

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.07.035

# 运营前地铁线路防洪(涝)评估研究

## ——以南京地铁5号线为例

侯盼,王洁,杨勇,邓人超,朱丽丽  
(南京市水利规划设计院股份有限公司,江苏南京210000)

**摘要:**在地铁线路投入运营前进行防洪(涝)专项论证,从水利专业角度为地铁设计及施工阶段提出防洪(涝)建议,对于减小地铁运营安全风险具有积极的作用。以南京地铁5号线为例,根据地铁自身及所处片区的地形地貌、流域水系特点,综合城市建设布局及城市防洪、排涝体系,确定了防洪(涝)评估思路与方法,从外来洪水、区域涝水、片区排水角度开展新建地铁线路防洪(涝)评估研究,在评估的基础上提出了切实可行防洪(涝)应对措施。

**关键词:**运营前地铁线路;防洪(涝);评估

中图分类号:TV87

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2024)07-0144-04

## 0 引言

随着城市化进程加快,城市空间不断往地下延伸,地下空间的防汛安全问题显得十分重要。近年来,受全球气候变暖影响,全国各地极端暴雨天气频频出现,城市洪涝灾害频发,地铁线路的防汛险情时有发生,对人民生命财产安全造成威胁<sup>[1]</sup>。如河南郑州“7·20”特大暴雨灾害引发严重城市内涝,地铁5号线遭遇涝水灌入,加上应急处置不力、行车指挥调度失误、违规设计和建设施工等原因,造成14人死亡的不幸事件。为规避地铁的运营安全风险,需在新建线路投入运营前进行防洪(涝)专项论证<sup>[2]</sup>。本次以南京地铁5号线为例,开展新建地铁线路防洪(涝)评估,旨在线路投入运营前发现其面临的洪涝问题,提出合理可行的防洪(涝)应对措施,也期为今后新建地铁线路防洪(涝)论证提供一定的借鉴。

## 1 评估对象

一条完整地铁线路运行系统,根据其功能、使用要求、设置位置的不同,一般是由车站、运营控制中心、车辆段及基地(停车场)、变电所和区间五个部分组成。地铁车站是人员主要聚集点,按车站与地面相对位置分为地下车站、地面车站、高架车站三类。地铁与外界连通的途径主要通过车站出入口(一般乘客出入口、消防(安全)出入口、出地面无障碍电梯)、

风亭风井以及地下线路出入地面的洞口等,所有与外界连通的开口区域均可能受到洪涝威胁,从而影响地铁的正常运营。因此,对于设计施工阶段的新建地铁线路,应对线路车站、车辆段、变电所、区间风井(风亭)、区间出入土段进行防洪(涝)评估。

## 2 评估思路与方法

### 2.1 主要技术路线

(1)基础资料收集调研,收集地铁自身及所在区域基本资料,地铁自身资料包括站点各出入口、消防(安全)出入口、无障碍电梯、风井风亭、地下排水设施等设计资料,所在区域基本资料包括区域流域水系、地形地貌、现有防洪排涝设施、相关规划情况等。

(2)分析地铁所在区域防洪排涝现状,根据水利规划、河道和圩区情况,分析区域洪水和涝水的形成、影响因素、排泄通道等。

(3)防洪排涝分析计算:外河水位,根据地铁所在流域及区域位置、相关水利规划等,分析计算设计标准重现期下的外河设计洪水位;区域涝水,按设计暴雨和产汇流计算方法,并考虑区域的排涝能力推求设计涝水位。

(4)防洪(涝)安全评估阶段,根据地铁线路具体情况,确定防洪(涝)安全评估考虑的风险因素,针对设计资料进行各车站、车辆段、变电所、区间风井、区间出入土段的防洪(涝)安全评估。

(5)根据评估的结果,结合地铁实际情况,提出合理可行的防洪(涝)应对措施。

收稿日期:2023-08-01

作者简介:侯盼(1991—),女,硕士,工程师,从事水利规划、水文与水资源工作。

## 2.2 评估思路与方法

地铁车站风险环境划分为外部风险环境和内部风险环境,外部风险环境包括气象水文、地形地貌、河道情况、排水设施,内部风险环境包括地理位置、挡水能力、排水能力、结构渗漏和管理问题<sup>[3]</sup>。根据地铁自身及所处片区的地形地貌、流域水系特点,综合南京市城市建设布局以及城市防洪、排涝体系<sup>[4]</sup>,经过综合分析,确定地铁线路面临的主要风险为:外来洪水、区域涝水、片区排水、结构渗漏、管理五方面。对于新建的地铁线路,由于尚未投入运营,且设计过程中已充分考虑了结构渗漏的问题,故本次新建的地铁线路可主要从外来洪水、区域涝水、片区排水三个方面进行防洪(涝)安全评估。

(1)外来洪水安全评估。分析站点所处防洪圈是否封闭,涉及的外河堤防是否达到相应设计标准,与地铁防洪标准是否相适应等。

(2)区域涝水安全评估。分析站点所处圩区河道及泵站排涝标准与地铁防涝设计标准是否相适应,在此基础上计算地铁设计标准下圩区相应的涝水位,再将各出入口的设计标高与圩区涝水位进行对比分析,分析站点是否受区域涝水的影响。

(3)片区排水安全评估。片区排水是指站点附近小范围排水情况,主要包括片区排水条件、排水设施排水能力两方面。通过站点附近微地形条件,判断各出入口是否处于局部低洼点,分析周边市政道路的可能积淹水趋势,并计算道路可能淹水深度,结合站点出入口设计资料,分析排水形势。根据地下排水设施设计情况以及周边市政排水管网建设情况,分析判断排水设施的排水能力。

## 3 案例分析

### 3.1 线路基本情况

南京地铁5号线起自S1号线吉印大道站,止于方家营站,全长37.4 km,共设30座车站(均为地下车站),2处主变、2处车辆段、3座区间风井。地铁5号线由南向北穿越南京市东山副城及主城区,根据南京市中心城区防洪规划总体布局,线路涉及4个防洪圈,6个排涝片区,其中最南段水长街停车场、吉印大道站、九龙湖南站、诚信大道站、前庄站、九-诚区间风井、停车场出入土段位于东山副城秣陵防洪圈<sup>[5]</sup>,本次以该防洪圈内7个点位为典型进行防洪(涝)评估。

### 3.2 防洪排涝状况总体分析

地铁5号线水长街停车场—前庄站位于东山副

城秣陵防洪圈,该防洪圈东临秦淮河干流,南抵云台山河及阳山河,西至韩府山、将军山,北至秦淮新河,防洪标准100 a一遇。防洪圈内以牛首山河为界,分为百家湖排涝片、九龙湖排涝片。九龙湖排涝片自排区面积12.0 km<sup>2</sup>,机排区面积26.2 km<sup>2</sup>,片区内河道纵横交错,西侧高水自流入外河,东侧圩区地势低洼平坦,地面高程低于外河洪水位,遇到本地降雨时,无法通过重力排出,通过排涝河道将雨水输送至雨水泵站,后通过沿堤长山泵站等7座排涝泵站抽排入外河。地铁5号线水长街停车场、吉印大道站及区间出入土段位于九龙湖排涝片自排区,九龙湖南站—前庄站位于机排区,见图1。



图1 地铁站点位置及周边水系图

### 3.3 外来洪水安全评估

片区内点位主要受秦淮河、牛首山河、阳山河、云台山河高水位威胁,将河道设计洪水位与现状堤防情况进行对比分析发现,经过多年整治,秦淮河左岸堤防已达100 a一遇标准,阳山河干流左岸堤防基本达到100 a一遇标准,牛首山河、云台山河下游堤防堤顶高程高于100 a一遇设计洪水位,局部段堤顶超高不足。地铁防洪标准为100 a一遇,与周边区域防洪标准相适应,点位距离牛首山河、云台山河均较远,且牛首山河、云台山河堤防提升工程正在实施中,因此,该片区内点位受外来洪水的影响较小。

### 3.4 区域涝水安全评估

南京市城市主要排涝河道及泵站排涝标准达到20 a一遇,低于地铁防洪防涝设计标准(100 a一遇),当发生100 a一遇降雨时,若由于泵站排涝能力不足、排涝河道规模不够等风险因素,则会导致排涝河道水体排泄不及,河道漫溢,造成地面积水,可能造成地铁线路进水。本次在计算圩区100 a一遇涝水位的基础上,进行区域涝水安全评估。

### 3.4.1 圩区涝水位分析计算

#### (1)产流分析计算

本次采用设计暴雨进行圩区涝水分析计算,根据《江苏省暴雨参数图集》计算100 a一遇设计暴雨,采用径流系数法计算暴雨产流过程。根据最新的第三次全国国土调查结果,针对分析区域不同的下垫面情况采取不同的径流系数,径流系数取值见表1。不同下垫面计算的产水量叠加,得到分析区域产水量过程,见表2。

表1 径流系数取值

下垫面情况	水面	农田、绿地、林地	道路、房屋	非农业、村舍及其他
径流系数(前2时段)	1.0	0.2	0.9	0.5
径流系数(后续时段)	1.0	1.0	1.0	1.0

表2 九龙湖排涝片机排区产水量计算表(100 a一遇)

时段 ( $\Delta = 1$ h)	降雨 过程 /mm	水面 2.02 km <sup>2</sup> / 万 m <sup>3</sup>	农田、绿 地、林地 5.14 km <sup>2</sup> / 万 m <sup>3</sup>	道路、房屋 13.72 km <sup>2</sup> / 万 m <sup>3</sup>	其他 5.32 km <sup>2</sup> / 万 m <sup>3</sup>	合计 26.2 km <sup>2</sup> / 万 m <sup>3</sup>
1	8.51	1.52	0.77	9.27	2.00	13.56
2	8.51	1.52	0.77	9.27	2.00	13.56
3	9.72	1.76	4.48	11.96	4.64	22.85
4	9.72	1.76	4.48	11.96	4.64	22.85
5	9.72	1.76	4.48	11.96	4.64	22.85
6	9.72	1.76	4.48	11.96	4.64	22.85
7	10.94	2.01	5.11	13.64	5.29	26.04
8	10.94	2.01	5.11	13.64	5.29	26.04
9	10.94	2.01	5.11	13.64	5.29	26.04
10	15.24	2.88	7.32	19.53	7.58	37.31
11	15.24	2.88	7.32	19.53	7.58	37.31
12	15.24	2.88	7.32	19.53	7.58	37.31
13	30.47	5.96	15.14	40.43	15.68	77.21
14	106.23	21.27	54.07	144.35	56.00	275.68
15	19.05	3.65	9.28	24.76	9.61	47.29
16	10.94	2.01	5.11	13.64	5.29	26.04
17	10.94	2.01	5.11	13.64	5.29	26.04
18	10.94	2.01	5.11	13.64	5.29	26.04

#### (2)积水量分析计算

根据圩区排涝泵站情况,排水方案按降雨两个时段后泵站全力排水,同时考虑片区内湖泊的调蓄作用,分析区域积水量随时间的变化过程,见表3。

#### (3)水位-调蓄量关系曲线

根据分析区域地形资料,将区域概化为1座水库,采用ARCGIS软件<sup>[6-7]</sup>分析计算区域内不同高程对应的蓄水量,九龙湖排涝片机排区水位~调蓄量关系曲线见图2。

表3 九龙湖排涝片机排区积水量变化分析表

时段 (1 h)	经湖泊调蓄后 时段产水量 /万 m <sup>3</sup>	累计 产水量 /万 m <sup>3</sup>	时段 泵排量 /万 m <sup>3</sup>	累计 泵排量 /万 m <sup>3</sup>	积水量/ 万 m <sup>3</sup>
1	12.88	12.88	0.00	0.00	12.88
2	12.88	25.75	0.00	0.00	25.75
3	22.05	47.80	25.20	25.20	22.60
4	22.05	69.85	25.20	50.40	19.45
5	22.05	91.90	25.20	75.60	16.30
6	22.05	113.95	25.20	100.80	13.15
7	25.14	139.09	25.20	126.00	13.09
8	25.14	164.22	25.20	151.20	13.02
9	25.14	189.36	25.20	176.40	12.96
10	36.01	225.37	25.20	201.60	23.77
11	36.01	261.37	25.20	226.80	34.57
12	36.01	297.38	25.20	252.00	45.38
13	74.52	371.90	25.20	277.20	94.70
14	266.10	638.00	25.20	302.40	335.60
15	45.64	683.64	25.20	327.60	356.04
16	25.14	708.78	25.20	352.80	355.98
17	25.14	733.91	25.20	378.00	355.91
18	25.14	759.05	25.20	403.20	355.85

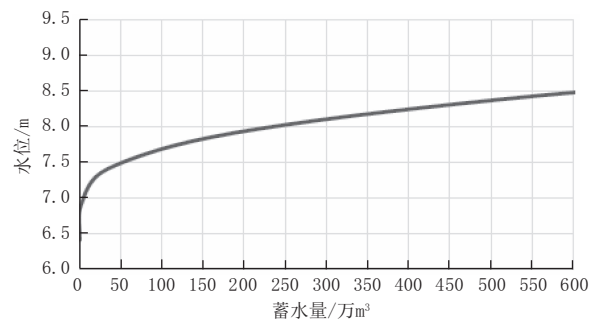


图2 水位-调蓄量关系曲线(1985高程)

对于100 a一遇的设计暴雨,在防洪堤安全的前提下,九龙湖排涝片机排区最大积水量约356.04万 m<sup>3</sup>,对应涝水位为8.16 m。

### 3.4.2 各点位区域涝水安全评估

九龙湖南站、诚信大道站、前庄站、九-诚区间风井4处点位位于圩区范围内,根据点位所有与地面连通的出入口设计资料分析,诚信大道站1~4号出入口、1~3号消防出入口防淹没平台设计标高低于所在圩区100 a一遇涝水位,当发生100 a一遇降雨时,圩区涝水可能会从出入口进入地铁内部,影响地铁正常运营。其余点位各出入口防淹没平台及风井出风口高程均高于圩区100 a一遇涝水位。

### 3.5 片区排水安全评估

分析区域内7处点位各出入口附近基本为平整或坡面地形,仅诚信大道站1、3号出入口外部市政

道路处于局部低洼点,在雨水管网排水不畅的情况下道路可能会产生积水。根据公路路面降雨水深的经验公式<sup>[8]</sup>分析发现点位附近市政道路可能淹水深度均接近15 cm,各出入口平台设计标高均高出室外45 cm以上,满足《地铁设计规范》(GB 50157—2013)<sup>[9]</sup>的要求,同时吉印大道站等站点出入口平台位置均设有55 cm高的防淹挡板。

根据设计资料分析,各点位地下排水设施排水能力均满足地铁设计规范的要求;排水采用有压方式接入市政管网,不直接接入临近河道,基本不会通过排水管发生倒灌现象;点位附近的市政雨水管网基本已经建成,管网排水能力满足南京市中心城区的排水要求。因此,在未来加强运营管理的前提下,点位受片区排水的影响较小。

### 3.6 防洪(涝)应对措施

针对点位防洪(涝)安全评估的结果,提出切实可行的防洪(涝)应对措施,以减低洪涝对地铁线路的影响:

(1)诚信大道站1~4号出入口、1~3号消防出入口防淹没平台设计标高低于圩区100 a一遇内涝水位。由于上述出入口基本已建成,建议适当加高出入口防淹挡板高度,保证足够的安全超高,同时于出入口位置配置足够的防汛沙袋,提升车站应对涝水的能力。地铁5号线全线具备条件的站点可增设全自动防淹设备,以提升应对涝水的能力和响应速度,降低涝水对地铁线路的影响风险。

(2)地铁施工期间,密切关注站点周边地块开发建设及市政设施的建设情况,及时采取应对措施,防止因周边场地的施工造成地铁积淹水问题。若地铁施工造成周边部分排水系统受损,地铁建成后应立即按原标准恢复市政排水管网,避免影响区域排水管网功能。

(3)将地铁防汛纳入城市防汛体系,及时掌握并熟悉南京市汛情资讯,制定相应的工作预案,并加强与城市防汛指挥部的沟通联系,形成协调联动机制<sup>[10]</sup>。在每年汛前成立防汛领导小组,制定针对性的应急预案,增强全体人员防汛意识及自保自救能力,确保地铁能够安全度汛。

(4)每年汛前对车站站内排水出口与周边城市管网的衔接、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。汛期时应密切关注站点周边市政道路排水情况,各站点根据实际需要,配置足够的物资设

备,如沙袋、挡洪板等。

(5)当发生极端降雨、片区排涝泵站无法正常启用、超标准洪水等特殊工况时,地铁线路将面临较大的防洪防涝风险,地铁周边可能发生普遍的积淹水问题,此时,各站点应及时采取临时性自保措施,利用车站出入口设置的防淹闸槽,配合挡洪板、沙袋等设施挡水;根据实际情况,配备临时水泵排水,必要时关闭相关出入口,进行人员应急疏散工作,确保人员及设备的安全。

(6)对车站内部排水、地铁站与商业下沉广场连接通道,进行专项防洪风险评估,找出风险因素及存在问题,提出防汛对策和预防措施,确保汛期地铁与下沉广场连接通道能及时疏堵雨水,避免超标准洪水时涝水倒灌,保障地铁安全运行。

## 4 结语

随着城市地铁建设步伐的加快,在地铁线路投入运营前进行防洪(涝)专项论证,从水利专业角度为地铁设计、施工阶段提出防洪(涝)方面的建议,对于减小地铁运营安全风险具有积极的作用。本次以尚未投入运营的南京地铁5号线为例,从外来洪水、区域涝水、片区排水角度开展防洪(涝)评估研究,提出了新建线路防洪(涝)评估的思路,简化了评估方法,得出结论并提出了防洪(涝)应对措施,对未来设计、施工阶段的地铁线路防洪(涝)专项论证工作的稳步开展能够起到一定的参考作用。

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 中华人民共和国交通运输部.交运规[2022]4号关于修订<城市轨道交通初期运营前安全评估管理暂行办法>的通知[G].北京:中华人民共和国交通运输部,2019.
- [3] 蔡晶晶,张学华,陈宁威,等.地铁运营期防汛风险评估[J].地下空间与工程学报,2019,15(S1):470-478.
- [4] 缪大宏,张晓峰.南京城市防洪规划研究[J].中国水利,2015(13):16-19.
- [5] 吴玉明,王献辉,花剑岚.南京城市防洪规划(2013-2030)编制与思考[J].水利规划与设计,2017(1):7-10.
- [6] 高露雄,肖志远.GIS在堰塞湖应急水文容积曲线计算中的应用[J].人民长江,2015,46(S1):51-53,63.
- [7] 项宏亮.基于DEM和ArcGIS的湖泊容积快速计算[J].水上安全,2023(4):55-57.
- [8] 毛斌.公路路面降雨水深的分析计算[J].国外公路,1991(6):17-19.
- [9] GB 50157—2013,地铁设计规范[S].
- [10] 郑健吾.地铁工程的防洪对策与措施研究[J].城市道桥与防洪,2004(3):6-8,112.