

文章编号:1673-8411 (2015) 01-0047-06

V-30在三明暴雨天气预报中的应用分析

官晓东, 刘玉, 赵彤辉

(三明市气象局, 福建 三明 365000)

摘要:按欧阳首承教授溃变原理的V-30非规则结构信息分析方法,对三明2006~2012年133个暴雨日进行了检验分析和预测应用。结果表明:暴雨日前08时或20时三明周边探空站的V-30结构信息图对锋面暴雨、锋面暖区暴雨、低空低涡暴雨、热带气旋暴雨可分析出明显的前兆特征,对副高边缘暴雨(包括副高南界的东风波)部分可分析出明显的前兆特征,以上五个暴雨型表现出的共同的基本机制为对流层高层出现超低温现象,30曲线的非均匀结构,较好的水汽条件和整体顺滚流。

关键词:V-30;暴雨;统计;结构分析

中图分类号:P458

文献标识码:A

The V-30 Application in the Rainstorm Forecast of Sanming

Guan Xiaodong Liu Yu Zhao Tonghui

(Sanming Municipal Meteorological Service, Sanming Fujian 365000)

Abstract: 133 rainstorms occurred in Sanming from 2006 to 2012 were analyzed and forecast by V-30 irregular structure information analysis method of degeneration theory developed by Professor Ouyang. The results show that obvious precursory characteristics of frontal rainstorm, warm section heavy precipitation, vortex heavy rainfall and tropical cyclone torrential rain can be shown and analyzed by using the V-30 structural information graph of sounding station around Sanming from 08:00-20:00 before the rainstorm day. In addition, heavy rain events at the edge of West Pacific Subtropical High (including the easterly wave of southern edge of Subtropical High) can be partially shown and analyzed as well. The common basic mechanisms of these five types of rainstorm as described above include the ultra-low temperature at the troposphere top, non-uniform structure of 30 curve, good moisture conditions and the clockwise tumble flow.

Key words: V-30, rainstorm, statistics, structural analysis

引言

三明地处沿海低纬度区, 为中亚热带季风气候区, 气候温暖湿润, 雨量充沛, 因此暴雨作为三明主要灾害性天气之一, 同时三明地处福建内陆, 地形多以丘陵为主, 预报的不确定因素较多, 是预报服务的重点。长期以来, 在暴雨预报方面仍是采用传统天气学分析方法, 通过分析各高度层的环流形式和天气系统, 结合水汽条件、散度、涡度、垂直速度和大气层结稳定度的诊断分析^[1-5], 并依赖数值预报产品来对

暴雨天气做出预报。虽然积累的大量的经验, 但是暴雨的预报准确率仍然偏低, 经常出现漏报。为了提高暴雨预报水平, 将引进V-30结构预报方法, 应用于三明的暴雨天气的预报中。

V-30结构预报方法已经在各个台站的暴雨预报中发挥了显著地作用。在山东半岛一次副高边缘特大暴雨中, V-30结构图能够对天气形势分析和数值预报结果的局限性的不足进行有效的补充^[6]; 福建一次大暴雨过程中, V-30结构图预报方法能较好的对此次强降水天气做出预报^[7]; 广西应用V-30结

收稿日期: 2014-11-10

基金项目: 福建省气象青年科技专项项目《V-30在三明暴雨天气预报中的应用》(2012q04)

作者简介: 官晓东(1985-), 男, 工程师, 学士, 主要从事天气预报工作。gxdnj522@163.com

构图对各种类型的暴雨进行特征检验,发现 V-30 结构图均可分析出明显的前兆特征,已经作为广西转折性暴雨预报的主要参考依据之一^[5]。

1 V-30 简介及暴雨天气中的特征

V-30 图是欧阳首承教授根据湍变理论,尽可能利用现有资料的真实信息设计的分析工具,主要是以结构方式揭示非规则信息的结构特征及其作用。V-30 结构图由 5 个气象要素组成,分别为 P (气压)、(探空资料的风矢量); θ (位温)、 θ_{sed} (以露点计算的假相当位温)、 θ^* (为饱和状态下的假相当位温),这 3 个物理量通过探空资料计算得来,随高度的变化得出 3 条曲线,当 θ_{sed} 、 θ^* 向左倾(中低层大气与 T 轴的交角大于 $70^\circ\sim 80^\circ$ ^[9])或垂直于 T 轴,即随 P 减小或不变时,气层处于不稳定状态,反之则为稳定状态,预报时用于判断大气的热力不稳定状态和水汽条件。被设置在 θ^* 线上,30 与 P 构成在垂直方向上的 P-T 坐标三线图,即为所在测站的垂直剖面图。

V-30 结构图的含义与传统气象学中的 T-ln P 图的使用信息和用法有显著的区别。其一是 V-30 结构图以探空资料的特性层信息为基本信息;其二是所使用的资料范围是由地面扩展到 100hPa,并包括了超低温在内的所有非规则信息;其三是该方法启用了“滚流”概念,即横向的水平涡流,而不同于水平天气图的仅突出垂直方向的涡旋^[8]。

剧烈的灾害性天气发生前在 V-30 结构图上的特征明显。暴雨天气在 V-30 结构图上有较为清晰的结构特征,由于暴雨可分为持续性降水暴雨和强对流产生的短时强降水,在 V-30 结构图可以表现出结构性的差异,主要体现在^[9-13]:(1)对流层上层存在超低温现象。超低温结构是指在 300~100hPa 之间 θ 值偏低的现象(即 θ 线向左折),预报时用于判断高空大气结构是否有利深对流发展;(2)非均匀结构。 θ 曲线在不同层上出现向左折拐,特别是 θ_{sed} 和 θ^* 与 T 轴成准直角或向左倾(左倾成钝角,表明大气呈现较强的对流不稳定,常伴有强对流),及 30 曲线随 P 的减小而不变或左倾,描述了大气垂直方向的不稳定状态;(3)较好的水汽条件。 θ_{sed} 和 θ^* 在图像中表现为趋于靠近的特征,一般而言 $\theta^*-\theta_{\text{sed}}\leq 8\sim 10^\circ\text{C}$,对于持续性暴雨 $\theta^*-\theta_{\text{sed}}\leq 3\sim 5^\circ\text{C}$,并且 θ^* 和 θ_{sed} 呈现较深厚的准平行。风向上从底层到高层,其西南、南、或东南(北半球)风层的厚度可以有不同

暴雨量级的表现;(4)垂直风上有顺滚流。“顺滚流”为不连续指数或称为切变指数,反映测站上空整体滚流性质和预测转折性变化,可以理解为:北半球中、低层大气(700hPa 以下)为偏南风(包括西南、东南风)或临近海洋的东风,高层大气(500hPa 以上)为西到西北风,代表了冷空气来袭时大气低层到高层的风场配置。

2 资料来源说明与统计分析

探空资料和降水资料来源于三明市气象台历史资料数据库。将 2006~2012 年福建省 4 个探空站(其中龙岩站在福建省 4 月~6 月汛期期间有业务运行)和江西赣州探空站的历史资料进行分析,提取三明出现暴雨日(133 天)前 08 时或 20 时两个时次的探空资料。发现不同系统下出现暴雨时的 V-30 结构图具有不同的结构特征。

表 1 同时达到起报条件站次统计表

5 站	4 站	3 站	2 站	1 站	0 站	合计
17	39	36	26	9	6	133
12.8%	29.3%	27.1%	19.5%	6.8%	4.5%	100%

利用统计方法计算得出,暴雨日前 08 时或 20 时的 V-30 结构图同时达到起报条件的个数,统计如表 1。经统计,2 站次达到起报条件的次数中无龙岩站,也就是说如排除 4 月~6 月汛期期间有业务运行的龙岩站或者不排除龙岩站,同时达到 2 站次以上起报条件的次数所占比率都达到 88.7%,从这一统计结果可以明显的看出 V-30 结构图在预报暴雨天气中具有很高的可信度。在 133 天暴雨日中,72 天为锋面暴雨,23 天为锋面暖区暴雨,6 天为低空低涡暴雨,16 天为热带气旋暴雨,16 天为副高边缘暴雨(包括副高南界的东风波),达到 2 站次及以上起报条件的次数所占百分比分别为:锋面暴雨 91.7%,锋面暖区暴雨 91.3%,低空低涡暴雨 100%,热带气旋暴雨 93.8%,副高边缘暴雨(包括副高南界的东风波)62.5%。通过以上分析,可看出锋面暴雨、锋前暖区暴雨、低空低涡暴雨和热带气旋暴雨在达到 2 站次及以上起报条件的次数所占百分比都大于 90%,这一统计结果表明该分析方法在以上 4 种暴雨型中确有实际应用意义。副高边缘暴雨(包括副高南界的东风波)在达到 2 站次及以上起报条件的次数所占百分比为 62.5%,这说明 V-30 结构图分析方法在副高边缘暴雨(包括副高南界的东风波)中的暴雨预报中的表征较前 4 种暴雨型不够明显,由于副高边

缘暴雨(包括副高南界的东风波)常以强对流活跃的非汛期暴雨为主, 因此需要较多的借助天气学分析方法进行分析。

3 V-30 在暴雨预测中的结构分析

3.1 锋面暴雨型

在三明各类型的暴雨中所占比率最大的是锋面暴雨, 因此锋面暴雨在三明暴雨中最为常见。在锋面暴雨中, 影响三明的主要系统有: 中高纬高空槽、高原东侧槽、低层切变线、低层西南或偏南急流(或显著流线)、偏北大风、锋面。分析发现, 锋面暴雨一年四季皆可出现, 当出现锋面暴雨时以上主要系统并非同时出现, 除锋面外, 其余系统可随机组合, 这就给暴雨预报带来不确定性, 同时不同季节, 产生暴雨的主要系统也不同。因此下文将从 V-30 结构图中找锋面暴雨的特征。

超低温现象, 2012 年 3 月 5 日三明的中北部出

的 6 个站出现了暴雨过程。在 3 月 4 日 08 时赣州站(图 1a)和邵武站在 150hPa~200hPa 之间出现了超低温现象。

θ 曲线在不同层上出现向左折拐, 特别是 θ_{sed} 和 θ^* 与 T 轴成整体准直角或对流层中下层成整体的钝角。初春对流层底层常出现逆温(图 1a), 由于近地面层气温较低, 偏南气流带来的暖湿气流常造成气温随高度升高而增大, 随着进入夏季逆温层开始减弱或消失, 进入夏季后对流层中低层, 常出现 θ_{sed} 和 θ^* 在与 T 轴成整体的钝角(图 1b), 对流层高层为准直角, 这是由于近地面层大气的平均气温总体升高而造成的温度递减率增大的原因。在深秋或冬季的暴雨中, 会出现 θ_{sed} 和 θ^* 与 T 轴成锐角, 及有右倾的现象, 但是因注意右倾中会有多个层次的左折非规则情况, 特别是出现 θ_{sed} 和 θ^* 基本重合的暖层云上有冷层云交替出现的情况, 容易产生连续性强降水, 如图 1c。

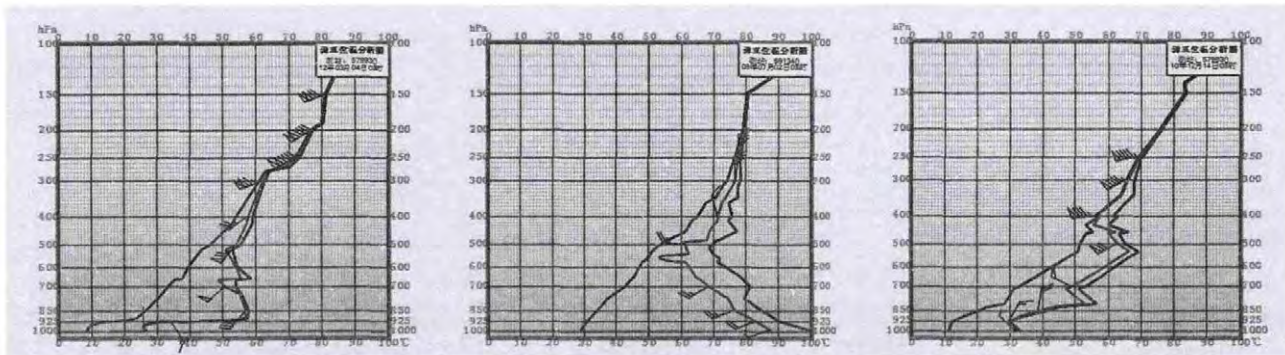


图 1 锋面暴雨结构信息图

(a)2012 年 3 月 4 日 08 时赣州 V-30 图 (b)2009 年 7 月 2 日 08 时厦门 V-30 图 (c)2010 年 12 月 14 日 08 时赣州 V-30 图

(图中靠左曲线为 θ 线, 居中曲线为 θ_{sed} 线, 靠右曲线为 θ^* 线, 下同上)

在锋面暴雨中对流层中下层 θ_{sed} 和 θ^* 线成准平行, 且 θ_{sed} 和 θ^* 整体较为接近。如图 1a, $\theta^* - \theta_{\text{sed}} < 9^\circ\text{C}$, 特别是赣州站 θ_{sed} 和 θ^* 线基本重合, 说明水汽条件较好。

垂直风上, 对流层中低层可出现东风到偏西风的三四项限的风向, 其中春夏季以第三项限风向为主, 秋冬季以第四项限风向为主; 高层为从西南-偏北-东北之间的风向均可出现, 以第二项限风向为主, 为整体顺滚流。在 3 月 4 日 08 时赣州站(图 1a)和邵武站的垂直风向上基本为一致的西南气流(初春、秋末和冬季在高层维持较强的西南气流较为常见, 由于副高脊线位置偏南, 大气层高层的经向环流能够深入低纬, 福建常处在槽前), 高低层都出现了

急流, 说明南风的水汽输送层较高, 也有利于暴雨的发生。

3.2 锋面暖区暴雨型

锋面暖区暴雨常出现在春季和夏季, 是一种分布不均匀的强降水类型, 虽然出现次数不如锋面暴雨, 但是常出现漏报的现象。产生锋面暖区暴雨的主要影响系统有: 高空槽、高原东侧槽和低空西南急流。其中高原东侧槽与低空西南急流的配合较为常见。通过分析 V-30 结构图中可看出锋面暖区暴雨具有以下结构特征。

超低温结构明显, 在 2012 年 4 月 12 日的暴雨过程中, 五个探空站都出现了超低温, 如图 2a, 邵武站在 230hPa~250hPa 有超低温现象。

在 θ 、 θ_{sed} 和 θ^* 三条曲线特征上, 有折拐次数较多或直线上升的情况: 如图 2b, 除了在 700hPa~

925hPa 出现折拐,其余高度 θ_{sed} 和 θ^* 基本保持平行直线上升;也有在不同高度层上出现较多折拐的情况:如图 2a,在 700hPa~850hPa、500hPa~600hPa 出

现两次折拐,420hPa~500hPa 出现多次折拐,后者居多。以上说明了在锋面暖区暴雨中大气静力不稳定较大,容易伴有对流云的发展。但从整体上来看

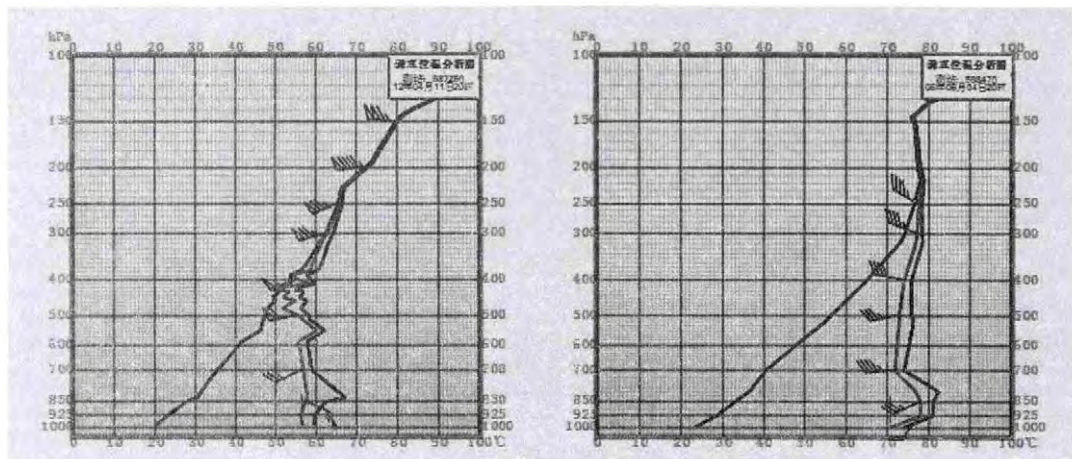


图2 锋面暖区暴雨结构信息图

(a)2012年4月11日20时邵武 V-30图

(b)2006年6月4日20时福州 V-30图

θ_{sed} 和 θ^* 与 T 轴成准直角或对流层中下层成钝角。

水汽条件上, θ^* 与 θ_{sed} 之差都能够小于等于 10°C 。在垂直高度的分布上, θ^* 与 θ_{sed} 之差有均匀分布的情况,如图 2b, θ^* 与 θ_{sed} 之差基本维持在 $2\sim 5^{\circ}\text{C}$ 之间;也有 θ^* 与 θ_{sed} 之差在某几个高度层上出现分布不均匀的情况,其相对其它高度层的相对湿度较小,如图 2a,在 700hPa~850hPa 高度层上相对湿度明显小于其它高度层上的相对湿度,而 420hPa~500hPa 高度层上虽然相对湿度较好,当时也可以看出其分布极其不均匀,这同样说明了在出现锋面暖区暴雨中的大气中在不同的高度层上容易有强对流云的发展。但是这种 θ^* 与 θ_{sed} 之差在某几个高度层上出现分布不均匀的情况要与产生强对流天气的结

构区分开来,强对流天气中 θ^* 与 θ_{sed} 之差在某一层中的值明显远远大于 10°C ,为明显的干层。

垂直风向上,为整体顺滚流,如图 2a,850hPa 以下为偏东风。850hPa 以上转为西南偏西风,且风速随高度逐渐增大。对流层中底层与高层可出现的风向与锋面暴雨型基本相同。

3.3 低空低涡暴雨型

低空低涡常沿着低空切变线移动,在三明产生大范围的强降水,降水分布相对均匀。其移动路径通常为,由华南进入江西中部或北部,最后进入浙江或福建北部,因此三明通常处于低空低涡南侧的西南气流之下。

超低温现象明显,如 2012 年 5 月 13 日的暴雨

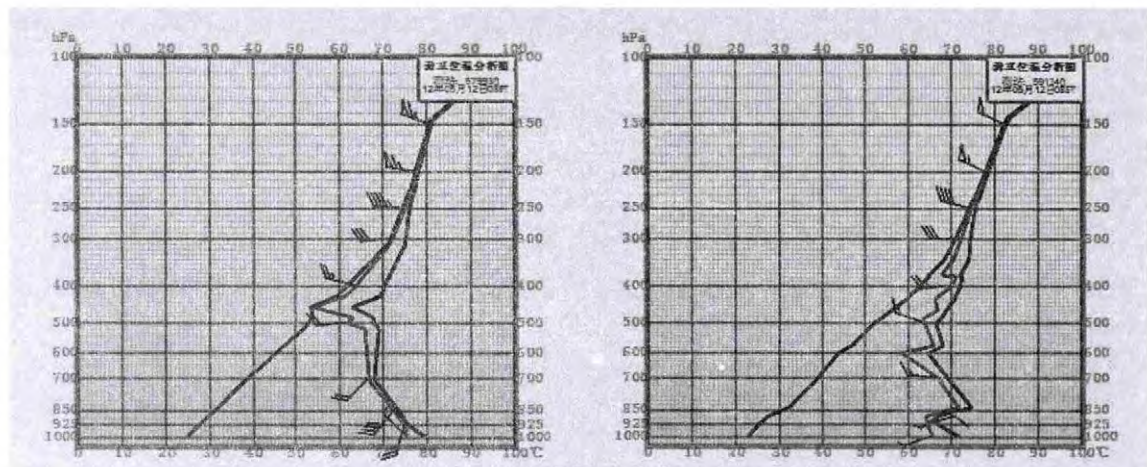


图3 低空低涡暴雨结构信息图

(a)2012年4月11日20时赣州 V-30图

(b)2006年6月4日20时厦门 V-30图

过程,12 日 08 时 5 个探空站的 θ 线在 300hPa 以上的不同高度层上都出现左折的超低温现象(图 3a)。

非均匀结构上,三条 θ 线在不同高度都有折拐,通过分析发通常在靠近低涡中心的探空站,其 θ_{sed} 和 θ^* 线折拐次数较少,远离低涡中心及越往福建南部 θ_{sed} 和 θ^* 线折拐次数增多,如图 3a,450hPa~500hPa 之间有明显的左折拐现象,厦门站(图 3b)在不同高度层上出现了三次左折拐。总体上 θ_{sed} 和 θ^* 与 T 轴成准直角或对流层中下层成钝角。

水汽条件上,低空低涡暴雨型的相对湿度较好, θ^* 与 θ_{sed} 之差较小,图 3a 中 θ^* 与 θ_{sed} 之差一度接近 1°C 。但是有时会出现东南部的福州或厦门探空站的相对湿度较差的现象,这与暴雨主要集中在低空低涡附近有关。

垂直风上,对流层中低层可出现从偏东风到偏西风的三四项限的风向,对流层中高层可出现从西南风到西北风的二三项限的风向,如图 3b,对流层底层以西南风为主,到中层转为偏西风,对流层高层风速迅速增大并成西北风,整体表现为顺滚流。

3.4 热带气旋暴雨型

三明地处福建内陆,热带气旋对三明的影响较小,但是当热带气旋进入福建沿海及周边地区或进入福建内陆同样能够给三明带来暴雨天气,是三明产生暴雨天气的重要原因之一。热带气旋是高能高湿的热带低压系统,其强降水主要分布在气旋中心,并与热带气旋的移动路径和强度有关。如果有探空站达到起报条件,对热带气旋造成的暴雨是有增幅作用。

2011 年“南玛都”在福建南部沿海登入后,于 8 月 31 日 20 泉州境内停止编号,2011 年 8 月 30 日三明出现了 10 站的暴雨,只有大田未达到暴雨,但降水量达到了 49mm。这次降水为台风外围的强降水。2011 年 8 月 29 日 20 时,V-30 结构图中,四个探空站度出现了超低温现象;垂直结构上, θ 存在左倾,除赣州站(图略) θ_{sed} 和 θ^* 与 T 轴在对流层中底层成钝角,其余探空站的 θ_{sed} 和 θ^* 于 T 轴都成准直角,并在不同高度出现折拐,如福州探空站在 430hPa 以上有逆温冷层云,有明显高层抽吸作用;水汽条件上,邵武站和福州站(图 4b)分布较为均匀, θ^* 与 θ_{sed} 之差小于 10°C ,赣州站(图略)和厦门在不同高度上有干层,但总体相对湿度较好;垂直风上,赣州(图略)和厦门为逆滚流,邵武和福州站(图略)为顺滚流,通过分析发现,由于垂直风向上受热

带气旋环流的影响较大,会出现 V-30 结构图中,除垂直风出现不利于暴雨的条件,其余条件都有利于暴雨的出现,这主要与热带气旋与探空站的相对位置有关。

3.5 副高边缘暴雨型(包括副高南界的东风波)

副高边缘暴雨(包括副高南界的东风波)在三明暴雨中出现较少,其在达到 2 站次及以上起报条件的次数所占百分比与前四种暴雨型相比为最低,由于副高边缘暴雨(包括副高南界的东风波)常以强对流活跃的非汛期暴雨为主,降水分布及不均匀,因此需要较多的借助天气学分析方法进行分析。经统计发现,副高边缘暴雨常与槽相关联,其中可分为副热带高压西侧槽、副高东侧槽和副高南侧东风带槽(东风波)。

三种大气环流配置下的 V-30 结构图中都存在超低温现象。

非均匀结构上, θ 随高度的增加有左拐现象, θ_{sed} 和 θ^* 于 T 轴都成准直角或者类似强对流天气的钝角。在不同高度层上会有明显的折拐现象,在靠近槽的探空站折拐现象时常会越明显,但并不是所有的过程都一样。

水汽条件上,条件较好的探空站与槽离的较近,越远条件越差。在副热带高压边缘的暴雨中,垂直方向上的相对湿度分布有时会出现类似对流天气中相对湿度的分布,上干下湿或中间某一层相对湿度较大,这也是为什么副热带高压边缘的暴雨降水分布及不均匀的原因。

垂直风上,副热带高压西侧槽型,高层常为偏北气流,底层为偏南气流;副高东侧槽型,高层为偏北或东北气流,底层常为弱的偏南风;东风波型,整层大气为偏东风或东北偏东风,风速随高度的增加而减小。整体都为顺滚流。

4 小结

(1)V-30 结构图分析方法在三明的 4 种暴雨型,锋面暴雨、锋面暖区暴雨、低空低涡暴雨和热带气旋暴雨的暴雨预报中有实际应用意义,而在副高边缘暴雨(包括副高南界的东风波)的暴雨预报中的表征较前 4 种暴雨型不够明显,需要较多的借助天气学分析方法进行分析。

(2)利用三明周边的五个探空站的 V-30 结构图分析三明的暴雨型天气,具有满足出现暴雨天气时的 V-30 结构图基本特征:1、对流层高层出现超

低温现象;2、 θ 曲线在不同层上出现向左折拐,特别是 θ_{sed} 和 θ^* 与 T 轴成准直角或向左倾成钝角;3、 θ_{sed} 和 θ^* 在图像中表现为趋于靠近的特征,一般而言 $\theta^* - \theta_{sed} \leq 8 \sim 10^\circ\text{C}$,对于持续性暴雨 $\theta^* - \theta_{sed} \leq 3 \sim 5^\circ\text{C}$,并且 θ^* 和 θ_{sed} 呈现较深厚的准平行;4、垂直风上有顺滚流。

(3) 三明的五种暴雨型在满足出现暴雨天气时 V-30 结构图基本特征的基础上,还表现出在不同季节、不同影响系统下,V-30 结构图中非均匀结构、水汽条件的垂直分布和风的垂直变化存在各自的特点。

参考文献

- [1] 张少林, 王俊, 周雪松, 等. 山东“7.18”致灾暴雨成因分析 [J]. 气象科技, 2009, 37 (5): 527-532.
- [2] 林确略, 寿绍文. 广西锋面、暖区及高压后部暴雨格力对比研究 [J]. 气象研究与应用, 2012, 33 (2): 11-18.
- [3] 杨晓霞, 李春虎, 李锋, 等. 山东半岛致灾大暴雨成因个例分析 [J]. 气象科技, 2008, 36 (2): 190-196.
- [4] 许霖, 腰蓉, 陈斗. 湖南两次流域性致洪暴雨异同点分析 [J]. 气象研究与应用, 2014, 35 (2): 27-31.
- [5] 杨新, 柯文华, 张小荣, 等. 两次副高边缘特大暴雨对比分析 [J]. 气象研究与应用, 2014, 35 (4): 1-4.
- [6] 姜俊玲, 张雪冬, 魏鸣, 等. V-30 图在一次特大暴雨预报中的应用 [J]. 气象科技, 2012, 40 (4): 647-650.
- [7] 官晓东, 刘玉, 王正廷, 等. 福建 2011 年“5.2~3”大暴雨过程的诊断分析 [J]. 广东气象, 2012, 34 (3): 22-25.
- [8] 陈见, 钱俊, 黄明策. 广西暴雨过程的 V-30 结构特征检验及预报应用 [J]. 气象科学, 2006, 26 (3): 334-340.
- [9] 欧阳首承. 天气演化与结构预测 [M]. 北京: 气象出版社, 1998.
- [10] 欧阳首承, 谢娜, 郝丽萍. 突发性灾害天气的结构预测与应急对策 [J]. 中国工程科学, 2005, 7 (9): 9-13.
- [11] 汤强, 曾振文, 杜远林. 溃变理论在汕头暴雨天气预测中的应用 [J]. 广东气象, 2005, 27 (4): 1-3, 36.
- [12] 欧阳首承, 陈刚毅, 林益. 信息数字化与预测 [M]. 北京: 气象出版社, 2009.
- [13] 叶春, 陈勇明, 倪琛玲. “2007.06.14”暴雨的 V-30 图分析 [J]. 浙江气象, 2008, 29 (4): 18-22.
- [12] 孙崇智, 郑凤琴, 林开平. 南宁致洪暴雨面雨量特征分析 [J]. 广西气象, 2003, 24 (2): 7-9.
- [13] 黄永磷, 王志怡, 农民强. GIS 在广西山洪灾害预警中的应用 [J]. 广西气象, 2007, 28 (3): 30-32.
- [14] 梁维亮, 黄明策, 屈梅芳. 基于 GIS 的广西中小河流域山洪气象风险监测预警系统 [J]. 气象研究与应用, 2012, 33 (4): 43-46.
- [15] 李艳萍. 基于 GIS 技术的人工影响天气业务系统的设计 [J]. 广西气象, 2005, 26 (4): 35-37.
- [16] 李江南. GIS 在气象数据处理中的应用 [J]. 广东气象, 2002, 24 (3): 14-15.
- [17] 陈冬梅, 潘新民. GIS 在气象预警服务产品开发中的应用 [J]. 广东气象, 2012, 34 (4): 42-44.
- [18] 何迪, 蒋国华. 基于 WebGIS 的森林火场信息发布系统 [J]. 广东气象, 2010, 32 (5): 50-52.
- [19] 龙志宇, 曹志国, 曾德松, 等. 精细化面雨量处理在小流域山洪灾害评估中的应用 [J]. 广东气象, 2011, 33 (6): 40-42.
- [20] 张东, 曾沁, 黄忠, 等. 北江、珠三角河网降水量级与面雨量的统计关系 [J]. 广东气象, 2005, 27 (1): 9-10.
- [21] 张录青, 叶永恒, 刘艳群, 等. 基于 GIS 技术的韶关市地质灾害预报预警系统 [J]. 广东气象, 2009, 31 (4): 4-7.

(上接第 42 页)

GIS 和 DEM 岷江流域都江堰区域河网水系的提取方法研究 [J]. 水利水电技术, 2009, 40 (3): 74-77.

[3] 任立良. 流域数字水文模型研究 [J]. 河海大学学报, 2000, 28 (4): 1-6.

[4] 曾红伟, 李丽娟, 柳玉梅, 等. Arc Hydro Tools 及多源 DEM 提取河网与精度分析—以洮儿河流域为例 [J]. 地球信息科学学报, 2011, 13 (1): 22-31.

[5] 方慈安, 潘志祥, 叶成志, 等. 几种流域面雨量计算方法的比较 [J]. 气象, 2003, 29 (7): 23-26, 42.

[6] 秦承平, 居志刚. 清江和长江上游干支流域面雨量计算方法及其应用 [J]. 湖北气象, 1999 (4): 16-18.

[7] 陈光舟, 张晓红. 淮河流域面雨量计算方法的比较分析 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37 (24): 11637-11640.

[8] 钟仕全, 莫建飞, 莫伟华, 等. 广西遥感基底信息提取方法技术与成果应用 [J]. 气象研究与应用, 2010, 31 (3): 44-49.

[9] 黄永磷, 钟仕全, 莫建飞, GIS 支持下的自动站雨量插值方法比较 [J]. 气象研究与应用, 2011, 32 (1): 60-62.

[10] 钟利华, 钟仕全, 李勇, 等. 广西电网流域面雨量监测、预报、报警系统 [J]. 气象研究与应用, 2013, 34 (3): 26-32.

[11] 吴兴国, 苏荣在. 郁江南宁 17 场洪水之合成面雨量特征分析 [J]. 广西气象, 2002, 23 (2): 3-5.