

城市化与城市水文学面临的问题

张 建 云

(南京水利科学研究院 水文水资源及水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029)

摘要: 随着经济社会的快速发展,目前我国正处在城镇化快速发展的时期,由此引发的城市水问题愈发突出,相关研究需求也愈加迫切.本文初步分析了城市化对降水和极端暴雨、流域产汇流规律及洪水、需水、供水及水资源保障、水质水环境及水生态系统等方面的影响.在分析城市水文效应的基础上,从学科发展和应用的角度,提出了当前城市水文学需要重点研究的问题,如城市极端暴雨的成因分析、城市暴雨洪水计算方法、城市雨洪资源化应用方法和关键技术等.

关键词: 城市水文学; 水资源; 水环境; 产汇流

中图分类号: P343.9

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2012)01-0001-04

人口和产业向城市集中,致使城市不断扩张的过程,称为城市化.城市化是衡量一个国家发展水平的重要标志.但是,城市化的进程增大了人类社会与周围环境间的相互作用,将引发一系列的问题,使得城市防洪、供水和水环境生态保护等问题越来越突出^[1-3].

随着经济社会的快速发展,目前我国正处在城镇化快速发展的时期.人口正在向城市,尤其向大中城市集聚.改革开放初期,我国人口的城市化率还不到20%(按城镇人口占总人口比例统计),但是现在已超过47.5%(据2011年3月的统计资料).中国人口从10亿上升到13亿,城市人口从2亿发展到现在的6亿多,城市人口净增了4亿多.加速推进城市化是我国实现第三步战略目标的重要战略措施,因此我国的城市化进程还将进一步加快.据有关规划,在2050年前后,我国人口达到高峰时,总人口为16亿左右,届时城市化水平将可能超过60%,全国将有9.6亿以上的人口生活在城市里.随着城市化进程的加快,城市水文效应越来越显著,城市水问题越来越突出,开展相关水文研究的需求也越来越迫切.

城市化的进程直接影响到水文要素循环的各个方面(见图1).城市水文学的研究颇具挑战性.

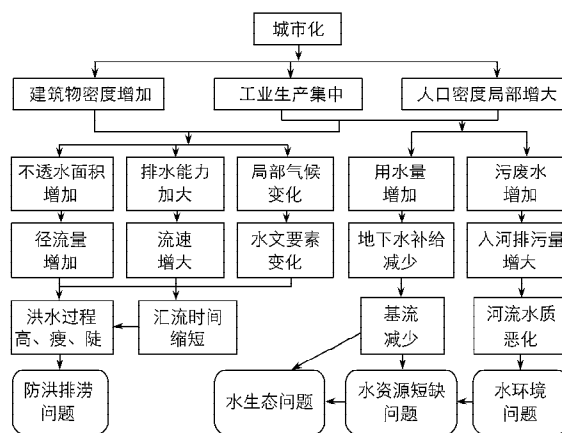


图1 城市化的水文效应

Fig. 1 Hydrologic effects of urbanization

1 城市水文效应对降水和蒸发的影响

在现代化的大城市中,除了数百万人日常生活所散发出的热量,还有工业生产、交通工具散发的大量热量.此外,城市的建筑群和柏油路面热容量大,反射率小,能有效地储存太阳辐射热.据估算,城市白天吸收储存的太阳能比乡村多80%,而晚上城市降温缓慢^[4].因此,城市化的发展导致城市中的气温高于外围郊区,即城市热岛效应.对于大型城市,“热岛效应”还会引发“雨岛效应”.大城市气温高、粉尘大,空气中的凝结核

收稿日期: 2011-08-05

作者简介: 张建云(1957-),男,江苏沛县人,中国工程院院士,主要从事流域水文模拟、气候变化、防汛抗旱、水利信息化等研究. E-mail: jyzhang@nhri.cn

多, 热气上升时会引发周边郊区气流向城市汇聚的运动. 上升的热气流在高空遭遇强对流的冷气团, 则会形成暴雨, 因此大城市往往更容易成为暴雨袭击的中心, 即城市雨岛效应.

有关研究表明, 城市的热岛效应、凝结核效应、高层建筑障碍效应等的增强, 使城市的年降水量增加 5% 以上, 汛期雷暴雨的次数和暴雨量增加 10% 以上^[4]. 近几年, 一些超大型城市接连被强暴雨袭击, 造成了交通瘫痪和人民生命财产损失. 比如, 北京市 2011 年的 6 月 23 日和 7 月 25 日接连两次强暴雨袭击, 特别是 6 月 23 日的暴雨, 部分地区 1 h 降雨量达 128 mm, 超过百年一遇, 大量的街道被淹, 很多汽车泡在立交桥下, 给居民生活带来极大的不便. 城市洪水灾害的形成, 一方面是强暴雨所致, 另一方面也暴露出一些市政排水管网设计不到位、排水能力低下等突出问题. 此外, 由于城市化产生的下垫面硬化将明显减少流域的蒸散发量. 许有鹏等^[5]在南京秦淮河城市化对水文影响分析中指出, 城市化率(不透水率)从 4.2% (1988 年) 到 7.5% (2001 年) 和 13.2% (2006 年), 流域的蒸散发量分别减少 3.3% 和 7.2%.

2 城市水文效应对产汇流规律的影响

城市化使得大片耕地和天然植被为街道、工厂和住宅等建筑物所代替, 下垫面的滞水性、渗透性、热力状况均发生明显的变化, 集水区内天然调蓄能力减弱, 这些都促使市区及近郊的水文要素和水文过程发生相应变化.

城市化增加了地表暴雨洪水的径流量. 城市化的结果使地面变成了不透水表面, 如路面、露天停车场及屋顶, 而这些不透水表面阻止了雨水或融雪渗入地下, 降水损失水量减少, 径流系数显著提高^[6-8]. 径流系数与不透水面积比例和降水量的关系如图 2 所示, 即不透水面积比与径流深和径流系数呈明显的正相关关系. 如南京秦淮河流域, 城市化率从 4.2% 增加到 7.5% 和 13.2% 的情况下, 流域的多年平均径流深和径流系数分别增加 5.6% 和 12.3% 左右^[5].

另一方面, 城市化使得流域地表汇流呈现坡面和管道相结合的汇流特点, 降低了流域的阻尼作用, 汇流速度将大大加快. 水流在地表的汇流历时和滞后时间大大缩短, 集流速度明显增大. 城市及其下游的洪水过程线变高、变尖、变瘦, 洪峰出现时刻提前. 城市地表径流量大为增加, 见图 3. 美国丹佛市的观测表明, 2 h 内 43 mm 的降雨, 在草坪、沙土和黏土地带, 径流系数(产流/降雨量)为 0.10~0.25, 铺路地带则为 0.90^[4].

城市化将增加城市及其下游的防洪和排涝压力. 我国 660 多座城市中, 绝大多数坐落在江河湖海之滨, 其中有防洪任务的占 93%, 而目前达到规定防洪标准的城市只占约 33%. 我国城市排涝标准普遍较低, 一般不足 3~5 a 一遇. 近年来, 突发性暴雨频繁, 由于城市发展, 城市内涝灾害日趋严重.

3 城市水文效应对城市水资源保障的影响

城市迅速膨胀, 人口高度集中, 工业迅速发展, 城市需水量也急剧增加. 城市居民用水的消耗定额平均为农村居民的 5~8 倍, 新兴工业的耗水量更多, 对水质的要求更高, 故城市用水量的增长速度大大超过了人口增长的速度^[10]. 城镇化水平和人们对生活质量要求的提高, 城市用水量将在相当长时间内保持较高的需求, 见图 4. 例如上海 1949—1980 年间, 人口增加了 1 倍多, 用水量增加近 6 倍^[11]. 此外, 城市快速发展, 人口高度集中于城市, 人民生活及工业产生的污水将恶化城市水质. 在我国一些水资源较丰富的地区, 有水质型缺

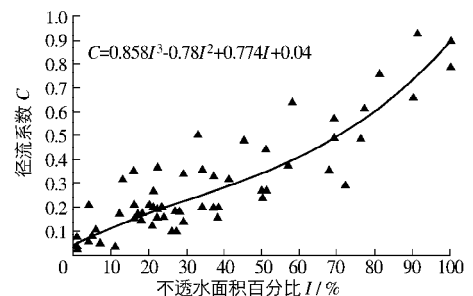


图 2 径流系数-不透水面积百分比关系
(资料来源: 文献[9])

Fig. 2 Relationship between runoff coefficients and impervious area percentages (data from: Reference [9])

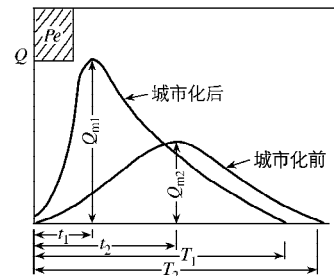


图 3 城市化对水文过程的影响

Fig. 3 Impacts of urbanization on hydrologic processes

水的现象, 所以城市化将增加城市水资源保障的风险。

我国本身就是一个水资源紧缺的国家, 全国有 400 多座城市缺水, 占城市总数的 2/3, 其中 100 多座严重缺水。2000 年山东烟台、威海大旱, 水库干涸, 城市供水告急, 人均月限供水仅 1 t。2006 年重庆和四川东部等地发生了百年不遇的特大干旱, 给城市生活带来了严重影响。城市供水日益紧张, 原来的地表水源和供水设施不能适应发展的要求, 许多城市超量开采地下水, 使地下水资源日趋枯竭, 不仅带来了水资源危机, 甚至造成地面沉降的危害。为此, 不少城市采取远距离引水的途径, 以解决城市供水不足的问题。

城市缺水除了资源性禀赋差外, 还有用水浪费、用水效率低、管道渗漏严重等问题也十分突出。应该加快节水型社会建设, 提高污水处理和中水利用水平, 加强供水管网改造, 提高城市供水保障能力。

4 城市化进程对水环境和生态系统的影响

城市工业废水和生活污水向河流排放带来的城市化环境效应, 导致城市水体污染普遍严重, 突发性水污染事件频繁发生^[12]。据世界银行统计, 世界 20 个污染最严重的城市中, 中国有 16 个; 全国 2/3 污废水未经处理直接排入水体, 90% 城市地表水域受到不同程度的污染。中国特大水污染事件, 多数来源于城市, 同时对城市的威胁也最大。如 2005 年松花江重大水污染事件是吉林市化工厂爆炸所引起的, 2007 年的太湖蓝藻爆发也是周围城市污水超标带来的富营养化, 2009 年江苏盐城化工厂污染自来水事件和 2010 年福建紫金矿业污染事件等是近几年接连发生的城市水资源严重污染事件。

另一方面, 工业废气向大气排放后形成的酸雨, 使天然水体受到污染, 生态平衡遭到破坏, 严重危及工业生产和人民生活。此外, 枯水季节, 通常河川径流减少, 稀释能力削弱, 水质更趋恶化。在城市化水平较高的地区, 其下游水体一般都受到污染, 天然水体水质恶化更加剧了城市水资源的紧缺。

5 城市水文学需要研究的问题

城市化的发展影响到城市的防洪、水资源保障和生态环境的保护等方面。因此, 从学科发展以及应用的角度, 当前城市水文学应该加强以下 3 方面的研究工作。

(1) 城市极端暴雨的成因分析。对近几年一些城市出现的强暴雨过程, 科学地定量分析这些过程中由气候系统自然规律、全球变暖和城市热岛效应各种影响的大小; 分析热岛效应产生机理和影响因素, 为研究制定减缓热岛效应的城市规划及措施提供技术支持。

(2) 城市暴雨洪水计算方法研究。城市化带来的下垫面变化, 导致了流域产汇流规律的显著变化, 使得产流系数大大提高, 汇流速度明显加快。因此相比城市化之前, 径流量大, 洪峰流量大, 过程尖瘦。为了提高城市设计洪水的可靠性, 要开展大量的水文实验, 分析提出不同土地利用(如柏油、水泥、草坪砖、绿地、树林、建筑等)和不同地形地势等条件下的设计洪水计算方法及其主要参数值(或取值范围)。

(3) 雨洪资源化应用方法和技术研究。一是洪水资源可利用量计算的关键技术研究。通过洪水资源利用与防洪安全、河流健康和生态环境的作用机理分析, 提出面向调度的洪水资源可利用量计算方法, 为洪水资源的调度利用提供基础; 二是研究雨洪-地下水水量的转化与交换机理, 开发新型地下储水空间雨洪回灌促渗技术, 为地下储水空间雨洪资源化利用工程提供技术支撑, 等等。

参 考 文 献:

[1] CAMORANI G, CASTELLARIN A, BRATH A. Effects of land-use changes on the hydrologic response of reclamation systems

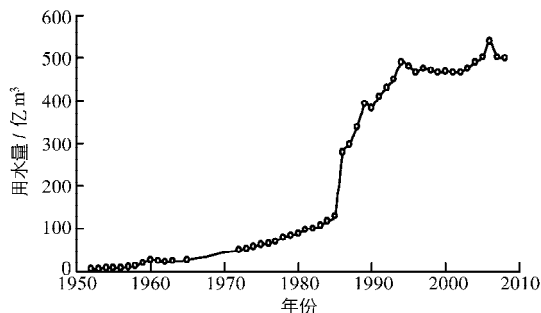


图 4 全国城市用水量(资料来源:中国水资源公报)

Fig. 4 Urban water consumption of China (data from: China Water Resources Bulletin)

- [J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2005, 30(8/10): 561-574.
- [2] 袁艺, 史培军, 刘慧慧, 等. 土地利用变化对城市洪涝灾害的影响[J]. *自然灾害学报*, 2003, 12(3): 6-13. (YUAN Yi, SHI Pei-jun, LIU Ying-hui, et al. Impact of land use change on urban flood disaster[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2003, 12(3): 6-13. (in Chinese))
- [3] WALLACE J R. The effects of land use changes on the hydrology and urban watershed [R]. Atlanta: School of Civil Engineering, Georgia Institute of Technology, 1971.
- [4] MAIDMENT D R. 水文学手册[M]. 张建云, 李纪生, 译. 北京: 科学出版社, 2002. (MAIDMENT D R. Handbook of hydrology[M]. ZHANG Jian-yun, LI Ji-sheng. Beijing: Science Press, 2002. (in Chinese))
- [5] 许有鹏, 石怡. 秦淮河流域城市化对水文水资源影响[C]//首届中国湖泊论坛论文集, 南京: 东南大学出版社, 2011: 14-23. (XU You-peng, SHI Yi. Impacts of urbanization of Qinhuai River basin on hydrology and water resource [C]// Proceedings of 1st China's Forum on Lakes, Nanjing: Southeast University Press, 2011: 14-23. (in Chinese))
- [6] 万荣荣, 杨贵山. 流域 LUCC 水文效应研究中的若干问题探讨[J]. *地理科学进展*, 2005, 24(3): 25-33. (WAN Rong-rong, YANG Gui-shan. Discussion on some issues of hydrological effects of watershed land use and land cover change [J]. *Progress in Geography*, 2005, 24(3): 25-33. (in Chinese))
- [7] 史培军, 袁艺, 陈晋. 深圳市土地利用变化对流域径流的影响[J]. *生态学报*, 2001, 21(7): 1041-1049. (SHI Pei-jun, YUAN Yi, CHEN Jin. The effect of land use on runoff in Shenzhen City of China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(7): 1041-1049. (in Chinese))
- [8] 朱恒峰, 赵文武, 康慕谊, 等. 水土保持地区人类活动对汛期径流影响的估算[J]. *水科学进展*, 2008, 19(3): 400-406. (ZHU Heng-feng, ZHAO Wen-wu, KANG Mu-yi, et al. Effect of human activities on flood season runoff in water and soil conservation region [J]. *Advances in Water Science*, 2008, 19(3): 400-406. (in Chinese))
- [9] URBONAS B, GUO J, TUCKER L, et al. Sizing capture volume for stormwater quality enhancement [J]. *Flood Hazard News*, 1989, 19(1): 1-9.
- [10] 南京水利科学研究院. “十一五”国家科技支撑计划重点项目“雨洪资源化利用技术研究及应用技术”总报告[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2011. (Nanjing Hydraulic Research Institute. Research on rainwater and flood resource utilization technology-supported by the supporting program of the “Eleventh Five-year Plan” for sci & tech research of China [R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2011. (in Chinese))
- [11] 程江, 杨凯, 刘兰岚, 等. 上海中心城区土地利用变化对区域降雨径流的影响研究[J]. *自然资源学报*, 2010, 25(6): 914-925. (CHENG Jiang, YANG Kai, LIU Lan-lan, et al. Impact of 60 years land use change on rainfall-runoff in central Shanghai [J]. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(6): 914-925. (in Chinese))
- [12] WALESH S G. Urban surface water management[M]. New York: Wiley, 1989.

The vital problems for the urbanization and urban hydrology today

ZHANG Jian-yun

(State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: With the rapid economic and social development, China is now in a period of rapid development of urbanization, which is confronted with a lot of acute problems for us to carefully study. Some impacts caused by urbanization such as precipitation and extreme storm, runoff generation and flow concentration in river basin, flood, demand and water supply and water resources protection, water quality and water environment, and water ecosystem are analyzed in this study. Based on the analysis of urban hydrologic effects, key problems on which the urban hydrology research is focusing are presented, such as the cause analysis of urban extreme storm, the calculation method for urban storm with flood, and the methods and key technology applied to rainwater and flood resources utilization, from the point of view of subject development and application.

Key words: urban hydrology; water resources; water environment; runoff generation and flow concentration