

丘陵地区面雨量计算方法 及应用^①

林开平 孙崇智 郑凤琴 李宇中

(广西壮族自治区气象台, 南宁 530022)

提 要

根据高斯权重客观分析原理,在考虑了流域内各地的降水气候差异和地形分布特点的基础上,找出一种适合于丘陵地区的面雨量计算方法。并将该方法计算的面雨量与泰森多边形法进行比较,研究了这两种计算方法的优缺点;此外,还研究了面雨量与流域的洪涝灾害的关系。结果表明,两者关系非常密切,流域面雨量的变化能较好地反映未来洪水的变化趋势。

关键词: 面雨量 高斯权重法 丘陵地区 洪涝

引 言

目前,全国各地的气象台站都开展流域的面雨量预报。面雨量的计算方法很多,主要有逐步订正格点法、算术平均法、格点法、等雨量法和泰森多边形法。徐晶^[1]等对上述的面雨量计算方法进行了分析和比较,认为等雨量线法精度虽然较高,但较多地依赖于分析技能,而且操作比较复杂,不利于日常业务使用;泰森多边形法比算术平均法更合理,精度更高,并建立了适用于不同流域站点变化的泰森多边形面雨量计算系统,应用到全国的七大江河流域面雨量的计算中去,取得了较好的效果。但以上各种面雨量计算方法均没有考虑流域内各地的气候差异和地形作用所引起的降水分布不均匀对面雨量的影响。对于平原地区的江河流域或者是集水面积大的流域来说流域上各地的气候差异和地形作用所引起的降水分布不均匀对面雨量的影响并不明显,但对于象广西这样的丘陵地区且集水面积较小的流域来说,流域内各地的气候差异和地形作用所引起的降水分布不

均匀对面雨量的影响要明显得多。我们根据高斯权重客观分析原理,利用流域密集的气象站点和水文站点的降水资料,并充分考虑流域内各地的气候差异和地形的影响,计算广西各主要江河流域面雨量(简称高斯权重法),从2000~2002年的汛期应用情况来看,取得了较好的效果。并将用该方法与泰森多边形面雨量计算方法进行比较,从方法和计算过程上来看,两者各有长短;从计算的结果来看,在绝大多数的情况下两者的结果接近。对一些较明显的洪涝过程,两者的结果有些差异,前者比后者计算出的流域面雨量与流域的洪涝关系更为密切。

1 面雨量计算方法简介

面雨量是指某一特定区域或流域的平均降水情况,定义为由各个点雨量推求出的平均降雨量。在水文学中将面雨量表示为^[2]:

$$\bar{P} = \frac{1}{A} \int_A P dA \quad (1)$$

式中 \bar{P} 为面雨量, A 为特定区域的面积, P 为有限元 dA 上的雨量。

^① 本研究受到科技部社会公益研究专项资金项目(37020)、广西自然科学基金(桂科基 0236041)和广西区气象局重点研究项目“广西主要江河流域面雨量预报系统研究”资助。

首先将特定区域均分为一些连续且大小相同的正方形,为减少误差尽量按地形来构建正方形,由于正方形的面积是相同的,所以每个正方形相对于整个区域来说权重是相同的,以正方形四个顶点上的雨量算术平均值作为该正方形(重心)上的雨量,该雨量即为该正方形的面雨量。所有正方形面雨量的平均值即为该流域的面雨量值。

设某流域内可构建 N 个正方形,式(1)可写为

$$\bar{P} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^N P_i \Delta A_i \quad (2)$$

式中, P_i 为第 i 个小区间的平均雨量, ΔA_i 为第 i 个小区间的面积。当 N 个小区间均取面积相同的正方形时,则式(2)可简化为:

$$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i \quad (3)$$

根据高斯权重客观分析原理,利用流域密集的气象站点和水文站点的降水资料,通过插值法求得各个正方形顶点的雨量。对于每一个正方形顶点的雨量插值,都要求用到一定数量的站点雨量。具体任意一个正方形顶点取一定的扫描半径(和正方形的边长相等),对其周围气象站点和水文站点进行扫描,当扫描半径范围内的站点不足4个时,就加大半径再次进行扫描,直到在扫描半径范围内有4个或以上站点时为止,该顶点的雨量值由选定的 Z 个站点的实测值和权重大小决定,而每个站点的权重系数与站点到该顶点的距离有关,距离越小,权重越大,反之亦然。

此外,我们利用最近40年广西主要江河流域气象站点汛期(4~9月)逐日的降水资料,利用模糊聚类、相关分析等方法对各支流流域逐月按小雨,中雨,大雨、暴雨和大暴雨5个量级进行聚类分析,大致分析出降水相关较好的区域,此外,根据流域的地形分布特点,找出各站点的大致影响范围。综合考虑了流域各地气候因素和地形分布特点,得到了流域内各雨量站点对其附近的格点的影响

权重系数 K_i , i 为格点的序号。当格点落在与站点同一降水气候区(即降水相关较好的区域),权重越大,反之亦然。格点落在与站点相近的地形或与站点落在山脉的同一侧,权重越大,反之越小。

这样,我们就得到了某个格点的雨量插值:

$$R_{(N,E)} = \frac{1}{(Z-1)L} \sum_{i=1}^Z (L - M_{(i)}) \frac{z \times K_i}{K} R_{(i)} \quad (3)$$

式中: $K = \sum_{i=1}^Z K_i$, K_i 为在选取的 Z 个站点中综合考虑了流域各地气候因素和地形分布特点得到的第 i 个站点对该格点的影响权重系数; $L = \sum_{i=1}^Z M_{(i)}$, $M_{(i)}^2 = X_{(i)}^2 + Y_{(i)}^2$, $X_{(i)} = (E - E_{(i)}) \times R \times \pi \times \text{con} N_{(i)} / 180$, $Y_{(i)} = (N - N_{(i)}) \times R \times \pi / 180$

式中 $R_{(N,E)}$ 为某一顶点的插值结果, N 、 E 分别为纬度和经度; $R_{(i)}$, $i = 1, 2, \dots, Z$; 为所选的 Z 个测站中第 i 个测站的实测雨量值, $N_{(i)}$, $E_{(i)}$, $i = 1, 2, \dots, Z$; 为对应的 Z 个测站中第 i 个的纬度和经度。为减小插值所带来的误差,还需通过几次反插来对格点雨量进行订正,最后得到流域所有格点的雨量。然后充分考虑地形因素后确定出各流域的边界,根据流域的格点雨量和流域的面积,计算出流域的面雨量。

2 计算结果分析

2.1 插值处理后的雨量与站点实况雨量的比较

为了检验利用高斯权重客观分析方法并考虑流域的气候因素和地形分布后站点降水量插值到流域所有正方形顶点时的误差情况,我们对流域内各正方形顶点的雨量进行分析,并与站点实况雨量进行比较,从绘出的雨量等值线分布图来看,两者相当吻合。图1是2002年8月7日08时~8日08时流域站点实测雨量等值线分析图和插值以后的

雨量等值线分析图,从图中我们可以看到,两者的雨量等值线分布的形状十分相似,中心值也几乎一致。流域的一些地方由于考虑了

气候因素和地形分布的影响作用,两者在形状或数值上有一些差异,但两者的差别较小。由此可见经过插值处理后雨量值是可信的。

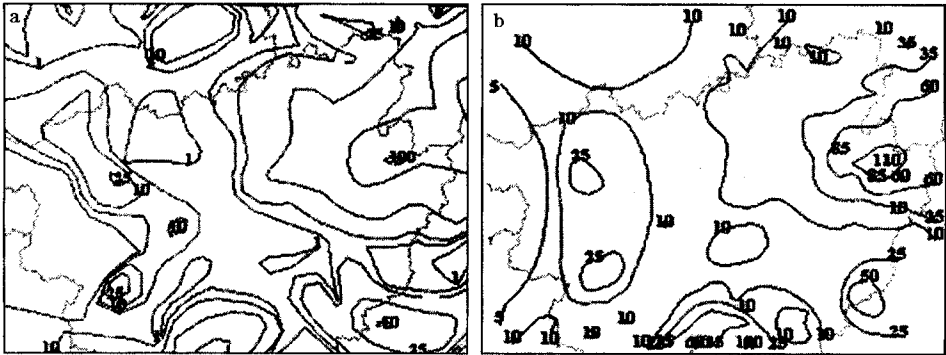


图1 实测雨量(a)与雨量插值结果(b)比较

2.2 面雨量与流域的洪涝关系

我们根据高斯权重客观分析原理,利用流域密集的气象站点和水文站点的降水资料,计算1980~2001年汛期广西桂江流域(桂林为代表站)、柳江流域(柳州为代表站)、红水河流域(迁江为代表站)、邕江流域(含左、右江,南宁为代表站)、西江流域(梧州为代表站)逐日的面雨量,并且计算出1960年以来上述流域出现洪涝灾害过程的逐日的面雨量。从流域的面雨量变化和流域洪涝的出现来看,两者的关系非常密切。除了桂江以外,其它流域的面雨量均能提前2~5天反映出将有洪涝出现,且累计面雨量的大小与流域出现洪涝灾害的程度关系非常密切。图2

为西江的面雨量与流域的洪涝的关系。从图2可以看到,从7月5日,流域的面雨量加大到10mm,6日,面雨量激增到35mm,在7~8日,流域的面雨量均维持在25mm以上。在13日前,流域的面雨量均维持在16mm以上。14~16日,面雨量急降至2~4mm。与此相对应,梧州的水位在9日由前一天的10.48m增加到14.20m,增幅3.72m,接近警戒水位。10日,水位达到19.27m,超警戒水位4.27m,11日,水位达到22.38m,超警戒水位7.38m,在15日到达洪峰水位24.23m,超警戒水位9.23m。从16日开始,梧州的洪水水位逐渐降低,洪水逐渐消退。

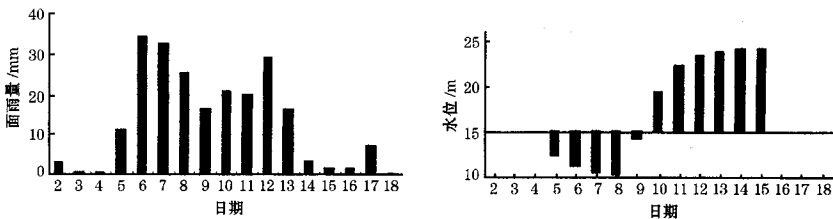


图2 1976年7月2~18日西江流域的面雨量(a)与西江水位(b)

桂江流域由于集水面积小,其流域的面雨量一般只能提前12~24小时反映出将有洪涝出现(图略)。

3 高斯权重法与泰森多边形法的比较

由于泰森多边形法是目前应用最为广泛

的面雨量计算方法,在此,我们根据广西主要江河流域的降水量和洪水水位,对高斯权重法与泰森多边形法计算的面雨量进行比较。

3.1 计算方法比较

①本文提出的丘陵地区的面雨量计算方

法与泰森多边形法,在计算面雨量时都考虑了各雨量站的权重,因此,精度较高。但本文提出的面雨量计算方法充分考虑了流域的气候因素和地形分布对面雨量计算的影响,因此更能反映丘陵地区的实际面雨量情况。

②高斯权重法对流域的测站数和计算机应用水平都要求不高,偶有个别站缺报时无须重新考虑其它站点的权重变化,且少量的缺站对面雨量的计算结果影响很小,此外该方法简便客观,易于实现自动化;泰森多边形法计算较复杂,不容易做到根据流域站点的变化自动更新站点的权重。中国气象局下发的泰森多边形法面雨量计算系统解决了根据流域站点的变化自动更新站点的权重问题,可实现程序的自动化,能适用于不同流域的站点变化。但有个别站缺报时须重新考虑更新站点的权重问题。要考虑流域的气候因素和地形分布对面雨量计算的影响难度非常大。

③中国气象局下发的泰森多边形法面雨量计算系统能直接计算流域的面雨量,操作简单。但要考察流域的某一部分雨量与流域的洪水关系时比较困难。同时,要计算流域中某一支流或流域的某一段的面雨量时,就必须重新选定流域的范围和确定站点的权重。而高斯权重法要先计算格点的雨量,后计算流域的面雨量,多了一步中间过程。但所计算出的流域格点雨量可先入库,要考察流域的某一部分雨量与流域的洪水关系时只须把流域格点雨量调出即可。要计算流域中某一支流或流域的某一段的面雨量时,根据所选的流域面积和相应的格点的雨量计算即可,十分简单。

④用中国气象局下发的泰森多边形法计算面雨量时依赖于 MICAPS 系统,所选取的流域面积只能在 MICAPS 上画取,由于 MICAPS 上没有细致的地形地貌图,故流域的边界选取就相对较粗糙。而高斯权重法是把流域中站点的雨量内插到 $10\text{km} \times 10\text{km}$ 的格点上,在计算流域的面雨量或某一支流的

面雨量时,可把流域的网格叠加在有细致的地形地貌的地图上,然后精确地选出流域的边界,这在计算集水面积较小的流域尤为重要。

3.2 面雨量计算结果的比较

我们利用考虑了流域的降水气候因素和地形分布的高斯权重法和泰森多边形法对柳江流域 1980~2001 年汛期(4~9 月)逐日面雨量进行计算,并对两种不同方法计算出来的面雨量进行对比分析,统计结果表明,两者基本一致。面雨量在 20mm 以下时两者的差值在 0~1mm 之间,平均为 0.4mm;面雨量在 20~30mm 时,两者的差值在 0.5~2mm 之间,平均为 1.2mm;面雨量在 30mm 以上,两者差值一般在 1~4mm 之间,平均为 2.0mm。在面雨量较小时,两种方法求得的面雨量较为一致(如图 3a 所示)。在雨量较大时,两种方法求得的面雨量差别也不大,但在某些洪涝过程中,两种方法求得的面雨量差别较大。如 1983 年 6 月柳江流域出现洪涝的过程中,在面雨量超过 30mm 的 4 天中,用考虑了流域的气候因素和地形分布的高斯权重法求得的面雨量较泰森多边形法求得的面雨量大 5mm 左右(如图 3b)。

3.3 流域的面雨量和洪涝的关系比较

在 1960~2000 年柳江流域出现的 12 次中等以上的洪水(柳州的洪水水位在 84m 以上)中,有 5 次是两种方法求得的面雨量较为一致(差值在 2mm 以下)。在另外的 7 次中,两种方法求得的面雨量差别在 2~6mm。基

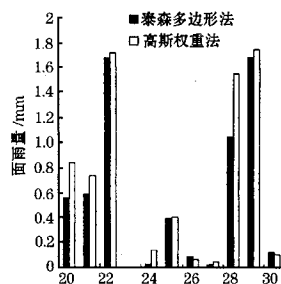


图 3a 流域面雨量较小的情形
(1996 年 4 月柳江流域)

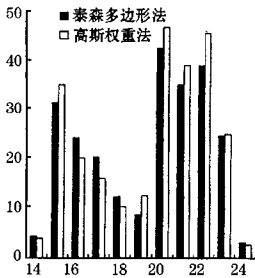


图 3b 流域面雨量较大的情形 (1983年6月柳江流域)

基本上都是高斯权重法计算的面雨量大于泰森多边形法计算出的面雨量(图 3b),其与流域洪涝的关系更为密切(图 3c)。

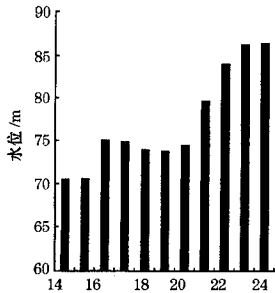


图 3c 1983年6月14~24日柳江水位

从图中我们可以看到,在16日和21日水位有一个明显的上涨过程,而面雨量在15日和20日有一个明显的加大过程,和水位的上涨有较好的对应关系,从图3可以看出,在15和20日用高斯权重法求得的面雨量较前一天面雨量变化的幅度比用泰森多边形法求

得的明显,由此可以说明用插值法求得的面雨量能更好的反映水位未来的变化趋势。

4 结 语

(1)丘陵地区由于受地形的影响较大,降水的时空分布极不均匀,因此,丘陵地区流域的面雨量计算与平原地区应有所不同。在计算面雨量时要充分考虑流域内各地的降水气候差异和地形的影响因素。

(2)根据高斯权重客观分析原理,用流域密集的气象站点和水文站点的降水资料,同时考虑了流域各地的降水气候概率和地形的影响来计算流域的面雨量,是在丘陵地区中一种行之有效的面雨量计算方法。该方法对流域的测站数和计算机应用水平都要求不高,且有一定的弹性,偶有少量站点缺资料,对计算结果影响不大,方法简便客观,易于实现自动化。

(3)高斯权重法算出的面雨量与泰森多边形法算出的面雨量绝大多数情况结果接近。对一些较明显的洪涝过程,两者的结果有些差异,前者比后者计算出的流域面雨量与流域的洪涝关系更为密切。能更明显地反映未来洪水的变化趋势。

参考文献

- 徐晶,林建. 七大江河流域面雨量计算方法及应用. 气象. 2001,27(11):13~16.
- 章国材. 卫星气象数据广播接收系统培训教材. 北京:气象出版社,2001:320~330.

Calculation Method of Area Rainfall over Hilly Land and Its Application

Lin Kaiping Sun Chongzhi Zheng Fengqin Li Yuzhong

(Guangxi Autonomous Region Meteorological Observatory, Nanning 530022)

Abstract

Based on consideration of the difference of climatic precipitation probability and orographic influence over river valley, a new calculation method of area rainfall suit to hilly land river valleys is proposed according to the Gauss weight interpolation. The advantage/disadvantage of the new method and Taisen polygon method are discussed. At the same time, the relationship between area rainfall and flood is studied as well.

Key Words: area rainfall Gauss weight interpolation hilly land flood