

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.06.005

关于城市轨道交通站点出入口洪涝风险评价的思考

王开春, 王连接

(厦门市城市规划设计研究院有限公司, 福建 厦门 361012)

摘要: 近年来极端天气下暴雨致使雨水从交通站点出入口倒灌进入地下轨道的事件频繁发生,不仅严重影响城市轨道交通的运营,还可能引起重大的人员伤亡及经济损失。为保障城市轨道交通不发生积水内涝事件,需精确预测不同降雨条件下城市轨道交通站点出入口的洪涝风险,科学评价出入口抵御洪涝风险的能力。以厦门市某城市轨道交通站点出入口洪涝风险评价为例,采用传统的水文水利分析法进行防洪风险评价,并使用城市雨洪模型进行排涝风险评价,通过水利部门防洪评价与市政部门排涝评价结果对比,探索与思考城市防洪与排涝间的差异,以期为国内外城市轨道交通站点洪涝风险评价提供借鉴。

关键词: 雨洪模型; 防洪评价; 排涝评价; 洪涝风险

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2025)06-0034-07

Reflections on Flood Risk Assessment at the Entrances and Exits of Urban Rail Transit Stations

WANG Kai-chun, WANG Lian-jie

(Xiamen Urban Planning & Design Institute Co. Ltd., Xiamen 361012, China)

Abstract: In recent years, heavy rain during extreme weather events has frequently caused rainwater to pour from the entrances and exits of transit stations into underground rail systems. This not only seriously affects the operation of urban rail transit, but may also cause serious casualties and economic losses. In order to protect the urban rail transit systems from waterlogging, it is necessary to accurately predict the flood risks at the entrances and exits of urban rail transit stations under different rainfall conditions, and scientifically evaluate their ability to resist such risks. Taking the flood risk assessment at the entrance and exit of an urban rail transit station in Xiamen as an example, this paper adopts traditional hydrological analysis methods to conduct flood control risk assessments and uses an urban rain-flood model to evaluate flood control risks. By comparing the flood control evaluation results from the water conservancy department with the flood drainage evaluation results from the municipal department, this paper explores and analyzes the differences between urban flood control and flood drainage. The findings are expected to provide guidance for flood risk assessment of urban rail transit stations both domestically and internationally.

Key words: stormwater model; flood control evaluation; evaluation of flood drainage; flood risk

在全球气候变暖的背景下,极端自然灾害发生的频率越来越高。由于排涝设施不完善、地势低洼、城市管网标准偏低等多种因素,当城市发生较长历时的暴雨时,易形成局部区域内涝。当城市轨道交通站点出入口处于内涝风险区域时,积水将从出入口汇聚于城市轨道交通站内,造成站内水位急剧抬高。由于城市轨道交通站点是一个相对封闭的空间,如不采取相关措施,则大量涝水涌入,不仅严重影响地铁的运营,还可能引起重大的人员伤亡及经济损失。因此,对城市轨道交通站点出入口的洪涝风险进行评价尤其重要。

目前,城市轨道交通防洪评价技术已经较为成熟,一般在工程建设前期就会完成相关的专项论证,主要采用传统的水文水利计算进行防洪评价。然而,排涝论证是交通运输部的新要求,其论证报告采用的技术手段仍有待思考与探索。目前,相关研究大多采用综合风险评价模型对城市轨道交通站点进行评价^[1-8],然而尚未有相关学者专门结合实际案例,探讨防洪评价与内涝评价之间的差异性。鉴于此,以厦门市某城市轨道交通站点洪涝风险评价为例,采用传统的水文水利分析法进行防洪评价分析,针对排涝评价则使用城市雨洪模型进行风险分析,通过水利部门防洪评价与市政部门排涝评价之间的差异对比,对城市轨道交通站点洪涝风险评价的方法进行探索与思考。

1 项目概况

1.1 评价对象

厦门市轨道交通6号线集同段智谷云谷站为厦门市轨道交通6号线集美至同安段工程的第7座车站,设于滨海西大道与规划滨海五路十字路口的跨路口处,沿滨海西大道南北向布置,为地下二层14 m岛式车站,车站共设4个出入口,同时与周边4个地块(I-3、II-3、I-5、II-5)地下连通,具体见图1。

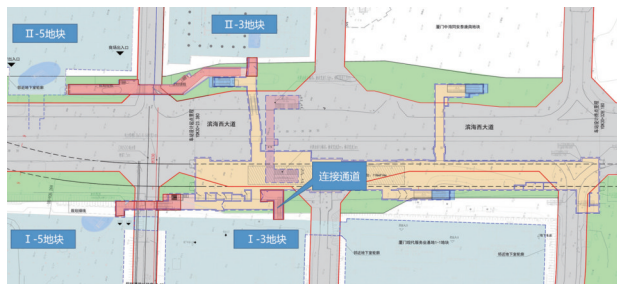


图1 智谷云谷站出入口平面布置

Fig.1 Layout of entrance and exit of Zhigu Yungu station

1.2 规划标准

根据《城市轨道交通工程项目建设标准》(建标104—2008),考虑到厦门城市发展的需要和本地的实际情况,轨道交通防洪排涝设计标准确定为100年一遇,校核标准为200年一遇洪水。因此,根据地铁站相关设计标准及要求,地下车站出入口应按所在区域的百年一遇防洪水位设防,其室外地面设计标高应高于周边场地现状标高和暴雨基准重现期积水标高,临近出入口的场地需做好竖向排水设计,并满足排涝报告中设防水位的要求。然而,地下车站出入口所在4个地块前期设计采用市政50年一遇的城市内涝设计标准,考虑到城市轨道交通的安全性,需对城市轨道交通站点进行防洪排涝评价,确保在100年一遇的设计标准内不会发生大量涝水从连通的出入口涌进城市轨道交通站点。

2 流域特征

2.1 地形地貌

流域内用地整体高程在10 m以下,地势较为平坦。轨道交通站点所在位置沿海一侧多为填海造地形成,坡度均在10%以下,适宜建设。地形地貌略为复杂,整体上呈西高东低趋势,片区内有两处小型山体,主要集中在南部,高程约30 m。

2.2 排水分区

轨道交通站点所在位置主要涉及排东西溪分区、排埭头溪分区及排海分区(见图2),流域内主要防洪水系为埭头溪,现状防洪标准达到百年一遇。流域主要防潮岸线分布于东北部东西溪入海口区域,采用路堤结合的方式进行防潮体系的建设。



图2 流域分析

Fig.2 Analysis of the watershed

2.3 洪潮水位

轨道交通站点距东坑站位置较近,采用东坑站的设

计潮水位,多年平均高潮位 3.91 m,50 年一遇设计潮位 4.61 m,100 年一遇设计潮位 4.75 m。东西溪入海口以防潮闸为界,水闸内部按河道防洪标准进行防洪体系构建,水闸外部则按照防潮标准进行建设。当前轨道交通站点所在位置为东西溪入海口段岸线,防潮标准达到 100 年一遇标准,雨水直排入海受潮水位顶托控制。

埭头溪位于同安区西柯镇境内,集雨面积 44.84 km²,干流全长 16.76 km。目前,埭头溪已经过综合整治,上游实施分流,将 28 km²集雨往东分流直排东西溪入海口。故现状埭头溪满足 100 年一遇防洪标准,其未分流段防洪水位约 2.28~2.40 m。

2.4 防洪排涝设施

智谷云谷站所在流域内的防洪排涝设施分布见图 3。



图3 防洪排涝设施分布

Fig.3 Distribution of flood control and drainage facilities

流域内现状共有 3 座排涝泵站,分别为下柯排涝泵站、吕厝排涝泵站、埭头溪下游排涝泵站。下柯排涝泵站及吕厝排涝泵站为村庄排涝泵站,主要用于村庄排除涝水。埭头溪下游排涝泵站按照 100 年一遇排涝标准配备,为区域性防洪泵站,与埭头溪水闸联动,用于保障埭头溪的防洪能力,降低埭头溪的防洪水位。

流域内与防洪防潮相关的水闸共有 3 座。其中梧侣溪水闸和泥山溪水闸分别位于梧侣溪、泥山溪与高水高排渠交接位置,洪水期拦截上游洪水,使埭头溪的上游洪水通过高水高排排往东西溪浦声支流;在非洪水期关闸,泥山溪、梧侣溪及高水高排渠道内保持一定的景观水位。流域内有防潮闸 1 座,为埭头溪下游水闸,满足 100 年一遇防潮标准。

2.5 洪涝风险分析

① 洪潮水位顶托。厦门市溪流为典型的山溪型小溪流,源短流急,河床浅,洪水骤涨骤落;上游山体支流坡度大,山洪汇水较快。极端天气带来的短时强降雨若恰逢海水高潮位,低洼地区在遭遇排水河道洪水高水位或海潮高潮位时,形成顶托,将影响泄洪速度,导致局部地区排水压力增大。暴雨时洪水水面线壅高,对上游管道进行顶托,造成整体防洪能力不足,周边场地积涝。

② 区域性排水能力不足。在快速城市化过程中,雨水集水面积增大,城市硬化面积(如屋面、铺砌路面等)增加,雨水下渗减少,汇水径流系数增加,雨水管网系统荷载增加。新城建设时经常忽视防涝系统的梳理,随意侵占、填埋排水冲沟及调蓄洼地等水系空间,经常采用雨水管道代替水系、明渠作为片区的排水通道。由于管网设计标高较低,在超过管道设计标准时,很容易导致城市积水不能及时排除,形成城市内涝。

3 防洪计算

3.1 水文水利模型概化

城市轨道交通站点防洪评价主要根据周围地势地形及排涝设施,计算可能的最高洪涝水位,计算方法为:通过分析洪水路径,计算汇入站点设计洪峰流量,根据出水口宽度,采用曼宁公式计算内涝水深,再根据区内地面高程确定内涝水位。由于各站点的出入口内涝水深均概化为过流道路地面以上的水深,对于各出入口的地面高程与道路地面高程有变化的,依据实际情况进行同理增减调整(如低洼处低于涝水位宜增、高于涝水位宜减)。进出口最低防洪高程与概化行洪通道高程示意图 4。

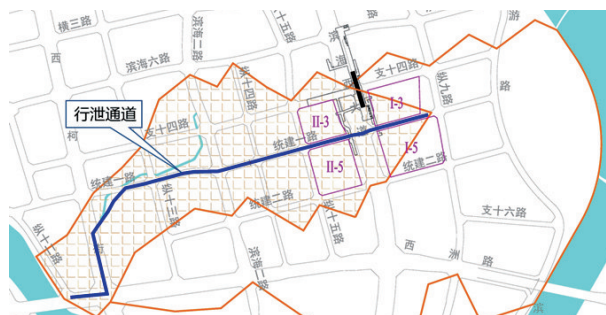


图4 行泄通道示意

Fig.4 Schematic diagram of the drainage channel

3.2 洪峰流量计算

采用华东特小流域法对模型模拟的洪峰流量及峰值时刻进行合理性分析,具体公式如下:

$$Q = 0.278 \frac{h}{\tau} \cdot F \quad (1)$$

$$\tau = 0.278 \frac{L}{mJ^{1/3}Q^{1/4}} \quad (2)$$

式中: Q 为设计洪峰流量, m^3/s ; h 为汇流时段内的最大降水量, mm ; τ 为流域汇流时间, h ; F 为流域面积, km^2 ; m 为汇流参数; L 为设计断面以上主河长, km ; J 为设计断面河道平均坡降, %。

通过分析洪水路径, 防洪评价汇流面积约 0.4167 km^2 , 河道长 1483 m , 坡降为 1.89% , 经计算

汇入站点 100 年一遇设计洪峰流量为 $7.95 \text{ m}^3/\text{s}$, 200 年一遇洪峰流量为 $8.32 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

3.3 涝水位计算

采用曼宁公式推算涝水位, 计算公式如下:

$$Q = bh'C(Ri)^{0.5} \quad (3)$$

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{1}{6}} \quad (4)$$

式中: b 为出水口宽度, m ; h' 为水深, m ; C 为谢才系数; R 为水力半径; i 为水力坡度; n 为糙率。

考虑到水文水利模型的概化细节, I-3 地块、I-5 地块、II-3 地块、II-5 地块采用的计算成果基本一致, 其 100 年一遇内涝水深为 0.295 m , 200 年一遇内涝水深为 0.314 m , 具体计算结果见表 1。

表 1 防洪评价计算成果

Tab.1 Calculation results of flood control evaluation

项目	出水口 宽度/m	100 年一遇洪峰流 量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	100 年一遇内涝 水深/m	200 年一遇洪峰流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	200 年一遇内 涝水深/m
I-3 地块、I-5 地块、II-3 地块、II-5 地块	18	7.95	0.295	7.95	0.314

4 排涝模拟

4.1 雨洪模型概化

InfoWorks ICM 能完整地将城市排水管网、河道一维水力模型与城市/流域二维洪涝淹没模型结合在一起, 实现在单个模拟引擎内组合这些模型引擎及功能。InfoWorks ICM 可以完整地模拟城市雨水循环系统, 实现城市排水管网系统模型与河道模型的整合, 更为真实地模拟城市排水系统与地表收纳水体之间的交互作用。InfoWorks ICM 软件可以详细划分集水区, 精确识别下垫面, 并将下垫面分配到每个集水分区, 实现雨水径流的精确模拟。

根据片区溯源排查数据、雨水竣工图等资料, 利用模型软件将其导入梳理好的排水管网, 并结合地形高程、雨水分区、道路、水系划分子集水区。通过建立整个流域的雨水排水二维模型, 充分考虑降雨超过管道设计标准时地面雨水径流汇流至低洼处的情况, 以精确预测极端天气下轨道交通站点的洪涝风险。

4.2 模型计算

4.2.1 数据输入

① 降雨事件。在河道水位和潮水位影响时, 通过模拟高频率短历时降雨下的城市积水情况, 分析内涝风险区域。模拟该区域在遭遇 100 年一遇、200 年一遇设计降雨时内涝风险情况, 选用芝加哥

雨型和 Pilgrim & Cordery 法设计雨型的 2 h 降雨过程。

② 径流系数。采用 Horton 渗透模型, 软件的汇流模型为 SWMM 非线性水库模型, 通过精确识别下垫面, 并结合不同下垫面的径流系数, 准确模拟降雨的产汇流。

4.2.2 水动力模拟

采用数学模型对雨水管网中的水流流动状态进行求解。针对明渠和重力流, 采用完整求解圣·维南方程组模拟不同工况下的雨水流动情况。在内涝积水模拟时, 考虑壅水、压力流、顶托等因素对管道排水能力的影响, 采用动力波法完整求解圣·维南方程组, 动态模拟管网系统处于不同流态的水流运动。

4.2.3 模型率定与校验

模型率定主要采用基础数据进行检查。通过统计分析方法, 评估收集的基础数据和实测数据, 对明显偏离实际的数据进行讨论和修正, 从而减少因数据不准确而造成的误差。模型拓扑校验主要根据收集的数据初步建模, 通过模型检验数据的正确性, 使得模型与实际相符。降雨径流模型率定通过比较模型初步计算结果与实测数据, 率定模型的关键参数, 使得模型计算出的模拟值与实测值的误差在允许范围内。

4.3 内涝计算深度

积水风险模拟采用 100 年及 200 年一遇 2 h 短历时设计降雨为输入条件,以多年平均潮水位作为潮位边界条件,分析片区地表内涝水深,以此作为城市轨道交通站点防涝高程的重要依据。智谷云谷站内涝积水深度分布见图 5。

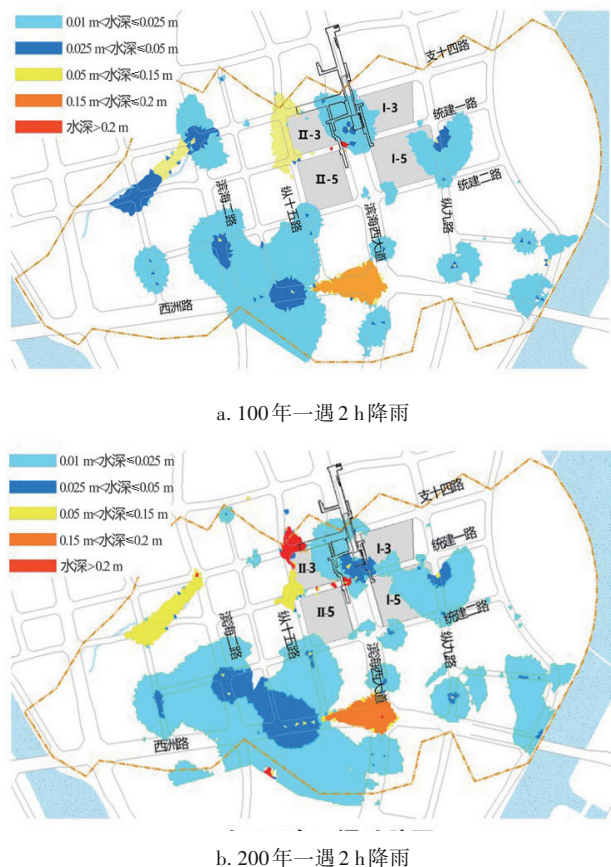


图 5 内涝积水深度分布

Fig.5 Distribution of waterlogging depth

根据图 5 计算结果, I-3 地块、I-5 地块、II-3 地块其百年一遇最大内涝水位均低于 0.15 m,满足城市内涝防治标准。而 II-5 地块最大内涝积水深度达 0.460 m (见表 2),无法满足城市内涝防治标准,存在较大的内涝风险。

表 2 排涝评价计算成果

Tab.2 Calculation results of waterlogging evaluation

项目	100 年一遇内涝水位	200 年一遇内涝水位
I-3 地块	0.015	0.063
I-5 地块	0.016	0.026
II-3 地块	0.068	0.068
II-5 地块	0.460	0.713

5 洪涝风险评价

5.1 最低防洪高程计算方法

城市轨道交通站点设计单位根据各站点行洪通道的防洪高程自行制定站点门厅的高程,进出口最低防洪高程与概化行洪通道高程示意图 6,其所需的最低防洪高程计算公式为:站点门厅所需最低防洪高程=现状行洪通道高程+涝水深+安全超高。

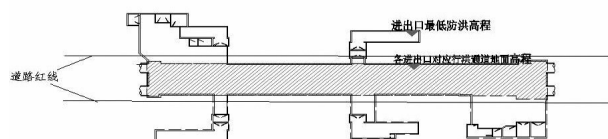


图 6 高程关系示意

Fig.6 Schematic diagram of elevation relationship

厦门市发布的《加强建设项目排水防涝能力规划指引》明确规定,当产生 50 年一遇标准及以下暴雨时,城市主干道以上道路正常通车。从工程安全考虑,100 年一遇内涝水深低于 25 cm 的按 25 cm 算,200 年一遇内涝水深低于 30 cm 的按 30 cm 算。

实际计算城市轨道交通站点所需最低防洪高程时,应根据地形考虑两种情况,即站点位于低处和站点位于高处两种。站点位置示意图 7。

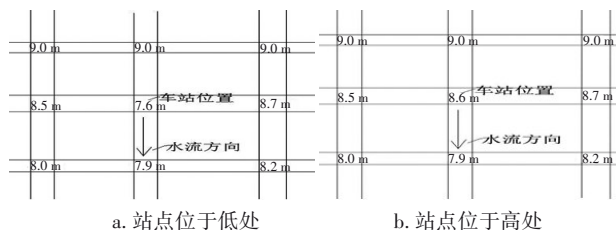


图 7 站点位置示意

Fig.7 Schematic diagram of site location

① 站点位于低处。如图 7(a)所示,车站位置的高程为 7.6 m,行洪通道高处高程为 7.9 m,大于车站高程。因此,车站内涝水位=计算出的内涝水深+安全超高+行洪通道高处高程。

② 站点位于高处。如图 7(b)所示,车站位置的高程为 8.6 m,出水口位置的高程为 7.9 m,小于车站高程。因此,车站内涝水位=计算出的内涝水深+安全超高+站点处行洪通道高程。

5.2 洪涝风险评价分析

对 I-3 地块、I-5 地块、II-3 地块、II-5 地块出入口竖向设计成果进行复核,在 100 年一遇设计标准下, I-3 地块、I-5 地块、II-5 地块连通口出

入口地面高程均满足防洪水位要求(见表3)。Ⅱ-3地块竖向高程无法满足防洪排涝要求,故需采取防淹闸槽等工程措施,槽高可根据当地最高积水水位确定,且不低于 550 mm,同时出入口周边应设置不低于 1 m 的防挡墙。

根据 200 年一遇校核城市轨道交通站点的地面高程,Ⅰ-3 地块、Ⅰ-5 地块、Ⅱ-5 地块连通口出入口的地面高程均满足防洪水位要求,Ⅱ-3 地块竖向高程无法满足防洪排涝要求,故Ⅱ-3 地块需采取防淹闸槽等工程措施(见表4)。

表 3 洪涝风险评价结果(100 年一遇设计)

Tab.3 Evaluation results of flood control and drainage risk (100-year recurrence interval design) m

项目	人行道标高	行洪通道高程	安全超高	地块连通口竖向标高	防洪评价最低设计标高	排涝评价最低设计标高	是否满足要求
Ⅰ-3 地块	6.40	6.25	0.50	7.10	7.04	6.99	是
Ⅰ-5 地块	6.40	6.25	0.50	7.10	7.04	6.99	是
Ⅱ-3 地块	6.05	6.06	0.50	6.38(设防洪挡板)	6.86	6.82	否
Ⅱ-5 地块	6.05	5.90	0.50	6.88	6.69	6.86	是

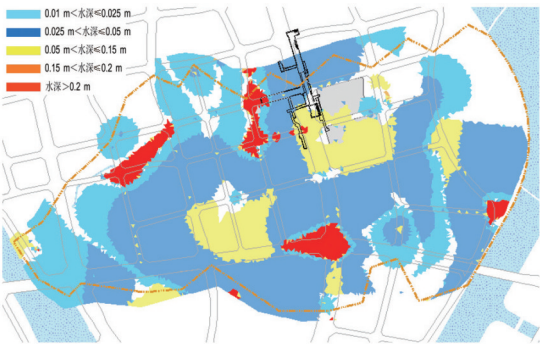
表 4 洪涝风险评价结果(200 年一遇校核)

Tab.4 Evaluation results of flood control and drainage risk (200-year recurrence interval check) m

项目	人行道标高	行洪通道高程	安全超高	地块连通口竖向标高	防洪评价最低设计标高	排涝评价最低设计标高	是否满足要求
Ⅰ-3 地块	6.40	6.25	0	7.10	6.70	6.70	是
Ⅰ-5 地块	6.40	6.25	0	7.10	6.70	6.70	是
Ⅱ-3 地块	6.05	6.06	0	6.38(设防洪挡板)	6.38	6.36	否
Ⅱ-5 地块	6.05	5.90	0	6.88	6.35	6.62	是

5.3 超标风险评价

充分考虑降雨超过管道设计标准时,地面雨水径流可能汇流至轨道交通站点出入口,从而造成洪涝风险,因此需对整个流域在超标降雨工况下的洪涝风险进行评估。通过模型进行超标降雨模拟,采用 1 000 年一遇 2 h 短历时设计降雨及郑州“7·20”事件 24 h 设计降雨作为输入条件,以埭头溪 100 年一遇水位为河道水位边界条件,以多年平均潮水位作为潮位边界条件,分析片区地表内涝水深,并将其作为地铁站点超标降雨应对策略制定的重要依据。分析结果(见图8)表明,整个交通站点出入口最大积水深度不超过 0.15 m,满足内涝防治安全要求。



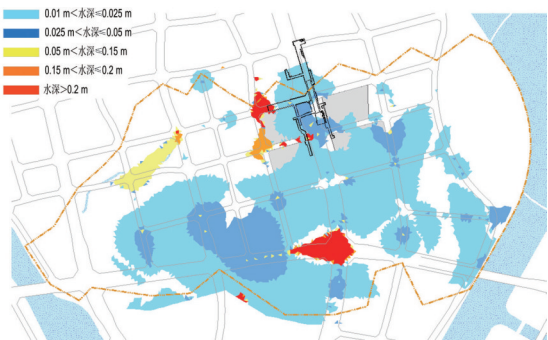
b. 郑州“7·20”事件 24 h 设计降雨

图 8 超标降雨内涝积水风险示意

Fig.8 Schematic diagram of waterlogging risk caused by excessive rainfall

6 结语

以厦门市某城市轨道交通站点洪涝风险评价为例,采用传统的水文水利分析法进行防洪风险评价,并使用城市雨洪模型进行排涝风险评价。研究发现,传统的水文水利分析法由于过于概化现状排水条件,无法真实反映轨道交通站点的积水情况,而采用城市雨洪模型,可以将排水分区、地形竖向、雨水管网、洪潮水位等进行耦合计算,并采用多种降雨工况进行模拟,能精确预测城市轨道交通站点



a. 1 000 年一遇 2 h 降雨

出入口的内涝积水情况。

参考文献:

- [1] 吕翠美,杜发兴,董晓华. 地铁站点防洪排涝风险评估研究[J]. 地下空间与工程学报, 2013, 9(1): 190-196.
- LÜ Cuimei, DU Faxing, DONG Xiaohua. Flood control and waterlogging risk assessment of metro stations [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2013, 9(1): 190-196(in Chinese).
- [2] 周可,雷崇,王明文,等. 城市轨道交通站点内涝成因分析及策略[J]. 交通科技与管理, 2024, 5(3): 130-132.
- ZHOU Ke, LEI Chong, WANG Mingwen, *et al.* Cause analysis and strategy of waterlogging in urban rail transit station [J]. Transportation Science and Management, 2024, 5(3): 130-132(in Chinese).
- [3] 李幸,李虎,姚晨晨,等. 地铁车站出入口防淹措施分析[J]. 城市道桥与防洪, 2023(10): 125-128.
- LI Xing, LI Hu, YAO Chenchen, *et al.* Analysis on anti-waterlogging measures for gateway of metro station [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2023(10): 125-128(in Chinese).
- [4] 姚新丽,陈永进,刘丰嘉. 关于城市地下轨道交通防内涝论证的思考[C]//中国城市规划学会. 人民城市, 规划赋能——2023中国城市规划年会论文集(03城市工程规划). 杭州:中国城市规划学会, 2023:111-116.
- YAO Xinli, CHEN Yongjin, LIU Fengjia. Thinking on the demonstration of waterlogging prevention in urban underground rail transit [C]//Urban Planning Society of China. People's City, Planning Empowerment—Proceedings of China Urban Planning Annual

Conference 2023 (03 Urban Engineering Planning). Hangzhou: Urban Planning Society of China, 2023: 111-116(in Chinese).

- [5] 陈佳,刘敬严,邓曦. 基于IOWA-VAC的地铁车站暴雨内涝脆弱性评价[J]. 水电能源科学, 2023, 41(4): 88-91,60.
- CHEN Jia, LIU Jingyan, DENG Xi. Vulnerability assessment of heavy rainfall and waterlogging in subway stations based on IOWA-VAC [J]. Water Resources and Power, 2023, 41(4): 88-91,60(in Chinese).
- [6] 季薪箐. 郑州市地铁洪涝灾害综合风险评价[D]. 郑州:河南大学, 2023.
- Ji Xinqing. Comprehensive Risk Assessment of Flooding in Zhengzhou Subway System [D]. Zhengzhou: Henan University, 2023(in Chinese).
- [7] 蔡玥,邹煜琳,韩金定,等. 西安城市轨道交通内涝风险思考[J]. 运输经理世界, 2022(18): 1-3.
- CAI Yue, ZOU Yulin, HAN Jinding, *et al.* Thinking about the risk of waterlogging in Xi'an urban rail transit [J]. Transport Business China, 2022(18): 1-3(in Chinese).
- [8] 高强. 天津市中心城区地铁车站暴雨内涝灾害风险评估[D]. 天津:天津师范大学, 2022.
- GAO Qiang. Waterlogging Risk Assessment of Subway Station in the Central City of Tianjin [D]. Tianjin: Tianjin Normal University, 2022(in Chinese).

作者简介:王开春(1970—),男,福建莆田人,硕士,教授级高级工程师,主要从事海绵城市、生态修复及排水防涝规划与设计工作。

E-mail:xmwke@163.com

收稿日期:2024-04-17

修回日期:2024-07-25

(编辑:丁彩娟)

珍惜地下水,珍视隐藏的资源