

丁士晨
朱盛明
郭可义
谢炯光
郑秀雅

地方模式输出统计 预报方法

气象出版社

地方模式输出统计预报方法

丁士晟 朱盛明 郭可义

谢炯光 郑秀雅

气象出版社

内 容 简 介

本书是一本介绍地方模式输出统计预报(简称MOS)方法的书,内容包括地方MOS方法在国内外的的发展,数值预报及其产品应用,数理统计方法和地方MOS方程的建立及评定等。

本书是气象预报业务人员的重要参考用书,也可供高等院校有关环保、地震、气象、农业、林业、水文等专业的广大师生及其科学研究工作者参考。

地方模式输出统计预报方法

丁士晟 朱盛明 郭可义

谢炯光 郑秀雅

责任编辑 黄丽荣

气象出版社 出版

(北京西郊白石桥路46号)

北京怀柔黄坎印刷厂印刷

气象出版社发行 全国各地新华书店经售

开本: 787×1092 1/32 印张: 8.5 字数: 180千字

1989年12月第一版 1989年12月第一次印刷

印数: 1-4200 定价: 4.40元

ISBN 7-5029-0270-8/P·0160

目 录

第一章 概述.....	(1)
§ 1.1 天气预报的历史.....	(1)
§ 1.2 形势预报.....	(7)
§ 1.3 气象要素预报.....	(12)
§ 1.4 国外MOS预报.....	(17)
§ 1.5 中国MOS预报.....	(24)
第二章 数值预报输出.....	(35)
§ 2.1 数值预报简介.....	(35)
§ 2.2 我国数值预报业务模式.....	(45)
§ 2.3 日本数值预报业务模式.....	(51)
§ 2.4 欧洲中期天气预报中心的数值预报模式.....	(55)
第三章 短期地方 MOS	(57)
§ 3.1 对三个模式的有关数值预报产品检验.....	(58)
§ 3.2 短期地方MOS.....	(67)
§ 3.3 数值预报产品应用的若干对比试验.....	(90)
第四章 中期地方MOS	(100)
§ 4.1 中期数值预报产品解释的新阶段.....	(100)
§ 4.2 建立具有我国特色的中期数值预报产品业务化技 术方法的必要性.....	(107)
§ 4.3 中期数值预报解释中的因子选择方法.....	(109)
§ 4.4 中期数值预报产品释用中的SSM系统.....	(124)
§ 4.5 中期MOS方程对数值预报模式的自适应性.....	(133)
§ 4.6 波数域中大尺度扰动的天气学和动力学分析方法 在中期产品解释中的应用.....	(146)
§ 4.7 MOS和MES的结合——中期天气客观预报系统的研制	(150)

§ 4.8	中期地方MOS的业务化实施	(152)
§ 4.9	中期地方MOS试验客观化程度的检验方法	(153)
§ 4.10	中期地方MOS方法的业务化效益评价	(158)
第五章 高原及邻近地区的完全预报和MOS 预报		(163)
§ 5.1	高原和邻近地区数值预报产品应用中必须注意的 若干问题	(163)
§ 5.2	地方预报经验的定量表达和因子处理	(168)
§ 5.3	预报对象的几种经验处理及其效果	(182)
§ 5.4	建模和判别订正	(195)
§ 5.5	数值预报产品应用中的省地县结合	(199)
第六章 低纬地方MOS		(209)
§ 6.1	概况	(209)
§ 6.2	特点	(210)
§ 6.3	检验	(211)
§ 6.4	因子的选择和处理	(217)
§ 6.5	预报量的处理	(223)
§ 6.6	数学模型的使用	(224)
§ 6.7	完全预报方法的试验	(226)
§ 6.8	MOS预报方法的试验	(230)
§ 6.9	MOS试验的一些经验和结论	(240)
第七章 地方MOS中的应用软件设计		(244)
§ 7.1	我国地方MOS中应用软件的发展过程	(244)
§ 7.2	地方MOS软件包及应用简介	(246)
§ 7.3	中期天气客观预报系统的学习功能	(251)
§ 7.4	中期客观预报系统中的决策功能	(256)
§ 7.5	中期客观预报系统中的知识库管理功能	(259)
§ 7.6	中期客观预报系统中的软件设计技术	(261)
§ 7.7	MOS中应用软件的设计步骤及体会	(262)

第一章 概 述

丁士晟

§ 1.1 天气预报的历史

天气与人类生活、生产以及军事活动关系十分密切，所以古代人民就非常注意天气变化，随着自然科学的发展，天气预报有了迅速的发展。

一、天气预报的过去

根据天气预报的发展，大体上可以分为四个阶段，即天气预报的古代阶段、经验阶段、过渡阶段和现代阶段。

我国古代人民由于生活和生产与天气关系密切，并且建造了字。早在三千多年前的商代我国最早的文字——甲骨文中就包括了大量与天气有关的字，如雨、霜、雹、雪、阴、晴、雷、电、虹、雾等，这说明在商代对于天气已有了相当认识。三国时期诸葛亮借东风是大家熟知的，我国著名科学家沈括曾根据“湿土用事”，也就是利用湿土成功地预报了一次降雨。在古代我国做天气预报主要是利用本地前期征兆，前期征兆主要是指大气湿度变化、大气光学现象、云雾活动、雷电以及动物活动等，并且编了大量天气预报谚语，在许多古书，如《淮南子·本经训》、《论衡·变动篇》、《田家五行》、《农候杂占》、《闽杂记》、《相雨书》等都有大量记载。这一阶段是古代阶段。

随着科学的发展，著名科学家伽利略（Galileo）1597年发明了第一支测温器，是大气科学一个大的转折，由古代

直觉和零星发展成为近代科学，在伽利略之后不到五十年时间发明了观测气温、气压、风、降水等仪器并组建了气象观测网，这为天气预报奠定了基础。1820年布兰德斯(Brandes)绘制了1783年欧洲39个地面测站风和气压距平图，这是第一张天气图，是现代天气图的雏型。荷兰首先建立了天气观测网，并在1860年正式发布天气预报，这是第一次有组织的天气预报，是近代天气预报发展的标志。接着英国(1861年)和法国(1863年)也开始发布天气预报，从上世纪末到本世纪初许多国家都组建了气象站网，并发布天气预报。1860年以后气象理论发展很快，但天气预报的手段仍是地面天气图，主要依靠经验做预报，从1860—1920年这一阶段称经验阶段。

第一次世界大战后，维·皮叶克尼斯(V. Bjerknes)为首的挪威学派创立了气团、锋面和气旋的概念和学说，为近代天气预报奠定了理论基础，并提出大气预报应分为两步，第一步是利用天气图及一些气象理论，预报气团、锋面和气旋的位置。第二步根据预报的天气形势，气团、锋面和气旋的位置预报未来的天气。这种天气预报的办法到现在仍广泛采用。1926年探空仪的出现，30年代末组建了探空网，为芝加哥学派提供了物质基础，芝加哥学派以罗斯贝(Rossby)为首发现了大气波动，并提出长波理论、高空急流、极锋理论。人们把1920—1950年称过渡阶段，这一阶段天气预报主要依靠天气学方法，已开始使用动力学原理。天气图仍是主要手段，但除了地面图之外，高空图在预报中的作用是很重要的。预报虽然仍旧要依靠经验，这已不是单纯的经验，是挪威学派和芝加哥学派理论以及其它理论在实际工作中的应用的经验。

从1950年开始现代科学技术得到迅速发展，并应用到天

气预报，使天气预报进入一个新阶段，称作现代阶段或科学阶段。这一阶段由于数学-物理方法、动力气象学原理，以及计算机、卫星、雷达在天气预报中得到广泛应用使天气预报逐步走向客观、定量。天气预报技术在这三十多年得到了飞快的发展，新技术很快用于天气预报。如英国在第二次世界大战期间研制成雷达，到40年代末就制成天气雷达，50年代在美国就布设天气雷达网。1946年美国研制出世界第一台电子计算机就用于做数值预报。1948年我国制造第一台电子计算机也首先用于数值预报。1957年苏联第一颗人造卫星上天不久，1960年美国就发射第一颗气象卫星泰罗斯1号。遥感、激光等新技术也都很快应用到气象上来。正是电子计算机、卫星、雷达在天气预报的广泛应用，推动了天气预报技术的发展，这一阶段天气预报技术和预报质量都得到较快的提高。

二、国外天气预报的现状

天气预报近30年来发展很快，由于各国科学技术水平和国民经济情况不一，各国天气预报技术水平、设备配置差异也很大，第三世界有的国家天气预报技术和装备仍停留在50年代水平，我国和美国、日本等国仍有较大差距。

美国天气预报基本上是实现客观化、定量化、自动化。美国目前形势预报主要依靠数值预报，人只是对数值预报结果进行适当修正，要素预报主要依靠用模式输出统计预报做出的指导预报，预报员在此基础上进行修改；已经实现气象业务和服务自动化，即AFOS (Automation of Field Operations and Services) 简称阿弗斯系统。AFOS是用显象器（电视型）、复印装置和小型电子计算机系统代替电打字机和无线电传真机。每个预报台（WSFO）和国家中心都将装配两架小型电子计算机（EclipseS-230），

每个气象台 (WSFO) 和河流预报中心 (RFC) 配备一套。使用 AFOS 系统, 气象观测、天气预报和天气图资料都能迅速地出现在显象器上, 如果需要可用“印刷-绘图器”的复印装置在20秒钟内把任何所需的内容复制出来。每个预报台安装7个 AFOS 操纵台, 每个气象台则安装3个, 每个操纵台包括一个或数个显象器和一个计算机终端的打字机键盘。AFOS 系统加强了条条结构, 减少了重复劳动和节省了时间。有了 AFOS 系统国家气象中心为基层台站提供大量预报产品和有关资料, 并且传递速度大大提高了, 一张图象传送只需原来传真的1/3时间, 而目前我国通过传真图传送一张图需20分钟是美国 AFOS 系统的60倍, 有了 AFOS 系统, 预报员可以更快地得到所需资料, 自绘图表大大减少, 用于辅助性的业务活动时间省了一半, 而用在专业工作上的时间可增加50—75%。美国现在不仅要要素预报, 可以由计算机直接给出, 同时还可以给出文字预报, 预报员稍加修改就可以传送到用户, 这些也都是 AFOS 系统的功能。

至于预报水平, 美国气象学会自1957年起多次发表关于天气预报的政策声明, 从几次声明来看20多年美国天气预报是有较明显提高, 以1979年9月声明来看:

12时以内预报: 已达到相当高的水平, 预报的细微程度随时效的延长而减小。1小时以内的预报, 可报出包括强风暴在内的尺度为几公里的天气现象, 12小时的预报, 可报出如锋、飢线和有规律的降水区等较大的天气特征。在大气主要是受山脉、海岸线和城市影响的某些情况下, 用中尺度数值模式已可作出更细微的预报。12—48小时预报: 在预报水平尺度为1000公里以上的天气系统的12小时变化方面已达到很高的技术水平, 特别通过采用数值模式。对于出现强风暴、

大雨等灾害性天气现象的一般区域，经常可在24小时之前作出预报，但还报不出龙卷出现的准确位置。对一般云量、空气质量、温度和降水，可作出直到48小时的预报。

2—5天预报：能作出具有中等技术水平和有用处的逐日温度预报。能作出直到第三天具有相当技术水平的降水预报。到第四、五天，降水预报的技术水平下降，但仍稍超过气候预报。

5天—1个月预报：平均温度的预报具有一定技术水平，特别是6—10天预报。6—10天期间的降水预报具有较低的技术水平，但时效再长，则水平已处于边缘地步。对超过10天的逐周预报水平未作讨论。

超过一个月的预报：季节展望技术水平还低。

日本为了在日常业务预报中，最大限度地应用新技术、新装备，逐步改进预报技术，避免重复，进行有效的配套，并从70年代中期以主观预报为主，转到以客观定量预报为主，更好地满足社会需要，最大限度地采用自动化处理，把已有的系统和将发展的系统有机结合起来，制定了国家天气监视网计划NWW (National Weather Watch)，1977年定型，1983年完成。NWW计划要求加强对府、县预报的指导预报，气象厅加强数值预报及模式输出统计预报，使府、县气象台站缩短从大尺度形势场做出局地天气预报所花费的时间，改变各气象台重复自绘天气图的现象。NWW实现后，日本从观测、通信、资料处理、预报直到提供情报服务等一系列的工作流程，使用电子计算机连接、处理，使其成为更有效率的高度系统化的业务体系。在预报业务体制上经过大幅度地调整，客观化的短时及短期预报技术将有进展，能在业务预报中应用，使负责府、县预报服务的地方气

象台能够向当地提供内容充实的气象情报，使预报的准确性、服务质量均有提高。日本实现国家天气监视网的目的是改进、提高天气预报水平和服务质量，提供地区、时间上都很细微的天气预报，并且都是通过数值预报和模式输出统计方法来实现，这与美国AFOS系统很相似，但NWW不象AFOS那样专门建设一套自动化工作系统，而只改善现行业务，尽量利用已有的系统和设备，减少重复和浪费，使现有设备充分发挥效率。日本NWW自动化没有美国高，还是用电传、传真两套系统，但传输速度由50波特/秒提高到200波特/秒（美国AFOS是2400波特/秒），手工填图改为全国中心自动填图，传给各级气象台、站，而美国分析天气图已实现电子计算机分析。

三、天气预报的未来

美国AFOS系统拟将采用许多新技术，如动画显示、交互显示、快速通信、彩色视频转换显示等，人-机相互作用数据存取系统将投入业务使用，卫星资料经计算和处理，可以得到高空风场、气温场、湿度场，以及流线分析、散度场、涡度场、中尺度分析，而这些资料在半小时或更短时间内就可以得到一次。

到2000年预计天气预报将更精确、更及时，天气尺度数值预报模式已有较大改进，12小时以上预报几乎用不到人干预。根据这些数值预报制作的动力统计预报的要素预报将有更高的精度。中尺度数值模式也已投入业务使用，但模式需人工修改。中期数值预报模式比现在更成熟，其精度可以与现在短期数值预报相近，长期数值预报将有明显进展，长期预报也将在长期数值预报基础上制作，到那时地方预报员的主要任务是不断改进由数值预报具体“解释”为地方天气，

并主要从事短时预报和特殊预报，进行社会服务，发展地方预报技术以及监视自动化预报系统的运转。

§ 1.2 形势预报

在1920年前天气预报已有了二、三千年历史，并且由局地前期征兆发展到利用天气图外挂做具体天气预报，但每种天气现象的预报基本上是孤立地进行，发展十分缓慢。挪威学派都认为要做好天气预报，首先要做好形势预报，在形势预报的基础上再去做具体天气预报。这种观点半个多世纪以来，一直是天气预报遵守有效的规律，使天气预报得到了迅速的发展。在50年代以前形势预报主要依靠天气学原理和预报员经验，用天气学方法制作形势预报。除了用天气学方法做形势预报外，还可以用统计学方法做形势预报和数值预报方法做形势预报，目前美国、欧洲、日本、苏联中、短期形势预报已经由数值预报取代天气学方法，而长期形势预报大多数国家仍依靠统计学方法做长期形势预报。我国1982年2月五层北半球原始方程模式也就是B模式正式投入业务，我国广大台站已经配备或正在配备传真机，使得广大台站可以直接收到我国、日本和欧洲中心数值预报，有必要时，美国、苏联的数值预报也可以得到。这样，对广大基层台站来说这是一个很大的变化，过去做形势预报主要靠天气学原理和预报员经验，现在可以得到数值预报给出的形势预报，是依然按照老办法凭经验做形势预报，还是依靠数值预报的形势预报，是摆在我们面前的一个大问题。

预报员最关心的是数值预报做形势预报能否优于预报员的主观预报。对于这个问题，在50年代瑞典和世界气象组织曾做过严格比较，结果是数值预报的24小时和48小时500hPa

预报图优于主观预报。这时数值预报还比较简单，是正压模式，近三十年来数值预报的质量已有了极大提高。关于这问题，美国也做过严格检验，表1.1给出美国国家中心 500hPa 36小时形势预报和地面30小时形势预报的质量比较。

表1.1 美国形势预报评分

	主观预报	正压模式	地转模式	原始方程模式	细网格模式
500hPa高度					
36h预报	34.7	46.3	52.8	56.2	63.4
地面气压					
30h预报	13.2	14.5	21.3	32.6	39.0

由此可见，不论500hPa形势预报，还是地面形势预报，数值预报都明显优于主观预报。粗略来讲，500hPa形势预报质量，细网格模式比主观预报提高接近一倍，地面气压场预报则提高近二倍。数值预报模式每次更新预报质量都有所提高，地转模式优于正压模式，原始方程模式优于地转模式，而细网格模式优于原始方程模式。

美国曾给出1947年到1972年26年30小时地面预告图的质量，其中1947年到1957年为主观预报，1958年到1972年为数值预报。我们计算了这两段时间预报相对改进率，在主观预报11年中，平均每年相对改进率仅为0.27%，11年总共才改进了3%，而采用数值预报后的15年，平均每年相对改进率为1.46%，是主观预报时期的5.4倍，也就是说数值预报提高得快，数值预报投入业务以来不到三十年，形势预报的改进大约相当主观预报经过一百多年才能得到。数值预报的形势预报质量优于主观预报，我国预报员通过实践是否也得到这

个结论，我国东北、华北、华东许多气象台站接受日本数值预报传真图已有近10年的历史，一些比较认真参考，使用日本传真图的预报员普遍认为日本短期数值预报有较高的参考价值，其形势预报比有经验的预报员还好，我国B模式正式广播已多年了，B模式在中、高纬度有较好的预报能力。欧洲中期天气预报中心的中期数值预报其预报质量较高，优于主观预报和日本数值预报。数值预报的形势预报提高比较快，预报员也有一些感性认识，我国B模式数值预报就比原来三层原始方程的A模式好，日本1982年将八层北半球原始方程取代四层北半球原始方程，将十层有限区细网格原始方程取代六层有限区细网格原始方程，使形势预报质量有了明显提高。数值预报制作的形势预报明显优于主观预报，数值预报的形势预报质量提高比较快，这两个事实要被广大预报员都接受并不是件容易的事。其原因一方面预报员二、三十年来已经习惯用主观预报的办法制作形势预报，并且已经积累了一定经验，另一方面许多老预报员对数值预报并不熟悉，再加之，要承认数值预报的形势预报优于预报员自己凭经验制作的形势预报，就是要自己否定自己，自己承认不如计算机，对有的人来讲是痛苦的。所以要广大预报员都接受上述两个事实并不容易，人不如计算机，对于数字计算是大家所承认。

预报员不易很快接受数值预报制作的形势预报比自己做的形势预报好，不仅我国是这样，在许多国家都是这样。有的国家为了推广数值预报的应用还采取了强硬的组织措施，如美国数值预报投入业务应用比较早，但当时有相当数量的预报员不愿接受数值预报，美国气象局采取了压缩编制和将一些预报员换成新毕业的大学生。我国广大预报员

有丰富的预报经验和为社会服务的经验，这些都是我们气象系统的宝贵财富。我们应该多做宣传工作，使得广大预报员相信数值预报的形势预报优于主观预报，并且通过办训练班、讲座等形式使得预报员逐渐了解和熟悉数值预报。更重要的是在信数值预报优于主观预报的同时还要更好发挥预报员经验的作用。

数值预报有优于主观预报，精度高、质量提高快等优点，但它也有不足之处。如果我们不充分认识到数值预报的优点和长处，我们就不会认真利用数值预报，但不认识到它的缺点，就不能很好利用数值预报，不能很好发挥人的能动作用。

数值预报的缺点，有四条：

第一，数值预报对天气系统的预报往往偏慢。

日本气象厅和我国统计表明数值预报都有偏慢的通病，数值预报偏慢是由于用差分法来解微分方程所造成的，这可以严格证明的。

第二，数值预报都有系统误差，各种数值预报模式，对于物理过程考虑不能和实际情况一样，所以都有系统误差。

日本4L-NHM和6L-FLM数值预报模式中，由于高原高度没有采用实际高度，500hPa的预报图，亚洲大陆偏低，中心在高原东北侧，其中心值可低40—80位势米，由于海-气关系考虑不够及青藏高原高度的考虑不够，太平洋面上预报值偏高，在日本东北的太平洋洋面预报值可比实际值高20—70位势米。

第三，数值预报对有的天气系统预报能力差。经我们统计日本数值预报对于气旋的新生和移动报得比较好，特别是江淮气旋北上，渤海气旋新生都报得较好，但对于副高和东

北冷涡切断报得较差。分析其原因，副高由于处于低纬海上记录少，相对误差大，再加上预报员对副高往往只看一根等值线的西伸东退，北抬南撤，所以看起来副高指标应尽量少用588线的北界、西伸点等某一根等高线的指标。冷涡切断报得差的原因之一是在于数值预报往往采取多次光滑，如果数值预报刚预报出冷涡切断，由于采取光滑，这个冷涡也将光滑成一个深槽。

第四，低纬报得差，中高纬报得好，山地报得差，平原报得好。

美国气象学会1979年9月关于天气预报的政策声明指出：热带地区的预报比中纬度低得多，一般说来，热带地区有技术水平的天气预报很难超过12—24小时。在低纬地区数值预报报得差，这也是数值预报模式的通病。其原因一方面低纬洋面多，陆地少，气象记录稀少。另一方面在低纬，风场并不与气压场相适应，对于天气来讲风场比气压场和高度场更有价值，而数值预报初始场一般都不采用实测风的风场，并且预报能力也是高度场优于风场。同时低纬气象要素在一般情况下，其变化幅度比中高纬度小，数值预报在低纬预报的相对误差较大。并且有的数值预报图南边界一般在北纬10度左右，低纬地区在边界附近误差也大。

在山地气候复杂，并且海拔高度变化大，数值预报对于地形影响的一般处理比较简单，真实地形一般在数值预报模式中都要加以简化，有的对地形还限制高度，这样造成山地误差大。所以数值预报一般在山地报得差，平原报得好。

总之，我们要向广大预报员讲清楚数值预报的形势预报优于主观预报，并且可以较快提高的事实，以及充分利用数值预报是历史发展的必然趋势。更应向广大预报员讲清楚数

值预报的缺点，以便订正其缺点，更好地利用好数值预报，

“人-机结合”。国外研究指出数值预报的形势预报比人的主观预报要高10—20%，但经预报员订正，其结果又可比数值预报高10%，所以搞人-机结合可以更好发挥数值预报的作用，也可以更好地发挥预报员经验的作用。必须指出，我们强调形势预报要依靠数值预报而不是依赖数值预报，是要相信数值预报而不是迷信数值预报。方法不能依赖，因为科学也要发展，数值预报的形势预报，还需不断改进，不断发展，不断提高。

§ 1.3 气象要素预报

各级气象台站首要任务是制作气象要素预报，要素预报近三十年来发展非常迅速，这可以由图1.1表示。

气象要素预报方法可以分为定性预报和定量预报两大类，有的预报方法基于天气图，而有的基于数值预报这由图1.1可以明显看出。下面简要介绍以下几种气象要素预报方法：

一、经验预报——EF

这是近百年来制作天气预报的最主要方法，它是预报员用天气学原理和长期实践中积累起来的宝贵经验来制作各项要素预报。这是最原始的预报方法，它不客观，不定量，因人而易，一百二十多年来天气预报就基于这种方法，由于它因人而易，所以天气预报通过天气会商制作，这是一种特殊的办法一直沿继到现在。由图1.1可以看出许多天气预报方法都基于这种方法。

二、指标法——IM

在经验预报基础上，人们整理预报员较好的经验成为指