

统计天气预报译文集

中央气象局天气气候研究所编

农业出版社

统计天气预报译文集

中央气象局天气气候研究所编

农业出版社

内 容 提 要

本书从国外书刊中选择了统计天气预报的三十二篇文章,按内容可分为统计分析,如最大频谱分析、典型相关分析、预报评分和预报经济价值等;预报方法,如模式输出统计、单站预报试验、时间序列分析、非线性统计预报等;还有属理论性研究的,如可预报性、蒙特卡洛方法、统计—动力预报等。

编选入本书的译文兼顾了实用方法和理论探讨两个方面,内容大体上反映了七十年代以来国外统计天气预报发展的主要侧面。

读者对象为气象台站预报工作者、气象院校教师、研究生和高年级学生,亦可供其他领域的统计工作者参考。

统计天气预报译文集

中央气象局天气气候研究所编

农业出版社出版(北京朝内大街130号)

新华书店北京发行所发行 汉中地区印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 13.25印张 286千字

1980年12月第1版 1980年12月汉中第1次印刷

印数 1—2,600册

统一书号 13144·222 定价 1.40 元

前 言

七十年代以来，统计天气预报的理论和应用都有很大进展，为了引进和借鉴国外这方面的新成果，我们从国外有关书刊中选取了一些有代表性的文章，编译成本文集。

近几年来，在天气预报的概率统计方法的进展大体上表现在两个主要方面：首先是统计预报的理论性研究，如统计可预报性的研究，随机过程的数值模拟，统计—动力理论的探讨等；其次是以模式输出统计为代表的一些方法在预报局地天气和要素上取得的显著成效。目前统计预报已经成为自动化预报系统中的重要组成部分。越来越多的研究表明，大气不但有受流体力学—热力学方程支配的确定型运动，也有受其他因素制约的随机型运动。因此，深入研究统计—动力预报理论，并且应用于实际，无疑是天气预报面临的重要课题之一。

本译文集涉及的内容是很广泛的，有一些实用性的方法，也有理论性探讨。有论述预报评分和预报经济价值的，也有介绍谱分析和非线性模式等分析预报途径的。此外，还选入了象用统计方法来揭露物理事实，用图象识别来建立统计预报模式等方面的内容。

参加本文集编辑工作的有：陈国范、曹鸿兴、黄文杰等同志，王淑凤同志描绘了大部分插图。

编 者

1979年1月

目 录

根据数值预报制作局地天气的统计预报·····	(1)
利用电子计算机制品预报天气和雨量·····	(14)
机器找预报指标并用指标预报天气·····	(27)
根据一种图象识别算法作降水概率预报·····	(34)
用图型相关法作云幕和能见度	
预报的概率预报模式·····	(57)
以500毫巴环流型为基础的降水 概 率 预 报·····	(69)
判类(型) 预报·····	(86)
概率预报的评价——问题和建议·····	(94)
概率预报的评价——一些方法与实践 ·····	(107)
天气预报的价值：一些理 论 结 果·····	(129)
概率预报分布的先验估计和与预报价值	
的关系 ·····	(149)
复合稳定大气过程的流体动力学预报 ·····	(165)
同时使用观测资料及同化资料的	
统计动力预报 ·····	(177)
统计—动力预报方法 ·····	(188)
最大熵谱分析的过滤系数的 计 算·····	(223)
最大熵谱信度界限的蒙特 卡 洛 估计·····	(230)
不等间隔资料的谱 估计·····	(238)

二元资料的谱分析.....	(252)
海上的大气时间序列的谱分析.....	(265)
把降水看作一个链依赖过程.....	(272)
用自回归增量滑动平均模型制作长期预报	(279)
水平经验正交函数在描述大气流型	
和波中的辅助作用	(285)
经验正交函数的显著性检验	(295)
长期预报的统计问题.....	(304)
相关场的显著性检验.....	(309)
单站预报试验的一些结果.....	(314)
大气和海洋温度场的典型相关.....	(323)
k事件概率估计的非线性模式.....	(338)
非线性统计预报试验.....	(343)
可预报性与周期性: 回顾与展望.....	(372)
大气的总可预报性.....	(382)
蒙特卡洛预报的理论技巧	(397)

根据数值预报制作局地 天气的统计预报

W.H. 克莱茵 (Klein)

引 言

用统计方法补足未加工过的数值模式输出量，可以得到局地天气要素的客观预报。参照技术发展实验室 (TDL) 的现有程序说明了这样去做的两种技术方法。第一种或完全预报法根据多元回归方程来确定局地天气，方程是由实测环流参数求得的，但适用于数值预告的结果。这方法已成功地应用于地面最高最低温度，温带风暴大浪和伊利湖水位的业务预告上。已经证实称之为模式输出量统计法 (MOS) 的第二种方法比第一种方法更为精确。它涉及数值模式输出结果的存档和把这种输出量与实测天气相关连起来。这样，在预报系统中除了自动地放进了局地气候之外，也放进了数值模式的偏差和不精确性。TDL 用 MOS 法来自动预报许多天气要素，包括降水、温度、风、云、云幕高度、能见度和雷暴等。现通过传真和 (或) 电传打字机将这些结果的大部分向全国传送，供美国气象局范围内使用。最后，作为全国业务和服务自动化系统 (AFOS) 计划的一部分，一个全自动的、由计算机用文字表达的日常局地天气预报将会实现。

1. 两种统计——数值预报方法

图1说明了结合统计和数值预报技术的两种方法。第一种方法称为完全预报法,根据气象参数的同时性(或近于同时性)的加权组合,利用历史观测资料来确定局地天气要素。为了用导出的方程制作预报,我们把它应用于模拟实测环流的数值预告模式的输出结果,如图中虚箭头所示。虽然数值预报中的误差会不可避免地在统计预报中产生相应的误差,但前者每改进一次,后者也会随着改进一次。此法的优点是可以根据长时期的记录对各地区和各季节导出稳定的预报关系式。缺点是它不考虑数值模式中的误差和不定性。自从作者1959年首次应用完全预报方法以来,这种方法已用过多次,但在过去几年里它已逐渐被第二种方法取代了。

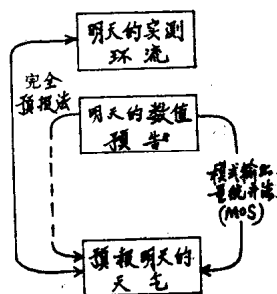


图1 数值和统计预报的两种结合方法的示意图

然而,对于预报局地因子非常重要的比较稀有的事件而言,它还是有用的。例如,国家气象局(NWS)的日常业务就用它来制作伊利湖的水位和大西洋沿岸温带风暴大浪的自动预报。

第二种统计方法已由格拉恩和劳里(Glahn, Lowry)命名为模式输出量统计法(MOS)。MOS中预告因子的样本通常取为由数值模式给出的年限较短的预报资料,而不是长时期的实测资料。因此,MOS法保留了数值模式的输出结

果，并将它与局地天气的观测资料匹配。然后，用各种统计方法导出预报方程。这样，在预报系统中除了能够自动放进局地气候之外，也能放进数值模式的偏差和不精确性。MOS的另一个特点是可以包括许多不易为完全预报法采用的预报因子，如垂直速度、边界层的风和温度、空气的三维轨迹等。因为有了这些优点，所以就大多数用途来讲，近年来已证明MOS法比完全预报法更为成功。

2. MOS系统

我们的MOS成果大多立足在舒曼和霍维尔梅尔(Shuman, Hovermale) 6层斜压原始方程模式(PE)和里普(Reap)三维轨迹模式(TJ)的输出结果的基础上。自1969年10月起一直延续至今，系统地保存这两个模式的输出结果。冬夏占优势的天气是不同的，考虑到这一点，将一年分为两半：冷季六个月从10月到3月，暖季六个月从4月到9月。记录年限较短，妨碍我们进一步把一年的时间分成更多的时段，直到最近才证明在温度预报中分三个月一季是成功的。为了考虑各季的季节趋势，已把日序(the day of the year)的前两个正弦和余弦谐波作为可能的预报因子包括在内了。

从设在阿什维尔的国家气候中心取得图2中254个一级站的实测地面天气记录。从PE和TJ模式的网格，用双二次内插求出这些站的数值模式输出量。将逐站观测资料与数值预报因子相配合。这就可以根据网格上排列的变量来预报地面天气，它跟相关场方法不同，后者的预告因子可以离开预报点好几百哩远。

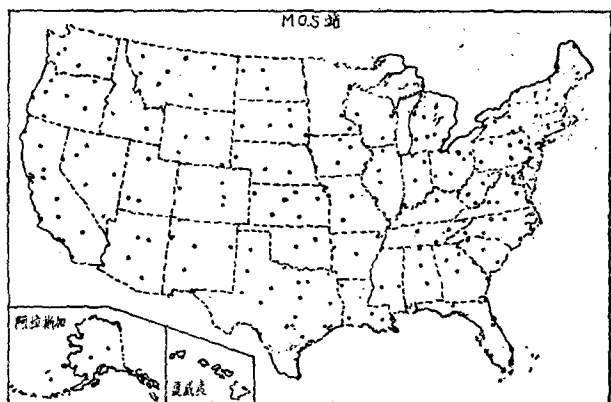


图2 50个州中254个测站的位置，这些站的日常天气观测资料被用来与数值模式的输出结果相匹配

虽然，我们的数值预报因子常常落在与待预告的天气要素同一个点上，但它们不一定要是同一个时刻的。因为数值模式会有系统性的偏慢或偏快，所以在某些情况下与预告量时刻相差 ± 24 小时的预报因子也是有用的。

使得数值预报因子变得更有效用的另一种处理方法是空间平滑。对5、9或25个格点取平均常常消除了由含有“噪声”的数值输出量所产生的虚假扰动，特别是消除了由诸如铅直速度和相对湿度那样的较小尺度的要素所产生的虚假扰动。平滑也把周围格点的信息引进另一种局地方案中。大量的试验表明，随着预报时效的加长、高度的降低和预告因子的尺度的减小，数值输出量的平滑应该增加。

3. 单站方程

a. 温度

从PE和TJ模式的输出量中仔细地选择用来导出最高和最低温度预报方程的可能的预报因子，包括对地面温度或许有贡献的所有可用的因子，如各层和各时段的高度、厚度、温度、风、水汽、稳定度、涡度、散度和垂直速度。第一和第二时段的预报，作为反映测站近期观测状况的预告因子，包括了九个地面天气报告。这些报告的时间是0600和1800世界时，即数值模式初始时刻（0000和1200世界时）以后6小时，但还来得及用于计算。

由于温度是一个连续的近于正态分布的变量，故可利用米勒（Miller）所用的逐步筛选回归程序来导出预报方程。对228个站的每个站，4个时段的每个时段，2个时次的每个时次^{*}，4个季节的每季导出各自的方程，共有7296个多元回归方程。所有的方程都要求精确到10项，因为以往的研究表明，对于连续变量和这样大小的样本，10项大抵是预报因子的最佳数字。

图3表明1968—1975年这八年美国气象局最高最低温度自动预报有稳定的改进。24小时预报的平均绝对误差下降了 1°F ，而48小时预报的平均误差几乎减少了 2°F 。1975年的48小时预报跟1972年的24小时预报一样精确。这些曲线表示自动预报有了显著的改进。平均讲，地方预报员可以再把这

^{*} 译者注：时段是指4个不同长度的预报时效，如24、48、72、96小时；时次是指每天2次的数值模式初始时刻0000和1200世界时。

个自动预报参考值改进 0.5°F 左右。

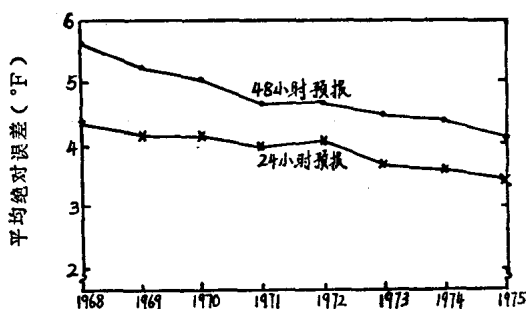


图3 美国地面最高、最低温度自动预报的检验。从1968年到1975年126个城市的最髙最低温度预报对每年12个月的平均误差

b. 地面风

将筛选回归应用于PE模式的预告因子，卡特 (Carter) 导出了共有10项的单站方程，用来预报233个站的地面风。和温度预报一样，初始时段筛选了数值模式起始时刻后6小时的可用的地面天气记录。分别导出风的分量 u 和 v 的方程，对12小时到48小时间隔6小时的7个时段导出风速 s 的方程。

对预告因子的选择附加了一些限制。对于任何一个给定的测站和预报时段， u 、 v 和 s 3个方程都含有相同的10个预报因子，但有不同的回归系数。而且，前3个预告因子一定要是和风这个预告对象同时的边界层 u 、 v 和 s 的预报值。其余7个因子一次选一个，每一步选用的气象变量可使3个预报量中任何一个量的方差有最大幅度的下降。对比检验证明自动预报比地方预报好。但是，MOS预报常常报不出强风。目前正应用一种称之为“膨胀”的方法来加以订正。

c. 云量

通过MOS法导出单站方程的另一个天气要素是云量。用PE和TJ模式的预报因子导出四类天空状况每一类的概率预报方程；四类天空状况是晴、少云、多云和阴天。因此，预报方程是二元的；预报因子则取连续的和二元的两种型式。具体操作时，在决定了每类天空状况的概率以后，再用卡特和格拉恩提出的方法得出最好的一类。对比检验表明MOS法预报云量几乎与正式发布的地方预报一样精确，稍微有点偏差。

4. 综合运算方程

预告像大雨、低云高或陆龙卷那样的比较稀有的事件常常是很重要的，在可以导出可靠的单站方程的小资料样本中经常不出现这些天气现象。所以在几个性质类似区域的每个区内，我们组合许多站的资料，然后对每一个区域导出一个方程。应用时，把方程用于区域内的每一个测站上，同时输入适合那个特定测站使用的资料——一种综合运算方法。

a. 降水概率

例如，图4说明了1975和1976年暖季用MOS资料预报降水概率(PoP)的26个区。当PE模式预报平均相对湿度 $\geq 75\%$ 时，通过降水相对频率的分析来决定界线。在每一区内，由PE和TJ模式给出一组100个最有价值的二元的和连续的预报因子供我们的回归方程筛选。四个不同的时段需要不同的预报因子组，第一预报时段的因子组见表1。检验的统计结果表明，一般讲，参考MOS的预报员可以对第一时段的预报作

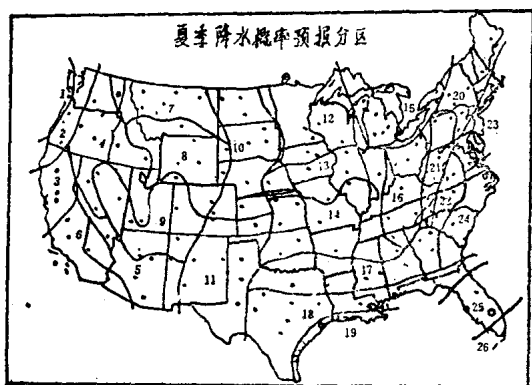


图 4 1975和1976年夏季MOS降水概率预报所用的26个区

黑点处是用来导出方程的测站

出相当大的改进。然而，对于较长一些的时段，作不了什么主观修改，其实我们鼓励国家气象局的预报员们接受这客观参考值，除非有很好的理由去修改这个参考值。

b. 云幕高度和能见度

格洛波卡尔 (Globokar) 对类似的14个区由MOS资料导出5类云幕高度和5类能见度的每一类的概率方程。他使用地面观测记录以及PE和TJ模式输出量作为预报因子，并把独立变量表示成二元的和连续的两种型式。所得到的方程表明，例如，云幕高度的24小时预报物理上依赖于有意义的变量，如：平均相对湿度、实测云幕高度、地面相对湿度、边界层散度和涡度、可降水分和850毫巴相对湿度。

格洛波卡尔还提出另一种方案，用它来预报3类业务上重要的飞行条件将会出现哪一类，不同的只是通过单站途径。图5 (图略——译者) 给出一例传真图，它包括了这3类飞

表1 供第一时段(12—24小时) MOS降水概率
预报筛选的100个二元的预报因子*

要素场名	模式	平滑 (点数)	时间 (小时)	二元变量界限
850MB高度	PE	5	12	1482, 1507
可降水分	PE	5	18	10.16, 15.24, 20.32, 25.40
平均相对湿度	TJ	5	24	30, 40, 50, 55, 60, 70, 75
降水量	TJ	5	24	$0.127E-7, 254E-7, 508E-7,$ $1016E-7$
总体指数	TJ	5	24	40, 42, 44, 46, 48, 50
K指数	TJ	5	24	10, 15, 20, 25
850MB高度	PE	5	24	1482, 1507, 1557
边界层u分量	PE	5	24	-4, -2, 0, 2, 4, 6
边界层v分量	PE	5	24	-2, 0, 2, 4, 6
平均相对湿度	PE	5	24	50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85
平均相对湿度	PE	9	24	50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85
边界层湿度	PE	5	24	55, 70, 75, 80, 85
边界层湿度	PE	9	24	60, 65, 70, 75, 80
第二层湿度	PE	5	24	55, 60, 65, 70, 75, 80
850MB垂直速度	PE	5	24	-0.0005, -0.0002
650MB垂直速度	PE	5	24	-0.0005, -0.0002
可降水分	PE	5	30	20.32, 25.40
日序的正弦值	—	—	—	—
日序的余弦值	—	—	—	—

* 在连续因子的筛选过程中也包括这些要素场

行条件的预报以及前面所讲的云量和风的风速预报。

c. 雷暴和局地强风暴

里普和福斯特 (Reap, Foster) 把美国本土的东半部当作一个区域来处理的完全综合法，导出可以预报未来24小时雷暴和局地强风暴的概率的多元回归方程。把手控数字雷达(MDR)资料和烈性风暴情景同PE和TJ模式的预告因子联系起来，由此求得方程。将MDR资料按边长约70km的方格编码，并对MDR格网的每一方块预报概率(图6)。预报

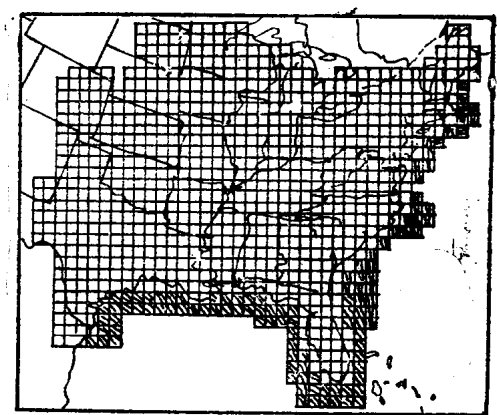


图6 用于雷暴预报的MDR网格
方格边长约70km。海上打了阴影的方块的资料不用

有效期是以0000世界时为中心前后3小时。预报有二类，一类给出一般雷暴的概率，第二类在已知有普通雷暴发生的条件下预报局地强风暴的概率。图7列出最近一次极其成功的预报。

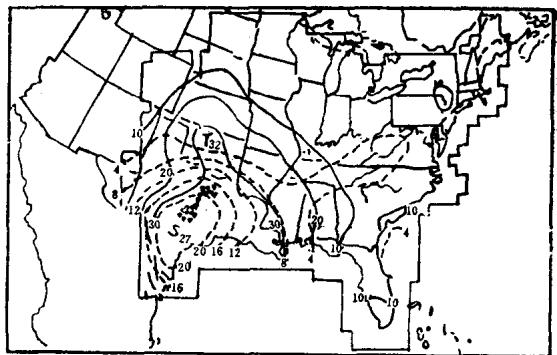


图7 1976年5月27日0000世界时的雷暴概率(实线)和
陆龙卷、冰雹或灾害性阵风的条件概率(虚线)
21—27小时的自动预报雷暴的最大概率用字母T标记,局地强风暴的概
率用字母S标记,黑三角表示6小时检验期内陆龙卷发生的位置

5. 有限域细网格模式的应用

最近五年美国气象局越来越重视有限域细网格(LFM)模式,这不仅是因为它比PE模式精确,也因为它的运算时间可以提早约2—3小时。1972年10月1日以后我们即开始将LFM一直到24小时为止的各时段的预报存档。目前我们已积累了足够的资料可以把LFM和我们的MOS方案结合起来。我们正按两种方法去做。第一种只从LFM模式的预报因子导出MOS方程,同时作为“早期”参考值传递给最后预报。第二种结合PE和(或)TJ模式利用LFM作为可能的预告因子导出MOS方程制作最后参考值。业已证明,这种方法给出了改进的冬季和夏季的降水概率预报以及改进的地面