 雷暴甚短期定

性预报技术和方法的研究也才刚刚起步, 雷暴的等级预报研究则更少。随着气象业务现代化建设新成果不断问世和区域气象站大量建立, 为研制出科学、客观的雷暴落区及等级预报产品创造了条件。本着对雷暴短期预报技术和方法的有益探索与尝试, 进而为基层气象台站提供一种雷暴短期预报思路, 本文在对长沙市 1971—2000 年 30 年雷暴气候特征进行分析的基础上, 采用数值模式输出统计、指数与经验指标、诊断分析三者相结合的 MED 法^[1-2], 同时引入莱克力指数^[8]、修正的 K 指数^[9]等物理量, 综合应用欧洲、日本的数值预报产品, 地面和高空常规气象资料及区域气象站资料, 研究开发出 3—10 月甚短期(6 h、6~12 h)雷暴危害度等级潜势预报模型; 此外, 应用欧洲、日本的数值预报产品, 使用 MOS 预报法^[10-12], 研制出短期(0~24 h、24~48 h)雷暴活动移动趋势预报模型。还依托 Web GIS 技术的支撑平台, 将基础地理信息数据与甚短期(6 h、6~12 h)雷暴危害度等级潜势预报信息和短期(0~24 h、24~48 h)雷暴活动移动趋势预报信息, 物理量诊断分析模块相结合, 建立数据采集、存储、开发、管理、分析和信息传输与发布、信息实时处理等系统功能于一体的网络信息服务平台。

2 雷暴的气候特征及等级划分

2.1 雷暴的气候特征

长沙市位于湘中东北部、湘江下游, 地理位置 27°51'—28°40' N, 111°53'—114°15' E, 东西最大跨度 233 km, 南北最大距离 90 km, 全市地形呈东西向长条形。

收稿日期: 2007-12-17; 定稿日期: 2008-06-20

基金项目: 长沙市气象局重点项目“长沙市雷电监测与预警预报业务系统”资助

作者简介: 陈勇, 女, 1959 年生, 工程师, 主要从事短期天气预报技术方法研究。E-mail: csqxtcy@126.com

由于该市地处湘中丘陵盆地向洞庭湖平原的过渡带, 其地势东西高峻, 中部低平似马鞍。其东北部和东部海拔最高为 1 607.9 m, 西部平均海拔 1 070.8 m, 中部海拔在 50~150 m 之间, 全市最低海拔仅 23 m。为了统计分析上的方便, 以宁乡站代表长沙市西部, 长

沙站、马坡岭站代表长沙市中部, 浏阳站代表长沙市东部, 普查长沙地区 1971—2000 年 30 年雷暴资料, 得到各地历年各月和年平均雷暴日数, 雷暴出现初日和终日以及雷暴出现最早时间和最迟时间, 其结果详见表 1。

表 1 1971—2000 年长沙市历年各月雷暴日数与出现初(终)日

地名	各月及全年雷暴日数/d													雷暴出现日期/(日/月)			
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	全年	初日	终日	最早	最迟
长沙	0.6	2.1	5.8	7.9	4.7	5.3	7.1	7.7	1.8	0.5	0.6	0.1	44.3	7/2	20/10	1/1	31/12
马坡岭	0.4	2.2	5.3	7.3	4.3	5.1	6.7	7.7	1.8	0.4	0.4	0.2	41.9	12/2	1/10	6/1	31/12
宁乡	0.4	2.3	6.0	8.0	5.6	6.0	7.9	8.2	2.3	0.6	0.2	0.2	47.9	12/2	23/10	6/1	31/12
浏阳	0.5	2.3	6.5	7.8	5.5	7.1	9.7	11.8	3.4	0.6	0.3	0.3	55.8	15/2	28/10	5/1	31/12

从表 1 中可知, 长沙市雷暴全年各月均可能出现, 但一般年份在 2 月份开始出现, 此后逐渐增多, 盛夏 8 月达到最多 (长沙 4 月最多), 9 月份明显减少, 10 月以后不足 1.0 d; 历年各地雷暴初日平均在 2 月 7—15 日, 终日在 10 月 20—28 日; 一年之中, 雷暴最早出现在 1 月 1 日, 最晚可在 12 月 31 日; 全市年雷暴日在 41.9~55.8 d 之间。

另外, 经统计发现, 白天(08—20 时)出现的雷暴略多于夜间(20—08 时), 白天和夜间雷暴分别占总雷暴的 58.6%、41.4%; 长沙、宁乡、马坡岭白天的雷暴比夜间的多 10%, 浏阳白天的(63.6%)比夜间的(36.4%)偏多近 30%; 54.9% 的雷暴天气是全区性的 (指 4 个代表站均出现雷暴, 否则为非全区性雷暴), 非全区性雷暴占总雷暴的 45.1%, 且出现在浏阳的局地雷暴明显偏多, 这说明长沙地区的雷暴天气具有一定的局地性。

2.2 雷暴强度的等级划分

雷暴一般伴有阵雨, 有时还伴有暴雨、大风、冰雹、龙卷等天气现象。根据雷暴伴有的天气现象及其量级划分雷暴强度等级^[1-2], 即将只伴有阵雨(日雨量小于 10 mm)的雷暴定义为一般雷暴或弱雷暴, 将伴有日雨量大于 10 mm 且小于 50 mm 降水的雷暴定义为中雷暴, 将其中伴有暴雨、大风、冰雹或龙卷等严重灾害性天气之一的雷暴定义为强雷暴。按照雷暴强度等级划分标准, 统计 1981—2007 年长沙地区各代表站不同等级雷暴发生频率(各雷暴等级出现次数与总雷暴次数之比), 其结果见表 2。

表 2 1981—2006 年长沙市各雷暴等级发生频率(%)

地名	无雷暴/有雷暴	弱雷暴	中雷暴	强雷暴
宁乡	87.5/12.5	48.5	40.7	10.8
长沙	88.0/12.0	47.3	41.0	11.7
马坡岭	89.6/10.4	50.7	39.6	9.7
浏阳	86.6/13.4	52.4	37.8	9.7

由表 2 可知, 长沙市雷暴发生频率及各等级雷暴

发生频率均具有明显的区域性, 雷暴发生频率以浏阳最高(13.4%), 马坡岭最低(10.4%); 弱雷暴和中雷暴发生频率各地基本相当, 分别占总雷暴的 50%和 40%左右; 强雷暴发生频率仅占 10%左右, 为 9.7%~11.7%不等; 长沙弱雷暴最少、强雷暴最多; 浏阳弱雷暴最多、强雷暴最少。

3 预报因子的形成及预报模型的建立

雷暴是中、小尺度天气现象, 其产生的关键在于不稳定能量的存在、积累和释放。同时, 其产生的必要条件是具备大量的不稳定能量、充沛的水汽和足够的冲击力^[1-2]。通过雷暴形成机理的分析, 对雷暴发生发展过程中物理量的变化规律有了一定的认识, 为雷暴预报技术和方法研究奠定了坚实基础。依据雷暴的天气气候特点以及演变规律, 运用先进预报技术手段和多年预报经验, 对长沙地区短期(0~24 h、24~48 h)雷暴活动移动趋势预报采用 MOS 预报法; 对长沙地区甚短期(6 h、6~12 h)雷暴危害度等级潜势预报采用 MED 法; 在此基础上, 通过相关预报因子的筛选, 建立多元回归预报模型^[9]。

3.1 雷暴移动趋势预报

制作长沙地区雷暴活动移动趋势预报的思路是, 利用获取的多个时次欧洲中心、日本的数值预报产品的 20 时或 08 时的实况场和 24、48 h 预报场, 推测出下一个时次雷暴的位置和强度, 分别作雷暴天气 0~24、24~48 h 活动移动趋势预报。对欧洲中心 20、08 时的高度、温度、相对湿度和气压 24、48 h 的预报产品的处理方法是, 挑选 27.5 N、110 E(格点 1), 27.5 N、112.5 E(格点 2), 27.5 N、115.0 E(格点 3)及 30 N、110 E(格点 4), 30 N、112.5 E(格点 5), 30 N、115.0 E(格点 6)等 6 个格点资料, 其要素根据需要进行格点组合, 确定全市 15 个区预报因子。对欧洲中心 850、700、500 hPa 风场预报资料的处理方法是, 根据长沙地区地理

位置及风场资料特点, 每层选取 8 个格点[包括上述 6 个格点以及 27.5 N、117.5 E(格点 7), 30 N、117.5 E(格点 8)2 个格点], 以槽线、切变线及低涡附近风向风速差别较大(槽线前后连续两格点、切变线两侧连续两格点及低涡四周相邻两格点偏北风与偏南风风向差 30° 风速 $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) 为依据, 计算机自动识别天气影响系统为全市影响系统(跨同纬度连续 3 个格点)、偏东(跨同纬度东面连续 2 个格点)或偏西(跨同纬度西面连续 2 个格点)影响系统后, 将其作为预报因子。对日本 C 区地面特性层降水量 24、48 h 预报资料, 取涵盖长沙地区的 4 个格点 27.5 N、112.5 E(格点 9), 27.5 N、113.75 E(格点 10), 28.75 N、112.5 E(格点 11) 及 28.75 N、113.75 E(格点 12), 根据格点方位, 将格点值内插到 15 个区。在此基础上, 根据预报因子与雷暴的相关系数不同, 对该因子予以不同的权重系数, 并建立全市 15 个区雷暴趋势预报模型, 便可据此制作 0~24、24~48 h 短期雷暴活动移动趋势预报。

这里, 以 $i(i=0,1,2,\dots,14)$ 区 24~48 h 雷暴活动移动趋势预报为例, 说明其预报模型的建立方法。其预报模型为

$$Z(i)=0.15A(i,2)+0.10B(i,2)+0.10C(i,2)+0.15D(i,2)+0.15E(i,2)+0.05F(i,2)+0.10G(i,2)+0.10H(i,2)+0.10I(i,2) \quad (1)$$

式(1)中各预报因子的意义和取值如下:

A(i, 2)由日本 C 区地面特性层降水量 24~48 h 预报格点 9 至格点 12 组合该区的降水量 $R_c(i, 2)$ 值决定。其 $R_c(i, 2) \geq 0.5 \text{ mm}$, A(i, 2)取值 1; 否则, 取值 0。

B(i, 2)由欧洲中心 500 hPa 高度 48 h 预报格点 1 与格点 3 的差 $h_{1(2)}$ 及格点 4 与格点 6 的差 $h_{2(2)}$ 决定, $h_{1(2)}$ 或 $h_{2(2)} \geq -2 \text{ hPa}$, 或 $h_{1(2)}$ 和 $h_{2(2)} \geq -1 \text{ hPa}$, B(i, 2)取值

1; $h_{1(2)}$ 和 $h_{2(2)} < 0 \text{ hPa}$, B(i, 2)取值 0, 否则, 取值 0.5。风预报场确定影响系统为台风倒槽时, 则在 $h_{1(2)}$ 和 $h_{2(2)}$ 前加负号。

C(i, 2)由欧洲中心 500 hPa 高度 24、48 h 预报格点 1 至格点 6 组合该区的 24 h 变高 $\Delta H_{i(2)}$ 决定。 $\Delta H_{i(2)} \geq -3 \text{ hPa}$, C(i, 2)取值 1; $\Delta H_{i(2)} < -3 \text{ hPa}$, C(i, 2)取值 0; 否则, C(i, 2)取值 0.5。

D(i, 2)由欧洲中心 850 hPa 温度 24、48 h 预报, 格点 2 和格点 5 组合该区的 24 h 变温 $\Delta T_{i(2)}$ 决定。 $\Delta T_{i(2)} \geq -2^\circ\text{C}$, D(i, 2)取值 1; $\Delta T_{i(2)} < -2^\circ\text{C}$, D(i, 2)取值 0; 否则, D(i, 2)取值 0.5。

E(i, 2)由欧洲中心的 850、700 hPa 相对湿度 48 h 预报格点 2 和格点 5 组合该区的相对湿度 $R_{hi(i, 2)}$ 决定。850、700 hPa 两层 $R_{hi(i, 2)} \geq 85\%$, E(i, 2)取值 1.5; 850、700 hPa 任一层 $R_{hi(i, 2)} \geq 85\%$, E(i, 2)取值 1.0; 否则, E(i, 2)取值 0。

F(i, 2)由欧洲中心气压 48 h 预报格点 1 至格点 6 组合该区的平均气压 $P_{i(1,2)}$ 决定。 $P_{i(1,2)} \geq 3 \text{ hPa}$ 或 $P_{i(1,2)} \geq -3 \text{ hPa}$, F(i, 2)取值 1; $2 \text{ hPa} \leq P_{i(1,2)} < 3 \text{ hPa}$, 或 $-3 \text{ hPa} < P_{i(1,2)} \leq -2 \text{ hPa}$, F(i, 2)取值 0.5; 否则, F(i, 2)取值 0。

G(i, 2)由用欧洲中心 850 hPa 风 48 h 预报场确定的全市影响系统及偏西、偏东影响系统决定。全市系统 G(i, 2)取值 1.5; 仅为偏东(或偏西)系统 G(i, 2)取值 1.0; 否则, G(i, 2)取值 0。

H(i, 2)由用欧洲中心 700 hPa 风 48 h 预报场确定的全市影响系统及偏西、偏东影响系统决定。全市系统 H(i, 2)取值 1.5; 仅为偏东(或偏西)系统 H(i, 2)取值 1.0; 否则, H(i, 2)取值 0。

I(i, 2)由用欧洲中心 500 hPa 风 48 h 预报场确定的全市影响系统及偏西、偏东影响系统决定。全市系



图 1 2007 年 8 月 24 日下午制作的未来 24~48 h 长沙市雷暴活动移动趋势的图形输出结果

统 $I(i, 2)$ 取值 1.5; 仅为偏东(或偏西)系统 $I(i, 2)$ 取值 1.0; 否则, $I(i, 2)$ 取值 0。

由 $Z(i)$ 值可预报第 i 区雷暴活动移动趋势, 根据历史拟合情况确定预报方程的预报临界值如下:

当 $Z(i) < 0.40$ 时, 可预报第 i 区未来 24~48 h 将无雷暴发生;

当 $Z(i) \geq 0.40$ 时, 可预报第 i 区未来 24~48 h 将出现雷暴;

该模型每年 3—10 月的上午 09 时和下午 15 时 30 分运行, 则分别生成上午和下午雷暴的表格或图形预报结果并保存。如 2007 年 8 月 24 日下午 24~48 h 预报图形输出结果见图 1。

3.2 雷暴危害度等级潜势预报

制作长沙地区 6 h、6~12 h 甚短期雷暴危害度等级潜势预报, 采用的方法是数值模式输出统计、指数与经验指标、诊断分析三者相结合的 MED 法。其预报模型建立的具体步骤如下。

首先, 对可能产生雷暴的因素, 如数值预报产品、各种物理量指数、本站要素及经验指标, 进行统计分析, 计算其与雷暴的相关系数。

其次, 将相关系数在 0.50 以上的因子选为预报因子。这些因子包括:(1)用于判断冲击力强弱的 500、700、850 hPa 影响系统, 欧洲中心格点预报值东西两格点高度差, 以及反映地面冷空气强弱的欧洲中心 850 hPa 温度格点预报日变温;(2)用于判断是否有利于雷暴产生的莱克力指数(T_m)、修正的 K 指数(m_k)等稳定度指标;(3)与长沙地区 245 个区域气象站结合的单站预报指标和消空指标;(4)日本降水量格点预报值和欧洲中心 850、700 hPa 相对湿度预报值, 用于判断水汽条件;(5)其它有利于雷暴产生的经验指标。欧洲中心高度、温度和相对湿度 24 h 的预报以及日本 C 区地面特性层降水量 12~18 h、12~24 h 预报产品的处理方法与上述方法相同。本站资料直接自动读自各区域自动站和观测站, 挑选 2 个指标, 实现资料与预报的紧密结合。

第三, 根据相关程度和预报经验, 得到不同的权重系数。

第四, 建立长沙地区各县(市)、乡镇 249 个站点未来 6 h、6~12 h 甚短期雷暴危害度等级预报模型。其中, 6 h 预报模型为

$$y(i) = 0.11x_0(i) + 0.90x_1(i) + 0.10x_2(i) + 0.11x_3(i) + 0.06x_4(i) + 0.06x_5(i) + 0.10x_6(i) + 0.10x_7(i) + 0.10x_8(i) + 0.80x_9(i) + 0.90x_{10}(i) \quad (2)$$

式(2)中, $y(i)$ 为判别系数; $i=0, 1, 2, \dots, 249$, 为预报的 249 个站点数。其它各预报因子的意义和取值如下:

$x_0(i)$ 由该站 $m_k(i)$ 值决定。 $m_k(i) \geq 33$, $x_0(i)$ 取值 1.5; $25 \leq m_k(i) < 32$, $x_0(i)$ 取值 1.0; $m_k(i) < 24$, $x_0(i)$ 取值 0.0。

$x_1(i)$ 由高空 500、700、850 hPa 三层关键区 (25°—32°N、100°—115°E) 内有无低槽、切变或低涡等低值系统形成并影响该站决定。若两层或以上有此类低值系统, $x_1(i)$ 取值 1.5; 若仅任一层有此类低值系统, $x_1(i)$ 取值 1.0; 否则, $x_1(i)$ 取值 0.0。

$x_2(i)$ 由该站(区域自动站及观测站)温度(T)与水汽压(E /hPa)之差($T-E$) _{i} 决定。 $(T-E)_i \geq 1.9$, $x_2(i)$ 取值 1.0; 否则, $x_2(i)$ 取值 0.0。

$x_3(i)$ 由日本 C 区地面特性层降水量 12~18 h 预报格点 9 至格点 12 组合该区的降水量 $R_c(i, 0)$ 值决定。 $R_c(i, 0) \geq 0.1$ mm, $x_3(i)$ 取值 1.0; 否则, $x_3(i)$ 取值 0.0。

$x_4(i)$ 由该站(区域自动站及观测站)3 h 变温 [$T_3(i)$] 与 3 h 变压 [$P_3(i)$] 决定。若 $T_3(i) \geq 1.5$, 或 $P_3(i) \leq -1.5$ hPa, $x_4(i)$ 取值 1.0; 否则, $x_4(i)$ 取值 0.0。

$x_5(i)$ 由长沙站 925 hPa 与地面的温差 (T_c) 决定。若 $T_c \geq 1.0$, $x_5(i)$ 取值 1.0; 否则, $x_5(i)$ 取值 0.0。

$x_6(i)$ 由长沙站 T_m 决定。 $T_m \geq 29$, $x_6(i)$ 取值 1.0; 否则, $x_6(i)$ 取值 0.0。

$x_7(i)$ 由上游 7 站(常德、桃源、汉寿、源江、益阳、桃江、湘阴)是否有 3 站以上过去 6 h 或现在天气现象是否出现雷暴决定。若有雷暴出现, $x_7(i)$ 取值 1.0; 否则, $x_7(i)$ 取值 0.0。

$x_8(i)$ 由欧洲中心 500 hPa 高度 24 h 预报格点 1 与格点 3 的差 $h_{1(24)}$ 及格点 4 与格点 6 的差 $h_{2(24)}$ 决定。 $h_{1(24)}$ 或 $h_{2(24)} \geq -3$ hPa, 或 $h_{1(24)}$ 与 $h_{2(24)}$ 均 ≥ -2 hPa, $x_8(i)$ 取值 1.0; 否则, $x_8(i)$ 取值 0.0, 风场预报确定影响系统为台风倒槽时, 则在 $h_{1(24)}$ 和 $h_{2(24)}$ 前加负号。

$x_9(i)$ 由欧洲中心 850 hPa 温度 24 h 预报格点 2 和格点 5 组合该区的温度 $T_{1(24)}$ 决定。 $T_{1(24)} \geq -2$, $x_9(i)$ 取值 1.0; 否则, $x_9(i)$ 取值 0.0。

$x_{10}(i)$ 由欧洲中心 850、700 hPa 相对湿度 24 h 预报格点 2 和格点 5 组合该区的相对湿度 $R_{hi(i, 2)}$ 决定。 $R_{hi(i, 2)} \geq 85\%$, $x_{10}(i)$ 取值 1.0; 否则, $x_{10}(i)$ 取值 0。

第五, 根据历史拟合情况确定预报方程的预报临界值。

当 $y(i) < 0.44$ 或满足消空指标时, 则预报该站点未来 6 h 无雷暴;

当 $0.44 \leq y(i) < 0.61$ 时, 则预报该站点未来 6 h 将出现弱雷暴;

当 $0.61 \leq y(i) < 0.72$ 时, 则预报该站点未来 6 h 将出现中雷暴;

当 $y(i) = 0.72$ 时, 则预报该站点未来 6 h 将出现强雷暴。

值得一提的是, 由于不同尺度天气系统预报时效与其生命史长短相当, 及时调用预报资料既可大大减少雷暴预报时效性短带来的误差, 也可更真实地反映大气状况, 因此制作上午预报采用 08 时获取的资料, 制作下午预报采用 14 时获取的资料, 制作晚上预报则采用 20 时获取的资料, 从而在每天早上 02 时 30 分、上午 09 时、下午 03 时 30 分和晚上 08 时 30 分 4 个时次分别制作未来 6 h 和 6~12 h 的雷暴滚动预报。如 2007 年 8 月 21 日上午制作的 12 h 预报图形输出结果见图 2。

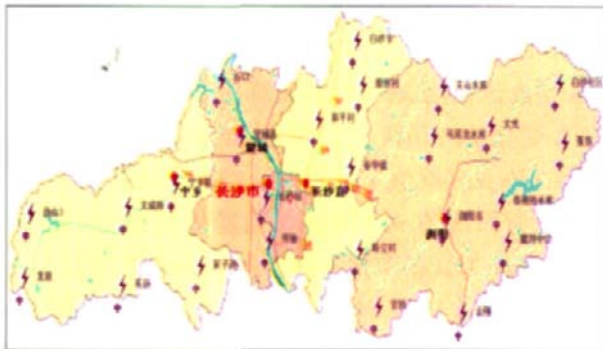


图 2 2007 年 8 月 21 日上午制作的未来 12 h 雷暴滚动预报图形输出结果

4 预报模型的实现平台

通过 Web GIS 技术, 能把多维虚拟现实技术、计算机技术、遥感技术、地理信息系统、全球定位系统、网络技术、通信技术融为一体^[10]。在 Web GIS 技术支持下, 长沙市雷电监测与预警预报系统在 Windows 2003 下, 采用 Visual studio 2005 和 VC++ 工具开发, 数据库采用 Microsoft SQL server 2000, GIS 平台采用 DMGIS 工程平台和 DMGIS-IMS 网络发布平台; 该系统分前台可视化运行模块和后台自动化运行模块。上述两个预报模型则是该系统的核心内容, 除了长沙地区 249 个区域气象站点的雷暴预报信息之外, 还结合了有关物理量诊断分析结果以及乡镇、公路、铁路、水库、湖泊、山脉等更多地理信息数据。前台可视化运行模块可显示含地理信息基础数据、电子地图格式的甚短期(6 h、6~12 h)雷暴危害度等级潜势预报信息, 短期(0~24 h、24~48 h)雷暴活动移动趋势预报信息; 后台自动化运行模块包含传真图解码自动转换程序, 实时数据采集、处理程序, 物理量诊断分析程序, 预报模型计算程序。根据预报模型的设计内容和服务需求, 建立了集数据采集、存储、开发、管理、分析和信息传输与发布、信息实时处理等功能于一体的雷暴网络信息服务平台。

5 预报模型的应用检验

长沙市甚短期(6 h、6~12 h)雷暴危害度等级潜势预报模型, 于 2005 年 12 月至 2006 年 2 月投入业务试运行, 2006 年 3 月正式投入业务使用。这里参照《湖南省中短期天气预报质量检验实施办法》中对其灾害性天气落区预报检验之规定, 对短期雷暴落区及强度预报结果进行定性和定量评定。其 T_s 评分(T_s)、漏报率(P_o)、空报率(F_{AR})计算式如下:

$$T_s = N_A / (N_A + N_B + N_C) \times 100\% \quad (3)$$

$$P_o = N_C / (N_A + N_C) \times 100\% \quad (4)$$

$$F_{AR} = N_B / (N_A + N_B) \times 100\% \quad (5)$$

式(3)~(5)中, N_A 为预报正确站(次)数, 即预报和实况均出现雷暴; N_B 为空报站(次)数, 即预报有雷暴而实况无; N_C 为漏报站(次)数, 即预报无而实况出现雷暴。

统计 2006—2007 年 3—10 月长沙、宁乡、浏阳及马坡岭 4 站 6 h、6~12 h 雷暴落区及强度预报的 T_s 评分、漏报率和空报率, 其结果见表 3、表 4。在表 3 中, “早上”这一预报时段因值班员未使用, 故对其未作统计; “综合”是指上午、下午、晚上三个时次的平均。

表 3 2006—2007 年 3—10 月长沙市不同预报时段 6 h、6~12 h 雷暴落区预报结果检验

预报时段	T_s		P_o		F_{AR}	
	6 h	6~12 h	6 h	6~12 h	6 h	6~12 h
上午	0.75	0.78	0.07	0.08	0.18	0.14
下午	0.80	0.82	0.07	0.06	0.13	0.12
晚上	0.77	0.79	0.08	0.07	0.15	0.14
综合	0.77	0.80	0.07	0.07	0.15	0.13

表 4 2006—2007 年 3—10 月长沙市 6 h、6~12 h 不同量级雷暴预报结果检验

量级(强度)	T_s		P_o		F_{AR}	
	6 h	6~12 h	6 h	6~12 h	6 h	6~12 h
弱雷暴	0.80	0.79	0.06	0.06	0.14	0.15
中雷暴	0.78	0.77	0.04	0.05	0.18	0.18
强雷暴	0.72	0.73	0.00	0.03	0.28	0.24

从表 3 中可见, 无论是上午、下午、晚上时段, 还是综合时段, 其 T_s 均达到了 0.75 以上, 空报率与漏报率之和低于 0.25, 这表明该系统对雷暴的定性预报能力较强; 相对于 6 h 的雷暴落区预报, 6~12 h 的预报质量评分略高; 从不同预报时段来看, 下午、晚上、上午的预报评分效果依次递增, 这反映出雷暴在该地区是白天多于夜间且下午到上半夜逐渐增多。表 4 中的检验数据同样表明, 该系统对雷暴等级具有一定的预报能力; 弱、中雷暴的等级评分明显高于强雷暴的, 而

强雷暴的空报率较高、漏报率较低,说明强雷暴这一小概率事件其预报难度更大。

另外,长沙市短期(0~24 h、24~48 h)雷暴活动移动趋势预报模型,于2007年5月开始投入业务使用。当年5~8月长沙、宁乡、浏阳及马坡岭4站雷暴活动移动趋势预报的定性评定结果是:24 h、48 h的 T_s 分别为0.71、0.69。可见,雷暴趋势预报同样具有较明显的预警作用。

6 结论与讨论

(1)雷暴甚短期潜势预报采用MED法建立预报模型,进行雷暴甚短期落区及危害度等级预报,经两年的业务使用检验,该模型对雷暴的落区和强度具有较强的预报能力;雷暴短期趋势预报采用MOS预报法建立预报模型,作雷暴短期(0~24 h、24~48 h)活动移动趋势预报,经检验发现,该模型具有较好的指示性。这两个模型的建立和运行,有效地拓宽并提高了数值预报产品的释用能力。

(2)两个模型在实时运行中,可以及时调用最新资料,从而减少了雷暴预报时效性短带来的误差;模型直接从区域自动站和观测站提取预报指标,可真实反映雷暴发生前后的大气状况。这从一定程度上提高了雷暴甚短期精细化预报的准确率。

(3)模型以最新的Web GIS技术为依托,实现了基础的地理信息数据与长沙地区249个区域气象站点的预报信息及物理量诊断分析结果的有机结合,从而建立了具有集数据采集、存储、开发、管理、分析和信

息传输与发布、信息实时处理等功能于一体的雷暴网络信息服务平台。

(4)为了实现雷暴分区预报,对有关数值预报产品采取了按方位选点内插到区的方法,这对资料的精度及分辨率要求较高。这种内插方法是制作雷暴精细化预报的有益尝试,可为基层气象台站提供一种预报思路。但由于雷暴预报的复杂性,上述模型还存在有待进一步完善的方面,如设法降低空报率、提高 T_s 评分,尤其是在预报雷暴强度上,可通过不断修改预报因子以实现预报模式的优化与完善。

参考文献:

- [1] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等.天气学原理和方法[M].北京:气象出版社,2000:401-461.
- [2] 寿绍文,励申申,姚秀萍.中尺度气象学[M].北京:气象出版社,2003.
- [3] 许小峰,郭虎,廖晓农,等.国外雷电监测和预报研究[M].北京:气象出版社,2003:843.
- [4] 薛秋芳,青孟,葛润生.北京地区闪电活动及其与强对流天气的关系[J].气象,1999,25(11):15-19.
- [5] 蔡晓云,宛霞,郭虎.北京地区对流云天气闪电特征及短时预报[J].气象,2003,29(8):16-21.
- [6] 程铁军,张苏.长江中下游地区特大雷暴暴雨的诊断分析与预报[J].气象,2001,27(10):25-27.
- [7] 刘跃红,闫小利,宋自福,等.焦作市雷暴潜势预报及临近监测预警系统[J].气象,2007,33(8):104-111.
- [8] 刘键文,郭虎,李耀东.天气分析预报物理量计算基础[M].北京:气象出版社,2005.
- [9] 施能.气象科研与预报中的多元分析方法[M].北京:气象出版社,2002:28-59.
- [10] 刘南,刘仁义. Web GIS原理及其应用[M].北京:科学出版社,2002.

Research and Application of Short-term Forecast Model of Thunderstorm in Changsha Based Web GIS

CHEN Yong, KUANG Fang-yi, XIAO BO

(Changsha Meteorological Observatory of Hunan Province, Changsha 410205)

Abstract: The characteristics of thunderstorm weather in Changsha from 1971 to 2000 are analyzed by the MED method combining numeric model output statistics, experience indices and diagnostic analysis with T_m index, adjusted K-index. By comprehensively applying numerical prediction, experience indices and regional weather observations, the very short range (6 h、6~12 h) grade forecast model of thunderstorm potential harm of 249 weather stations during March and October is developed. Meanwhile, the short-term (0~48 h) trend forecast model of thunderstorm movement is developed by the MOS method. Depending on Web GIS, the network information service platform assembling collection, storage, development, management, analysis of data, transmission, publish and handle of information into an organic whole is established. The operation of the short-term forecast model in Changsha during 2006 and 2007 shows that this system performs excellent on the areas and intensity forecasts of thunder and rainstorm.

Key words: Thunderstorm; Forecast model; MED; MOS; T_s score; Web GIS