

文章编号: 1006-4354 (2010) 01-0031-03

洛川暴雨强度公式参数的搜寻计算

吴素良, 范建勋, 陈建文, 孙彬彬

(陕西省气候中心, 西安 710014)

摘 要: 暴雨强度公式可通过给定不同的 b 、 n 参数, 用最小二乘法对公式进行拟合, 求解参数 S 、 R , 计算均方根误差 σ_{bn} , 最终将最小均方根误差所对应的 b 、 n 以及 S 、 R 确定为暴雨强度公式的参数。首先用优选法寻找 b_1 值下整个 n 的取值范围内的最小均方根误差 σ_{b1} , 再寻找 b_2 值下整个 n 的取值范围内的最小均方根误差 σ_{b2} ; 然后根据 σ_{b1} 和 σ_{b2} 的大小用优选法进一步确定 b 值的取值范围, 直到达到所要求的精度。这样既不会漏掉、又能很快找到最小均方根误差 σ_{bn} 所对应的 b 和 n 值及其所拟合的 S 和 R 。

关键词: 暴雨强度公式; 最优法; 搜寻; 均方根误差

中图分类号: P426.6

文献标识码: B

降雨是一种非常普遍的自然现象, 根据气象方面有关规定: 24 h 降雨量超过 50 mm 或 1 h 降雨量超过 16 mm 的降雨均称为暴雨。在极短的时间内, 暴雨能形成大量的地面径流, 如不及时排除, 势必造成巨大危害。为保障城镇居民的生产和生活的安全、方便, 必须建立适合当地的城镇水文模型, 合理地进行城镇雨水排水系统的规划、设计和管理。暴雨强度公式^{[1]8-9}是城镇以及其它

工程雨水排水系统规划与设计的基本依据之一, 精度要求高。在洛川县暴雨强度公式参数的计算中, 使用了双参数搜寻、双参数拟合的求解方法。该方法原理简明, 编程容易。实际计算表明其计算精度高、拟合效果好。

1 暴雨强度总公式

暴雨强度公式主要用来计算排水设计流量, 它直接涉及到工程的安全及投资等问题。过去, 暴

收稿日期: 2009-07-23

作者简介: 吴素良 (1963—), 男, 安徽萧县人, 高工, 从事气候应用与大气环境影响评价。

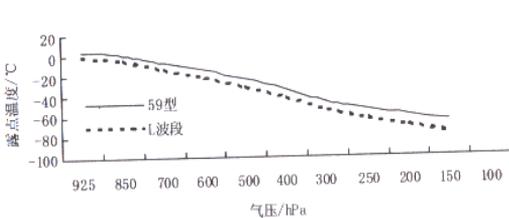


图1 泾河站两种探空仪等压面露点温度年平均值分布

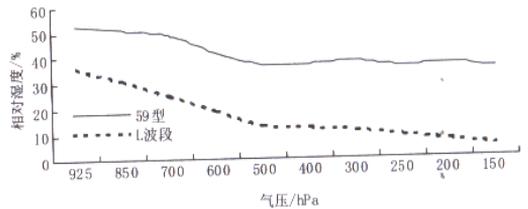


图2 泾河站两种探空仪等压面相对湿度年平均值分布

4 小结

59型探空仪与L波段探空仪所测高度、温度、露点温度和相对湿度均存在一定的差异, 其中高度、温度测值差异较小, 露点温度和湿度测值差异较大, 59型探空仪的湿度探测值更接近实

际值。

参考文献:

- [1] 中国气象局监测网络司. 新一代高空气象探测系统项目建设交流材料汇编 [M]. 北京: 气象出版社, 2005: 7-8.

雨强度公式的推算工作量大, 计算繁琐, 大多通过图表法推算, 中间过程的参数主要通过人工描图来推算, 主观性和人为误差较大, 难以得出满意的结果。现在依托计算机进行计算相当简单, 且计算精确, 拟合效果好。

根据我国的排水规范, 在推求单一重现期暴雨强度公式(以下简称公式)时采用的公式为:

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

式中: i 为暴雨强度/(mm/min), A 为雨力或时雨率/(mm/min), t 为降雨历时/min, n 为暴雨衰减指数, b 为时间参数。

由单一重现期暴雨强度公式(1)可知, 公式中的待求参数有 3 个: A 、 b 、 n 。由于用最小二乘法同时导出 3 个参数的幂函数表达式比较困难, 因此《给水排水设计手册》^{[1]921-956}中建议采用图解法求出 b 的近似值, 然后再用最小二乘法求出 A 、 n 值; 中国市政工程西南设计院则建议先求出 n 值, 再用最小二乘法求出 b 、 A 值, 其它方法有单纯形加速法等^[2]; 也可采用最优法搜寻^[3], 给出不同的 b 值, 用最小二乘法拟合 A 、 n , 取残差平方和最小的一组 A 、 b 、 n 值作为单一重现期公式中三参数的值。

A 与 T_e 的关系常采用 $A=R+S \lg T_e$ 表示, T_e 为重现期/a; R 、 S 为参数。

而在推求各重现期统一公式时, 采用公式

$$i = \frac{R+S \lg T_e}{(t+b)^n}. \quad (2)$$

统一暴雨强度公式(2)中, 只有 i 、 t 、 T_e 是已知数, R 、 S 、 b 、 n 是未知数, 显然用常规的解方程方法无法求解, 但可用遗传法^[4]、非线性模型参数估计^[5]等求得。

2 暴雨强度总公式的计算思路

2.1 给定 b 和 n 条件下 R 、 S 的拟合计算

当 b_1 和 n_1 给定后, 利用最小二乘法, 对(2)式建立回归方程

$$\hat{i} = \frac{\hat{R} + \hat{S} \lg T_e}{(t+b_1)^{n_1}} = \hat{R} x_1 + \hat{S} x_2, \quad (3)$$

$$\text{其中} \quad \begin{cases} x_1 = \frac{1}{(t+b_1)^{n_1}} \\ x_2 = \frac{\lg T_e}{(t+b_1)^{n_1}} \end{cases}, \quad (4)$$

从而解得

$$\begin{cases} R = \frac{\sum_{j=1}^N x_1 i \sum_{j=1}^N x_2^2 - \sum_{j=1}^N x_2 i \sum_{j=1}^N x_1 x_2}{\sum_{j=1}^N x_1^2 \sum_{j=1}^N x_2^2 - \left(\sum_{j=1}^N x_1 x_2\right)^2}, \\ S = \frac{\sum_{j=1}^N x_2 i \sum_{j=1}^N x_1^2 - \sum_{j=1}^N x_1 i \sum_{j=1}^N x_1 x_2}{\sum_{j=1}^N x_1^2 \sum_{j=1}^N x_2^2 - \left(\sum_{j=1}^N x_1 x_2\right)^2}, \end{cases} \quad (5)$$

N 为样本数。

2.2 计算方程的剩余均方差

当参数 R 、 S 计算出来后, 就很容易计算给定 b 、 n 下的剩余均方差:

$$\sigma_{b_1 n_1} = \sqrt{\sum_{j=1}^N (\hat{i} - i)^2 / N} \quad (6)$$

2.3 暴雨强度总公式参数搜寻计算的思路

通过给定不同的 b 、 n 参数值, 用最小二乘法对公式进行拟合, 求解 S 、 R , 计算 i 的拟合均方根误差; 利用最优法寻求最小均方根误差所对应的 b 、 n 以及 S 、 R , 作为拟合参数, 最终确定最佳拟合方程。

如果 b 和 n 划分得很细, 则计算量就较大。计算过程次数与取值范围成正比, 与取值间隔成反比, 可以采取一些方法减少计算量。通常, 在 b - n 面的取值范围内, σ_{bm} 有唯一极小值。由于涉及到不同数据、非线性方程, 因而非常复杂, 此处仅予以说明。

当(2)式中参数 n 给定、 b 为变量时, 可以利用最小二乘法求出系数 b_1 , 使得暴雨公式的剩余方差最小。

$$\begin{aligned} Q &= \min \sum_{j=1}^N (i_j - \hat{i}_i)^2 \\ &= \min \sum_{j=1}^N \left(i_j - \frac{\hat{R} - \hat{S} \lg T_e}{(t_j + b_1)^n} \right)^2 \end{aligned}$$

一般情况下, 当 $b < b_1$ 时, b 越小, 其剩余方差 Q 越大; 当 $b > b_1$ 时, b 越大, 其方差越大。

同样, 当(2)式中参数 b 给定、 n 为变量时, 可以利用最小二乘法求出系数 n_1 , 使得暴雨公式的剩余方差最小

$$Q = \min \sum_{j=1}^N \left(i_j - \frac{\hat{R} - \hat{S} \lg T_e}{(t_j + b)^{n_1}} \right)^2$$

通常情况下, 当 $n < n_1$ 时, n 越小, 其剩余方差 Q 越大; 当 $n > n_1$ 时, n 越大, 其方差越大。

综合以上特性, 可以推论出: 在 $n-b$ 的取值面上, 暴雨强度公式的剩余方差只有一最小极值; 离开最小极值点越远, 其剩余方差越大。

由于在 $b-n$ 面的取值范围内, σ_{bn} 有唯一极小值, 可以用优选法寻找 b_1 值下整个 n 的取值范围内的最小均方根误差 σ_{b_1} , 再寻找 b_2 值下整个 n 的取值范围内的最小均方根误差 σ_{b_2} ; 然后根据 σ_{b_1} 和 σ_{b_2} 的大小用优选法进一步确定 b 值的取值范围……这样就不会漏掉最小均方根误差 σ_{bn} 所对应的 b 和 n 值。

3 暴雨强度总公式的计算步骤

3.1 b 、 n 的取值范围

研究表明, b 、 n 的取值范围分别在 $0 \sim 100$ 、 $0 \sim 3$ 之间, 实际计算时, b 、 n 的取值范围取在 $0 \sim 100$ 、 $0 \sim 5$ 之间。

3.2 应用优选法计算暴雨总公式步骤

(1) 取 $b_1 = 0$, $b_2 = 100$ 。

(2) 设 $x_1 = b_1 + 0.382(b_2 - b_1)$;

$$x_2 = b_1 + 0.618(b_2 - b_1)。$$

(3) 在 $b = x_1$ 的情况下, 在 n_1 、 n_2 间寻求最小均方根误差 σ_{x_1} ;

取 $n_1 = 0.001$, $n_2 = 5$;

设 $y_1 = n_1 + 0.382(n_2 - n_1)$, $y_2 = n_1 + 0.618$

$(n_2 - n_1)$;

用最小二乘法即公式 (5) 求出系数 \hat{R} 和 \hat{S} ;

用公式 (6) 计算最小均方根误差 σ_{y_1} , σ_{y_2} 。

(4) 如果 $\sigma_{y_1} < \sigma_{y_2}$, 表明最低值在 y_1 和 y_2 间, 故取 $n_2 = y_2$, 否则取 $n_1 = y_1$ 。

(5) 重复 (3) — (4), 直到 $\sigma_{y_1} - \sigma_{y_2} < \text{某一阈值}$ (本文取 $0.000\ 001$)。

(6) 在 $b = x_2$ 的情况下, 在 n_1 、 n_2 间寻求最小均方根误差 σ_{x_2} , 方法同上。

(7) 比较 σ_{x_1} 和 σ_{x_2} , 确定 b 的取值范围:

如果 $\sigma_{x_1} < \sigma_{x_2}$, 表明最低值在 x_1 和 x_2 间, 故取 $b_2 = x_2$, 否则取 $b_1 = x_1$ 。

(8) 重复 (2) — (5) 直到 $\sigma_{x_1} - \sigma_{x_2} < \text{某一阈}$

值。

3.3 暴雨强度总公式的确定

将最后一次所给的 b_1 、 n_1 值、所拟合的 \hat{R} 和 \hat{S} 值, 代入 (2) 就可得到暴雨强度总公式。

4 应用计算

根据洛川气象站 1989—2008 年逐日降水自记曲线, 按 5、10、15、20、30、45、60、90、120 min 9 个降水历时, 挑选历年最大 4 次雨量数据, 分别按 20、10、5、3、2、1、0.5、0.33、0.25 a 重现期排列, 根据上述方法, 用计算机自动搜寻参数得到的暴雨强度公式为:

$$\hat{i} = \frac{4.031\ 875 + 4.050\ 261 \lg T_e}{(t + 3.569\ 031)^{0.554\ 332\ 852}}。 \quad (7)$$

洛川暴雨强度最大值为 3.08, 其拟合值为 2.85, 误差 -0.23; 最小值为 0.09, 拟合值为 0.12, 误差为 0.03。最大拟合误差为 0.27, 最小为 0, 均方根误差为 0.078。由此可见, 该计算方法是可行的。

5 结论

将优选方法拓展到二维参数, 结合最小二乘法, 给出了暴雨强度公式的计算方法与步骤, 实现暴雨强度公式参数在计算机上的搜寻计算。洛川暴雨强度公式的参数估计结果表明, 该方法误差小、拟合效果好, 可用于暴雨强度公式参数的计算。

参考文献:

- [1] 北京市市政设计院. 给水排水设计手册 (第 5 册, 城市排水) [M]. 北京: 建筑工业出版社, 1986.
- [2] 邱兆富, 周琪, 张智, 等. 暴雨强度公式推求方法探讨 [M]. 城市道桥与防洪, 2004 (1): 47-49.
- [3] 周桂明. 计算机搜索法推求暴雨强度公式参数 [J]. 杭州大学学报: 自然科学版, 1998, 25 (4): 85-89.
- [4] 李祚泳, 彭荔红. 基于遗传算法的暴雨强度公式参数的优化 [J]. 高原气象, 2003, 22 (6): 637-639.
- [5] 顾骏强, 陈海燕, 徐集云. 瑞安市暴雨强度概率分布公式参数估计研究 [J]. 应用气象学报, 2000, 11 (3): 355-363.