

# 关于城市暴雨强度公式推求的研究

许拯民, 荆燕燕

(华北水利水电大学, 河南 郑州 450011)

**摘要:**城市暴雨强度公式的准确性直接影响着城市排水管网的规划设计,老一代的暴雨强度公式已经不能正确反映当地的降雨规律,亟需重新修订。本文以郑州市降雨资料为例,采用年最大值法选样和年多个样法选样对公式进行推求,通过对比分析发现年最大值法操作简单,误差更小,该方法有利于新一轮暴雨强度公式修编的普及。

**关键词:**城市暴雨强度公式;年多个样法;年最大值法;频率分析

中图分类号:P333

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2014)03-0053-04

近些年我国许多地区开始对暴雨强度公式进行修编,但大部分市县还是沿用20世纪80年代编制的公式,有的地区甚至没有自己的暴雨强度公式。以河南省为例,只有郑州市在2013年对暴雨强度公式进行了一次修编,其它市县还是沿用80公式或者参考邻近地区的公式,套用这些不合适的公式,对优化城市雨水管道、城市排水管渠规格尺寸的设计以及最终的建设投资都会有很大的影响,设计的不准确不仅造成工程上的浪费,甚至可能对人民的生命财产造成威胁。

本文主要介绍年最大值法选样推求暴雨强度公式,通过和年多个样法选样进行对比分析,可以得出在采用年最大值法推求暴雨强度公式时,既可以简化资料的整理工作,又不降低公式的设计精度,有利于新一轮暴雨强度公式修编的普及。

## 1 暴雨强度公式推求

### 1.1 暴雨资料选样

在城市暴雨强度推求过程中,《室外排水设计规范》(2011版)推荐了两种选样方法:一是在具有10a以上自动雨量记录的地区,暴雨样本选样方法可采用年多个样法;二是在具有20a以上自记雨量记录的地区,有条件的地区可用30a以上的雨量系列,暴雨样本选样方法可采用年最大值法。目前我国大多数市县都已具有30~40a以上资料<sup>[1]</sup>,完全符合年最大值法采样的要求。

年多个样法是将 $N$ 年全部降雨资料,每年选取6~

8场次最大降雨,分不同降雨历时按大小顺序排列,选出前面最大的 $m$ 组雨样,平均每年选取3~4组作为统计的基础资料。其意义是一年发生多次的平均期待值,但这种方法无法应用我国水文、气象部门建立的年最大值共享数据库的资源,只能从原始降水量自记纸上进行逐年摘录,资料难于取得且工作量大,不适合发展。年最大值法是指从各个历时的每年选一个最大值,其意义是一年发生一次的频率年值。各地《水文年鉴》等相关资料上刊布各时段的年最大降雨量,因此年最大值法选样简单,省时省力,在水文统计中应用最广。随着时间的推移,各地积累的降雨资料不断增多,此方法选取雨样独立性较强。

### 1.2 频率调整

为保证暴雨强度公式的精度,需要对样本进行频率分布的调整。我国《室外排水设计规范》推荐采用理论频率曲线对样本进行频率分布调整,包括皮尔逊型分布曲线、耿贝尔分布曲线和指数分布曲线。皮尔逊

型分布模型是在水文统计中应用最广的一种频率分布,它在理论上可以概括很多种分布模型(包括指数分布和耿贝尔分布),但是该模型是三参数公式,拟合比较困难,适线过程受人为因素影响较大。指数分布模型和耿贝尔分布模型都是二参数公式,计算简易便于手算。

国内学者邓培德先生曾对北京、上海等多地的暴雨资料作年最大值法选样与年多个样法选样的频度曲线对比,年多个样法选样适合指数分布模型,而年最大值选样比较适合耿贝尔模型<sup>[2]</sup>。

收稿日期:2013-11-08

作者简介:许拯民(1964-),男,河南郑州人,副教授,主要从事水文及水资源的科研和教学工作。E-mail:a1360768839@163.com

所以此次研究我们决定,年多个样法选择采用取皮尔逊型分布曲线和指数分布曲线进行频率调整,年最大值法选择采取皮尔逊型分布曲线和耿贝尔分布曲线进行频率调整,分别选取拟合度较好的频率曲线作为样本最终的频率模型。

### 1.3 公式推求

《室外排水设计规范》推荐我国多重现期暴雨强度公式的形式为

$$i = \frac{A_1(1+C \lg P)}{(t+b)^n} \quad (1)$$

式中: $i$ 为暴雨强度; $t$ 为降雨历时; $P$ 为重现期; $A_1, C, n, b$ 为公式参数。根据频率调整后的 $P-i-t$ 关系表,采用一定的数学方法对公式的4个参数进行推求。本文介绍的方法有图解结合最小二乘法、南京法、麦夸尔特法、遗传算法、倍比搜索法以及北京法等,通过对比分析,选取误差最小的公式作为推荐公式。

### 1.4 误差分析

根据规范的规定,以平均绝对均方差和平均相对均方差衡量推求的暴雨强度公式精度。将得出的参数 $A_1, C, n, b$ 分别代入公式中,求出不同条件下总公式的雨强值 $x$ ,根据此雨强值与前述频率分析后产生的 $P-i-t$ 表格中的雨强值可以计算出相应的平均绝对均方

差 $\overline{S_{11}}$ 以及平均相对均方差 $\overline{S_{12}}$ 。

$$\overline{S_{11}} = \frac{1}{m_2} \sum_{i=1}^{m_2} \left( \sqrt{\frac{1}{m_1} \sum_{j=1}^{m_1} (x_{ij} - x_{jp})^2} \right) \quad (2)$$

$$\overline{S_{12}} = \frac{1}{m_2} \sum_{i=1}^{m_2} \left( \frac{1}{x_{jp}} \sqrt{\frac{1}{m_1} \sum_{j=1}^{m_1} (x_{ij} - x_{jp})^2} \right) \quad (3)$$

式中: $m_1$ 为统计降雨历时的个数; $m_2$ 为统计重现期的个数; $x_{ij}$ 为参数带入暴雨公式后计算出的雨强; $x_{jp}, \overline{x_{jp}}$ 为经频率调整后计算得出的暴雨强度值及每个重现期的均值。

《室外排水设计规范》(2011版)规定:计算抽样误差和暴雨公式均方差,宜按绝对均方差计算,也可辅以相对均方差计算;计算重现期在2~20a时,在一般强度的地方,平均绝对方差不宜大于0.05mm/min,在较大强度的地方,平均相对方差不宜大于5%。

## 2 算例

以郑州市1961~2010年50a的降雨资料为例,年多个样法每年每个历时选取前8个最大值,50a共400组,排序后选取前面的200组,平均每年4组,结果如表1。年最大值法每年每个历时选取一个最大值,50a的资料共50组,见表2。

表1 年多个样法选择排序成果

单位:mm/min

Table 1 The ranking results of the annual multi-sampling method (mm/min)

序号	t / min										
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
1	3.300	3.080	2.987	2.815	2.677	1.931	1.452	0.970	0.813	0.733	0.670
2	2.852	2.616	2.431	2.376	2.151	1.692	1.323	0.949	0.728	0.595	0.514
3	2.720	2.420	2.115	2.056	1.789	1.454	1.209	0.930	0.724	0.593	0.505
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
198	0.910	0.719	0.607	0.527	0.419	0.322	0.265	0.199	0.164	0.138	0.125
199	0.906	0.712	0.605	0.521	0.418	0.320	0.265	0.199	0.163	0.138	0.124
200	0.904	0.712	0.601	0.520	0.418	0.319	0.264	0.199	0.163	0.138	0.123

表2 年最大值法选择排序成果

单位:mm/min

Table 2 The ranking results of the annual maximum value method (mm/min)

序号	t / min														
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360	720	1440
1	3.3	3.08	2.987	2.815	2.677	1.931	1.452	0.97	0.813	0.733	0.67	0.525	0.352	0.241	0.121
2	2.852	2.616	2.431	2.376	2.151	1.692	1.323	0.949	0.728	0.595	0.514	0.399	0.305	0.177	0.093
3	2.72	2.42	2.115	2.056	1.789	1.454	1.209	0.93	0.724	0.593	0.505	0.395	0.298	0.174	0.093
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
48	0.914	0.61	0.477	0.489	0.464	0.376	0.314	0.224	0.201	0.169	0.141	0.109	0.079	0.044	0.023
49	0.71	0.568	0.475	0.42	0.374	0.344	0.282	0.216	0.169	0.136	0.132	0.107	0.078	0.04	0.022
50	0.618	0.499	0.449	0.389	0.284	0.214	0.173	0.122	0.097	0.083	0.078	0.068	0.054	0.034	0.02

两种选样分别经过两种频率调整后的拟合度对比见表3和表4。

由表3、表4可以看出,无论是年多个样法还是年最大值法均是P-分布较好,我们从两种选样的P-分布曲线上截取计算重现期所对应频率的雨强值,从而得到重现期*P*、雨强值*i*、降雨历时*t*之间的关系表(*P-i-t*表),年多个样法的*P-i-t*表见表5,年最大值法的*P-i-t*表见表6。

通过计算得出,本次研究采用倍比搜索法推求的误差最小。倍比搜索法是在计算机搜索法的基础上,添加了倍比系数,结合Matlab软件编程实现的一种算法,该方法可以在较短的时间内完成暴雨强度公式参数的推求,相比其他方法来说精度更高,见表7。

经过计算,两种选样方法均采用误差最小的公式作为推荐公式,年多个样法推求的郑州市暴雨强度公式为:

表3 年多个样法两种频率分布拟合度对比

Table 3 The fitting contrast of two kinds of frequency distribution of the annual multi-sampling method

频率分布类型	<i>t</i> / min										
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
P-分布	0.995	0.990	0.990	0.990	0.986	0.997	0.993	0.988	0.993	0.993	0.991
指数分布	0.984	0.984	0.988	0.990	0.981	0.992	0.990	0.987	0.995	0.994	0.992
差值	0.011	0.006	0.002	0.000	0.005	0.005	0.003	0.001	-0.002	-0.001	-0.001

表4 年最大值法两种频率分布拟合度对比

Table 4 The fitting contrast of two kinds of frequency distribution of the annual maximum value method

频率分布类型	<i>t</i> / min										
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
P-分布	0.964	0.967	0.991	0.985	0.981	0.993	0.974	0.976	0.990	0.970	0.976
Gumbel分布	0.939	0.97	0.991	0.986	0.979	0.992	0.977	0.971	0.981	0.97	0.965
差值	0.025	-0.003	0.000	-0.001	0.002	0.001	-0.003	0.005	0.009	0.000	0.011

表5 年多个样法*P-i-t*表

单位: mm/min

Table 5 The conditional value of *P-i-t* of the annual multi-sampling method (mm/min)

<i>t</i> / min	<i>P</i> / a										
	0.25	0.33	0.5	1	2	3	5	10	20	50	100
5	0.84	1.07	1.31	1.67	2.01	2.2	2.43	2.75	3.07	3.47	3.78
10	0.68	0.85	1.05	1.37	1.69	1.87	2.09	2.4	2.7	3.1	3.4
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
150	0.14	0.16	0.21	0.28	0.36	0.4	0.46	0.53	0.61	0.71	0.79
180	0.12	0.14	0.18	0.24	0.31	0.35	0.4	0.47	0.54	0.62	0.69

表6 年最大值法*P-i-t*表

单位: mm/min

Table 6 The conditional value of *P-i-t* of the annual maximum value method (mm/min)

<i>t</i> / min	<i>P</i> / a												
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	50	100
5	1.79	2.06	2.23	2.35	2.45	2.53	2.6	2.66	2.71	3.14	3.38	3.7	4.1
10	1.52	1.75	1.91	2.02	2.11	2.19	2.25	2.3	2.35	2.66	2.93	3.2	3.52
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
720	0.1	0.12	0.13	0.14	0.15	0.15	0.15	0.16	0.16	0.18	0.2	0.21	0.23
1440	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.1	0.11	0.12	0.13

表7 不同计算方法的误差值  
Table 7 The error value of different methods

选样方法	年最大值法		年多个样法	
	绝对误差	相对误差/%	绝对误差	相对误差/%
计算方法				
倍比搜索法	0.029	2.1	0.039	4.4
图解最小二乘法	0.068	4.5	0.059	7.6
南京法	0.068	5.5	0.074	4.9
北京简化法	0.089	5.8	0.1	6.3
SPSS	0.07	4.1	0.057	4.8
遗传算法	0.032	5.2	0.064	5.8

$$i = \frac{40.1(1+0.79411gP)}{(t+25.8)^{0.948}}$$

年最大值法推求的郑州市暴雨强度公式为:

$$i = \frac{32.9(1+0.9651gP)}{(t+24.8)^{0.929}}$$

这两种选样方法推求的公式均满足规范的要求,误差在允许范围之内,但是年最大值法的误差会更小,更能反映郑州市的降雨规律。

### 3 结论

全国大部分城市还是沿用老一代的暴雨强度公

式,随着时间的推移以及降雨资料的积累,需要重新修订暴雨强度公式。在推求公式的过程中,年多个样法选样工作量较大,资料获取较难,不利于新一轮暴雨强度公式修编的普及。年最大值法选样简单、独立性强,并且水利部门的统计资料都有年最大值的降雨资料,获取资料方便<sup>[3]</sup>。最重要的是年最大值法的误差相对于年多个样法更小,更能反映郑州市的降雨规律,笔者推荐采用年最大值法进行新一轮暴雨强度公式的推求。

参考文献:

- [1] 北京市市政设计院. 给水排水设计手册(第五册)[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1986. (Beijing Municipal Design Institute. Water Supply and Drainage Design Manual (the Fifth Volume) [M]. Beijing: China Building Industry Press, 1986. (in Chinese))
- [2] 邓培德. 暴雨选样与频率分布模型及其应用 [J]. 城市给排水, 1996,22(2):5-9. (DENG Peide. Establishment and application of mathematical model for storm sampling and frequency distribution[J]. Water and Wastewater Engineering, 1996,22(2):5-9. (in Chinese))
- [3] 周玉文, 翁窈瑶, 张晓昕, 等. 应用年最大值法推求城市暴雨强度公式的研究 [J]. 中国给水排水, 2011,37(10):40-44. (ZHOU Yuwen, WENG Yaoyao, ZHANG Xiaoxin, et al. Feasibility study on deriving the urban storm intensity formula through annual maximum value method [J]. China Water and Wastewater, 2011,37(10):40-44. (in Chinese))

## Derivation of Urban Storm Intensity Formula

XU Zhengmin, JING Yanyan

(North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450011, China)

**Abstract:** The accuracy of urban storm intensity formula directly affects the planning and design of urban pipe network. The existing formula which can not reflect the characteristic of local rainfall should be revised. In this paper, we took the rainfall data of Zhengzhou as an example to derivate urban storm intensity formula by two different storm sample selection methods (the annual maximum value method and annual multi-sampling method). Comparing these two methods, we found the annual maximum value method is not only easy operation, but also can be used to make contrastive analysis with hydraulic engineering in the same condition. This method benefits popularizing and revising urban storm intensity formula.

**Key words:** urban storm intensity formula; annual multi-sample method; annual maximum value method; frequency analysis