

一种综合相似中期预报模型*

晁淑懿 金荣花

(国家气象中心, 北京 100081)

提 要

该文采用人机交互方式制作中期预报综合相似模型. 该模型在客观相似分析的基础上, 引入主导环流系统(关键区)和环流演变场, 以此来渗入预报员丰富的预报经验、降低相似环流变化的随机性, 经业务应用结果表明在中期天气要素预报上取得较好的效果; 同时模型具有广泛的适用性.

关键词: 主导环流系统; 演变场; 人机交互综合相似.

引 言

目前世界上1~5天或1~7天对流层中层500 hPa高度场的中期数值预报产品已具有相当的预报精度. 因此, 采用数值预报提供的未来5天500 hPa高度资料, 运用相似来制作旬天气趋势预报已为当前主要的业务预报方法之一. 在这类相似预报方法中, 多数用500 hPa候平均高度场和一些表征环流特征的物理量来进行客观的综合相似^[1, 2], 即按预先设定的框架进行客观计算. 然而, 由于这种预先的确定不易描述影响未来降水和气温的主要环流特征, 因而影响具体的天气要素预报; 同时由于未来10天中后5天环流变化不易正确估计, 随机性较大, 也会影响整个旬的预报效果. 为了在中期相似预报方法中改进上述两个方面的问题, 我们用人机交互的方式, 以客观相似与预报员丰富的实践经验相结合的综合相似预报方法, 来提高相似方法在中期天气要素预报中的使用效果.

1 相似思路

1.1 相似范围与资料

制作全国范围旬降雨量和旬平均气温趋势预报, 由于预报地域广、时效长, 必须有一定的相似范围与之相匹配, 所以重点分析欧亚范围(20°~80°N, 5°~150°E)大气环流的相似特征. 用1971~1992年候平均的500 hPa高度场和距平场及其高度演变场作为相似样本, 其中高度演变场是候内第3、4天高度和与第1、2天高度和之差. 在实际预报

* 1994-11-15收到, 1995-09-27收到修改稿.

时,相似对象则用欧洲中心中期数值预报(EC)48~144 h 产品,加工成相应的 500 hPa 候平均高度场和距平场,并将 96、120 h 高度和与 48、72 h 高度和之差作为高度演变场.格点资料的分辨率为 $5^{\circ} \times 10^{\circ}$ (纬距 \times 经距),相似范围内共有 195 个格点.为应用方便起见,依次从 $5^{\circ} \sim 150^{\circ} \text{E}$ 高纬到低纬顺序进行编号.在选相似候时,考虑到季节变化早迟的年际差异,因此当在相应候中没有较好相似样本时,再在其临近候内选取相似样本.

1.2 基本思路

1.2.1 主导系统与大气环流背景相似

我国夏季旬降水的主要雨带位置、强度以及冬季旬平均气温的冷、暖环流特征复杂多样.因此,根据相似对象的实际情况,判断未来第一候(相似对象)的主要环流特征进行相似分析,无疑是相似预报成败的关键之一.为此,我们充分发挥预报员丰富的中期预报经验,根据相似对象的环流特征来确定影响我国天气的主导系统,并把主导系统所在区域作为关键区.进行相似分析时首先要求这些关键区系统基本相似,然后再考虑大范围环流背景的相似.在环流背景相似中,既考虑欧亚范围平均环流的相似程度,也要考虑国内范围($20^{\circ} \sim 45^{\circ} \text{N}$, $85^{\circ} \sim 130^{\circ} \text{E}$)平均环流的相似性,因为后者对未来第 1 候的天气要素预报有着直接的影响,同时对其后 1 候的形势变化也会有较大影响.这样所选择的相似年份显然要比单纯考虑大范围环流相似、而忽略主导系统的效果要好,在我们实际的应用中也不乏其例.例如 1995 年 1 月 30 日用 EC 48~144 h 500 hPa 欧亚平均高度距平场(相似对象)进行相似计算,1978 年 2 月第 1 候为最佳相似,相似系数 0.5160;其次是 1981 年 2 月第 1 候,相似系数 0.4158.然而这两年 2 月上旬全国平均气温趋势很不相同,1978 年北冷南暖,1981 年则是北暖南正常略暖.若按本文思路,考虑相似对象的主要影响系统,即欧洲超长波槽、亚洲超长波脊及东亚槽几个关键区高度距平场的相似,则 1981 年相似要优于 1978 年,国内平均高度也极为相似,相似系数达 0.9489.因此,1981 年为 1995 年所选最佳相似年.1995 年 2 月上旬全国平均气温的实况是北方暖、南方正常,与相似年 1981 年 2 月上旬平均气温趋势非常接近.

1.2.2 动态与静态相似

由于旬预报时效长,如果只注重关键区内主导系统的相似,而不考虑其可能的演变趋势,那么,不同的发展趋势可能会给后 1 候天气相似造成大的差异^[4].为此采用高度演变场来反映关键区主导系统在该地区的发展趋势.用动态相似使相似对象的主导环流系统变化与相似年的环流变化更为逼近,从而提高旬天气要素相似的可靠性.试验表明,演变场相似在相似预报中有着更为重要的贡献,因而进行加权处理,一般演变场相似的权重加大到 2 倍较为适宜.

除了采用上述关键区演变场动态相似之外,同时还应考虑一些地区锋区强度、高低值系统相互配置以及水汽输送等候平均状况的相似性.选择某些地区特定方向上一些格点的高度差作为表征这些物理量的参数.由于这些物理量参数有季节性,因此冬半年主要侧重考虑西风锋区强度、冷空气南下的动力因素等;而夏半年则更多考虑有利水汽输送的形势配置.同时,由于夏季(6~9 月)各月影响我国降水的主要系统的气候特点有所不同,所以各月所取物理量参数也不尽相同.

1.2.3 客观相似与主观判断相结合

根据上述主导环流系统、欧亚距平场和国内平均高度场、演变场和物理量参数等5项相似计算的结果,剔除欧亚距平相似系数小于0.2000、国内环流相似系统小于0.6000的年份.然后按综合相似名次取1~3个相似年.在夏半年,还需考虑 $100^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$ 范围内中低纬 $20^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ 和低纬 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$ 的副高面积指数,若面积指数相差5以上,或者位置相差5个纬距的相似样本也将被剔除.

由于环流形势错综复杂,要选到十分相似的年份是不太可能的.所以根据实际经验,在客观相似的基础上进行主观分析和判断,这在一定程度上可以改善旬天气要素的预报能力.首先,突出对比主导系统更为相似的年份作为最佳相似年.然后,在相似年基础上作旬天气要素预报时,要注意最佳相似年与相似对象之间主导系统在位置、强度之间存在的差异,并据此对相似年的旬主要雨带位置、强度或旬平均气温正负距平的范围和大小进行适当修正.最后,作出客观计算和主观判断的综合相似预报.例如,1995年6月18日的实时预报,从EC 48~144 h(即6月20~24日)500 hPa平均高度图和距平图上(图1b),东亚地区自高纬至低纬出现高(正距平)、低(负距平)、高(正距平)的东亚遥相关形势,这也是长江中下游地区梅雨的典型环流型.我们以这3个主导系统所在位置作为关键区进入相似模型进行相似计算和分析,最后选取最佳相似样本为1991年7月第1候(图1a).该年7月上旬降水的主要特点是在江淮至云贵高原北侧有一条略呈东北—西南走向的极强降雨带,雨带中心位于江淮地区,降水强度达400~600 mm以上(图2a).在预报分析时,我们仔细对比相似年和相似对象(图1a, b),从中注意到:(1)相似对象东亚 $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 地区西风急流位于 35°N 附近,而相似样本位于 $35^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$,即实时锋区位置要比相似年偏南;(2)西北太平洋副高强度较相似年要弱;(3)从西西伯利亚和库页岛南下的冷空气强度比1991年要弱.根据客观相似和主观判断的综合,预报1995年6月下旬有类似于1991年(图2a)的强降水雨带.考虑到上述3点,估计长江

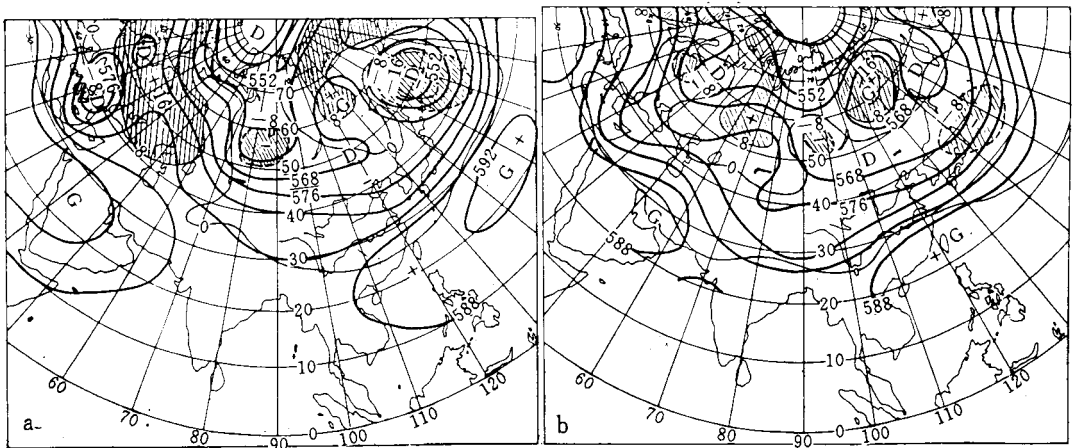


图1 500 hPa平均高度场和距平场(a)1991年7月1~5日, (b)1995年6月18日EC 48~144 h 预报

Fig. 1 The 5-day mean height field and corresponding anomaly field at 500 hPa for the period (a) July 1~5, 1991 (sammple) (b) 48~144 h EC forecasts on June 18, 1995

中下游雨带位置将比 1991 年偏南，主要位于沿江和江南北部地区，降水强度也将有所减弱，降雨中心为 300~400 mm(图 2b)。与实况(图 2c)十分接近。

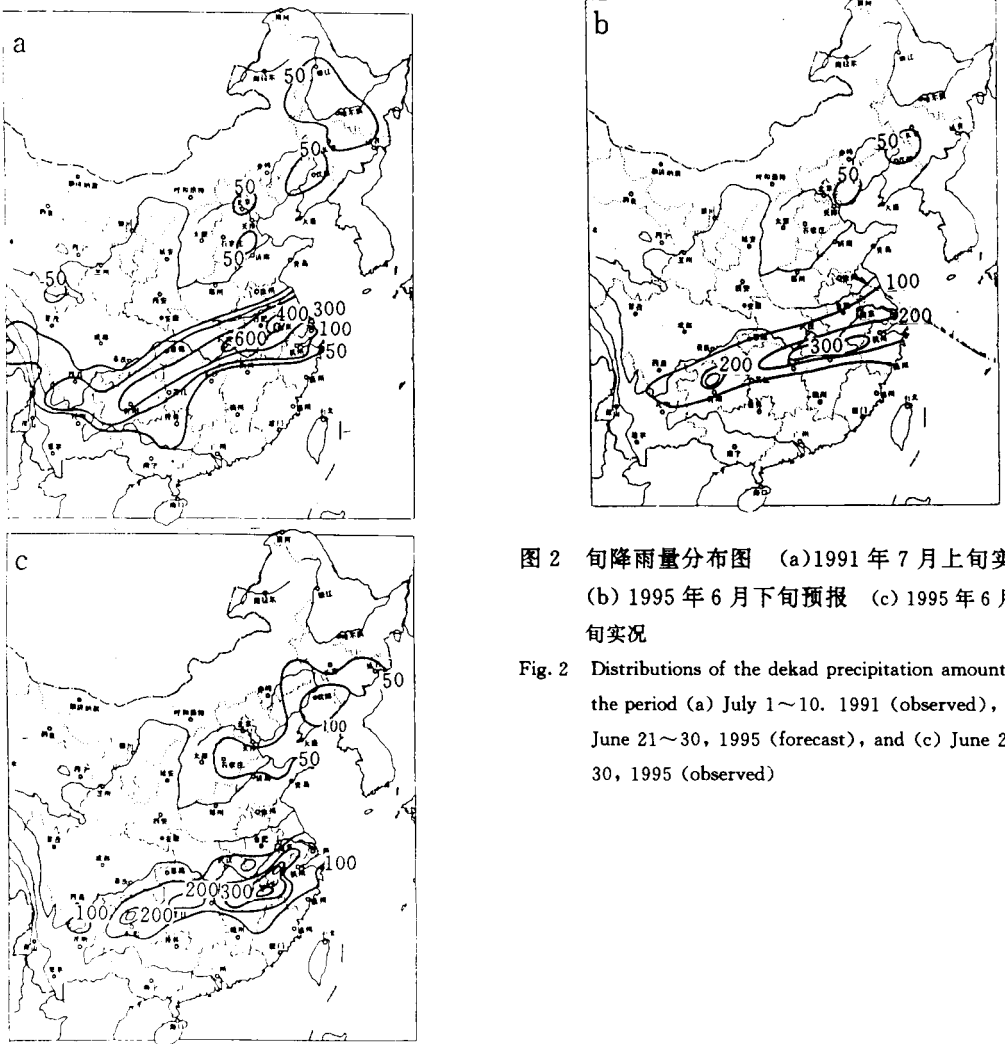


图 2 旬降雨量分布图 (a)1991 年 7 月上旬实况 (b) 1995 年 6 月下旬预报 (c) 1995 年 6 月下旬实况

Fig. 2 Distributions of the dekad precipitation amount for the period (a) July 1~10, 1991 (observed), (b) June 21~30, 1995 (forecast), and (c) June 21~30, 1995 (observed)

2 相似模型与主要相似方法

2.1 相似模型

按照上述相似思路，设计了中期天气预报人机交互综合相似模型。在月末制作下旬天气要素相似预报时，由当时 EC 48~144 h 500 hPa 的平均距平场图上距平分布的显著特征和预报员经验，选择主导系统关键区，经试验一般取 3~6 个关键区，每个区域由 6~10 个格点作代表。相似计算时，依次把格点编号输入机器，运用模糊优先比方法，从历史资料相应候或临近候的样本中挑选出前 10 名相似样本作为初选相似样本。然后，进一步计算欧亚距平场相关系数、国内环流相似指数、关键区演变场相似和物理量相似等

一系列客观相似分析和主观综合判断, 最终做出旬降水量或旬平均气温预报图. 相似模型的整个运行过程见图 3.

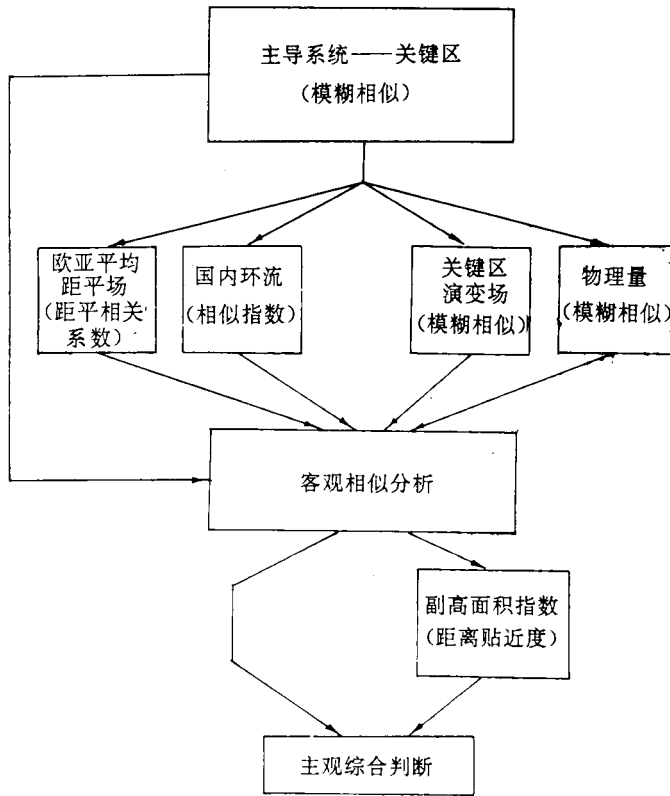


图 3 人机交互综合相似模型

Fig. 3 Structure of the synthetic analogue model by man-machine interaction

2.2 主要相似方法简介

2.2.1 距平相关系数

$$R = \frac{\Sigma(F - C - M_{FC})(A_v - C - M_{VC})}{\sqrt{\Sigma(F - C - M_{FC})^2 \Sigma(A_v - C - M_{VC})^2}} \cdot \cos\varphi$$

$$M_{FC} = \frac{1}{N} \Sigma(F - C) \quad M_{VC} = \frac{1}{N} \Sigma(A_v - C)$$

其中 F 为预报值, C 为多年平均, A_v 为相似样本值, φ 为纬度. 该方法用于欧亚距平场相似.

2.2.2 模糊优先比

任取 x_A 、 x_B 与固定的 x_F 作比较, 计算

$$r'_{AB} = \frac{d'_{FB}}{d'_{FA} + d'_{FB}}, \quad r'_{BA} = \frac{d'_{FA}}{d'_{FB} + d'_{FA}}$$

$$d'_{FB} = |x'_F - x'_B|, \quad d'_{FA} = |x'_F - x'_A|$$

其中: $l=1, 2, \dots$ 为因子数; $A, B=1, 2, \dots, n$ 个样本, 若 $r_{AB}=1$, 则 x_A 最佳相似于 x_F , $0.5 < r_{AB} < 1$, 则 x_A 优于 x_B 相似于 x_F . 因 r'_{AB} 与 r'_{BA} 两式分母相同. 实际只计算 d'_{FB} 和 d'_{FA} 进行比较, 然后每个因子按其值从小到大给予 $1, 2, \dots, n$ 序号 R'_A , 最后根据各样本 l 个因子的序号之和 $R_A = \sum_{i=1}^m R'_A$ 从小到大决定最优先相似的名次. 该方法不直接用距离数值而用序号, 使各个不同量级的因子占相同比重, 故用于关键区、演变场和物理量相似计算.

2.2.3 相似指数^[3]

$$I_{AF} = r_{AF} \left(1 - \frac{E_{AF}}{n\sigma}\right), \quad E_{AF} = 1 - \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{S=1}^m (F_S - A_S)^2}$$

$$r_{AF} = \frac{\sum_{S=1}^m (F_S - \bar{F}_S)(A_S - \bar{A})}{\sqrt{\sum_{S=1}^m (F_S - \bar{F}_S)^2 \cdot \sum_{S=1}^m (A_S - \bar{A})^2}}$$

这里 r_{AF} 是相似系数, E_{AF} 是欧氏距离, $\sigma = \frac{1}{2}(\sigma_A + \sigma_F)$ 为两个气象场的均方差 σ_A 和 σ_F 的平均值, n 是正实数, 用以控制 E_{AF} 的作用. 相似系数反映两个气象场的高低值分布较好, 距离表示两个场数值近似程度, 相似指数 I_{AF} 结合两者之长处, 从图形和数值两方面更好地反映两个场的相似性. 可应用于国内环流相似.

3 业务应用评估

人机交互综合相似方法于 1994 年 1 月正式投入实时业务, 总的来看在天气要素中期预报方面取得了较好效果. 下面就 1994 年 1~3 月和 6~8 月相似预报产品对冬半年温度和夏半年降水的应用效果进行初步评价.

3.1 冬半年旬平均气温趋势预报

按中央气象台旬平均气温距平预报的评分标准, 用全国均匀分布的 32 个站点对 1994 年 1~3 月 9 个旬的旬平均气温趋势相似预报进行评分, 并与多年平均预报得分 (即平均准确率) 对比, 其结果列于表 1. 在这 9 个旬中相似预报评分高于多年平均准确率的有 8 个旬, 占 88.9%, 且平均高出 9.9 分, 其中 2 月下旬最好, 比同期平均准确率高出 20 分.

表 1 1994 年 1~3 月各旬平均气温距平相似预报评分和多年平均准确率对照表

Table 1 Comparison between the score of analogue forecast and corresponding secular mean accuracy for the dekad mean temperature anomalies during Jan. ~ March, 1994

	1 月			2 月			3 月		
	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
相似预报评分	92	74	86	98	83	94	86	86	88
平均准确率	80	76	73	84	75	74	82	81	73
差 值	12	-2	13	14	8	20	4	5	15

2.2 夏半年旬降雨量趋势预报

1994年6~8月9个旬降雨量趋势相似预报和实况对比分析表明(表略),6月中旬、下旬、7月中旬、下旬和8月上旬、中旬、下旬共7个旬的降水实况与相似年的主要雨带

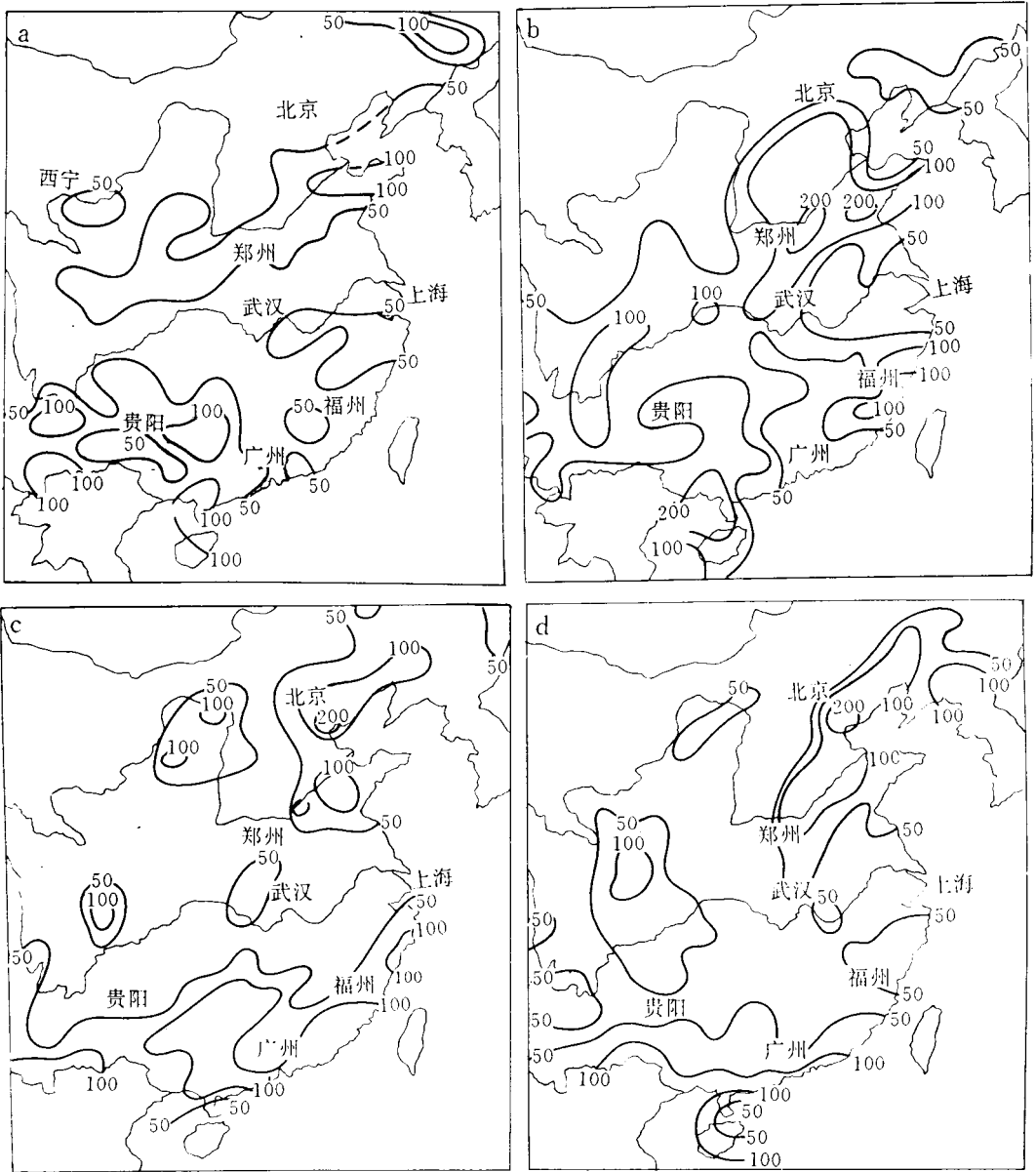


图4 1994年6月下旬降雨量(a)与对应相似年1971年6月下旬降雨量(b)1994年8月上旬降雨量(c)与对应相似年1984年8月上旬降雨量(d)

Fig. 4 Distribution of the dekad precipitation amount (a) for the period June 21~30, 1994 (observed), and (b) for a corresponding analogue period June 21~30, 1971, (c) for the period August 1~10, 1994 (observed), and (d) for a corresponding analogue period August 1~10, 1984

及多雨区域基本相同，占 77.8%，降水实况与相似年差异很大的只有 6 月上旬。

值得一提的是 1994 年汛期降水的两个主要特征，即主要雨带北抬早，6 月下旬开始雨带就跃入北方地区；南北两条雨带持续时间长。相似模型的预报都能显著的反映（见图 4）。根据相似模型产品，1994 年 8 月上旬相似 1984 年 8 月上旬的降雨趋势，应预报该旬南北两条雨带依然维持外，还预报将出现台风登陆北上与西风槽结合，可能造成江淮与黄淮等地区的暴雨和大暴雨天气趋势。实况是 1994 年 13 号台风固然在福建龙海县登陆后减弱北上与河套低槽结合产生强降水天气，在鄂、豫、鲁等省出现 50~110 mm 降雨。

4 结 语

人机交互综合相似预报方法是通过引入主导环流系统、客观相似计算和天气要素相似分析判断的人机交互过程。使相似预报既有一定的客观性，又充分发挥了预报员的实践经验。经实际应用表明，这一相似预报方法对于改善中期天气要素预报业务能力有相当的参考价值。另外，由于本模型是根据预报对象、灵活选取主导环流系统进行相似分析和预报。因此，对于不同预报范围和预报对象可按模型的思路略作修改，就可以投入业务使用和科研分析。所以人机交互综合相似预报方法具有一定的通用性。

参 考 文 献

- 1 钟元, 李秀莉, 姚嘉玲, 朱美娜. 中期天气客观相似预报方法. 气象, 1988, 14(4): 8~11.
- 2 沈如金. 全国中期天气预报方法和低频振荡理论应用学术讨论会. 气象, 1994, 20(1): 53~54.
- 3 仇水炎等. 中期天气预报. 北京: 科学出版社, 1985. 353~356.
- 4 林振山. 长期预报的相空间相似法. 应用气象学报, 1991, 2(4): 440~444.

A SYNTHETIC ANALOGUE MODEL FOR MEDIUM-RANGE FORECASTING BY MAN-MACHINE INTERACTION

Chao Shuyi Jin Ronghua

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

The synthetic analogue model of medium-range forecast was made by means of man-machine interaction. Based on the objective similarity analysis, the prevailing circulation system (key regions) and the circulation evolution field were introduced into the model, so that the forecaster's experiences were effectively applied and the randomness of similar circulation evolution was reduced. The better results of the operational application in medium-range weather element forecasting were obtained, and the model could be widely used.

Key words: Prevailing circulation system; Evolution field; Synthetic analogue by man-machine interaction.