

国外定量降水预报的业务模式概况

定量降水预报(QPF)对于抗洪防灾有重要意义。大气科学委员会根据水文委员会的要求已经考虑了定量降水预报方法问题,并且对现有的定量降水业务模式进行了调查。在调查过程中,澳大利亚、加拿大、法国、日本、德意志民主共和国、瑞典、瑞士、苏联和美国等九个成员国介绍了本国所使用的定量降水预报业务模式,在所介绍的15个模式中,有6个模式是动力模式,7个是统计-动力模式,一个是统计模式(也依赖于数值预报模式输出),一个模式没有加以注明,但是从该模式所提供的流线图来考虑,这个模式也应属于统计-动力模式。这样一来,实际上是6个动力模式,9个统计-动力模式。

这些模式都有一个网格系统,格距在35—300公里之间,网格区域的大小则根据需要而变化。在很多情况下,开始计算时网格区域较大,最后则集中在有限区域,也就是有次网格。大部份模式的输入是由观测资料或数值天气预报模式的输出结果导出的,其中仅有两个模式需要气候指标。输出的结果多是累积降水量,一般是用网格点上的平均值形式给出,也可以用平均降雨量的等雨量线图的形式或者用指定天气观测站资料的形式给出。所计算的降水量是每6,12,或24小时的累积量。这些计算结果的空间代表性似乎

有较大的差别。15个模式中,有些模式考虑了对流、地形、海气交换和边界层特征,但是比较而言,对于对流性降水的预报还是不如一般降水预报的结果好。

对于这些模式的检验和比较,调查者建议分两个阶段进行。在第一阶段,由模式的使用国根据服务情况进行,即在确定的范围内计算TS评分和相关系数等等;为了便于模式之间的相互比较,在第二阶段,需要各个模式的使用者指定(i)语言类型、输入资料格式、网格区域、边界条件;(ii)资料性质(原始资料,校准用资料,分析资料等);(iii)在当地使用时所需的资料性质和数量;(iv)计算结果的自动资料处理的可能性等,然后在同一区域对所有模式进行比较。

综观所介绍的15种模式,调查者认为定量降水预报业务模式,目前还处于初期发展阶段,尚存在下列几方面的问题:

- (i) 没有对固体降水加以区别;
- (ii) 模式主要适用于中纬地区,至今还没有适用于热带和赤道地区的业务预报模式;
- (iii) 不经常考虑相互之间的联系;
- (iv) 网格的格距太大,对当地的大气特征考虑不足。

调查者认为这种调查可以达到交换情报的目的，有利于模式今后的改进。现将其中部分模式摘要介绍如下：

一、澳大利亚

澳大利亚气象局使用的定量降水预报模式是美国国家天气局设计的 SLYH 模式。这个模式是动力模式，覆盖区域为 5—55°S 和 90—180°E，在澳大利亚地区的格距为 244 公里。降水量是根据澳大利亚地区范围的或半球范围模式所预报的 500 和 1,000 毫巴高度进行计算的。

该模式中所使用的湿度参数是饱和层厚度，其定义为给定水汽量之后出现降水时的 1,000—500 毫巴厚度。使用气候关系得到的饱和层厚度的诊断方程为：

$$h_s = 5610 + 292 \ln W \quad (1)$$

h_s 是以米为单位的饱和层厚度， W 是以英寸为单位的可降水量。

饱和差(定义为 1,000—500 毫巴的实际厚度和饱和层厚度之差)和降水量有关，其预报方程为：

$$h_s^i = h_s^j + 2(h_s^j - h_s^i) - (E^j - E^i) \quad (2)$$

其中： h_s^i = 饱和差， h_s^j = 1000—500 毫巴厚度， E = 地形项， f = 下游点的预报值， i = 轨迹上游点的初始值。

方程 (1) 和 (2) 说明，气团在下游点的饱和差，可以由其上游点的数值经 1,000—500 毫巴厚度及地形修正来求得。平流风为 1,000 毫巴地转风的 70% 和 500 毫巴地转风的 30% 之和。

当某一时间步长计算的饱和差为负值，则过饱和层厚度 $h_s^* = h_s - h_s^i$ 。

与 h_s^* 和 h_s 相对应的可降水量的数值分别按下式计算：

$$h_s^* = 5610 + 292 \ln W^*$$

$$h_s = 5610 + 292 \ln W$$

降水量 $R = W^* - W$ 。

这个模式没有预报对流性降水，另外也仅仅考虑了部份地形的影响，所以只对大尺度降水预报有效，而不能预报小尺度的大雨。

二、加拿大

加拿大大气环境局使用加拿大气象中心的 QPF 方案进行定量降水预报。该模式是统计-动力类型的模式，模式计算的覆盖区域是北美和临近的海洋地区。

该模式的湿度参数是温度露点差 $S = T - T_d$ ，同时把 S 与 $S = 0$ 时的大范围降水率之比定义为起始函数 $X_1(s)$ 。

大范围降水量的表达式是

$$r_1 = \begin{cases} X_1 G(P, T, \omega, \frac{dQ}{dt}) \frac{\Delta p}{g} \Delta t & G > 0 \\ 0 & G \leq 0 \end{cases}$$

其中

$$G = - \left[\frac{F_1(p, T)\omega}{p} + \frac{F_2(p, T)}{C_p T} \frac{d\bar{\theta}}{dt} \right]$$

$$F_1(p, T) = \frac{r \alpha_1}{1 + r_{\infty}} \left[\frac{\epsilon L_j}{C_p T} \frac{\alpha_2 \alpha_1}{\alpha_3} - 1 \right]$$

$$F_2(p, T) = r_{\infty} \alpha_1 \frac{\epsilon L}{RT} \frac{1}{\alpha_3}$$

$$\alpha_1 = 1 + \frac{r_{\infty}}{\epsilon}$$

$$\alpha_2 = 1 + \frac{L r_{\infty}}{RT}$$

$$\alpha_3 = 1 + b r_{\infty} + \frac{r_{\infty}}{C_p} \frac{\epsilon L^2}{RT^2} \alpha_1$$

$$b = \frac{8.064}{7\epsilon}$$

$\frac{dQ}{dt}$ 是除了释放的潜热以外的加热率

Δp 是该层的厚度

$r_{\infty}(p, T)$ 是饱和混合比

$L(T)$ 是水 (或冰) 的蒸发潜热

$\epsilon = 0.622$

Δt 是时间步长

其他符号为通用的， F_1 和 F_2 用列表的形式给出。确定大范围降水的临界值 S_2 和起始函数 $X_2(s)$

$$\frac{dQ}{dt} = X_2 LG(p, T, \omega, \frac{d\bar{\theta}}{dt})$$

对 S 的预报方程作适当的处理，使 S 在饱和与非饱和条件下连续变化。在气压座标系中，利用逐渐开始 (gradual onset) 方法进行计算。

$$S_1 = \frac{(4 + \beta_1)(30 - I^*)\beta_2}{96} S_0$$

其中：

$$\beta_1 = \begin{cases} 2 & \beta_1^* > 2 \\ \beta_1^* & 0 \leq \beta_1^* \leq 2 \\ 0 & \beta_1^* < 0 \end{cases}$$

$$\beta_1^* = a_1 (\nabla T)^2 + a_2 (\nabla \cdot \nabla T)$$

$$I^* = \begin{cases} 12 & I > 12 \\ 1 & 0 \leq I \leq 12 \\ 0 & I < 0 \end{cases}$$

这里 I 是肖瓦特 (Showalter) 指数， a_1 和 a_2 是随 T 缓慢变化的函数， $\beta_2(p, p_c)$ 是气压为 p_c 的高地修正因子。

对于小范围降水，假定 r_1 可以分解为 n 个气象分量 r_{1i} ， $i = 1, 2, \dots, n$ ，第 i 个分量的尺度因子 A_i ， T_i 个特征变量 η_{ij} 及补足界限值 η_{ij}^* ，起始函数 $X_{ij}(\eta_{ij})$

$(\eta_{ij}^*)_{j=1,2,\dots,J_i}$

$$\text{降水量 } r_s = \sum_{i=1}^n r_{s,i} = \frac{F_i(pT)}{p} \frac{\Delta p}{g} \Delta t \times \sum_{i=1}^n A_i \prod_{j=1}^{j=T_i} X_{i,j}$$

(η_{ij}^*)

对该模式进行的 TS 评分检验说明, 夏季的计算结果比较差。

三、日本

日本气象厅预报部的定量降水预报模式是 PoP (降水概率), PoHp (大雨概率) 和 PA (降水量)。这些模式都是统计-动力模式, 和美国的模式输出统计 (MOS) 方法类似。它们使用 6 层初始方程模式的输出资料作为输入, 预报每个网格点 (格距为 150 公里) 上的 6 小时累积降水。

这些模式中最重要的预报因子是地形降水指数和盲区指数。

四、苏联

苏联水文气象中心使用统计-动力 QPF 模式作定量降水预报。该模式属于统计-动力类型的模式, 覆盖区域是苏联欧洲部份。预报程序按以下步骤进行:

(i) 使用最优内插法进行地面气压、三小时气压倾向和 850, 700, 500 及 300 毫巴位势高度的客观分析。

(ii) 根据准地转方案作 850, 500, 和 300 毫巴位势高度的流体动力学预报和地面气压及 850, 700 毫巴高度的天气学-统计动力预报。

(iii) 利用最优内插法进行地面, 850, 700, 500 和 300 毫巴等 5 层的温度和露点的客观分析。

(iv) 预报上述 5 层高度上的空气轨迹和 850, 700, 500 和 300 毫巴各层上的有系统的垂直运动。

(v) 预报上述 5 层的温度和湿度 (露点)

(vi) 预报连续降水的降水量和持续时间

(vii) 对流性参数和阵性降水的降水量及持续时间的预计算。

为了计算降水强度和降水量, 考虑单位空气体积内的总水汽含量变化方程:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} = -\text{div}(q\rho c) - \text{div}(\mu \vec{C}) + \text{div}(v \nabla q \rho)$$

其中 'div' 是三维的散度

$\alpha = q\rho + \mu$ 是单位体积空气的总水汽含量,

q = 空气的比湿,

μ = 单位体积空气内液态和固态水质量,

ρ = 空气密度,

\vec{c} = 空气速度,

\vec{C} = 固态或液态成分的速度

v = 虚湍流系数,

$\nabla q \rho$ = 水汽密度梯度。

近地面降水强度 J_0 和降水量 Q_0 的计算公式分别是:

$$J_0 = \frac{1}{g} \int_{p_0}^{\infty} \frac{d\alpha}{dt} dp + \frac{\bar{\mu}}{g\rho} \int_{p_0}^{\infty} \text{div}_{xy} \vec{C} dp + \frac{1}{g\rho} \int_{p_0}^{\infty} (U \frac{\partial \mu}{\partial x} + V \frac{\partial \mu}{\partial y}) dp$$

$$Q_0 = \frac{1}{g} \int_{p_0}^{\infty} \int_{p_0}^{\infty} \frac{d\alpha}{dt} dp dt + \frac{\bar{\mu}}{g\rho} \int_{p_0}^{\infty} \int_{p_0}^{\infty} \text{div}_{xy} \vec{C} dp dt + \frac{1}{g\rho} \int_{p_0}^{\infty} \int_{p_0}^{\infty} (U \frac{\partial \mu}{\partial x} + V \frac{\partial \mu}{\partial y}) dp dt$$

其中 g 是重力加速度

$\bar{\mu}$ 是云的平均含水量

q_m 是饱和层空气比湿

该模式的计算是在分辨率为 300 公里共有 16×12 个网格点的网格上进行的。最终的计算结果是 12, 24, 和 36 小时的连续性和阵性降水的降水量 (12 小时累积量) 及持续时间的预报。

五、美国

美国介绍了国家天气局设计和使用的三种动力类型的定量降水预报模式。

一种模式叫做套网格模式, 该模式还没有业务使用, 其覆盖区域为北美地区。这是一种 σ 坐标系中的初始方程模式, 垂直方向有 8—9 层, 水平网格格距为 200 公里, 最外层边界为北半球。它利用基本气象资料作 48 小时的降水量 (每 12 小时累积量) 预报。

第二种模式叫做有限区细网格模式 (LFM II)。它是 σ 坐标系内的 6 层初始方程模式, 其中水汽有 3 层。覆盖区域为北美地区, 格距是 127 公里。该模式主要用于预报大尺度和次网格尺度 (湿对流) 降水。预报时效为 48 小时, 预报的降水量是 12 小时累积量。

第三种模式是可移动的细网格模式 (MFM)。这种模式主要用于处理飓风降水和大雨。它是 10 层的动力模式, 计算覆盖区域是美国大陆的 3,000—5,000 平方公里的范围, 格距是 60—100 公里, 它的网格可以移动到北半球的任何位置。从 1975 年夏季起, 每当美国大陆受飓风或大雨威胁时, 该模式就开始工作, 预报时集中考虑起始时刻的天气系统, 网格沿系统本身的预报方向移动。为了保证计算的精度, 必须给该模式提供大范围低分辨率模式的资料输入。和上述的两种模式一样, 该模式也是预报 48 小时时效内的每 12 小时累积降水量。

胡圣昌摘自 Operational Model of Quantitative Precipitation Forecasts for Hydrological Purposes and Possibilities of an Intercomparison (WMO)