

西南山地河谷型城市公园低影响开发与 海绵城市设计研究 ——以广元百草园为例

余雪花, 胡浩林, 江 利

(中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 611130)

摘要: 西南地区多为山地丘陵地带, 地形复杂、排水分散、降雨量和用水量季节重合性大等特点; 极易增加城市洪涝灾害风险。近年来, 海绵城市作为一种城市建设新兴的绿色发展理念, 为山地城市提供新的雨洪管控思路。广元市属于西南地区典型的山地城市, 以广元市百草园项目为例, 结合西南地区气候特点, 依托山地城市的特殊地形地貌, 系统采用低影响开发设计理念, 对水生态、水环境、水安全和水资源进行统筹规划与协调管理, 打造成中心城区的重要海绵体。通过低影响开发设施与景观设计有机融合, 有效达成径流污染控制、山地雨水调蓄、韧性防涝以及雨水资源充分利用等多重功能, 其探索形成的“山地海绵”模式, 为其他众多同类型山地城市提供极具价值的建设经验。

关键词: 山地城市; 海绵城市; 雨水资源利用; 韧性防涝

中图分类号: TU998.4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)09-0292-05

Research on Low-impact Development and Sponge City Design of Mountainous River Valley Type Urban Parks in Southwest China: A Case Study of Baicaooyuan in Guangyuan

YU Xuehua, HU Haolin, JIANG Li

(POWERCHINA Chengdu Survey and Design Institute, Chengdu 611130, China)

Abstract: The southwest China is predominantly mountainous and hilly, characterized by complex terrain, scattered drainage, and significant seasonal overlap in rainfall and water usage, which greatly increases the risk of urban flooding. In recent years, as an emerging green development concept in urban construction, sponge cities offer new ideas for rainwater and flood control in mountainous cities. Guangyuan City is a typical mountainous city in the southwest China. Taking the Baicaooyuan Project in Guangyuan as an example, combined with the climatic characteristics of the southwest China and relying on the unique topography of mountainous cities, the low-impact development concept is systematically adopted. The overall planning and coordinated management are conducted on the water ecology, water environment, water security and water resources to build an important sponge body of the central urban area. By organically integrating low-impact development facilities with landscape design, the multiple functions such as runoff pollution control, mountain rainwater storage and regulation, resilient flood prevention, and full utilization of rainwater resources can be effectively achieved. Its explored and formed “mountain sponge” model provides highly valuable construction experience for many other similar mountainous cities.

Keywords: mountainous city; sponge city; rainwater resource utilization; resilient flooding control

0 引言

近年来, 在气候变暖、城市快速发展的双重影响下, 极端降雨日益增加, 国内各大城市遭受洪涝灾害影响越来越严重。西南山地城市降雨量存在时空分

布、季节性差异大, 年内降雨量丰富但分配不均, 降雨主要集中在4—9月, 夏季强降雨居多, 防洪调蓄压力大^[1]。西南山地城市具有坡度较大、地势差别大、水文地质条件复杂多变且持水力差, 降雨后大量雨水无法滞留下渗而形成地表径流, 其径流系数较平原地区大, 受山地地形条件影响降雨量多且大、流速快, 应灾时间较短, 极易发生山洪及内涝等灾害^[2-4]。

收稿日期: 2026-02-24

作者简介: 余雪花(1994—), 女, 硕士, 工程师, 注册公用设备工程师, 从事给排水设计、海绵城市设计工作。

城市绿地是构建海绵城市绿色基础设施的核心要素,根据绿地规模及位置,承担不同的海绵功能。山地公园作为山地丘陵城市绿色基础设施的重要组成部分,建设海绵城市应对洪涝灾害问题尤为重要^[5]。海绵城市理念作为城市可持续发展新范式,主要强调对雨水系统的管控,将山地公园与海绵城市构建有机耦合,能显著增强山地城市在极端气候条件下的灾害应对与防御能力,实现“山、城、水”统筹治理、“人、城、水”相融共生^[6]。此外,雨水成为一种新的可利用水资源,对解决城市用水有着积极的意义,雨水收集和利用很大程度缓解城市、灌溉等对水资源的消耗,并减轻城市内涝、生态破坏等环境问题^[7-8]。

2022年5月,作为“十四五”第二批国家级海绵城市建设示范城市,广元市海绵城市建设从试点探索迈向全域协同推进的新阶段,全力创建山地河谷型海绵城市示范标杆。本文以百草园生态修复项目为具体案例,结合山地特殊环境条件,通过源头-过程径流控制、末端海绵蓄用和超标雨洪排放系统等雨洪管控策略,实现污染削减、海绵韧性防涝、雨水资源化利用,对西南地区山地海绵公园建设具有广泛借鉴意义。

1 工程概况

百草园位于广元市中心城区东北部近郊,地处黑石坡森林康养旅游度假区核心范围内,距广元市中心城市核心综合体直线距离仅2 km,地理区位优势(见图1)。规划用地总面积约为865 536.91 m²,建设用地面积为56 378.12 m²,公益林面积为376 055 m²,一般林地面积为429 506 m²,水域面积为33 891 m²。



图1 百草园区位图

百草园处于四川盆地北部山区,沿黑石坡山脊延伸,河谷由宽变窄,坡度越来越大,岸坡越来越陡,沿线多为斜坡缓台地形,属构造、侵蚀堆积丘陵地貌。地形较为复杂,整体格局为北高南低,最高和最低区域高差达到76.05 m,中部向下凹陷,形成

V字形峡谷,高差较大。广元市多年平均降雨量为909.6 mm,降雨高度集中于6—9月,该时段降雨量占全年的75%。

项目选址下游为城市建设区,主要为河谷平坝区。在城市水循环过程中,山体具有显著面源产流特征的大型汇水区,山洪集雨范围大,洪水汇流速度快,给城区排水造成很大压力。一旦发生超标降雨,由于山洪沟断面不足,造成河水漫溢的现象,导致山洪入城;此外下游城市现状雨水系统不完善,雨水管网设施能力不足,加剧内涝风险。

因此,百草园需解决自身雨洪问题,坚持因地制宜、尊重生态本底,通过适宜的海绵系统设计,协同优化布局相应的低影响开发设施,对山洪进行末端调蓄、净化,解决片区水安全隐患,提高区域防洪排涝能力,增加了市民休闲游乐空间,提升城市景观风貌。

2 设计思路

2.1 设计目标

秉持生态优先、可持续发展理念,实现“山、城、水”统筹治理、“人、城、水”相融共生,将海绵城市理念融入城市发展大局,充分利用广元山地河谷条件,将百草园项目建设成为山地河谷型海绵城市典范。

根据《广元市海绵城市规划设计建设技术导则(试行)》、《广元市海绵城市专项设计编制规定及审查要点(试行)》及项目协调会的要求,本项目海绵城市设计指标:年径流总量控制率不低于80%,对应的设计降雨量为31.8 mm;年径流污染控制率(以SS计)不低于40%。

2.2 技术路线

百草园海绵设计充分结合现有地形地貌,采用“源头削减-中端调蓄-末端管控”三级协同机制,针对性的嵌入低影响开发措施。百草园海绵城市建设雨水径流组织技术路线图如图2所示。

2.2.1 源头控制

山体雨水、屋面雨水、地面雨水通过下沉式绿地、雨水花园为核心的生物滞留设施、结合透水铺装收集净化后溢流至雨水管网,同时对一般林地进行植被修复,减少坡面水土流失。

2.2.2 过程控制

通过截水沟、雨水暗沟、自然冲沟治理对坡面及山体径流进行传输和消能。

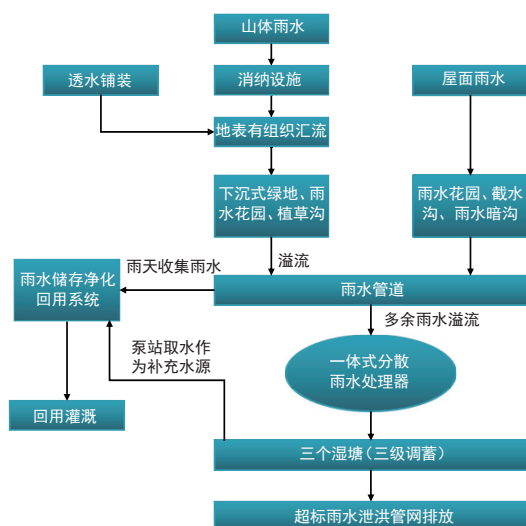


图2 雨水径流组织技术路线图

2.2.3 末端调蓄

通过设置三级湿塘作为百草园海绵调蓄单元,达到雨水收集、滞蓄,减少山洪对下游排放压力。超标雨水通过三级湿塘末端设置的泄洪渠排放。

2.2.4 雨水回用

通过布置雨水回用池,收集管网雨水以及提取湿塘水源作为补冲水源,满足百草园内景观、绿化、浇洒的用水需求。

2.3 汇水分区

本项目海绵设计雨水径流控制包括绿地、不透水铺装、屋面、水面以及周边部分山体的雨水。根据场地竖向高程、雨水管网、建筑屋面分水线等条件,结合雨水排水口及接纳水体,共划分3个汇水分区,详如图3所示。

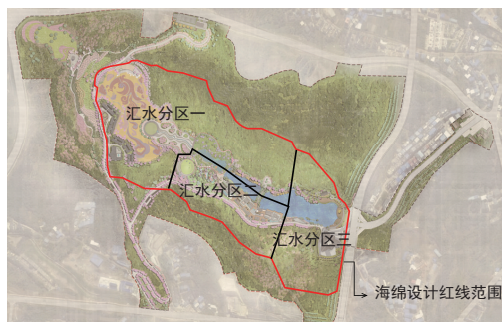


图3 汇水分区图

3 山地公园海绵设计要点

3.1 源头污染控制

初期雨水径流含有大量的污染物质,若未经处理直接排入水体,会对水环境造成严重冲击^[9-10]。低影响开发措施在雨水径流调控及污染负荷的削减效果中,国内外学者开展大量研究,发现透水铺装、生

物滞留设施、植草沟等典型措施能较好的控制径流量,也能大幅度提升对雨水径流污染物的去除率^[11-12]。

在建筑周围的绿地中布置雨水花园,对屋面雨水进行蓄滞与净化。屋面雨水经雨落管接入建筑周围的散水沟,中间转输措施设置植草碎石沟连接散水沟和生物滞留设施,将散水沟的水引入生物滞留设施,最终溢流排向雨水管道;周边山林区坡脚处的平缓地带布置生物滞留设施,减缓径流流速,实现对山体径流雨水消能、净化、滞留;广场采用透水铺装,通过多孔结构实现雨水自然下渗,减少地表径流外排的作用;再结合竖向控制,将多余径流转输至广场周围的下凹式绿地,并通过下凹绿地承接、渗透、储存径流雨水。

对园区一般林地进行植被恢复,选择适生的乡土植物,保持生物多样性。此区域景观采用乔木、灌木、草本相结合打造为花海,植物考虑的花卉品种需观赏性好、花期长、色彩鲜艳,并具有一定的芳香效果,达到最佳的美化、彩化、香化效果。缓坡处通过植被根系抗滑,增强水土保持能力,防止水土流失;陡坡则利用挡墙护坡,减缓水势并防止冲刷。

3.2 雨水调蓄要点

湿塘通常设置在场地低处,位于汇水区及山体径流下游处,可作为山脚滞蓄调节措施。项目所在地为现状打石沟水库,结合现状地形为两边高、中间低的V字形峡谷,周围汇水条件较好,将原有水库改造为三级调蓄湿塘。湿塘基底进行土壤灭菌、病原体消杀,另采用土壤改良药剂对土壤进行改良,促进水生植物生根。雨水湿塘需采用防渗措施,防止雨水渗透造成地质灾害,也能保持湿塘维持湖区水位,湿塘底部及驳岸铺设生态纳基防水毯。

山脚处沿路设置截水沟,收集山体雨水及地面径流并转输至湿塘水体。山洪来水主要通过现状冲沟排入湿塘,针对现状山林自然冲沟进行治理,沟内通过层级叠落景观延缓汇流过场,同步解决山洪蓄滞问题,并在沟头设置集水坑,进行沉砂消能。将冲沟内的地形进行生态化改造,利用回填土与自然置石构建多级滞水空间,底部散置大块卵石减缓径流冲刷,岸边配置植被强化坡面稳定性,实现雨水径流消减、土壤保护及景观提升的多重效益。

在局部雨水排放口排入湿塘之前设置一体式分散雨水处理器,采用上流式重力设计,利用雨水自然落差形成的势能驱动水流,通过处理器时,达到雨水

自动沉淀、过滤、吸附、沉积的处理过程,可控制一定径流污染物。结合源头海绵设施如透水铺装、雨水花园等达到污染控制目的;山体雨水通过沉砂消能、植物截留、土壤过滤滞留处理后,削减进入湿塘的水量,保证下游湿塘水质,减少因径流污染而带来的水体污染。

湿塘主要承接城市外围山洪来水,整个项目的汇水面积为363 773 m²,项目范围内设置三级湿塘面积为22 828 m²,调蓄平均深度为0.3 m,湿塘调蓄容积为6 848.4 m³,湿塘平均深度为1.7 m,湿塘总容积为38 807 m³。通过百草园水体调蓄,在日常降雨的条件下,可以利用调蓄容积蓄水,能控制汇水区域50 mm日降雨量;在汛期可进行防汛调度,整个湿塘最大能控制汇水区域280 mm日降雨量。能有效减少区域雨水向下游城市区排放,有效缓解下游排水压力,进而提高整个区域的排水标准。

3.3 超标雨水排放设计

山地公园城市洪涝灾害风险高,需以“韧性城市”的弹性适应能力与“海绵城市”的生态调控能力为双核驱动,推动排涝方式从传统工程排涝向“韧性海绵防涝”的系统化转变,实现末端海绵调蓄与弹性行洪相结合的方式,增加山地城市应对洪涝灾害的韧性^[13-14]。

三级湿塘末端新建泄洪箱涵102.807 m,泄洪道设计泄洪流量为9.94 m³/s,泄洪道采用暗涵形式,断面尺寸为2.5 m×2.5 m。箱涵进水口设八字墙,八字墙进口坡比为1:3.5,泄洪渠道按0.5%坡度控制,采用梯级跌水消除高差影响,从而顺接现状渠道。为了保证湖区正常蓄水及洪水期泄洪安全,闸室长6.5 m,闸门采用钢板闸,控制采用手自一体螺杆启闭机。当遇强降雨天气,提前调度打开泄水渠闸门,降低湿塘常水位,预留雨水调蓄空间,保证暴雨期间

公园水安全,降低下游城市洪涝灾害影响。

3.4 雨水资源化利用

根据《节水用水条例》指出,国家鼓励和支持开发利用雨水等非常规水源,应当建设透水地面及雨水收集、滞蓄和利用一体设施。基于海绵城市理念,推动非常规水资源利用,可节省市政用水,同时减少外排水量,减轻市政排水系统压力^[15]。

结合百草园场地实际情况及需求,构建雨水收集回用设施,收集部分区域地表径流及建筑屋面雨水,汇水面积合计约为13 700 m²,设置230 m³蓄水池,其中PP模块蓄水池154 m³,PP模块清水池76 m³。为满足《城市污水再生利用景观环境用水水质》的标准要求,雨水储藏于雨水模块中,经处理设备的过滤、消毒后,以使其适用于景观环境用水。将清水池与自动喷灌系统连接,用于花海区域内绿化浇洒,同时依托百草园调蓄水体,结合透水铺装、雨水花园等净化措施,实现水系循环净化,保障蓄水池的持续性水源。

4 实施成效

4.1 指标复核

依据百草园不同下垫面条件,根据《海绵城市建设技术指南(试行)》,利用容积法计算排水调蓄容积。雨水花园滞留深度取0.3 m,下凹绿地滞留深度取0.2 m,湿塘调蓄水深按0.3 m计,基于设计参数的复核评估,如表1所示,百草园项目在实施海绵化后,年径流总量控制率为92.74%,可有效消纳53.52 mm设计降雨深度,达到海绵城市建设目标。

百草园采用多种低影响开发措施,可控制屋面雨水、地表径流、山体雨水的径流污染物,径流污染物去除以SS计,经核算年径流污染削减率为58.40%,满足要求。

表1 海绵指标计算表

编号	项目	面积/m ²	综合雨量 径流系数	计算调蓄量/m ³	实际调蓄量/m ³	对应控制 降雨量/mm	年径流总量 控制率	年径流污染 削减率
1	汇水分区一	212 061.17	0.297	2 000.28	2 661.80	42.32	86.74%	55.28%
2	汇水分区二	67 564.53	0.549	1 179.41	2 219.29	59.84	95.74%	62.09%
3	汇水分区三	84 147.30	0.535	1 432.84	2 520.54	55.94	93.99%	56.39%
4	总计	363 773.00	0.380	4 397.80	7 401.63	53.52	92.74%	58.40%

4.2 经验亮点

4.2.1 因地制宜布置海绵措施

针对项目所处地形,充分利用地势高差,合理布置海绵措施,通过雨水花园、透水铺装、下凹绿地实现源头污染控制,改善排入三级湿塘水质。山脚低

点建设湿塘水体,发挥三级湿塘末端净化功能,通过基地改良、生态浮岛、水生植物群落构建等,实现山地来水净化,提升水环境质量。

4.2.2 水体调蓄提升片区水安全

结合场地原本地形地貌,合理设计场地排水坡

度,控制径流雨水汇入,与雨水排水系统、湿塘水体良好衔接。依托片区内水体和低洼地优势,湿塘作为百草园海绵调蓄载体,发挥其对片区山洪雨水的调蓄,实现区域防洪排涝能力的整体提升,减缓城市雨洪压力。

4.2.3 雨水回用绿色经济

将雨水变为可利用资源,通过雨水储存净化回用系统,收集地表径流及屋面雨水,并结合泵站抽取湿塘水体,用于绿化喷灌、道路浇洒等,节约市政用水,实现经济化的海绵建设。雨水资源回用可减少碳排放,实现海绵建设与碳中和双重达标^[16]。

5 结 语

基于西南地区山地河谷型城市的特点,针对区域特征采取不同方式构建绿色生态基础设施体系,实现对区域径流雨水管控、收集、利用。百草园生态修复项目结合山林、绿地、水体,充分发挥山地地形优势,因地制宜构建低影响开发系统;山体雨水、径流雨水有组织汇入周边绿地的低影响开发设施以及雨水管渠系统,并衔接山脚湿塘滞蓄空间与超标排放通道,形成两级调蓄,充分发挥湿塘水体与海绵调蓄空间的协同作用,实现了对山水径流的高效削减与滞蓄,提高山地城市抵御洪涝的系统性能力,减少下游城市内涝风险和水环境压力,建成效果如图4所示。本文基于百草园生态修复项目的实践案例,探索山地河谷型海绵城市建设特点,以点带面为西南地区其他山地海绵城市建设提供宝贵经验,共同推进海绵城市可持续发展。

参考文献:

- [1] 李超.基于自然水文过程的山地城市雨洪空间管控研究[D].北京:重庆大学,2022.
[2] 陈琳,韩锬,余丽华,等.西南地区山地城市排水防涝综合规划中



图4 百草园生态修复项目实景图(广元市住房和城乡建设局供图)

- 存在的问题及对策[J].给水排水,2020,56(增刊1):687-691;695.
[3] 王泽阳,王开春,许贤芳,等.东南沿海山地城市海绵城市规划探索:以上杭县为例[J].中国给水排水,2024,40(4):25-31.
[4] 袁绍春,王怀望,吕波,等.基于InfoWorks_ICM模型的山地城市老旧建筑小区海绵化改造方案设计及评估[J].水资源保护,2020,36(5):43-49;70.
[5] 陈圆,毛绪昱,陈曦,等.山地城市内涝防治中问题及对策建议——以重庆市中心城区为例[J].给水排水,2021,57(12):35-39.
[6] 陈静,方路行,朱程伟.西北半干旱地区山地公园海绵城市建设实践——以西宁市植物园为例[J].中国园林,2022,38(增刊1):86-90.
[7] 李春芳.我国城市雨水收集利用产业发展研究[D].山东:山东农业大学,2009.
[8] 汤钟,戴韵,张亮,等.海绵城市视角下城市水资源利用体系构建[J].净水技术,2020,39(9):150-157.
[9] 仇保兴.海绵城市(LID)的内涵、途径与展望[J].给水排水,2015,51(3):1-7.
[10] 王龙,聂煜东,焦昭杰,等.典型山地城市雨水径流污染负荷时空分布[J].重庆工商大学学报(自然科学版),2023,40(2):1-6.
[11] 刘发欣,程文,刘昕,等.海绵城市建设中低影响开发的应用及研究进展[J].净水技术,2022,41(9):18-25;34.
[12] 毛绪昱,黄丽萍.基于海绵城市理念的山地城市道路低影响开发设计[J].中国给水排水,2016,32(10):81-85.
[13] 刘亚丽,曹春霞,龚浩.“韧性城市”与“海绵城市”耦合的山地城市防涝规划研究[J].规划师,2022,38(11):97-103.
[14] 陈建.基于洪涝统筹的山地丘陵城市排水防涝体系构建[J].城市道桥与防洪,2024,5(5):138-140.
[15] 路琪儿,罗平平,虞望琦,等.城市雨水资源化利用研究进展[J].水资源保护,2021,37(6):80-87.
[16] 林奇,祁昌斌,冒旭海.碳中和背景下雨水资源化利用效率分析[J].给水排水,2022,48(增刊1):760-765.