

陈秋萍,冯晋勤,李白良,等. 福建强天气短时潜势预报方法研究[J]. 气象,2010,36(2):28-32.

福建强天气短时潜势预报方法研究^{*1}

陈秋萍¹ 冯晋勤² 李白良¹ 刘锦绣¹ 苏万康³ 陈齐川¹

1 福建省气象台,福州 350001

2 福建省龙岩市气象局,龙岩 364000

3 福建省气象局,福州 350001

提 要: 利用2003—2007年中尺度数值模式MM5及探空资料计算的物理量,选取与强对流天气相关性好的热力、动力、能量参数作为预报因子,通过对各参数的空间分布特征和数值与强对流天气落区进行诊断统计分析,及通过参数的搭配,并在考虑因子季节变化特征的基础上,建立强对流诊断预报方程,从而制作福建省未来0~12小时、0~6小时有否出现强对流天气及落区的潜势预报。并用此法回报了2003—2007年3—9月和检验了2008年3—9月的强对流天气。结果表明3—6月潜势预报技巧比7—9月的更高,区域性预报技巧比非区域性的更高,2008年检验结果是0~6小时的预报技巧比0~12小时的低。此法对冰雹、雷雨大风等强对流天气的临近监测预警有较好的指示意义。

关键词: 对流参数, 阈值, 统计分析, 潜势预报

Nowcasting Study of Severe Convective Weather

CHEN Qiuping¹ FENG Jinqin² LI Bailiang¹ LIU Jinxiu¹ SU Wankang³ CHEN Qichuan¹

1 Fujian Meteorological Observatory, Fuzhou 350001

2 Longyan Meteorological Bureau of Fujian Province, Longyan 364000

3 Fujian Meteorological Bureau, Fuzhou 350001

Abstract: The forecasting equations of severe convective weather were built using the physical variables obtained from Model MM5 and radiosonde data during 2003 to 2007, by the ways of making the statistic space distribution with location of severe convection and collocating parameters. By considering the seasonal variation characteristics of the factors, potential forecasts of severe convection and location are made in the future 0—6 h and 0—12 h. The results show that the skill of potential forecast is higher during March to June than July to September, and regional than non-regional. The method is of good instructive sense to forecast severe convective weather of hail, disastrous gust and so on, although some False Alarm Rate events are produced.

Key words: convective parameters, threshold, statistics and analysis, potential forecast

引 言

近年来,国内外有关强对流天气预报方法的研究已有很多成果,但在实用有效的短时预报手段方面依然需做进一步探讨和研究。美国强局地风暴室(SELS)使用的预报过程是:参数估计、图形识别和气候(学)特征^[1]。沙氏指数、K指数等都是我国预

报员常用的物理量参数^[2]。随着数值预报产品的广泛使用,在业务预报中引入了许多新的物理量参数^[3-4],如对流有效位能(CAPE),以及与下击暴流潜势有关的大风指数(WINDEX),与预报风暴强度有关的风暴强度指数(SSI)等。郝莹等用T213数值预报产品计算的物理量进行雷暴潜势预报^[5]。吴庆梅等用MM5输出资料计算对流参数,并用北京地区20个雷暴个例对其使用效果进行了检验^[6]。

* 福建省科技厅重点项目:强对流天气短时临近预报预警系统研制(项目编号:2008Y0027)资助

2009年3月5日收稿; 2009年8月18日收修定稿

第一作者:陈秋萍,从事短时天气预报业务工作。Email:chenqiuping1962@163.com

本文分别用探空及 MM5 资料计算的热力、动力、能量参数,通过对各参数的空间分布特征和数值与强对流天气落区进行诊断统计分析,建立强对流诊断预报方程,制作福建省未来 0~12 小时、0~6 小时强对流天气及落区的潜势预报。

1 资料说明

研究所用强对流天气样本,取自福建省 2003—2007 年间 3—9 月出现的冰雹、雷雨大风。凡观测站出现雷暴伴有 $\geq 17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 或观测站出现冰雹(或报表备注中有雷雨大风、冰雹)记录的确定为一个强对流天气的样本。当某区域有 3 站以上出现雷暴伴有 $\geq 17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上大风或有 3 站出现雷暴伴有大风、冰雹,确定为一个区域强对流天气的样本。

2 基于探空资料的 0~12 小时强对流潜势预报

强对流发生的必要条件是低层水汽、层结稳定性、触发机制。本文在此基础上通过分析各物理量与福建强对流的关系,选取了相关较好的强对流预报业务中常用的热力、动力等参数作为预报因子。选取了 K 指数、沙氏指数 SI 、位温 Tb (850 hPa)、位温差 ΔTb (500~850 hPa)、上升速度 W_p (500 hPa)、水汽通量散度 (925 hPa)、散度 (850 hPa)、涡度 (925 hPa),这些物理量是用探空资料插值到 $1^\circ \times 1^\circ$ 的网格上计算得出的。通过参数的搭配,建立强对流诊断预报方程,从而制作福建省未来 0~12 小时有否出现强对流天气及落区的潜势预报。

2.1 对流参数预报阈值的确定

根据第 1 节中所定的标准,普查 2003—2007 年 3—9 月的观测资料,得到强对流样本 107 例,灾害天气出现时间不详的天数除去 16 例,实为 91 例。其中发生在 08—20 时为 87 例(表 1),发生在 20—08 时为 11 例(有的是白天延续);发生在 08—20 时的区域性强对流为 25 例,发生在 20—08 时的区域性强对流为 3 例(表 2)。

用强对流发生当天 08 时、20 时两个时次的物理量,通过对各参数的空间分布特征和数值与强对流天气落区进行诊断分析,得到了各参数在对流发生日 08 时、20 时两个时次的阈值,从中选取能满足大多数样本的数值为某一参数的预报临界值,当参数数值大于或小于该值(图 1)时有利于强对流天气的

产生(20 时图略)。图 2 是依照上述方法得出的 08 时区域性强对流预报参数阈值(20 时图略)。

表 1 强对流时段月分布

Table 1 Monthly distribution of severe convection

月份	3	4	5	6	7	8	9	合计
08—20 时	5	15	16	12	21	16	2	87
20—08 时	1	7	2	0	1	0	0	11

表 2 区域性强对流时段月分布

Table 2 Monthly distribution of regional severe convection

月份	3	4	5	6	7	8	9	合计
08—20 时	1	8	6	3	4	3	0	25
20—08 时	0	3	0	0	0	0	0	3

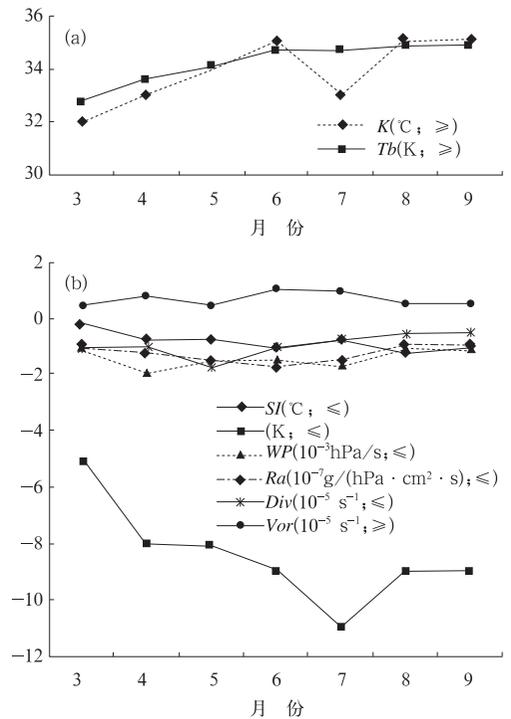


图 1 强对流预报参数阈值(08 时)
(图中右侧括号中为单位及阈值取值范围)
Fig. 1 Parametric threshold of severe convection prediction (08 Beijing Time)
(unit and range of threshold in right brackets)

2.2 对流参数权重系数的确定

虽然得到了每个对流参数对应于强对流天气出现的阈值,但是在分析中发现不同的参数对强对流产生所起的作用不等。为此,根据各参数的阈值区域与强对流天气落区的对应关系统计分析每个参数所起的作用大小,对于任一个参数,将强对流天气区与其阈值区域的对应关系分为以下 4 种情形:(1)强对流天气区恰好与该参数阈值绝对值的大值中心区对应;(2)强对流天气区稍小于该参数阈值绝对值的大值区;(3)强对流天气区远小于该参数阈值绝对值

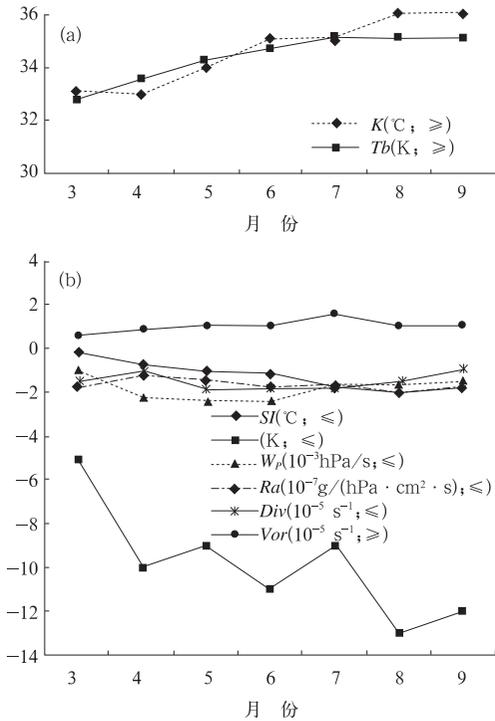


图 2 区域性强对流预报参数阈值(08 时)
Fig.2 Parametric threshold of regional severe convection prediction (08 Beijing Time)

的大值区;(4)强对流天气区位于该参数阈值绝对值大值区与小值区内。统计每个参数与强对流天气区的对应关系,凡是满足(1)、(2)条件的参数,说明其对强对流天气的发生具有较好的指示性,满足(3)、(4)的指示性较弱。上述四种情形权重系数分别取值 2.0、1.5、1.0、0.5,若三分之二左右强对流样本满足哪种情形,则取相应的权重系数,通过分析统计所有样本得到每个参数在 08 时、20 时两个时次的权重系数,由此得到 08 时、20 时两个时次的预报方程。

08 时:

$$Y = 1.5(2.0)x_1 + 1.0(2.0)x_2 + 1.5x_3 + 1.0x_4 + 0.5(1.0)x_5 + 0.5(1.0)x_6 + 0.5x_7 + 0.5x_8$$

20 时:

$$Y = 1.5(2.0)x_1 + 1.0(1.5)x_2 + 1.5x_3 + 0.5x_4 + 1.0(1.5)x_5 + 1.0(1.5)x_6 + 0.5x_7 + 0.5x_8$$

式中 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_8$ 分别为沙氏指数 SI、位温差、K 指数、位温、上升速度、水汽通量散度、散度、涡度,括号中系数为第二阈值满足时的权重系数(为了显示效果,图 1、图 2 中未给出第二阈值曲线)。

对某个参数项,在所界定的福建省区域内任一网格,满足图 1 中所设定的阈值,则方程中相应的项的 Y 值等于其权重系数的值,对 8 项分别进行判定、累加,就得相应时次(08 时)的预报值 $Y_{省}$;同时

将福建省划分为 3 个区域,分别为闽北、闽中、闽南,分别求各区域的 Y 值。规定 08 时若满足 $Y_{省} \geq 4.0$ 时,则预报当日 08—20 时本省将有强对流发生;否则预报当日 08—20 时本省无强对流发生;同时规定 $Y_{北} \geq 3.5$ 、 $Y_{中} \geq 4.0$ 、 $Y_{南} \geq 5.0$,当某区符合上述条件,则预报该区域有强对流。20 时也采用一样方法,只是 Y 值不同。

采用同样方法,对区域性强对流进行预报。

2.3 历史样本回报

用此方法对 2003—2007 年 3—9 月进行逐日 2 次回报,五年间发生在 08—20 时强对流共有 87 次,3—6 月 48 次,报对 34 次,漏报 14 次,概括率为 70.8%,拟合率为 82.5%;7—9 月 39 次,报对 26 次,漏报 13 次,概括率为 66.7%,拟合率为 75.7% (表 3)。发生在 20—08 时强对流 3—9 月 11 次,报对 8 次,漏报 3 次(表 4)。

五年间 3—9 月发生在 08—20 时区域性强对流共有 25 次,报对 20 次,漏报 5 次,概括率 80.0%,拟合率 89.2% (表 3)。发生在 20—08 时区域性强对流 3 次,报对 2 次,漏报 1 次。

表 3 2003—2007 年强对流回报结果(08—20 时)
Table 3 Hind casted results during 2003 to 2007 (from 08:00 to 20:00 BT)

	非区域性		区域性	
	概括率	拟合率	概括率	拟合率
3—6 月	70.8%	82.5%	80%	89.2%
7—9 月	66.7%	75.7%		

表 4 2003—2007 年强对流回报结果(20—08 时)
Table 4 Hind casted results during 2003 to 2007 (from 20:00 to 08:00 BT)

	非区域性		区域性	
	概括率	拟合率	概括率	拟合率
3—9 月	72.7%	94.2%	66.7%	98.4%

2.4 样本检验

将 2008 年 3—9 月的强对流作为检验样本进行检验,本文只检验全省范围,未作分区检验。发生在 08—20 时强对流 3—6 月共有 12 次,报对 10 次,漏报 2 次,空报 16 次,临界成功指数 $CSI = 35.7\%$,命中率 $POD = 83.3\%$,虚假报警率 $FAR = 61.5\%$ (表 5),有较好的强对流潜势预报能力;7—9 月有 9 次,报对 5 次,漏报 4 次,空报 25 次。发生在 20—08 时

表 5 2008 年检验结果(08—20 时)
Table 5 Tested results in 2008 (from 08:00 to 20:00 BT)

	非区域性			区域性		
	CSI	POD	FAR	CSI	POD	FAR
3—6 月	35.7%	83.3%	61.5%	26.3%	83.3%	72.2%

强对流 3—6 月共有 3 次,报对 2 次,漏报 1 次,空报 8 次。

2008 年 3—6 月发生在 08—20 时的区域性强对流有 6 次,报对 5 次,漏报 1 次,空报 13 次,临界成功指数 $CSI=26.3\%$,命中率 $POD=83.3\%$,虚假报警率 $FAR=72.2\%$ (表 5)。2008 年 3—6 月发生在 20—08 时的区域性强对流 3 次,报对 2 次,漏报 1 次,空报 5 次(表 6)。

表 6 2008 年检验结果(20—08 时)

Table 6 Tested results in 2008 (from 20:00 to 08:00 BT)

	非区域性			区域性		
	CSI	POD	FAR	CSI	POD	FAR
3—6 月	18.2%	66.7%	80%	25.0%	66.7%	71.4%

3 基于数值模式的 0~6 小时强对流潜势预报

基于数值模式的强对流天气短时潜势预报,是利用中尺度数值预报模式 MM5 所得到的定时输出资料,计算对流参数,在分析强对流发生天气条件基础上,通过分析各对流参数与福建强对流的关系,选取了相关较好的强对流预报业务中常用的热力、动力、能量参数作为预报因子。选取了 10 个对流参数:修正的 K 指数 MK 、深对流指数 DCI 、风暴强度指数 SSI 、对流稳定度指数 IC 、强天气威胁指数 $SWEAT$ 、对流有效位能 $CAPE$ 、抬升指数 LI 、大风指数 $WINDEX$ 、条件对流稳定度 $CILC$ 、风暴相对螺旋度 SRH 。研究各对流参数对福建省强对流天气发生的贡献大小,确定其预报阈值和权重系数,制作福建省未来 0~6 小时有否出现强对流天气及落区的潜势预报。

3.1 对流参数预报阈值的确定

应用 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 的 MM5 资料计算 2004—2007 年 3—9 月强对流发生当日 08 时、14 时、20 时、02 时四个时次的 10 个大气对流参数,通过统计得到了各参数在对流发生日 08 时、14 时、20 时、02 时四个时次的阈值,从中选取能满足大多数样本的数值为某一参数的预报阈值,图 3 为 14 时强对流预报参数阈值(其余各时次阈值图略),当参数值大于或小于该值时有利于强对流天气的产生。同理,得到了区域性强对流预报参数阈值(图略)。

3.2 对流参数权重系数的确定

分析中发现每个参数对强对流发生发展的贡献

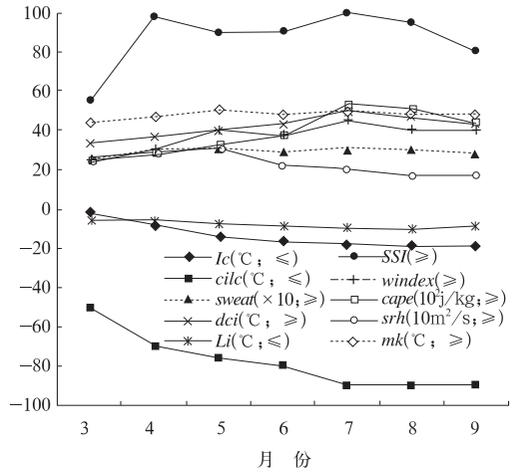


图 3 强对流预报参数阈值(14 时)

Fig. 3 Parametric threshold of severe convection prediction (14 Beijing Time)

不同,为此,采用第 2.2 节中方法根据各参数的阈值与强对流天气落区的对应关系统计每个参数所起的作用大小。通过分析统计得到每个参数在 08 时、14 时两个时次的权重系数。考虑到 20 时与 02 时两个时次强对流个例很少,且大气热力等条件与 08 时的相近,其权重系数采用 08 时的。由此得到各时次的强对流预报方程。

08 时、20 时、02 时强对流预报方程为:

$$Y = 1.5x_1 + 1.0x_2 + 1.0x_3 + 1.0x_4 + 1.0x_5 + 0.5x_6 + 0.5x_7 + 1.0x_8 + 1.0x_9 + 0.5x_{10}$$

14 时强对流预报方程为:

$$Y = 1.0x_1 + 1.0x_2 + 1.0x_3 + 1.0x_4 + 1.0x_5 + 0.5x_6 + 0.5x_7 + 1.0x_8 + 0.5x_9 + 0.5x_{10}$$

方程中, x_1, x_2, \dots, x_{10} 分别表示修正的 K 指数 MK 、深对流指数 DCI 、对流稳定度指数 IC 、条件对流稳定度 $CILC$ 、强天气威胁指数 $SWEAT$ 、对流有效位能 $CAPE$ 、风暴强度指数 SSI 、抬升指数 LI 、大风指数 $WINDEX$ 、风暴相对螺旋度 SRH 的格点值(0,1 化)。

对某个参数项,在所界定的福建省区域内经向、纬向 6 个网格并且总网格数 70 个的区域内满足图 3 中所设定的阈值,则方程中相应的项的 Y 值等于其权重系数的值,对 10 项分别进行判定、累加,就得到相应时次(14 时)的预报值 $Y_{省}$;同时将福建省划分为 3 个区域,分别为闽北、闽中、闽南,分别求各区域的 Y 值。规定 14 时若满足 $Y_{省} \geq 5.5$ 时,则预报当日 14—20 时本省将有强对流发生;否则预报当日 14—20 时本省无强对流发生;同时规定 $Y_{北} \geq 4.5$ 、 $Y_{中} \geq 5.0$ 、 $Y_{南} \geq 6.0$,当某区符合上述条件,则

预报该区域有强对流。其余各时次方法一样,只是 Y 值有所不同。

采用同样方法,对区域性强对流进行预报。

3.3 历史样本回报

用此方法对 2004—2007 年 3—9 月进行逐日 4 次回报。发生在 08—14 时的强对流 3—6 月 6 次,报对 5 次,漏报 1 次,概括率 = 83.3%,拟合率为 93.6%。发生在 14—20 时的强对流 3—6 月 28 次,报对 21 次,漏报 7 次,概括率 = 75.0%,拟合率为 88.1%。发生在 20—02 时的强对流 3—6 月 7 次,报对 6 次,漏报 1 次,概括率 85.7%,拟合率为 92%。发生在 02—08 时的强对流 3—6 月 2 次,均报对,概括率 100%,拟合率为 95.7%。

发生在 08—14 时的区域性强对流 3—6 月 5 次,报对 4 次,漏报 1 次,概括率为 80%,拟合率为 94.4%。发生在 14—20 时的区域性强对流 3—6 月 13 次,报对 10 次,漏报 3 次,概括率为 76.9%,拟合率为 91.4%。发生在 20—02 时及 02—08 时的区域性强对流 3—6 月分别为 3 次和 2 次,均报对。

3.4 样本检验

将 2008 年 3—9 月的强对流作为检验样本进行检验,本文只检验全省范围,未作分区检验。发生在 14—20 时的强对流 3—6 月共有 8 次,报对 6 次,漏报 2 次,空报 14 次,临界成功指数 $CSI=27.3\%$,命中率 $POD=75.0\%$,虚假报警率 $FAR=70\%$ 。发生在 20—02 时及 02—08 时的强对流 3—6 月分别为 3 次和 1 次,均报对。

发生在 14—20 时的区域性强对流 3—6 月共有 3 次,报对 2 次,漏报 1 次,空报 9 次。发生在 20—02 时的区域性强对流 3—6 月有 3 次,报对 2 次,漏报 1 次,空报 7 次。

将上述回报和检验结果与 0~12 小时的结果比较发现:(1)总体来看区域性潜势预报技巧比非区域性的更高;(2)3—6 月预报技巧比 7—9 月的更高;分析原因可能是区域性强对流多为系统性的天气,此类天气一般具备了强对流发生的天气条件,物理量场上常有较明显的反映,此类天气的参数阈值设高些,可使其空、漏报相对减少。同样的,3—6 月发生的强对流天气多为系统性的,7—9 月局地性的多

而系统性的少。(3)2008 年检验结果是 0~6 小时的预报技巧比 0~12 小时的低,前者空报率更高。原因可能是一些过程大的环境场变化缓慢,造成一些物理量如辐合、辐散、上升运动、水汽辐合等变化缓慢,使这些过程在强对流结束的一段时间内常常仍然呈不稳定状态,造成预报时段越短空报越多。此外,有的强对流过程在发生前就已开始积蓄不稳定能量,一些参数已有不稳定反映,也使预报时段越短空报越多。这样就造成 0~6 小时的预报技巧比 0~12 小时的低。

4 结论

(1) 不论是基于探空资料还是基于 MM5 数值模式资料,不同月份对流参数阈值均有明显差异,3 月份阈值绝对值最小,4 月次小,7、8 月最大,9 月减小。因此,制作潜势预报时按季节设定参数阈值可减少漏报、空报。

(2) 回报和检验结果总体来看区域性潜势预报技巧比非区域性的更高;3—6 月预报技巧比 7—9 月的更高;2008 年检验结果是 0~6 小时的预报技巧比 0~12 小时的低,前者空报率更高。

(3) 由于灾害天气的灾情实况资料收集不全及用于计算对流参数的模式的预报能力等因素,产生了一定的空报率。尽管冰雹、雷雨大风等强对流天气潜势预报的临界成功指数比一般雷暴等大概率事件的要低,但对强对流天气的临近预报仍具有较好的指示意义。

参考文献

- [1] Doswell C A III, Weiss S J and Johns R H. Tornado forecasting-a review. Proc Tornado Symp. Church III C, Ed., Amer. Geophys. Union, 1993
- [2] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文. 天气学原理和方法[M]. 北京:气象出版社,1983:310-318.
- [3] 赵秀英,吴宝俊. 风暴强度指数 SSI[J]. 气象,2005,26(5): 55-56.
- [4] 彭治班,刘健文,郭虎,等. 国外强对流天气的应用研究[M]. 北京:气象出版社,2001.
- [5] 郝莹,姚叶青,陈焱,等. 基于对流参数的雷暴潜势预报研究[J]. 气象,2007,33(1): 51-56.
- [6] 吴庆梅,付宗钰,郭虎. MM5 模式输出对流参数的效果检验[J]. 气象,2006,32(4): 24-28.