

廖代强,朱浩楠,周杰,等,2019.暴雨强度公式及其设计雨型的取样方法研究[J].气象,45(10):1375-1381. Liao D Q, Zhu H N, Zhou J, et al, 2019. Research on storm intensity formula and design rain pattern sampling method[J]. Meteor Mon, 45(10): 1375-1381(in Chinese).

# 暴雨强度公式及其设计雨型的取样方法研究\*

廖代强 朱浩楠 周 杰 孙 佳 王 颖

重庆市气候中心,重庆 401147

**提 要:**设计了一种新的暴雨强度公式及其设计雨型的样本采样方法:强降水自然滑动取样,并采用重庆沙坪坝国家基本站 1961—2016 年逐分钟降水资料,按照城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则规定的选样方法,对重现期、年最大值、自然场次取样和强降水自然滑动取样进行了分析比较。分析结果认为:强降水自然滑动取样具有流程简洁、样本代表性更高的优点。为今后编制暴雨强度公式和设计雨型的取样方法提供新的思路。

**关键词:**暴雨强度公式,设计雨型,取样方法,强降水自然滑动取样

中图分类号: P468

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2019.10.004

## Research on Storm Intensity Formula and Design Rain Pattern Sampling Method

LIAO Daiqiang ZHU Haonan ZHOU Jie SUN Jia WANG Ying

Chongqing Climate Centre, Chongqing 401147

**Abstract:** A new sampling method for storm pattern samples: precipitation natural sliding sampling was designed in this paper. According to this sampling method which is used in the urban rainstorm intensity formula and the design technique for determining rainstorm pattern, the four sampling methods—return period sampling, annual maximum sampling, natural field sampling and precipitation natural sliding sampling, are analyzed and compared by using the minute precipitation data at the Shapingba National Basic Station of Chongqing from 1961 to 2016. The results showed that precipitation natural sliding sampling has the advantages of simple flow and higher sample representation. This method can provide a new reference for formulating rainstorm intensity formula and designing rain pattern sampling in future.

**Key words:** storm intensity formula, design rain pattern, sampling method, precipitation natural sliding sampling

## 引 言

城市内涝是指由于强降水或连续性降水超过城市排水能力致使城市内产生积水的现象(薛梅等, 2012)。近年来,我国频繁出现大中城市内涝,如

2012 年 7 月 21 日的北京内涝(王秀荣等, 2016)、2007 年 7 月 17 日的重庆内涝等,均给城市居民的生活和经济社会发展带来了重大损失。

影响城市内涝的主要因素有暴雨强度、暴雨径流、排水管网的防涝排水能力等。市政管网的规划设计离不开暴雨强度,而暴雨强度中暴雨平均强度、

\* 重庆市气象局业务技术攻关项目(ywgg-201502)、重庆市悦来新城海绵城市建设科研项目[城科字 2015 第(2-10)号]、公益性行业(气象)科研专项(GYHY201506014)和“重庆短期气候数值预测业务平台建设”共同资助

2018 年 5 月 14 日收稿; 2019 年 4 月 11 日收修定稿

第一作者:廖代强,主要从事气候应用服务、气候可行性论证以及暴雨强度公式、雨型设计等方面的研究. Email:1071107273@qq.com

最强时段强度、强度的变化过程等,都不同程度地影响了暴雨径流,从而影响城市防涝排涝。暴雨强度公式(郭渠等,2015)仅描述了暴雨平均强度、最强时段强度,暴雨强度的变化过程需要通过雨型来描述。雨型是描述降雨过程的概念,即降雨强度在时间上的分配过程(蒋明,2015),是决定内涝的重要影响因素(杨辰等,2017)。相同的平均强度暴雨,不同的雨型对径流洪峰会有不同影响,因此科学合理的设计暴雨雨型能为市政建设、水务和规划等部门提供科学的理论依据及相关参数。

设计雨型是在大量暴雨资料统计规律基础上得到的当地最有代表性的雨型。目前国内外对暴雨设计雨型研究方面已开展很多相应的工作,涉及的方法也多。早期的雨型设计方法,主要为目估法和模糊模式识别法两种(王彬雁等,2015;银磊等,2013),前者是用计算机绘制每场降水的过程直方图,目估判断雨型模式;后者则是使用建立 7 种雨型的模式矩阵,计算每场实际降雨与这 7 种模式之间的近似度,从而判断雨型类别。Keifer and Chu(1957)根据强度—历时—频率的关系,提出了一种不均匀的设计雨型,也被称为芝加哥雨型。Pilgrim and Cordery(1975)提出了 Pilgrim & Cordery 法(简称 PC 法)雨型设计方法。除此之外,Huff(1967)、Yen and Chow(1980)也提出过不同的暴雨雨型。

设计暴雨雨型的关键技术主要有:不同降雨样本的选取问题(本文采用自然降水场取样、滑动取样、重现期取样和年最大值取样作为研究对象);不同设计暴雨雨型的推求技术;针对不同推求方法比较,选取最优方法;设计雨型的适用范围确定等。其中,降水过程的取样方法和设计暴雨雨型的推求技术会直接影响设计雨型的结果。而不同的雨型会导致降雨径流的计算结果产生明显的差异(方怡等,2016),若设计雨型不合适,会引起很大误差(岑国平等,1998;岑国平,1993)。但针对设计雨型时降水场次取样方法的研究甚少,马京津等(2016)对比了“自然降雨过程”和“最大历时过程”两种取样方法对 PC 设计雨型结果的影响,发现在降雨量分配比例上,两种方法存在明显差异。另外,不同暴雨雨型方法之间也各有优劣:岑国平(1999)对 Huff 法(Huff, 1967)、PC 法(Pilgrim and Cordery, 1975)、Yen & Chow 法(Yen and Chow, 1980)和 Keifer & Chu 法(Keifer and Chu, 1957)四种雨型进行了对比,结果表明不同设计雨型法所得的洪峰流量差异较大,

且不同方法对降雨历时、降水资料本身的敏感性皆有不同。迄今为止,在推求设计暴雨雨型时,还没有一种普遍适用的取样方法,但却又是对推求暴雨强度和设计雨型的结果影响最大、最重要且最基础的工作。

针对现有常用雨型推求方法中的不足,本文提出一种新的关于暴雨强度公式和设计雨型取样方法的思路——“强降水自然滑动处理法”,并与重现期、年最大值、自然场次等取样方法进行了对比,以验证该方法的合理性和实用性。

## 1 资料与取样方法

### 1.1 资料

本文所用数据为由重庆市气象信息与技术保障中心提供的重庆市沙坪坝国家基本站 1961—2016 年的分钟降水资料,其中 1961—2008 年逐分钟降水原始资料为自记降水纸记录资料,使用中国气象局提供的“降水自记纸数字化处理软件”(王伯民等,2004)对降水记录纸进行扫描、扫描检查、降水曲线提取、降水强度数据转换和质量检查,提取逐分钟降水量资料,2009—2016 年为自动站观测资料。因资料问题(自记纸损不清,读取有问题)剔除其中 6 a,将剩余 50 a 的数据作为研究对象。重点分析了 7 个降雨历时(1、2、3、6、9、12 和 24 h)和 8 个重现期(2、3、5、10、20、30、50 和 100 a),并以 5 min 作为最小降水时间单元。

### 1.2 重现期取样方法

本文用皮尔逊-Ⅲ型分布、广义极值分布、对数正态分布、耿贝尔分布和指数分布 5 种分布曲线拟合沙坪坝 7 个降雨历时,选取误差最小的模型分别计算各重现期(计算重现期采用的样本是年最大值法)。误差分析结果如表 1 所示,在 3 个历时 9 个误差统计中,除指数分布外,其余 4 种概率模型的科氏拟合适度均在 0.09 以下,相关系数均在 0.99 以上,均方根误差均在 0.04 以内,具有较高的拟合精度。对每个误差统计量的模型优劣进行排序,发现拟合效果最好的模型分别是皮尔逊-Ⅲ型分布(6 次)、广义极值分布(2 次)、耿贝尔分布和对数正态分布(各 1 次),指数分布最差。总之,5 种概率分布拟合重庆短时段极值降水的最优概率模型为皮尔逊-Ⅲ型分

表 1 沙坪坝 5 种概率模型拟合极值降水的误差分析

Table 1 Error analysis of five probabilistic models fitting extreme precipitation of Shapingba

降雨历时/h	误差统计量	1-广义极值	2-皮尔逊-III	3-耿贝尔	4-对数正态	5-指数	优劣排序
1	柯氏拟合适度	0.077	0.073	0.078	0.086	0.410	2>1>3>4>5
	相关系数	0.995	0.995	0.993	0.992	0.953	1,2>3>4>5
	均方根误差	0.035	0.028	0.034	0.039	0.131	2>3>1>4>5
2	柯氏拟合适度	0.073	0.061	0.055	0.068	0.646	3>2>4>1>5
	相关系数	0.996	0.995	0.995	0.996	0.943	1,4>2,3>5
	均方根误差	0.027	0.027	0.027	0.026	0.126	4>1,2,3>5
3	柯氏拟合适度	0.073	0.051	0.080	0.070	0.728	2>4>1>3>5
	相关系数	0.995	0.997	0.994	0.995	0.933	2>1,4>3>5
	均方根误差	0.030	0.024	0.033	0.028	0.129	2>4>1>3>5

布。因此,本文重现期取样采用的是皮尔逊-III型分布拟合得到各时段不同重现期样本的阈值,然后再根据此阈值找出所有样本的不同重现期的个数。

### 1.3 年最大值取样方法

按 1、2、3、6、9、12 和 24 h 共 7 个降水时段,每年滑动挑选时段累积降水最大值区间作为样本。具体方法如下:

(1) 从全年的降水自记纸或每分钟降水量数据文件中,挑取本年内 7 个时段最大降水量;

(2) 各时段年最大降水量应满足所属 1440 min 降水量 $\geq 50.0$  mm(赵琳娜等,2016);

(3) 滑动不受日、月界限制,但不跨年挑取;

(4) 一年最多选择一个样本。

### 1.4 自然场次取样

自然降水过程:降水场次样本取自自然降水过程。首先将分钟降水数据划分为独立的降水场次,场次间隔以 120 min 降水量 $\leq 2.0$  mm 为场次界定指标(马京津等,2016)。依据每场降水的开始、结束和持续时间、总雨量,选取 7 个降水时段所有降水样本(为选取尽可能多的场次),按照总降水量从大到小进行排序,选取降水量大于对应历时雨量阈值的所有降水场次,一年最多选择一个样本。

### 1.5 强降水自然滑动取样法

这里结合“滑动”和“自然强降水过程”的核心思想,设计了一种新的取样思路并称之为“强降水自然滑动”处理。该处理的取样步骤为:

(1) 首先挑取每年滑动 1440 min 降水量 $\geq 50.0$  mm(可根据当地的降水量取不同的值,降水少

的可取 25 mm,也可以取重现期是 2 年以上的值),有几场选几场,不重复;

(2) 从步骤(1)得到的样本中滑动选取各时段累积降水量最大(一年选一个)的作为相应时段样本;

(3) 对不同时段取样得到的  $n$  个样本,分别计算各时段样本峰值位置的平均值,作为相应时段的雨型峰值位置。

(4) 根据步骤(3)计算得到的平均峰值位置,对每一个样本在原始数据中的起止位置进行左右移动,使移动后的样本原始峰值位置与平均峰值位置一致,从而得到新的相应时段样本,以保证选取样本的降水过程都是自然降水过程。当每个样本的峰值都移动到平均峰值位置后,再对每个 5 min 段的数值做平均,得到新的数列也即各时段的设计雨型。所以此取样方法是可以直接用于设计雨型。

如图 1a 所示为根据步骤(1)得到的 180 min 历时样本;该样本峰值位置为 28,而该年 180 min 样本平均峰值位置为 13(所有 180 min 样本的峰值位置的平均值),则将前 15 段降水移出,并用后续 15 段降水进行末端填补,从而得到图 1b 所示样本。

## 2 结果分析

### 2.1 强降水自然滑动取样法结果分析

根据强降水自然滑动取样法,对前面 2 个步骤选取的各时段样本分别求和(也就是取出来的原始样本的总雨量,计算所有样本的总和)与对后 2 个步骤选取的各时段样本分别求和(确定雨峰后,计算样本滑动后的总雨量)作比较,具体统计见表 2。

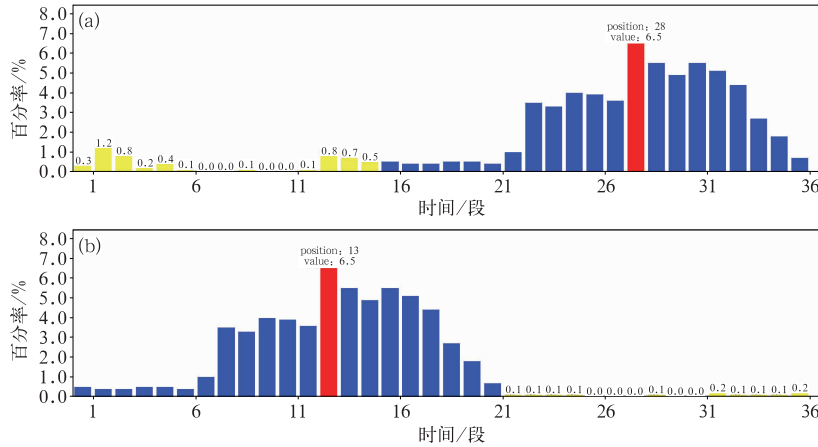


图 1 滑动采样的 180 min 降水样本(a),根据平均峰值位置移动后的样本(b)  
(横坐标时间为段,每段 5 min)

Fig. 1 (a) The 180 min precipitation sample from sliding sampling,  
(b) the sample after moving according to the average peak position  
(x axis represents time duration and the interval is for five minutes)

表 2 峰值位置滑动后总雨量与峰值  
位置滑动前总雨量(单位:mm)

Table 2 Comparison of total rainfall before  
and after peak position sliding (unit: mm)

降水时段	1 h	2 h	3 h	24 h
峰值位置滑动前 总雨量/mm	2093	2646	3014	4956
峰值位置滑动后 总雨量/mm	1938	2478	2821	4923
峰值位置滑动前 总雨量-峰值位 置滑动后总雨量 /峰值位置滑动 前总雨量/%	7.4	6.3	6.4	0.7

由表 2 可以看出,因峰值位置左右滑动后得到新样本的总降水量的变化并不大,变化幅度小于 8%; 24 h 时段基本一致。因此用强降水自然滑动取样的方法还是比较合适的。

将重庆市沙坪坝区城市积涝记录(现有记录始于 2006 年)与暴雨自然滑动取样法样本所在日期进

行对比,可以较为直接地检验选取样本的合理性。通过 11 年有积涝记录以来的检验得到:强降水自然滑动取样方法选取的样本日期(指选取样本的开始日期)与历史城市积涝发生的记录日期是一致的,即取样方法捕捉到了造成积涝的暴雨过程,具有较好的代表性,与实际情况更吻合。

## 2.2 强降水自然滑动取样与其他取样方法对比分析

### 2.2.1 强降水自然滑动取样与重现期取样对比分析

通过对皮尔逊-III 型分布、广义极值分布、对数正态分布、耿贝尔分布和指数分布 5 种分布曲线各自拟合求误差的比较,最后选用皮尔逊-III 概率拟合结果。然后再根据皮尔逊-III 概率拟合(拟合序列采用年最大值)得到不同重现期样本的阈值,统计各重现期出现的次数(表 3)。

在 1961—2016 年中选取的 50 个样本中,各个

表 3 各时段在不同重现期出现的次数

Table 3 Number of samples in different return periods

时段/h	重现期/a							
	2	3	5	10	20	30	50	100
1	23	18	10	6	3	2	1	0
2	26	14	8	6	4	2	1	0
3	25	13	10	6	3	3	2	0
24	22	15	10	5	3	3	1	1

时段出现的重现期的次数。2、3、5 a 重现期的次数相对较多(十至二十几次);而 10 a 以上重现期就仅仅只有几次,个别重现期还没有出现。因此在观测年限不够长,特别是样本不足 30 个的情况下建议不采用重现期取样。当每个时段的重现期的样本足够时,可以采取重现期取样。但也要回查取出样本的当日降水量,以避免在取样样本当日日降水量过小,不可能发生积涝的情况。而用强降水自然滑动的方法取样得到的样本数,在各时段不同重现期都能满足统计要求。因此强降水自然滑动的方法在观测年限不够长的情况下是比较实用的取样方法。

2.2.2 强降水自然滑动取样与最大值取样对比分析

最大值取样与强降水自然滑动取样在 2 h 以上

时段取样的样本日期(以取样样本开始的时间作为样本的日期,以下相同)都是一致的(表 4)。只有 1 h 时段在以下 8 年中取样的时间不同(表 5)。表 5 中最大值取样的当日降水量、1 h 降水量都比强降水自然滑动取样小,有的还不足 30 mm,基本不可能发生城市积涝,因此采用强降水自然滑动取样比最大值取样合理。

表 4 最大值取样与强降水自然滑动取样同一样本次数  
Table 4 Same sample number of maximum sampling and natural sliding sampling of severe precipitation

时段/h	1	2	3	24
同一样本次数	42	50	50	50

表 5 1 h 最大值取样与强降水自然滑动取样的日降水量比较  
Table 5 Comparison of daily precipitation between maximum sampling and natural sliding sampling of severe precipitation in 1 hour

年份	日期	日降水量/mm	1 h 降水量/mm	取样方法
1970	5月29日	40.1	38.2	最大值取样
	7月28日	67.0	30.8	强降水自然滑动取样
1980	8月29日	74.5	23.5	最大值取样
	7月29日	148.1	19.8	强降水自然滑动取样
1982	8月10日	49.3	46.5	最大值取样
	6月1日	60.6	35.5	强降水自然滑动取样
1985	8月7日	47.9	42.0	最大值取样
	7月5日	70.3	22.5	强降水自然滑动取样
1987	9月14日	36.0	28.9	最大值取样
	7月20日	52.8	12.4	强降水自然滑动取样
1990	8月18日	40.9	26.4	最大值取样
	6月23日	52.8	13.6	强降水自然滑动取样
1992	7月19日	29.2	23.1	最大值取样
	6月20日	78.0	21.9	强降水自然滑动取样
2013	6月22日	26.5(无积涝)	25.9	最大值取样
	6月9日	97.7	23.9	强降水自然滑动取样

2.2.3 强降水自然滑动取样与自然场次取样对比分析

分别采用自然场次和强降水自然滑动的方法进行取样,然后在对各自选取的样本时间进行分析比较得出表 6。在短时段(1~3 h)同一样本较少,1 h

时段最少,近 15 次,占总样本的 30%;而长时段基本相同。

其次,对不同时段的自然场次法和强降水自然滑动法取样的样本出现的当日日降水量总量和出现的降水类型分别进行统计分析得出表 7 和表 8。

由表 7 和表 8 可见,自然场次取样得到的样本日降水量少,出现暴雨以下的次数多,特别在 1~3 h 时段。因此发生城市积涝概率较小;而强降水自然滑动取样取出的样本均有暴雨发生,出现城市积涝概率大。因此采用强降水自然滑动取样比最大值取样合理。

表 6 自然场次取样与强降水自然滑动取样同一样本次数

Table 6 Same sample numbers of natural field sampling and severe precipitation natural sliding sampling

时段/h	1	2	3	24
同一样本次数	15	17	24	48

表 7 自然场次取样与强降水自然滑动取样雨量(单位:mm)

Table 7 Rainfall of natural field sampling and precipitation natural sliding sampling (unit: mm)

取样法	1 h	2 h	3 h	1 h	2 h	3 h
	总雨量	总雨量	总雨量	均值	均值	均值
自然场次	1412	1820	2208	28	36	44
强降水自然滑动取样	1969	2515	2847	39	50	57

表 8 自然场次取样样本当日降水类型的次数

Table 8 The number of precipitation types in natural field sampling

降水类型	1 h	2 h	3 h	24 h
小雨	1	0	0	0
中雨	12	10	2	0
大雨	28	21	22	0
暴雨	9	19	26	50

### 3 结 论

本文设计了一种新的暴雨雨型计算样本选取思路:强降水自然滑动取样。该方法根据原始取样样本平均峰值位置对样本截取区间进行移动,使得各样本的峰值位置变为一致从而得到新的样本数据。使用目前比较常用的年最大值、自然场次取样、重现期和本文设计的强降水自然滑动取样方法对重庆主城区国家基本站沙坪坝 1961—2016 年逐分钟降水资料进行了取样,从各方法所得样本的代表性、样本的合理性进行了分析。结果如下:

(1) 由于目前我国大部分城市的观测年限还不够长,在采用重现期取样时,取出的样本常常不足 30 个,因此在不同时段的采用重现期的样本数不足的 30 个样本的情况下,可以不采取重现期取样。当样本超过 30 个样本,可采取重现期取样。但也要回查取出的样本当日降水量,以避免与最大值取样一样取出的样本在当日日降水量过小,出现不可能发生积涝的情况。

(2) 分析年最大值取样和自然场次取样样本可知,最大值取样存在个别时段取样不合理的情况,如:2013 年 6 月 22 日日降水量为 26.5 mm,出现无积涝的情况;自然场次取样得到的样本日降水量少,出现暴雨以下的次数多,发生城市积涝概率较小,尤其是 1~3 h 等短历时降水样本所在日。两种方法同样存在样本代表性不足的问题。

(3) 强降水自然滑动取样所得样本覆盖了所有出现城市积涝的天数,且得到的样本所在日的日累积降水普遍大于其他采样方法所得样本,具有更高的代表性(目前只在推求重庆暴雨强度公式和设计雨型中应用较好,有待于在其他地方进一步论证)。另外,强降水自然滑动取样得到的样本可通过直接计算平均得到对应降水时段的雨型,不需要再做进一步计算,是一种简便、科学的取样方法,为以后推求暴雨强度公式和设计雨型提供一种取样思路。

### 参考文献

- 岑国平,1993. 城市雨洪调蓄池计算的设计雨型比较[J]. 西北水科学与工程,4(2):30-35. Cen G P, 1993. A comparison of design storm patterns for calculating the volume of detention ponding [J]. Northwest Water Resour Water Eng, 4(2):30-35 (in Chinese).
- 岑国平,1999. 暴雨资料的选择与统计方法[J]. 给水排水,25(4):1-4. Cen G P, 1999. Sampling and statistics of stormy data [J]. Water Wastewater Eng, 25(4):1-4 (in Chinese).
- 岑国平,沈晋,范荣生,1998. 城市设计暴雨雨型研究[J]. 水科学进展,9(1):41-46. Cen G P, Shen J, Fan R S, 1998. Research on rainfall pattern of urban design storm [J]. Adv Water Sci, 9(1):41-46 (in Chinese).
- 方怡,陈正洪,孙朋杰,等,2016. 黄石、大冶两邻近地区设计雨强差异的原因分析[J]. 气象,42(3):356-362. Fang Y, Chen Z H, Sun P J, et al, 2016. Analysis of the causes for the difference of rainstorm intensity design in Huangshi and Daye cities [J]. Meteor Mon, 42(3):356-362 (in Chinese).
- 郭渠,廖代强,孙佳,等,2015. 重庆主城区暴雨强度公式推算和应用探讨[J]. 气象,41(3):336-345. Guo Q, Liao D Q, Sun J, et al, 2015. Calculation of rainstorm intensity formula for the main urban areas of Chongqing and its application [J]. Meteor Mon, 41(3):336-345 (in Chinese).
- 蒋明,2015. 新暴雨形势下上海市设计暴雨雨型研究[J]. 湖南理工学院学报(自然科学版),28(2):69-73, 80. Jiang M, 2015. Study of Shanghai design rainstorm profile under the new rainstorm situation [J]. J Hunan Inst Sci Technol (Nat Sci), 28(2):69-73, 80 (in Chinese).
- 马京津,宋丽莉,张晓婧,2016. 对两种不同取样方法 Pilgrim & Cordery 设计雨型的比较研究[J]. 暴雨灾害,35(3):220-226. Ma J J, Song L L, Zhang X J, 2016. The comparison of two different sampling schemes on design storm pattern by the Pilgrim & Cordery [J]. Torr Rain Dis, 35(3):220-226 (in Chinese).
- 王伯民,吕勇平,张强,2004. 降水自记纸彩色扫描数字化处理系统[J]. 应用气象学报,15(6):737-744. Wang B M, Lü Y P, Zhang Q, 2004. The color scanning digitizing processing system of precipitation autographic record paper [J]. J Appl Meteor Sci, 15(6):737-744 (in Chinese).
- 王彬雁,赵琳娜,巩远发,等,2015. 北京降雨过程分型特征及短历时

- 降雨重现期研究[J]. 暴雨灾害, 34(4): 302-308. Wang B Y, Zhao L N, Gong Y F, et al, 2015. Characteristics of temporal pattern and return period of short-duration rainfall at Beijing observatory[J]. Torr Rain Dis, 34(4): 302-308(in Chinese).
- 王秀荣, 吕终亮, 王莉萍, 等, 2016. 一种简化的暴雨灾害风险及影响评估方法和应用研究——以京津冀“7·21”暴雨事件为例[J]. 气象, 42(2): 213-220. Wang X R, Lü Z L, Wang L P, et al, 2016. Simplified assessment method and application research of rainstorm disaster risk and impact—using Jing-Jin-Ji “7·21” heavy rain as an example[J]. Meteor Mon, 42(2): 213-220(in Chinese).
- 薛梅, 陶俊娥, 郭玲玲, 2012. 产生城市内涝的原因分析及对策[J]. 现代农业, (4): 87. Xue M, Tao J E, Guo L L, 2012. Cause analysis and countermeasure of urban waterlogging[J]. Mod Agric, (4): 87(in Chinese).
- 杨辰, 王强, 顾宇丹, 2017. 上海市城市暴雨内涝评估建模及模拟研究[J]. 气象, 43(7): 879-886. Yang C, Wang Q, Gu Y D, 2017. Study of Shanghai urban flooding assessment modeling and simulation[J]. Meteor Mon, 43(7): 879-886(in Chinese).
- 银磊, 陈晓宏, 陈志和, 等, 2013. 广州市典型雨量站暴雨雨型研究[J]. 水资源研究, 2(6): 409-414. Yin L, Chen X H, Chen Z H, et al, 2013. Study on storm pattern of typical rainfall station in Guangzhou[J]. J Water Resour Res, 2(6): 409-414 (in Chinese).
- 赵琳娜, 王彬雁, 白雪梅, 等, 2016. 北京城市暴雨分型及短历时降雨重现期研究[C]//第 33 届中国气象学会年会 S9 水文气象灾害预报预警. 西安: 中国气象学会. Zhao L N, Wang B Y, Bai X M, et al, 2016. Study on typing of urban rainstorm and recurrence period of short-duration rainfall in Beijing[C]// Forecasting and Early Warning of Hydrometeorological Disasters at the Annual Meeting of China Meteorological Society S9. Xi'an: Chinese Meteorological Society(in Chinese).
- Huff F A, 1967. Time distribution of rainfall in heavy storms[J]. Water Resour Res, 3(4): 1007-1019.
- Keifer C J, Chu H H, 1957. Synthetic storm pattern for drainage design[J]. J Hydraul Div, 83(4): 1-25.
- Pilgrim D H, Cordery I, 1975. Rainfall temporal patterns for design floods[J]. J Hydraul Div, 101(1): 81-95.
- Yen B C, Chow V T, 1980. Design hyetographs for small drainage structures[J]. J Hydraul Div, 106(6): 1055-1076.