

# 南京主城区设计暴雨计算研究

沈红霞<sup>1</sup>, 杜付然<sup>2</sup>, 江海涛<sup>3</sup>, 李琼芳<sup>1</sup>

(1. 河海大学水文水资源学院, 江苏南京 210098; 2. 河南省许昌水文水资源勘测局, 河南许昌 461000;  
3. 河南省水文水资源局, 河南郑州 450000)

**摘要:** 科学合理推求城市设计暴雨过程直接关系到城市防洪安全。论文以南京市为研究对象, 基于由年最大值法选取得到的1982-2015年1h南京市面平均雨量样本, 从P-Ⅲ型分布函数、耿贝尔分布函数、指数分布函数中优选拟合最佳的分布函数, 并结合南京站1h雨量样本计算主城区设计面雨量; 在对比分析同倍比法与同频率法推求不同历时典型暴雨时程分配的优缺点的基础上, 选择同频率法由设计面雨量推求得到南京市主城区历时12h的不同重现期设计暴雨过程。结果表明: P-Ⅲ型曲线拟合最优, 同频率法求得的暴雨时程分配更符合防洪排涝工程的要求。研究成果可为确定城镇防洪排涝工程的设计标准提供科学依据。

**关键词:** 设计暴雨; 最大值法; P-Ⅲ分布曲线; 同频率法; 南京主城区

中图分类号: TV122.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2017)06-0074-05

## Study on design rainstorm in Nanjing main urban area

SHEN Hongxia<sup>1</sup>, DU Furan<sup>2</sup>, JIANG Haitao<sup>3</sup>, LI Qiongfang<sup>1</sup>

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Xuchang Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Henan Province, Xuchang 461000, China;

3. Hydrology and Water Resources Bureau of Henan Province, Zhengzhou 450000, China)

**Abstract:** Calculating the urban design rainstorm process scientifically and rationally is directly related to urban flood control safety. The paper took Nanjing as the research object, and the 1h average rainfall samples of Nanjing from 1982 to 2015 were obtained based on annual maximum method. The paper selected the optimal function from the P-Ⅲ distribution function, the Gumbel distribution function and the exponential distribution function, and the distribution of surface rainfall in the main urban area was calculated based on the 1h rainfall sample of Nanjing Station. Based on the comparative analysis of the advantages and disadvantages of typical rainstorm schedule of different duration by the same ratio method and frequency method, the same frequency method was chosen to estimate the design process of rainstorm in the main urban area of Nanjing after 12h's different return period. The results show that the P-Ⅲ curve is the best, and the rainstorm time distribution obtained by the same frequency method is more in line with the requirements of flood control and drainage engineering. The research results can provide scientific basis for the design standard of urban flood prevention

**Key words:** design rainstorm; maximum law; Pearson type Ⅲ curve; same frequency method; the main city of Nanjing

## 1 研究背景

城镇化的高速发展显著改变了城市下垫面条件, 城区不透水面积急剧增加, 地表径流系数加大, 再加上标准偏低的现有城市排水设施满足不了城市排泄洪水要求, 导致城市洪涝灾害频发<sup>[1]</sup>, 严重威

胁人民生命财产安全与社会的安定, 制约了城市的可持续发展。鉴于城市暴雨的设计直接关系到城市排水系统的设计标准与建设, 随着城市防洪问题的日益突出, 变化环境下设计暴雨的推求受到越来越多相关领域的学者的关注<sup>[2-8]</sup>。南京作为内涝灾害频发的城市, 更是如此。曾娇娇<sup>[9]</sup>以东濠涌流域为

收稿日期: 2017-05-03; 修回日期: 2017-07-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171220); 长江学者和创新团队发展计划项目(IRT13062)

作者简介: 沈红霞(1993-), 女, 江苏南通人, 硕士研究生, 研究方向为水文预报。

通讯作者: 李琼芳(1966-), 女, 湖北武汉人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事水文学及水资源研究。

研究对象,分别利用年最大值法与年多个样法选样,针对不同选样方法,采用不同频率适线法,分析比较各适线法的拟合精度;陆延春<sup>[10]</sup>依据收集到的南京市六合区雨量站近20年降雨资料,分析计算了该区排水与排涝设计暴雨强度与重现期;刘俊等<sup>[11]</sup>利用南京市雨量资料,利用不同的选样方法选样,基于采用P-Ⅲ分布曲线计算得到不同重现期下的设计暴雨量,但未分析不同的频率计算方法的差异性;顾春新<sup>[12]</sup>基于1964-1985年雨量数据,基于最大值法选样得到的样本,利用P-Ⅲ型函数计算得到不同重现期下南京市短历时设计暴雨强度,但所用资料序列较短且无法反映近30年变化环境下南京市的暴雨特性。相关研究表明,南京城市化的发展改变了城区的暴雨特性<sup>[13]</sup>。因此,很有必要利用最新的长系列降雨资料计算南京市设计暴雨。论文基于1982-2015年共34年的1h暴雨资料推求得到南京市主城区设计暴雨量及其时程分配,可为城市排水工程的设计和防洪工程的建设提供科学依据。

## 2 研究方法

基于南京市11个雨量站(见图1)1982-2015年共34a的1h实测降雨资料,由泰森多边形计算得到南京市共34a的1h面平均雨量系列;基于由年最大值法选样得到南京市长度为34a的面平均雨量样本,依据最小均方差准则,从P-Ⅲ型分布函数、耿贝尔分布函数以及指数分布函数等3种分布函数中优选拟合最佳的分布函数;基于主城区南京站的1982-2015年共34a的1h的实测降雨资料,利用优选的分布函数通过频率分析计算得到主城区不同重现期的设计面雨量;依据“可能”与“不利”原则,选取2011年7月18日的暴雨作为历时6h的典型暴雨,2007年7月8日的暴雨作为历时12h的典型暴雨,基于同倍比法与同频率法对不同历时典型暴雨进行时程分配,并进行比较分析;依据同频率法推求得到南京市主城区不同频率历时12h的设计暴雨过程。

## 3 南京市设计面雨量的推求

### 3.1 研究区概况

南京位于长江下游中部地区,江苏省西南部,总面积6597 km<sup>2</sup>(不含水域),属北亚热带湿润气候,四季分明,雨水充沛。多年平均降雨117 d,年平均降雨量约1000 mm,但时空分布很不均匀,丰水年降雨量高达1621 mm,枯水年只有448 mm,汛期降

雨量占全年降雨量65%,汛期中梅雨明显,梅期中,经常发生连降暴雨、大暴雨。

南京市原有城市防洪规划编制于1995年,经过多年大规模建设,已初步建立城市防洪工程体系,但随着城市化的快速发展,城区暴雨增多,雨量增大<sup>[13]</sup>,老城区防洪排涝设施老旧,防洪排涝标准偏低,内涝问题日益突出<sup>[14]</sup>。



图1 南京市流域示意图

### 3.2 南京市主城区不同重现期设计面雨量的计算

首先利用P-Ⅲ型分布函数、耿贝尔分布函数以及指数分布函数,推求计算南京市设计面雨量,选取拟合最优的分布函数,用于计算主城区设计雨量。

3.2.1 南京市34a的1h面平均雨量系列的计算 南京市面平均雨量的计算采用泰森多边形法。面积权重系数计算结果见表1。基于南京市11个雨量站(见图1)1982-2005年共34a的1h实测降雨资料和面积权重系数,计算得到南京市34a的1h面平均雨量系列。

3.2.2 暴雨选样 暴雨选样方法可分为年最大值法AM和非年最大值法AE两类,非年最大值法AE又有年超大值法、超定量法与年多个样法<sup>[15]</sup>。本文选用年最大值法进行选样,相较于非年最大值法AE,在资料序列较长情况下,年最大值法更为严密,资料收集、统计较为方便,且本研究资料序列满足最大值法所要求的资料年份在20a以上的要求<sup>[16]</sup>。基于南京市34a的1h面平均雨量系列,由年最大值法选样得到南京市不同历年最大面平均雨量。

表1 各雨量站面积权重系数计算结果

南京	六合	晓桥	东山	天生桥闸	高淳	武定门闸	江宁镇	前埠村	红山窑闸	赭山头水库
0.052	0.171	0.080	0.028	0.110	0.083	0.050	0.133	0.102	0.097	0.092

表2 不同历时年最大面平均雨量 mm

年份	历时/h				年份	历时/h			
	1	3	6	12		1	3	6	12
1982	29.7	54.0	81.3	109.5	1999	32.5	67.6	102.2	136.3
1983	28.4	45.7	67.3	79.5	2000	35.1	51.9	69.7	93.5
1984	28.5	48.0	73.3	94.1	2001	34.9	56.0	72.3	84.1
1985	31.7	44.5	55.3	58.7	2002	38.4	58.3	80.8	91.2
1986	25.9	36.1	45.5	49.8	2003	38.3	70.4	100.6	155.4
1987	39.1	57.7	68.5	84.8	2004	29.3	51.2	67.3	81.0
1988	32.5	58.8	84.7	94.7	2005	30.1	46.7	70.8	94.7
1989	35.8	59.2	79.1	99.3	2006	34.2	55.3	74.4	84.8
1990	29.1	46.9	57.9	66.6	2007	34.6	60.1	82.5	96.7
1991	33.6	65.2	107.3	125.2	2008	26.0	46.5	75.8	114.0
1992	31.4	40.5	51.7	59.0	2009	36.3	71.2	99.4	125.8
1993	26.7	42.1	59.6	74.4	2010	31.9	45.2	65.3	91.8
1994	22.9	37.4	51.1	61.9	2011	42.6	68.5	88.8	98.8
1995	41.3	70.9	95.3	118.0	2012	32.8	54.8	84.2	113.0
1996	33.2	57.9	77.0	95.6	2013	36.7	55.5	72.7	93.8
1997	28.1	39.3	51.5	60.5	2014	44.9	72.1	84.4	89.8
1998	29.7	48.3	69.9	76.9	2015	35.9	59.7	81.2	116.6

3.2.3 南京市设计面雨量计算 利用P-Ⅲ型分布函数、耿贝尔分布函数以及指数分布函数推求不同历时不同重现期下的南京市设计面雨量,见表3~5所示。

表3 P-Ⅲ型分布函数适线方法不同重现期设计面雨量计算结果 mm

历时/h	不同重现期/a							
	2	5	10	20	50	100	200	1000
1	32.2	38.5	42.3	45.7	49.8	52.7	55.6	61.8
3	52.8	64.6	71.6	77.8	85.3	90.7	95.7	121.8
6	72.8	89.1	99.0	107.8	118.4	126.0	133.3	149.3
12	88.0	114.7	132.0	148.1	168.2	182.8	197.1	229.5

表4 耿贝尔分布函数适线方法不同重现期设计面雨量计算结果 mm

历时/h	不同重现期/a							
	2	5	10	20	50	100	200	1000
1	32.0	36.9	40.1	43.0	46.7	49.4	52.1	58.0
3	51.8	63.9	71.7	79.0	88.1	94.7	101.2	115.8
6	71.3	89.4	101.1	112.0	125.7	135.6	145.3	167.2
12	87.1	113.9	130.7	146.4	166.0	180.3	194.2	225.5

表5 指数型分布函数适线方法不同重现期设计面雨量计算结果 mm

历时/h	不同重现期/a							
	2	5	10	20	50	100	200	1000
1	31.4	36.2	39.9	43.5	48.4	52.0	55.7	64.2
3	49.7	63.1	73.3	83.4	96.9	107.0	117.1	140.7
6	69.2	86.4	99.4	112.4	129.5	142.5	155.5	185.7
12	85.5	108.6	126.0	143.5	166.5	184.0	201.4	241.9

3.2.4 分布函数优选 依据最小均方差准则以及拟合精度确定最优分布函数。表6给出了3种分布函数拟合均方差及拟合精度。

从表6可以看出,P-Ⅲ型分布函数的拟合精度最好,且均方差最小,因此选用P-Ⅲ型分布函数推求主城区设计面雨量。

表6 3种分布函数拟合均方差及拟合精度

分布函数	均方差	拟合精度/%
P-Ⅲ型分布函数 $E_x = 93.2$	88.0	98.26
耿贝尔分布函数 $C_v = 0.34$	108.7	97.03
指数型分布函数	142.5	91.22

3.2.5 南京主城区设计面雨量计算 南京市主城区面积相对较小,以点代面的方法误差较小<sup>[17]</sup>,所以本文用南京站的设计点雨量代表主城区的设计面雨量。基于主城区南京站的34 a的1 h的实测降雨资料,利用P-Ⅲ型分布函数通过频率分析计算得到主城区不同历时不同重现期的设计面雨量(见表7)。

表7 主城区不同重现期设计面雨量 mm

历时/h	不同重现期/a							
	2	5	10	20	50	100	200	1000
1	39.0	52.9	61.8	70.0	80.4	87.9	95.2	111.6
3	64.5	90.6	107.8	124.0	144.4	159.4	174.0	207.1
6	81.5	116.4	139.7	161.7	189.7	210.2	230.3	276.0
12	95.9	153.1	193.8	233.5	285.0	323.1	361.5	449.0

本文求得各重现期、各历时设计暴雨量均大于刘俊等<sup>[11]</sup>推求的设计暴雨量,符合《城市化对南京市区域降水量变化的影响》<sup>[13]</sup>中描述的近30年,南京站降雨量增加明显的实际情况,研究结果可为南京市城镇排水系统设计标准的改进提供参考。

## 4 主城区设计暴雨过程推求

由于暴雨过程中强度变化很大,采用不同的设计暴雨过程对除涝计算结果影响很大,因此,在确定总面雨量的情况下,还要对设计暴雨进行时程分配。

鉴于南京市暴雨以历时 12 h 暴雨居多,因此在推求不同重现期设计暴雨过程时,重点针对历时 12 h 的典型暴雨进行时程分配。

### 4.1 典型暴雨的选择

根据暴雨规律研究,南京市主要暴雨类型为静止锋暴雨、暖区暴雨与台风暴雨,对南京地区造成比较严重涝灾的暴雨类型主要是静止锋暴雨中的梅雨和台风暴雨。

单峰型暴雨雨量集中,特别是雨峰在后部的暴雨,对区域除涝和城市排水的影响更大,容易引起城市大面积积水。因此选择暴雨雨量集中,雨峰在中后部的暴雨作为典型暴雨,有利于防洪减灾。

选取 2011 年 7 月 18 日的暴雨作为历时 6 h 的典型暴雨(见表 8),2007 年 7 月 8 日的暴雨作为历时 12 h 的典型暴雨(见表 9)。这两场暴雨均导致城市交通多处中断,主干道严重堵塞,城区涝灾严重,因此具有一定的代表性。

### 4.2 同倍比法、同频率法在设计暴雨时程分配中的应用比较

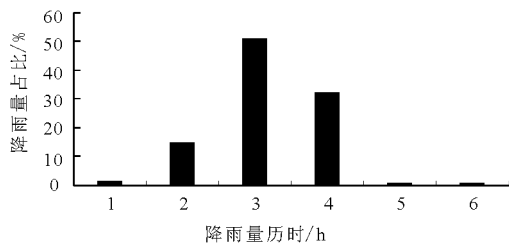
同倍比法、同频率法计算得到历时为 6 h、12 h 的两场典型暴雨逐时段暴雨雨量分配如图 3~4。

表 8 6 h 典型暴雨过程

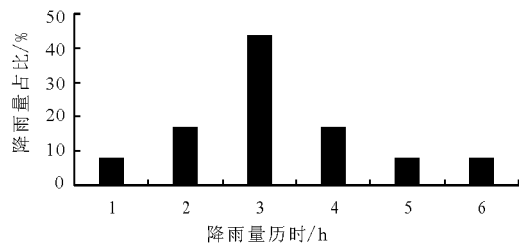
时段/h	典型暴雨(2011-07-18T12:00 - 18:00)	
	起迄日期	雨量/mm
1	12:00 - 13:00	1.1
2	13:00 - 14:00	11.7
3	14:00 - 15:00	40.6
4	15:00 - 16:00	25.7
5	16:00 - 17:00	0.4
6	17:00 - 18:00	0.4

表 9 12 h 典型暴雨过程

时段/h	典型暴雨(2007-07-08)	
	起迄日期	雨量/mm
1	3:00 - 4:00	0.1
2	4:00 - 5:00	0
3	5:00 - 6:00	0
4	6:00 - 7:00	0.1
5	7:00 - 8:00	2.8
6	8:00 - 9:00	33.1
7	9:00 - 10:00	17.9
8	10:00 - 11:00	11.9
9	11:00 - 12:00	5.2
10	12:00 - 13:00	3.7
11	13:00 - 14:00	0.5
12	14:00 - 15:00	0.1

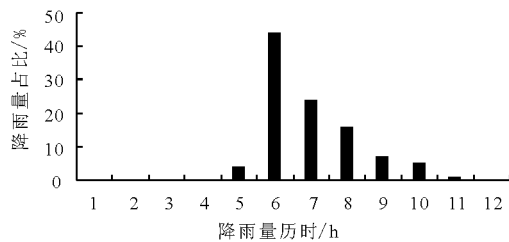


(a) 同倍比法降雨分配比例图

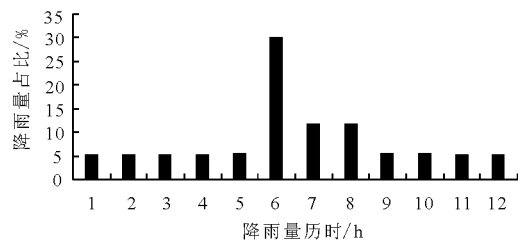


(b) 同频率法降雨分配比例图

图 2 历时 6 h 典型暴雨逐时段降雨量分配比例



(a) 同倍比法降雨分配比例图



(b) 同频率法降雨分配比例图

图 3 历时 12 h 典型暴雨逐时段降雨量分配比例

对于两场典型暴雨,相较于同频率法,同倍比法分配的雨型相对尖瘦些,增加了洪峰流量,如果选择暴雨过分集中的雨型作为城市除涝标准,会使排水系统1h暴雨设计标准大幅提高,因此,本文选取同频率法计算设计暴雨雨型。

### 4.3 主城区不同重现期设计暴雨的推求

基于同频率法,得到主城区不同重现期的设计暴雨过程,如图5。

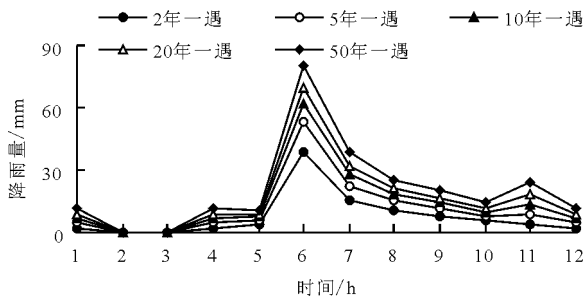


图4 不同重现期历时12h的设计暴雨过程图

历时12h的设计暴雨,雨峰出现在第6时序,最大1h雨量占30%,最大3h雨量占53.1%,最大6h占69.3%。

## 5 结论

基于南京市11个雨量站34a的1h实测暴雨资料计算得到的1h南京市面平均雨量系列,利用年最大值法选取样本,从P-III型分布函数、耿贝尔分布函数以及指数分布函数等3种分布函数中优选拟合最佳的分布函数,由此利用主城区南京站的34a的1h的实测降雨资料计算主城区设计面雨量,基于同倍比法与同频率法对不同历时典型暴雨进行时程分配,并进行比较分析,依据同频率法推求得到南京市主城区不同重现期历时12h的设计暴雨过程。结果表明:

(1)与耿贝尔分布函数和指数分布函数相比,P-III型分布函数最适合用于南京市雨量频率计算;

(2)同频率法推求得到的设计暴雨过程比同倍比法的更符合防洪排涝工程的要求。

(3)推求得到的南京市主城区不同重现期、不同历时设计雨量值大于利用2006年前降雨资料推求得到的设计雨量值,可反映近30年南京降雨量增加明显的实际情况。

本文计算得到的南京市主城区设计暴雨为城市

排水设施建设与改造提供了科学依据。

### 参考文献:

- [1] 张存杰,黄大鹏,刘昌义,等. IPCC第五次评估报告气候变化对人类福祉影响的新认知[J]. 气候变化研究进展, 2014, 10(4): 246-250.
- [2] 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(3): 364-368.
- [3] 王吉杰. 沧州市城区设计暴雨研究[J]. 河北工程技术高等专科学校学报, 2014(2): 1-5+16.
- [4] 黄国如,曾娇娇,张明珠,等. 不同选择方法设计暴雨重现期衔接关系探讨[J]. 水利与建筑工程学报, 2015, 13(1): 30-35+41.
- [5] Huang Jinhui, Xiang Wenyan, Hu Chao, et al. Comparison of design storm method and formula revision for tianjin city [J]. Journal of Tianjin University (Science and technology), 2013, 46(4): 354-360.
- [6] 江浩,江炎生,郑治军,等. 城市内涝综合设计暴雨研究[J]. 水电能源科学, 2016, 34(6): 53-56.
- [7] 黄津辉,向文艳,户超,等. 天津市设计暴雨方法比较及公式修正[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 2013, 46(4): 354-360.
- [8] 陈扬. 南京市暴雨地表产流模型研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2013, 11(1): 102-104+183.
- [9] 曾娇娇. 市政排水与水利排涝标准衔接研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2015.
- [10] 陆廷春. 南京市六合区市政排水与水利排涝设计暴雨重现期衔接关系[J]. 水利与建筑工程学报, 2012, 10(6): 191-194.
- [11] 刘俊,俞芳琴,张建涛,等. 城市管道排水与河道排涝设计标准的关系[J]. 中国给水排水, 2007, 23(2): 43-45.
- [12] 顾春新. 城市短历时暴雨强度公式及参数确定方法研究[D]. 南京: 河海大学, 2007.
- [13] 周建康,黄红虎,唐运忆,等. 城市化对南京市区域降水量变化的影响[J]. 长江科学院院报, 2003, 20(4): 44-46.
- [14] 缪大宏,张晓峰. 南京城市防洪规划研究[J]. 中国水利, 2015(13): 16-19.
- [15] 芮孝芳. 水文学原理[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.
- [16] 周黔生. 暴雨选择采用年最大值法更实用[J]. 给水排水, 1995, 11(6): 14-14.
- [17] 梁忠民,钟平安,华家鹏. 水文水利计算[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.