

文章编号:1673-8411 (2017) 02-0001-06

南宁市新一代暴雨强度公式与暴雨雨型研究

周绍毅^{1, 2}, 罗红磊^{1, 2}, 苏志^{1, 2}, 李强^{1, 2}

(1.广西气象服务中心, 南宁 530022; 2.广西气候中心, 南宁 530022)

摘要: 利用南宁气象站 1953—2014 年共 62a 的逐分钟降雨资料, 建立南宁市暴雨强度公式和重现期 2a 历时 30、60、90、120、150、180min 以 5min 为单位时段的设计暴雨雨型。结果表明:(1)P-Ⅲ分布曲线对南宁市各历时降雨量的拟合效果最好。(2)采用 P-Ⅲ分布、最小二乘法参数组合方法计算南宁市暴雨强度公式误差较小。(3)历时 30min 的设计暴雨雨型雨峰位置处于整场降雨过程的 1/2 分位, 历时 60-180min 的雨峰位置基本处于整场降雨过程的 1/3 分位。雨峰处降雨强度随着历时的增加而增加。

关键词: 暴雨强度; 雨峰; 暴雨雨型; 南宁市

中图分类号: p456.8

文献标志码: A

Research on a new-generation of rainstorm intensity formula and rainstorm pattern for Nanning

Zhou Shaoyi^{1,2}, Luo Honglei^{1,2}, Su Zhi^{1,2}, Li Qiang^{1,2}

(1.Guangxi Meteorological Service Center, Nanning 530022; 2.Guangxi Climate Center, Nanning 530022)

Abstract: Based on the minutely precipitation data of Nanning meteorological station from 1953 to 2014, rainstorm patterns taking 5min as the unit time with a duration of 30, 60, 90, 120, 150, and 180min in Nanning were established. The results show that: (1) The P-Ⅲ distribution curve has the best stimulating results on the different duration rainfall. (2) The rainstorm intensity formula made by the P-Ⅲ distribution and the least squares method has the less errors. (3) The rainfall peak of the designed storm pattern with 30min duration appears in the middle of the whole rainfall period, while the appearing time of the peak rainfall with 60-180 min duration is around the 1/3 of the whole process. In addition, the intensity of rainfall peak increased with the length of the duration time.

Keywords: rainstorm intensity; rainfall peak; rainstorm pattern; Nanning

1 引言

南宁市是广西壮族自治区首府,位于广西南部,北回归线以南,其气候特征是夏长高温多雨,冬短温暖干燥,属亚热带季风气候区。近年来,在全球气候变暖为主要特征的气候变化背景下,极端天气气候事件增加,南宁市频繁出现暴雨内涝灾害。如 2006 年 7 月 16-18 日,南宁市城区内遭受突发大暴雨袭击,致使城区有 50 多个地段发生严重内涝,南

宁变成了一座水城^[1];2011 年 9 月 30 日至 10 月 1 日,受台风“纳沙”影响,市区 24h 最大降雨量达 329.6mm,24 条道路发生内涝^[2]。造成南宁市内涝的因素很多^[2],其中排水管网设计标准偏低是重要原因之一,而暴雨强度公式和设计暴雨雨型是确定排水设计标准的一个重要方面,是科学、合理地制定城市排水专业规划和排水工程设计的基础,能够给市政建设、水务、规划等部门提供科学的理论依据和准确的设计参数^[3]。

收稿日期:2017-01-23

基金项目:广西气象科研计划项目(桂气科 2016M07)

作者简介:周绍毅(1980-),男,广西藤县人,高级工程师,从事气候应用与气候资源研究工作

南宁市排水工程设计相关部门现在采用的暴雨强度公式是广西建委综合设计院采用 1952—1972 年的降雨资料编制,距今已经 40 多年,已无法适应新形势下城市发展和排水管网设计的需求;同时,根据规范^[4]的要求,在进行城市排水工程规划设计时,应用当地的暴雨强度公式和设计暴雨雨型来计算雨水排水管网的设计流量,虽然近年来一些学者对南宁市暴雨气候特征进行了研究^[5-14],但针对设计暴雨雨型的研究尚未见有报道。因此,文章利用南宁国家基本气象站 1953—2014 年逐分钟降雨资料,重新编制南宁市暴雨强度公式和确定设计暴雨雨型,可以为南宁市城市排水专业规划和排水工程设计提供依据。

2 资料来源与方法

2.1 资料来源

文章采用的南宁国家基本气象站 1953—2014 年共 62a 的逐分钟降雨资料由广西壮族自治区气象信息中心提供。其中 1953—2002 年降雨原始资料为自记纸降雨资料,使用中国气象局组织编制的“降雨自记纸彩色扫描数字化处理系统^[15]”对降水记录纸进行扫描、降水曲线提取、降水强度数据转换和质量检查,提取逐分钟降雨量资料。2003—2014 年降雨原始资料为新型自动气象站自动记录的逐分钟降雨数据。

2.2 暴雨强度公式推算方法

根据导则^[16]中推荐的方法,拟合暴雨强度公式。其中资料选样采用“年最大值法”,频率分布曲线拟合采用 P-Ⅲ 型分布、指数分布和耿贝尔分布三种,分别检验其拟合精度,以精度最高的拟合结果作为最终的暴雨强度公式。

“年最大值法”:从逐年分钟雨量资料中挑选 5、10、15、20、30、45、60、90、120、150、180min 共 11 个降雨历时的每年最大雨量值作为样本数据参与暴雨强度公式的推求。

暴雨强度公式是已知关系式的非线性方程,反映的是一定重现期的暴雨在规定时段的最不利历时分配的平均暴雨强度,表达形式如下:

$$q = \frac{167A_1(1+C1gP)}{(t+b)^n} \quad (1)$$

式中为暴雨强度 (单位: $L \cdot S^{-1} \cdot hm^{-2}$), A_1 为重现期 (单位: a), b 为降雨历时 (单位: min), C 为雨力参数; b 为降雨历时修正参数; C 为雨力变动参数, n 为暴雨衰减指数。

精度检验:为确保计算结果的准确性,需对暴雨强度计算结果进行精度检验,即计算抽样误差和暴雨公式误差。误差宜按绝对均方根误差(σ)计算,也可以辅以相对均方根误差(f)计算。计算重现期在 2~20a 时,在一般降雨强度的地方,平均绝对均方根误差不宜大于 0.05mm/min;在较大降雨强度的地方,平均相对均方根误差不宜大于 5%。误差统计表达式如下:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{R'_i - R_i}{t_i} \right)^2} \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{R'_i - R_i}{t_i} \right)^2} \quad (3)$$

式中 R'_i 为理论降雨量, R_i 为 P-i-t 三联表曲线确定的降雨量, t_i 为降雨历时, n 为样本数。

2.3 暴雨雨型确定方法

按照导则^[16]推荐的芝加哥法确定南宁市重现期 2a 历时 30、60、90、120、150、180min 以 5min 为单位时段的设计暴雨雨型。

芝加哥法雨型为一定重现期下不同历时最大雨强复合而成,雨型确定包括综合雨峰位置系数确定及芝加哥降雨过程线模型确定,具体步骤如下:

(1)确定雨型样本。在 1953—2014 年独立降雨场次中分别选取降雨历时接近各降雨历时(30、60、90、120、150、180min)的自然降雨,按照降雨量从大到小进行排序,根据一年一遇各历时降雨大小以及历史经验设定降雨量阈值指标,选取降雨量大于对应历时雨量阈值的所有降雨场次,确保所选场次为研究时间段的所有大雨过程。本文所讨论的南宁市降雨历时的参考时长以及降雨量阈值见表 1。

(2)统计所选每场降雨过程的雨峰位置系数,计算公式为:

$$r_i = \frac{x_i}{t_i} \quad (4)$$

式中 r_i 为降雨峰值时刻, t_i 为降雨历时。

(3)对相同历时的每场降雨过程的雨峰位置系数进行统计平均,再对不同历时降雨的平均雨峰位置系数进行加权平均,得到综合雨峰位置,介于 0~1 之间。

(4)推求雨峰前后瞬时降雨强度,计算公式为:

$$i(t_b) = \frac{A \left[\frac{(1-n)t_b}{r} + b \right]}{\left[\frac{t_b}{r} + b \right]^{n+1}} \quad (5)$$

表 1 南宁市降雨历时雨量界定

降雨历时 /min	降雨时长参考区 间/min	降雨量阈 值指标/mm
30	[15, 45]	20
60	[45, 75]	22
90	[75, 105]	24
120	[105, 135]	26
150	[135, 165]	28
180	[165, 195]	30

$$i(t_a)=\frac{A[\frac{(1-n)t_a}{1-r}+b]}{[\frac{t_a}{1-r}+b]^{n+1}}$$

(6)

式中 $i(t_b)$ 为峰前瞬时降雨强度, t_b 为相应的历时, $i(t_a)$ 为峰后瞬时降雨强度, t_a 为相应的历时, A_1 、 b 、 n 为(1)式中的参数。

(5)利用公式(5)、(6),通过积分计算芝加哥合成暴雨过程线各时段(以 5min 计)的累计降雨量及各时段的平均降雨量,进而得到每个时段内的平均

降雨强度,最终确定出对应一定重现期及降雨历时的芝加哥法雨型。

3 暴雨强度公式修编

3.1 理论频率分布曲线拟合

常用的理论频率曲线有 P-Ⅲ分布、指数分布和耿贝尔分布曲线,选用何种分布曲线关键是看分布曲线对原始数据的拟合程度,误差越小、精度越高的分布越有代表性,拟合精度以绝对均方根误差和相对均方根误差作为判断标准。表 2 给出了南宁市各降雨历时下样本与三种分布曲线拟合结果在 2~20a 重现期下的误差。结果显示,P-Ⅲ分布和耿贝尔分布拟合结果在 2~20a 重现期下的绝对均方根误差、相对均方根误差通过规范提出的精度检验要求,P-Ⅲ分布的拟合误差最小,表明 P-Ⅲ分布曲线对南宁市各历时降雨量的拟合效果最好。

根据 P-Ⅲ分布、指数分布和耿贝尔分布曲线,得出重现期(P)、降雨强度(i)和降雨历时(t)三者关系值,即 P-i-t 三联表(表 3,指数分布和耿贝尔分布

表 2 各降雨历时下样本与三种分布曲线拟合结果的误差

分布曲线	误差	t/min												平均
		5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180		
P-Ⅲ分布	σ/mm	0.092	0.056	0.051	0.048	0.024	0.023	0.018	0.035	0.024	0.015	0.015	0.036	
	$f/\%$	2.638	2.391	2.516	2.452	1.570	1.770	1.760	3.844	3.793	3.137	3.307	2.653	
指数分布	σ/mm	0.087	0.082	0.092	0.092	0.060	0.059	0.044	0.040	0.030	0.023	0.020	0.057	
	$f/\%$	3.068	3.694	4.702	4.909	4.036	4.787	4.484	5.190	5.097	4.671	4.152	4.435	
耿贝尔分布	σ/mm	0.051	0.053	0.062	0.067	0.040	0.035	0.020	0.031	0.022	0.013	0.015	0.037	
	$f/\%$	1.680	2.258	3.065	3.339	2.482	2.643	1.972	3.712	3.516	2.750	3.237	2.787	

表 3 P-Ⅲ分布曲线 P-i-t 三联表(单位:mm·min⁻¹)

P/a	t/min										
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
2	2.716	2.162	1.905	1.698	1.406	1.118	0.917	0.679	0.545	0.470	0.413
3	2.948	2.355	2.082	1.862	1.536	1.211	1.003	0.748	0.603	0.521	0.459
5	3.302	2.649	2.353	2.113	1.736	1.354	1.137	0.856	0.693	0.601	0.534
10	3.663	2.949	2.628	2.369	1.939	1.499	1.274	0.968	0.786	0.685	0.614
20	3.985	3.217	2.874	2.598	2.121	1.629	1.398	1.072	0.872	0.762	0.686
30	4.159	3.362	3.007	2.721	2.219	1.699	1.465	1.127	0.919	0.803	0.727
50	4.378	3.544	3.174	2.876	2.343	1.787	1.551	1.198	0.978	0.857	0.777
100	4.661	3.780	3.391	3.077	2.502	1.901	1.661	1.291	1.055	0.925	0.844

的三联表略)。三联表中的数据将用于暴雨强度公式参数的估算。

3.2 暴雨强度公式精度检验及计算结果

利用 P-Ⅲ分布、指数分布和耿贝尔分布曲线得到的 P-i-t 三联表数据,分别用最小二乘法、高斯牛顿法推算暴雨强度公式中各参数值,并计算在 2~20a 重现期下的精度误差。

3.2.1 暴雨强度公式精度检验

用最小二乘法计算得到南宁市暴雨强度公式在 2~20a 重现期下的误差(表 4),结果发现:指数分布、耿贝尔分布在 2~20a 重现期下的绝对均方根误差分别为 0.079、0.075,大于 0.05,均没有通过规范提出的精度检验要求;相对均方根误差分别为 3.47%、3.17%,小于 5%,通过规范提出的精度检验要求。P-

表 4 暴雨强度公式拟合误差

分布曲线	误差	最小二乘法	高斯牛顿法
P-Ⅲ分布	σ/mm	0.044	0.053
	$f/\%$	2.93	4.91
指数分布	σ/mm	0.079	0.063
	$f/\%$	3.47	5.35
耿贝尔分布	σ/mm	0.075	0.064
	$f/\%$	3.17	4.46

Ⅲ分布下推求的暴雨强度公式误差相对较小,其在 2~20a 重现期下的绝对均方根误差为 0.044,相对均方根误差为 2.93%,通过规范提出的精度检验要求。

同样用高斯牛顿法法计算得到南宁市暴雨强度公式在各重现期下的误差(表 4),结果发现:P-Ⅲ分布、指数分布和耿贝尔分布下的误差均较大,2~20a 重现期下的绝对均方根误差均在 0.05 以上,最大值达到 0.064,均未通过规范提出的精度检验要求。P-Ⅲ分布和耿贝尔分布的相对均方根误差较小,通过规范提出的精度检验要求,指数分布的相对均方根误差较大,未通过规范提出的精度检验要求。

3.2.2 暴雨强度公式计算结果

通过以上分析发现,采用 P-Ⅲ分布、最小二乘法参数组合方法计算南宁市暴雨强度公式误差较小,较合理,用这种组合方法推算得到的南宁市暴雨强度公式如下:

$$q=\frac{4306.586(1+0.516lgP)}{(t+15.293)^{0.793}} \tag{7}$$

$$i=\frac{25.788(1+0.516lgP)}{(t+15.293)^{0.793}} \tag{8}$$

(7)式中的单位为 $L\cdot S^{-1}\cdot hm^{-2}$, (8)式中的单位为 $mm\cdot min^{-1}$ 。南宁市暴雨强度公式于 2016 年 4 月 7 日经市政府同意发布执行。

表 5 降雨历时约 30min 降雨量最大的 15 场雨

降雨开始时间(年/月/日 时:分)	降雨历时/min	降雨量/mm	峰型	峰值位置
1978/06/25 18:40	34	21.95	单	前
1982/07/01 19:16	39	22.89	双	前后, 中间有雨
1995/06/26 16:42	34	22.00	单	前
1999/09/12 17:07	45	35.67	单	中
2003/04/13 17:25	34	38.10	单	前
2004/06/13 15:47	44	21.90	双	前后, 中间无雨
2005/05/21 13:03	32	21.30	单	中
2005/09/13 20:57	28	21.90	双	前后, 中间有雨
2006/08/11 14:59	25	20.90	双	前后, 中间有雨
2007/08/09 16:58	38	22.50	双	前中, 中间有雨
2007/08/10 13:06	16	23.10	单	前
2010/06/01 14:43	41	24.00	单	中
2013/08/16 21:20	33	21.50	单	前
2014/07/14 13:19	24	21.00	单	中
2014/10/29 18:12	41	20.20	单	中

4 暴雨雨型确定

4.1 降雨场次分析

根据表 1 各降雨历时对应的降雨时长参考区间,统计南宁市 1953~2014 年共 62a 降雨历时 30、60、90、120、150、180min 大于降雨量阈值指标的降雨场次。表 5 给出了降雨历时约 30min 降雨量大于阈值指标的 15 场雨。由表 5 可见,单峰型降雨为 10 场,占 66.7%,其中降雨峰值在降雨过程前部和中部的场次各有 5 场;双峰型降雨有 5 场。15 场历时约 30min 降雨量大于 20mm 的降雨过程,在 2000 年之后的有 11 场,占 73.3%,降雨量最大的场次分别发生在 2003、1999 和 2010 年,最大过程降雨量为 38.1mm。

通过对所选取的降雨历时 60、90、120、150 和 180min 的降雨场次样本(表略)进行分析,得到 52% 以上的降雨过程为单峰型,且单峰型降雨中峰值在降雨过程前部的场次占 53%以上。

4.2 暴雨雨型结果

根据 2.3 节介绍的芝加哥法暴雨雨型确定方法,对相同历时的每场降雨过程的雨峰位置系数进行统计平均,再对不同历时降雨的平均雨峰位置系数进行加权平均,求出综合雨峰位置系数为 0.335;通过积分计算芝加哥合成暴雨过程线各时段(以 5min 计)的累计降雨量及各时段的平均降雨量,进而得到每个时段内的平均降雨强度,最终确定出重现期 2a 历时 30、60、90、120、150 和 180min 的芝加哥法暴雨雨型(见图 1 和表 6)。由图和表可以发现,历时 30min 雨峰处降雨强度值为 2.36mm(min⁻¹,峰值发生在第 3 时段,处于整场降雨过程的 1/2 分位。历

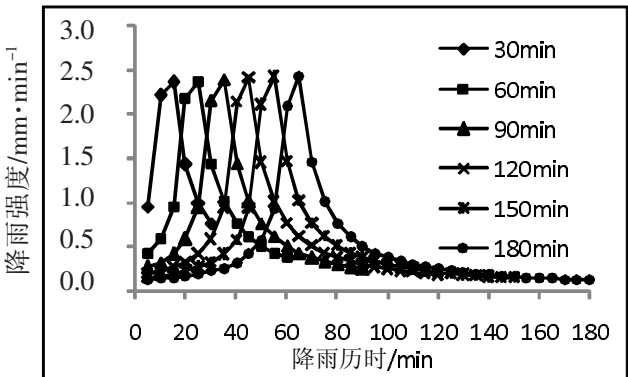


图 1 南宁市重现期 2a 各降雨历时设计暴雨雨型

表 6 南宁市重现期 2a 各降雨历时的峰值、雨峰时段

要素	降雨历时/min					
	30	60	90	120	150	180
峰值/mm	2.36	2.37	2.39	2.40	2.42	2.43
雨峰时段						
段	3	5	7	9	11	13
/(5min)						

时 60、90、120、150 和 180min 的峰值分别发生在第 5、第 7、第 9、第 11 和第 13 时段,各历时雨峰处降雨强度在 2.37~2.43mm(min⁻¹ 之间,降雨强度随着历时的增加而增加,暴雨雨型雨峰位置基本处于整场降雨过程的 1/3 分位。

5 结论

文章利用南宁气象站 1953—2014 年共 62a 的逐分钟降雨资料,采用“年最大值法”对暴雨样本资料进行选样,用 P-Ⅲ 分布、指数分布和耿贝尔分布曲线拟合得到重现期—降雨强度—降雨历时 (P-i-t) 三联表,并用最小二乘法、高斯牛顿法求解暴雨强度公式,根据误差分析选择最优组合得到南宁市暴雨强度公式计算方法,采用芝加哥法推求确定南宁市重现期 2a 历时 30、60、90、120、150、180min 以 5min 为单位时段的设计暴雨雨型,得到如下结论:

(1)选用 P-Ⅲ 分布、指数分布和耿贝尔分布曲线对南宁气象站 62a 降雨资料进行拟合,相比之下, P-Ⅲ 分布曲线对南宁市各历时降雨量的拟合效果最好。

(2)基于三种分布曲线,选用最小二乘法和高斯牛顿法分别计算了南宁市暴雨强度公式,相比之下,采用 P-Ⅲ 分布、最小二乘法参数组合方法计算南宁市暴雨强度公式误差较小。

(3)利用芝加哥法推求南宁市重现期 2a 历时 30min 的设计暴雨雨型雨峰位置处于整场降雨过程的 1/2 分位,历时 60~180min 的雨峰位置基本处于整场降雨过程的 1/3 分位。雨峰处降雨强度随着历时的增加而增加。

参考文献:

[1] 陈锐, 陈其名.南宁市城区内涝成因探讨 [J]. 广西水利水电, 2009, (6): 26~29.
[2] 黄启亮, 刘涛, 周土金.

(下转第 9 页)

报表现最好,其次为锋面暴雨,暖区暴雨最差。大雨量级上则锋面暴雨最好,其次为暖区暴雨,台风暴雨最低。

参考文献:

- [1] 关吉平, 张立凤, 张铭.集合预报的现状和前景 [J].气象科学, 2006, 26 (2): 228-235.
- [2] 杜钧, Richard H. GRUMM, 邓国.预报异常极端高影响天气的“集合异常预报法”: 以北京 2012 年 7 月 21 日特大暴雨为例 [J].大气科学, 2014, 34 (4): 685-699.
- [3] 姚浪, 吴姗, 王璇, 等.T639 模式降水预报产品在毕节市的检验和分析 [J].气象研究与应用, 2006, 37 (1): 30-33.
- [4] 刘泽军, 黄嘉宏, 林振敏.广西中尺度数值模式格点产品检验系统 [J].气象研究与应用, 2007, 28 (4): 34-36.
- [5] 欧徽宁, 邹哲馨, 孙小龙.中央台精细化温度指导预报产品在贺州市的检验 [J].气象研究与应用, 2012, 33 (S): 150-154.
- [6] 杨昌贤, 郑艳, 林建兴, 等.数值预报产品检验和评估 [J].气象研究与应用, 2008, 29 (2): 32-37.
- [7] 刘凑华, 牛若芸.基于目标的降水检验方法及应用 [J].气象, 2013, 39 (6): 681-690.
- [8] 王雨, 公颖, 陈法敬, 等.区域业务模式降水预报检验方案比较 [J].应用气象学报, 2013, 24 (2): 171-178.
-
- (上接第 5 页)
- 南宁城区内涝原因及防治对策 [J].中国水土保持, 2012, (3): 45-46.
- [3] 任雨, 李明财, 郭军, 等.天津地区设计暴雨强度的推算与适用 [J].应用气象学报, 2012, 23 (03): 364-368.
- [4] GB50014—2006 (2014 版) 中华人民共和国国家标准一室外排水设计规范 [s].北京: 中国计划出版社, 2014: 2-10, 1-25.
- [5] 杨宇红, 马艺, 陆春菊.南宁市强对流暴雨降水特征及成因初探 [J].广西气象, 2003, 24 (3): 12-14.
- [6] 周惠文, 黄归兰, 王庆国, 等.南宁市热带气旋暴雨的统计特征分析 [J].广西气象, 2006, 27 (A01): 49-50.
- [7] 杨宇红, 王庆国, 黄归兰, 等.引发南宁市内涝的暴雨及风场特征 [J].气象研究与应用, 2007, 28(3): 20-22.
- [8] 阳擎, 陈翠敏, 林开平.南宁市暴雨时空分布特征 [J].气象研究与应用, 2008, 29 (1): 34-36.
- [9] 黄归兰, 王庆国, 陆曼曼, 等.南宁市台风暴雨特征分析 [J].气象研究与应用, 2009, 30 (3): 33-36.
- [10] 张洁婷, 张薇.2010 年 5 月 6-7 日南宁市局地暴雨过程天气分析 [J].气象研究与应用, 2011, 32 (A02): 3-4.
- [11] 梁玉莲, 黄丹萍, 黎美宏, 等.基于 GIS 的南宁市暴雨洪涝灾害风险评估与区划 [J].气象科技, 2013, 41 (5): 934-939.
- [12] 黄莉雁, 刘鹏.南宁市一次前汛期暖区暴雨的研究分析 [J].南方农业, 2014, 8 (01X): 91-92.
- [13] 苏兆达, 白龙, 李广海.南宁市一次暴雨过程分析 [J].气象研究与应用, 2015, 36 (A01): 83-85.
- [14] 周绍毅, 卢小凤, 罗红磊.南宁市短历时暴雨演变特征分析 [J].气象研究与应用, 2016, 37 (1), 64-67.
- [15] 王伯民, 吕勇平, 张强.降水自记纸彩色扫描数字化处理系统 [J].应用气象学报, 2004, 15 (6): 737-744.
- [16] 住房和城乡建设部.中国气象局.城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则 [S].2014.