

暴雨强度计算系统及其应用

植石群 宋丽莉 罗金铃 吴开嘉

(广东省气候应用研究所, 510080)

提 要

用数值逼近和最小二乘法来推算暴雨强度公式中的参数值。在此基础上,设计出数学模型,采用结构化、模块化的编程原则,开发研制了暴雨强度计算系统。

关键词: 暴雨强度 数值逼近 最小二乘法

不同历时、不同重现期的暴雨强度是城市市政工程设计的一个重要参数,它直接影响到排水管道直径的大小、管道的排列布局和排涝工程量的大小等。暴雨强度估算过大,导致排水排涝工程规模过大,造成不必要的浪费;估算过小,排水排涝工程达不到应有的标准,易造成“水浸街”等内涝灾害,直接危害到经济建设和人们的生活。如1993年9月下旬,在9318号台风影响下,深圳市过程降水量520mm,发生严重的水浸街现象,部分地区积水深达数米,造成生产、交通一度停顿,经济损失4~6亿元。因此,需要对当地的暴雨强度进行准确的计算。

暴雨强度公式的推算涉及的计算量很大,以往主要通过图表计算法进行推算。图表计算法主要是手工计算结合图表推算,中间过程的参数主要通过描图来推算,主观性大,

误差较大,导致计算结果不理想。同时,计算量、工作量也很大,需耗费大量的人力、物力和时间。经过大量的试验研究,本课题基本解决了上述问题,开发了一个使用方便、计算快捷、精度高的暴雨强度计算系统。

1 资料来源

广州市(1951~1992)、深圳市(1954~1994)、南海市(1963~1994)、清远市(1961~1997)气象台的历年连续自记雨量记录。

2 暴雨强度计算系统研制的思路

暴雨强度计算系统是根据国家计委批准的《室外排水设计规范》GBJ14-87中的所定义的暴雨强度公式^[1](下式)研制的。

$$q = \frac{167A}{(t+b)^n} \quad (1)$$

式中: q 为暴雨强度, t 为降雨历时, A 、 b 、 n 为需求的常数。

The Operational Use of Ensemble Prediction Products and Its Future

Mao Hengqing Wang Jianjie

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

The ensemble prediction products, its present situation of operational use, and the future were summarized.

Key Words: ensemble prediction system (EPS) ensemble prediction products operational use

上式中,只有 q 、 t 是已知参数, A 、 b 、 n 是未知参数。显然用常规的解方程方法无法推求参数 A 、 b 、 n 。暴雨强度公式以往主要是利用图表算法进行推算。图表算法是通过描图和列表来推算参数 A 、 b 、 n ,整个计算过程主要依靠手工,因此效率很低,同时由于主观性大而导致误差大、精度不高。

针对上述原因,经过大量的试验研究,通过筛选与拟合,采用数值逼近和最小二乘法来推算公式中的参数值,结果非常理想。在此基础上,采用结构化、模块化的编程原则,开发研制了暴雨强度计算方法,通过计算机简便、快速、准确地推算出公式中的参数值 A 、 b 、 n ,从而利用式(1)可计算暴雨强度。

3 暴雨强度计算方法的结构

暴雨强度计算系统主要分为资料处理、暴雨强度公式拟合、结果输出和精度检验三部分。据此把系统分为资料处理模块、暴雨强度公式拟合模块、结果输出和精度检验模块三大模块。

3.1 原始资料处理及延长

从历年自记雨量资料中每年挑选5、10、15、20、30、45、60、90、120分钟9个降雨历时的8个最大值,作为原始数据,按从大到小的顺序进行排序,将排序后的资料从大到小选取一半数据作为统计样本,根据经验频率公式:

$$P = M / (N + 1)$$

(式中 P 为频率; M 为样本的序号,按大小排序; N 为样本数)计算出每行样本资料所对应的频率。并读出频率为1%、2%、3%、5%、10%、25%、50%、75%、90%、95%、99.9%所对应的各历时雨量,并将雨量强度转化为降雨强度。

由于设计要求的重现期(需用到100年一遇)往往超过现有资料的实际年限(一般小于50年),皮尔逊-Ⅲ型曲线与气象、水文学中的很多要素(包括降水)拟合良好^[2],因此用它对原始降雨强度资料进行拟合调整,延长样本资料的年限,以得到设计所要求的、大于实际年限的且与原始降雨强度接近的理论

降雨强度。

具体的做法是,根据原始资料处理后所得的原始降雨强度,求出9个降水历序列的变差系数 C_v 和偏态系数 C_s 。根据求得的 C_s ,在离均系数表上查出频率为0.1%、0.5%、1%、2%、3%、5%、10%、20%、50%、75%、95%、90%、99.9%的离均系数 Φ ,由式 $Y = (1 + \Phi C_v) \bar{X}$ (Y :理论降雨强度, \bar{X} :原始降雨强度的平均值)求得上述频率的理论降雨强度,并绘出理论降雨强度频率曲线,与原始降雨强度频率曲线相比较,采用适线法,不断调整 C_v 、 C_s ,直至理论频率曲线与原始频率曲线拟合达最佳为止。读出此时频率为0.25%、0.5%、1.25%、2.5%、5%、12.5%、25%、50%、75%、99.99%的理论降雨强度,这就是推算暴雨强度公式的基本资料(q')。

3.2 暴雨强度公式拟合

暴雨强度公式拟合包括单一重现期暴雨强度公式拟合、区间参数公式拟合两个部分。

3.2.1 单一重现期暴雨强度公式拟合

单一重现期包括0.25、0.33、0.5、1、2、5、10、20、50、100年一遇等10个重现期。在这里我们首先推算这10个重现期暴雨强度公式的需求参数 A 、 b 、 n 。用常规方法无法求解暴雨强度公式即式(1),将式(1)两边取对数得:

$$\ln q = \ln 167A - n \ln(t + b) \quad (2)$$

令 $y = \ln q$, $b_0 = \ln 167A$, $b_1 = -n$, $x = \ln(t + b)$,那么式(2)就变为

$$y = b_0 + b_1 x \quad (3)$$

式(3)应用最小二乘法,可求出 b_0 、 b_1 ,则 A 、 n 可求。但在具体计算时,由于 b 也是未知数,因此还无法应用最小二乘法求解方程。这时可先给定一个 b 值,在此 b 值下,再应用最小二乘法,可求得 A 、 n 值。将此 A 、 n 、 b 代入式(1),计算出给定 b 值的暴雨强度(q''),同时算出理论降雨强度(q')与给定 b 值的暴雨强度(q'')的相关系数(r)。不断调整 b 值,用相关系数 r 作为判别标准,比较 q' 和 q'' ,直至相关系数达最佳为止,则这时的 A 、 b 、 n 为所求。这

样,可将10个单一重现期暴雨强度公式逐个推算出来。

3.2.2 区间参数公式拟合

由于上面求得的是单一重现期的暴雨强度公式,而两个单一重现期之间的暴雨强度还无法求得。如重现期为5年、10年的暴雨强度可求得,但重现期为8年的暴雨强度则无法计算。因此我们引入了重现期区间参数公式,以解决这个问题。

经反复推算和筛选,应用式

$$y = b_1 + b_2 \ln(T + C) \quad (4)$$

作为区间参数公式来求算区间参数值效果很好(式中 y 为 A 、 b 、 n 参数中的任一个参数, T 为重现期, C 为常数)。

首先把0.25~100年分为(I):0.25~1年、(II):1~10年和(III):10~100年三个区间,将 A 、 b 、 n 代入式(4)得:

$$A = A_1 + A_2 \ln(T + C_A) \quad (5)$$

$$b = b_1 + b_2 \ln(T + C_b) \quad (6)$$

$$n = n_1 + n_2 \ln(T + C_n) \quad (7)$$

上面三式中 A 、 b 、 n 和 T 是已知数, A_1 、 A_2 、 C_A 、 b_1 、 b_2 、 C_b 及 n_1 、 n_2 、 C_n 都是未知数,根据上面求得单一重现期(T)下的 A 、 b 、 n 值,同理,利用3.2.1中所述方法,可解得未知数 A_1 、 A_2 、 C_A 、 b_1 、 b_2 、 C_b 和 n_1 、 n_2 、 C_n ,从而可算得I、II、III三个区间的 A 、 b 、 n 值,将它们代入式(1),可得0.25年~100年之间的任意一个重现期暴雨强度公式,从而可计算任意重现期的暴雨强度。

应用重现期区间参数公式计算暴雨强度实例:求广州市重现期 $T = 25$ 年, $t = 50$ 分钟的暴雨强度。根据暴雨强度计算方法推算得广州市重现期区间10~100年的参数公式

$$A = 13.444 - 0.225 \ln(T + 9.676) \quad (8)$$

$$b = 10.150 - 1.479 \ln(T + 7.223) \quad (9)$$

$$n = 0.596 - 0.028 \ln(T - 4.995) \quad (10)$$

将 $T = 25$ 代入式(8)、(9)、(10)得 $A = 10.438$, $b = 3.973$, $n = 0.480$,将这三个参数值代入式(1),可得 $T = 25$ 年的暴雨强度公

式为

$$q = \frac{1743.146}{(t + 3.973)^{0.480}} \quad (11)$$

将 $t = 50$ 代入式(11),可算得暴雨强度 $q = 256.974$ (升/秒/公顷)

3.3 结果输出和精度检验

应用0.25~1年、1~10年、10~100年三个区间参数公式,可求得任意重现期暴雨强度公式的参数 A 、 b 、 n 值,将其代入式(1)即可求得任意重现期任意历时的暴雨强度。为使用方便,系统设计了以图表形式输出的重现期为0.25、0.33、0.5、1、2、3、5、10、20、50、100年的暴雨强度常用计算图表,供随时查用,方便快捷。

为确保计算结果的准确性,对暴雨强度计算结果进行了精度检验。我们已成功地利用该方法计算了广州市、佛山市、深圳市和清远市的暴雨强度,计算了理论值和实测值的平均绝对均方误差和平均相对均方误差,它们的平均绝对均方误差 ≤ 0.004 mm/min,平均相对均方误差 $\leq 0.3\%$,精度超过了《室外排水设计规范》GBJ14-87规定的平均绝对均方误差 ≤ 0.05 mm/min,平均相对均方误差 $\leq 5\%$ 的要求。

4 小结

①本文应用数值逼近和最小二乘法推算暴雨强度公式,并将其模型化,为推算暴雨强度提供实用的算法,提高了推算暴雨强度的工作效率。

②利用暴雨强度计算系统推算暴雨强度,由于整个过程是通过计算机进行的,克服了图表计算法主观性大、计算误差较大、效率低的缺点,计算精度和工作效率均大大提高。

③系统除了给出暴雨强度公式外,还给出使用部门经常用的一些重现期的数值结果表,方便设计部门使用。

参考文献

- 1 北京市市政设计院,给水排水设计手册(五).北京:中国建筑出版社,1988:48~70.
- 2 谭冠日,严济远,朱瑞兆.应用气候.上海:上海科学技术出版社,1985:49.

Calculating System of Heavy Rain Intensity and Its Application

Zhi Shiqun Song Lili Luo Jinling Wu Kaijia

(Guangdong institute of Climatic Application, Guangzhou 510080)

Abstract

The parameters of the heavy rain intensity were calculated by using the numerical step by step method and the least square method as well. Based on this and according to the structure and module programming principle, the mathematical mode was designed and the calculating system of heavy rain intensity was consequently developed.

Key Words: heavy rain intensity numerical step by step method least square method