

文章编号: 1004- 4574(2011) 03- 0007- 06

城市化对济南市汛期降雨特征的影响

黄国如, 何泓杰

(华南理工大学 土木与交通学院, 广东 广州 510640)

摘 要: 在介绍济南市城市化发展水平及暴雨特性的基础上, 选用济南市黄台桥、燕子山、东红庙、吴家铺和刘家庄雨量站 1977- 2007 年汛期降雨资料, 通过趋势线、距平统计、双累积曲线等方法, 对济南市汛期降雨量进行了统计分析, 并对济南市城区、郊区的降雨时空特征进行对比研究。研究结果表明, 城区多年汛期降雨量表现出较强的波动性, 但整体上升趋势较为明显, 尤其是改革开放早期的降雨量增长较为迅速。城市化对济南城区产生了较为明显的雨岛效应, 城区比郊区降雨量增加约 10%。城市化对降雨的频次以及雨型均造成了较大的影响, 增加了各种降雨强度等级的降雨机率, 城区比郊区的降雨机率增加 10% 以上, 特别是暴雨以上的降雨场次增加了 22%。

关键词: 城市化; 降雨特征; 汛期; 济南市

中图分类号: P954

文献标志码: A

Impact of urbanization on features of rainfall during flood period in Jinan City

HUANG Guo-ru HE Hong-jie

(School of Civil Engineering and Transportation, South China University of Science and Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract Long-term precipitation series covering 1977- 2007 at the Huangtaiqiao, Yanzishan, Donghongmiao, Wujiapu and Liujiashuang stations in Jinan City were systematically analyzed with aim to demonstrate impacts of urbanization on the precipitation patterns in both time and space. In the current analysis, linear regressive technique, anomaly departure analysis, double cumulative mass-curves were applied and comparison was performed between precipitation changes in the urban proper and suburban areas in the Jinan City. The results show that long-time rainfall changes are subject to larger increasing tendency, and it is particularly obvious in early stage of reform and open-policy. Urbanization of the Jinan City has obvious rainfall island effect, the precipitation in Jinan proper is 10% more than that in its suburb. Urbanization processes exert great impacts on the rainfall styles and also enhance the precipitation probability of rainfall storms. It is indicated that the probability of precipitation is increased about 10% and increase of more than 22% of rainstorm events is also identified.

Key words urbanization; precipitation features; flood period; Jinan City

城市化是当今世界上重要的社会、经济现象之一。随着城市化的快速发展, 城市人口不断膨胀, 城市建成区面积不断增大, 高大的建筑物越来越拥挤, 城市化发展过程中人类活动的加剧及城市下垫面性质的改变共同作用于大气, 使大气边界层的特性发生变化, 改变了区域的自然状况, 从而影响城市地区的气温、辐射及降雨, 形成不同于城郊农村的气候状况。城市化过程中, 大量人口向城市聚居, 工业、商业迅速发展, 城市的

收稿日期: 2010- 09- 23 修回日期: 2011- 04- 21

基金项目: 水利部公益性行业科研专项经费资助项目 (200801033)

作者简介: 黄国如 (1969-), 男, 教授, 博导, 主要从事水水文水资源研究. E-mail: huangg@scut.edu.cn

发展使下垫面不透水面积增大,而城市建筑材料的热容量大,导热性能好,城市中工厂、车辆、家庭等都在大量消耗能源,向空中释放出大量热量,形成一个巨大的人为热源,形成城市“热岛效应”。城市“热岛效应”使城市散发的热量不断向上空抬升,促使城市上空空气层结不稳定,容易产生对流性降雨;另外,随着人类活动的广泛和深入,大气污染也日益严重,污尘排放量显著增加,城市上空的灰尘成为降雨的催化剂,从而产生城市“雨岛效应”,造成城市降雨量、降雨强度发生变化,对城市暴雨洪水特性产生一定的影响^[1]。

迄今为止,已有很多学者从各自不同的角度对此问题进行分析研究。上海市水文总站于 1984 年至 1988 年在老市区(不含宝山、闵行区) 149km² 内设置 13 个雨量点,并与原有分布在郊县的 55 个雨量站进行平行观测,以研究城市化对上海市区降雨的影响程度和范围^[1]。研究表明:市区降雨量大于郊区降雨量,平均增加雨量为 6%;市区和其下风向的降雨强度比郊区大;城市化使得城市暴雨雨日增多^[1]。李娜等^[2]在分析了苏州城市化发展进程的特点及 1953–2000 年降雨时间序列特征基础上,采用同时期城区与郊区雨量横向对比、城市化发展不同时期同一站雨量纵向对比的方法,研究了城市化对该地区降雨量、降雨年内分配、降雨发生次数等的影响。近 30a 来北京城市化进程非常迅速,很多学者对北京城市化降雨效应进行了大量研究^[3–7]。吴息等^[3]通过对 1996 年自动站降雨数据的分析,明确了城市化效应对北京短历时降雨的影响;刘照明等^[4]利用 1994–2003 年北京 11 个气象台站 7 和 8 月的常规地面观测资料,对北京的夏季降雨分布特征作了简要分析,认为城市化进程对北京地区的夏季降雨存在一定影响;周翠宁^[5]分析了北京市 1959–2001 年逐月降雨资料,城市化使北京地区降雨量等值线加密、年雨量增加,使城区雨量变差系数变化大于郊区。

济南市曾发生多次突发性暴雨,如 2007 年的“7.18”大暴雨,济南市仅 3h 就变成水城,因灾死亡 34 人,直接经济损失 12.5 亿元。济南市汛期(6–9 月)降雨占全年的 75%,而城市内涝的发生也主要发生在汛期。本文以济南市为研究对象,研究城市化对济南市汛期降雨的影响。在分析过程中采用趋势线、累积曲线、双累积曲线、距平统计等方法,首先以济南城区站点作为研究对象,纵向分析其降雨量在城市化的进程中多年的年际变化;然后再将城区与郊区作多年同期汛期降雨总量比较,并将城区、郊区 20a 的降雨场次与降雨强度的等级进行比较。

1 研究区域基本情况

1.1 城市化发展概况

济南市处于泰山山地与华北平原交接的山前平原部位,南高北低,大致呈朝东开口的浅盆地地形,天然河道主要为小清河各支流上游,人工或半人工沟道主要为小清河主河道、护城河等,北临黄河^[8]。城区规模解放初期为 23.2km²,城市人口为 50.5 万。1976 年以来,济南市进入了一个城市发展的新时期,城市规模迅速扩大,城市主要以“摊大饼”方式向外延伸,1985 年末城区面积达 94km²。进入 20 世纪 90 年代,济南市城市建设有了翻天覆地的变化,1994 年末城市面积达 113.4km²,2002 年末城市面积达 190km²^[9]。至 2007 年末,城市建成区面积达 316km²,是建国初期的 13.6 倍;城市人口为 323.2 万,是建国初期的 6.4 倍。建成区面积平均增长率为 4.86km²/a,人口平均增长率为 4.58 万人/a。与此同时,济南市经济发展迅速,2006 年全市 GDP 达 2185 亿元,地方财政预算收入达 128.4 亿元。上述表明,建国以来济南城市化得到了快速的发展,尤其是 1979 年以后,随着改革开放政策的全面实施,以及社会主义市场经济的逐步建立,济南的城市建设步伐大大加快。

1.2 暴雨特性

济南市属于大陆性气候,暴雨时空分布极不均匀,其时间分布特点是暴雨量大、强度高,暴雨时程分布非常集中;暴雨空间分布呈现出显著的局部性特点,暴雨及特大暴雨均为南部山区多于北部平原,市区遭受短历时、高强度暴雨的机会较多。据 1917 年以来降雨量资料分析,年降雨的 75% 集中在 6 至 9 月份,其中 7、8 两月又占全年的 53%,而且特别容易出现短历时高强度暴雨。从近几十年来的降雨情况看,济南地区几次灾害性的暴雨,其暴雨中心大多出现在城区。如 1962 年 7 月 13 日暴雨、1987 年 8 月 26 日暴雨及 2007 年 7 月 18 日暴雨,其暴雨中心主要集中在市区,这 3 场大暴雨梯度均较大,自暴雨中心到外围递减迅速。1962 年 7 月 13 日特大暴雨,实测最大 6h 降雨量 298.4mm,短历时洪水频率为 300a 一遇,暴雨中心在城区及南部山区;1987 年 8 月 26 日这场暴雨是一次范围小、强度大、历时短的强暴雨,面平均降雨量 124mm,强降雨主

要集中在城区及南部山区,最大点雨量为 340mm; 2007 年 7 月 18 日这场暴雨突发性强、历时短、强度高,降雨量主要集中在市区,根据不同站点降雨量统计,济南市 18 日平均降雨量 74mm,市区平均降雨量 103mm,暴雨频率罕见,本次城区雨量站最大 1h 降雨量 151mm,理论发生概率为 200a 一遇^[10]。

1.3 基本资料

根据济南市水文站网分布情况,以及为分析城市化地区降雨影响而要求资料序列长度一致,本文选取济南市黄台桥、燕子山、东红庙、吴家铺和刘家庄 5 个测站的汛期降雨数据进行分析,这 5 个站点的位置见图 1。从图 1 可以看出,黄台桥、燕子山和东红庙地处济南城区,具有较好的代表性,将三者的雨量数据进行算术平均作为城区代表数据。吴家铺、刘家庄位于济南市的西北部,邻近市区,城市化发展相对缓慢;另外,刘家庄和吴家铺与市区代表站点之一的黄台桥站基本上都处于同一纬度,地形与黄台桥相差不大,能最大限度地排除其它因素对分析结果的影响,将吴家铺、刘家庄的雨量数据进行算术平均作为郊区代表数据。为了比较需要,这 5 个站点的资料序列皆选为 1977-2007 年。



图 1 济南市五个雨量站分布图

Fig 1 Distribution map of five rain fall gauge sites in Jinan City

2 济南城区汛期降雨量特征分析

济南市的汛期为 6-9 月,将黄台桥、燕子山和东红庙的汛期雨量数据进行算术平均作为城区雨量数据,得到济南城区 1977-2007 年汛期降雨量序列(图 2)。由图 2 可以看出,城区汛期降雨量在 31a 中呈现出波动性增加或减少,但发展趋势是一条向上的线,可以直观地得出城市化使城区的汛期降雨量增加。为了更明显地看出降雨量的变化差距,将 1977-2007 年之间的汛期降雨量划分为 3 个阶段(第 1 阶段 1977-1985 年,第 2 阶段 1986-1995 年,第 3 阶段 1996-2007 年),分别求出每个阶段的年平均汛期降雨量,结果如图 3。

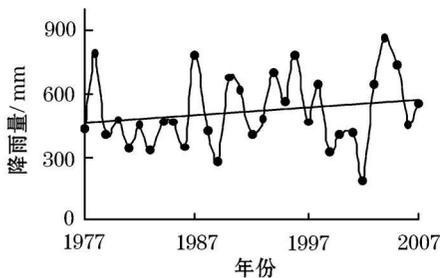


图 2 济南城区多年汛期降雨量

Fig 2 Rain fall in flood period of years in Jinan proper

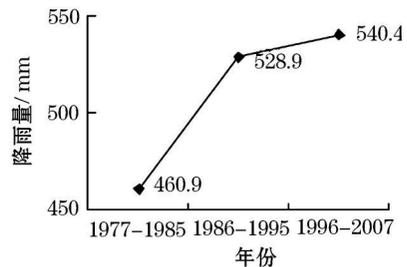


图 3 济南城区 3 个阶段的汛期降雨量

Fig 3 Rain fall in flood period of three time in Jinan proper

从图 3 可以更直观地看出汛期降雨量的增长趋势,1986-1995 年这 10a 增加幅度最大,至 1996 年以后增加较为缓慢。将各年的汛期降雨量进行距平统计分析,结果见图 4。按国际通用标准定义,距平百分率 $\geq 50\%$ 为涝,

25% ~ 50% 为偏涝, - 25% ~ 25% 为正常, - 25% ~ - 50% 为偏旱, $\leq - 50%$ 为旱, 据此得到 31a 的汛期旱涝次数 (表 1), 表 1 中的正负极差是指涝和旱的相对差值。由表 1 可知, 在涝、偏涝等灾害发生的次数上, 3 个时期分别为 2 3 和 4 次, 即各个时期灾害发生次数在增加, 且旱、涝间的变化幅度呈明显的加剧趋势。

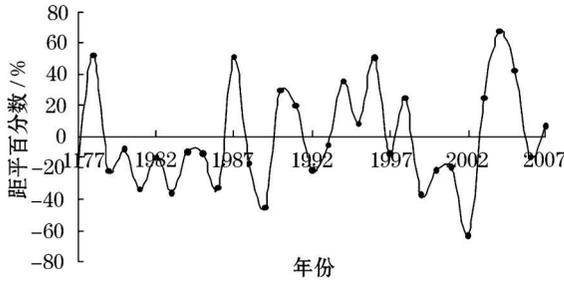


图 4 济南城区汛期降雨量距平百分率

Fig. 4 Anomaly percentage of rainfall in flood period in Jinan proper

表 1 济南城区汛期旱涝灾害统计表

Table 1 Statistics of drought/waterlogging disasters in flood period in Jinan proper

旱涝程度	1977- 1985 年	1986- 1995 年	1996- 2007 年
涝	1	1	2
偏涝	1	2	2
偏旱	2	2	1
旱	0	0	1
正负极差	88.83%	97.01%	130.7%

由上述济南城区长系列汛期降雨资料研究发现, 在城市化发展过程中, 汛期降雨在数量上有增多的趋势, 而且汛期降雨量的年际变化也在加剧, 波幅变动越来越大, 极值的大小与正负差距也在增多。

3 济南城、郊同期汛期降雨特征分析

如果只就同一测站城市化前后的降雨量进行对比, 不一定能得出正确的结论。因为这期间很可能是由于大气环流变化所造成的降雨差异, 而不是城市化这一因子所起的作用, 用同一区域气候条件下的城市和附近郊区同时期的历史降雨资料进行对比就更有说服力。为了考察济南城市化对汛期降雨量的影响, 本文将济南市城区 (黄台桥、燕子山、东红庙) 和郊区 (吴家铺、刘家庄) 的同期降雨量资料作对比分析。

3.1 城市化对汛期降雨量的影响

通过绘制 1977- 2007 年城、郊降雨累积曲线来比较降雨增长的差异, 见图 5 由图 5 的三地同期汛期降雨累积线可以看出, 城区降雨增长速度最快, 其次是城区西部的吴家铺, 再后是再往西的刘家庄。而这三者之间的变化差距较明显, 极值差距达 15%。从图 5 还可以看出, 降雨变化趋势是由东往西递减, 造成该结果可能是城市高大建筑对夏季季风带来水汽的阻挡或者城市雨岛效应作用的结果。为了更清晰地表现城市化对汛期降雨的影响, 绘制 1977- 2007 年济南城区及郊区的降雨双累积曲线 (图 6), 从图 6 可以看出, 随着城市化的不断发展, 汛期降雨量的双累积曲线由相对接近对角线到偏离对角线, 明显地说明了城市化使城市地区的汛期降雨量增大。改革开放的 1977 年伊始, 城郊汛期降雨量差别不大, 双累积曲线基本上与对角线持平, 但此时斜率开始增大, 并逐渐达到最大值; 到了 20 世纪 90 年代初斜率开始变化不大, 特别是进入新世纪后, 双累积曲线起伏不大, 差不多与对角线平衡, 与前述的分析结果及济南市的城市化发展趋势基本吻合。

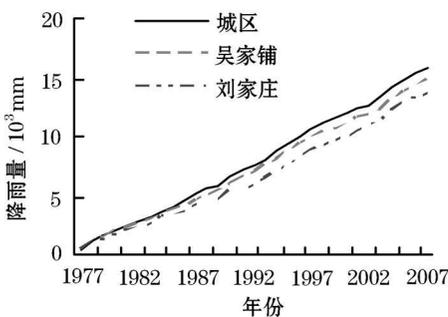


图 5 济南市汛期降雨累积线

Fig. 5 Cumulative rainfall line for flood period in Jinan City

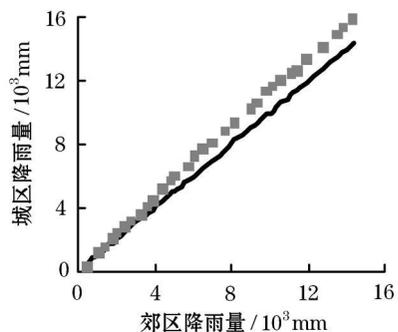


图 6 济南市汛期降雨双累积线

Fig. 6 Double cumulative rainfall line for flood period between Jinan proper and suburb

3 2 降雨量增长率分析

(1) 横向对比

分别计算各时期的年均汛期降雨量, 得到城区和郊区的降雨量值, 求出城区与郊区降雨量的增量比, 结果见表 2 表 2 中的增量比定义为 $(\text{城区降雨量} / \text{郊区降雨量} - 1) \times 100\%$

表 2 济南不同时期城、郊年均汛期降雨量以及增量比

Table 2 Rainfall and its increment ratio in flood period of different stage in Jinan proper and suburb

时期	降雨量 /mm							增量比 /%
	黄台桥	燕子山	东红庙	城区	吴家铺	刘家庄	郊区	
1977-1985年	431.9	490.7	460.0	460.9	431.6	386.0	408.8	12.75
1986-1995年	511.2	554.6	521.0	528.9	484.9	482.4	483.7	9.35
1996-2007年	529.1	554.0	538.0	540.4	510.7	508.8	509.8	6.00

表 2 将城、郊降雨量做横向比较, 不论在哪一时期, 城区的汛期降雨量都比郊区多, 特别是改革开放初期, 增量比为 12.75%。可能是由于改革初期, 市区发展迅猛, 而郊区则相对发展落后。

(2) 纵向对比

再纵向比较城、郊各自逐时期的降雨增长率, 即后一时期相对于前一时期的降雨增长率。根据表 2 所给数据, 分别计算各站后一时期对前一时期的降雨增长率, 结果见表 3 表 3 中的增长率为 $(\text{后一时期降雨量} / \text{前一时期降雨量} - 1) \times 100\%$

表 3 济南不同时期城、郊汛期降雨量增长率

Table 3 Growth ratio of rainfall in flood period of different stage in Jinan proper and suburb

时期	增长率 /%						
	黄台桥	燕子山	东红庙	城区	吴家堡	刘家庄	郊区
第 2 阶段相对于第 1 阶段	18.36	13.02	13.26	14.88	12.35	24.97	18.66
第 3 阶段相对于第 2 阶段	3.50	-0.11	3.26	2.22	5.32	5.47	5.40

由表 3 可以看出, 在第 3 阶段相对于第 2 阶段这个时期, 无论城区还是郊区降雨量的增长率都较小, 而第 2 阶段相对于第一阶段的增长率却较大。结合济南城市化发展的过程, 可能的原因是: 近 10a 来, 随着工厂烟尘的治理, 绿地面积的扩大, 城市热岛效应和凝结核因素将受到某种程度的抵制, 这可能是造成降雨增量有所减少的部分原因, 但如何定量地评估上述这些措施导致降雨减少值得深入探讨。另外, 气候变化导致的降雨不确定性增加, 也有可能使降雨的规律性遭到某种程度的破坏。

3 3 城市化对汛期不同降雨强度等级的降雨雨日数的影响

为了更好地研究城市化对汛期降雨的影响, 除了对降雨作量上的研究分析外, 本文还从各降雨强度等级的场次上进行对比分析。

中国气象局规定: 24h 内的降雨量称之为日降雨量, 凡是日雨量在 10mm 以下的称为小雨, 10.0~24.9mm 为中雨, 25.0~49.9mm 为大雨, 暴雨为 50.0~99.9mm, 大暴雨为 100.0~250.0mm, 超过 250.0mm 的称为特大暴雨。

以 1987-2007 年黄台桥、燕子山、东红庙、吴家铺、刘家庄的汛期降雨资料为例, 统计出各种降雨强度等级的发生次数, 结果见表 4。

表 4 济南汛期城、郊各降雨强度等级的发生次数

Table 4 Frequencies of rainfall with different intensities in flood period in Jinan proper and suburb

站名	黄台桥	燕子山	东红庙	城区	吴家铺	刘家庄	郊区
小雨	456	486	453	465	439	386	413
中雨	157	157	138	151	137	135	136
大雨	77	83	92	84	93	84	89
暴雨	52	55	44	50	41	38	40
大暴雨	7	10	12	10	9	9	9
特大暴雨	1	1	1	1	0	1	1
总计	750	792	740	761	719	653	686

从表 4 可以看出,在 1987–2007 年这 21 a 间,除了大雨的天数城区略小于郊区,以及特大暴雨天数不变外,其余的小雨、中雨、暴雨和大暴雨的天数,城区比郊区分别多出了 12.59%, 10.03%, 25.00% 和 11.11%。对城市雨洪影响最大的暴雨、大暴雨和特大暴雨,城区总天数为 61 d 占总降雨天数的比例为 8.02%, 郊区总天数为 50 d 占总降雨天数的比例为 7.29%; 城区比郊区的降雨天数多出 22.00%。

通过对城区与郊区同期的降雨强度的等级进行对比,汛期降雨的总天数城区比郊区多 10.93%; 而在一般降雨(小雨、中雨、大雨)上,城区比郊区多 9.71%; 而对造成洪水最具影响的暴雨以上的降雨天数,市区则比郊区多出 22.00%。说明城市化不单在降雨量上造成影响,对降雨的频次及雨型也造成了较大的影响,即使降雨次数增多,出现暴雨的机会增大。该研究结果与其他研究者结果较为吻合^[1–3],说明济南市与其它气候区的结论是类似的。城区各降雨强度等级的降雨频次基本都比郊区多,可能是由于城市的热岛效应、城市的阻碍效应以及城市的凝结核效应共同作用的结果。

由于影响降雨的因素众多,既有自然的因素也有人为因素,而且它们之间的关系错综复杂。本文只是重点分析了济南城市化过程对其汛期降雨特征的影响,并初步阐述了造成这些影响的可能原因,对影响降雨的更加具体因素及其形成机理,有待今后进一步研究。

4 结 论

利用济南市黄台桥、燕子山、东红庙、吴家铺和刘家庄等雨量站汛期降雨资料,基于多种分析方法和时间尺度,分析了济南城区汛期降雨历史变化趋势,并对城、郊同期降雨量以及近 20 a 的城、郊日降雨场次类型进行分析,得出了城市化对城市降雨的影响。济南城市化后汛期降雨年际波动显著,21 世纪前后 10 a 的平均降雨量比 20 世纪 70–80 年代的平均降雨量多出 17.23%。城区的汛期降雨量比郊区的降雨量大,而且增长也大,但城、郊降雨量增长均渐趋平缓,尤其是进入 21 世纪以来,从降雨增长率变化可以看出城、郊降雨增量均较 20 世纪 80–90 年代少。济南城市化增加了降雨的机率,同时也加大了各种降雨强度等级的机率,基本上城区降雨量均比郊区多出 10% 以上,特别是暴雨以上的降雨场次更是多出 22.00%。

参 考 文 献:

- [1] 李天杰. 上海市区城市化对降雨的影响初探[J]. 水文, 1995, 3: 34–41.
- [2] 李娜, 许有鹏, 陈爽. 苏州城市化进程对降雨特征影响分析[J]. 长江流域资料与环境, 2006, 15(3): 335–339
- [3] 吴息, 王晓云, 曾宪宁, 等. 城市化效应对北京市短历时降雨特征的影响[J]. 南京气象学院学报, 2000, 23(1): 68–72
- [4] 刘熙明, 胡非, 李磊, 等. 北京地区夏季城市气候趋势和环境效应的分析研究[J]. 地球物理学报, 2006, 49(3): 689–697
- [5] 周翠宁. 城市化对降雨特征影响研究[J]. 水利水电技术, 2007, 38(10): 63–65.
- [6] 徐宗学, 张玲, 阮本清. 北京地区降水量时空分布规律分析[J]. 干旱区地理, 2006, 29(2): 186–192
- [7] 张立杰, 胡天浩, 胡非, 等. 近 30 年北京夏季降水演变的城郊对比[J]. 气候与环境变化, 2009, 14(1): 63–68
- [8] 陈淑芬, 张克峰, 汪峰. 济南市“7·18”严重洪涝灾害成因分析[J]. 山东师范大学学报(自然科学版), 2008, 23(4): 81–83
- [9] 曹升乐, 韩卫滨. 济南城市发展对防洪的影响研究[J]. 中国农村水利水电, 2009, 1: 30–32
- [10] 刘秋锋. 济南市城市地貌演变及其对排水防洪的影响研究[R]. 济南: 山东师范大学, 2002