DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.02.019

韧性城市理念下的高密度城市山洪截滞系统构建

黄祥荣[1]， 邹启贤[2]， 黎洪元[2]， 房婷婷[1]， 刘晓波[1]
（1. 深圳市利源水务设计咨询有限公司，广东 深圳 518027；2. 深圳市水务<集团>有限公司，广东 深圳 518027）

摘 要： 高密度城市开发强度大、人口密集，建设用地与山地缺少缓冲带，山洪对生命财产的威胁日趋增大。按照韧性城市和海绵城市的建设要求，采用“渗、截、拦、蓄、用、排”的总体思路，强化山洪源头减量和蓄滞，保障山洪穿城下泄安全，构建完善的“截洪控源-过程蓄滞-下泄安全”山洪截滞系统，并与防洪排涝系统充分衔接与协调，补齐城市防洪排涝体系源头关键一环。

关键词： 韧性城市； 山洪截滞； 防洪排涝
中图分类号： X522 **文献标识码：** B **文章编号：** 1000-4602(2025)02-0115-05

Construction of High-density Cities Flash Flood Interception System under the Concept of Resilient City

HUANG Xiang-rong[1], ZOU Qi-xian[2], LI Hong-yuan[2], FANG Ting-ting[1], LIU Xiao-bo[1]
(1. *Shenzhen Liyuan Water Design & Consultation Co. Ltd.*, *Shenzhen* 518027, *China*; 2. *Shenzhen Water <Group> Co. Ltd.*, *Shenzhen* 518027, *China*)

Abstract: High-density construction cities are intensely developed and densely populated, the construction land and mountains lack buffer zones, thus flash floods pose an increasing threat to life and property. According to the construction requirements of resilient cities and sponge cities, the general idea of “infiltration, interception, blockage, storage, use and drainage” is adopted to strengthen the reduction and storage of flash flood sources, ensure the safety of flash floods passing through the city, and build a complete flash flood interception and retardation system of “flood interception and source control-process stagnation-discharge safety”, fully connect and coordinate with the flood prevention and drainage system, and complete the key link of the source of the urban flood prevention and drainage system.

Key words: resilient city; flash flood interception; flood prevention and drainage

1 概述

快速的城镇化进程，高强度的城市开发，导致建设用地与山地间缓冲带不断压缩，城市水系被不断侵占。无论是山水入城，还是快排式截、排洪模式，山洪对城市造成的危害与破坏问题正日益凸显。而在城市防洪排涝系统中，对山洪防治的关注普遍不足，已成为防洪排涝体系的主要短板之一。在新时期韧性城市和海绵城市建设背景下，山洪防治亟需同步按新的防洪排涝体系建设目标与要求进行补强。

根据相关研究，粤港澳大湾区15个高密度城市典型流域，与城市化前（1992年）相比，城市化后（2019年）流域最大3 h暴雨洪峰流量平均增加了41%，流域出口断面洪峰出现时间平均提前0.51 h[1]。深圳作为全国唯一一座城镇化率100%的城市，下垫面不透水率达45%[2]，山洪所致的各种洪涝威胁矛盾更加突出。以深圳市宝安区为例，对高密度城市山洪截滞系统的构建进行研究。

2　高密度城市山洪截滞系统构建研究

2.1　区域概况

宝安区位于深圳市西北部、珠江口左岸，总面积397 km²，建设面积242 km²（占比61%），常住人口449万人。2021年地区生产总值4 421亿元，位列全国工业百强区第四，是粤港澳大湾区和深圳市经济最活跃、发展增速最快区域之一。宝安区属低山丘陵滨海区，地势呈东北高、西南低、海堤高的凹字形，主要建成区4 m以下高程面积占比25%（见图1）。区域多年平均降雨量为1 605 mm，降雨以短时高强度台风雨和锋面雨为主，叠加地形、潮水顶托（规划防潮标准对应高潮位3.73 m）等因素，是深圳市洪涝灾害最严重区域。

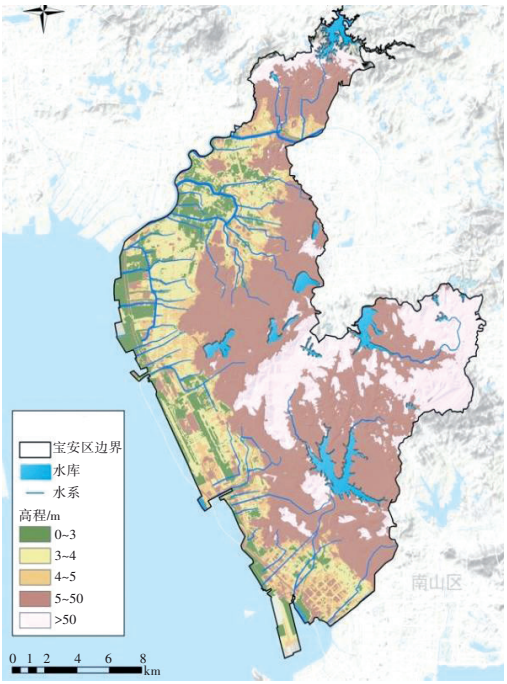

图1　宝安区高程

Fig.1　Elevation of Bao'an District

宝安区山体分布零散，共有平峦山、铁仔山、凤凰山、阳台山等11座山体/片区（见图2），总面积47.8 km²，单座面积较小（0.7~14.0 km²），部分已经公园化。现状山洪水排放存在的主要问题包括：①截洪沟分布零散，断面不足，不成系统；②山水多经市政雨水管涵下泄，管涵规划、设计未纳入山体汇水，山洪与市政雨水设计标准不同；③高水低排，加大低洼区域内涝风险；④山水散排入城，清浊混流，增加水污染防治压力；⑤早期开发建设大量侵占山体，多未建设截洪设施，山洪带来的局部洪涝及引起的地质灾害隐患巨大；⑥山区水体未充分利用，山水源头蓄滞功能未发挥；⑦截洪沟缺少管养维护，破损、淤积严重，影响山洪安全排放；⑧涉山洪灾害风险未进行全面、综合、系统的评估。

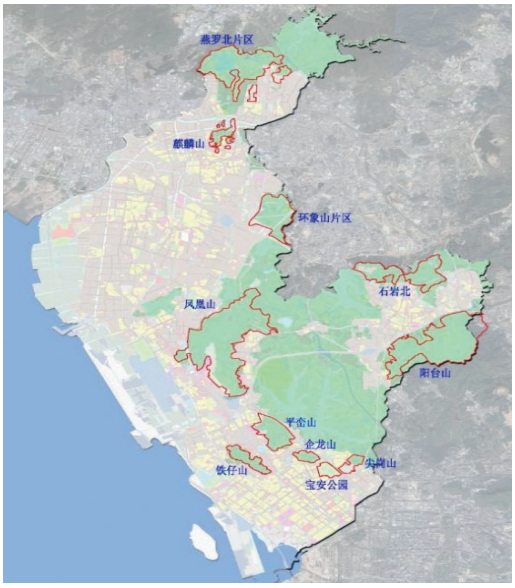

图2　宝安区山体分布

Fig.2　Mountain distribution of Bao'an District

2.2　山洪风险评估

利用层次分析法对区域山洪风险进行分析评估，高风险区主要分布在西乡街道中部、福永街道东南部、航城街道东北部、石岩街道东部（见图3）。

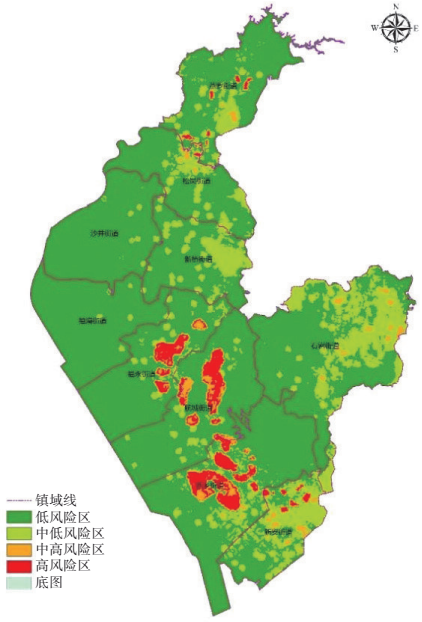

图3　宝安区山洪灾害风险等级分布

Fig.3　Distribution of flash flood disaster risk level in Bao'an District

在选取的9个指标因子中,降雨影响最大,其次是人口密度和标准面洪峰流量。

2.3　山洪防治标准与山洪截滞思路

2.3.1　山洪防治标准与其他标准的衔接

宝安区已明确的规划标准包括河道防洪标准20~200年一遇,内涝标准100年一遇,防潮标准1 000年一遇,对山洪标准未做明确。区域建设密度大,山体外围已普遍开发甚至侵占山体,缺少有效的缓冲带,原则上山洪标准不宜取低。但考虑到山洪承泄河道防洪标准已按规范较高标准确定,加之山体面积不大,排水分区零散,建设大断面截洪沟既缺少场地条件,也会对山体稳定性造成影响。因此,确定山洪防治标准原则上根据主要承泄河道防洪标准下调一档,中心城区山洪高风险区与河道防洪标准保持一致,具体见表1。

表1　各山体山洪防治标准

Tab.1　Standards of flash flood prevention and control periods in each mountain　　a

山体/片区	山水承泄河道	山水承泄河道规划防洪标准	设计山洪防治标准
平峦山	铁岗水库排洪渠、钟屋排水渠	50~100	50
铁仔山	铁岗水库排洪渠、西乡大道分流渠、共乐涌	20~100	50
凤凰山	九围河、黄麻布河、沙福河、福永河、机场外排渠、西乡河	20~100	50
环象山片区	潭头河、潭头渠、新桥河	20~50	20
燕罗北片区	罗田水、龟岭东水、老虎坑水、塘下涌	20~50	20
企龙山	西乡河、咸水涌	50~100	50
宝安公园	咸水涌、新圳河	50	50
尖岗山	咸水涌、新圳河	50	50
麒麟山	茅洲河、松岗河、沙浦西排洪渠	20~200	20

若山洪水经市政雨水管涵排出,考虑到各山体排水分区面积较小(多小于2 km^2),相近边界条件下区域规划市政雨水标准(3~5年)对应的流量基本都低于区域河道防洪标准(20~200年一遇)的流量,基于安全考虑,针对山水下排的现状或规划市政泄洪管涵通道,以山洪防治标准进行设计,以内涝标准进行复核。

2.3.2　山洪截滞思路

贯彻韧性城市与海绵城市建设理念,结合宝安区山洪特点,采用"渗、截、拦、蓄、用、排"的总体思路,构建完善的"截洪控源-过程蓄滞-下泄安全"山洪截滞系统(见图4)。①渗:加强山体林区生态保护,涵养水源,减少径流。②截:依条件设置山间截水沟,将高处洁净山水截流汇入山间山塘或水库;沿山脚设置完整截洪沟,构建截洪最主要防线,收集山水或汇入区间调蓄设施,或安全下泄,严控山水入城。③拦:根据地形条件在山谷冲沟、排水渠等设置谷坊、溢流堰、水坝等拦水设施。④蓄:拦水设施自身可形成蓄滞空间,同时可将拦截的清洁山水,尤其是雨季山洪水,引入周边山塘、景观湖、水库等进一步调蓄,最大程度削减下泄量;公园山体设置部分海绵设施,兼顾污染径流净化和山水蓄滞。⑤用:蓄滞水体调蓄的山洪水,晴天用作绿化景观等浇洒用水或河道补水,雨源利用。⑥排:完善山洪下泄通道,保障下泄安全,避免排水不畅漫溢,加剧积水内涝。

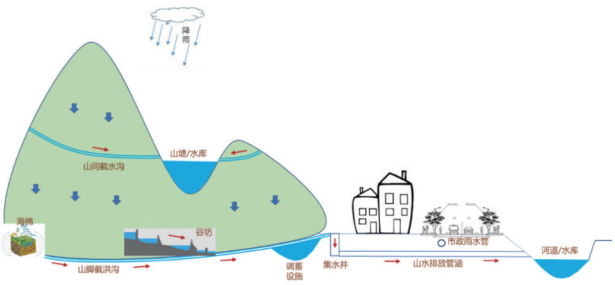

图4　山洪截滞总体思路

Fig.4　General idea of flash flood interception

在山洪截滞系统构建层面的具体方案措施主要包括以下6个方面:

①　充分利用山塘、水库、景观湖、钓鱼场等山间水体,增大汇水面积,挖掘调蓄容积,重点强化山洪的源头调蓄。

②　截洪沟应采用明沟,泄洪通道在具备场地条件和确保安全的前提下优先采用明沟,由点及面,积少成多,按海绵设施建设要求,逐步构建因地制宜的区域明沟排水2.0系统。

③　总体维持现状山洪下泄通道,具备条件的采用独立通道下泄,经雨水管涵通道下泄的按山洪和内涝标准复核。

④　构建"山脚截洪沟+高点集水沟+低点集水沟"的多重收水系统(见图5),强化收水并辅助打通下泄通道。

⑤　近远期结合,截洪沟布置以现状为基础,

远期结合片区综合开发和路网建设完善外围山体截洪系统。

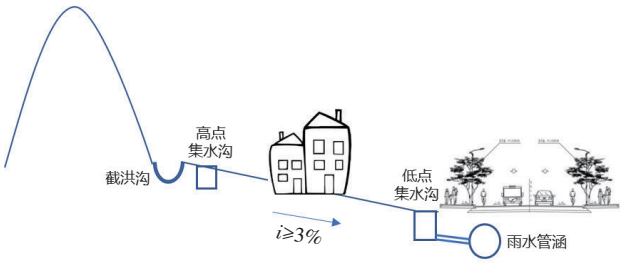

图5　多重、强化收水系统

Fig.5　Schematic diagram of multiple, enhanced water collection system

⑥　截洪沟以分散排放为宜，若线路过长、负荷大、断面大，则易发生事故。对于高边坡挡墙，基于安全考虑，原则上挡墙上、下部截洪沟保持现状，断面不足或存在散排的，在挡墙外围增设排水沟收集雨洪水。

2.4　山洪截滞系统构建

以平峦山为例，其山洪截滞系统总体方案布置见图6。

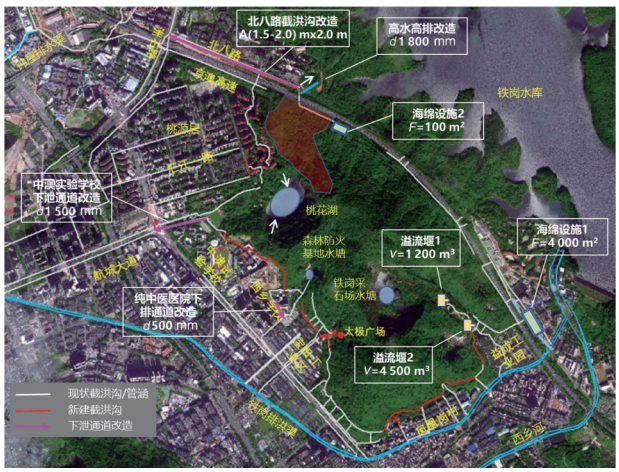

图6　平峦山山洪截滞总体方案布置

Fig.6　General layout plan of Pingluan Mountain flood interception

平峦山山体总面积263.4 hm²，现状整体为公园，东北侧为铁岗水库，其余周边为居住小区、城中村、工业园。山体周边现状沿公园道路和山脚建有零散排水边沟或截洪沟，山水汇集后或经由排洪沟下泄，或就近接入市政雨水管网排出。无截洪沟时，局部山水散排。山水总体分为4个排水分区：①铁岗排洪渠，汇水面积197.7 hm²；②钟屋排水渠，汇水面积23.7 hm²；③铁岗水库，汇水面积25.6 hm²；④桃花湖（内排水），汇水面积23.5 hm²。

根据山洪风险评估，平峦山所在区域为山洪灾害高风险区。除降雨主因外，其他影响因素包括：①人口密度高，西北侧山脚为深圳最大居住小区（桃源居）等；②易损承灾点较多，包括中澳实验学校等3所学校与医院；③建筑紧贴山体，高边坡挡墙多，缺少缓冲空间。

以问题为导向，结合现场踏勘和排水系统分析，按照山洪截滞思路，平峦山构建的重点首先是完善截洪沟和下泄通道，其次是根据条件强化源头山洪的蓄滞。

2.4.1　蓄滞设施

①　调蓄设施

平峦山有桃花湖、铁岗采石场水塘、森林防火基地水塘、太极广场湿地4处山间蓄滞水体，总调蓄容积约45.68×10⁴ m³。结合地形和现状道路排水边沟，增设部分截水沟，将山水优先接入山间水体进行源头调蓄。桃花湖新增汇水面积2.5 hm²；太极广场湿地新增汇水面积2.6 hm²，挖深新增容积400 m³；铁岗采石场水塘进行景观改造，通过围堰、设堤等方式加大调蓄容积，中游增设2座溢流堰，形成“持洪梯田”，增加调蓄容积5 700 m³。

②　海绵设施

根据场地条件，分别在公园东门京港澳高速北侧现状低洼绿地处和京港澳高速南侧山脚处设置2处海绵设施，蓄滞净化高速南侧下排径流污染山水，总面积为4 100 m²。

2.4.2　截洪设施

沿宝田工业区北侧山脚、凤凰岗第三工业区北侧山脚、凤凰岗二村西北侧山坡、西乡实验学校北侧山脚新建、扩建截洪沟8段，总长度2 480 m。

2.4.3　高水高排、清浊分流、雨源利用

根据高程，对北八路最东端现状高速过路排水涵截流，新建d1 800 mm管道，将山水排至东北侧铁岗水库，控制汇水面积16.4 hm²。

2.4.4　泄洪通道完善

按山洪和内涝标准对山洪下泄管涵进行复核，对纯中医治疗医院外侧下排通道、中澳实验学校西南门下排通道进行改造，规格d500~1 500 mm，总长510 m。对北八路南侧现状A1.0 m×0.55 m截洪沟进行改造，规格A2.0 m×(1.5~2.0) m，总长度960 m，末端采用A2.0 m×2.0 m箱涵穿洲石路接入西侧现

状箱涵,可有效缓解洲石路现状较严重的内涝问题。

通过模型模拟管网系统中雨水冒溢点的位置来评估截洪系统的能力以及下游内涝情况(见图7)。模拟包括现状、50年一遇降雨(设计山洪防治标准)与100年一遇降雨(内涝标准)3种工况。结果显示,设计方案满足截洪沟在50年一遇降雨标准下不漫溢,下游管涵不冒溢。在100年一遇标准降雨下,汇江一路起始段管道以及航城大道排水口附近存在20 cm左右的积水,积水时间小于20 min(规划内涝标准:积水时间超过30 min,积水深度超过0.15 m,积水范围超过1 000 m^2),不会造成内涝灾害。

a. 50年一遇

b. 100年一遇

图7　50/100年一遇防治标准模拟结果

Fig.7　Simulation results with the prevention and control standard of 50/100-year return period

3　展望与建议

在国家深入推进韧性城市和海绵城市建设的背景下,按照"渗、截、拦、蓄、用、排"的总体思路,构建了高密度城市"截洪控源-过程蓄滞-下泄安全"山洪截滞系统。该系统重点强化源头减量、截洪和蓄滞,同时高标准建设截洪沟,避免山水入城,并按山洪与内涝标准复核下泄通道安全性。

对深圳市宝安区9座山体/片区(石岩北与羊台山已进行截洪设计)共规划新建、改扩建截洪沟及管涵45.8 km,其中截洪沟完善工程共新建、改扩建截洪沟30.55 km,山洪下泄通道完善工程共改扩建管涵15.25 km。该工程总投资约7.5亿元。该研究内容已整体纳入宝安区防洪排涝规划,截洪沟完善工程已立项,正以街道为实施主体开展建设。但在防洪排涝规划过程中,对源头山洪蓄滞设施等却并未纳入防洪排涝模型统筹考虑,这从安全角度属于裕量预留,也是合理的,但从防洪排涝体系精细化规划的角度来看是不足的。山洪截滞系统与城市防洪排涝系统的衔接与协调需要在规划、设计、智慧水务等各方面与各阶段充分考虑并不断完善。

参考文献:

[1] 陈文龙,杨芳,宋利祥,等. 高密度城市暴雨洪涝防御对策——郑州"7·20"特大暴雨启示[J]. 中国水利,2021(15):18-20,23.
CHEN Wenlong, YANG Fang, SONG Lixiang, *et al*. Countermeasures for rainstorm and flood prevention in high-density cities—the "7·20" heavy rain revelation in Zhengzhou[J]. China Water Resources, 2021(15):18-20,23(in Chinese).

[2] CHANG C C, CHEN Y H, HUANG J H. A comparison study on the role of urbanization in altering the short-duration and long-duration intense rainfall[J]. Science of the Total Environment, 2023, 857:159290.

作者简介:黄祥荣(1983-　),男,江西上犹人,硕士,给排水工程与环境工程高级工程师,主要从事市政给排水、水环境治理及固废工程的咨询与设计工作。

E-mail:9559720@qq.com

收稿日期:2023-11-07

修回日期:2023-12-12

(编辑:衣春敏)