

耦合平急两用功能的片区海绵改造方案研究

李运杰

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要: 面对当前海绵城市建设具体项目实践中存在的系统性不足问题和高密度城区利用公共空间建设平急两用排水防涝设施的迫切需求,以六安市某片区4个公共空间地块的连片改造为例,提出了片区层面海绵化改造的系统性、适宜性和经济性设计原则。给出了耦合平急两用功能的总体建设思路 and 具体方案设计要点,明确了常规降雨和超标降雨2种工况下的运行模式,并对不同情况下的建设效果进行了评估。结果表明:海绵化改造后,日常公共服务功能更加完善,小雨时径流总量、污染控制指标全部达标,极端暴雨时为自身及周边区域提供了应急调蓄空间,减轻了内涝防治压力。研究结果可为同类项目的多目标协同设计提供一定参考。

关键词: 海绵城市;连片公共空间;片区协同设计;平急两用;超标降雨;多功能调蓄;内涝防治

中图分类号: TU998.4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)07-0184-07

Research on Sponge Reconstruction Schemes of Area Coupling Dual Functions of Peacetime and Emergency

LI Yunjie

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: In the face of the systematic deficiencies existing in the current specific project practices of sponge city construction and the urgent need in high-density urban areas to build the dual-purpose drainage and waterlogging control facilities for both peacetime and emergency use in public spaces, taking the contiguous reconstruction of four public space plots in an area of Liuan City as an example, the systematic, appropriate and economic design principles for the sponge reconstruction at the areal level are proposed. The overall construction idea and key points of specific scheme design for the dual-purpose function of coupling peacetime and emergency are presented. The operational modes for both conventional rainfall and excessive rainfall conditions are clearly defined. And the construction effects under the different conditions are evaluated. The result shows that after the sponge reconstruction, the daily public service functions have been further improved. During light rain, the total runoff volume and pollution control indicators all meet the standards. During extreme rainstorms, the emergency storage space is provided for itself and the surrounding area in order to reduce the waterlogging prevention pressure. The study results can provide certain reference for the multi-objective collaborative design of similar projects.

Keywords: sponge city; contiguous public spaces; areal collaborative design; dual-use of peacetime and emergency; excessive rainfall; multi-functional storage; waterlogging prevention

0 引言

自习近平总书记2013年在中央城镇化工作会议上提出建设海绵城市以来,10余年的海绵城市建设在生态环境、社会、经济等多个层面都取得了显著的成效^[1-3],实践更是证明海绵城市建设是系统解决城市内涝问题的重要举措^[4-5]。当前,我国海绵城市建设已从试点推进进入系统化全域推进的新阶段,尤

其是进入“十四五”以来,随着3批次60个国家示范城市建设,系统建设海绵城市的理念已深入人心^[6],海绵城市建设的系统性也是国家海绵示范城市绩效评价的重点,但各地在实践过程中如何做好片区层面与单体项目的系统实施仍存在不少困惑。同时,自2023年以来,为提升城市应急保障能力,国家提出稳步推进平急两用公共基础设施建设的的要求,面对超标降雨事件或突发内涝灾害时,在高密度城区空间受限的情况下,如何利用现有公共空间打造平急两用排水防涝系统,实现内涝防治的目的,缓解内涝灾害,相关研究和工程实践较少,也是当下面临的

收稿日期: 2025-04-15

基金项目: 上海市科委项目(23DZ1202805)

作者简介: 李运杰(1988—),男,硕士,工程师,从事排水防涝、海绵城市、水环境治理及污水提质增效等规划设计咨询工作。

突出问题^[7]。本文结合具体工程案例,通过片区层面连片公共空间的系统化改造,将各地块地理位置上的毗邻转变为海绵指标和排水系统上的协同,实现片区径流控制目标达标和平急两用多功能调蓄功能,设计案例可为同类片区海绵化建设及平急两用理念融入提供参考和借鉴。

1 项目概况

1.1 基本情况

该项目位于国家第三批海绵示范城市六安市 3 个雨水系统中的淠河总干渠雨水系统淠干右岸片区内,为六安市图书馆、六安市科技馆、市民广场及三个地块共用的 U 形道路组成的连片公开空间,占地总面积约 9.78 万 m²,其中图书馆占地面积约 2.26 万 m²,科技馆占地面积 2.34 万 m²,市民广场占地面积 4.37 万 m²,U 形路占地面积 0.81 万 m²。周边主要道路为佛子岭路、文韵路、大华山路等。片区区位分布如图 1 所示。

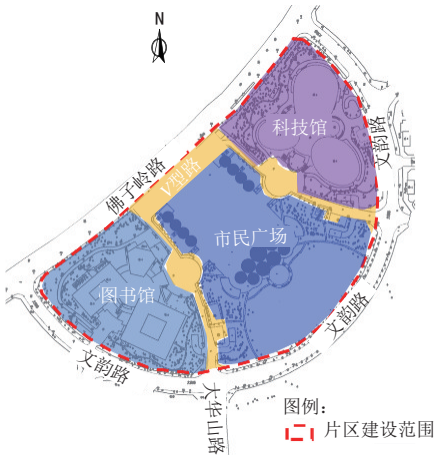


图1 片区区位分布图

片区内现状场地地下垫面包括绿地、硬质路面和硬质屋面 3 种类型,片区内各地块下垫面类型、面积和径流系数如表 1 所列。经计算,图书馆综合雨量径流系数为 0.54,科技馆综合雨量径流系数为 0.64,市民广场综合雨量径流系数为 0.58,U 形路综合雨量径流系数为 0.82。

片区周边道路情况如下:

- (1)佛子岭路:本次主要涉及路段为文韵路中间段,总长度 500 m,由人行道、非机动车道、机非隔离带和车行道组成,道路标准横断面红线宽度 48 m;
- (2)文韵路:本次主要涉及路段为佛子岭路至大华山路段,总长度 750 m,由人行道和机非混行车道组成,道路标准横断面红线宽度 18 m;

- (3)大华山路:本次主要涉及路段为南屏路至文韵路段,总长度 200 m,由人行道和机非混行车道组成,道路标准横断面红线宽度 22 m。

表 1 各地块综合雨量径流系数计算表

名称	下垫面类型	面积/m ²	雨量径流系数	综合雨量径流系数
图书馆	绿地	10 950	0.15	0.54
	硬质路面	3 580	0.90	
	硬质屋面	8 070	0.90	
科技馆	绿地	8 120	0.15	0.64
	硬质路面	6 060	0.90	
	硬质屋面	9 260	0.90	
市民广场	绿地	18 710	0.15	0.58
	硬质路面	24 670	0.90	
	硬质屋面	330	0.90	
U 形路	绿地	840	0.15	0.82
	硬质路面	7 310	0.90	

1.2 排水系统分析

本片区采用雨污分流排水体制,内部无水系,西侧文韵路和北侧佛子岭路均有完善的市政管网系统,文韵路雨水干管管径 DN600~DN800,排向佛子岭路;佛子岭路道路中心线北侧有市政雨水主管,管径为 DN1000。市民广场、科技馆和 U 形路雨水汇集至文韵路雨水干管,图书馆雨水汇集至佛子岭路雨水主管。片区主要排水管渠分布如图 2 所示。

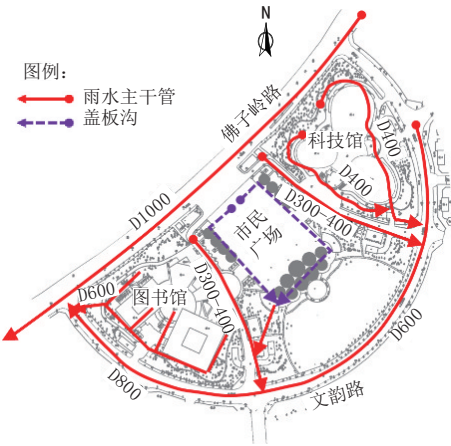


图2 现状片区主要排水管渠分布图

图书馆和科技馆屋面排水均为内排水,改造前图书馆西侧及科技馆东侧已设置一体化雨水收集回用设施,蓄水池容积分别为 156、140 m³,分别收集图书馆和科技馆屋面雨水,作为场馆内平时道路、绿化浇洒用水。

1.3 竖向高程分析

高程衔接是海绵城市专项设计中需要重点关注的因素^[8]。本片区整体地势场地呈现南北走向,北高南低,高程在 67.11~75.08 m,周边无客水进入。其

中市民广场中心广场现状总体较为平整,高程在72.28~72.55 m;南侧大草坪与中心广场有明显落差,高程在70.24~71.03 m,现状场地内部均高于周边市政道路。图书馆室外场地高程在69.27~71.96 m,场馆四周为绿地和园路,现状场地均高于周边市政道路。科技馆室外场地高程在71.46~74.02 m,场馆四周为绿地和园路,现状场地与周边市政道路高程基本齐平。周边佛子岭路、文韵路、大华山路地势高程在66.87~75.08 m。现状片区整体竖向高程如图3所示。

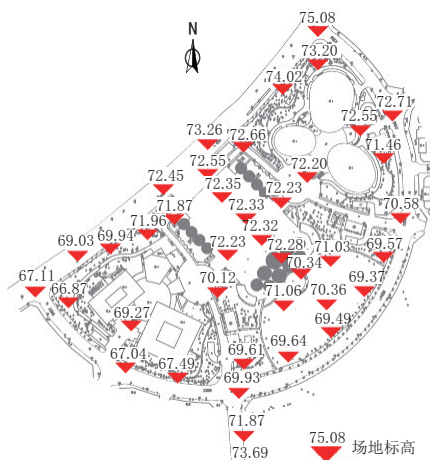


图3 现状片区竖向分析图(单位:m)

1.4 片区问题与改造需求总结

1.4.1 片区存在内涝风险,排水系统需完善

片区现状雨水主要依靠文韵路和佛子岭路雨水管网排放,因市民广场U形道路、文韵路与大华山路等周边路网汇水路径交叉紊乱,导致部分区域径流分配失衡,在强降雨时文韵路排水压力大,形成约1 700 m²的积涝风险区,范围如图4所示。亟须优化现状排水系统,消除内涝风险区。

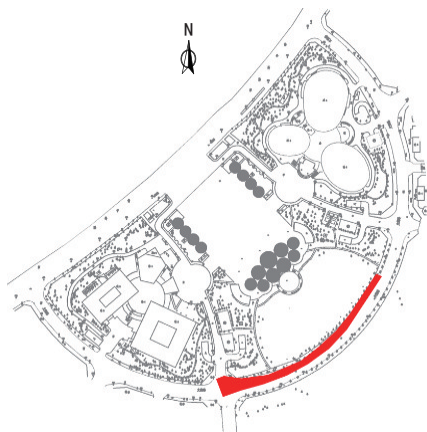


图4 内涝风险范围图

1.4.2 基础设施不完善,人居环境需提升

片区位于高密度城区的核心区域,周边有多个

居住小区,住户多,人员密集,对市民广场、图书馆和科技馆等公共空间的使用强度高。但片区内绿地系统不完善,绿化植被群落结构单一,黄土裸露,其中市民广场大草坪地被覆盖度不足65%。基础设施亟需升级,现状路面破损严重,高低不平,降雨时形成间歇性积水区,存在安全通行隐患。总体来看,片区整体人居环境较差,无法满足市民对公共空间人居环境的需求,也与城市高质量发展的要求不匹配。

1.4.3 面源污染缺少管控

现状硬质下垫面面源污染较为严重,且路侧绿化无法对铺装径流进行拦截调蓄,面源污染不经管控直接排放市政雨水管网,最终汇入排水分区内的末端水体,对水体水质产生影响。

2 建设方案

2.1 设计原则

遵循“源头减排、过程控制、系统治理”的原则进行整体谋划,构建基于绿灰结合、耦合平急两用理念的多目标城市雨洪控制系统,通过对雨水径流总量、峰值、污染等协同控制,实现片区水安全、水环境、人居环境等综合目标。结合城市建设发展现状和国家海绵示范城市的总体目标与要求,确定本片区公共空间连片海绵化改造主要设计原则^[9]。

2.1.1 系统性原则

系统性原则是海绵城市相关规划设计区别于其他传统规划设计中最重要的原则,小片区系统性设计应注重以下3个方面:一是目标指标统筹,自上而下分解、自下而上核算,根据上位规划和实施方案要求,先确定总体目标,再分解到各子项指标,然后在各子项优先分别达标的前提下,再进行总体达标核算和内部平衡,最终满足片区目标要求;二是多专业协同,本片区改造涉及排水、道路、园林绿化、建筑、结构、电气等多个专业,专业协同是开展设计工作的前提,从多专业角度出发统筹考虑问题,系统解决场地存在的问题,实现景观效果和使用功能的统一协调;三是绿色优先,绿灰蓝结合,优先使用绿色生态设施,在源头治理的基础上,注重生态措施与工程措施相融合。

2.1.2 适宜性原则

海绵城市建设技术包括“渗”“滞”“蓄”“净”“用”“排”6个方面,在片区海绵城市建设时,需坚持问题导向和目标导向相结合,并结合不同建设分区的区域特点、场地条件、目标指标要求和群众合理诉求等

因素,因地制宜地选用多种海绵城市设施种类和组合,增强雨水的消纳、滞蓄、调节能力,同时考虑平时的休闲、运动、交通等日常功能需求。

2.1.3 经济性原则

一是从全生命周期优化设计,从算大账的角度出发,坚持简约适用和多目标融合,减少全生命周期运维和再改造成本,体现社会效益、生态效益和经济效益的统一;二是避免大拆大挖建设,从算小账的角度出发,片区系统提升项目需根据现状空间和场地竖向布置海绵城市设施,减少不必要拆除、移植和土方开挖量;三是加强本土植物选择,优先选用乡土植物,以宿根、自播、低维护的植物品种为主,降低工程造价。

2.2 建设目标

(1)片区年径流总量控制率达到80%,对应设计降雨量26.8 mm。其中,图书馆年径流总量控制率达到80%,对应设计降雨量26.8 mm;科技馆年径流总量控制率达到80%,对应设计降雨量26.8 mm;市民广场年径流总量控制率达到85%,对应设计降雨量33 mm;U形路年径流总量控制率达到70%,对应设计降雨量18.6 mm。

(2)年径流污染控制率达到55%,其中,图书馆年径流污染控制率达到55%;科技馆年径流污染控制率达到55%;市民广场年径流污染控制率达到60%;U形路年径流污染控制率达到45%。

(3)满足30 a一遇内涝防治标准要求,对应24 h降雨量为206.2 mm。

(4)具备平急两用功能,发挥多功能防涝能力,片区人居环境显著提升,应急排涝能力满足10 a一遇1 h强降雨不积水要求。

2.3 总体思路

通过系统性的区域径流协同管理来保障片区排水安全和多功能实现。在面对常规降雨情况时,从源头减排—过程控制—末端调蓄3方面来进行径流控制,各地块独立达标,市民广场大草坪不发挥对四个地块的径流控制作用,保证片区指标达到年径流总量控制率要求;面对超标降雨情况时,结合场地竖向条件,采用路面行泄—管渠截流—系统调节进行涝水调蓄,充分发挥市民广场大草坪对周边地块和市政道路的雨水调蓄作用^[10],保证片区遭遇短历时强降雨安全运行。具体技术路线图如图5所示。

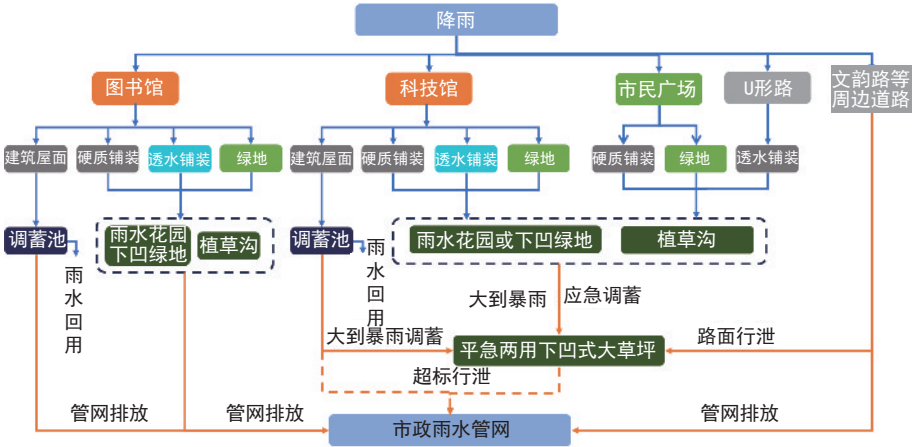


图5 技术路线图

2.4 方案设计

在图书馆和科技馆屋面雨水进入调蓄池的前提下,重构四个地块路面径流雨水组织和排放方式,按照先地上后地下、先绿色后灰色、先自然后人工的原则,选用海绵城市设施,充分发挥各子项地块内分散式绿地对周边区域的径流调控作用,路面雨水通过侧石开孔或雨水导流沟渠引入植草沟、雨水花园、下凹绿地等生物滞留设施。同时结合公共空间特点,增设海绵城市科普宣传设计,如雨水花园等设施的剖面展示、典型海绵城市案例介绍、展板介绍等,让

居民对海绵城市理念和设施有更直观的了解。

2.4.1 单个地块方案设计

以图书馆为例来详细阐述单个地块方案设计,根据场地竖向条件、管网分布及功能使用分区来划分汇水分区,共分为5个汇水分区,具体如图6所示。其中S1~S2、S4~S5分区为路面和绿地,现状雨水均通过雨水口收集后排入雨水管网;S3分区为屋面,经内部管网收集后进入容积为156 m³的调蓄池进行雨水净化回用。

结合汇水分区划分和可改造空间,选用的海绵

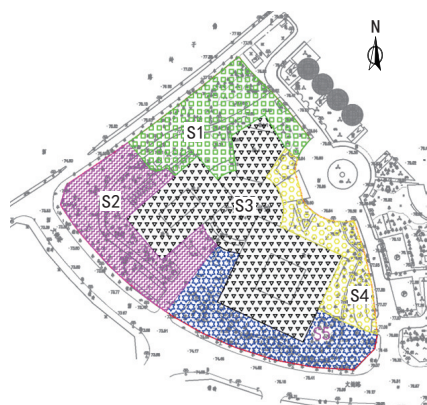


图6 图书馆汇水分区图

城市设施有植草沟、下凹绿地和雨水花园3种,建设内容主要为绿地内的海绵城市设施建设,通过微地形改造,将地面径流导入到海绵城市设施内,同时对调蓄池进行清淤,进一步提升雨水回用效益。共建设雨水花园550 m²,下凹绿地360 m²,植草沟220 m,总调蓄量375 m³。具体海绵城市设施平面布置如图7所示。

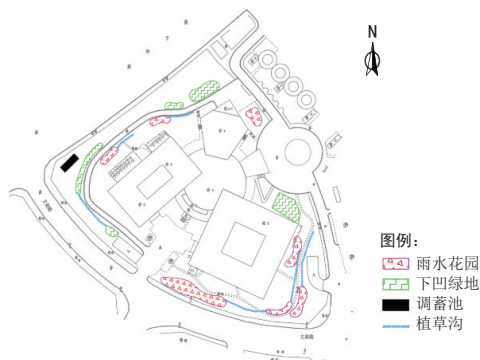


图7 图书馆海绵城市设施平面布置图

科技馆、市民广场和U形路海绵城市建设内容和规模如表2所列,其中科技馆建设透水铺装、雨水花园、下凹绿地和植草沟等海绵城市设施,调蓄容积394 m³;市民广场建设复合型雨水花园,即雨水花园结构层中设置具备调蓄能力的材料,调蓄容积875 m³,U形路改为透水混凝土路面,综合雨量径流系数为0.3。各地块总体海绵城市设施平面布置图如图8所示。

2.4.2 片区协同设计

结合场地竖向条件,统筹考虑内涝风险问题解决和平急两用排水防涝设施建设开展片区地块与周边道路的协同设计。具体做法为在市民广场大草坪建设透水人行步道,将草坪分割为上下两块区域,上区域为市民广场地块原有设计内容;下区域进行地形整理和土壤整体换填,保证土壤下渗率达到1×10⁻⁵ m/s,建设下凹绿地5 000 m²,同时在下凹绿地下设置调蓄模块500 m³,发挥超标降雨时的应急

表2 各地块海绵城市设施规模和调蓄容积计算表

名称	设施类型	规模	平均调蓄深度/m	调蓄量/m ³
图书馆	调蓄池	156 m ³	—	375
	雨水花园	550 m ²	0.3	
	下凹绿地	360 m ²	0.15	
	植草沟	220 m	—	
科技馆	调蓄池	140 m ³	—	394
	雨水花园	680 m ²	0.3	
	下凹绿地	330 m ²	0.15	
	植草沟	100 m	—	
市民广场	透水混凝土(人行)	1 260 m ²	—	875
	雨水花园	2 400 m ²	0.3	
	调蓄模块	155 m ³	—	
	植草沟	500 m	—	
U形路	透水混凝土(车行)	7 310 m ²	—	—



图8 各地块总体海绵城市设施平面布置图

调蓄功能,具备应急调蓄量约1 500 m³。

对科技馆南侧蓄水池出水口进行改造,实现内部雨水分流,对超标雨水进行截流处理,将超过蓄水池消纳能力的雨水重新分配。通过建设2条连通告管、2条截流沟和12条盖板沟,将具备条件的市民广场、U形路、科技馆三个地块的超标雨水和文韵路半幅路及大华山路部分路面径流雨水引入下凹式大草坪,发挥应急时雨水调蓄和错峰作用。协同设计后片区最终海绵城市设施平面布置图如图9所示。通过科学的竖向控制,保证海绵城市设施可以充分实现对径流雨水的渗透、滞蓄、调节和净化等作用。

3 运行模式

3.1 常规降雨工况

常规降雨情况下,主要发挥源头减排作用,科技馆、图书馆、市民广场和U形路4个地块分别达标,满足地块海绵城市相关设计指标要求,达到“小雨不积水”的效果,下凹式大草坪除消纳自身径流外,不须发挥周边雨水调控作用,径流路径如图10所示。

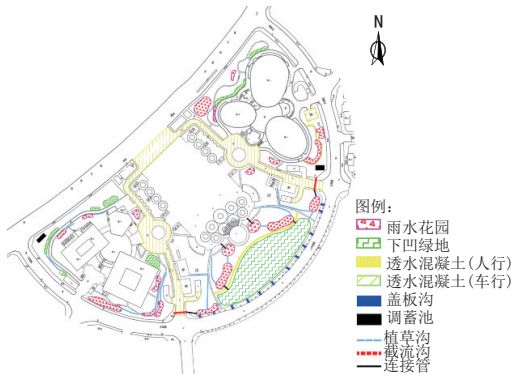


图9 片区最终海绵城市设施平面布置图

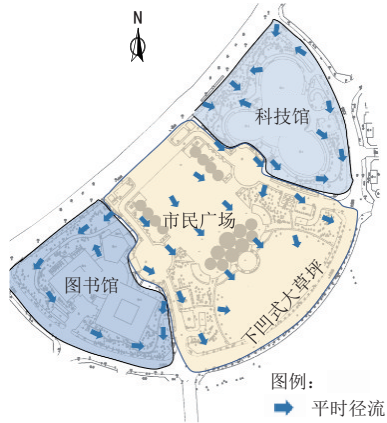


图10 常规降雨工况径流路径图

3.2 超标降雨工况

超标降雨情况下,市民广场U形路作为地面行泄通道,舍弃其交通功能,地表径流通过场地竖向和截流沟排至市民广场下凹式大草坪。大华山路和文韵路部分地表径流通过盖板沟排至市民广场下凹式大草坪,实现径流调蓄和削峰错峰,有效减轻下游排水管道排水压力,达到“大雨不内涝”“超标可应急”的效果,径流路径如图11所示。



图11 超标降雨工况径流路径图

4 效果评估

(1)项目建成后完善了基础设施,改善了路面交

通情况,景观绿化品质提升,人居环境明显改善,可更好发挥场馆和广场的公共服务功能,同时科普海绵城市理念。市民广场大草坪作为片区核心开放空间,其日常功能体系呈现多维复合特征,作为公共活动的载体,可更好供周边居民进行晨练、野餐、阅读、露营等非结构化活动,也可作为节庆集会、应急避难场所等功能使用;作为生态调节空间,可对周边区域进行微气候调节,缓解城市热岛效应^[11]。

(2)经评估,项目建成后各地块均能满足年径流总量控制率和年径流污染控制率要求,具体如表3所列,片区整体年径流总量控制率可达到82.8%,年径流污染控制率可达到58%。片区可满足30 a一遇内涝防治标准要求。

表3 设计指标计算表

名称	调蓄量/ m ³	对应设计降 雨量/mm	年径流总量 控制率/%	年径流污染 控制率/%
图书馆	375	30.7	83.3	57.5
科技馆	394	27.5	80.7	55.7
市民广场	875	34.6	86.1	61.1
U形路	—	—	70	45%

(3)平急两用排水防涝设施关键点是遭遇超标降雨时如何实现平急功能的快速转换,项目建成后,平急转换简单,暴雨期间U形路可即时作为地面行泄通道,市民广场下凹式大草坪可即时转换为滞涝调蓄空间。市民广场下凹式大草坪可至少提供1 500 m³调蓄量,应急排涝范围主要包含市民广场、科技馆及周边道路(文韵路、大华山路)等区域,总面积约为9万m²。经核算,该片区可以满足10 a一遇1 h短历时强降雨不积水要求。

5 结 语

随着海绵城市理念的深入实践,高密度城区中公共空间作为海绵城市建设的重要载体和内涝防治体系的内生防线,其雨洪滞蓄、应急避险等复合功能日益凸显。该项目通过系统化实施由场馆、绿地广场和道路组成的连片公共空间海绵化改造工程,构建多层次雨洪管理体系,实现片区水安全、水环境、人居环境等综合目标。主要结论如下。

(1)片区内多个单体地块的协同设计是海绵城市建设系统性的重要体现,其核心是区域径流的统筹管理,设计原则包括系统性原则、适宜性原则和经济性原则,其中系统性原则体现在目标指标统筹、多专业协同和绿色优先、绿灰蓝结合三个方面。

(2)高密度城区公共空间中的分散或集中的绿

地不仅要消纳自身雨水径流,更重要的是结合场地竖向和可改造条件最大限度为周边硬化路面和屋面雨水提供滞蓄空间,控制径流总量、峰值和污染,减轻排水压力,缓解内涝问题。

(3)大面积的集中公共绿地是建设平急两用排水防涝设施的重要载体。通过下凹绿地、雨水花园、调蓄模块等海绵城市设施建设,市民广场大草坪既保留了绿地生态和社会服务功能,也在常规降雨时具备径流控制能力,同时遭遇超标降雨时可转化为应急调蓄设施,具有运行模式简单、平急转换快速、综合防控效应好等优点,可为同类项目提供借鉴,也适合进行大范围推广。

参考文献:

- [1] 章林伟.中国海绵城市建设与实践[J].给水排水,2018,54(11):1-5.

- [2] 章林伟.我国海绵城市的建设与挑战[J].江苏建筑,2019(6):1-3.
[3] 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.
[4] 国务院办公厅.关于推进海绵城市建设的指导意见(国办发[2015]75号)[Z].北京:国务院办公厅,2015.
[5] 章林伟.中国海绵城市的定位、概念与策略—回顾与解读国办发[2015]75号文件[J].给水排水,2021,47(10):1-8.
[6] 郭日花.基于海绵城市理念的横琴国际居住区海绵系统提升工程[J].城市道桥与防洪,2025(4):164-169.
[7] 张鑫男,李俊奇,李小静等.国内外城市平急两用排水防涝系统综述[J].给水排水,2024,50(10):43-51;57.
[8] 李晓宇.基于大排水系统构建的城市竖向规划研究[D].北京:北京建筑大学,2020.
[9] 住房和城乡建设部.海绵城市建设技术指南—低影响开发雨水系统构建(试行)[M].北京:中国建筑工业出版社,2014.
[10] 陈建.基于海绵城市理念的公园多目标融合策略研究——以某矿山公园建设为例[J].城市道桥与防洪,2024(8):232-236.
[11] 刘彦泽,张红梅,罗菲等.萍乡市海绵城市建设对热岛效应减缓的实证研究[J].地理信息世界,2021,28(6):59-64;71.

(上接第143页)

参考文献:

- [1] 布克设计.人来人往—天桥设计[M].武汉:华中科技大学出版社,2012.
[2] 杨阳,张建军,关彦超,等.浅谈城市桥梁景观方案设计[J].城市道桥与防洪,2020(3):70-72.
[3] 侯满,张志强,范振伟.三亚海棠湾人行景观斜拉桥总体设计[J].

- 世界桥梁,2021,49(3):1-6.
[4] CJJ 69—95,城市人行天桥与人行地道设计规范[S].
[5] 李洞明.大跨度人行天桥舒适度与动力设计方法[J].城市道桥与防洪,2022(7):256-259.
[6] 蒋甫海.大跨度人行桥的动力设计方法[J].石家庄铁道大学学报(自然科学版),2016,29(4):33-39.