

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.19.020

中国部分城市暴雨强度增长率及城市化影响研究

周梦洁¹, 袁慧玲²

(1. 华东师范大学地理科学学院 地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200241; 2. 南京大学大气科学学院 中尺度灾害性天气教育部重点实验室, 江苏 南京 210023)

摘要: 研究城市化效应对暴雨强度的影响,对改进城市排水管渠系统的设计有重大意义。为此,利用北京、赣州、杭州、南宁、深圳、武汉、西安共7个城市的年最大值降雨数据,编制各年代的暴雨强度公式,分析各城市暴雨强度的年代际变化,探讨城市化程度及气候变化对城市降雨的影响。另外,根据全国126个城市在20世纪中后期以及21世纪发布的新旧暴雨强度公式,计算各重现期下城市暴雨强度的增长率,分析变化趋势的空间分布,发现暴雨强度呈增长趋势的城市大部分位于沿海地区或属于发达地区,部分地区有必要对暴雨强度公式进行更新以应对如今的降雨情况。

关键词: 暴雨强度公式; 城市化; 年代际变化; 增长率

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)19-0126-06

Growth Rate of Stormwater Intensity and Effect of Urbanization in Some Cities of China

ZHOU Meng-jie¹, YUAN Hui-ling²

(1. Key Laboratory of Geographic Information Science <Ministry of Education>, School of Geographic Sciences, East China Normal University, Shanghai 200241, China; 2. Key Laboratory of Mesoscale Severe Weather <Ministry of Education>, School of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China)

Abstract: To improve the design of urban drainage system, it is of great significance to investigate the effect of urbanization on stormwater intensity. Based on the annual maximum precipitation data of seven cities (Beijing, Ganzhou, Hangzhou, Nanning, Shenzhen, Wuhan and Xi'an), the formula of stormwater intensity in each decade was compiled to analyze the interdecadal variation trend of stormwater intensity in each city, and the effects of urbanization degree and climate change on urban precipitation were explored. In addition, according to the old and new stormwater intensity formulas published by 126 cities in the middle and late 20th century and the 21st century, the growth rate of urban stormwater intensity in each return period was calculated, and the spatial distribution of the trend was analyzed. It was found that most of the cities with increasing stormwater intensities were located in coastal or developed areas. It is necessary to update the stormwater intensity formula in some areas to cope with the current precipitation situation.

Key words: stormwater intensity formula; urbanization; interdecadal variation; growth rate

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC1502703); 国家自然科学基金资助项目(41675109)

通信作者: 袁慧玲 E-mail: yuanhl@nju.edu.cn

暴雨强度公式是规划城市排水系统的技术支持,公式的准确与否会直接影响到城市基建的可靠性。在当前气候变化的背景下,极端天气事件频发,且随着城市化进程的加快,城市暴雨出现的概率增大,降雨范围更加集中,城市现行的暴雨强度公式可能并不适合当前的降雨情况。首先,从统计学的角度来讲,暴雨强度公式是根据已有水文数据整合得出,定期更新水文资料年份可得到代表度更高、更新的暴雨强度公式。其次,从技术方法的角度来讲,早期暴雨公式推求时,各城市的方法不统一,不利于各地区城市防洪规划方面的对比和借鉴。最后,从城市化的角度来讲,城市的快速发展会引起降雨时空变化。这就需要对暴雨强度公式适时地进行更新,尽可能准确地反映当前降雨的变化情况,从而提高排水工程的效率^[1-3]。

1 城市暴雨强度的年代际变化

采用北京、赣州、杭州、南宁、深圳、武汉、西安共7个城市的年最大值降雨资料,以30 a左右为一个周期编制各年代的暴雨强度公式,计算各重现期(T)下不同降雨历时(t)的暴雨强度(i),对比各个城市暴雨强度的年代际差异,讨论城市化效应对城市降雨的影响。因各重现期下的变化趋势类似,以下只列出各个城市具有代表性的重现期进行分析。

北京市暴雨强度的年代际变化见图1。可以看出,1941年—1970年的暴雨强度最高,随着年份的增加,暴雨强度首先呈明显的下降趋势,并且当重现期减小时,1941年—1970年与其他几个年份段的差异也逐渐减小。因为1941年存在一个暴雨强度的最大值,导致1941年—1970年在100 a重现期下的暴雨强度与其他年代的差距颇大,由此也可见极端降雨对暴雨强度公式结果的影响。与其他年份段相比,1981年—2010年各重现期下的暴雨强度均为最低,之后在1991年—2018年,暴雨强度有所回升,重现期为20 a以上的暴雨强度增幅较为明显,说明近10年来(自2010年起)重现期较大时强降雨的增幅比较显著。对北京市近几十年的统计研究^[4]表明,城市化进程导致的热岛效应使温度上升,平均降雨呈显著下降趋势,然而雨势却更加集中,近几年极端降雨增多,2012年夏季北京遭遇了自1951年有完整气象记录以来最强暴雨和洪涝灾害,导致数十人死亡,经济损失高达百亿元^[5]。

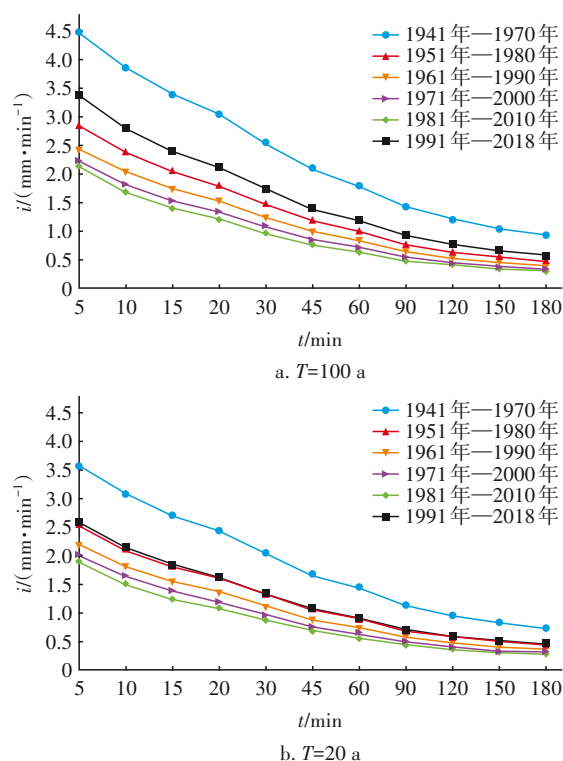


图1 北京市暴雨强度的年代际变化

Fig.1 Interdecadal variation of stormwater intensity in Beijing

对于赣州市,在各重现期下,随着年份的增加,极短历时下暴雨强度呈上升趋势,短时内容容易导致积水甚至内涝,稍长历时下暴雨强度呈下降趋势,相比之下趋势比较微弱(见图2)。赣州市地处赣江上游,主要自然灾害为暴雨和洪水,在主汛期6月份极易发生城市内涝,严重时则产生洪涝灾害。赣州市近几十年来的年平均降雨量缓慢减少,而最大日降雨量呈上升趋势,因此各重现期下5~60 min历时内暴雨强度的增长不容忽视。

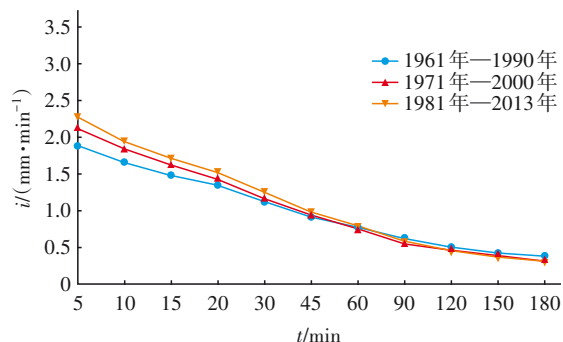


图2 赣州市暴雨强度的年代际变化($T=3$ a)

Fig.2 Interdecadal variation of stormwater intensity in Ganzhou ($T=3$ a)

对于杭州市,在较大重现期下,短历时暴雨强度有减弱趋势(见图3)。在城市排水设计中,所参考的暴雨强度公式重现期较小,变化趋势不明显。因杭州市的数据年份段较短,不太能够表现出降雨的年代际变化趋势。

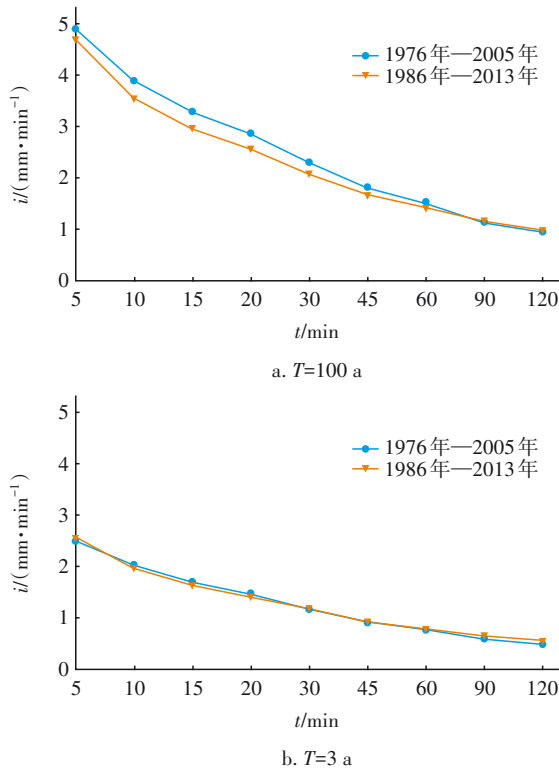


图3 杭州市暴雨强度的年代际变化

Fig.3 Interdecadal variation of stormwater intensity in Hangzhou

对于南宁市,前几个年份段暴雨强度的变化趋势有增有减,而在最近的年份段(1983年—2014年),当重现期较大时,暴雨强度的增幅较明显(见图4)。南宁市近年来城市化进程加快,热岛效应随之增强,城市的建筑物密度大幅提高,导致温度升高,极端强降雨发生的频次增加^[6]。因此在建筑物密度高度集中的地区,需要提高排水系统的重现期标准,提升防灾能力。

对于深圳市,暴雨强度自1973年小幅度升高之后有了回落的趋势,总体来说年代际变化相对平缓(见图5)。但深圳作为沿海城市,受夏季台风的影响比较大,21世纪以来,影响我国的台风强度有明显增加,深圳地区特大暴雨和暴雨发生的概率也有所增加,且2019年深圳启动了先行示范区建设,因此在城市化建设以及极端降雨气候背景的双重影

响下,深圳市需要实时关注降雨变化,编制符合当下趋势的暴雨强度公式,为特区的建设提供参考。

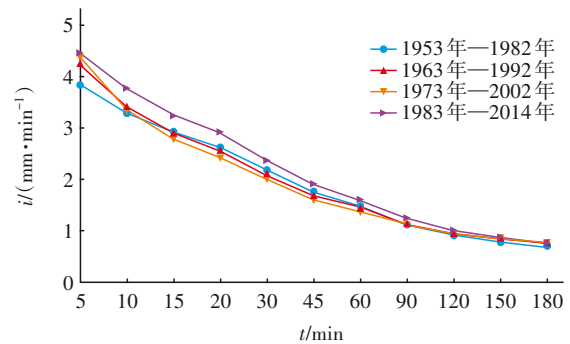


图4 南宁市暴雨强度的年代际变化($T=50 a$)

Fig.4 Interdecadal variation of stormwater intensity in Nanning ($T=50 a$)

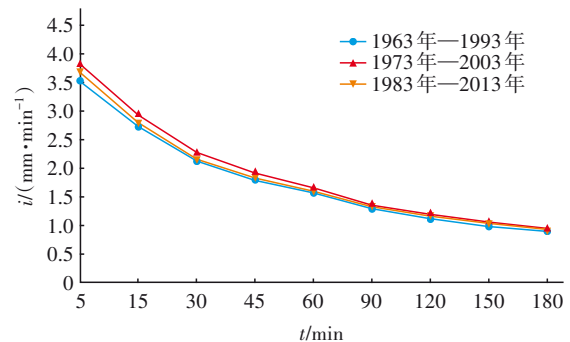


图5 深圳市暴雨强度的年代际变化($T=50 a$)

Fig.5 Interdecadal variation of stormwater intensity in Shenzhen ($T=50 a$)

对于西安市(见图6),近几十年来各重现期下的暴雨强度降幅比较明显。与其他城市相比,西安市的暴雨强度较小,但降幅却比较大。在全球变暖的情况下,对我国不同区域降雨的研究表明,北方地区在春、夏、秋三季的降雨量呈显著的下降趋势^[7]。

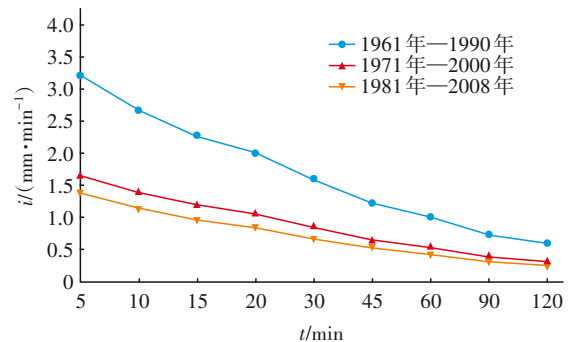


图6 西安市暴雨强度的年代际变化($T=50 a$)

Fig.6 Interdecadal variation of stormwater intensity in Xi'an ($T=50 a$)

对于武汉市,各重现期下的暴雨强度只有小幅度的上升趋势,变化较小。然而武汉市的现状却是内涝频发,因正处于大建设时期,湖泊大面积减少,天然排水系统遭到严重破坏,而人工排水系统的设计重现期标准偏低,并不能够应对强降雨^[8]。

在当前气候变化的背景下,我国的区域降雨整体呈现出南涝北旱的趋势。气温变暖对于微降雨的影响较大,可能会导致城市年均降雨量减少,然而气候异常会引发极端降雨增加,城市化效应下城市下垫面的变化影响雨水渗透和径流,高强度的暴雨对城市的建筑设施以及自然环境的危害更大^[9]。因此在暴雨强度公式的编制更新上也需因地制宜,考虑评估城市化的进展趋势,极端降雨频发的地区则需要考虑此不稳定性,以更好地建设城市排水管道系统,降低灾害风险。

2 城市暴雨强度的增长率

早期的官方暴雨强度公式多编制于 20 世纪中、后期,在 21 世纪初期进行了更新,本研究根据全国 126 个城市和区县的新旧暴雨强度公式,计算了各重现期下的暴雨强度以及同比增长率,其中,重现期为 100 a 和 2 a 条件下各城市和区县的增长率分布情况如图 7 所示。可以看出,福建、广东、广西的大部分城市暴雨强度都有减弱的趋势。新的暴雨强度公式在旧公式的基础上不仅增加了最新 10 年的数据,也补充了过去几十年的数据,年份序列更长,数据更加完整,更能代表暴雨的长期变化特征。然而作为沿海城市,极易受热带气旋影响,暴雨强度的年际变化比较大,空间分布不均匀。

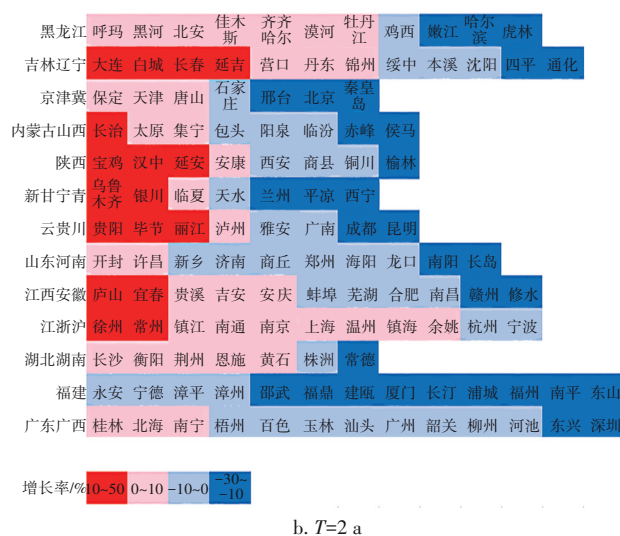
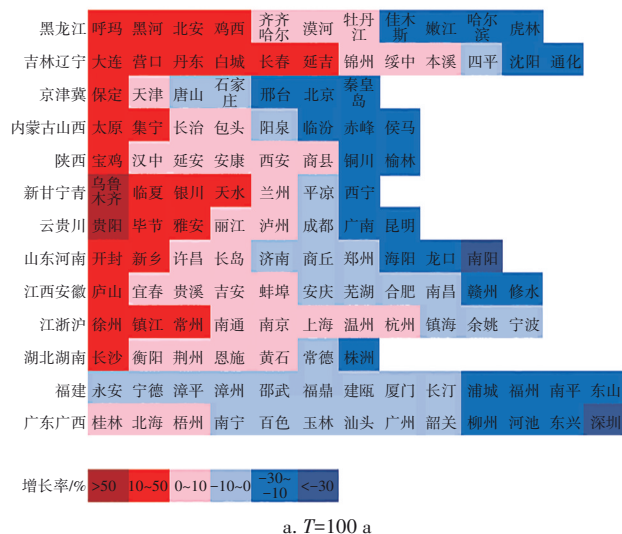


图 7 不同重现期下暴雨强度的增长率

Fig.7 Growth rate of stormwater intensity in different return periods

各个重现期下暴雨强度增长都比较明显的城市有大连、乌鲁木齐、丽江、白城、庐山、长春、宜春、贵阳等,其中乌鲁木齐的降雨天数减少,降雨更加集中,暴雨强度增长显著,易发生暴雨等灾害。

区域增长趋势明显的有江浙沪、贵州、陕西南部、辽宁沿海地区。甘肃部分地区(天水、兰州)的暴雨强度在重现期较大时呈上升趋势,重现期较小时呈微降趋势,表明重现期为 2~3 a 的暴雨强度变化不大,而百年一遇的暴雨强度增长明显,一旦遇上高强度降雨,容易引起内涝,对城市的排水系统要求比较高。

对于暴雨强度呈增长趋势的城市,当重现期较大时,暴雨强度增长率更高,例如,乌鲁木齐在重现期为 100 a 条件下的暴雨强度增长达到了 70% 以上。我国城市的基础排水系统和防洪排涝系统的设计重现期均偏低^[10],那么以此重现期标准设计的城市排水和防洪排涝系统并不能适应如今异常的气候变化,更不足以应对几十年一遇的暴雨。

我国城市早年编制暴雨强度公式的方法不一致,有年最大值法、年多个样法等,现行的暴雨强度新公式都统一使用了年最大值法,因此除了气候变化、城市化等因素,暴雨强度的增长也可能缘于编制方法的不同。

将 8 个重现期($T=2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 100\text{ a}$)下的城市暴雨强度增长率进行平均,得到总体的变化趋势,如图 8 所示。可以看到,福建、广东、广西地

区的暴雨强度基本上呈下降趋势,而上海、江苏以及辽宁沿海地区基本上呈上升趋势,中部和北部地区的暴雨强度增长率正负交错,没有明显的界线。大部分城市都保持着微弱的增长或下降趋势,少数城市有着极端的变化率,例如,乌鲁木齐达到51%的正增长,而吉林省通化市则达到了30%的负增长。

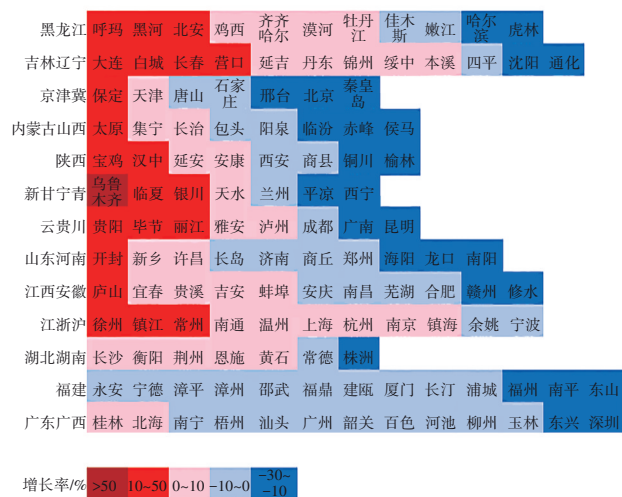


Fig.8 Average growth rate of urban stormwater intensity

表1是各个省、直辖市或自治区的城市暴雨强度增长率概况,按照平均增长率降序排列,综合统计了每个省(直辖市、自治区)内入选研究的城市总数目,暴雨强度呈增长、下降趋势的城市数目,以及整个省(直辖市、自治区)暴雨强度的平均增长率。可见,在统计的126个城市中,有58个城市的暴雨强度呈增长趋势,68个城市的暴雨强度呈下降趋势,所有城市的暴雨强度平均增长率为-0.15%,中位数为-1.90%。各个省(直辖市、自治区)中,平均增长率为正值的,省(直辖市、自治区)内暴雨强度呈增长趋势的城市数量更多;平均增长率为负值的,则暴雨强度呈减少趋势的城市数量更多,因此,综合各个城市的情况,可代表整个省(直辖市、自治区)的暴雨强度变化趋势。

以省(直辖市、自治区)为统计单位,共有15个省(直辖市、自治区)的暴雨强度呈增长趋势,13个省(直辖市、自治区)的暴雨强度呈下降趋势。平均增长率排名靠前的省份(直辖市、自治区)是:新疆(51.24%)、贵州(33.62%)、宁夏(16.65%)、江苏(13.81%)、辽宁(8.88%)。其中,新疆与宁夏两个

自治区都各统计了一个城市,因此增长率可能只代表单个区域的情况,于全自治区的代表性则要差些,不太能够代表整个自治区的普遍情况;而江苏与辽宁的正增长率则是由江苏省统计的5个城市、辽宁省统计的6个城市所贡献,江苏省与辽宁省都属于沿海省份,这种暴雨强度普遍增长的趋势需要引起足够重视。

表1 各个省、直辖市或自治区的城市暴雨强度增长率统计

Tab.1 Growth rate of stormwater intensity in each province, municipality or autonomous region

项目	城市总数	增长数	下降数	平均增长率/%
新疆	1	1	0	51.24
贵州	2	2	0	33.62
宁夏	1	1	0	16.65
江苏	5	5	0	13.81
辽宁	7	6	1	8.88
天津	1	1	0	8.61
吉林	5	3	2	5.06
上海	1	1	0	3.95
湖北	3	3	0	3.32
甘肃	4	2	2	2.40
陕西	8	4	4	2.35
湖南	4	2	2	1.72
浙江	5	3	2	0.98
江西	7	4	3	0.90
黑龙江	11	7	4	0.04
四川	3	2	1	-0.13
河南	6	3	3	-1.97
河北	5	1	4	-3.21
山西	5	2	3	-3.75
云南	3	1	2	-3.86
广西	9	2	7	-4.16
安徽	4	1	3	-4.49
内蒙古	3	1	2	-5.18
山东	4	0	4	-8.41
福建	13	0	13	-9.20
广东	4	0	4	-11.17
北京	1	0	1	-13.66
青海	1	0	1	-24.68
总计	126	58	68	-0.15

3 结论

① 从7个城市的年代际变化来看,北京市的暴雨强度先减后增,近年极端降雨增多,赣州、南宁的暴雨强度呈增长趋势,杭州、西安的暴雨强度呈下降趋势,深圳、武汉的暴雨强度变化不大。

② 根据全国126个城市新旧暴雨强度公式计

算的暴雨强度增长率的空间分布,广东、广西、福建三省大部分城市的暴雨强度呈下降趋势,江浙沪、贵州、陕西南部、辽宁等发达或沿海地区的暴雨强度呈上升趋势,大连、乌鲁木齐、丽江、白城等城市的暴雨强度增长显著,体现出空间分布差异。

③ 对于暴雨强度呈增长趋势的城市,当重现期较大时,增长率更高,最高可达到70%以上。我国城市的排水管道设计重现期多为1 a,以此标准设计的排水系统并不能够抵抗几十年一遇的暴雨。因此需要提高设计标准,及时补充新数据修订最新的暴雨强度公式。

参考文献:

- [1] 刘志生,张莉,杨志东,等. 长春市新一代暴雨强度公式的推求研究[J]. 中国给水排水, 2014, 30(9): 147-150.
LIU Zhisheng, ZHANG Li, YANG Zhidong, et al. Derivation of a new generation of stormwater intensity formula for Changchun[J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(9): 147-150 (in Chinese).
- [2] 蒋明. 新暴雨形势下上海市暴雨强度公式修编研究[J]. 中国给水排水, 2015, 31(15): 114-117.
JIANG Ming. Revision of Shanghai stormwater intensity formula under new stormwater situation [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(15): 114-117 (in Chinese).
- [3] 谢映霞. 城市排水与内涝灾害防治规划相关问题研究[J]. 中国给水排水, 2013, 29(17): 105-108.
XIE Yingxia. Urban drainage and waterlogging disaster prevention planning [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(17): 105-108 (in Chinese).
- [4] 王文,张薇,蔡晓军. 近50 a来北京市气温和降水的变化[J]. 干旱气象, 2009, 27(4): 350-353.
WANG Wen, ZHANG Wei, CAI Xiaojun. Variation of temperature and precipitation in Beijing during latest 50 years [J]. Journal of Arid Meteorology, 2009, 27(4): 350-353 (in Chinese).
- [5] 姜晓曼,袁慧玲,薛明,等. 北京“7·21”特大暴雨高分辨率模式分析场及预报分析[J]. 气象学报, 2014, 72(2): 207-219.
JIANG Xiaoman, YUAN Huiling, XUE Ming, et al. Analysis of a torrential rainfall event over Beijing on 21-22 July 2012 based on high resolution model analyses and forecasts [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2014, 72(2): 207-219 (in Chinese).
- [6] 陈业国,农孟松,陈思蓉. 1961~2005年南宁灾害性天气气候事件的变化[J]. 广西科学, 2009, 16(3): 353-356.
CHEN Yeguo, NONG Mengsong, CHEN Sirong. Changes in disastrous weather climate events in Nanning during 1961-2005 [J]. Guangxi Sciences, 2009, 16(3): 353-356 (in Chinese).
- [7] WU F T, FU C B. Change of precipitation intensity spectra at different spatial scales under warming conditions [J]. Chinese Science Bulletin, 2013, 58(12): 1385-1394.
- [8] 宋宏娇,张丹丹,周思迪. 城市化进程中武汉市内涝灾害防治研究[J]. 工程技术研究, 2019, 4(8): 249-250.
SONG Hongjiao, ZHANG Dandan, ZHOU Sidi. Study on prevention and control of waterlogging disaster in Wuhan in the process of urbanization [J]. Engineering and Technological Research, 2019, 4(8): 249-250 (in Chinese).
- [9] TFWALA C M, VANRENSBURG L D, SCHALL R, et al. Precipitation intensity-duration-frequency curves and their uncertainties for Ghaap plateau [J]. Climate Risk Management, 2017, 16: 1-9.
- [10] 辛玉玲,付道传. 城市排水系统存在的问题及对策研究[J]. 延安大学学报(自然科学版), 2014, 33(4): 36-38.
XIN Yuling, FU Daochuan. Study on the problems and countermeasures of urban drainage system [J]. Journal of Yan'an University (Natural Science Edition), 2014, 33(4): 36-38 (in Chinese).

作者简介:周梦洁(1995-),女,江苏盐城人,硕士研究生,研究方向为水文气象。

E-mail: mjzhou1019@163.com

收稿日期: 2020-03-15

修回日期: 2020-06-18

(编辑:刘贵春)