

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2026.12.014

污涝共治下的沿江丘陵地区海绵城市规划建设实践

杨至瑜¹, 朱天琳¹, 王家卓¹, 吕红亮¹, 张春洋^{1,2}, 李 晓³

(1. 中规院<北京>规划设计有限公司, 北京 100044; 2. 清华大学 环境学院, 北京 100084; 3. 北京市市政工程设计研究总院有限公司, 北京 100082)

摘 要: 基于海绵城市建设的理念与内涵要求,对沿江丘陵地区海绵城市的规划建设开展研究,结合城市内涝治理和水环境质量保护的迫切需求,深入分析了该类城市在海绵城市规划建设中面临的挑战。同时以宜昌市为例,因地制宜制定系统化实施方案,提出“守山护水、先滞后排、污涝共治、雨蓄早用”的规划建设策略,同时结合国家海绵城市示范建设,合理安排建设打造示范片区,为类似地区的海绵城市规划建设提供参考。

关键词: 海绵城市; 系统化方案; 沿江丘陵地区

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2026)12-0092-09

Strategies and Practices of Systematic Sponge City Planning and Construction in Riverside Hilly Area

YANG Zhiyu¹, ZHU Tianlin¹, WANG Jiazhao¹, LÜ Hongliang¹,
ZHANG Chunyang^{1,2}, LI Xiao³

(1. CAUPD Beijing Planning & Design Consultants Co. Ltd., Beijing 100044, China; 2. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3. Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Beijing 100082, China)

Abstract: The sponge city concept serves as an important approach to enhancing the safety and resilience of urban water systems. This paper mainly explores the planning and construction modes of sponge city development in riverside hilly area. It further analyzes the difficulties in sponge city construction and puts forward targeted strategies to satisfy water environmental safety and drainage demands, simultaneously address water pollution and urban waterlogging, and realize rainwater collection for drought resistance. In addition, this paper proposes site-adaptive implementation schemes for sponge city construction in Yichang, which rationally arranges construction projects and builds demonstration zones with government support. Finally, it summarizes replicable development modes applicable to similar cities, including controlling combined sewer overflow pollution in central urban areas, improving the resilience of urban waterfront spaces, establishing urban ecological hydrological cycles, and reducing the adverse environmental impacts of urban construction.

Keywords: sponge city; systematic implementation plan; riverside hilly area

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFC3204402)

通信作者: 张春洋 E-mail: zcycaupd@qq.com

丘陵城市地形复杂,山峦起伏,暴雨汇流历时短,海绵城市建设易受降雨、水土流失等影响,同时长江干流沿线城市面对越来越高的水环境质量要求,如何应用海绵理念更好地解决城市水环境污染问题^[1-5],科学落实海绵城市理念,系统构建海绵城市建设体系,需要进一步梳理与总结。以宜昌市为例,对沿江丘陵地区的海绵城市条件和问题进行分析,提出适用于沿江丘陵地区的海绵城市规划建设方法和模式,供其他类似城市参考。

1 沿江丘陵地区海绵城市建设面临的挑战

基于工作实践,笔者总结了沿江丘陵地区海绵城市建设面临的挑战:一是地形起伏导致城市雨水迅速汇集,暴雨洪涝灾害风险大;二是沿江城市水环境改善压力较大,雨季污涝水排江严格受控,城市排水防涝系统面临协同控污排涝问题。

1.1 雨水径流源短流急,洪涝风险易交织

山地丘陵城市多坐落于山体、峡谷之间,地势复杂、起伏较大,局部存在低洼区域,易受洪涝影响。

① 城市上游的自然冲沟频繁穿越城区,其河道特征表现为急剧的涨落以及显著的坡度,因此雨洪短促且流速迅猛,易于排放但难以蓄积。在暴雨条件下,流域水文过程展现出极快的演变速度和迅速消退的特性,从而加剧山洪频发与突发。上游洪水的迅速汇集导致河道水位急剧波动,其与城市排水系统的高程衔接面临巨大挑战,形成了“来得快、去得快”的洪涝灾害特征,进一步提升洪涝风险。

② 丘陵城市的地貌特征显著,山体众多,岩层深厚而土壤层相对薄弱,含水层亦较为浅薄,且常被不透水岩层阻隔。在暴雨期间,城市不透水下垫面地表径流与地下水之间的转换较为困难。

③ 丘陵城市的地表起伏显著,短时间内即可形成高流量、快流速的地表径流。受限于地形条件,城市用地局促,削山造地活动难以避免,进一步加剧了局部地貌的显著变化,对水文循环系统和自然生态系统造成巨大的破坏。地形改造与地面硬化显著提升了径流系数和洪峰流量,缩短了径流集流时间,给城市雨水系统带来沉重的负担。这在宜昌老旧城区的低洼地段表现得尤为明显,雨水径流易于汇集,而排水管道则因老旧破损、能力不足,难以在雨天及时排水,从而引发内涝灾害。

1.2 沿江地区截流控溢流,污涝协同难度大

随着城市化进程的快速推进,城区水生态系统正遭受日益增大的污染冲击压力。在典型的水体污染情景下,合流制溢流的污染负荷贡献率高达50%~90%,是水环境污染的重要因素之一^[6]。为减少污水与雨水排放系统中污染物的溢流与排放,目前广泛采用减排-截流-调蓄-处理综合控制措施,由于极端天气频发,丘陵城市暴雨径流对合流制雨污水的储存、调蓄及处理能力形成较大考验,加剧了合流制溢流污染隐患^[7]。近年来,为应对这一问题,国家已出台多项重要政策文件与规划,倡导结合实际情况实施雨污分流改造,并在条件暂不具备的情况下,采取措施减轻雨季的溢流污染现象。

随着旧城改造与新城开发建设的推进,城市排水系统不断进行新建与更新改造,但仍面临诸多挑战,尤其是丘陵地区排水问题更为复杂。一是缺乏统筹协调与规范建设导致排水体制混乱,雨污混错接现象普遍,上下游衔接不畅,合流与分流系统交织错杂;二是丘陵地区用地紧张,地下空间有限,扩张过程中新增管网与原有排水系统衔接无序,导致转输汇水面积过大,加剧原有排水系统负荷,间接削弱管渠排水能力,暴雨期易发生溢流;三是滨江城市沿江组团多采用截流式合流制排水,部分截流井、溢流口设置不合理,造成旱季污水外流、雨天溢流排水受阻等问题,降低系统截流效率,甚至增加内涝风险;四是丘陵地区的山水易混入排水系统,影响截流效果,降低污水处理效率。

2 沿江丘陵地区海绵城市规划建设对策

沿江丘陵地区特殊的地质、地貌、水文要素及生态环境,对雨水径流控制率和雨水水质影响较大,加上城市用地条件的限制,工程措施相对小而分散,海绵城市规划建设需坚持问题导向,按照系统化全域推进思路开展建设。

2.1 构建流域水安全格局

沿江丘陵地区的内涝伴随流域外洪、山洪问题而更为显著,流域的水土流失也会加重城市的雨洪水问题。因此,海绵城市建设不应只局限于城市建成区,应从流域的角度开展建设。在区域流域尺度,系统研究城市自然地理、区域条件,分析城市面临的外洪、排涝、降雨风险,坚持系统性、整体性,从生态系统的完整性上避免工作的碎片化,从“山水

林田湖草沙”生命共同体,开展城市河流、湖泊、湿地、坑塘、沟渠等生态敏感区保护与修复,增加自然调蓄空间雨水蓄排能力,加强城市雨洪管理,充分发挥自然地理环境对降雨径流的积存、渗透、净化作用。

2.2 提升城市水系统韧性

在城市层面,滨江丘陵地区海绵建设应以构建健康的城市水循环系统为总体建设目标,统筹水安全、水资源、水环境、水生态等多重功能整体谋划城市排水防涝体系建设,转变过去以排为主的末端治理方式,坚持源头减排、过程控制、系统治理,将绿色生态环境保护措施和人工灰色设施相结合,构建健康的水文循环系统。一方面按照源头减排、排水管渠、排涝除险、超标应对的排水防涝工程体系要求,结合地形地貌和排水特征构建“源头分散、慢排缓释”的排水体系,同时注重对排水系统风险点、易涝点的排查和修补,提高城市水安全韧性。另一方面,坚持从源头入手,充分考虑岸上岸下关系,结合滨江城市环保降污、削峰控流目标,构建从产汇流源头及污染物排口,到管网、处理厂(站)、受纳水体“源-网-厂-河”的完整系统,统筹水安全水环境治理,实现径流削减、污染控制、江河水源保护等联动治理。此外,结合国家节能降碳需求,科学合理地运用海绵理念提高雨水资源化利用效率,也是海绵

城市建设中重点关注的规划策略。丘陵地区更应结合自身旱涝转化特点,广泛提高雨蓄早用的雨水资源化利用措施的应用,推广绿色低碳的城市用水方式。

2.3 建设完整、独立的排水分区

滨江丘陵地区在实施海绵城市建设时,应依托水系的自然分割和排水片区,通过透水铺装、雨水花园、下沉式绿地、生态湿地、河湖水系修复、调蓄池回用等海绵措施,并与城市雨水管渠系统及超标雨水径流排放系统衔接,实现对降水的“高水高排、低水低排”管控;实践过程中可以选取典型分区开展系统建设,建立从源头到末端的全过程雨水控制体系,进而带动全域建设,逐步从分区到全域实现内涝防控、水体污染防控和雨水资源利用目标。

3 宜昌市海绵城市系统规划建设实践

鉴于滨江丘陵地区在推进海绵城市规划与建设过程中的众多挑战,结合宜昌市系统化全域范围内海绵城市建设的实践案例,提出一套技术路径,涵盖理本底、诊问题、明方向、谋策略到落任务、成片区等多个环节,具体技术路径如图1所示。该技术路径旨在为滨江丘陵地区防洪排涝提供一套科学的指南,通过海绵城市的建设,有效提升城市的安全韧性,确保城市在面对自然灾害时具有更强的抵御和恢复能力。

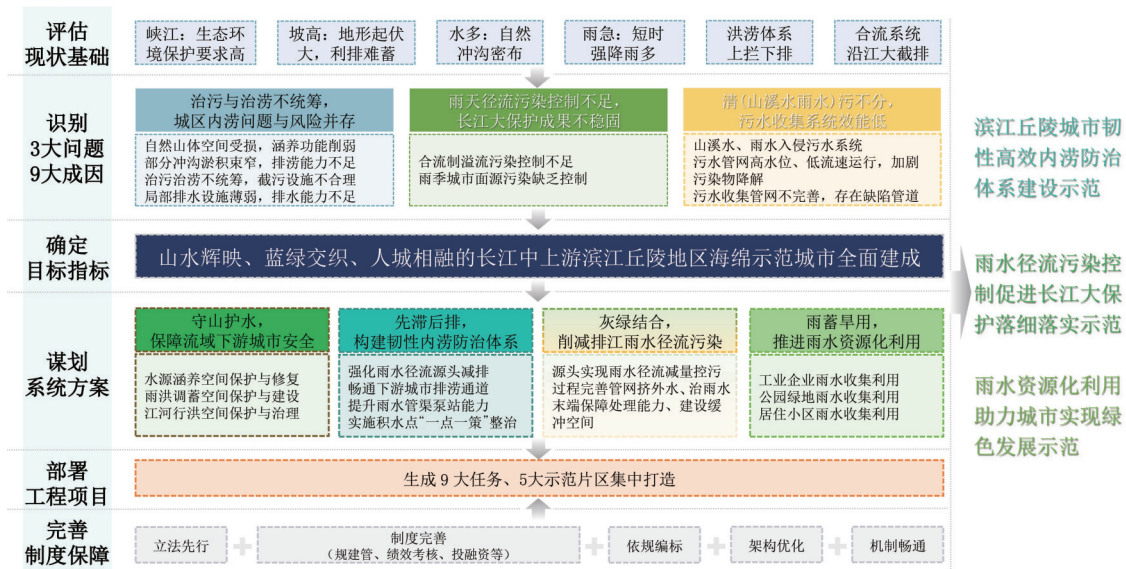


图1 宜昌市海绵城市系统建设技术路径

Fig.1 Technological roadmap of sponge city construction in Yichang

3.1 理本底

宜昌市位于湖北省西南部,地处长江中上游结

合部、鄂西武陵山脉和秦巴山脉向江汉平原的过渡地带,其地貌特征总体呈现为“七山二丘一平”的分

布格局。中心城区沿长江两岸延展,形成组团式的城市建设区域,海拔跨度50~1 247 m。区域内以低山丘陵为主,地形高低错落有致,城区内地形坡度显著,平均坡降达到7%,为城市的建设与发展带来独特的地理条件与挑战。

宜昌市的降雨特征显著,主要体现在两个方面:一是雨旱季节界限清晰,降雨主要集中于7月—9月;二是降雨强度大且集中,雨型与雨峰提前出现,短时间内易引发强降雨现象。宜昌市多年平均降雨量达到1 162.9 mm,属于湖北省暴雨频发地区。

根据1980年—2021年降雨数据分析,宜昌市年径流总量控制率75%对应22.3 mm设计降雨量。3年一遇的短历时设计降雨量达到61.2 mm/h,重现期30年历时1 440 min设计暴雨为典型的单峰型,降雨强度先增后减,雨峰位于第186时段,雨峰系数为0.65,24 h设计降雨量高达231.23 mm。

宜昌市河流均属于长江流域,其中主要涵盖长江与清江干流及其众多支流,地区河网密集,密度达0.24 km/km²。在中心城区,水系结构显著,形成“长江贯穿东西,九条河流汇入长江”的独特格局。城市上游区域水库与堰塘分布广泛,同时,自然形成的冲沟频繁穿越城市区域。这些河道的水位变化显著,涨落迅速,且地势坡度较大,充分展现典型的山地丘陵冲沟地貌特征。

3.2 诊问题

① 雨洪涵养能力降低,暴雨情况下洪涝风险高。一方面丘陵地区用地紧张,城市开发建设向山要地,导致自然山体受损、源头涵养滞蓄能力退化,雨洪汇流增加。据统计,宜昌城区142座山体中涉及不同程度受损的有136座,受损面积占比约26.8%;暴雨情况下,城区山体边坡容易出现滑坡险情。另一方面,城市建设过程中填盖了一些具备洪涝通道、调蓄水面及低洼绿地功能的地块,导致原本的自然生态功能丧失。根据宜昌城区历史水系、水文模拟分析结果,城区范围内多条自然冲沟被涵化,城区历史南湖等自然水面消失,暴雨期间调蓄能力不足,极易造成低洼地区壅水情况。

② 治污与治涝未实现有效统筹,溢流污染与内涝问题并存。一方面多数排水分区已建设大量雨、污分流管渠,但从整体排水分区来看,由于雨污混流、错接现象及污水截流设施的存在,其仍属于

合流制系统范畴,溢流污染问题尤为显著。宜昌合流制区域主要集中在老城区,约占城区总面积的28%,区域内合流制溢流口数量多达44个。根据数据分析,宜昌城区的主要污染源为城镇生活源,尤其是老城区在雨天时的溢流生活污水及城郊地区未纳入截污纳管体系的散排污水,对COD、氨氮、总磷等污染指标的贡献率均超过40%。另一方面,沿江合流制片区的溢流污染控制体系尚不健全,存在源头减排、截流、调蓄处理能力不足的问题。沿江老城区主要依赖末端截污干管进行污染物截留,并输送至污水处理厂进行处理排放。然而,截污干管的截流倍数有限,沿江溢流排口溢流堰墙需不断加高以应对雨季溢流污染问题。据统计,宜昌沿江地区存在大量高度过高、过流断面被削减1/2以上的溢流口,占比高达80%。在雨季,这些负责承接城市涝水的箱涵冲沟末端排口因断面缩小而使排水受阻,易引发涝水倒灌至上游城区低洼地带,进而加剧城市内涝现象。

③ 清污混流情况突出,降低污水系统收集效率。宜昌市老城区普遍采用雨污合流管渠系统,尽管随着旧城改造和新城建设的推进,排放标准与排水系统不断更新完善,但合流制排水体制在老城区仍占主导地位,且合流制系统结构复杂多样。具体而言,存在以下情形:a. 部分区域仅设计或建设一套排水管渠,未实现雨污分流;b. 排水管渠上下游衔接问题导致“混接”现象,包括上游分流而下游仅有一根合流管,或上游合流而下游分流但只能接入污水管等,使得合流与分流系统相互交织;c. 上、下游均为雨污分流管渠,但在衔接处人为造成“错接”,进而导致雨污合流。这些问题相互交织,导致清水与污水未能有效分离,大量山水等自然水体混入排水系统,严重影响截流效果和污水处理效率。据统计,2021年宜昌城区理论污水量超过实际处理量,约12万m³/d,其中外水占比高达27.5%。此外,从水质指标来看,2021年宜昌市8座生活污水处理厂进水BOD₅仅为64 mg/L,截至2023年底,仅有2座污水处理厂的进水BOD₅超过100 mg/L,进一步印证了污水收集系统效率偏低的问题。

3.3 明方向

针对梳理出的主要问题,基于国家对海绵城市建设的要求,宜昌市宜按照“显山见水透绿”的海绵空间格局管控得当、内涝防治水平稳步增强、雨水

径流污染有效控制、污涝统筹治理能力持续提升、雨水资源化利用水平迈上新台阶的建设要求,实现全面建成“山水辉映、蓝绿交织、人城相融”的长江中上游滨江丘陵地区海绵示范城市的建设目标,同时形成3个示范,即:滨江丘陵城市韧性高效内涝防治体系建设示范,雨水径流污染控制促进长江大保护落细落实示范,雨水资源化利用助力城市实现绿色发展示范。

3.4 谋策略

按照系统化全域推进的海绵城市建设思路进行全域谋划,提出“守山护水、先滞后排、污涝共治、雨蓄早用”的规划建设策略,构建多层次、明重点的规划建设方案。

3.4.1 守山护水,保障流域下游城市安全

基于生态本底、水源涵养功能重要性、潜在径流路径等分析,识别中心城区涉及的流域水源涵养、雨洪调蓄、江河行洪3类重要水生态空间,按照空间功能和保护对象,提出以下建设方案:

① 自然渗透,开展水源涵养空间保护与修复。严格山体保护管控,系统强化流域大巴山山脉山体水源涵养能力;实施黄柏河水土流失综合治理,提升流域水土保持功能;因地制宜建设、改造山体公园,对雨水径流分层滞蓄、逐级控制,将山水涵养在山上,减轻对城区的冲击。

② 自然积存,加强雨洪调蓄空间保护与建设。宜昌雨洪调蓄空间主要是丘陵地区的洼地和凹点,包括水库、湖泊、坑塘等。衔接蓝线保护规划,提出对现有流域范围内195处水库、2处湖泊、5处湿地实施严格保护;实施流域范围内棠垭水库、西北口水库等15座中小型水库除险加固,同时加强建成区上游7座水库堰塘的合理调度,有效发挥水库的调蓄能力;积极拓展城市雨洪空间,建设郭家冲调蓄水体、迎客湖、卷桥河湿地3处区域雨洪调蓄空间,总调蓄容积364万 m^3 。

③ 行洪通畅,实施江河行洪空间保护与治理。识别流域内主要河流29条,包括长江、黄柏河水系、柏临河水系、卷桥河水系、玛瑙河水系及其他长江一级支流。落实城区主要河流管理保护范围,守住水域岸线空间底线,严禁非法占用和束窄。

3.4.2 先滞后排,构建韧性内涝防治体系

结合宜昌城市地形气候与排水特征,统筹源头减排、过程控制、系统治理等技术手段,构建安全、

高效的都市内涝防治体系。

① 强化雨水源头减排。在老城内涝积水区段、内涝风险区集中分布的区域,重点开展源头海绵建设与改造,结合老旧小区改造、城市更新、新城建设等统筹推进落实,提高源头地块径流控制率,减少外排量。同时进一步细化建成区雨水分区,将14个一级雨水分区细化至64个二级雨水分区,针对各雨水分区分解下达径流总量控制率管控指标。

② 畅通下游排涝通道。利用数字高程模型(DEM)数据及地理信息系统(GIS)水文分析工具识别现状自然降雨径流流向及路径,共计362段(汇水面积 $\geq 50 \text{ hm}^2$),与现状水系、规划用地叠加分析确定32条行泄通道,包括长江及骨干河流15条,冲沟、暗涵14条,其他地表行泄通道2条。对于影响排涝能力的通道,采用清淤拓宽、新建通道分流、改造末端溢流口、打通地表入江通道阻隔点等方式,完善中心城区三级行泄通道体系,提升城市排涝能力。

③ 加强雨水削峰错峰。提出丘陵地区的海绵道路可以合理使用道路形式,挖潜山体坡脚空间建设调蓄设施,在地势低洼处结合环境设计溪湖水面的,调蓄水体经处理后可以在干旱季节作为绿化灌溉水及部分城市生活杂用水;在低洼处,结合公园绿地建设用于雨水调蓄的平急两用广场等,发挥削峰错峰功能。

④ 提升雨水管渠泵站能力。采用InfoWorks ICM模拟软件,对建成区下垫面、排水系统、河道等数据进行概化,建立一维、二维耦合排水模型,在不同设计暴雨重现期条件下评估城市现状管网能力与内涝防治能力,并采用实测数据进行模型参数率定,识别现状系统问题点位。以排水能力严重不足(不足1年一遇)、内涝中高风险区域为重点,结合城市更新、道路改造、片区排水管网改造计划进行雨水管渠提标改造(主干管网3~5年一遇)及清淤修复,提高雨水管区排放能力。

3.4.3 污涝共治,削减排江雨水径流污染

对于规划近期保留合流制区域,综合考虑城市安全保障需求迫切,以及内涝积水点全面消除等目标要求,确定现状合流片区截流倍数提高至3~4倍,同时开展从源头到末端建设,强化雨水径流污染控制。

① 强化源头管控,实现雨水径流减量控污。因地制宜开展源头减排建设,根据不同建设条件合

理确定源头改造的目标,坚持雨水走地上、污水走地下的原则,采用相应的建设措施。新建项目采用分流制排水体制,严格落实海绵城市建设理念;改造项目因地制宜开展雨污分流改造,源头海绵设施结合建设条件应做尽做。

② 加强过程控制,完善管网挤外水强排放。首先是优先对污涝问题突出、外水入流入渗量大、建设规模大的污水分区,以清污分离为重点,辅以雨污混错接点改造、局部道路雨污分流改造,清退外水量 15.2 万 m^3/d ,降低污水外溢风险,提高污水进厂浓度;同步结合清污分流改造区域,对主干排水通道过流断面影响较大的末端固定式溢流堰进行分类改造,恢复箱涵的排涝能力,确保雨天涝水排放顺畅。

③ 加强末端治理,提高溢流污染控制能力。为提高合流片区的截流能力,新建沿江截污干管 6 km,改造截流井,将沿长江截流系统的截流倍数提高至 3~4 倍。按照旱季流量+雨水截流雨量校核合流制片区污水处理厂规模,针对处理能力不足的临江溪污水处理厂(30 万 m^3/d),采取优化污水分区+建设沿江分散式 CSO 调蓄池措施,新建东山污水处理厂(5 万 m^3/d)及沿江污水调蓄池(总调蓄池规模为 2.1 万 m^3/d),控制合流制污染溢流频次。

④ 建设自然缓冲空间,削减入江面源污染。结合长江沿线 1 km 岸线范围内工业企业搬转关改实施腾退复绿,建设沿江植被缓冲带 24.47 km;完善 13.6 km 柏临河河口段生态缓冲空间建设(宽度 10~15 m),控制入河径流污染。

3.4.4 雨蓄旱用,推进雨水资源化利用

宜昌虽然是丰水城市,但水资源分布不平衡问题突出。目前供水以地表水为主,建成区以 21% 的水资源支撑了全市 41% 的 GDP,黄柏河干支流开发利用程度高达 90% 以上,远超国际公认的 40% 开发利用上限;旱季需要开拓非常规水资源作为新的水源以解决城区供水矛盾的问题。结合宜昌“园林城市、产业园区多”的特点,坚持“能做尽/则做、应做则做、易做则做”原则,通过相关政策要求和引导,明确资源化利用相关要求,促进雨水调蓄设施高效利用、工业企业节水提升、源头项目加强雨水收集,并回用于绿化浇灌、道路浇洒、生产等,促进雨蓄旱用。

3.5 落任务

结合宜昌市系统化全域推进海绵城市示范建设,3 年示范期统筹实施建设,将重点完成 9 项建设任务,即蓄山水、畅通道、滞雨水、控源头、优管网、减溢流、挤外水、活用水、重管理(见图 2),系统提升城市水安全韧性。



图2 重点建设任务分解

Fig.2 Breakdown of key construction tasks

3.6 成片区

综合考虑宜昌市的自然地形、排水条件、建设现状与规划目标,以问题与目标为导向,分别以蓝绿韧性、旧城改造、生态管控、生态水循环、山水营城为特色,结合建设任务规划系统打造 5 个示范片区。

3.6.1 蓝绿韧性示范区

基于实际情况制定蓝绿韧性示范区的主要建设方案,具体如图 3 所示。

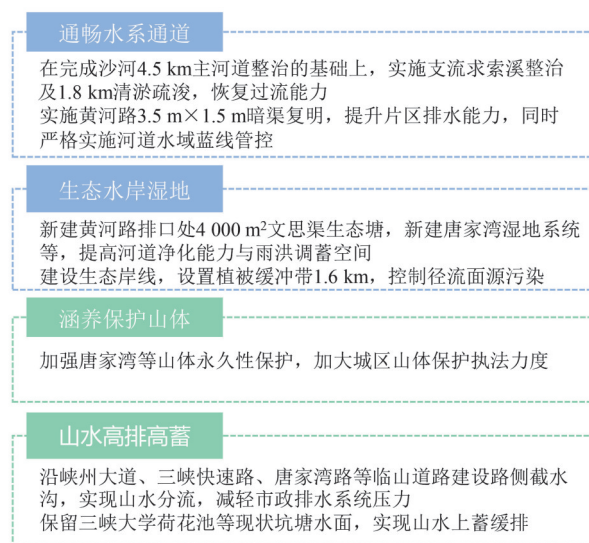


图3 蓝绿韧性示范区建设方案

Fig.3 Construction scheme of blue-green resilience demonstration area

该区面积约 15 km^2 ,蓝绿相护、丘陵起伏,蓝绿空间占比约 30%,具有优良的自然本底条件、大海

绵格局完善。片区规划为雨污分流制,按照“以海绵城市理念串联城市蓝绿空间骨架,打造安全韧性、水清岸绿的新宜居片区”的建设治理思路,通过河道整治、湿地公园、山体修复等措施,增加蓝绿空间、增强城市雨洪滞蓄能力;通过河道清淤、建设明渠等措施打通主干排涝通道,以及内涝治理、截污分流等措施完善排水系统、提高片区排水能力;通过开展源头减排建设,提高源头滞留污染物能力。

3.6.2 旧城改造示范区

该区面积约6 km²,硬化比例高、蓝绿空间少,是宜昌老城核心区域。片区规划近期为雨污合流制,地形整体坡向长江;存在合流箱涵末端截流不合理、排水设施能力不足、公共空间品质较差等问题。该片区以问题为导向,以“一减两提三优,打造海绵城市建设和城市有机更新改造、合流制溢流污染控制和内涝防治的双协同片区”为建设思路,提升旧城基础设施水平、恢复雨水通道与空间。

“一减”指源头减量,统筹城市更新建设与“+海绵”改造理念。“两提”指提高排水设施与截流系统能力,开展内涝治理、管网提升改造,打通临江地表行泄通道,提升老城排涝能力。“三优”指优化末端截流方式、改造固定式溢流堰,制定排涝泵站调度规则,建设自然缓冲净化空间,开展山体公园改造等,保留城区雨水滞蓄涵养空间,“蓝绿灰”组合提升公共居住环境品质。该片区主要建设方案见图4。

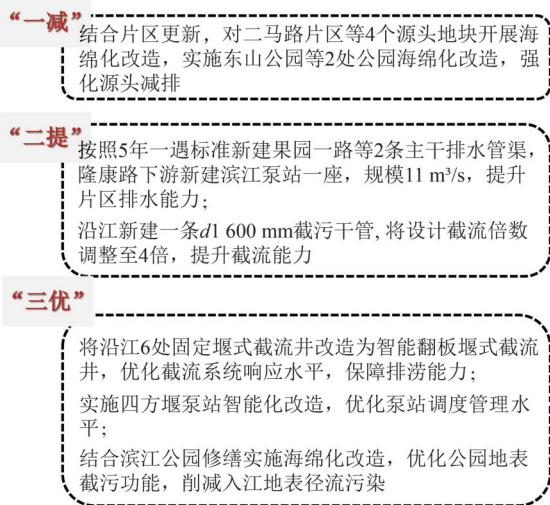


图4 旧城改造示范区建设方案

Fig.4 Construction scheme of the old town renovation demonstration area

3.6.3 生态管控示范区

该区面积约10 km²,丘陵起伏,水系坑塘丰富,生态本底优越。规划采用雨污分流制排水,以生态管控目标为导向,尊重原有山水地貌特点进行低影响开发建设,以“依山就势开发建设,留足自然涵养、蓄水、行泄空间,打造良好山水城关系的优生态片区”为思路,推进城市开发建设,打造生态管控建设区。通过严格落实蓝线管控与山体保护、保留原有天然雨洪空间、进行片区开发竖向规划、科学高标准建设排水系统、落实海绵管控指标等措施,在山水保护生态性、防洪排涝安全性、雨水管理可持续等方面实现高标准低影响建设。该片区主要建设方案见图5。

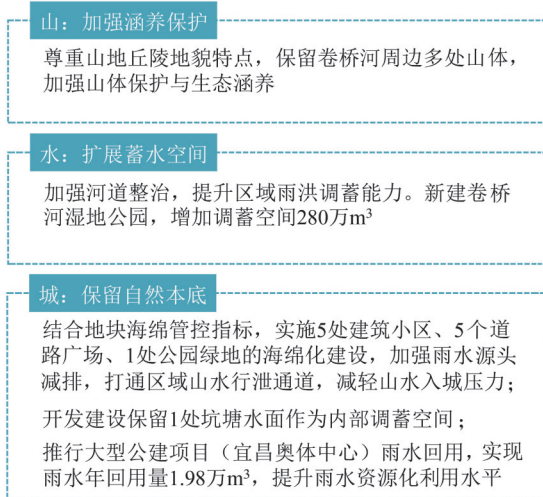


图5 生态管控示范区建设方案

Fig.5 Construction scheme of ecological control demonstration zone

3.6.4 生态水循环示范区

该区面积约10 km²,地形坡度较大、水脉交错、生态资源丰富。片区排水体制为分流制,以“山林涵养水、源头渗蓄水、岸坡湿地净化水、景观循环利用水”为建设治理思路,打造海绵城市建设统筹水环境提升、污水提质增效与雨水资源化利用的水循环片区。开展柏临河综合整治,通过河岸优化、扩展断面等措施打造旱涝两相宜的城市河廊;开展雨污混错接点改造,让雨污水各行其道,控制入河污染,提升污水收集处理效能。共谊一路、东站停车楼等局部低洼路段建设泵站、优化排水设施建设,消除内涝点。在大型公建项目中落实源头海绵建设、推广雨水资源化回用。该片区主要建设方案

见图6。



图6 生态水循环示范区建设方案

Fig.6 Construction scheme of ecological water cycle demonstration area

3.6.5 山水营城示范区

该片区面积4.5 km²,丘陵连绵延续、水脉溪谷交错、山水资源优势凸显,主要建设方案见图7。

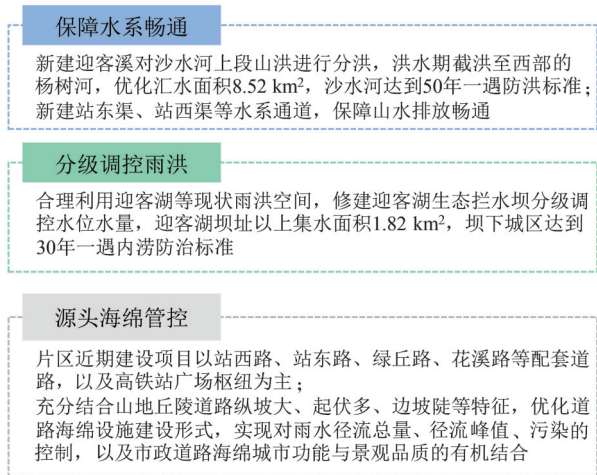


图7 山水营城示范区建设方案

Fig.7 Construction scheme of landscape-oriented urban construction demonstration zone

该片区作为近期集中开发建设的区域铁路枢纽,规划以商务用地、交通用地为主,采用雨污分流制排水,以“顺应自然、随形就势,构建蓝绿交织、城境交融的蓝绿一体化格局”为思路,严格落实蓝线管控与山体保护,利用原有天然坑塘分级调控雨洪、构建城市绿道系统,进行片区蓝绿空间规划、科

学高标准建设排水系统、落实海绵源头管控指标等。开展迎客路、站东路、站西路、绿丘路、花溪路等道路工程,综合枢纽及配套工程、中轴生态环境治理工程以及迎客溪、站东渠、站西渠治理工程等,打造山水营城宜居区。

3.7 实施成效

通过3年示范全面系统化实施建设,完成“蓄山水、畅通道、滞雨水、控源头、优管网、减溢流、挤外水、活用水”建设任务,完成国家示范建设项目任务、达成绩效目标,取得明显成效。

① 通过全面打通排涝水系、建设适用雨水削峰调蓄空间、更新改造短板排水设施、“一点一策”治理易涝点、统筹防洪排涝工程建设运行等措施,100%消除24处易涝点。城市建成区内涝防治标准从示范期之前的不足5年一遇提高到整体达到10年一遇,50%区域达到20年一遇;防洪标准长江干流达到100年一遇,其他河流基本达到20年一遇。

② 通过严格城市蓝线管控,实施雨洪调蓄空间建设等生态保护修复,建设卷桥河湿地、郭家冲水库、迎客湖、张家湾、中央绿心等水体水面,天然水域面积比例由示范建设前的7.37%增至7.50%。通过严格控制建设项目可透水地面面积比例,新改建工程项目保留透水下垫面、硬化铺装普遍采用透水铺装,可透水地面面积比例由示范建设前的39.06%提升至41.16%。

③ 强化黑臭水体治理长效管护,11条已整治黑臭水体未出现返黑返臭情况,城区未新增黑臭水体,黑臭水体消除比例达到100%。

④ 有序实施片区清污分流改造、市政雨污分流改造及分流制区域老旧小区源头雨污分流改造等措施,系统提升污水收集效能,建设排水管约150.2 km,排查修复排水管网371.5 km,污水处理厂进水BOD₅平均浓度从示范建设前的64 mg/L提升到100 mg/L,污水集中收集率从63.00%提升到81.06%。

⑤ 雨水收集利用设施建成投用,类型涵盖小区、公园和工业,雨水资源化利用量达到23.09万m³/a。

4 结论

① 尊重自然水文特征和现实建设需求,丘陵地区的海绵城市规划建设需充分考虑地形地貌及

水文特征,将地形的不利因素转化为具有特色、可利用及更高效的优势,积极探索适合丘陵地区的海绵城市建设模式;对于滨江城市,还需结合水环境保护与治理要求进行综合研究,形成多目标统筹管理的有效建设路径。

② 因地制宜统筹城市水系统“海绵+”建设。针对丘陵地貌、山洪易发、降雨充沛、产汇流速度快及径流路径短等特点,以及沿江雨季径流污染、合流制溢流污染和局部低洼点易涝等问题,应以城市自然地形和河湖水系为基础,遵循“源头优先、绿色优先、蓝绿灰融合”的原则,制定系统化的实施方案。通过统筹区域流域治理,重点打造蓝绿交织的生态空间,保护山水城格局,提升自然山体涵养、天然水系和雨洪空间的蓄滞能力。同时,通过实施系统全面的排水防涝体系建设,强化源头减排,提高地表滞留雨水能力,完善排水管网系统,建设功能完善的排水设施,解决内涝积水问题;开展合理有序的雨污分流工作,降低合流制溢流污染,构建源头控污截流效果好、排水系统效率高的雨水排放系统。此外,兼顾雨水净化、收集和利用效率,提高雨蓄旱用能力。

参考文献:

- [1] 李俊奇,李小静,刘迪,等. 海绵城市建设在中国:十年耕耘,百城绽放[J]. 中国给水排水, 2024, 40(10): 1-8.
- LI J Q, LI X J, LIU D, et al. China sponge city construction: a decade of cultivation, a hundred cities bloom[J]. China Water & Wastewater, 2024, 40(10): 1-8(in Chinese).
- [2] 张伟,张海行. 基于海绵城市理念的新区规划方法探索及案例实践[J]. 中国给水排水, 2024, 40(18): 42-47.
- ZHANG W, ZHANG H X. Exploration and case practice on new district planning method based on sponge city concept[J]. China Water & Wastewater, 2024, 40(18): 42-47(in Chinese).
- [3] 肖朝红,周丹,王泽阳,等. 关于老旧城区海绵城市系统化方案编制的探讨[J]. 中国给水排水, 2023, 39(24): 16-20.
- XIAO C H, ZHOU D, WANG Z Y, et al. Discussion on the systematic plan of sponge city in old urban areas[J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(24): 16-20(in Chinese).
- [4] 厉帅,周凌,郝新宇. 海绵城市规划中不同类型城市水环境整治策略[J]. 中国给水排水, 2020, 36(12): 31-36.
- LI S, ZHOU L, HAO X Y. Water environment renovation strategies for different types of cities in sponge city planning[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(12): 31-36(in Chinese).
- [5] 唐磊,刘广奇,程小文,等. 海绵城市背景下合流制改造及溢流污染控制路径研究[J]. 给水排水, 2024, 50(4): 54-61.
- TANG L, LIU G Q, CHENG X W, et al. Study on the path of combined sewer renovation and overflow control under the background of sponge city construction[J]. Water & Wastewater Engineering, 2024, 50(4): 54-61(in Chinese).
- [6] 李俊奇,李小静,王文亮,等. 合流制溢流污染的影响及其控制技术发展[J]. 给水排水, 2024, 50(4): 46-53.
- LI J Q, LI X J, WANG W L, et al. Influence of combined sewer overflows control and development trend of control technology[J]. Water & Wastewater Engineering, 2024, 50(4): 46-53(in Chinese).
- [7] 刘硕,王通,范科文,等. 山地城市合流制溢流污染控制措施研究[J]. 给水排水, 2024, 50(4): 70-75.
- LIU S, WANG T, FAN K W, et al. Research on control measures for combined sewer overflow pollution in mountainous cities[J]. Water & Wastewater Engineering, 2024, 50(4): 70-75(in Chinese).

作者简介:杨至瑜(1987—),女,贵州遵义人,硕士,高级工程师,注册公用设备工程师(给排水),主要从事市政工程设计、海绵城市建设、水环境治理、污水处理提质增效领域的相关工作。

E-mail: yangzy276@126.com

收稿日期: 2024-10-31

修回日期: 2025-08-14

(编辑:丁彩娟)