

根据天气类型划分欧洲中期天气 预报中心的集合预报产品*

杨学胜

(国家气象中心, 北京, 100081)

Jean Nicolau Nicole Girardot

(法国气象局气象服务开发中心, Toulouse, 31057)

摘 要

该研究的主要目的是找出一种对集合预报产品进行释用的新方法。其基本假定是集合预报要素在一定程度上代表了未来可能发生的天气形势。为了解决天气尺度在中期预报的不可预报性问题, 引入了天气类型的概念。对集合预报进行划分的方法是 Diday 提出的动力模糊法, 初始划分时的重心由天气类型定义, 划分用到的距离是位移和最大相关方法。根据城市块 (City-Block) 距离找出了影响中国的按冬夏两季划分的天气类型, 初步划分结果表明, 欧洲中期天气预报中心的集合预报系统可以预报出横槽转竖型天气类型的演变情况, 在夏天的预报效果则没有冬天好。

关键词: 集合预报, 自动划分, 天气类型, 位移和最大相关。

1 引 言

众所周知, 数值预报模式的预报误差随着预报时效的延长而增加, 其中的一个原因在于描述大气运动的模式是不完善的, 包括物理参数化方案、各种空间时间离散等。但这并不是惟一的原因, Lorenz^[1]曾指出, 引起数值预报模式误差的主要原因在于大气是一个混沌系统, 也就是说, 从两个非常相似的初始状态起步的预报在积分4~8 d 以后可能变得面目全非。另外人们对大气初始状态的了解也是不完善的, 一方面世界上尚有一部分地区的观测网点很少, 而另一方面即使在资料密集的地区, 我们对小尺度过程的了解还远远不够, 而这些小尺度往往会很快地影响到模式的中期预报。在理想情况下(初始误差小, 模式完美), 大气的可预报时效为2~4周^[2]。

目前我们既不可能准确地观测到大气的初始状态, 也没有一个完美的模式能够识别所有的空间尺度。为了解决初值问题, Epstein^[3]和 Leith^[4]提出了在分析场上人为地加上一个小扰动, 然后从这些受扰的初始场出发, 用同一个预报模式进行时间积分的想法。由于受到当时计算机条件的限制, 这一创造性的想法并未能在业务数值天气预报中得以实

* 初稿时间: 1999年4月2日; 修改稿时间: 1999年5月17日。

资助课题: 法国国家奖学金项目。

施。进入20世纪90年代,随着大规模并行计算机的发展以及气象技术的进步,一种新的工具“集合预报系统”(Ensemble Prediction System,简称EPS)1992年首先在欧洲中期天气预报中心欧洲中期天气预报中心(ECMWF^[5])和美国国家环境预报中心NCEP^[6]投入业务运行。该系统的运行使中期天气预报的概率预报成为可能。

目前ECMWF集合预报系统的初始扰动场为50个,加上1个非扰动场,共有51个不同的预报场。从业务预报的角度来看,要在一个有限的时间内,找出这51个预报场间的相同点和差异几乎是不可能的。因此需要对这些预报进行处理合成,如Ward^[7]的聚集法,瑞典气象局使用的神经元法^[8]和ECMWF现在使用的管子法^[9]等。其中前两种方法是要找出集合预报中的相似要素。管子法则强调了集合中各元素之间的主要差别,它更注重集合的平均及其极值。这些方法对集合预报系统的产品释用提供了一种简捷、有效的方法。

Vautard^[10]曾指出大气的低频变率与几个持续的大尺度结构的交替变化有关,并找出了影响欧洲的4类天气形势(大西洋脊型、纬向型、阻塞型和格陵兰反气旋型)。为此,在本文我们将引入天气类型的概念,并以此为基础用一种新的划分方法对集合预报要素进行划分,试图得到每类天气形势发生的概率。

2 天气类型及用到的产品

一般来讲,空间大尺度对应于较慢的天气演变系统,而小尺度对应于快的天气系统。一些气候研究^[11]也表明大气中存在静态的天气类型,另外一种谱方法^[12]也指出大气波动的可预报性与其波长有关,即长波比短波具有更好的可预报性。也就是说,一个数值模式预报一个反气旋的位置和强度成功的机会要比预报一个降水雨带的机会大得多。图1给出了对500 hPa高度场进行谱分析后得到的预报误差的能量超过初始分析能量的波数随时间演变情况^[13],可以看出从第5天开始次天气尺度和天气尺度的可预报性比较差。

因此对中期预报来讲,从第5天开始,问题在于预报具有比天气波动更大波长的天气现象,法国气象局的气象服务开发中心(SCEM)称之为超天气尺度(波数小于15)。在本文中,我们将以此尺度为基础来识别和预报中期的气象结构。天气类型因此被定义为持续时间为2 d以上且变化很小的大尺度环流。而预报员对此天气类型较为熟悉,可以很容易地将其识别并与某一敏感天气联系起来。因此一个具体的天气形势或对应于某一选定的天气类型,或几个天气类型的迭加,并与地理位置和季节有关。

ECMWF生成初始扰动的方法为奇异向量法,其预报模式为T159L31^[14,15],因此该系统提供了由加上小扰动的初始场起步的50个预报要素,1个从未经扰动起步的控制预报、51个要素的集合平均。这里仅对51个集合预报要素进行划分。

3 划分用到的距离

如前所述,从业务预报的观点来讲,要在短时间内对51个预报作出评估并找出最有可能发生的天气系统几乎是不可能的。因此为了便于集合预报系统产品的应用,人们提出各

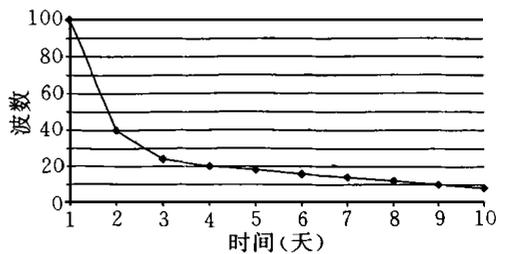


图1 预报误差的能量超过初始分析能量的波数随时间演变

种不同的方法,其中之一为自动划分方法。自动划分的目的就是要通过寻找集合中相似的元素,给出最好的划分。其原理可以表示为:不同分类之间的距离应达到最大,而同一分类内元素之间的距离为最小。

本文中用的方法为 Diday^[16]提出的动力模糊法,它通过一定数量的迭代,逐渐修正初始划分。

为了便于理解,假定要划分的场为500 hPa 高度场。定义 I 为集合预报中的一个要素 ($I = 1, \dots, N$, 这里 $N = 51$), 共有 $j = 1, \dots, N_P$ 个格点。现在我们对每一个元素进行划分,假定第 I 个元素被划分到第 k 类中 ($k = 1, \dots, K$), C_k 为对第 k 类的划分, n_k 为分类 k 的基数, X 为 N 个预报中的任一元素,在此基础上引入重心的定义。

如果某一分类中的元素比其它分类中的元素更接近于其重心,则这些元素将归于 C_k 类。对分类 k 在点 j , 其重心表示为:

$$G_k(j) = \frac{1}{n_k} \sum_{I=1}^N X_I(j) \quad (1)$$

文中用到了两个距离以满足不同的需要。

3.1 城市块(City-Block)距离

对城市块距离来讲,应提供一个初始划分。假定 G 为所有元素在点 j 的平均:

$$G(j) = \frac{1}{N} \sum_{I=1}^N X_I(j) \quad (2)$$

$G_1, \dots, G_k, \dots, G_K$ 为初始提取时的重心,因此第1次迭代时的距离为:

$$d_k^0(X_I, G_k) = \sum_{j=1}^{N_P} \lambda_j^0 |X_I(j) - G_k(j)| \quad (3)$$

其中,

$$\lambda_j^0 = \frac{\prod_{s=1}^{N_P} \left[\sum_{I=1}^N |X_I(s) - G(s)| \right]^{\frac{1}{N_P}}}{\sum_{I=1}^N |X_I(j) - G(j)|} \quad (4)$$

这里, λ_j^0 表示初始划分时的系数,分母表示某一元素与平均场 G 之间在点 j 的平均偏差,分子表示在划分区域内偏差的代数平均。因此 λ_j^0 是一个在点 j , 在其平均值周围变化很小的正实数。

从第2次迭代开始, City-Block 取如下形式:

$$d^k(X_I, G_k) = \sum_{j=1}^{N_P} \lambda_j^k |X_I(j) - G_k(j)| \quad (5)$$

其中,

$$\lambda_j^k = \frac{\prod_{s=1}^{N_P} \left[\sum_{I=1}^N |X_I(s) - G_k(s)| \right]}{\sum_{I=1}^N |X_I(j) - G_k(j)|} \quad (6)$$

其中,分母表示分类 k 中的某一元素在点 j 对其重心的平均偏差,分子则表示这个偏差在整个区域上的几何平均。因此系数 λ_j^k 表示在平均场 G_k (由前一次迭代定义的分类) 周围的相对变化。每次迭代需重新计算 G_k 和系数 λ_j^k , 通过迭代,那些最接近的元素将被划分到新的分类。

3.2 位移和最大相关距离

数值模式并不能模拟真实的天气演变情况,尤其在预报中期天气过程时,预报的槽、脊位置等可能领先于分析场,或者落后于分析场。因此,我们引入了一个新的距离——位移和最大相关距离。位移指的是集合预报要素和重心之间的位移,文中考虑了预报领先于重心和落后于重心两种情况。相关系数距离定义为:

$$d = \frac{\overline{G \cdot F} - \overline{G} \cdot \overline{F}}{[\overline{G^2} - \overline{G}] [\overline{F^2} - \overline{F}]} \quad (7)$$

这里对任一变量 X , \overline{X} 表示相交区域内的平均。 G 指重心, F 表示预报。

对该距离来讲,需要确定在 x 和 y 方向的最大位移 $N_{x \max}$, $N_{y \max}$, 同时在相交区域内需保证一定数目的网格点,不然的话较少的网格点可能导致较高的相关系数,而实际上预报场与重心之间的差别比较大。在文中,为了滤掉小尺度系统,根据所研究现象的尺度大小,我们取最大位移 $N_{x \max} = N_{y \max} = 2$ 个格点。另一方面需要根据4类可能的位移确定相交区域。

实际上,天气类型仅仅是影响某区域的主要天气形势,而实际大气的演变并不是这些天气形势的复制品,因此,该方案考虑了天气系统的位移变化。

3.3 初始化类型

自动划分的过程实际是一个迭代收敛的过程,因此需要对一个初始划分进行处理。文中用到了两种方法。

3.3.1 在给定集合中寻找距离最远的元素

即不同分类之间的距离为最大。步骤如下:

(1) 在给定集合中任意提取一元素作为初始划分的重心;

(2) 寻找与初始重心之间最远的元素,然后为第3个并使其对前两个重心之间的距离之和达到最大,直至最后1个重心;

(3) 最后需重新确定第1个重心:使其与其它元素之间的距离之和为最大。

该初始化方案将用于定义影响中国的天气类型。

3.3.2 重心事先确定

该类型用于对集合预报系统的要素进行划分。

如前所述,划分过程是一个收敛过程,迭代收敛的速度与集合的大小、分类的个数、选取的初始化类型有关。一般来讲,10次迭代就足够了。对第2类初始化方案来讲,第1次迭代时的重心为事先选定的天气类型。

4 ECMWF 集合预报系统对中国区域的划分

在中国区域,由于缺少天气类型,首先我们利用自动划分方案对其进行定义,在此基础上,根据位移和最大相关距离对集合预报产品进行划分。

4.1 数据和选取的区域

为了获得天气类型,我们用 ECMWF 15 a 的500 hPa 高度场再分析资料(1979 ~ 1993)进行划分,选取的区域为5 ~ 65 N, 55 ~ 145 E, 格距为2.5°。

4.2 天气类型的定义

对一较长的样本来讲,自动划分的一个用途就是对某一区域的天气形势进行划分,所

采用的初始化类型为寻找类与类之间距离最远的元素, 划分时用到的距离为 City-Block。由于影响中国的冬、夏季节的天气差别较大, 故按冬、夏两季进行划分。

4.2.1 冬季的天气类型

选取的月份为11月至3月。根据章基嘉等^[17]对中国天气形势的划分, 我们将15 a 的再分析资料分为10类, 天气类型由最接近于重心的元素定义。将获得的10类天气类型中相似的分类合并后, 我们得到了影响中国区域的5种天气形势(图2), 即纬向型(简称 ZON)、经向型(MER)、小槽东移型(THE)、横槽转竖型(TTV)和一槽一脊型(UDT)。

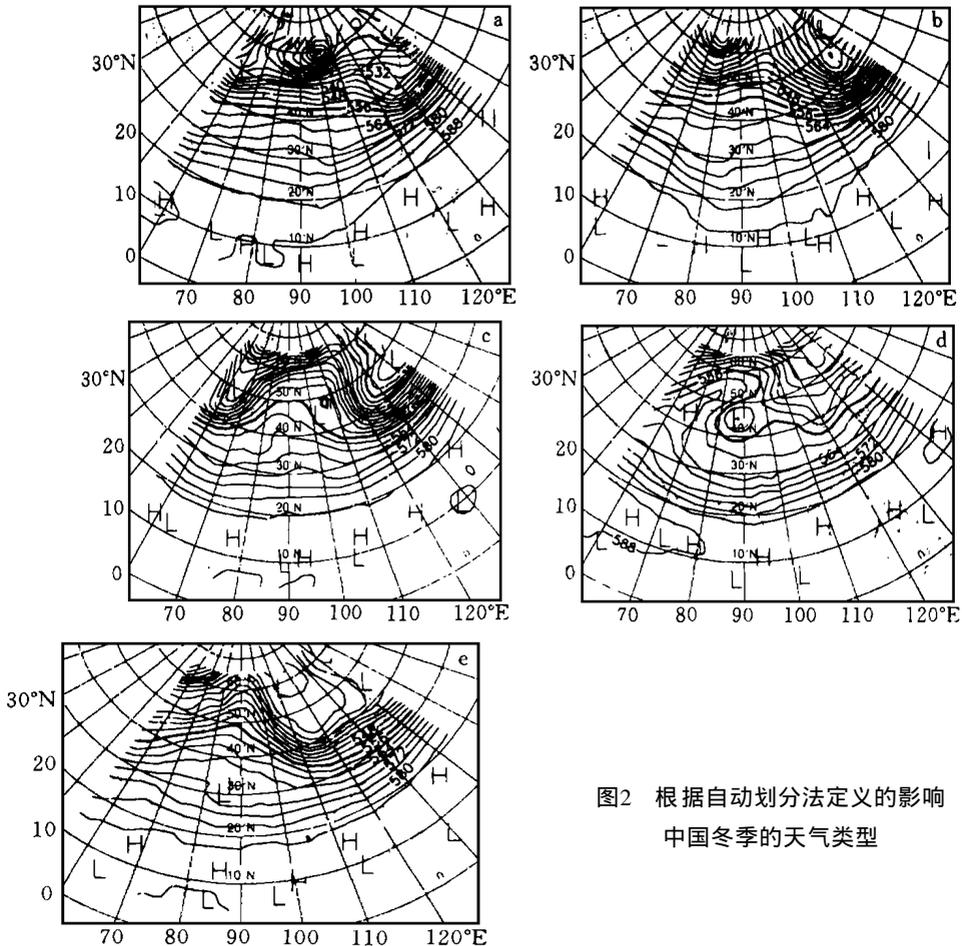


图2 根据自动划分法定义的影响中国冬季的天气类型

4.2.2 夏季的标准天气形势

选取的月份为6~8月, 定义了4种天气形势(图3): 东北/北方暴雨型(ONE)、三脊型(TBF)、两脊型(DBF)和一脊型(UBF)。

由自动划分得到的天气类型与章基嘉等所划分的影响中国的天气形势比较相似, 但由于用于划分的再分析资料的周期为5 d, 因此有可能忽略了一些天气系统的演变情况。

4.3 ECMWF 集合预报系统在中国区域的划分

由于篇幅的限制, 文中仅选取了两个个例。

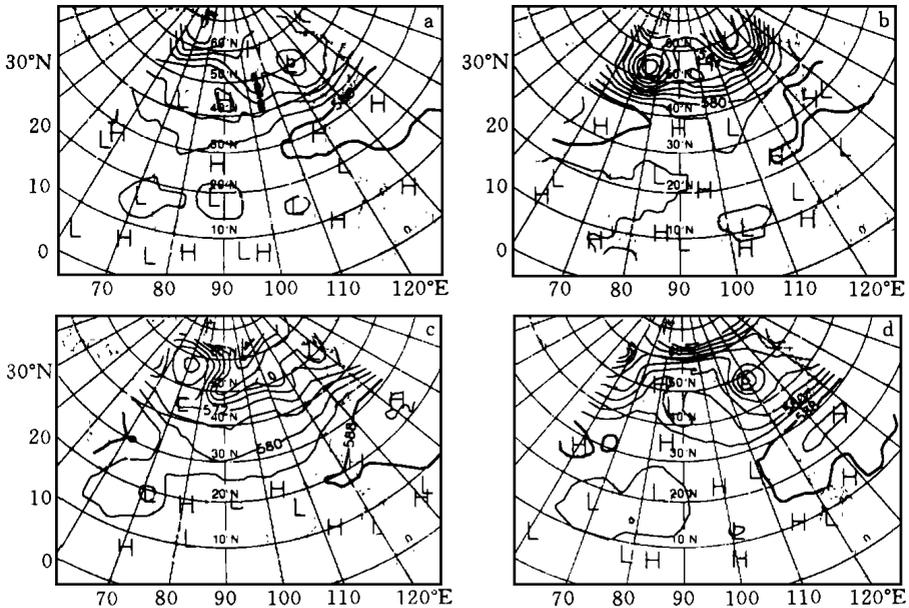


图3 根据自动划分法定义的影响中国夏季的天气类型

4.3.1 冬季个例

从1998年3月18~22日,一股强冷空气袭击了中国大部分区域。集合预报系统的预报时间为3月14日。由于篇幅的限制无法给出集合预报的51张预报图,在这里仅给出相对应的10 d分析场(图4),通过对划分结果与分析场相比较,即可看出划分的效果。从图上可以看出,横槽在48 h得到发展,在96 h转竖,冷空气开始侵入中国,23日开始减弱。图5(见封底)为划分结果,自动划分结果和客观划分结果基本上一致,且有最高的发生概率,这一方面说明ECMWF的集合预报系统对横槽的发生、转竖和减弱过程有较好的预报能力,另一方面也说明自动划分方法是可行的。

4.3.2 夏季个例

从1998年6月11~27日,在江淮流域发生了大的降水。图6为对应于6月7日10 d预报的分析场。天气由96 h的三脊形变为120 h的二脊形。图7(见封底)为划分结果,可以看出从168 h开始,二脊型天气形势预报得较好,但由三脊型(96 h)变为二脊型(120 h)的预报落后于分析。

初步的划分结果显示,ECMWF集合预报系统对中国区域的预报令人鼓舞,它能够预报出冬季横槽转竖型的天气演变,但对夏天三脊型向二脊型的演变落后实况1 d,这与夏天影响降水的因素比较多,小尺度活动比较频繁有关。由于时间的限制,我们仅选取了两个例子,为了全面评价ECMWF的集合预报系统在中国区域的预报性能,需要进行大量的个例试验。

在结果中还存在如下现象(如图5第10天划分),即主观划分和自动划分不在同一类中,其原因可能是:(1)预报本身的误差;(2)自动划分本身的缺陷,即在迭代过程中总会丢失一些信息;(3)实际天气有时是几个天气类型的迭加,而自动划分不同时识别多个天气

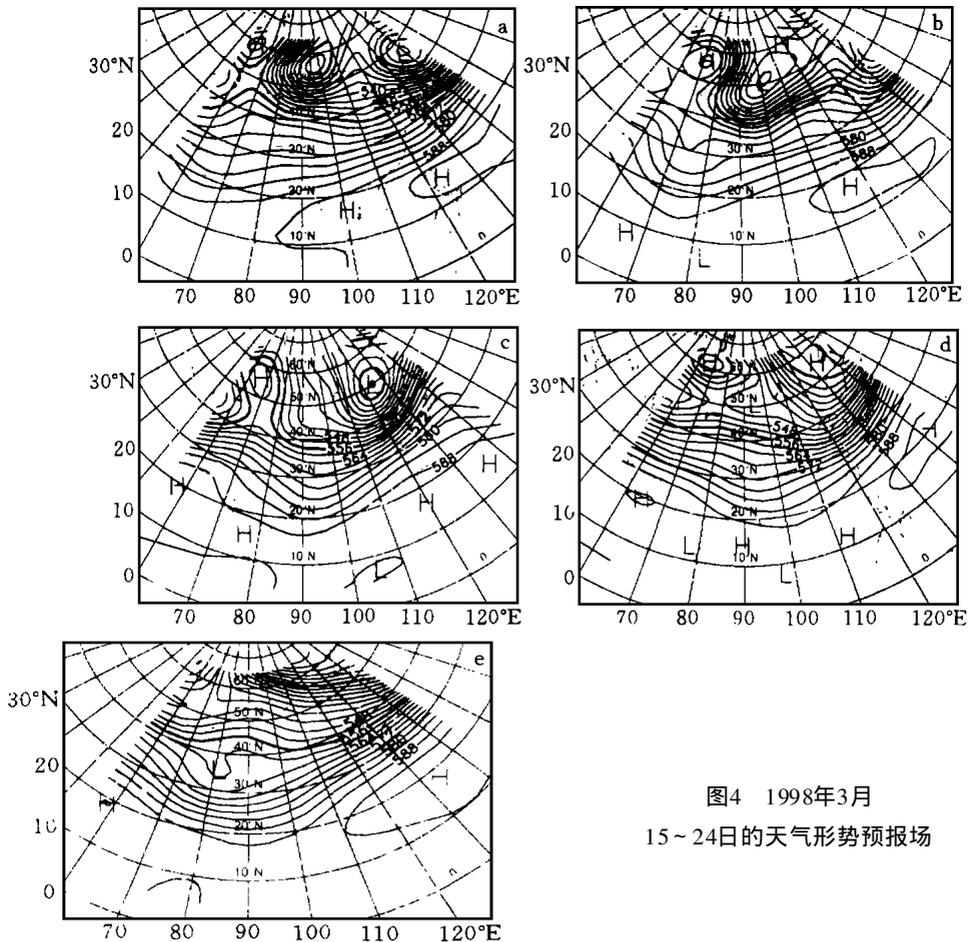


图4 1998年3月
15~24日的天气形势预报场

类型。

5 结论

从原理上来讲, 集合预报系统包括了未来可能发生的天气形势, 因此自动划分方法的主要目的是对其预报产品进行释用, 找出最可能发生的天气形势, 以便于预报员应用。本文提供了如下的产品: 每一类天气类型中所包括的集合要素; 最接近于重心的要素和每一类天气形势发生的概率。

结果表明: 大气的可预报性与预报时效、预报的天气有关。在中国, ECWFMF 的集合预报系统可以预报出横槽转竖的天气演变过程; 在夏天由于降水的原因, 预报效果没有冬天好。

同时, 自动划分方法和集合预报系统本身也有一定的局限性:

(1) 集合预报系统本身并不是完美的, 这其中也包括初值生成方法, 以及由于计算机能力造成的对样本数的限制; 另外实际天气并不一定由集合预报的某一个要素来表示, 更不用说是固定的天气类型, 因此当实际天气与天气类型差别很大时, 自动划分方法的性能会降低;

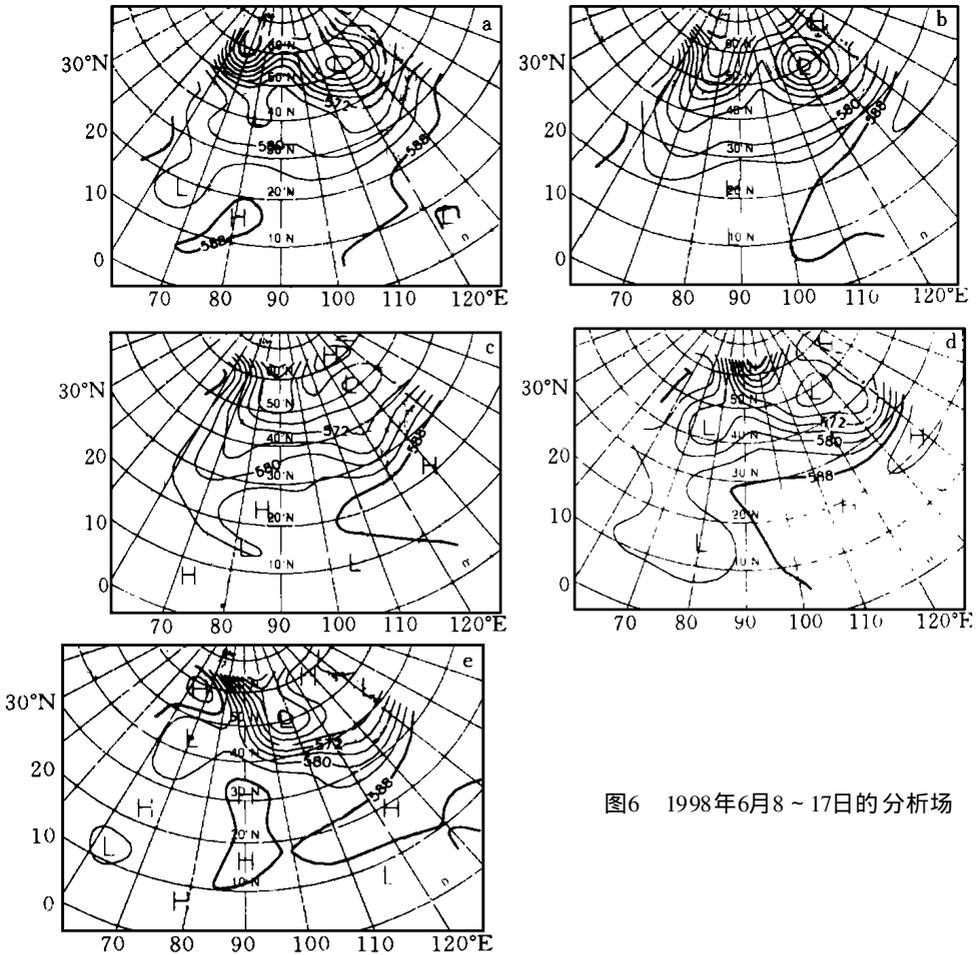


图6 1998年6月8~17日的分析场

(2) 实际上, 没有一个自动划分方法能够满足业务天气预报的要求, 既然所用到的距离仅仅是一个数学上的近似;

(3) 自动划分这样一个合成方法会造成信息的丢失。

随着社会的进步, 人们对天气预报的需求也越来越多, 精度也越来越高。虽然集合预报系统为预报员提供了大量的可供使用的信息, 但目前预报员在集合预报产品的应用上可供利用的工具很少, 因此这一新的方法使预报员在集合预报系统和天气类型之间建立了直接的联系, 它为预报员提供了某种天气形势发生的概率, 目前该方案在法国气象局已投入业务运行。由于各种条件的限制, 目前中国还接收不到 ECMWF 的集合预报产品, 但随着国家气象中心集合预报系统的业务化, 便可以利用此方法对中国的集合预报系统进行划分。

参考文献:

- 1 Lorenze E N. Three approaches to atmospheric predictability. *Bull Ame Mete Soc*, 1969, 50: 345 ~ 349
- 2 Toth Z. Estimation of atmospheric predictability by circulation analogs. *Mon Wea Rev*, 1991, 119: 65 ~ 72
- 3 Epstein , Battisti E S. Stochastic dynamic prediction. *Tellus*, 1969, 21: 739 ~ 759
- 4 Leith C. Theoretical skill of Monte Carlo forecast. *Mon Wea Rev*, 1974, 102: 409 ~ 418
- 5 Molteni F, Buizza R, et al. The ECMWF ensemble prediction system: methodology and validation. *Tech Mem, ECM WF*, 1994, 1 ~ 52
- 6 Tracton M S , Kalnay E. Ensemble forecast at NMC: Operational implementation. *Wea Forecasting*, 1993, 8: 379 ~ 398
- 7 Ward J H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J Amer Stat Assoc*, 1963, 58: 236 ~ 244
- 8 Eckert P, Cattani D, Mbuhi A J. Assessment of ECMWF ensemble forecast with a Kohonen neural network. 1995, 1 ~ 6
- 9 Atger F. Tubing: an alternative to clustering for ensemble prediction classification. *Wea. Forecasting*, 1999, 114 (5): 741 ~ 757
- 10 Vautard R. Multiple weather regimes over the north Atlantic analysis of precursors and successors. *Mon Wea Rev*, 1990, 118: 2056 ~ 2081
- 11 Blackmon M L, Lee Y H, Wallace J M. Horizontal structure of 500 mb height fluctuations with long, intermediate and short time scales. *J Atmos Sci*, 1984, 41(6): 961 ~ 979
- 12 User Guide to ECMWF Products, Ed 2. 1, Meteorological Bulletin M3. 2, 1995, ECMWF, Shinfield Park, Reading RG29AX, 55 ~ 64
- 13 Dupuy P, Morante B, et al. Des ponts, Guide d exploitation moyenne echance al usage du previsionniste. SCEN/ PREVI/ GENE, METEO FRANCE, 1998, Tome 1, V1. 0, 1 ~ 18
- 14 Simmons A J, Burridge D M, et al. The ECMWF medium-range prediction model development of the numerical formulations and the impact of increased resolution. *Meteor Atmos Phys*. 1989, 40: 28 ~ 60
- 15 Courtier P, Freyde C, Geleyn J F. The ARPEGE project at METEO FRANCE. Proceedings of the ECMWF seminar on Numerical methods in atmospheric models, ECMWF, Shinfield Park, Reading U K, 9- 13 Sep. 1991, 2: 192 ~ 231
- 16 Diday E. Optimisation en classification automatique et reconnaissances de formes, *Revue Francaise d'automatique, Informatique et Recherche Operationnelle*, 1972, 3: 61 ~ 96
- 17 章基嘉, 葛玲. 中长期天气预报基础. 北京: 气象出版社, 1983. 27 ~ 42

AUTOMATIC CLASSIFICATION OF THE PRODUCTS OF ECMWF ENSEMBLE PREDICTION SYSTEM ACCORDING TO THE WEATHER TYPES

Yang Xuesheng

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Jean Nicolau Nicole Girardot

(Service Central d'Exploitation de la Meteorologie, Météo France, Toulouse 31057, France)

Abstract

The main purpose of this paper was to present a new method for interpretation of the products of ECMWF Ensemble Prediction System (EPS). The basic assumption was that the EPS members represent, in a certain degree, the future weather situations. In order to resolve the problem that the synoptic scales are not predictable in the medium range, the conception of weather type was introduced. The approach for automatic classification was Dynamic Fuzzy proposed by Diday, and a new distance called Displacement and Maximum Correlation was adapted. During the iteration, the initial gravity was defined by the weather types. In China, the weather types in summer and winter were determined by the automatic classification. The premier applications showed that EPS may predict the atmospheric evolution in winter, but the predictability in summer was relatively poor.

Key words: Ensemble prediction system (EPS), Automatic classification, Weather type, Displacement and maximum correlation.

杨学胜等：根据天气类型划分欧州中期天气预报中心的集合预报产品

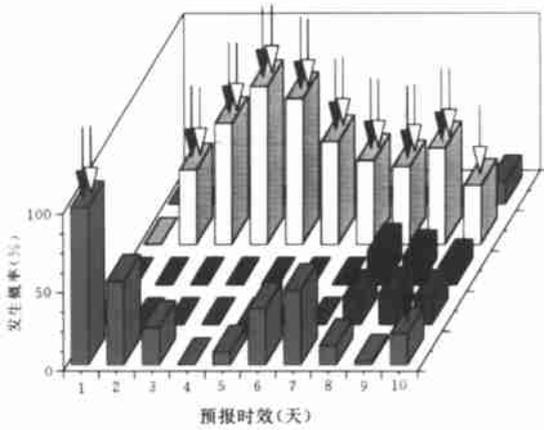
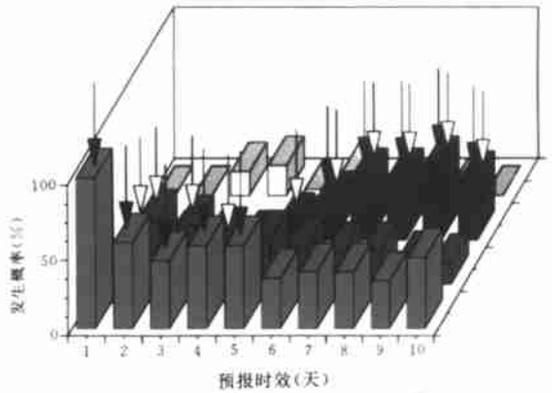


图5 1998年3月14日预报的划分结果
(黑箭头:自动划分结果,白箭头:主观划分结果,红色:纬向型,绿色:经向型,蓝色:横槽转竖型,黄色:一槽一脊型,粉色:小槽东移型)

图7 1998年6月7日预报的划分结果
(黑箭头:自动划分结果,白箭头:主观划分结果,红色:北方型,绿色:三脊型,蓝色:二脊型,黄色:一脊型)



气象学报

Qixiang Xuebao
双月刊 (1925年创刊)

2001年

第59卷

第2期

主办单位	中国气象学会
出版单位	《气象学报》杂志社 (北京市中关村南大街46号)
主 编	刘宗秀
发行范围	公开发 行
印刷装订	地质大学彩印刷厂
国内总发行	北京市邮政局
国内订购处	全国各地邮电局
国外总发行	中国国际图书贸易公司 (北京399信箱)
	2001年4月出版

国内代号: 2-368

国外代号: BM 329

国内统一刊号: CN 11-2006/P

定价: 12.80元

国际标准刊号: ISSN 0577-6619