

Research on Waterlogging Drainage Scenarios of Typical Urban Flood Control Regions

Yanxia Zhao¹, Muwei Cheng², Yuntao Wang¹, Zihui Yu², Hong Zhang², Chi Zhang¹

¹School of Hydraulic Engineering, Faculty of Infrastructure Engineering, Dalian University of Technology, Dalian

²Dalian Drainage Department, Dalian

Email: yxzhao2011@126.com

Received: May 6th, 2014; revised: May 12th, 2014; accepted: May 16th, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Rainfall intensity, topography, underlying surface conditions and distribution of drainage pipe network are the key influence factors in urban flood control. However, in the same urban region, the underlying surface with different characteristics could lead to the urban waterlogging with different characteristics. Taking three typical kinds of waterlogged point regions in central area of Dalian, i.e. plain, hill and estuary as research objects, the urban waterlogging is simulated; waterlogging effect of different scenarios for waterlogging control in typical regions under different transformation costs based on the simulated results is analysed, and thus the preferable waterlogging control scenario of typical waterlogged point region is determined, providing a reference for real urban flood and waterlogging control.

Keywords

Waterlogging Planning, Urban Flood Control, Rainwater Resource Utilization, Drainage

城市防洪典型区域除涝方案分析研究

赵燕霞¹, 程木炜², 王运涛¹, 于子恢², 张 弘², 张 弛¹

作者简介: 赵燕霞(1987-), 女, 硕士研究生, 主要从事城市防洪除涝、水文水资源方向研究。

¹大连理工大学建设工程学部水利工程学院, 大连

²大连市排水处, 大连

Email: yxzhao2011@126.com

收稿日期: 2014年5月6日; 修回日期: 2014年5月12日; 录用日期: 2014年5月16日

摘要

降雨强度、地形及下垫面情况、排水管网分布是城市防洪的关键影响因素。而在同一城市区域内, 不同特点下垫面导致不同特征的城市内涝。以大连市中心城区3种典型易涝点区域(平原、丘陵、入海口)为研究对象, 进行现状条件下的城市内涝模拟, 在模拟结果的基础上, 分析不同改造成本下, 各个除涝方案在典型区域内的除涝效果, 进而确定典型易涝点的较优除涝方案, 为实际城市防洪除涝工作提供参考依据。

关键词

除涝规划, 城市防洪, 雨水资源利用, 排水

1. 引言

近年来, 由于气候变化导致极端降雨频现, 同时城市化发展进程的不断加快导致下垫面不透水层比例增大, 国内多个城市发生了不同程度的内涝灾害, 造成了交通瘫痪, 甚至对国家和人民的生命财产造成了重大损失。如北京“7.21”暴雨导致中心城区63处主干道交通瘫痪, 直接经济损失118.35亿元[1]。深圳“3.30”暴雨造成城市内涝200处, 2人因灾死亡。

消除城市内涝, 根本还在于排水除涝工程设施的建设以及升级改造, 国内针对不同排水工程措施除涝效果有着较多的研究, 如蔡剑波[2]等人研究了不同深度的低洼绿地对降低城市径流深度、径流系数的效果; 晋存田[3]研究了不同雨洪措施在不同降雨频率下对城市雨洪的利用效果; 吴海岚[4]从绿色基础设施建设以及农田灌溉两方面研究了雨洪资源利用; 李彦伟[5]研究了改变节点高程和增大管径这两种方式对排水除涝的效果; 陈小华[6]、姚枝良[7]分别对雨水收集系统、泵站进行了方案设计。国外目前也越来越重视此方面工程的规划建设, 如纽约在道路和绿地之间设置了水通道, 在暴雨时地表径流通过水通道顺利进入绿地[8]; 近年来, 巴黎修建了3条地下蓄水隧道以及8个蓄水池, 日本政府也规定, 在城市中每开发一公顷土地应设置500 m³蓄水池[9], 并且在低洼处建设大型泵站排水。德国主要采用下凹式绿地、植被渗沟以及景观水体的方式进行除涝[10]。这些措施不仅有效降低了城市内涝发生概率, 也充分地利用了雨水资源[11]。

目前针对同一地区多种除涝方案比较分析研究较多, 但在地形比较复杂的城市, 不同易涝点形成的过程及关键影响因素往往不同, 而有针对性地对各种典型易涝点作除涝效果对比分析的研究较少; 同时, 以往研究中由于资料所限, 或使用经验推理公式, 或对管网数据进行概化, 利用有精细资料的管网、地形、下垫面数据进行模拟的研究较少, 而这些资料是提高水力学模型模拟精度的关键, 也是除涝方案比较的基础。因此, 本文选取大连市内具有代表性的平原、入海口、丘陵三种典型区域, 在利用较高精度资料建模的基础上, 分别在不同改造成本下对每种除涝方案进行分析, 并确定出典型易涝点较优除涝方案, 为以后的城市除涝工作, 尤其是大中城市防洪除涝方案制订提供参考。

2. 研究区域概况及资料

2.1. 研究区域概况

选择大连市中心城区排水区中平原(春柳排水区)、入海口(青泥寺儿沟排水区)、丘陵(岭前排水区)3种典型区域,春柳排水区位于市区西北部,汇水面积 31.72 km²;青泥寺儿沟排水区位于市区中东部,汇水面积为 31.27 km²;岭前排水区位于市区东南部,汇水面积为 40.70 km²。这三个排水区作为主要研究区域,可用作建立水力学模拟模型及率定相关参数。

在每一个典型排水区中选一个易涝点作为除涝方案效果分析对象。春柳区代表性易涝点为西岗区香周路三合大厦前。此涝点地势较平,内涝较严重,具有典型性;岭前区代表性易涝点为解放路小龙街,周边山丘较多,地势低,受地形影响作用明显。青泥寺儿沟区代表性易涝点为港湾广场,此处硬化程度高,由于靠近海边,受入海口潮位顶托作用明显。研究区域管网图如图 1 所示。

2.2. 所用资料

1) 管网资料

管网系统现状资料信息分为点、线、面 3 类,点要素包括:雨水井的空间坐标、地面标高、井底标高,排水口的空间坐标、管底标高、出流形式;线要素包括:管径、管材、管道的形状、管长、起止点标高、编号、埋深;面要素包括:雨水井、排水口控制的子流域的面积。

2) 下垫面资料

下垫面资料包括土地利用类型、实测的 1:5000 地形资料、城市水系信息、地表蓄水设施的滞蓄能力以及不同的土壤类型、地表糙率、土壤下渗率、滞蓄能力等参数,相关参数通过规范确定,并利用后面的模型及实测数据率定。

3) 降雨资料

城市除涝就是要解决超过雨水管道设计标准,而又低于城市防洪标准的降雨产生的城市内涝水的处置问题。大连市属于重要地区,因此防洪标准选择 50 年一遇[12]。根据大连降雨规律和城市内涝风险情况,结合城市经济社会发展需求,利用辽宁省水文手册成果图查得相关雨量参数,同时利用大连市近期

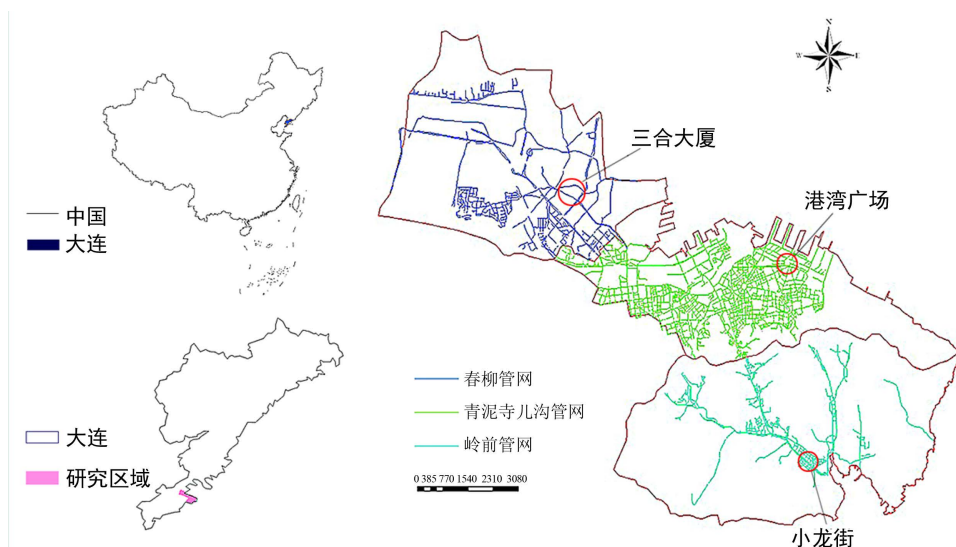


Figure 1. The drainage pipe network of the study area

图 1. 研究区域管网图

典型暴雨过程，得出大连市 50 年一遇 24 h 降雨，取其中 12 h 降雨进行模拟，时间间隔为 5 min，降雨量为 121.2 mm。雨型如图 2。

3. 模型与方法

3.1. MIKE 模型简介

MIKE 系列软件是丹麦水资源及水环境研究所(DHI)开发的产品。由 MIKE URBAN、MIKE11、MIKE21、MIKE FLOOD 等几个部分组成。其中 MIKE URBAN 包括城市供水系统的 MIKENET 模块，以及城市排水系统的 MIKE MOUSE 模块；MIKE11 主要用来模拟一维河道、河网；MIKE21 用于模拟二维河口、海岸及地表水体，具有较好的网格精度和准确性；MIKE FLOOD 是一个把一维模型(MIKE URBAN 和 MIKE 11)和二维模型(MIKE 21)进行动态耦合的建模系统。利用这种耦合的方式，既利用了一维模型和二维模型的优点，又避免了采用单一模型时遇到的网格精度和准确性方面的问题。MIKE FLOOD 可以模拟城市排水系统和路面积水之间的相互作用，以及河网和排水系统的连接。

本次研究选择 MIKE URBAN 中的 MIKE MOUSE 模块对排水管网进行一维水动力学模拟，采用 MIKE FLOOD 将管网模型 MIKE URBAN 和二维地面流模型 MIKE 21 集成在一起进行耦合计算，得到城市内涝淹没水深及内涝时间。

3.2. 建模方法

基础资料主要有大连市中心城区 CAD 格式的高程点、管网数据，利用 ArcGIS 将高程点数据转换为 15*15 m 网格大小的 DEM 数据；将所需的降雨资料做成 MIKE URBAN 模型所需的.dfs0 格式数据；将典型区域的管网数据做成.mdb 数据库，再导入 MIKE URBAN 中，建立起模型。

研究区域缺失实际降雨淹没过程资料，但有历史暴雨下某些易涝点的最大淹没范围及淹没水深资料。所以研究采用三大排水区进行历史暴雨模拟分析，利用历史上统计的某些场次暴雨下淹没特征数据与模型模拟结果作定性对比分析，从而率定相关模型参数。

以大连市 2013 年 7 月 2 日的一场实际降雨数据来模拟研究区域的淹没情况。得出以下易涝点分布图，并与研究区域的实际涝点信息对比，三个排水区模拟出的易涝点能覆盖实际易涝点，并且淹没特征参数大致符合历史统计资料。所建模型模拟情况与实际情况吻合较好，因此可以用于对排水系统的除涝方案研究。具体如图 3 所示。

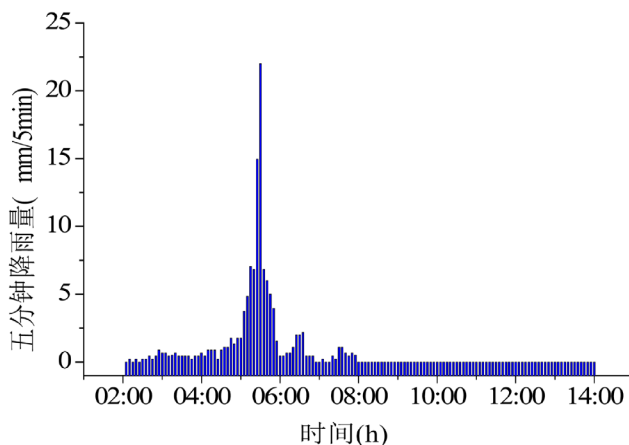


Figure 2. 12-Hrainfall pattern of 50-year return period in Dalian

图 2. 大连市 50 年一遇 12 h 雨型图

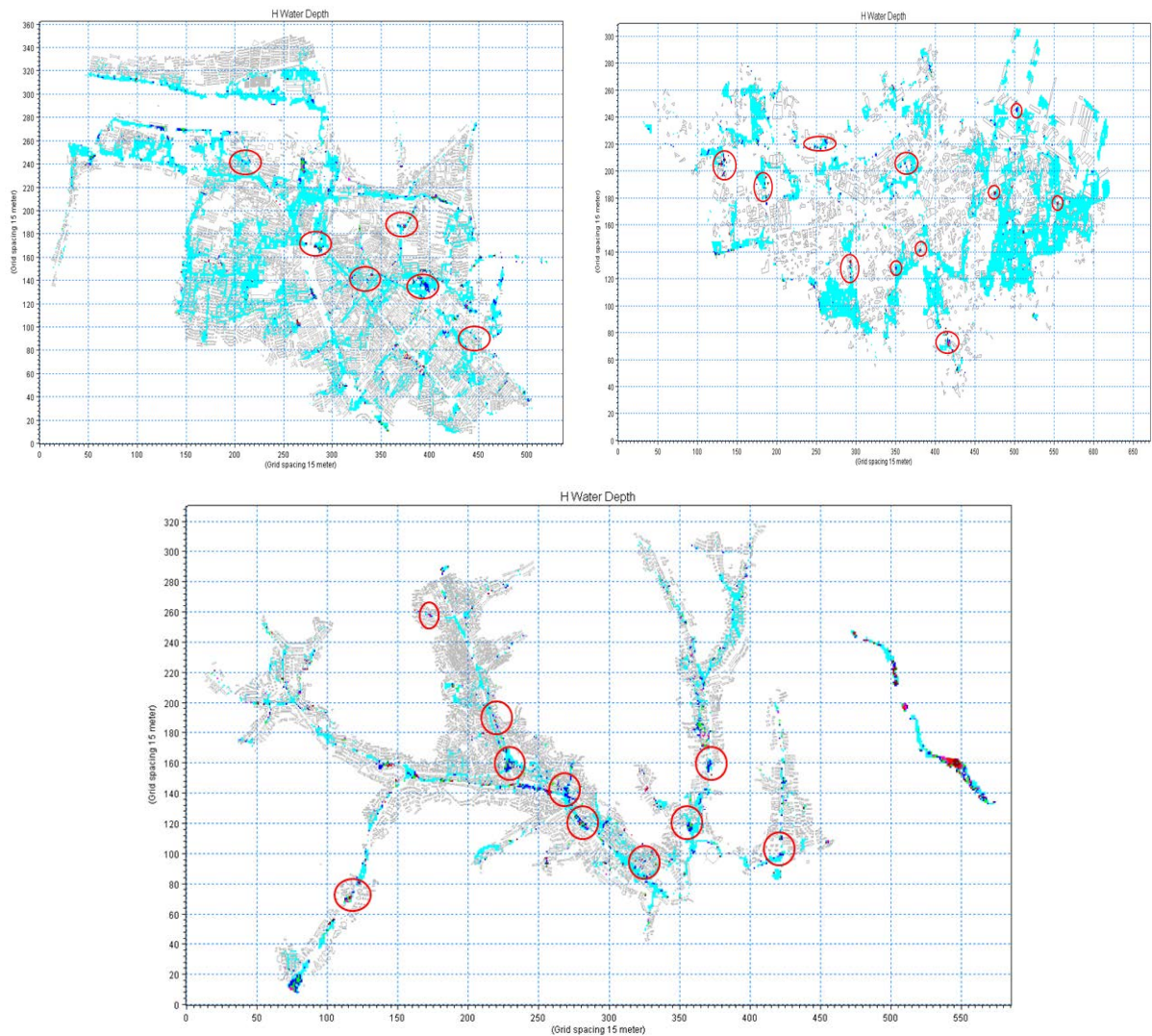


Figure 3. The distribution of simulated waterlogging points

图 3. 模型模拟易涝点分布结果

3.3. 内涝指标体系

内涝指标分为内涝水深、时间、面积三种，由于大连处于丘陵地区、即使相对平坦的区域也有一定局部的地势起伏，所以主要选择水深和时间两种指标。大连市城市内涝标准有两层含义：为保证不断交通，在主干道(包括立交桥最低处)积水深度不得超过 25 cm，否则会因汽车发动机进水而造成交通中断；易涝点积水的时间不超过 30 min。易涝点风险区级别划分如表 1 所示。

3.4. 除涝方案设定

采用芝加哥合成暴雨过程线(CHM 法)，以及 MIKE URBAN 模型对研究区域管网在设计暴雨重现期下的排水现状能力进行模拟分析，根据模拟结果，找到各易涝点的瓶颈管道。针对各易涝点处瓶颈管道，采取不同的除涝方案对其进行除涝效果分析研究。各易涝点改造前内涝水深及内涝时间如表 2。在瓶颈管道处对每种除涝方案进行模拟，并分析其除涝效果。

1) 采用蓄水池除涝方案，蓄水池容积的设计要尽量与来水量一致，使得蓄水池空间充分利用，既能

Table 1. Criteria for waterlogging risk region

表 1. 内涝风险区标准

风险区划分	积水深度(m)	积水历时(min)
低风险区	0.25~0.50	30~60
中风险区	0.50~1.00	>60
高风险区	>1.00	>60

Table 2. Pre-transformed waterlogging depths and duration of each waterlogging points

表 2. 各易涝点改造前内涝水深及内涝时间

易涝点	内涝水深(m)	内涝时间(h)
三合大厦	1.26	3.35
港湾广场	1.25	4.5
小龙街	1.17	5

避减洪涝灾害,也能充分利用雨水资源,增添城市绿化供水,同时改善水生态环境[13][14]。

2) 泵站方案为城市防洪除涝常规手段。由于城市用地紧张,环境保持要求严格,城市除涝泵站不考虑设置调节池。因此采用无调节池的泵站对其进行规划模拟。

3) 通过设置不同比例的绿色基础设施来改变研究区域的径流系数,如下凹式绿地、植草沟、人工湿地、可渗透地面、渗透渠、透水性停车场和广场、屋顶绿化等组合措施。

4) 大连市排水管网建设年代久远,设计标准偏低,有些管道管径偏小,不能满足排水要求,且管道自然老化、沉淀,降低了管道的排水能力,因此采用增加管径的方案对典型易涝点进行模拟。

三合大厦、港湾广场、小龙街易涝点的瓶颈管线长度有所差别,改造区域面积及改造后的管网密度差别不大,因此改造工程量有所不同。三合大厦、港湾广场、小龙街均处于商业区,绿化程度差别不大,设置绿色基础设施时,改造成本相近。由于空间有限,蓄水池和泵站的规模有限。针对不同区域改造成本一样,改造方案可以是不一样的,因为管网密度、施工难度等。根据每种方案的单价,结合各易涝点除涝方案改造的不同工程量,由此得出易涝点每种方案的改造成本。设立四种不同的改造成本情景分别为 150 万元、300 万元、450 万元、600 万元,在改造成本相同的前提下,分析每个研究区域内不同方案的除涝效果。不同改造成本情况下,单个方案参数设置如表 3 所示。

4. 除涝方案分析

4.1. 方案除涝效果分析

从图 4 可以大致看出,当使用单方案除涝时,三合大厦易涝点处,增大管线方案除涝效果较好;港湾广场易涝点处,泵站方案除涝效果较好;小龙街易涝点处,蓄水池方案较好。但单方案随改造成本的增大,除涝效果增长不显著。增大改造成本时,各易涝点处的绿色基础设施方案除涝效果变化敏感,但绿色基础设施规划面积有限,达到饱和后便不再增加,除涝能力有限;易涝点均位于繁华地段,建筑物密集,地理空间有限,增大改造成本时,不能满足增大蓄水池容积的需求,且泵站的规模也受到限制。当改造成本增大为 600 万元时,各易涝点处较优方案的除涝效果无明显变化,因此采用其次有效的方案与其组合,使改造成本均为 600 万,对易涝点进行进一步除涝研究,具体组合参数见表 4,除涝方案内涝模拟结果见图 4。

1) 在三合大厦易涝点处,在相同改造成本下,当采取单独方案时,增大管径方案对于该区域的除涝

Table 3. Transformation cost of individual scenario for waterlogging control
表 3. 单个除涝方案的改造成本

改造成本 (万元)	蓄水池容积 (m ³)	泵站流量 (m ³ /s)	径流系数			管径(mm)		
			三合大厦	港湾广场	小龙街	三合大厦	港湾广场	小龙街
150	1000	0.3	0.75	0.74	0.72	450	500	400
300	1500	0.5	0.7	0.69	0.67	550	600	500
450	2000	1.0	0.6	0.59	0.57	900	1000	800
600	2500	1.5	0.54	0.53	0.5	1200	1500	1000

Table 4. Parameter settings of combined scenario for waterlogging control
表 4. 组合除涝方案的参数设置

改造成本 (万元)	方案	三合大厦		港湾广场		小龙街	
		管径(mm)	泵站流量(m ³ /s)	泵站流量(m ³ /s)	蓄水池容积(m ³)	蓄水池容积(m ³)	泵站流量(m ³ /s)
600	①	900	0.3	1.0	1000	2000	0.3
	②	550	0.5	0.5	1500	1500	0.5

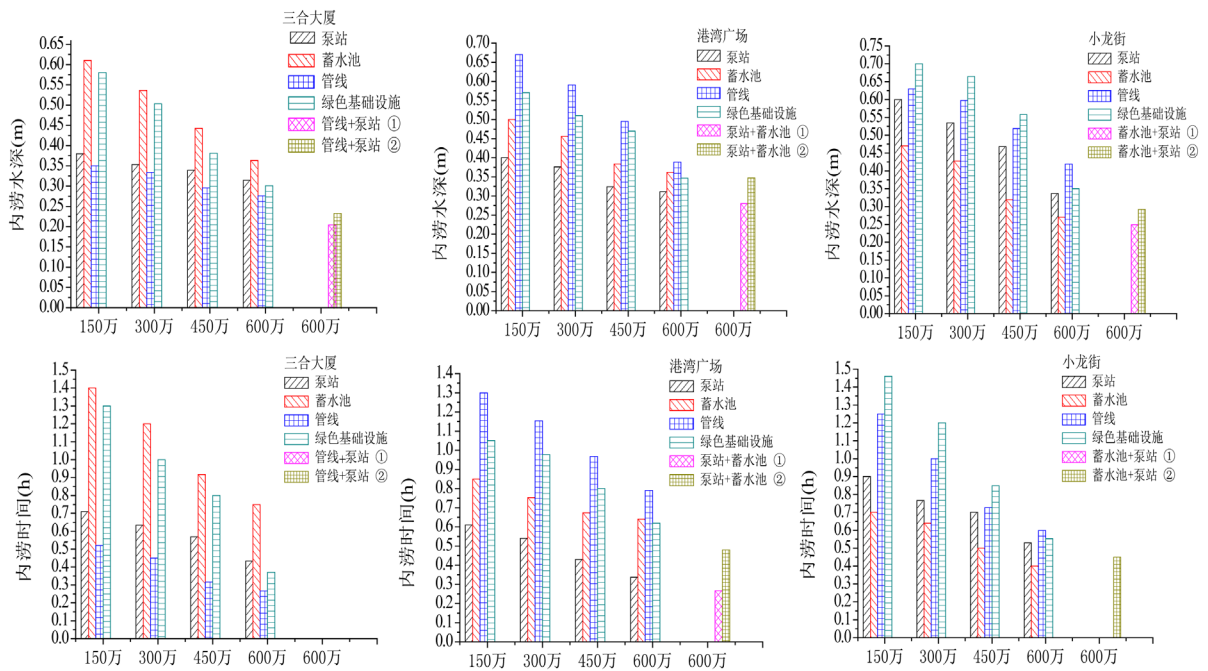


Figure 4. Simulated waterlogging results of each scenarios under different transformation cost
图 4. 不同改造成本下各方案内涝模拟结果

效果是较好的，泵站方案其次。只有随着改造成本的增加，设置绿色基础设施和蓄水池方案才能体现出一定的除涝效果。三合大厦位于平原区，处于交通干道，车流量大，靠近春柳河，地势较平坦，发生内涝时，水深较均匀，采用增大管径的方案可使雨水通过雨水井自流均匀快速排出，对除涝起决定性作用；采用泵站方案时，只能快速将局部雨水快速排出，虽然内涝水深较小，内涝时间较短，但除涝效果没有增大管径的方案好；蓄水池方案能有效收集其附近的雨水，远处的雨水不易自流到蓄水池，除涝效果最不明显；绿色基础设施达到一定的比例后，其除涝效果才会明显提高。当采取组合方案时，可将该易涝

点内涝风险降低至标准区,比同等改造成本下的增大管径方案除涝效果更好。其中管径为 900 mm、泵站流量为 $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ 的组合方案的内涝水深更小,除涝效果更好。

2) 港湾广场易涝点处,各方案的改造成本相同时,泵站方案的除涝效果是较好的,蓄水池方案次之。港湾广场位于入海口地区,排水受潮位顶托作用显著,采用增大管径的方案以及绿色基础设施方案不能顺利使雨水自流排出;蓄水池方案对于除涝有一定的效果,能够消除洪峰;采用泵站方案可将雨水快速排入海中,抵消潮位顶托影响,减少地面涝水量,除涝效果较好;随着改造成本的加大,此处受空间地理位置影响,蓄水池容积有限,不能集蓄多余的雨水,造成内涝,且内涝时间变化不大。而在该区域采取合适的组合方案时,将会使该易涝点内涝时间达到 0.5 h 以下。在该区域采取组合方案时,泵站流量为 $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 、蓄水池容积为 1000 m^3 的组合方案的内涝水深略高于 0.25 m ,除涝效果较同等改造成本下的 $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 泵站方案稍好。

3) 小龙街易涝点处,当采用单独方案时,蓄水池方案的除涝效果较相同改造成本下其他方案除涝效果是较好的,泵站方案次之。小龙街位于丘陵地区,此处地势低洼,发生内涝时,容易产生较大水深,且雨水短时间内无法通过自流排出,造成长时间的积水。蓄水池方案可以削减洪峰,更有效的集蓄雨水,最大程度的降低易涝点内涝水深;绿色基础设施增加至最大比例时,除涝效果明显,能充分发挥其蓄水、滞水的功能,达到快速排水的目的。当采用组合方案时,蓄水池及泵站组合方案更适合丘陵地区低洼地势,可以将低洼处积水快速顺利排出。蓄水池容积为 2000 m^3 、泵站流量为 $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ 的组合方案可将该易涝点内涝风险降低至标准区,比 2500 m^3 蓄水池方案除涝效果好。

4.2. 典型区域除涝方案确定

图 5 中显示了不同改造成本、各个方案的内涝时间及内涝水深之间的关系。每条线段代表同一投资下各方案效果对比,相同格式的多个节点代表同一类型方案在不同投资下的除涝效果。在满足规定除涝要求的可行方案中,选择其中投资额较小、除涝较好的方案为该区域内的较优除涝方案。图 6 为在不同

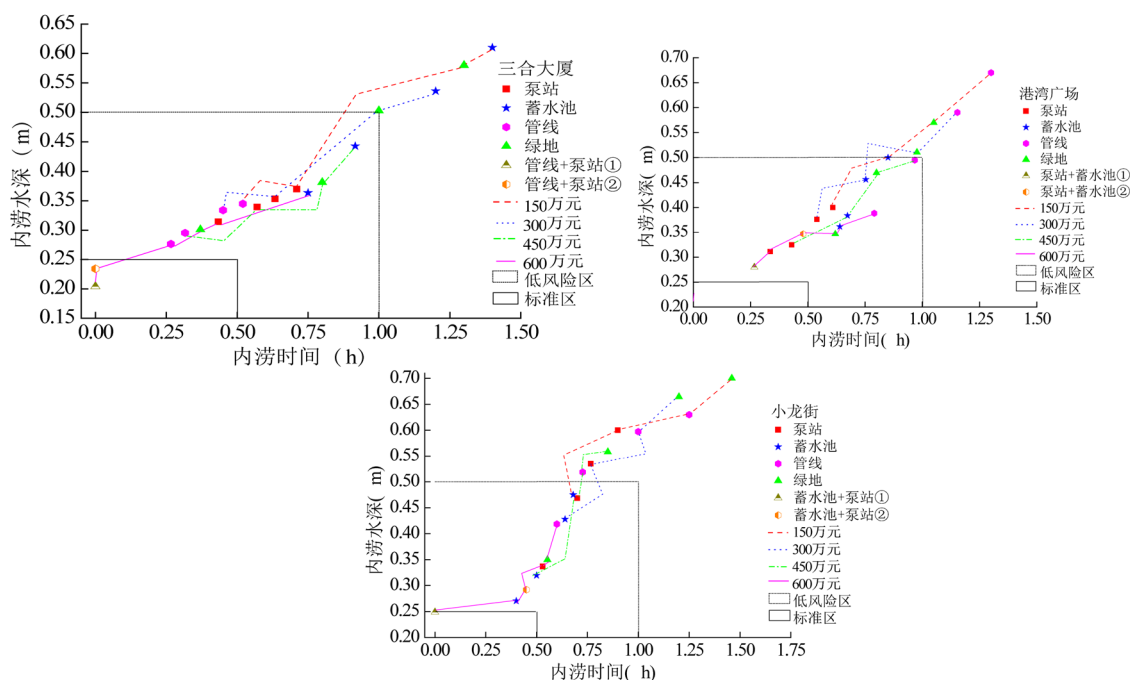


Figure 5. Waterlogged effects of different scenarios

图 5. 不同方案除涝效果

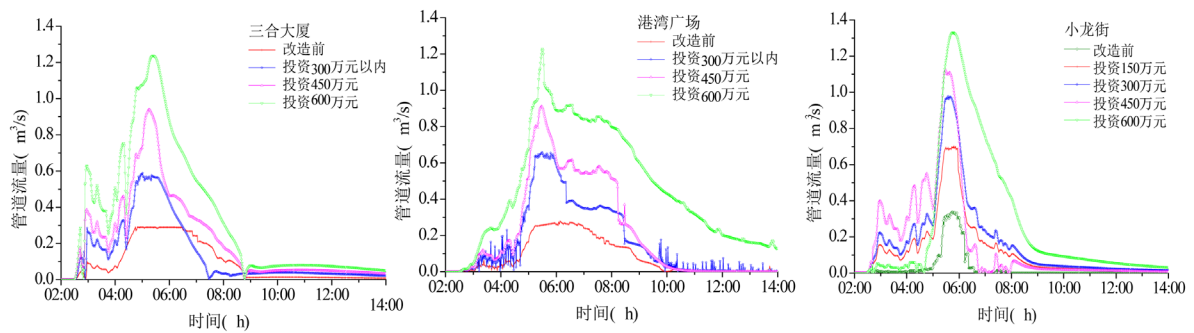


Figure 6. Flow process curve of pipe

图 6. 管道流量过程线

改造成本下, 各个易涝点采用较优方案下, 原瓶颈管道处的流量过程线。由图中可以看出, 改造前, 管道出现满流状态, 此时流量变化不明显, 增大改造成本后, 管道的排水能力随之增大, 不同程度的降低了易涝点的内涝风险。

1) 在三合大厦易涝点处, 有多种可行方案可将该易涝点改造至低风险区。在不同的改造成本下, 采用单独方案时, 增大管径方案除涝效果较好。而改造成本为 150 万元、300 万元时, 增大管径方案除涝效果差别不大, 因此当改造成本有限时, 采用管径为 450 mm, 即 150 万投资的方案即可, 此时内涝水深为 0.35 m, 内涝时间为 0.52 h; 改造成本为 450 万元时, 增大管径方案除涝效果增强, 此时管径为 900 mm; 改造成本为 600 万元时, 增大管径方案除涝效果无明显变化, 此时采用管径为 900 mm 的方案, 改造成本仅为 450 万元, 内涝水深为 0.29 m, 内涝时间为 0.32 h。采用 2 种组合方案时, 均可将该易涝点改造至标准区, 而管径为 900 mm、泵站流量为 $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ 的组合方案产生的水深较小, 仅为 0.204 m, 为较优组合方案。

2) 在港湾广场易涝点处, 通过不同方案改造后, 可使该易涝点处于低风险区。由于该易涝点特殊的地理位置, 不同改造成本下, 泵站方案的除涝效果较好。改造成本为 300 万元以下时, 泵站方案的除涝效果变化不大, 此时采用改造成本仅为 150 万元、泵站流量为 $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ 的方案; 改造成本为 450 万元时, 泵站流量为 $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$, 此时除涝效果较好。当改造成本为 600 万元时, 采用单泵站方案产生的内涝水深为 0.31 m, 内涝时间为 0.34 h, 而泵站及蓄水池组合方案虽不能将该易涝点改造至标准区, 但泵站流量为 $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 、蓄水池容积为 1000 m^3 的组合方案产生的内涝水深较小, 为 0.28 m, 内涝时间仅为 0.27 h, 除涝效果较好。

3) 在小龙街易涝点处, 多种除涝方案可将易涝点改造至低风险区。不同改造成本下, 蓄水池方案除涝效果较好。改造成本为 150 万元时, 蓄水池方案容积为 1000 m^3 , 内涝水深为 0.47 m, 内涝时间为 0.7 h; 改造成本为 300 万元时, 蓄水池方案除涝效果有一定的改善, 容积为 1500 m^3 ; 改造成本为 450 万元时, 蓄水池方案除涝效果明显提高, 此时容积为 2000 m^3 , 内涝水深为 0.32 m, 内涝时间为 0.5 h; 改造成本为 600 万元时, 蓄水池方案和蓄水池容积为 2000 m^3 、泵站流量为 $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ 的组合方案产生的内涝水深相近, 而组合方案可将易涝点改造至标准区, 为较优方案。

5. 结论和展望

针对大连市内平原、入海口、丘陵三种典型区域进行了内涝现状模拟, 在此基础上, 通过设定多种除涝方案情景, 研究了不同改造成本下, 每种除涝方案在典型区域内的除涝效果, 并确定出不同改造成本条件下, 三种典型易涝点的较优除涝方案, 为以后城市防洪除涝方案的制订提供参考。

规划过程中, 由于社会、环境、经济效益涉及因素较多, 量化较复杂, 进行了一定简化, 如在三个易涝点管径及绿地改造规划中, 由于管网密度等较为相似, 因此设计改造方案成本较为接近, 在相似区域规划中建议详细考虑这些因素, 以便更好的因地制宜地评估不同方案的除涝效果。

基金项目

国家自然科学基金资助项目(51279021)。

参考文献 (References)

- [1] 谢映霞. 从城市内涝灾害频发看排水规划的发展趋势[J]. 城市规划, 2013, 2: 45-50.
XIE Ying-xia. Development of drainage planning in view of frequent urban waterlogging disasters. City Planning Review, 2013, 2: 45-50. (in Chinese)
- [2] 蔡剑波, 林宁, 杜小松, 冯云刚. 低洼绿地对降低城市径流深度、径流系数的效果分析[J]. 城市道桥与防洪, 2011, 6: 119-122, 318.
CAI Jian-bo, LIN Ning, DU Xiao-song and FENG Yun-gang. Effect analysis of low-lying greenbelt to reduce urban runoff depth and runoff coefficient. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2011, 6: 119-122, 318. (in Chinese)
- [3] 晋存田, 赵树旗, 闫肖丽, 周玉文. 透水砖和下凹式绿地对城市雨洪的影响[J]. 中国给水排水, 2010, 1: 40-42, 46.
JIN Cun-tian, ZHAO Shu-qi, YAN Xiao-li and ZHOU Yu-wen. Impacts of permeable brick and sunken lawn on urban stormwater. China Water & Wastewater, 2010, 1: 40-42, 46. (in Chinese)
- [4] 吴海岚. 浅谈沧州市雨洪资源利用与研究[J]. 水资源研究, 2007, 28(1): 14-15.
WU Hai-lan. Research of utilization of Cangzhou rainwater resource. Journal of Water Resources Research, 2007, 28(1): 14-15. (in Chinese)
- [5] 李彦伟, 尤学一, 季民, 王秀朵, 赵乐军, 潘留明. 基于SWMM模型的雨水管网优化[J]. 中国给水排水, 2010, 23: 40-43.
LI Yan-wei, YOU Xue-yi, JI Min, WANG Xiu-duo, ZHAO Le-jun and PAN Liu-ming. Optimization of rainwater drainage system based on SWMM model. China Water & Wastewater, 2010, 23: 40-43. (in Chinese)
- [6] 陈小华. 水景社区的雨水收集与综合利用设计[J]. 水资源保护, 2010, 5: 78-81.
CHEN Xiao-hua. Case study on collection and reuse of rainwater in waterscape community of Shanghai. Water Resources Protection, 2010, 5: 78-81. (in Chinese)
- [7] 姚枝良. 石家庄正定新区园博园雨水泵站设计研究[J]. 环境科学与管理, 2013, 11: 84-88.
YAO Zhi-liang. Design of garden expo storm water pumping station in Shijiazhuang Zhengding new district. Environmental Science and Management, 2013, 11: 84-88. (in Chinese)
- [8] 刘波. 纽约、伦敦和东京等世界城市防洪排涝经验与启示[J]. 城市观察, 2013, 2: 145-150.
LIU Bo. Flood control experience from New York, London and Tokyo and its reference for Chinese cities. Urban Insight, 2013, 2: 145-150. (in Chinese)
- [9] 郑小瑶, 徐盛帅, 蔡竹聪, 徐建坤, 徐建青. 浅议国内外大型城市地下排水设计与排涝对策[J]. 浙江建筑, 2012, 11: 59-63.
ZHENG Xiao-yao, XU Sheng-shuai, CAI Zhu-cong, XU Jian-kun and XU Jian-qing. A preliminary discussion on the design of urban under drainage systems and the countermeasure of flood drainage at home and abroad. Zhejiang Construction, 2012, 11: 59-63. (in Chinese)
- [10] 郑兴, 周孝德, 计冰昕. 德国的雨水管理及其技术措施[J]. 中国给水排水, 2005, 2: 104-106.
ZHENG Xing, ZHOU Xiao-de and JI Bing-xin. Rainwater management and technical measures in Germany. China Water & Wastewater, 2005, 2: 104-106. (in Chinese)
- [11] 程江, 徐启新, 杨凯, 刘兰岚, 范群杰. 国外城市雨水资源利用管理体系的比较及启示[J]. 中国给水排水, 2007, 12: 68-72.
CHENG Jiang, XU Qi-xin, YANG Kai, LIU Lan-lan and FAN Qun-jie. Comparison of foreign urban rainwater resource utilization management systems and some inspirations. China Water & Wastewater, 2007, 12: 68-72. (in Chinese)
- [12] 鲁航线, 张开军, 陈微静. 城市防洪、排涝及排水三种设计标准的关系初探[J]. 城市道桥与防洪, 2007, 11: 64-66, 16.
LU Hang-xian, ZHANG Kai-jun and CHEN Wei-jing. Elementary probing into relation of three design standards of urban flood control, flooded fields and drainage. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2007, 11: 64-66, 16. (in Chinese)

- [13] 李美娟. 城市雨水资源利用效益评价研究[D]. 大连理工大学, 2010.
LI Mei-juan. The benefit assessment of urban rainwater utilization. Dalian University of Technology, 2010. (in Chinese)
- [14] 陈玉恒. 城市雨洪利用的构想[J]. 水利发展研究, 2002, 4: 32-33.
CHEN Yu-heng. The idea of urban rain flood use. Water Resources Development Research, 2002, 4: 32-33. (in Chinese)