

王健疆,徐月飞,蓝俊倩. 2017. 衢州市梅雨期暴雨预报概念模型的建立与检验[J]. 气象与减灾研究,40(1):22-29.
Wang Jianjiang, Xu Yuefei, Lan Junqian. 2017. Construction and validation of rainstorm conceptual model during Meiyu Period in Quzhou[J]. Meteorology and Disaster Reduction Research,40(1):22-29.

衢州市梅雨期暴雨预报概念模型的建立与检验

王健疆,徐月飞,蓝俊倩

衢州市气象局,浙江 衢州 324000

摘要: 利用衢州市 5 个常规气象观测站及 120 个加密自动站资料、NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 资料,对 2013—2016 年衢州市梅雨期暴雨天气过程进行分析,基于动力、水汽等条件建立梅雨期暴雨天气概念模型,并对概念模型进行检验。结果表明:衢州市梅雨期暴雨多发,区域暴雨多发于单阻型,各层影响系统活动范围相对集中,单、双阻型在局地暴雨中出现概率接近,系统活动范围区域分散;大气可降水量对暴雨预报有正贡献,上游江西中北部地区具有明显的高值中心;700 hPa 上 U 分量更具主导地位,850 hPa 华南地区 V 分量变化对暴雨预报有较好的参考性;区域暴雨与局地暴雨在垂直速度场上最强中心高度不同,区域暴雨期间垂直速度大值区层次更低。

关键词: 暴雨,概念模型,大气可降水量,检验

中图分类号: P435

文献标识码: A

文章编号: 1007-9033(2017)01-0022-08

doi: 10.12013/qxyjzyj2017-004

Construction and Validation of Rainstorm Conceptual Model during Meiyu Period in Quzhou

Wang Jianjiang, Xu Yuefei, Lan Junqian

Quzhou Meteorological Bureau, Quzhou 324000, China

Abstract: Rainstorms during Meiyu period in Quzhou from 2013 to 2016 were analyzed by using conventional observation data, intensive observation data and NCEP reanalysis data. Rainstorm conceptual model was built based on the dynamic and moisture condition. Results showed that most of the regional torrential rains occurred under a single blocking condition. Weather systems were widely distributed when there was a local rainstorm. There was positive correlation between precipitable water and rainstorm. U component at 700 hPa level was dominant and the variation of V component at 850 hPa level in southern China can provide a good reference for rainstorm forecast. Regional torrential rain and local rainstorm had their own height of the strongest centers in the vertical velocity field, which could be lower in the region with high vertical speed during regional torrential rain periods.

Key words: rainstorm; conceptual model; precipitable water; model validation

0 引言

衢州市地处浙西金衢盆地西半部,是浙江省暴雨多发、频发区,梅雨期暴雨是衢州市汛期洪涝、地质灾害的主要诱因。许多学者对梅雨期暴雨形势

(俞燎霓等,2010)、特征(孙燕和朱伟军,2013;孙素琴等,2016)等进行了分析。倪允琪和周秀骥(2004)建立了梅雨锋暴雨的天气学模型。张小玲等(2004)将梅雨锋暴雨分为三类,三类暴雨在结构和形成机制上存在差异,正涡度柱、辐合层及最大加热区分别

处于不同高度层(李鲲等,2005)。在梅雨锋短时大暴雨多尺度环境场分析中,张顺利等(2002)指出西太平洋副热带高压、南海季风涌、中高纬度冷空气和青藏高原中尺度对流系统的最佳组配是长江流域出现致洪暴雨的环流条件。暴雨直接影响系统为梅雨锋暴雨中尺度对流系统(孙晶,2011),地面中尺度辐合线、强降水区上空的 β -中尺度对流扰动触发大暴雨产生(盛志军和周雨,2015;孙素琴等,2015); β -中尺度小高压减弱消失时,常促使强降水产生(丁治英等,2010),其生消与高空急流的非地转质量调整有关(孙素琴等,2012);中尺度系统预报误差的快速增长依赖于系统流的特征(刘建勇等,2011)及湿对流活动(杨舒楠,2011)。

上述文献中对梅雨锋暴雨的研究多针对大范围的区域暴雨,影响系统在移动过程中,对小范围地区的影响时间、强度及强降水落区仍较难确定。为进一步探讨衢州地区梅雨期暴雨预报着眼点,文中通过实况观测、NCEP 再分析等资料对衢州市梅雨期暴雨进行天气分型,提取预报因子,建立暴雨预报概念模型,并通过 NCEP 再分析资料进行反演检验,为今后类似的暴雨预报提供参考。

1 资料与方法

采用的资料主要有:1) 2013—2016 年衢州市梅雨期常规地面、高空观测资料;2) 同期衢州市 5 个常规气象观测站及 120 个自动加密观测站逐日降水资料;3) 同期逐日 4 个时次(00、06、12、18 时) NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 再分析资料。根据国标(GB/T 28592—2012)降水量等级定义,24 h 降水量 ≥ 50 mm 定义为暴雨,前日 20 时至当日 20 时出现暴雨则为一个暴雨日。文中定义,1) 区域暴雨:全市 1/2 及以上加密自动站且 3 个及以上区域站日降水量达

到暴雨级别;2) 局地暴雨:全市 10 个及以上、1/2 以下加密自动站,或 1—2 个区域站日降水量达暴雨级别;3) 个别站点型暴雨:10 个以下加密自动站日降水量达暴雨级别。

根据上述标准,2013—2016 年衢州市梅雨期共划分出 10 次区域暴雨,14 次局地暴雨和 9 次个别站点型暴雨。文中,利用天气学方法对 500 hPa 和 700 hPa 形势场影响系统进行天气分型,并着重对区域暴雨和局地暴雨展开讨论。

2 结果与分析

2.1 天气分型

2.1.1 行星尺度天气系统

江淮梅雨期中层环流形势较为稳定,高纬地区多阻塞高压活动。典型梅雨期阻塞高压活动可分为三类:三阻型、双阻型和单阻型,梅雨期中、后期易出现双阻型(朱乾根等,2007)。文中根据 500 hPa 阻塞高压活动特征对梅雨期暴雨期间行星尺度天气系统进行归类。

图 1 给出了衢州市梅雨期区域暴雨、局地暴雨 500 hPa 平均高度场。分析图 1a 发现,区域暴雨期间,中高纬度地区环流形势与典型梅雨形势基本一致,单阻型占 7 次,阻塞高压中心位于 A 区;其余 3 次为双阻型或单一双阻调整型,B 区内有高压中心或高压脊。500 hPa 平均场上,中高纬地区呈“两槽一脊”型,高压中心位于贝加尔湖西北侧,东北至华北有东西向横槽。低纬阿拉伯半岛附近有高压脊,德干高原为低槽区,跨度达 20 个经距。西太平洋副热带高压 588 dagpm 等位势线北至 27°N,西至 110°E。衢州市处副热带高压西北侧西南气流、中纬度西风气流和阻塞高压前偏西北气流汇合区域。局地暴雨产生时中高纬度地区单、双阻形势出现的概率

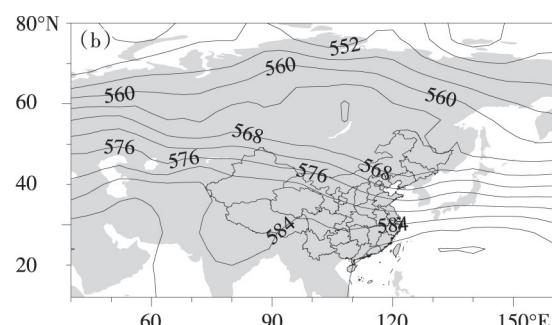
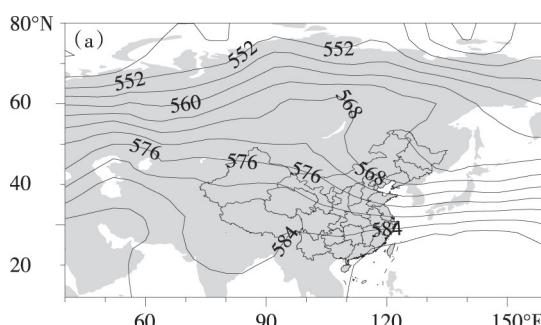


图 1 2013—2016 年衢州市梅雨期区域暴雨(a)、局地暴雨(b)500 hPa 平均高度场(单位:dagpm)

Fig. 1 Mean height field at 500 hPa for regional (a) and local (b) rainstorm during Meiyu period in Quzhou from 2013 to 2016 (unit: dagpm)

接近。出现单阻型形势时,阻塞高压位置东西跨度大,最西跨至新西伯利亚附近,最东在雅库茨克地区;出现双阻型形势时,东部阻塞高压位置偏东,最东达鄂霍次克海上空。分析图1b发现,局地暴雨期间,阻塞高压中心位于贝加尔湖北侧,较区域暴雨略偏东,中低纬度地区环流与区域暴雨期间形势基本相似。但天气系统强度略有不同,局地暴雨期间,低槽偏浅,西太平洋副热带高压偏强、位置偏西偏北,三支气流辐合点更偏西。

2. 1.2 天气尺度系统

王镇铭等(2013)分析了700 hPa和850 hPa影响系统,将导致浙江暴雨的天气尺度系统分为三类七型,导致浙江西部地区暴雨的天气系统主要为西风带类天气系统中的暖锋切变型和移动低槽型。参考上述浙江省暴雨和衢州市汛期暴雨分型,依据700 hPa影响系统,将衢州市梅雨期暴雨天气系统

分为暖切型、冷切型、低槽东移型、低涡切变型。区域暴雨多发于冷切型,其次为暖切型及低槽东移型,未出现低涡切变型。暴雨期间,切变线或低槽均穿过(28° — 32° N, 115° — 122° E)区域,且系统跨度超过8个经距。局地暴雨多发于暖切型,其次为冷切型、低槽东移型和低涡切变型。个别站暴雨多发于暖切型,其次为低槽东移型。局地暴雨或个别站暴雨期间系统特征主要表现为,西南气流强盛致使暖切变位置偏北,冷切变偏北分量较弱和低槽浅薄。

图2给出了2013—2016年衢州市梅雨期区域暴雨、局地暴雨700 hPa平均风场。分析发现,区域暴雨期间,长江口沿岸至湖南北部地区存在明显东西向切变线,衢州上空风场汇合明显。局地暴雨期间,风向转变特征更倾向于低槽型,切变线位于江苏中部、安徽中南部至湖南与湖北两省的交界处,呈东北—西南向,衢州上空风场汇合不明显。

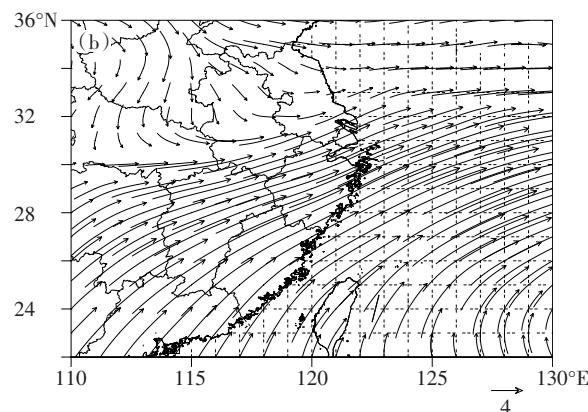
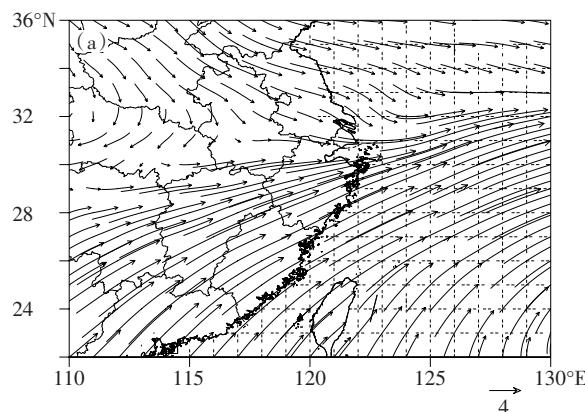


图2 2013—2016年衢州市梅雨期区域暴雨(a)和局地暴雨(b)700 hPa平均风场(单位:m/s)

Fig. 2 Mean wind field at 700 hPa for regional (a) and local (b) rainstorm during Meiyu period in Quzhou from 2013 to 2016 (unit: m/s)

2. 2 预报因子

2. 2. 1 大气可降水量

大气可降水量为单位面积地区上空整层大气的水汽全部凝结并降至地面的降水量(朱乾根等,2007)。曹云昌等(2005)分析了GPS遥感大气可降水量与局地降水的定量关系;刘丹等(2013)对NCEP资料与探空资料进行对比,发现两者大气可降水量基本一致,表明使用NCEP资料进行分析所得结果与实况更相符。

图3为2013—2016年衢州市梅雨期区域暴雨和局地暴雨日平均大气可降水量分布。分析发现,衢州市6月和7月日平均大气可降水量分别超过了45 mm和50 mm,这表明6月和7月衢州市上空水汽充沛,当动力及抬升条件均满足时,可产生明显降

水。区域暴雨期间,全市大部分地区日平均大气可降水量超过65 mm;局地暴雨期间为60—65 mm。在区域暴雨前后一日,也可出现大气可降水量大于60 mm的情况,但概率小于3%。因此,大气可降水量大于60 mm可用于判断是否会发生区域性或局地暴雨,而大范围大气可降水量是否达到65 mm可作为区分局地暴雨和区域暴雨的阈值之一。

分析图3还可知,在江西中北部地区存在大气可降水量大于65 mm的区域,对应了局地暴雨发生时段。而区域暴雨期间,东西带状分布大气可降水量大值区中心超过70 mm,对应700 hPa风场有利于上游水汽源源不断向衢州市汇聚,为衢州市产生暴雨提供充足的水汽条件。

2. 2. 2 低空急流

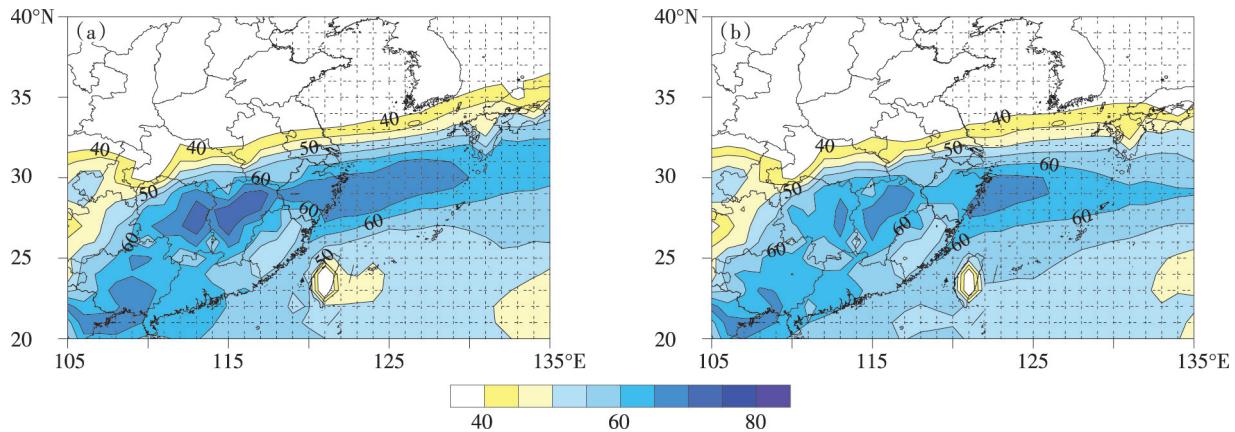


图 3 2013—2016 年衢州市梅雨期区域暴雨(a)和局地暴雨(b)日平均大气可降水量分布(单位:mm)

Fig. 3 Mean daily precipitable water for regional (a) and local (b) rainstorm during Meiyu period in Quzhou from 2013 to 2016 (unit:mm)

暴雨与低空急流密切相关,70%的暴雨伴有低空存在急流(朱乾根等,2007)。陈娟等(2016)研究发现1—1.5 km高度的西南急流增强与下游降水增强关系密切。本文将低空西南风急流分解为西风急流(U)和南风急流(V),分析 U 、 V 分量在暴雨过

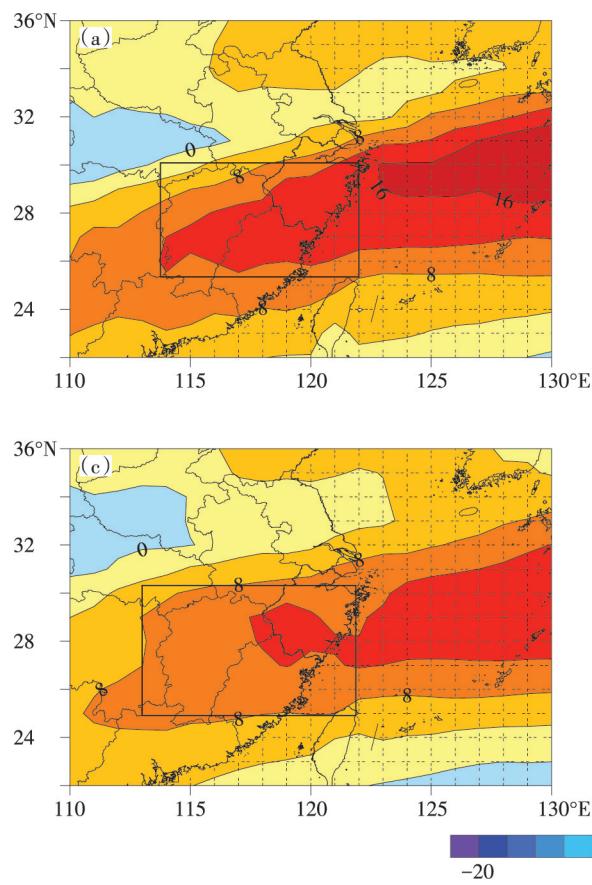


图 4 2013—2016 年衢州市梅雨期区域暴雨(a,b)、局地暴雨(c,d)700 hPa 的 U (左)、 V (右)平均风速(单位:m/s)

Fig. 4 Averaged wind speed of U (left) and V (right) at 700 hPa for regional (a, b) and local (c, d) rainstorm during Meiyu period in Quzhou from 2013 to 2016 (unit:m/s)

程中的主导地位是否不同。

1) 700 hPa 急流

图 4 为 2013—2016 年衢州市梅雨期区域暴雨、局地暴雨 700 hPa 的 U 、 V 平均风速。分析发现,区域暴雨期间,江西中南部至浙江中南部、福建中北部

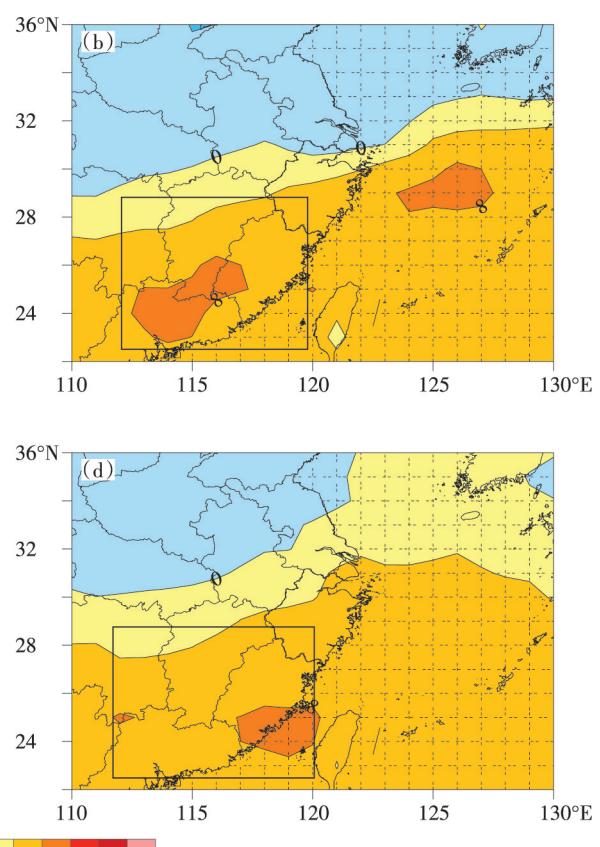


图 4 2013—2016 年衢州市梅雨期区域暴雨(a,b)、局地暴雨(c,d)700 hPa 的 U (左)、 V (右)平均风速(单位:m/s)

Fig. 4 Averaged wind speed of U (left) and V (right) at 700 hPa for regional (a, b) and local (c, d) rainstorm during Meiyu period in Quzhou from 2013 to 2016 (unit:m/s)

地区存在西风急流,风速大值区呈东西向带状分布,衢州市处于急流轴北侧风速梯度大值区。局地暴雨期间,西风急流位于浙江中南部及与福建、江西交界处,相对于区域暴雨期间,其范围偏小、强度偏弱,等值线偏疏。在区域暴雨和局地暴雨期间,V分量强度均不及U分量,在长江以南大部分地区V分量为4—8 m/s,华南地区存在小块8 m/s以上的风速区,南北风的辐合位置在长江流域一线附近,区域暴雨期间在长江中下游以南地区南北风辐合较局地暴雨期间更强。由此可知,在区域暴雨和局地暴雨期间,西南急流中U分量均占主导地位。

2) 850 hPa 急流

图5为2013—2016年衢州市梅雨期区域暴雨、局地暴雨850 hPa的U、V平均风速。分析发现,区

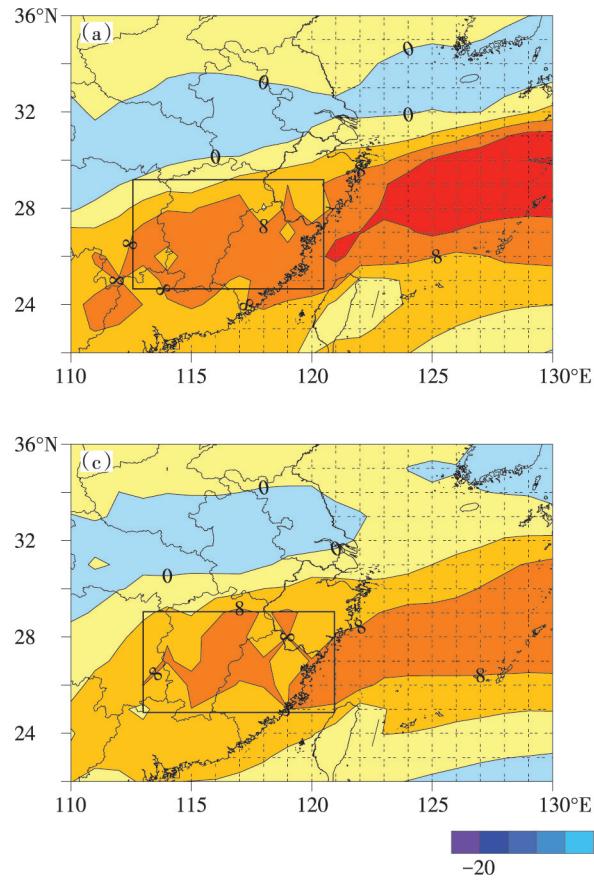


图5 2013—2016年衢州市梅雨期区域暴雨(a,b)、局地暴雨(c,d)850 hPa的U(左)、V(右)平均风速(单位:m/s)

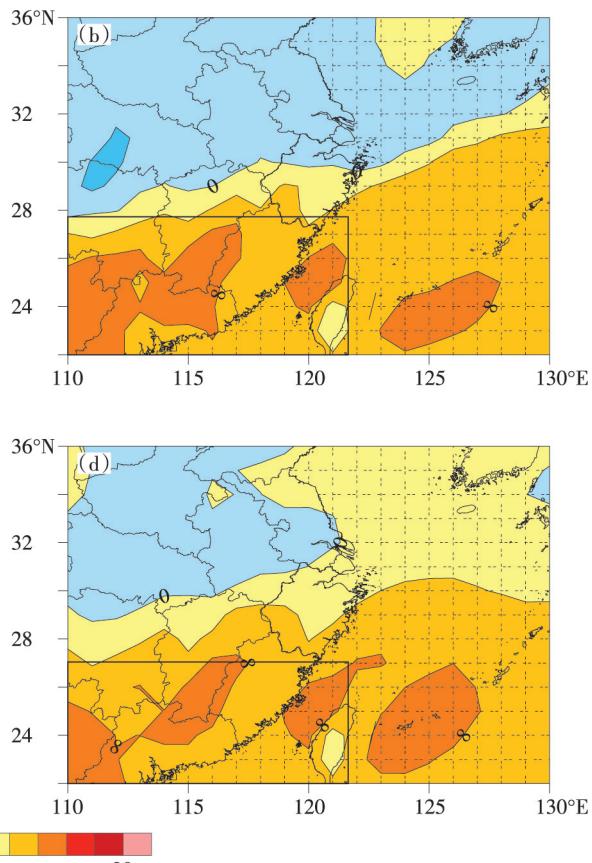
Fig. 5 Averaged wind speed of **U** (left) and **V** (right) at 850 hPa for regional (a, b) and local (c, d) rainstorm during Meiyu period in Quzhou from 2013 to 2016 (unit: m/s)

图6为2013—2016年衢州市梅雨期区域暴雨和局地暴雨各层的垂直速度分布。分析发现,区域暴雨期间,垂直速度上升区呈带状分布,700 hPa垂直速度 $\leqslant 10 \times 10^{-3}$ hPa/s,850 hPa多正负速度对,

域暴雨期间,江西中南部地区至福建存在较大范围的8 m/s以上西风,浙江以东海域上空存在西风急流,风速大值区呈东西向带状分布,衢州处于风速梯度大值区;华南地区存在8 m/s以上南风,南北风汇合带位于29—30°N区域。局地暴雨期间,无西风、南风急流,最大风速为8—12 m/s,风速大值区呈东西向带状分布。区域暴雨和局地暴雨期间,西南急流中海洋上空U分量仍占主导地位,但在长江以南大部分地区U分量和V分量所占比例相当。

2.2.3 垂直速度

垂直速度是反映动力条件的物理量之一,中低层的垂直上升速度越大,表明气流上升运动越强,对底层的抽吸作用也越明显,有利于底层的辐合加强,从而为暴雨产生提供有利条件(朱乾根等,2007)。



衢州市在垂直速度上升区内。局地暴雨期间,700—300 hPa各层垂直速度仍表现为一致的上升趋势,强度较区域暴雨期间弱,强垂直速度上升区多呈块状分布,最强上升区位于500 hPa高度,850 hPa高

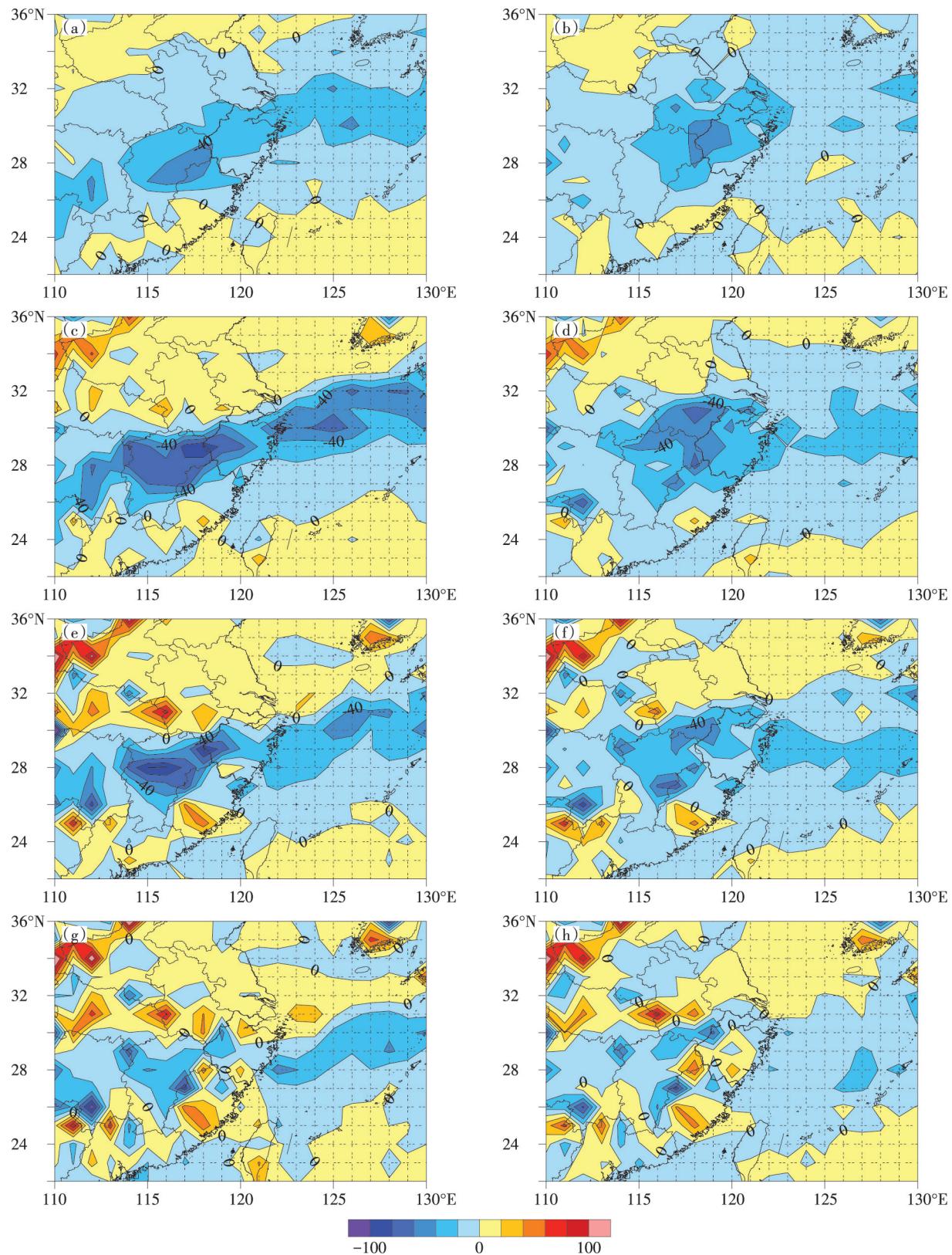


图 6 2013—2016 年衢州市梅雨期区域暴雨(左)和局地暴雨(右)300 hPa(a,b)、500 hPa(c,d)、700 hPa(e,f)和 850 hPa(g,h)的垂直速度分布(单位: 10^{-2} Pa/s)

Fig. 6 Vertical velocity distribution of regional (left) and local (right) rainstorm at 300 hPa (a, b), 500 hPa (c, d), 700 hPa (e, f) and 850 hPa (g, h)(unit: 10^{-2} Pa/s)

度层衢州上空为正负速度对之间的梯度大值区。区域暴雨和局地暴雨期间,江西中北部至浙江大部地区700—300 hPa高度层均表现为一致的上升。

2.3 概念模型及检验

根据第2.1节和2.2节的天气系统分型及预报因子阈值的分析,将2013—2016年衢州市梅雨期暴雨分为区域暴雨概念模型和局地暴雨概念模型。

2.3.1 暴雨概念模型

预报日,当符合第1和第2条标准且其他条件有两条以上符合时,预报有区域暴雨(或局地暴雨)发生:

1) 500 hPa高度场:中高纬地区呈单阻型时,阻塞高压中心位于图1a(或图1b)A区内,或双阻型时东侧阻塞高压或高压脊位于图1a(或图1b)B区内。

2) 700 hPa风场场:如图7所示,暖切变或冷切变在A区(B区)内或低槽同时穿过I和II线,且系统长度 ≥ 10 个(≥ 8 个)经距;或低涡切变自西向东移入A区(B区)并由长江口北侧入海。

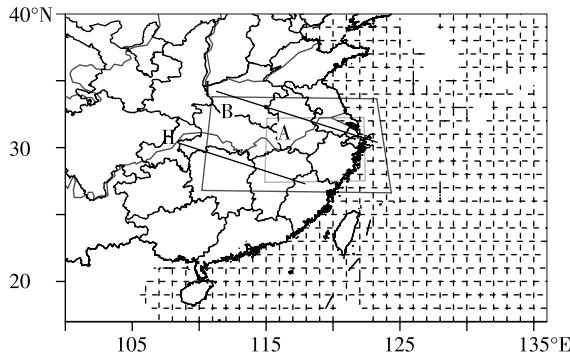


图7 暴雨关键区

Fig. 7 The key areas of rainstorm

3) 衢州市3/4(90%)以上区域大气可降水量 $\geq 65 \text{ mm}$ ($\geq 60 \text{ mm}$),大值区呈东西带状分布,且江西中北部有70 mm(65 mm)以上大值中心区存在。

4) 700 hPa关键区($25^{\circ}\text{--}30^{\circ}\text{N}$, $114^{\circ}\text{--}122^{\circ}\text{E}$) $1/2$ 以上区域U分量风速 $\geq 12 \text{ m/s}$ ($\geq 8 \text{ m/s}$)。

5) 850 hPa关键区($24^{\circ}\text{--}29^{\circ}\text{N}$, $113^{\circ}\text{--}120^{\circ}\text{E}$) $3/4(1/2)$ 以上区域U分量风速 $\geq 8 \text{ m/s}$,关键区($22^{\circ}\text{--}27^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\text{--}121^{\circ}\text{E}$) $1/2(1/5)$ 以上区域V分量风速 $\geq 8 \text{ m/s}$ 。

6) 衢州市上空垂直速度上升区高度为700—300 hPa,各层垂直上升速度大值区呈东西向带状分布,最强上升速度 $\leq -8 \times 10^{-3} \text{ hPa/s}$ ($\leq -6 \times 10^{-3} \text{ hPa/s}$)并位于700 hPa(500 hPa)高度层。

2.3.2 检验结果

根据上述概念模型,对2013—2016年衢州市梅雨期共104个样本进行逐日检验。结果发现:区域暴雨预报准确次数为6次,漏报4次,空报1次;局地暴雨预报准确次数为8次,漏报6次,空报7次。上述检验结果表明,概念模型在区域暴雨预报中的应用更为有效,在局地暴雨预报中易造成空报。从各预报因子来看,造成局地暴雨空报的主要原因为大气可降水量及风场两个因子的符合度高,而漏报则由风速场各条件未达标准造成。

3 结论

文中利用衢州市5个常规气象观测站及120个加密自动站资料、NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 资料,对2013—2016年衢州市梅雨期暴雨天气过程进行分析,并根据各类影响因子建立了预报概念模型,通过检验发现该模型对预报有一定的参考价值。

1) 梅雨期区域暴雨与局地暴雨期间,影响系统存在一定的差异。区域暴雨多发于单阻型,阻塞高压中心多位于贝加尔湖西北侧,局地暴雨单、双阻型发生概率接近,阻塞高压中心东西向偏离较大;区域暴雨多发于冷切型,局地暴雨和个别站暴雨多发于暖切型,且系统活动范围较区域暴雨广。

2) 大气可降水量是否超过60 mm可作为区域暴雨和局地暴雨发生的判据,大范围大气可降水量是否达65 mm可作为区域暴雨的预报阈值之一。

3) 暴雨期间,700 hPa西南急流中U分量占主导地位,850 hPa西南急流中海洋上空U分量占主导地位,长江以南大部分地区U、V分量比例相当。

4) 暴雨期间,垂直上升区从底层一直延伸至对流层顶,区域暴雨期间垂直方向上强上升速度区更偏于中低层。

由于近年梅雨期无台风影响,因此未能对梅雨期台风暴雨的系统进行分析。

参考文献(References)

- 曹云昌,方宗义,夏青. 2005. GPS遥感的大气可降水量与局地降水关系的初步分析[J]. 应用气象学报, 16(1): 54-59. Cao Y C, Fang Z Y, Xia Q. 2005. Relationship between GPS precipitable water vapor and precipitation[J]. J App Meteor Sci, 16(1): 54-59. (in Chinese)
- 陈娟,尹洁,何文,等. 2016. 风廓线雷达资料在江西梅雨锋暴雨天气过程中的分析应用[J]. 气象与减灾研究, 39(3): 2016-215. Chen J, Yin J, He W, et al. 2016. Analysis and application of wind profiler radar data in a Meiyu front rainstorm weather process in Jiangxi[J]. Meteor Disaster Reduction Res, 39(3): 206-215. (in Chinese)

- 丁治英,王慧,沈新勇,等. 2010. 一次梅雨期暴雨与中层锋生、 β -中尺度小高压的关系[J]. 大气科学学报, 33(2): 142-152. Ding Z Y, Wang H, Sheng X Y, et al. 2010. Relationship between the middle layer frontogenesis, a Meso- β -scale high and a heavy rain during Meiyu season[J]. Trans Atmos Sci, 33(2): 142-152.(in Chinese)
- 李鲲,徐幼平,宇如聪,等. 2005. 梅雨锋上三类暴雨特征的数值模拟比较研究[J]. 大气科学, 29(2): 236-248. Li K, Xu Y P, Yu R C, et al. 2005. Comparative studies of three types of heavy rainstorms associated with the Meiyu Front by numerical simulations[J]. Chinese J Atmos Sci, 29(2): 236-248.(in Chinese)
- 刘丹,邱新法,史岚,等. 2013. 基于NCEP资料的我国大气可降水量的计算及其时空分布[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 5(2): 113-119. Liu D, Qiu X F, Shi L, et al. 2013. Estimation of atmospheric precipitable water in China with NCEP data and its spatio-temporal distribution[J]. J Nanjing Univ Info Sci Technol: Nat Sci Ed, 5(2): 113-119.(in Chinese)
- 刘建勇,谈哲敏,顾思南. 2011. 梅雨期暴雨系统的流依赖中尺度可预报性[J]. 大气科学, 35(5): 912-926. Liu J Y, Tan Z M, Gu S N. 2011. Flow-dependent mesoscale predictability of Meiyu heavy rainfall[J]. Chinese J Atmos Sci, 29(2): 236-248.(in Chinese)
- 倪允琪,周秀骥. 2004. 中国长江中下游梅雨锋暴雨形成机理以及监测与预测理论和方法研究[J]. 气象学报, 62(5): 647-662. Ni Y Q, Zhou X J. 2004. Study for formation mechanism of heavy rainfall within the Meiyu front along the middle and downstream of Yangtze River and theories and methods of their detection and prediction[J]. Acta Meteor Sinica, 62(5): 647-662. (in Chinese)
- 盛志军,周雨. 2015. 2015年6月3日江西省北部大暴雨过程的中尺度特征分析[J]. 气象与减灾研究, 38(4): 37-45. Sheng Z J, Zhou Y. 2015. Mesoscale characteristics of a rainstorm process in June over northern Jiangxi[J]. Meteor Disaster Reduction Res, 38(4): 37-45.(in Chinese)
- 孙晶. 2011. 梅雨锋暴雨中尺度对流系统研究若干进展[J]. 气象科技, 39(3): 257-265. Sun J. 2011. Advances in researches on meso scale convective systems related to Meiyu heavy rainfall[J]. Meteor Sci Technol, 39(3): 257-265.(in Chinese)
- 孙素琴,许爱华,郑婧,等. 2016. 江西省汛期暴雨时空分布及区域性暴雨分区[J]. 气象与减灾研究, 39(2): 90-97. Sun S Q, Xu A H, Zheng J, et al. 2016. The regionalization and spatial-temporal characteristics of the torrential rain in Jiangxi province during the flood season[J]. Meteor Disaster Reduction Res, 39(2): 90-97.(in Chinese)
- 孙素琴,于爱兵,郑婧. 2012. 一次梅雨锋暴雨与中- β 尺度低涡及小高压的关系[J]. 气象与减灾研究, 35(2): 23-30. Sun S Q, Yu A B, Zhen J. 2012. Relationship between a Meiyu front rainstorm and the Meso- β -scale vortex and mesoscale high[J]. Meteor Disaster Reduction Res, 35(2): 23-30.(in Chinese)
- 孙素琴,郑婧,许爱华,等. 2015. 2011年6月江西省北部一次大暴雨天气过程成因分析[J]. 气象与减灾研究, 38(1): 25-36. Sun S Q, Zhen J, Xu A H, et al. 2015. A study on the causes of a heavy rainfall process in northern Jiangxi[J]. Meteor Disaster Reduction Res, 38(1): 25-36.(in Chinese)
- 孙燕,朱伟军. 2013. 江苏省梅汛期暴雨特征及其对长江下游水位的影响[J]. 地理科学, 33(2): 238-243. Sun Y, Zhu W J. 2013. Rainstorm characteristics during Meiyu period in Jiangsu and its effect on water levels of lower reaches of the Changjiang River [J]. Sci Geogr Sin, 33(2): 238-243.(in Chinese)
- 王镇铭,杜惠良,杨诗芳,等. 2013. 浙江省天气预报手册[M]. 北京: 气象出版社: 189-203. Wang Z M, Du H L, Yang S F, et al. 2013. Zhejiang weather forecast manual [M]. Beijing: Meteor Press: 189-203. (in Chinese)
- 杨舒楠. 2011. 江淮梅雨锋暴雨的中尺度可预报性研究[D]. 南京: 南京大学: 64-94. Yang S N. 2011. A study on mesoscale predictability of Meiyu heavy rainfall over the Yangtze-Huaihe basin [D]. Nanjing: Nanjing Univ: 64-94.(in Chinese)
- 俞燎霓,胡波,曹美兰,等. 2010. 浙江梅雨气候特征及其梅汛期暴雨的形势分析[J]. 科技通报, 26(5): 782-786, 794. Yu L N, Hu B, Cao M L, et al. 2010. The characteristics of heavy rain and its analysis of synoptic circumstances during Plun flood period in Zhejiang[J]. Bull Sci Technol, 26(5): 782-786, 794. (in Chinese)
- 张顺利,陶诗言,张庆云,等. 2002. 长江中下游致洪暴雨的多尺度条件[J]. 科学通报, 47(6): 467-473. Zhang S L, Tao S Y, Zhang Q Y, et al. 2002. Multi-scale conditions of torrential rain causing floods in the mid-and lower reaches of the Yangtze River[J]. Chin Sci Bull, 47(6): 467-473.(in Chinese)
- 张小玲,陶诗言,张顺利. 2004. 梅雨锋上的三类暴雨[J]. 大气科学, 28(2): 187-205. Zhang X L, Tao S Y, Zhang S L. 2004. Three types of heavy rainstorms associated with the Meiyu front [J]. Chinese J Atmos Sci, 28(2): 187-205.(in Chinese)
- 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 2007. 天气学原理和方法(第四版)[M]. 北京: 气象出版社: 320-367. Zhu Q G, Lin J R, Shou S W, et al. 2007. Principles and methods of meteorology (Fourth edition)[M]. Beijing: Meteor Press: 351-361.(in Chinese)