

上海城市轨道交通气象风险的精细化管控策略

耿凯亮

(上海申通地铁集团有限公司运营管理部, 201103, 上海//工程师)

摘要 全球气候环境的变化对城市轨道交通积极应对气候变化的能力提出了更高的要求。为降低气象灾害对上海城市轨道交通的影响,最新研发的上海轨道交通气象辅助决策系统采用先进的监测技术,可对气象灾害提前预警,使上海城市轨道交通气象风险应对能够“关口前移”。在此基础上建立气象风险防范工作机制,提出了上海城市轨道交通应对气象灾害事件的精细化管控措施,以最大限度减少事故的发生、降低对设施设备的损害。

关键词 上海城市轨道交通;气象风险;精细化管控

中图分类号 P429; U29-39

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.03.018

Strategy for Refined Control of Meteorological Risks in Shanghai Urban Rail Transit

GENG Kailiang

Abstract Higher requirements on the ability of urban rail transit actively responding to climate change have also been put forward by the change of global climate environment. In order to reduce the impact of meteorological disasters on Shanghai urban rail transit, the newly developed meteorological decision-making assisting system for Shanghai rail transit adopts advanced monitoring technology to provide early warning of meteorological disasters, enabling Shanghai urban rail transit to move ahead in dealing with meteorological risks. On this basis, the meteorological risk prevention mechanism is established, and refined control measures are proposed for Shanghai urban rail transit to cope with meteorological disasters, in order to minimize the occurrence of accidents and damage to facilities and equipment.

Key words Shanghai urban rail transit; meteorological risk; refined control

Author's address Operations Management Department of Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd., 201103, Shanghai, China

近年来我国气象灾害频发,其发生规模、影响范围、破坏程度逐年扩大。2021年郑州的“7·20”特大暴雨,降雨量惊人,最大小时降雨量达201.9

mm,最大单日降雨量达552.5 mm。这场灾难导致郑州地铁5号线五龙口停车场及周边区域发生严重积水,致使5号线1列运营列车在沙口路站—海滩寺站区间内迫停,导致了14名乘客不幸遇难,大量设施设备损毁,郑州地铁全线网由此被迫停运50余天^[1]。该事件引起了巨大反响,研究气象灾害对城市轨道交通运营影响的规律及抗灾减灾措施,并建立一套适用于城市轨道交通的气象灾害预警系统刻不容缓。国内在这方面的研究主要集中于强化灾害天气的应对措施,尤其是在探索工程结构的抗灾性能上的研究较多。多年的研究与实践表明,城市轨道交通在预防灾害天气带来的影响方面取得了一定成效,但仍存在着局限性^[2]。本文以上海城市轨道交通为研究对象,针对灾害天气问题,从监测预警、风险管控、应急处置等多方面对城市轨道交通气象风险的精细化管控进行研究,为全方位提升城市轨道交通的防灾、减灾能力提供参考。

1 城市轨道交通气象灾害的具体表现

国内外学者对自然灾害和灾害性天气给出了多种分类方法。文献[3]在分析城市轨道交通气象灾害风险的成因特点、类型、影响力等方面后,将城市轨道交通气象灾害分为雨灾、风灾、雪灾、雾灾、雷电冰雹灾害、温度变化灾害。基于上述分类,表1对城市轨道交通气象灾害可能引发的风险进行分析,表1中所述的风险均有可能在不同程度上增加了城市轨道交通突发事件发生的影响,给城市轨道交通的安全有序运营和应急处置工作带来挑战。

2 上海城市轨道交通面临的气象风险

2.1 上海市域的主要气象灾害

上海地处长江中下游平原,濒临东海,为亚热带季风气候。其气候表现为四季分明,雨热同季。上海市域夏季盛行东南风,为最主要的降水集中期,极端最高气温可达40℃以上;冬季降水趋于减

表 1 城市轨道交通气象灾害可能引发的风险

Tab.1 Possible risks caused by meteorological disasters in urban rail transit		
灾害类别	灾害天气	可能引发的风险
雨灾	暴雨	车站、轨行区淹水倒灌；冲击/冲垮桥墩及其他设施设备
	梅雨	雨水浸泡设施设备,空气湿度大造成设施设备故障率高;增大设备的日常维护难度等
风灾	台风	强风破坏桥墩;露天设施设备松脱、掉落;异物侵限;列车脱轨等
	龙卷风沙尘暴	空气含尘量大、能见度低,影响司机安全瞭望;设施设备进沙,导致设备故障及线路积沙等
雪灾	大雪	掩埋地面/高架区段设施设备,影响其正常使用(如道岔无法密贴,造成列车无法折返);能见度下降,影响司机安全瞭望等
	风吹雪	能见度急剧下降,影响司机安全瞭望;背风积雪时易造成线路运行中断
雾灾	大雾	能见度下降,影响司机安全瞭望;使电线受到“污染”,引起输电线路短路、跳闸、掉闸等故障
雷电冰雹灾害	雷电	雷电击中地面/高架区段的供电设施设备
	冰雹	损坏地面/高架区段触网及轨旁的设施设备;与高速行驶列车发生撞击,影响行车安全等
温度变化灾害	高温	用电负荷增加;造成设施设备故障率高;人员作业易疲劳等
	寒潮、冰冻	输电能力下降;设施设备产生结冰现象,如道岔冻结、触网挂冰、管道爆裂等

少,天气寒冷,盛行西北风,最冷的时间段大多出现在1月中旬至2月上旬,该阶段常年平均气温低于5℃,1961年以来上海冬季极端最低气温达到-11℃。如图1所示,从2020年上海市发布的气象类预警情况也可以看出这一显著的气候特征。而根据上海市1984—2008年主要气象灾害统计情况可见^[4],上海全年均有可能受到灾害性天气的影响,其中:暴雨洪涝、台风、雷电、大风等最为频发,且集中出现在每年6~9月的汛期期间。

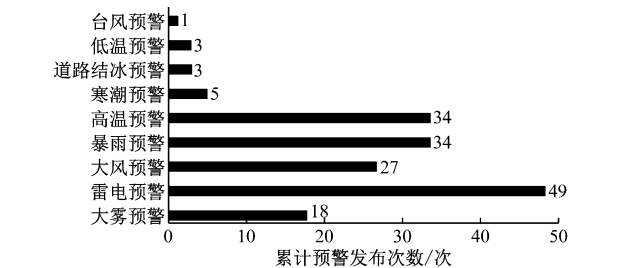


图 1 2020 年上海市主要气象预警发布情况
Fig. 1 Major weather early warnings issued in Shanghai in 2020

2.2 上海城市轨道交通受气象灾害影响的特点

一是区域性差异较为显著。图 2 为上海 1961—2019 年的平均年降雨量空间分布,可看出中心城区及东部沿海区域的降水高于其他地区。在每年汛期期间,中心城区及东部沿海区域易发生严重的内涝,可能引发城市轨道交通线网部分车站及区段的行车延误、客流积压、服务中断等问题。

二是灾害天气的对城市轨道交通的影响周期较长。因灾害天气引起城市轨道交通突发事件后,

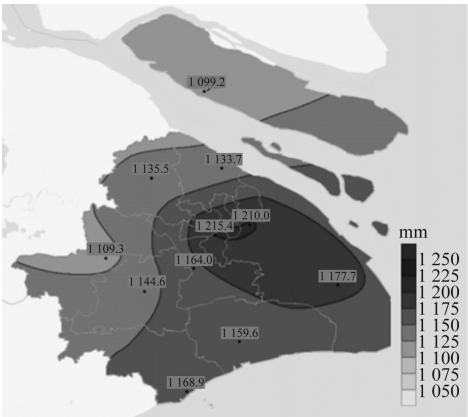


图 2 上海年平均降雨量空间分布(1961—2019 年)
Fig. 2 Spatial distribution of annual average rainfall in Shanghai (1961—2019)

灾害天气可能仍然会持续较长一段时间,这对城市轨道交通事故/事件的应急抢险带来一定的威胁,也给后续尽快恢复运营带来困难,影响后果严重的甚至可能需要数日方能解决问题、恢复正常运行。例如,2019 年第 9 号台风“利奇马”对上海的持续影响时间达 65 h,在此期间内上海城市轨道交通线网共发生多起突发事件,包括异物侵限、设备松脱、车站渗漏水等。

三是破坏力较大。由灾害天气引起的突发事件大多会直接影响城市轨道交通线路的正常运行,甚至导致线路大范围停运,进而严重影响城市轨道交通网络化运营的功能。例如,2021 年第 6 号台风“烟花”造成上海城市轨道交通 6 条线路停运、9 条线路缩线运营。

2.3 上海城市轨道交通面临的主要气象风险

本文对 2010—2020 年上海城市轨道交通因各类气象灾害引起的突发事件进行统计分析。如图 3 所示,由台风/大风造成的事件共计 15 起,由雷电造成的事件共计 12 起,由暴雨、强降水造成的事件共计 9 起,由低温冰冻造成的事件共计 2 起。由此可见,上海城市轨道交通安全运行的主要气象风险因子主要为台风/大风、雷电、暴雨和冰冻雨雪等。

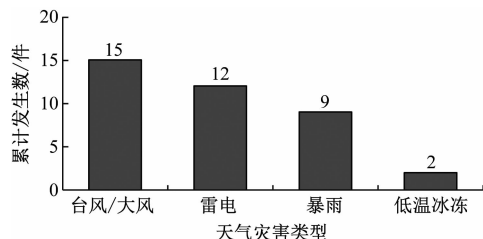


图 3 2010—2020 年上海城市轨道交通因气象灾害引发的突发事件数

Fig. 3 The number of emergencies caused by meteorological disasters in Shanghai urban rail transit in 2010-2020

3 上海城市轨道交通防范气象风险策略

3.1 构建上海轨道交通气象辅助决策系统

各地城市轨道交通普遍采用市气象部门发布的全市统一预警,并将此作为启动预警响应的唯一标准。但是,由于气象灾害频率和强度分布具有不平衡性,对不同地理区域的线路、车站造成的影响程度有所不同,对气象灾害影响范围内线路、车站所制定的预防措施也应有所不同。为了准确获取城市轨道交通区域的气象预警信息,上海城市轨道交通在 2015 年在 2 号线、16 号线率先实施强风预测预警设备的应用试点^[5]。基于多年试点运行的效果及事件预防、应急处置经验,2020 年上海城市轨道交通与上海市气象服务中心共同研发完成了上海轨道交通气象辅助决策系统。该系统利用上海市基础地理数据、前期试点安装的自动气象站及上海市气象局既有的气象站监测资料,实现了对气象灾害的实时监测、风险预警等多项数字化功能。如图 4 所示,该系统分为 6 大版块。

1) 中心地图版块。该版块显示上海城市轨道交通所有线路的分布地图,常态显示为绿色。一旦有风险预警,预警路段将进行高亮显示。此外,在界面上方位置会滚动更新上海气象预警信号的标识符号和预警内容。

2) 风险预警版块。根据设置的预警阈值,显示

当前上海城市轨道交通中大风、降雨、低温等风险预警情况。根据预设的预警阈值,将预警等级分为特别严重(用红色标识)、严重(用橙色标识)、较重(用黄色标识)、一般(用蓝色标识)共 4 个等级。显示的数字分别表明风险预警的站区间总数以及每条线路的具体情况。

3) 气象实况预报版块。如图 4 b) 所示,该版块显示每线、每站(可区分出地面站、地下站、高架站)当前的风速、降雨量、气温等实况信息,以及当前数据的采集时间。这些信息参数一旦超出阈值,系统将发出颜色告警。

4) 影响版块。可根据用户需求,显示某条线路各个站点的客流情况。当出现风险预警时,将统计当前风险下的影响人数。

5) 预警信息版块。可显示全市及区县的预警信息,同时在中心地图的上部有相关的滚动字幕及预警信号。

6) 极端天气统计版块。当版块界面内出现极端天气受影响站点数时,点击该数字在中心地图相关站点上会出现闪烁。极端天气包括大风、短时强降水、高温及低温。

该系统于 2021 年正式投用,在抵御 2021 年第 6 号台风“烟花”、第 14 号台风“灿都”过程中,通过系统的提前预警,增加了应急准备时间,使预警响应整体前移,也为极端天气下城市轨道交通线网的运营指挥提供了更准确的决策依据。后续该系统还将继续探索应用场景,以大数据、云计算等科技手段为基础,探索智能化、数字化与防灾、减灾工作相结合,推动城市轨道交通气象风险管控能力和水平的提升。

3.2 建立气象风险防范工作机制

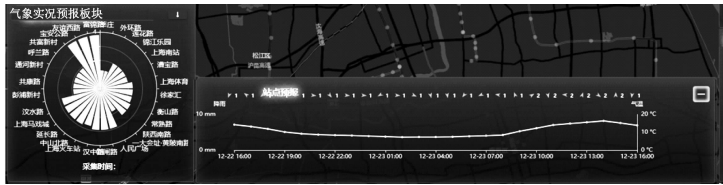
通过采取技术先进的监测手段和获取及时、有效的预警信息,使上海城市轨道交通气象风险应对“关口前移”,这为城市轨道交通的安全运行构筑了坚实的基础。从另一个角度看,对城市轨道交通气象风险的精细化也提出了更高的要求。以大风极端天气为例,其防范机制如图 5 所示。

具体的大风灾害风险防范工作包括:

1) 发布工作指令。立即组织力量加强车站、车辆基地、线路等区域附属设施和悬挂物紧固状态的检查和巡视工作,将导向牌、门窗、围墙、广告牌、空调外机、玻璃幕墙、隔音屏等露天线路设施设备列为检查重点,防止发生物体脱落或倾倒造成的轨行区侵限、高空坠物、人员伤害事件的发生。



a) 总界面



b) 气象实况预报板块



c) 影响板块、预警信息板块、极端天气统计板块

图4 上海轨道交通气象辅助决策系统及部分板块的界面截图

Fig. 4 Interface of meteorological decision-making assisting system for Shanghai rail transit and certain boards

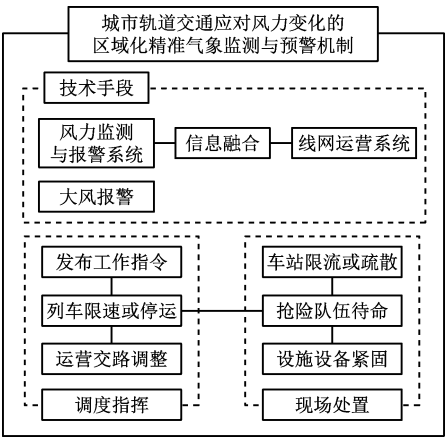


图5 上海城市轨道交通大风灾害风险防范工作机制

Fig. 5 Shanghai urban rail transit risk prevention mechanism for gale disasters

2) 强化运营准备工作。夜间调整取消部分“不相关、非重大”的施工计划,增设临时巡检施工项目。同时压缩施工时间,巡道车较图定发车时刻提前1 h 出库巡道,以确认设备状况正常。

3) 加强行车安全。列车司机重点关注高架地面线路是否有异常情况。调度应根据气象风险预警及现场列车运行的异常情况,及时发布列车限速、停运等指令,并根据线路的折返条件调整各线行车交路,尽最大可能降低灾害造成的影响。

4) 加强客运组织。车站根据线路运能下降、线路停运等情况开展大客流疏导工作,对出入口、电扶梯等重要部位加强客流秩序管控,防止客流积压造成的客流对冲。积极通过电视直播、车站广播、列车广播、乘客信息系统、客流实时信息显示系统、官方微博、官方网站等多种渠道,尽快向社会发布应急信息,引导乘客绕行,调整乘客的出行方式,有效降低运营调整对乘客出行的影响。

5) 强化应急抢修布局。一方面,各运营直属单位的专/兼职抢修队应全天候昼夜不间断值守;另一方面,主动与上海的市级联动单位、属地政府、城市轨道交通建设单位等加强对接,建立联合应急处置机制,以形成强大合力。

4 上海城市轨道交通应对气象灾害事件的具体措施

在应对气象灾害实战经验的基础上,上海城市轨道交通对气象灾害引起突发事件的处置过程及其后果进行总结分析,评估防灾、减灾工作的有效性,建立、健全了相关规章制度和处置预案,规范、细化了应急响应和应急处置的要求。

1) 如遇大风、台风等风灾,应重点关注行车组织与行车安全。严格执行交通运输部关于城市轨道交通行车组织管理的相关要求:若地面、高架线路或区段处于风力波及范围内,风力达 7 级时列车运行速度不应超过 60 km/h,风力达 8 级时列车运行速度不应超过 25 km/h、风力达 9 级及以上时需停止运营;列车司机应加强列车运行瞭望,提高对运行过程中“疑似异物侵限或异常情况”的警觉性,一旦发现异常,要立即限速或停车,防止影响进一步扩大。

2) 如遇雨水倒灌进入城市轨道交通区域的险情,要果断落实“熔断”机制。列车司机应立即确认积水情况,特别是积水面距轨面的距离,若积水面距轨面高度不小于 50 mm,应组织列车限速通过;若积水面距轨面高度小于 50 mm,原则上列车不允许通过积水区段。专业抢险抢修队伍应立即赶赴现场,组织落实确认区间泵状况并排除区间积水;属地管理单位应立即利用防汛板、沙袋、应急泵等应急物资,组织落实应急处置,并做好用电安全防护。

3) 如遇雷电导致设施设备故障,调度应及时做好运营组织调整。专业抢险抢修队伍应根据抢修指令赶赴现场,组织做好现场安全防护、抢修、设施设备测试及运营恢复工作。

4) 如遇雨雪冰冻天气,要进一步优化和改进供水管道的保温手段,对车站出入口、高架站和地面站水喷淋系统(重点是喷头、接口位置)及站外设备实施特殊保温措施,以减少此类薄弱环节对正常运营的影响。应及时做好积雪清扫作业,在非运营时段或非出入场作业时段应严格落实所辖道岔的扫雪和操作要求。为防止道岔功能失效,扫雪和操作道岔的作业频次不应少于 1 次/h。

5) 遇到各类气象风险时,上海城市轨道交通均应积极联动内、外部相关单位,做好社会力量动员和参与。如有抢险、救灾需求,应尽快分别向市、区

两级主管部门和联动单位申请应急力量、应急物资支援。

5 结语

城市轨道交通是气象高敏感行业,大风、暴雨、雷电、降雪、大雾等灾害性天气直接影响城市轨道交通的运营秩序和运营安全,及时的气象预警和充足的应急准备可以最大限度地减少事故的发生、减少对设施的损害。上海城市轨道交通气象风险管控的做法和经验,为探讨国内城市轨道交通适应气候变化所采取的措施有参考作用。城市轨道交通的气象灾害防范及应对措施必将随着技术的进步持续向更为系统、全面、专业化的方向发展。

参考文献

- [1] 程永谊,刘峻峰,吴方林. 极端天气条件下城市轨道交通防水对策研究[J]. 现代城市轨道交通,2021(11):36.
CHENG Yongyi, LIU Junfeng, WU Fanglin. Research on water-proof and drainage countermeasures of urban rail transit under extreme weather[J]. Modern Urban Rail Transit, 2021(11):36.
- [2] 潘佳文,杨奇志,彭婕. 厦门地铁 1 号线气象条件分析及服务方案探讨[C] // 中国气象学会. 第 35 届中国气象学会年会 S14 大数据、互联网、融媒体时代气象服务的创新与变革——第八届气象服务发展论坛. 合肥:中国气象学会,2018:7.
PAN Jiawen, YANG Qizhi, PENG Jie. Analysis of meteorological conditions and discussion on service scheme of Xiamen Metro Line 1[C] // China Meteorological Administration. The 35 th annual meeting of China Meteorological Administration S14 innovation and reform of meteorological services in the era of big data, internet and convergence media — the 8 th meteorological service development forum. Hefei: China Meteorological Administration, 2018: 7.
- [3] 季运文,施其洲,叶玉玲,等. 城市轨道交通灾害性天气的定义、分类及研究方向[J]. 城市轨道交通研究,2005(6):23.
JI Yunwen, SHI Qizhou, YE Yuling, et al. Definition and classification of hazardous weathers on urban mass transit[J]. Urban Mass Transit, 2005(6):23.
- [4] 陈振林. 上海城市气象灾害风险管理的实践与思考[J]. 气象科技进展,2017(6):54.
CHEN Zhenlin. Urban meteorological disaster management in Shanghai[J]. Advances in Meteorological Science and Technology, 2017(6):54.
- [5] 翁春慧. 强风预测预警设备在上海轨道交通高架及地面线路中的应用[J]. 城市轨道交通研究,2016(3):138.
WENG Chunhui. Application of strong wind forecast on Shanghai rail transit elevated and ground metro lines[J]. Urban Mass Transit, 2016(3):138.

(收稿日期:2021-11-17)