

面雨量在天气预报中的应用

董官臣 冶林茂 符长锋

(河南省气象科学研究所, 郑州 450003)

提 要

面雨量的应用和预报,适合防汛、抗洪需要,并可能成为我国气象和水文两大学科相结合的纽带。提出了计算面雨量的三角形法,不仅有其明显优点,且易于实现业务自动化;进一步探讨了面雨量在预报和服务中的应用以及面雨级的划分和预报。

关键词: 面雨量 预报 降水量级

引 言

降水,尤其夏季降水,分布不均是一个客观现象,就目前气象发展的水平,使用局部暴雨这类不确切的用语在所难免。但是,局部暴雨量级差异甚大,对人民生产、生活的影响,有时可以忽略不计,有时带来重大灾害。例如1986年6月26日夜,南召县出现一场12小时达328mm的特大暴雨,个别乡出现了412mm罕见记录,当地人民群众生命和财产遭受重大损失。受目前预报方法和工具的分辨率的限制,准确预报这种局部强天气,难度颇大。如果我们把预报对象从空间一点,转换为有限的空间面积上的现象,去适应当前预报工作中所能掌握的预报因子的尺度,符合尺度对应原理,就可以排除大网捞小鱼的不合逻辑的办法,为逐步解决暴雨难题,探索一条新的途径。

面雨量是针对有限域计算出来的降水量,为水文学上的一个重要参量。“面雨量有确切的量值,用它表示特定地域的降水强度,对水文预报工作者是既清楚又实用”^[1],但预报面雨量对气象工作者来说,则是严峻的挑战。为了做好对水资源管理的专业服务,特别是为了加强防汛服务,“八五”期间,我国开展了致洪暴雨预报方法的研究,把面雨量的概

念引入气象;从而,面雨量的预报成为我国气象学科一种新的预报对象,并且将是气象和水文两大应用学科相结合的纽带。

1 面雨量的计算

水文学中,将给定时段面平均雨量表示为^[2]:

$$P_A = \frac{1}{A} \int_A R dA \quad (1)$$

式中 A 为特定地域的面积, R 为该面积上代表有限域 dA 上的雨量。面(平均)雨量的计算,文献^[2]中给出3种方法,其中流域内各测站实测雨量的算术平均最为简便,但是测站不均普遍现象,因此该方法显得过于简单粗糙。一般认为推算面雨量的较精确方法是等雨量线法。不过这一方法的精度较多地依赖于分析技能,机器分析一般不能考虑流域地形特征。人工分析又缺乏客观性,因人而异,不正确的分析会导致重大误差。为了客观化和自动化,人们多采用 Thiessen 的多边形法^[3];然而这种面雨量计算法的最大局限性在于缺乏弹性,一个站缺报就影响一片区域完全无值;否则就需要作出新的 Thiessen 多边形,在测站很多时,这是很麻烦的,而且会使计算结果的连续性受到影响。为此我们建立了计算面雨量的三角形法,将特定区域内

各个测站连成密布的三角形网。为减少计算误差,尽量构成锐角三角形;求出各个三角形面积 ΔA_i 和区域内三角形的平均面积 ΔA , 以三角形三顶点测站的实测雨量算术平均值作为该三角形(重心)上的雨量,则面积权重与该雨量的乘积,即为该三角形的面雨量。所有三角形面雨量的平均值,即为该区域的面雨量。设流域内可构成 N 个三角形,式(1)可写为

$$P_A = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^N R_i \Delta A_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_i W_i \quad (2)$$

式中 W_i 为各三角形面积的权重:

$$W_i = \frac{\Delta A_i}{\Delta A} \quad (3)$$

$$\sin \frac{\delta}{2} = \frac{\sqrt{\sin p \cdot \sin(p-\alpha) \cdot \sin(p-\beta) \cdot \sin(p-\gamma)}}{2 \cdot \cos(\alpha/2) \cdot \cos(\beta/2) \cdot \cos(\gamma/2)} \quad (4)$$

计算,再由式(4)求得各球面三角形的面积。而球面三角形三边的弧长可借助球面上任意两点间的距离求得。设地球球面上任意两点 (A, B) (图1),其经、纬度分别由 (λ_1, ϕ_1) 和 (λ_2, ϕ_2) 表示,因 $\triangle ACD$ 为直角三角形,从而有

$$\cos \widehat{AC} = \cos \phi_1 \cdot \cos(\lambda_2 - \lambda_1) \quad (5)$$

$$\sin \theta = \sin \phi_1 / \sin \widehat{AC} \quad (6)$$

据 $\triangle ABC$ 和余弦定律有

$$\cos \widehat{AB} = \cos \phi_2 \cos \widehat{AC} + \sin \phi_2 \sin \widehat{AC} \cos \phi \quad (7)$$

$$\therefore \theta + \phi = \pi/2$$

$$\therefore \cos \phi = \sin \theta \quad (8)$$

将式(5)、(6)和(8)代入式(9)得

$$\widehat{AB} = \arccos[\cos \phi_1 \cos \phi_2 \cos(\lambda_2 - \lambda_1) + \sin \phi_1 \sin \phi_2]$$

在测站稀疏地区,雨量平均值一般偏小,但相应三角形面积偏大,权重 W 的值增大,由式(2)知,该三角形面雨量可向偏大值调

若把地球视为球体,可利用球面三角求特定区域内各三角形的面积

$$\Delta A_i = R^2 \delta_i$$

式中 R 为地球半径,取地球平均半径 $R = 6371.036 \text{ km}$, δ_i 为球面角超,有:

$$\delta_i = A_i + B_i + C_i - \pi$$

$$\because A_i + B_i + C_i > 180^\circ$$

$$\therefore \delta_i > 0$$

令球面三角形三边(即三个弧)为 α, β, γ , 并令

$$p = 0.5(\alpha + \beta + \gamma)$$

于是球面角超 δ 可通过下式

整。而且可以看出,此种三角形法面雨量的计算,具有一定弹性,在实际应用过程中,偶有个别缺站时,虽然计算精度受到一定的影响,但不致使一片区域成为无值;更重要的是,计算方法客观,易于实现自动化。其计算结果,在记录一致且齐全的条件下,通过与 Thiessen 多边形法比较,两者相当一致。

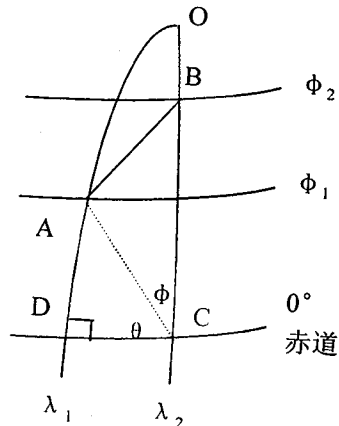


图1 地球球面三角形边长的计算

2 面雨量与可致洪暴雨

粗略地说,致洪暴雨就是形成特定地域内江河洪水的大面积、长历时的强降水。“七五”长江三峡致洪暴雨攻关研究曾给致洪暴雨一个比较确切的定义式^[4]。

$$FTR = \iint_{SL} I_{st} dS dt + BQ$$

式中, FTR 是表示致洪暴雨强度的量; I_{st} 、 dS 和 dt 分别表示强降水的强度、面积和历时, 三者的综合效果, 描述了致洪暴雨的气象成因, 所以是致洪暴雨重要的气象参数; BQ 笼统地表示前期基础降水量, 它是一个复杂的函数, 可认为是与前期江河底水或起涨流量、流域内土壤湿润状况、下垫面特征、水库分布、地表径流和流域汇流特性、以及下游顶托效应等多种水文和地理因素有关, 从而给致洪暴雨的确定带来颇大困难。此外, 某一地域洪涝灾害出现与否, 除了上述自然因素之外, 还和人的因素有关。如水利设施质量、防御能力强弱、防御措施是否适当等, 都受人的活动或人的主观能动性制约。考虑到我国气象部门不负责发布有关洪水的预报, 气象工作者为满足水文预报的需要, 首要的任务是在一定的水文条件下, 确定某一特定地域致洪暴雨面雨量的临界值, 凡大于临界面雨量的暴雨, 更确切地说, 称为可致洪暴雨较好些。例如, 对于黄河三花间地段, 致洪暴雨的气候分析^[5]表明, 该地多突发性暴雨致洪, 基础水位一般不高。 $\geq 5000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 的较大洪水, 都出现在 2 天以上日面雨量 $\geq 35 \text{ mm}$ 的连续暴雨情况下。而在持续 2 天以上的日面雨量 $\geq 35 \text{ mm}$ 的致洪暴雨过程中, 实际在不同程度上引起致洪的达 61%。因此, 气象部门向水文部门提供致洪暴雨的预报, 水文部门结合水文、地理等多种因素作进一步的工作, 最后形成及时而准确的水文预报。

3 区域性降水量级的面雨量界定

用面雨量界定区域性降水量级, 原则是在便于防汛服务的前提下, 参照点雨量的降水量级, 以与其相衔接, 并考虑致洪暴雨研究的某些的研究成果。设想在某一自然区(河南省划分为 6 个自然区)内, 区域里 60% 的测站普遍下 25mm 的大雨。而其余 40% 区域滴雨未下, 由于下大雨的面积过半, 可以说该区有大雨, 显然面雨量为 25×0.6 , 即 15mm; 从而 15mm 能够当做区分面雨量大雨量级的临界值。同时注意到 0.6 是数学上黄金分割——一个具有广泛应用价值的的概数。根据这一思路, 把 0.6 大体视为由点雨量向面雨量量级转换的系数, 或许是合适的。

表 1 区域性降水量级面雨量界定

编号	量级	单站下限/mm	面雨量下限/mm
0	无雨	0	0
1	小雨	0.2(0.5)	0.3*
2	小~中雨	5	3
3	中~大雨	17	10
4	大~暴雨	38	20*
5	暴雨	50	30
6	大暴雨	100	60
7	特大暴雨	200	120

考虑到使用方便, 区域性降水量级暂定为 8 级(见表 1)。表中标注 * 处是要说明的: 首先, 单站点雨量小雨量级最下限的界限值, 通常是 0.2mm, 但是, 省内雨量报规定, 小于 0.5mm 不发报, 这意味着, 夏季点雨量小于 0.5mm 可忽略不计; 为了一致, 面雨量小雨量级最下限取 $0.5 \times 0.6 = 0.3 \text{ mm}$ 。其次, 致洪暴雨的研究表明^[6], 在下垫面较湿润的情况下, 24 小时 20mm 的面雨量应引起重视; 故面雨量大~暴雨量级的最下限不取 23mm, 而取 20mm。

应用上述区域降水面雨量界定办法, 对 1992~1996 年汛期河南省 6 个自然区逐日降水量级进行分级, 表 2 是河南省的面雨级

频数。可以看出,面雨级的分布远离正态,给其预报带来困难。

表2 1992~1996年河南省面雨级频数统计

面雨级	0级	1级	2级	3级	4级	5级	6级	7级
1992	39	22	15	10	4	2	0	0
1993	32	27	18	7	6	1	1	0
1994	41	20	19	4	3	2	2	1
1995	26	22	25	6	7	2	4	0
1996	29	27	14	11	4	2	5	0
合计	167	118	91	38	24	9	12	1

4 面雨级的预报

气象统计预报中广泛使用的方法,如回归分析、逐步判别等,预报量大多假设为总体遵从正态分析。检验正态性,可使用 Johnson 的偏度和峰度系数^[7]。

$$C_s = \mu_3/S^3$$

$$C_m = \mu_4/S^4 - 3$$

式中 μ_3 和 μ_4 分别为三阶和四阶中心矩, S 为标准差,相对于中心矩 C_s 和 C_m ,在信度 $\alpha = 0.05$ 下,有判据临界值 G_1 和 G_2

$$G_1 = 1.96[6(n-2)/(n+1)]^{1/2}$$

$$G_2 = 1.96\{24(n-2)(n-3)/[(n+1)^2(n+3)(n+5)]\}^{1/2}$$

检验综合判据为

$$C = (|C_s|/G_1 + |C_m|/G_2)/2$$

正态性一般化检验的指标是:

① 当 $C \leq 1$ 时,称为服从正态分布,定义为正态性 1 级;

② 当 $2.5 \geq C > 1$ 时,称为服从准正态分布,定义为正态性 2 级;

③ 当 $C > 2.5$ 时,认为不服从正态分布。上节所述的河南省汛期面雨级的 C 值高达 61.2,故是高度偏倚的。面雨级的预报欲获得较好效果,就需作适当处理,以使其尽量接近正态分布的假设条件。

4.1 面雨级的处理

面雨级 0 级和 1 级出现频数太多,而 4 级以上频数迅速减少。这一方面应在满足服务需要的条件下对其作适当简化,如把 2、3 级,4、5 级与 6、7 级分别合并,以便增大相应的频数;另一方面应把过高频数的 1 级一分为二。由于夏季不足 1mm 的面雨量对汛期服务无足轻重,可从小雨量级中分离出去。于是就形成表 3 的处理后的面雨级。

表3 1992~1996年河南省简化面雨级出现频数

面雨级	0级	1级	2级	3级	4级	5级
合计	167	45	73	129	33	13

虽然表 3 中的面雨级分布依然是偏倚的,但是,如能采用很好的对 0 级消空技术,偏倚程度就可得到大大改善。

4.2 面雨级的消空处理

采用两次消空。第一次消空,从 133 个经验性的指标中,寻找 5~8 个相关好的因子,建立 Fisher 两级判别方程。然后,将该方程的预报结果作为因子,与从 44 个诊断场挑选出的因子,一并提供给 Bayes 意义下的逐步判别方程,仍然是降水有无的二级判别。由于 Fisher 判别质量较高,其结果一般都能进入 Bayes 判别方程。经二次消空后,0 级消去了 90% 以上,还剩下 15 个。且通过因子调整,没有消去表 3 中 3 级以上的降水个例。从而使面雨量的 C 值降至 2.27,服从准正态分布,为面雨量的多级逐步判别预报奠定了基础。

4.3 面雨量的多级逐步判别预报

进入逐步判别方程的因子是从 44 个诊断场的一千多个格点中选取的。借鉴线性判别函数,根据方差分析的理论构造相关判别式鉴别因子质量,其表达式为:

$$F = \frac{\sum_{g=1}^G N_g (\bar{x}_g - \bar{x})^2 / (G-1)}{\sum_{g=1}^G \sum_{k=1}^{N_g} (\bar{x}_{gk} - \bar{x}_g)^2 / (N-G)}$$

G 为面雨级的状态数, 这里 $G = 6$, N 为样本数, N_g 分别为各类样本数, 即

$$N = \sum_{g=1}^G N_g$$

并且

$$\bar{x}_g = \frac{1}{N_g} \sum_{k=1}^{N_g} \bar{x}_{gk}$$

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{g=1}^G \sum_{k=1}^{N_g} \bar{x}_{gk}$$

统计量 F 服从自由度 $v_1 = G - 1$, $v_2 = N - G$ 的 F 分布; 通过相关系数检验和判别式 F 检验, 从相关系数绝对值大于临界值 R_c 、判别式 F 值大于临界值 F_c 的因子群中, 挑选出 L 个 F 值最大的因子, 组建面雨级的多级逐步判别方程。通常 L 取值为样本 N 的 $1/10$ 或 $1/8$ 。上述方法在 1996~1998 年汛期入网使用中, 获得较好效果。

5 结 语

根据我国气象和水文分属两个行政管理 department 的特点, 面雨量的使用和预报必将成为我国气象和水文两大应用学科相结合的纽带。气象部门制作流域面雨量预报, 特别是做好、作准致洪暴雨的面雨量预报, 满足延伸洪水预报的需要, 对防汛抗洪工作的意义十分重大。

(1) 本文提出了面雨量计算的三角形法, 计算结果和 Thiessen 方法比较接近。但前者

有明显的优点, 即在测站稀疏地区, 它通过加大权重, 部分地弥补计算误差; 此外, 该方法有一定弹性, 偶有个别缺报时, 不致出现一片无值区; 且方法简便客观, 易于实现自动化。

(2) 本文把复杂的致洪暴雨问题, 归结为特定地域面雨量的计算和预报问题, 从而增大了气象部门的可操作性, 为防汛、抗洪、提供了新的气象服务手段。

(3) 面雨级的界定是在点雨级的基础上, 结合预报量正态化的需要进行的, 面雨级的预报利用了逐步判别方法。作好面雨级预报, 完善消空技术是其重要前提。分别使用 Fisher 判别和 Bayes 判别进行两次消空处理, 可以获得较为理想的效果。

参考文献

- 1 陈产贤. 淮河水系“致洪暴雨”探讨. 空军气象学院学报, 1995, 16(3): 259~267.
- 2 R. K. Linslcg 等. 工程水文学(刘光文等译). 北京: 水利出版社, 1991: 18~81.
- 3 A. H. Thiessen. Precipitation for large areas. Mon. Wea. Rev., 1971, 99: 1082~1087.
- 4 章 淹. 致洪暴雨中期预报可行性. 长江三峡致洪暴雨与洪水的中长期预报. 北京: 气象出版社, 1993: 1~6.
- 5 符长峰等. 黄河三花间致洪暴雨的天气和气候分析. 空军气象学院学报, 1995, 16(2): 129~138.
- 6 郑启松等. 荆江致洪暴雨预报服务系统. 暴雨预报方法和技术研究. 北京: 气象出版社, 1996, 153~157.
- 7 符长峰, 黄嘉佑. MOS 预报中降水量的正态化处理. 气象, 1992, 6: 26~30.

An Application of Area Rainfall to Weather Forecast

Dong Guanchen Ye Linmao Fu Changfeng

(Henan Research Institute of Meteorology, Zhengzhou 450003)

Abstract

The need of anti-flood and flood control can be satisfied with the forecast and application of area rainfall. The triangular algorithm calculating the area rainfall was given. The algorithm not only has certain strong points but also makes automatic operation more easily. The application of area rainfall to forecast and service was discussed. The division and forecast of rainfall grade were analysed.

Key Words: area rainfall rainfall grade weather forecast