

文章编号: 1000-2022(2000)-01-0068-05

城市化效应对北京市短历时降水特征的影响*

吴 息¹, 王晓云², 曾宪宁¹, 许 力¹

(1. 南京气象学院环境科学系, 南京 210044; 2. 北京市气候中心, 北京 100081)

摘要: 对北京市城区和郊区的自动气象站的部分小时降水量资料进行了分析和概率分布的拟合, 结果为: 小时降水量适用对数-Weibull 分布模式拟合; 中到大雨时, 城市效应对下风区的短历时降水雨量增加影响最明显; 而在市中心, 短历时降水暴雨的发生概率和强度增加最显著。

关键词: 城市化效应; 短历时降水; 概率分布

中图分类号: P463.3 **文献标识码:** A

在我国的许多城市中, 暴雨排泄不畅而导致街道积水的事例屡有发生^[1]。一个重要原因就是城市中暴雨强度的不均匀分布。由于城市化效应的作用, 使得城市部分区域暴雨强度要显著大于郊区, 而建立计算公式的暴雨资料常常来自位于郊区的气象站, 城市作用增加的降雨强度无法体现出来, 从而导致城区的估计暴雨量的偏差。对由城市化效应造成的降水强度的差异进行分析研究, 对城市规划设计有重要应用价值。由于雨量资料大部分为单点资料, 所以有关城市化效应对降水影响的详细资料并不多见。本文利用北京市城区及近郊的部分降水资料, 对城市短历时降水特征的城、郊差异进行分析。

1 资料与站点

1995 年北京市气象局开始在市区及近郊不同地点设置了若干自动气象站, 站点分布如图 1 所示。自动站系统对各气象要素每小时自动观测一次并通过电缆汇集资料, 该工作系统具有较高的测量精度, 经订正后与气象站雨量计对比, 日降水量观测误差小于 ± 0.05 mm。许多的学者认为^[2], 城市对降水有增加的作用, 且城市降雨量的最大区域往往不在市区中心位置, 而是在其下风方向。降水具有明显的季节变化, 选择自动站资料时, 要考虑资料的全年完整性, 还要考虑不同区域的代表性。由于北京市盛行风向为偏北风, 我们选择四元桥、丰台、永定门、历史博物馆和十八里店这 5 个代表站的 1996 年全年的降水资料作为分析对象, 其中四元桥位于北京市东北郊, 测站周围建筑相对稀少, 作为上风向无城市影响的城郊代表站; 丰台和十八里店也离市区密集建筑群较远, 分别位于城市的西南郊和东南郊, 视为城市下风区域的代表站;

* 收稿日期: 1999-05-24; 改回日期: 1999-11-03

基金项目: 南京气象学院科研基金资助

作者简介: 吴 息, 男, 江苏南京人, 1957 年 5 月生, 副教授。主要研究方向: 应用气候

历史博物馆位于城市的中心地带, 周围中低建筑居多, 永定门位于市区的偏南部, 周围楼群高大密集, 这两站选为城区代表站。

通过对一些典型降水过程分析表明, 市区与下风区域各站较上风向的四元桥的雨量有明显的增加趋势, 如 1996 年 7 月 10 日, 平均风向为 NNE, 四元桥 24 h 降雨量仅为 9.8 mm, 而历史博物馆、永定门、丰台和十八里店的同期 24 h 降雨量分别是 30.0 mm、34.5 mm、50.6 mm 和 48.7 mm。再如 1996 年 7 月 30~31 日, 平均风向为偏 NE, 四元桥和十八里店位于上风向, 受城市作用影响较小, 48 h 降水量分别为 65.5 mm 和 84.3 mm, 而历史博物馆、永定门和丰台降水量分别为

168.5 mm、114.8 mm 和 150.7 mm。更多类似雨量分布资料表明, 由于城市的热力作用和动力作用, 北京市城市化效应使得市区及其下风区域的降水量有明显增加的趋势, 基于北京盛行偏北风向, 上述五站能够代表不同区域的降水特征。

2 小时降水量的概率分布型

短历时降水量的概率分布一般都是偏态分布, 如日降水量常用 Γ 分布来拟合其概率分布^[3]。而小时降水量的分布较日降水量更加偏斜, 样本离散程度更大。应用气候学上, 采用 P -分布及指数分布可以较精确地拟合小时降水量的年极值的概率分布^[1]。对各站的小时降水量保证率经验函数曲线, 我们分别尝试选用 P -分布、 Γ 分布、指数分布、Weibull 分布等分布型进行拟合, 虽经参数调整但均未达到理想效果。以永定门为例, 图 2 为对永定门站小时降水量用 weibull 分布拟合的结果, 可以看出, 理论曲线和经验曲线之间存在系统的误差, 小雨量一侧, 理论保证率大于经验值, 较大雨量一侧则反之。这是由于北京小时降水量绝大部分是小雨或微雨的形式出现, 样本主要集中在小于 3.0 mm/h 的范围。较大值一侧可大于 30.0 mm/h, 但出现频数很小, 即离散程度很大, 分布十分偏斜。经统计, 永定门小时降水量平均值为 1.7 mm/h, 变差系数 C_v 为 2.47, 偏态系数则为 4.4, 这就造成经验保证率曲线在小雨量一侧下降十分迅速, 曲线陡峭。一般理论分布型难以拟合这样大的偏斜分布。为此采用取对数的方法 ($y = \ln R$) 对原小时降水量序列 R (单位为 0.1 mm) 进行处理, 偏斜程度大大减少, 其变差系数为 1.01, 偏态系数为 0.87。再分别采用 P -分布、 Γ 分布、指数分布、Weibull 分布等分布型进行拟合, 结果是 Weibull 分布能够较好地拟合经验曲线并通过统计检验, 图 3 为永定门站小时降水量对数序列 $\ln R$ 保证率函数的 Weibull 分布拟合结果。其柯尔莫哥洛夫统计量 $\lambda = 0.536$, 在 0.05 的信度下通过了柯尔莫哥洛夫检验。

Weibull 分布的概率密度函数为

$$f(x) = \frac{K}{C} x^{K-1} e^{-x^K/C};$$



图 1 自动站点分布

Fig. 1 The distribution of auto-weather stations

保证率函数为

$$P(\xi \leq x) = e^{(-x^K/C)} \quad (1)$$

式中 K 、 C 为两个待定参数, 利用统计方法得到永定门站 $K = 1.077$ 、 $C = 1.834$ 。

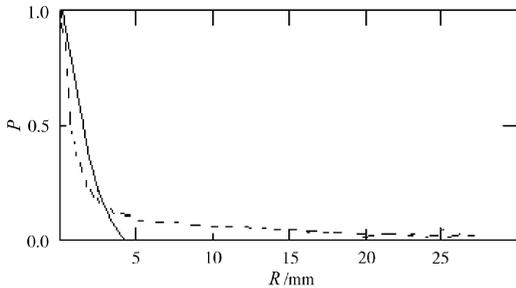


图2 永定门站小时降水量的 Weibull 分布拟合
(实线: 理论值; 虚线: 经验值)

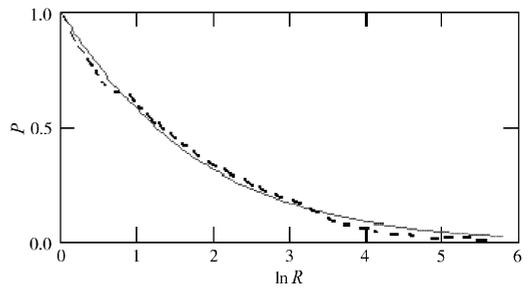


图3 永定门站小时降水量对数-Weibull 分布拟合(实线: 理论值; 虚线: 经验值)

Fig. 2 The fitting of hour precipitation with Weibull distribution in Yongdingmen
(solid line: theoretical values;
dashed line: experimental values)

Fig. 3 The fitting of hour precipitation with logarithm-Weibull distribution in Yongdingmen
(solid line: theoretical values;
dashed line: experimental values)

3 小时降水量特征的城、郊差异

将丰台、十八里店、四元桥和历史博物馆的小时降水量采用相同的方法拟合, 效果都很好, 能够通过柯尔莫哥洛夫检验, 即北京小时降水量可用对数-Weibull 分布来拟合经验保证率函数。表 1 所列为五个站的小时降水量的对数-Weibull 分布的参数值。对代表城、郊特性的各站

表 1 各站小时降水量对数-Weibull 分布参数值及效果检验统计量 λ

Table 1 Logarithm-Weibull distribution parameters K 、 C and test quantity λ

站名	K	C	λ
四元桥	1.090	1.641	0.622
丰台	1.466	3.120	0.846
十八里店	1.172	2.072	0.782
永定门	1.077	1.834	0.536
历史博物馆	1.226	2.231	0.487

理论保证率函数的分析可以看到它们之间的明显差异, 如表 2 所列对应不同保证率下的小时降水量。同一保证率下, 丰台、十八里店、永定门和历史博物馆 4 站对应的雨量均较四元桥站显著增大, 但在不同保证率时, 4 站增加的幅度各不相同, 取保证率 $P = 0.95$ 时, 雨量小于 0.15 mm/h 时, 下风区的丰台站雨量为四元桥的 1.201 倍, 而十八里店、历史博物馆和永定门分别为 1.045、1.108 和 1.008 倍, 增幅不明显, 随着雨量的增加(保证率的减小), 城、郊不同地区的差异逐渐增大, 当保证率取 0.5 时, 雨量为 $0.3 \sim 0.5 \text{ mm/h}$, 丰台雨量达到四元桥的 1.756 倍, 保证率为 0.1(相当于中到大雨), 四站雨量都为四元桥的 1.5 倍左右, 而保证率为 0.05 时(相当于大到暴雨, 雨量大于 7.5 mm/h), 位于市区内的永定门雨量最大, 为四元桥的 1.738 倍。这说明系统性小于 0.5 mm/h 的降水过程, 一般风速不很大, 而有系统性降水时, 城市热

岛也不明显, 雨量分布的不均匀性就不十分明显; 系统性的中雨或大雨则往往伴随着较大的风

表 2 相同理论保证率下的各站小时雨量(R)及与四元桥站的雨量比值(B)

Table 2 The hour precipitation (R) and ratio with Siyuanqiao(B) with the same guaranteed

理论保证率		站名				
		四元桥	丰台	十八里店	永定门	历史博物馆
$P=0.95$	R/mm	0.111	0.133	0.116	0.112	0.120
	B	1.000	1.201	1.045	1.008	1.108
$P=0.90$	R/mm	0.122	0.160	0.131	0.124	0.136
	B	1.000	1.316	1.074	1.016	1.115
$P=0.50$	R/mm	0.308	0.543	0.390	0.349	0.417
	B	1.000	1.756	1.266	1.133	1.354
$P=0.10$	R/mm	2.959	4.640	4.440	4.517	4.467
	B	1.000	1.568	1.501	1.526	1.507
$P=0.05$	R/mm	7.466	9.864	11.540	12.972	11.093
	B	1.000	1.321	1.546	1.738	1.486

速, 城市下垫面的动力作用使下风区的丰台雨量明显增加; 而在大到暴雨时, 市区内的永定门雨量最大。从 1996 年资料上分析, 大于 10.0 mm/h 的降水基本发生在 7 月份, 以局地性暴雨为主, 降雨历时短但强度大, 由于下垫面热力条件是局地性暴雨的主要因素, 城区中城市热岛加强了不稳定能量的释放, 从而使市区中心的暴雨强度大大增加。参照 Wussow 的标准^[4], 定义北京地区小时降水量大于 15.0 mm 为暴雨。表 3 列出了各站暴雨的理论频次和 1996 年的实际频次, 城市中心的暴雨出现次数要明显大于无城市影响区域。以上分析说明, 由于城市的作用, 市区中心的短历时高强度局地性暴雨的发生概率和降雨强度较城郊的差异最大。

表 3 各站暴雨的理论频次和 1996 年的实际频次

Table 3 Theoretical frequency of torrential rain at different stations and the real frequency in 1996

站名	四元桥	丰台	十八里店	永定门	历史博物馆
理论频次	3.9	8.9	10.3	11.5	9.4
实际频次	1	8	8	9	9

4 小 结

- (1) 小时降水量概率分布可用对数-Weibull 分布拟合。
- (2) 局地性暴雨时, 城市作用造成雨量增加, 在城区最显著; 中到大雨时, 城市作用造成雨量增加, 在下风区最明显。
- (3) 城区短历时高强度的暴雨发生概率和强度较郊区有明显加大。

参考文献:

- [1] 严济远, 殷金宝. 上海地区短历时暴雨强度公式的研究[C]. 见: 上海台风研究所编. 大气科学研究与应用. 北京: 气象出版社, 1991. 67 ~ 74
- [2] 周淑贞, 张超. 城市气候学导论[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1985
- [3] 丁裕国. 降水量 Γ 分布模式的普适性研究[J]. 大气科学, 1994, 18(5): 552 ~ 560
- [4] 么枕生, 丁裕国. 气候统计[M]. 北京: 气象出版社, 1990. 252 ~ 253

The effect of urbanization on short duration precipitation in Beijing

WU Xi¹, WANG Xiao-yun², ZENG Xian-ning¹, XU Li¹

(1. Department of Environmental Sciences, NIM, Nanjing 210044; 2. Climate Center of Beijing, Beijing 100081)

Abstract: Hour precipitation from AWS in urban and suburb of Beijing is analysed to study the effects of urbanization on short duration precipitation. Results show that hour precipitation can be fitted to logarithm-Weibull distribution and that the enhancement of rainfall due to urbanization is remarkable in downwind under moderate/heavy short duration precipitation process, and that the increase of probability and intensity of torrential rain is significant in urban center.

Key words: urbanization effect; short-duration precipitation; probability distribution