

轨道交通运营线路防汛安全评估 关键技术研究及应用

王 岩¹, 徐 敏², 马秋菊¹, 侯 盼², 陈青青², 程泽农³, 王 洁², 朱丽丽²

(1. 南京地铁运营有限责任公司, 南京 210012; 2. 南京市水利规划设计院股份有限公司, 南京 210006;
3. 交通运输部科学研究院城市交通与轨道交通研究中心, 北京 100029)

摘 要: 针对轨道交通运营线路运营期防洪安全评估问题, 以南京地铁运营线路为例, 对运营线路5类场所(地铁车站、车辆基地、变电所、区间风井、车辆出入隧道洞口)构建轨道交通运营线路运营期防汛安全评估关键技术体系, 主要包括划分防汛分区、分析致灾因素、建立风险评估矩阵、提出防汛风险防控措施。基于构建的关键技术体系, 将南京地铁运营线路划分为34个1级分区、47个2级分区; 轨道交通运营线路面临的致灾因素分为外洪、内涝、山洪、片区排水、出入口设置高度、挡排水设施6个方面; 根据防汛风险评估判定成果, 南京地铁运营线路共有重大风险点位21个、较大风险点位112个、一般风险点位201个、较小风险点位61个, 重大风险点位主要集中在1号线、2号线、3号线及10号线; 针对不同风险等级和点位类型, 提出对应的风险防控措施。研究成果以期为保证城市轨道交通运营线路防汛安全提供理论指导。

关键词: 轨道交通; 运营线路; 防汛安全评估; 防汛分区; 致灾因素

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2026)01-0150-08

Research and Application of Key Technologies for Flood Control Safety Assessment of Rail Transit Operating Lines

WANG Yan¹, XU Min², MA Qiuju¹, HOU Pan², CHEN Qingqing², CHENG Zenong³, WANG Jie², ZHU Lili²

(1. Nanjing Metro Operation Co., Ltd., Nanjing 210012; 2. Nanjing Water Planning and Designing Institute Co., Ltd., Nanjing 210006; 3. Center of Urban Transportation and Rail Transit, China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029)

Abstract: Focusing on the flood prevention safety assessment for rail transit operating lines during their operational period, this study takes the Nanjing rail transit operating lines as an example to establish a key technical system for flood prevention safety assessment during the operational period of these lines. This system encompasses five types of sites along the operating lines, including subway stations, vehicle depots, substations, section ventilation shafts, and tunnel portals for vehicle access. The key technical system primarily involves dividing flood prevention zones, analyzing hazard factors, establishing a risk assessment matrix, and proposing flood prevention risk control measures. Based on this system, the Nanjing rail transit operating lines are divided into 34 level-I zones and 47 level-II zones. The hazard factors faced by the rail transit operating lines are categorized

收稿日期: 2025-04-23 修回日期: 2025-10-14

第一作者: 王岩, 男, 本科, 高级工程师, 主要从事地铁运营期安全管理工作, 837130194@qq.com

通信作者: 徐敏, 女, 硕士, 工程师, 主要从事水文与水资源工作, minxu0917@163.com

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费项目(20234810)

引用格式: 王岩, 徐敏, 马秋菊, 等. 轨道交通运营线路防汛安全评估关键技术研究及应用[J]. 都市轨道交通, 2026, 39(1): 150–157.

WANG Yan, XU Min, MA Qiuju, et al. Research and application of key technologies for flood control safety assessment of rail transit operating lines[J]. Urban rapid rail transit, 2026, 39(1): 150–157.

into six aspects: external floods, waterlogging, flash floods, local drainage, entrances and exits, and drainage/blocking facilities. Results show that there are 21 critical risk points, 112 significant risk points, 201 moderate risk points, and 61 minor risk points along the lines. The critical risk points are primarily concentrated in Lines 1, 2, 3, and 10. Corresponding risk control measures are proposed for different risk levels and types of points. The research findings provide theoretical guidance for ensuring flood prevention safety in urban rail transit operating lines.

Keywords: rail transit; operating line; flood control safety assessment; flood control zone; hazard factors

受全球气候变暖的影响,近年来我国各地极端天气频出,局地暴雨强度明显加大,洪涝灾害频发^[1-2]。轨道交通系统作为重要的交通方式,大部分工程位于地下,一旦遭遇暴雨洪涝灾害,将造成严重损失。2021年7月,河南省出现极端特大暴雨,郑州等多个城市发生严重内涝,郑州地铁5号线发生雨水倒灌等重大险情^[3]。2015年、2016年南京地铁3号线秣周东路站、明发广场站等车站曾发生防汛险情,造成局部站点停运。

开展城市轨道交通防汛安全评估,能够全面了解轨道交通防汛薄弱环节,对防洪减灾具有重要意义。孔祥睿^[4]研究分析了地铁车站及正线发生水淹事故的原因,并提出具体防汛准备和应急策略。余伟之^[5]基于地铁车站积水倒灌风险、脆弱性、防灾抗灾能力三者间作用关系,提出地铁车站洪涝灾害预警值计算方法以及预警等级判别标准。代杰等^[6]从气象指标、下垫面指标和轨道交通指标3个准则层选取10个指标,通过AHP-熵权法组合赋权对山东省轨道交通线路和车站洪灾危险性进行了评价,并提出洪灾防控策略与措施建议。刘欢^[7]基于郑州地铁“7·20”重大事故,分析极端天气城市轨道交通面临的风险,并从预警响应机制、风险隐患管控、应急处置等方面梳理防汛措施。

然而,城市轨道交通系统不仅包括地铁车站,还包含车辆基地、变电所、区间风井、车辆出入隧道洞口等多种不同类型场所。不同场所的防汛要求存在差异,地下空间防汛风险仍存在较大的不确定性。目前,尚未形成统一的评价分析框架和模型。同时,城市地铁覆盖范围广,城市水系星罗棋布、地铁点位覆盖率高,防洪涝战线长,防汛安全评估难度大。地铁管理与防洪排涝格局不匹配,地铁不同点位所面临的洪涝致灾因素不同,上述问题均为系统全面地评估轨道交通防汛安全带来了难度。

南京地铁服务于南京市及南京都市圈各地区的城市轨道交通。开展南京市轨道交通防汛安全评估,对保障长江经济带高质量发展具有重要意义。目前,大多数研究主要针对南京单一地铁车站或单一轨道线路开展防汛评估,尚缺少对南京地铁地下空间建设和运

营期间不同车站、不同场所的整体防汛评估。

本研究基于南京市现状轨道交通运营线路分布情况,针对运营线路5类场所(地铁车站、车辆基地、变电所、区间风井、车辆出入隧道洞口),研究轨道交通运营线路运营期防汛安全评估关键技术,主要包含以下4个方面:①以城市已有防洪圈、排涝片区为基础,划分防汛分区;②根据南京市地形地貌、流域水系特点和地铁线路分布,综合城市建设布局以及城市防洪、排涝体系,分析致灾因素;③针对地铁5大场所,考虑其致灾因素可能发生的概率,结合灾后影响,建立风险评估矩阵,确定风险等级;④提出防汛风险防控措施。

1 南京地铁概况

截至2024年底,南京地铁已开通运营线路共13条,构成覆盖南京全市11个市辖区及句容市的地铁网络,包含1号线、2号线、3号线、4号线、5号线(南段)、7号线、10号线、S1号线、S3号线、S6号线、S7号线、S8号线、S9号线,共计395处点位,包括234座车站、21处车辆基地、59处变电所、35处区间风井、46处车辆出入隧道洞口(含上下行)。南京地铁线路如图1所示。



图1 南京地铁线路

Figure 1 Route map of Nanjing Metro

2 防汛安全评估技术路线

根据南京地铁运营线路5类场所所在区域水系及地形特点,制定防汛安全评估主要技术路线。

1) 确定分析对象。根据地铁工程特点,将地铁所有可能受外部来水侵害、并导致地铁运行受影响的场所作为分析对象,确定防汛点位。分析对象主要包括车站、车辆基地、变电所(主变电所、区间变电所)、车辆出入隧道洞口、区间风井(风亭)5类场所。

2) 划定防汛分区。充分了解地铁沿线及其所在区域的情况,收集详细的资料,包括地铁5大场所的地理位置、出入口设置高度情况、地下空间排水设施以及区域相关水文、气象、地形地貌、地质、历史雨情、历史出险情况、周边河道、防汛设施状况、区域排水系统等。根据城市防洪圈、排涝片区等特点划分地铁各点位所在防汛分区。

3) 防汛风险因子分析。地铁5大场所与所处区域自然条件、防汛设施的相关关系(包括地铁地下空间与周边水利设施、防汛排涝工程设施的关系,各出入口与周边环境关系等),以外部环境及自身能力等方面致灾因素的分析、论证。

4) 风险等级评估。针对地铁5大场所,考虑其致灾因素可能发生的概率大小,结合灾后影响,建立风险评估矩阵,确定风险等级。

5) 风险防控措施。根据风险评估结果,结合地铁5大场所实际情况,提出相应的防汛风险防控措施。

防汛安全评估技术路线如图2所示。

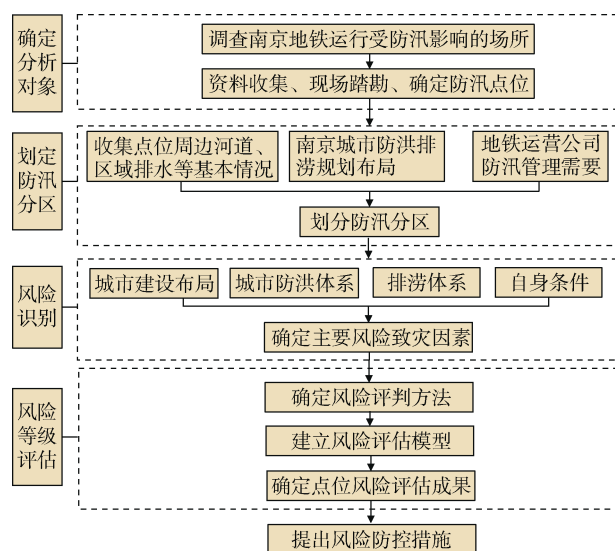


图2 轨道交通运营线路防汛安全评估技术路线

Figure 2 Framework for flood control safety assessment of rail transit operating lines

3 防汛安全评估关键技术

3.1 防汛分区划分

3.1.1 划分原则

城市地铁覆盖范围广,涉及水系众多,防洪涝战线长,防汛管理难度大。防汛安全评估需要按照区域、线路、站点逐步细化,以确保各空间层面风险点位识别全面、评估彻底、措施到位。研究结合南京城市防洪排涝状况特点及地铁5类场所分布情况,对南京地铁运营线路进行防汛分区,以增加地铁管理与现状防洪排涝格局的匹配性,便于开展风险致灾因素分析与相应的风险防控应对,提高地铁管理效率。

南京市在长江(含通江小流域)、秦淮河、滁河3个流域防洪布局的基础上,根据行政区划边界和水系地形特点,将中心城区划分为主城、东山副城、仙林副城、江北副城4个防洪规划区;考虑主城、副城不同的防洪标准,在防洪规划区基础上以秦淮河、秦淮新河、秦淮东河、滁河及其分洪道等骨干河道划分为10个防洪圈^[8]。

本次参照南京市防洪圈划分原理,以已有防洪圈为基础,根据5大场所所在行政区划、流域水系、地形、排水条件等因素划分防汛分区。

1级防汛分区:在城市水利地形图上,根据相关水利规划,以现有成果中地铁5大场所所在防洪圈、排涝片区、地形地貌为基础,结合点位所在行政区划、流域水系、排水条件等因素划分1级防汛分区。

2级防汛分区:在1级防汛分区的基础上,结合地铁管理需求,根据点位分布情况及所在水系、地形、排水条件、路网等因素,细分2级防汛分区。

3.1.2 南京地铁划分成果

根据以上划分原则,本次将南京地铁13条线路所在区域共分为34个1级分区,47个2级分区。

3.2 防汛安全风险致灾因素分析

根据南京市地形地貌、流域水系特点和地铁线路分布,综合城市建设布局以及城市防洪、排涝体系,将地铁运营线路面临的致灾因素分为外洪、内涝、山洪、片区排水、出入口设置高度、挡排水设施6个方面。

1) 外洪。南京市地形地貌较为复杂,既有沿江河圩区,也有丘陵岗地。城市骨干河道两岸平原圩区,地势低洼平坦,支流河道大多是山丘区河道,源短流急,汛期遇到暴雨,洪水峰高势猛,对中下游两岸造成严重灾害^[9]。这些面临两方面的洪水威胁,一是本

区域强降雨，二是大江大河潮位顶托，都会造成河道水位急剧升高，随着洪水位的上涨，堤防出现渗漏、管涌、溃破，甚至漫顶的风险不断上升，并最终发展成溃堤，给区域造成严重的淹没损失。

2) 内涝。南京市骨干河道两岸平原圩区地势低洼平坦，地面高程低于外河洪水位，遇到本地降雨时，洪水位较高，无法通过重力排出，需通过排涝河道将雨水输送至雨水泵站，通过泵站提升外排至承泄水体。若由于泵站排涝能力不足、排涝河道规模不够、排涝河道淤塞、泵站损坏无法正常运行等风险因素，则会导致排涝河道水体排泄不及，水位不断升高，直至河道漫溢，造成地面积水，地铁站点和线路进水。

3) 山洪。山洪是发生在山区溪流中快速且强大的地表径流现象，水量集中流速大、冲刷破坏力强，携带泥沙甚至石块等，常造成局部性洪灾^[10]。山洪多由暴雨引起，具有很强的季节性，主要发生在夏季汛期，其中6月至8月发生频率最高。山洪往往出现在山沟附近溪流处、双河口交叉处等具有较大地势高度差、坡陡、谷深的地方，地质大部分是风化严重的岩石层和渗透强度不大的土壤，其抗蚀性较弱，遇水易软化、易崩解，为地质脆弱地带。一旦上游遭遇强降水，水流量增加，土体平衡就容易被破坏。地表径流在山沟处迅速汇集，同时携带沿途松软土壤汇入形成山洪，引发山洪沟水位暴涨，从而导致泥石流、崩塌、山体滑坡等灾害发生。此外，山洪容易重复发生。

4) 点位排水。点位排水主要是指地铁站点、车辆段等防汛点位附近局部排水以及防汛点位自身挡排水，地铁站房附近雨水需要通过地表汇集至排水管网，若遇到局部地势过低，形成局部洼地，则容易汇集周边区域雨水，进入地铁站房；若遇到地铁站房周边雨水篦子、雨水管道不通畅或规模不够则容易造成雨水无法及时排出造成局部淹水。如点位自身排水设施能力不足、挡水设施安装不及时、挡水门关闭不及时、汛前检查不到位、防汛物资准备不充分、防汛预案落实不到位等有可能造成防汛风险。

5) 出入口设置高度。地铁出入口包括地下车站出入口、消防专用出入口和无障碍电梯，是地下空间与外部连通的通道，也是地下空间的主要风险敞口。当出入口周边发生积淹水，而出入口超高不足时，将导致外部积水倒灌至地铁内部。根据GB50157—2013《地铁设计规范》^[11]第9.5.4条，“地下车站出入口、消防专用出入口和无障碍电梯的地面标高，应高出室外地

面300~450 mm，并应满足当地防淹要求，当无法满足时，应设防淹闸槽，槽高可根据当地最高积水位确定。”地铁的出入口数量越多，防汛压力越大，同时若出入口与第三方商场、写字楼等连通，其防汛安全还将依赖第三方配合，增大防汛难度。

6) 挡排水设施。地铁排水设施主要为内部配备水泵，挡水设施主要为出入口配备的防汛挡板、防汛沙袋等。当地铁外部发生积淹水，若未配备防汛挡板、防汛沙袋等挡水设施，将导致积水进入地铁，若此时地铁内部水泵排涝能力不足，地铁内部将面临淹水风险。

3.3 防汛安全风险判定矩阵

《铁路建设工程安全风险管理暂行办法》(铁建设〔2010〕162号)提出：铁路建设工程风险等级根据事故发生的概率和后果程度，参照铁路隧道风险等级确定标准，分为低度风险、中度风险、高度风险和极高度风险4个级别。《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》(GB 50652—2011)将风险发生可能性分为5级；事故发生后果按人员伤亡、环境影响、经济损失、工期延误和社会影响5大类，各分为5级；综合事故发生的概率和后果等级，将风险等级分为4级。基于现有风险管理办法及相关规范，研究提出轨道交通运营线路运营期防汛安全评估关键技术体系。

根据识别的外洪、内涝、山洪、片区排水、出入口设置高度、挡排水设施6个方面的致灾因素，结合城市骨干河道防洪标准、排涝标准以及地铁各类场所出入口超高、排水能力等参数，综合判定风险发生概率，选用相对比较法将地铁防汛风险概率划分为4个等级：可能、偶然、罕见及基本不可能。防汛风险概率判定详见表1。

根据点位所在位置实际情况选取致灾因素判定风险概率，其中，机排区点位侧重考虑外洪、内涝致灾因素，距离山洪通道较近的点位侧重考虑山洪致灾因素，片区排水、出入口设置高度、挡排水设施适用于所有点位。在初步判定6个方面的致灾因素风险概率后，选取致灾因素判定最高等级作为防汛风险概率判定等级，若有2个及以上致灾因素判定等级同为最高级别，则防汛风险概率判定等级上升1个级别。

结合现场踏勘及实地调研，考虑风险损失不同的严重程度，对地铁各风险因子进行等级划分，确定4种损失等级：灾难、严重、较大、轻微。防汛风险损失判定方法见表2。

表 1 防汛风险概率判定
Table 1 Probability assessment of flood risks

风险概率	致灾因素					
	外洪	内涝	山洪	片区排水	出入口	挡排水设施
可能	所在防汛分区防洪标准低于 20 年一遇，距离风险源 1 km 内	内涝防治标准不足 20 年一遇，距离风险源 200 m 内	山洪防治标准低于 20 年一遇，附近有明显高于点位地面高程的山体，山丘区汇水面积 $\geq 2\text{ km}^2$	出入口位置处为局部洼地，历史上汛期积水发生过 2 次及以上	未设置超高，出入口数量 ≥ 10 个，第三方通道 3 个及以上	自身排水设备能力严重不足，出入口未配置防汛挡板及插槽或不能与侧墙围合挡水
偶然	所在防汛分区防洪标准高于 20 年一遇，不足 50 年一遇，距离风险源 1~2 km 内	内涝防治标准 20~50 年一遇，距离风险源 200~500 m 内	山洪防治标准 20~50 年一遇，附近有明显高于点位地面高程的山体，山丘区汇水面积 1~2 km^2	出入口位置处地坪与周边地面持平，历史上汛期积水发生过 1 次	小于规范标准，出入口数量 5~10 个，第三方通道 2 个	自身排水设备能力小于规范标准，出入口配置防汛挡板及插槽但高度不足
罕见	所在防汛分区防洪标准 50~100 年一遇，距离风险源 2~5 km 内	内涝防治标准 50~100 年一遇，距离风险源 0.5~1 km 内	山洪防治标准达到 50~100 年一遇，附近有明显高于点位地面高程的山体，山丘区汇水面积 0.2~1 km^2	出入口位置处为地坪相对较高，历史上未发生过积水	等于规范标准，出入口数量 2~5 个，第三方通道 1 个	自身排水设备能力满足规范要求，出入口配置防汛挡板及插槽，高度满足规范要求
基本不可能	所在防汛分区防洪标准 100 年一遇以上，距离风险源 5 km 以外或出入口高程远高于风险源设计洪水位	内涝防治标准 100 年一遇以上，距离风险源 1 km 以外或出入口高程远高于风险源设计洪水位	山洪防治标准 100 年一遇以上，附近有明显高于点位地面高程的山体，山丘区汇水面积 $\leq 0.2\text{ km}^2$	出入口远高于周边场地、道路标高，点位及周边区域历史上均未发生过积水	大于规范标准，出入口数量 ≤ 2 个，无第三方通道	自身排水设备能力满足规范要求并有富余，出入口配置防汛挡板及插槽，高度满足要求并有富余

表 2 防汛风险损失判定
Table 2 Assessment of flood risk losses

风险损失	判定依据
灾难	主要风险源为长江、秦淮河、滁河、水阳江、大型湖泊等水量较大的水体的外洪风险；位于城市核心区，人员数量大；点位位于地下且与临近的其他点位相比高程最低；点位功能重要，失效将造成多个片区和线路的停运。
严重	主要风险源为长江、秦淮河、滁河、水阳江的一级支流等骨干河道的外洪风险；位于非核心区的主城区，人员数量较大；点位位于地下且与临近的其他点位相比不是最低；点位功能较重要，停运将造成单个片区或整条线路的停运。
较大	主要风险源为非骨干河道的外洪风险或内涝风险或山洪风险；位于近郊，人员数量一般；点位位于地下且与临近的其他点位相比比较高；点位失效，将造成局部片区和线路停运。
轻微	主要风险源为片区或自身排水；位于远郊，人员数量较少；点位位于地上；点位失效，地铁线路仍可运行。

基于风险概率及风险损失的判定，建立风险判定矩阵，确定风险等级，分为重大风险、较大风险、一般风险和较小风险 4 个等级。防汛安全风险判定等级见表 3。

表 3 防汛安全风险判定等级
Table 3 Rating of flood control safety risks

防汛风险概率	风险损失			
	轻微	较大	严重	灾难
基本不可能	较小风险	较小风险	一般风险	一般风险
罕见	较小风险	一般风险	一般风险	较大风险
偶然	一般风险	一般风险	较大风险	重大风险
可能	一般风险	较大风险	重大风险	重大风险

3.4 防汛风险评估成果

3.4.1 典型场所防汛安全风险评估

以南京地铁新街口站为例进行防汛安全评估。新

街口站坐落于南京新街口的核心商业区域，是南京地铁 1 号线和 2 号线的换乘站，共 20 个人行出入口、1 处无障碍电梯出入口、1 处风亭。该站位于防汛分区城南片区，外秦淮河、月牙湖、紫金山山体及北侧高地组成的城南片区防洪保护圈。新街口站周边地势相对较低，属于机排区。

1) 风险概率判定

外洪。新街口站距北侧内秦淮河北段直线距离 980 m，距南侧内秦淮河中段直线距离 1 300 m，距西侧外秦淮河直线距离 1 600 m。外秦淮河基本达到 200 年一遇标准，新街口站距离外河较远，基本不受外洪影响。

内涝。新街口站所在片区依靠西南侧铁窗棂泵站、西水关泵站抽排。泵站服务范围约为 25.63 km^2 ，新街口地铁站在超标准降水情况下，周边可能会有短时

积水。根据计算,城南圩区 100 年一遇内涝水位为 7.94 m,新街口站各出入口高程均高于圩区 100 年一遇内涝水位,因此基本不受圩区涝水影响。

山洪。场所距离山体较远,不受山洪影响。

片区排水。点位地坪整体高于周边地面,周边排水系统标准一般,汛期周边路面偶尔有积淹水。

出入口设置高度。车站 3~5 号,7~10 号,12~16 号,20~22 号出入口与第三方存在连接通道,5 号出入口与场外地面齐平,周边无台阶,20 号出入口金鹰地下通道地上出入口高程与地面齐平,且比商业广场场坪低,该出入口雨水倒灌风险可能性较大。

挡排水设施。车站自身排水设备能力满足规范要求。

新街口站防汛风险主要受出入口因素影响,根据表 1 判定新街口站防汛风险发生概率为偶然。

2) 风险损失判定

新街口站位于城市核心区,周边居民较为密集,客流量较大,点位淹水后造成局部片区和线路停运,社会影响和经济损失严重。根据表 2 判定新街口站防汛风险损失为灾难。

综上,根据表 3 防汛安全风险判定等级表,判定新街口站防汛风险为重大风险。

3.4.2 南京地铁运营线路防汛安全风险评估

根据防汛风险评估判定等级表,对南京地铁运营线路 395 处点位的防汛风险进行研判,防汛安全风险评估成果详见表 4。

表 4 南京地铁运营线路防汛安全风险评估成果

Table 4 Flood control safety risk assessment results for Nanjing rail transit operating lines 个

场所类型	重大风险	较大风险	一般风险	较小风险	合计
车站	10	85	101	38	234
车辆基地	5	6	9	1	21
隧道洞口	6	11	26	3	46
变电所	0	10	37	12	59
区间风井	0	0	28	7	35
合计	21	112	201	61	395

其中,重大风险车站 10 个,包括 1 个地面车站、9 个地下车站,分别属于城南片区、河西片区、宁南片区、江心洲片区。受片区排水影响,点位淹水后易造成局部片区和线路停运,社会影响和经济损失较严重。

重大风险车辆基地 5 个,分别属于城北片区、河西片区、九龙湖片区、板桥河片区、雨山河片区。主要受外洪和片区排水影响,点位淹水后会经隧道洞口倒灌至邻近车站,易造成附近局部片区线路停运,且基地内设备较多,淹水后经济损失较大。

重大风险隧道洞口 6 个,分别属于城北片区、城南片区、河西片区、九龙湖片区、板桥河片区、雨山河片区。洞口受外洪、内涝、片区排水影响均较大,洞口受淹后易倒灌至临近地下车站,造成片区甚至整条线路停运,淹水后经济损失较大,且一旦停运影响大。

按南京地铁 13 条运营线路划分,防汛安全风险评估成果详见表 5。其中,重大风险点位主要集中在 1 号线、2 号线、3 号线及 10 号线,分别有 3、7、4 及 4 处重大风险点位,其余 4 号线、7 号线分别有 1 处、2 处重大风险点位。

表 5 13 条运营线路防汛安全风险评估成果

Table 5 Flood control safety risk assessment results for the 13 operating lines 处

线路	重大风险	较大风险	一般风险	较小风险	合计
1 号线	3	15	23	11	52
2 号线	7	19	17	4	47
3 号线	4	10	23	3	40
4 号线	1	10	21	6	38
5 号线(南段)	0	3	13	0	16
7 号线	2	17	12	1	32
10 号线	4	11	9	2	26
S1 号线	0	3	17	4	24
S3 号线	0	4	17	6	27
S6 号线	0	15	9	6	30
S7 号线	0	3	13	0	16
S8 号线	0	2	12	16	30
S9 号线	0	0	15	2	17
合计	21	112	201	61	395

4 防汛风险防控措施研究

4.1 重大风险点位防控措施

对重大风险点位制定针对性防控措施,采取必要的工程和非工程措施,确保有效降低风险发生概率。

针对车站,汛前应做好车站内部排水系统检查,保证现状排水管网、内部排水泵畅通,排水系统功能完好。同时,汛前应在各出入口、安全出口、电梯口

以及与商业连通的通道口配备好防汛挡板或沙袋,以及临时抽水泵等防汛物资,保证一旦险情发生,能够及时采取挡排水措施。地铁运营期间,应加强与周边商业权属单位联系,采取发函的形式,要求其做好汛期防汛工作,定期排查周边商业雨水管网、排水渠、排水泵情况,及时清理疏通,避免堵塞,保证汛期商业地块雨水能够应排尽排,减少或避免汇入车站周边低洼区。汛期安排专人对点位周边河道、道路等进行巡查,密切关注周边环境的变化,地铁管理单位应与防汛指挥部做好沟通,密切关注周边外河水位及路面积淹水情况,必要时做好自保措施确保地铁运行安全。

针对车辆基地,汛前应疏通基地内排水线路,对于零件老化、设备损坏等问题必须及时更新、维修;排查基地雨水管网情况,及时清理疏通,避免雨水管网堵塞;检查排水泵站性能,确保能够正常运行;定期检查、维护电力设施设备的正常运行。汛期安排专人加强对邻近河道堤防的巡查,地铁管理单位应与防汛指挥部做好沟通,密切关注河道水位,一旦发现基地排水不畅及时开启泵站抽水;有针对性地制定地铁车辆基地防汛工作方案和应急预案,确定工作机构和人员,明确工作职责。

针对隧道洞口,应定期排查洞口入口处雨水管网、排水渠、排水泵情况,及时清理疏通,避免堵塞,保证汛期雨水能够应排尽排;加强对洞口位置的监控和管理,汛前需安排专人清理洞口挡墙周边杂物,杂草等,保证排水通道畅通,避免出现排水不畅,积水过高的情况;可在洞口位置安装监控设备,汛期保持监控,对于险情及时做出反应。

4.2 较大风险点位防控措施

汛前应在各点位出入口、安全出口、电梯口以及与商业连通的通道口配备好防汛挡板或沙袋,保证一旦险情发生,能够及时采取挡水措施;汛前地铁运营及城管部门对车站站内排水出口与周边城市市政管网的衔接、排水设施及管网进行安全检查,对存在问题及老旧设施及时更换,保证车站排水沟和排水泵正常使用;加强与周边商业权属单位联系,采取发函的形式,要求其做好汛期防汛工作,定期排查商业雨水管网、排水渠、排水泵情况,及时清理疏通,避免堵塞,保证汛期商业地块雨水能够应排尽排,减少或避免汇入车站周边低洼区;汛期密切关注片区外河、山洪通道及点位周边圩区排涝河道水位情况,与防汛指挥部做好沟通,降雨期间应安排人员值守、反映现场情况,

及时对防控措施作出动态调整,必要时根据实际情况跳站运行或关闭部分地铁线路。

4.3 一般风险点位防控措施

汛前应在各点位出入口配备好防汛挡板或沙袋;定期排查点位雨水管网、排水渠、排水泵情况,及时清理疏通,避免堵塞。汛期关注周边河道水位情况,安排专人对点位和周边河道进行巡查。

4.4 较小风险点位防控措施

较小风险点位主要为高架车站,汛期应关注地面设施情况,避免地面积淹水影响设施的正常运行。

5 结论

基于南京地铁交通运营线路分布情况,开展轨道交通运营线路运营期防汛安全评估关键技术研究,得出结论如下:

1) 为便于开展轨道交通运营线路风险致灾因素分析,提高地铁管理效率,根据防汛分区划分原则,将南京地铁13条线路所在区域共分为34个1级分区,47个2级分区。

2) 南京地铁运营线路面临的致灾因素包括外洪、内涝、山洪、片区排水、出入口设置高度和挡排水设施6个方面。

3) 基于建立的城市轨道交通运营线路防汛安全风险判定矩阵,对南京轨道交通运营线路395处点位的防汛风险进行研判,共有重大风险点位21个、较大风险点位112个、一般风险点位201个、较小风险点位61个。其中,重大风险点位包括车站、车辆基地和隧道洞口,主要集中在1号线、2号线、3号线及10号线。

4) 根据防汛风险研判结果,不同风险等级点位采取相对应的防汛风险防控措施。对重大风险点位应制定针对性防控措施,确保有效降低风险发生概率。对较大风险和一般风险点位汛前应在各点位出入口配备好防汛物资,定期排查点位雨水管网、排水渠、排水泵情况,汛期关注周边河道水位情况。对较小风险点位主要关注地面设施情况,避免地面积淹水影响设施的正常运行。

研究构建的城市轨道交通运营线路运营期防汛安全评估关键技术体系基于河道、管道等均能正常运行,未考虑河道淤积、管道淤堵等情况的影响,未来研究中将全面收集河道、管道等相关资料,分析不同工况下点位防汛风险情况,进一步完善城市轨道交通运营

线路运营期防汛安全评估关键技术体系。

参考文献

- [1] 李金龙, 张方冰, 赵梓妍. 轨道交通站点周边区域防汛积水分析[J]. 自然灾害学报, 2023, 32(2): 144-150.
LI Jinlong, ZHANG Fangbing, ZHAO Ziyen. Analysis of flood control ponding around rail transit stations[J]. Journal of natural disasters, 2023, 32(2): 144-150.
- [2] 陈耀辉, 刘明. 地铁防汛风险及应对措施探析[J]. 交通科技与管理, 2023(6): 159-161.
- [3] 陈述, 温炼烽, 王建平, 等. 郑州“7·20”地铁水淹事件 STAMP 致因分析[J]. 灾害学, 2024, 39(3): 110-115.
CHEN Shu, WEN Lianfeng, WANG Jianping, et al. STAMP-based causal analysis of the Zhengzhou “7·20” metro submergence incident[J]. Journal of catastrophology, 2024, 39(3): 110-115.
- [4] 孔祥睿. 城市轨道交通车站及正线防汛减灾策略研究[J]. 中国防汛抗旱, 2023, 33(10): 58-62.
KONG Xiangrui. Analysis on flood control and disaster reduction strategy of urban rail transit stations and main railway-lines[J]. China flood & drought management, 2023, 33(10): 58-62.
- [5] 余伟之. 地铁车站洪涝灾害分级预警评价方法研究[J]. 都市快轨交通, 2025, 38(4): 61-70.
YU Weizhi. A hierarchical early warning method for flood risk assessment in subway stations[J]. Urban rapid rail transit, 2025, 38(4): 61-70.
- [6] 代杰, 江生梦, 张焕雪, 等. 轨道交通洪灾危险性评价及防控策略研究[J]. 现代城市轨道交通, 2025(10): 71-78.
DAI Jie, JIANG Shengmeng, ZHANG Huanxue, et al. Research on flood hazard assessment and prevention strategies for rail transit[J]. Modern urban transit, 2025(10): 71-78.
- [7] 刘欢. 极端天气下城市轨道交通防汛安全措施研究[J]. 中国防汛抗旱, 2023, 33(1): 80-84.
LIU Huan. Study on flood prevention measures of urban rail transit under extreme weather[J]. China flood & drought management, 2023, 33(1): 80-84.
- [8] 南京市水利局, 南京市水利规划设计院股份有限公司. 南京城市防洪规划报告[R]. 南京, 2014.
- [9] 陈璇, 杨根林, 管桂玲, 等. 秦淮东河工程防洪调度方案研究[J]. 人民长江, 2019, 50(4): 36-41.
CHEN Xuan, YANG Genlin, GUAN Guiling, et al. Study on flood control dispatching scheme of East Qinhuai River[J]. Yangtze river, 2019, 50(4): 36-41.
- [10] 方秀琴, 王凯, 任立良, 等. 基于 GIS 的江西省山洪灾害风险评价与分区[J]. 灾害学, 2017, 32(1): 111-116.
FANG Xiuqin, WANG Kai, REN Liliang, et al. Risk assessment and zoning of mountain torrent disaster based on GIS in Jiangxi Province[J]. Journal of catastrophology, 2017, 32(1): 111-116.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁设计规范: GB 50157—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for design of metro: GB 50157—2013[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014.

(编辑: 王艳菊)

封面车站设计理念

成都地铁 17 号线机车厂站以“成都的铁路历史”为主题, 展现成都铁路从蒸汽时代、内燃时代到电力时代三个阶段的发展历程。车站从高铁车头、铁轨和隧道等事物中提取设计元素, 将其抽象概括, 应用于墙、顶的造型之中, 使墙、顶浑然天成, 让乘客宛如穿行于时空隧道中。位于 B 口附近的星空顶设计, 营造出充满科技感和未来感的梦幻空间, 让安检进站的乘客恍若即将登上飞船, 穿行太空、时空隧道中。

站厅采用椭圆形太空银色铝板与条形灯带组合, 如高铁车头划破空气的流线; 深蓝色穿孔铝板上, LED 可变色点状灯如银河繁星, 条状灯带似行星轨道, 营造出“铁轨连星河”的梦幻氛围。平行斜向布置的灯带, 将原本高低错落的空间转化为富有节奏的“轨道韵律”, 暗合铁路发展的递进感。

车站还采用了无柱设计, 穹顶长 172.6 m、宽 21.7 m, 赋予车站更加开阔、大气的空间感, 旨在带给乘客放松、愉悦又充满新奇的乘车体验。

成都轨道交通集团有限公司 供稿