

近年来中国统计气象学的新进展^{*}

周家斌

(中国科学院大气物理研究所, 北京, 100029)

黄嘉佑

(北京大学地球物理系, 北京, 100871)

摘 要

近年来, 统计气象学在中国取得了长足的进展。其中主要有: 将熵原理用于气象学, 从而建立了熵气象学; 引进了忆及过去时次资料的记忆函数, 导出了大气运动的自忆性方程; 将模糊数学引入气象学; 将非线性动力学用于气候学研究, 提出了一系列相空间预报模式; 将车贝雪夫多项式推广到不规则格点, 提出了一种新的时间序列预报的迭代算法; 应用子波分析方法进行气候学研究; 将 Logistic 判别分析用于气象预报, 研究了二次判别及逐步判别等问题; 将中国科学家提出的灰色系统理论和多层递阶方法引入气象预报。此外, 还引进了复经验正交分解、奇异值分解、投影追踪、主振荡模态分析等较新的统计学方法。这些方法都已在气象业务预报中发挥了作用。

关键词: 统计, 气象学, 进展。

1 引 言

在1990年召开的中国气象学会第22届理事会上, 决定成立中国气象学会统计气象学委员会。这标志着中国统计气象学发展到了一个新的阶段。“统计气象学”这一新的学科名词被正式提出, 许多学者都致力于统计气象学学科体系的研究和发展, 呈现了百花齐放、繁荣昌盛的新局面。1993年, 《气象科学》编辑出版了统计气象学专辑, 汇集了20篇论文, 反映了中国统计气象学的新成果。

文中将对近年来中国统计气象学发展的各个方面做一个简要介绍。

2 统计气象学方法在业务预报中的应用

统计气象学是一门应用性很强的学科, 历来在气象预报中起着十分重要的作用。

目前短期天气形势预报基本上采用数值方法, 而气象要素预报则更多地依赖统计学方法。一个行之有效的方法是应用数值预报产品的模式输出统计量(Model Output Statistics(MOS))量。这一方法除用于中央气象台的气象要素预报外, 在地方气象台站特

^{*} 初稿时间: 1994年10月24日; 修改稿时间: 1996年2月16日。

别是没有数值预报的台站更显得重要。例如在关于台风暴雨的业务研究项目中,数值预报产品的统计释用就占有重要地位。MOS 方法尚存在一些问题,主要是该方法的预报模型和数值模式的性能密切相关。因此当数值模式改变时预报模型也需要改变。近年来数值模式更新换代速度加快,使这一矛盾更为突出。为了使预报模型适应数值模式的变化,近年来开展了将 Kalman 滤波技术引入 MOS 预报的研究^[1,2]。

中央气象台所做的中期数值形势预报,一周内有应用价值,再长则误差较大,需用统计方法补充订正。至于要素预报,则仍以统计方法为主。

长期数值预报近年来有了很大发展,已经推出了好几个模式,其中有海气耦合模式,也有简化的动力模式。这些模式已经显示出一定的预报技巧,但仍处于试验阶段。目前,长期预报的业务工作仍以统计学方法为主,大量统计学方法在这里找到了用武之地。

气象预报业务部门近年来发展了大量的中央和地方业务预报系统,使业务预报更加客观化、定量化,这些业务系统的方法库中应用了众多的统计学方法。

3 熵气象学

气象要素的概率分布是统计气象学的重要内容,也是一项基础性工作。么枕生先生的研究,在中国具有开创性意义。他和丁裕国1990年出版的《气候统计》,是么先生1963年同名著作的修订本,汇集了近年来的大量成果。朱瑞兆等^[3]对中国风的概率分布和张耀存、丁裕国^[4]对中国降水概率分布及董双林^[5]对中国气候极值的研究,都取得了很好的成果。

自 Prigogine 的工作之后,非平衡态理论有了广泛应用。这方面的成果有:耗散结构理论应用^[6]、暴雨预报^[7]、能量平衡式^[8]、熵气候模式^[9]、零维随机气候模式^[10]、一维随机气候模式^[11]等。

赵文桐^[12]研究了信息熵和气象熵的关系。张学文于1986年提出“熵气象学”一词,并于1992年出版了《熵气象学》^[13]一书。熵气象学的提出,使得概率分布的研究进一步深入。当然,熵气象学有它更广泛的意义。

熵气象学的研究领域是地球大气。这与动力气象学是一致的,相同的。但是动力气象学着重于对单个空气微团的分析,而熵气象学着重于群体的分析,例如气温不等的众多空气微团,一批冰雹粒,一批降水过程等种种集合。在熵气象学中有两个基本概念,即分布函数和熵。此处分布函数的概念范围较广。概率分布是其一特例,云物理学中的云滴谱、雨滴谱等也是它的一种特例。熵的概念也较广,物理学中的熵和信息论中的熵都可包容其中。

熵气象学中已经揭示的分布函数约有30个,它们都是光滑的连续函数,几乎很少随时间的变化而变化。它们大多可以用一个参数不多的解析式来表示。其中气压和温度服从均匀分布,比湿、位能、风速服从负指数分布,总能量、位温服从 Γ 分布。作者发现这些分布函数有很高的稳定性。应用最大熵原理可以推导出10多个常用的概率分布函数。

4 大气运动的自忆性方程

曹鸿兴^[14]基于大气运动是一种不可逆过程的观点,引进了忆及过去时次资料的记忆函数,导出了大气运动的自忆性方程。这一方程的右端第一项表示对前期多个时次的记

忆,称为自忆项。第二项为所有空间点的贡献,称他效项。

自忆性方程系由大气动力热力学方程推导而来,因而有深厚的物理基础。同时它反映了预报员做预报时既考虑天气过程的历史演变,又考虑气象场的水平变化的特点,因而又有很好的实践基础。根据曹鸿兴的研究,自忆性方程可看成通常数值模式求解方程的推广,现有的若干差分格式可在将特殊值赋予记忆函数后而由自忆性方程中导出。他还论证了现有的多时刻数值预报模式可以统一在自忆性方程的框架之中。在求记忆函数时若采用随机型方法,就可使自忆性方程变为一种统计-动力预报模型。而曹提出的均值生成函数时间序列模型^[15]则为自忆性方程的纯统计解。

5 非线性动力学

自从 Lorenz 发表确定性的非周期流的论文以来,非线性动力学的理论和应用有了很大发展。除了从简化的低阶谱模式出发对大气过程作理论性分析研究之外,还广泛地开展了用非线性动力学观点处理历史资料的研究。这方面主要是计算分维数和研究可预报性,同时还有用历史资料反演动力模式。如何将混沌理论用于预报,也是应用研究的一个重要方面。1987年 Farmer 等^[16]发表关于预报方法的第一篇论文以来,国外这方面的研究较少。林振山^[17]首先在国内开展了这方面的研究,提出了若干相空间预报模式,并提出将相空间模处理组合法用于业务预报中。

周家斌近年来也开展了这方面的研究,提出了4种以混沌理论为基础的预报方法^[18],即相空间向量相似方法、相轨迹变率方法、空间变换方法和相空间模方法。现将相空间向量相似预报方法简介如下:

对于单变量的时间序列 $X(t_i)$, 引进一个时间滞后 τ , 得到一个重构的相空间 $R_m(t_i)$ 。设已知 t_i 时刻以前的相点的位置, 预报问题化为求 t_{i+1} 时刻相点的位置。求相点 $X_m(t_i)$ 与相空间中所有相点之间的距离, 令其中距离最小的相点为 $X_m(t_b)$ 。 $X_m(t_i)$ 与 $X_m(t_b)$ 之间的距离为 L_i 。在下一时刻 $X_m(t_i)$ 演化到 $X_m(t_{i+1})$, $X_m(t_b)$ 演化到 $X_m(t_{b+1})$ 。 $X_m(t_{i+1})$ 与 $X_m(t_{b+1})$ 之间的距离为 L_{i+1} 。假设 $L_i = L_{i+1}$, 得到一个二次方程, 由此求得两个预报值。在相空间中, 每个相点对应一个该点与座标原点形成的向量, 于是相点 $X_m(t_i)$, $X_m(t_{i+1})$, $X_m(t_b)$, $X_m(t_{b+1})$ 分别对应向量 $V_m(t_i)$, $V_m(t_{i+1})$, $V_m(t_b)$, $V_m(t_{b+1})$ 。向量 $V_m(t_i)$ 与 $V_m(t_b)$ 之间的夹角为 θ , $V_m(t_{i+1})$ 与 $V_m(t_{b+1})$ 之间的夹角为 θ_{+1} 。假设 $\theta = \theta_{+1}$, 可得到另一个二次方程, 从而求出两个预报值。给定若干判据, 可以从4个预报值中选出符合要求的预报值。

假设 $L_i = L_{i+1}$, 表示近邻相点间的距离在一个采样间隔内保持不变。这表明相轨道在短时间内是平行的。为了表示相轨道的发散与收缩, 可以引进轨道变率, 并给出相轨迹变率预报方法。

上述预报方法已经用于南方涛动强度、北京降水和华北降水分布的预报。

6 经验正交函数

经验正交函数(EOF)分析方法与主分量分析或称主成份分析(PCA)、因子分析(FA)、特征向量分析(VA)、典型相关分析(CCA)、奇异值分解(SVD)和主振荡模态(POP)等方法有极为密切的关系, 均是近代气象学中数值模式试验、模式输出统计量预

报、天气气候学等领域广泛使用的方法。

EOF 常用于提取空间模式和气候分区^[19]。但是,空间函数是否稳定不变,在什么条件下是稳定的,是值得研究的问题。丁裕国等对气象场相关结构对 EOF 展开稳定性的影响作了研究^[20],认为均匀性好的场稳定性较强,利用这个稳定性还可作要素场或多因子预报。

复经验正交函数(CEOF)分析方法(又称 CPCA)是一种能从要素场的时间变化中识别空间尺度行波的方法。黄嘉佑^[21]使用复经验正交函数分析中国降水长期变化的准两年周期振荡,发现这一周期段振荡主要发生于华北和长江中下游地区,其空间传播特征是自西南向东北传播。唐佑民^[22]用此法对太平洋海温的季节演变与长江中下游及其以南地区夏季降水的关系进行了研究。

转动主分量分析(RPCA 或称 REOF)是 EOF 模式的新发展,黄嘉佑^[23]用此法研究中国年范围内月雨日频数的谐波表现,卢文芳^[24]用此法作中国东部1月和7月降水量的因子分析。

研究两个气象场的相互作用时,常使用典型相关分析。它是 EOF 在分析两个场关系方面的发展,用它还可作场的预报。施能等^[25]将典型相关方法用于长江中下游汛期降水预报研究。姜宏川^[26]等人分析北太平洋海温与其上500hPa 高度场的典型相关并作预报试验。

奇异值分解的方法是 EOF 的新发展,也是经典典型相关分析的新发展。孙照勃^[27]用它研究热带太平洋和印度洋的协同作用与大气的关系。

对应分析是 EOF 分析的扩展,李麦村、黄嘉佑^[28]应用该方法发现副高逐月变化曲线与赤道海温变化十分相似。主振荡模态方法^[29]、投影追踪方法(PP)^[30]近年来也已被引入中国气象界。

7 车贝雪夫展开

经典的车贝雪夫展开只能用于矩形网格,周家斌将车贝雪夫展开推广到不规则格点上,并将其用于气象要素分布的预报^[31]。

周家斌提出了一种时间序列预报的基于车贝雪夫展开的迭代算法。^[31]这是一个非线性、非参数方法,无需对序列作平稳或其他假定。它的实际预报准确率和历史拟合率接近。在需要对资料进行更新或删除时,只需作少量计算。

8 灰色分析与模糊预测

灰色系统建模是通过原始数据的生成处理后,用微分方程来拟合生成数列的一种方法。到目前为止,人们对气候系统的演变规律、发生机制、子系统间相互作用的了解尚不充分,限制了使用动力和统计方法对气候系统的深入研究。事实上,人们对气候系统的了解大多是从有限的气候资料时间序列中得到的。这种序列是气候系统中各因素之间相互影响的结果。因此,气候系统是一个典型的部分信息已知和部分信息未知的灰色系统,邓聚龙^[32]提出的灰色系统理论为这样的系统提供了一个有力的分析预测工具。气象学者很快把这个方法应用到气象中长期预报上。曹鸿兴、翁文洁等人对灰色分析与预测及其在气

象中的应用作了总结^[33]。

模糊集论,是由陈国范于1979年首次引入气象领域^[34]的。模糊性是客观世界中模糊现象的一种抽象,是对客观事物进行划分时所引起的一种不确定性,而气象学中的很多现象在划分时都有这种不确定性。模糊数学已经用于天气预报评分、气候模拟检验、中长期天气预报、专家系统、气象灾害分析、客观分析、气象服务决策等诸多方面^[35]。

9 判别分析

一般判别分析和逐步判别分析已在中国使用多年。施能等^[36]研究了二次判别问题。但这些方法有变量为正态分布的限制。Logistic 判别对变量的基本假设条件较宽,且可用于既有连续变量又有多值离散变量的情形。吕纯濂等^[37]将 Logistic 判别引入中国气象界,并研究了 Logistic 二次判别^[38]及逐步判别^[39]等问题。

10 动态数据处理与多层递阶方法

平稳时间序列分析是作时间序列预报的一种经典统计方法,它又称为自回归预报。但是这种方法应用的前提条件是序列必须为平稳的,这种要求在气象序列中很难达到。另一方面,所建立的自回归预报方程中,系数是固定不变的,不能适应多变的天气现象演变规律。针对这种模型的缺点,数学家在动态性上做了很多方面的改进。例如韩志刚提出动态系统预报的一种新方法^[40],即多层递阶方法。该方法考虑自回归方程中系数的时变性,推导出求时变系数的公式。这种方法用于气象预报中取得了较好的效果^[41],不少气象学者在使用过程中还对这种方法的应用方面做了某些改进^[42]。项静恬等人对动态和静态数据处理的一般方法做了总结^[43]。

除了用经典时间序列分析方法作气象时序预报外,为提高预报水平,引进数学上多种方法作预报是近年来的一个显著特点。例如借用方差分析周期排序方法,曹鸿兴等人提出基于均值生成函数的时间序列分析方法^[15];蔡煜东等人用神经网络方法识别与估价人工增雨的有利条件^[44]。

11 子波变换、沃尔什函数

子波是近期新出现的函数系,它可较好地描述不光滑的、多尺度的局地性很强的序列。它将信号函数投影在彼此正交或近似正交的子波群所构成的空间的各个轴上。它对序列的变换可以起放大作用,是傅立叶变换的发展。刘式达等^[45]用子波变换研究了北半球气温的变化,得到不同层次的气候突变。戴新刚和丑纪范^[46]用它研究了长江和黄河流域径流的周期性问题的。林振山*研制了多种子波滤波器并用于全球气候、中国温度和旱涝的诊断研究。

沃尔什函数是一种善于描述脉冲的函数,它的引入补充了傅立叶函数对气象序列和气象场描述的不足,它已应用于暴雨洪水长期预报^[47]和降水场的分析预报^[48]中。

* 林振山、尤卫红、邓自旺, 1995, 小波滤波器及其应用, 动力气候与预测理论研讨会, 北京。

12 非线性回归分析

回归分析是气象中利用前期合适的因子作气象预报最为常用的经典统计方法。线性回归方程不能反映复杂多变的气象要素的相互作用。气象序列中的极值(即所谓高杠杆点)常对大量规律性的研究产生不良的影响。为克服这种影响的稳健回归分析是解决这个问题^[49, 50]的一个方法, 基于回归系数的时变特点和侧重在预报误差最小的逐步回归方法是改善经典回归预报的另一方法^[51]。Logistic 回归可以避免正态性的假定^[52], 逐步回归周期分析有利于选择显著周期^[53, 54]。用非线性回归分析作预报是近年来发展的趋势, 这种方法均已应用在长期预报^[55]和 MOS 预报中^[56]。

吕纯濂等^[57]引进的经济计量模式, 不仅反映了预报因子和预报对象的关系, 而且反映了多个预报量间的相互关系。

在筛选因子方面, 也应用了不少新方法和新观点。例如贡九鼎等人利用已知样本曲线坐标, 使与待预报的样本最接近的辗转坐标来筛选因子^[58], 周洪祥等人用预报因子的对称破缺性质来筛选因子^[59]。

近年来, 考虑回归系数的时变特点, 进行自适应调整的 Kalman 滤波技术在动力统计预报中得到广泛应用^[1], 它在台风路径预报中取得了较好的效果^[2, 60]。

13 结束语

近年来中国统计气象学的发展有如下特点:

- (1) 紧密结合实际业务预报需要, 大量统计学方法已在业务预报中发挥了作用。
- (2) 创新意识强, 提出了一些新的观点与方法, 如熵气象学、自忆性方程、相空间模式、时间序列迭代算法等。
- (3) 引进新技术快, 一些国内外数学界的新成果, 很快被引入统计气象学领域, 如模糊数学、灰色系统、多层递阶等。

目前存在的主要问题是:

- (1) 一些统计气象学方法在业务预报中坚持不够, 未能扎根。
- (2) 在应用统计学方法的过程中, 有许多工作存在用少量样本来推断总体特征的问题。缺乏对样本特征值、典型场等的统计检验。
- (3) 限于学科水平和发展阶段, 目前还难以提出一个统计气象学的基本框架。

致谢: 本文在写作过程中得到张学文先生的帮助, 谨致谢意。

参考文献

- [1] 黄嘉佑, 谢庄. 卡尔曼滤波在天气分析与预报中的应用, 气象, 1993, 19(4): 1- 7.
- [2] Liu Chunxia, Zhou Jiabin and Liu Jinfu. The study on the subjective forecasting method of Typhoon tracks in the Southern China Sea——application of the least predicting error sum of squares (PRESS) and Kalman filter. Bull., Inter. Statis. Inst., 50th Session, Beijing, 1995, Book 1: 718- 719, .
- [3] 朱瑞兆, 薛蔚. 风能的计算和中国风能的分布. 气象, 1981, (8): 26- 28.
- [4] 张耀存, 丁裕国. 降水量概率分布的一种 Γ 型通用模式. 气象学报, 1991, 49(1): 80- 84.
- [5] 董双林. 气象要素极值统计的稳定性、多母体现象和区域极值. 气象学报, 1993, 51(1): 34- 43.
- [6] 李湘如. 江西气象科技, 1984, (4): 1- 80.

- [7] 赵文桐. 河南气象, 1985, 专, 1– 52.
- [8] 张瑛, 汤懋苍. 一个含云量的气候振荡模式. 中国科学, 1986, B 辑, 104– 112.
- [9] 汤懋苍. 理论气候学概论. 北京: 气象出版社, 1989.
- [10] 严绍谨, 彭永清. 非平衡态理论与大气科学. 北京: 学苑出版社, 1989. 386– 395.
- [11] 林振山, 李湘如, 侯赣生. 一维随机气候模式及其应用. 北京大学学报, 1988, 25(3): 323– 330.
- [12] 赵文桐, 陈霞, 赵佩章. 信息熵于气象熵. 熵与交叉科学. 北京: 气象出版社, 1988. 127– 130.
- [13] 张学文, 马力. 熵气象学. 北京: 气象出版社, 1992. 205pp.
- [14] 曹鸿兴. 大气运动的自忆性方程, 中国科学, 1993, B 辑, 104– 112.
- [15] 曹鸿兴等. 基于均值生成函数的时间序列分析. 数值计算与计算机应用, 1991, 12(2): 82– 89.
- [16] Farmer, et al. Predicting chaotic time series. Phys Rev Lett, 1987, 59: 845– 848.
- [17] 林振山. 长期预报的相空间理论和模式. 北京: 气象出版社, 1993. 155pp.
- [18] 周家斌. 四种以混沌理论为基础的预报方法. 数理统计与管理, 1993, 增刊: 229– 233.
- [19] 龚晓峰等. 主分量分析在区域性气候分型中应用的统计试验研究. 大气科学, 1991, 16: 649– 657.
- [20] 丁裕国, 江志红. 气象场相关结构对 EOFs 展开稳定性的影响. 气象学报, 1993, 51: 448– 456.
- [21] 黄嘉佑. 准两年周期振荡在中国降水中的表现. 大气科学, 1988, 12: 267– 273.
- [22] 唐佑民. 太平洋海温的季节演变与长江中下游及其以南地区夏季降水的关系. 海洋学报, 1993, 15: 50– 59.
- [23] 黄嘉佑. 我国夏季气温、降水场的时空特征分析. 大气科学, 1991, 15: 124– 132.
- [24] 卢文芳. 中国东部1月和7月降水量的因子分析. 气候学研究——“天、地、生”相互影响问题. 北京: 气象出版社, 1989. 29– 38.
- [25] 施能, 孙立平, 申建北. 典型相关方法及其在天气分析和预报中的应用. 南京气象学院学报, 1984, 2: 251– 256.
- [26] 姜宏川, 胡基福. 北太平洋海温与其上500hPa 高度场典型相关及其预报试验. 大气科学, 1993, 17, 增刊: 67– 74.
- [27] 孙照勃. 热带太平洋和印度洋的协同作用与大气的关系. 大气科学研究与应用, (三), 1992. 1– 6.
- [28] 李麦村, 黄嘉佑. 北太平洋海温场的因子分析. 中国科学院大气物理研究所集刊, 第13号. 北京: 科学出版社, 1985. 111– 119.
- [29] 章基嘉, 丁峰, 王盘兴. 大尺度海气异常关系的主振荡型分析. 应用气象学报, 1993, 4, (增刊): 1– 9.
- [30] 史久恩, 陈忠珪. 常红. 旱涝研究的新方法—投影追踪回归. 大气科学, 1993, 17, (增刊): 13– 19.
- [31] 周家斌. 车贝雪夫多项式及其在气象中的应用. 北京: 气象出版社, 1990. 262pp.
- [32] 邓聚龙. 灰色控制系统. 北京: 华中工学院出版社, 1985.
- [33] 曹鸿兴, 翁文洁. 灰色分析与预测及其应用. 北京: 气象出版社, 1988.
- [34] 陈国范. 模糊数学与天气预报. 气象, 1979, 6: 22– 24.
- [35] 曹鸿兴, 陈国范. 模糊集方法及其在气象中的应用, 北京: 气象出版社, 1988. 415pp.
- [36] Shi Neng and cheng Jiye. Quadratic discrimination through orthogonal transformation and its application to long-range forecasting of drought and excessive rainfall. Adv Atmos Sci, 1986, 3: 125– 133.
- [37] 吕纯濂等. Logistic 判别及其在气象上的应用. 南京气象学院学报, 1982, 1: 112– 123.
- [38] 吕纯濂等. 二次 Logistic 判别及其在气象上的应用. 气象学报, 1986, 44(3): 299– 306.
- [39] 吕纯濂等. 用数值预报产品的逐步 Logistic 动力统计释用台风暴雨预报模型. 国际统计学会第五十届大会文集, 北京, 1995.
- [40] 韩志刚. 动态系统预报的一种新方法. 自动化学报, 1983, 161– 168.
- [41] 吴钟浚等. 多层递阶方法在中期天气预报中的应用. 热带气象, 1989, 5: 378– 382.
- [42] 李邦宪. 多层递阶方法应用中几个问题的探讨. 气象, 1990, 16(8): 38– 41.
- [43] 项静恬等. 动态和静态数据处理. 北京: 气象出版社, 1991. 1125pp.
- [44] 蔡煜东等. 人工增雨有利条件的神经网络识别与估价. 应用气象学报, 1994, 5: 125– 127.
- [45] 刘太中, 荣平平, 刘式达, 郑祖光, 刘式适. 气候突变的子波分析. 地球物理学报, 1995, 38: 158– 162.
- [46] Dai Xingang and Chou Jifan. Wavelet analysis of runoff of Changjiang and Huanghe. Abstract Collection, Inter.

Sym. Global Change in Asia and the Pacific Regions, Beijing, . 1994. 69.

[47] 马益三. 沃尔什函数在暴雨洪水长期预报分析中的初步应用. 大气科学, 1984, 8: 322– 331.

[48] 王建新. 沃尔什变换及其在降水场展开和分析中的应用. 南京气象学院学报, 1989, 12: 44– 45.

[49] 俞善贤, 赵锡林. 稳健回归在产量预报中的应用. 农业气象, 1987, 1.

[50] 施能, 王建新. 稳健回归的复加权最小二乘迭代解法及其应用. 应用气象学报, 1992, 3: 353– 358.

[51] 黄嘉佑, 王云璋. 用预报残差最小的逐步回归方法作黄河上游旱涝预测试验. 高原气象, 1990, 9: 439– 442.

[52] 朱盛明, 王德隽. Logistic 回归模型的递推法及其应用. 大气科学文集. 北京: 科学出版社, 1990. 251– 261.

[53] 魏凤英, 赵溱, 张先恭. 逐步回归周期分析. 气象, 1983, (2): 2– 4.

[54] 魏凤英, 张先恭, 曹鸿兴. 逐步回归周期分析的改进方案及其在气候预测中的应用. 气象, 1989, (7): 3– 7.

[55] 冯耀煌, 杨旭. 论最优预报因子与最优预报方程. 气象学报, 1989, 47(1): 52– 60.

[56] 黄嘉佑, 符长峰. 黄河三花地区汛期逐日降水 MOS 预报的因子选择试验. 气象学报, 1993, 51(2): 232– 236.

[57] 吕纯濂, 陈舜华. 灾害经济损失估算与预测的经济计量模式. 中国减灾, 1992, 2: 32– 37.

[58] 贡九鼎等. 辗转座标筛选. 大气科学, 1990, 14: 328– 334.

[59] 周洪祥等. 预报因子的对称破缺性质及其应用. 大气科学研究与应用, (三), 1992. 96– 103.

[60] 金一鸣, 周洪祥. Kalman 滤波技术在台风路径的动力统计预报中的应用. 气象学报, 1986, 44(3): 336– 346.

ADVANCES IN STATISTICAL METEOROLOGY IN CHINA IN RECENT YEARS

Zhou Jiabin

(Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica, Beijing, 100029)

Huang Jiayou

(Department of Geophysics, Peking University, Beijing, 100871)

Abstract

Great advances in statistical meteorology have been made in recent years in China. The main points are as follows: Introducing entropy principle into meteorology, entropy meteorology is founded; introducing memory function, self-memorization equation of atmospheric motion is derived; the fuzzy reasoning is introduced into meteorology; using the method of nonlinear dynamics in researches of climatology, some forecasting schemes of phase space are proposed; Chebyshev polynomial is generalized at irregular grids and an iterative scheme for forecast of time series is proposed; the wavelet transform is used in researches on climatology; Logistic discrimination is used in meteorology and quadratic discrimination are stepwise discrimination are investigated; the theory on grey system and the multilevel recursion method proposed by Chinese scientists are introduced into meteorological forecast. In addition, complex empirical orthogonal function, singular value decomposition, projection pursuit, principal oscillation patterns, et al. are also introduced.

Above methods have come in to play a great roles in operational weather forecasts.

Key words: Statistics, Meteorology, Advance.