

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.18.006

广州市北部丘陵山区内涝治理策略及实践

陈克坚, 郭树河, 张 晔, 段东玲, 谭光州, 曾向前, 罗春香
(广州市城市规划勘测设计研究院有限公司, 广东 广州 510060)

摘 要: 以丘陵山区内涝风险识别及城市开发建设致涝成因分析为切入点,结合从化区的城镇分布特征、路网形态及排水组织系统等特点,将小微排水通道恢复、洪涝分流,以及浅层排水为主、管道排水为辅等经济有效的治涝策略应用到温泉旧镇交易市场内涝整治的实践中,效果显著,为丘陵山区内涝整治提供了有益尝试和补充。

关键词: 丘陵山区; 内涝治理; 排水通道; 浅层排水

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2024)18-0036-06

Strategies and Practices of Waterlogging Control in Hilly Mountainous Area of Northern Guangzhou

CHEN Ke-jian, GUO Shu-he, ZHANG Ye, DUAN Dong-ling, TAN Guang-zhou,
ZENG Xiang-qian, LUO Chun-xiang
(Guangzhou Urban Planning & Design Survey Research Institute Co. Ltd., Guangzhou 510060, China)

Abstract: The case of waterlogging control of the trading market in Wenquan Jiuzhen Town, which takes the identification of waterlogging risk in hilly mountainous areas and the analysis of the causes of waterlogging due to urban development and construction as an entry point, has achieved remarkable results. According to the characteristics of urban distribution, road network pattern and drainage organization system of Conghua District, the waterlogging control strategy adopts measures such as restoring secondary drainage channels, diverting flood and accumulated rainwater, and drainage mainly based on shallow drainage and supplemented by pipeline drainage. This strategy provides beneficial attempts and supplements for waterlogging control in hilly and mountainous areas.

Key words: hilly mountainous area; waterlogging control; drainage channel; shallow drainage

广州市北部的从化区面积约1 985 km²,整体以生态保护为主,建设用地分布较为零散,历史内涝点数量、密度在全市范围内也处于较低水平,但是从化区属于典型的丘陵山区,受山洪影响大,雨水汇流速度快,洪峰前置及河道水位骤涨骤落,且易引发泥石流、山体滑坡等次生灾害^[1]。从化区受地形地貌的限制,建成区建筑形态、路网格局及排水系统组织不同于平原区,且财政收入也不及其他

区,投资高的治涝工程设施落地困难。因此,如何采用更加经济、有效的内涝整治措施消除历史内涝点及提升水安全级别值得深入研究。

1 从化区内涝风险研判及致涝成因分析

1.1 基于自然要素的洪涝风险识别

从化区整体地势自北向南倾斜,东北高,西南低,境内主要有流溪河、滘江(二)河及连麻河三条主干河流及其支流,其中流溪河是主河流。在降雨

方面,从化区为广东省三大暴雨中心之一,以锋面雨和台风雨为主,锋面雨主要发生在4月—6月,降水范围广、强度大、历时长,容易发生流域性洪涝灾害;台风雨一般出现在7月—9月,历时短、强度大,主要对市政排水管渠系统造成较大冲击。鉴于两种类型降雨涉及降雨历时不同,将《城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则》推荐的芝加哥雨型作为短历时设计雨型,采用同频率分析法来推算24 h长历时设计雨型。

宏观上,基于地理信息识别洪涝风险:运用遥感技术识别不透水地面,将地表综合径流系数从0.4~1.0细分为5个等级;通过高分辨率数字高程模型DEM(1 m精度)和二维水力分析模型,采用D8最大坡降法,准确识别地表相对洼地,同样将洼地深度以0、0.5、1.5、>1.5 m为节点细分为4个等级。结合历史内涝资料,以洼地深度等级叠加地表径流系数,对数据进行标准化处理,得到5类潜在的内涝风险区域。基于气象观测站的降水监测数据,计算内涝发生时隐患点周边3 km范围内的最大小时雨强与内涝点的对应关系,划分内涝降雨等级,并划定其空间分布区域。耦合初步划定的风险区域、内涝降雨空间分布,综合考虑河涌水面线与地势关系,在0~1区间按标准化权重计算最终的潜在内涝风险度 R :低风险($R \leq 0.4$)、较低风险($0.4 < R \leq 0.6$)、中风险($0.6 < R \leq 0.8$)、较高风险($0.8 < R < 1.0$)、高风险(R 为1.0),其中高风险区主要分布在流溪河沿河腹地。

1.2 城市开发建设致涝成因分析

① 小微排水通道消失

河道及管渠共同组成排涝系统,但分属水利及市政两个领域。从化区三类及以上等级河道已通过划定控制线的方式纳入水务管控体系,得到了有效保护,但类似于排洪沟的小微排水通道既未纳入水务管控体系,也不属于传统的市政排水设施,极易遭到破坏。不同于平原河网区,丘陵山区小微排水通道的水安全功能更为显著。从化区随着城市发展,建设用地由沿河腹地向高地发展,小微排水通道被填埋、不合理改道的现象较为普遍,局部地区因缺乏排水通道或排水通道雨水量分配不合理而出现内涝。

② 涉河水工构筑物壅水

丘陵山区河流水位消涨较快且呈现明显的季

节性特征^[2],为了满足水电利用、饮水灌溉及景观的需要,通常会建设水电站、大坝等水工构筑物。在流溪河干支流上兴建了11座小型水电站及水坝,暴雨期水电站及水坝的运行调度与防洪排涝不协调,导致构筑物上游水位壅高致涝。

③ 建设项目竖向设计不合理

目前,从化区还未实现竖向详细规划全覆盖,仍然以各片区控制性详细规划中的竖向专章指导工程实施,由于控规编制(修编)单元与排涝分区单元不一致,竖向规划方案与水资源治理目标不协调,且系统性及时效性不佳;同时,建设项目或因时序问题或基于自身水安全的考量不断抬高竖向高程,新旧竖向高程协调不足,现状保留区可能逐渐演变为“洼地”,从而致涝。丘陵山区的“洼地”一旦发生内涝,产生的灾害影响比平原区更加严重。

④ 高、低水不分流

在丘陵山区,河道、沟渠原始功能是承泄山体雨水,城镇雨水就近排放。随着城镇发展,地面硬化率越来越高,大量的城镇雨水排入承泄山洪的河道、沟渠。山洪流速快、冲击力强,河道、沟渠水位迅速壅高,对城镇排水管道造成顶托致涝。

2 内涝风险应对策略

2.1 小微排水通道的恢复

雨水径流是丘陵地区重要的水文特征,水系及流域内的潜在径流是天然的泄水通道,径流廊道承载着流域的主要雨水汇流与排水功能。城市化后的雨水收集排放基本延续现状雨水汇流路径,对于已被填埋的小微排水通道,可根据实际情况进行恢复;同时,可将小微排水通道作为沟渠类设施纳入水务管控体系。

2.2 排涝通道主体功能区分

从化区的建筑与路网整体上非常紧凑,因空间受限,无法完全实现高水高排、低水低排,承泄山洪的河道、沟渠也必然承接城镇排水。在规划设计方案中,结合汇水范围,从主体功能上区分承泄山洪通道及城镇排水通道,以水力计算为依据,承泄山洪的通道可以承接局部的城镇排水。同理,城镇排水通道亦可承泄少量的山洪。

2.3 浅层排水为主、管道排水为辅

以明渠为典型代表的浅层排水系统相较于过流断面相同的管道而言,不易形成压力流,过流量

更大,而且清淤方便;明渠相较于管道,埋深浅,投资低。所以,无论从丘陵山区排涝机理还是从经济性考虑,从化区适合采用以浅层排水为主、管道排水为辅的内涝防治策略。

2.4 合理的竖向规划引导

因建设项目竖向设计不合理,“洼地”致涝是目前国内普遍存在的现象^[3]。现状建成区竖向高程不可逆,重点是对新建项目的竖向高程进行合理引导,严控基于自身水安全考量无序抬高竖向高程的项目,应以排涝分区为单元,以洪涝安全评估为抓手,协调新旧项目的竖向高程。

3 内涝整治实践:以从化区温泉旧镇区为例

3.1 项目概况

温泉旧镇区位于从化区中部,属于典型的丘陵山区地貌,建成区沿流溪河呈带状布置,在自然地势方面,面临上游山洪过境、下游流溪河高水位顶托的洪涝风险。过去由于丰富的温泉资源,旅游业带动房地产行业发展迅速,由于缺乏排水专项规划的指导,随着开发建设,内涝问题逐步凸显,交易市场内涝尤为显著,其现状排水见图 1。

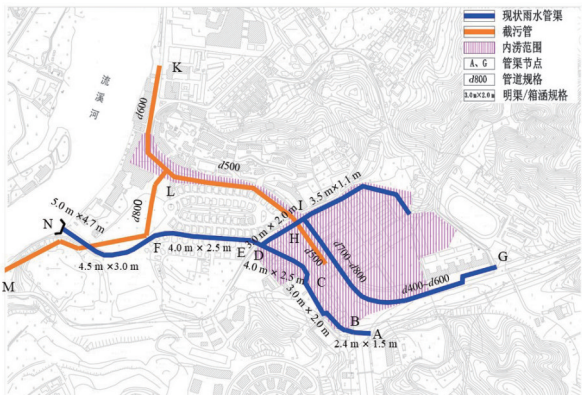


图1 交易市场内涝点周边现状排水

Fig.1 Existing drainage around the flooded area of the trading market

交易市场内涝范围约 9.7 hm²,位于温泉镇建成区中部南端,内涝排水系统涉及汇水范围 221.11 hm²,其中位于镇区外围的南部和西部上游山体区域 167.32 hm²。降雨时上游山洪经暗渠 A-B 段(2.4 m×1.5 m)横穿景泉大道,汇合富力泉天下方向的雨水后,最终流经居礼小区的 E-F-N 暗渠(尺寸依次为 4 m×2.5 m、3.5 m×3 m、5 m×4.7 m)排往流溪河。内涝的主要原因是山脚下的山洪行泄通道局部段被填埋,山洪无组织漫流至镇区;同时,镇

区内高低水未分流,排水管渠尺寸也偏小。

3.2 内涝整治方案

内涝整治的总体目标是在 100 年一遇暴雨情况下,道路积水深度不超过 15 cm;雨水管渠设计标准是在 5 年一遇降雨条件下,排水管渠整体处于非压力流状态;在降雨重现期为 10 年一遇条件下,雨水管道不发生溢流。

① 山洪分流、降低下游排水压力

分析 G105 国道以南地形发现,通过改造 G105 国道南侧边沟,可将 34.12 hm²范围内的汇流雨水流向调整为沿 G105 国道向西(见图 2),与该方向现状雨水汇合后在镇污水厂附近直排流溪河。汇水范围调整后,在 5 年一遇降雨条件下,A-B 段、B-C 段、E-F 段、F-N 段的汇入雨水量分别减少 16.4%、11.8%、9.6% 及 9.4%,水力计算对比结果如表 1 所示。

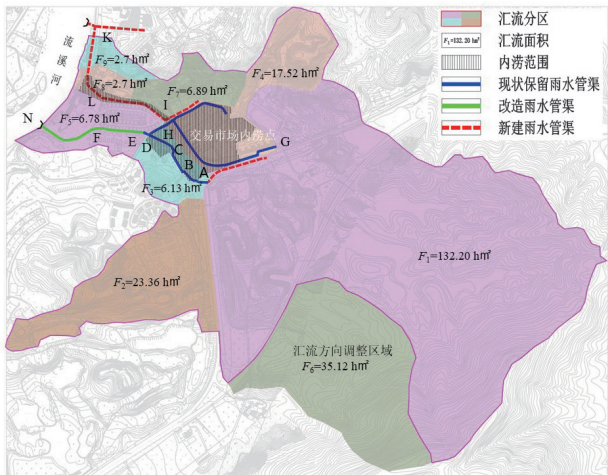


图2 可分流汇水区位置

Fig.2 Location of divertible catchment areas

表1 汇水区域调整前后汇流量变化

Tab.1 Change of flows before and after adjustment of catchment area

管段	现状规格/(m×m)	过流能力/(L·s ⁻¹)	设计降雨重现期	汇流量/(L·s ⁻¹)		分流后流量减少/(L·s ⁻¹)
				未分流	分流后	
A-B	2.4×1.5	9 085	5 年一遇	16 389	13 702	2 687
B-C	3×2	8 715	5 年一遇	22 508	19 845	2 663
E-F	4×2.5	10 982	5 年一遇	26 886	24 291	2 595
F-N	3.5×3 5×3.7	37 403	5 年一遇	27 013	24 480	2 533

② 新建山洪行泄通道

温泉旧镇东侧山体的山洪需经镇区排入流溪

河,由于城市建设,交易市场至东侧山体段因山洪冲刷形成的自然排水沟渠被填埋,导致山洪无组织漫流,因此沿福泉路新建3.0 m×2.8 m的明渠,恢复原来的小微排水通道,承接山洪并输送至下游渠箱。

③ 现状箱涵改造

温泉旧镇在开发建设过程中,为了提高用地效率及景观风貌,将原以承泄山洪为主体功能的浅层排水系统逐步改造为地下箱涵,导致过流能力不足。根据水力计算结果,对E-F-N段箱涵全线进行揭盖处理,并将E-F段明渠底坡由0.02%调整为0.2%,经箱涵揭盖及底坡调整,年过流能力由现状的10 982 L/s提升为26 886 L/s。

④ 构建高水高排、低水低排的洪涝分流系统

温泉旧镇整体的建筑形态呈“见缝插针”式的布局,雨水排放系统只能被动地按照不规则道路网形态进行雨水组织,山洪对城镇排涝造成了严重的顶托。结合温泉东路品质化提升改造,新建管径为 $d1\ 200\sim 1\ 800\text{ mm}$ 的市政雨水管,主要用于排放地块及道路雨水;新建明渠及改造后的箱涵整体以承泄山洪为主,从而实现高水高排、低水低排的洪涝分流改造目的。改造方案如图3所示。

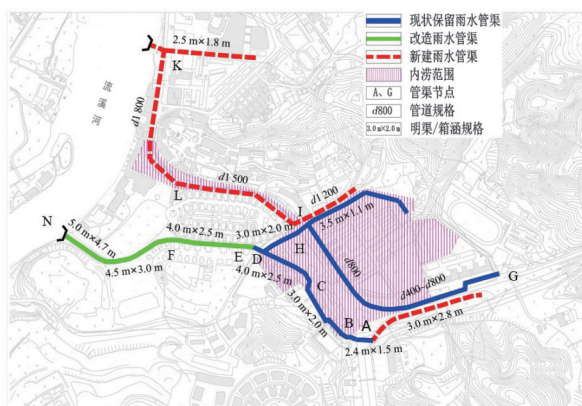


图3 交易市场内涝点周边排水改造方案

Fig.3 Improvement plan for the flooded area drainage of the trading market

新(改、扩)建雨水管渠系统的过流能力无法有效应对100年一遇的暴雨,需要建设调蓄设施削减洪峰流量、降低雨水管渠的排水负荷。规划新建3处调蓄设施(见图4),1#及2#调蓄设施为现状改造坑塘而成,可起到削峰作用,3#调蓄设施为现状山塘,可蓄水削峰。调蓄设施的规模利用模型进行试算校核,确保在100年一遇暴雨条件下,通过调蓄削

峰及管渠排水,道路积水深度不超过15 cm。

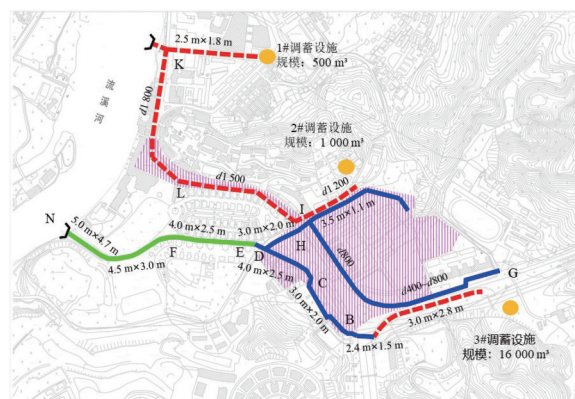


图4 调蓄设施规划

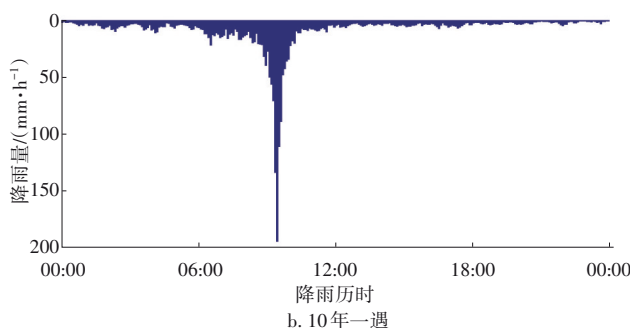
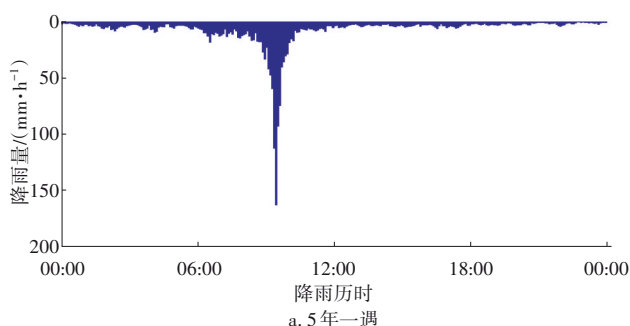
Fig.4 Planning of the storage facilities

⑥ 新建临时沉砂设施

交易市场上游的大广高速前期施工对地表、山体植被造成破坏,泥沙被雨水冲刷后在现状雨水渠箱中淤积,局部淤泥深度达0.7 m,大量的淤积泥沙挤压现状沟、渠过流断面,削弱其过流能力,影响涝水排出效率。利用市场东端现状空地(菜地)设置调蓄水塘或调蓄池,山水进入镇区前进行沉砂处理。

3.3 模型校核

根据交易市场内涝整治工程方案,利用InfoWorks ICM软件建立地面-管网耦合数学模型,校核工程方案的合理性。不同重现期的设计雨型如图5所示。



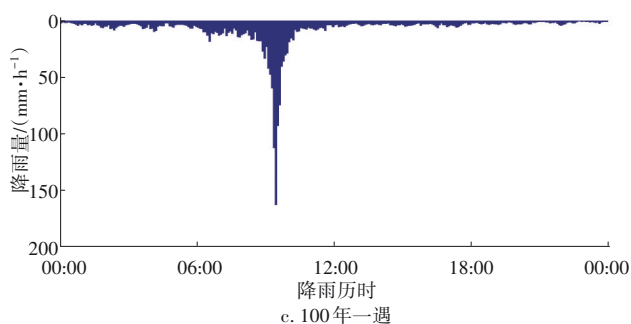
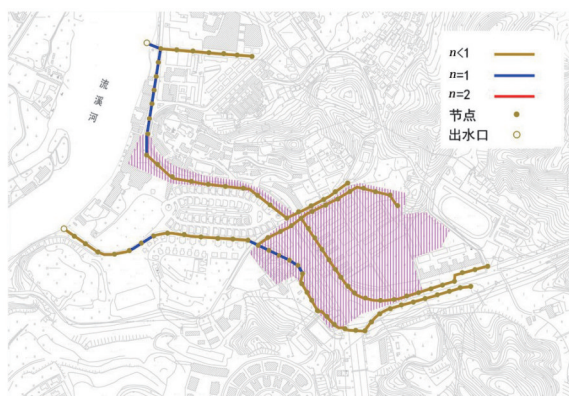


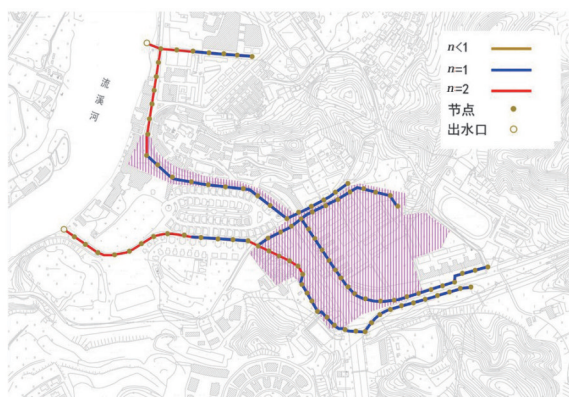
图5 不同降雨重现期下降雨雨型

Fig.5 Rainfall patterns under different rainfall recurrence intervals

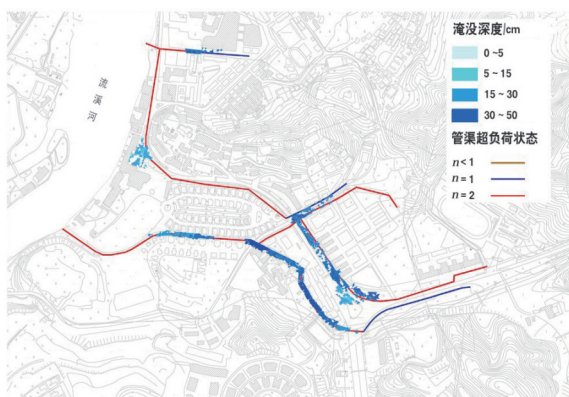
不同降雨重现期下模型校核结果见图6。



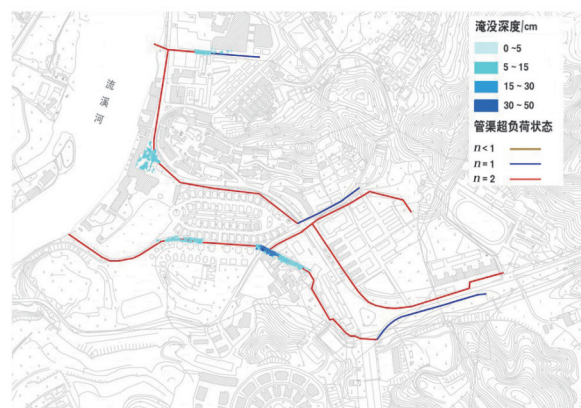
a. 5年一遇



b. 10年一遇



c. 100年一遇、无调蓄设施



d. 100年一遇降雨、增加调蓄设施

图6 不同降雨重现期下模型校核结果

Fig.6 Model verification results under different rainfall recurrence intervals

模拟结果显示,在降雨重现期为5年一遇的情况下,大部分雨水管处于重力自由流状态;在降雨重现期为10年一遇情况下,雨水管道出现压力流状态,但未发生管道溢流,说明雨水管渠改造方案达到了设计目标要求。在遭遇100年一遇暴雨且未设置调蓄设施情况下,雨水管渠出现溢流,淹没道路长度达1 km,尤其是交易市场最大淹没水深接近0.5 m。因此,为满足内涝防治目标,必须设置调蓄设施。经试算,1#、2#及3#调蓄设施规模分别为500、1 000、16 000 m³。经模拟评估,在考虑调蓄设施情况下,100年一遇暴雨道路淹没深度不超过0.15 m,满足内涝防治要求。

3.4 涉河水工构筑物的洪水管理协调调度建议

镇区范围内流溪河上游建有卫东电站、下游有人工湖大坝,流溪镇区河道呈湖库型,水位上升并相对稳定。人工湖大坝应改造为可调节水位的大坝,暴雨期卫东电站及人工湖大坝应按照流溪河流域洪水调度管理,适时降低流溪河水位,缓解流溪河高水位运行对镇区的排涝顶托。

3.5 实施效果

交易市场内涝点整治依托温泉东路品质化提升改造同步实施,项目于2018年4月竣工。该工程的实施不仅有效解决了交易市场的内涝问题,也为后续的排水单元雨污分流达标改造创造了条件。尤其在2020年5月22日,从化区全域普降暴雨及特大暴雨,平均降雨量达114.4 mm,降雨强度接近100年一遇,在此不利情况下,交易市场及周边地区尽管有一定的积水,但并未影响交通出行,充分验证

了治涝效果明显。

4 结语

丘陵山区主要的风险源是山洪,因洪致涝的现象极为普遍,因此内涝治理的重点及难点是洪涝分流。在宏观层面,基于自然地理的内涝风险识别及城市建设致涝成因分析,提出总体的治涝策略;在内涝整治实践中,结合交易市场的现状本底条件,将小微排水通道恢复、洪涝分流,以及高水高排、低水低排等策略应用到治涝实践中,取得了较好的治涝效果。

从化区温泉旧镇区交易市场内涝点整治依托温泉东路品质化提升改造同步实施,在根治内涝的同时,温泉东路的品质化提升也得到了市民的广泛认可,被誉为浪漫小镇的浪漫之路,现在已成为从化区的一个网红打卡点。地上与地下协同、“里子”与“面子”同时兼顾的市政基础设施提升改造思路具有一定的推广及示范效应。

参考文献:

- [1] 杨映雪,胡小凤,袁芳. 东南沿海丘陵型县城排水防涝系统规划策略案例研究[J]. 中国给水排水,2022,38(12):119-124.
- YANG Yingxue, HU Xiaofeng, YUAN Fang. Case study on drainage and waterlogging plan strategies of hilly counties in Chinese southeast coastal region [J].

China Water & Wastewater, 2022, 38(12): 119-124 (in Chinese).

- [2] 郭树河,陈克坚,冯炳燕. 海绵城市背景下岭南丘陵地区水系规划方法探讨[J]. 中国给水排水,2018,34(16):12-16.

GUO Shuhe, CHEN Kejian, FENG Bingyan. Discussion on water system planning method in South of the Five Ridges Hilly Area under the background of sponge city [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(16): 12-16 (in Chinese).

- [3] 郭树河,陈克坚,段东玲,等. 城市更新背景下珠三角平原河网区竖向规划方法[J]. 中国给水排水,2023,39(8):41-44.

GUO Shuhe, CHEN Kejian, DUAN Dongling, et al. Discussion on vertical planning method of plain river network area in Pearl River Delta under the background of urban renewal [J]. China Water wastewater, 2023, 39(8): 41-44 (in Chinese).

作者简介:陈克坚(1979-),男,江西宜丰人,硕士,高级工程师,注册环评工程师,副所长,从事市政规划、市政给水排水设计和研究方面工作。

E-mail:421085392@qq.com

收稿日期:2024-01-23

修回日期:2024-04-07

(编辑:丁彩娟)

综合运用自然恢复和人工修复,
持之以恒推进生态建设