

城市轨道交通车辆基地防洪设计及监测方案研究^{*}

胡立翔

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 430063, 武汉)

摘要 [目的]城市轨道交通车辆基地防洪关系到车辆基地及正线运营安全,为有效提高车辆基地防洪能力,需对车辆基地防洪设计要点及措施进行研究。[方法]从设计阶段对影响车辆基地防洪的场坪标高、改移河道设计等要点及注意事项进行详细分析;针对可能出现的大量积水通过车辆基地U型槽进入正线区间造成行车事故的不利情况,开展了防洪措施设计研究,分析确定了出入段线U型槽处为车辆基地防洪关键点;为提高其防洪应急处置能力,从水灾演化规律、监测原则、等级判断及预测、方案设计、智能决策及应急调度等方面进行了防洪及监测方案研究。[结果及结论]在出入段线U型槽位置,采用可移动拼接式防淹挡板设计方案;明确了防淹挡板设计及布置方案、专业接口要点、适用情况;通过设置水位监测点并结合监测融合算法系统、智能决策系统及应急调度指挥系统,构建了出入段线水灾监测、智能决策及应急调度方案,实现灾前、灾中、灾后全过程智能防洪预警及调度指挥。

关键词 城市轨道交通;车辆基地;防洪设计;水灾监测

中图分类号 U231.96

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.03.030

Flood Control Design and Monitoring Schemes for Urban Rail Transit Vehicle Base

HU Lixiang

(China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., 430063, Wuhan, China)

Abstract [Objective] Flood control in urban rail transit vehicle base affects its safety and the main line operation. To effectively improve the flood control capacity of the vehicle base, it is necessary to study the key points and measures of flood control design. [Method] From the design stage, the key points and precautions affecting flood control in the vehicle base, such as field elevation and river diversion design are analyzed in detail. In view of the potential adverse situation when a large amount of accumulated water enters the main line section through the U-shaped groove in the vehicle base, resulting in train operation accidents, research on flood control measure design is conducted, and the U-shaped groove of the inlet/out-

let line is identified as the key point of flood control in the vehicle base through analysis. To improve flood control emergency response capacity, the flood control and monitoring scheme is studied from perspectives of flood evolution law, monitoring principle, grade judgment and prediction, scheme design, intelligent decision-making, and emergency dispatching. [Result & Conclusion] Movable splicing anti-flood baffle should be used in the U-shaped groove of the inlet/outlet line. The design and layout plan of the anti-flood baffle, the key points of the specialized interface, and the applicable situation are clarified. By means of setting water level monitoring points and combining monitoring fusion algorithm system, intelligent decision-making system, and emergency dispatching and command system, the scheme of flood monitoring, intelligent decision-making, and emergency dispatching for the inlet/outlet line is set up. In this way, intelligent flood control warning and dispatching is realized in the whole course of before, during, and after flood.

Key words urban rail transit; vehicle base; flood control design; flood monitoring

近年来,城市化发展导致热岛效应,造成城市及其周边的降雨量极不均匀,极端天气频频出现,暴雨强度加大,极端降雨天气引起城市内涝问题逐渐凸显,城市轨道交通基础设施屡遭洪涝灾害侵袭且日趋严重。北京、郑州、广州、深圳、武汉、上海等多个城市因暴雨引发严重内涝后,城市部分地区出现积水导致地铁车站被淹,给城市交通、居民生活带来极大的风险与不便^[1-2]。城市化高速发展与前期设计的城市基础设施防洪标准不匹配难以抵抗非常规灾害。为了降低城市轨道交通水灾发生频率,可以从事后应急处置向事前风险防范角度分析研究,提前采取相应措施,降低灾害发生概率。

城市轨道交通车辆基地承担列车检修、存放、保养等任务,建设规模大、占地面积广,车辆基地防洪关系到车辆基地及正线运营安全。为了避免郑

^{*} 国家重点研发计划项目(2018YFB2100900);智慧城轨建设重点体系深化研究项目(CAMET20220603)

州“7·20”类似事件的发生,车辆基地的防洪设计得到共识:其选址应充分考虑避开低洼及行洪地带,且周边应具备良好自然排水条件等。总结国内车辆基地设计经验,从防洪设计、应对措施和水灾监测等方面综合研究,实现车辆基地水灾前期、中期、后期全过程应对措施。从场坪标高、改移河沟等方面提出防洪设计要点及注意事项,进一步为了减少水灾对车辆基地及正线影响,创新性地提出了车辆基地防洪监测技术方法,在出入段线配置防淹挡板,研发实时车辆基地水灾实时监测系统,应对车辆基地水灾防控能力。

1 车辆基地防洪设计措施及要点

1.1 车辆基地场坪标高设计

车辆基地设计需重点核算防洪涝水位,地面车辆基地应重点校核路肩高程,全地下及半地下车辆基地应重点校核其出入口及敞开段高程。

按照 GB 50157—2013《地铁设计规范》规定“沿海或江河附近地区车辆基地的车场线路路肩设计高程不应小于 1/100 潮水位、波浪爬高值和安全高之和”。杭州、宁波、苏州、无锡、南京、东莞等地的轨道交通车辆基地场坪标高均根据百年一遇洪水位确定,不低于百年一遇洪水位 +0.5 m(安全值)。杭州地区一般委托专业评估单位论证获取百年水位;苏州地区根据地方水务局提供数据进行设计;武汉地区对场坪标高确认过程有所不同,长江大堤武汉市区范围内均已按 100 年防洪水位进行设防,市区内车辆基地场坪高程不需另行考虑防洪要求,但需满足排涝要求,场坪标高一般按照周边水系排涝水位确定^[3-4]。

车辆基地场坪标高设计应根据出入线接轨条件、周边接驳条件、土石方填挖工程量等综合确定。如咽喉区有涵洞下穿,考虑涵洞顶部水位要求及管线翻越要求,可适当抬高场坪标高。如车辆基地场坪标高未满足规范要求,则应进行加强措施(四周设置防水挡墙等),规避极端天气时洪水冲破围墙进入车辆基地的风险。

1.2 车辆基地改移河沟设计

车辆基地占地面积大,选址范围内常易关联河道工程,根据国家及各地区水域保护办法,占用河道需进行改移或补偿设计和建设,包括水域面积及过流能力。

1.2.1 改移河道方式

车辆基地占用河道后,河道改移方案通常采用原位置改移或沿车辆基地外侧绕行等。如所占河道宽度方向较窄,在保证河道宽度情况下,结合车辆基地布局,沿河道原位置以明渠或箱涵形式进行改移。

当车辆基地无法保证既有河道沿原路径穿越时,可沿着车辆基地红线进行绕行设计,应保证河道过水断面的完整性。改移河道方案应提前设计,考虑改移后河道用地红线,应先行实施改移河道,后进行原河道填埋。

1.2.2 改移河道相关注意事项

如车辆基地涉及改移河道,需结合改移河道方案完善改移河道防洪评估论证手续。防洪评估报告经有关行政主管部门批复后,方可实施改移。

受制于车辆基地方案及用地限制,改移的河道如窄于原河道,除按照要求进行防洪评估外,还应提出补偿方案。如杭州地铁 8 号线新湾车辆基地二号闸横河改移,原河道宽度为 28~30 m,改移后的河道宽度为 14~16 m,经过复核确认防洪能力满足要求,但涉及与原水系规划一致性、水域面积不够等问题。经沟通协调后,补充了车辆基地周边水系规划调整方案并报批,完善了相关流程后实施了河道改移。

2 车辆基地出入段线防淹挡板设计

车辆基地发生水灾事故除对车辆基地本身造成损失外,最直接风险是洪水通过出入线 U 型槽倒灌进入区间,引发正线行车事故等风险。汛期时,通常通过防汛沙袋封堵车辆基地 U 型槽口,以防止水进入区间。为提高防洪效率,节约防护阶段时间和人力资源,减少对车辆基地对正线区间影响,需在 U 型槽口设计防淹挡板^[5-6]。

2.1 车辆基地防淹挡板设计方案

车辆基地防淹挡板设置于 U 型槽终点,防淹挡板与 U 型槽中间通过防淹挡墙连接。防淹挡墙为 C30 混凝土墙,墙厚 200 mm。防淹挡板采用 40 mm 厚不锈钢材质,防淹挡板与防淹挡墙之间通过 2 mm 厚不锈钢槽钢相连接,如图 1 和图 2 所示。

挡板的高度采用 400 mm 的倍数(一般为 1~2 块),挡板厚度为 40 mm 不锈钢材质。挡板与土建之间、挡板与挡板之间布设防水胶条。挡板顶部设置不锈钢拉手。

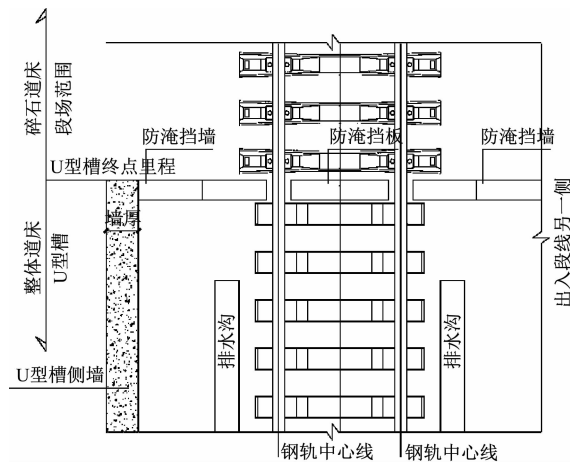


图1 车辆基地出入段线防淹挡板布置平面图

Fig.1 Plan of anti-flood baffle layout for inlet/outlet line in the vehicle base

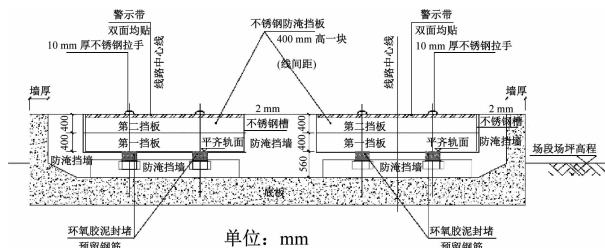


图2 车辆基地出入段线防淹挡板布置断面图

Fig.2 Cross sectional map of anti-flood baffle layout for inlet/outlet line in the vehicle base

在U型槽主体结构、道床浇筑完成后,施工防淹挡墙。防淹挡墙与钢轨孔隙为80mm且平齐钢轨面,线路方向与碎石道床轨枕间距为80mm,与整体道床轨枕间距为50mm。后浇混凝土墙体位置需结合现场钢轨实际位置确定,需避开轨枕。

2.2 专业接口要点

1) 与轨道专业接口。与整体道床轨枕间距为50mm。后浇防淹挡墙临轨侧水平钢筋伸出80mm,间隙采用环氧胶泥进行封堵。

2) 与限界专业接口。对于B型车、直线地段,防淹挡板宽度可按3200mm设置;对于A型车、直线地段,防淹挡板宽度可按3400mm设置;对于曲线地段(包含A型车、B型车),防淹挡板宽度可按3800mm设置,需要注意不同曲线的超高值及线路中心线的距离。如所采用车辆不是A型车和B型车,应结合车型进行限界核算确定。

3) 与通信专业接口。设置球型摄像机观察U型槽口水位情况。球型摄像机采用壁挂安装或立杆安装,有效观察防淹挡板的水位刻度标志。单独

敷设光缆接入车辆基地既有视频监视系统,通过DCC(车辆基地控制中心)的视频监视平台对此处进行视频监控及存储视频图像。

2.3 车辆基地防淹挡板实施效果

图3为防淹挡板安装现场图。防淹挡板挡水效果好,安装、抽取便捷,适用于新建项目和既有项目增设。目前杭州地铁既有及新建车辆基地U型槽口均设置防淹挡板,有效避免水通过U型槽口进入地下区间。



图3 防淹挡板安装现场图

Fig.3 Anti-flood baffle installation picture

3 车辆基地水灾监测方案

根据车辆基地防淹设计方案确定的成果,进一步研究建立了一套适合车辆基地水灾一体化分析流程,内容主要包括实时监测、风险等级判断、联动处置、动态预警等部分。实时监测依据提出的监测原则及跟踪识别指标实现;风险等级判断则根据获取的跟踪识别指标值,依据水灾风险等级判断规则进行水灾风险等级判断;联动处置根据灾害原因及风险判断的等级,启动相应的应急预案;动态预警在实时监测的基础上进行水灾趋势预测,包括预测积水深度、预测侵入总流量、预测淹没范围、积水上 升速度等,达到实现动态预警监测和控制的目的^[7-10]。车辆基地水灾逻辑分析模型如图4所示。

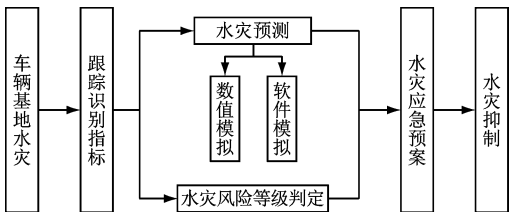


图4 车辆基地水灾逻辑分析模型

Fig.4 Flood logic analysis model of vehicle base

3.1 水灾演化规律

监测系统应能明确水灾原因(暴雨等),模拟车辆基地水灾演化规律,结合相关规范、标准明确车辆基地水灾监测原则,为实时在线监测提供依据。基于车辆基地水灾演化规律,车辆基地监测系统能够模拟出水灾演化过程。车辆基地水灾演化规律如图 5 所示。

3.2 水灾监测原则

监测点布置应尽量覆盖车辆基地整体,且所有水位标高应以相应的监测点地面标高为起点,以准确监测相应的水位深度。对于气象指标获取,可接入天气预报数据进行预测分析。同时,可利用车辆

基地既有系统、既有摄像头完成数据采集。根据车辆基地水灾演化规律和相关规范,明确车辆基地水灾监测原则(见表 1)。

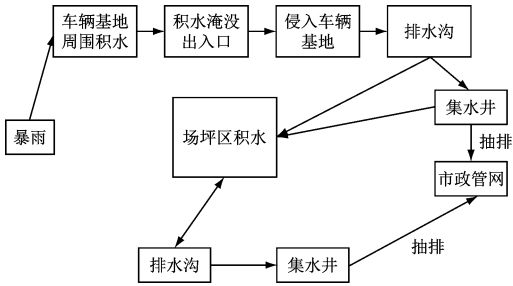


图 5 车辆基地水灾演化规律图

Fig. 5 Flow chart of flood evolution law in vehicle base

表 1 车辆基地水灾监测原则

Tab.1 Flood monitoring principle in vehicle base

监测对象	推荐监测位置及条件	监测指标	监测必要性	参考标准及规范
气象信息		降雨量、降雨强度、降雨历时、水位变化速率	必要(年降雨量超 800 mm 城市)	《地铁设计规范》(GB 50157—2013)
出入口外部	设防高程较低的出入口(请参照附件说明)	水位、水位变化速率	必要	4 种
外部排水沟	城市降雨量较大(年降雨量超 800 mm 城市)的车辆基地敞口处	水位、水位变化速率	必要	4 种
外部近集水井	城市降雨量较大(年降雨量超 800 mm 城市)的车辆基地敞口处	水位、水位变化速率	必要	4 种
内部排水沟		水位、水位变化速率	非必要	4 种
内部集水井		水位、水位变化速率	必要	4 种
泵房		水位、水位变化速率	必要	4 种
排水泵		排水泵工作状态、排水泵工作数量	必要	4 种

注:4 种参考标准及规范包括《地铁设计规范》(GB 50157—2013)、浙江省《城市轨道交通设计规划》(DB 33/T 1146—2018)、上海市《城市轨道交通设计规划》(DGJ 08-109—2004)、《地下工程防水技术规范》(GB 50108—2008)、《城市轨道交通运营管理规范》(GB/T 30012—2013)。

3.3 水灾等级判断

在文献检索、现场调研、规范梳理,以及软件模拟和数值模拟相关成果的基础上,将车辆基地水灾的风险等级均划分为 4 个等级。Ⅳ级为最低级,危险系数最低;Ⅰ级为最高级,危险系数最高。水灾风险等级判定方式如下:

- 1) 出入口地表积水深度 h (单位,m)。通过各出入口处水位传感器监测得到。
- 2) 侵入总流量 Q (单位, m^3/s)。基于公式 $Q = \sum (1.98h_n^{1.621}b_n)$ 计算。其中: h_n 为第 n 个出入口地表积水深度(单位,m), b_n 为第 n 个出入口宽度(单位,m)。
- 3) 集水井最高水位 H_{max} (单位,m)。通过各集水井处水位传感器监测得到。

4) 排水沟最高水位 $H_{\text{排,max}}$ (单位,m)。通过各排水沟水位传感器监测得到。

通过指标阈值来综合判定水灾风险等级。当基于出入口地表积水深度、侵入总流量、集水井水位、排水沟水位 4 个指标判定的风险等级不一致时,以等级高者为准。如根据出入口地表积水深度得到的风险等级为Ⅱ级,根据侵入总流量得到的风险等级为Ⅲ级,则判定该次水灾风险等级为Ⅱ级。车辆基地水灾风险等级判定规则如表 2 所示。

3.4 水灾预测

将所在地径流系数、车辆基地所在区域降雨强度、集雨面积和地表积水区域面积输入经验公式,计算地表综合积水深度。再通过天气预报降雨量数据,考虑车辆基地排水能力,预测未来车辆基地附

表2 车辆基地水灾风险等级判定规则

Tab.2 Flood risk grade judgement rules in vehicle base

监测指标	风险分级标准	风险等级判定规则
出入口地表积水深度	IV级:在100年一遇雨强度下,确保20 min 以上的响应或准备时间; III级:入口处有水流进入; II级:较危险的一半出入口侵入总流量达到排水泵的总抽排能力时对应的积水深度; I级:最危险出入口侵入流量达到泵的总抽排能力时对应的积水深度	取最高值
侵入总流量	IV级:与出入口地表积水深度IV级判定规则一致; III级:入口处有水流进入($Q>0$); II级:侵入总流量达到内部排水泵抽排总量(泵的数量×泵的抽排能力); I级:侵入总流量达到内部排水泵抽排总量的2倍(泵的数量×泵的抽排能力×2)	取最高值
集水井最高水位	IV级:大于水泵顶标高,小于集水井顶标高; III级:大于等于集水井顶标高; II级:大于等于1/2集水井后沙袋高度; I级:大于等于集水井后沙袋高度	取最高值
排水沟最高水位	IV级:排水沟内出现水流或人工发现漏水($H_{排,max}>0$); III级:排水沟内水流溢出或人工或视频监控到形成积水($H_{排,max}>$ 排水沟深度); II级: $H_{排,max}\geq 0.2$ m; I级:出现大范围积水情况,情况危急需要大范围排水(积水面积 $>100\text{ m}^2$)	取最高值

近地表综合积水深度,进而对车辆基地水灾风险进行预测。

以武汉地铁7号线野芷湖车辆基地为例进行分析。考虑地表排水能力,修正相关计算公式。将武汉市径流系数、野芷湖车辆基地设计降雨强度、集雨面积和地表积水区域面积输入如下修正后的计算公式:

$$V_t = (0.278\varphi qF - N_d)/A \tag{1}$$

式中:

V_t ——时间 t 内的地表积水上升速度,单位 m/s;

φ ——径流系数,城市建筑密集区综合径流系数取值范围为 0.60~0.85,本文取 0.8;

q ——降雨强度,单位 mm/h;

F ——集雨面积,单位 km^2 ,以武汉市洪山区为研究对象,本文取 78.8 km^2 ;

A ——地表积水区域面积,单位 m^2 ,以武汉市洪山区为研究对象,本文取 $(26.8\times106.0)\text{ m}^2$;

N_d ——地表排水能力,可通过开始降雨到开始产生大面积积水之间的降雨量确定,单位 m^3/s ,根据模拟结果取值 $60\text{ m}^3/\text{s}$ 。

$$h = \sum V_t t \tag{2}$$

式中:

h ——地表综合积水深度,单位 m。

3.5 监测方案设计

为保证车辆基地水灾防控效果,避免水灾通过 U 型槽影响正线区间,除 U 型槽挡水墙加高、加挡板、堆沙袋等措施外,还需对 U 型槽进行水灾监测,实现智能水灾防控。

车辆基地 U 型槽两侧设有挡墙,挡墙一般高于场坪标高。但运营过程中挡墙需要保持开口状态,鉴于轨行区是车辆基地洪水倒灌涌入区间的主要入口这一实际情况,提出在轨行区碎石道床与整体道床交界处(碎-整交界处)设水位预警监测点,在降坡最低点的敞口段与隧道交界截水沟设水位预警、告警监测点,如图 6 所示。

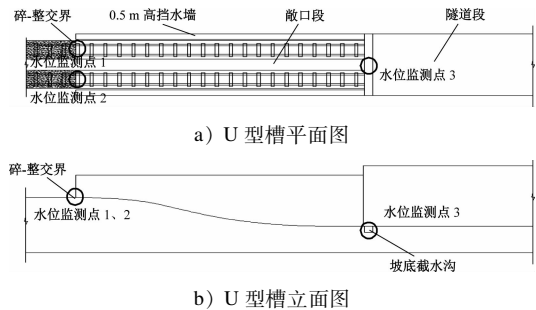


图6 车辆基地出入段线水位传感器部署位置

Fig.6 Water level sensors layout for inlet/outlet line in the vehicle base

1) 水位监测点1。碎-整交界处采用水位标尺 +

摄像机的图像识别监测技术,实时监测 U 型槽外部水位情况,在涌水进入 U 型槽之前进行预警,提醒工作人员提前做好泄洪工作。

2) 水位监测点 2。敞口段与隧道交界截水沟由于钢格栅遮挡,无图像识别条件,因此采用光纤光栅水位计监测,对敞口区大雨量后导致的截水沟水位过高情况进行预警,对轨行区涌水或挡水墙漫水倒灌区间导致的截水沟水位异常情况进行告警。

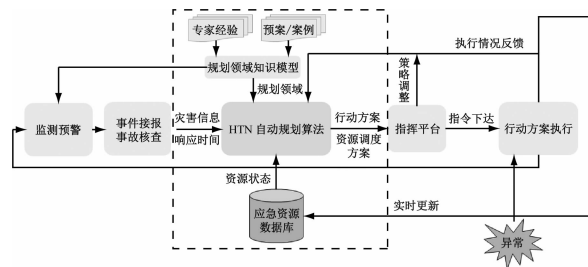
为方便 U 型槽水灾监测数据的传输、应急行动高效处置和物资高效调配,应将水灾监测平台纳入车辆基地 DCC 值班室监管,实现数据的处理、分析以及决策方案制定和可视化管控,实现预警信息管理以及处理结果自动存储备份等功能。

3.6 智能决策及应急调度

智能决策系统提供视频监控、水位状态监测、报警监管等功能,实现车辆基地水灾的智能监测。智能决策系统根据敞口处水位、水漫面积、集水井水位、降雨量、排水沟水位、位置信息和采集时间等数据实现实时显示、智能分析和报警监管。

水灾监测平台对水灾实时报警事件、趋势预测告警、脆弱性评价告警、外部极端天气告警等多类报警/告警信息进行管理,支持报警/告警信息的快速查询与报警证据获取。

应急调度指挥系统内置应急预案、历史案例和知识模型等,以水灾灾害信息、响应时间及资源状态作为输入,响应智能决策告警,自动智能规划输出应急行动方案和资源调度方案等。应急调度指挥系统智能规划逻辑如图 7 所示。



注:HTN—分层任务网络。

图 7 应急调度指挥系统智能规划逻辑图

Fig. 7 Intelligent planning logic diagram of emergency dispatching command system

应急调度指挥系统智能规划输出的应急行动方案和资源调度方案中的堆沙袋、插挡板等措施,均可系统预置。系统部署于专用系统的 PC 端和手机端等,实现应急人员与调度指挥中心的高效联

动,提高水灾应急处置效率等。

3.7 投资分析

水灾监测系统包括水位标尺、红外球机、光纤光栅水位传感器、光纤光栅解调仪、POE 交换机(支持以太网供电的交换机)、光电转换模块、汇聚型光纤交换机、水位监测算法系统主机、水位监测融合算法系统、显示屏、光缆、电缆等,按照阶段(指特定阶段,可明示,如建设阶段或某时间阶段)系统配置水平,总估算预计约 30 万元。

4 结语

根据对车辆基地防洪设计措施及要点分析,提出了出入段线 U 型槽防淹挡板设计方案,对平面布置、断面布置、专业接口要点、适用情况等设计方案进行了详细论述。为提高出入段线智能防洪效果,提出了车辆基地出入段线水灾监测方案,通过设置水位标尺、光纤光栅水位计、水位监测融合算法系统等,实现智能防洪预警、应急调度防洪。防淹挡板及防洪监测方案可较好避免洪灾通过出入段线影响正线区间,可为类似设计提供参考,提高城市轨道交通工程防淹应对能力。

参考文献

- [1] 臧文斌,柴福鑫,刘昌军,等. 2021 年郑州“7·20”特大暴雨五龙口停车场内涝及地铁隧道进水分析[J]. 中国防汛抗旱, 2022, 32(5): 16.
ZANG Wenbin, CHAI Fuxin, LIU Changjun, et al. Analysis of waterlogging in Wulongkou parking lot and subway tunnel flooding of “7·20” extreme rainstorm in Zhengzhou City in 2021[J]. China Flood & Drought Management, 2022, 32(5): 16.
- [2] 王振亚,姚成,董俊玲,等. 郑州“7·20”特大暴雨降水特征及其内涝影响[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2022, 50(3): 17.
WANG Zhenya, YAO Cheng, DONG Junling, et al. Precipitation characteristic and urban flooding influence of “7·20” extreme rainstorm in Zhengzhou[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2022, 50(3): 17.
- [3] 刘成文. 城市轨道交通车辆基地场坪标高的确定[J]. 城市轨道交通研究, 2012, 15(3): 24.
LIU Chengwen. Research of determination principle for ground elevation of rail vehicle base[J]. Urban Mass Transit, 2012, 15(3): 24.
- [4] 陈辉辉. 山岭地形区域地铁车辆基地场排水设计研究[J]. 现代城市轨道交通, 2020(11): 81.
CHEN Huihui. Study on drainage design of metro depot in mountainous terrain area[J]. Modern Urban Transit, 2020(11): 81.

(下转第 176 页)

liability modeling method of low-voltage switchgear based on competitive failure [J]. Proceedings of the CSEE, 2020, 40 (21): 7094.

- [5] 赵书涛, 王波, 华回春, 等. 基于马尔科夫模型的直流断路器可靠性评估方法[J]. 电工技术学报, 2019, 34 (增刊 1): 126.

ZHAO Shutao, WANG Bo, HUA Huichun, et al. Reliability evaluation method of DC circuit breaker based on Markov model[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2019, 34 (S1): 126.

- [6] 李海英, 冯冬, 宋建成. 中压真空断路器状态的雷达图法评

估模型[J]. 电网技术, 2013, 37(7): 2053.

LI Haiying, FENG Dong, SONG Jiancheng. Condition-based assessment model of MV vacuum circuit breaker with radar chart method[J]. Power System Technology, 2013, 37(7): 2053.

- 收稿日期:2023-08-09 修回日期:2023-11-20 出版日期:2024-03-10
Received:2023-08-09 Revised:2023-11-20 Published:2024-03-10
· 通信作者:郭德龙,高级工程师, gdl2088@126.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(上接第 164 页)

China Railway Shanghai Design Institute Group Corporation Limited. Research report on reasonable design value of dynamic parameter and reasonable stiffness for shanghai suburban railway beam bridge[R]. Shanghai: China Railway Shanghai Design Institute Group Corporation Limited, 2022.

- [7] 张军. 高速铁路简支梁动力系数影响因素分析及合理取值研究[D]. 长沙:中南大学, 2012.

ZHANG Jun. Study on influencing factors and suggestive value for high-speed railway simple supported beam bridge[D]. Changsha: Central South University, 2012.

- [8] 胡所亭, 王丽, 蔡超勋. 铁路桥梁设计动力系数研究进展

[J]. 铁道建筑, 2019, 59(12): 1.

HU Suoting, WANG Li, CAI Chaoxun. Research progress on dynamic coefficient of railway bridge design[J]. Railway Engineering, 2019, 59(12): 1.

- 收稿日期:2023-03-16 修回日期:2023-05-20 出版日期:2024-03-10
Received:2023-03-16 Revised:2023-05-20 Published:2024-03-10
· 第一作者:朱永兵,高级工程师, zhuyb@sty.sh.cn
通信作者:吴定俊,教授, Tjwdj@tongji.edu.cn
· ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(上接第 170 页)

- [5] 江伟, 黄玉萍. 一种智能挡板防淹系统设计[J]. 广东交通职业技术学院学报, 2020, 19(4): 21.

JIANG Wei, HUANG Yuping. A Kind of Smart Damper Flood Prevention System Design[J]. Journal of Guangdong Communication Polytechnic, 2020, 19(4): 21.

- [6] 曾国保, 王聪, 姚建华. 城市轨道交通防洪工程建设思路探讨[J]. 铁道工程学报, 2022, 39(4): 89.

ZENG Guobao, WANG Cong, YAO Jianhua. Discussion on flood control project construction of urban rail transit[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2022, 39(4): 89.

- [7] 郑建春. 地铁车辆基地出入段线内涝灾害数据采集与模拟分析: 以北京易涝地铁车辆基地为例[J]. 安全, 2022, 43 (7): 1.

ZHENG Jianchun. Data acquisition and simulation analysis of waterlogging disaster in inlet/outlet line of subway vehicle base taking subway vehicle bases prone to waterlogging in Beijing[J]. Safety, 2022, 43(7): 1.

- [8] 邵鹏飞, 赵燕伟, 杨明霞. 城市内涝监测预警信息系统研究[J]. 计算机测量与控制, 2016, 24(2): 49.

SHAO Pengfei, ZHAO Yanwei, YANG Mingxia. Research on ur-

ban waterlogging monitoring and pre-warning system[J]. Computer Measurement & Control, 2016, 24(2): 49.

- [9] 秦兆明. 水利工程河道防洪堤光纤式智能监测研究[J]. 水利技术监督, 2022, 30(6): 60.

QIN Zhaoming. Study on optical fiber intelligent monitoring of river flood dike in water conservancy project[J]. Technical Supervision in Water Resources, 2022, 30(6): 60.

- [10] 吴建松, 许声弟, 张辉. 城市地下空间水灾试验与数值模拟研究综述[J]. 中国安全科学学报, 2016, 26(9): 1.

WU Jiansong, XU Shengdi, ZHANG Hui. A review of experimental and numerical simulation studies on flooding in urban underground spaces[J]. China Safety Science Journal, 2016, 26 (9): 1.

- 收稿日期:2023-09-01 修回日期:2023-11-25 出版日期:2024-03-10
Received:2023-09-01 Revised:2023-11-25 Published:2024-03-10
· 作者:胡立翔,高级工程师, 670740975@qq.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—56830728 转 821