

# 水文学中雨强公式参数求解的一种最优化方法<sup>\* 1</sup>

陈正洪<sup>1)2)</sup> 王海军<sup>3)</sup> 张小丽<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>(武汉区域气候中心,武汉 430074) <sup>2)</sup>(中国气象局武汉暴雨研究所,武汉 430074)

<sup>3)</sup>(湖北省气象信息与技术保障中心,武汉 430074) <sup>4)</sup>(深圳市气象台,深圳 518008)

## 摘 要

提出了一种客观的、最优化的暴雨强度公式参数估算方法:先将公式线性化,确定出未知参数  $b, C$  取值范围,给定一个  $b$  值(分公式)、 $b, C$  组合(总公式),再对雨强-历时-重现期( $i-t-T$ )三联表数据进行最小二乘法拟合可得到参数  $A, n$ ,以总误差最小为控制条件,理论上可得到最优的一组参数估算值。并以深圳、武汉两市为例,进行暴雨强度公式参数估算,精度高于国家标准要求,且明显优于对比方法。该法已被编制成计算机软件,只要输入原始资料就可以很快输出结果,包括曲线型估计、参数估算、误差分析、图表,使用极其方便,可向全国各地推广应用。

**关键词:** 暴雨强度公式; 线性化; 最优化; 误差控制

## 引 言

根据国家《给水排水设计手册》<sup>[1]</sup>和《室外排水设计规范(GBJ14-87)》<sup>[2]</sup>规定,暴雨强度是设计水库大坝高度,确定公路、铁路涵洞直径以及城市雨污分管道系统的关键技术参数,也是设计防洪及水利工程设施中的重要指标,而这些工程排水的可靠与否和采用的暴雨强度公式的准确性和精度有直接关系。

暴雨强度公式是反映一定重现期、历时下的平均暴雨强度,有许多种经验公式,在我国一般采用如下公式<sup>[1-2]</sup>:

$$\text{总公式: } i = \frac{A_1(1 + C \lg T)}{(t + b)^n} \quad (1)$$

式(1)中  $i, t, T$  均为变量; $i$  为暴雨强度(单位: mm/min);  $T$  为重现期(单位: a),取值范围为 0.25 ~ 100 a;  $t$  为降雨历时(单位: min),取值范围为 1 ~ 120 min。重现期越长、历时越短,暴雨强度就越大。而  $A_1, C, b, n$  是与地方暴雨特性有关且需求解的参数( $b, n$  亦称气候参数):  $A_1$  雨力参数,即重现期为 1 a 时的 1 min 设计降雨量(单位: mm),  $C$  为雨力变动参数,  $b$  为降雨历时修正参数,即对暴雨强度公式两边求对数后能使曲线化成直线所加的一个时间常数(单位: min),  $n$  为暴雨衰减指数,与重现期有关。

$$\text{单重现期公式: } i = \frac{A}{(t + b)^n} \quad (2)$$

式(2)中,  $A$  为雨力参数,即不同重现期下的 1 min 设计降雨量(单位: mm)。

可见暴雨强度公式为已知关系式的超定非线性方程,总公式、分公式各有 4 个和 3 个参数,常规方法将无能为力,所以参数估计方法设计和减少估算误差尤为关键。长期以来水文气象工作者不懈探索,提出许多参数估算方法,在城市排水设计中发挥了重要的作用。但这些方法仍然存在较大的人为判断误差(经验法、图解法),一定的近似假设误差(麦夸尔特法,遗传法,加速遗传法,Marquardt-Hartley 法,解超定非线性方程组),以及跳跃搜索中遗漏误差(二分搜索法或黄金分割法)。本文在以上工作基础上提出了一种客观、对参数进行全组合、可找到最小误差的参数估算方法,可巧妙避开以上 3 类问题的出现。虽然占用机时较多,如对总公式,若参数均保留 3 位小数,有近亿种组合,在 PIV/2.8 G 微机上约需机时 10 min 左右,但在计算速度不断加快的今天已不是问题。

## 1 方法与误差分析

首先对式(1)和(2)进行线性化处理,再推导出未知参数  $b$  与  $C$  的取值范围,给定一个  $b$  值(分公

\* 深圳市气象局科研开发项目(2003-3-03)、湖北省气象局科技基金(2004Y07)和中国气象局气候变化专项(CCSF2006-31)共同资助。  
2006-07-24 收到,2006-11-28 收到修改稿。

式)  $b$  与  $C$  组合(总公式), 对已求出的雨强-历时-重现期( $i-t-T$ )三联表数据, 进行最小二乘法拟合便可得到参数  $A, n$ , 以总误差最小为控制条件, 理论上可得到最优的一组参数估算值。采用均方根误差( $\sigma$ )或相对均方根误差( $f$ )并参照国家标准<sup>[2]</sup>进行误差评判。

### 1.1 确定 $b$ 和 $C$ 的范围

根据大量文献, 从我国 200 多个暴雨强度公式<sup>[1,3-27]</sup>中可见,  $b, C$  是有一定范围的, 最大值分别为 46.4(江苏无锡), 1.537(河南济源)。另外  $1+C\lg T$  必须大于 0, 而  $T=0.25$  时,  $\lg T=-0.602$ , 所以必须有  $C<1.666$ 。

### 1.2 对分公式线性化及最优化目标控制

对分公式,  $b$  取(0, 50.000), 以 0.001 为间隔, 共 50000 种情景, 对分公式两端求对数:

$$\lg i = \lg A - n \lg(t+b) \quad (3)$$

设  $y = \lg i, b_0 = \lg A, b_1 = -n, x = \lg(t+b)$ ,

$$\text{则 } y = b_0 + b_1 x \quad (4)$$

通过最小二乘法求出  $b_0, b_1$ , 从而可求出  $A, n$  以及  $i'$ (拟合值), 同时求出均方根误差:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (i_{ij} - i'_{ij})^2}, m = 9(\text{个历时}) \quad (5)$$

以其为目标函数, 取使  $\sigma$  最小的一组参数, 同时计算出相对均方根误差。

同理, 也可求出  $i$  与  $i'$  的相关系数  $r$ , 取使  $r$  最大的一组参数。

### 1.3 对总公式线性化及最优化目标控制

对总公式,  $b$  取(0, 50.000),  $C$  取(0, 1.666), 以 0.01 为间隔, 共  $5000 \times 166 = 830000$  种组合,  $b$  取(0, 50.000),  $C$  取(0, 1.666), 以 0.001 为间隔, 共  $50000 \times$

1666=83300000 种组合对总公式两端求对数:

$$\lg i = \lg A_1 + \lg(1 + C\lg T) - n \lg(t+b) \quad (6)$$

设  $y = \lg i - \lg(1 + C\lg T), b_0 = \lg A_1,$

$b_1 = -n, x = \lg(t+b)$ , 有

$$y = b_0 + b_1 x \quad (7)$$

通过最小二乘法求出  $b_0, b_1$ , 从而可求出  $A_1, n$  以及  $i'$ , 同时求出总的误差:

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{m_0} \sum_{j=1}^{m_0} \left( \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (i_{ij} - i'_{ij})^2} \right),$$

$$m = 9(\text{个历时}), m_0 = 11(\text{个重现期}) \quad (8)$$

以其为目标函数, 取使  $\bar{\sigma}$  最小的一组参数。其中也可  $m_0=8$ , 即前 8 个重现期(0.25 a, ..., 10 a)。并将总公式分解到分公式(代入不同的  $T$  便可), 算出分公式均方根误差和相对均方根误差。

$$f = \frac{\sigma}{x} \quad (9)$$

同理, 也可求出  $i$  与  $i'$  的相关系数  $r$ , 取使  $r$  最大的一组参数。

### 1.4 误差标准

按照国家标准<sup>[2]</sup>规定, 暴雨强度公式参数估算误差, 以均方差  $\sigma \leq 0.05$  mm 为主要衡量指标, 对于深圳、武汉这样降雨强度大的地方, 也可采用另一规定: 平均相对误差  $f \leq 5\%$ , 或适当放宽条件为均方差在多数重现期下(0.25 a, ..., 10 a, 共 8 个重现期)不高于 0.05 mm, 或平均相对误差不高于 5%。

### 1.5 试验资料

利用指数分布, 根据深圳市 1954—2003 年 50 年、武汉市 1961—1995 年 35 年降水资料序列求出两地各自的雨强-历时-重现期( $i-t-T$ )三联表数据, 见表 1<sup>①</sup>和表 2。可见深圳的雨强比武汉大。

表 1 深圳市不同历时( $t$ )、重现期( $T$ )对应的雨强(指数分布, 单位: mm/min)

Table 1 Rainstorm intensity with duration ( $t$ ) and return period ( $T$ ) in Shenzhen (exponential distribution, unit: mm/min)

$T/a$	$t/\text{min}$								
	5	10	15	20	30	45	60	90	120
0.25	1.7905	1.4388	1.1823	1.0607	0.8554	0.6692	0.5733	0.4169	0.3454
0.333	1.9140	1.5335	1.2796	1.1486	0.9334	0.7401	0.6377	0.4732	0.3958
0.5	2.0880	1.6670	1.4168	1.2725	1.0432	0.8400	0.7283	0.5526	0.4669
1	2.3854	1.8952	1.6514	1.4842	1.2311	1.0107	0.8832	0.6883	0.5883
2	2.6829	2.1234	1.8859	1.6960	1.4190	1.1815	1.0382	0.8240	0.7098
3	2.8569	2.2569	2.0231	1.8199	1.5289	1.2814	1.1288	0.9033	0.7808
5	3.0761	2.4251	2.1960	1.9759	1.6673	1.4072	1.2430	1.0033	0.8703
10	3.3735	2.6533	2.4305	2.1877	1.8552	1.5780	1.3979	1.1390	0.9918
20	3.6710	2.8815	2.6651	2.3995	2.0431	1.7488	1.5529	1.2747	1.1133
50	4.0642	3.1832	2.9751	2.6794	2.2914	1.9745	1.7577	1.4541	1.2738
100	4.3616	3.4114	3.2097	2.8912	2.4793	2.1453	1.9126	1.5898	1.3953

① 陈正洪, 张海军, 王小丽, 等. 深圳市新一代暴雨强度公式的编制与创新研究——技术报告. 2005.

表 2 武汉市不同历时( $t$ )、重现期( $T$ )对应的雨强(指数分布,单位:mm/min)  
Table 2 Rainstorm intensity with duration( $t$ ) and return period ( $T$ ) in Wuhan  
(exponential distribution, unit: mm/min)

$T/a$	$t/min$								
	5	10	15	20	30	45	60	90	120
0.25	1.2060	0.9570	0.8251	0.7091	0.5692	0.4435	0.3567	0.2566	0.2500
0.333	1.3500	1.0834	0.9312	0.8060	0.6508	0.5083	0.4129	0.3026	0.2957
0.5	1.5530	1.2616	1.0807	0.9427	0.7657	0.5996	0.4922	0.3675	0.3602
1	1.9000	1.5663	1.3362	1.1763	0.9623	0.7557	0.6277	0.4783	0.4705
2	2.2469	1.8709	1.5918	1.4099	1.1588	0.9118	0.7632	0.5892	0.5808
3	2.4499	2.0491	1.7413	1.5465	1.2737	1.0031	0.8425	0.6540	0.6453
5	2.7056	2.2736	1.9296	1.7187	1.4186	1.1181	0.9424	0.7357	0.7266
10	3.0526	2.5782	2.1852	1.9523	1.6151	1.2742	1.0779	0.8466	0.8369
20	3.3995	2.8829	2.4407	2.1859	1.8116	1.4303	1.2134	0.9574	0.9472
50	3.8582	3.2856	2.7786	2.4947	2.0714	1.6366	1.3926	1.1040	1.0930
100	4.2052	3.5902	3.0341	2.7283	2.2679	1.7927	1.5281	1.2148	1.2033

两地各自的暴雨强度分公式各参数和误差,见表 3、表 4。

可见,两地重现期为 20 年以下的各分公式的绝对误差均在 0.05 mm 以下,最小只有 0.0122 mm; 重现期为 50 年、100 年两种情况也只略大于临界值,

## 2 试验结果分析

### 2.1 分公式

根据深圳、武汉的  $i-t-T$  资料,采用最优法求出

表 3 最优法所求深圳市暴雨强度分公式参数和误差一览表(指数分布)

Table 3 The value of the parameters and error of the rainstorm intensity formula for single return period calculated by optimized method in Shenzhen (exponential distribution)

$T/a$	0.25	0.333	0.5	1	2	3	5	10	20	50	100	平均
$A$	13.3820	12.0380	10.8625	9.9791	9.6431	9.6731	9.6959	9.8745	10.1781	10.6630	10.9823	
$b$	9.6160	8.8075	7.8597	6.7705	5.9494	5.6749	5.2624	4.8490	4.5729	4.2964	4.0195	
$n$	0.7499	0.7010	0.6467	0.5822	0.5367	0.5177	0.4958	0.4726	0.4549	0.4366	0.4238	
$\sigma/mm$	0.0122	0.0144	0.0188	0.0161	0.0226	0.0268	0.0324	0.0401	0.0480	0.0586	0.0667	0.0324
$f/\%$	1.3192	1.0129	1.0508	1.2233	1.4979	1.6548	1.8355	2.0508	2.2342	2.4371	2.5663	1.7166

注:下划线表示均方差  $\sigma \leq 0.05$  mm 或平均相对误差  $f \leq 5\%$ ,下同。

表 4 最优法所求武汉市暴雨强度分公式参数和误差一览表(指数分布)

Table 4 The value of the parameters and error of the rainstorm intensity formula for single return period calculated by optimized method in Wuhan (exponential distribution)

$T/a$	0.25	0.333	0.5	1	2	3	5	10	20	50	100	平均
$A$	9.5088	9.5592	10.004	10.924	12.150	12.818	13.848	15.094	16.509	18.392	19.612	
$b$	9.8847	9.4815	9.2122	8.8075	8.6724	8.5372	8.5372	8.4019	8.4019	8.4019	8.2665	
$n$	0.7658	0.7329	0.7022	0.6659	0.6447	0.6341	0.6257	0.6145	0.6075	0.6003	0.5938	
$\sigma/mm$	0.0124	0.0139	0.0166	0.0219	0.0276	0.0311	0.0356	0.0418	0.0480	0.0563	0.0626	0.0334
$f/\%$	2.0065	1.9752	2.0070	2.1213	2.2363	2.2959	2.3620	2.4380	2.5008	2.5687	2.6107	2.2839

最大也只有 0.0667 mm。两地相对误差则全部在 2.62% 以下。至于绝对误差、相对误差平均值,在深圳分别为 0.0324 mm, 1.717%, 在武汉分别为 0.0334 mm, 2.284%, 结果相当理想。另外还发现,两地分公式的绝对误差、相对误差均随重现期增加而增大。深圳市不同重现期下暴雨强度随历时变化曲线见图 1(武汉市图略)。

### 2.2 总公式

采用最优法求出了两地各自的暴雨强度总公式

各参数,

$$\text{深圳: } i = \frac{9.194 \times (1 + 0.460 \lg T)}{(t + 6.840)^{0.555}} \quad (10)$$

$$\text{武汉: } i = \frac{11.741 \times (1 + 0.660 \lg T)}{(t + 10.160)^{0.677}} \quad (11)$$

以上两公式误差见表 5。

由表 5 可见,在深圳,重现期为 10 年以下公式绝对误差不高于 0.05 mm 标准的仅 4 次(4/8),但相对误差不高于 5% 标准的则有 6 次(6/8); 在武汉,

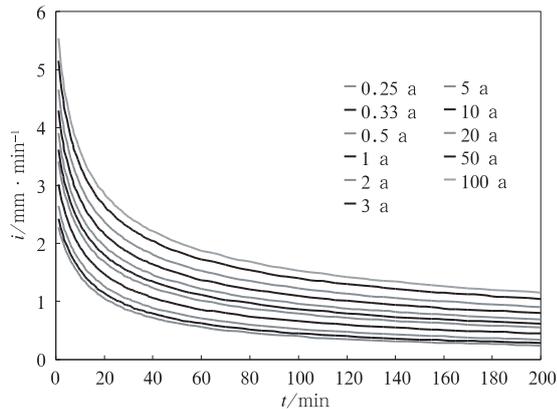


图1 深圳市不同重现期的暴雨强度随历时变化曲线(指数分布,从上到下对应重现期为100 a,50 a,...,0.25 a)  
Fig. 1 The curve of rainstorm intensity with duration in different return period in Shenzhen (exponential distribution, the return period: 100 a,50 a,...,0.25 a from top to bottom)

表5 最优法所求深圳、武汉暴雨强度总公式误差一览表(指数分布)

Table 5 The value of the error of the rainstorm intensity formula for any return period calculated by optimized method in Shenzhen and Wuhan (exponential distribution)

	T/a	0.25	0.333	0.5	1	2	3	5	10	20	50	100	平均
深圳	$\sigma/\text{mm}$	0.0740	0.0633	0.0487	0.0272	0.0240	0.0341	0.0512	0.0767	0.1030	0.1383	0.1651	0.0732
	f/%	7.9958	6.2948	4.3515	2.0697	1.5939	2.1066	2.9053	3.9197	4.7910	5.7476	6.3527	4.3753
武汉	$\sigma/\text{mm}$	0.0399	0.0364	0.0321	0.0275	0.0277	0.0301	0.0349	0.0434	0.0533	0.0674	0.0784	0.0428
	f/%	6.4431	5.1672	3.8966	2.6727	2.2424	2.2190	2.3142	2.5357	2.7781	3.0758	3.2740	3.3290

表6 二分搜索法(黄金分割法)所求深圳、武汉暴雨强度总公式误差一览表(指数分布)

Table 6 The value of the error of the rainstorm intensity formula for any return period calculated by two-part searching method in Shenzhen and Wuhan (exponential distribution)

	T/a	0.25	0.333	0.5	1	2	3	5	10	20	50	100	平均
深圳	$\sigma/\text{mm}$	0.0875	0.0770	0.0630	0.0429	0.0357	0.0408	0.0540	0.0773	0.1029	0.1381	0.1652	0.0804
	f/%	9.4471	7.6539	5.6244	3.2650	2.3661	2.5166	3.0626	3.9488	4.7843	5.7399	6.3564	4.9786
武汉	$\sigma/\text{mm}$	0.0959	0.0885	0.0783	0.0618	0.0478	0.0418	0.0379	0.0411	0.0521	0.0724	0.0897	0.0643
	f/%	15.4874	12.5587	9.4891	6.0003	3.8701	3.0817	2.5164	2.3997	2.7130	3.3039	3.7429	5.9239

### 3 结 语

1) 在前人工作基础上,考虑计算条件的极大改善,提出了一种简单、有效的暴雨强度公式参数的求解方法,较好地解决了暴雨强度公式参数的估算问题。

2) 以深圳和武汉多年短历时暴雨样本资料为例,应用该算法求取了两地暴雨强度公式参数,结果表明两地公式精度均高于国家规范要求,尤其是较好地控制了大雨地区总公式的误差。

### 参 考 文 献

- [1] 北京市市政设计院. 给水排水设计手册(第五册). 北京: 中国建筑工业出版社, 1985: 48-87.
- [2] 上海市建设委员会. 中华人民共和国国家标准——室外排水设计规范(GBJ14-87, 1997年版). 北京: 中国计划出版社,

重现期10年以下公式绝对误差则全部达标(8/8),相对误差达标的也有6次(6/8)。深圳绝对误差平均不达标,但平均相对误差可达标;在武汉,平均绝对误差、相对误差均达标,完全可以满足国家标准的要求。

### 2.3 与其他方法计算结果比较

同时计算出二分搜索法(黄金分割法)<sup>[16,19]</sup>推算出总公式参数后的回代误差(表6),并与表5进行对比。可见,二分搜索法在两地求出的暴雨强度公式的绝对误差均不能达标;至于相对误差,在深圳重现期10年以下公式的相对误差个数(5/8)及平均值刚好可达标,在武汉虽然重现期10年以下公式的相对误差个数不达标(4/8),但所有重现期下公式的相对误差个数可达标(7/11),平均值仍不能达标。无疑,二分搜索法整体效果仍不及最优法。

1998: 4-5;160-161.

- [3] 毛慧琴,宋丽莉,杜尧东. 珠江三角洲地区城市暴雨强度公式研究. 自然灾害学报, 2003, 12(2): 341-345.
- [4] 戴慎志,陈践. 城市给水排水工程规划. 合肥: 安徽科学技术出版社, 2001: 1-10.
- [5] 邓培德. 城市暴雨公式统计中若干问题. 中国给水排水, 1992, 18(2): 45-48.
- [6] 邓培德. 暴雨选样与频率分布模型及其应用. 给水排水, 1996, 22(2): 5-9.
- [7] 任伯帜,许仕荣,王涛. 编制现代城市暴雨强度公式的统计方法研究. 湖南城建高等专科学校学报, 2001, 10(2): 31-33;74.
- [8] 周胜昔. 浙江省城市暴雨强度公式研究课题介绍. 浙江建筑, 1996, (6): 13-26.
- [9] 夏宗尧. 编制暴雨强度公式中应用P-III曲线与指数曲线的比较. 中国给水排水, 1992, 18(2): 32-38.
- [10] 季日臣,郭晓东,刘有录. 编制兰州市暴雨强度公式中频率曲线的比较. 兰州铁道学院学报(自然科学版), 2002, 21(1): 64-66.
- [11] 顾俊强,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. 应用气象学报, 2000, 11(3): 355-363.
- [12] 周玉文, 周胜昔. 极大似然法求皮尔逊 III 型分布参数. 给水排水, 1997, 23(6): 19-21.
- [13] 常福宣, 丁晶, 姚健. 降雨随历时变化标准性质的探讨. 长江流域资源与环境, 2002, 11(1): 79-82.
- [14] 周桂明. 计算机搜索法推求暴雨强度公式参数. 杭州大学学报, 1998, 25(4): 85-89.
- [15] 植石群, 宋而莉, 罗金铃, 等. 暴雨强度计算系统及其应用. 气象, 2000, 26(6): 30-33.
- [16] 乔华, 张理, 高俊发. 西安市暴雨强度公式的推导与研究. 西北建筑工程学院学报, 1996, 65-71.
- [17] 季日臣, 郭晓东, 刘有录. 兰州市暴雨强度关系的研究. 兰州铁道学院学报(自然科学版), 2002, 21(6): 65-68.
- [18] 杨开, 程晓如. 暴雨强度公式中系数 B 统计算法一例. 人民长江, 1996, 27(3): 16; 22.
- [19] 张爱英, 钱喜镇, 王栋成, 等. 超短时暴雨强度公式研究及应用软件介绍. 山东气象, 2003, (1): 32-33.
- [20] 王世刚. 城市暴雨公式参数优化计算程序. 中国给水排水, 1987, 3(4): 50-52.
- [21] 赵建国. 迭代法求解暴雨强度公式参数. 给水排水, 1997, 23(12): 9-12.
- [22] 顾俊强, 徐集云, 陈海燕, 等. 暴雨强度公式参数估计及其应用. 南京气象学院学报, 2000, 23(1): 63-67.
- [23] 李树平, 刘遂庆, 黄延林. 用麦夸尔特法拉求暴雨强度公式参数. 给水排水, 1999, 25(2): 26-28.
- [24] 任伯帜. 带因子一迭代法求解城市暴雨强度公式参数. 中国给水排水, 2002, 18(2): 40-42.
- [25] 任伯帜, 许仕荣. 基于 Marquardt-Hartley 法及其在求解城市暴雨强度公式参数中的应用研究. 给水排水, 2002, 29(3): 96-100.
- [26] 杨晓华, 金菊良, 张国桃. 加速遗传算法及其在暴雨强度公式参数优化中的应用. 自然灾害学报, 1998, 7(3): 71-75.
- [27] 朱颖元. 暴雨强度公式参数率定方法. 中国给水排水, 1999, 15(7): 32-33.

## An Optimized Method for Estimating Parameters of the Rainstorm Intensity Formula

Chen Zhenghong<sup>1)2)</sup> Wang Haijun<sup>3)</sup> Zhang Xiaoli<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> (Wuhan Regional Climate Center, Wuhan 430074)

<sup>2)</sup> (Wuhan Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan 430074)

<sup>3)</sup> (Hubei Meteorological Information and Technological Support Center, Wuhan 430074)

<sup>4)</sup> (Shenzhen Meteorological Observatory, Shenzhen 518008)

### Abstract

In hydrology, the form of the rainstorm intensity formula is known as the nonlinear one with excess factors, and its parameters are not easy to be solved with normal methods, which makes the method design of parameters estimate and the elimination of the error from parameters estimate the most crucial. For a long time, many methods to estimate the parameters of the formula have been put forward by hydrological and meteorological experts that have exerted a profound influence on urban water drainage design. But all the methods above have certain error from objective error by personal judging, approximate supposed error, or missing error from skip-over searching.

An objective and optimized method for estimating the parameters of the rainstorm intensity formula is put forward that can avoid the above errors skillfully. First, the non-linear formula is linearized and the scope of the parameters  $b$  and  $C$  is decided. Second, the parameters  $A$  and  $n$  can be determined based on known rainstorm intensity, duration and return period( $i-t-T$ ) tri-relation table by least regression method after the value of  $b$ (single period formula) or a combination of the value of  $b$  and  $C$ (multi-period formula) is given. Then the formula with least error is the optimum one.

This method is used in Shenzhen and Wuhan separately, and the accuracy of the formula can meet the requirement of the national standard and is superior to the compared methods. A software has been designed according to the new method and can be used easily and popularized nationwide. If the original data are put in, the estimating result of the curve pattern, formula parameters, error, figures and table can be obtained quickly.

**Key words:** rainstorm intensity formula; linearize; optimize; error control