

基于盐碱背景下天津生态城海绵城市构建模式

吕乐福^{1,2,3}, 池风龙³, 王志刚³, 李君彦³, 周国华³, 刘庆岭¹, 卢立波²

(1. 天津大学 环境科学与工程学院, 天津 300072; 2. 天津生态城投资开发有限公司, 天津 300467; 3. 天津生态城市政景观有限公司, 天津 300467)

摘要: 以典型滨海盐碱地区中新天津生态城为例, 结合区域环境特点和前期海绵城市建设工程实例, 总结并提出区域海绵城市建设实施路径和方法。天津生态城海绵城市建设将生态治理和环境保护作为发展的基本前提, 统筹考虑区域盐碱化特性和水资源污染等制约因素, 实行“系统构建、分区控制”城市规划, 采取因地制宜的建设策略, 充分与地区排盐系统、排水防涝系统、城市道路系统及公园绿地系统等相衔接, 形成了“水库-河流-湿地-绿地”复合生态系统和城市大海绵格局, 并取得了良好的生态效益、经济效益和社会效益。天津生态城海绵城市建设经验也为其他类似滨海地区的海绵城市规划建设提供了参考和借鉴。

关键词: 天津生态城; 海绵城市; 盐碱地; 建设模式

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)04-0018-06

Sponge City Construction Model of Tianjin Eco-city under Saline-alkali Condition

LÜ Le-fu^{1,2,3}, CHI Feng-long³, WANG Zhi-gang³, LI Jun-yan³, ZHOU Guo-hua³,
LIU Qing-ling¹, LU Li-bo²

(1. School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China;
2. Tianjin Eco-city Investment and Development Co. Ltd., Tianjin 300467, China; 3. Tianjin
Eco-city Municipal Landscape Co. Ltd., Tianjin 300467, China)

Abstract: Taking the Tianjin Eco-city in the typical coastal saline-alkali area as an example, this paper summarized and proposed the implementation path and method of regional sponge city construction in combination with the regional environmental characteristics and first-stage sponge city construction project. The sponge city construction took ecological management and environmental protection as the basic premise of development. It took into account the regional salinization characteristics and water resources pollution and other restrictive factors as a whole, implemented the urban planning of “system construction, district control”, and adopted the construction strategy adapted to local conditions. Moreover, it was fully connected with the regional salt drainage system, drainage and waterlogging prevention system, urban road system and park green space system, formed a reservoir - river - wetland - greenland compound ecosystem and urban sponge pattern, and achieved good ecological, economic and social benefits. The experience of the sponge city construction in Tianjin Eco-city has also

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX0710600203); 滨海新区第八批天津市“131”创新型人才培养工程(第二层次)资助项目

通信作者: 王志刚 E-mail: 1447673530@qq.com

provided reference for the planning and construction of sponge city in similar coastal areas.

Key words: Tianjin Eco-city; sponge city; saline-alkali soil; construction model

中国-新加坡天津生态城(以下简称天津生态城)是中国与新加坡两国政府间的重大合作项目,选址于天津滨海新区的盐碱荒滩,自然环境恶劣,面临水资源污染、土壤盐渍化严重和排涝难度大等问题。自2008年开工建设以来,始终秉承绿色发展理念,遵循“在开发中保护、在建设中修复、在发展中优化”的原则,成为国家首个绿色发展示范区,同时入选第二批国家海绵城市天津两个试点片区之一^[1]。天津生态城海绵试点片区占地面积22.8 km²,试点项目68个,其中已经完工41个,在建15个,开工比例达到82%。经过两年多的建设,天津生态城不断探索海绵城市建设的实现路径,在海绵城市规划与建设、水环境保护与治理、雨水控制与利用、盐碱地开发与修复等方面取得明显成效。

1 区域海绵城市建设需解决的问题

天津生态城建设之初,区域现状1/3是废弃盐田,1/3是盐碱荒地,1/3是有污染的水面,水质型缺水。针对区域这一特点,在海绵城市建设过程中需要解决以下问题:

① 水资源短缺,水质持续恶化

天津生态城辖区内水域较多,但淡水资源短缺,地下水和地表水矿化度高,水质差,利用难度大。周边水系蓟运河天津生态城河段,由于位于河流下游,积聚上游大量污染,难以调控,加之海水倒灌,导致水质咸化和恶化,为V类或劣V类水。区域内水系有故道河、静湖和惠风溪等,水质基本呈IV类水平。区域地下水埋深较浅,矿化度为3~30 g/L,地下水化学类型大多为氯-钠钾型,海水入侵和地下水反渗现象普遍。同时区域下泄洪水量大,风暴潮侵袭严重,防洪防潮压力大。

② 降雨集中,城市内涝风险大

地形因素、土壤特性和降雨特点均对区域城市排水建设产生不利影响,加剧了城市内涝风险。区域东临渤海湾,地势总体较为平坦,地貌形态属于海积低平原区,地面高程一般为2~6 m,呈现出南高北低的特点,场地坡度为1°左右,地势低洼,容易积水。土壤质地黏重,容重高,非毛细管孔隙少,渗透性差,水平和垂直渗透系数均在 1×10^{-7} cm/s左右,雨水下渗速度慢,易排水不畅。同时区域汛期为

6月中旬—9月中旬,平均降雨日为42 d左右,降雨量为441~568 mm。降水多集中于几场暴雨中,具有历时短、强度大的特征,夏季城市防汛压力大。

③ 土壤盐渍化严重,园林绿化难度大

区域土壤盐渍化作用强烈,盐碱地面积分布广,其中起步区全盐量在0.5%左右的土壤面积占未开垦区域面积的20.52%,全盐量为0.5%~1%的面积占63.25%^[2]。区域气候干燥,蒸发量是降雨量的3倍左右,季节性干旱和返盐现象明显,但地表水和地下水矿化度高难以利用,灌溉用水主要依靠市政管网水。另外,区域原生植物主要以盐生和耐盐植物为主,群落结构单一,植物生长严重受限,景观效果差,城市绿化和海绵建设难度大^[3]。

综上所述,天津生态城海绵城市建设过程需要正确看待区域水体多与水质型缺水之间的关系、城市排水防汛与雨水收集利用之间的关系和城市建设开发与生态环境保护之间的关系,采取科学合理的路径妥善解决区域现状问题。

2 区域海绵城市建设实施路径

针对区域城市内涝风险大、淡水资源短缺和园林绿化难度大等问题,天津生态城在海绵城市建设过程中,重点关注“水”和“盐”两个区域特征,其设计思路是在尽量不改变原自然生态面貌的条件下,结合地形特点,充分利用区域排盐系统,选择合适的海绵设施,满足雨水排放和土壤排盐的需求,实现“水盐同步迁移,雨水综合利用”的目标。区域海绵城市雨洪管理典型结构设计中,雨水下垫面主要为城市道路、园林绿地和内湖湿地等,采用的海绵设施包括透水铺装、植草沟、卵石沟、下凹绿地、植被缓冲带、湿塘和内湖等,同时也利用了园林绿化排盐系统(盲沟、石硝隔淋层和双螺纹渗管等),实现了对雨水的“源头削减、过程控制、末端治理”。城市整体排水思路为:雨水→下垫面→海绵设施→市政管网、排盐系统或泵站→内部河道、湖泊或湿地→蓟运河,具体实施路径如下:

① 一级排放

将生态城划分为六大雨水系统,其中生态岛片区及周围8 km²的雨水经公园绿地和生态护岸直接自流入静湖和故道河。其他五个区域26 km²为强

排区,雨水经过市政管网汇入泵站,中小雨时开启小泵,将雨水排入人工湿地;大雨时将雨水排入蓟运河故道。区域已建成青坨子雨水泵站、中部雨水泵站和南部雨污合建泵站,三座泵站总排水能力为 $49.7 \text{ m}^3/\text{s}$,可将区域中部和南部片区雨水排入故道河。当故道河水位升高至警戒水位时,利用外排泵站将蓟运河故道中的雨水外排入蓟运河。外排泵站排水能力为 $5.34 \text{ m}^3/\text{s}$,排水量为 $19\,200 \text{ m}^3/\text{h}$,可使故道河水面高度下降 8.43 mm/h 。在强降雨来临时,预先对故道河河水进行外排,防洪排涝能力更为明显。

② 两级调蓄

收集上游雨水,在调蓄湖中进行沉淀、循环和净化,减少雨水排放。生态城雨水调蓄空间主要形式为景观水体和调蓄设施。区域景观水体多,面积大,主要集中在故道河、静湖和惠风溪周边,其中故道河水面面积为 $228 \times 10^4 \text{ m}^2$,静湖为 $117 \times 10^4 \text{ m}^2$,惠风溪为 $12 \times 10^4 \text{ m}^2$,水面面积总计 $357 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。另外,区域内永定洲公园、中新友好公园、甘露溪公园和国家动漫园等绿地公园中人工河渠和湖泊,水面面积约为 $13.1 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。按照 0.50 m 调蓄高度计算,区域景观水体调蓄总容积达 $185 \times 10^4 \text{ m}^3$,可以容纳全区 54.4 mm 降雨量,雨洪调蓄能力大大增强。此外,区域内调蓄设施还具有一定的调蓄体积,包括建筑小区修建的小型蓄水池、雨水罐等储水设施,道路广场绿带中雨水花园、公园下凹绿地以及泵站调蓄设施等。其中,雨水花园建设凹面最低处下沉深度为 40 cm ,平均有效下沉深度为 25 cm ,用于积蓄雨水,并在雨水花园中最低点设置溢流井,用于排出多余的雨水。调蓄设施还充分考虑了景观设计需求,并设置雨水回收利用系统,雨水经适当处理可回用作绿化用水和景观水体补充用水。

③ 三级渗透

雨水下渗能够从源头削减径流,去除部分污染物,同时补充地下水。生态城通过改善土壤物理性质、增加下沉绿地使用和提高透水铺装率来实现雨水高效渗透。区域原土渗透系数低,在园林绿化种植时,原土与牛粪、草炭土和山皮砂拌和后,土壤渗透系数提高到 $0.001 \sim 0.1 \text{ cm/s}$,雨水下渗能力增强。另外,地表种植园林植物后,植物根系下扎,具有疏松土壤的作用,也能促进雨水下渗。区域在园林绿化过程中积极使用下沉绿地,在其种植土以下 1.2 m 处理设排盐系统。排盐系统由排盐渗管

($\text{dn}60\text{PVC}$ 双螺纹渗管,起始段用 UPVC 管堵封口,坡降为 0.2%)、集水管($\text{dn}110\text{HDPE}$ 双壁波纹管,坡降为 0.1%)、盲管沟($30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$)和石硝隔淋层(粒度约 1 cm 石硝颗粒,高度为 10 cm)组成,能够有效促进土体水分和盐分的排出,最终汇入市政雨水系统。区域市政道路、广场和停车场采用透水砖和透水混凝土代替传统混凝土硬化路面,道路边缘设置卵石沟和植草沟均能加速雨水下渗。已建成慢行系统 77 km ,全部采用透水砖或透水混凝土,总面积为 $70 \times 10^4 \text{ m}^2$,既可以下渗雨水,又能够提高慢行的舒适性。

④ 四级净化

雨水的收集净化对于再次利用起着至关重要的作用,生态城采取了生物滞留、下渗过滤、湿地自净和雨污处理四种方式。生物滞留是在园林绿化植物的根系、残枝落叶等作用下,减缓雨水径流速度,拦截大颗粒悬浮污染物并促进其沉降,设施形式如植被缓冲带、雨水花园和生物滞留带等。下渗过滤利用了透水铺装的微孔结构、园林绿地中石硝隔淋层和土壤团聚体截污过滤作用,雨水在下渗过程中达到净化效果。湿地自净是指在“湿地-微生物-植物”生态系统中,将污染物捕获、沉淀、吸附、固定、分解和利用,生态城湿地面积大,包括静湖、故道河和惠风溪等自然湿地和各公园内开挖的人工湿地。前期资料显示,生态城南雨水泵站出水口 $5\,000 \text{ m}^2$ 人工湿地年处理雨水量可达 $120 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。在雨污水处理前端,设置截污挂篮和初期雨水弃流装置,将污染浓度高的雨水送污水处理厂进行处理。生态城营城污水处理厂规划规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,尾水排放满足天津市《城镇污水处理厂污染物排放标准》(DB 12/599—2015)中A级标准,主要指标达到地表水Ⅳ类标准。

⑤ 五级滞留

生态城通过滞留设施,降低雨水汇集速度,削减洪峰流量,延缓了洪峰出现时间。根据现有地形和现状设施,在市政道路及绿地广场海绵建设和改造过程中,加大对绿色屋顶、下沉式绿地、盲井、调节池和植被缓冲带等滞留设施的使用。例如生态城低碳体验中心、服务中心等项目,结合建筑屋顶设置种植屋面和屋顶花园,总面积超过 $1\,000 \text{ m}^2$ 。永定洲公园海绵改造项目在现状海绵设施的基础上,新增下沉绿地、植草沟、前置塘等海绵滞留设施 $3\,550 \text{ m}^2$ 。

中成大道(中海大道至中新大道路段)下沉绿地、雨水花园和透水铺装的使用比例占绿地面积的36.8%。这些海绵设施的建设能够有效减少地表径流量,削减峰值流量,实现对雨水的调节控制。

⑥ 六级利用

生态城淡水缺乏,雨水资源非常宝贵,应加强雨水的综合利用,主要形式如景观补充用水、绿化灌溉用水、市政道路喷洒用水、公共厕所冲洗用水、屋面光伏发电板冲洗用水等。依据《中新天津生态城基础设施专项规划——河道水环境专项规划(2008—2020年)》,区域蓟运河、故道河、惠风溪、静湖每年需补充的水量约 $2\,436.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。区域园林绿化面积近 $755 \times 10^4 \text{ m}^2$,以用水量约 $1 \text{ m}^3/(\text{a} \cdot \text{m}^2)$ 计,园林绿化用灌溉水每年也需要 $755 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。在雨水利用方面,生态城公屋展示中心、低碳体验中心等8个项目较为成熟,通过设置雨水收集系统,每年可收集利用雨水约 $2\,800 \text{ m}^3$,用于绿化灌溉、市政浇洒和屋面光伏发电板冲洗。

从海绵城市建设上看,天津生态城综合运用了“渗、滞、蓄、净、用、排”六项措施,因地制宜,充分发挥了区域内河道与内湖湿地等自然水系的储水和调蓄作用,按照实际需求选择一种或几种海绵设施搭配,实现了自然生态系统与人工措施的完美结合。从土石方工程角度出发,采取平衡策略,减少对原地貌的干扰,营造微地形,形成景观层次,开挖排水排盐系统,使地下水位下降,保障雨水和盐分从排水系统排出。从植被构建策略上讲,增加种植土壤厚度,改善土壤物理性质,提高土壤渗透能力,满足了园林植物生长所需条件。从生态策略上说,盐碱化地区采用原状土栽植模式,选择乡土盐生植物和抗盐植物为主,引入部分外来品种,增加了区域生态系统的稳定性和群落的多样性。

3 区域海绵建设工程实例

3.1 甘露溪公园海绵建设

甘露溪公园位于生态城中部片区,东西长750 m,南北宽120 m,是生态城重要的生态廊道和居民休闲场所。原场地条件无地被覆盖,基本为裸露表土层,无明显的竖向变化。海绵方案以景观水系为中心,场地竖向整体调整,形成东高西低的整体走势,通过重力落差进行水体排放;整体区域水体面积减少,深度加大,逐步形成溪流状景观风貌。水体东侧设计跨路管涵与故道河形成水体连通,保持水体

动态平衡,东侧水位高程与河道一致。广场硬质铺装面积减少,以大量的疏林草地加以补充,消解大体量广场空间。通过竖向设计、管道收集等方式对雨水进行收集,利用雨水湿地、卵石沟、植被缓冲带等海绵设施将雨水径流引入景观水系。该项目年径流总量控制率达85%,年SS总量控制率达60%。该项目海绵建设平面图及典型断面见图1。

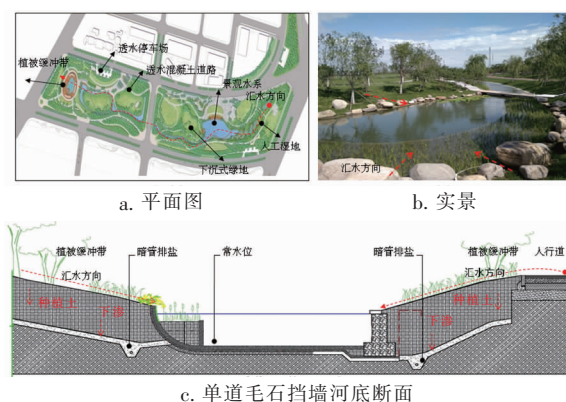


图1 甘露溪公园海绵建设平面图及典型断面

Fig. 1 Sponge construction plan and typical section in Ganluxi Park

3.2 中新友好公园海绵建设

中新友好公园海绵建设项目位于故道河南岸,占地约 $104.5 \times 10^4 \text{ m}^2$,其中陆地约 $41.7 \times 10^4 \text{ m}^2$,水域约 $62.8 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。原场地为废弃河道荒滩,大部分地表裸露,仅有部分芦苇和碱蓬等盐生植被分布。项目充分考虑场地的气候、环境特点,以河道滨水景观、生态湿地、休闲广场、植物景观为重点,划分四个雨水分区:分区一,雨水一部分进行收集,其余部分经滨河植被缓冲带进入故道河水体。分区二,高空步道东坡雨水经滨河亲水花园及叠水景观体进入湿地水体,建筑雨水经东侧植草沟传输至滨河植被缓冲带后进入故道河。分区三,高空步道西坡雨水进入滨河植被缓冲带,再进入故道河水体;主体建筑屋面雨水及广场收集雨水,在滨河入口广场集蓄,超标部分溢流至市政管道。分区四,雨水一部分进入下沉式广场、瀑布水体进行调蓄,一部分进入温室雨水模块,一部分进入雨水花园调蓄,超标部分由南侧植草沟经末端滨河植被缓冲带进入故道河。该项目年径流控制率不低于85%,可消纳40 mm以内的降雨量,生物滞留设施出口SS不高于30 mg/L,景观水体主要水质指标达到地表水Ⅳ类,盐碱滨河带中耐盐植物种类比例不低于30%、数量比例不低于

50%。该公园海绵建设平面图及典型断面见图2。

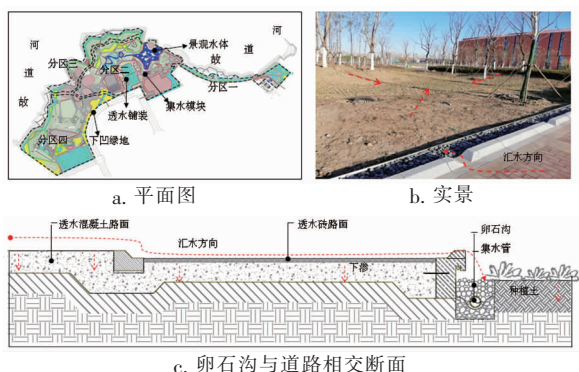


图2 中新友好公园海绵建设平面图及典型断面

Fig.2 Sponge construction plan and typical section in Sino-Singapore Friendship Park

3.3 永定洲公园海绵改造

永定洲公园改造主要是对园区一期道路进行修缮并改造为透水路面,长约1 100 m,路面约8 400 m²;将公园内约100个雨水口改造为控污型雨水口;对景观较差的绿地进行提升,增加下沉绿地、植草沟等海绵设施,占地约500 m²。项目地势较为平坦,现状绿地均为“向上凸起式”微地形,比邻近路面高约0.3~1.5 m。本次海绵设施改造对原有雨水管线及雨水口进行保留,将现状雨水口排水导向道路两侧卵石沟,再通过卵石沟把雨水分区域引入前置塘,而后溢流至中心湿塘。在湿塘中设置了四处溢流口,若水量过大则通过溢流口将雨水引入现状雨水管网排出。项目建设目标为年径流量控制率达到90%,对应降雨量为45.6 mm,年SS总量控制率为40%。该项目海绵改造平面图及典型断面见图3。

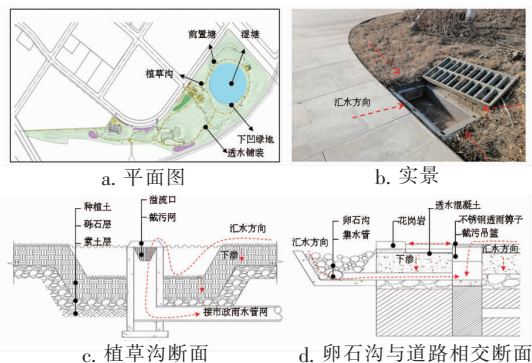


图3 永定洲公园海绵改造平面图及典型断面

Fig.3 Plan and typical section of the sponge reconstruction in Yongdingzhou Park

3.4 华五路海绵建设

华五路海绵建设项目位于生态城中部,为华五路中分带区域绿化工程。项目北侧为甘露溪公园,南侧为华五路20 m绿化带,道路排水坡向两侧,且两侧均有海绵收水设施。因此,中分带考虑为高位花坛的形式,仅收集自身雨水。设计场地全长约为800 m,工程面积约为6 279 m²,下垫面主要包括硬质铺装(路口人行通道)和绿地(中分景观绿化带)两部分,其中绿化面积为6 085 m²,硬质铺装面积为194 m²。绿化原土主要为粉质黏土,表层土为改良种植土,深度为0.8~1.5 m。根据雨水径流计算结果,设计方案中海绵设施为复杂型生物滞留设施,结合地形分散设置于绿地内部,最低处下沉深度为30 cm,平均有效下沉深度为12 cm。在复杂型生物滞留设施最低点设置溢流井,用于排出过量的雨水。项目最终建设目标是年径流量控制率达到85%,对应降雨量为36.3 mm,年SS总量去除率为65%。该项目海绵建设平面图及典型断面见图4。

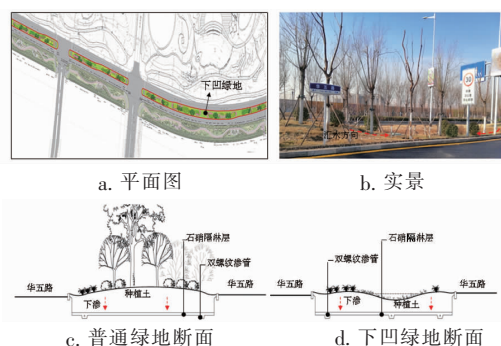


图4 华五路海绵建设平面图及典型断面

Fig.4 Sponge construction plan and typical section in Huawu Road

4 区域海绵建设效益分析

天津生态城海绵城市建设坚持“保护原则、恢复原则、低影响开发原则”,实现了区域“水”和“盐”的控制,符合当今可持续发展的趋势。在海绵城市建设过程中也取得了显著的生态效益、经济效益和社会效益。

① 生态效益

天津生态城海绵城市建设完整保留了自然湿地和蓟运河故道,预留鸟类栖息地,恢复自然水系、湿地和植被,增强了区域生态多样性和稳定性,改善了局部生态环境,提升了城市品位。实施水生态修复,重点对营城污水库进行清淤治理,水质得到明显改

善,指标达到地表水Ⅳ类标准。疏浚运河故道,新建生态廊道,完善城市基础设施,提高河道防洪能力,减少城市内涝。加强公园景观水体管理,消除黑臭水体,提升雨水控制和中水回收利用,增加地下水的补给,实现雨水资源循环利用。加大土壤改良力度,借助暗管排盐工程技术,建立以本地适生植物为主的植物群落,形成水库-河流-湿地-绿地复合生态系统,提升了区域景观形象,缓解了城市热岛效应,改善了局部生态小气候,营造了宜居舒适环境。

② 经济效益

天津生态城海绵城市建设绿地排水借助暗管排盐系统,水和盐共排,降低了城市建设工程成本,提高了土地开发和利用的价值。区域海绵建设初步实现了“大雨不内涝,小雨不积水”。雨水收集处理后用于园林绿化等,节约了水资源,降低了园林绿化养护成本。海绵城市建设创造了优美的生态环境,也促进了区域旅游休闲产业的发展,推动经济增长。

③ 社会效益

天津生态城海绵城市建设解决了涉及民生的城市内涝、城市积水和黑臭水体等社会问题,切实改善了市民生活环境,提升了城市的整体形象。2018年7月24日台风“安比”带来了强暴雨,天津市最大降雨量达190 mm以上,生态城各雨水泵站排水顺畅,处于低水位运行状态;路网通行顺畅,路面未出现大范围积水,雨停路干不看海。区域海绵城市建设增加公园绿地面积,为附近居民提供舒适公共休闲场地。建成透水慢跑徒步道路,满足了居民健身、休闲、娱乐的需求,提高了居民满意度。安装海绵设施标识牌,展示海绵设施断面,普及海绵设施作用和原理,提升了居民积极参与城市治理的热情。同时,区域海绵城市建设工程还可以提供更多的就业岗位,增加居民的就业机会。

5 结语

天津生态城海绵城市建设始终将生态治理和环境保护作为发展的基本前提,统筹考虑了地区盐碱特性条件和水资源问题,对城市进行“系统构建、分区控制”建设规划,与地区排盐系统、排水防涝系统、城市道路系统及公园绿地系统等相关专项相衔接,采取因地制宜的建设策略,形成“水库-河流-湿地-绿地”复合生态系统和城市大海绵格局。城市排水防涝能力显著增强,径流调蓄控污效能大大提高,雨水收集利用方式也呈现多样化和实用化。

天津生态城海绵建设克服了区域恶劣环境条件的限制,城市面貌由盐碱荒滩、污染水库质变为绿意盎然、源清流洁、生机勃勃的生态新城,也创造了滨海地区城市化的奇迹,其城市建设成功经验可为北方滨海盐碱地区城市发展提供借鉴。

参考文献:

- [1] 邹芳睿,宋昆,叶青,等. 北方滨海地区海绵城市建设探索与实践——以中新天津生态城为例[J]. 给水排水,2017,43(11):38-43.
Zou Fangrui, Song Kun, Ye Qing, et al. Exploration and practice of sponge city construction in northern coastal area—taking Sino-Singapore Tianjin Eco-city as an example[J]. Water & Wastewater Engineering, 2017, 43(11):38-43 (in Chinese).
- [2] 吕乐福,池风龙,刘庆岭,等. 中新天津生态城土壤盐分调查及改良对策[J]. 延边大学农学学报,2018,40(3):62-69.
Lü Lefu, Chi Fenglong, Liu Qingling, et al. Investigation and improvement of soil salinity contents in Sino-Singapore Tianjin Eco-city [J]. Journal of Agricultural Science Yanbian University, 2018, 40(3):62-69 (in Chinese).
- [3] 张立博. 中新天津生态城园林景观设计[M]. 上海:上海科学技术出版社,2013.
Zhang Libo. Landscape Design of Sino-Singapore Tianjin Eco-city [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2013 (in Chinese).



作者简介:吕乐福(1986-),男,陕西乾县人,博士,高级工程师,主要从事盐碱地改良与园林绿化工作。

E-mail:lvlefu@163.com

收稿日期:2019-05-12