

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.14.003

基于海绵城市理念的慈城新城排水安全系统构建

张 伟, 王 翔

(中国市政工程华北设计研究总院有限公司 北京分公司, 北京 100081)

摘 要: 保障城市排水安全是海绵城市建设的重要内容之一。宁波慈城新城建设尊重自然本底,探索可持续发展建设路径,科学构建了“源头减排-过程控制-末端调蓄”的排水防涝系统。通过道路及河道生物滞留带布置,以及新建项目的年径流总量控制率管控,实现了源头径流削峰减量。针对 20 年一遇的内涝防治标准,通过合理的竖向组织及中心湖生态调蓄空间的建设,实现了新城片区超标径流蓄排平衡,降雨期间大大减小了城市下游的排水压力,保障了城市排水安全。

关键词: 海绵城市; 排水安全; 生物滞留带; 年径流总量控制率

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)14-0012-06

Construction of Cicheng New Town Drainage Safety System Based on Sponge City Concept

ZHANG Wei, WANG Xiang

(Beijing Branch, North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd.,
Beijing 100081, China)

Abstract: To ensure the safety of urban drainage is one of the important contents of sponge city construction. Based on the natural background, Ningbo Cicheng New Town explores the construction path of sustainable development, and scientifically constructs the drainage and waterlogging prevention system of “source emission reduction, process control, as well as end regulation and storage”. Through the layout of road and channel bioretention zone, as well as the control of total annual runoff of new projects, the peak source runoff was reduced. According to the 20-year flood control standard, through reasonable vertical organization and the construction of ecological storage space of the central lake, the balance of excess runoff storage and drainage was realized. The downstream drainage pressure during rainfall was greatly reduced, and the urban drainage safety was guaranteed.

Key words: sponge city; drainage safety; bioretention zone; annual runoff control rate

在我国城镇化快速发展过程中,由于城市开发强度高,大量硬质铺装改变了原有的自然生态本底和水文特征。每逢遭遇高强度降雨时,大量降雨在短时间内形成地表径流,大大增加了城市排水压力,经常出现“城内看海”现象。2010 年住房和城乡建设部对全国 351 个城市的抽样调查显示,仅 2008 年—2010 年就有 62% 的城市发生过不同程度的暴雨内涝^[1]。2015 年 10 月,国务院办公厅印发了《关

于推进海绵城市建设的指导意见》,明确海绵城市建设是一种城市发展方式,要实现“小雨不积水、大雨不内涝、水体不黑臭、热岛有缓解”的建设目标。水安全保障系统构建是海绵城市建设的重要方向之一,谢映霞^[2]提出了构建大排水系统,解决城市内涝。车伍等^[3]提出了依靠大、小排水系统解决城市内涝问题。周玉文^[4]从城市尺度研究了排水(雨水)防涝工程系统架构。徐连军等^[5]提出城市排水

防涝体系由水系和陆域两部分组成,城市陆域排水防涝体系主要由道路、边沟、滞蓄区等组成。程小文等^[6]进一步梳理了城市大排水系统的规划方法与实践。王泽阳等^[7]基于海绵城市理念对厦门鼓浪屿常规防涝系统进行了有效提升。结合宁波市国家海绵城市建设试点区建设经验,以慈城新城片区水安全系统构建为例,探索建设水安全保障实施路径,以便为同类型城市排水防涝体系建设提供技术支撑。

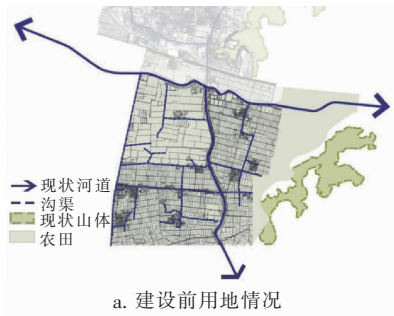
1 慈城新城基本情况

① 建设前自然本底

慈城新城片区位于宁波国家海绵城市试点区的西北部,属于官山河以西片区,北部以慈江为界,西至中横河,南抵界址桥路,总面积约 2.84 km²。

慈城新城建设之前为河道蜿蜒的稻田平原,区域内灌溉河道与人工开挖的小溪密布,用地类型主要为稻田、村落、蔬菜种植和水产业(渔业和养鸭业)。场地竖向整体上东、西两侧高,中间低,地面标高为 1.5~1.8 m,地势较为平坦。径流雨水通过地面汇集至附近沟渠,然后进入官山河,最终流入姚江。

慈城新城建设前用地情况及影像图见图 1。



a. 建设前用地情况



b. 影像图

图1 慈城新城建设前用地情况及影像图(2006年)

Fig.1 Land use and image map before the construction of Cicheng New Town in 2006

② 水安全保障需求

该区域位于姚江上游,北邻慈江,地势平坦,若按照传统开发模式,易受洪涝灾害袭扰。地势低洼是产生该区域内涝的主要原因:一方面在遭遇 20 年一遇的暴雨时,该区域内涝水位超过 2 m;另一方面区域内部缺少排水出路,遭遇强降雨时,场地内径流无法顺畅排除,此外区域内部缺少调蓄水体。通过对该区域进行内涝风险评估,在 10 年一遇、20 年一遇降雨情况下的高风险区分别达到 30% 和 44% (见表 1)。若按传统的城市建设方式,以保障区域水安全为目标,需将区域整体标高进行抬升。为了满足 20 年一遇城市建设内涝防治标准,则需要将区域整体标高抬升 0.4 m 以上。在该情景下以 3 年一遇的降雨重现期进行模拟分析,区域外排流量相对标高抬升前增加了 2 400 m³/h,大大增加了下游城区的防洪压力。

表1 10年一遇、20年一遇降雨工况下区域内涝风险评估

Tab.1 Risk assessment of waterlogging once in 10 and 20 years rainfall

降雨情景	无风险区 占比/%	低风险区		中风险区		高风险区		平均最大淹没深度/m
		占比/%	淹没时间/h	占比/%	淹没时间/h	占比/%	淹没时间/h	
10年一遇降雨	54	6	2	10	6	30	28	0.28
20年一遇降雨	45	4	2	7	6	44	28	0.44

③ 现状地形特征

为解决区域内涝问题,慈城新城建设之初重在竖向控制,以边界道路为相对高点,边界道路高程标高在 3.5 m 以上,并在中心区域开挖人工湖,岸堤标高为 2.4 m,从外围向中心区域地势逐渐降低。已建区域地势相对较高,北部未建区域地势较低,高程约为 2 m。

④ 现状下垫面

根据勘察资料,慈城新城建成区域主要集中在中心湖周边,已建区域及道路面积约占总面积的 32%,另有 5.7% 的地块属于在建区域,超 50% 的地块属于未开发状态,且集中在中心湖以北区域。

2 水安全系统构建策略

慈城新城排水系统构建如图 2 所示。

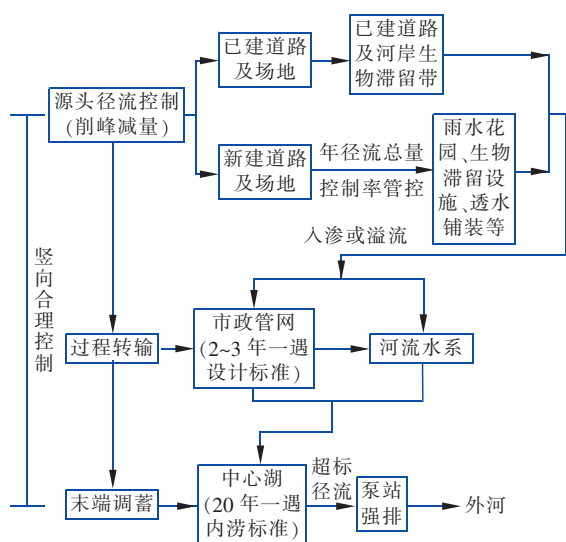


图2 慈城新城排水系统构建

Fig. 2 Schematic diagram of drainage system construction of Cicheng New Town

采取的主要策略如下:

① 尊重自然本底,保留河网特色。新城开发前小溪密布,为了保留该区域平原河网特色及水面率,借鉴慈城古城“河街并行”“半街半水”的双棋盘水路网格,合理规划水系布局,保障区域径流行泄通畅。

② 合理竖向控制,区域调蓄为主。区域水安全保障重要举措是预留城市水体调蓄空间。慈城新城开发坚持“径流产蓄平衡,安全景观兼顾”的原则,在新城中心建设一座中心湖,通过合理的竖向控制,将水系与中心湖连接,使区域雨水得以蓄存利用,发挥蓄洪功能,同时结合生态化景观建设,将中心湖打造成新城的一张生态名片。

③ 场地生态建设,源头削峰减量。慈城新城开发建设之初采用水敏感城市设计(Water Sensitive Urban Design)理念进行设计,道路和地块雨水流入设置在路边或河边的生态滞留带,使得源头雨水径流得以控制。海绵城市建设以来,所有新建道路和地块均采用源头海绵城市建设理念,通过分散、生态的海绵设施使源头雨水径流得到进一步控制。

3 水安全系统构建方案

3.1 水系布局

① 水系布局

慈城新城片区三面临水,北部与慈江相连,东、西分别与官山河、中横河相邻。区域整体水面率控

制不低于10%,共规划布局6条内河河道,河道宽度多为10~12 m,排水泵站规模为 $6.08 \text{ m}^3/\text{s}$,具体如图3所示。



图3 慈城新城水系布局

Fig. 3 Water system layout of Cicheng New Town

慈城新城开发前的区域综合径流系数为0.25,完全开发后区域综合径流系数将达到0.65,在20年一遇长历时的降雨条件下,径流量从 $13 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 增至 $31.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。基于相对封闭的片区开发建设,为了实现区域内的水量平衡以及满足20年一遇的内涝防治标准,在新城中心设有一座中心湖,其直径约为500 m,水域面积约为 18.9 hm^2 ,设计调蓄容积约为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3$,作为区域水安全保障的重要载体。

② 闸泵设置

为避免在台风等极端强降雨条件下,慈江连同官山河、中横河水位整体上涨,加大慈城新城内涝风险,分别在慈江与官山河、中横河的连接处各建设一座防洪闸门,遭遇强降雨时,外围闸门均处于关闭状态,确保客水外排。同时,考虑中心湖的调蓄容积有限,为避免中心湖湖水外溢,在新城五河与中横河连接处建设一座规模为 $6.08 \text{ m}^3/\text{s}$ 的排涝泵站,将湖水强排至中横河,保障城区的水安全。

3.2 过程转移

慈城新城采用雨污分流制排水体制,雨水过程转移主要依靠道路和河边的生物滞留带以及市政雨水管网,生物滞留带和雨水管网的雨水则排入就近的水体。

3.2.1 生物滞留带

① 调蓄水深

早期建设的生物滞留带统一按照 30 cm 的调蓄深度进行控制,随着海绵城市建设的推进,新建道路基本按照约 21 mm 的设计降雨量进行设计,采用容积法,通过计算服务范围内的调蓄容积,再根据生物滞留带的平面尺寸,得到调蓄水深,一般为 15 ~ 25 cm。

② 结构层

2016 年前建的生物滞留带由 3 层组成,从上到下依次分滤料层、过渡层和排水层。滤料层厚约 50 cm,绿化植物生长其中,雨水主要靠该层进行滞留和过滤;过渡层是介于滤料层和排水层之间的砂层,其厚度约 10 cm,由级配中粗砂组成,其主要功能是防止上部滤料层中较小的有机质和细土砂颗粒进入其下部的排水层而降低渗透能力或阻塞其下部的透水管;排水层厚 25 ~ 35 cm,由较粗颗粒物和透水管组成,作用是输送和排放雨水。透水管埋设在排水层颗粒物之中,颗粒物在透水管周边形成良好的渗水流动空间,使过滤后的水体进入透水管,然后经雨水主管流入内部河道。当时的滤料层土壤混合物组成比例:砂土(粒径为 0.05 ~ 2 mm)占 50% ~ 70%,粉砂土(粒径为 0.002 ~ 0.05 mm)占 5% ~ 30%,黏土(粒径 < 0.002 mm)占 5% ~ 15%。混合物 pH 值为 6 ~ 7.5。由于该滤料层含砂比例较高,虽然渗透性能较好,但植物选择比较受限,土壤保水性较弱,植物长势不太理想。海绵城市建设以来,宁波市对滤料层进行了改良,降低了含砂比例,增加了种植土的比例。

3.2.2 雨水管网

根据宁波市暴雨强度公式,雨水管网设计采用 2 ~ 3 年一遇设计重现期,雨水管网总长约 5.9 km,

管径为 500 ~ 800 mm。

3.3 场地及道路径流控制

3.3.1 总体径流组织

道路和地块雨水流入路边及河边的生物滞留带,初期雨水经缓释过滤后进入生物滞留带下部的多孔管进行雨水收集,之后汇入雨水主管,超标径流通过生物滞留带溢流口进入雨水主管,进而通过内部河道汇集后,最终汇入中心湖。

3.3.2 已建小区雨水径流控制

慈城新城已建有 2 种类型的小区:滨水小区(小区内有河道穿过)与非滨水小区。滨水小区内的雨水由河边的生物滞留带处理,小区内部的雨水由排水管渠排至生物滞留带内。非滨水小区内的雨水将全部由路边生物滞留带处理,这类生物滞留带紧邻道路的边缘设置,路面雨水直接排入生物滞留带,小区地块内的雨水则采用排水管渠接入生物滞留带。

3.3.3 道路雨水径流控制

道路两旁各有一条约 2.5 m 宽的生物滞留带,比周围路面下凹约 20 cm,不仅有绿化美观作用,还能收集和涵养水源。每当发生强降水,路面多余的雨水就可以通过生物滞留带下渗和净化,同时又能补充和涵养地下水,减少绿化灌溉用水量。

3.3.4 规划新建小区雨水径流控制

① 年径流总量控制率管控

规划新建小区全部按照海绵城市建设理念进行雨水径流控制,结合慈城新城的用地构成以及建筑密度、绿地率等用地管控条件,通过年径流总量控制率指标构建体系,确定规划新建地块的年径流总量控制率建设要求。

宁波市年径流总量控制率与设计降雨量的对应关系见表 2。

表 2 宁波市年径流总量控制率与设计降雨量对应关系

Tab.2 Corresponding relationship between total annual runoff control rate and design rainfall

年径流总量控制率/%	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
降雨量/mm	9.5	11.1	13.0	15.1	17.6	20.7	24.7	30.3	38.6	54.2

② 源头海绵设施选择

该区域地下水位高,土壤为淤泥质黏土,具有含水率高、下渗率低等特点。在进行海绵设施选择时,应预先测定本底土壤的渗透性能,如果渗透性能较差,应采取换土措施;优先选择以“渗、净”功能为主的生态海绵设施,比如生物滞留设施、雨水花园等。

3.4 竖向控制

为了确保排水通畅,保障慈城新城的区域水安全,在竖向控制方面,综合考虑了道路与外围水系、地块与道路、道路与生物滞留设施、内部水系与堤岸之间的竖向衔接关系,各类设施之间的衔接关系见图 4。

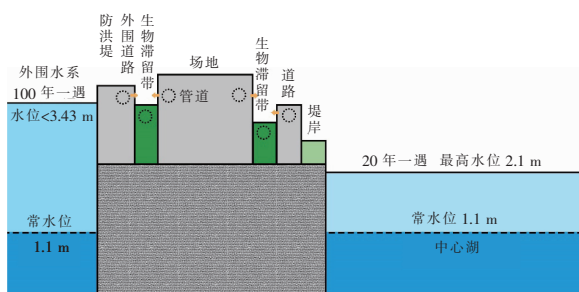


图4 慈城新城竖向衔接

Fig. 4 Vertical connection diagram of Cicheng New Town

① 场地竖向控制

合理的竖向控制是保障水安全和径流组织的基础。周边慈江、官山河 100 年一遇的水位均小于 3.43 m。基于慈城新城建设前四周高、中间低的标高形态,采用路堤合一的建设方式,将区域最外围的道路与防洪堤建设相结合,将外围道路的标高控制在 3.43 m 以上,阻挡客水进入。

在场地竖向控制方面,为确保场地内部的雨水径流能顺利汇集到道路,在道路与场地的竖向衔接上,均使场地标高高于道路标高,场地内部的径流组织多为中心向四周发散的形态。

② 中心湖水位控制

中心湖的水位由水泵来控制。通过控制湖中水位,以保证既有足够的容量容纳后续的降雨,同时也保证有足够的水量贮存在湖内和河道内以供后续的早期用水。慈城新城的内涝防治标准为 20 年一遇,在该降雨条件下,中心湖的水位可达到 2.1 m。因此,中心湖设计常水位标高为 1.1 m,最高水位标高为 2.4 m,确保 0.3 m 的安全高度。当湖中水位超过 1.2 m 时,水泵逐台启动,当水位超过 1.7 m 时,水泵完全开启,将水由湖中抽出直到水位回落至 1.1 m 时停泵。

3.5 区域水安全实施效果

2019 年 8 月、9 月,宁波市连续遭受台风“利奇马”和“米娜”的侵袭,在极端降雨条件下,该片区通过中心湖的调蓄作用,展现出了较强的水安全保障能力。2019 年 8 月 9 日—11 日受台风“利奇马”影响,宁波市江北区国家海绵城市建设试点区降雨历时达 50 h,通过雨量计监测,总降雨量为 206.8 mm,整体上降雨历时长,降雨量大。通过分析最大连续 1 h 降雨量为 28.8 mm,最大连续 2 h 降雨量为 48.4 mm(短历时 1 年一遇 2 h 降雨量),最大连续 24 h

时降雨量为 181.2 mm。在此期间,慈城新城充分发挥了中心湖的雨洪调蓄作用,由水利部门统一调度,将中心湖湖水强排时间延后 2 h,错开排涝高峰期,减轻了周边河道的防洪排涝压力,同时,慈城新城未出现积水内涝现象。

4 结论及建议

慈城新城通过构建“源头减排—过程控制—末端调蓄”的系统措施,实现了区域径流的蓄排平衡,历经多次台风降雨天气检验,均达到了“大雨不内涝”的海绵城市建设目标,有效保障了区域城市排水安全。

针对源头径流控制,慈城新城在建设之初,以水敏感城市理念为基础,合理布置道路及河岸生态滞留带,对源头雨水进行削峰减量;随着海绵城市建设理念的实践探索,慈城新城新开发地块,将年径流总量控制率作为刚性控制指标,进一步加强源头雨水径流的控制。

慈城新城排水系统的建设经验,充分体现了片区型调蓄空间对水安全保障的重要性。新城开发建议以 3 km² 左右的控制范围为相互独立的排水控制单元,在排水体系构建中,尤其重要的是通过合理竖向控制,预留片区型调蓄空间,实现区域超标径流控制,减小城市下游整体排水压力。同时可结合生态景观建设及雨水净化措施,实现雨水资源蓄存利用,打造区域水生态空间,提高城市生活品质。

参考文献:

- [1] 章林伟. 海绵城市建设概论[J]. 给水排水, 2015, 41(6): 1-7.
Zhang Linwei. Summary of the sponge city construction [J]. Water & Wastewater Engineering, 2015, 41(6): 1-7 (in Chinese).
- [2] 谢映霞. 从城市内涝灾害频发看排水规划的发展趋势[J]. 城市规划, 2013(2): 45-50.
Xie Yingxia. Development of drainage planning in view of frequent urban waterlogging disasters [J]. City Planning Review, 2013(2): 45-50 (in Chinese).
- [3] 车伍, 杨正, 赵杨, 等. 中国城市内涝防治与大小排水系统分析[J]. 中国给水排水, 2013, 29(16): 13-19.
Che Wu, Yang Zheng, Zhao Yang, et al. Analysis of urban flooding control and major and minor drainage systems in China [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(16): 13-19 (in Chinese).

- [4] 周玉文. 城市排水(雨水)防涝工程的系统架构[J]. 给水排水, 2015, 41(12): 1-5.
Zhou Yuwen. System architecture of waterlogging prevention on water drainage (rainwater) system [J]. Water & Wastewater Engineering, 2015, 41(12): 1-5 (in Chinese).
- [5] 徐连军, 张善发, 朱砂砾, 等. 城市陆域排水防涝体系构建方法与技术关键探讨[J]. 中国给水排水, 2013, 29(19): 141-145.
Xu Lianjun, Zhang Shanfa, Zhu Shali, et al. Construction and key techniques of urban drainage and flood control system [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(19): 141-145 (in Chinese).
- [6] 程小文, 凌云飞, 贾玲玉, 等. 城市大排水系统的规划方法与案例实践[J]. 给水排水, 2019, 45(增刊): 60-63.
Cheng Xiaowen, Ling Yunfei, Jia Lingyu, et al. Planning method and case practice of urban drainage system [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(S): 60-63 (in Chinese).
- [7] 王泽阳, 沈晓铃, 吴连丰, 等. 基于海绵城市的历史文化街区水安全体系构建——以厦门市鼓浪屿为例[J]. 给水排水, 2016, 42(11): 51-56.

Wang Zeyang, Shen Xiaoling, Wu Lianfeng, et al. Historic culture street water safety system construction based on sponge city: Taking Kulangsu in Xiamen for example [J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42(11): 51-56 (in Chinese).



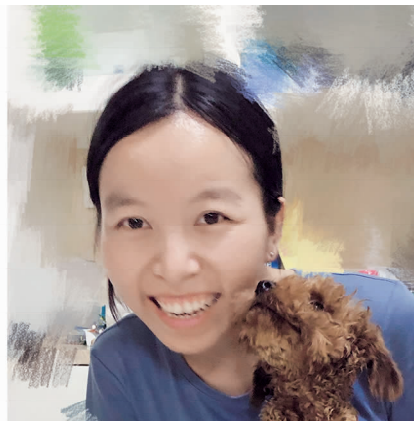
作者简介: 张伟(1987-), 男, 河南商丘人, 硕士, 高级工程师, 主要从事市政工程规划设计、海绵城市建设、水环境治理领域相关工作。

E-mail: weizhang_66@163.com

收稿日期: 2020-04-15

(上接第11页)

- of sponge city construction in seasonal rainfall areas of North China [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(5): 81-85 (in Chinese).
- [5] 杜晓丽, 韩强, 于振亚, 等. 海绵城市建设中生物滞留设施应用的若干问题分析[J]. 给水排水, 2017, 43(1): 54-58.
Du Xiaoli, Han Qiang, Yu Zhenya, et al. Some issues of the bioretention application in sponge city construction [J]. Water & Wastewater Engineering, 2017, 43(1): 54-58 (in Chinese).
- [6] 梁小光. 海绵城市建设中路沿石开口水力计算及设计优化[J]. 中国给水排水, 2018, 34(2): 42-45.
Liang Xiaoguang. Hydraulic calculation and design optimization of curb opening in sponge city construction [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(2): 42-45 (in Chinese).



作者简介: 聂超(1991-), 女, 贵州麻江人, 硕士, 助理工程师, 从事海绵城市规划与设计、黑臭水体治理等工作。

E-mail: 413740818@qq.com

收稿日期: 2020-04-15