

Study on the Regional Differentiation of Sponge City Key Technologies

Xiangyu Tang, Jihui Zhao, Haibo Li*

School of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang Liaoning
Email: 1661690249@qq.com

Received: Apr. 4th, 2017; accepted: Apr. 27th, 2017; published: Apr. 30th, 2017

Abstract

Sponge city is a new trend of urban storm water management. The construction of the sponge city is closely related to the geographical location (latitude) and climatic conditions. Therefore, the general low impact development technology has a certain degree of universality. This paper analyzes the impact of geographic differences, meteorological conditions and surface characteristics of matrix sponge and other factors on the city construction, and expounds the application effect of the key technology, preliminary definition of the key technology of sponge city regional differentiation, enrich and improve the sponge city theory to a certain extent.

Keywords

Sponge city, Regional Difference, Example analysis, Heterogeneity

海绵城市关键技术的区域分异性研究

唐翔宇, 赵继辉, 李海波*

东北大学资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳
Email: 1661690249@qq.com

收稿日期: 2017年4月4日; 录用日期: 2017年4月27日; 发布日期: 2017年4月30日

摘要

海绵城市是城市雨洪管理的新趋势, 具有低影响开发技术特征。海绵城市建设与地理位置(纬度)、气候条件等密切相关, 因此, 通用的低影响开发技术仅在一定程度上存在普适性。本文分析了地理差异、气象条件、下垫面基质特征等因素对海绵城市建设的影响, 并阐述了主要关键技术的应用效果, 初步界定

*通讯作者。

文章引用: 唐翔宇, 赵继辉, 李海波. 海绵城市关键技术的区域分异性研究[J]. 水污染及处理, 2017, 5(2): 22-32.
<https://doi.org/10.12677/wpt.2017.52004>

了海绵城市关键技术的区域分异性，在一定程度上丰富和完善了海绵城市理论。

关键词

海绵城市，地域差异，典例分析，分异性

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

据建设部调查(样本数 349)，2008~2010 年我国发生内涝城市 289 个，占样本数 80%。洪涝导致 2000 万人受灾，直接经济损失约 353 亿元。城市内涝问题的复杂性不仅与地理气象、城市排水管网等有关，在一定程度上受城市生态格局演变、城市水文完整性和城市下垫面性质的影响更为强烈。采取低影响开发技术构建海绵城市是应对内涝、再生雨水资源和重塑城市生态的新趋势。然而，仅以绿色基础设施替代灰色基础设施即可构建海绵城市在学术上尚存争议，通过增加城市下垫面的透水性能调蓄雨洪，也与城市所处地理环境、地下水文、地表植被类型、土壤环境等密切相关，为此，在不同纬度、不同地域推广海绵城市建设关键技术，必须首先考虑其是否具有区域分异性，才能形成形式模范。然而，有关海绵城市关键技术区域分异性的科学概念尚不清楚，理论体系尚未完成，海绵城市构建的技术规范还存在若干需要完善、补充和调整、优化的内容。因此，研究海绵城市关键技术的区域分异性，对正确认识低影响开发技术的试用性推广具有重要意义，对完善和丰富海绵城市理论具有重要理论价值。

2. 基于中国地域背景下的径流量水文特征

2011 年，中国城镇化率首次超过 50%，标志着我国从一个农业大国迈入一个城市化的工业大国。快速城镇化引发大规模的城市扩张，城市化的不断加深则带来一系列生态环境问题，其中城市洪涝危机尤为突出。

由于我国降水受东南季风和西南季风控制，年际变化大，年内季节分布不均，主要集中在 6~9 月，占到全年的 60%~80%，北方甚至占到 90%以上。同时，我国气候变化的不确定性带来了暴雨洪水频发，洪峰洪量加大等风险，导致每年夏季成为内涝多发时期。且由于汛期洪水峰高量大，绝大部分未得到利用和下渗。导致河流断流与洪水泛滥交替出现，且风险愈来愈高。资料表明，最大洪峰流量与年最大洪峰流量平均值之比，在北方达到 5~10 倍，南方达到 2~5 倍。年内和年际以及地区间高度不均衡，导致出现洪涝灾害风险过大[1]。除了区域性的洪涝灾害以外。城市内涝问题也日趋严重，如 2010 年广州“5·7”暴雨，2011 年的南京“7·18”暴雨，2012 年北京“7·21”特大暴雨事件。2015 年 4 月 7 日，长沙再现暴雨袭城，湘府变泽国，重启“看海”模式。内城“看海”的景象所付出的代价却是众多遇难的生命和惨重的经济损失[2]，雨洪问题已被推到了城市中生活的每一个人面前，发人深思。这时，海绵城市的兴起正是解决中国雨洪问题的锦囊妙计。

由于中国 960 万平方公里的沃土东西横跨 62 经度，约 5500 千米；南北纵跨 49 纬度，约 5000 千米，不同地域的降雨量差异可谓天壤之别，而《海绵城市的设计理念》[3]中宏观地描述了对雨水的处理缓冲能力，并未具体细化研究海绵城市的构建对降雨量大小适应能力的因素。根据我国平均年降雨量分布图[4] (见图 1)容易得出我国西北部地区缺乏降雨气候干燥，东部及东南部降雨较为丰富且长

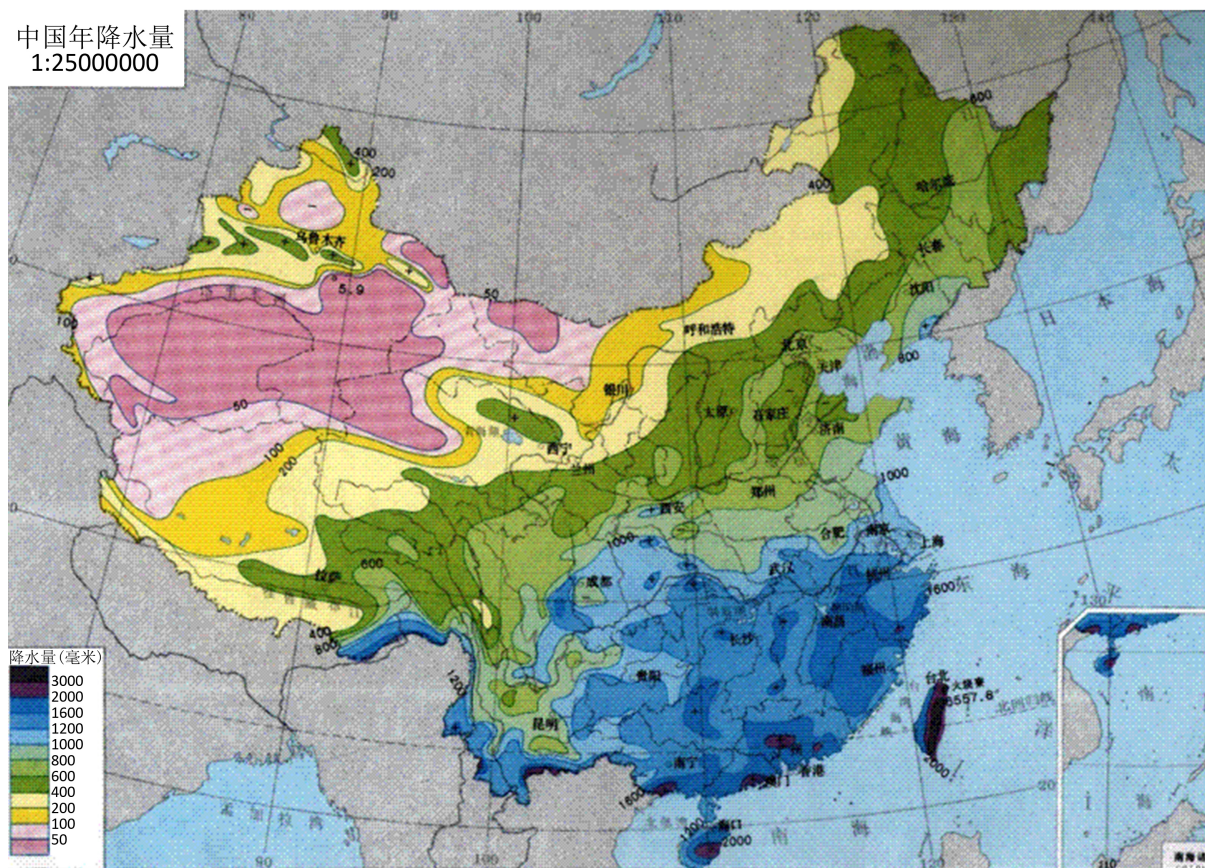


Figure 1. Annual precipitation distribution in China
图 1. 中国年降水量分布图

年处于湿润气候。所以针对不同的地理环境构建适宜当地雨水调节的海绵城市具有重要的现实意义，而通过地区内多年的降雨资料数据，计算出平均一年该地区的降水量，然后调查统计该地区的排水量（主要是地表径流排出量），两者相减后得出的即是该地区的雨水年吸收量。海绵城市建设中要达到的雨水吸收指标通常是通过绿色下垫面（如绿色屋顶/透水铺装/雨水花园/人工湿地等）取代原有的灰色基础设施（即传统意义上的硬化下垫面）来提高雨水的原地滞留/消纳和下渗量来实现的，该指标（专业称之为年径流总量控制率）因地制宜，通常为 80%~85%。现将我国各部分地区年径流总量控制率制成如下表格（见表 1），与此同时，我们需要根据年径流量的区域特异性为不同地方的海绵城市发展提出研究方法和可行方向。

如今，低影响发展（LID）被普遍认为是一个更可持续的解决方案，城市雨水管理比传统的城市排水系统更有效。然而，它对城市洪水的影响城市排水系统没有得到充分的理解，特别是在当被认为具有不同的降雨特征的时候。因此，为了深入了解 LID 设计的性能，根据我国不同地区的降雨特性，华鹏秦等人[5]为我国洪涝严重的一线城市提供有效的城市洪水管理办法，即通过比较存储深度的低影响设计与累计降雨量随时间的变化（见图 2）在常规排水系统的洪水开始和结束时对三盖技术作了有效的评估。得到如下结论：所有三个盖（执行 LID 方案）的情况下能更有效地减弱洪水在较重和较短的风暴事件中造成的影响。减弱洪水的趋势可以解释使用一个新型排水办法——LID 技术。它将采用有效的水文规划，采用渗透，过滤，蒸发和径流集水方法，这些方法适用于减少径流位移，使水文城市地区提高技术发展[6] [7] 现有能力，为海绵城市防洪排涝进一步提供切实可行的管理办法。

Table 1. The design rainfall of the total amount of annual runoff in some cities in China
表 1. 我国部分城市年径流总量控制率对应的设计降雨量一览表

城市	不同年径流总量控制率对应的设计降雨量(mm)				
	60%	70%	75%	80%	85%
酒泉	4.1	5.4	6.3	7.4	8.9
拉萨	6.2	8.1	9.2	10.6	12.3
西宁	6.1	8.0	9.2	10.7	12.7
乌鲁木齐	5.8	7.8	9.1	10.8	13.0
银川	7.5	10.3	12.1	14.4	17.7
呼和浩特	9.5	13.0	15.2	18.2	22.0
哈尔滨	9.1	12.7	15.1	18.2	22.2
太原	9.7	13.5	16.1	19.4	23.6
长春	10.6	14.9	17.8	21.4	26.6
昆明	11.5	15.7	18.4	22.0	26.8
汉中	11.7	16.0	18.8	22.3	27.0
石家庄	12.3	17.1	20.3	24.1	28.9
沈阳	12.8	17.5	20.8	25.0	30.3
杭州	13.1	17.8	21.0	24.9	30.3
合肥	13.1	18.0	21.3	25.6	31.3
长沙	13.7	18.5	21.8	26.0	31.6
重庆	12.2	17.4	20.9	25.5	31.9
贵阳	13.2	18.4	21.9	26.3	32.0
上海	13.4	18.7	22.2	26.7	33.0
北京	14.0	19.4	22.8	27.3	33.6
郑州	14.0	19.5	23.1	27.8	34.3
福州	14.8	20.4	24.1	28.9	35.7
南京	14.7	20.5	24.6	29.7	36.6
宜宾	12.9	19.0	23.4	29.1	36.7
天津	14.9	20.9	25.0	30.4	37.8
南昌	16.7	22.8	26.8	32.0	38.9
南宁	17.0	23.5	27.9	33.4	40.4
济南	16.7	23.2	27.7	33.5	41.3
武汉	17.6	24.5	29.2	35.2	43.3
广州	18.4	25.2	29.7	35.5	43.4
海口	23.5	33.1	40.0	49.5	63.4

3. 下垫面基质特征对海绵城市建设带来的影响

海绵城市建设是一项复杂的系统工程，需要大量的数据支持城市的自然地理、社会经济、水资源和

生态环境。显然倘若仅考虑水文特征的因素不能很好地完善海绵城市的构建体系，城市的构建基础建立在土壤之上，由海绵城市的理念及基本功能我们可以设计出较GCC的水循环收集与释放示意图(见图3)，由此可见地质条件同样是影响海绵城市长期发展的关键因素之一，而且可通过绿色通道盖(GCC)顶部的混凝土衬砌渠道，把提出的GCC用于直接降雨部分开放[8]。同样分析整合不同地域之间的土壤差异能够对海绵城市充分发挥其吸水、蓄水、渗水、净水功能产生重要的影响。根据中国科学院南京土壤研究所提供的中国土壤信息系统可以得出结论：中国土壤资源丰富、种类繁多且南北方向呈现土壤渐变性层次差异。由不同土质的渗透系数[9]的测定可得以下表格(见表2)。

在此易得出不同种类的土壤吸水渗水能力的差异，这对于我国西部人口较少地区的海绵城市的构建有一定参考价值和意义，我国西部以高山土质为主，根据《祁连山西水林区亚高山灌丛土壤入渗性能研

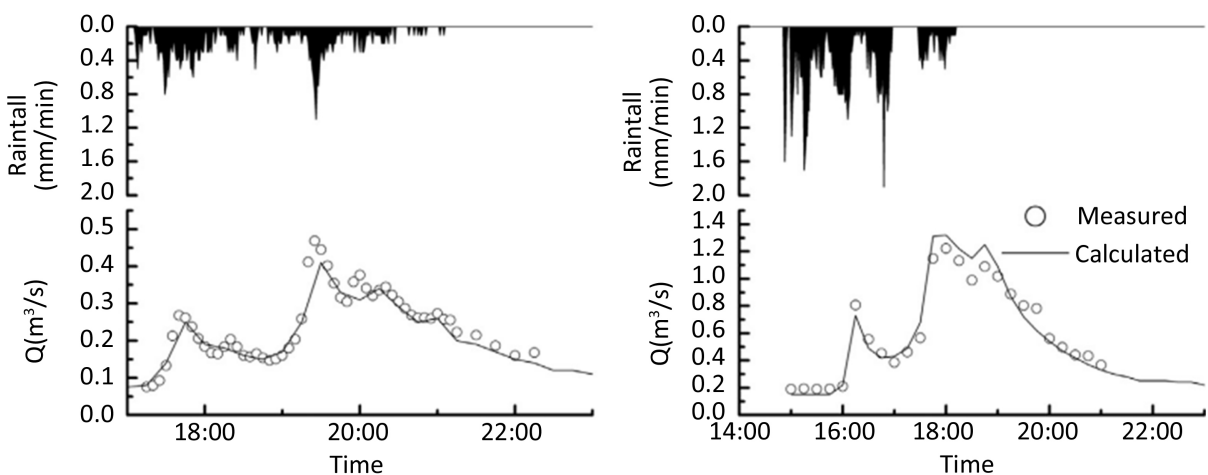


Figure 2. Low impact design of storage depth and variation of cumulative rainfall with time
图 2. 存储深度的低影响设计与累计降雨量随时间的变化

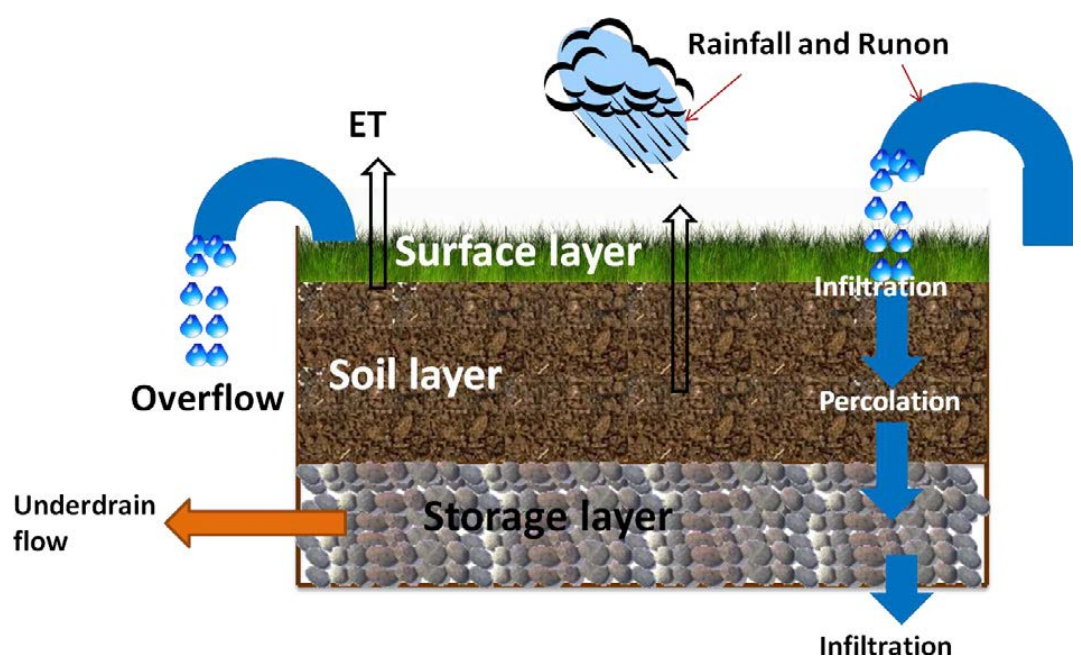


Figure 3. Schematic diagram of collection and release of GCC in water cycle of sponge city
图 3. 海绵城市水循环 GCC 收集释放示意图

Table 2. Permeability coefficient of different soils
表 2. 不同土质的渗透系数

土类	渗透系数(cm/s)	土类	渗透系数(cm/s)
粘土	$<1.2 \times 10^{-6}$	细砂	$1.2 \times 10^{-3} \sim 6 \times 10^{-3}$
粉质粘土	$1.2 \times 10^{-6} \sim 6 \times 10^{-5}$	中砂	$6 \times 10^{-3} \sim 2.4 \times 10^{-2}$
粘质粉土	$6 \times 10^{-5} \sim 6 \times 10^{-4}$	粗砂	$2.4 \times 10^{-2} \sim 6 \times 10^{-2}$
黄土	$3 \times 10^{-4} \sim 6 \times 10^{-4}$	砾砂	$6 \times 10^{-2} \sim 1.8 \times 10^{-1}$
粉砂	$6 \times 10^{-4} \sim 1.2 \times 10^{-3}$		

究》一文容易探究西部地区土壤渗透性的普遍规律，最终结果得到不同灌木林土壤的初渗率在 3.80~53.93 mm/min，稳渗率在 0.95~24.12 mm/min，为西部地区海绵城市的构建提供数据归纳整理。

然而对于我国东部人口密集地区而言，随着城市化建设的快速发展，城市的自然土壤已经逐步被建筑物、混凝土、沥青等几乎不透水材料所覆盖，形成了生态学上的“人造沙漠”，致使城市失去了原有的“水弹性”。此时自然土壤的处理水差异将不再对海绵城市的构建造成巨大影响。每逢夏季暴雨时期，国内的各大城市越来越缺乏对地表温度和湿度的调节能力，从而极易产生所谓城市的“热岛效应”或雨季“城中看海”的内涝问题，几乎形成了“逢雨必涝”的局面。

在此，造成当前城市“逢雨必涝”困局的主要因素为城市铺设的道路多为不透水的硬质路面，雨水很容易在路面形成大面积积水，给人们的出行带来极度不便。而在近年所提倡的“海绵城市”建设过程中，不少城市在新修建的道路中，采用了新型透水砖、透水沥青等渗透性强的建筑材料。“目前，市面上的透水材料看似可以解决路面积水问题，但毫无蓄水能力的透水材料，仅能起到雨水快渗快排的作用，对减轻市政管网排水压力并无明显效果，而且雨水资源利用率也是相当低。”据中国地质大学地球科学学院肖劲东教授表示，“打造‘海绵城市’的本质，并不是要让管网排走所有的雨水，而是要将雨水合理地收集与再利用。”

针对我国城镇化发展过快，城市土壤沙漠化加重这一现象，中国地质大学早在 2003 年就城市土壤蓄水性问题进行深入研究试验，并在充分吸收和消化西方发达国家雨水资源化材料的基础上，自主创新成功研制出一种能够储蓄大量雨水的生态陶土材料。据肖劲东教授介绍，“在近 10 年来的不断实验与改进过程中，这种蓄水陶土已具备可靠的地下储水能力。将蓄水陶土铺覆在城市绿植表层下方，小雨时，蓄水陶土可对地表雨水进行收集、净化以及蒸腾；暴雨时，蓄水率高达 110%的蓄水陶土可将大量雨水储存于土壤之中，能够有效延缓市政管网的排水压力。”

据了解，在当今美国、德国以及欧洲发达国家城市建设中，早已将生态型蓄水陶土用于解决城市雨水的循环利用，以最贴近生态自然方式还原城市“海绵”效果。如今，在积极推进“海绵城市”发展建设中，以蓄水陶土为新型的蓄水材料充当城市下垫面基质，可形成雨水经过植被—蓄水层—管道的综合解决方案，保障城市 70%以上的雨水得以利用，大幅降低“海绵城市”建设周期和预算成本。蓄水陶土的研发是应对当前已经具有较为成熟运作却缺乏抗涝能力的一线城市的补救措施，在海绵城市蓄水技术中举足轻重，是在建造发达的海绵城市过程中不可或缺的重要组成部分。

人们在考虑下垫面对海绵城市的建设过程中不仅以陶土作为蓄水材料，将生态环境最终与城市融为一体才是建设海绵城市最后的目标成果。在海绵城市的关键技术中，储藏设施和渗透设施建设成败成为了人们关注的话题。为了实现这一点，LID 的原则和做法[10]集中在治理的步骤中产生的径流，不同于以前的原则和做法，减少洪水集中处理后产生的径流[11]。LID 控制设施可分为两大类：存储设施，如地下存储，水库和渗透设施，如渗透沟，渗透收集器。这项研究只考虑 4 个设施：地下存储，渗透收集器，渗透沟，

碎石拘留池。其中，碎石滞洪池既包括储藏设施，又包括渗透设施。也就是说，碎石塘可以起到渗透和滞留的双重作用。如果充分利用陶土材料与碎石塘投入海绵城市的建设发展，其净水与蓄水能力将大大提高，对东西两地土壤差异较大的环境也适用，极大地促进了海绵城市关键技术领域的进一步成熟。

4. 数据集成技术为海绵城市的发展开辟新径

海绵城市建设是一项复杂的系统工程，需要大量的数据支持城市的自然地理、社会经济、水资源和生态环境。这些数据有多个来源并且高度复杂。基于对目前城市数据信息监测存在的问题，邵薇薇等人[12]提出了根据城市规划数据整合的海绵城市的数据集成方案，地下管网信息、数字高程信息、水文站网信息和基于低影响开发技术、城市排涝、城市面源污染预防和控制技术的集成。该计划是专为海绵城市的城市规划，设计和建设，并作为一个理论框架，依靠数据和集成技术的操作。

海绵城市不仅需要为自然降水等要素考虑地表水和地下水的建设，而且人工水系统，包括供水、排水、防洪、内涝防治、水的循环利用，而在一个给定的城市地区几乎每一个建设项目。城市的复杂性带来了多样性的城市规划与建设的数据，和一个海绵城市建设涉及众多的行政管理部门负责水供应和处理规划、园林、交通、建设、城市管理、气象。由于收集这些数据所需的方法的多样性，有差异的统计要求，格式的结构，和范围和精度的报告数据的精度。然而，随着社会的发展，进一步的扩大，使用计算机和信息技术，在城市规划的策略和方法的改进，以及数据融合与集成技术与应用领域的理论、数据集成方法的迅速发展，当前的数据集成方法和技术已经广泛应用于资源管理的社会领域、城市规划和地理分析。可见，多源数据的共享与整合已经成为海绵城市规划的必然趋势。因此，海绵城市建设的数据集成方法的研究允许更有效地使用有限的信息，并使海绵城市建设更可靠，可操作性和有效性。规划结果数据的整合，可以更有效地反映多种形式的信息表达的一个相同的空间单位的时间序列[13]而研究海绵城市的区域分异性，正是研究在地带性因素和非地带性因素共同作

用下，中国表面不同地段之间的相互分化以及由此产生的差异性。在不同地区也有相应海绵城市的建设方案，利用当今大数据的集成分析将高效地把各个地区的共有及特有信息以数据的形式演示并呈现，为海绵城市的正确建设提供切实有效的方案，这也正是研究海绵城市区域分异性的意义所在。

海绵的城市建设也需要整合技术，该技术建立了一套完整的海绵城市建设方案，包括渗水、积水、储存、净化、用水、排水、雨水资源化利用的实施，防洪减灾，和面源污染防治，改善生态环境。这些都是多技术集成，主要包括技术对原有的城市生态系统的保护和恢复，为城市生态恢复、城市排水和防洪，城市面源污染的防治，低冲击开发(LID)技术，和雨水利用技术。通过建立海绵城市的模式，进行重建和协调，形成一个综合实体，作为一个统一的整体[14]，这六大技术成为一个集成框架相通、统一、协调的海绵城市建设体系(见图4)。

结合数据和技术将催化海绵城市的规划、设计、建设、运营管理和其功能的评价。海绵城市也可以与正在发展中的智能城市建立联系，将智能思维带到海绵城市。在智能海绵城市建设的同时，将云计算与大数据信息技术策略实现智能排水和雨水收集管网堵塞，提供实时响应，并维持城市地表水污染实时监测。这种整合也可以支持打击积水小节通过风暴警报和智能响应的水系统，实现实时监测和地表径流量的快速响应。通过智能水污染控制和处理，

集中和分散，有可能实现循环利用雨水再生水，对海绵城市的净水用水技术发展做了有力的理论支撑。

5. 绿色生态——群力雨洪公园

群力雨洪公园位于哈尔滨市东部新城—群力新区，占地面积约 2733 公顷，2006 年始建，完全建成后将拥有 3200 万平方米的建筑面积，可容纳约 30 万人居住、工作和生活。但该区域仅有约 16%的绿地，

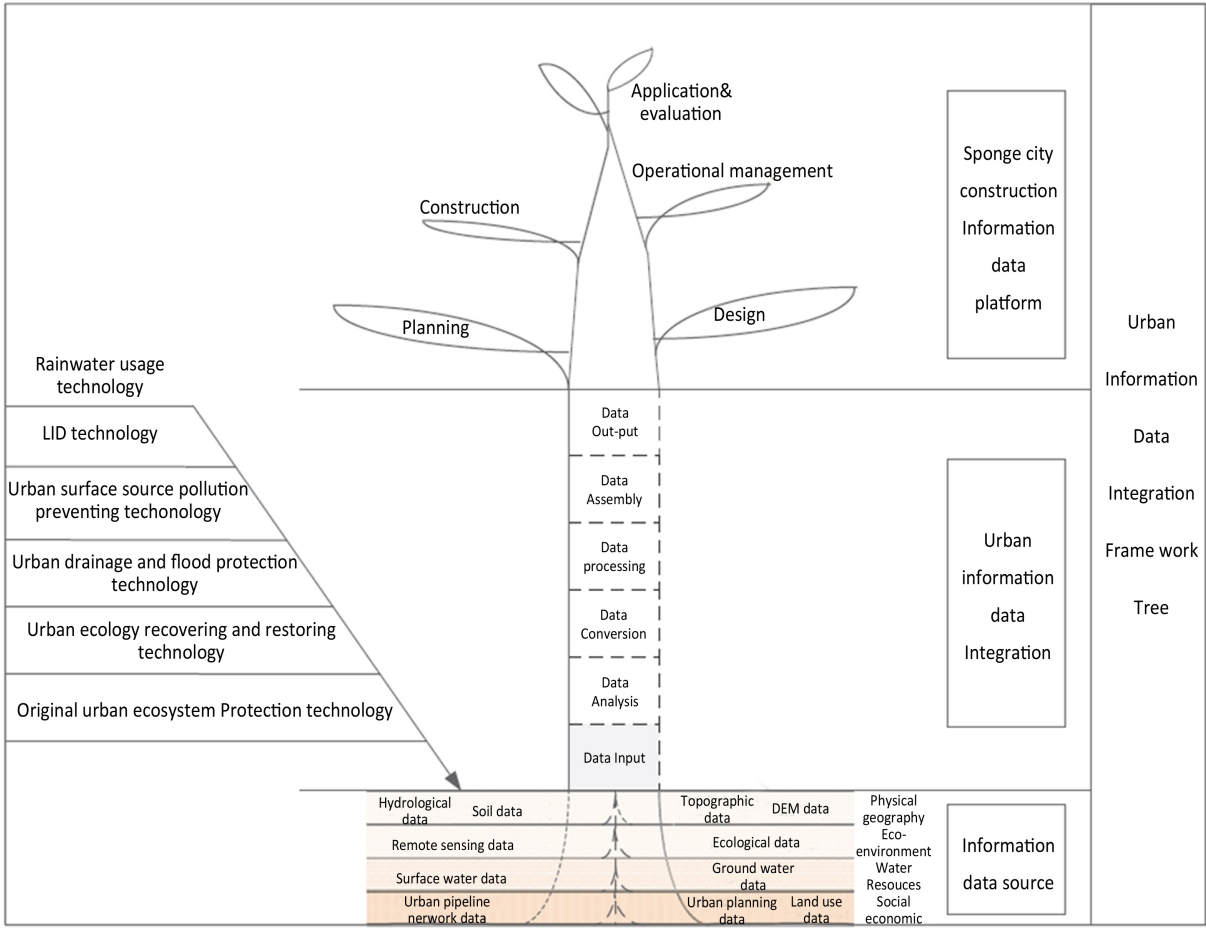


Figure 4. Sponge city construction system integration framework
图 4. 海绵城市建设系统集成框架

其余部分将全部被水泥混凝土覆盖。由于哈尔滨年降水量在 567 mm 左右，主要集中在 6、8 月份，该区域历史上为洪涝灾害频发区。于是其中一个公园约 34.2 公顷的面积原为保护性的湿地。公园设计者们在保护湿地的基础上，通过巧妙地设计将该区域打造成为了一个既保护生态湿地，同时可以收集、储蓄、下渗雨水，补充城市地下水，保护植物、生物多样性等功能于一体的湿地公园。具体设计理念及策略主要有以下三个方面：一是尽量保留原有湿地区域，作为自然演替的缓冲区；这样的做法在极大的减少工程量以及对自然环境的破坏同时，也为本地的生态景观、自然资源的充分保护和发展提供了良好的契机。二是在湿地四周采用挖填方平衡的技术手段，人工创造出一条高低起伏、错落有致的坡地带，既可以净化和过滤雨水，也很好地将城市与湿地相隔离开来。在湿地公园的四周利用地形高低及少量布置雨水管道，将城市内部的雨水经过净化、过滤后引入公园内部，形成完整的水循环系统。沿岸的自然景观与水系相互掩映，给游玩市民带来非常愉悦的体验。三是由于湿地周边高低错落不平，设计者们独具匠心的利用栈桥将其相互串联，并设置多处观景平台，形成完整有序的空中观景走廊，使得市民游玩时即可可在高处眺望、俯瞰整个公园的美景，又可以有多处亲水平台充分的接触自然。通过多种设计手法的综合运用以及场地的转换设计，将湿地公园的多种功能彻底的开发显现出来：吸收、净化、储存雨水和补给地下水；充分地保护了原有的本土生态环境，生物多样性得到很好的保护，同时也为市民创造出了一个舒适、宜人的居住、休憩环境；节约了开发建造成本，很好地解决了城市雨水内涝与湿地保护、景观设计上的矛盾。最终使得城市建成区与自然生态湿地和谐共存，同时优美的环境也对提升城市形象，增强吸

引力起到了积极的作用,很好地促进了城市发展[15]。

由此可见,群力雨洪公园是海绵城市充分发挥作用的成功案例,城市建设者在考虑哈尔滨年均降雨量的同时巧妙利用地形因素既保护了湿地又收集、储蓄、下渗雨水,补充城市地下水达到了海绵城市的预期效果,结合当地经济发展条件在公园中设立观景台可供市民俯瞰公园美景,创造出一个舒适、宜人的居住、休憩环境,为整个城市的形象加分,促进了城市的发展。以下是群力雨洪公园实景图[16]供借鉴和参考(见图 5)。

6. 数据集成应用实例——湖南省凤凰县

我们对海绵城市建设的数据集成实证应用研究[13]在湖南省凤凰县进行,提出应用数据整合方案以及评价结果应用。全区占地 30.89 km^2 , 包括 12.39 km^2 林地。利用 GIS 技术平台,将研究区划分为 417 个子流域、453 个节点、453 个通道、一条街道和一条河道排污口。结合凤凰县城市建设项目符合海绵城市土地影响开发系统的原理,海绵城市模型的构建采用综合数据集成多盖,生态修复和表面污染防治技术。一个海绵城市的部署计划提出如下所示。

园林和绿地:创造开放的低影响开发设施,如凹绿地、生物滞留设施,和透水性公共广场、停车场、提高园林绿地面积的积水和渗水能力。研究区内,建立 1.275 km^2 的绿地面积, 0.017 km^2 生物滞留设施, 0.167 km^2 雨水湿地和 0.625 km^2 水塘湿地。改造道路交通系统:在绿化区设置 LID 设施,进行雨水渗透、储存和调节,增强道路在雨水渗漏、积水、净化、排水等方面的作用。建立一个渗透铺路面的城市主干道,通过城市干道 44 hm^2 增加透水路面面积,并增加约 90 hm^2 透水性路面面积。在一些人行道上,构建大约相差 3 hm^2 透水路面;同时建立一个总的下沉式绿地 21 hm^2 。

住宅区:从建筑和街道路面径流雨水的屋顶应进行组织流集聚和转移;污水将被拦截,和下面的预处理,用于盖设施内绿地;此外,建设绿色屋面附加 49 m^2 ,下沉的绿地面积 63 m^2 ,并增加透水路面。

公共服务管理和商业领域:构建绿色屋顶 38 m^2 和 41 hm^2 下沉的绿地,包括建立公共服务行政区域绿地集中新的雨水湿地 1932 m^2 ;建在附近的道路和停车场新的透水路面 55 hm^2 ,建新水库 1.1 hm^2 。

图 6 中显示了这个计划中每个子流域的 LID 使用率(见图 6)。

在对园林景观和绿地、居民住宅区建设的基础上,在海绵的城市公共服务和商业领域,海绵的市凤凰县建设措施的有效性进行了不同降雨重现期下。当一个 once-in-20-years 水平降水相遇,径流和原峰值研究区的总金额应为 182 万 5000 平方米, $597.77 \text{ m}^3/\text{s}$ 。下面的海绵城市建设,总径流量和洪峰值应减少到 125 万 2000 m^3 , $278.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (见图 7),降幅分别为 31% 和 53%,其中大约满足这一地区的海绵城市建设目标。同时控制雨水径流,该系统也带来了控制减少城市地表水污染的效果。展望未来,凤凰县需要增



Figure 5. Harbin Qun Li storm water park real map
图 5. 哈尔滨群力雨洪公园实景图

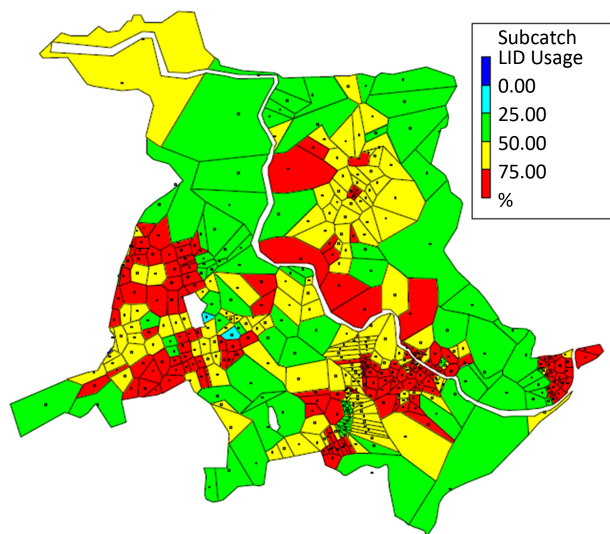


Figure 6. Distribution of unit area utilization in study area
图 6. 研究区单位面积使用率分布

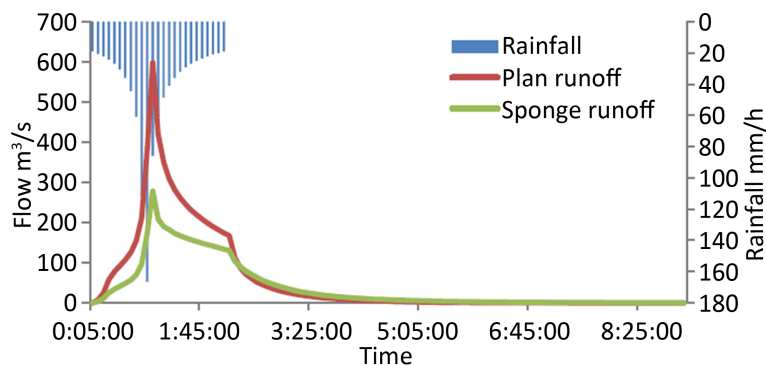


Figure 7. Once-in-20-years return period
图 7. 20 年重现期的径线图

加城市排水系统和更好地控制降雨径流和防止外部的洪水和内涝提供林地建设，充分运用低影响开发系统结合数据建设合理的海绵城市。

7. 结语

通过对海绵城市概念及特征的解读，分析了不同地区的降雨差异，下垫面特征及数据集成和整合技术对海绵城市建设的影响，提出海绵城市区域分异性的概念和实质，运用哈尔滨海绵城市典例——群力雨洪公园做了实质性的分析和效果评价，在数据集成应用上引用湖南凤凰县作为实验对象，规划出未来凤凰县的建设方向，在此提出对海绵城市构建的几点可靠建议以供参考：(一) 结合当地实际降雨量，进行多次实验验证降雨量可参考范围的正确性，在实际运用进海绵城市中可大致确定植被覆盖面积及性能测试结果，运用 LID 技术，使水文城市地区提高技术发展现有能力。(二) 结合当地实际土壤地形，构造海绵城市三维模型，因地制宜充分发挥地形优势，在此基础上考虑对新型生态陶土材料-蓄水陶土的利用，配合 LID 技术做到蓄排同步。(三) 结合大数据信息和集成整合工作，研究符合当地发展情况的区域特征，将海绵城市的蓄、滞、净、排、用发挥到极致，同时以发展创新型绿色城市为目标，深入贯彻落实习近平总书记在建设海绵城市方面下发的任务。最后在“海绵城市”相关基础设施建成后，应做好维护工作，提高公众对“海绵城市”的认识，为更好的建设、维护城市设施及景观做出贡献。

基金项目

国家科技重大专项(2014ZX07201-00)。

参考文献 (References)

- [1] Gong, Z.T. (1998) The Way Out of Water Problems in China. *Advances in Earth Science*, **2**, 115-117.
- [2] Zou, Y., Xu, Y.Q. and Qiu, C.H. (2015) The Research on Sponge City Construction in Southern Hilly Area—A Case Study of Ningxiang County in Hunan Province. *Economic Geography*, **35**, 65-78. (In Chinese)
- [3] Yu, K.J., Li, D.H., Yuan, H., Fu, W., Qiao, Q. and Wang, S.S. (2015) “Sponge City”: Theory and Practice. 1002-132906-0026-11
- [4] <http://www.ks5u.com/down/2009-7/11/246589.shtml>
- [5] Qin, H.-P., Li, Z.-X. and Fu, G.T. (2013) The Effects of Low Impact Development on Urban Flooding under Different Rainfall Characteristics. *Journal of Environmental Management*, **129**, e577-e585.
- [6] Roseen, R.M., Ballesterio, T.P. and Houle, J.L. (2009) Seasonal Performance Variations for Storm-Water Management Systems in Cold Climate Conditions. *Journal of Environmental Engineering: ASCE*, **135**, 128-137. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2009\)135:3\(128\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2009)135:3(128))
- [7] Scholz, M. (2006) Best Management Practice: A Sustainable Urban Drainage System Management Case Study. *Water International*, **31**, 310-319. <https://doi.org/10.1080/02508060608691934>
- [8] Palanisamy, B. and Chui, T.F.M. (2015) Rehabilitation of Concrete Canals in Urban Catchments Using Low Impact Development Techniques. *Journal of Hydrology*, **523**, 309-319. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.01.034>
- [9] 胡顺军, 田长彦, 宋郁东, 甘永德. 土壤渗透系数的测定与计算方法的探讨[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 68-72.
- [10] Sin, J., Jun, C., Zhu, J.H., Yoo, C. (2014) Evaluation of Flood Runoff Reduction Effect of LID (Low Impact Development) Based on the Decrease in CN: Case Studies from Gimcheon Pyeonghwa District, Korea. *Procedia Engineering*, **70**, 1531-1538 <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.169>
- [11] Park, J., Yoo, Y., Park, Y., Yoon, H., Kim, J., Park, Y., Jeon, J.H. and Lim, K.J. (2008) Analysis of Runoff Reduction with LID Adoption Using the SWMM. *Journal of Korea Society on Water Quality*, **24**, 805-815.
- [12] Shao, W.W., Zhang, H.X., Liu, J.H., Yang, G.Y., Chen, X.D., Yang, Z.Y. and Huang, H. (2016) Data Integration and Its Application in the Sponge City Construction of CHINA. *Procedia Engineering*, **154**, 779-786. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.583>
- [13] Huang, T.H. (2010) Research on Data Warehouse Information Integration of Digital City Planning—A Case Study of Beijing Regional Planning. *Urban and Rural Planning*, **10**, 35-38. (In Chinese)
- [14] Cates, E.L., Westphal, M.J., Cox, J.H. and Calabria, J. (2009) Field Evaluation of a Proprietary Storm-Water Treatment System: Removal Efficiency and Relationships to Peak Flow, Season, and Dry Time. *Journal of Environmental Engineering: ASCE*, **135**, 511-517. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2009\)135:7\(511\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2009)135:7(511))
- [15] 刘朝彪, 吴相利. “海绵城市”构建规划实施策略分析——以哈尔滨市群力雨洪公园为例[J]. 边疆经济与文化, 2015(4): 3-5.
- [16] http://image.baidu.com/search/index?tn=baiduimage&ct=201326592&lm=-1&cl=2&ie=gbk&word=%C8%BA%C1%A6%D3%EA%BA%E9%B9%AB%D4%B0&hs=2&xthttps=000000&fr=ala&ori_query=%E7%BE%A4%E5%8A%9B%E9%9B%A8%E6%B4%AA%E5%85%AC%E5%9B%AD&ala=0&alatpl=sp&pos=0

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: wpt@hanspub.org