

城市雨水管理

北京雨水管控体系下年径流总量控制率实现效果分析

于磊^{1,2}, 潘兴瑶^{1,2}, 马盼盼^{1,3}, 邱倩影⁴, 杨默远^{1,2}, 张书函^{1,2}

(1. 北京市水科学技术研究院, 北京 100048; 2. 北京市非常规水资源开发利用与节水工程技术研究中心, 北京 100048; 3. 西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048; 4. 中关村海绵城市工程研究院有限公司, 北京 100085)

摘要: 北京市基于地方标准《雨水控制与利用工程设计规范》(DB 11/685—2013), 提出了“3、5、7”的雨水管控措施体系, 并以水影响评价审批制度为抓手, 确保实施效果。为探讨该体系能否满足海绵城市建设对年径流总量控制率的要求, 综合采用公式计算、实测数据分析和数值模型模拟3种方法进行分析。结果表明, 现有雨水管控体系是从源头推动海绵城市建设的有效措施, 可以在地块层面上实现年径流总量控制率不低于85%的控制目标; 单纯依靠地块层面上的管控措施, 无法在建成区实现区域层面的海绵城市建设目标; 老旧小区开展海绵化改造受各种因素制约, 改造效果并不理想。为此, 建议在现有管控制度的基础上, 进一步强化规划层面上的雨水管控; 增加对面源污染负荷削减、雨水资源利用等指标的管控要求; 探索基于水影响评价制度的海绵城市管控体系, 并先期在通州国家海绵城市试点区试行。

关键词: 北京市雨水管控体系; 年径流总量控制率; 数值模拟; 海绵城市

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)19-0121-05

Analysis on the Realization Effect of Volume Capture Ratio of Annual Rainfall under the Existing Rainwater Management and Control System in Beijing City

YU Lei^{1,2}, PAN Xing-yao^{1,2}, MA Pan-pan^{1,3}, QIU Qian-ying⁴, YANG Mo-yuan^{1,2}, ZHANG Shu-han^{1,2}

(1. Beijing Water Science and Technology Institute, Beijing 100048, China; 2. Beijing Research Center of Unconventional Water Resources Development and Utilization and Water-saving Engineering, Beijing 100048, China; 3. Faculty of Water Resources and Hydroelectric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 4. Zhong Guan Cun Sponge City Engineering Research Institute Co. Ltd., Beijing 100085, China)

Abstract: Based on the Beijing local standard of *Code for Design of Stormwater Management and Harvest Engineering* (DB 11/685 - 2013), “3, 5, 7” rainwater management and control measures system were proposed, and water impact assessment system was applied to achieve good results after implementation. Under the background of sponge city construction, whether the system can meet the

requirement of volume capture ratio of annual rainfall needs to be clarified. Three methods, namely the formula calculation, field data analysis and numerical model simulation, were used to analyze this question. The results showed that the existing rainwater management and control system was an effective measure to promote the construction of sponge cities from the source. It could achieve the target of volume capture ratio of annual rainfall not less than 85% at the lot level. It was impossible to achieve the target at the regional scale by simply relying on rainwater management and control system at the lot level in built-up areas. The sponge transformation in old communities was limited by various factors, and the effect was not ideal. It was suggested that the rainwater management and control system at the planning level should be further strengthened, the indicators such as the reduction of surface pollution load and the utilization of rainwater resources should be added in water impact assessment system in Beijing, and the sponge city management and control system based on Beijing water impact assessment system should be explored and applied in the Tongzhou national sponge city pilot area.

Key words: rainwater management and control system in Beijing City; volume capture ratio of annual rainfall; numerical simulation; sponge city

北京市是国内最早开展雨水利用的城市之一,为实现雨水资源化管理,提高城市防洪排涝能力,2012年北京市规划委员会印发了《新建建设工程雨水控制与利用技术要点(暂行)》(以下简称“技术要点”),要求在北京市新建建设工程(含改、扩建工程)的规划设计工作中,相关建设单位、规划设计单位及管理部门,除应认真执行雨水与利用相关标准、规范外,还应符合技术要点规定,施工图审查机构应严格按照此技术要点进行审查。2013年北京市出台了地方标准《雨水控制与利用工程设计规范》(DB 11/685—2013)(以下简称“规范”),使得北京城市雨水管理与利用走向了规范化道路^[1]。2014年北京市在全市推行“水影响评价制度”,所有涉水项目(包含控规调整、土地一级开发等规划层面上的项目以及具体建设项目)在立项之前都要进行水影响评价,要求项目实施低影响开发(LID),加强雨水的资源化利用,蓄渗利用应当满足规范要求,其中雨水调蓄容积、下凹式绿地率、透水铺装率这3个指标为强制性指标,业内简称“3、5、7”,即新建工程硬化面积达2 000 m²及以上的项目,需按每1 000 m²硬化面积配建容积不小于30 m³的雨水调蓄设施;凡涉及绿地率指标要求的建设工程,绿地中至少应有50%为用于滞留雨水的下凹式绿地;公共停车场、人行道、步行街、自行车道和休闲广场、室外庭院的透水铺装率不小于70%。除此之外,规范中还要求新建地块外排径流系数不大于0.4、改建地块不大于0.5。

由于水影响评价审查属于立项前置审批条件,加之“3、5、7”生动形象地将管理要求转化成了工程语言,因此实际起到了较好的管控效果^[2]。截至2017年10月,通过水影响评价审批制度,推动新建小型雨水利用工程309处,蓄水池容积共计30.7×10⁴ m³,透水铺装为104.5×10⁴ m²,下凹式绿地为48.9×10⁴ m²,新增年雨水综合利用能力为177.3×10⁴ m³,有力地 from 源头上推动了北京市的海绵城市建设。

基于“3、5、7”的管控体系能否实现海绵城市建设中对年径流总量控制率的要求目标,针对这一问题,宫永伟等人^[3]的研究表明,“3、5、7”措施可以实现普通住宅和多层住宅地块年径流总量控制率达到85%的目标;张宇等人^[4]通过数值模拟手段,也得出了类似结论。以上研究仅针对地块尺度,但海绵城市考核对象尺度为排水分区和区域尺度,在更大尺度上“3、5、7”能否实现控制目标,需要予以明确。同时,上述研究皆采用模型模拟手段,缺少实测数据支撑。

鉴于此,笔者综合公式计算、实测数据分析和数值模型模拟3种方法,研究现有雨水管控体系是否能够实现年径流总量控制率目标这一关键问题,以期为后续水影响评价制度与海绵城市管控二者衔接提供技术支撑。

1 研究方法

1.1 公式计算法

以北京市通州区某新建住宅小区为例,根据北

京市地方标准 DB 11/685—2013 提供的计算方法和北京市水影响评价要求,确定各类低影响开发设施的规模及调蓄容积,依据《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建》(试行)提供的方法,计算年径流总量控制率。

某新建建筑小区总面积为 2.23 hm^2 ,其中,建筑面积为 $9\,996 \text{ m}^2$ 、绿地为 $6\,700 \text{ m}^2$ 、道路及广场为 $5\,634 \text{ m}^2$ 。按照“3、5、7”管控要求,该地块需要配建 300 m^3 的调蓄池、 $3\,350 \text{ m}^2$ 的下凹式绿地和 $3\,944 \text{ m}^2$ 的透水铺装。除此之外,按照外排径流系数要求,该地块的外排径流系数不大于 0.4。

按照规范要求,在水影响评价报告编制过程中,其计算过程如下:

① 计算建设后的综合雨量径流系数 φ 。按照“3、5、7”的要求实施后,综合径流系数按式(1)计算。建筑屋顶(硬化地面)、透水铺装、绿地的径流系数分别按 0.90、0.40 和 0.15 取值。

$$\varphi = \frac{\sum F_i \varphi_i}{F} \quad (1)$$

式中 F ——汇水面积, hm^2

② 核算建设后项目区的调蓄容积 V 。 V = 调蓄池容积 V_1 + 下凹式绿地调蓄容积 V_2 。下凹式绿地按有效调蓄深度为 5 cm 计算(实际下凹深度按 10 cm 考虑)。

③ 核算外排径流系数是否满足要求。按照项目 3 年一遇管网设计标准计算(依据 DB 11/685—2013, 3 年一遇 24 h 降雨量为 108 mm),项目区的产流量 Q 按式(2)计算,扣除调蓄容积 V ,得到外排径流量 Q' ,按式(3)求得外排径流系数 Ψ ,若不大于 0.4 则满足要求;若不满足要求,则需要增大调蓄容积,直到外排径流系数满足要求为止。

$$Q = 10HF\varphi \quad (2)$$

$$\Psi = \frac{Q'}{10HF} \quad (3)$$

式中 H ——设计降雨量, mm

在上述计算成果的基础上,采用公式(4)计算项目建成后实际控制的降雨量 $H_{\text{控}}$,再通过年径流总量控制率与设计降雨量的关系(见图 1,采用通州区内 30 年日降雨数据计算获得)得出本项目的年径流总量控制率。

$$H_{\text{控}} = \frac{V}{10\varphi F} \quad (4)$$

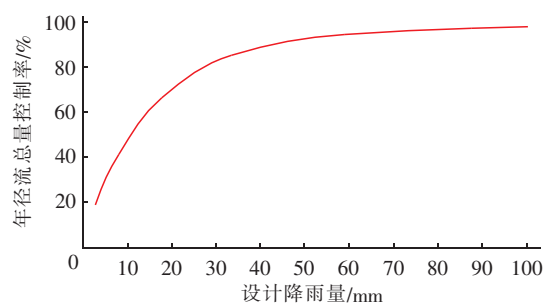


图1 北京市通州区设计降雨量与年径流总量控制率的对应关系

Fig. 1 Corresponding relationship between designed rainfall depth and volume capture ratio of annual rainfall in Tongzhou District of Beijing City

1.2 实测数据分析

本研究选择的典型小区位于北京市海淀区,是国内最早开展海绵改造的住宅小区之一,更为关键的是该小区具有近 10 年的连续降雨径流监测数据,是北京市为数不多的具有长序列监测数据的小区,具有代表性。小区总面积为 $23\,590 \text{ m}^2$,主要海绵设施包括透水铺装、下凹式绿地和调蓄池,具体下垫面情况如下:建筑物屋顶面积为 $5\,957 \text{ m}^2$,占比为 25.25%;硬化庭院、道路和停车场面积为 $5\,313 \text{ m}^2$,占比为 22.52%;透水庭院、道路、停车场面积为 $5\,067 \text{ m}^2$,占比为 21.48%;普通绿地面积为 $1\,519 \text{ m}^2$,占比为 6.44%;下凹式绿地面积为 $5\,734 \text{ m}^2$,占比为 24.31%。小区配建调蓄池为 600 m^3 。

1.3 数值模型模拟

以通州国家海绵试点区为例,采用数值模型手段,从单个项目和区域两个不同尺度开展研究。

1.3.1 研究区概况与模型构建

研究区属于通州国家海绵试点区的一部分,位于北运河与运潮减河之间的三角地带,面积约为 4.2 km^2 ,人口约为 10 万人,建筑密度为 51%,主要用地类型包括道路、绿地、建筑等。根据区内管线及竖向资料,将研究区域划分为 6 个排水分区,见图 2。

基于美国环保局开发的暴雨管理模拟软件 SWMM(5.1 版本)建立研究区排水模型, LID 设施包含下凹式绿地、透水铺装和雨水桶(代替调蓄池) 3 类。其中建筑小区类项目按照实际排水情况,划分排水单元,指定排水节点;市政道路基于检查井采用泰森多边形剖分排水单元,就近连入检查井。经统计,项目区共划分 668 个排水单元,管线长度为

26 073 m, 共有 519 个检查井。模型中根据用地类型的不同将汇水区划分为屋面、下凹式绿地、普通绿地、透水铺装、硬化地面、雨水桶等。基于 ArcGIS 平台, 利用项目区 1 : 500 地形图, 提取各排水单元的特征参数, 包括面积、不透水面积比例、长度、坡度等, 其余参数利用典型降雨监测数据进行率定, 并采用独立的另一场典型降雨监测数据对模型进行验证, 确保模型模拟结果满足精度要求。

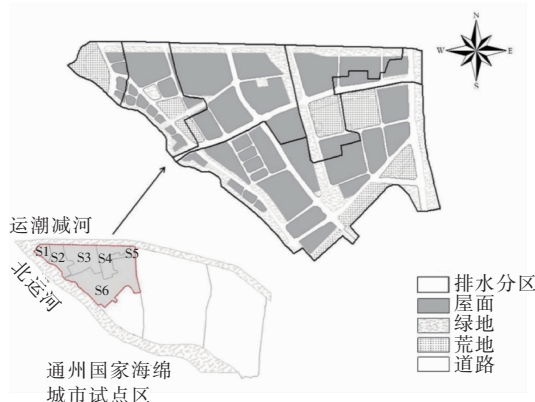


图 2 研究区示意

Fig. 2 Schematics of study area

1.3.2 情景设定与模拟

情景设定考虑新建和改造两种情况。对于新建区域, 考虑到建设情况和运行效果, 设定为理想新建情景、规模折损新建情景和效果折损新建情景 3 种。

①理想新建情景。建设情况: 所有建筑小区地块按照“3、5、7”标准执行, 市政道路按照“7”标准执行, 公园绿地按“5”标准执行; 运行情况: 所有不透水区域径流 100% 汇入 LID 设施。

②规模折损新建情景 (规模折损指海绵设施建成规模低于设计规模)。建设情况: 在理想新建情景的基础上, LID 按 80% 规模设定; 运行情况: 同理想新建情景。

③效果折损新建情景 (效果折损指运行中海绵设施效果没能达到设计预期, 如下凹式绿地实际运行时的汇水范围低于设计汇水范围)。建设情况: 同理想新建情景; 运行情况: 所有不透水区域径流 80% 汇入 LID 设施。

对于改造区域, 基于项目实际改造方案设定情景, 建设情况: 已建小区按照海绵改造方案进行改造, 市政道路保持现状不做改造, 公园绿地按“5”标准执行; 运行情况: 根据设计方案进行设置。

采用 2013 年—2017 年逐 5 min 降雨数据 (这 5 年的降雨总量依次为 574.0、643.1、649.9、842.4、706.3 mm), 蒸发数据采用多年月平均值, 对排口流

量进行逐年统计。

2 结果与分析

2.1 公式计算法

依据公式计算法, 得出所研究小区的综合雨量径流系数为 0.59、调蓄池容积为 300 m³、下凹式绿地的调蓄容积为 168 m³、外排径流系数为 0.39、控制降雨量为 36 mm, 最终得出年径流总量控制率可以达到 86%, 即现有雨水管控体系在建筑小区层面可以实现年径流总量控制率不低于 85% 的要求。

2.2 实测数据分析法

基于排口溢流量和降雨总量监测数据 (监测数据取自 2005 年—2017 年, 其中 2012 年—2015 年因设备故障数据缺失), 计算求得每一年的径流总量控制率在 89% ~ 100% 范围内, 求平均后得到该项目的年径流总量控制率为 90%。

2.3 模型模拟法

在项目层面上, 选择 3 个典型小区进行模拟分析, 结果见表 1。可知, 理想规划情景下皆满足海绵城市管控要求, 但实际改造情景下, 个别小区受实际情况制约, 可采用的设施种类和规模有限, 因此改造效果并不理想, 年径流总量控制率仅能达到 58.6%。在折损比例相同的情况下, 效果折损和规模折损对年径流总量控制的影响差异不大。在区域层面上, 所有情景区域年径流总量控制率皆低于 75%, 不满足试点区建成区的海绵城市建设目标 (年径流总量控制率为 75%)。由此可见, 若仅从源头进行管控或者实施海绵改造, 无法实现区域层面上的海绵城市建设目标。

表 1 不同情景下的年径流总量控制率

Tab. 1 Volume capture ratio of annual rainfall under different scenarios %

项 目	理想新建情景	规模折损新建情景	效果折损新建情景	实际改造情景
典型小区 A	86.2	84.1	84.6	83.7
典型小区 B	88.3	86.4	86.7	82.3
典型小区 C	89.1	87.3	87.5	58.6
区域整体	73.4	71.2	71.6	68.0

3 结论与建议

本研究综合公式计算、实测数据分析和数值模型模拟 3 种方法, 从小区尺度和排水分区尺度, 系统分析了北京市现有雨水管控体系是否能够实现年径流总量控制率目标这一关键问题, 主要结论如下:

① 3种方法的研究结果表明,北京市“3、5、7”雨水管控体系是从源头推动海绵城市建设的有效措施,可以在地块层面上实现年径流总量控制率不低于85%的控制目标。

② 模型模拟结果表明,在建成区单纯依靠地块层面上的管控措施,区域整体年径流总量控制率指标低于75%,无法实现海绵城市建设目标。

③ 老旧小区开展海绵化改造受各种因素制约,实际改造效果并不理想,部分小区改造后年径流总量控制率低于60%。

④ 在损失比例相同的情况下,海绵设施的规模折损与效果折损对年径流总量控制率的影响差异不大。

北京市“3、5、7”雨水管控体系在源头减控方面发挥了巨大作用,但要满足海绵城市建设的要求仍需进一步开展工作,建议如下:

① 进一步强化规划阶段和土地一级开发阶段的雨水管控,增加区域雨水径流统筹的要求(如绿地集中消纳周边客水、道路周边绿化带接纳非机动车道雨水等),充分利用公园、绿地、坑塘、景观水体等设施,以实现区域整体海绵城市建设目标。

② 除年径流总量控制率外,海绵城市还对面源污染负荷削减、雨水资源利用等方面提出了相应要求,建议水影响评价应考虑将上述指标纳入审批内容。

③ 充分结合北京市雨水管控体系的特点,在“不新增审批环节、不新增审批内容、不新增审批时限”的前提下,探索基于水影响评价制度的海绵城市管控体系,并可先期在通州国家海绵城市试点区实施。

参考文献:

- [1] 关卓今,王慧,张玉宝,等. 北京市《雨水控制与利用工程设计规范》的生态缺陷分析[J]. 中国水利,2018(3):28-30.
Guan Zhuojin, Wang Hui, Zhang Yubao, et al. Analysis of ecological deficiency related to *Regulations for Rainwater Control and Utilization Project Design* in Beijing

Municipality[J]. China Water Resources, 2018(3): 28-30(in Chinese).

- [2] 毕超,冯君园,李晓燕,等. 北京市水影响评价与建设海绵城市关系探讨[J]. 北京水务,2017(1):20-22.
Bi Chao, Feng Junyuan, Li Xiaoyan, et al. Discussion on the relationship between water impact assessment and sponge city construction in Beijing[J]. Beijing Water, 2017(1):20-22(in Chinese).
- [3] 宫永伟,李小宁,李俊奇,等. 建筑与小区雨水调蓄设施的径流控制效果分析[J]. 给水排水,2015,41(6):57-61.
Gong Yongwei, Li Xiaoning, Li Junqi, et al. Analysis on the performance of the runoff control for the rainwater storage facilities of buildings and residential districts[J]. Water & Wastewater Engineering, 2015, 41(6):57-61(in Chinese).
- [4] 张宇,孙仕军,张书函,等. 低影响开发模式下住宅小区年径流总量控制率[J]. 科学技术与工程,2018,18(10):273-278.
Zhang Yu, Sun Shijun, Zhang Shuhan, et al. Volume capture ratio of annual rainfall of residential area in low impact development mode[J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(10):273-278(in Chinese).



作者简介:于磊(1984-),男,山东栖霞人,硕士,高级工程师,主要从事海绵城市数值模拟及相关政策研究。

E-mail:yl@bwsti.com

收稿日期:2019-03-14