

上海轨道交通列车运行可靠度提升对策研究

卢 弋¹ 冯 伟²

(1. 上海申通地铁集团有限公司运营管理中心, 201100, 上海;

2. 杭州市规划设计研究院, 310012, 杭州//第一作者, 高级工程师)

摘 要 列车运行可靠度反映了轨道交通运营的服务质量和管理水平,是轨道交通企业关注的关键绩效指标之一。为了提升上海轨道交通列车运行可靠度,分析了该指标的统计方式及其影响因素,并根据2014—2018年上海轨道交通列车运行可靠度数据进行多维度分析,从优化运营管理、提高维护管理水平及加强现场管控能力等方面提出针对性的对策。实践证明,上述对策能够有效提升上海轨道交通列车运行可靠度。

关键词 城市轨道交通; 列车运行可靠度; 提升对策

中图分类号 F530.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.10.017

Research on Countermeasures to Elevate Shanghai Rail Transit Train Operation Reliability

LU Yi, FENG Wei

Abstract Train operation reliability reflects the service quality and management level of rail transit operation, which is one of the key performance indicators concerned by rail transit enterprises. To elevate Shanghai rail transit train operation reliability, the statistical methods and influencing factors of the indicator are analyzed. Through the multi-dimensional analysis of Shanghai rail transit train reliability data from 2014 to 2018, targeted measures are proposed in the aspects of optimizing operation management, elevating maintenance management level and strengthening site operation control ability. Practice has proven that the above countermeasures can effectively elevate Shanghai rail transit train operation reliability.

Key words urban rail transit; train operation reliability; elevation countermeasures

First-author's address Operation Management Center, Shanghai Shentong Metro Co., Ltd., 201100, Shanghai, China

列车运行可靠度作为反映城市轨道交通运营服务质量和管理水平的关键指标,受到越来越多地铁企业的重视。目前,关于列车运行可靠度的研究

较少,已有的研究主要是基于延误传播理论和应急处置的研究^[1-3],属于“事后”应对策略,对延误事件的影响因素、发生机理缺少系统性的分析,亦缺少对“事前”对策的研究。因此,本文结合上海轨道交通的实际运营情况提出列车运行可靠度的影响因素和提升对策,可为国内的轨道交通企业提供借鉴。

1 列车运行可靠度内涵分析

列车运行可靠度是指列车在运行过程中每发生1件5 min以上延误事件的平均运营里程。目前,不同体系的统计方式略有不同。

1) GB/T 38374—2019《城市轨道交通运营指标体系》规定:列车运行可靠度为统计期内,线路列车发生5 min及以上延误事件之间平均行驶的运营车公里。

2) CoMET(国际地铁联合会):延误事件的统计有基于运行图和基于运行间隔两种方式。其中,基于运行图的统计方式与GB/T 38374—2019相同;基于运行间隔指实际运营间隔时间与计划运营间隔时间 ≥ 5 min的事件。

3) CAME(中国城市轨道交通协会):列车运行可靠度又名列车服务可靠度,延误事件统计方式与GB/T 38374—2019相同。

在国外城市轨道交通中,巴黎地铁、圣保罗地铁及墨西哥城地铁等少数欧美地铁企业采用基于运行间隔的统计方式,而大部分国家地铁企业则采用基于运行图的统计方式。我国城市轨道交通企业均采用基于运行图的统计方式,但受统计手段的限制,大部分仅统计始发站和终到站的延误事件。从国内主要城市统计延误事件的严格程度(见表1)来看,台北最为严格,上海和北京次之;广州和香港则更关注列车单程运行总时间的延误。

2 列车运行可靠度影响因素分析

根据延误事件的发生原因,列车运行可靠度的

表 1 国内主要城市延误事件的统计规定

Tab.1 Statistics rules for delay events in major Chinese cities

城市	始发站	中间站	终到站
上海	√	×	√
北京	√	×	√
香港	×	×	√
台北	√	√	√

注：“√”表示统计；“×”表示不统计。

影响因素可分为设备因素、员工因素和外部因素。

2.1 设备因素

设备因素是指车辆、通号、供电、工务和车站机电等设备发生的故障。

具体地,车辆故障包括车门、制动、牵引、控制等车辆系统的故障。通号故障包括车载、信号、轨旁、道岔、通信等设备通号功能的故障。供电故障包括接触网、牵引变电所、变电站及电力电缆等供电设备的故障。工务故障包括线路的故障。车站机电设备故障包括安全门、屏蔽门及电动栏杆等的故障。

2.2 员工因素

员工因素是指列车驾驶员、调度员、车站值班员等作业人员操作不当造成的延误事件,主要是由员工未执行作业标准或故障情况下应急处置能力不足导致。

2.3 外部因素

外部因素是指天气、乘客、异物侵入等非内部因素。外部因素分两种情况:①偶发情况——因天气、外部人员或异物侵入造成的延误事件具有偶发性,发生概率较低;②常态情况——因大客流造成的列车车门夹人、夹物,车门故障高发。

3 上海轨道交通列车运行可靠度分析

3.1 归因分析

1) 设备因素是影响列车运行可靠度的首要原因。从 2014—2018 年上海轨道交通延误事件归因来看(见图 1),设备因素造成的延误事件占延误事件总数的 76%。其中,通号专业的车载、轨旁、道岔故障和车辆专业的车门、制动、控制故障的发生频次最高,每年发生 10 件以上。

2) 外部因素占比较高,与现场管控能力有关。2014—2018 年,上海轨道交通因外部因素造成的延误事件占延误事件总数的 20%(见图 2)。其中,大

客流、乘客和侵限等因素发生的频次较高。

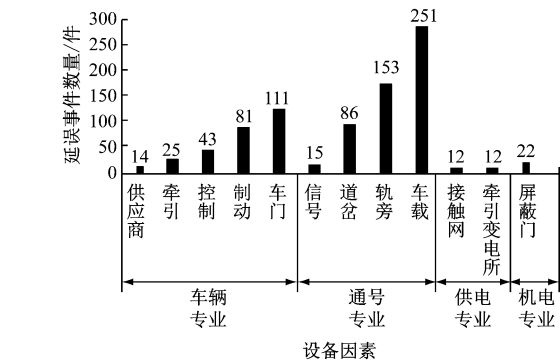


图 1 2014—2018 年上海轨道交通设备因素造成的延误事件数量

Fig. 1 Number of delay accidents caused by equipment factors in Shanghai rail transit from 2014 to 2018

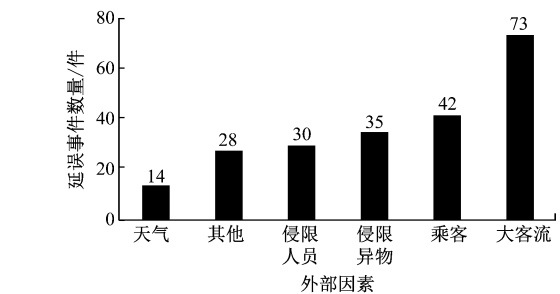


图 2 2014—2018 年上海轨道交通外部因素造成的延误事件数量

Fig. 2 Number of delay accidents caused by external factors in Shanghai rail transit from 2014 to 2018

3) 基于员工因素的列车延误事件占比不高,但列车驾驶员是影响列车运行可靠度的最大人为风险。2014—2018 年,上海轨道交通因员工因素造成的延误事件共 52 件(见图 3),占延误事件总数的 4%。其中,列车驾驶员的占比最高,达 94%。

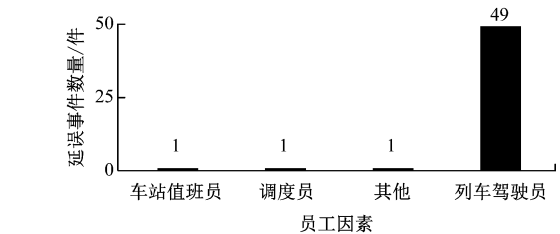


图 3 2014—2018 年上海轨道交通员工因素造成的延误事件数量

Fig. 3 Number of delay accidents caused by employee factors in Shanghai rail transit from 2014 to 2018

3.2 线路统计分析

1) 客运强度大及高峰满载率高的线路更易发

生延误事件,且发生在高峰时段的占比较高。上海轨道交通1号、2号、8号线是线网中客运强度最大的线路,2014—2018年其客运强度均超过2万人次/(km·d),且其延误事件数量显著高于其他线路(见图4)。此外,9号、11号线高峰满载率超过110%,发生延误事件数量亦较高。上述线路中高峰时段发生的延误事件数量占全天延误事件的40%以上。因此,需重点关注客运强度大、高峰满载率高的线路在高峰时段的运营管控措施,以降低延误事件的影响。

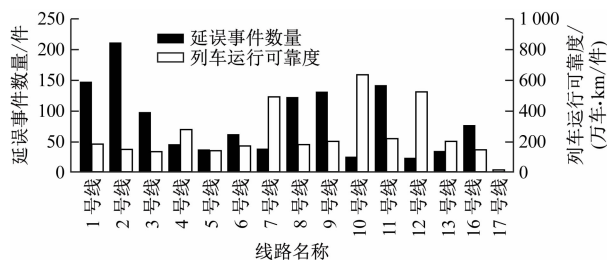


图4 2014—2018年上海轨道交通各线路的延误事件数量

Fig.4 Number of delay accidents on each line of Shanghai rail transit from 2014 to 2018

2) 车载故障突出。车载故障是上海轨道交通线网中涉及线路最多的故障,集中在3号、6号、8号、9号、11号线(见图5)。其中,3号、6号、8号、9号线车载故障数量近3年显著下降,且年发生事件数量低于3件,故障可控;11号线的车载故障发生频次仍然很高,需重点关注。

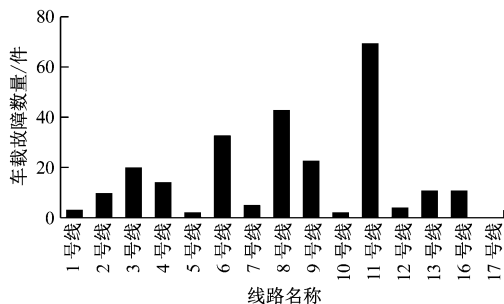


图5 2014—2018年上海轨道交通各线路车载故障数量

Fig.5 Number of on-board failures on each line of Shanghai rail transit from 2014 to 2018

3) 既有线故障频次更高。上海轨道交通1号、2号线作为开通运营超过20年的线路,其关键设备故障频发造成的延误事件数量远高于其他线路。其中,1号线车门、制动及轨旁故障最多,2号线车门、制动、轨旁故障和列车驾驶员导致的故障最多(见图6—图7)。因此,需重点关注既有线尤其是

老旧线路的设备状态,2号线的员工因素也需引起重视。

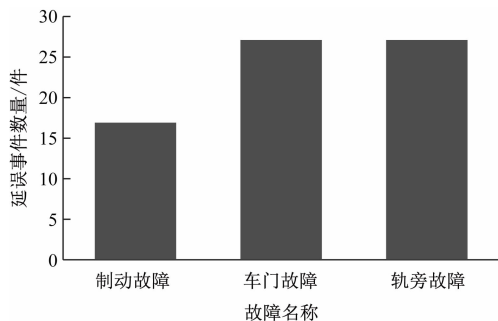


图6 2014—2018年上海轨道交通1号线延误事件数量

Fig.6 Number of delay accidents of Shanghai rail transit Line 1 from 2014 to 2018

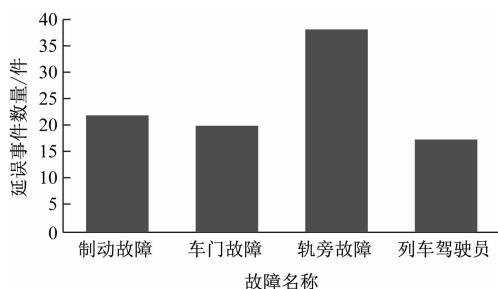


图7 2014—2018年上海轨道交通2号线延误事件数量

Fig.7 Number of delay accidents of Shanghai rail transit Line 2 from 2014 to 2018

4) 全自动运行线路可靠度更高。上海轨道交通10号线是目前国内唯一的轮轨系统全自动运行线路,其列车运行可靠度高于轨道交通全线网水平,见图8。全自动运行线路因设备固有的可靠性较高,且10号线自2014年起开通有人值守的全自动驾驶功能后,列车运行可靠度显著提升。因此,通过提升系统固有的可靠度和管控能力能有效提升列车运行可靠度水平。

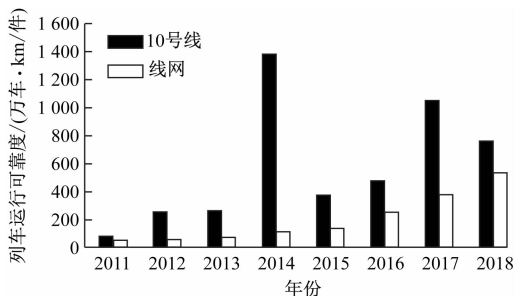
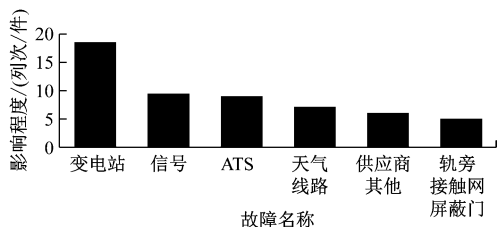


图8 2014—2018年上海轨道交通10号线列车运行可靠度

Fig.8 Train operation reliability of Shanghai rail transit Line 10 from 2014 to 2018

3.3 故障影响程度分析

1) 供电故障对列车运营的影响最大。主要原因是供电故障的排查难度高、波及范围广,且其可靠度依赖上级电网状态,一旦发生故障难以消除故障影响。从2014—2018年的数据(见图9)来看,变电站故障对延误事件的影响程度为19列次/件,接触网故障对延误事件的影响程度为5列次/件,均高于线网故障对延误事件的平均影响程度4列次/件。因此,关键供电设备的可靠度需重点关注。



注:ATS为列车自动监控。

图9 2014—2018年上海轨道交通延误影响程度

Fig.9 Degree of delay impact in Shanghai rail transit from 2014 to 2018

2) 通号设备的故障影响程度较高。信号、ATS、轨旁等设备的故障的影响程度均超过线网平均值(见图9),需引起关注。

3) 设备质量不佳及不明原因的故障对列车运营的影响较大。供应商因素是指设备存在设计缺陷或产品质量不佳,其他因素是指未查明原因的故障,两者造成的延误事件影响程度平均为6列次/件。为降低列车故障对运营的影响,需加强故障分析以及对供应商的源头管控。

4 上海轨道交通列车运行可靠度提升对策

4.1 完善指标管理,发挥绩效管理作用

1) 细化考核目标。通过制定网络级、公司级、线路级、专业级的管控目标体系,促进指标的落实和责任传递。

2) 优化考核奖惩机制。适当增加奖励措施,通过正向激励与考核相结合的措施,提升员工的积极性。

3) 建立常态跟踪、分析和预警机制。2018年起,上海申通地铁集团有限公司(以下简称“上海申通地铁”)推进常态工作机制建设,强化过程统计和事件分析,通过“一事一议”提升原因分析能力和问题消缺力度。

4.2 实施线路增能,加强运能供给

上海申通地铁提前两年制定线网未来5年的运

能规划,针对各线路的客流需求提前统筹设备改造、列车增购和人员配置工作,并通过提升旅行速度、开行不对称交路运行图等精细化措施将最大的运能精准投放至线网最拥挤的区段,尽可能降低大客流对运营的冲击。

4.3 实施专项改造,提升设备固有可靠性

1) 加强系统更新及改造。对老旧线路、故障高发的设备进行软件升级、调整冗余、硬件整改及大修改造等,提升设备固有的可靠度。

2) 加强供应商管理。针对设备的先天设计缺陷进行专项整治,加强对供应商的考核,督促对问题产品的消缺,优化设备选型,提升设备质量。

3) 新线设计采用全自动运行系统。新建的14号、15号、18号线均采用全自动运行系统,从设计源头提升系统的固有可靠性。

4.4 实施智慧化运维,提升维护管理水平

1) 实施智慧化运维。通过智能检测系统、移动巡检及鹰眼系统,加强对车辆和通号设备运行状态的实时监控。通过大数据挖掘及人工智能分析,及时提供报警信息及远程处置,从而提升维护效率。

2) 优化维护策略。根据不同线路的特点,对重复性故障和关键设备,完善检查要求、检修周期及校验标准,优化跨专业联动流程,提升维护质量。

4.5 加强员工管理,提升应急处置效率

1) 优化排故标准。针对线网中设备型号较多、新旧设备共存、故障类型繁多的情况,上海申通地铁优化排故手册和岗位标准化作业规定,加强培训和检查,从而提升员工识故、排故能力。

2) 开发排故APP(应用程序)。上海申通地铁在2号、11号、13号线试点应用“司机应急处置APP”,通过“技防”的方式降低列车驾驶员操作不当或误操作的发生,提升员工处置效率。

3) 加强对高风险岗位的考核。针对列车驾驶员造成延误事件居高不下的情况,上海申通地铁加强对列车驾驶员岗位的红线管理,制定记分考核规定。

4.6 加强现场管控,降低客观因素对列车运行可靠度的影响

1) 加强大客流管控。结合线路特点和客流特征,上海申通地铁动态调整限流车站,优化限流措施,避免大客流车站因客流堆积造成的安全风险。

2) 加强车站巡视。上海申通地铁制定《车站巡

(下转第97页)