

基于管网与河网耦合的上海某地铁地下空间防淹分析

曾祥华^{1,2}

(1. 上海宏波工程咨询管理有限公司, 上海市 201707; 2. 上海市水务局河湖水生态修复工程技术研究中心, 上海市 201707)

摘要: 近年来, 极端天气的出现导致城市尤其是地下空间的防洪除涝难度增加。为了解上海新规划地铁21号线东延伸线施新路站至金闻路路段重要点位在典型降雨工况下的积水情况, 利用数值模拟软件Mike+Flood构建区域内涝模型, 分析了不同降雨条件下区域的积水情况。研究表明: 4种工况下, 施新路最大积水深度为0.17 m, 闻居路最大积水深度为0.45 m, 主变附近最大积水深度0.23 m, 金闻路附近无明显积水区域。研究结果可为21号线地铁规划建设及类似工程提供参考。

关键词: Mike+Flood; 地铁出入口; 地下空间; 积水深度

中图分类号: U21

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)01-0139-06

Analysis on Flood Prevention of Underground Space of a Subway in Shanghai Based on Coupling of Pipe Network and River Network

ZENG Xianghua^{1,2}

(1. Shanghai Hongbo Engineering Consulting Management Co., Ltd., Shanghai 201707, China; 2. River and Lake Water Ecological Restoration Engineering Research Center, Shanghai Water Authority, Shanghai 201707, China)

Abstract: In recent years, the occurrence of extreme weather increases the difficulty of flood control and waterlogging drainage in cities, especially underground spaces. In order to understand the waterlogging situation at the important points from Shixin Road Station to Jinwen Road Station on the east extension of the new planned Metro Line 21 in Shanghai under the typical rainfall conditions, the numerical simulation software Mike+Flood is used to establish a regional waterlogging model and analyze the waterlogging situations in the area under different rainfall conditions. The research results show that under four working conditions, the maximum depth of waterlogging water in Shixin Road is 0.17 m, the maximum depth of waterlogging water in Wenju Road is 0.45 m, and the maximum depth of waterlogging water near the main transformer is 0.23 m. There is no obvious waterlogged area near Jinwen Road. The research results can provide the reference for the planning and construction of Metro Line 21 and similar projects.

Keywords: Mike+Flood; subway entrance and exit; underground space; depth of waterlogging water

0 引言

近年来, 随着开发及建设进程的加快, 城市下垫面硬化比例不断增加; 受全球气候变暖、海平面上升以及雨岛效应等多重因素的影响, 台风及强降雨等极端天气发生的频率逐渐增加, 给由排水管网和河网组成的城市排水系统及城市地下空间的防洪除涝安全带来了严峻的挑战。地铁站点的出入口、消防

楼梯、主变以及通风井等为连通地面与地下空间的主要建(构)筑物, 其周边地面在强降雨条件下的积水深度及建筑物的洪涝防御能力直接关系到地铁及地下空间的安全。2021年郑州地铁5号线遭遇涝水灌入, 导致地铁在非出口区域停止, 最终导致14人死亡^[1]。郭元等^[2]通过研究表明: 极端降雨情况下, 地下空间积水水位上涨快, 高水位时间持久, 同时地下空间出入口不合理的工程措施会增加地下空间内涝的风险。近年来, 众多学者利用水动力模型软件建立城市内涝模型, 对城市洪涝情况进行分析。喻海军等利用水动力模型软件构建城市内涝模型对郑州中心城区2021年“7·20”特大暴雨洪涝进行了分析。叶陈雷等^[3-4]利用相关软件对我国部分城市的洪涝情

收稿日期: 2024-04-01

基金项目: 上海市水务局2023年度科研计划项目(沪水科2023-02)

作者简介: 曾祥华(1976—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事水利及水环境工程规划、设计与研究等相关工作。

况进行了模拟分析。黄继文等^[5]对济南主城区的洪涝过程进行了分析。王川涛等^[6]基于 MIKE FLOOD 对南方滨海新城雨水管网系统进行了评估并对内涝情况进行了分析计算。对城市积水情况的预先了解,有利于城市防洪除涝措施和预测预警机制的建立,更好地预防洪水内涝等对城市地上和地下空间的影响。

本文以上海地铁新规划的21号线东延段施新路站至金闸路站段为研究对象,采用DHI最新研发的Mike+Flood水动力模型软件对区域淹没情况进行模拟分析,旨在为上海地铁21号线东延伸段规划建设提供参考。

1 区域与方法

1.1 研究区域概况

上海规划地铁21号线东延段位于浦东新区。21号线东延段共规划有5个站点,分别是六陈路站、施新路站、闻居路站、金闸路站、上海东站和T3航站楼站(见图1)。区域地势低平,地面高程一般在3.5~4.5 m(上海吴淞零点),部分区域高程在3.2 m左右,区域平均高程约为4.2 m(见图2)。根据《上海城市内涝风险区域报告》^[7],21号线东延段所经区域均为自排区域。

本次以施新路至金闸路段为例进行相关分析,主要包括施新路、闻居路、金闸路三站和主变(靠近闻居路站),研究范围以周边河道七灶港、六灶港、红星河、祝桥二号河及祝桥为边界,面积为6.653 km²。

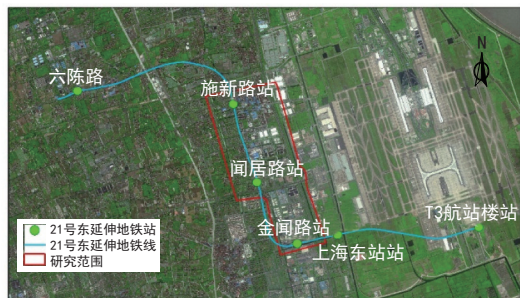


图1 21号线东延段线路及地铁站

1.2 模型搭建

采用DHI软件公司最新开发的Mike+Flood软件进行模型搭建。分别搭建一维城市排水管网模型、一维河道模型和二维地表漫流模型,当单个模型均能运算成功后,将三者耦合构建区域内涝模型。耦合模型将城市河道和管网的排水能力因素综合考虑,能较好地模拟和评估在河道和管网共同排水情

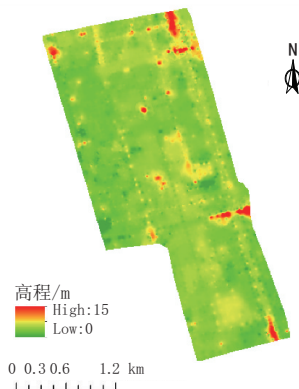


图2 研究区域内地形

况下区域的内涝情况,相较于单个模型而言,模型模拟的条件更接近区域实际情况,模拟结果更可靠。

模型搭建(见图3至图5):一维河道模型共概化河道20条,除上述的边界河道之外,还包括石码头河、祝桥跃进河、水洞港、祝桥牛路港等,模型河道的总长度为22.9 km。一维管网模型共概化683个管井、701条管道和17个排水口,共划分雨水分区683个。

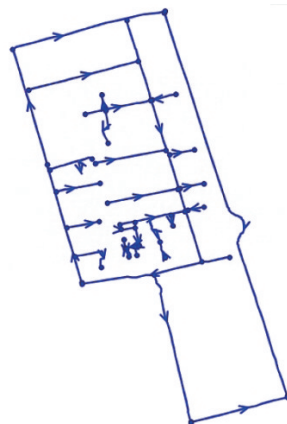


图3 模型河网



图4 模型管网及集水区

二维模型中网格采用矩形网格进行构建,并利用实测的地形高程对网格进行插值。所收集到的地形点数据精度在5~20 m,为更好地模拟地表积水情况,网格的尺寸选择5 m×5 m,网格总数523 841。

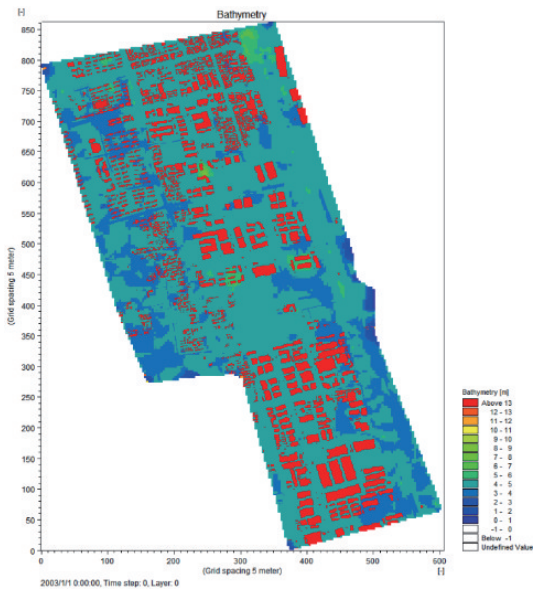


图5 模型地形

为防止出现水流积在建筑物以及更好地模拟道路区域的积水情况,对建筑物以及道路区域的地形进行细化,将建筑物区域地形高程抬高 20 m,道路区域地形高程降低 15 cm。

一维河道模型与二维地表漫流模型采用侧向连接进行耦合,一维河道模型和一维城市排水管网模型之间采用河道排水管网连接进行耦合,一维城市排水管网模型与二维地表模型采用人孔连接进行耦合。

相关参数:一维河道模型中,河道的糙率曼宁系数设置为 0.028。一维管网模型中,产汇流的计算采用时间面积法,根据研究区域内地表属性的情况,子汇水区的不透水率统一设置为 65%;二维模型糙率采用曼宁数进行设置,为 32。Drying depth 为 3 mm, Wetting depth 为 20 mm。

降雨条件:共有 4 种降雨条件(见图 6 和图 7),两种短历时降雨和两种长历时降雨。类型一根据上海暴雨公式^[8],采用标准降雨 100 a 一遇,降雨历时 3 h,降雨总量 150.88 mm,最大小时降雨量 98.1 mm。类型二根据上海暴雨公式,采用标准降雨 100 a 一遇,降雨历时 3h,最大小时降雨强度根据浦东新区历史记载最大 130.6 mm 进行计算,降雨总量为 206.7 mm。类型三根据上海城市内涝治理标准中“639”24 h 暴雨雨型一^[9],采用标准降雨 100 a 一遇,降雨时长 24 h 考虑,最大 3 h 按照类型一进行控制,降雨总量 279.1 mm。类型四依据上海城市内涝治理标准中“639”24 h 暴雨雨型一,根据浦东新区历时记载最大日降雨量 345.9 mm 设计,最大小时降雨量 64.6 mm。

边界条件:共设置两种河道水位边界条件。一

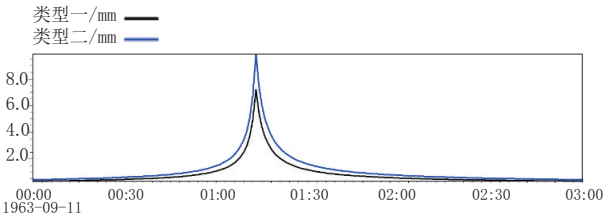


图6 类型一和类型二降雨过程

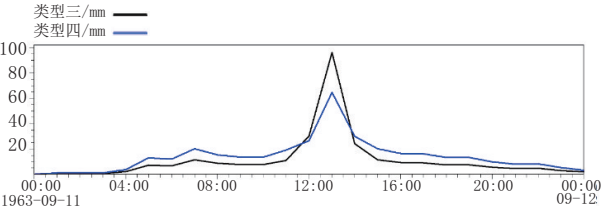


图7 类型三和类型四降雨过程

种是考虑河道对管网的顶托影响,河道水位取浦东新区除涝水位 3.75 m(边界一);一种是不考虑河道对管网的顶托影响,河道水位取常水位 2.8 m(边界二)。

工况设置:共设置 4 种计算工况,见表 1。

表 1 工况设置

工况	工况一	工况二	工况三	工况四
降雨条件	类型一	类型二	类型三	类型四
边界条件	边界二	边界一	边界一	边界一

1.3 研究点位说明

为满足防淹需求,此次研究对地铁沿线重要位置进行重点分析,如地铁出入口、消防楼梯、风井、主变等。施新路站共有 4 个出入口,两个消防楼梯,如图 8(a),编号 1~4 为站点的出入口,5~6 为消防楼梯,即此站防淹分析点位共 6 个。闻居路站共有四个站点出入口,两个消防楼梯及一个主变,如图 8(c),编号 1~4 为站点出入口,5 为主变,站点的两个消防楼梯分别位于出入口 3 和 4 处,不另做考虑,即此站防淹分析点位共 5 个。金闻路站共有两个出入口,为图 8(b)中编号 1 和 2,消防楼梯间主要分布在两个出口位置以及图中编号 3 处,即此站防淹分析点位共 3 个。

2 结果与分析

2.1 施新路站结果分析

施新路站在不同工况的积水情况如图 9 所示。从图中可以看出,施新路附近区域在工况一、二和四有积水,工况三无明显积水。在有积水的情况下,6 个研究点位中只有点位 1 附近有积水。工况一约在降雨 1 h 10 min 开始积水,在降雨 1 h 40 min 左右积水深度达到最大,为 0.13 m。工况二约在开始降雨后

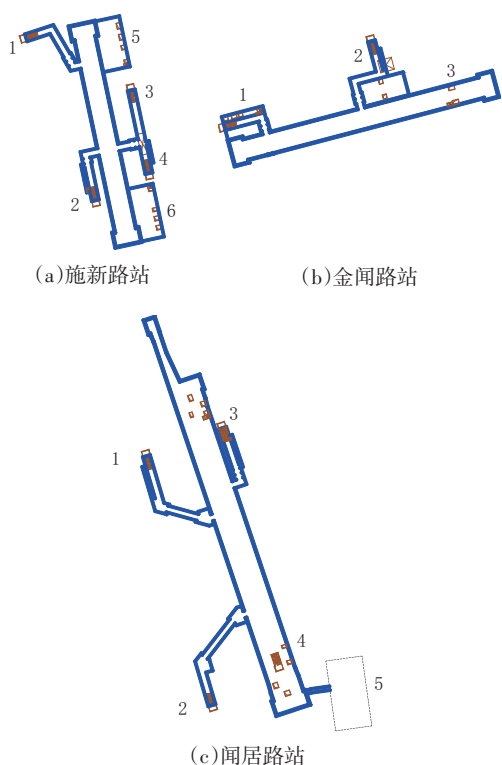


图8 各站点防淹分析点位分布

1 h开始积水,50 min后积水深度最大,为0.21 m。工况四条件下约在开始降雨后12 h 30 min开始积水,30 min后积水深度最大,为0.27 m(见图10)。对比三种工况,工况一最大积水深度最小,工况四最大。

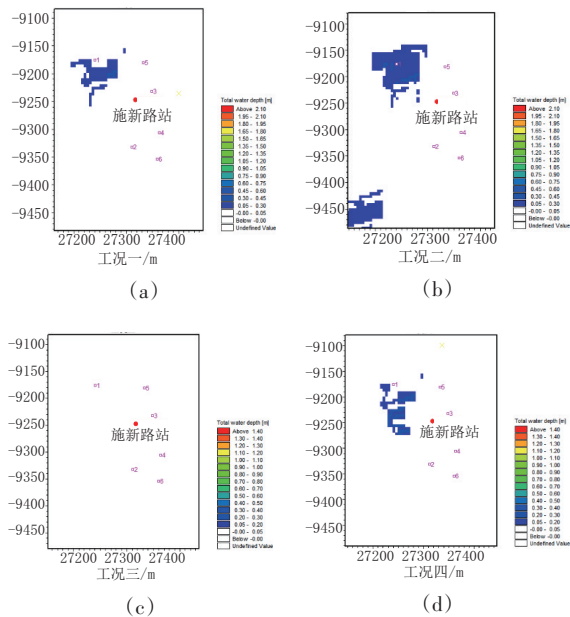


图9 施新路在不同工况下的积水情况

2.2 闻居路站结果分析

闻居路在四种工况均存在积水(见图11)。两种短历时条件下,工况二的积水范围大于工况一,两种长历时条件下,工况四的积水范围大于工况三,表明

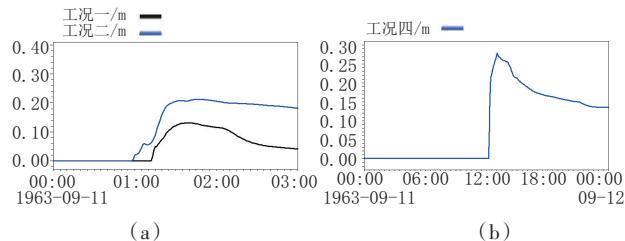


图10 施新路站点1在不同工况下的积水过程

同等历时条件下,降雨强度较大、降雨总量较多的工况积水范围更大。从研究点位来看,工况一时,点位1、2和3存在积水;工况二时,除点位5,其余点位均存在积水;工况三时,点位1、2和3附近存在积水;工况四时,5个研究点位附近均存在积水。

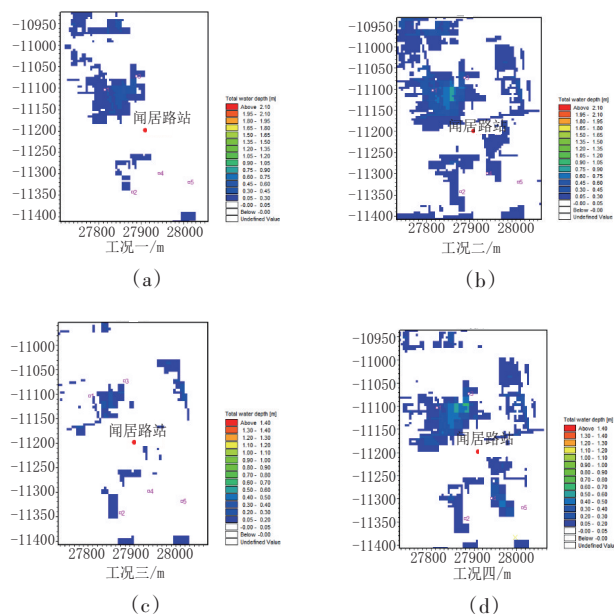


图11 闻居路在不同工况的积水情况

点位1在四种工况均有积水(见图12)。从积水过程来看,均在降雨开始一段时间后开始积水,达到最大积水深度后,积水深度开始时间逐渐变小。工况一时在降雨1 h 10 min左右开始积水,在1 h 40 min左右积水深度达到最大,为0.27 m。工况二在开始降雨后50 min开始积水,在1 h 40 min左右达到最大,为0.45 m。工况三在开始降雨后12 h开始积水,13 h后积水深度达到最大,为0.22 m。工况四时在开始降雨后约6 h开始积水,约13 h积水深度达到最大,为0.34 m。四种工况下最大积水深度工况二>工况四>工况一>工况三,最大积水深度为0.45 m。

点位2在四种工况均存在积水(见图13)。从积水过程来看,均在降雨开始一段时间后开始积水,随着降雨持续进行,至降雨结束时刻,积水深度达到最

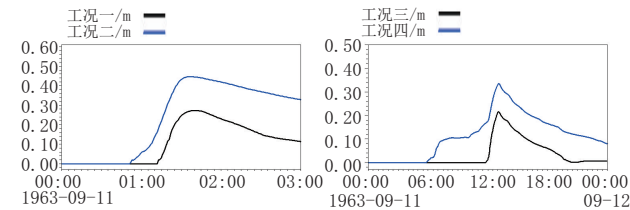


图 12 闻居路点位 1 不同工况下的积水过程

大值。工况一在开始降雨后 1 h 40 min 开始积水,至降雨结束时刻积水深度最大,为 0.06 m。工况二时在开始降雨后约 1 h 30 min 开始积水,最大积水深度为 0.16 m。工况三在开始降雨后 13 h 30 min 开始积水,最大积水深度为 0.08 m。工况四时在开始降雨后约 13 h 开始积水,最大积水深度为 0.15 m。四种工况下最大积水深度工况二>工况四>工况三>工况一,最大积水深度为 0.16 m。

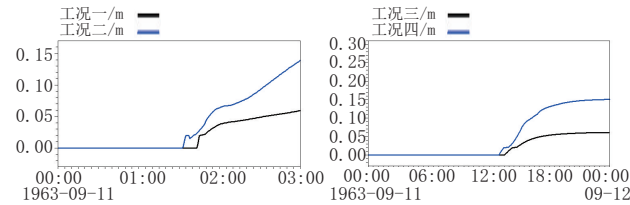


图 13 闻居路点位 2 不同工况下的积水过程

点位 3 在四种工况均存在积水(见图 14),积水过程的变化趋势和点位 1 类似。工况一在降雨 1 h 20 min 时开始积水,而后随着时间推移,积水深度逐渐增加,在降雨 2 h 30 min 时达到最大,为 0.27 m。工况二在开始降雨后 48 min 开始积水,在 2 h 15 min 左右积水深度达到最大,为 0.40 m。工况三从开始降雨后 6 h 开始积水,在降雨后 14 h 积水深度达到最大,为 0.31 m。工况四开始降雨后 2 h 20 min 开始积水,在 13 h 20 min 达到最大值,为 0.37 m。四种工况下最大积水深度工况二>工况四>工况三>工况一,最大积水深度为 0.40 m。

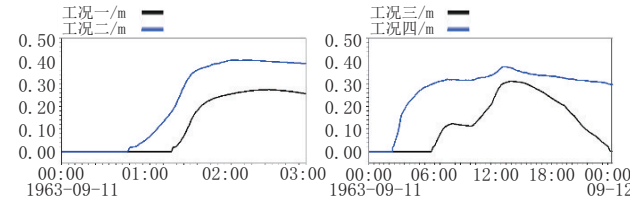


图 14 闻居路点位 3 不同工况下的积水过程

点位 4 在工况二和工况四存在积水(见图 15)。积水过程的变化趋势和点位 2 类似。工况二在开始降雨后 1 h 30 min 开始积水,而后积水深度逐渐增加,至降雨结束时刻水深达到最大,为 0.20 m。工况四在开始降雨后约 2 h 20 min 开始积水,在 14h 达到最大值,为 0.34 m。

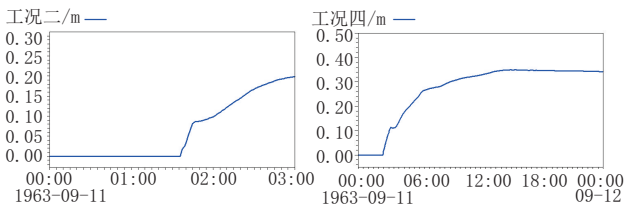


图 15 闻居路点位 4 不同工况下的积水过程

点位 5 仅在工况四下存在积水(见图 16)。在降雨后 6 h 30 min 开始积水,在 15 h 20 min 出现最大水深 0.23 m,随后积水深度随着降雨的进行有小幅降低。

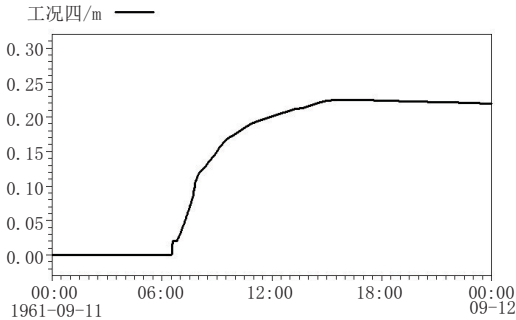


图 16 闻居路点位 5 不同工况下的积水过程

2.3 金闻路站结果分析

从图 17 中可以看出,金闻路在四种工况下无明显积水,仅在点位 1 以西较远处出现积水,且积水深度较浅。从地形上来看,金闻路地铁站附近区域地势相对较高,不易积水,即西侧区域的积水对点位 1 影响较小。

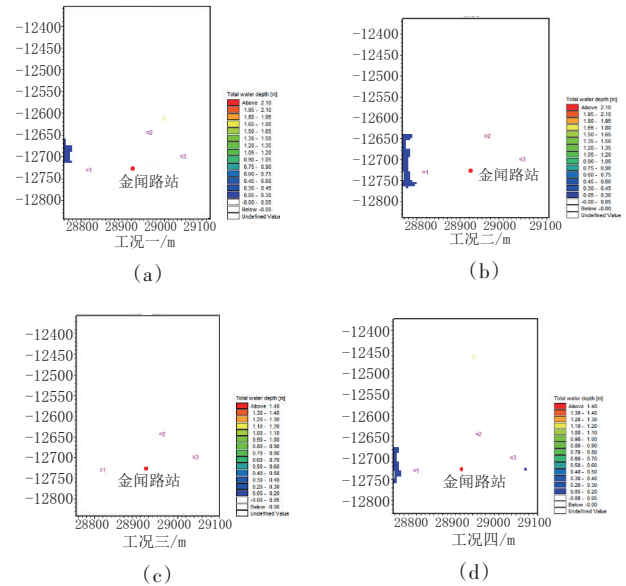


图 17 金闻路站在不同工况的积水情况

2.4 总结分析

从四种工况的分析结果(见表 2)来看,此模型研究的 3 个站点中,施新路在短历时强降雨条件时存在积水,长历时降雨时工况四时存在积水;6 个

研究点位中,仅点位 1 附近存在积水,最大积水深度为 0.27 m。闻居路站在短历时强降雨以及长历时强降雨的情况下均存在积水,5 个研究点位附近均可能积水,闻居路点位 1 在四种工况最大积水深度为 0.45 m,点位 2 为 0.16 m,点位 3 为 0.4 m,点位 4 为 0.34 m,点位 5 为 0.23 m,点位 5(主变)仅在工况四存在积水,积水深度为 0.23 m。金闻路站在 4 种降雨情况下均无明显积水;此次研究的 3 个站点中,闻居路的受淹情况最为严重,最大积水深度达到 0.45 m。

表 2 各站点 4 种工况最大积水深度统计单位:m

	点位	1	2	3	4	5	6	站点最大
施新路站	工况一	0.13	/	/	/	/	/	0.27
	工况二	0.21	/	/	/	/	/	
	工况三	/	/	/	/	/	/	
	工况四	0.27	/	/		/	/	
	最大值	0.27	0	0	0	0	0	
闻居路站	工况一	0.27	0.06	0.27	/	/	—	0.45
	工况二	0.45	0.16	0.4	0.2		—	
	工况三	0.22	0.08	0.31	/	/	—	
	工况四	0.34	0.15	0.37	0.34	0.23	—	
	最大值	0.45	0.16	0.4	0.34	0.23	—	
金闻路站	工况一	/	/	/	—	—	—	0
	工况二	/	/	/	—	—	—	
	工况三	/	/	/	—	—	—	
	工况四	/	/	/	—	—	—	
	最大值	0	0	0	—	—	—	

注:闻居路站的 5 号研究点位为主变的位置,“/”表示无积水,“—”表示无工况无此点位。

3 结 论

本文利用 Mike+Flood 软件搭建了规划建设上海地铁 21 号线东延伸段的施新路站至金闻路车站区域内涝模型,并对区域内重点点位进行了分析。研究结论如下:施新路站仅有一个点位存在积水,最大积水深度为 0.17 m;闻居路站附近的点位均可能存在积水,最大积水深度为 0.45 m,主变附近最大积水深度 0.23 m;金闻路站附近无明显积水区域。相关研究结果可为地铁的规划建设提供依据。

参考文献:

[1] 国务院灾害调查组.河南郑州“7·20”特大暴雨灾害调查报告[R].北京:国务院灾害调查组,2022.

[2] 郭元,王路瑶,陈能志,等.极端降水下的城市地表-地下空间洪涝过程模拟[J].水科学进展,2023,34(2):209-217.

[3] 叶陈雷,徐宗学,雷晓辉,等.基于 SWMM 和 InfoWorks ICM 的城市街区洪涝模拟与分析[J].水资源保护,2023,39(2):87-94.

[4] 叶陈雷,徐宗学,雷晓辉,等.基于 InfoWorks ICM 的城市洪涝模拟及其风险分析——以福州市白马河片区为例[J].北京师范大学学报(自然科学版),2021,57(6):784-793.

[5] 黄继文,王京晶,徐宗学,等.基于元胞自动机技术的城市洪涝过程模拟——以济南市主城区为例[J].北京师范大学学报(自然科学版),2023,59(3):425-432.

[6] 王川涛,黄丽娇,郑琦,等.基于 MIKE FLOOD 的南方滨海新城雨水管网系统评估[J].给水排水,2022,58(增刊1):425-431,439.

[7] 上海市水务规划设计研究院.上海城市内涝风险区域报告[R].上海:上海市水务规划设计研究院,2023.

[8] DB31/T—1043,暴雨强度公式与设计雨型标准[S].

[9] DB31/T 1121—2018,治涝标准[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:roadfloodbridge@163.com



• 144 •