

浅谈城市化对暴雨径流的影响

孙小梅^{1,2,3,4,5}, 王 健^{1,2,3,4,5}

¹陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安

²陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安

³自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 陕西 西安

⁴陕西省土地整治工程技术研究中心, 陕西 西安

⁵自然资源部土地工程技术创新中心, 陕西 西安

Email: xiaomeisun1020@foxmail.com

收稿日期: 2021年5月16日; 录用日期: 2021年6月17日; 发布日期: 2021年6月24日

摘 要

随着经济社会的发展, 城市化进程加快, 城市用地紧张导致部分城市向低洼地区发展, 甚至侵占河道, 填埋沟塘, 使得城市滞水空间缩小, 降雨径流系数增大, 汇流时间加快, 增加了城市洪水风险。城市化改变了城市水文循环特性, 从而使得城市雨洪特性改变, 易引起短历时暴雨积水形成内涝直接影响了城市居民的生活并造成很大的经济损失, 甚至人员伤亡。城市是政治、经济、文化中心, 一旦遭受洪灾, 将造成巨大的政治影响和经济损失, 可见分析城市暴雨洪灾原因、提出相应对策显得十分重要。本文主要探讨城市化内涝原因及对暴雨径流的影响, 并探讨应对措施。

关键词

城市化, 暴雨径流, 城市内涝成因, 对策

The Influence of Urbanization on Storm Runoff

Xiaomei Sun^{1,2,3,4,5}, Jian Wang^{1,2,3,4,5}

¹Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

²Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

³Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, Ministry of Natural Resources, Xi'an Shaanxi

⁴Shaanxi Provincial Land Consolidation Engineering Technology Research Center, Xi'an Shaanxi

⁵Land Engineering Technology Innovation Center, Ministry of Natural Resources, Xi'an Shaanxi

Email: xiaomeisun1020@foxmail.com

Received: May 16th, 2021; accepted: Jun. 17th, 2021; published: Jun. 24th, 2021

Abstract

With the development of economy and society, the process of urbanization is speeding up, and the shortage of urban land leads to the development of some cities to low-lying areas, and even encroaches on rivers, buries ditches and ponds, reduces the urban stagnant water space, increases the rainfall runoff coefficient, speeds up the confluence time, and increases the urban flood risk. Urbanization has changed the characteristics of urban hydrological cycle, which changes the characteristics of urban rainfall and flood. It is easy to cause short-term rainstorm and waterlogging, which directly affects the life of urban residents and causes great economic losses, even casualties. City is the political, economic and cultural center; once suffered from floods, it will cause great political influence and economic losses, so it's necessary to analyze urban storm flood reason and put forward the corresponding countermeasures. This paper mainly discusses the urban waterlogging reason and influence on storm runoff, and discusses the countermeasures.

Keywords

Urbanization, Storm Runoff, Causes of Urban Waterlogging and Countermeasures, Countermeasures

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

最近几年我国城市暴雨洪灾内涝问题日渐突出, 很多城市不同程度地遭遇了暴雨侵袭, 引发内涝灾害, 严重影响了城市的正常生活, 有的甚至造成人员伤亡及巨大的财产损失。例如 2007 年济南发生的“7·18”大暴雨洪水, 这次洪水主要特点是历时短、强度大、降雨集中, 这场暴雨过程仅维持 3 个多小时, 市区平均降雨量就已经达到了 146 mm, 最大点暴雨量达到了 178 mm, 暴雨洪涝造成济南市 33.3 万人受灾, 直接经济损失 12 亿元[1]; 广州市曾在 2010 年遭受了几场大暴雨的袭击, 造成市区严重内涝, 其中最严重的就是“5·7”大暴雨, 12 小时降雨超过 213 mm, 很多地下停车场被淹, 很多主干道积水严重, 市区交通严重受阻甚至瘫痪, 全市经济损失约 5.4 亿[2]; 2012 年的北京特大暴雨, 导致 78 人死亡, 造成房屋倒塌 10,660 间, 160.2 万人受灾, 经济损失 116.4 亿元; 2013 年 10 月 7 日, 浙江余姚因菲特台风影响, 导致全市 21 个乡镇、街道均受灾, 受灾人口 832,870 人, 城区大面积受淹, 主城区城市交通瘫痪, 大部分住宅小区低层进水, 主城区全线停水、停电, 商贸业损失严重。其实这些严重的城市洪涝灾害并不是个例, 而是我国很多城市普遍存在的现象。

改革开放以后, 人口和财富不断向城市集中, 城市化的进程也越来越快, 人们对城市的生活环境要求不断提高, 城市地面上的建筑随之也发生了巨大变化, 但是在城市化高速发展的同时, 出现了一系列的城市问题, 城市化的发展重地上轻地下, 注重了地面上的建筑发展, 却忽略了地下的建设, 交通拥堵, 地面积水, 突发性暴雨使城市出现内涝等, 导致原有的地下设施难以满足城市化的高速发展[3]。其次, 在城市化发展过程中, 工业的发展、人们的日常生活习惯等都已经改变了原有的自然生态环境, 使原有的城市自然生态环境遭到了破坏, 致使城市环境变得恶劣, 城市应对自然灾害能力下降[4]。在城市化建设中, 对预防自然灾害重视不够, 排水系统设计标准过低。

快速城市化在短期内永久改变陆地生态系统的结构与功能, 通过影响地表蒸散改变区域水热平衡等水文气象过程, 并直接影响近地面大气的物理属性、地气能量交换和生态系统水分收支[5], 带来或加重一系列生态水文与城市大气环境效应[6] [7]。然而, 城市化、水文和生态系统服务功能在不同时间和空间尺度之间的相互作用还存在知识空白[8] [9]。理论上, 城市生态学还属于比较新的学科领域, 从流域角度关注城市水文的研究还比较缺乏。

早在 20 世纪 60 年代, 国外的森林气象水文研究人员对此就有初步认识, 指出城市下垫面独特的物理性质造成了其不同于自然下垫面的能量平衡分布特征, 并认为这是城市化影响能量再分配、小气候和生态水文的根本原因[10] [11]。

大规模城市化带来的不透水面增加会显著降低地表土壤入渗速率, 从而增大地表径流比例, 影响流域汇流速率; 再加上植被减少造成蒸散下降[12], 导致流域暴雨径流、洪峰流量和流域总产水量增大[13], 增加洪涝灾害风险。除此之外河网变迁等地表结构改变也是城市化影响洪涝的主要因素之一[14]。Lull 和 Sopper [15]研究表明, 快速城市化流域的年径流、暴雨流量和年最大洪峰流量随城市化进程显著增加。其中, 暴雨流量对降雨量的响应在城市区域最为敏感。

城市是政治、经济和文化中心, 人口密集, 工商业发达, 财富集中, 一旦遭受洪灾, 将造成政治影响和经济损失, 因此探讨城市暴雨洪灾内涝原因及对策显得十分重要。

2. 城市化对暴雨洪灾影响及原因分析

2.1. 城市化对降雨的影响

随着我国城市化进程不断加剧, 城市人口越来越集中, 交通工具剧增, 建筑群密集, 沥青路面和水泥路面已经布满整个城市的大街小巷, 由于这些因素使城市的气温明显高于郊区, 形成显著的热岛效应。城市热岛效应不仅造成城市及其周边地区气温升高, 而且很多研究还表明[16] [17], 城市热岛效应还可能通过流场的作用, 对冬夏季降水过程产生影响。另外, 由于城市的建筑物高低不一, 加大了城区的粗糙度, 这不仅引起湍流, 而且对稳动滞缓的降水系统有阻碍效应, 增加了降雨在城区的滞留时间, 增大了降雨强度。同时城市化伴随着工业化发展, 对环境产生大气污染, 大气中悬浮颗粒密度增大, 一定程度上起到人工降雨的作用, 导致暴雨形成的几率和降雨量增大。显然城市化效应日趋严重会导致短时降雨量增大, 增加了城市洪涝灾害发生的可能性。

2.2. 城市化对雨洪径流的影响

随着城市化的进程, 城区土地利用性质的改变, 使原有下垫面发生了剧大的变化, 建筑物增多, 道路铺装, 不透水面积增大等, 直接改变了地面雨洪径流形成条件, 使天然水文情势发生了变化。另外城市用地日趋紧张, 公园逐渐被“边缘化”, 不透水面积逐步增加, 降水基本无蓄、滞、渗空间, 下渗的雨量基本为零。地面硬化致使地表径流产生的较快, 径流系数很大, 使降到城市区域的雨水很快填满洼地而后形成地表径流, 使同强度暴雨形成的地表径流量增大, 洪峰流量增加, 当超过现有排水系统的排水能力时, 雨水就会在地面积聚形成内涝。

2.3. 城市雨水管网排水标准低

我国城市采用的市政排水系统标准偏低, GB 50014-2006《室外排水设计规范》规定[18]“一般地区, 重现期一般采用 0.5~3 年; 重要干道、重要地区或短期积水即能引起较严重后果的地区, 一般采用 3~5 年”。但在实际设计中, 大多数城市的排水标准重现期多选取下限如北京、上海、广州大部分地区的排水标准为 1 年一遇, 重点地区或特别重要地区为 3~5 年一遇, 与国外城市普遍采用的 2~5 年一遇的排水

标准相比,我国城市的排水标准偏低。而且一些老城区的市政排水系统已经使用几十年,部分管道老化破损,甚至堵塞,致使整个排水系统排水能力低下。

2.4. 城市排水系统设计标准规范的衔接问题

城市排水系统包括两部分,一部分是市政雨水管道系统,主要布置在城市主干道和大街小巷,主要用于排除城市雨水,但有的城市目前采用的还是雨污合同制,雨水污水共用一条管道。市政雨水管道设计一般属于给水排水专业的设计范畴,管道的设计流量采用市政公式即暴雨强度公式来计算,设计标准采用的是 GB 50014-2006《室外排水设计规范》;另一部分是在城市市区内从水利角度设置的防洪排涝工程,包括城市内河、排涝泵站、排涝闸等,属于水利设计范畴,设计流量的计算一般采用的是单位线法或推理公式法,目前还没有专门的规范,主要采用 GB 50288-99《灌溉与排水工程设计规范》里的农田排涝标准。二者设计之间存在比较复杂的关系,一般市政雨水管道由专门的市政设计单位设计,而一些防洪排涝工程由水利设计单位负责,这样就会存在两个专业衔接的问题,以及标准不一致的问题。

2.5. 城市雨水管理系统不健全

我国城市雨水管理系统不够健全,对城市排水设施的建设重视不够、投入不足,主要表现在应急防洪减灾设施建设没有得到重视;外洪内涝兼顾综合治理不够;防汛预警与应急管理滞后;排水设施得不到及时的养护和维修;应对超标准降雨的措施力度不够;宣传教育不够,没有形成全社会公众参与的全方位防灾减灾体系。

3. 城市暴雨洪灾内涝对策探讨

3.1. 减轻城市化对暴雨影响的工程措施

3.1.1. 雨洪利用

雨洪利用是针对开发建设区域内不同下垫面所产生的降雨径流采取相应的措施,或贮存利用,或渗入地下,以达到充分利用雨水资源、改善小区生态环境、减轻区域防洪压力的目的,是一项开源与节流并举的措施。雨洪利用的形式一般有3类即深入地下、拦蓄利用和调控排放。主要是利用道路、绿地、屋顶、公共基础设施等进行雨水收集,作为道路浇洒、汽车冲洗、绿地浇灌、小区景观等或地面铺装选用透水材料,采用多孔沥青或多孔混凝土路面,在人行道、广场或休闲区铺设草皮砖,让雨水顺利的渗入地下等措施。

3.1.2. 城市规划与设计阶段合理规划用地减少硬化面积

城市规划和建设阶段必须重视防洪排水。对排水设施进行系统规划,将水利与市政规划设计相结合,从源头编制雨水控制、利用调蓄设施的规划,合理规划建设用地,对于现有的内河道和沟塘等具有蓄洪、排涝能力的区域不要随意填埋侵占,适当布置一些花园、运动场、停车场,还可以临时滞蓄或排泄洪水,在道路设计上尽量减少地面硬化面积,多采用入渗型路面,增加绿地面积,不但美化环境,也可以增加雨水的下渗和含蓄。

3.1.3. 提高排水系统标准及标准规范的衔接

结合我国的目前排水系统现状,逐步提高排水设施的设计标准是必然趋势。在今后的设计中不同地区应采用不同重现期,一些重要干道及市区中心等重要区域提高雨水管道的设计重现期,尽量取标准中的上限,与国际标准接轨,对已经建成的排水设施若有改造,应按照新设计的情况考虑。同时,中心城区的排涝标准也要提高,在发生超大洪水时设计中常采用的20年一遇的标准是不能满足要求的。不仅要

提高排水系统标准, 也要注重考虑标准的衔接问题, 加强不同专业间设计沟通协调。另外如何将市政规范及标准与水利标准统一, 而不是单独从各自专业领域来考虑问题, 这需要相关部门对这方面进行深入研究, 制定出统一的规范标准。

3.1.4. 完善城市雨水管理系统

1) 养护、维修排水设施。城市排水系统中的很多排水设施, 如管渠、检查井、雨水口等, 由于初期雨水携带的杂物比较多而极易使排水设施堵塞; 城市边缘山体雨水进入城市排水系统更易夹杂泥沙, 堵塞排水设施或降低过流能力, 以致形成内涝。所以这些排水设施需要经常养护, 清理杂物, 定期维修, 以保证排水正常, 另外对已经建成多年的管道要定期检查, 严重破损的要及时改造, 对排涝泵站及排涝闸也要经常检查维修。

- 2) 积极进行城市防洪减灾的宣传, 树立市民对水灾的风险意识。
- 3) 借鉴国外经验采用城市防洪风险管理办法。
- 4) 加强城市防洪基础工作。

3.1.5. 采用先进的技术应对超大洪水

采用先进的技术为新建城市排水系统规划设计提供科学依据, 为旧城区采取措施应对突发暴雨提供科学预报。将整个城区的排水系统建立数据库, 构建数学模型, 通过计算机来模拟整个系统的动态变化, 及时预报超标降雨发生时出现积水的位置及深度, 为及时采取应急措施提供科学的依据。目前国外已经有很多成熟的商业软件可以根据我国的实际情况来应用。

3.1.6. 完善城市应对超标降雨的应急措施

为确保发生超标降雨时, 积水时间短、退水快, 不形成城市内涝。需要采取应急措施, 制定应急预案, 落实各部门责任, 由相关部门建立相应预警应急队伍, 配备专门人员密切关注气象预报, 发出预警信号。同时, 给应急队伍配备用于积水排除的设施, 一般包括: 水泵、临时发电机组、软管、起重机械等设备, 在预警信号发出后随时待命。另外对城市经常积水区域, 应制定人员撤离与安置、重要建筑保护等相关预案。

3.2. 减轻城市化对暴雨影响的非工程措施

1) 从政府层面讲, 必须立法, 如美国若干城市立法“修建建筑物, 必须同时修建相应的需水设备, 原则是使街区地表径流不增大”。

2) 从技术层面讲, 必须提高城市暴雨排水标准, 修订相应的规范, 使暴雨及时排出, 避免城市内涝的发生。

3) 城市总体规划应充分考虑寂静发展、生活水平提高的要求; 不仅要求考虑供水, 更应考虑排水以及排水水质的处理和标准。

4. 结论及建议

不断城市化及地球环境的继续恶化带来极端恶劣的天气, 特别是近年来暴雨及特大暴雨发生的概率越来越大, 致使很多城市发生严重内涝, 通过分析城市暴雨洪灾内涝原因, 根据目前国内外的一些相关研究浅谈目前应对城市内涝的一些措施。

建议进一步完善我国雨水系统规划设计体系及关键技术, 加强雨水系统模型建设及其在规划中应用的研究。同时还要加强及完善有关部门立法条例, 进而极大地减轻城市化对暴雨径流的影响, 减小城市内涝造成的损失。

基金项目

长安大学省重点实验室开放基金(2019-JC08); 陕西省土地工程建设集团内部项目(DJNY2021-25)。

参考文献

- [1] 张明泉, 张曼志, 张鑫, 等. 济南“2007·7·18”暴雨洪水分析[J]. 防汛与抗旱, 2009(17): 40-44.
- [2] 张维, 欧阳里程. 广州城市内涝成因及防治对策[J]. 广东气象, 2011, 33(3): 50-53.
- [3] 徐向阳, 刘俊, 郝庆庆, 等. 城市暴雨积水过程的模拟[J]. 水科学进展, 2003, 14(2): 193-196.
- [4] 任伯帆. 城市设计暴雨及雨水径流计算模型研究[D]: [博士学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2004.
- [5] Cao, Q., Liu, Y.P., Georgescu, M. and Wu, J.G. (2020) Impacts of Landscape Changes on Local and Regional Climate: A Systematic Review. *Landscape Ecology*, **35**, 1269-1290. <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01015-7>
- [6] Pielke Sr., R.A. (2005) Land Use and Climate Change. *Science*, **310**, 1625-1626. <https://doi.org/10.1126/science.1120529>
- [7] DeFries, R. and Eshleman, K.N. (2004) Land-Use Change and Hydrologic Processes: A Major Focus for the Future. *Hydrological Processes*, **18**, 2183-2186. <https://doi.org/10.1002/hyp.5584>
- [8] Wenger, S.J., Roy, A.H., Jackson, C.R., Bernhardt, E.S., Carter, T.L., Filoso, S., Gibson, C.A., Hession, W.C., Kaushal, S.S., Marti, E., Meyer, J.L., Palmer, M.A., Paul, M.J., Purcell, A.H., Ramirez, A., Rosemond, A.D., Schofield, K.A., Sudduth, E.B. and Walsh, C.J. (2009) Twenty-Six Key Research Questions in Urbanstream Ecology an Assessment of the State of the Science. *Journal of the North American Benthological Society*, **28**, 1080-1098. <https://doi.org/10.1899/08-186.1>
- [9] Li, C., Sun, G., Cohen, E., Zhang, Y.D., Xiao, J.F., McNulty, S.G. and Meentemeyer, R.K. (2020) Modeling the Impacts of Urbanization on Watershed-Scale Gross Primary Productivity and Tradeoffs with Water Yield across the Conterminous United States. *Journal of Hydrology*, **583**, 12458. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124581>
- [10] Chandler, T.J. (1967) Absolute and Relative Humidities in Towns. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **48**, 394-399. <https://doi.org/10.1175/1520-0477-48.6.394>
- [11] Oke, T.R. (1973) Review of Urban Climatology 1968-1973. World Meteorological Organization, Geneva, 132.
- [12] Boggs, J.L. and Sun, G. (2011) Urbanization Alters Watershed Hydrology in the Piedmont of North Carolina. *Ecohydrology*, **4**, 256-264. <https://doi.org/10.1002/eco.198>
- [13] Caldwell, P.V., Sun, G., McNulty, S.G., Cohen, E.C. and Myers, J.A.M. (2012) Impacts of Impervious Cover, Water Withdrawals, and Climate Change on River Flows in the Conterminous US. *Hydrology and Earth System Sciences*, **16**, 2839-2857. <https://doi.org/10.5194/hess-16-2839-2012>
- [14] 张建云, 宋晓猛, 王国庆, 贺瑞敏, 王小军. 变化环境下城市水文学的发展与挑战-城市水文效应[J]. 水科学进展, 2014, 25(4): 594-605.
- [15] Lull, H.W. and Sopper, W.E. (1969) Hydrologic Effects from Urbanization of Forested Watersheds in the Northeast. Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby.
- [16] 孙继松, 王华. 城市边界层过程在北京 2004 年 7 月 10 日局地暴雨过程中的作用[J]. 大气科学, 2006, 30(2): 221-234.
- [17] 桑建国, 刘万军. 冬季城市边界层风场和温度场结构分析[J]. 气象学报, 1990, 48(4): 459-468.
- [18] 上海市建设和交通委员会. GB50014-2006 室外排水设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2006.