

# 北方沿海地区海绵城市空间格局构建的探索与实践

——以大连庄河市示范区为例

董雷<sup>1</sup>,孙宝芸<sup>2</sup>

(1. 沈阳建筑大学建筑与规划学院,辽宁 沈阳 110168;2. 沈阳建筑大学交通工程学院,辽宁 沈阳 110168)

**摘要:**分析了北方沿海地区海绵城市建设的现状及特点,同时对大连庄河市示范区海绵城市技术措施的适用性进行了分析,通过选取海绵城市技术措施评价因子,根据加权综合叠加得到海绵城市技术措施选择评价结果。依据评价结果,从总体格局构建思路、雨水径流整体规划、低影响设施设计、降雪资源利用等方面对北方沿海地区海绵城市空间格局构建提出对策建议。

**关键词:**海绵城市;北方沿海地区;空间格局;对策建议

**中图分类号:**TU984.11<sup>+</sup>3

**文献标志码:**A

根据国家防汛抗旱总指挥部发布的信息,2012—2015年短短4年间,几乎每年都有百座以上的城市发生内涝<sup>[1]</sup>。近年来,北方地区城市内涝现象相当严重。据不完全统计,长春、北京、济南等城市近几年都发生过较为严重的内涝灾害,例如,北京分别在2004、2006、2007、2008、2009、2011年发生城市内涝,尤其是2011年6月下旬—7月下旬,竟发生了3次较为严重的城市内涝灾害<sup>[2]</sup>。

传统的城市建设理念是充分利用每一寸城市土地,实现土地的高强度开发。城市中大量的钢筋混凝土建筑和沥青道路的建设,使城市的生态系统和下垫层发生改变,导致雨水无法渗入地面,地表径流大幅增加,城市内涝现象日益严重,海绵城市正是在这种背景下产生的。海绵城市是指把城市建设得像海绵一样,降雨时对就近的雨水进行吸收、蓄

存、净化,干旱时将蓄存的水释放出来。海绵城市是我国一种形象化的称呼,国际上称为低影响设计和低影响开发策略(Low Impact Design or Development, LID)。海绵城市的本质是顺应自然,实现人与自然环境、土地利用、水生态环境、水循环的和谐相处,通过海绵城市的建设使得城市与生态系统相结合,尽可能恢复被破坏的水生态体系,使人与自然环境能够协调发展<sup>[3-4]</sup>。

## 一、北方沿海地区海绵城市建设的现状及分析

### 1. 北方沿海地区海绵城市建设现状

2014年11月,住房和城乡建设部发布的《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》<sup>[5]</sup>,到如今仅有5年时间,海绵城市建设在我国属于新兴领域,但在国外已有几十年的经验。我国由于幅员辽

阔、地域广饶,各个地区气候环境差异较大,各地海绵城市建设需根据自身条件并结合国外经验加以合理利用,但这仍需相当长的一段时间。

我国北方沿海地区有着独特的地理、水文、气候、人文等特点,2015年,我国第一批海绵试点城市中北方城市分别为迁安、白城、济南、鹤壁、西咸新区。这些城市中没有沿海城市,其对于北方沿海地区雨水量较大的海绵城市建设的借鉴具有一定的局限性。同时,由于试点城市的规模较小,自然条件相对较好,各地需要根据各自的特点进行分析建设。

## 2. 北方沿海地区海绵城市建设特点分析

北方地区与南方地区气候最大的区别在于四季分明、雨热同季、地域靠近草原沙漠地区,在海绵城市设计中需要考虑以下特点进行建设。第一,北方雨水多集中在夏季,冬季时雨水变成雪花降落,在建设中需要考虑夏雨冬雪的问题。第二,北方属于温带大陆性季风气候,降雨量少、风沙量大,在海绵城市设计中需要考虑景观防尘和排水防尘的问题。第三,北方四季分明,建设中需要考虑植被的季节问题。第四,北方降雨量集中在夏季,需要考虑丰水期和枯水期海绵体的存活问题。第五,积雪在北方冬季广泛分布,是干旱区重要的水资源补给方式,如东北地区平均积雪深度达5 cm左右<sup>[6]</sup>,在北方地区要考虑冬季积雪的堆积、储存、利用等问题。第六,北方沿海地区海绵城市建设中要考虑海潮与暴雨的双峰叠加问题。

## 二、大连庄河市示范区海绵城市技术措施的适用性分析

### 1. 大连庄河市示范区特点分析

大连是我国第二批海绵试点城市,庄河市作为大连主管下辖市是大连海绵城市建设的主要示范城区。庄河海绵城市示范区位于鲍码河入海口,属于填海造地区域,区域内部高程为-0.307~12 m,高程变化不大(见图1)。目前,示范区内部高程北部偏低,需要进行土地重新平整,以确保示范区内的汇水

分区合理组织。由于庄河市地处东北丘陵山区,受山脉地形、洋流和温带季风性气候的影响,其降水在时空分布上主要呈现年际、时程分配不均,地域分配差异较大的规律。

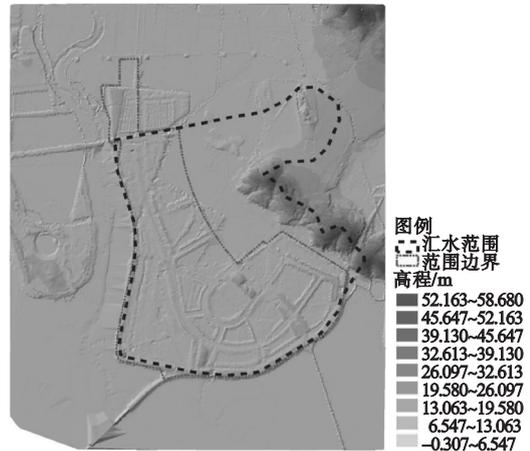


图1 示范区用地及汇水范围

### 2. 海绵城市技术措施评价因子选取

海绵城市技术措施分为“渗、滞、蓄、净、用、排”6种模式。城市的土地条件、土地利用、生态环境等因素对海绵城市技术措施的工作效率产生不同的影响,不合理的海绵城市技术措施会造成严重的经济损失和不必要的污染。海绵城市技术措施的评价因子选取原则应依据可行性、代表性和区域完整性进行选择。依据选取原则并结合示范区的实际情况,选取土地条件、土地利用和生态环境3个主要影响因素进行评价分析(见表1)。

表1 海绵城市技术措施的评价因子

影响因素	评价因子
土地条件	高程、坡度、土壤地质
土地利用	用地性质
生态环境	水源保护地、洪水淹没区

### 3. 海绵城市技术措施影响因素分析

(1)土地条件因素。国内外实践经验表明,场地的地形坡度对海绵城市技术措施的效率具有显著的相关性。坡度条件影响地表径流的速度,坡度越平缓越利于“渗、蓄、净、滞”等措施的有效实施,达到控制径流总量的目的。一般情况下,坡度越大,“渗”和“滞”的效率越低,一般界线区临界坡度为8°和15°(见表2)。由于场地的海拔高程变化

越大,雨水存留的时间越短,滞留难度越大,下渗强度越差,根据坡度大小对示范区进行分值赋值。

表2 海绵城市技术措施坡度评分标准

坡度/(°)	评分
>15	30
8~15	70
<8	100

示范区场地坡度大部分小于8°、高程大部分低于8.5 m,地形优势较好,根据表2的坡度评分标准基本可采用“渗、蓄、净、滞、用、排”的海绵城市技术措施,仅有接近外围区域部分的高程高于8.5 m,不宜采用“渗”措施。示范区外围山体部分高程高、坡度大,不宜采用“渗、滞”措施。

土壤地质因子是土地条件因素里的重要内容之一,不同类型的土壤下渗能力对海绵城市技术措施产生的效率影响不同。“渗”是海绵城市建设中重要的技术措施,尤其在末端调控海绵城市技术措施中受土壤下渗率因素影响较为严重,因此,土壤地质分布是海绵城市土地条件因素中重要的分析因子。不同的土壤类型评价分数也不同(见表3),土壤类型中以棕壤、潮棕壤为佳,草甸土次之,沼泽土最差。

表3 土壤类型评分标准

土壤类型	评分
沼泽土	30
草甸土	70
棕壤、潮棕壤	100

示范区由于靠近鲍码河入海口,其范围内的土壤类型大部分都是沼泽土,评价分数较低,不适合做“渗”类型海绵城市技术措施。根据示范区地质情况,在海绵城市建设中应采用渗透系数较高的土壤作为回填土壤来进行海绵城市技术措施的建设,并因地制宜布置下渗雨水控制措施。

(2) 土地利用因素。用地性质不同产生的雨水径流条件不同,雨水调控目标也不同。城市雨水分区排水是雨水排放的重要管控规则,用地性质对于措施选取具有重要参考意义。在海绵城市建设中工业用地是对海绵城

市技术措施影响最大的,因为流经工业用地的雨水径流具有一定污染性,如采用“渗”的海绵城市技术措施会污染地下水源。对示范区的气候条件和土地性质进行分析,考虑北方冬季冻融影响,在示范区内除城市道路用地外,结合具体情况推广使用“渗”的海绵城市技术措施。

(3) 生态环境因素。海绵城市的目标是营造一个生态安全的水环境,环境因素是海绵城市技术措施选取的重要因素。随着城市的快速发展,水资源供需矛盾将日益凸显,示范区的水资源量比较紧张,因此,在选取海绵城市技术措施时,应对水源地生态保护着重考虑。对于水源地和保护区等重要的生态节点或保护节点,要注意避免采用“渗”的海绵城市技术措施,应尽量净化雨水,以避免水污染影响水安全,并防止雨水下渗对建筑及保护区的破坏。示范区地势高低起伏,存在积水节点和被雨水淹没的范围(见图2)。海绵城市建设中需要根据地区实际情况将排水的薄弱节点作为雨水的汇集点,结合下渗及滞留净化的海绵城市技术措施进行建设。

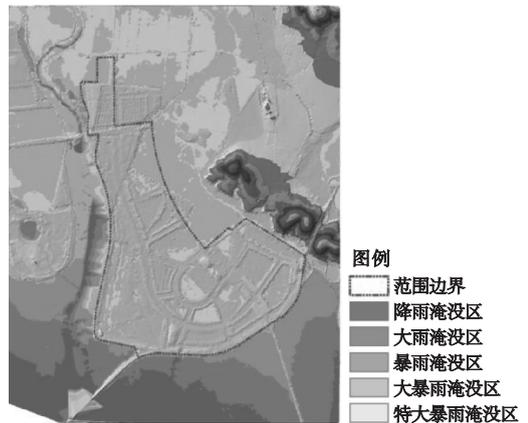


图2 雨水淹没范围

#### 4. 示范区海绵城市评价结果

示范区内根据海绵城市技术措施建设的适宜性分为适宜建设区、有条件建设区和限制建设区。适宜建设区范围内可采用所有海绵城市技术措施;有条件建设区因为土壤具有一定的污染风险或下渗能力较差等原因,应尽量避免采用“渗”的措施,而主要考虑“蓄、滞、净”等措施;限制建设区的限制条件

较多,对于这些区域尽量考虑“净”的海绵城市技术措施。

通过软件数据叠加统计分析,适建区内海绵城市技术措施以措施选取评价价值作为建设依据,评价价值越高越适宜建设,评价价值越低则越不适宜使用渗透技术。庄河示范区的海绵城市技术措施选择依据加权综合叠加最终分析得出的海绵城市技术措施选取评价价值如图3所示。

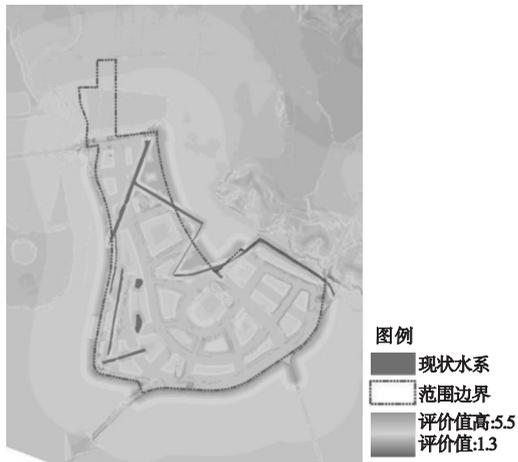


图3 海绵城市技术措施选取评价价值

海绵城市技术措施选取上以地理信息系统(Geographic Information System, GIS)分析为基础,逐步形成与区域生态系统相协调的海绵城市技术措施选取机制。海绵城市技术措施的建设,则以海绵城市技术措施选取评价价值分析为基础,打造雨水花园、生物滞留池、屋顶绿化、透水铺砖等海绵体系统,提高示范区内的径流量控制能力和污染净化能力。

### 三、大连庄河市海绵城市空间格局构建的对策建议

在海绵城市建设中,示范区采用源头削减、中途转输、末端调蓄等多种手段,通过“渗、滞、蓄、净、用、排”等多种功能措施,建设功能型单元,实现城市的“海绵”功能<sup>[7]</sup>。示范区的海绵城市建设通过顶层设计,形成汇水、渗水、蓄水、滞水、净水以及排水的一个完整的海绵系统。

#### 1. 海绵城市空间格局构建思路

总体空间格局分3个层面考虑:第一,年

降雨量80%控制设计(源头控制)。主要依靠各个地块内的LID海绵设施,通过源头控制和中途传输将雨水进行滞留下渗和回收利用,达到年降雨量80%(34.9mm)的源头控制。第二,3年一遇的雨水管网设计(末端调蓄)。对于超过年降雨量80%控制的雨水量可通过“绿+灰”雨水管网系统形式排放。该系统主要以城市的传统雨水排放管线为基础,针对海绵城市的需求,通过植草沟、景观河流等建设绿色排水系统,形成新型“绿+灰”雨水管网系统。第三,20年重现期雨水防涝设计(防洪排涝)。海绵城市建设中应考虑极端情况,20年一遇的超标雨水通过泄洪通道进入区域蓄洪空间,待雨停后通过排水渠进行排放。建设中要考虑暴雨和海潮叠加的情况以及海水顶托合理设计蓄洪量。

#### 2. 示范区海绵城市空间格局构建

根据示范区用地性质、地形地貌,结合现有河流走向以及道路情况,在LID技术的基础上,通过系统改造将雨水管理与净化管网相结合,重新梳理河道,建设北方沿海地区独有的海绵景观空间格局。示范区海绵城市系统形成了“两轴五区多节点”的海绵城市景观空间格局(见图4),使其满足国家海绵城市建设标准的同时兼备观赏性与实用性。



图4 示范区海绵城市景观总体格局

示范区内根据汇水区域划分为7个汇水分区,每个分区内形成一个汇水节点。示范区内四通八达的排水管线连接各个汇水节点,汇入调蓄湿地(中央景观公园),并将超容雨水通过南侧排水口汇入黄海。示范区外东侧雨水受坡度、下渗的影响会有过量雨水侵入,设置排水拦截通道将过量雨水从南侧引入黄海。污水处理厂的排水经示范区北侧中水湿地的净化,流入示范区的排水管网(景观河湖),成为区内景观河、景观湖,形成平时的景观水源,过量的雨水、景观水通过南侧排水口汇入黄海。示范区紧邻黄海,由于雨季时受风暴潮的影响,在海绵城市建设中需要考虑海水涨潮期间20年一遇雨水的蓄存量,结合示范区的中心调蓄湿地公园建设来保证城市的水安全。

### 3. 雨水径流整体规划

示范区在海绵城市的建设过程中,统筹考虑了道路管网、景观体系与排水系统的情况,在路边设置绿化带与生态明沟,形成生态明沟、雨水管网与城市水系的复合排水系统,成为北方沿海地区特有的海绵系统。首先,地块内部的降雨通过植草沟、下凹绿地、雨水花园等LID设施净化滞留后溢流到市政雨水管网;其次,市政雨水管网收集地块内溢流雨水及经过初期弃流的市政路面上的雨水,就近汇入到河流水系等蓄留排放空间;再次,中央水系收集周围地块的超标雨水,经景观生态岸线及生态湿地的净化最终排入到中心湿地公园。

### 4. 低影响设施设计

在示范区海绵城市建设中,主要海绵城市技术措施理念为“慢排缓释”和“源头分散”控制。低影响开发措施中优先采用生态树池、生物滞留设施、透水铺装、植草沟、雨水花园、下沉式绿地等海绵设施进行组织排水<sup>[7]</sup>,通过对道路竖向及横坡优化改造、现有绿化带及人行道的改造,在道路上形成城市的初级“海绵体”以减少径流总量;通过对现有雨排管网系统的改造,减少溢流污染,增加过水断面,增强城市防洪排涝能力。

### 5. 降雪资源利用

北方地区四季分明,夏天的雨水到冬季变成降雪形成积雪。城市中对降雪的合理堆放以及积雪融化后雪水资源的合理利用,既可以减轻城市旱情又能补给城市地下水。例如,美国北部一些地区采取绿化带低于路面的设计方法,采用机械除雪的方法将积雪堆积于绿化带中,达到涵养水源的目的<sup>[8-10]</sup>。

我国现有海绵城市设计理念中,缺少对城市降雪资源处理及利用的考虑。在示范区的海绵城市空间格局体系的构建过程中,笔者创新性地考虑了城市道路横断面的积雪堆积空间的设计以及积雪融化后下渗涵养水源的海绵建设。

### 6. 示范区海绵城市相关的措施方案

示范区内相关海绵基础设施建设包含河流水系建设、道路系统、城市公园及绿化用地景观等。海绵城市技术措施主要功能型单元有:生态滞留区、生态树池、生态植草沟、透水铺装等。

(1)生态滞留区。道路红线内设置下凹式绿地,汇集机动车道及步行道上的雨水,经过滤拦截、沉淀及初期弃流等海绵城市技术措施后,雨水流入绿化带内的生物滞留带进行净化和转运,之后汇入街区雨水花园内,通过溢流井将超标雨水引入生态明沟,再经雨水管网汇入到城市中央水系。雨水花园、下凹绿地、生态明沟等均属于生态滞留区。

(2)生态树池、生态植草沟。城市广场、路边的树池可改造为生态树池,对雨水进行汇集并净化下渗,场地通过植草沟形成整体排水系统。生态植草沟采用下沉式,两侧种植土内设置过滤织物,底部设卵石过滤层、生态滞留土,保留现状乔木,地被采用芒草、美人蕉等抗性强或耐水湿的乡土植物。城市雨洪较大时,水流通过路缘石上预留排水孔汇入植草沟底部,一部分雨水向下渗透、净化,进入城市地下水系统;一部分雨水在植草沟内形成径流,经过水生植物的滞留、净化,进入更高一级的生态雨洪处理系统,如城市人工湿地、雨水花园以及雨水箱等。

(3)透水铺装。在人行道、停车场等处采用透水性铺装材料,材料主要为天然石子、透水性地坪、透水路面、透水陶瓷砖、透水混凝土等。透水路面下铺设经特殊处理的沙石层,可使路面的雨水迅速渗入到地下。透水铺装不仅有保留水分、缓解城市扬尘作用,还有降低地面平均温度、减轻城市热岛效应等作用。

#### 四、结 语

海绵城市的建设应针对各个城市的特点和需求,综合规划、因地制宜,打造属于每个城市独有的海绵体系。北方沿海地区海绵城市建设在实际过程中不仅要考虑城市的洪涝灾害,同时也要考虑城市的夏雨冬雪水资源的利用问题、丰水枯水期的海绵体设施问题、沿海风暴潮叠加等问题。通过深入研究本课题,能为北方沿海地区海绵城市建设提供一些借鉴。

#### 参考文献:

[1] 张从欣. 基于海绵城市概念下给排水防涝系

统建设问题探讨[J]. 宏观经济管理,2017(增刊1):330-331.

- [2] 吴玉成. 我国城市内涝灾害频发原因分析[J]. 中国防汛抗旱,2011,21(6):7-8.
- [3] 孙庆亮,李阳阳.“海绵城市”理念在城市道路设计中的应用[J]. 工程技术(文摘版),2016(11):74.
- [4] 仇保兴. 海绵城市(LID)的内涵、途径与展望[J]. 建设科技,2015(1):1-7.
- [5] 车伍,赵杨,李俊奇,等. 海绵城市建设指南解读之基本概念与综合目标[J]. 中国给水排水,2015(8):1-5.
- [6] 张海军. 2000-2009年东北地区积雪时空变化研究[D]. 长春:吉林大学,2010.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 海绵城市建设技术指南:低影响开发雨水系统构建(试行)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [8] 王振华. 城市降雪资源化利用系统设计 with 实验研究[D]. 北京:北京林业大学,2011.
- [9] 顾永强. 国外应对雪灾的做法值得借鉴[J]. 中国应急救援,2010(1):50-53.
- [10] KORETSKII V E. A system for disposal of snow collect from city highways[J]. Chemical and petroleum engineering,2004(40):9-10.

## Practice and Exploration of Eco - Sponge City's Spatial Framework Construction in Northern Coastal Areas : Taking Zhuanghe Demonstration Area in Dalian as an Example

DONG Lei<sup>1</sup>, SUN Baoyun<sup>2</sup>

(1. School of Architecture and Urban Planning, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China; 2. School of Transportation Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

**Abstract:** The present situation and characteristics of Eco - Sponge city's construction in northern coastal areas are analyzed in this paper. The applicability of Eco - Sponge city's technical measures in Dalian Zhuanghe demonstration is also analyzed. By selecting evaluation factors of technical measures of Eco - Sponge, we get the result of evaluation for technical measures selection of Eco - Sponge city. Based on the evaluation results, the corresponding measures are put forward for the spatial framework structure of Eco - Sponge city in northern coastal area, such as the ideas of integrative construction, overall planning of rainwater runoff, low - impact facility design, the resource utilization of snowfall, etc.

**Key words:** Eco - Sponge City; northern coastal area; spatial framework; countermeasures and suggestions