

# 晋江 4~6 月强降水综合预报初探

吴徐燕<sup>1</sup>, 陈林<sup>2</sup>, 杨舒琳<sup>1</sup> (1. 晋江市气象局, 福建晋江 362200; 2. 泉州市气象局, 福建泉州 362000)

**摘要** 先利用 1998~2012 年探空资料和降水观测资料, 对晋江 4~6 月强降水的形势特征进行分析和总结, 得出晋江产生强降水的形势主要分为锋面降水和季风降水, 而锋面降水又分为东北低槽型和西南低槽型, 并得到形势预报判据; 再结合 2010~2014 年 4~6 月 T639 数值模式预报场资料定性研究强降水预报, 使用模式输出统计(MOS)预报方法确定的统计-动力相结合的思路, 通过相关分析初步筛选预报因子, 用事件概率回归和 Logistic 回归方法确定最终预报因子, 建立起预报因子与降水量之间的关系, 并对预报方程进行优化和 TS 评分检验, 结果表明 Logistic 具有更好的预报效果; 最后根据预报方程和形势预报判据得到晋江市 4~6 月强降水综合定性预报系统, 操作简便, 为强降水定性预报工作提供参考。

**关键词** 4~6 月; 强降水; 天气形势; MOS 预报; 综合预报

**中图分类号** S165 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)36-281-05

晋江地处我国东南沿海, 是降水丰沛的地区, 同时气象灾害较为严重。每年的 4~6 月晋江进入前汛期, 这一时期的降水总量可占全年总降水量的 40% 以上, 再加上降水持续时间长、降水强度高、突发性强等特点, 由强降水引发的气象灾害频繁发生。因此研究 4~6 月强降水、探索更多适用当地的预报方法有十分重要的意义。

近年来, 基于数值产品的解释应用技术越来越受重视。模式输出统计(MOS)方法是在众多数值产品释用方法中使用最多、效果较好的动力统计方法<sup>[1]</sup>。刘还珠等<sup>[2]</sup>和陈豫英等<sup>[3]</sup>分别利用 T213 模式资料和 MM5 输出产品建立 MOS 预报系统, 并实现业务运行, 结果均表明 MOS 方法的预报基本达到了业务可用的标准, 预报水平相比原模式有了一定的提高。为了探索更多的适用当地 4~6 月强降水的预报方法, 笔者将模式输出统计和形势预报结合, 对晋江 4~6 月强降水综合预报方法进行研究。

## 1 4~6 月强降水的形势特征及预报判据

对晋江 1998~2012 年 4~6 月强降水发生前 500、700 和 850 hPa 环流场以及海平面气压场进行综合分析, 并分类归纳特征(主要讨论西风带系统下的强降水), 强降水过程的形势大致分为锋面低槽强降水和锋前暖区(即夏季风)强降水, 而锋面低槽类又可分为东北低槽型和西南低槽型。锋面降水与风暴轴有关, 为大尺度抬升凝结降水, 季风降水受控于大气层结, 为对流性降水<sup>[4]</sup>。5 月中旬前, 冷空气势力仍较强, 冷暖气流交汇容易形成强降水, 5 月中旬以后, 夏季风暴发并推进到华南, 锋前暖区潮湿不稳定, 很容易产生强降水, 降水量一般大于锋面降水, 但面积比锋面降水小, 局地性较强。

### 1.1 锋面低槽类强降水形势特征

#### 1.1.1 东北低槽型。

**1.1.1.1 500 hPa 环流形势。**500 hPa 欧亚地区环流经向度大, 中高纬地区槽脊明显, 西风槽位于我国东部地区, 常有东北低涡相伴, 有时候低涡位置偏南则为江淮气旋, 伴有低涡

则槽底位置能到华南沿海, 降水强度更强, 容易产生暴雨; 槽底南伸至江南西部, 甚至西南南部, 有些伴有南支槽配合, 则有利于引导中高纬冷空气南下从东路南下影响华南(图 1a<sub>1</sub>)。如果冷涡强度很强, 或冷涡上游或下游伴有阻塞高压, 则高空槽移动缓慢, 可产生连续性强降水(图 1a<sub>2</sub>)。副热带高压北缘多在华南沿海, >12 m/s 的强西风轴较为宽广, 副高西脊点偏西, 晋江处于副高边缘不稳定区域内, 副高北侧的暖湿气流将丰沛水汽向晋江输送。

**1.1.1.2 低层环流形势。**低层有相应的切变线东移配合, 有时有完整的闭合低涡和相应低涡切变(中层低涡深厚, 可能产生暴雨), 多数为冷式切变, 切变提供了形成强降水的水汽条件、位势不稳定和辐合上升运动条件。有时低层会伴有西南低空急流, 若是有风速辐合, 则有利于水汽堆积。

**1.1.1.3 地面形势。**冷空气强度较强, 冷高压中心有时在西南地区(西路型), 有时在河套地区(中路型), 冷空气迅速向东南沿海扩散, 有时由于受武夷山脉阻挡, 可形成武夷山锢囚锋, 冷锋前缘压到福建沿海一带, 这一类型主要出现在 4 月份, 低槽和切变线快速南压, 降水持续时间不会太长, 不会出现连续性强降水天气(图 1b<sub>1</sub>)。蒙古至东北一带为低压控制, 冷空气主体在海上, 势力较弱, 冷空气从冷高后部沿海渗透下来(东路型), 将原本控制华南地区的倒槽南压, 这一类型主要出现在 5 月(图 1b<sub>2</sub>)。

#### 1.1.2 西南低槽型。

**1.1.2.1 500 hPa 环流形势。**500 hPa 欧亚地区环流经向度较小, 高纬地区是纬向多波型, 我国西南地区有低涡向东移动, 有时没有形成低涡, 只是等高线的气旋性曲率很大, 相应的低槽槽底达到中南半岛北部, 副热带高压较东北低槽型偏东, 西北缘在南海东北部(图 2a)。

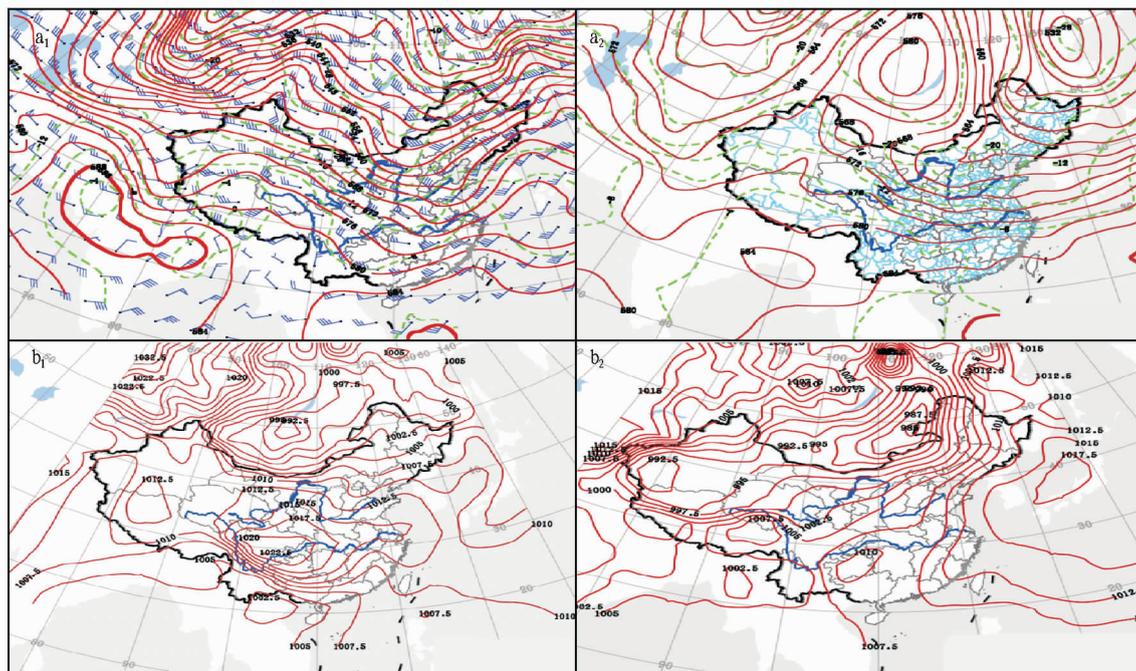
**1.1.2.2 低层环流形势。**低层西南地区有相应的低涡, 华南位于低涡的东南象限、气旋式弯曲较大之处, 有时为暖切之处, 有时为气旋式辐合, 有些过程在切变线的南侧有低空急流存在(图 2b)。

**1.1.2.3 地面形势。**西南地区有热低压或地面倒槽形成, 西南倒槽向西南开口, 槽底向东或东北方向伸展控制福建(图 2c<sub>1</sub>)。北方冷空气南下推动倒槽向南移动发展, 冷锋逐渐进入倒槽, 形成锋面低槽(图 2c<sub>2</sub>)。热低压和地面倒槽发

**基金项目** 福建省气象局新录用研究生基层专项(2012g03)。  
**作者简介** 吴徐燕(1987-), 女, 江西上饶人, 工程师, 硕士, 从事短期预报研究。  
**收稿日期** 2015-11-18

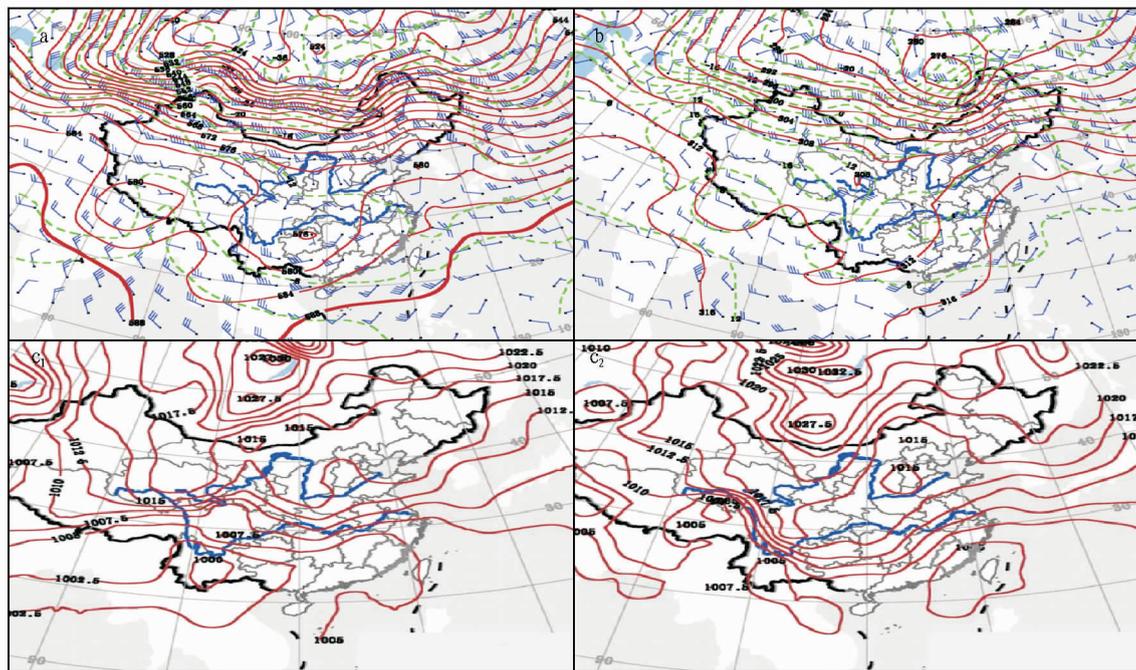
展范围越广,降水强度越强。在这种形势下,低槽和切变线

南压较慢,降水持续时间长,容易出现连续性强降水过程。



注:a<sub>1</sub>.1999年4月11日20:00;a<sub>2</sub>.1999年5月25日08:00;b<sub>1</sub>.2003年4月13日17:00;b<sub>2</sub>.2004年5月7日20:00。

图1 东北低槽型强降水500 hPa环流形势(a)和海平面气压场(b)



注:c<sub>1</sub>.2008年5月8日20:00;c<sub>2</sub>.2008年5月9日11:00。

图2 西南低槽型强降水500 hPa(a)、700 hPa(b)环流形势和海平面气压场(c)

### 1.2 夏季风降水(锋前暖区降水)形势特征

**1.2.1 地面形势。**冷空气势力弱,长江以南无锋面活动,地面西南地区热低压或地面倒槽强烈发展(图3a<sub>2</sub>),西南和华南西部气压较低,低压中心处于西南地区或广西东南部及北部湾,低压槽向东伸展到长江中下游地区,东海和台湾附近气压较高,气压场呈东高西低,等压线多为近南北走向(图

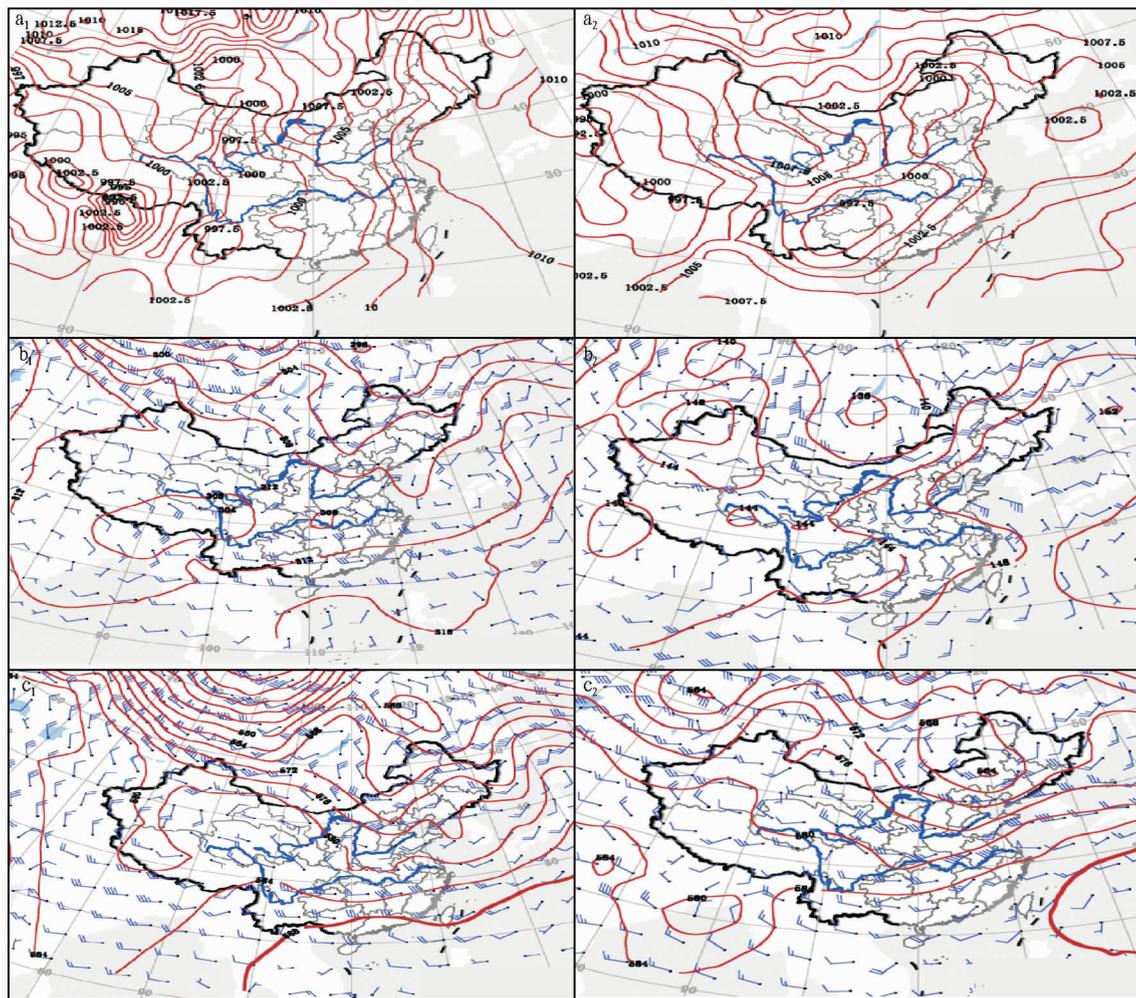
3a<sub>1</sub>)。晋江位于低压倒槽中,处于辐合上升区。

**1.2.2 低层环流形势。**西南地区处于低压区,有时伴有闭合低压中心,有时只是低压槽,长江流域有东西向暖式切变或静止锋切变南北摆动(图3b<sub>2</sub>),有时只有西南气流在中西部上空的气旋式弯曲。华南地区西南气流强盛,有时达到急流强度,急流轴在华南沿海,再加上有些过程西南气流风速

辐合明显(图 3b<sub>1</sub>)。

**1.2.3 500 hPa 环流形势。**在四川盆地到我国东南沿海有西风槽或低涡活动,南支槽东移过程中将影响到华南沿海,孟加拉湾有低槽或低涡活动,副热带高压环流脊线位于 15°

N 附近,有时西伸至南海或以西(图 3c<sub>1</sub>),有时偏东,福建中南部沿海处于副热带高压北侧,受较强的西南或西南偏西气流控制。如果中高纬为阻高加低涡形势,可产生持续性强降水(图 3c<sub>2</sub>)。



注: a<sub>1</sub>. 2008 年 6 月 13 日 17:00; a<sub>2</sub>. 2003 年 6 月 26 日 02:00; b<sub>1</sub>. 2010 年 6 月 13 日 20:00 700 hPa; b<sub>2</sub>. 1998 年 6 月 22 日 20:00 850 hPa; c<sub>1</sub>. 2010 年 6 月 13 日 20:00; c<sub>2</sub>. 1999 年 6 月 22 日 20:00。

图 3 夏季风强降水海平面气压场(a)、中低层(b)和 500 hPa(c)环流形势

### 1.3 强降水预报判据

**1.3.1 中层。**中纬地区有西风槽东移,槽深,槽底南压至长江以南;低纬西南地区有短波槽或南支槽配合东移,晋江受较强的西南气流控制。

**1.3.2 低层。**切变线南压或东伸至福建中部地区;晋江西南气流强盛,有时达到低空急流强度。

**1.3.3 地面。**北方冷空气南下,锋面压到华南地区;西南地区低压倒槽强烈发展,海平面气压场西高东低,等压线接近南北走向。

## 2 4~6 月强降水 MOS 预报

**2.1 资料的选取** 选取 2010~2014 年 4~6 月共 455 d T639 数值模式预报产品格点资料(20:00 起报)和相应日期(20:00~次日 20:00)的降水实况资料。T639 资料的网格点分辨率为 1°×1°。

### 2.2 资料预处理

**2.2.1 因子的初步筛选和加工。**根据预报员的经验,粗选一些与降水相关的动力、热力和水汽及天气学等条件相关的物理量因子,如海平面气压、高度、温度、温度平流、风速、风向、涡度、涡度平流、散度、垂直速度、相对湿度、水汽通量、水汽通量散度、K 指数等因子,包含各个高度层、1 000~200 hPa;并对一些因子进行组合加工,共得到 127 个因子。如 T639 中的风是以二维矢量的格式储存的,不适合直接用于计算,把风矢量分解为经向风和纬向风的一维量即可;还有一些组合的因子,如 E-T、24 h 变温、24 h 变压、VOR<sub>700</sub>-DIV<sub>850</sub>(VOR 为涡度, DIV 散度),反映中低层的动力结构。组合过程中需注意因子量级的统一,另还需考虑因子之间的独立性<sup>[5]</sup>。

**2.2.2 空间上的处理。**由于数值预报产品在输出上存在噪

音,单个格点的预报量有一定的偶然性和非代表性,在此选取覆盖晋江站(118.34°E,24.49°N)的6个格点组成的长方形关键区域(117°~119°E,24°~25°N)资料,取其平均值和极值作初选因子,因子数量则翻倍(127×2)。

**2.2.3 时间上的处理。**为了克服数值预报产品对天气系统移速预报偏快或偏慢、偏强或偏弱的缺点,在临近的3个时效的产品进行叠加处理,取其叠加的极值(绝对值最大)作3个时效的合成场,可以更好地反应预报时效内因子的最大贡献值。如预报时效为24 h,就选取21、24、27 h 3个时次做叠加处理<sup>[6]</sup>。

**2.3 预报量与预报因子的处理及因子筛选** 采用强降水标准为24 h(20:00~次日20:00)雨量≥25 mm。普查2010~2014年日雨量,共34场强降水,把这些强降水发生日期对应预报量定义为1,否则为0。预报因子保持原先连续型变量,进行标准化处理,化为无量纲标准化变量,这样预报方程的系数大小即可代表每个预报因子对降水的贡献。

优选预报因子是处理后的降水量和因子之间的相关系数来筛选的,当相关系数没有通过信度为0.05的显著性检验时,这个因子即被排除。当预报因子为连续型因子,而预报量为0、1变量,则它们之间的相关性可用点双序列相关系数求得,即 $r = \frac{\bar{X}(1) - \bar{X}}{S_x} \left( \frac{P}{1-P} \right)^{\frac{1}{2}}$ ,式中, $\bar{X}$ 为因子 $x$ 的平均值, $\bar{X}(1)$ 在预报量为1时 $x$ 的平均值, $P$ 为预报量为1时事件出现的频率, $S_x$ 为因子的样本标准差,上式可由相关系数的表达式导出<sup>[7]</sup>。

对预报量与127×2个因子进行相关分析,凡是通过对0.05显著性检验的予以保留,否则剔除,最后剩下19个预报因子。

## 2.4 预报方程的建立

**2.4.1 事件概率回归分析(REEP)。**事件概率回归主要考虑降水量与因子的线性关系,这里采用逐步回归方法对19个因子进一步共线性筛查,最后进入方程的预报因子及其回归系数如表1所示,逐步回归筛选剩下的5个进入方程的因子间复相关系数为0.357,已经具有0.05的显著性水平,说明回归方程效果显著。

表1 事件概率回归方程的因子及系数

预报因子	系数	Sig.
常数项	0.073	0.000
200 hPa 平均垂直速度	-0.057	0.001
700 hPa 平均24 h 变高	0.053	0.000
300 hPa 平均经向风	-0.034	0.011
600 hPa 经向风极大值	0.035	0.009
6 h 累积降水极大值	0.031	0.028

预报因子的物理意义:200 hPa 垂直速度反映了高层动力条件,表明地面强降水的发生,需要配合非常强的高层动力条件;700 hPa 24 h 变高反映了低层系统变化情况,表明低层冷空气侵入有利于降水凝结;300 hPa 和 600 hPa 经向风与降水量分别呈负相关和正相关,表明高层北风(如冷空气侵

入)和中低层南风的垂直风切变有利于强降水的发生。

**2.4.2 Logistic 回归分析。**在制作 MOS 预报时,用事件概率回归(REEP)方法做降水概率预报主要有两方面的不足,一是预报量的拟合值有时可超出概率变化范围;二是在预报量为定性变量的情况下,预报因子与事件发生概率之间存在非线性关系,事件概率回归不能拟合这种非线性关系<sup>[8]</sup>。下面用 Logistic 非线性回归方法试验。

Logistic 是一种分对数模型来使因子变量规格化,然后再由这些转换后的因子组成回归方程,是一种非线性回归<sup>[7]</sup>。这里预报量是0、1化,用到的是二分类的 Logistic 模型,也是实际中最常用的 Logistic 模型。Logistic 回归方程可表示为: $f(x; \alpha, \beta) = \frac{1}{1 + \exp[-(\alpha + \beta x)]}$ 。利用 Logistic 模型建立回归方程,采用向前条件方法,剔除了部分因子,剩下的因子及系数如表2所示,各因子系数的 Sig. 值均小于0.05,通过显著性检验,且方程卡方为39.655,大于自由度为4的卡方临界值9.488,也通过了检验。

**2.5 降水预报效果检验** 考查预报方程的效果需要进行预报评分,在此采用 TS 评分进行检验。TS 评分是国内降水评估最常用的一个评判工具,经常用来检验离散型预报量的效果,TS 评分值在0~1,1为最好,0为最差。概率阈值将原本0~1的概率值转化为0(无)、1(有)降水的传统预报形式,进而采用 TS 评分。其计算公式为 $TS = \frac{N_A}{N_A + N_B + N_C}$ ,式中, $N_A$ 为报对数, $N_B$ 为漏报数, $N_C$ 空报数。

表2 Logistic 模型方程的因子及系数

预报因子	系数 B	Sig.
200 hPa 平均垂直速度	-1.036	0.000
700 hPa 平均24 h 变高	0.859	0.000
300 hPa 平均经向风	-0.812	0.005
600 hPa 经向风极大值	0.625	0.015
常量	-3.407	0.000

TS 评分在一定程度上对降水发生的概率有一定的依赖性,降水多的地区评分高,降水少的地区评分相对偏低,这不利于不同地区不同气候概率下预报的比较。强降水发生的概率本身很小,以0.5作为判断有无强降水发生的标准并不恰当,所以尝试使用调低分类标准即阈值。参考晋江强降水发生的频率(有降水的样本数占总样本的比例),2010~2014年强降水发生的概率<0.1,尝试0.1~0.5的数值,以能提高的最优 TS 评分为标准,寻找最优阈值。将系数和因子带入方程中求得拟合的预报量,并不断调整阈值计算不同预报方法的 TS 评分。预报量拟合过程中,将超出概率变化范围的值进行相应处理,如大于1则记为1,小于0则记为0。预报量的拟合值的分类临界值,即阈值(大于阈值记为1,小于阈值记为0)需根据当地强降水发生概率适当调整,优化结果为:事件概率回归方程优化阈值取0.213能使 TS 评分达最大,为0.324; Logistic 回归方程优化阈值取0.282时,TS 评分达最大,为0.345。对比可知,Logistic 回归方程的预报效

果优于事件概率回归方程。

### 3 综合预报平台构建

将实时 T639 数值预报资料(20:00 起报,预报时效为 21、24 和 27 h)中的 200 hPa 垂直速度、700 hPa 24 h 变高、300 hPa 风、600 hPa 风按照“2.2”的数据处理方法处理,并进行标准化处理,将处理后的因子带入 Logistic 回归方程中,最终得到降水概率的拟合值,若拟合值 $\geq 0.345$ (Logistic 模型优化阈值),则返回 1,表示晋江未来 24 h 出现强降水的概率较大,否则返回 0,即出现强降水的概率较小。用上述方法编制 Fortran 程序,得到相应的 24 h 强降水预报返回值并 0、1 化,得到一个数,此为 MOS 客观预报结论。

接着在程序中加入形势预报判据,分别对中层、低层和地面形势进行主观判断,符合判据则输入 1,否则输入 0,在此得到 3 个数,此为形势预报结论。

将以上 4 个数相加为综合预报结论,并根据实况对综合预报阈值进行优化,利用 2013~2014 年 T639 资料、高空资料和降水实况进行预报试验,最后将阈值定为 3,达到最优预报效果,TS 评分为 0.403。

第 1 次运行此平台(图 4)前阅读说明文档,并按要求操作,需要安装 Fortran 和 Net4.0,且需运行 Fortran 程序;第 2 次以后的日常运行仅需先双击 zongheyubao.exe,再打开 jinjiangprogram.exe 程序,然后主观形势判断,即可得出最终预报结论,可为今后的 4~6 月强降水定性预报提供一定参考。

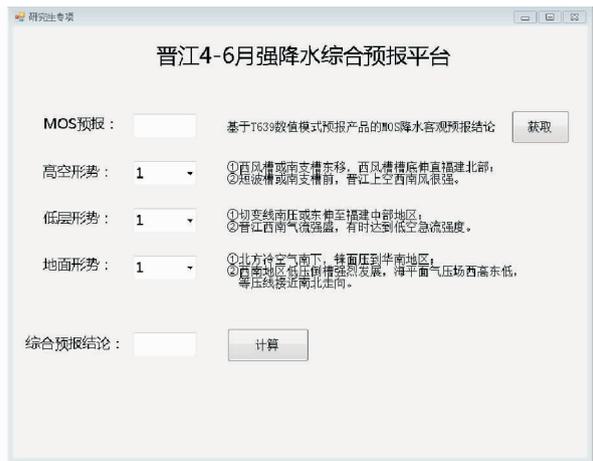


图 4 晋江 4~6 月强降水综合预报平台截图

### 4 小结与讨论

(1) 晋江 6 月出现强降水的概率最大,4~6 月强降水主要发生在副热带高压北侧的西风带中,按形势特征分为锋面降水和季风降水,而锋面降水又可分为东北低槽型和西南低

槽型。

(2) 锋面低槽型 500 hPa 西风槽位于我国东部地区,环流经向度较大,低层切变线压到福建中部,地面冷锋南压至东南沿海地区。西南低槽型 500 hPa 环流经向度小,西南地区有低槽东移;低层西南相应切变线东移;地面西南地区有东北向低压倒槽,受冷空气南压。锋前暖区型 500 hPa 受较强的西南或西南偏西气流控制,低层配合较强西南气流,地面西南地区低压槽强烈发展,西低东高,等压线近南北走向。据以上形势特征得出相应强降水预报判据。

(3) 利用 T639 数值产品和日降雨量进行强降水定性的 MOS 预报方法研究。通过对因子加工、组合以及空间、时间上的插值,取平均和极值等处理,最终得到 127×2 个因子,进行了 2 种预报方法试验:①事件概率回归分析,预报量按是否发生大雨 0、1 化,预报因子进行标准化处理,用相关分析初步筛选出与预报量显著相关的 21 个因子,建立逐步回归方程;② Logistic 回归分析,为了避免预报量拟合值超出概率变化范围,并考虑预报因子与预报量之间的非线性关系,建立 Logistic 回归方程。

(4) 通过计算 TS 评分的方法对各个预报方程预报效果进行检验,预报拟合值分类标准进行优化调整 TS 评分,结果表明,优化阈值后的 Logistic 回归的预报效果优于事件概率回归方程。

(5) 利用实时 T639 数值预报资料和 Logistic 回归方程得到强降水发生概率拟合值,根据阈值定性预报强降水是否发生,并将结果反馈出来,结合形势预报判据,主客观预报相结合,为强降水综合预报提供有效依据,得到晋江 4~6 月强降水的综合预报平台。试用表明,平台可为日常预报提供较好的参考。

### 参考文献

- [1] 丁士晟. 中国 MOS 预报的进展[J]. 气象学报,1985,43(3):332-338.
- [2] 刘还珠,赵声蓉,陆志善,等. 国家气象中心气象要素的客观预报: MOS 系统[J]. 应用气象学报,2004,15(2):181-191.
- [3] 陈豫英,陈晓光,马金仁,等. 风的精细化 MOS 预报方法研究[J]. 气象科学,2006,26(2):210-216.
- [4] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 天气学原理与方法[M]. 北京:气象出版社,2000:345-350.
- [5] 冯耀煌,杨旭. 论最优预报因子与最优预报方程[J]. 气象学报,1989,47(1):52-60.
- [6] 朱桂林. 降水概率预报方法及其应用研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2004:9-12.
- [7] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法[M]. 北京:气象出版社,2004:50-54,81-83.
- [8] 黄亿. 基于 MOS 方法的客观降水预报模型的研究与应用[D]. 南京:南京信息工程大学,2008:10-13.

(上接 277 页)

### 参考文献

- [1] 董海萍,李振军,刘淑媛,等. T-lnP 图的制作及一些稳定度指数不稳定能量的计算[J]. 气象科学,2001(4):474-479.
- [2] 陈子通,闫敬华,黄晓梅,等. 应用于强对流天气预报的模式探空产品[J]. 热带气象学报,2006(4):321-325.
- [3] 秦丽,李耀东,高守亭. 北京地区雷暴大风的天气-气候学特征研究

- [J]. 气候与环境研究,2006(6):754-762.
- [4] CLIFFORD M. Alvord and robert hall smith: The tephigram-Its theory and practical use in weather forecasting[J]. Mon Wea Rev, 1929,57:361-369.
- [5] POULTER R M. Cloud forecasting:The daily use of the tephigram[J]. Q J Roy Meteor Soc,1938,64(275):277-292.