

徐迎春, 刘立, 庞晶. 2017. 武汉地区梅雨期暴雨预报方法初探[J]. 气象与减灾研究, 40(3): 231-235.

Xu Yingchun, Liu Li, Pang Jing. 2017. Study on a rainstorm forecasting method during Meiyu period in Wuhan[J]. Meteorology and Disaster Reduction Research, 40(3): 231-235.

## 武汉地区梅雨期暴雨预报方法初探

徐迎春<sup>1</sup>, 刘立<sup>2</sup>, 庞晶<sup>1</sup>

1. 武汉市气象台, 湖北 武汉 430040

2. 武汉市东西湖职业技术学校, 湖北 武汉 430040

**摘要:** 使用地面降水观测资料和高空探测资料, 运用线性倾向估计法和相关性分析法, 分析了2000—2012年武汉地区梅雨期(6—7月)暴雨的气候特征, 并建立了暴雨天气预报方程。结果表明, 6—7月武汉地区各旬暴雨日数呈先升后降趋势, 其中最大值出现在6月下旬; 暴雨集中期为6月下旬—7月中旬, 占梅雨期总暴雨日数的61%; 暴雨局地性强, 雨强呈上升趋势。筛选出武汉站强天气威胁指数、百色站850 hPa层的露点温度和怀化站850 hPa层的风向、风速作为预报因子, 建立武汉地区梅雨期暴雨预报方程, 实际预报效果检验结果表明该方程的预报质量优于实际业务中常用的数值预报产品。

**关键词:** 梅雨期暴雨, 气候特征, 预报方程, 效果检验

中图分类号: P456.8

文献标识码: A

文章编号: 1007-9033(2017)03-0231-05

doi: 10.12013/qxyjzj2017-035

## Study on a Rainstorm Forecasting Method During Meiyu Period in Wuhan

Xu Yingchun<sup>1</sup>, Liu Li<sup>2</sup>, Pang Jing<sup>1</sup>

1. Wuhan Meteorological Observatory, Wuhan 430040, China

2. Wuhan Dongxihu Vocational Technical School, Wuhan 430040, China

**Abstract:** Based on ground precipitation data and high meteorological detecting data in Wuhan during Meiyu period (June - July) from 2000 to 2012, the characteristics of Meiyu rainstorm in Wuhan were analyzed and the prediction equation was established using linear trend analysis and correlation analysis. Results indicated that the number of rainstorm days from June to July presented a trend that first increased and then decreased, with the maximum number of days appeared in late June. The rainstorm concentration period during Meiyu period was from late June to mid July, accounting for 61% of the total number of rainstorms days during the Meiyu period. The spatial distribution of rainstorm in Wuhan was not uniform, the precipitation intensity increased year by year. The natural weather threat index of Wuhan station, 850 hPa dew point temperature at Bose station, and 850 hPa wind direction and speed at Huaihua station were selected as the independent variable factors of rainstorm equation, to establish the rainstorm forecasting equation. According to the test results, the forecast performance based on the equation was better than the conventional numerical forecast product.

**Key words:** Meiyu rainstorm; climate characteristics; forecast equation; effect test

### 0 引言

梅雨期暴雨一直是气象学界研究的重点之一。

有的学者从暴雨机理上进行探讨, 建立了梅雨期暴雨多尺度物理模型和天气学模型, 并指出梅雨锋是由多个不同尺度系统构成, 介于温带锋系与热带辐

收稿日期: 2017-04-08; 修订日期: 2017-06-20.

基金项目: 武汉市气象局科技基金项目(编号: 2014Z03).

作者简介: 徐迎春, 硕士, 工程师, 主要从事天气预报与服务研究, E-mail: 89200262@qq.com.

合带之间的副热带锋系结构(倪允琪和周秀骥, 2004)。刘建勇等(2012)将梅雨期暴雨分为外强迫型、自组织型和非自组织局地型,指出不同的形成机制导致发生不同类型的梅雨期暴雨,从而增加了暴雨预报难度。张小玲等(2004)将梅雨锋上的暴雨分为中- $\beta$ 尺度对流性暴雨、初生气旋暴雨和梅雨锋西端深厚高空低压槽前持续性强暴雨,并探讨了三者之间的共同之处与不同之处。关于梅雨期暴雨的影响系统和气候特征的研究也有很多。张瑞萍等(2014)分析了2011年6月江淮梅雨期暴雨主要影响系统;孙素琴等(2016)分析了江西汛期暴雨和区域暴雨的时空分布特征;马音等(2011)将江淮梅雨分成淮河梅雨和江南梅雨进行降水量分析。

暴雨预报一直是气象预报业务的难点之一,其预报方法的研究也逐渐增多。金米娜(2009)概述了江西汛期暴雨预报方法研究进展,并提出了结合地形预报暴雨的思路。郭蕊等(2013)通过模式模拟和设计地形敏感性实验来进行探讨地形对暴雨的影响。对于梅雨期暴雨数值预报的研究,参数化方案是数值预报的关键,虽然WRF模式可模拟出暴雨中心和强度,但是不同的参数化方案对模拟的暴雨中心和强度均产生影响(谢胜浪等,2012)。郭立平等(2014)从地气耦合角度探讨了暴雨落区预报方法。此外,暴雨预报方法还有配料法(张小玲等,2010)、概率预报法(陈圣劼等,2016)等。

在实际业务中预报员需要依赖于数值预报方法,但由于数值模式的局限性和差异性,模式预报的暴雨强度和中心存在一定的偏差。而且,武汉地区梅雨期暴雨出现了新特征,主要表现为局地性强、雨强大等特点,这进一步加大了梅雨期暴雨预报难度。因此,文中对武汉地区梅雨期暴雨气候特征进行分析,并结合实况数据建立暴雨预报方程,以期对武汉地区梅雨暴雨预报提供参考。

## 1 资料与方法

文中使用的数据资料为武汉市气象局提供的2000—2012年梅雨期(6—7月)武汉、蔡甸、黄陂、新洲、江夏国家气象观测站日降水数据,以及20时高空探测数据。文中使用的方法有线性倾向分析、相关性分析与检验以及多元线性回归方法。

## 2 武汉梅雨期暴雨气候特征

### 2.1 暴雨日数

2000—2012年武汉地区梅雨期暴雨日总数达

59 d,年平均为4—5 d。其中,暴雨日数最多的年份为2010年,共10 d;最少的是2005年,仅1 d。图1给出了武汉地区梅雨期旬暴雨日数分布。分析发现,6、7月暴雨日数分别为29、30 d。6月的旬暴雨日数呈上升趋势,7月的旬暴雨日数逐渐减少。6月下旬暴雨日数最多,达14 d,较6月中旬增多了75%;最少的是6月上旬,仅为7 d。暴雨日数最多的3旬分别为6月下旬(14 d)、7月上旬(12 d)、7月中旬(10 d),占梅雨期间总暴雨日数的61%,为梅雨期暴雨集中期。

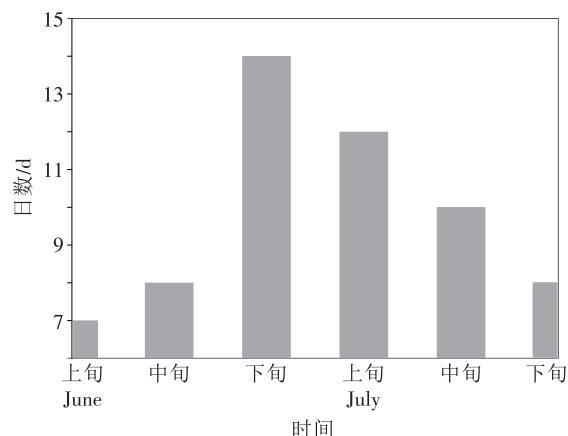


图1 2000—2012年武汉地区梅雨期旬暴雨日数分布

Fig. 1 Number of rainstorm days per ten days during 2000-2012 Meiyu period in Wuhan

### 2.2 暴雨区域

武汉地区出现日降水量 $\geq 50$  mm时,该日算为暴雨日,并且,当暴雨站数 $\geq 3$ 站时,定义为区域性暴雨,而暴雨站数 $\leq 2$ 站时则定义为局地暴雨。统计分析武汉地区5个国家气象站数据发现,2000—2012年武汉地区梅雨期共出现局地暴雨日30 d,占全部暴雨日数的51%。梅雨期暴雨表现出空间分布不均的特征,其中,2000、2008年最为明显。2000年梅雨期暴雨日数为2 d,第一个暴雨日暴雨集中在黄陂和新洲两站,第二个暴雨日仅武汉站出现了暴雨天气;2008年梅雨期暴雨日数仅为4 d,一个暴雨日最多有2站出现暴雨天气。

### 2.3 暴雨强度

暴雨强度定义为暴雨日武汉地区的5个国家气象站中日降水量最大值。分析2000—2012年武汉地区梅雨期暴雨强度(图2)可知,2000、2001年暴雨强度分别是76.3、84.7 mm,其他年份暴雨强度均大于100 mm,其中2012年7月13日黄陂站累计雨

量达到 285.2 mm。运用线性倾向分析方法(魏凤英,2007)对 2000—2012 年武汉地区梅雨期暴雨强度进行分析,结果显示暴雨强度整体呈线型上升趋势。拟合的线性倾向方程为:  $y = 11.2753t - 22470.0156$ 。其中,  $y$  为暴雨强度,  $t$  为年份。回归系数为 11.28, 相关系数为 0.79, 通过了信度 0.01 的显著性检验。

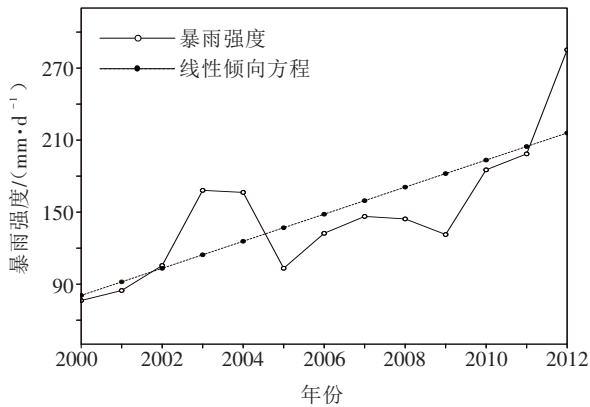


图 2 2000—2012 年武汉地区梅雨期暴雨强度及其变化趋势

Fig. 2 Rainstorm intensity and its linearity equation in Wuhan during 2000 - 2012 Meiyu period

### 3 梅雨期暴雨预报方程的建立及效果检验

计算了 2000—2012 年武汉地区梅雨期全国 91 个基本站点的物理量, 主要包括总指数、气团指数、沙氏指数、干暖盖指数、强天气威胁指数、简化沙氏指数, 以及 850 hPa 位势高度、温度、露点温度、风。武汉地区梅雨期暴雨序列(简称暴雨序列, 下同)定义为 2000—2012 年 6—7 月武汉站暴雨日为 1、非暴雨日为 0 的时间序列。通过对各站物理量与暴雨序列进行相关性分析, 筛选出通过了信度 0.05 的显著性检验且呈高相关性的站点物理量, 将其作为自变量, 建立武汉地区梅雨期暴雨预报方程。筛选出来的物理量包括武汉站强天气威胁指数、百色站 850 hPa 层的露点温度、怀化站 850 hPa 层的风向和风速。其中, 强天气威胁指数(陈鲍发, 2014)定义为  $I = 12t_d + 20(t - 49) + 4f_{850} + 2f_{500} + 125(s + 0.2)$ 。式中,  $t_d$  为 850 hPa 层的露点温度, 若该项是负数, 取值为 0;  $t$  为 850 hPa 层的温度、露点温度之和减去 2 倍 500 hPa 层的温度, 若  $t < 49$ , 则  $20(t - 49)$  置为 0;  $f_{850}$ 、 $f_{500}$  分别为 850、500 hPa 层的风速;  $s$  为 500 hPa 层的风向与 850 hPa 层的风向角度差的正弦。

### 3.1 物理量与暴雨序列的相关性分析

#### 3.1.1 强天气威胁指数

分析强天气威胁指数与暴雨序列相关系数分布(图 3)发现, 在湖北、云贵等地为正相关且呈现双中心结构, 中心分别位于武汉地区和贵州与云南交界处, 其中武汉地区相关性最强。负相关性区主要位于广东、福建以及中国的西北地区, 其相关系数绝对值小于正相关区。武汉站强天气威胁指数与武汉站暴雨日数呈显著正相关, 相关系数达 0.2, 通过了信度 0.05 的显著性检验。

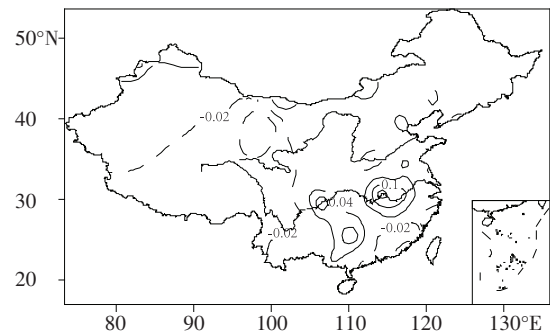


图 3 强天气威胁指数与武汉地区梅雨期暴雨序列的相关系数分布(通过了信度 0.05 的显著性检验)

Fig. 3 Correlation coefficients between SWAET index and rainstorm sequence during Meiyu period (at 0.05 significance level)

#### 3.1.2 850 hPa 层露点温度

分析 850 hPa 层露点温度与暴雨序列相关系数分布(图 4)发现, 全国范围内二者主要呈正相关, 南

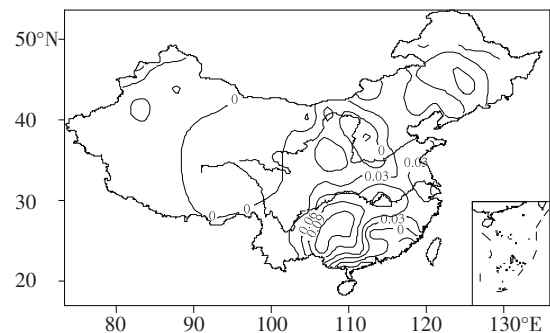


图 4 850 hPa 露点温度与武汉地区梅雨期暴雨序列相关系数分布(通过了信度 0.05 的显著性检验)

Fig. 4 Correlation coefficients between dew point temperature at 850 hPa and rainstorm sequence during Meiyu period (at 0.05 significance level)

方地区的相关系数大于北方,大值中心位于广西百色站附近。由于西南地区是武汉地区暴雨的重要水汽输送通道,因此该地的水汽含量对武汉地区梅雨期暴雨的形成有重大影响。

### 3.1.3 850 hPa 层风场

分析 850 hPa 层风场与武汉地区梅雨期暴雨序列的相关系数分布(图 5a)发现,风向与暴雨序列的相关系数分布在全国范围内呈现 2 个正负中心对,一个位于中国西北地区,另一个位于长江中下游附近,后者的相关性比前者更加显著。长江中下游附近的正负中心呈南北向分布,负中心位于长江北侧,

正中心位于长江南侧,比较两者相关系数绝对值,后者略大于前者,最大正值位于湖南怀化站,相关系数达 0.14,通过了信度 0.05 的显著性检验。850 hPa 层风速与武汉地区梅雨期暴雨序列的相关系数分布(图 5b),主要表现为一个正负中心对,且正中心的绝对值远大于负中心的绝对值,最大正值位于湖南怀化站,相关系数达 0.23,通过了信度 0.05 的显著性检验。武汉地区梅雨期暴雨发生时,广西至湖南地区为西南风(图略),怀化站附近 850 hPa 高度层表现为西南风,说明风速越大越有利于武汉地区暴雨的发生。

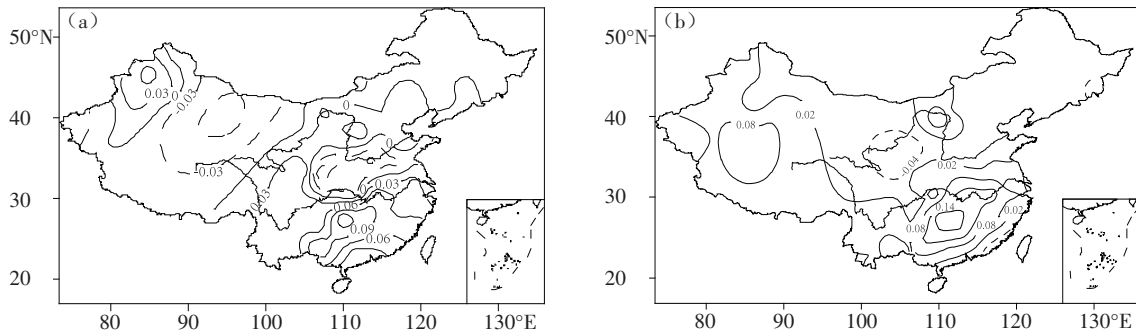


图 5 850 hPa 层风向(a)、风速(b)与武汉地区梅雨期暴雨序列的相关系数分布(通过了信度 0.05 的显著性检验)

Fig. 5 Correlation coefficients among wind direction (a), wind speed (b) at 850 hPa and rainstorm sequence in Wuhan during Meiyu period (at 0.05 significance level)

## 3.2 预报方程的建立

将武汉站强天气威胁指数( $x_1$ )、百色站 850 hPa 温度露点( $x_2$ )和怀化站 850 hPa 风向( $x_3$ )、风速( $x_4$ )作为暴雨预报方程的自变量,梅雨期武汉地区暴雨日 5 个国家气象站中最大日降水量( $y$ )作为因变量,建立武汉地区梅雨期暴雨预报方程:

$$y = -9.22 - 0.026x_1 + 1.88x_2 + 0.18x_3 + 2.91x_4 \quad (1)$$

方程统计量值  $F=2.59$ ,说明预报方程通过了  $\alpha=0.05$  的显著性检验。该暴雨预报方程基于暴雨样本建立,在业务应用中需要结合降水预报产品使用。结合 ECMWF\_THIN 和 T639\_THIN 数值预报模式的 24 h 降水预报,使用该方程对最大日降水量进行预报,分析其结果发现,当预报降水量大于 20 mm 时,预报效果最佳。故该暴雨预报方程的应用条件为 ECMWF\_THIN 和 T639\_THIN 数值预报模式的 24 h 预报降水量大于 20 mm。

## 3.3 预报方程的实际效果检验

2016 年武汉地区梅雨期暴雨频繁,暴雨日数较

常年偏多,但武汉站暴雨日数为 5 d,接近常年平均值,因此将其作为武汉地区梅雨期暴雨预报方程检验样本具有很好的代表性。检验方法为业务暴雨检验方法(陈超君等,2015),检验指标包括准确率、空报率和漏报率。

结合适用范围,使用预报方程对 2016 年梅雨期武汉站暴雨进行预报。将其预报质量与业务常用的 T639\_THIN、ECMWF\_THIN 和 GRAPES\_MESO 降水数值预报模式的预报质量进行对比,检验结果(表 1)显示,暴雨预报方程预报质量明显优于 ECMWF\_THIN 模式,而与 T639\_THIN 和 GRAPES\_MESO 模式相比,除空报率偏大外,其暴雨正确率和

表 1 2016 年武汉地区梅雨期暴雨预报检验结果  
Table 1 Rainfall forecast test results in Wuhan during Meiyu period in 2016

项目	准确率/%	空报率/%	漏报率/%
暴雨预报方程	55.6	44.4	0
ECMWF_THIN	25.0	60.0	60.0
T639_THIN	33.3	33.3	60.0
GRAPES_MESO	33.3	33.3	60.0

漏报率均有明显优势。因此,武汉地区梅雨期暴雨预报方程具有一定的业务应用价值。

#### 4 小 结

基于武汉地区国家基本气象站的日降水资料,分析了2000—2012年武汉地区梅雨期降水气候特征。同时,基于探空资料分析了国内站点物理量与武汉地区梅雨期暴雨的关系,建立预报方程并进行了实际预报效果检验。得到:

1) 武汉地区梅雨期(6—7月)各旬暴雨日数呈先上升后下降的趋势,最大暴雨日数出现在6月下旬;梅雨期暴雨集中期为6月下旬—7月中旬,其暴雨日数占梅雨期总暴雨日数的61%。

2) 武汉地区暴雨空间分布不均,雨强总体呈显著的上升趋势。

3) 通过物理量与暴雨序列相关性分析,筛选出武汉站强天气威胁指数、850 hPa百色站露点和850 hPa怀化站风向、风速作为预报因子,建立了武汉地区梅雨期暴雨预报方程,实际预报效果检验结果表明其预报质量优于业务常用的数值预报产品。

#### 参考文献(References)

- 陈鲍发. 2014. 强天气威胁指数(I)在景德镇市暴雨中的应用[J]. 江西科学, 32(5): 600-605. Chen B F. 2014. Application on SWEAT index in heavy rain storms of Jingdezhen city[J]. Jiangxi Science, 32(5): 600-605. (in Chinese)
- 陈超君, 李俊, 王明欢. 2015. 2013年汛期华中区域业务数值模式降水预报检验[J]. 气象与环境学报, 31(2): 1-8. Chen C J, Li J, Wang M H. 2015. Verification of precipitation forecast using an operational numerical model during flooding season of 2013 in the middle area of china[J]. Meteor Environ Sci, 31(2): 1-8. (in Chinese)
- 陈圣劼, 孙燕, 刘安宁, 等. 2016. 江苏暴雨概率预报及其业务应用[J]. 气象科学, 36(2): 269-274. Chen S J, Sun Y, Liu A N, et al. 2016. Application of the heavy rainfall probability forecast in Jiangsu[J]. Scientia Meteor Sinica, 36(2): 269-274. (in Chinese)
- 刘建勇, 谈哲敏, 张熠. 2012. 梅雨期3类不同形成机制的暴雨[J]. 气象学报, 70(3): 452-466. Liu J Y, Tan Z M, Zhang Y. 2012. Study of the three types of torrential rains of different formation mechanism during the meiyu period[J]. Acta Meteor Sinica, 70(3): 452-466. (in Chinese)
- 郭立平, 汤懋苍, 杨德保. 2014. 地气要素结合的廊坊地区暴雨落区预报方法[J]. 高原气象, 33(1): 270-276. Guo L P, Tang M C, Yang D B. 2014. Forecast method of earth-atmosphere elements binding of heavy rainstorm location in Langfang region[J]. Plateau Meteor, 33(1): 270-276. (in Chinese)
- 郭蕊, 苗春生, 张楠. 2013. 一次淮河流域梅雨锋暴雨的大别山地形敏感性试验[J]. 大气科学学报, 36(5): 626-634. Guo R, Miao C S, Zhang N. 2013. Sensitivity experiments of effects of Dabie mountains terrain on Meiyu front rainstorm over Huaihe River basin[J]. Trans Atmos Sci, 36(5): 626-634. (in Chinese)
- 马音, 陈文, 王林. 2011. 中国夏季淮河和江南梅雨期降水异常年际变化的气候背景及其比较[J]. 气象学报, 69(2): 334-343. Ma Y, Chen W, Wang L. 2011. A comparative study of the interannual variation of summer rainfall anomalies between the Huaihe Meiyu season and the Jiangnan Meiyu season and their climate background[J]. Acta Meteor Sinica, 69(2): 334-343. (in Chinese)
- 孙素琴, 许爱华, 郑倩, 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 Q, 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)
- 金米娜. 2009. 江西省汛期暴雨气候特点及预报方法综合分析[J]. 气象与减灾研究, 32(1): 69-72. Jin M N. 2009. Comprehensive analysis on climatic characteristics and forecast methods of heavy rainfall in Jiangxi during flood-season[J]. Meteor Disaster Reduction Res, 32(1): 69-72. (in Chinese)
- 倪允琪, 周秀曦. 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)
- 魏凤英. 2007. 现代气候统计诊断与预测技术(第二版)[M]. 北京: 气象出版社: 37-38. Wei F Y. 2007. Modern climate statistics diagnosis and prediction technology (second edition) [M]. Beijing: China Meteorological Press: 37-38. (in Chinese)
- 谢胜浪, 关吉平, 张立凤. 2012. 基于不同参数化方案的一次梅雨锋暴雨过程的集合预报试验[J]. 气象与减灾研究, 35(4): 26-33. Xie S L, Guan J P, Zhang L F. 2012. The physical ensemble prediction test of a Meiyu front rainstorm based on different parameterization schemes[J]. Meteor Disaster Reduction Res, 35(4): 26-33. (in Chinese)
- 张瑞萍, 马旭林, 盛文斌, 等. 2014. 2011年6月江淮梅雨暴雨主要影响系统特征[J]. 大气科学学报, 37(3): 366-377. Zhang R P, Ma X L, Sheng W B, et al. 2014. Characteristics of the main influential system of Jianghuai meiyu storm in June 2011[J]. Trans Atmos Sci, 37(3): 366-377. (in Chinese)
- 张小玲, 陶诗言, 孙建华. 2010. 基于“配料”的暴雨预报[J]. 大气科学, 34(4): 754-756. Zhang X L, Tao S Y, Sun J H. 2010. Ingredients based heavy rainfall forecasting[J]. Chinese J Atmos Sci, 34(4): 754-756. (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)