

地铁列车行车设备故障应急处置优化研究

史秀红

东莞职业技术学院商学院 广东 东莞 523808

摘要：本文围绕地铁列车行车设备故障应急处置优化展开研究，旨在解决传统应急处置模式故障识别滞后、流程不规范、资源调配低效、复盘改进不足等问题。文章首先阐述行车设备核心类型与传统型处置局限，分析“预警—响应—处置—恢复”全流程痛点及成因，重点构建“智能监测—标准化流程—动态调配—闭环复盘”应急处置优化体系；通过实践运用表明，科学的应急处置优化体系可提升地铁列车运行安全，保障城市轨道交通运营安全。

关键词：行车设备故障；应急处置优化；物联网技术；标准化流程

引言：随着城市化进程的加速，地铁成为城市交通核心支柱，截至2024年，我国内地有55座城市开通地铁，运营里程超1.3万公里，车辆保有量超1.5万辆。列车安全运行至关重要，行车设备故障应急处置能力是保障运营安全的关键，高效处置可避免次生事故。然而，地铁列车行车设备故障应急处置具有“三高”特点，一方面，行车设备多系统协同，受线路环境限制，处置与资源调配难度大；另一方面，传统应急处置依赖人工经验

与事后响应，存在故障识别依赖上报、流程无标准、资源调配无序等问题。

1 地铁列车行车设备类型与传统应急处置局限性

1.1 地铁列车行车设备核心类型

地铁列车行车设备是保障列车正常行驶的关键系统，根据功能可分为动力驱动设备、安全控制设备、调度通信设备三大类，常见的故障表现及对运行的影响如表1所示：

表1 各类设备常见故障明细

设备类别	具体设备名称	常见故障表现	对运行的影响
动力驱动设备	牵引系统	动力输出不稳定、加速缓慢、无法启动	列车停运或行驶速度受限，导致线路拥堵
	供电系统	受电弓接触不良、车载供电中断、电缆绝缘层破损	列车失去动力与照明，需紧急停靠区间或车站
	传动系统	齿轮箱异响、轴承过热、车轮踏面磨损超标	列车行驶抖动，存在脱轨风险，需降速或停运
安全控制设备	制动系统	制动距离延长、制动失效、制动抱死	无法正常减速或停车，直接威胁乘客生命安全
	车门系统	车门无法开关、门锁不到位、车门意外开启	列车无法正常发车，或运行中存在乘客坠落风险
	车载监控系统	摄像头黑屏、行车数据记录中断、故障报警误报	无法实时监测车厢与设备状态，影响故障溯源
调度通信设备	信号接收设备	无法接收调度指令、信号显示异常、信号延迟	列车无法按计划行驶，需临时停车等待指令
	车载通信系统	司机与调度通话中断、车厢广播失效、应急呼叫无响应	无法传递故障信息与疏散指令，引发乘客恐慌

1.2 传统应急处置模式的局限性

当前多数地铁运营企业在行车设备故障应急管理中采用“人工上报—经验处置—事后总结”传统模式，存在明显不足，具体表现为四点：

故障识别滞后、预警能力弱：传统故障识别靠“司机人工发现+电话上报”，难以及时发现隐蔽故障，信息传递易遗漏关键要素，调度中心需反复确认，响应延迟平均10~15分钟。

处置流程不规范、协同效率低：未建立统一应急处

置流程，同类故障在不同线路、班组处置步骤差异大，流程混乱导致处置时间延长；各岗位缺乏高效协同机制，环节衔接滞后。

资源调配无序、保障能力不足：应急资源管理分散，无统一调度平台，故障发生后资源到位平均延误30~60分钟；部分车辆段未储备专用资源，阻碍处置。

复盘改进缺失、故障反复发生：传统应急处置后仅简单记录，未深入分析流程漏洞，复盘结果未用于优化流程，导致同类故障反复发生，陷入恶性循环^[1]。

2 地铁列车行车设备故障应急处置痛点及成因分析

2.1 预警环节：识别不及时、信息失真

痛点表现：隐蔽行车设备故障（如传动系统轴承磨

项目基金：2022年东莞职业技术学院项目化示范课程：《城市轨道交通运营安全与应急处理》课程项目化教学设计，项目编号：XMKC2020221317

损、供电电缆轻微漏电)难实时发现,故障上报经“司机发现—联系车站—车站转报调度”多环节,信息传递耗时且易失真;调度中心获故障信息仅能描述“现象”,难获取设备运行参数,难快速判断故障类型。

成因分析:

技术层面:未部署全覆盖行车设备状态监测系统,仅依赖列车自带基础报警功能,对微小故障信号不敏感;

人员层面:司机缺专业故障识别培训,对非直观故障判断不准确;

流程层面:故障上报流程繁琐,无标准化信息填报模板,导致关键参数缺失。

2.2 响应环节:协同滞后、决策低效

痛点表现:故障确认后,调度中心完成“通知维修班组、协调车站疏散、调整后续列车运行计划”等响应动作需30分钟以上;各部门职责划分模糊,如车站与列车在乘客疏散中推诿分工,维修班组与调度中心在故障处置优先级上有分歧。

成因分析:

机制层面:未建立统一应急指挥体系,各部门按“各自流程”响应,缺乏协同联动;

信息层面:无共享数据平台,调度中心需人工汇总车站客流、列车位置、资源储备等信息,决策效率低;

人员层面:应急培训以理论讲解为主,缺乏跨部门协同演练,工作人员对协作流程不熟悉。

2.3 处置与恢复环节:效率低、风险残留

痛点表现:维修人员到场后需重新排查故障,延长处置时间;未及时调配备用列车接驳滞留乘客,致乘客等待超1小时;恢复运营前未开展标准化安全检查,存在

二次故障风险。

成因分析:

技术层面:维修工具未智能化,无法提前获取故障设备运行数据,需现场重复排查。

资源层面:备用列车调度无优先级机制,高峰时段难快速调用。

流程层面:恢复运营前无标准化安全检查清单,易遗漏关键测试项。

3 地铁列车行车设备故障应急处置优化体系构建

3.1 智能监测:物联网技术实现故障实时预警

依托物联网技术部署行车设备状态监测系统,解决传统预警滞后问题,具体措施如下:

设备状态实时采集:在列车关键设备安装温度、振动、电流等传感器,采集运行参数;在信号接收设备、供电电缆安装信号强度、绝缘监测传感器,捕捉微小故障信号。参数超过预设阈值(如轴承温度 $>80^{\circ}\text{C}$ 、电流波动 $\pm 10\%$)时,系统自动预警。

故障信息自动上报:开发车载智能终端,故障发生时自动生成含故障设备名称、位置等信息的标准化“故障报告”,通过无线通信实时推送至调度中心、维修班组;支持司机补充现场信息,确保信息完整。

环境与客流联动监测:在车站站台、车厢安装客流密度传感器,在隧道安装视频监控与环境监测设备),在故障发生时反馈现场环境,为处置决策提供依据^[2]。

3.2 标准化流程:分级处置提升协同效率

根据行车设备故障的危害程度与影响范围,制定分级应急处置流程,明确各环节责任主体、时间节点与操作标准,如表2所示:

表2 应急处置流程表

故障等级	判定标准	处置流程	责任主体	时间要求
一级 (极高风险)	故障直接威胁乘客生命安全(如制动失效、列车失火)	1.司机立即紧急停车并开启应急制动;2.上报调度中心并组织乘客疏散;3.车站启动应急通道,引导乘客出站;4.维修班组到场处置故障,消防部门联动	司机、调度中心、车站工作人员、维修班组、消防部门	紧急停车 ≤ 1 分钟,疏散乘客 ≤ 10 分钟,维修人员到场 ≤ 15 分钟
二级 (高风险)	故障导致列车停运但无生命威胁(如牵引系统故障、供电中断)	1.司机将列车停靠至最近车站;2.上报调度中心,通知车站准备疏散;3.调度中心调配备用列车接驳;4.维修班组到场维修故障设备	司机、调度中心、车站工作人员、维修班组	停靠车站 ≤ 5 分钟,备用列车到场 ≤ 30 分钟,故障处置 ≤ 60 分钟
三级 (中风险)	故障影响列车运行效率但不停运(如信号延迟、车门开关缓慢)	1.司机上报调度中心,降低列车行驶速度;2.调度中心调整后列车运行计划;3.维修班组在列车回库后检修	司机、调度中心、维修班组	上报故障 ≤ 3 分钟,调整运行计划 ≤ 10 分钟,回库检修 ≤ 2 小时
四级 (低风险)	故障无明显影响(如广播杂音、个别监控黑屏)	1.司机记录故障信息;2.回库后上报维修班组检修	司机、维修班组	记录故障 ≤ 2 分钟,回库检修 ≤ 4 小时

同时,建立跨部门协同机制:搭建应急指挥平台,实现司机、调度中心、车站、维修班组实时在线沟通;

明确“首接负责制”,由首个接收故障信息的部门跟踪处置进度至故障解决;每月开展1次跨部门协同演练,提

升团队协作能力。

3.3 闭环复盘：持续改进避免故障反复

建立标准化复盘机制，将复盘结果应用于应急处置体系优化，具体流程如下：

复盘启动：故障处置结束后3日内，由调度中心牵头，组建“技术专家+管理人员+一线工作人员”的复盘小组；

故障还原：通过设备监测数据、监控录像、人员操作记录，还原故障发生、响应、处置、恢复的全流程；

措施制定：针对根本原因制定改进措施（如缩短老化设备维护周期、调整传感器预警阈值），明确责任部门与完成时限；

结果应用：将复盘案例纳入培训教材，组织全员学习，根据复盘结果更新应急流程与监测标准，实现持续改进。

4 应用案例分析

以某一线城市地铁运营公司（简称“D公司”）为例，该公司运营12条线路、800余辆地铁列车。2022年前采用传统应急处置模式，年均行车设备故障应急处置耗时超90分钟，同类故障复发率35%，年均乘客投诉200余起。2023年，D公司引入本文提出的“地铁列车行车设备故障安全应急处置优化体系”，具体实施内容与成效如下：

4.1 实施内容

智能监测系统部署：在500辆列车的牵引系统、制动系统、信号设备上安装传感器3000余个，搭建行车设备状态监测平台，在80个车站、30段隧道内安装客流传感器与视频监控设备，实现故障与环境信息实时采集。

标准化流程落地：制定四级故障分级标准与对应处置流程，明确各部门职责，每月开展1次跨部门协同演练，考核工作人员处置熟练度，考核通过方可上岗。

数字化资源调度平台搭建：整合60列备用列车、500套维修工具、300名救援人员信息至调度平台，实现资源可视化管理与智能调度，优化资源储备，在10个隧道线路车辆段增加轨道救援工具储备。

闭环复盘机制建立：每起故障后3日内完成复盘，形成改进措施并跟踪落实；每季度汇总复盘结果，更新应急流程与监测标准。

在实施智能监测系统部署过程中，特别针对牵引系统的电机温度、制动系统的压力波动以及信号设备的通信延迟等关键参数设置了阈值报警，确保异常情况能够第一时间被捕捉。标准化流程落地方面，不仅制定了详细的分级标准，还开发了配套的移动端应用，使现场工作人员能够通过手机快速查询处置流程，大大提升了响应速度。数字化资源调度平台搭建后，通过大数据分析预测各线路可能发生的故障类型及频率，提前进行资源预置，有效缩短了故障处置时间。闭环复盘机制建立过

程中，引入了第三方评估机构对复盘结果进行审核，确保改进措施的有效性和可操作性，同时将复盘成果纳入员工绩效考核体系，形成了持续改进的良性循环。

4.2 实施成效

处置时间显著缩短：2023年行车设备故障平均处置时间从90分钟降至42分钟，一级故障从60分钟降至22分钟，二级故障从85分钟降至38分钟，处置效率提升53%。

故障复发率下降：经复盘优化，同类故障复发率从35%降至8%，如信号系统故障年均从12次降至3次，牵引系统故障年均从10次降至2次。

乘客满意度提升：2023年乘客对行车设备故障处置满意度从72分（满分100分）提升至91分，因故障导致的投诉量下降65%，未发生因处置不当引发的安全事故。

5 未来发展趋势

5.1 人工智能深度应用：从“被动预警”到“主动预测”

未来基于海量行车设备运行数据训练AI预测模型，实现故障“提前预测”，如分析牵引电机数据提前1-2个月预测潜在故障并推送维护建议；同时AI自动识别应急处置冗余环节并给出优化方案，提升处置效率。

5.2 数字孪生技术融合：构建“虚拟处置场景”

利用数字孪生技术构建地铁列车与线路虚拟模型，将实时数据映射至虚拟场景，实现“虚拟模拟+现实验证”应急处置模式，如模拟故障优化方案、开展人员培训，提升实战能力并降低成本^[1]。

5.3 全链条协同资源共享

推动地铁运营企业与设备厂商、消防、医疗部门建立协同机制。设备厂商接入监测平台提供支持，消防、医疗部门提前获取信息同步响应，缩短救援时间。

结束语

本文构建“智能监测—标准化流程—动态调配—闭环复盘”四位一体优化体系，解决传统模式预警滞后、协同低效、资源无序、复盘缺失问题。应用案例表明，该体系可缩短处置时间、降低故障影响、提升运营安全。未来需进一步融合AI与数字孪生技术，强化跨部门协同，推动应急处置向“预测化、智能化、一体化”升级，保障地铁列车安全运行。

参考文献

- [1]李明.地下轨道交通设施设备故障对运营安全的影响及应对措施[J].城市轨道交通研究,2025,28(4):124-129.
- [2]张颖.城市轨道交通设备故障类事件应急处置预案体系构建[J].中国安全生产科学技术,2025,21(8):198-203.
- [3]赵亮.数字孪生技术在地铁行车设备故障应急处置中的应用[J].铁道机车车辆,2023,43(2):98-102.