

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.12.015

# 城市健康水循环视角下海绵城市因地制宜建设的思考

李 婧, 龚道孝, 莫 罹, 马晓虹  
(中国城市规划设计研究院, 北京 100044)

**摘 要:** 2022年4月,住房和城乡建设部印发《关于进一步明确海绵城市建设工作有关要求的通知》(建办城〔2022〕17号),明确提出海绵城市建设应聚焦城市建成区范围内因雨水导致的问题。海绵城市建设是理念,而理念落地的关键是透视城水关系,并因地制宜地重塑城市健康水循环系统。从系统性、外部性和时空特性三个维度,透视十大城水关系不善导致的雨水问题,并结合典型海绵城市建设案例,对海绵城市因地制宜、实事求是的建设策略与路径进行再思考。

**关键词:** 海绵城市建设; 城水关系; 城市健康水循环

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)12-0094-06

## Reflection on the Construction of Sponge City According to Local Conditions from the Perspective of the Urban Healthy Water Cycle

LI Jing, GONG Dao-xiao, MO Li, MA Xiao-hong  
(China Academy of Urban Planning & Design, Beijing 100044, China)

**Abstract:** In April, 2022, the Ministry of Housing and Urban-Rural Development of China issued the *Notice on Further Clarifying the Requirements for the Construction of Sponge Cities* (Jian Cheng Ban [2022] No. 17). As clearly stated in the notice, for the sponge cities, the problems caused by rainwater within the urban built-up area should be attached great importance. The construction of sponge city is a concept, which can be realized by examining the relationship between cities and water resources, and the urban healthy water cycle system should be constructed according to local conditions. From the perspective of three dimensions of systematicness, externality, and space-time characteristics, this paper provides insight into the rainwater problems caused by ten improper city-water relationships. Also, in combination with typical sponge city construction cases, this paper contributes to the realistic reflection of the strategy and path of sponge city construction based on local conditions.

**Key words:** sponge city construction; city-water relationship; urban healthy water cycle

### 1 海绵城市建设现状和问题

党中央、国务院高度重视海绵城市建设,2013年习近平总书记提出“建设自然积存、自然渗透、自然净化的海绵城市”,2015年国务院办公厅印发《关于推进海绵城市建设的指导意见》,明确提出海绵城市建设的中长期目标。为有效评价海绵城市建设进展和成效,2019年住房和城乡建设部发布《海绵城市建设评价标准》(GB/T 51345—2018),对海绵

城市建设的评价内容及方法等做了规定,各地对海绵城市建设的进展、成效以及长效机制的建立和落实情况开展自评价,以评促建、以评促管。

从总体上看,各地积极推进海绵城市建设,将海绵城市建设理念逐步融入城市规划建设管理各个环节,建设了一批类型丰富的项目,出台了一批政策制度和地方标准,提升城市对雨水的利用、调蓄、吸纳能力,在城市内涝治理、涵养城市水资源、

改善人居环境等方面取得了明显成效。

从项目上看,新建项目采用“海绵+”模式,以海绵城市理念为统领,从规划建设阶段就将其落实到各类项目中;改建项目采用“+海绵”模式,在城市更新、老旧小区改造中,因地制宜地融入海绵城市建设理念。但存在对海绵城市建设理解有偏差、认识不到位的问题。如某些城市的大型湖体,从设计上就不允许雨洪水排入,周边排水管网逆坡排入河道而不进入湖体,进入湖体的河道建设节制闸,仅接纳生态补水。暴雨期间,本可作为调蓄水体的湖体未能发挥调蓄功能,甚至还需要向外泄洪。

从制度上看,制度制定较好但落实情况一般,规划建设管控制度的前期较好,但后期运行维护管理较差。如部分城市尚未建立“按效付费”等长效运行维护制度,不利于调动运行维护单位的积极性,存在“重建轻管”现象。运行维护主体不明确,特别是居住社区类项目缺少运行维护主体,部分项目因运行维护不力,导致设施荒废或功能失效,个别项目实施后甚至出现被擅自拆除、迁改等现象。

## 2 城市健康水循环视角下的城水关系

城市健康水循环视角下的城水关系见图 1。

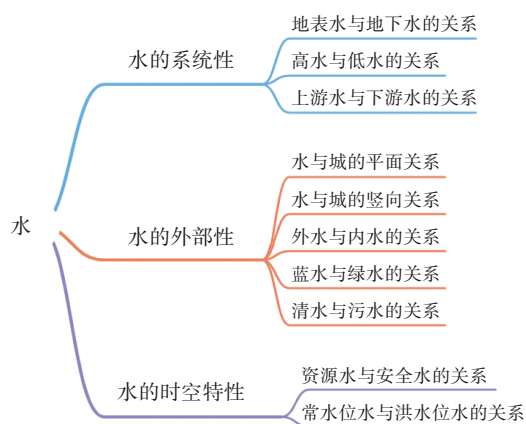


图1 城市健康水循环视角下的城水关系

Fig.1 Schematic diagram of city-water relationship from the perspective of the urban healthy water cycle

城市水问题是复杂的系统性问题,很多水问题现象很可能只是症状,其根源出在其他环节。如城市内涝问题,往往问题在上游,根子在下游;又如城市水环境问题,往往表象在水里,但问题的根源在岸上;还有一些城市内涝和水环境问题存在交织,导致水问题的成因与现象往往不是一一对应的关系,经常一个成因可以导致多个问题,而且成因间

也存在不可调和的问题,成因与现象之间又是循环增强的。因此,认识并解决系统性的水问题,需要系统的思维和科学方法,透视城水关系,才能因地制宜地找到破局之道。

### 2.1 水的系统性

城市水资源的系统性表现在三个方面:一是自然界中不同类型的水之间是可以相互转化的,海水、大气降水、地表水、地下水之间存在质与量的交换;二是城市区域以内和以外的水资源通常都处于同一区域或流域水资源系统之中,相互间可能存在密切的水力联系,同时也会产生交互影响;三是城市水资源开发利用活动过程中的不同环节(如取水、供水、用水、排水等)共同组成一个有机整体,各环节之间互相联系,任何一个环节的疏忽都可能会影响到整体的效益<sup>[1]</sup>。

#### 2.1.1 地表水与地下水的关系

近些年,随着气候变化及我国城镇化进程的持续加快,大量的草地、林地、农田和水域被不透水或透水性极差的下垫面替代,不透水下垫面的面积越来越大,导致地表水与地下水的关系不善,入渗及蒸发量减少,大雨容易形成径流,严重破坏了城市的自然水循环,特别是陆地内循环,伴随而来的是城市内涝频发、生态系统恶化等问题。例如,根据《济南市名泉保护总体规划》(2018年),济南市泉域补给区存在24处重点渗漏带,但其中5处已被城市建设完全覆盖,7处正在开发建设,总补给量的1/4受到城市开发建设的影响。由于具有山洪蓄滞功能的山前渗漏带被大面积侵占,因此地表水与地下水的连通补给通道被切断,造成泉水断流,同时雨天山洪也会快速汇集入城,易引发洪涝灾害。

#### 2.1.2 高水与低水的关系

城市水资源间存在密切的水力联系,位于地形高处的山地、建筑等,排水条件往往更好,而城市内部低洼带,如沿江低洼地区、下凹式立交桥、涵洞、地下车库等,往往是内涝高风险区。山地丘陵城市还面临由于强降雨引发突发性、暴涨暴落的地表径流,短时间内上游溪沟、山洪沟等产汇流加快,超出下游自然或人工排水通道(河道、渠道、涵洞等)泄洪能力时,山洪水会直接进入城市,造成大面积淹水。例如,北京2012年“7·21”特大自然灾害,地处丰台与房山区交界的京港澳高速公路出京方向17.5 km处南岗洼铁路桥下严重积水,积水路段长

957 m, 积水量  $18.3 \times 10^4 \text{ m}^3$ ; 平均积水 4 m, 最深处 6.91 m; 积水时间长达 54 h<sup>[2]</sup>。随着城市化进程的加快, 大量地面硬化, 地表径流系数不断增加, 同时原规划的排水分区受场地竖向影响而改变, 客水涌入桥下, 实际汇水量大大超过桥区的排水能力, 造成高水与低水的关系不善, 内涝积水严重<sup>[2]</sup>。

### 2.1.3 上游水与下游水的关系

在同一个排水分区中, 上游水与下游水也常常存在相互影响、相互制约的关系, 在缺乏水系空间有效管控的背景下, 城市建设侵占水系空间的现象频发, 上游水与下游水关系不善。不少城市内部行洪河道、闸站不达标, 上下游不衔接、节点卡脖子, 排水不畅。例如, 郑州金水河全段按照 20~50 年一遇的标准设防, 但在北闸口铁路桥处, 断面收窄, 只有 5 年一遇防洪标准, 导致上游多处片区排水不畅, 尤其是郑大一附院, 因排水不畅, 淹水严重。

## 2.2 水的外部性

城市水系统处于自然循环-社会循环的二元结构中, 由于水资源自身外部性较强的特征, 城市水系统往往受流域客水、陆源污染物、城市空间侵占等影响, 呈现洪涝顶托、清污混流、滨水空间私有化等问题。海绵城市视角下水的外部性关系见图 2。

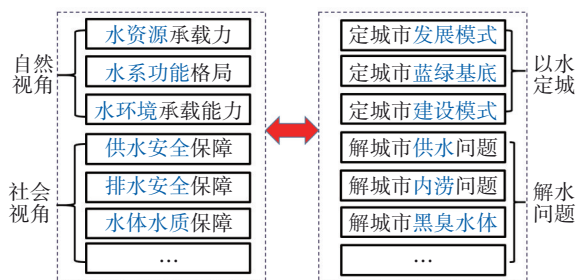


图2 海绵城市视角下水的外部性关系示意

Fig.2 Schematic diagram of the externality relationship of water from the perspective of sponge city

### 2.2.1 水与城的平面关系

水生态空间是水系生态功能保障基线的重要组成部分, 完整性是保障水系的自然性、多样性、连续性、系统性的前提, 是形成良性水循环的空间载体, 是水系健康的基础。但快速城镇化的过程, 并未达到水系利用与保护的和谐平衡, 人水争地, 水与城的平面关系不善, 城市建设侵占湖泊、湿地、坑塘等, 造成雨水调蓄空间不断缩小。

城市蓝线是水生态空间管控的有效手段, 但各

地实际操作过程中也面临着种种困难。一是蓝线划定无明确技术方法, 水系管控实施困难, 局部“蓝线”形同虚设。二是蓝线规划与城市规划缺乏联动, 相互适应性不足, 蓝线划定保留的水系与规划差距较大, 蓝线仅局限于重要水体, 规划中新建水体划定较为随意。三是蓝线管控要求设定不尽合理, 未综合考虑水安全、水景观、水文化等要素, 标准过高(低), 投资过大(小), 收效甚微。由此导致蓝线管控制度不能有效落地, 人水争地现象普遍。

### 2.2.2 水与城的竖向关系

竖向是城市三维空间管控的重要组成部分, 涉及道路交通、地面排水、建筑布置和城市景观等诸多领域, 情况复杂、综合性强。但实际操作中常存在竖向规划重视不足、规划缺乏系统性, 以及建设和管理存在盲目性等现象, 而采取的技术和方法往往更重视交通及景观功能, 从内涝防治角度对低洼地的用地性质和布局考虑较少, 甚至很多城市没有竖向专项规划, 只是在片区的控制性详细规划编制中有所涉及, 造成碎片化、割裂式的竖向规划设计, 城市竖向关系不利于排水, 城市洪涝积水风险大。

城市建设用地位于低洼地, 但并未设置相应的内涝防治及强排措施, 造成水与城市的竖向关系不善, 极易导致城市内涝积水。如郑州城东白沙片区, 整体地势低洼, 受贾鲁河洪水高水位顶托排水不畅, 建设过程中未提前建设强排泵站, 造成郑州“7·20”特大暴雨中整个片区内涝积水严重。

### 2.2.3 外水与内水的关系

城市排水安全和城市周边的大江大河、区域河流水系的行洪、泄洪以及区域滞洪能力密切相关。一些城市没有做好防洪和排涝的衔接, 外水与内水的关系不善。大江大河沿线城市由于上游流域性洪水过境, 加之区域强降雨或下游泄洪不足, 导致洪峰叠加, 短时间内河道洪水快速上涨, 洪水位超出城市堤防设防标准或城市低洼处标高, 导致洪水直接漫过河道堤防进入城市, 或通过排水管涵倒灌进入城市, 造成城市大面积淹水。例如, 2020年8月18日—20日, “长江2020年第5号洪水”“嘉陵江2020年第2号洪水”陆续通过重庆中心城区, 并大幅超过保证水位, 临江部分道路、商铺、居民楼宇被淹, 磁器口、朝天门等地受灾严重, 沿江基础设施和房屋建筑受损, 人民生活受到严重影响。



### 2.2.4 蓝水与绿水的关系

“蓝水”和“绿水”的概念是由国际著名水文学家、瑞典国际水资源研究所的玛琳教授于 20 世纪 90 年代首次提出的。按其理论分析,降水在陆地生态系统中被分割成蓝水和绿水两部分,其中蓝水是降水中形成地表水和地下水的部分,约占降水量的 35%,是可见的液态水流,包括河流、湖泊及地下含水层中的水;绿水是降水中下渗到非饱和土壤层中用于植物生长的水,约占降水量的 65%,是通过蒸发或蒸腾垂向进入大气的不可见的水<sup>[1]</sup>。海绵城市建设中,绿水的渗透、滞留、调蓄是对蓝水的重要补充,但实践中往往存在没有有效利用绿水空间,甚至加重城市排水系统负担的情况。例如,一些城市的公园绿地采用传统高绿地的模式建设,不仅无法消纳周边降雨径流,自身雨水还需排入市政管网。

### 2.2.5 清水与污水的关系

近年来,我国排水设施建设数量逐年增加,但各地尤其是南方地区的污水系统,普遍存在排水系统高水位运行和进厂污染物浓度偏低的问题。排水系统收集及处理效率低的问题与地下水、雨水、河湖水等外来水侵入排污管网有关。清水与污水混流,关系不善,日常高水位占据管道空间,增加内涝和污水外溢风险;清水稀释污水浓度,不仅降低了污水厂的处理效果,还增加了污水厂及泵站运行负荷等综合问题。例如,海口三孔涵原为排涝暗涵,由于沿线雨污水管网混错接,导致排涝暗涵变成合流管,晴天通过末端设置的闸门截流污水进入污水干管,受污水干管高水位影响,暗涵内积存了大量雨污混合水。雨天排涝需开闸门,但开闸会排污,不开闸又影响排涝,两相难全。

## 2.3 水的时空特性

城市水资源具有时空动态变化特性,不同的丰枯水位、不同的空间布局和断面形式,可组合形成不同的水系统结构关系,关系不善会导致系列问题,但通过优化调整其中的要素,也可将易引发灾害问题的涝水转换为可利用的雨水资源。

### 2.3.1 资源水与安全水的关系

降水、蒸发和径流是水循环过程的三个最重要环节,这三个环节构成的水循环决定着水量平衡,也决定着一个地区的水资源总量。城市建设对自然水循环过程造成了一定程度的扰动,使本可作为资源的水,很可能形成灾害。例如,济南市山前区

域地下水下渗性能好,城镇化前,山泉地下水循环形成泉水,但随着城市建设,泉域补给区被城市建设完全覆盖或部分覆盖,造成山洪地下循环不畅,入城后形成内涝积水。

### 2.3.2 常水位水与洪水位水的关系

城市水系是排水系统的骨干,但同时也担负着城市景观等多重功能,在城市密集建成区,往往面临河道空间受限的困境,常水位水与洪水位水关系不善,雨旱难两宜。例如,为了景观效果,一些城市水体日常在高水位下运行,且在传统的建设理念下,往往采用直立断面,空间上缺乏弹性,导致洪涝期蓄排能力不足。断面形式单一,加之为了满足景观高水位需求,使得常水位水与洪水位水不能形成弹性切换,常常造成旱季深沟,或汛期河道满溢排水不畅等问题。

## 3 海绵城市因地制宜建设

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》要求因地制宜建设海绵城市。水视角应成为城市规划建设管控中贯穿始终的重要要素,因地制宜、因城施策是重塑健康“水”与“水”关系、“水”与“城”关系的关键。水城关系因地制宜的核心是天、地、水、城四个维度,其中南北方差异化的降雨特征、大气污染特征是主要的气象影响因素;地形地貌特征、地质、地表和地下水文条件、土壤渗透性等是主要的下垫面影响因素;城市水循环中水资源、水环境、水生态、水安全特性是主要的城市水系统影响因素;城市的用地特征、竖向特征、排水系统特征是重要的城市影响因素,见图 3。

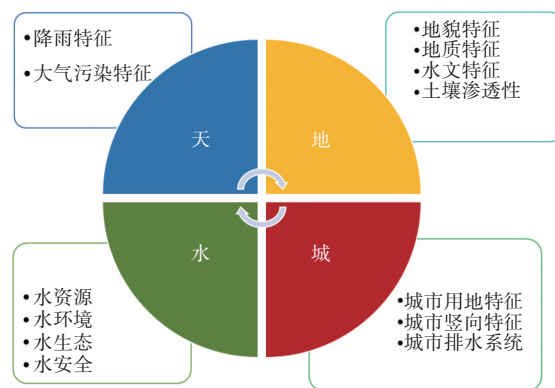


图3 海绵城市因地制宜建设维度示意

Fig.3 Schematic diagram of the dimensions of sponge city construction based on local conditions

① 区域流域统筹,构建南渗中分北蓄的大海绵格局——以济南为例。

济南南依泰山、北跨黄河,南北高差大,东西狭长布局。南部存在山洪入城风险,北部黄河水位高,大部分城区涝水无法排入,主要依靠小清河排水,但小清河排水能力受限。基于上述特征,因地制宜地构建“南部强渗、中部分流、北部滞蓄”的海绵城市建设格局,见图4。



图4 济南市水城关系结构示意图

Fig.4 Schematic diagram of water-city relationship structure in Jinan City

南部片区,利用泉水强渗带滞留山洪,重点保护修复近自然状态的12处重点渗漏带,地下水补给量 $4\,190.98 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,占24处重点渗漏带总补给量的74.3%,有效补给地下水资源并滞留山洪。

中部分流,利用腊山分洪渠分流山洪,疏解中部城区排涝压力。腊山分洪渠分流济南主城区西部高地山洪水,起点自兴济河,终点至玉符河,总长7.4 km,分洪流量 $200 \text{ m}^3/\text{s}$ ,河道断面满足100年一遇防洪标准要求。

北部地区,利用华山滞洪区、小李家滞洪区蓄滞雨洪,缓解小清河排水能力不足的问题。华山湖蓄滞洪区,面积 $2.51 \text{ km}^2$ ;小李家滞洪区,面积 $5.3 \text{ km}^2$ 。两个滞洪区联合使用,100年一遇可削减洪峰 $144 \text{ m}^3/\text{s}$ ,使得干流洪峰不超过 $923 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

② 蓝绿灰融合,点线面结合,重塑城市水循环系统——以沈阳为例。

沈阳市地处辽东山地丘陵西边缘、辽河平原北端,是典型的北方平原城市,现状建成区整体地势平坦,大部分高程在35~60 m,东北向西南坡向,地表坡度为0.06%~0.07%。城域范围为东山西水的

自然山水格局,东山双脉,低山丘陵生态绿楔延伸入城;西水三脉,构筑蓝绿交织的滨水生态网络。治理前,由于西部新开河、细河等排水出路存在卡口排泄不畅的问题,城区管渠排水能力不足,且缺少雨洪调蓄空间,导致内涝积水严重。基于上述特征,按照“东部拦蓄、西部扩容、北部蓄排、南部强排”的总体策略,充分利用蓝绿空间增强雨水削峰调蓄能力,整体提升城市排水防涝能力(见图5)。

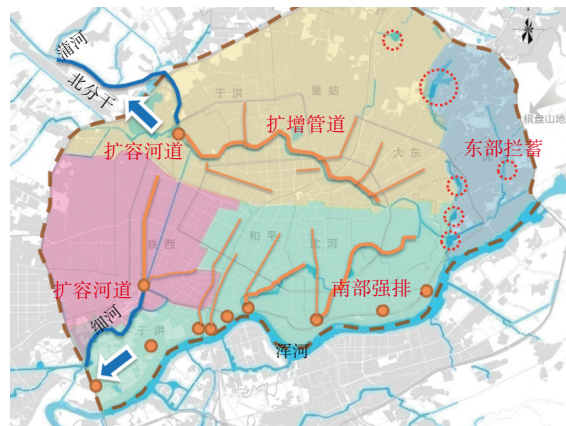


图5 沈阳市内涝积水治理的总体思路

Fig.5 General idea for waterlogging control in Shenyang City

东部拦蓄,构筑高水高蓄的生态安全屏障。利用棋盘山水库、水塘、洼地等现状调蓄空间蓄滞雨洪,构建南小河中游、湿地空间扩展调蓄雨洪能力,构建东部高水高蓄的生态安全屏障。

西部扩容,打通城市排涝通道卡口。河道排水出路改造拓宽3条河道,分别是北分干渠、小浑河和细河,改造河道长度达34 km,北部片区和西部片区河道排水出口新增城市涝水蓄排能力 $118 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

北部蓄排,构建城市排水防涝“四梁八柱”。构建片区内部的主干管渠排水通道,在新开河、南运河下方分别建设浅层排水隧道,管径分别为5.4、3.6 m,覆土10~15 m;充分利用丁香湖等河湖调蓄雨洪,调蓄能力增加 $56 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,系统解决了“下游拓宽难、上游排水难”的问题。

南部强排,优化排水分区缩减排水范围。南部靠近浑河区域,受外洪水高水位顶托、城市平原地区管道埋深较大等影响,不具备重力排放的条件。规划通过优化排水分区,尽可能缩减强排区域范围,采取布设排涝泵站的方式,抽排入浑河。

在城市排水防涝工程体系构建的基础上,推进

源头减排精准施策和雨水资源循环利用。源头减排精准施策:以片区为单元,源头新、改、扩建项目全面按照海绵指标要求建设,控制雨水径流量;地道桥等低洼地的内涝积水问题,通过提升泵排能力和增加调蓄池的方式系统解决,泵站提升能力从 $18.7\text{ m}^3/\text{s}$ 提高到 $39\text{ m}^3/\text{s}$ ,新增地道桥调蓄容积 $4.1\times 10^4\text{ m}^3$ 。雨水资源循环利用:源头就地循环回用于小区绿地浇灌,地道桥的调蓄池主要用于周边道路洒水,丁香湖等调蓄水体主要用于公园绿地浇灌。

③ 污涝同治,以时间换空间破解治水难题——以海口为例。

海口市大同沟片区位于城市老城区,排水管网欠账较多,地势低洼,易受潮水顶托、排水不畅易积水内涝,大同沟呈现污涝交织的城市水系统结构特征。大同沟沿线的污水管道由于存在破损问题,管道水位受海水涨落潮影响较大。高潮位时,管道水位随之上涨而溢流入大同沟,且排入大同沟的污染物受到末端海水顶托影响难以扩散,造成水体持续黑臭。基于上述特征,因地制宜地采取蓝绿灰融合,破解污涝同治难题。

针对上述满管溢流问题,采取降低河道水位措施,将 $1.5\text{ m}$ 的水深降低至 $40\text{ cm}$ ,以时间换空间,腾挪出滨水两侧的空间设置溢流截污管道。该管道不与污水系统直接连通,仅收集高水位溢流的旱天污水和雨污混合水,收集至椰子岛高效净化设备和人工湿地就地净化处理,尾水排入大同沟进行补水,解决了晴天污水在高潮位溢流入河问题,有效控制了雨天溢流污染。日常运行水位 $40\text{ cm}$ ,为大雨状态下增加了 $4\times 10^4\text{ m}^3$ 的调蓄空间,提升了片区蓄排能力,缓解了内涝积水问题。同时,在河道内部开展生态修复,恢复自然弯曲河岸线,提高水体自净能力,实现了水清岸绿、鱼翔浅底。

#### 4 结语

海绵城市建设是理念,应聚焦城市建成区范围

内因雨水导致的问题,而理念落地的关键是透视城市的城水关系,因地制宜地重塑城市健康水循环。在城市开发中,不能忽视流域区域与城市的关系,必须保护和构建良好的山水城关系。必须给水足够的空间,不能盲目改变自然的水系脉络,应合理规划排水分区,建立有利于排水的竖向关系。必须尊重水的系统性,充分考虑水体上下游、左右岸、岸上岸下治理和维护的联动效应,因地制宜综合采取“渗、滞、蓄、净、用、排”等措施,充分发挥山水林田湖草等自然下垫面对降雨径流的积存、渗透、净化作用。

#### 参考文献:

- [1] 邵益生. 城市水系统科学导论[M]. 北京:中国城市出版社,2015.  
SHAO Yisheng. Introduction to Science of Urban Water System [M]. Beijing: China City Press, 2015 (in Chinese).
- [2] 朱金良,刘洪伟,张赛,等. 城市下凹式立交桥内涝防治对策措施[J]. 中国防汛抗旱, 2015, 25(5): 12-14, 29.  
ZHU Jinliang, LIU Hongwei, ZHANG Sai, et al. Countermeasures for waterlogging prevention and control of urban concave overpass [J]. China Flood & Drought Management, 2015, 25(5): 12-14, 29(in Chinese).

作者简介:李婧(1987-),女,山东梁山人,硕士,高级工程师,中国城市规划设计研究院城镇水务与工程研究分院综合办(总工办)主任兼工程所所长,长期致力于城市水系统、海绵城市和城市市政基础设施领域的科研、规划和咨询工作。

E-mail:349992912@qq.com

收稿日期:2022-04-29

修回日期:2022-05-06

(编辑:丁彩娟)