

台风暴雨天气预报的现状和展望

刘还珠

(国家气象中心,北京 100081)

提 要

将我国天气预报业务中台风暴雨的预报方法归纳为4种类型,它们是天气概念模型、数值预报产品动力释用、相似法和应用卫星、雷达探测资料等方法。以典型实例说明了每种方法的基本思路和大概情况。由此分析了我国在预报业务中所具有的优势和存在着的薄弱环节。依照近期的计划和动向对我国天气预报业务发展作了展望。

关键词: 台风 暴雨 预报

引 言

台风暴雨是我国主要的灾害性天气,每年都给国民经济建设和人民生命财产造成严重损失。因此,对这类天气发生、发展演变规律的研究不仅被无数气象工作者所关注,而且也是每个气象学者应肩负的责任,一些气象界的老前辈甚至为之贡献了自己一生的心血。

随着科学技术的发展,大气探测手段越来越多,数值预报的水平日益提高,人们对台风、暴雨发生、发展的物理机制的认识逐渐加深,通过个例分析、模拟实验,对它们三维结构的图像有了进一步了解,这些都为提高台风、暴雨天气预报能力奠定了基础。

这里,对我国台风、暴雨天气预报业务的现状作一概述,以便得到一个总体的评价,也为今后的发展提出展望。目前在日常业务中,暴雨预报使用的方法大致可分为4个方面。一是天气概念模型;二是数值预报产品动力释用;三是相似预报方法;四是利用卫星、雷达等非常规观测资料的预报方法。台风的预报方法除了使用台风数值预报模式,预报台风的位置和强度外,主要运用上述的第四和第二类方法。

1 业务现状

1.1 天气概念模型

运用天气学原理通过暴雨天气系统演变的个例分析,由产生暴雨的降水特征、环流背景和物理量场结构的特征,总结出一些适合于本地的暴雨天气概念模型。

四川省气象科学研究所郁淑华^[1]普查了10年导致洪水的暴雨天气特征,将500hPa系统划分为北槽南涡、切变低涡和横槽扰动等3种类型的环流背景场。对每种类型所具有的物理量场如涡度、散度、水汽通量散度、 Q 矢量散度等高低空分布特征归纳为不同的合成图像,从而构成长江上游暴雨系统的概念模型。在实际预报时,以天气实际图像特征对照这些概念模型进行定性判断。

国家气象中心王淑静^[2]根据物理量场配置,总结出的天气动力诊断暴雨预报方法,首先从850hPa水汽通量轴线及量值($>10\text{g/hPa} \cdot \text{cm} \cdot \text{s}$)确定湿急流轴来划定强降雨带;然后分别由螺旋度和涡度平流、变压风辐合区及湿位涡 $MPV_1 < 0$ 、 $MPV_2 > 0$ 等3个方面确定暴雨落区,最后用人机交互方式修正数值预报给出的暴雨落区。

江西省气象台曹晓岗等^[3]一方面用观测

资料组成的基本气象要素场,进行切比雪夫多项式正交分解,通过切比雪夫系数对应有物理意义的气象场来组合成不同的暴雨天气模型;另一方面着眼于动力条件(如垂直速度等)和热力条件(如 θ_{se} 、 K 指数等)的物理量场合成,求得多次暴雨过程的物理量平均场,通过分析归纳,得到江西省区域暴雨的物理诊断模型。依据上述天气概念模型和物理诊断模型看预报日是否符合条件,如符合则再利用数值化云图进行短时跟踪落区预报。

1.2 数值预报产品动力释用

除了数值预报产品直接输出(DMO)预报温度、风和降水外,以该产品为基础,应用多元回归、聚类分析、专家系统、人工神经网络等统计方法做出暴雨的落点强度的预报已在我国各省、地普遍使用。各地对数值预报产品的订正和对预报因子的处理都下了许多功夫,颇具特色,使这方面的工作不仅没有走到山穷水尽的地步,而且还大有发展趋势。

陕西省周全瑞、贺皓^[4]首先对数值预报产品性能检验,推导出对数值预报产品订正的经验公式,然后采用有序聚类方法对中国地区500hPa高度场进行客观分类,共划分3类7型,并找出各型消空指标(即不可能出现暴雨的指标),经过消空处理后,建立了产生暴雨的7类概念模型。又通过解消过程模式订正减少空报现象。最后用数值预报产品(T42L9)和前期实况要素建立EPP多元回归方程。经预报,对陕西省暴雨天气概括率达17/28,1995年24小时预报TS评分达0.38。

国家气象中心夏建国等^[5]利用国家气象中心有限区模式(LAFS)运行结束后获得的最新观测资料(00~06时,GMT的6小时降水量),推算近似于实际大气6小时平均降水强度和垂直速度。

$$\text{降水强度 } R = \frac{R_6}{RTIME \times 3600 \times RATE}$$

式中, R_6 为6小时降水量, $RTIME$ 为降水时间(试验参数), $RATE$ 为水汽与降水量比率,又由降水强度公式: $R = \frac{1}{g} \int_{P_2}^{500} \mathbf{V} \cdot \nabla q dp - \frac{1}{g} \bar{q} \omega_{500}$,令 $\omega_{R_6} = \omega_{500}$ 为6小时雨量推算出的垂直速度,可作为6小时平均垂直速度。尔后根据环境风场推算出 ω_{R_6} 的移动(看作一个具有 ω_{R_6} 垂直速度的天气系统),并引用了数值模式中 ω 预报值的变化率,以求得该时刻后各时次的垂直速度的变化,最后得到变化后的垂直速度,进而推出各时段的降水强度。1995年经过3个月预报,大于50mm降雨24、48小时预报TS评分比LAFS分别提高了13.7%和29.7%,大于100mm降雨则分别提高了23.5%和19.2%。

江苏省沈树勤、于波^[6]对热带气旋暴雨落区预报是将热带气旋造成的暴雨按500hPa天气形势分为热带气旋倒槽、热带气旋环流和冷空气与气旋相结合的暴雨三类。尔后依热带气旋中心为原点选取周围格点,组成7×7格点的活动网格,取其物理量进行合成分析,归纳为几个较好的物理量因子。其中,在考虑物理量因子时,他们进行了一系列处理,先计算影响区内的某物理量满足条件的概括率,然后考虑影响外区的误差率及物理量因子的梯度,从而归纳出该时刻与热带气旋暴雨关系密切的物理因子及阈值,最后以24小时数值预报在相应时刻所挑选的物理量因子及阈值参加判别,得到华东地区热带气旋暴雨落区概率预报图。

广西自治区气象台杨望月等^[7]用人工智能方法预报广西暴雨天气,他们首先用专家系统排除非暴雨天气(消空),然后用误差逆传算法(BP法)建立有无暴雨预报神经元网络。由于对预报因子下了功夫,使预报得到较好的效果。1996年5~6月预报CSI评分为0.77,1997年达0.67。

1.3 相似方法

相似预报方法是假定两个样本天气形势和气象要素场是相似的情况下,它们天气发展的过程可能相似,造成的天气也类同。

江西省气象台张延亭、单九生^[8]利用气象因子场,求出两样本因子之间的相关系数,表征它们之间形态相似程度,用两样本之间平均距离来表征它们之间空间位置接近程度,从而得到合相似系数:

$$A_{ij}(H_1) = R_{ij}(H_1) \cdot (1 - D_{ij}(H_1)/DM)$$

其中, R_{ij} 为 i, j 两样本的 H_1 场之间相关系数; D_{ij} 为两样本之间平均距离; DM 为一自定义适当大小的值, H_1 为第一个因子场。这样可求得 $m-1$ 个合相似系数 $A_{ij}(i, j=1 \cdots m)$, 从中可挑选出最大合相似系统, 其对应的天气现象为 $W_{id}(H_1)$, 可求样本天气与最佳相似样本天气之间的相关系数 $R_{uid}(H_1)$ 和样本天气平均值, 与天气现象 W_{id} 的相关特征量按上述方法逐一求得 R_{uid} 后, 就获得与各种天气现象之间的相关特征量 $R_{w1}, R_{w2} \cdots (H_1)$ 。

依次对不同的因子 $H_2, H_3 \cdots$ 获得不同的与天气现象 W 的相关特征量。最后组成线性预报方程 $(Y_w)_{i,j} = A_{1ij}(H_1) \cdot R_w(H_1) + \cdots A_{nij}(H_n) R_w(H_n)$

Y_w 为任一样本与其它样本之间对天气现象 W 的综合相似系数, 其中最大综合相似系数所对应的样本为最佳相似, 以此预报最佳相似对应的天气。

安徽省气象台陈焱^[9]利用数值预报产品基本要素计算的物理量场, 首先经过标准化处理, 选取 10 多个因子, 以海明距离法计算预报日与历史样本之间差值, 并进行排序, 然后通过相似预报系统获得 15 个最佳相似, 并求得它们对应的江西各站降水级数; 进行频数统计, 作出各降水级别的概率预报。

江苏省淮阴市气象台苏永清等^[10]从环流形势和产生暴雨的影响系统着手用 F 函数判别法进行客观分型。按模糊分布公式经

验构造出分别表征槽、脊、低涡、切变位置和强度量度的 F 函数, 通过对 1970~1995 年暴雨天气个例进行 F 函数判别, 确定为 4 种天气型, 再根据天气学、热力、动力、能量学原理选取了 14 个作为暴雨落区和强度相似预报因子, 然后依据各因子特征进行 0, 1 编码。具体预报时, 是输入预报日分型特征量, 首先分型, 看是否符合有暴雨天气型, 如符合又属于何种天气型, 再按其物理量因子编码找出相同码数最多的前 3 个样本(作为一级相似), 进行落区相似判别, 最后用相似离度法计算预报日与一级相似个例相似离度值, 取相似离度值最小的为强度最佳相似。

1.4 卫星、雷达探测资料的应用

近代天气预报技术的重大改进除了得益于数值预报进展外, 还归功于新的探测技术的发展, 其中卫星、雷达技术除用于改进四维同化, 为数值预报提供高质量的初始场外, 还为预报员综合各种探测资料, 以人机交互式作出短时预报提供了条件。

武汉中心气象台徐双柱^[11]利用 WSR-81S 数字化雷达回波资料、MYWMS 雷达拼图资料和 GMS 卫星云图资料, 分析了 1987~1994 年 4~9 月发生在长江中游地区所有暴雨过程(共 149 个), 揭示了卫星云图上不同种类暴雨云团下数字化雷达回波演变模式, 根据每类云雨场演变和生命史统计分析, 建立了长江中游地区暴雨的云雨场 4 类概念模型: 带状形暴雨云团、中小尺度混合云团、中尺度对流复合体和涡旋云团, 同时, 还总结出每种类型的具体特征、演变规律和与暴雨的定性关系。

武汉中心气象台在“七五”期间以 FRONTINRS 思路研制成 MYWMS, “八五”期间又吸收了 NIMROD 的思想发展成 LARORAS (Large Area Rainfall Observation in Real-time Automatic System)^[12], 不仅扩大了雷达网的探测范围(由 2 部上升到 6

部),更新了系统结构,而且完成了在雷达网和卫星测量估算降水处理技术的定量和自动化。

江苏省气象台沈树勤等^[13]运用 TOVS 资料,经过反演、资料预处理、格点插值,并运用变分分析修正 TOVS 反演的标准地面高度场,确定副热带高压的特征值,再用人工神经网络方法作副热带高压南北位移预报,以此给预报员提供降水预报的参考,经试用效果良好,使副高南北位移定性预报达到 90% 的准确率。

1.5 用雷达、卫星资料对台风位置、强度的确定和预报

用雷达、卫星云图监测技术获得的资料确定热带气旋位置和强度,预报热带气旋未来变化也在国家气象中心和我国东南沿海的几个省广泛地使用。国家气象中心范惠君等^[14]用 GMS 展宽数字云图以人机交互方式确定热带气旋强度。他们根据环流中心与浓密云相对位置、眼的形状和直径、中心密蔽云区形状、螺旋云带最低云顶温度和云带条数、旋转圈数等得到气旋强度云指数 I ,最后建立气旋中心附近最大风速与 I 之间的关系,从而获得热带气旋最大风速和中心气压值,经 1994 年业务检验,26 个热带气旋最大风速平均绝对误差为 $2.44\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,最大误差为 $9.6\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

广州中心气象台余勇等^[15],应用雷达和地面探测资料确定热带气旋中心位置,采用热带气旋对应的回波及地面资料选出的因子,使用因子贡献法确定气旋中心附近最大风速值,并以最强的螺旋雨带求出大风分布廓线,由实时 714B 天气雷达探测得到的数值化雷达资料,依照总结的经验公式,得到广州地区热带气旋造成的降水。

福建省气象台薛借旺、陈奇生^[16]将雷达回波特征作为因子进行分级,与分级后的热带气旋风速相对应,建立回归判定方程。最

后,按计算出的最大值对应的级别作出热带气旋风速判定。

1.6 数值预报与统计方法结合,预报热带气旋移动路径

许多省将数值预报的结果与统计方法结合作出热带气旋路径的预报。上海台风研究所蒋乐贻等^[17]利用模式识别技术对数值预报 500hPa 高度场提取天气图特征,再将这些特征定量化作为因子,用逐步回归和神经元方法建立热带气旋路径预报方程(分别预报气旋中心每时刻经度和纬度)。1997 年 6~9 月共有 40 个有台风的日子,对热带气旋预报的平均误差 36 小时 120.7km,60 小时为 228.9km,比台风路径数值预报的结果有明显提高。

广州海洋气象研究所刘春霞和中科院大气所周家斌^[18]在 PRESS 模型预报南海台风路径的基础上引入了卡尔曼滤波技术,以 PRESS 回归模型作为量测方程 $Y=HB+W$ 的初值 B_0 和作为 W_k 的协方差 R_k 的初值 R_0 ,PRESS 模型经过卡尔曼滤波后使热带气旋路径的预报得到了改善,24 小时预报最大平均距离误差不大于 150km。

浙江省气象科学研究所钟元^[19]从 1961~1990 年 6~9 月间共 240 个热带气旋的样本中选取了如下预报因子:① 热带气旋初始位置、强度和中心附近风向风速;② 500hPa 高度场的天气系统特征;③ 地面气压场的天气系统特征;④ 把中国、亚洲分别分成 3 个不同区域,对 500hPa 高度场用自然正交函数 EOF 展开,取前 10 项特征向量;⑤ 再对上述 3 个区 500hPa 高度场用切比雪夫多项式展开取 3 个区具有一定天气意义的 35 个切比雪夫正交展开系数 A_k ;⑥ 将 500hPa 高度场用谐波分析方法求得纬圈谱的参数,使用数值预报产品对初选因子进行逐步判别分析,建成三类预报模式,最后进行集成,得到综合客观预报方法。对热带气旋路径作出三

类判别预报,总体准确率达到84.7%。

2 天气预报业务展望

天气预报水平的提高极大地依赖于提高数值预报的精度和时效,至2000年国家气象中心将研制全球和区域三维变分同化系统,将中期谱模式上升到T239 L31,此外改善物理过程,发展V-HLAFS 30km分辨率的区域预报模型和分辨率为110km全球台风模式,建立BJ10km分辨率的中尺度模式,这样将为数值预报产品的释用技术提供更广阔应用的基础。此外,我国拥有一支积累了丰富的天气预报经验的预报员队伍,在天气经验的基础上建立了各种天气概念模型,但不能仅仅停留在定性的认识上,目前正在尝试用模式识别、人工智能技术将这些模型量化,形成过程理解,成为一种类似于模糊相似的预报方法。

将卫星、雷达等探测技术获取的信息应用于天气预报是我们比较薄弱的方面。因此,除了将它们用于四维变分同化外,还将加强对它们的使用,特别是在暴雨、台风天气预报中不断总结经验,在客观定量上下功夫。

目前,许多省都建立了天气预报工作平台,制作天气预报业务流程,创造了一个使用方便、调度灵活的工作环境,使预报业务工作规范化。宁夏自治区气象局^[20]以数值预报产品为基础,以人机交互系统为工作平台,综合运用各种气象信息制作天气预报。

为了改变以往分散、不规范、重复劳动的预报局面,目前正在研制国家-省-地(市)-县的逐级指导的天气预报体制。江苏省^[21]提出由省-地(市)-县的逐级指导信息系统,省一级除了本身的服务系统外,对下主要是提供基本资料、图表和各种预报意见,如各县最高最低气温、降水等级预报、大风预报等。各地(市)接收到这些信息后,一方面直接转发给下属的县站,另一方面应用自制的预报工具作出更细的具体站点的预报。各县则根据上一级发来的

预报作出公众、专业和决策预报服务。

总而言之,未来的天气预报业务将走上系统化、规范化。以数值预报产品为基础,充分应用各种气象信息,发挥各自优势,使用多种预报方法,采用人机交互方式的综合集成。

参考文献

- 1 郁淑华. 长江上游致洪暴雨系统的概念模式. 暴雨业务预报方法和技术研究. 北京:气象出版社,1996:141~146.
- 2 王淑静,周黎明,陈高峰. 解释台风暴雨落区的探讨. 应用气象学报,1997,8(2):167~174.
- 3 曹晓岗,王田民,戴熙敏,张明席. 江西暴雨预报的客观天气学模型和物理诊断模型研究. 暴雨业务预报方法和技术研究. 北京:气象出版社,1996:25~30.
- 4 周全瑞,贺皓. 暴雨数值预报产品的客观订正及EPP暴雨预报方法研究. 暴雨业务预报方法和技术研究. 北京:气象出版社,1996:51~57.
- 5 夏建国,张芬馥. 利用有限区域数值预报产品改进暴雨客观预报的技术研究. 暴雨业务预报方法和技术研究. 北京:气象出版社,1996:34~36.
- 6 沈树勤,于波. 华东热带气旋暴雨落区的数值产品的释用. 台风及其灾害性天气业务预报方法的研究. 北京:气象出版社,1996:104~110.
- 7 杨望月,那基坤,曾晔. 利用专家神经网络试报广西前汛期暴雨. 气象,1994,20(6):48~50.
- 8 张延亭,单九生. 相似预报思路与相似技术. 待发表(私人通信).
- 9 陈焱,沈伟,杨金锡. 利用ECMWF数值产品作24~72小时暴雨预报的动力相似方法. 暴雨业务预报方法和技术研究. 北京:气象出版社,1996:66~71.
- 10 苏永清,吴士兰,王瑞. 暴雨落区及强度的多维相似预报方法. 气象,1997,23(11):36~38.
- 11 徐双柱. 暴雨云雨场的概念模型. 暴雨业务预报方法和技术研究. 北京:气象出版社,1996:19~24.
- 12 金鸿祥等. 联合雷达网和卫星监测长江流域大范围降水. 暴雨业务预报方法和技术研究. 北京:气象出版社,1996:1~18.
- 13 沈树勤等. TOVS信息处理及其在1997年西太平洋副高动态的分析预报中的应用. 1997年全国重大灾害性天气预报技术经验交流会.
- 14 范惠君等. 用数字云图确定热带气旋强度的原理和方法. 北京:气象出版社,台风及其灾害性天气业务预报方法的研究. 1996:3~8. (下转封二)

(上接第9页)

- 15 余勇等. 应用雷达和地面探测资料确定台风中心位置、强度和风雨分布实时业务系统. 台风及其灾害性天气业务预报方法的研究. 北京:气象出版社,1996:17~20.
- 16 薛偕旺,陈奇生. 利用台风雷达回波资料判定台风强度——多因子综合相关判别法. 台风及其灾害性天气业务预报方法的研究. 北京:气象出版社,1996:21~22.
- 17 蒋乐贻,费亮. 台风路径人工智能预测方法的研制. 应用气象学报,1997,8(2):254~255.
- 18 刘春霞、周家斌. 南海台风路径预报试验(二)——卡尔曼滤波的引入. 台风及灾害性天气业务预报方法的研究. 北京:气象出版社,1996:84~89.
- 19 钟元. 西太平洋热带气旋中期路径趋势的综合判别预报模式. 台风及灾害性天气业务预报方法的研究. 北京:气象出版社,1996:73~79.
- 20 吴岩峻等. 建立在SGI工作站MICAPS工作平台上的宁夏中、短期天气预报制作流程. 1997年全国重大灾害性天气预报技术经验交流会.
- 21 濮梅娟. 加强对下技术指导,推进预报业务改革. 1997年全国重大灾害性天气预报技术经验交流会.

The Current State and Prospect of the Operational Weather Forecast for Tropical Cyclone and Torrential Rain

Liu Huanzhu

(National Meteorological Centre, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

Abstract

The weather forecast methods for tropical cyclone and torrential rain in routine operation in China were grouped into four categories: the weather conceptual model, the dynamic interpretation of numerical weather prediction products, the analogue method, and the application of SATEM and Radar echo data. The basic idea and brief progress for each of the methods are explained by using typical examples.

Further more, the advantages and shortcomes in our operational weather forecasts are analized. The prospects of the field, was also estimated based upon several well-established long-term plans and programmes.

Key Words: tropical cyclone torrential rain operational weather forecast