

海绵社区水资源优化管理研究——以天津生态城某社区为例

杨瑾 项子倍

北京建筑大学 城市经济与管理学院, 中国·北京 100044

摘要: 近几年海绵城市理念的出现、海绵社区的建设, 有效地减少了城镇化的快速建设导致城市无法承受重压、产生路面积水问题以及雨水内涝等灾害发生的可能性。本文研究的社区位于天津市生态城, 经过实际数据法调查到该研究社区总面积为 85597.19m²。其中, 总用地面积为 47858m², 其中建筑屋面面积为 15865m², 绿地面积 16695m², 道路及广场硬化面 15298m²。采用模型模拟法设计配建的海绵设施为 185m³ 调蓄池、1800m² 下凹式绿地、1880m² 的雨水花园。对该社区设计两种不同的海绵治理措施, 分别是“下凹式绿地+蓄水池+透水铺装”的方式和“下凹式绿地+雨水花园+透水铺装”的方式。最后公式计算法得出: 方式一海绵化治理方案有 12% 的雨量被收集和蓄存, 而方式二海绵化治理方案有 9% 的雨量被收集和蓄存。通过雨水利用率的变化, 可以说海绵社区的建设是“一举多得”的雨洪管理技术, 既可以有效地提升社区雨水的利用率, 还可以有效地改善社区的生态效益, 实现人类生活和城市建设的综合效益化。

关键词: 海绵社区; 水资源管理; 海绵措施; 综合效益

Research on Optimised Water Resource Management in Sponge Communities: A Case Study of a Community in Tianjin Eco-city

Yang Jin, Xiang Zibei

School of Urban Economics and Management, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, China Beijing 100044

Abstract: In recent years, the concept of sponge cities and the construction of sponge communities have effectively reduced the likelihood of disasters caused by rapid urbanisation, such as the city being unable to withstand heavy loads, road waterlogging, and rainwater flooding. The community studied in this paper is located in Tianjin Eco-city. According to actual data surveys, the total area of the study community is 85,597.19 m². Among this, the total land area is 47,858 m², with building roof area of 15,865 m², green space area of 16,695 m², and hardened road and square area of 15,298 m². Using model simulation methods, the designed sponge facilities include a 185 m³ storage tank, 1,800 m² sunken green space, and 1,880 m² rain garden. Two different sponge management measures were designed for the community: one is the "sunken green space, storage tank, permeable pavement" approach, and the other is the "sunken green space, rain garden, permeable pavement" approach. Finally, formula calculations show that in the first sponge management plan, 12% of the rainwater is collected and stored, while in the second plan, 9% of the rainwater is collected and stored. Through changes in rainwater utilisation rate, it can be said that the construction of sponge communities is a "multi-benefit" rain and flood management technology that can effectively improve community rainwater utilisation and enhance ecological benefits, achieving a comprehensive benefit for both human life and urban construction.

Keywords: Sponge community; Water resources management; Sponge measures; Comprehensive benefits

0 引言

人民把生产粮食中的水当作自己生命中赖以生存的最重要的东西, 因此, 水是人类在地球上生活最基本的物质, 是生命存在的基本条件。随着中国社会经济市场模式的改革和城镇化发展, 导致水资源短缺和污染的问题日益突出。

主要体现在两个方面: 一是在城市建设过程中, 人类居住社区的地面铺设大量的不透水材料, 导致下水道系统道口堵塞, 使地面积水量逐渐增加, 导致出现只要下雨, 住宅地面产生积水情况; 二是中国人口数量的快速增长, 加大人类生活用水的需求量, 但是生活污水的排放情况也日益

严重化, 加快生态环境的恶化。

“海绵城市”理念是中国向国外借鉴、学习参考先进的雨洪管理技术的基础上, 采取符合中国自身特点的措施管理^[1,2]。近年来, 中国出台政府政策和相关意见, 支持建设海绵城市, 如图 1 所示, 对我国水资源的保护管理措施主要采用低影响开发雨水系统构建措施, 例如雨水花园、下沉式绿地、透水铺装等, 在美化生态环境的同时, 保证水资源的利用和管理达到最佳化。学者俞孔坚等^[3]书中首次提出“海绵城市”, 这一理念的出现将引领中国的雨涝洪灾走向绿色发展的通道。之后, 国务院办公厅出台《关于推进海绵城市建设的指导意见》, 指出海绵城市采用遵循“渗、滞、蓄、净、用、排”的六字方针, 表明不只让雨水残留在地表, 而是让雨水渗入到地下和土壤层, 并让降落在地表的水资源停止不流动、集中储蓄起来供应后续的使用, 将带有颗粒杂质的水体过滤净化, 避免被污染的水资源对生态环境造成严重破坏^[4]。这种采取水资源循环利用的方式, 提高水资源利用率, 并且和排水系统紧密结合起来, 统筹兼顾地考虑到未有洪水时提防、洪水来时启动; 被洪水淹没的地方的脏水被排出、泄出, 避免发生严重的情况, 而且最大可能地恢复居民的居住地和居民的正常生活。随着这一概念的发展, 全国每个社区都开始尝试展开海绵社区的建设方案, 将最早只想快速排水来解决积水的传统模式改变为方便处理、且合理的蓄水排水模式。

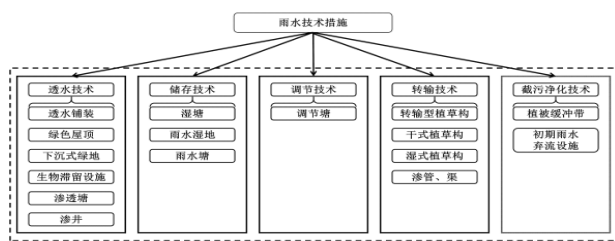


图1 雨水技术措施

本文主要根据传统社区与海绵社区的理论技术措施进

行效益对比, 根据 2000 至 2020 年年降水量数据, 了解天津水资源的特点海绵社区水资源管理的具体情况; 选定研究社区, 通过收集材料得到该社区实际的海绵社区建设方面数据, 通过设计海绵社区一维模型, 采取两种不同措施的海绵社区建设方案, 计算海绵社区的调蓄容积、海绵社区建设前后的径流系数、年径流总量控制率、水资源利用率等数据^[5], 根据计算后的数据及海绵社区水资源利用条件, 结合文献对水资源管理进行分析, 提出能够提升雨水利用率的策略, 实现水资源管理最优化。

1 海绵社区与传统社区对比分析

1.1 海绵社区理念

随着社会的经济发展, 住宅小区多功能丰富化, 将教育、生态、文明、商业等引入小区的规划发展中, 形成一个综合化社区。学者姬秀玲^[5]表明海绵城市储存雨水的措施不仅利用储水设备, 还有通过其他的自然生态手段储存雨水, 例如雨水花园、蓄水池等。在此基础上, 让沉降下来的水资源进行简单的过滤净化, 最大程度化的避免发生城市社区的积水情况^[6]。海绵社区是海绵城市在社区这个基础单元下的表现, 采用滞留水资源系统、回收水资源系统、收集水资源系统、渗透水资源系统等技术措施, 既达到防涝的目的, 又达到园林景观的美化、水资源及时补偿等目标^[7]。

1.2 传统社区与海绵社区水资源项目技术效益对比分析

通过对传统社区和海绵社区的水资管理方式, 见表 1 进行对比之后发现, 传统社区和海绵社区应对雨水内涝的措施项目相似, 但进行处理的技术和措施不同, 进而导致对生态环境和水资源管理的效果不同, 产生的效益也不同。

1.3 天津市海绵社区的水资源状况

近年来, 天津入选全国第二批海绵试点城市建设, 在多方面积极实践和探索最佳方式, 比如海绵城市结构、寻

表1 传统社区与海绵社区水资源项目技术效益对比分析

场景	传统社区	海绵社区
绿地	增添绿化, 但绿地的高度超过地面的高度, 排水管网和下水道口会被落叶和雨水堆积的淤泥堵住, 降低社区的排水功能。	设置下凹式绿地, 既能美化社区环境, 还能收集路面积水, 净化水质, 供应地下水利用。
花园	面积较大, 给社区居民增加娱乐活动和生活乐趣, 但是大量不透水地面、降雨量过大会导致地面积水过多。	设置雨水花园, 在降雨量过大时可以临时充当蓄水池, 把水储蓄起来, 以备不时之需。
水塘	对社区环境有美化作用, 但由于部分居民将大量生活污水排入水塘, 水质逐渐变差, 大量污臭的气体散发在空中, 降低了社区生态环境。	在水塘附近设置下凹式绿地和植被缓冲带, 将雨水收集, 经过净化流程后充分利用, 提高雨水水资源的利用率。
路面	扩宽路面, 方便社区居民出行	铺设透水砖, 使路面雨水渗透至地下, 降低路面的径流量[8]。
管网	主要依靠管网和下水道系统排水	主要依靠自然水文系统排水, 不单只是依靠下水道系统排水, 通过多种途径排水, 减少洪涝灾害。

找和开展建设试点社区、制定相关海绵城市的政策等等方面^[9,10]。

虽然根据近几年的数据观察,天津市的水足迹总量一直保持在 70-80 亿 m³ 之间,并且在未来有逐渐上涨的趋势。但是人均水足迹却在 630-660m³ 之间,与水足迹总量并没有形成正比关系,也就是说人口数量的快速增多会引导人均水足迹走向降低的趋势,甚至会越来越严重^[11,12]。

$$\bar{y}_n = \frac{(p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n)}{N} \quad (2-1)$$

式中: \bar{y}_n 表示多年平均降雨量, mm; p_n 表示第 n 年的降雨量, mm; N 表示降雨的总计数。

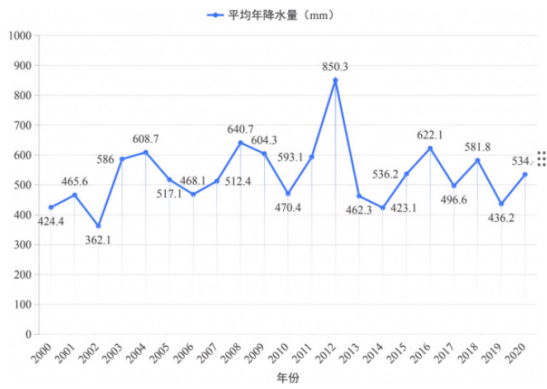


图2 2000-2020天津市年平均降水量

2 海绵社区水资源计算与分析

2.1 海绵社区水资源计算与分析方法

2.1.1 实测数据法

根据 2000 年至 2019 年《天津水资源公报》的资料数据,如图 2 所示,可以得出天津市 2000 年至 2020 年多年平均降水量为 533.1mm。

本论文研究的社区位于天津市生态城内。该研究社区总面积为 85597.19m²。其中,总用地面积为 47858m²,其中建筑屋面面积为 15865m²,绿地面积 16695m²,道路及广场硬化面积 15298m²。

2.1.2 模型模拟法

海绵设施模型建设采用两个模拟设计方案:方案一采用“下凹式绿地+蓄水池+透水铺装”的方式;方案二采用“下凹式绿地+雨水花园+透水铺装”的方式^[15]。

该天津市生态城某建筑社区,设计配建的海绵设施为 185m² 调蓄池、1800m² 下凹式绿地、1880m² 的雨水花园,方案一采用 5500m² 的透水铺装,方案二采用 2850m² 的透水铺装,对采用不同的海绵设施管理下的水资源利用情况进行分析。

按照图 3、图 4 两种不同的海绵设施进行水资源利用率分析,具体计算过程如下:

根据表研究社区改造前的下垫面层类型,由表 2,可以得出 $\omega=0.65$ 。

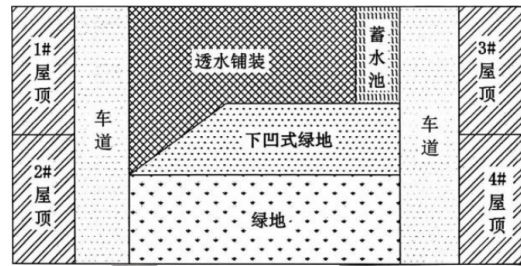


图3 海绵社区的设施设计方案一

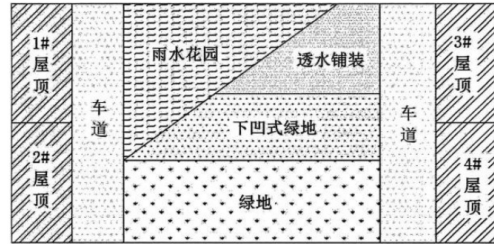


图4 海绵社区的设施设计方案二

表2 研究小区改造前下垫面层类型

下垫面层类型	面积	占比	ω
各类屋面	15865m ²	32.84%	0.90
混凝土或沥青路面	15298m ²	29.67%	0.95
绿地	16695m ²	37.49%	0.15
合计	47858m ²	100.00%	0.65

雨水设计流量 (Q) 计算公式:

$$Q_s = q\omega A \quad (3-1)$$

式中: q 为暴雨强度, $L/(s \cdot hm^2)$; ω 为海绵化改造前汇水面积内综合雨量径流系数(任意时段内径流总量与降水总量的比值); A 为汇水面积, hm^2 。

该社区位于天津市滨海新区,所以根据表 3,选择第 II 分区的暴雨强度计算公式,即:

$$q = \frac{2728(1 + 0.7672lgP)}{(t + 13.4757)^{0.7386}} \quad (3-2)$$

式中: P 为设计重现期,参考《天津雨水径流量计算标准》取 3a^[17]; 为设计降雨历时, min; $t=t_1+t_2$, 其中 t_1 为雨水流行时间,取 15min^[18],见表 3。

由公式 (3-1)、公式 (3-2) 可以得出天津市暴雨强度 $q=225.94 L/(s \cdot hm^2)$,雨水设计流量为 707.56 L/s 。

假设该研究社区经过两个不同的海绵设施方案改造后,下垫面的情况并没有很大的改变。根据天津市暴雨公式的降雨量以及实际调蓄容积,来计算海绵化改造后的社区综合雨量径流系数 ω' :

$$\omega' = \frac{Q' - V_{总}}{Q'} \quad (3-3)$$

式中： $V_{总}$ 为海绵化改造后的总调蓄容积， m^3 ； Q' 为120min短历时暴雨的降雨量， m^3 。

根据天津市海绵城市规划的要求，在海绵社区建设方面，目前存在的雨水管控体系年径流总量控制率要求不低于85%。根据表4可以得出年径流总量控制率采用75%，与年径流总量控制率对应的设置降雨量为25.5mm，雨水资源利用率为25%^[19,20]。该研究社区改造前的调蓄容积使用容积法进行计算：

$$V = 10\omega A \cdot H_{控} \quad (3-4)$$

式中： ω 表示海绵化改造前汇水面积内综合雨量径流系数（任意时段内径流总量与降水总量的比值）； A 表示汇水面积， hm^2 ； V 表示设计降雨量， mm ； $H_{控}$ 表示调蓄容积， m^3 ，见表4。

根据公式（3-4），可以得出海绵社区改造前的调蓄容积 $V=798.55m^3$ 。

按照方案一，根据表5数据分析出：社区海绵改造后下凹式绿地面积为 $1800m^2$ ，有效调蓄深度为25mm，调蓄水量为 $45m^3$ ；透水铺装面积 $5500m^2$ ，有效调蓄深度15mm，调蓄水量为 $82.50m^3$ ；蓄水池数量为1个，调蓄水量为 $185m^3$ ；

雨水罐数量为42个，收集雨水量为 $504m^3$ ，调蓄总容积为 $816.50m^3$ 。由公式（3-3）得出海绵化改造后综合雨量径流系数 $\omega=0.53$ ，表示有53%的降水量转化为径流量，与改造前的综合雨量径流系数 $\omega=0.65$ 相比有12%的雨水被收集和蓄存。

表5 研究海绵社区设施的设计方案一

设施项目	规模	有效蓄水深度(mm)	调蓄水量(m^3)
下凹式绿地	$1800m^2$	25	45.00
透水铺装	$5500m^2$	15	82.50
蓄水池	1个		185.00
雨水罐	42个		504.00
合计			816.50

按照方案二，根据表6数据分析出：社区海绵改造后下沉式绿地面积为 $1800m^2$ ，有效调蓄深度为25mm，调蓄水量为 $45m^3$ ；雨水花园面积为 $1880m^2$ ，有效调蓄深度为95mm，调蓄水量为 $178.60m^3$ ，雨水罐数量为42个，收集雨水量为 $504m^3$ ；透水铺装面积为 $2850m^2$ ，有效调蓄深度为15mm，有效调蓄容积为 $42.75m^3$ ，调蓄总容积为 $770.35m^3$ 。由公式（3-3）得出海绵化改造后综合雨量径流系数为 $\omega'=0.56$ ，表示有56%的降水量转化为径流量，与改造前的综合雨量径流系数 $\omega=0.65$ 相比有9%的雨水被收集和蓄存^[21]。

表6 研究海绵社区设施的设计方案二

设施项目	规模	有效蓄水深度(mm)	调蓄水量(m^3)
下凹式绿地	$1800m^2$	25	45.00
雨水花园	$1880m^2$	95	178.60
透水铺装	$2850m^2$	15	42.75
雨水罐	42个		504.00
合计			770.35

3 研究结论与展望

3.1 研究结论

本文针对海绵社区的水资源管理分析的研究，得出了以下结论：

表3 天津暴雨分区表

暴雨分区	区级行政区	暴雨强度公式	雨水渠道设计重现期	
			一般地区、道路	重要地区、道路
第Ⅰ分区	和平区、南开区、河西区、河东区、河北区、红桥区、北辰区、东丽区、津南区和西青区	$q = \frac{2141(1 + 0.7562lgP)}{(t + 9.6093)^{0.6893}}$	3	5
第Ⅱ分区	滨海新区	$q = \frac{2728(1 + 0.7672lgP)}{(t + 13.4757)^{0.7386}}$	3	5
第Ⅲ分区	静海区、宁河区、武清区、宝坻区和蓟县的平原区	$q = \frac{3034(1 + 0.7589lgP)}{(t + 13.2148)^{0.7849}}$	2	5
第Ⅳ分区	蓟县北部山区 (20m等高线以上)	$q = \frac{2583(1 + 0.7780lgP)}{(t + 13.7521)^{0.7677}}$	2	5

表4 设计降雨量及对应年径流总量控制率关系

序号	1	2	3	4	5	6	7	8
设计降雨量(mm)	12.2	14.4	17.8	21	25.5	30.7	38.3	49.5
年径流总量控制率(%)	55	60	65	70	75	80	85	90

采用两种不同的海绵措施方案针对同一个社区进行水资源管理分析,通过数据可以发现,雨水技术措施使研究社区的综合雨量径流系数变小,说明这两种海绵方案措施增大水资源的利用率。并且,在此基础上,社区的生态绿化环境也得到了有效的改善,下凹式绿地、雨水花园的建设给社区带来了生机盎然的绿色生活环境,对净化空气也有较好的影响。

3.2 未来展望

现阶段,海绵社区的建设将合理增加雨水蓄存和循环利用,预防内涝灾害,解决社区雨洪灾害与水资源短缺难题。在充分利用雨水资源后,再使用规模合理的排水管网将多余的雨水排走。采用这种低影响开发模式防治内涝,可以有效地减少进入排水管网的雨水总量,减轻排水管网压力,减少扩建排水管网的巨额投资,同时,可以增加雨水下渗量,将有限的雨水自然固存起来,减少社区地面沉降现象,强化社区自然水系的循环,改善水环境及水生态功能。

建设海绵社区的目的是解决社区生态环境问题,为重整自工业化时代以来社区治水的弊端,其目的在于总结治水方法并对社区洪涝、干旱问题提出合理化的解决措施,从而实现生态文明并建设美丽社区。并且,将现代社区建设成海绵社区,除了有对生态环境、历史文化因素的考虑外,还存在着社会与经济上的价值。

参考文献:

- [1] 王雅萍,许大为,吕抒衡.基于宜居目标的社区户外环境适老性调查分析[J].山西建筑,2016,42(24):194-196.
- [2] 何泉.海绵城市新区武汉江夏公园绿地规划设计研究[D].华南农业大学,2020.
- [3] 席璐.基于swmm模型的凡河新区典型区域低影响开发雨洪模拟研究[D].沈阳大学,2019.
- [4] 刘强.西安市主城区海绵城市建设现状分析与海绵体优化组合方式研究[D].西安建筑科技大学,2020.
- [5] 姬秀玲.“海绵城市”概念在城市排水设计中的应用探究[J].门窗,2014(12):239.
- [6] 姜宇道.雨洪防涝视角下韧性社区评价体系及优化策略研究[D].天津大学,2019.

[7] 唐冬云.基于海绵城市理念的城市雨水系统优化设计研究[D].合肥工业大学,2017.

[8] 刘鑫,陈颖.海绵城市建设理念在市政道路设计中的应用综述[J].水资源开发与管理,2023,9(10):54-60.

[9] 刘建华,刘小芳,李旭东等.天津市建筑与小区海绵城市设计要点及案例分析[J].中国给水排水,2016,32(22):108-111.

[10] 董静.韧性减灾框架下城市内涝灾害演变机理研究及治理响应——以天津市为例[D].天津理工大学,2023.

[11] 刘婧尧,胡雨村,金相哲.基于系统动力学的天津市水资源可持续利用[J].华中师范大学学报(自然科学版),2014,48(1):106-111.

[12] 范翠英.天津市水资源可持续利用研究[D].天津理工大学,2013.

[13] 陈聪.《天津市海绵城市建设技术导则》要点应用解析[J].天津建设科技,2019,29(1):42-43.

[14] 张萌.基于海绵城市理念下雨水径流调控模式初探——以中新天津生态城零能耗岛屿为例[J].中外建筑,2020(3):80-83.

[15] 官永伟,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,2015,51(6):57-61.

[16] 张向军.厦门市建筑与小区典型海绵设施应用分析及建议[J].市政技术,2021,39(12):90-93.

[17] 董祯,周志华.泥沙淤积对城市管网排水能力的影响[J].水科学与工程学报,2025(4):30-34.

[18] 韩君良.基于Mike Urban的小城市排水内涝规划[D].浙江工业大学,2016.

[19] 王玉娜,商博源.基于低影响开发的市政道路雨水系统的研究[J].城市道桥与防洪,2018(8):191-194.

[20] 汤伟真,任心欣,丁年等.基于SWMM的市政道路低影响开发雨水系统设计[J].中国给水排水,2016,32(3):109-112.

[21] 樊超,孙学良.建筑小区的海绵化改造效益核算——以固原市玫瑰苑小区为例[J].环境工程技术学报,2020,10(2):316-322.