

海绵城市

编者按:自2012年4月“海绵城市”概念首次提出以来,在短短几年间,我国的海绵城市建设工作取得了极大的发展,目前全国已有130多个城市制定了海绵城市建设方案,早期的试点城市也取得了丰富的实践经验。作为城市发展理念和建设方式转型的重要标志,我国海绵城市建设还将持续相当长的一段时间。为使海绵城市的设计理念、规划编制、标准规范、设计施工、相关基础设施、建设运营及融资、示范工程等内容第一时间在业内进行传播交流,并得到忠实记录和长期保存,本刊拟于2017年3月起开辟“海绵城市”专栏,将最新、最精彩的技术内容分享给读者。

宁波市海绵城市实施方案中的若干关键技术问题分析

吴文洪^{1,2}, 王思思^{1,2}, 李俊奇¹, 忻建刚³, 张质明^{2,4}, 刘畅^{1,2}

(1. 北京建筑大学 城市雨水系统与水环境教育部重点实验室, 北京 100044; 2. 北京建筑大学 环境与能源工程学院 环境科学与工程系, 北京 100044; 3. 宁波市住房和城乡建设委员会, 浙江 宁波 315040; 4. 北京应对气候变化研究和人才培养基地, 北京 100044)

摘要: 宁波市于2016年4月成功入选第二批全国海绵城市建设试点,作为滨海临江的平原河网城市,城市内涝、雨水径流污染等水问题一直是困扰宁波城市品质提升的重大问题。重点讨论了宁波市海绵城市建设目标体系的构建,提出了宁波市海绵城市建设的技术措施适应性的研究方法;提出了保障海绵城市建设技术整体性、系统性的“源-汇”系统概念模型,以期能对其他城市的海绵城市建设和实施方案编写提供借鉴。

关键词: 海绵城市; 城市雨水; 目标体系; 技术适应性

中图分类号: TU99 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2017)06-0001-06

Discussion on Key Technical Issues of the Sponge City Implementation Program: A Case Study of Ningbo City

WU Wen-hong^{1,2}, WANG Si-si^{1,2}, LI Jun-qi¹, XIN Jian-gang³, ZHANG Zhi-ming^{2,4}, LIU Chang^{1,2}

(1. Key Laboratory of Urban Stormwater System and Water Environment <Ministry of Education>, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; 2. Department of Environmental Science and Engineering, School of Environment and Energy Engineering, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; 3. Ningbo Housing and Urban-Rural Development Committee, Ningbo 315040, China; 4. Beijing Climate Change Response Research and Education Center, Beijing 100044, China)

Abstract: As a coastal city with plain river network, the development of Ningbo City has been beset by severe problems such as waterlogging and runoff pollution. The nomination for the second batch of national sponge city demonstration scheme in April 2016 was an opportunity for Ningbo to solve these problems. The target system of sponge city construction, the research methodology to seek the technical

adaptability, the protection to sponge city technical integrity and the conceptual model of ‘source-confluence’ system were proposed and discussed. All these measures could contribute to other sponge cities construction.

Key words: sponge city; urban rainwater; target system; technical adaptability

海绵城市建设是一项系统工程,涉及到机制体制建设、规划建设管控、多专业协调、建设运行管理等多方面工作^[1]。实施方案是对海绵城市建设思路的具体落实,是海绵城市建设顺利开展和有效控制实施过程的重要保障。因此,海绵城市建设实施方案的编写尤为重要。实施方案的编制内容主要包含:城市基本情况介绍、海绵城市建设可行性分析、目标指标体系、技术适应性研究、技术体系构建、投资与项目安排、建设运营模式选择、保障措施等。虽然我国海绵城市建设的推广力度、建设速度空前,但其建设的技术储备显现不足,存在不少难点。因此,以宁波市为例,主要对海绵城市建设的“目标指标体系构建、技术适应性研究、技术体系构建”这三个难点问题进行研究分析。

1 宁波市基本情况

宁波市位于东海之滨,大陆海岸线中段,属于典型的滨海临江平原河网城市,其中市区面积为2 461 km²。截至2015年底,全市拥有户籍人口为586.6万人,市区人口为232.1万人,中心城区常住人口为190.17万人。

1.1 中心城区水文地质情况

① 降水:降水量丰富,多年平均降水量为1 455.4 mm(1985年—2014年),夏季多台风暴雨,降雨年内年际分布不均,多集中于汛期。

② 地形:中心城所在的宁波平原为湖沼堆积平原,河网密集,地势平整,平均高程为2~4 m。

③ 地质条件:工程地质层以淤泥质粘土为主,具有高含水率、高压缩性、低抗剪性、高灵敏度等特点,容易出现工程性地面沉降;土壤质地黏重,结构紧密,孔隙小,通气透水性差。

④ 河湖水系:河流众多、水系发达,中心城区坐落于甬江与姚江、奉化江的汇流之处,其三江加上西乡、东乡各有的三条塘河,形成了“三江六塘河”的水文地理环境特征。

1.2 中心城区主要水问题

① 雨水径流污染加重

根据《宁波市径流雨水污染监测及研究报告》,

目前中心城区雨水径流污染物SS、COD的年排放总量占城市年污染物排放总量的比例分别为67%、31%(见表1),雨水径流污染成为中心城区水质污染的主要原因之一。

表1 宁波市雨水径流年污染物排放量占城市年污染物排放总量的比例

Tab.1 Proportion of annual runoff pollutants discharge in annual urban total pollutants discharge in Ningbo City

项 目	SS	COD	TP	TN
点源污染物年排放总量/t	27 894	65 902	1 444	13 618
雨水径流年污染物排放总量/t	57 469	29 326	186	1 776
城市年污染物排放总量/t	85 363	95 228	1 630	15 394
雨水径流污染占比/%	67	31	11	12

② 内涝风险较大

中心城区内涝风险较高的原因是一方面中心城区面积从1986年不足100 km²发展到2015年的321.9 km²的规模,城市连续不透水面积迅速扩张,下垫面产流能力增大。另一方面现状雨水管渠泵站标准偏低以及极端暴雨事件的增加,难以满足排涝需求。根据对宁波市海绵城市建设区域所在的江北区进行内涝风险评估,目前区域内存在较多内涝高风险区(见图1)。



图1 海绵城市建设区域所在的江北区内涝风险评估

Fig.1 Waterlogging risk assessment in Jiangbei district

③ 水系结构破坏,自然水面率下降

由于城市开发建设,中心城断头浜、缓滞型河道较多,河道淤积严重;河网水面率迅速下降,以江东区建成区为例,在20世纪80年代前后,水面率还有7%,如今已不到3%。

④ 水生态功能退化

中心城局部地区沿江岸带的生态功能处于衰退状态,植被衰败、驳岸侵蚀,许多原生植被被石块或混凝土堤岸所代替。此外,自然湿地数量和面积不断减少,持水和蓄水能力下降。

2 目标体系构建

海绵城市建设是多目标、多途径、多技术、全过程的系统工程^[2],涉及土地利用、水系、绿地和道路交通等各项内容^[3],因此海绵城市建设目标应该是系统的、综合的,并且是指导海绵城市建设和衡量成效的最重要依据。

2.1 目标筛选

根据宁波水文地质情况以及对城市主要水问题的诊断,海绵城市建设目标的筛选遵循考核可操作性、目标可达性、因地制宜、系统性四大原则^[4],通过“自上而下”和“自下而上”的方法相互修正来确定。

① 考核可操作性。根据住建部《海绵城市建设绩效评价与考核指标(试行)》和水利部《关于推进海绵城市建设水利工作的指导意见》“自上而下”确定海绵城市建设目标,以满足考核要求。

② 目标可达性。根据宁波市城市总体规划和相关涉水专项规划的目标要求,“自下而上”合理修正海绵城市建设目标,保证海绵城市相关目标能和其他城市专项规划或建设计划协同完成。

③ 因地制宜。海绵城市建设目标要充分结合宁波实际情况,以问题为导向,科学合理地进行确定。宁波目前存在的突出水问题是雨水径流污染严重,内涝风险较大,水系结构破坏、水面率下降,水生

态功能减弱。因此海绵城市建设目标应基于宁波存在的突出水问题综合确定,实现雨水径流污染控制、内涝风险削弱、水面率提升、水生态功能恢复。

④ 系统性。“海绵城市”旨在综合解决城市生态问题^[5],其目标体系的构建需从宁波水问题出发,涵盖水质净化、雨洪管理、水生态恢复、雨水资源化利用等多项内容。

2.2 宁波市海绵城市建设指标体系

根据以上原则,宁波市海绵城市建设目标由“水生态、水环境、水灾害治理、水资源、年径流总量控制率和显示度”六大目标共10项工程性指标的目标和规划建设管控制度、技术规范与标准建设、投融资机制建设、绩效考核机制等非工程目标组成。非工程性目标是实现工程性目标的制度基础,工程性目标与非工程性目标两者协同支持,顺利推进海绵城市建设。宁波市海绵城市建设指标体系见图2,其中天然水域面积保持程度是指试点区域内的河湖、湿地、塘洼等面积与试点区域面积的比值;生态岸线恢复是指适宜改造的“三面光”岸线基本得到改造,恢复河道水生态功能;地表水体水质达标率是指试点区域内水质监测断面达标个数与监测断面总个数之比。达标标准是监测断面位于水功能区内的,水质达到国务院批复的全国重要水功能区或各省批复的水功能区水质标准,监测断面不在水功能区内的,水质不得劣于试点之前水质,且不得出现黑臭水体。雨水资源利用率是指雨水资源利用量与多年平均降雨量的比值;显示度是指连片示范效应和居民认知度。

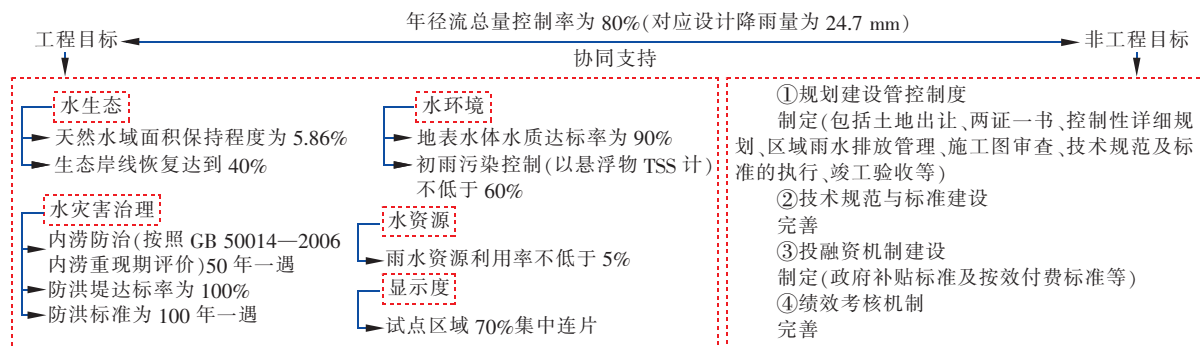


图2 宁波市海绵城市建设指标体系

Fig. 2 Index system of sponge city construction in Ningbo City

3 技术措施适应性分析

海绵城市建设包括低影响开发系统、管渠系统、超标雨水排放系统三大系统。重点对低影响开发雨

水系统的技术措施进行适应性研究。参照《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》,低影响开发雨水系统包含源头削减、中途转

输、末端调蓄等多种技术措施。

3.1 技术措施适应性研究的必要性

2016 年国际城市低影响开发(LID)大会上发布的《城市低影响开发雨水管理——北京共识(草案)》提出“适用技术的选用要因地制宜”,海绵城市建设的适用技术应根据建设目标和场地实际情况,结合工程技术、成本效益等因素进行确定^[6]。然而,笔者对部分试点城市的实施方案、三年建设计划以及专项规划的分析研究发现:目前技术适应性研究缺乏足够的深入,部分城市在前期研究或专项规划中缺少或弱化了对技术适应性的分析,这可能会导致技术措施难以适应场地条件,无法实现预期目标,造成重复建设和资源浪费。

3.2 技术措施适应性定量评价

① 评价指标与分级

由于定性分析对设施选用具有较大的随意性,所以采用评分法对宁波海绵城市设施的适应性进行定量分析。从“设施适应性、设施可替代性、设施占用土地面积”三个方面对各项措施进行综合评价。“设施适应性”作为主体指标,“设施可替代性”和“设施占用土地面积”作为修正指标。具体如表 2 所示。

表 2 指标定义与分级

Tab.2 Definition and classification of index

项 目	定 义	等级适应
设施适应性	设施能否适应于宁波地区或者在建成后根据当地水文地质条件能否发挥良好的海绵效果	适应:设施适应宁波本地水文地质条件,并能很好地发挥作用; 较适应:设施需要经过一定的改良后才能发挥作用; 不适应:设施需要较大改良或不适应宁波水文地质条件
设施可替代性	设施发挥的效果与其他设施具有共性,或者其功能的发挥可用其他设施代替	不可替代:设施功能独一无二,其他设施不能替代其大部分功能; 较能替代:设施的部分功能可以用其他设施替代; 可替代:设施能用一种或以上其他设施替代
设施占用土地面积	设施建设中是否需要额外占用土地面积	占用土地面积较少:设施无需占用城市建设用地(如雨水花园在绿线内建成后还是表现为绿地形式,即可视为不侵占城市建设用地;透水铺装的道路红线内建成后还是满足原有用地功能,即可视为不侵占城市建设用地); 占用土地面积一般:单个设施占用城市建设用地面积 $\leq 4\text{ m}^2$; 占用土地面积较大:单个设施占用城市建设用地 $> 4\text{ m}^2$

② 分数赋值

根据表 2,主体指标“设施适应性”权重最大;“设施可替代性”能保证特殊设施不被剔除,“设施占用土地面积”用于评估是否占用土地资源,因此“设施可替代性”较“设施占用土地面积”权重较大。评分采用 10 分制,“设施适应性”占 5 分,“设施可替代性”占 3 分,“设施占用土地面积”占 2 分。

③ 专家评分

由《宁波市海绵城市申报前期研究及实施方案编制》技术服务方组织 6 位专家进行评分,综合每位专家的评分结果,对每个设施的得分取平均值。最后根据得分情况将设施列为“重点推荐”、“一般推荐”、“不推荐”并形成报告提交行政主管单位,由行政主管单位组织在相关规划、建设方案、技术标准规范及图集中落实。

④ 设施评价与推荐

基于以上流程,宁波市源头低影响开发技术措施的综合得分和推荐等级如表 3 所示。根据评分结果以及综合专家的意见,最后以 7.5~10 分为重点推荐,6~7.5(不含)分为一般推荐,6(不含)分以下为不推荐。

表 3 宁波市技术措施适应性打分结果

Tab.3 Marking result of facilities adaptability in Ningbo City

项 目	功能	得分	推荐等级
初期雨水弃流设施	净	9.1	重点推荐
转输型植草沟	净、滞、排	8.3	重点推荐
下沉式绿地	滞、净、渗	8.1	重点推荐
植被缓冲带	净、滞	8.0	重点推荐
雨水罐	蓄、用	7.9	重点推荐
简易型生物滞留设施	滞、净、渗	7.9	重点推荐
干式植草沟	滞、净、排	7.7	重点推荐
复杂型生物滞留设施	滞、净、渗	7.7	重点推荐
雨水湿地	蓄、净	7.5	重点推荐
绿色屋顶	滞、净、渗	7.1	一般推荐
透水砖铺装	渗、排	7.0	一般推荐
透水水泥混凝土	渗、排	6.5	一般推荐
湿塘	蓄、净	6.5	一般推荐
湿式植草沟	滞、净、排	6.4	一般推荐
透水沥青混凝土	渗、排	6.3	一般推荐
调节塘	滞、蓄、净、渗	5.9	不推荐
调节池	滞、蓄	5.2	不推荐
人工土壤渗滤	净、渗	4.7	不推荐
渗管/渠	渗、排、滞	4.3	不推荐
蓄水池	蓄、滞	3.8	不推荐
渗井	渗、滞、排	3.4	不推荐
渗透塘	渗、滞、净	2.4	不推荐

雨水资源化利用不仅可以有效减缓城市供水压力,还对调节、补充中心城区水资源和改善生态环境起着极为关键的作用^[7,8]。由于雨水储存设施是促进雨水资源化利用的有效手段,所以对“蓄水池、蓄水模块、景观水体或露天水池、雨水罐/雨水桶”四种运用较为广泛的蓄水方式进行适应性分析,由专家打分,结果如表4所示。由表4可知,宁波市雨水储存设施优先选用景观水体或露天水池,在小区可以采用雨水罐/雨水桶作为雨水储存利用的设施,不推荐大量建设蓄水池和蓄水模块。

表4 宁波市雨水储存设施评分结果

Tab.4 Marking result of stormwater retention or storage facilities in Ningbo City

项 目	特点	得分	推荐等级
雨水罐/ 雨水桶	造价低廉,预制易安装,适应性强;蓄水量低	8.0	重点推荐
景观水体或 露天水池	调蓄容量大,可与景观相结合;占地面积大,水质不易处理,旱季需要补水	7.8	重点推荐
蓄水模块	占地面积小,造价较低;蓄水有限,底泥不易处理	4.2	不推荐
蓄水池	水质易处理,蓄水量较大;造价高昂,底泥不易处理	3.7	不推荐

4 海绵城市技术体系的“源-汇”系统构建

4.1 海绵城市建设的碎片化问题

住建部于2016年6月开展的第一批海绵城市试点中期检查发现,海绵城市建设碎片化成为各试点城市普遍存在的问题。海绵城市碎片化的内涵和成因较为复杂,主要是指在实际建设过程中欠缺统筹协调,没有形成功能复合、专业协调、地块衔接的闭合系统,而是呈现分散的点状治理、采取碎片化方式推进建设。其最大的危害是使海绵城市面临着重

复建设、建设投资加大、运行费用增加等问题。

海绵城市建设碎片化成因涉及到规划、设计、建设、运营、维护等方面,为此主要讨论其技术体系方面的成因。笔者认为,形成碎片化的技术原因是海绵城市推广速度快、力度大,缺乏技术积累和积淀,部分技术人员对海绵城市建设模式和技术体系理解有欠缺,导致源头低影响开发雨水系统、管渠系统、超标雨水排放系统三套系统建设方案不完整、不合理,源头末端设施不协调。

4.2 海绵城市建设技术的整体性、系统性构建

基于地势低平、水网密度大的特点,宁波海绵城市建设区域基本按照甬江流域范围划分成数十个中小流域管控单元。为避免海绵城市碎片化问题的出现,宁波总体采用“源-汇”理念模型构建低影响开发雨水系统,在每个管控单元内协调统筹各类海绵体之间的关系。“源-汇”系统分为三个层级(见图3)。“源”是指下垫面产生的径流,“汇”是指雨水径流的净化、滞蓄处理中心。第一级是场地内的“源-汇”系统,该系统中的“源”是指路面径流、屋面径流、绿地径流,“汇”是指雨水公园、大型调蓄水体等“大海绵体”。建筑与小区、道路、公园绿地的雨水径流通过三级“源-汇”系统进行逐级处理,最后排入雨水管渠乃至城区内河,实现对雨水径流的渗透、调蓄、净化、利用和排放,充分发挥海绵体功能,构建自净自渗、蓄泄得当、排用结合的城市良性水循环系统。

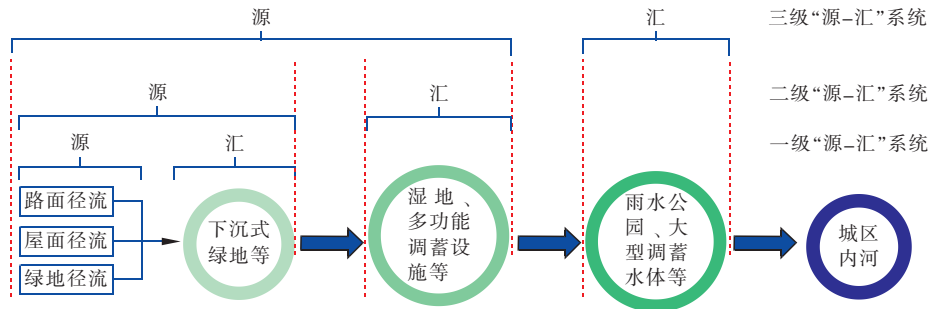


图3 宁波市海绵城市建设三级“源-汇”系统示意图

Fig.3 Diagram of three levels of “source-confluence” system for sponge city construction in Ningbo City

由于宁波海绵城市建设区域用地类型丰富,复杂的水文地质条件以及开发建设时序上的差异,各

地块间海绵城市技术措施的衔接容易出现问題。因此需根据海绵城市专项规划和控制性详细规划,统

筹各片区的源头低影响开发系统、雨水管渠系统、超标雨水径流排放系统,进行标准化设计,统一各设施接口和节点的尺寸,使设施与设施之间、地块与地块之间的设施具有良好的衔接性,保证海绵城市“源-汇”系统的构建,实现海绵城市设施建设的系统性。

5 结语

在海绵城市建设实施方案编写过程中,科学合理的目标体系构建、技术适应性研究以及技术体系构建是实现海绵城市建设成效的重要保障。因此,针对以上三个关键技术进行了研究,以期为其他城市的实施方案编制和建设提供借鉴。但还需注意以下几个问题。

① 海绵城市的建设目标应重点在对城市自身条件的调查分析基础之上,提出针对本地实际问题、具有可达性和可实施性的目标体系,因此“自下而上”的分析研究更为重要。

② 技术适应性研究应建立在定量分析的基础上,但是定量评价的指标确定需避免片面或主观因素的出现,评价指标的赋值要尽可能科学合理。此外,重点推荐和一般推荐技术还需通过试点、实验,尽快研究出本土化的技术措施、设计参数和构造,以期更有效地指导本地规划设计和工程建设。

③ 技术体系构建的低影响开发“源-汇”系统是一个概念模型,并比较容易在新建区落实,而对于已建区则应根据实际情况进行改造,避免大拆大建。

致谢:在本文的写作过程中,曾得到了相关单位(宁波市创建海绵城市建设试点工作领导小组办公室,宁波市规划设计研究院)和个人(车伍教授,毛坤,王文亮,孙静,于迪,应京强)的大力支持,特此感谢!

参考文献:

- [1] 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,2015,31(8): 1-5.
- [2] 李俊奇,任艳芝,聂爱华,等. 海绵城市:跨界规划的思考[J]. 规划师,2016,32(5):5-9.
- [3] 王诒建. 海绵城市控制指标体系构建探讨[J]. 规划师,2016,32(5):10-16.
- [4] 张辰. 上海市海绵城市建设指标体系研究[J]. 给水排水,2016,42(6):52-56.
- [5] 俞孔坚,李迪华,袁弘,等. “海绵城市”理论与实践[J]. 城市规划,2015,39(6):26-36.
- [6] 王文亮,李俊奇,车伍,等. 城市低影响开发雨水控制利用系统设计方法研究[J]. 中国给水排水,2014,30(24):12-17.
- [7] 车武,李俊奇,曹秀芹,等. 对城市雨水地下回灌的分析[J]. 城市环境与城市生态,2001,14(4):28-30.
- [8] 杜长伟,吴俊奇,汪慧贞,等. 北京市建筑小区雨水调蓄设施规模研究[J]. 给水排水,2014,40(10):89-92.



作者简介:吴文洪(1990-),男,湖南新化人,硕士研究生,研究方向为城市雨洪控制利用。

E-mail:1215264062@qq.com

收稿日期:2016-07-21

保护生态,维护河流健康生命