

文章编号:2096 - 5389(2018)03 - 0068 - 05

动力相似法在一次大暴雨过程中的应用

付世军^{1,2}, 竹利^{1,2}, 李晓容^{1,2}

(1. 四川省南充市气象局, 四川 南充 637000; 2. 高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室, 四川 成都 610072)

摘要:利用 NCEP 再分析资料、ECWMF 预报风场和历史降水量资料, 分别采用前人提出的相似量和本文改进的相似量进行动力相似选择试验。结果表明:改进后的相似量的相似选择效果最好。对于南充 2012 年 7 月 4 日区域大暴雨过程, 用改进相似量筛选出与此次过程最相似的历史个例, 进行对比分析后, 发现最相似个例风场与预报风场在形状、强度和影响系统空间配置都很相似, 降水实况接近。表明最相似个例的风场和降水资料对该次大暴雨过程的降水量级、落区预报有较高的参考和指示意义。

关键词:大暴雨; 动力相似; 形状; 相似量

中图分类号:P458.1⁺1.1 **文献标识码:**B

Application of Dynamic Similarity Method in A Heavy Rainstorm Process

FU Shijun^{1,2}, ZHU Li^{1,2}, LI Xiaorong^{1,2}

(1. Nanchong Meteorological Bureau, Nanchong 637000, Sichuan; 2. Heavy Rain and Drought - Flood Disasters in Plateau and Basin Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610072, Sichuan)

Abstract: By using NCEP reanalysis data, forecast wind field data of ECWMF and historical precipitation data, the similar measures proposed by predecessors and the improved similar measures in this paper were adopted to carry out dynamic analogue tests. The results show that the effect of the improved similarity measure is the best. In the regional rainstorm of Nanchong on July 4, 2012, the most similar historical example was selected with the improved similarity. After comparison and analysis, it is found that the wind field of historical example and the forecast wind field are similar in shape, intensity and weather system spatial configuration, and the precipitation is close to each other. It is indicated that the wind field and precipitation data of this historical example have high reference and indicating significance to the precipitation level and falling area forecast of the rainstorm.

Key words: heavy rainstorm; dynamic similarity; shape; similarity measure

1 引言

目前,数值预报对天气形势场的预报准确率较高,而针对暴雨的量级、时段和落区预报仍然是一个难题,除了与各种初始场的分析误差和模式误差有关以外,还与降水过程所伴随的动力、热力和水汽相变等物理过程以及局地复杂地形作用密切相关。动力相似法作为一种中长期天气预报的有效方法被普遍使用^[1-5],该方法避开大气内部复杂的物理过程以及局地复杂地形作用,能把宝贵的历史

资料得以利用。有不少学者应用该方法进行暴雨预报试验^[6-19],取得较好预报效果。李博等人^[20]开发出一种新的暴雨预报方法——综合多级相似预报技术,该技术运用减空法和极值剔除法对因子进行筛选,采用多种气象要素和多种物理因子场综合,进行各级相似试验和预报,在因子筛选过程中采用因子组合法,全面考虑各种因子及组合,对描述样本间的相似程度发挥出较好作用。试验结果表明该技术有较强预报能力。万日金^[21]等人用一种动力相似方法——海明距离法对广东省区域暴

收稿日期:2018 - 01 - 02

第一作者简介:付世军(1983—),男,工程师,主要从事天气预报及防灾减灾工作,E-mail:28669467@qq.com。

资助项目:南充市重大气象灾害预警与评估协同创新团队攻关项目(南气函[2016]16号);川东北持续性暴雨水汽特征研究(四川省重点实验室 2017—青年—20)。

雨进行预报试验,并开发出相应软件实现短期区域暴雨的自动、客观、定时、定点、定量预报,指出只利用 850 hPa 风场做相似预报效果优于综合相似,30 a 回报准确率达到 61.4%,利用历史资料越长预报效果和稳定性越好。罗阳^[22]等人的研究指出海明距离算法只能反映两个样本间空间距离(平均值差异),无法准确反映形状差异,而形状相似才是相似预报关键,因此提出了一个主要从形状相似来选择相似个例的相似量 R 。为找到更好的相似量,本文在海明距离法和相似量 R 的基础上进行改进,设计出一个能同时反映天气系统形状、强度相似程度的相似量 RZ ,进行相似选择试验,并取得较好试验效果。

2 方法与资料

2.1 方法

类比推理是当两个或两类事物在多个属性上都相同,可推断它们在其他一些属性上也相同。在气象预报研究中,相似的天气形势反映出相似物理过程,可能会出现相似天气现象。伴随着现代数值预报形势场愈加准确,尤其是 EC 欧洲中心 48 h 内预报场几乎可以代替实况场,因此,应用统计相似法求得预报场的相似历史个例,并对所对应的降水进行综合处理就可得出暴雨的量级、落区预报,称为相似预报方法。

在汛期四川盆地的水汽和能量条件都较充分,如大气获得较充分的动力条件就可能会产生暴雨。动力条件主要反映在风场的形状、强度以及空间配置上,利用风场预报场求得相似个例的方法称为动力相似法。相似性度量有多种,本研究采用基于海明距离和罗阳提出的相似量 R 改进而成的相似量,命名为 RZ , $RZ = 4 - H/E - R - Z/F$ 。式中,

$$H = \sum_{k=1}^m |x_{ik} - x_{jk}| \quad (1)$$

$$R = \sum_{k=1}^m |(x_{ik} - \bar{x}_i) - (x_{jk} - \bar{x}_j)| / \sum_{k=1}^m |(x_{ik} - \bar{x}_i) + (x_{jk} - \bar{x}_j)| \quad (2)$$

$$Z = \sum_{l=1}^n |(x_{ipl} - x_{iql}) - (x_{jpl} - x_{jql})| \quad (3)$$

H 为海明距离^[21], R 为罗阳相似量^[22], Z 为本文引入的影响式子,其中 i, j 代表两个样本, x 表示因子数值, m, n 表示因子个数, k, l 表示因子序号, p, q 表示选取的格点, E, F 为数值标准化参数, $E = H_{\max}/R_{\max}$, $F = Z_{\max}/R_{\max}$ 。在两个风场样本整体相似情况下,预报点附近风场相似程度更是选取相似个例的关键,故引入式子 Z 。

根据预报经验,四川盆地中东部偏南风的强弱能

较好反映本地暴雨天气系统强度。本研究中, (3) 式中 x 只使用风场 v 分量, p, q 分别表示以预报点为原点的直角坐标系中第二和第四象限中某两个格点,其连线经过原点附近。假设有形状一样的风场样本 1 和样本 2, 如图(1), 在第二、第四象限分别有两个格点 A 和 B 。将因子代入相似量 R 的分子中得:

$$|(VA1 - (VA1 + VB1)/2) - (VA2 - (VA2 + VB2)/2)| + |(VB1 - (VA1 + VB1)/2) - (VB2 - (VA2 + VB2)/2)| = |(VA1 - VA2)/2 - (VB1 - VB2)/2| + |(VB1 - VB2)/2 - (VA1 - VA2)/2| = |VA1 - VB1 - (VA2 - VB2)| = Z_{12}。$$

所以(3)式能一定程度反映预报点附近风场形状(涡度和散度)的相似程度。

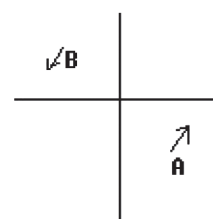


图 1 风场例图

Fig. 1 Wind field case diagram

2.2 资料

资料 1: 1970—2010 年 NCEP ($2.5^\circ \times 2.5^\circ$) 逐日再分析资料, 850 hPa 和 700 hPa 风场选取 $105 \sim 110^\circ\text{E}$ 、 $27.5 \sim 32.5^\circ\text{N}$ 范围内 9 个格点值, 500 hPa 选取 $100 \sim 110^\circ\text{E}$ 、 $25 \sim 37.5^\circ\text{N}$ 范围内 30 个格点值。参加相似计算历史个例时间段应与预报场时间段相近, 本研究选取预报时段前后 15 d 的历史个例参与计算选择, 共有 1 230 (41×30) 个历史样本参与计算试验。

资料 2: 选取 ECWMF 2012 年 7 月 3 日 08 时(北京时)起报的 24 h 预报风场做试验风场资料, 层次为 850 hPa、700 hPa 和 500 hPa, 其中 850 hPa 和 700 hPa 风场只选取 $105 \sim 110^\circ\text{E}$ 、 $27.5 \sim 32.5^\circ\text{N}$ 范围内 9 个格点值, 500 hPa 选取范围在 $100 \sim 110^\circ\text{E}$ 、 $25 \sim 37.5^\circ\text{N}$ 内 30 个格点值。

资料 3: 1970—2010 年南充市 7 个大监站历史日降水量资料。

编程环境: 本研究主要使用 C# 和 Fortran 语言进行编程计算, 程序开发环境为 Visual Studio 2012。

3 3 种相似算法对比试验

为比较海明距离、相似量 R 、相似量 RZ 3 种算法的选择效果。分别采用上述算法计算 850 hPa 历史风场与预报风场的相似量, 并利用冒泡排序法分

别进行排序,得到最靠前 10 个相似历史个例,将对应的风场、日降水量与预报风场、预报过程降水实况进行对比分析。结果表明用相似量 RZ 算法求得最相似个例的风场与预报风场较相似,用海明距离求得最相似个例风场中的影响系统(切变线)位置比预报风场中的影响系统偏南约 2 个纬度距离(图略),而由相似量 R 求得最相似个例风场中的影响系统(切变线)强度比预报风场中的影响系统明显偏弱(图略)。每种算法求得前 10 个相似个例对应的降水情况如表 1。

表 1 3 种算法求得前 10 个相似个例对应的降水情况表

Tab. 1 shows the precipitation conditions of the first ten similar cases

量级	大暴雨	暴雨	大雨	小到中雨	无雨
海明距离	0	1	0	4	5
相似量 R	1	0	2	5	2
相似量 RZ	4	1	4	1	0

2012 年 7 月 4 日为区域性大暴雨过程,因此所选个例中降水量为暴雨或大暴雨的个例数越多,表明该算法的选择效果越好(下同)。从上表可以看出,用海明距离算法选择的暴雨或大暴雨个例数最少,只选出一个暴雨历史个例,还有 5 个是无雨,相似量 RZ 的选择效果明显优于海明距离和相似量 R 这两种算法。

4 单层风场对比试验

万日金^[21]等人研究指出用 850 hPa 单层风场做广东省暴雨相似预报效果优于综合相似,但四川盆地地形复杂,用单层风场做相似预报效果又会怎样呢?为破解这个问题,本研究采用改进相似量 RZ 算法分别对 850 hPa、700 hPa 和 500 hPa 单层风场资料做相似选择试验。通过实验,分别计算出个例的分层相似程度排位,相加后得到排位总和,排序选出前 10 个历史个例,便是综合相似求得的结果。对所选出历史个例对应的风场、日降水量与预报风场、预报过程降水实况进行对比分析,表明用单层资料求得最相似个例的风场与相应层次预报风场较相似,但是其它层次的风场相似程度不高,而综合相似求得最相似个例的各层风场与预报各层风场都较相似(图 2)。另外单层风场相似和综合相似计算出的前 10 个相似个例对应的降水情况如表 2,可知,用单层风场进行试验,700 hPa 风场效果最好,850 hPa 其次,500 hPa 最差,综合相似选取的个例效果最好。下面给出综合相似选出的前 10 个个例及对应的排位总和与降水量级,如表 3。

表 2 单层风场相似及综合相似计算出的前 10 个相似个例对应的降水情况表

Tab. 2 Comparison of the first ten similar cases with the similarity of single layer wind field and comprehensive similarity

量级	大暴雨	暴雨	大雨	小到中雨	无雨
850 hPa	2	2	2	4	0
700 hPa	3	2	3	2	0
500 hPa	1	1	2	3	3
综合	4	4	2	0	0

表 3 综合相似前 10 个个例及对应的排位总和与降水量级

Tab. 3 The top ten cases and the corresponding ranking and precipitation levels

对比选项 个例时间	排位总和	降水量级
1978 年 7 月 4 日	56	大暴雨
1972 年 6 月 21 日	95	大暴雨
1978 年 7 月 3 日	102	大雨
1989 年 7 月 10 日	109	暴雨
1978 年 7 月 2 日	114	暴雨
2007 年 7 月 17 日	146	大暴雨
1981 年 7 月 14 日	168	大暴雨
1977 年 7 月 10 日	206	暴雨
2008 年 6 月 20 日	296	大雨
1983 年 6 月 24 日	317	暴雨

利用 C#调用 GrADS 绘制出上表中个例的 3 层风场图(图略),均与 EC2012 年 7 月 3 日 08 时起报的 24 h 预报风场存在相似性。1978 年 7 月 4 日个例排位总和最小,属最相似个例。1978 年 7 月 4 日个例的 3 层风场与 EC 2012 年 7 月 3 日 08 时起报的 24 h 预报风场进行对比(图 2):该个例与预报风场的形状和强度确实极为相似。500 hPa 影响系统均为一条位于甘南至攀西的东北—西南向槽线,前者的高空槽经向度更明显,位置更偏北,因此降水量级更大、落区较偏北(见图 3)。两次过程 850 和 700 hPa 影响系统均为东北—西南向切变线,强度比较接近,700 hPa 急流中心风速都达 16 m/s。前者个例的 700 hPa 切变线位于陕南至攀西一带,而预报风场 700 hPa 切变线位于陕南至乐山一线,较前者偏短,因此 1978 年 7 月 4 日个例的“列车效应”更明显,降水量级更大。从图 3 中可看出两次过程降水分布大致相似,都呈东北—西南向的带状分布,与对流层中低层切变线的形状较吻合。

对于 2012 年 7 月 4 日大暴雨过程,用改进后的相似量 RZ 算法综合选出最相似个例的 850 hPa、700 hPa、500 hPa 3 层风场与预报风场在形状、强度以及影响系统的空间配置上都较相似,并且最相似历史个例的降水与该大暴雨过程的降水实况也很接近。

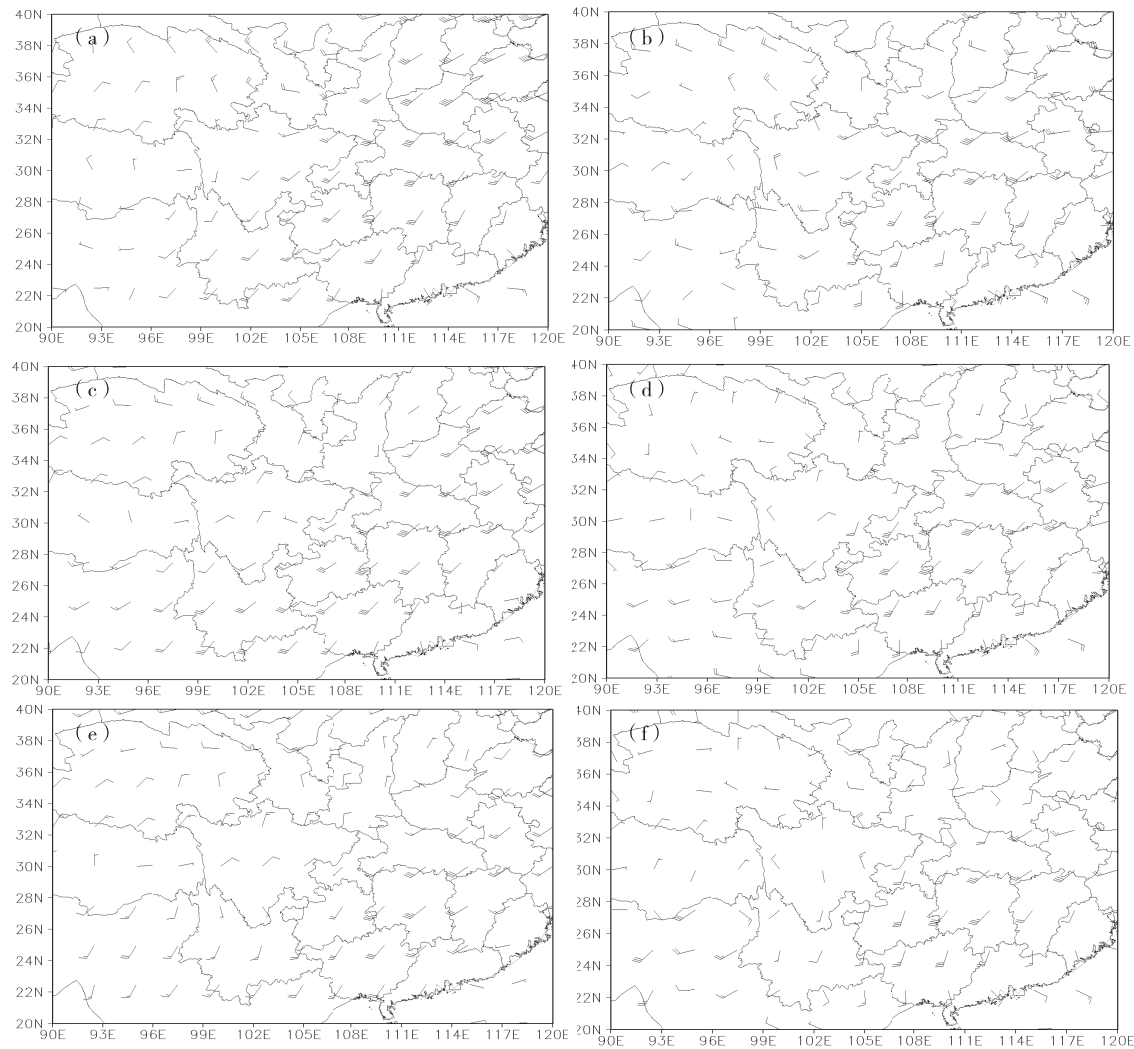


图2 风场对比图:其中(a)、(c)、(e) 分别为 1978 年 7 月 4 日 500 hPa、700 hPa、850 hPa 日平均风场, (b)、(d)、(f) 分别为 2012 年 7 月 4 日 08 时 500 hPa、700 hPa、850 hPa EC 预报风场

Fig.2 Comparison diagram of wind field. Among them (a), (c) and (e) are the average wind fields of 500, 700 and 850 hPa days on July 4, 1978 respectively, (b), (d) and (f), respectively, forecast wind fields of 500, 700 and 850 hPaEC on 4 July 2012 respectively.

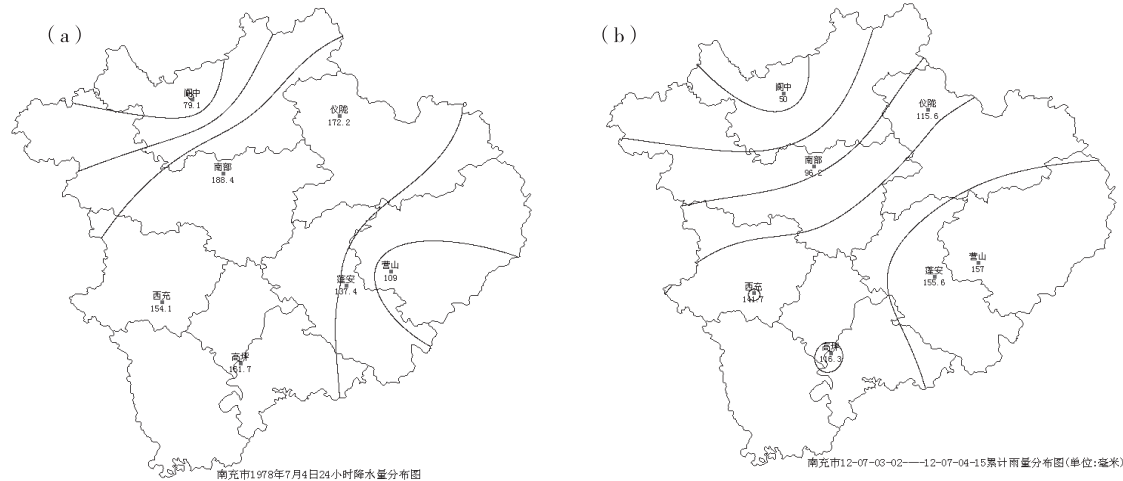


图3 降雨量分布图:其中(a)、(b)分别为 1978 年 7 月 4 日和 2012 年 7 月 4 日两次过程降水量分布图
Fig.3 rainfall distribution. Among them (a) and (b), the distribution of precipitation in the two processes on 4 July 1978 and 4 July 2012 respectively

本研究还利用EC 2012年7月3日20时(北京时)起报的24 h预报风场做试验,结果表明个例选取效果不如08时,可能是因为川东北地区强降水多集中在上午和后半夜,08时风场更能表征暴雨天气系统的动力结构特征。

5 结论与讨论

①针对2012年7月4日大暴雨过程,利用NCEP、ECWMF和历史降水资料,分别运用海明距离 H 、罗阳相似量 R 和本文改进的最优相似量 RZ 3种方法,进行动力相似选择实验,表明最优相似量 RZ 算法求得最相似个例的风场与预报风场最相似。

②用 RZ 算法分别进行单层(850 hPa、700 hPa和500 hPa)风场和综合3层风场对比试验,表明综合风场选出最相似个例的风场与预报风场在形状、强度以及影响系统的空间配置上都较相似,最相似个例降水与该大暴雨过程的降水实况也很接近。在实际业务中,可通过分析选取最相似历史个例的风场和降水资料对该次过程的降水量级、落区预报有较高的参考和指示意义。

③该方法选取个例的优劣很大程度上取决于数值预报风场的准确性。根据预报经验,由于四川盆地周围地形复杂,EC的850 hPa风场预报场与实况差异也较大,尤其是在风的强度上预报场比实况场明显偏弱。所以对EC 850 hPa风场的订正程序设计也是十分必要的。

暴雨天气过程是大气系统剧烈演变的过程,大气环流变化较快,而本研究用于选取个例的预报风场只能代表大气演变过程中一瞬间的风场形状和强度,有时无法反映天气系统的整个演变过程。因此,本方法对中短期大范围暴雨预报有较好使用价值,找准短时强降水天气过程相似历史个例有一定的难度。在下一步的工作中,将考虑开展针对水汽或能量相似方法的研究实验。

参考文献

- [1] 晁淑懿,金荣花. 一种综合相似中期预报模型[J]. 应用气象学报,1996,7(3):300-307.
- [2] 龚振淞,杨义文. 中国夏季旱涝气候预测相似模型[J]. 气象,2010,3(5):46-50.
- [3] 任宏利,张培群,李维京,等. 提高月预报业务水平的动力相似集合方法[J]. 气象学报,2014,72(4):723-730.
- [4] 钟元,腾卫平,胡波,等. 热带气旋中期路径的动力相似预测方案[J]. 海洋学报,2012,29(6):9-21.
- [5] 张延亭,单九生. 逐步引进因子场作相似预报[J]. 气象,2000,26(3):22-27.
- [6] 杨仁勇,伦绪勇,杨绍洪,等. HLAFS产品暴雨动力过程相似释用法及业务应用[J]. 气象,2003,29(7):27-30.
- [7] 任宏利,张培群,李维京,等. 基于多个参考更新的动力相似预报方法及应用[J]. 物理学报,2006,55(8):4388-4395.
- [8] 李开乐. 相似高度及其使用技术[J]. 气象学报,1986,44(2):174-184.
- [9] 阎惠芳,李杜宗,黄跃青,等. 常用相似判据的检验和综合相似系数的使用[J]. 气象科技,2003,31(4):211-215.
- [10] 晁淑懿,金荣花. 一种综合相似中期预报模型[J]. 应用气象学报,1996,7(3):300-307.
- [11] 龚振淞,杨义文. 中国夏季旱涝气候预测相似模型[J]. 气象,2010,3(5):46-50.
- [12] 李敏波,等译著. C#高级编程(4版)[M]. 北京:清华大学出版社,2006.
- [13] 梁飞燕,欧坚莲,潘昌志. 利用动力相似法作梧州地区台风暴雨短期预报[J]. 广西气象,1997,18(1):63-68.
- [14] 朱德生,方茸. 相似区间叠集成法在降水预报中的应用[J]. 气象,2000,26(3):38-42.
- [15] 刘景涛,高涛. 寻找相似天气过程的一中数学模型[J]. 应用气象学报,1997,8(1):78-84.
- [16] 胡鹏,谷湘潜,等. 泛相似预报法在汛期降水预报中的应用[J]. 气象学报,2005,63(2):250-355.
- [17] 赵光平,施新民,丁永红. 宁夏暴雨动力相似过滤预报系统[J]. 气象,2000,26(7):32-35.
- [18] 任宏利,封国林,张培群. 论动力相似预报的物理基础问题[J]. 地球科学进展,2007,22(10):1027-1035.
- [19] 于海鹏,黄建平,李维京,等. 数值预报误差订正技术中相似-动力方法的发展[J]. 气象学报,2014,72(5):1012-1022.
- [20] 李博,赵思雄,陆汉城. 综合多级相似预报技术在暴雨短期预报种的检验[J]. 应用气象学报,2008,19(3):307-313.
- [21] 万日金,何溪澄,林钢. 用动力相似方法预报广东省区域暴雨实验[J]. 热带气象学报,2006,22(2):198-202.
- [22] 罗阳,聂新旺,王广山. 几种统计相似方法的适用性比较[J]. 气象,2011,37(11):1443-1447.

[1] 晁淑懿,金荣花. 一种综合相似中期预报模型[J]. 应用气象学