

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.20.008

基于城市空间布局的内涝防治规划研究

张高媛¹, 戴雄奇², 徐维发²

(1. 天津市城市规划设计研究总院有限公司, 天津 300190; 2. 深圳市深水宝安水务集团有限公司, 广东 深圳 518001)

摘要: 近年来,随着极端强降雨天气的不断侵袭,全国各地内涝积水问题日益突出。国家多次发布重要文件提出了排水防涝工程、建设海绵城市和韧性城市的重点工作内容,将内涝防治工作提升到重要高度。系统性梳理了城市内涝防治体系,密切结合城市空间和城市活动,针对内涝防治规划思路提出了“问题导向,对症下药”“灰绿结合,系统治理”“竖向衔接,空间协调”三方面的综合性举措。同时结合城市空间布局的分类等级,针对居住街坊、五分钟~十分钟生活圈、十五分钟生活圈和区域四个尺度的居住区提出排涝工作的规划建议。并以天津市某典型汇水分区为例,进一步对城市内涝防治观点进行详细论述与说明。

关键词: 空间布局; 内涝防治; 海绵城市; 排水系统; 源头减排

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2023)20-0052-07

Research on Waterlogging Control Planning Based on Urban Spatial Layout

ZHANG Gao-yuan¹, DAI Xiong-qi², XU Wei-fa²

(1. Tianjin Urban Planning & Design Institute Co. Ltd., Tianjin 300190, China; 2. Shenzhen Bao'an Water Group Co. Ltd., Shenzhen 518001, China)

Abstract: In recent years, with the frequent occurrence of extremely heavy rainfall, the problem of waterlogging in all parts of the country has become increasingly prominent. According to the recently released public documents, the key tasks of the construction of drainage and waterlogging prevention project, sponge city and resilient city was proposed. Urban waterlogging management has been mentioned to a more important position. This paper combed the urban waterlogging prevention system and put forward three comprehensive measures that closely combined with urban space and city activity. The first one is problem-orientated, which is the antidote to disease. Secondly, paying attention to the combination of grey and green infrastructure and system management is particularly important. The third is to do a good job in the vertical connection and the coordination of space. According to the four scales of neighborhood block, 5-10 minute pedestrain-scale neighborhood, 15 minute pedestrain-scale neighborhood and regional scale, combined with the classification level of urban spatial layout, this paper puts forward some planning suggestions for drainage and waterlogging prevention. Finally, a typical watershed in Tianjin was taken as an example to further discuss and explain.

Key words: spatial layout; drainage and waterlogging control; sponge city; drainage system; source reduction

近年来,随着极端强降雨天气的不断侵袭,全国各地内涝积水问题愈发突显,内涝灾害频发导致

人身财产损失严重。国家为应对内涝积水的突出问题,陆续出台了相关政策文件。《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》强调:“加强城镇老旧小区改造和社区建设,增强城市防洪排涝能力,建设海绵城市、韧性城市”。2021年4月25日,国务院办公厅发布《关于加强城市内涝治理的实施意见》(国办发〔2021〕11号),提出到2025年,各城市因地制宜基本形成“源头减排、管网排放、蓄排并举、超标应急”的城市排水防涝工程体系,排水防涝能力显著提升,内涝治理工作取得明显成效;有效应对城市内涝防治标准内的降雨,老城区雨停后能够及时排干积水,低洼地区防洪排涝能力大幅提升,历史上严重影响生产生活秩序的易涝积水点全面消除,新城区不再出现“城市看海”现象;在超出城市内涝防治标准的降雨条件下,城市生命线工程等重要市政基础设施功能不丧失,基本保障城市安全运行;有条件的地方积极推进海绵城市建设。到2035年,各城市排水防涝工程体系进一步完善,排水防涝能力与海绵城市、韧性城市建设要求更加匹配,总体消除防治标准内降雨条件下的城市内涝现象。

在城市内涝防治备受关注的背景下,结合城市空间布局提出不同尺度内涝防治规划思路,并以天津市某典型汇水分区为例,进一步对城市内涝防治观点进行分析与阐述。

1 内涝防治规划思路

新时期城市内涝防治工作的规划思路已经从孤立地研究雨水管渠系统转变为系统性梳理城市内涝防治体系,因此密切结合城市空间和城市活动提出“问题导向,对症下药”“灰绿结合,系统治理”“竖向衔接,空间协调”三方面的内涝防治规划思路。

1.1 问题导向,对症下药

对内涝中高风险地区进行逐一梳理,分析积水原因,针对性地提出解决对策。积水点成因通常由多种因素综合作用所致,但各片区的主要问题有所不同。规划首先需对与内涝防治密切相关的降雨规律、排水设施、城市竖向和下垫面等进行全面调查、综合分析,特别是对以往较为忽视的城市竖向和下垫面情况进行深入调研与分析。结合积水点现状情况综合考虑上述多项要素,找出症结所在,

才能“对症下药”,提出合理的积水点治理方案。

1.2 灰绿结合,系统治理

统筹考虑灰色基础设施和绿色基础设施,充分利用公园绿地、河道水体等生态网络进行雨水的调蓄、净化和利用,同时根据系统需求提出经济合理的市政工程措施,形成蓝绿交织的生态网络叠加因地制宜的工程措施这一复合型系统治理思路。构建由微排水系统、小排水系统和大排水系统组成的现代化排水体系。

1.3 竖向衔接,空间协调

在城市空间布局规划中,严格管控城市蓝绿空间,并在有条件的地区进行竖向改造和优化,满足雨洪调蓄要求,并落实市政排涝设施用地。充分利用河湖水体、公园绿地、道路广场、地下空间等城市公共空间,精细化设计雨水径流路线。由传统的一级“快排”模式,转变为充分利用地形和公共空间的三级“滞蓄缓排”模式。由地面雨水通过灰色排水管道直接外排水体的一级径流网络转变为街坊内源头减排后雨水排入组团或社区级公园绿地及水体调蓄后再排入外围水体的三级雨水径流网络(见图1)。

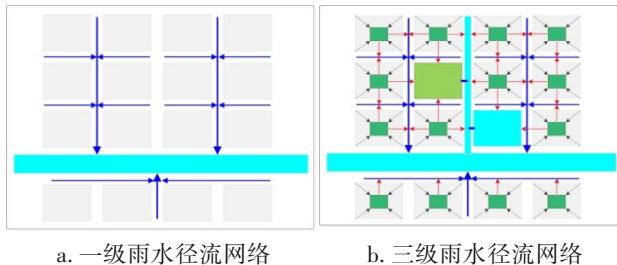


图1 一级和三级雨水径流网络对比

Fig.1 Comparison of rainwater runoff network of first-level and three-level

与传统快排模式相比,“滞蓄缓排”模式的优点主要体现在三方面:①可以利用多级滞蓄空间进行削峰错峰,降低内涝风险;②可以利用各级调蓄空间的生态或工程净化措施进行有效减排,削减径流污染;③有利于截蓄雨水循环利用(用作景观水体补水或补充地下水),实现雨水资源化。

2 城市空间布局分类

基于城市空间布局的类型,不同尺度地区内涝防治工作的重点也需有所区分和侧重。《城市居住区规划设计标准》(GB 50180—2018)中按照居住人口、住宅数量、步行距离将居住区划分为居住街坊、

五分钟生活圈、十分钟生活圈和十五分钟生活圈四种分类等级。居住街坊是指“由支路等城市道路或用地边界线围合的住宅用地,是住宅建筑组合形成的居住基本单元”;五分钟、十分钟、十五分钟生活圈居住区是以居民步行时间满足生活需求为原则划分的居住区范围,一般由支路及以上级城市道路或用地边界线所围合。各等级居住区都具有不同规模的人口、住宅数量和步行距离适用范围^[1]。不同尺度居住区内涝防治的规划思路与侧重点往往不同,需结合不同尺度城市空间布局特点进行针对性施策。

3 基于城市空间布局优化的内涝防治规划

结合城市居住区类型划分,针对居住街坊、五分钟~十分钟生活圈居住区、十五分钟生活圈居住区和区域四个尺度,提出排涝工作的规划建议。

3.1 居住街坊尺度

在居住街坊尺度方面,应加强源头减排,推动低影响开发建设。

建筑与小区应统筹协调场地内建筑、道路、广场、绿地和水体等平面布局和竖向高程,结合社区公园、停车场地、健身广场等功能需求,因地制宜地设置下凹式绿地、透水铺装、植草沟、雨水调蓄池等低影响开发设施,提升居住街坊雨水滞蓄及资源化利用能力,同时充分发挥景观娱乐、文化教育、停车等复合型功能。

3.2 五分钟~十分钟生活圈居住区尺度

在五分钟~十分钟生活圈居住区尺度方面,需注重优化空间布局和城市竖向,合理组织雨水径流路径。

在进行城市空间规划时还要注意公园绿地、河道水体等蓝绿空间的保护和合理布局,这些生态节点构成了可渗透的下垫面和调蓄空间,可以在汛期充分发挥雨水滞蓄利用功能。

在做好生态空间布局的同时,还要注重城市竖向的规划设计。城市竖向与排水防涝关系密切,如果在竖向规划时没有充分考虑排涝需求,极易在汛期发生低洼地区由于周边高地势地区大量客水涌入而形成的严重积水。在进行竖向设计时,应分析雨水径流的汇水方向、汇水坡度以及各类海绵设施与地块和道路的竖向衔接关系,通过优化地块、道路路面、道路绿带、周边绿地及水体的竖向关系,确

保雨水径流由高至低进入海绵设施,发挥其渗滞蓄功能^[2]。有条件地区可构建地表漫流水力模型,对竖向规划方案进行模型模拟和校核,针对不同重现期降雨模拟不同情景下的内涝积水风险,从而进一步优化调整竖向方案。

此外,对于超过市政排水管渠排水能力的暴雨,应考虑结合竖向规划设置超标雨水行泄通道,确保暴雨期超出城市滞蓄能力的雨水能够通过地表行泄通道有效排至人工或天然的收纳水体。

3.3 十五分钟生活圈居住区尺度

在十五分钟生活圈居住区尺度方面,应多措并举,完善各级排水系统,近远期结合,综合施策。

针对这一尺度区域,需在充分分析现状情况和积水原因基础上,优化提升市政排水能力的同时,利用城市河湖水体、公园绿地、道路广场、地下空间等城市公共空间,进行雨水径流路线设计,形成由微排水系统、小排水系统和大排水系统组成的多级完善的现代化排水体系(见图2)。

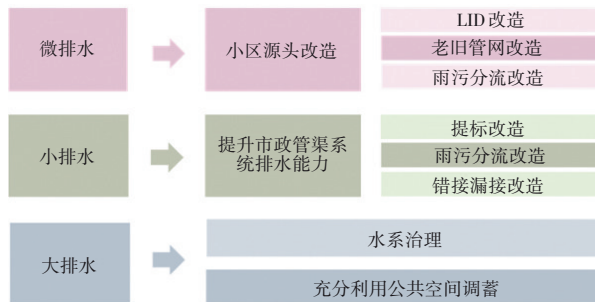


图2 多级现代化排水系统示意

Fig.2 Schematic diagram of multi-stage modernization drainage system

其中,微排水系统主要通过源头减排措施控制地块内的雨水径流,一般应对小雨或初期雨水;小排水系统主要通过城市雨水管渠排除涝水,一般应对3~5年以下重现期的降雨。雨水管渠系统应严格按照规范标准、上位规划合理确定设计重现期,不能因源头减排低影响开发设施的建设而降低标准;大排水系统应注重协调城市开发与河湖水系之间的关系,合理确定城市竖向、公共调蓄空间、水系高程与走向之间的关系,构建超标雨水行泄通道,大到暴雨期间快速排除城市建成区内涝积水,有效应对50~100年大重现期下的小概率降雨。

3.4 区域尺度

在更大的流域区域尺度方面,应注重保护修复

蓝绿空间,注重对城市蓝绿生态空间的保护和修复,加强生态空间管控。划定生态用地保护红线,重点保护山、河、田、湖、海、湿地等自然生态本底,严禁一切破坏生态环境的建设行为,构建蓝绿生态安全格局,提高雨洪滞蓄能力。

4 案例分析

基于上述提出的内涝防治规划思路,选取天津市某典型汇水分区作为案例,进一步总结内涝防治规划编制的思路与经验。

4.1 基本概况

选取天津市某津河沿岸地区作为研究对象。该研究区域为老城区,主要包括住宅、配套设施等建设用地,以及河道、公园、广场等大型公共空间,总面积约985 hm²。

① 现状下垫面

该区域现状建设密度较大,硬化程度相对较高(见图3)。现状下垫面硬化面积占片区总面积的67.45%,包括建筑用地占25.08%,硬地占22.66%,道路用地占19.71%。绿地及水体占32.55%,其中绿地占片区面积的30.52%,河道水面占2.03%,具有一定的调蓄空间。

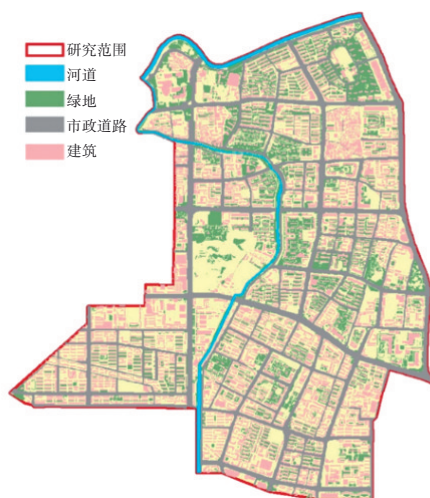


图3 下垫面分布

Fig.3 Distribution of underlying surface

② 现状高程

通过对汇水分区竖向高程分析可知,研究范围内大部分地区高程在2.0 m以上,靠近北边界河道沿岸地区地势高程相对较高,约在3.5 m以上;主干道路与相交道路交叉口处地势较高;除现状河道及公园水面外,局部地区在2 m以下,地势低洼,内涝

风险较高。具体的数字高程模型见图4。

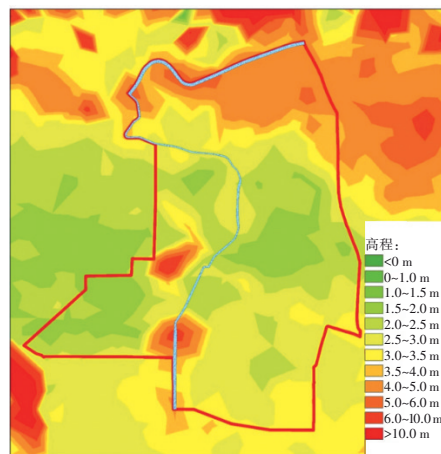


图4 数字高程模型

Fig.4 Digital elevation model

③ 现状排水

该汇水分区共涉及8个雨水系统,汛期时雨水均经泵站提升后排入两条接纳水体。南北向河道自南向北通过河道泵站将雨水排入北边界河道,再自西向东经河道泵站排入下游河道。该地区降雨主要集中在6月—9月,约占全年降雨量的80%。依据往年积水片区资料,研究范围内有6处易涝片区(见图5):芥园道地区,积水范围约9 hm²;烈士路地区,积水范围约38 hm²;南大道地区,积水范围约9 hm²;广开四马路地区,积水范围约15 hm²;苏堤路地区,积水范围约31 hm²;南丰路地区,积水范围约10 hm²。

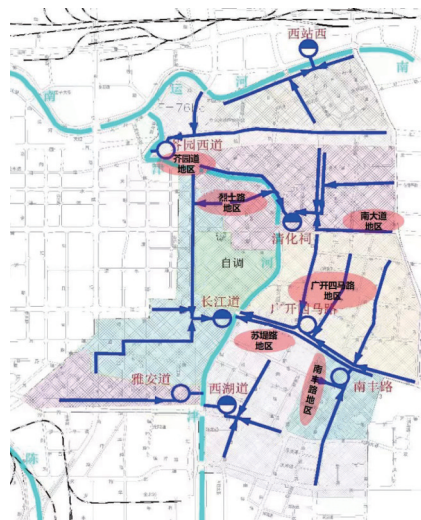


图5 易涝地区位置

Fig.5 Location of easily waterlogging area

4.2 现状排水能力评估

① 模型概化

通过对研究范围内排水管网、雨水井、雨水泵站、行泄河道、河道泵站、下垫面以及高程等数据的概化,利用ArcGIS对现状数据进行处理,将其加工为带有属性的矢量数据,然后导入XPSWMM中分别建立一维和二维雨洪模型,最终建立了由616个节点、608根雨水管道、779个集水区、8个雨水泵站和2个河道泵站共同构成的一维雨洪模型,并通过与数字地面模型耦合建立了二维模型。模型概化结果如图6所示。



图6 雨洪模型概化结果

Fig.6 General model of stormwater

② 现状排水能力评估

在重现期分别为0.5、1、1.5、2、3年一遇2 h历时市政雨型降雨工况下,采用一维水力模型对现状排水能力进行评估。结果表明,现状管网中有20%满足3年一遇标准,20%满足2年一遇标准,30%满足1.5年一遇标准,19%满足1年一遇标准,2%满足0.5年一遇标准,9%不足0.5年一遇标准。

通过耦合雨水管渠和河道模型,分别对5年、10年、20年一遇历时24 h的内涝综合防治雨型降雨工况进行模拟,发现该汇水分区内现状河道仅满足10年一遇标准。

③ 现状内涝风险分析

结合研究范围内现状管网和河道水系情况,参考天津市水务管理部门相关资料和实际运行经验,按照不同程度积水深度和积水时间,确定内涝风险

等级。具体等级划分如表1所示。

表1 内涝风险等级划分

Tab.1 Division of waterlogging risk level

风险等级	划分依据		
	积水深度 h/m	积水时间/min	危险程度
红 I	>0.4	>180	城市交通、基础设施和各类建筑物受到威胁
橙 II	$0.3 < h \leq 0.4$	>120	城市交通受到严重影响
黄 III	$0.15 < h \leq 0.3$	>120	城市交通不便
蓝 IV	≤ 0.15	>60	一般积水

在50年一遇24 h降雨工况下,对雨水泵站启停泵进行合理设置,在保证现状河道不溢流的情况下,模拟了研究范围内现状内涝情况,结果见图7。

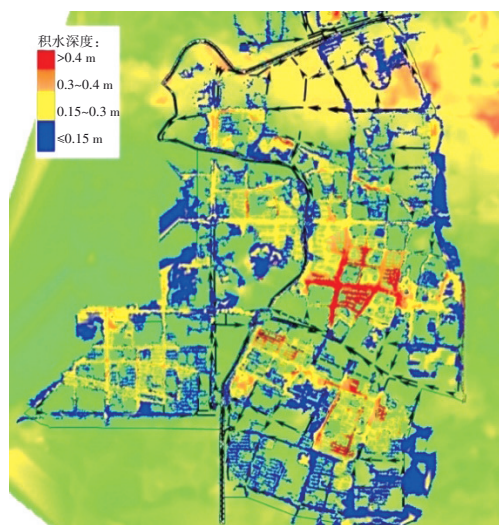


图7 50年一遇工况现状内涝风险

Fig.7 Risk of present waterlogging under the rainfall return period $P=50$

该汇水分区范围内,广开四马路片区内涝风险等级最高为红 I,烈士路地区、中环线与芥园道交口地区、南大道地区、苏堤路地区、南丰路地区内涝风险较高,为橙 II,与现状调研情况基本吻合。

4.3 存在问题与原因分析

① 广开四马路地区

广开四马路地区内涝积水片区位于广开四马路雨水泵站系统,由于该地区为本区域地势最低点,地势高程约1.5 m,低于津河涝水位(1.6~2.0 m),该地区周围地势高程基本在2.0 m以上,大量客水涌入广开四马路片区;其次,广开四马路部分雨水管道管径及泵站规模偏小,尤其是西市大街以北部分雨水管道汇水面积较大,管道标准偏低,加之

地势明显低于周边道路,多重因素叠加导致该地区积水问题极为突出。

② 芥园道地区

芥园道内涝积水片区位于芥园道雨水泵站系统,积水原因为地势低洼,现状地势较低,低点地势高程约2.2 m,周围地势高程基本在3.0 m以上。

③ 南大道地区

南大道地区内涝积水片区位于清化祠雨水泵站系统,积水主要原因是南大道及周边地区排水设施未完善;加上周边地区地势较低,低点地势高程约2.1 m,周围地势高程基本在2.6 m以上。

④ 烈士路地区

烈士路地区内涝积水片区位于长江道雨水泵站系统,该地区部分支路排水管网设施管径偏小;其次地势较低,低点地势高程约1.6 m,周围地势高程基本在2.2 m以上。

⑤ 苏堤路地区

苏堤路地区内涝积水片区位于西湖道雨水泵站系统,该地区老旧小区现状排水管道管径偏小;其次小区地势较低,低点地势高程约1.8 m,周围地势高程基本在2.3 m以上。

⑥ 南丰路地区

南丰路地区内涝积水片区位于南丰路雨水泵站系统,由于南丰路雨水泵站规模不足,且该地区现状小区地势较低,低点地势高程约2.0 m,周围地势高程基本在2.5 m以上。

⑦ 津河(西湖道—南运河)段

根据模型计算结果发现,津河(西湖道—南运河)段河段堤顶高程较低,过流能力不足的问题较为突出,导致该河段在50年一遇24 h降雨工况下出现大面积漫堤现象,成为该河段周边地区内涝风险较高的主要因素之一。该河道无法应对50年一遇24 h强降雨天气所带来的高强度降雨,需采取堤防加高加固、扩挖断面等措施,扩大河道过流断面,提升河道排涝能力,避免出现漫堤的现象。

4.4 基于城市空间布局的内涝防治规划对策

针对地势低洼、排水系统标准偏低和河道排涝能力不足三大突出问题和积水原因,分别从加强源头减排、排水系统提标改造、河道综合整治等方面提出针对性的改造对策。

① 加强源头减排

结合汇水分区内居住街坊绿地分布情况,以及

不同街坊主要存在问题,因地制宜地设置下凹式绿地、透水铺装、雨水花园、雨水桶等各类源头海绵设施,完善地块内部微排水系统,实现源头减排、雨水滞留、调蓄、净化和资源化的目的^[3]。

② 排水系统提标改造

针对汇水分区内积水片区存在的问题,按照雨水管渠系统规划重现期3~5年一遇标准,提升汇水分区内8座雨水泵站规模;在广开四马路等地势低洼的中、高风险地区,结合公园绿地等开敞空间设置雨水调蓄池,收集周边和上游雨水,缓解下游管道排水压力,降低低洼地区内涝风险;同时结合道路竖向改造非机动车道,建设雨水行泄通道,将低洼地区雨水迅速排入下游水体;并在无条件改造雨水管网或增设调蓄设施的积水片区,增设临时应急泵车等非工程性措施,以提升地区排涝能力。

③ 河道综合整治

针对汇水分区内津河堤顶高程较低、过流能力不足的短板与瓶颈问题,规划对该河段进行堤防加高加固,与下游堤防高程衔接,将堤顶高程提升至3.5 m;局部扩挖河道提高过流能力,与上下游河道过流能力保持一致;同时扩建下游河道泵站,避免河道对上游雨水管渠系统产生顶托影响,整体提升河道排涝能力,确保排水出路顺畅,达到50年一遇综合内涝防治标准。改造河段平面位置和断面示意图见图8。

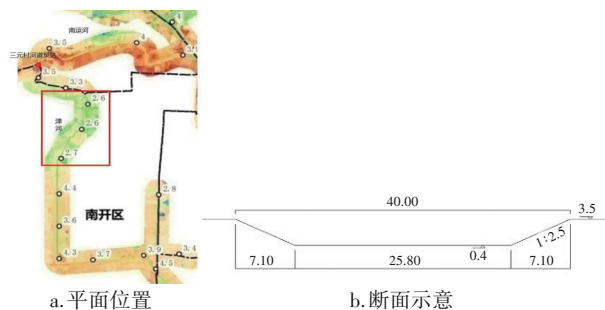


图8 改造河段平面位置和断面示意

Fig.8 Schematic diagram of plane position and section of transform river reaches

4.5 实施效果评估

在现状内涝风险评估基础上,按照上述改造方案对汇水分区修改雨水管径、泵站规模、河道断面等参数,同时增设低影响开发措施、行泄通道、调蓄设施等,构建规划雨洪模型。在保证现状河道不溢流的情况下,模拟汇水分区在50年一遇24 h降雨工

况下的排涝效果。经模型计算,规划内涝风险如图9所示。

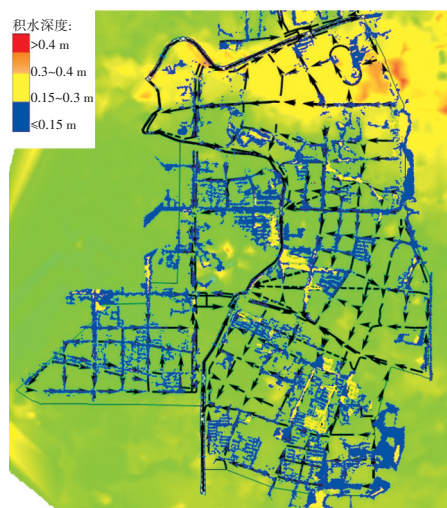


图9 50年一遇降雨工况规划内涝风险

Fig.9 Planning waterlogging risk under the rainfall return period $P=50$

通过对雨水管道、雨水泵站、河道堤顶、河道断面、河道泵站的标准提升与改造,同时因地制宜地增设地块内的低影响开发措施,在市政道路低洼地区增设超标雨水行泄通道,可全部消除高内涝风险区。

5 结语

内涝防治已经成为我国各地亟待解决的难题,被列为国家和地方的重点工作,解决城市内涝积水问题刻不容缓。传统的内涝防治工作只关注于排水系统的提升,缺乏与城市空间布局的结合,导致规划方案落地性不强,实施难度大,实施效果不显著。新时期的内涝防治规划需要在对水文气象、下垫面、排水系统、河道水系、竖向高程等现状情况充分调研基础上,梳理并分析城市内涝积水的主要原因,结合城市空间布局提出内涝防治规划对策,针对街坊、五分钟~十分钟生活圈、十五分钟生活圈和

区域四个不同尺度居住区提出加强源头减排、提升排水系统、河道综合整治、加强生态保护与修复等改造方案,以解决不同尺度内涝积水问题。本研究可为城市内涝防治工作提供新的规划思路与解决方法,从而确保规划方案切实可行,有效缓解内涝积水,提升人民幸福感。

参考文献:

- [1] 住房和城乡建设部. 城市居住区规划设计标准: GB 50180—2018 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018. Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Standard for Urban Residential Area Planning and Design: GB 50180—2018 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2018 (in Chinese).
- [2] 万鹏, 丁文静, 邱永涵. 竖向、水系及市政管线规划系统化编制模式探索[J]. 中国给水排水, 2020, 36(24): 17-21. WAN Peng, DING Wenjing, QIU Yonghan. Exploration on the systematic compilation model of vertical, water system and municipal pipeline planning [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(24): 17-21 (in Chinese).
- [3] 黄国如, 赵晓莺, 麦叶鹏. 低影响开发措施对雨水径流的控制效应[J]. 水资源保护, 2021, 37(4): 29-36. HUANG Guoru, ZHAO Xiaoying, MAI Yepeng. Control effect of low impact development measures on rainwater runoff [J]. Water Resources Protection, 2021, 37(4): 29-36 (in Chinese).

作者简介: 张高嫒(1988-), 女, 天津人, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为排水防涝与海绵城市。

E-mail: 13803086721@126.com

收稿日期: 2021-11-05

修回日期: 2022-02-21

(编辑: 丁彩娟)