

DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20230065

我国北方平原城市社区内涝防控设计方法

刘浚泉¹, 卢兴超², 赵树旗¹

(1. 北京工业大学城市建设学部, 北京 100124; 2. 中国建筑设计的研究院有限公司, 北京 100044)

摘要: 近年来我国城市暴雨灾害频发, 社区作为城市重要的组成单元, 面临着内涝灾害的侵袭。针对当前内涝防治体系不完善的问题, 简要分析城市社区现状内涝灾害特点与防治方法, 总结现状防涝体系存在的局限性, 从排水角度构建基于微排水、小排水、大排水系统的内涝防治体系, 建立基于场地高程、地形坡度、挡水阻水的内涝防控方法, 形成包含设计要点、设计流程、设计图示及关键设计参数的城市社区内涝防治设计方法体系, 为新时期海绵型城市社区的规划设计提供参考与借鉴。

关键词: 内涝防治; 社区; 设计方法; 对策措施; 排水模型

中图分类号: TV87; TU992

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)07-0106-04

1 引言

到2020年, 我国常住人口城镇化率达到63.89%^[1], 城市社区是城市居民生活的重要载体, 其安全性事关百姓生活的幸福感和获得感。站在排水安全、客水防控角度, 研究社区内涝防治设计方法, 对降低其内涝灾害风险有重要意义。当前对于城市内涝防控研究主要着眼于城市尺度, 探究城市排水防涝工程系统架构, 提出规划合理的大小排水系统来缓解城市内涝; 部分学者从社区层面对雨水管理措施进行评估, 利用数学模型对社区内的海绵设施进行效果评价。本文以迁安市某社区为例, 构建SWMM水文模型、结合现场调研结果, 探究社区内涝风险来源, 站在排水安全、客水防控角度提出一套适用于平原城市社区的内涝防控体系。

2 城市社区内涝防治现状

2.1 社区内涝灾害特点

(1) 小区内涝水外排难。小区排水管网设计重现期一般采用2~3年, 当超标降雨出现时, 市政雨水管网短时间内出现满管, 阻挡小区内雨水

管网排放造成小区内雨水管网满负荷运行, 多余净雨无法及时排出, 导致小区道路、广场、绿地的雨水径流积蓄, 造成小区内积水成涝。

(2) 小区外客水难阻控。小区管网与市政管网连接, 当市政雨水管网在满管超负荷运行时, 区域内的雨水径流无法排入市政雨水管网中, 造成市政道路积水。当小区进出口高程与市政道路高程相差较小或持平时, 市政道路雨水极易倒灌进小区, 造成客水入侵。

(3) 关键设施雨水入侵。地下车库、配电室、二次供水泵房等地下设施是暴雨灾害时极易受侵袭的场所。地下车库多采用下延式地下通道入口, 入口廊道坡度较大, 雨水一旦进入很快形成倒灌。多数地下进出口仅有临时防汛沙袋, 无法快速布设, 地下排水泵站缺乏维护, 在应急使用时无法及时启动。

2.2 社区内涝防治现状

(1) 排水方式单一。通过对北京市海淀区十余个居民小区的现场调研, 排水均依靠地下管网, 雨季存在明显积水点位, 部分已进行海绵改造的小区也仅能应对中小雨, 缺乏应对高重现期降雨的行泄通道。社区内除了应具有微排水系统和小排水系统的规划设计外, 还应合理设计场地竖向高程和坡度, 形成地面行泄通道, 让雨水有路可走。

收稿日期: 2023-01-12, **修回日期:** 2023-02-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(52078006); 中国建筑设计的研究院有限公司科技创新项目(1100C080220300)

作者简介: 刘浚泉(1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向为城市内涝防治, E-mail: liujunquan97@163.com

通讯作者: 赵树旗(1963-), 男, 博士、副教授、硕导, 研究方向为城市雨水管理、水资源综合管理, E-mail: zhaoshuqi

(2)防涝设施不完善。当前城市小区对于暴雨内涝防范措施准备不尽完善,地下车库通道口缺乏挡水设置或仅设置临时挡板,小区进出口缺乏外洪防控措施;供泵房无积水池,配电室缺少雨水防控设施等。城市社区应适当增加挡水、调蓄、强排设施,加强排水设施日常维护,提升抗涝能力。

(3)应急处置不及时。城市小区日常管理工作以物业为主,多数工作人员缺乏相应应急管理培训,当暴雨内涝突然发生时,无法做出正确应对措施。需加强应急抢险人员培训,提升城市紧急情况预警信息时效性,更早、更好地处理紧急情况。

3 城市社区内涝防控设计策略

3.1 总体设计思路

整体防治体系贯彻海绵城市建设理念,通过合理的竖向高程规划与地形坡度设计将雨水引导至绿地就地消纳,剩余雨水通过排水管网排出;当超标降雨发生时,雨水管网无法承担的雨水通过地面行泄通道排出场地,同时利用工程措施阻挡客水入侵,详见图 1。

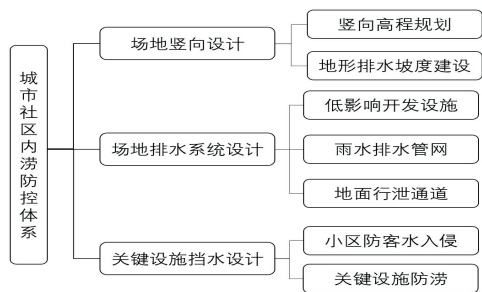


图 1 社区内涝防治体系

Fig. 1 Community urban flood control system

3.2 整体竖向设计

(1)竖向高程规划。场地高程需综合考虑雨水管理深、重力自流等因素,为避免内河水位顶托导致的排水不畅,管网管底高程高于排涝安全水位,出口底高程高于河道底高程 0.5 m^[2];为避免客水入侵,除调蓄设施外,场地规划高程应高于周边市政道路雨水收集点 0.2 m 以上;适度抬高建筑底层高度至设计洪水位之上,在室外形成一片临时雨水滞留区,阻止涝水进入建筑内部。形成建筑、室外场地、市政设施的阶梯式布局,见图 2。

(2)地形排水坡度设计。根据《城乡建设用地竖向规划规范》(CJJ83-2016)^[3]规定,地面坡度需满足当地实际排水要求,根据不同土地利用类型,给出坡度建议,详见表 1。为实现雨水就地消纳的目标,采用减缓坡度、延长坡长的方式来减慢径流流速,适当增加雨水在绿地的停留时间,增加雨水下渗比例。

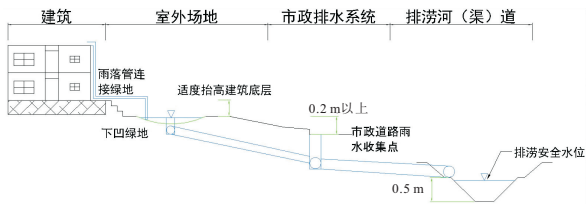


图 2 竖向高程示意图

Fig. 2 Vertical elevation schematic

表 1 不同用地类型排水坡度

Tab. 1 Drainage slope of different land use types

用地类型	最小坡度/%	最大坡度/%	补充说明
道路	0.3	7~8	纵坡数据,横坡宜为 1%~2%
广场	0.3	3	地形困难时,可建阶梯广场
绿地 ^[4]	0.5~1.0		最大坡度根据土壤类型确定,避免冲刷

通过调整室外微地形,改变地表起伏度,将场地中的雨水引导至绿地处就地入渗,在下凹绿地中布设溢流式排水口排放超标雨水。场地建设时可吸纳龟背式地形的建设理念^[5],利用土方工程适度调整地形,形成如图 3 所示中央部分稍微隆起的龟背地形,场地由中心至边界设置适度坡降,合理利用重力排水。

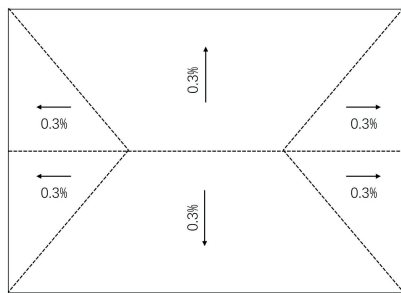


图 3 龟背式地形

Fig. 3 Turtleback terrain

3.3 雨水排水系统设计

场地内雨水排出经过低影响开发设施消纳、地面汇流、管网汇流等过程,相关规范、标准对于雨水系统做出了规定(见表 2),但各标准规定的内容与重点不尽相同,后期应统一标准,指导实践。

表 2 相关标准、规范对于排水系统的规定
Tab. 2 Relevant standards and specifications for the provisions of the drainage system

标准规范	规定
《室外排水设计标准》(GB50014-2021) ^[6]	对雨水系统的工程性措施与非工程措施提出要求,较为详细地规定了雨水管渠与内涝防治标准
《建筑给水排水设计标准》(GB50015-2019) ^[7]	要求小区采用分流制排水;尽量采用自流排水;下沉式广场地面排水、地下车库出入口使用明沟排水,应设置雨水集水池和排水泵提升等
《城乡建设用地竖向规划规范》(CJJ83-2016) ^[3]	场地地面排水的最小坡度为 0.3%
《海绵城市雨水控制与利用工程设计规范》(DB11/685-2021)(北京) ^[8]	对于建筑与小区,建议采用透水铺装,布设下凹式绿地,地下建筑的出地面构筑物的敞口部位应高于周边道路中心标高 300 mm,并应采取防止被雨水淹没的措施

(1)低影响开发设施。小区将室外景观设计同海绵措施有机结合,因地制宜建设下凹绿地、雨水花园,分散布置透水设施,在美化环境的同时增加下渗面积、提高调蓄容积;结合室外场地坡向设计,利用景观微地形对雨水径流进行引导,将雨水汇流至下凹绿地等处净化雨水、就地消纳;将屋顶雨落管等汇水设施的末端接入绿地,避免青苔滋生、净化利用雨水。

(2)雨水排水管网。雨水管道当前是我国城市地区排水的主要通道,雨水管网建设的标准高低、达标与否直接决定暴雨发生时能否及时排水。根据《建筑给水排水设计标准》(GB50015-2019)^[7]规定,各汇水区域的设计重现期不宜小于表 3 中的规定值。排水管网布设应根据道路规划、地形设计采用重力自流原则。当城市存在较为明显的地表高程阶梯化分层时,需避免高海拔地区雨水经由下游雨水管网排入自然水系,应采取高水高排、低水低排的原则,将不同高程地区的雨水管渠分离,建设单独的雨水通道,降低城市低海拔地区的内涝风险。

表 3 雨水管渠设计重现期

Tab. 3 Recurrence interval for storm sewer design

汇水区域名称	设计重现期/a
小区	3~5
下沉式广场、地下车库出入口	10~50

(3)地面行泄通道。当地管管网满管运行时,缺乏系统的地面排水路径规划。“大排水系统”是为应对超出小排水系统的超标暴雨或极端天气的一套调蓄排水系统^[8],需在竖向规划时考虑路面作为行泄通道的排水需求,在极端天气时,道路充当明渠发挥功能(图 4)。完善道路排放雨水标准,提升道路排水的通畅性,增强综合排水能力。

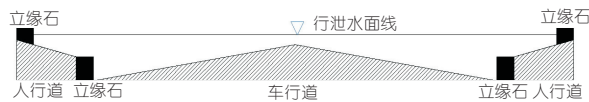


图 4 路面行泄通道过水断面

Fig. 4 Road drainage channel water cross section diagram

3.4 关键位置防水设计

(1)防客水入侵设计。对于高程低于周边的场地,客水入侵会加重积水灾害,为阻挡涝水进入场地,可建设具有挡水功能的挡水围墙。我国城市内涝积水深度绝大多数不超过 1.0 m,因此对于挡水部分的高度可以确定在 1.0 m 左右。围墙上方可建设镂空围栏(图 5),保护场地安全的同时,保持空间上的连接性与开阔感。

(2)重要设施防涝设计。地下建筑是现代建筑的重要组成部分,应根据《车库建筑设计规范》

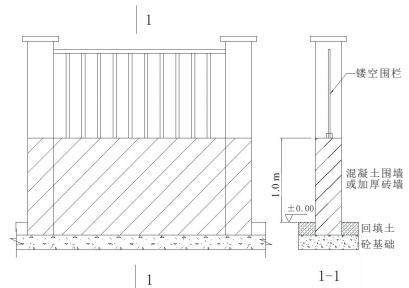


图 5 挡水围墙示意图

Fig. 5 Diagram of water retaining fence

(JGJ 100-2015)^[9]等规定,在机动车坡道入口设置挡水沟,砌筑高出室外地坪 250~300 mm 的挡水反坡,同时设置防洪板、挡水闸门等阻挡雨水涌入地下空间,见图 6。二级供水泵房、配电设施、通信设施等应提高防涝标准,增加防倒灌措施,配备应急排水设施,减少站房进水风险、增强应急抢险能力。

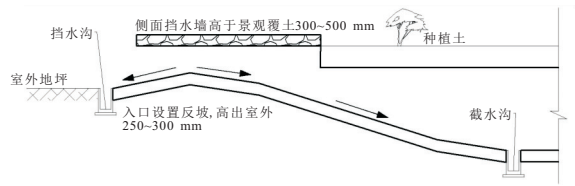


图 6 地下空间入口示意图

Fig. 6 Schematic diagram of underground space entrance

4 基于城市暴雨模型的社区防涝设计优化

4.1 项目区概况及场地排水分析

项目区位于河北省迁安市,受暖温带半湿润大陆性季风气候影响,年平均降雨量为 681.4 mm。总占地面积为 17.5 ha,其中不透水面积占 46.4%,由屋面、小区道路及小区广场等组成;透水面积占总面积的 53.6%,由小区普通绿地及车库顶板绿化组成。场地内高程为 47.6~50.0 m,总体呈中间高、周围低的地势(图 7),雨污分流,雨水管道沿道路布设,雨季在南门区域存在积水现象,积水范围包括市政道路辅路范围。

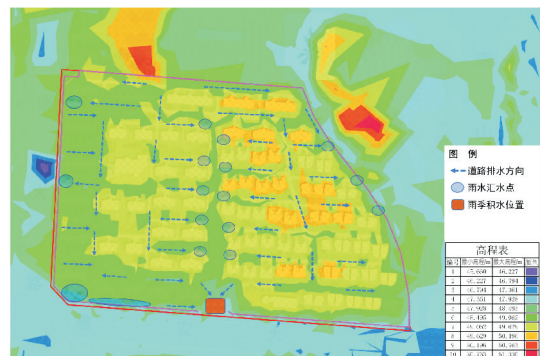


图 7 项目区高程及道路排水流向图

Fig. 7 Elevation and road drainage flow diagram

区域内高程高于西侧、南侧市政道路,满足雨水重力自排要求;北侧地势高于本区域,存在涝水入侵风险;东侧紧邻一座城市水体公园,可以预留排水通道,利用自然水体增加调蓄容积。通过对项目区地形数据与现场走访调查,项目区改造前不存在雨水渗、蓄设施,雨水在道路径流方向如图 7 所示整体向南、向东汇集;场地内部制高点出现在绿地区域,存在绿地高于铺装路面的现象。

4.2 社区防涝设计优化

根据“小雨不积水、大雨不内涝”的设计目标,进行防涝改造设计,见图 8。

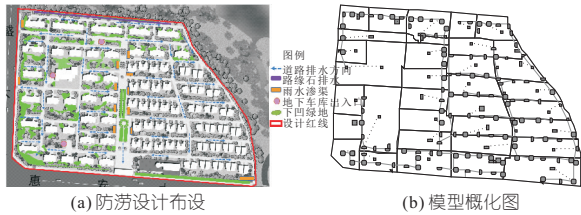


图 8 住宅区防涝布设及模型概化图

Fig. 8 Residential flood protection layout and model generalisation

(1)重新调整绿地与铺装路面的高程竖向关系,分散布设下凹式绿地,将道路、屋面等雨水汇入下凹式绿地等 LID 设施,以提升雨水控制效果,削减径流量、减少雨水中面源污染物含量。

(2)在项目区北侧增设路缘石排水,增强道路排水能力,可增设挡水围墙,避免涝水入侵;在场地南侧出口附近布设雨水输水管道,绿地内布设雨水渗渠,将现状积水输送到绿地、渗渠中就地入渗,消除现存积水点位。

(3)规划顺畅的路面排水通道,可在东侧围墙处预留排水口,将场内部分超标降雨经绿地缓冲、净化后排放至东侧景观水体。在场地地下车库出入口等重要设施处增加挡水设计,避免涝水入侵导致重大经济损失。

4.3 模型分析

根据项目区地形、降水等数据,利用 SWMM 评价海绵改造前后的雨水径流。依据降雨径流路径从不透水地表进入 LID 设施消纳、经溢流井进入管网的过程划分分区,减少对于汇水分区的分割^[10],将项目区概化为 34 个子汇水分区,4 个排水口。模型参数取值参考用户手册并结合场地实际情况确定,选择 Horton 入渗模型、运动波来描述径流过程,项目区改造过程对绿地进行土壤改良,改善现状土壤渗透性差的问题,具体参数见表 4。

选取重现期 $P=1、2、5$ 年, $t=120$ min 的设计降雨评估 LID 措施的效果。利用模拟结果的淹没数据,分析空间内积水风险较高区域如图 9

表 4 模型参数的取值
Tab. 4 Values of model parameters

类别	参数	取值
子汇水分区	面积/hm ²	0.14~1.21
	坡度/%	0.3~1.0
	不透水比例/%	43.5~49.5
曼宁系数	不透水区	0.015
	透水区	0.240
	管道	0.012
洼地蓄水深度	不透水区/mm	2
	透水区/mm	8
Horton 公式	最大入渗率/(mm·h ⁻¹)	90
	最小入渗率/(mm·h ⁻¹)	5
	衰减系数/h ⁻¹	4

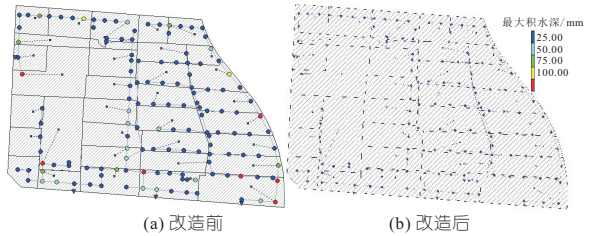


图 9 重现期 $P=5$ 年的管道节点积水情况

Fig. 9 Nodal ponding with a recurrence period of $P=5$ a

所示位于南侧,将南侧绿地改建为下凹绿地并布设雨水渗渠,将汇流雨水排放至右侧城市景观水体,消除区域内可能存在的积水点;表 5 为本项目区 LID 措施布设前后雨水消纳变化。模拟评估显示,在 5 年一遇降雨情况下,方案改造后雨水管网压力明显缓解,降低了积水风险,就地消纳雨水,实现了小雨不积水的基本目标。

表 5 优化布设前后排水量变化

Tab. 5 Variation in drainage capacity before and after optimize

降雨重	现状排	布设后排	削减率
现期/a	水量/m ³	水量/m ³	/%
1	3 833	60	98.43
2	5 119	529	89.63
5	6 400	1 876	70.69

5 结论

分析我国北方平原城市社区内涝灾害特点与现状,针对城市社区存在积水外排难、客水入侵、防涝措施不到位等问题提出解决方法。从排水防涝角度设计场地高程与坡度坡向设计,结合 LID 设施与排水管网实现雨水就地消纳与超标降水重力自排。利用案例展示社区防涝改造过程,为城市社区内涝防治的规划、设计提供了新的思路与方法。

参考文献:

[1] 国家统计局. 经济社会发展统计图表:我国人口发展呈现显著变化(第七次全国人口普查结果)[R/OL]. (2021-05-16)[2022-08-15]. http://www.qstheory.cn/dukan/qs/2021-05/16/c_1127447194.htm.

[2] 黄国如,王欣. 基于城市雨洪模型的市政排水与水利排涝标准衔接研究[J]. 水资源保护,2017,33(2):1-5.

2020, 57(8): 64-69.

[2] 梁栋, 徐丙垠, 刘洋, 等. 基于差分方向行波的脉冲电流电缆故障测距方法[J]. 电测与仪表, 2021, 58(7): 150-156.

[3] 卢建序. 电力电缆故障预警与测距定位技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.

[4] 杨斌, 李明贞, 周承科. 基于泄漏电流的高压电缆线路故障测距方法[J]. 电测与仪表, 2020, 57(5): 120-124.

[5] 饶显杰, 周凯, 黄永禄, 等. 频域反射法中阻抗变化类型判断技术[J]. 电工技术学报, 2021, 36(16): 3457-3466.

[6] 白晓斌. 低压脉冲法和冲闪法对电缆故障定位的分析[J]. 电线电缆, 2008(2): 41-44

[7] 王恒. 冲闪法的电压取样与电流取样[J]. 高电压技术, 2004, 30(136): 56-57.

[8] 孙中玉, 徐丙垠, 王玮, 等. 电缆故障脉冲电流测距

系统建模与仿真[J]. 电力系统自动化, 2021, 45(4): 142-147.

[9] 李嘉明, 陈曦, 郝一帆, 等. 电缆线路中操作过电压主导频率的确定方法[J]. 电网技术, 2020, 44(7): 2785-2794.

[10] 罗向源. 电力电缆线性高阻击穿故障的特点及定位方法[J]. 电线电缆, 2007(5): 16-18.

[11] REIS R L A, LOPES F V, NEVES W L A, et al. An improved single-ended correlation-based fault location technique using traveling waves[J]. International journal of electrical power and energy systems, 2021, 132(5): 1-10.

[12] GONZALEZ-SANCHEZ V H, TORRES-GARCIA V, GUILLEN D. Fault location on transmission lines based on travelling waves using correlation and MODWT [J]. Electric power systems research, 2021, 197: 107308.

Technology and Application for Cable Fault Location Based on Cross-correlation Function of Traveling Waves

SONG Ke^{1, 2}, WANG Le-ning^{1, 2}, TANG Shi^{1, 2}, QIU Hua^{1, 2}, LIU Yu²

(1. CHN Energy Dadu River Houziyan Power Generation Co., Ltd., Ganzhi 626100, China;
2. CHN Energy Dadu River Hydropower Development Co., Ltd., Chengdu 610041, China)

Abstract: Long distance and concealment of underground cable in hydropower station result in difficulties in cable fault location. Due to the simple wiring, the impulse high-voltage flashover method is commonly used to locate cable faults, which needs technicians with rich waveform analysis experience to locate fault accurately. For the above situation, by studying the fault positioning principle and waveform analysis method of impact high voltage flashover, a cable fault location technology based on traveling wave cross-correlation method was proposed. The simulation analysis results show that the proposed method can effectively realize automatic cable fault location. Finally, the analysis steps and procedures of power cable fault location has been practiced in Houziyan Power Generation in Dadu River and realized high-precision positioning of 10 kV cable fault point, which reduced the cable fault locating workload and working hours while improving the efficiency of cable fault location.

Key words: power cable, cross-correlation function, traveling waves, fault location

*(上接第 109 页)

[3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城乡建设用地竖向规划规范: CJJ83-2016[J]. 中国建筑工业出版社, 2016.

[4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 居住绿地设计标准: CJJ/T 294-2019 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.

[5] 张迪. 龟背式地形地表排水模式数值模拟研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2021.

[6] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 室外排水设计标准: GB 50014-2021 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2021.

[7] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑给水排水设计标准: GB 50015-2019 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2019.

[8] 北京市规划和自然资源委员会. 海绵城市雨水控制与利用工程设计规范: DB11/685-2021[S].

[9] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 车库建筑设计规范: JGJ 100-2015[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.

[10] 梁小光, 武治国, 任俊雯. 子汇水区分割对 SWMM 低影响开发模拟的影响研究[J]. 中国给水排水, 2019, 35(6): 1-5.

Design Method for Flood Control in Urban Communities in the Northern Plains of China

LIU Jun-quan¹, LU Xing-chao², ZHAO Shu-qi¹

(1. Faculty of Architecture, Civil and Transportation Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China; 2. China Architecture Design & Research Group, Beijing 100044, China)

Abstract: In recent years, urban rainstorm disasters have occurred frequently in China. The community, as an important component of the city, is exposed to urban flooding. In view of the imperfection of the waterlogging prevention and control system, this paper briefly analyzes the characteristics and prevention methods of urban flooding, and summarizes the limitations of the current system. A waterlogging prevention system based on micro system, minor system and major system is constructed from a drainage perspective. The waterlogging prevention and control methods based on site elevation, terrain slope, and water-retaining measure is established. A design method system including design points, design process, design diagram, and key design parameters is formed, which provides reference for the planning and design of sponge communities in new era.

Key words: urban flooding prevention and control; community; design method; countermeasure; drainage model