

用格点法求流域平均降水量

留小强

(江西省气象科学研究所)

张若军 吴宝俊

(气象科学研究院)

流域的流量、江河的抗洪能力以及水库的蓄泄规模都与流域的平均降水量密切相关,因此客观地、简便地计算流域平均降水量具有重要意义。目前,流域平均降水量的计算方法主要有算术平均法、加权平均法和等雨量线法^{[1]、[2]}。其中算术平均法虽然较为简便,但因雨量站往往分布不均,故求得的流域平均降水量精度较差。加权平均法和等雨量线法虽然比较准确,但不易在计算机上实现。为此,本文提出一种较为客观的、准确率较高的、易于在计算机上实现的方法——逐步订正格点法。

一、逐步订正格点法

(一) 流域边界的处理及网格的设置

设在某一地图投影上某流域的边界及雨量站分布如图1。现在我们选择某一格距的正方形网格系统来分之(见图2)。而这些正方形网格的中心点也组成相同格距的另一正方形网格系统(见图2的虚线部分)。显然,只要求出这些中心点的降水量,就可求出该流域的平均降水量。流域平均降水量的计算公式为:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^m S_i R_i}{\sum_{i=1}^m S_i} \quad (1)$$

式中: \bar{R} ——流域平均降水量(mm);

m ——中心点的个数;

i ——中心点的序号;

R_i, S_i ——第 i 个中心点的降水量及其所代表的面积。

由于边界是不规则的,因此在边界上的正方形是残缺不全的,在计算其面积时应减去或加上不规则的面积(以下简称区域边界参数,见图3)。不规则面积的计算可采用如下方法:首先,用若干折线拟合边界,然后,把不

规则面积分成若干个三角形进行计算。对于某流域来说,其边界是固定的,因此当选定网格系统后,不规则面积只要一次性算出,建立数据库,在计算流域平均降水量时直接调用就可以了。

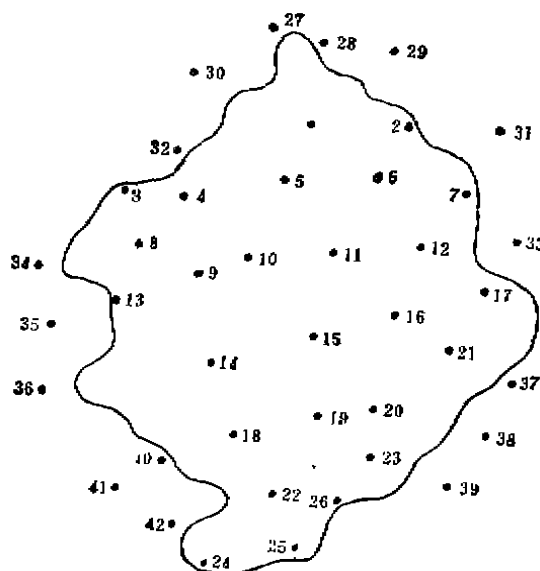


图1 某流域的边界及雨量站分布图
(圆点表示雨量站;数字代表雨量站序号,
实线为流域边界)

(二) 中心点降水量的计算方法——逐步订正法

1. 第一猜测场的确定

在用Cressman的逐步订正法求中心点的降水量时,必须先给出中心点的第一猜测场。第一猜测场的给定有多种方法^[3],为了减少订正次数,我们采用有限元方法。

如图4,设 A 为某一中心点, a, b, c 为实际雨量站, S_a, S_b, S_c, S 分别表示 $\triangle Abc, \triangle Aca, \triangle Aba, \triangle abc$ 的面积, R_a, R_b, R_c 为实际雨量站 a, b, c 的降水量。

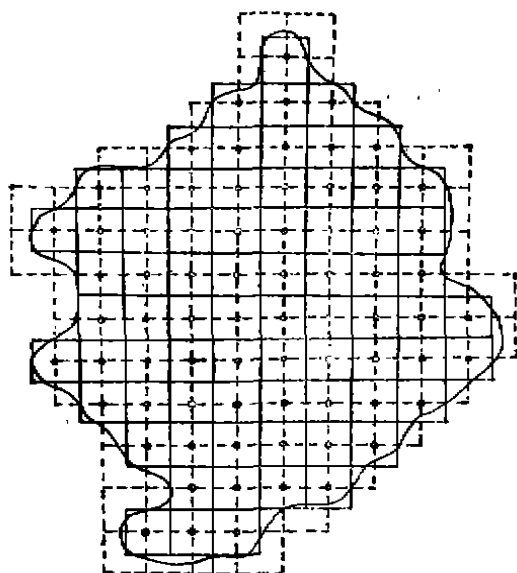


图2 划分流域的网格分布(实线)及这些网格中心点(圆点)所组成的同一格距的网格分布(虚线)

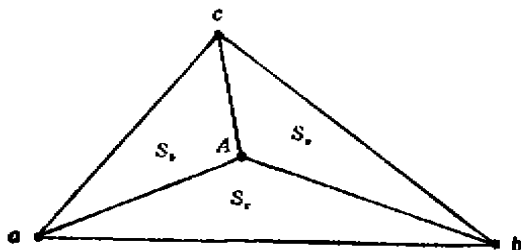


图3 有限元内插法示意图

则有:

$$R_A = \frac{S_a}{S} R_a + \frac{S_b}{S} R_b + \frac{S_c}{S} R_c, \quad (2)$$

式中 R_A 为中心点A的降水量(mm),其余符号意义同前。

式(2)即为有限元插值公式。对于固定的流域,可以预先确定好每一中心点插值用的雨量站,并算出贡献系数 S_a/S 、 S_b/S 、 S_c/S 。

对于雨量站较稀疏的地方,为提高猜测场的准确性(可以减少订正次数),可以用流域之外的雨量站或气象站的资料进行有限元插值。或者人为地设想一些雨量站,采用扫描距离权重插值法^[5]求出假想雨量站的降水量,然后用这些假想雨量站的资料进行有限元插值。

2. 逐步订正法

在用有限元法插出中心点的第一猜测场后即可进行逐步订正。逐步订正法的步骤如下:

(1) 步骤I

首先要插出测站的降水量 $R_j^{(0)}$,并求出测站的观测值 R_j 与估计值 $R_j^{(0)}$ 之间的差值 $\Delta R_j^{(0)}$ 。具体作法为:

设测站的观测值为 R_j ($j=1, 2, \dots, n$),格点的第一猜测场为 $R_i^{(0)}$ ($i=1, 2, \dots, m$),扫描半径为 RA ,则由 $R_i^{(0)}$ 可以插出测站的 $R_j^{(1)}$ 为:

$$R_j^{(1)} = \frac{\sum_{i=1}^m W_i R_i^{(0)}}{\sum_{i=1}^m W_i}, \quad (3)$$

$$W_i = \begin{cases} (RA^2 - r_i^2)/(RA^2 + r_i^2), & r_i \leq RA, \\ 0, & r_i > RA, \end{cases} \quad (4)$$

$$\Delta R_j^{(1)} = R_j - R_j^{(1)}, \quad (5)$$

式中的 r_i 为测站 j 到格点 i 的距离;其余符号意义同前。

(2) 步骤II

然后再由 $\Delta R_j^{(1)}$ 插出 $\Delta R_i^{(1)}$,并求出 $R_i^{(1)}$ 。具体作法为:

设 $R_i^{(1)}$ 表示经过第一次订正后中心点的降水量, $\Delta R_i^{(1)}$ 为第一次订正值,则有:

$$\Delta R_i^{(1)} = \frac{\sum_{j=1}^n W_j \Delta R_j^{(1)}}{\sum_{j=1}^n W_j}, \quad (6)$$

$$W_j = \begin{cases} (RA_1^{(1)} - r_j^2)/(RA_1^{(1)2} + r_j^2), & r_j \leq RA_1^{(1)}, \\ 0, & r_j > RA_1^{(1)}, \end{cases} \quad (7)$$

$$R_i^{(1)} = R_i^{(0)} + \Delta R_i^{(1)}, \quad (8)$$

式中的 $RA_1^{(1)}$ 为第一次订正的扫描半径;其余符号意义同前。

继续重复步骤I和步骤II,直到 $\max|\Delta R_j^{(n)}| < \varepsilon$ ($\varepsilon > 0$,表示预先给定的误差界限),或者订正次数等于 n 为止。其中订正的扫描半径 $RA_1^{(j)}$ ($j=1, 2, \dots, n$)逐渐变小。

RA 、 $RA_1^{(j)}$ 的选取依据站点分布疏密及流域的大小而定。对于站点分布较密的流域,

RA 、 $RA_1^{(i)}$ 可以选得大些;而在站点分布较疏的流域, RA 、 $RA_1^{(i)}$ 可以选得小些。对于较大的流域, RA 、 $RA_1^{(i)}$ 应选得大些;而对于较小的流域, RA 、 $RA_1^{(i)}$ 应选得小些。

(三) 降水量缺测时的处理方法

本方法在雨量站的降水量缺测时, 首先用扫描距离权重法插出降水量, 再用有限元法求猜测场, 其中扫描距离权重插值法的原理如下: 给定扫描半径 RA , 则某缺测站的降水量为:

$$R_i = \frac{\sum_{j=1}^n W_j R_j}{\sum_{j=1}^n W_j}, \quad (9)$$

$$W_j = \begin{cases} (RA^2 - r_j^2) / (RA^2 + r_j^2), & r_j \leq RA, \\ 0, & r_j > RA, \end{cases} \quad (10)$$

式中: R_i ——某缺测站的降水量;
 R_j ——第 j 个站的降水量;
 W_j ——第 j 站的权重;
 r_j ——第 j 站到缺测站的距离;

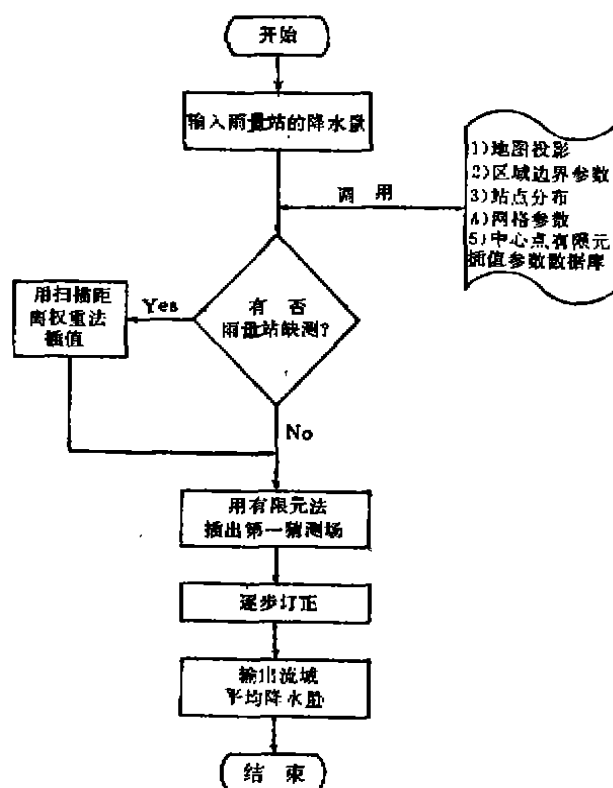


图 4 格点法求流域平均降水量的程序框图

其余符号意义同前。

(四) 具体实现方法

以上所介绍的方法很容易在计算机上实现, 程序框图如图 4 所示, 具体程序在此处省略。

二、具体算例

为计算简单, 我们忽略不规则面积, 则有:

$$\bar{R} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_i, \quad (11)$$

式中符号意义同前。

(一) 算例 1

设某流域某次降水过程的降水量分布如图 5 所示, 用逐步订正法求出各中心点的雨量, 则 $\bar{R} = 3680.5/74 = 49.7(\text{mm})$, 而用图 5 的等雨量线插出各中心点的降水量分布, 则有 $\bar{R} = 3648.7/74 = 49.3(\text{mm})$, 这个结果与本文的逐步订正法结果相当接近, 可见, 逐步订正法的计算结果较为合理。

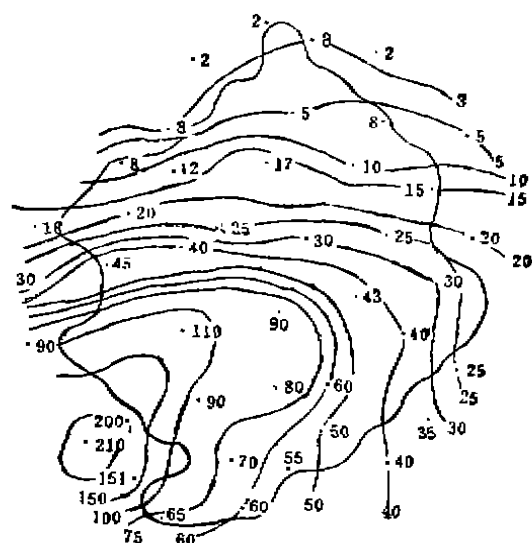


图 5 流域平均降水量计算示例降水量资料
 (圆点表示雨量站, 数字表示降水量, 实线表示等雨量线, 单位: mm)

如果用简单的算术平均法计算该流域的平均降水量, 则有 $\bar{R} = 1103/26 = 42.4(\text{mm})$, 对照图 5 可见: 在流域之外的西南角有一个 210mm 的暴雨中心, 而流域的西南角的雨量站

世界筑坝趋势和中国的筑坝特点

汝 乃 华

(能源部 水利部 上海勘测设计院)

一、现代筑坝技术的发展

现代筑坝技术是从1950年左右开始发展的,十九世纪后半叶在法、英、西班牙等西欧各国得到发展并传播到美洲和澳洲。进入二十

世纪后,筑坝重心从欧洲移到美洲。在图1和图2上列出了美国在本世纪内已建高30m以上

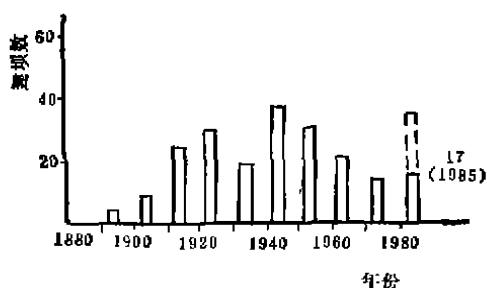


图1 美国各年代建造重力坝数量统计
(坝高≥30m)

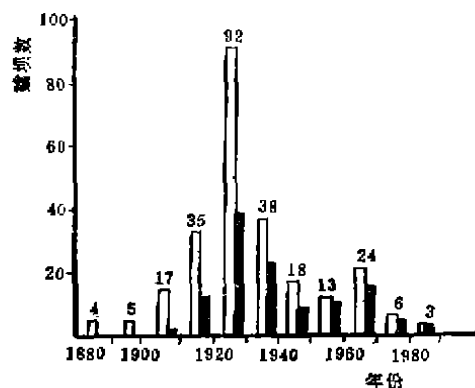


图2 美国各年代建造拱坝数量统计
(黑色为坝高≥30m, 标有数字者坝高≥15m)

较稀疏,因此简单的算术平均法所得的结果代表性较差,不甚合理。

(二)算例2

设第14号、第18号雨量站缺测,则用简单的算术平均法求得的流域平均降水量为 $\bar{R} = 903/24 = 37.6(\text{mm})$,显然这个结果的误差很大,很不合理。而用本文提出的逐步订正法可求出各中心点的降水量,进一步可求出 $\bar{R} = 3549.4/74 = 48.0(\text{mm})$,与未缺测的结果相当接近。

从以上两个算例可见,用格点法所求出的流域平均降水量与等雨量线法的结果相当接近,较为合理,准确性也较高,并且在有雨量站缺测时,其结果的准确性也相当高。此外,本方法很容易在计算机上实现,只要输入降水量资料,就可在打印机上直接输出流域平均降水量。因此在有计算机条件(普通微机即可)

的地方,可以用本方法方便地、客观地计算出流域平均降水量。

由于本方法采用了地图投影,考虑了地图放大系数,因此不但可以用于计算小流域的平均降水量,也可以用于计算大流域的平均降水量。

参 考 文 献

- [1] 长江流域规划办公室,水文预报方法.水利出版社,1982年。
- [2] 大连工学院水利系水工教研室等,水库控制运用.水利出版社,1980年。
- [3] 董晓敏等,天气诊断分析方法简介.气象出版社,1986年。
- [4] 张敏等,流域平均降水量的计算.科技通报(3),1987年。
- [5] 廖洞贤等,数值天气预报原理及其应用.气象出版社,1986年。