

# Parameters Calculation and Study of Urban Rainstorm Intensity Formula

Shouxian Xia<sup>1</sup>, Shanyu Zhang<sup>1</sup>, Binhai Wang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Huangshan Hydrology and Water Resources Bureau of Anhui Province, Huangshan Anhui

<sup>2</sup>Shexian Hydrological Survey Team, Hydrology Bureau of Anhui Province, Shexian Anhui

Email: xsx8674@163.com

Received: Apr. 3<sup>rd</sup>, 2017; accepted: Apr. 15<sup>th</sup>, 2017; published: Apr. 18<sup>th</sup>, 2017

## Abstract

In order to improve the urban flood control capacity and prevent urban waterlogging, typical and reliable rainfall data collected in recent years are analyzed to set up an urban rainstorm intensity formula in accordance with the practical situation and on which the calculation of a comparatively high standard storm intensity and design water flow is based. Taking Huangshan City as an example, the paper calculates the urban rainstorm frequency distribution model of p-III type parameters and establishes rainstorm formula method and frequency conversion in frequency and time. It demonstrates that the frequency distribution of urban rainstorm formula is a special case of p-III distribution when  $\alpha = 1$  or  $C_s = 2$ . The frequency distribution has a simple form, only two parameters. And then the frequency curve line technique is put forward, operating more convenient. According to the distribution trend of super quantitative series, piecewise line, frequency curve of the last balance coordination, etc., the frequency curve with higher precision, less error is more reasonable. Meanwhile, the adjustment and calculation of  $C_v$  and yearly multiple frequency conversion formula are mentioned, so as to evaluate and compare the corresponding advantages and disadvantages.

## Keywords

Frequency Distribution, Curvefitting, Urban Rainstorm, Urban Waterlogging, Rainstorm Intensity Formula, Parameter Estimation

# 城市暴雨强度公式编制与分析研究

夏守先<sup>1</sup>, 张善余<sup>1</sup>, 汪滨海<sup>2</sup>

<sup>1</sup>安徽省黄山市水文水资源局, 安徽 黄山

<sup>2</sup>安徽省水文局歙县水文勘测队, 安徽 歙县

Email: xsx8674@163.com

作者简介: 夏守先(1963-), 男, 安徽定远人, 高级工程师, 主要从事水资源、水环境监测调查研究。

文章引用: 夏守先, 张善余, 汪滨海. 城市暴雨强度公式编制与分析研究[J]. 水资源研究, 2017, 6(2): 196-204.  
<https://doi.org/10.12677/jwrr.2017.62023>

收稿日期：2017年4月3日；录用日期：2017年4月15日；发布日期：2017年4月18日

## 摘要

为提高城市防洪能力，防控城市内涝，用近年长系列有代表性的可靠的降雨资料，建立符合当地客观实际的城市暴雨强度公式，并籍此计算相应较高标准的设计暴雨强度和设计流量。本文以黄山市为例，研究了城市暴雨频率p-III型分布参数的推求和建立暴雨公式方法及年次频率的转换。论证了城市暴雨公式的频率分布是p-III型分布 $\alpha = 1$ 或 $C_s = 2$ 时的特例，形式简单，仅两个参数，从而提出频率曲线的适线技巧，操作更加方便，并按照超定量系列的分布趋势，分段适线，对各历时的频率曲线进行了平衡协调等，使频率曲线更为合理，精度更高，误差更小。同时介绍了Cv值的调整与计算方法及年多个样法的频率转换公式，并进行优越性评价与比较。

## 关键词

频率分布，适线方法，城市暴雨，城市内涝，暴雨强度公式，参数估计

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

近年来，城市内涝问题备受社会关注。城市内涝形成的主要原因，是城市下水管道设计建设依据的资料系列短、代表性差，排水系统建设标准低。随着城市建设规模的扩张，高楼林立，道路交错，辐射平衡打破，使城市上空局部小气候及下垫面发生明显变化，导致城区降雨过程、产汇流特性改变，产流量增大、汇流速度加快，加剧了雨洪灾害对城市的威胁。为提高城市的排涝能力，有必要用近年代表性好的降雨资料，建立符合当地客观实际的城市暴雨强度公式，供城市排水管网设计建设参考。

本文从暴雨选样方法、暴雨频率曲线选用、年频率与次频率的转换、暴雨公式的参数率定及暴雨公式的建立等方面对暴雨强度编制方法进行了阐述分析，以飨读者。

## 2. 暴雨选样方法及频率曲线模型

暴雨选样方法有年最大值法、年超大值法、年超定量法与年多个样法 4 种。年最大值法具有选样简单、独立性强特点，一般要求暴雨资料系列较长，在水利工程、公路、铁路设计暴雨计算中广泛采用。1963 年开始我国排水规范推荐采用年多个样法，GB50014-2006《室外排水设计规范》[1]仍推荐采用该方法。本文采用该规范推荐的年多个样法。根据此方法，黄山市屯溪站 42 年(1967~2008 年)暴雨资料系列，平均每年约取 4 个样，不同降雨历时各取 171 个值。

暴雨强度公式统计中，常用的理论频率曲线为 P-III 型曲线、指数分布曲线等，选用何种分布曲线关键看原始数据与理论频率曲线的拟合程度[2] [3] [4]。图 1 为屯溪站  $t = 30 \text{ min}$  时的雨量—频次直方图，从中可见分级暴雨量的出现次数随着雨量的增大而逐渐减少，其变化趋势像一条乙形曲线，这种分布符合 P-III 型频率曲线  $C_s = 2$  时数分布曲线的情况，故本文选择此线型作为理论频率曲线。

## 3. 次频率与年频率的转换

对于年最大值法其经验频率为：

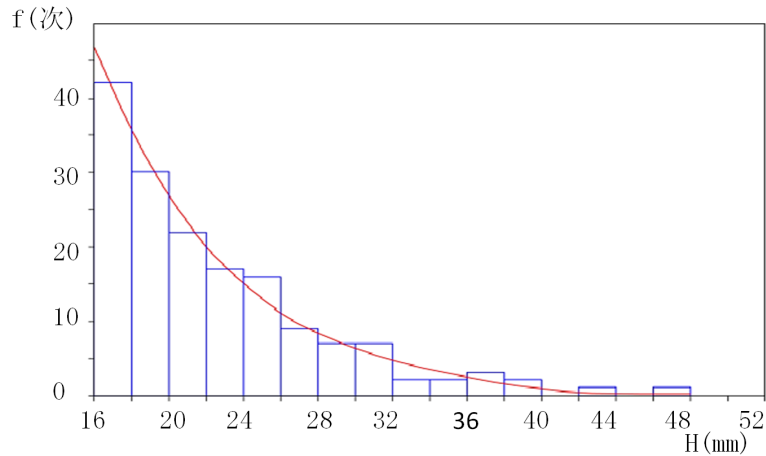


Figure 1.  $t = 30$  min Rainstorm amount histogram  
图 1.  $t = 30$  min 的暴雨量直方图

$$P_E = \frac{m}{N+1} \quad (1)$$

式中： $P_E$ ——一次频率； $m$ ——序次， $m = 1, 2, \dots, N$ ； $N$ ——一次雨量系列的长度。

对于年多个样法系列，经验频率计算公式为：

$$P_{E次} = \frac{j}{N+1} \quad (j = 1, 2, \dots, N) \quad (2)$$

规划设计时，要求是以年为单位的频率或重现期，故需进行换算，换算公式为：

$$P_{E次} = \frac{n+1}{N+1} P_{E年} = \frac{P_{E年}}{k} \quad \text{或} \quad P_{E次} = \frac{n+1}{(N+1)T_{E年}} = \frac{1}{kT_{E年}} \quad (3)$$

如  $N = 171, n = 42$ ，则  $k = \frac{N+1}{n+1} = \frac{172}{42+1} = 4$ ； $T_{E次} = \frac{171+1}{42+1} T_{E年} = 4T_{E年}$ ， $P_{E次} = \frac{1}{4T_{E年}}$ 。

根据黄山市屯溪站 42 年(1967~2008 年)暴雨资料系列的实际分布情况及合理性分析，频率曲线采用分段适线效果更好[2] [4]，即一段为  $P < 70\%$  (适用于  $T = 2 \sim 100$  年)和另一段为  $P > 70\%$  (适用于  $T = 0.25 \sim 1$  年)，具体做法是：

$P < 70\%$  ( $T = 2 \sim 100$  年)：取 171 个子样前 42 个，不做频率转换；

$P > 70\%$  ( $T = 0.25 \sim 1$  年)：取 171 个子样，做频率转换。

由于  $N = 171$  和  $n = 42$ ，得： $(n+1)/(N+1) = 1/4$  (或  $N = 4n + 3$ )。

换算结果见表 1。由此，将指定的  $T_{E年}$  换算成  $P_{E次}$ ，再从次频率曲线上查得相应的  $H$  或  $i$  值，即为欲求的结果。

对各历时的暴雨量系列( $N = 171$ )用矩法计算均值  $\bar{H}$ 、离差系数  $C_v$  和偏态系数  $C_s$ 。 $C_s$  有一定的变化幅度，平均约为 2.0，符合指数分布。

用同样的方法，在同一张概率格纸上，绘制几个不同历时暴雨强度的频率曲线，各曲线不得相交，要有合适的间距，分布趋势合理。如图 2、图 3。各条曲线是  $P_{E次}$  和  $i$  的关系线，即次频率曲线。设计标准是以年为单位的，其相应重现期为  $T_{E年}$  及其相应的频率为  $P_{E年}$ 。

这里的  $T_{E年}$  与年最大法的水文重现期  $T_{M年}$  大都不同，两个暴雨系列的最大项是重合的，次大项及以后几项可能重合、可能不重合。对各历时、各  $T_{E年}$ ，读取频率计算成果，将 9 个历时的暴雨量系列摘列成表(略)，将暴雨量  $H$  换算为暴雨强度  $i = H/t$ ，备用。

Table 1.  $T_{EY}$  and  $P_{ET}$  conversion table

表 1.  $T_{E年}$  和  $P_{E次}$  转换表

$T_{E年}$	0.25	0.333	0.5	1
$k = 4 \quad P_{E次}$	1.00	0.75	0.50	0.25
$k = 5 \quad P_{E次}$	0.80	0.601	0.400	0.20
$k = 6 \quad P_{E次}$	0.667	0.500	0.333	0.167
.....	.....	.....	.....	.....

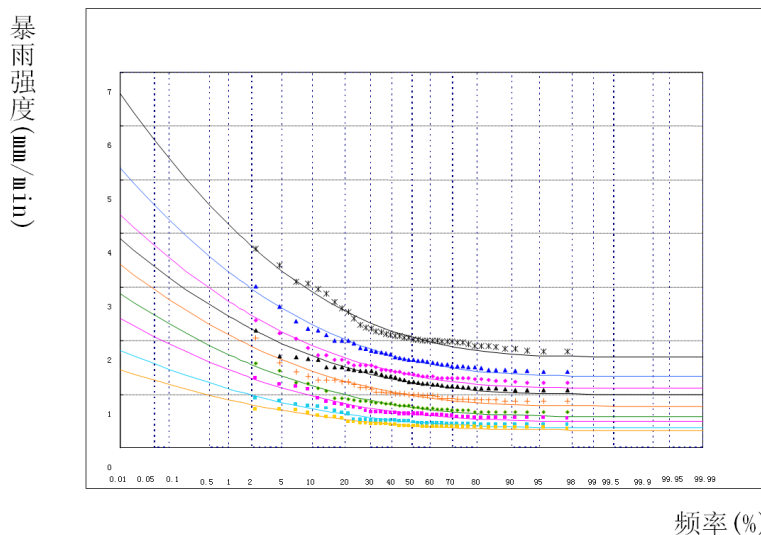


Figure 2. Tunxi station rainstorm intensity frequency curve ( $n = 42$ )  
图 2. 屯溪站暴雨强度频率曲线图( $n = 42$ )

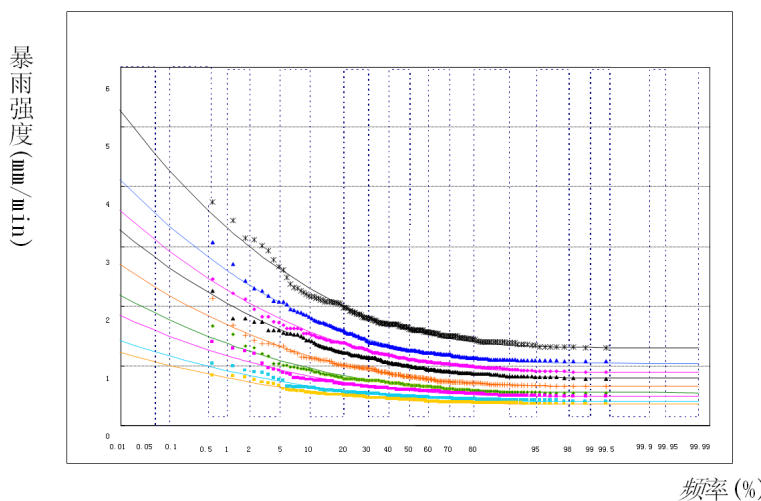


Figure 3. Tunxi station storm rainfall frequency curve ( $N = 171$ )  
图 3. 屯溪站暴雨强度频率曲线图( $N = 171$ )

## 4. 暴雨公式参数推求与公式建立[5]

### 4.1. 城市暴雨公式

据《室外排水设计规范》[1], 城市暴雨公式为:

$$i = \frac{S}{(t+b)^n} \tag{4}$$

$$i = \frac{A(1+C \lg T)}{(t+b)^n} \tag{5}$$

式中： $S$ ——雨力， $S = A(1+C \lg T)$ ； $i$ ——暴雨强度(mm/min)； $T$ ——重现期(年)； $b$ 、 $n$ 、 $A$ 、 $C$ ——待估参数。

### 4.2. 绘制暴雨强度与历时的关系曲线图

在双对数格纸上，以  $i$  为纵坐标， $t$  为横坐标，根据在频率曲线上查得的  $T \sim i \sim t$  关系值，点绘暴雨强度与历时的关系曲线，如图 4 和图 5。

### 4.3. 求 $b$

如图 4 和图 5 的左图所示， $T \sim \lg i \sim \lg t$  关系线不为直线，故需对各重现期在各历时  $t$  上加一个相同的值  $b$  (即  $t + b$ )，试算至各点的连线成为一条直线(如图 4 和图 5 的右图)，此时的数值即为所求的  $b$  值。经过多次试算，得到  $b = 8$ 。

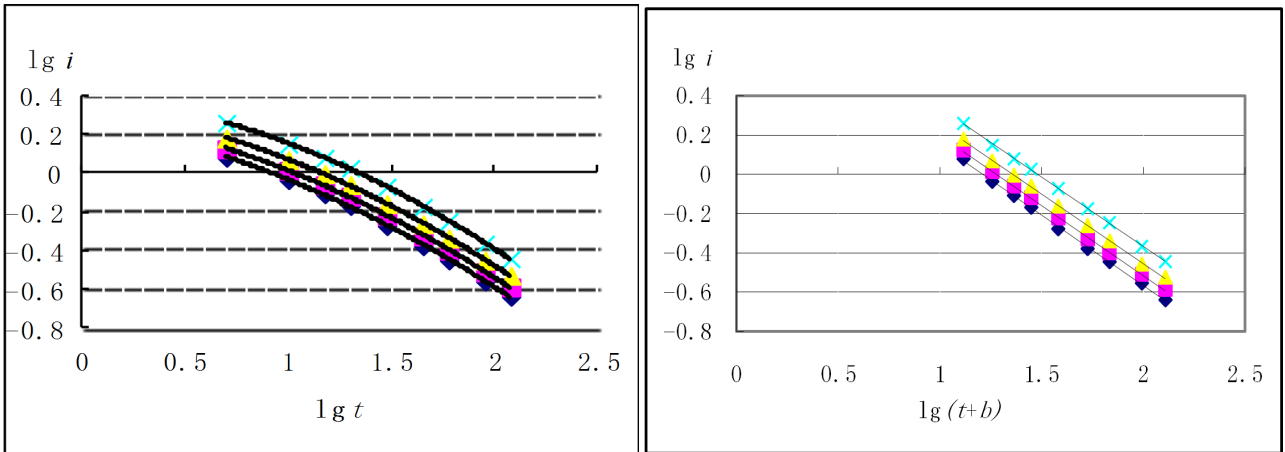


Figure 4. Correction graph of  $\lg i \sim \lg t$  and  $\lg i \sim \lg(t+b)$  for  $T = 2 - 100$

图 4.  $\lg i \sim \lg t$  和  $\lg i \sim \lg(t+b)$  相关图( $T = 2 \sim 100$ )

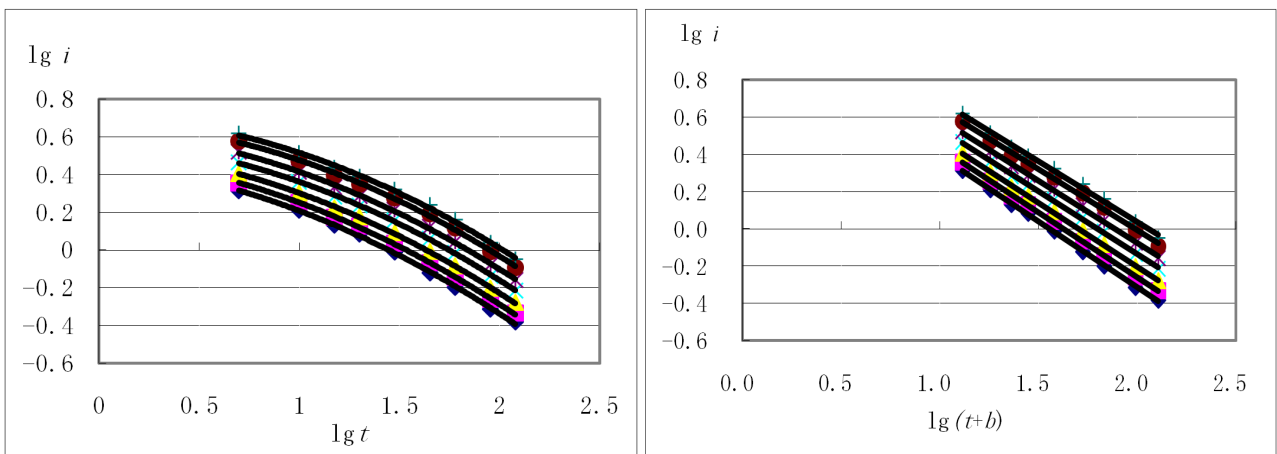


Figure 5. Correction graph of  $\lg i \sim \lg t$  and  $\lg i \sim \lg(t+b)$  for  $T = 0.25 - 1$

图 5.  $\lg i \sim \lg t$  和  $\lg i \sim \lg(t+b)$  相关图( $T = 0.25 \sim 1$  年)

#### 4.4. 求 $n$

由式(4)得出:  $\lg i = \lg S - n \lg(t+b)$ , 当  $b$  已知后, 用最小二乘法计算, 得到  $\lg S$  (同时得到  $S$  值) 和  $n$  值。

$$\text{其中: } n = \frac{\sum \lg i \sum \lg(t+b) - m \sum \lg i \lg(t+b)}{m \sum \lg^2(t+b) - [\sum \lg(t+b)]^2}$$

当  $T = 2 \sim 100$  年,  $b = 8$  时,  $n$  值计算结果见表 2。因  $n$  值相差不大, 取其平均值  $n = 0.675$ 。用同样方法计算  $T = 0.25 \sim 1$  年的  $n$  值, 结果见表 3。取其平均值  $n = 0.711$ 。

#### 4.5. 推求 $A$ 和 $C$

用  $T = 2 \sim 100$  年的  $S-T$  的关系数据, 在半对数纸上点绘 ( $S$  为均匀分格,  $T$  为对数坐标), 则  $S-\lg T$  为直线关系 (如图 6), 即有  $S = A + C' \lg T$ , 其中,  $C' = AC$  或  $C = C'/A$ , 得到  $A = 8.964$ ,  $C = C'/A = 7.453/8.964 = 0.831$ , 从而可得暴雨强度公式。

同理, 绘制  $T = 0.25 \sim 1$  年的  $S-T$  关系如图 7, 得到  $A = 11.333$ ,  $C = C'/A = 6.728/11.333 = 0.594$ 。

#### 4.6. 建立城市暴雨强度公式

由上述计算结果得到暴雨强度公式如下: 当  $T = 2 \sim 100$  年时, 暴雨强度公式为:

$$i = \frac{8.964(1 + 0.831 \lg T)}{(t + 8)^{0.675}} \quad (6)$$

当  $T = 0.25 \sim 1$  年时, 暴雨强度公式为:

**Table 2.** Calculated value of  $n$  for  $T = 2 - 100$  years

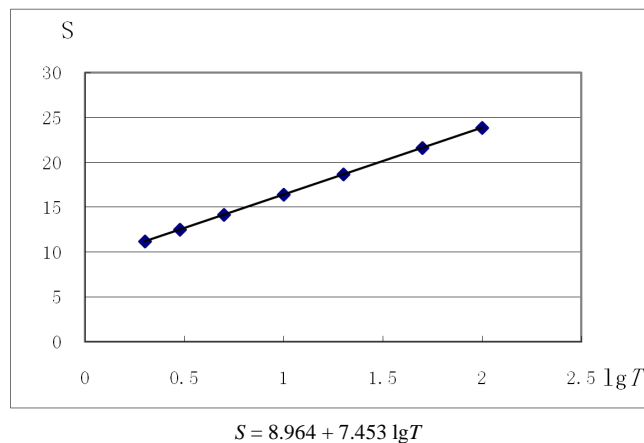
**表 2.**  $n$  值计算结果表 ( $T = 2 \sim 100$  年)

T(年)	2	3	5	10	20	50	100	平均
$n$	0.702	0.697	0.681	0.674	0.665	0.654	0.651	0.675

**Table 3.** The value of  $n$  calculation result table ( $T = 0.25 - 1$  year)

**表 3.**  $n$  值计算结果表 ( $T = 0.25 \sim 1$  年)

T(年)	0.25	0.333	0.5	1	平均
$n$	0.720	0.710	0.709	0.704	0.711



**Figure 6.** Correlation diagram of  $S-\lg T$  for  $T = 2 - 100$  years

**图 6.**  $S-\lg T$  相关图 ( $T = 2 \sim 100$  年)

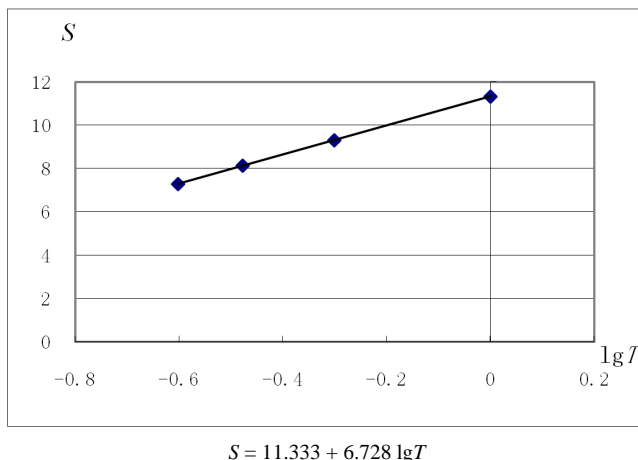


Figure 7. Correlation diagram of  $S\text{-lg}T$  for  $T=0.25-1$  year  
 图 7.  $S\text{-lg}T$  相关图( $T=0.25\sim 1$  年)

$$i = \frac{11.333(1 + 0.594 \lg T)}{(t + 8)^{0.711}} \quad (7)$$

## 5. 方法及研究成果评价

### 5.1. 适线法简单方便、分析成果精度高

由前述，黄山市暴雨强度频率曲线采用指数分布，理论依据充分，资料吻合度好。适线时只须固定  $C_s = 2$ ，调整  $C_v$  即可，精度高，误差小，比目估适线简捷方便，同时克服了目估适线成果的任意性大的缺点。

### 5.2. 分段适线更合理性

分别点绘各历时  $N = 171$  和  $N = n = 42$  的  $H\text{-ln}T$  关系，可以发现其点群分布基本呈直线趋势，如果将点群细分为大强度和中小强度两部分拟合更好。如图 8。分段适线优于不分段适线，更为合理，误差小，精度高。

本文取  $k = 1$  的超大值系列( $N = n = 42$ ，用于  $T \geq 2$  年)及全部系列( $N = 171$ ，用于  $T \leq 2$  年)，分别作为分析暴雨强度公式中参数的基本依据。

### 5.3. $C_v$ 值的调整与计算

由上述可知，指数分布的频率为  $P = e^{-\beta(H-H_0)}$ ，令  $H = x, H_0 = b, \alpha = \beta$ ，

$$T = e^{\beta(H-H_0)} \quad (8)$$

对(8)式两端取对数，有：

$$\ln T = \beta(H - H_0), \beta = \frac{\ln T}{H - H_0} \quad (9)$$

对于指数分布模型，已知  $C_s = 2$ ，均值  $\bar{H}$  取矩法的计算值，只有  $C_v$  需要估计。

由  $C_s = 2$ ， $\beta = 1/(\bar{x}C_v)$ ， $a_0 = \bar{x}(1 - C_v)$ ，知  $C_v = 1/(\bar{H}\beta)$ 。

对于均值，在水文水资源计算中，一般将其固定为矩法的计算值，不作调整。绘制  $\bar{H}\text{-}t$  关系图，并将各点连线， $\bar{H}$  是随着历时  $t$  的增长而增大，如图 9，其连线为一光滑线，变化规律性较好，可作为取用结果。

对于  $C_v$  初值的估计，方法较多，本文以  $N = n = 42$  (用于  $T \geq 2$  年)作为示例介绍如下，实际工作时，只需任取一、两种即可。先点绘  $\bar{H}\text{-}t$  的关系图，再取式(9)进行(最小二乘)回归计算，即  $H$  与  $\ln T$  相关，得斜率  $\beta$  值。

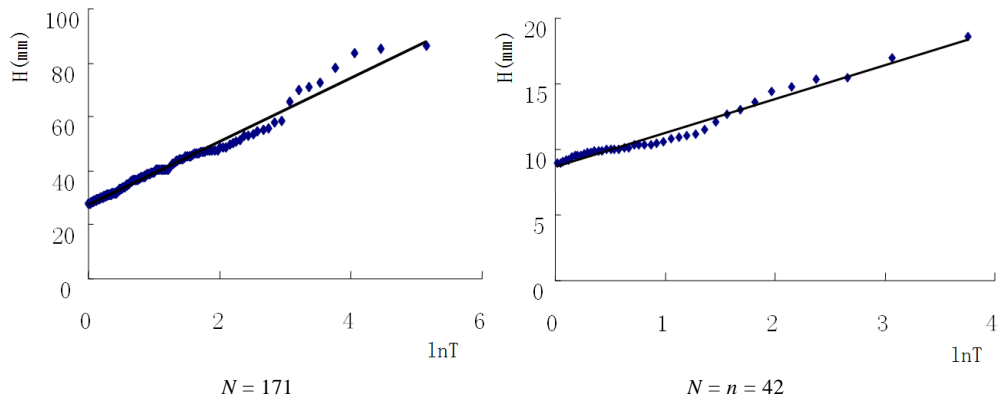


Figure 8. Relation diagram of  $H$ - $\ln T$  when  $t = 5$  min  
 图 8.  $t = 5$  min 时的  $H$ - $\ln T$  关系图

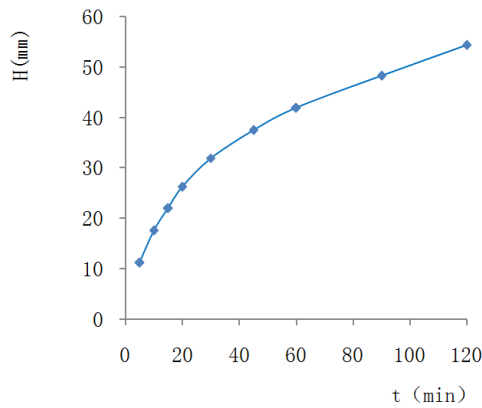


Figure 9.  $\bar{H}$ - $t$  relational diagram  
 图 9.  $\bar{H}$ - $t$  关系图

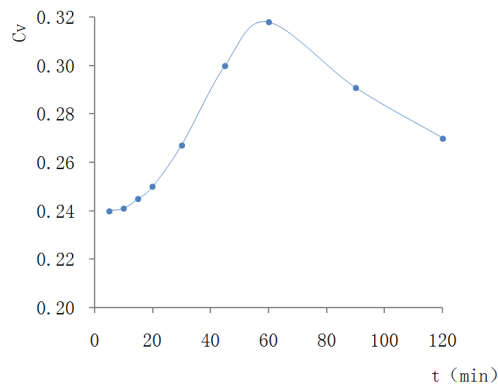


Figure 10.  $C_v$ - $t$  relational diagram  
 图 10.  $C_v$ - $t$  关系图

记录各历时计算的  $\beta$  和  $C_v$  值。例如表 4，再点绘  $C_v$ - $t$  的关系见图 10，按点群趋势进行连线。反复调整  $C_v$ ，绘制频率曲线，使其拟合最佳，得到最终取用的  $C_v$  值。

#### 5.4. 年最大值法与年多个样法的比较

年最大值法每年只取一个最大值，选样客观，独立性强，不需频率转换，计算简单方便，但分析所需资料



**Table 4.** Parameter analysis tables ( $N = n = 42$ )**表 4.** 参数分析表( $N = n = 42$ )

序号	$t$ (min)	$\bar{H}$ (mm)	$\beta$	计算 $C_v$	初调 $C_v$	取用 $C_v$
1	5	11.133	0.374	0.239	0.232	0.24
2	10	17.550	0.254	0.225	0.240	0.24
3	15	21.931	0.223	0.205	0.244	0.24
4	20	26.224	0.186	0.205	0.245	0.24
5	30	31.907	0.123	0.254	0.254	0.27
6	45	37.452	0.0924	0.289	0.289	0.30
7	60	41.855	0.0776	0.308	0.308	0.30
8	90	47.983	0.0717	0.291	0.291	0.29
9	120	54.329	0.0716	0.257	0.257	0.27

系列更长。年多个样法没有现成的统计成果，需要重新大量收集、处理、统计资料，耗时费力，工作量大，但其分析成果更符合客观实际，成果可靠性更高。

## 6. 几点思考与体会

- 1) 可靠的资料和合适的频率曲线是研制暴雨强度公式的基础，分析计算的工作重点应建立在这个基础上。
- 2) 暴雨强度公式中参数的估计，属于计算技术问题，但必须结合统计原理和水文概念予以协调、合理性分析，才能得到比较满意的结果。要特别注意频率曲线适线的技巧及合理性分析。
- 3) 暴雨强度公式中， $n$ 是最敏感的参数， $n$ 微小的差别都会较大的影响雨力 $S$ 值，从而影响 $A$ 和 $C$ 的值。也就是说，参数间有相互影响和相互补偿的作用。若能在相似或相邻地区固定 $n$ 值，将有助于参数的地区综合。
- 4) 本例的频率分析中，关于 $C_s$ 的选取和频率曲线的分段适线，是依据该市暴雨资料系列的分布趋势而定的，不同城市的资料条件不一定相同，可按具体情况而定。

## 参考文献 (References)

- [1] GB 50014-2006, 室外排水设计规范[S].  
GB 50014-2006, Outdoor drainage design specification. (in Chinese)
- [2] 北京市市政工程设计研究总院. 给水排水设计手册, 第5册, 城镇排水[M]. 第二版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.  
The Beijing Municipal Engineering Design & Research Institute. Water supply and drainage design manual, volume 5, urban drainage. 2nd Edition. Beijing: China Building Industry Press, 2004. (in Chinese)
- [3] 北京水利科学研究院水文研究所. 设计点暴雨量的计算方法[M]. 水文计算经验汇编. 北京: 水利出版社, 1958: 191-220.  
Hydrology Institute of Beijing Water Conservancy Science Research Institute. The calculation method of design point rainstorm. A Collection of Hydrological Calculation Experience. Beijing: Water Conservancy Press, 1958: 191-220. (in Chinese)
- [4] 王敏, 谭向诚. 北京城市暴雨和雨型的研究[J]. 水文, 1994(3): 1-6.  
WANG Min, TAN Xiangcheng. The urban storm and rain type research of Beijing. Hydrology, 1994(3): 1-6. (in Chinese)
- [5] 金光炎. 城市暴雨强度公式的参数估计问题[J]. 防汛抗旱与水文, 2009(1): 4-8.  
JIN Guangyan. The parameter estimation problem of the urban rainstorm intensity formula. Flood Control and Drought Relief and Hydrology, 2009(1): 4-8. (in Chinese)