

陈见,刘凑华,高安宁,等. 低纬南北风指数在广西暴雨预报中的应用[J]. 气象,2012,38(11):1348-1354.

低纬南北风指数在广西暴雨预报中的应用^{*}

陈 见¹ 刘凑华² 高安宁¹ 梁维亮¹

1 广西区气象台,南宁 530022

2 中央气象台,北京 100081

提 要: 利用 EC 风场资料设置低纬南北风指数,探讨和建立广西暴雨预报指标。采用离散格点坐标方法,对 1970—2009 年 1115 次锋面过程分析,整理出全区性暴雨事件发生时对应的南风指数和北风指数、全区性暴雨事件不发生时对应的南风指数和北风指数,由此计算得到全区性暴雨事件发生的概率(等值线)随南风指数和北风指数的分布,再通过经验订正,归纳出广西全区性暴雨开始时间、暴雨落区、暴雨强度预报指标。经过对 1970—2009 年 440 次锋面暴雨过程检验,符合暴雨开始时间指标的过程比例为 74.5%,符合暴雨落区指标的过程比例为 75.9%,符合暴雨强度指标的过程比例为 67%,均处于合理的范围,可以应用到暴雨预报业务中。

关键词: 低纬南北风指数,暴雨,预报,应用

Application of Low Latitude South and North Wind Indices to Prediction of Rainstorm in Guangxi

CHEN Jian¹ LIU Couhua² GAO Anning¹ LIANG Weiliang¹

1 Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022

2 National Meteorological Centre, Beijing 100081

Abstract: An experiential index for prediction of regional rainstorm in Guangxi has been found, by analyzing EC wind data and defining the south and north wind indices of low latitudes. The wind indices in the cases that regional rainstorms occur or not are collected based on 1115 front cases during 1970—2009. The distribution of probability of regional rainstorm versus the wind indices is calculated, while the wind indices are combined with experiential corrections. As a result of examining 440 front-rainstorm cases from 1970 to 2009, the proportion of the experiential index corresponding to the time of rainstorm happening is 74.5%, the corresponding to the position of rainstorm is 75.9%, and the corresponding to the intensity of rainstorm is 67%. These facts manifest that the experiential index is reasonable and available in actual predictions.

Key words: low latitude south and north wind indices, rainstorm, prediction, application

引 言

近年来,利用经向风指数(或南风分量)研究、预测季风雨带和旱涝位置变化,取得不少研究成果。例如,王亚非等^[1]利用区域 20°~30°N、110°~140°E

及区域 30°~40°N、110°~140°E 的 850 hPa 南风分量之差,定义了一个反映梅雨现象的东亚夏季风指数,对长江中下游梅雨预报预测提供了分析和参考依据;姚才等^[2]利用历年观测资料研究了 6 月同期东亚—西北太平洋环流与华南降水的关系,根据区域 20°~26°N、105°~117°E 850 hPa 南风分量,定义

^{*} 广西自然科学基金项目(2010GXNSFA013012)和中国气象局新技术推广项目(CMATG2010Y16)共同资助
2011 年 11 月 22 日收稿; 2012 年 3 月 15 日收修定稿
第一作者: 陈见,主要从事天气预报和预报技术研究, E-mail: cjxxt001@163.com

了一个包含了西南季风、副热带高压以及中高纬度西风槽等各影响系统信息的华南夏季风指数,表明季风指数强(弱)的年代与华南降水偏多(少)的年代有很好的对应关系;李向红等^[3]利用 1980—2001 年 NCEP 和 TBB 资料,采用逐例与合成分析相结合的方法,分析了夏季风影响期间广西大范围暴雨发生前各层天气系统和孟加拉湾强对流云团的配置演变,发现暴雨前孟加拉湾强对流发展和经向风加强等特征,建立了广西季风暴雨中期预报平台;尹东屏等^[4]利用平均场方法,研究暴雨时梅雨锋结构,发现经向锋生函数的正值区呈直柱状,与南风等风速线的密集区相重叠,纬向分布的锋生函数指示了暴雨区的范围;林爱兰等^[5-6]利用经向风指数分析了 1958—2000 年南海对流层经向风转向(从北风转为南风)的早晚与华南春夏季逐月平均降水量时空分布特征,研究了广东省开汛迟早、华南前汛期锋面降水的多寡与南海夏季风爆发异常之间的联系,得到南海低层转南风有利于气流在华南地区辐合、形成降水的若干事实。以上成果表明,经向风指数在阶段性降水分析和预测方法上,有显著的应用价值。而气候学上阶段性降水是多个短期过程累加起来的,因此,从短期天气预报(1~3 d)角度考虑,探讨利用经向风指数,预报短期暴雨过程开始时间、暴雨落区和暴雨强度是可行的,对提高短期暴雨预报准确率是有益的。基于这一思路,笔者在总结二十多年预报经验的基础上,根据华南锋面活动特点,设置广西暴雨预报关键区南北风指数,利用 1970 年以来的 EC 850 hPa 风场资料和广西降水资料,建立南北风指数计算系统,该系统在每日自动处理 08 和 20 时 EC 资料后,分别形成一个折线图和一个平面分布图,其中南北风指数折线图用于预报暴雨过程开始时间,南北风指数平面分布图用于预报暴雨落区和强度,在广西暴雨过程开始时间、暴雨落区、暴雨强度的预报中,取得较好的预报效果,对提高广西暴雨预报准确率有重要的参考价值,并已应用到日常预报业务中。

1 资料、方法和系统环境

1.1 资料

(1) 暴雨资料取自广西气象台雨量数据库,从 1970—2009 年,时间长度共 40 年。

(2) 数值预报产品资料为 EC 850 hPa 1970—2009 年 v 分量实况和预报资料,空间分辨率 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$,时间分辨率为 12 h(08 和 20 h),时间长度共 40 年。

1.2 计算方法

所用方法包括统计分析、合成分析、离散格点坐标分析等。

1.3 系统环境

研究目的是用于日常天气预报业务,重点是暴雨预报,因此从方便计算、推广、检验、运行稳定原则出发,研制、建立了“南北风指数计算系统”。

系统环境和设置:

(1) 硬件环境:联想电脑,Intel P4 1.7G,40G 硬盘,125M 内存,21" 显示器,设置显示分辨率为 1280×1024 。

(2) 软件环境:Windows2000 系统,VisualBasic 6.0 高级编程语言。

(3) 具备 ECMWF 数值预报产品资料,内容包括:气压、位势高度、气温、风及湿度等。通过相应的计算增加 u 、 v 分量等产品。

层次:1000、850、700、500 和 200 hPa。

时效:0、24、48、72、96、120、144、168、192、216 和 240 h。

范围: $0^{\circ} \sim 75^{\circ}N$ 、 $50^{\circ} \sim 140^{\circ}E$ 。

分辨率: $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。

(4) 系统研制:系统主要是由资料路径设置,欧洲中心资料处理,计算 u 和 v 分量等模块组成。根据人机交互工作平台,计算关键区南北风指数,输出图像主要有一个折线图和—个平面分布图。

2 南北风指数计算方法

广西地处华南西部,是我国多暴雨省区之一,一年四季均有暴雨发生,其中汛期暴雨发生次数明显多于非汛期。尽管目前针对华南暴雨的研究取得很多成果和进展^[7-20],但是由于华南暴雨发生机理复杂,预报难度大,并且有效预报方法、预报工具缺少,预报准确率仍偏低。华南暴雨预报难点在于,降水机理与中高纬的江淮地区有明显差别,准地转理论基本上不适用,预报业务中的难点,主要体现在夏季气象要素分布接近均匀,风、压、温、湿等气象要素的

水平梯度比温带地区小得多,常出现均压区,除热带气旋外,气压场和天气区分布的关系不明显,常常造成一些暴雨过程漏报或降雨量预报偏小。因此,在理论不能解决实际问题的情况下,总结经验归纳预报方法和工具,对提高暴雨预报准确率尤为重要。近年来数值预报能力显著提高,形势预报时效延长,在做低纬地区天气分析时,依靠低空风场(流线和等风速线)的变化更容易确定中小尺度天气系统,这正是暴雨预报的关键,因此设置暴雨预报关键区,量化分析低涡、切变线活动正是在这一思路下形成的。

2.1 关键区的选取

关键区的选取基于冷、暖空气活动路径。为此选取 $20^{\circ}\sim 27.5^{\circ}\text{N}$ 、 $105^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$ 范围为广西暴雨预报关键区(图 1),网格距 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$,分北风区、南风区两部分。北风区为 27.5°N 、 $105^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$ 的 3 个格点,西路、中路和东路冷空气影响时,出现正变压、负变温,统计为一次冷空气活动过程。南风区为 $20^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$ 、 $105^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$ 的 9 个格点,当偏南风活跃,尤其出现季风急流时, v 分量迅速增大,为降水提供不稳定能量和水汽条件。

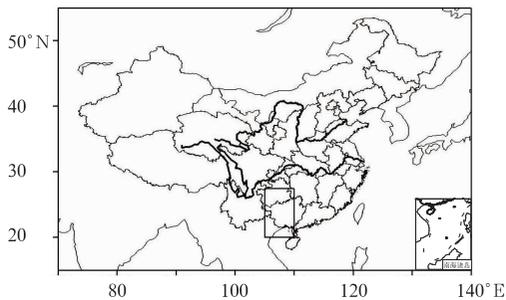


图 1 广西暴雨关键区($20^{\circ}\sim 27.5^{\circ}\text{N}$ 、 $105^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$)示意图

Fig. 1 The key region (as shown by the box) of prediction of rainstorm in Guangxi, ($20^{\circ}\sim 27.5^{\circ}\text{N}$, $105^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$)

2.2 南北风指数计算方法

在 27.5°N 、 $105^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$ 范围,对 850 hPa 所有格点的 v 分量求和,定义为北风指数(I_N)。

$$I_N = \sum_{i=1}^n v(i) \quad n = 3 \quad (1)$$

其中 $v(i)$ 是经向风分量, n 是格点数。

在 $20^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$ 、 $105^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$ 范围,对 850 hPa

所有格点的 v 分量求总和,定义为南风指数(I_{sw})。

$$I_{sw} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n v(i, j) \quad n = 3 \quad (2)$$

其中 $v(i, j)$ 是经向风分量, n 是区域格点数。

当南风加强甚至出现急流时,与冷空气在关键区内交汇,便出现降水天气过程,根据南北风分量的大小,可以判断出有无日暴雨 10 站以上的暴雨过程。

3 预报指标的确定

天气预报中,预报指标的设定主要基于天气出现概率的分布和预报员的分析经验、习惯等,本文中,概率分布通过以下方式计算:

(1) 采用南风指数和北风指数构建一个 101×81 的离散格点坐标(图 2),采用式(3)计算每个离散格点下,南风指数和北风指数对应的暴雨事件发生的概率

$$p_{I_{sw}, I_N} = \frac{N_+}{N_+ + N_0} \quad (3)$$

式中 N_+ 和 N_0 是落在圆形区域: $\{R(x, y), (x - I_{sw})^2 + (y - I_N)^2 \leq d^2\}$ 的锋面过程发生暴雨事件次数和不发生暴雨事件次数。如果 N_+ 和 N_0 都为 0,则该格点上记为缺省值。

(2) 将经过第一步计算之后缺省的网格用插值的方法获得取值,再对整个格点场进行平滑,图中实线为概率相同点连线,每隔 0.1(即 10%)画一根。另外,南风指数和北风指数都相同的多次过程中,暴雨事件发生与否的记录(+或 o)可能叠加显示在同一个位置。

将广西日暴雨达到或超过 10 个站点称为一次全区性暴雨事件。根据 1970—2009 年 1115 次锋面活动过程中,全区性暴雨事件发生时对应的南风指数和北风指数、全区性暴雨事件不发生时对应的南风指数和北风指数,计算得到全区性暴雨事件发生的概率(等值线)随南风指数和北风指数的分布。

图 2 中显示了在 1970—2009 年 40 年间(1—12 月),广西受锋面过程影响,出现了 440 次(天)全区性暴雨事件(+),675 次(天)无全区性暴雨事件(o),因此得出全年锋面活动发生全区性锋面暴雨事件的过程比例为 39.5%。

图 2 还显示了锋面活动有、无全区性暴雨事件发生时南、北风指数概率分布的全貌,根据等值线

0.5 覆盖区间分析,表明全区性暴雨事件发生主要集中在南风指数 I_{sw} 在 $30 \sim 75 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、北风指数 I_N 在 $-40 \sim 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 区间。有两个大值中心,分别位于 $(I_N, I_{sw}) = (9, 58), (-25, 50)$ 附近,两个中心之间的区域,暴雨事件落点密集。等值线 0.5 区间以外,南风指数和北风指数或偏大或偏小,表明全区性暴雨事件不容易发生。从单个样本分析,主要为非汛期(10月至次年3月)锋面过程,说明秋冬季北风偏大,降水系统停留时间短,降水总量偏小。而南风偏大区间为后汛期的8—9月,冷空气难到达华南,缺少动力条件,不容易出现暴雨。

虽然图 2 反映年全区性暴雨事件发生的概率分

布特征,但是华南锋面暴雨事件发生主要集中在 4—7 月,因此有必要再分析和了解 4—7 月全区性暴雨事件发生的概率分布特征。

图 3 是 4—7 月全区性暴雨事件发生概率随南风指数和北风指数的分布。发生暴雨事件次数总共为 359 次,不发生暴雨事件次数总共为 175 次。等值线 0.5 覆盖区间,全区性暴雨事件发生同样集中在南风指数 $30 \sim 75 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、北风指数 $-40 \sim 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 区间。而发生全区性锋面暴雨事件的比例上升为 67.2%,证明 4—7 月是广西全区性暴雨事件发生的集中时段。

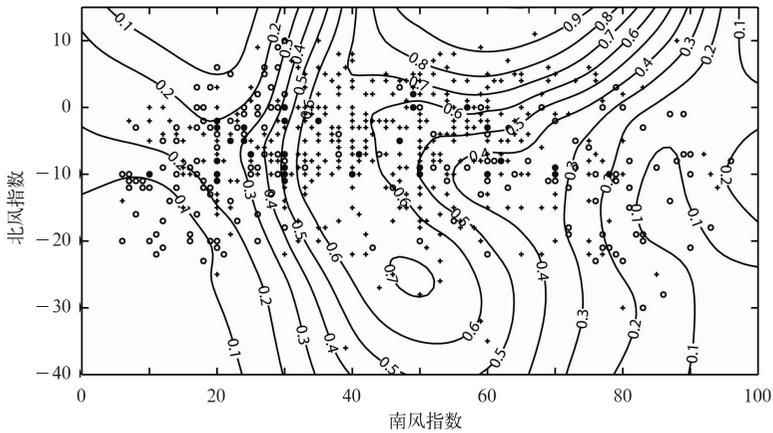


图 2 1115 次锋面活动有、无全区性暴雨事件发生对应的南风指数和北风指数(有:+,无:o)

Fig. 2 The south and north wind indices corresponding to every occurrence (+) and noccurrence (o) of regional rainstorm in 1115 front cases during 1970—2009

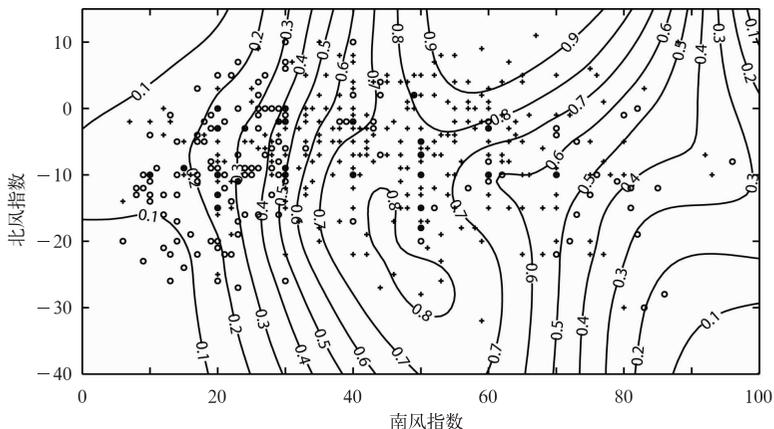


图 3 4—7 月 534 次锋面活动有、无全区性暴雨事件发生对应的南风指数和北风指数(有:+,无:o)

Fig. 3 The same as Fig. 2 but for 534 front cases during April to July, 1970—2009

因此,全区性暴雨事件发生时,基于出现概率分布特征,南风指数大于 $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,北风指数小于 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,是判断全区性暴雨发生的一个初步指标。

从预报员分析经验、习惯考虑,图 2 和图 3 反映的概率分布中,北风偏弱时,北风指数在 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的附近,暴雨事件出现次数少反而概率高,是因为多数无冷空气影响事件并未真实反映在其中(无:○),因此属于偶然性事件,代表性不强。同样,北风偏强时,北风指数 $\leq -20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 区间,暴雨事件出现次数少也反而概率高,也属于偶然性事件,代表性不强。因此进一步综合考虑了不同月份关键区 K 指数、 θ_{se} 分布,热力条件和水汽条件,不损伤样本以及考虑了预报员分析习惯等因素后,通过经验订正,确定广西全区性暴雨发生的指标为:南风指数大于 $32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,同时北风指数小于 $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

3.1 暴雨过程开始时间预报指标

暴雨预报涉及时间、空间变化,需要准确判断影响系统相遇的时间,才能减少空报、漏报。通常情况下,广西锋面暴雨发生前,暴雨预报关键区内,盛行偏南风。当冷锋过境时,850 hPa 北风指数迅速减小到 $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下,是暴雨过程开始的信号。

经统计,在 1970—2009 年 440 次锋面暴雨过程中,暴雨发生前 24 h,南风通常迅速增大形成急流,冷空气进入广西北部关键区域时,与西南急流构成切变辐合区。

按照南风指数大于 $32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,同时北风指数小于 $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的起报条件,在南北风指数折线图中,对 440 次出现日暴雨 10 站以上锋面暴雨(328 次)过程进行大样本检验,符合这一条件的过程比例为 74.5%,这一比例充分利用了样本总数,也属于一个比较合理的范围,因此,南风指数大于 $32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,同时北风指数小于 $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,作为暴雨过程开始时间的预报指标。

3.2 暴雨落区预报指标

初步确定了暴雨开始时间后,暴雨落区的判断非常关键。以往对暴雨落区的预报,通常考虑在切变线附近的急流轴左前方,主观判断成分大。通过对 440 次锋面暴雨过程南北风指数分析表明,暴雨通常出现在 v 分量 0 等值线南侧的南风急流核附近区域,南风急流核的闭合等值线为 $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 或以上,大部分情况下,暴雨出现在 $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 闭合等值

线范围内。需要指出的是,暴雨预报需要考虑冷空气的路径,根据路径对暴雨落区作适当调整,比如当冷空气路径偏东,暴雨落区需要向左侧扩大至 $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 等值线的部分范围。

利用南北风指数平面分布图,对 440 次锋面暴雨过程分析统计显示,在 v 分量南风 $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 闭合等值线内出现暴雨的过程 334 次比例为 75.9%。这一比例符合预报员的期望值,同时也属于一个比较合理的范围,因此,南风指数 $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 闭合等值线可作为暴雨落区预报指标。

3.3 暴雨强度预报指标

暴雨强度预报基于影响系统的强度及滞留时间,天气预报中往往根据高空槽的深浅、切变线、锋面的强弱来综合判断,主观性也较大。通过对南北风指数分析显示,当 v 分量南风区、北风区同时出现闭合等值线时,表明系统强度较大,容易出现大暴雨或特大暴雨。如果北风区不出现闭合等值线,则表明北风势力偏小,系统强度弱。

利用南北风指数平面分布图,对 440 次锋面暴雨过程的南北风指数统计分析显示,同时出现 v 分量南风区、北风区闭合等值线时,在南风 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 闭合等值线范围内,出现大暴雨或特大暴雨的过程(295 次)比例为 67%。其中 v 分量北风闭合等值线在 $-4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 或以下,大部分情况下, v 分量北风比南风小,因此北风闭合等值线阈值定为 $-4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,南风闭合等值线在 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 或以上。因此,同时出现 v 分量南风区、北风区闭合等值线,南风区出现 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 或以上闭合等值线,可作为暴雨强度预报指标。

4 预报应用实例

2010 年 6 月 20 日,广西出现一次超大范围暴雨过程(图 4),日暴雨 36 站(其中大暴雨 9 站),这次暴雨过程造成 138 万人受灾,因灾死亡 1 人,直接经济损失 12.9 亿元,达到特大型气象灾害等级。

经分析,这次大范围暴雨过程是在副热带高压减弱南落,高空槽东移,与南移进入广西的地面冷空气和 850 hPa 切变线相遇发生的。在这次暴雨过程中,利用基于 v 分量的南北风指数准确预报了暴雨开始时间、暴雨落区和暴雨强度,显示了较好指标意义。

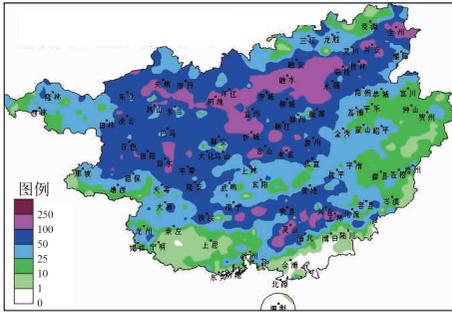


图 4 2010 年 6 月 19 日 20 时至 21 日 08 时过程雨量(单位:mm)
Fig. 4 Accumulated precipitation from 20:00 BT 19 to 08:00 BT 21 June 2010 (unit: mm)

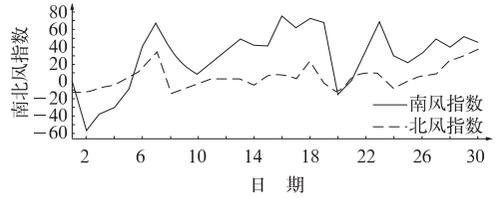


图 5 2010 年 6 月南北风指数 24 h 预报
Fig. 5 The 24 h daily prediction of the south wind index (solid) and the north wind index (dashed) during June 2010

此 6 月 19 日 20 时,是暴雨开始的时间点。此时 500 hPa 有高原槽东南移影响广西,地面冷锋南移进入广西,满足了大范围锋面暴雨发生的起报条件。实况暴雨开始时间是从 6 月 19 日 20 时开始,预报与实况吻合。

4.1 暴雨开始时间的预报

暴雨开始时间的预报,关键在南风大于 $32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的同时,北风小于 $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的时间点。图 5 显示,6 月 18 日 20 时,广西关键区南风指数为 $72 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,北风指数为 $21 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,关键区盛行偏南风,没有达到大范围锋面暴雨发生的起报指标条件。

6 月 19 日 20 时,关键区南风指数为 $69 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,北风指数为 $-1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,同时达到起报条件,因

4.2 暴雨落区的预报

暴雨落区预报的关键在分析南风闭合等值线变化范围。在这次暴雨过程中,冷空气自湖南和湖北进入广西,影响该地区,因此分析暴雨落区时,应该考虑向左侧扩大一些。图 6 是 6 月 19—20 日 08 和 20 时 v 分量分布图,图中 $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的南风闭合等值线持续 3 个时次,南风急流核从广西北部向东南方

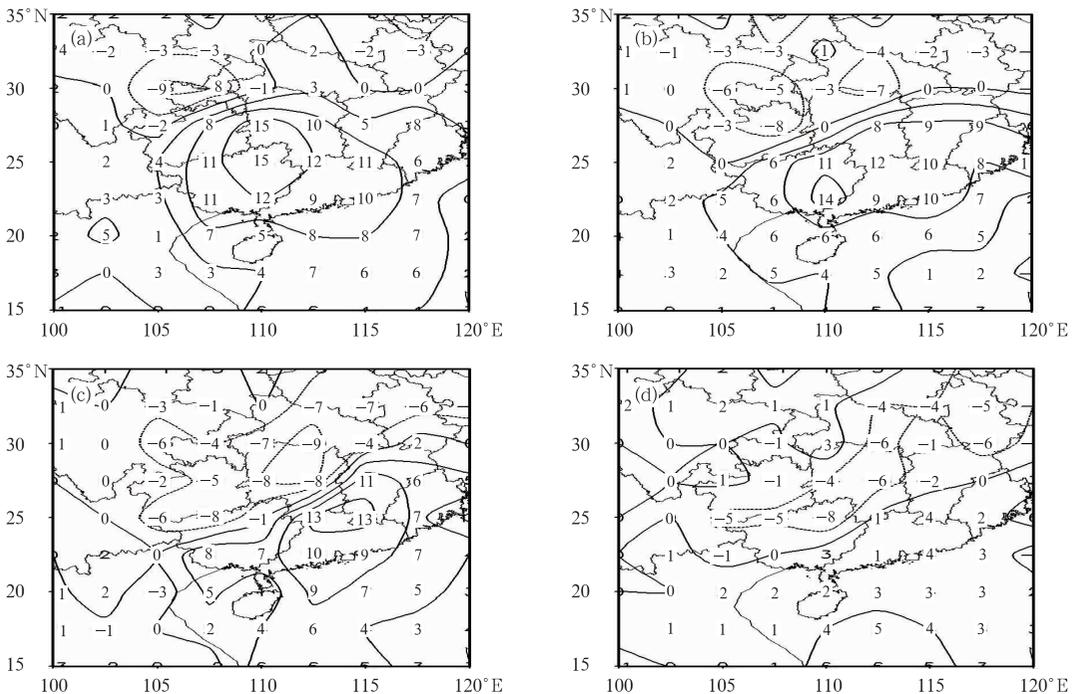


图 6 2010 年 6 月 19 日 08 时至 20 日 20 时间隔 12 h 的 v 分量预报值
Fig. 6 The prediction of v component of wind at intervals of 12 h during 08:00 BT 19 to 20:00 BT 20 (a-d) June 2010

向移动并减弱,最强时段出现在 19 日 20 时至 20 日 08 时,这也是暴雨发生的集中时段。北风 $-4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 闭合等值线持续 4 个时次,最强时段也出现在 19 日 20 时至 20 日 08 时。因此暴雨落区在南风 $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 闭合等值线向西扩大到 $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 等值线的范围内,实况暴雨落区与预报基本吻合。

4.3 暴雨强度的预报

暴雨强度预报的关键在分析 v 分量南风区、北风区是否同时出现强闭合中心。图 6 中,前 3 个时次都同时出现南风区、北风区闭合中心,表明前 3 个时次系统强度大。6 月 19 日 08 和 20 时,南风区域 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 闭合等值线内,最大值达到 $16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。6 月 20 日 08 时, v 分量北风区最大值达到 $-15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,表明从 19 日 20 时至 20 日 08 时,对流发展旺盛,有利于强降水的发生,达到大暴雨或特大暴雨降水量级。实况是出现 9 站 100 mm 以上的大暴雨。20 日 20 时后,广西境内南风闭合中心(急流核)消失,北风控制,强降雨结束。

5 结 论

采用离散格点坐标方法,计算基于南北风指数对应全区性暴雨事件的概率分布,通过经验订正,结合南北风指数平面分布图,归纳出广西暴雨过程开始时间、暴雨落区和暴雨强度预报指标。

(1) 暴雨过程开始时间的预报,当南风指数大于 $32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,同时北风指数小于 $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,达到起报条件,利用 EC 08 和 20 时 850 hPa 风场预报资料,计算 24~240 h 的南北风指数,可提前作出对应时次的预报。

(2) 暴雨落区预报,根据 EC 08 和 20 时 850 hPa 风场预报资料,计算出 v 分量南风闭合等值线,暴雨主要出现在 $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 闭合等值线区域。

(3) 暴雨强度预报,根据 v 分量南风区、北风区是否同时出现强闭合中心,在南风区是否有 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 闭合等值线,判断暴雨的强度。

参考文献

[1] 王亚非,张雁,陈菊英. 一个能反映梅雨现象的东亚夏季风指

数[J]. 气候与环境研究,2001,6(2):146-152.

- [2] 姚才,钱维宏,林振敏,等. 华南季风降水对应的环流指数[J]. 应用气象学报,2011,22(3):302-311.
- [3] 李向红,蒋雨娟,薛荣康,等. 广西季风暴雨中期预报平台研制思路与应用[J]. 气象,2006,32(5):110-115.
- [4] 尹东屏,张备,孙燕,等. 2003 年和 2006 年梅汛期暴雨的梅雨锋特征分析[J]. 气象,2010,36(6):1-6.
- [5] 林爱兰,李春晖,郑彬,等. 南海夏季风爆发与华南前汛期锋面降水气候平均的联系[J]. 中山大学学报(自然科学版),2010,49(4):134-138.
- [6] 林爱兰,谷德军,李春晖,等. 南海夏季风爆发与华南前汛期锋面降水异常变化的联系[J]. 中山大学学报(自然科学版),2010,49(5):128-132.
- [7] 林良勋,吴乃庚,黄忠,等. 广东 2008 年罕见龙舟水特点及成因诊断分析[J]. 气象,2009,35(4):43-50.
- [8] 包澄澜,王两铭,李真光. 华南前汛期暴雨的研究[J]. 气象,1979,5(10):6-10.
- [9] 吴志伟,江志红,何金海. 近 50 年华南前汛期降水、江淮梅雨和华北雨季旱涝特征对比分析[J]. 大气科学,2006,30(3):391-401.
- [10] 陈见,钱俊,高安宁,等. 广西暴雨卫星云图与热带流场变化综合预报方法[J]. 气象科技,2006,34(2):138-142.
- [11] 杨贵名,毛冬艳,姚秀萍. 梅雨期一次黄淮气旋发展的干侵入特征分析[J]. 热带气象学报,2006,22(2):176-183.
- [12] 陈见,钱俊,黄明策. 广西暴雨过程的 V-3 θ 结构特征检验及预报应用[J]. 气象科学,2006,26(3):334-340.
- [13] 高安宁,陈见,李生艳,等. 两次西南低涡造成广西暴雨差异的对比分析[J]. 气象科学,2009,29(4):557-563.
- [14] 黄忠,吴乃庚,冯业荣,等. 2007 年 6 月粤东持续性暴雨的成因分析[J]. 气象,2008,34(4):53-60.
- [15] 郑彬,梁建茵,林爱兰,等. 华南前汛期的锋面降水和夏季风降水划分日期的确定[J]. 大气科学,2006,30(6):1207-1216.
- [16] 伍红雨,杜尧东,秦鹏. 华南暴雨的气候特征及变化[J]. 气象,2011,34(10):1262-1269.
- [17] 伍志方,曾沁,吴乃庚,等. 广州“5.7”高空槽后和“5.14”槽前大暴雨过程对比分析[J]. 气象,2011,37(7):838-846.
- [18] 黄明策. 广西暴雨时空分布特征[J]. 广西气象,2006,27(3):9-13.
- [19] 吴兴国. 广西汛期暴雨若干特征分析[J]. 广西气象,2001,22(3):9-12.
- [20] 吴兴国. 广西非汛期暴雨事件的特征分析[J]. 广西气象,2001,22(2):7-9.