

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2016.02.002

临海市海绵城市建设实施方案编制实践与思考

湛忠宇,陈 星,田传冲

(河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098)

摘要:针对目前海绵城市建设实施方案主要从市政角度考虑、强调低影响开发措施应用、缺乏海绵城市系统建设理念的现实,以临海市为例,从流域治水角度,从问题与需求出发,统筹外围保障工程与内部实施方案两大工程体系,总结海绵城市实施方案编制实践要点,对未来我国海绵城市建设的推广提出建议。

关键词:海绵城市;建设方案;低影响开发;径流总量;临海市

中图分类号:TV213.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2016)02-0005-04

Practice and thoughts about implementation plan for sponge city construction in Linhai City

ZHAN Zhongyu, CHEN Xing, TIAN Chuanchong

(College of Hydrology and Water Resources , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract: Currently, implementation plans for the construction of sponge cities are mostly designed from the municipal perspective, with focuses placed on the application of low-impact development measures, and with a lack of a systematic construction concept. To solve these problems, using Linhai City as a case study, we analyze the problems and needs while considering basin flood control and two project systems, which include the peripheral safeguard project and internal implementation plan, discuss the key points of the practice of designing implementation plans for sponge cities, and provide recommendations for popularizing sponge cities in China.

Key words: sponge city; construction plan; low-impact development; total runoff volume; Linhai City

全球气候变暖和人类活动直接影响了水循环要素的时空分布特征,增加了极端水文事件发生的概率,使得城市暴雨洪涝问题日益增多,在一定程度上影响了区域的水安全以及国家的中长期发展战略^[1]。城市水问题复杂,治水形势严峻,海绵城市概念应运而生。2014 年住建部、财政部、水利部联合发布《海绵城市建设指南(试行)——低影响开发雨水系统》,2015 年 1 月 16 个城市开展海绵城市建设试点工作,海绵城市建设评价标准问世。国内学者对海绵城市的概念、建设途径等进行了诸多探索^[2-3]。车伍等^[3]结合国外先进雨水管理体系讨论了我国雨水体系建设;任心欣等^[4]采用 SWMM 模型

分析达到年径流总量控制率的建筑与小区低影响开发示范项目在各种降雨条件下的雨量径流系数,探讨雨量径流系数与年径流总量控制率之间的内在联系。笔者结合海绵城市建设实施方案编制实践,探讨外围流域与内部方案系统建设思路,对海绵城市控制目标进行可达性分析。

1 规划思路

收集地形土壤、降水蒸发等基础资料,整理流域、研究区相关规划,分析研究区主要问题,初步确定建设的主要目标。摆脱就水论水模式,拓展流域治理理念,在保护现有山水林田湖生命共同体的基

基金项目:国家自然科学基金(51579148)

作者简介:湛忠宇(1991—),男,硕士研究生,研究方向为城市水文。E-mail:zzynjlhr9111@163.com

础上,构建研究区外围保障工程体系。根据试点区内现状建设、在建与待建区域的功能用地特征、下垫面情况,考虑经济性、可实施性和适用性,构建“渗、滞、蓄、净、用、排”工程体系,实现由单一开发向系统治理的转变,提高城市调蓄能力以促进城市防涝能力(图1)。

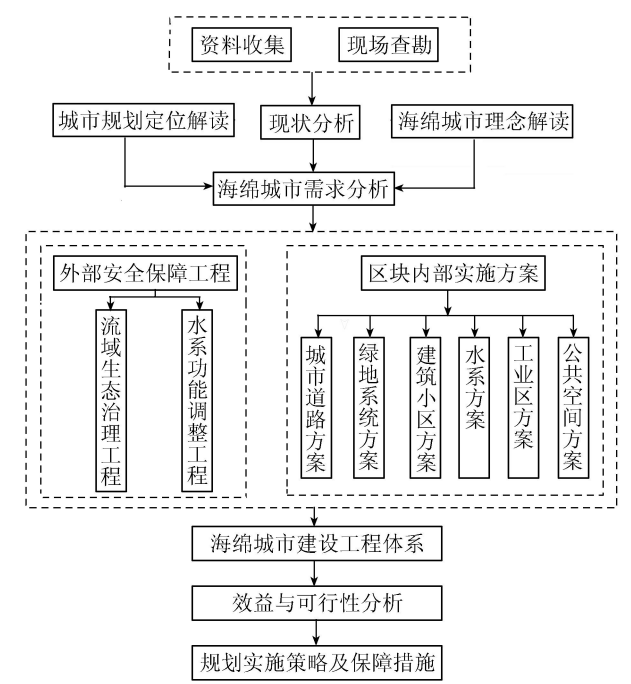


图1 海绵城市建设实施方案编制思路

2 实例

2.1 研究区概况

研究区位于临海城区东北部新城区的核心区块,北起东渡北路,南至张洋路,东起东城路,西至水云塘,总面积约 21.1 km²,其中现状建成区面积约 15.3 km²,现状水面率为 13.3%,主要河道有洛河、大寨河、洋头河、大田河、大田港下游段、东大河西段,主要湖泊有灵湖。多年平均降水量 1 602.7 mm,年内降雨主要集中在 5—6 月梅雨季和 7—9 月的台风雨季。

2.2 问题分析

a. 上游来水对城区防洪的压力大。东部新城属大田港流域下游河谷地区,上游山区汇水只有唯一的大田港出口排出,城区防洪标准虽基本达到 50 年一遇标准,但当遭遇台风暴雨,易长时间处于灵江高水位顶托状态,可排时间不多,导致临海市城区极易遭受洪涝灾害。

b. 部分地区排涝标准低,提升难度大。近年来,随着临海市城市化进程加快,城市建设用地不断扩张,下垫面硬化,雨水下渗量减小,汇流时间缩短,洪峰流量增大。排水设施、管道与河道规模及城市

化进程不匹配,且地势低洼,大田平原地面高程在 4.0~6.5 m 之间,无法有效解决涝水隐患。

c. 水资源利用以上游供水为主,雨洪资源利用率不高。临海市降水和径流的年内分配集中在汛期,汛期降水量占全年 3/4 左右,汛期天然径流量占全年的 4/5,时间上供需矛盾突出,缺乏有效的调节措施。目前城区涉水工程多以“快速排除”和“末端集中”控制为主要建设理念设置,大量汛期洪水得不到充分利用,未能有效地综合利用本地雨洪资源。

d. 城市面源污染控制难度大。随着城市污水处理厂、雨污分流工作的开展,城市生活、工业污染等点源污染得到有效的遏制,但城市初期雨水携带有大量面源污染物且未进行有效治理,对城市水环境影响日益突出,迫切需要做城市面源污染的治理与控制。

2.3 实施目标

海绵城市本质是对雨水的控制,国内外主要采用开发建设后外流径流量不超过开发建设前、综合径流系数、年径流总量控制率 3 种标准进行控制。开发建设后外流径流量不超过开发建设前具体量化难度较大,对面积较小的区块可采用水文模型综合计算,对面积较大的区块计算难度较大;综合径流系数便于计算,但指标只能反映出下垫面的变化,而综合径流系数与暴雨历时和强度有关;年径流总量控制率综合考虑了降雨与下垫面因素,参考《海绵城市建设技术指南(试行)——低影响开发雨水系统》,将临海市东部新城海绵城市控制目标定为年径流总量控制率不小于 80%。

2.4 工程实施方案

2.4.1 外部安全保障工程

针对流域受涝严重的问题,应综合考虑流域内的现状地形、水利工程及水系格局,对下游大田港闸进行除险加固,增加其排涝挡潮能力;新开明渠(隧洞)和排涝挡潮闸,新增排水出口,对上游河道进行分流。实施流域生态治理工程,在加强流域水土保持工作的基础上,对试点区上游的主要支流,加强河道生态保护工作,新建驳岸采用生态驳岸,并增加河道滞蓄工程;在白石溪与两头门溪交汇处规划新建湿地,滞蓄上游来水,净化水体。外围河湖水系调整工程布局见图 2。

2.4.2 区块内部方案

2.4.2.1 水系优化

根据水系格局分析,该流域三面环山,总集雨面积 434.1 km²,试点区处于流域最下游,地势低洼,目前整个流域只有大田港闸一个排水通道,且闸站年久失修,现有的水系格局与水安全体系不协调。



图2 外围河湖水系调整工程布局

综合考虑流域内的现状地形及水系格局,通过新开河道、河道清淤疏浚等工程新建海绵体(图3);考虑河湖水系重要性,设置不同的水域保护范围,保护海绵体。通过对灵湖进行拓浚等工程,增加河湖的下渗、滞蓄和自净能力,扩大排水流路,改善行洪排涝能力。

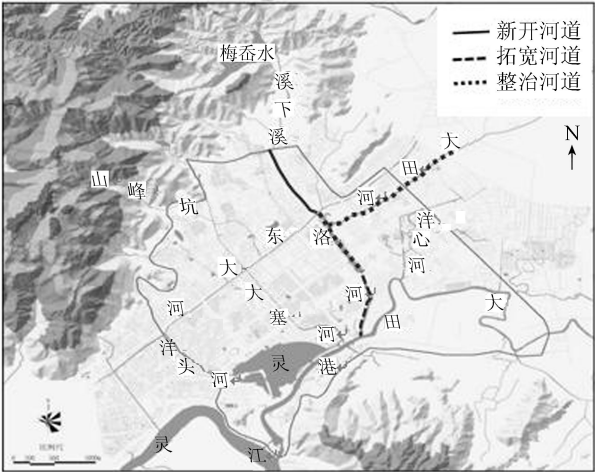


图3 试点区河湖综合整治布局

2.4.2.2 低影响开发工程

将不同土地利用分为绿地、公共设施用地、工业用地、市政道路、居住用地,根据基础条件选择适宜的低影响开发措施分地块控制^[6-7],实现综合径流系数总体控制目标。

a. 绿地工程。根据现状公园绿地地形等因素,将其改造成小型雨水花园,加强雨水调蓄,主要包括围绕灵湖的灵湖公园绿带、洛河中段的洛河公园绿带和小块的街头绿地。参考《临海市东部新城城市设计》,规划试点区内新建多个公园,公园建设中考考虑低影响开发理念,对低影响开发措施比例提出硬性要求,实现雨水就地下渗。

b. 公共设施用地。根据各公共设施用地的特

征,规划试点期内对临海市体育馆、台州中学、台州学院等工程进行低影响开发改造,博物馆、展览馆、医院、汽车站等工程通过设计变更等方式,增加低影响开发措施。试点期外开工建设的其他公共设施项目,应结合各自用地特征及临海市对海绵城市建设的要求,编制相应的海绵城市建设方案。

c. 工业用地。利用低影响开发雨水设施收集雨水资源作为循环冷却用水,节约水资源,提高水的重复利用率。现状工业厂房可用来建设低影响开发设施的空间主要有道路两侧及部分空地,可应用的低影响开发设施有雨水灌、蓄水池、透水路面、雨水灌渠、雨水初期弃流装置等。具体建设方案^[7]是:利用场地内空地建设蓄水池,散置部分雨水灌,收集雨水。在蓄水池和雨水灌前端设置初期雨水弃流装置,主要采用容积法弃流等形式,对存在初期冲刷效应、污染物浓度较高的降雨初期径流予以弃除。

d. 市政道路。道路是城市面源污染主要发生地区,因此低影响开发措施应重点突出截留污染物作用,改造凸式缓冲带为下凹式,利用植被吸附作用减少污染物,但需要注意雨水对泥土的侵蚀作用;从内涝治理角度来看,在道路两侧绿化带宽度适宜的前提下,可以考虑设置雨水花园等调蓄措施,减少进入排水管网雨水量,减轻管网排水压力。

e. 居住用地。居住用地主要包括连片开发的小区、城中村及农村集聚点等几种类型,各类居住用地建筑质量与特点之间存在较大的差异。对现状居住用地分别采用各种生态修复与优化方式进行改造,如增加绿色屋顶,改造现状公共绿地为下沉式绿地,改造现状硬质铺装为透水铺装,改造现状小片社会广场为下沉式广场或集雨广场,路边增设植草沟代替原有道路排水体系,现状绿地内增设集水池、生态塘、现状池塘等。未来新规划居住小区,按照本实施方案规定的控制指标,宜采用上述多种措施的组合,增加对雨洪资源的集蓄和利用能力。

3 目标可达性分析

“海绵城市”建设设施以径流总量和径流污染为控制目标进行设计时,设施具有的调蓄容积一般应满足“单位面积控制容积不低于80%”的指标要求。设计调蓄容积一般采用容积法^[8]进行计算:

$$V = 10H\phi F \tag{1}$$

式中: V 为设计调蓄容积, m^3 ; H 为调设计降雨量, mm ; ϕ 为综合雨量径流系数,可参照表1进行加权平均计算; F 为汇水面积, hm^2 。

计算原则:

a. 顶部和结构内部有蓄水空间的渗透设施(如

复杂型生物滞留设施、渗管渠等)的渗透量应计入总调蓄容积。

b. 调节塘、调节池对径流总量削减没有贡献,其调节容积不应计入总调蓄容积;转输型植草沟、渗管/渠、初期雨水弃流、植被缓冲带、人工土壤渗滤等对径流总量削减贡献较小的设施,其调蓄容积也不计入总调蓄容积。

c. 透水铺装和绿色屋顶仅参与综合雨量径流系数的计算,其结构内的空隙容积一般不再计入总调蓄容积。

d. 受地形条件、汇水面积大小等影响,设施调蓄容积无法发挥径流总量削减作用的设施,以及无法有效收集汇水面径流雨水的设施具有的调蓄容积不计入总调蓄容积。

表 1 径流系数参考取值

汇水面种类	雨量径流系数 ϕ	流量径流系数 ψ
绿化屋面	0.30 ~ 0.40	0.40
硬屋面、未铺石子的平屋面、沥青屋面	0.80 ~ 0.90	0.85 ~ 0.95
铺石子的平屋面	0.60 ~ 0.70	0.80
混凝土或沥青路面及广场	0.80 ~ 0.90	0.85 ~ 0.95
大块石等铺砌路面及广场	0.50 ~ 0.60	0.55 ~ 0.65
沥青表面处理的碎石路面及广场	0.45 ~ 0.55	0.55 ~ 0.65
级配碎石路面及广场	0.40	0.40 ~ 0.50
干砌砖石或碎石路面及广场	0.40	0.35 ~ 0.40
非铺砌的土路面	0.30	0.25 ~ 0.35
绿地	0.15	0.10 ~ 0.20
水面	1.00	1.00
地下建筑覆土绿地 (覆土厚度 ≥ 500 mm)	0.15	0.25
地下建筑覆土绿地 (覆土厚度 < 500 mm)	0.30 ~ 0.40	0.40
透水铺装地面	0.08 ~ 0.45	0.08 ~ 0.45
下沉广场(50 年及以上一遇)	—	0.85 ~ 1.00

注:参数摘自《建筑与小区雨水利用工程技术规范》。

根据表 1 计算工程实施后试点区的综合雨量径流系数 ϕ 为 0.54,设计降雨量 H 参照杭州 80% 年径流总量控制率对应的设计降雨量为 24.9 mm,根据式(1)计算得到设计调蓄容积为 283 845 m³。

实施方案中各类设施有效调蓄容积分类计算如下:

a. 渗透设施有效调蓄容积按式(2)进行计算。

$$V_s = V - W_p \tag{2}$$

式中: V_s 为渗透设施的有效调蓄容积,包括设施顶部和结构内部蓄水空间的容积,m³; V 为渗透设施进水量,m³; W_p 为渗透量,m³。

b. 以储存为主要功能的调蓄容积计算。雨水罐、蓄水池、湿塘、雨水湿地等设施以储存为主要功

能时,其储存容积通过容积法进行计算。

$$V' = \max \left[\int_0^T (Q_{in} - Q_{out}) dt \right] \tag{3}$$

式中: V' 为调节设施容积,m³; Q_{in} 为调节设施的入流流量,m³/s; Q_{out} 为调节设施的出流流量,m³/s; t 为时间计算步长,s; T 为计算降雨历时,s。

经计算,该工程中的湖泊、湿地、蓄水池、生物截流设施、渗透塘、下沉式绿地的总调蓄容积为 284 590 m³,大于设计调蓄容积,因此实施方案中的工程措施实施后,东部新区能够达到的径流总量控制率不小于 80%。

城市径流污染物中,SS 往往与其他污染物指标具有一定的相关性,因此,一般可采用 SS 作为径流污染物控制指标,年 SS 总量去除率可用下述方法进行计算:

$$R_{ss} = R \bar{R}_{ss} \tag{4}$$

式中: R_{ss} 为年 SS 总量去除率; R 为年径流总量控制率; $\bar{R}_{ss}$ 为低影响开发设施对 SS 平均去除率。

表 2 海绵城市建设指标

指标类型	指标名称	指标值/%
综合指标	年径流总量控制率	80
	水面率	13.6
单一指标	下沉式绿地率	9.5
	透水铺装率	27
	绿色屋顶率	4.6
	年 SS 总量去除率	≥ 52

4 结 语

临海市东部新城是临海市城市未来发展的重点,同时也是城市水问题集中凸显的地方。东部新城易受山洪影响,在考虑流域控制的海绵城市建设时,通过构建外围流域水安全保障体系,强化内部河湖水系治理,可以为山前平原地区治水思路提供借鉴。

将径流总量控制率作为临海市海绵城市控制目标,考虑流域控制的海绵城市实施方案编制是将流域综合管理理念与海绵城市相融合,目标选取应因地制宜,突出区域特点,综合考虑水安全、水环境、水生态、水资源等不同需求。重点引入水系连通性、水面率等反映健康河湖的指标;在做好排水管网普查基础上,重点结合内涝风险评估,突出排水管网标准等传统指标。需要指出的是水质达标率、雨水资源替代公共用水率、中水回用率等指标也是衡量海绵城市建设成功与否的重要标准。

(下转第 20 页)

- and Hydropower Engineering, 2006, 37 (2): 45-52. (in Chinese))
- [10] 阚添进, 李宁, 王志清. 城市多水源配置系统中水布局及水质转换综述[J]. 科技信息, 2012, 25 (25): 304-306. (QUE Tianjin, LI Ning, WANG Zhiqing. Urban multi water resources allocation system water distribution and quality conversion: a review [J]. Science and Technology Information, 2012, 25 (25): 304-306. (in Chinese))
- [11] 王岚, 张其成, 陈星. 住宅小区雨水收集利用方案及其效益分析[J]. 水资源保护, 2013, 29 (2): 67-70. (WANG Lan, ZHANG Qicheng, CHEN Xing. Scheme design and profit analysis of rainwater collection and recycling in a residential district [J]. Water Resources Protection, 2013, 29 (2): 67-70. (in Chinese))
- [12] 常进, 王卫平, 陈星, 等. K-L PPC 模型在水资源可持续利用评价中的应用[J]. 水资源保护, 2013, 29 (4): 50-53. (CHANG Jin, WANG Weiping, CHEN Xing, et al. Application of K-L PPC model to evaluation of sustainable utilization of water resources [J]. Water Resources Protection, 2013, 29 (4): 50-53. (in Chinese))
- [13] 项琼. 基于组合权重 TOPSIS 模型的区域水资源承载力综合评价[J]. 西北水电, 2015 (4): 6-10. (XIANG Qiong. The general assessment on bearing capacity of regional water resources based on TOPSIS model of combined weight [J]. Northwest Hydropower, 2015 (4): 6-10. (in Chinese))
- [14] 林铨云. 多目标优化的方法与理论[M]. 长春: 吉林教育出版社, 1992.
- [15] 周亚. 多属性决策中的 TOPSIS 法研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2009.
- [16] 张峰, 谢振华, 程江涛, 等. 基于广义马氏距离的混合型多属性决策的 TOPSIS 方法[J]. 海军航空工程学院学报, 2013 (6): 674-678. (ZHANG Feng, XIE Zhenhua, CHEN Jiangtao, et al. The TOPSIS method for hybrid multi-attribute decision based on generalized Mahalanobis distance [J]. Naval Aeronautical Engineering Institute, 2013 (6): 674-678. (in Chinese))
- [17] 华小义, 谭景信. 基于“垂面”距离的 TOPSIS 法——正交投影法[J]. 系统工程理论与实践, 2004 (1): 114-119. (HUA Xiaoyi, TAN Jinxin. TOPSIS Method based on the "vertical plane" distance-orthogonal projection method [J]. Systems Engineering Theory and Practice, 2004 (1): 114-119. (in Chinese))
- [18] 胡永宏. 对 TOPSIS 法用于综合评价的改进[J]. 数学的实践与认识, 2002 (4): 572-575. (HU Yonghong. Improved TOPSIS method for comprehensive evaluation [J]. Mathematics in Practice and Theory, 2002 (4): 572-575. (in Chinese))

(收稿日期: 2015-12-28 编辑: 彭桃英)

(上接第 8 页)

参考文献:

- [1] 张建云, 宋晓猛, 王国庆. 变化环境下城市水文学的发展与挑战: I: 城市水文效应[J]. 水科学进展, 2014, 25 (4): 594-605. (ZHANG Jianyun, SONG Xiaomeng, WANG Guoqing. Development and challenges of urban hydrology in a changing environment: I: hydrological response to urbanization [J]. Advances in Water Science, 2014, 25 (4): 594-605. (in Chinese))
- [2] 王文亮, 李俊奇, 车伍, 等. 海绵城市建设指南解读之城市径流总量控制指标[J]. 中国给水排水, 2015, 31 (8): 18-23. (WANG Wenliang, LI Junqi, CHE Wu, et al. Explanation of sponge city development technical guide: planning index for urban total runoff volume capture [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31 (8): 18-23. (in Chinese))
- [3] 车伍, 武彦杰, 杨正, 等. 海绵城市建设指南解读之城市雨洪调蓄系统的合理构建[J]. 中国给水排水, 2015, 31 (8): 13-18. (CHE Wu, WU Yanjie, YANG Zheng, et al. Explanation of sponge city development technical guide: rational building of urban stormwater detention and retention system [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31 (8): 13-18. (in Chinese))
- [4] 任心欣, 汤伟真. 海绵城市年径流总量控制率等指标应用初探[J]. 中国给水排水, 2015, 31 (13): 105-109. (REN Xinxin, TANG Weizhen. Application of capture ratio of total annual runoff volume in sponge city [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31 (13): 105-109. (in Chinese))
- [5] 车伍, 吕放放, 李俊奇, 等. 发达国家典型雨洪管理体系及启示[J]. 中国给水排水, 2009, 25 (20): 13-17. (CHE Wu, LV Fangfang, LI Junqi, et al. Typical stormwater and flood management systems in developed countries and their inspiration [J]. China Water & Wastewater, 2009, 25 (20): 13-17. (in Chinese))
- [6] 胡爱兵, 任心欣, 俞绍武, 等. 深圳市创建低影响开发雨水综合利用示范区[J]. 中国给水排水, 2010, 26 (20): 69-72. (HU Aibing, REN Xinxin, YU Shaowu, et al. Exploration for creating low impact development stormwater management demonstration area in Shenzhen [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26 (20): 69-72. (in Chinese))
- [7] 王琼珊, 刘晓梅, 赵冬泉, 等. 低影响开发措施比选及适建区域分析[J]. 中国给水排水, 2014 (3): 96-100. (WANG Qionshan, LIU Xiaomei, ZHAO Dongquan, et al. Selection of low impact development techniques and analysis of suitable construction area [J]. China Water & Wastewater, 2014 (3): 96-100. (in Chinese))
- [8] 住房城乡建设部. 海绵城市建设技术指南: 低影响开发雨水系统构建 (试行) [EB/OL]. [2015-10-08]. <http://vdisk.weibo.com/s/uoGPP11OEymNP>

(收稿日期: 2015-12-28 编辑: 徐 娟)