

文章编号: 2096-1618(2019)02-0186-08

# 基于 L 波段秒级探空数据 $V-3\theta$ 图形的 四川盆地暴雨预报模型研究

青 泉<sup>1</sup>, 罗 辉<sup>1</sup>, 陈刚毅<sup>2</sup>

(1. 四川省气象台高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室, 四川 成都 610072; 2. 成都信息工程大学, 四川 成都 610225)

**摘要:**针对暴雨天气的短期预报难度大的问题,绘制了基于 L 波段秒级探空的  $V-3\theta$  图形,应用结构滚流法分析了四川盆地 24 次大范围的暴雨天气过程,结果表明:暴雨过程前,一般具有低层偏南风、中层西南风、高层偏北风的整层顺滚流特征,湿位温  $\theta_{\text{sed}}$  和饱和位温  $\theta^*$  相差较小,在中高层 200 ~ 400 hPa 有偏北风和西南风的辐合层,在 100 ~ 300 hPa 有超低温,  $\theta_{\text{sed}}$  和  $\theta^*$  线与  $T$  轴近乎垂直或左倾,大气处于不稳定状态,建立的暴雨短期预报模型效果较好。

**关键词:**气象学;短期天气预报;L 波段秒级探空; $V-3\theta$  图形;暴雨预报模型

**中图分类号:**P457.6

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcuit.2019.02.013

## 0 引言

欧阳首承<sup>[1-3]</sup>提出了非规则结构信息分析方法,  $V-3\theta$  图是尽可能地利用现有资料的真实信息设计的分析工具,其核心问题是垂直方向的信息差异构成的涡旋运动。 $V-3\theta$  图的  $V$  为风向、风速,并填画在  $\theta^*$  线上。 $3\theta$  则分别是  $\theta$ 、 $\theta_{\text{sed}}$ 、 $\theta^*$  ( $\theta$  为位温,  $\theta_{\text{sed}}$  是湿位温,  $\theta^*$  是饱和位温)。对于  $V-3\theta$  图形预报暴雨天气,已有大量专家学者进行了研究,陈祯烈等<sup>[4]</sup>指出构成暴雨、大暴雨天气,其水汽层较深厚,整体顺滚流,对流层顶附近有浅薄式超低温。蒋丽娟等<sup>[5]</sup>指出造成暴雨的暖湿气流至少在 500 hPa 的高度,特大暴雨时要达到 400 hPa 以上,降水量的等级参照预测地区东侧反气旋流场的高度。杜远林等<sup>[6]</sup>用结构滚流法分析了副热带高压维持、进退和发展的机理,有利于暴雨预报落区的判断。钱俊等<sup>[7]</sup>指出  $\theta_{\text{sed}}$  和  $\theta^*$  线与  $T$  轴夹角大于  $80^\circ$  为大雨预报的必要但非充分条件,  $\theta^* - \theta_{\text{sed}} \leq 10 \text{ K}$  可以作为大雨预报的一个重要条件,超低温不是大雨以上强降水的主要条件。肖天贵等<sup>[8]</sup>运用溃变观点研究了天气系统的转折性变化问题。鲍玉章等<sup>[9]</sup>指出不稳定能量在  $V-3\theta$  图上表现为  $\theta^*$  线向左倾斜,多层折拐。陆雅君等<sup>[10]</sup>用相空间配合  $V-3\theta$  图对城市暴雨细化预测进行尝试。张洪卫等<sup>[11]</sup>指出溃变图在预报暴雨的开始时间和结束时间上优于天气图。

以前在  $V-3\theta$  图中使用的是常规探空资料,只有特性层和非特性层数据,随着探空站的升级 L 波段秒级探空,可以获得 L 波段探测秒数据,数据量大量增加,本文基于 L 波段秒级探空秒数据建立的  $V-3\theta$  图形,分析四川盆地暴雨天气并建立预报模型,为暴雨短期预报提供新的方法。

## 1 L 波段秒级探空和常规探空数据资料的差异性分析

L 波段秒级探空资料数据量大,每秒就有压温湿风的数据,对大气垂直方向上的层结刻画得更细致。图 1(a)、(b)是温江探空站 2014 年 7 月 7 日 20 时  $V-3\theta$  图形,比较两图,925 hPa 附近, L 波段秒级探空资料显示湿位温的左折以及饱和位温的右折,常规探空没有表现出这个特点,另外, L 波段秒级探空资料反映出位温曲线的多个超低温现象。图 1(c)、(d)是温江探空站 2014 年 7 月 9 日 08 时  $V-3\theta$  图形,通过对比, L 波段秒级探空资料显示,湿位温和饱和位温从低层到高层均呈现波动的状态,比常规探空资料有更好的连续性,因此, L 波段秒级探空更能反映大气的实际变化情况。

## 2 基于 $V-3\theta$ 图的盆地西部暴雨预报模型

由于探空站较少,以温江本站出现暴雨(或大暴雨)为标准,统计了盆地西部的区域性暴雨个例 12

个,为了研究短期暴雨模型,选取暴雨过程前12 h的V-3θ图作为研究对象,图2是以温江为代表点的基于L波段秒级探空数据的V-3θ图形和对应的全省雨量图,其中(a)~(i)表示V-3θ图,如14070808表示2014

年7月8日08时(下同),图(A)~(L)表示四川地区24 h雨量图,如14070820~0920表示2014年7月8日20时至9日20时24 h雨量(下同)。

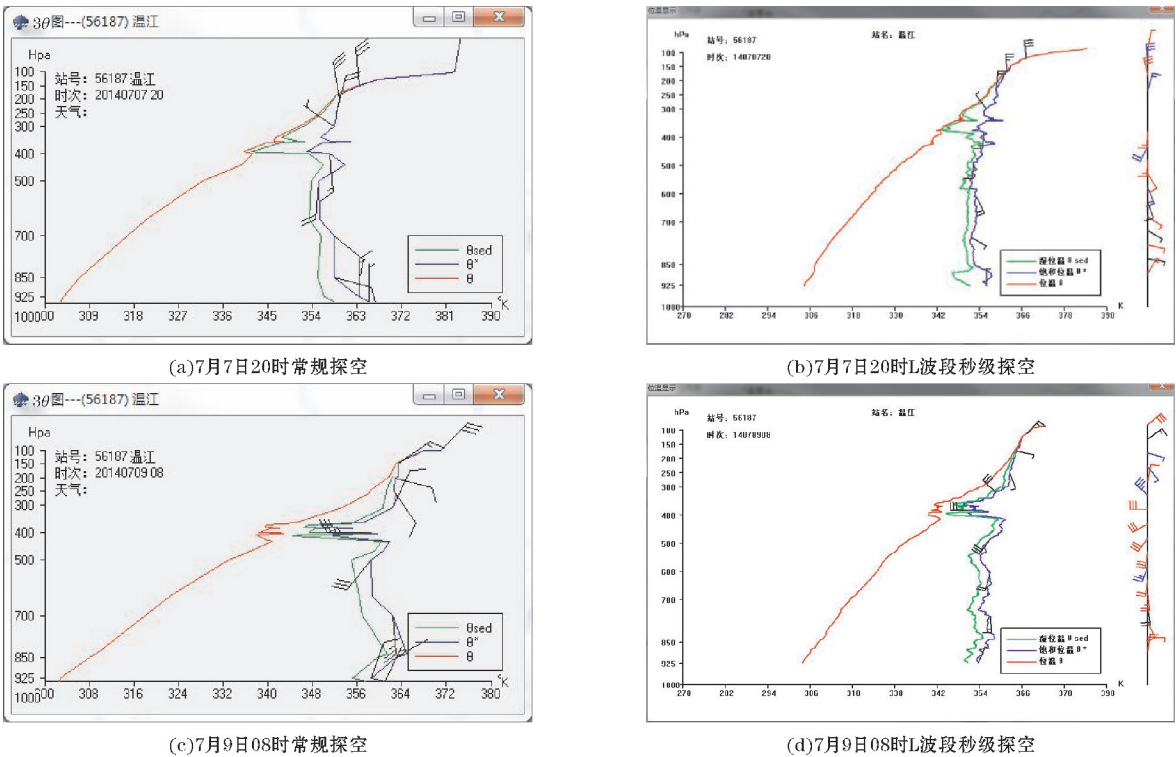


图1 常规探空和L波段秒级探空数据的V-3θ图形比较

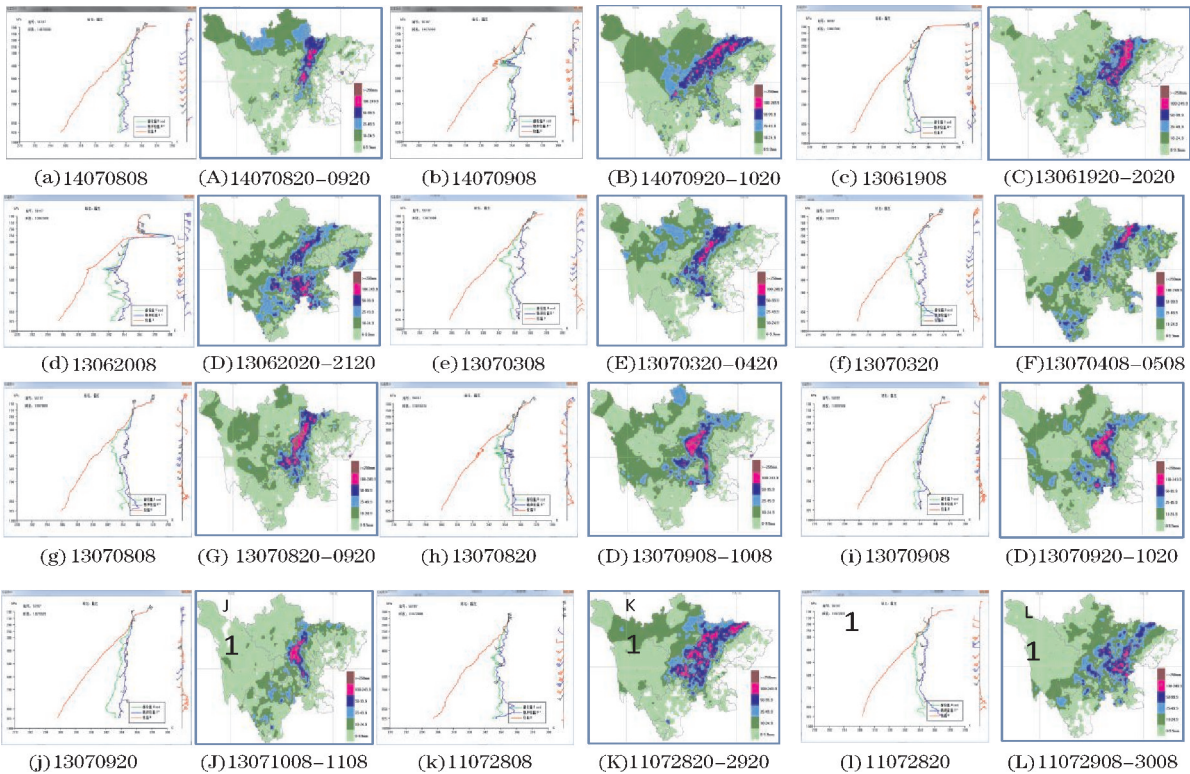


图2 温江V-3θ图形和四川地区24 h雨量图

2.1 滚流特征

暴雨过程前,一般具有低层东南风、中层南风或西南风、高层西北风或东北风的整层顺滚流特征。低层到高层,风随高度顺转,暖平流明显,如果低层南风较强,有利于水汽和能量的输送,高层北风较强,有利于冷平流和高空辐散的增强。如果下游地区(重庆、达州)中高层出现逆滚流,低值系统被东部高压阻挡在盆地西部,则具有持续性暴雨的特点。中低层(700~850 hPa)风弱,在6 m/s以下,有局部性暴雨,中低层(700~850 hPa)风速大,在6 m/s以上,最大12 m/s以上,有区域性暴雨。

2.2 水汽条件

暴雨的发生和水汽条件密切相关,V-3θ图上湿位温 $\theta_{sed}$ 和饱和位温 $\theta^*$ 相差越小,表明水汽越充沛,08时相差在5 K以内,20时相差在10 K以内,表示湿度条件好,易出现对流云。分析水汽条件应注意分析水汽源(孟加拉湾、南海)、水汽通道和水汽输送强度。

2.3 辐合层高度

在高层有东北风(北风)和西南风的辐合层,辐合层高度一般在500~300 hPa,辐合层高度越高暴雨强

度越大。

2.4 超低温

$\theta$ 线在100~300 hPa有拐角,表明有超低温,对流将加强,具有暖区暴雨特征。400~500 hPa有拐角,表明有冷层云或暖层云,暴雨量级加大一个量级。

2.5 非均匀结构

850 hPa以上的 $\theta_{sed}$ 和 $\theta^*$ 线与T轴近乎垂直或左倾,表明大气非均匀结构,处于不稳定状态。 $\theta_{sed}$ 和 $\theta^*$ 线在850 hPa以下不具有这个特点,主要是受地面气温的影响较大。如果出现冷层云或暖层云,暴雨量级将加大。

3 基于 V-3θ 图的盆地东部暴雨预报模型

以达州本站出现暴雨(或大暴雨)为标准,统计了盆地东部的大范围暴雨个例6个,选取了暴雨过程前12 h的V-3θ图作为研究对象,图3是以达州为代表点的基于L波段秒级探空数据的V-3θ图形和对应的全省雨量图,图3(a)~(f)表示V-3θ图,图3(A)~(F)表示四川地区24 h雨量图。

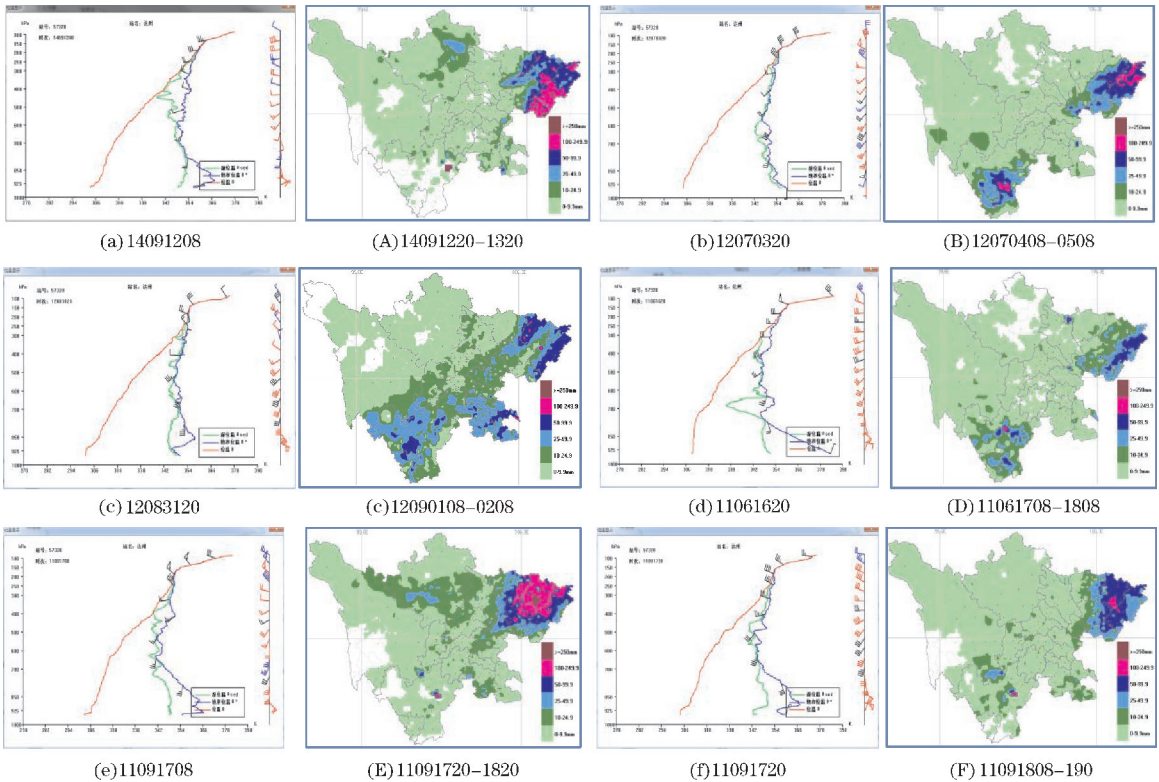


图3 达州 V-3θ 图形和四川地区 24 小时雨量图



3.1 滚流特征

暴雨过程前,一般具有低层东南风、中层南风或西南风、高层西北风或北风的整层顺滚流特征。低层到高层,风随高度顺转,暖平流特征明显,如果低层南风较强,有利于水汽和能量的输送,高层北风较强,有利于冷平流和高空辐散的增强。中低层(700~850 hPa)风速8 m/s以下,有局部性暴雨,中低层风速强,达到低空急流12 m/s以上,有大范围暴雨。

3.2 水汽条件

达州发生暴雨前,V-3θ图上湿位温 $\theta_{\text{sed}}$ 和饱和位温 $\theta^*$ 相差在5 K以内,20时相差在10 K以内,表示湿度条件好,易出现对流云。另外达州暴雨出现前,低层到中层偏南风风速较大,850~500 hPa西南风最大风速可达12 m/s以上,有利于水汽的输送。

3.3 辐合层高度

在400~300 hPa层一般有西北风和西南风的辐合层,如果辐合层高度300 hPa以上,预报暴雨的量级将增加。

3.4 超低温

达州 V-3θ 图上  $\theta$  线在 100~300 hPa 有拐角,表明有超低温,对流将加强,具有暖区暴雨特征。

3.5 非均匀结构

850 hPa 以上的  $\theta_{\text{sed}}$  和  $\theta^*$  线与  $T$  轴近乎垂直或低层左倾转变到中层垂直,表明大气非均匀结构,处于不稳定状态。

4 基于 V-3θ 图的盆地南部暴雨预报模型

以宜宾本站出现暴雨(或大暴雨)为标准,统计了盆地南部的大范围暴雨个例6个,选取了暴雨过程前12 h的 V-3θ 图作为研究对象,图4是以宜宾为代表点的基于 L 波段秒级探空数据的 V-3θ 图形和对应的全省雨量图,其中(a)~(f)表示 V-3θ 图,(A)~(F)表示四川地区24 h雨量图。

4.1 滚流特征

暴雨过程前,宜宾 V-3θ 图形中滚流特征表现为顺滚流和逆滚流相间的特征,一般情况是低层为偏南风、高层为北风或东北风,多数个例整层表现为顺滚流,但图4(C)个例为逆滚流。

4.2 水汽条件

宜宾暴雨发生前,有3个个例(图4a、c、d) V-3θ 图上湿位温 $\theta_{\text{sed}}$ 和饱和位温 $\theta^*$ 相差较大,表明水汽条件

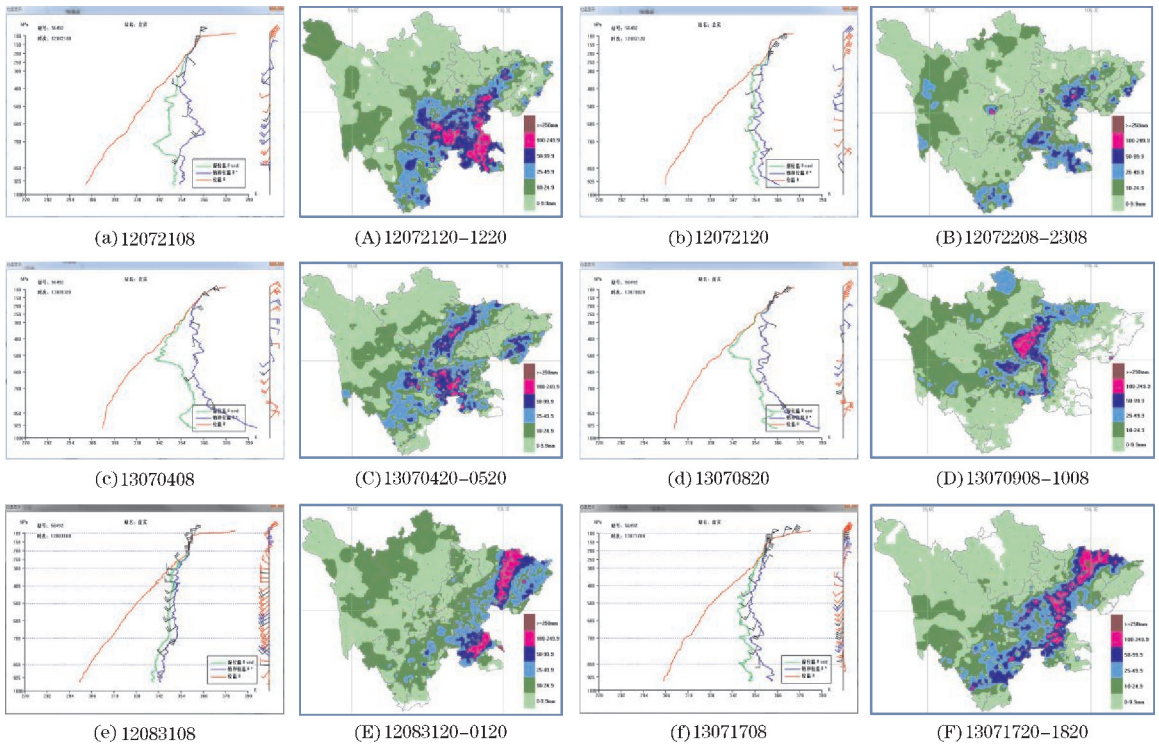


图4 宜宾 V-3θ 图形和四川地区 24 h 雨量图

差,但是,这3个个例经过12 h演变后,湿度条件变好;另外3个个例(图4b、e、f)  $V$ - $3\theta$ 图上湿位温 $\theta_{\text{sed}}$ 和饱和位温 $\theta^*$ 相差较小,表示湿度条件好,易出现对流云。

4.3 辐合层高度

在400 hPa附近有西北风和西南风的辐合层。

4.4 超低温

$\theta$ 线在100~200 hPa有拐角,表明有超低温,对流将加强,具有暖区暴雨特征。

4.5 非均匀结构

850 hPa以上的 $\theta_{\text{sed}}$ 和 $\theta^*$ 线与 $T$ 轴近乎垂直或低层左倾转变到中高层垂直,表明大气非均匀结构,处于

不稳定状态。

5 基于  $V$ - $3\theta$  图的盆地西部、东部、南部暴雨预报模型比较

表1给出了盆地西部、东部、南部暴雨预报非规则特征,可以看出,盆地西部和东部的非规则特征较为一致,仅在辐合层高度有微小差别,暴雨过程前盆地东部中低层风速比西部大;和盆地西部、南部相比,盆地南部的非规则特征有较大差异,主要表现在滚流特征和水汽条件,盆地南部出现暴雨前,不一定表现为整层顺滚流特征,水汽条件较差,但在12 h内有快速增湿的过程。

表1 盆地西部、东部、南部暴雨预报非规则特征

非规则特征	西部	东部	南部
滚流特征	整层顺滚流	整层顺滚流	顺滚流和逆滚流相间
水汽条件	$\theta_{\text{sed}}$ 和 $\theta^*$ 相差小	$\theta_{\text{sed}}$ 和 $\theta^*$ 相差小	$\theta_{\text{sed}}$ 和 $\theta^*$ 相差大,但具有快速增湿特点
辐合层高度	500~300 hPa	400~300 hPa	400 hPa
超低温	有超低温	有超低温	有超低温
非均匀结构	$\theta_{\text{sed}}$ 和 $\theta^*$ 线与 $T$ 轴近乎垂直或左倾	$\theta_{\text{sed}}$ 和 $\theta^*$ 线与 $T$ 轴近乎垂直或左倾	$\theta_{\text{sed}}$ 和 $\theta^*$ 线与 $T$ 轴近乎垂直或左倾

6 拟合试报结果

2011–2014年,共有24个暴雨个例,套上模型有22个,拟合率 $22/24=91.7\%$ 。

没有套上模型的两个个例分别为温江2013年7月9日20时和宜宾2013年7月4日08时,温江在500 hPa出现逆滚流,且水汽条件较差,宜宾主要是整层为逆滚流,湿位温 $\theta_{\text{sed}}$ 和饱和位温 $\theta^*$ 相差大,大气层结较干。试报结果如下。

2015–2016年共出现4场区域性暴雨过程,2015年6月23–24日、2015年8月17日、2016年7月18日、2016年7月22日。2015年6月23–24日缺资料,其余3次试报如下:

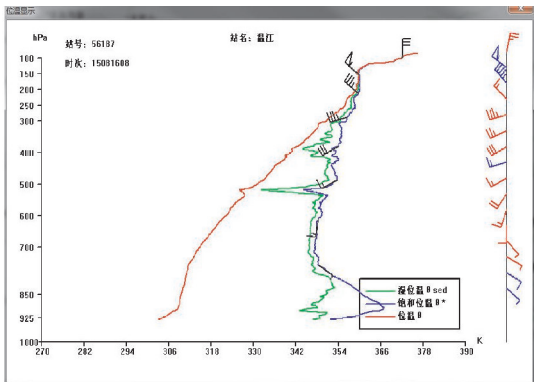
2015年8月17日暴雨分布在四川盆地中部、西部、南部,在8月16日08时温江 $V$ - $3\theta$ 图上(图5a),整体顺滚流,湿度条件好,辐合层高度250 hPa,有超低温和冷层云,有不稳定的非均匀结构,达州 $V$ - $3\theta$ 图上(图5b),整体顺滚流,中低层风弱,湿度条件差,辐合层高度400 hPa,有超低温和非均匀结构,宜宾 $V$ - $3\theta$ 图上(图5c)低层逆滚流,风弱,上干下湿,辐合层高度250 hPa,有超低温和非均匀结构,综合分析,套上盆地

西部暴雨模型。

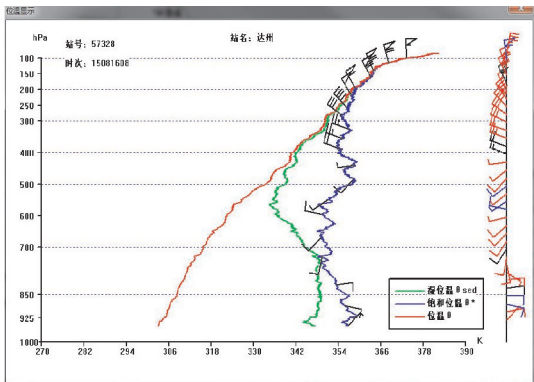
2016年7月18日暴雨较为分散,主要在四川盆地中部105°E一线,在7月17日20时温江 $V$ - $3\theta$ 图上(图6a,整体顺滚流,湿度条件一般,辐合层高度400 hPa,有超低温,有不稳定的非均匀结构,达州 $V$ - $3\theta$ 图上(图6b),整体顺滚流,中低层风弱,湿度条件差,辐合层高度500 hPa,有超低温和非均匀结构,宜宾 $V$ - $3\theta$ 图上(图6c)低层顺滚流,中层(500~400 hPa)逆滚流,高层顺滚流,上干下湿,辐合层高度400 hPa,有超低温和非均匀结构,综合分析,套上盆地南部暴雨模型。

2016年7月18日暴雨分布在四川盆地西部,在7月17日20时温江 $V$ - $3\theta$ 图上(图7a,低层逆滚流,中层顺滚流,高层逆滚流,低层风弱,湿度条件差,辐合层高度400 hPa,有超低温,有不稳定的非均匀结构,达州 $V$ - $3\theta$ 图上(图7b),整体顺滚流,湿度条件差,辐合层高度500 hPa,有超低温和非均匀结构,宜宾 $V$ - $3\theta$ 图上(图7c)中低层(500~400 hPa)逆滚流,高层顺滚流,整层较干,辐合层高度400 hPa,有超低温和非均匀结构,综合分析,没有套上暴雨模型。

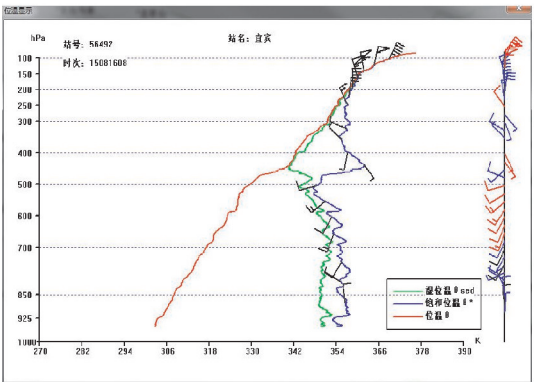
试报准确率: $2/3=66.7\%$ 。



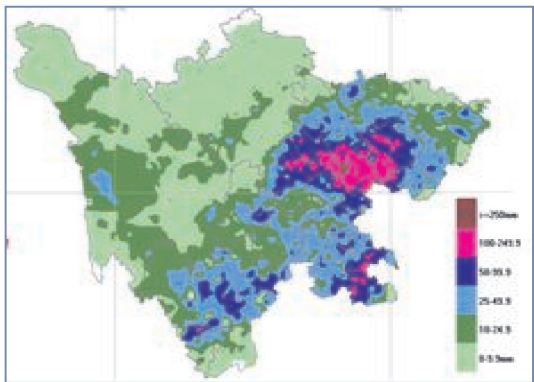
(a)温江V-30图



(b)达州V-30图

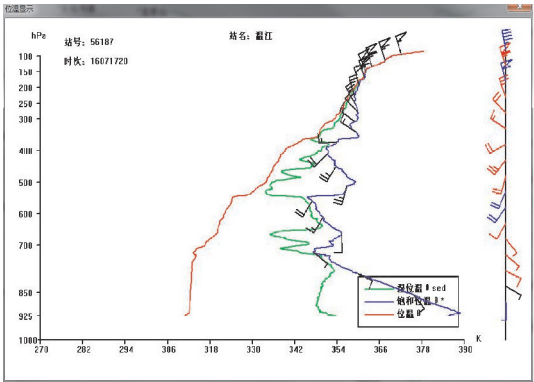


(c)宜宾V-30图

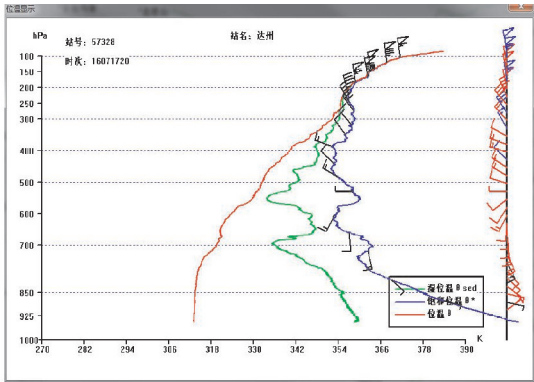


(d)2015年8月16日20时-17日20时雨量图

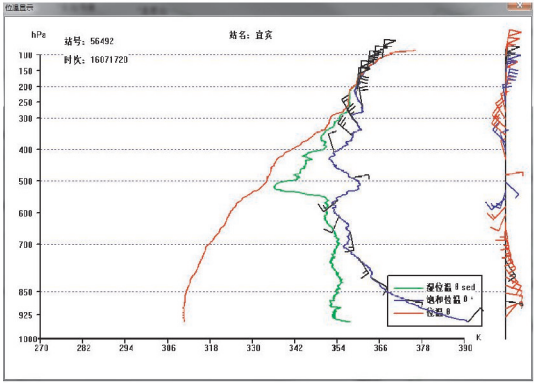
图 5 2015 年 8 月 16 日 08 时 V-30 图形和 2015 年 8 月 16 日 20 时-17 日 20 时雨量图



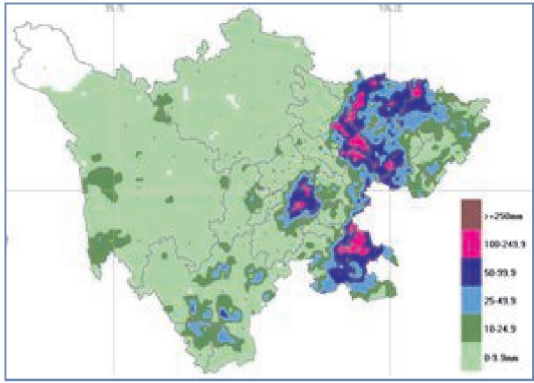
(a)温江V-30图



(b)达州V-30图



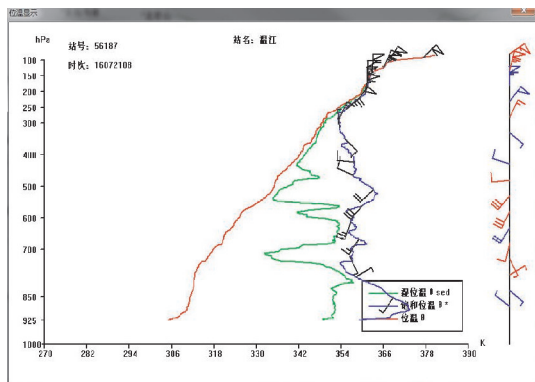
(c)宜宾V-30图



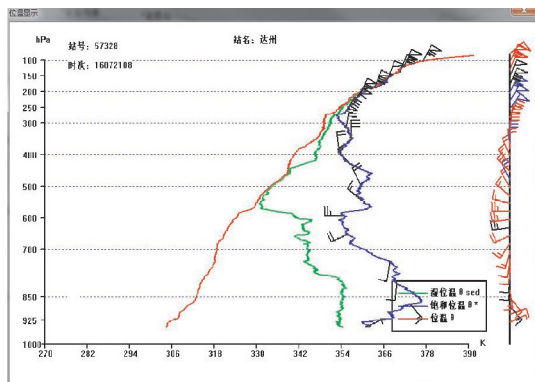
(d)2016年7月21日08时-19日08时雨量图

图 6 2016 年 7 月 20 日 20 时 V-30 图形和 2016 年 7 月 21 日 08 时-19 日 08 时雨量图

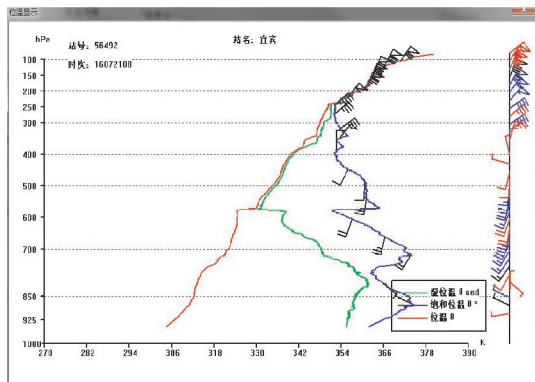




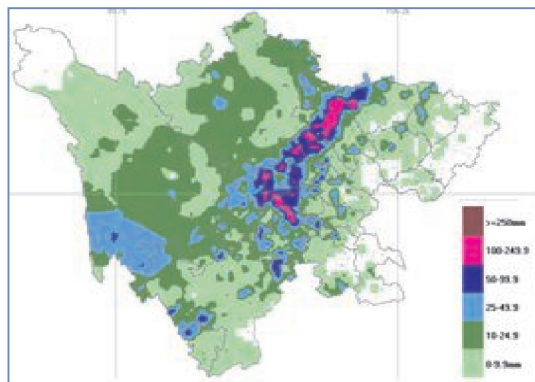
(a)温江V-3θ图



(b)达州V-3θ图



(c)宜宾V-3θ图



(d)2016年7月21日20时-19日20时雨量图

图7 2016年7月21日08时V-3θ图形和2016年7月21日20时-22日20时雨量图

## 7 结论

(1)暴雨过程前,一般具有低层偏南风、中层西南风、高层偏北风的整层顺滚流特征。温江、达州整层顺滚流特征明显,宜宾表现为顺滚流和逆滚流相间的特征,中低层(700~850 hPa)达州风速大,风向一致性好,宜宾风向凌乱,风速小。

(2)暴雨的发生和水汽条件密切相关,V-3θ图上湿位温 $\theta_{\text{sed}}$ 和饱和位温 $\theta^*$ 相差越小,表明水汽越充沛,08时相差在5 K以内,20时相差在10 K以内,表示湿度条件好。暴雨过程前,有时呈现上干下湿的对流性天气特点,随着影响系统的逼近和水汽的输送,湿层变得深厚。

(3)暴雨过程前,在中高层200~400 hPa有偏北风(北风)和西南风的辐合层。在100~300 hPa有超低温,具有暖区暴雨特征,300~500 hPa有冷层云或暖层云,暴雨量级将加大。

(4)850 hPa以上的 $\theta_{\text{sed}}$ 和 $\theta^*$ 线与T轴近乎垂直或左倾,表明大气非均匀结构,处于不稳定状态。

(5)建立的基于V-3θ图的暴雨短期预报模型使用效果较好。

## 参考文献:

- [1] 欧阳首承. 走进非规则[M]. 北京:气象出版社, 2002.
- [2] 欧阳首承. 天气演化与结构预测[M]. 北京:气象出版社, 1998.
- [3] 欧阳首承. 溃变图的业务操作系统简介[J]. 成都气象学院学报, 1996, 38(3): 204-210.
- [4] 陈祯烈, 周莉蓉. 成都市"7.30"区域性暴雨、大暴雨过程溃变原理分析[J]. 四川气象, 2003, 23(1): 7-11.
- [5] 蒋丽娟等. V-3θ图的结构与"98.6"暴雨过程预测分析[J]. 广西气象, 1999, 20(3): 10-12, 16.
- [6] 杜远林, 何龙, 王增武. 西太平洋副高进退的溃变预测[J]. 成都信息工程学院学报, 2005, 20(5): 598-603.
- [7] 钱俊等. 南宁市大雨以上强降水的V-3θ结构特征及预报应用[J]. 广西气象, 2004, 25(4): 1-4.
- [8] 肖天贵, 袁东升, 向卫国, 等. 流体溃变与天气系统的转折性变化[J]. 成都气象学院学报, 1999, 51(4): 313-321.
- [9] 鲍玉章, 刘冬霞. 华南后汛期暴雨的结构预测

- [J]. 成都信息工程学院学报,2005,20(2):205-212.
- [10] 陆雅君,陈刚毅,张静,等. 城市暴雨的细化预测实例分析[J]. 成都信息工程学院学报,2011,26(5):517-521.
- [11] 张洪卫,张经珍,侯淑梅,等. 用溃变理论做暴雨预报[J]. 陕西气象,2000(4):14-18.
- [12] 姜俊玲,张雪冬,魏鸣,等. V-3θ图在一次特大暴雨预报中的应用[J]. 气象科技,2012,40(4):647-650.
- [13] 陈赓烈,周丽蓉,郝丽萍. V-3θ图在区域性暴雨预报中的应用[J]. 气象,2000,29(1),20-22.
- [14] 吴娟. 溃变原理-结构分析法在强对流天气中的应用[J]. 四川气象,2001,21(4),31-32.
- [15] Ouyang SC, Wu Y, Lin Y, et al. The discontinuity problem and “chaos” of Lorenz’s model[J]. Kybernetes, 1998, 27(6/7):621-635.
- [16] Ouyang SC. The Pansystem View of Prediction and Blown-Up of Fluid[J]. AMM, 1995, 16(3):269-277.

## Forecasting Model of Torrential Rain in Sichuan Basin based on V-3θ Structural Graphs of L-Band Second Level Sounding Data

QING Quan<sup>1</sup>, LUO Hui<sup>1</sup>, CHEN Gangyi<sup>2</sup>

(1. Sichuan Provincial Meteorological Observatory/Heavy Rain and Drought-Flood Disasters in Plateau and Basin Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610072, China; 2. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** Aiming at the difficulty of short-range forecast for heavy rain, the V-3θ structural graph based on L-band second level sounding seconds data is drawn, and the structural roll method is used to analyze 24 large-scale rainstorm weather processes in Sichuan Basin. The results show that before the torrential rain, weather generally has the characteristics of the whole layer rolling flow of the lower south wind, the middle southwestern wind and the upper north wind. The difference between the wet potential temperature  $\theta_{\text{sed}}$  and the saturated potential temperature  $\theta^*$  is relatively small. There is convergent layer of the north wind and the southwest wind between 200–400 hPa and ultralow temperature layer between 100–300 hPa. The  $\theta_{\text{sed}}$  and lines are perpendicular to the  $T$  axis or tilted to the left. In this case, the atmosphere is in an unstable state, the established short-term forecasting model of torrential rain is effective.

**Keywords:** meteorology; short-range weather forecast; L-Band second level sounding data; V-3θ structural graphs; forecasting model of torrential rain