

城市轨道交通列车晚点成因分析及对策

夏江云

(深圳市地铁集团有限公司, 518026, 深圳//工程师)

摘要 通过扩大数据样本和细化模型, 全面分析了 2015—2019 年深圳地铁列车晚点数据, 从年度、线别、时间段、晚点起因和晚点指标等 5 个维度进行整体特征分析, 从设备因素、乘客及外部因素和人员因素等 3 个维度进行晚点成因分析。基于以上分析成果, 从三方面提出了针对性的控制措施, 并提出列车晚点分析对全自动运行线路的一些启发。

关键词 城市轨道交通; 列车晚点; 成因分析

中图分类号 U231⁺.92

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.01.045

Delay Cause Analysis of Urban Rail Transit Train and Countermeasures

XIA Jiangyun

Abstract By expanding data sample and refining model, the delay data of Shenzhen Metro from 2015 to 2019 is comprehensively analyzed. The overall characteristics are analyzed from five dimensions: year, line, time period, cause of delay and delay index. The reasons for the delay are analyzed from three dimensions: equipment factor, passengers factor, and external factor. Based on the above analysis control measures are put forward from three aspects, and some inspiration from delay analysis for fully automatic operation lines is proposed.

Key words urban rail transit; train delay; cause analysis

Author's address Shenzhen Metro Group Co., Ltd., 518026, Shenzhen, China

列车晚点指标是地铁运营管理的 KPI(关键绩效指标)之一。其与运行图兑现率、正点率、列车服务可靠度等指标关系密切, 综合反映出运营公司客运服务、安全管理、设备质量等水平。根据国家标准 GB/T 38374—2019《城市轨道交通运营指标体系》^[1], 列车晚点指标主要指 5 min 及以上延误事件数和 5 min 及以上延误率。

本研究主要分析了 2015—2019 年深圳地铁 1 号线、2 号线、3 号线、5 号线、7 号线、9 号线和 11 号线等 7 条线的 5 min 及以上延误事件数(以下简称

“晚点数量”)和 5 min 及以上延误率(以下简称“延误率”)的特征及成因, 并提出了应对措施。2015—2019 年期间, 深圳地铁 1 号线(2004 年开通)已运营 10 年以上, 深圳地铁 2 号线、3 号线、5 号线(均于 2011 年开通)已过试运营磨合期, 而深圳地铁 7 号线、9 号线、11 号线尚处于试运营期状态。本研究分析的数据包含有责晚点及无责晚点两部分。其中深圳地铁 7 号线、9 号线、11 号线的相关数据从 2016 年开始提取。

1 列车晚点整体特征分析

1.1 不同年度的列车晚点特征

通过分析深圳地铁 2015—2019 年列车运行晚点数量和延误率 2 个指标可以看出, 2 个指标有逐年降低的趋势, 如图 1 所示。究其原因, 一方面是运营人员、乘客通过磨合, 逐渐适应列车拥挤度超过 100% 的常态, 另一方面是运营公司通过分析 2015—2016 年列车晚点高发原因, 推出遏制 15 min 及以上晚点方案、开展设备隐患整治、强化行车岗位人员培训等系列措施, 使列车晚点指标得到改善。

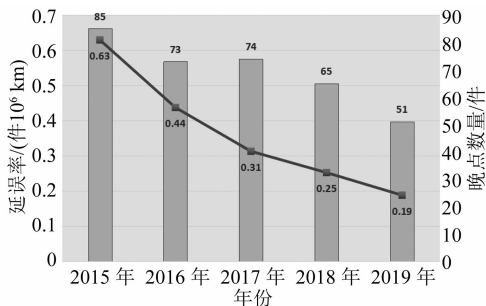


图 1 不同年份的列车晚点数量趋势图

Fig. 1 Trend chart of train delay amount in different years

1.2 不同线路的列车晚点特征

对上述深圳地铁 7 条线路的列车运行晚点数量和延误率进行分析, 发现不同线路列车晚点的延误率与列车拥挤度存在一定的正相关关系: 2 号线、7 号线、9

号线表现较好,主要是具备线路客流量较小、拥挤度低等优势;3 号线、5 号线、11 号线表现居中;1 号线晚点指标表现不佳,主要是由于线路年限较长、设备老化和客流量为线网最大等因素导致,如图 2 所示。

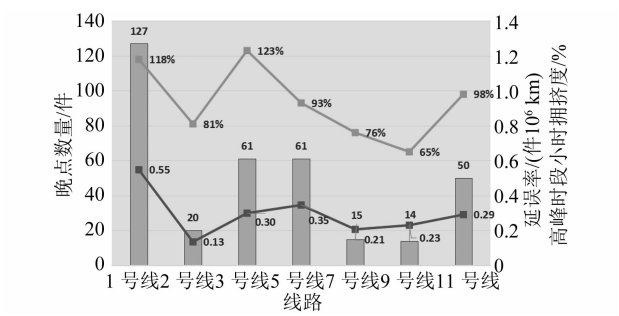


图 2 不同线路的列车晚点特征

Fig. 2 Features of train delay on different lines

1.3 不同时间段的列车晚点特征

通过分析 2015—2019 年间列车晚点情况,非高峰小时晚点数量在 10 件左右,早、晚高峰晚点事件集中发生,占比分别达到 42.0% 和 22.0%。这主要是由于高峰期行车间隔短、可用于调整延误的冗余时间少和设备负荷大导致故障率高,如图 3 所示。另外,高峰时段的车门夹人夹物、乘客晕倒或不适、物品掉入轨行区和沿途大客流累加延误等乘客因素影响也较非高峰时段影响大。

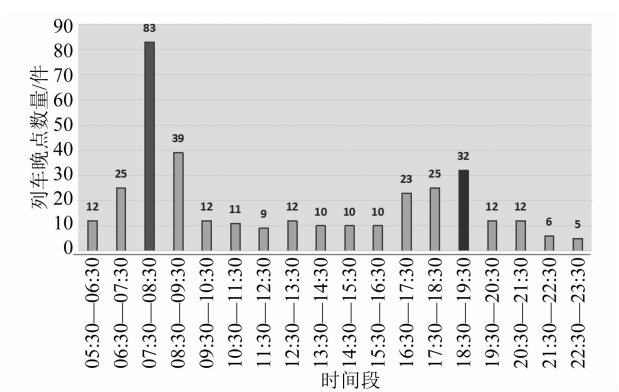


图 3 不同时间段的列车晚点特征

Fig. 3 Train delay features in different time periods

根据统计,早、晚高峰乘客因素占整体晚点比率为 33.5%,是非高峰乘客因素占比 16.5% 的 2 倍左右。这反映出早、晚高峰的列车拥挤度和站台候车条件较非高峰时差。另外,早高峰列车晚点明显比晚高峰多,主要原因是早高峰人流较晚高峰集中、列车拥挤度更大。

1.4 列车晚点起因类别分析

通过对 2015—2019 年列车晚点的起因分析,发

现信号故障、乘客及外部因素、车辆故障为晚点起因占比最高的类别,占整体晚点比率的 91.67%。因站台门和供电故障引起的 5 min 及以上晚点零星发生,如图 4 所示。

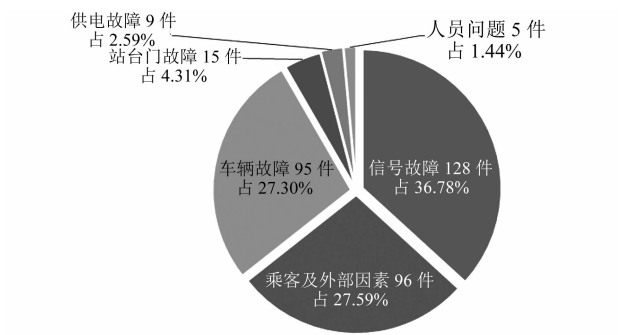


图 4 列车晚点起因类别占比情况

Fig. 4 Proportion of train delay cause categories

1.5 列车晚点指标情况分析

按照指标维度对 5 min 及以上列车晚点分布情况分析,可以发现随着延误时间增加,列车晚点占整体的比率逐渐下降,其中 5~10 min、11~15 min 两个区间占比最大,如图 5 所示。

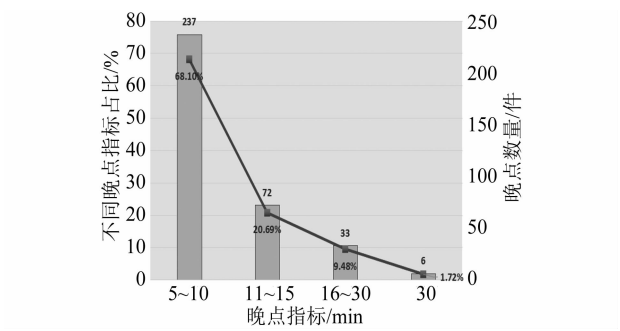


图 5 不同晚点指标占比情况

Fig. 5 Proportion of different delay indexes

2 列车晚点成因分析

2.1 设备因素特征分析

设备故障引起 5 min 及以上列车晚点主要集中在信号、车辆、站台门和供电 4 个系统。其中,信号故障引起的列车晚点占比 36.78%、车辆故障引起的列车晚点占比 27.30%、站台门故障引起的列车晚点占比 4.31%、供电故障引起的列车晚点占比 2.59%,其他设备暂未引起 5 min 以上的列车晚点。通过进一步分析 15 min 以上列车晚点数据,主要集中在信号故障、车辆故障,占本类列车晚点比率均超过 8.00%,站台门、供电和其它设备系统发生 15 min 以上列车晚点的情况极少,如图 6 所示。

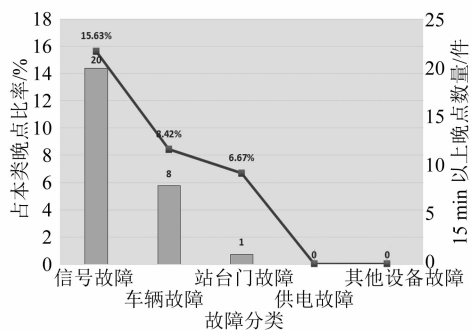


图6 各设备系统 15 min 以上晚点数量及占本类晚点比率分析

Fig. 6 Amount of delay over 15 minutes of each equipment system and proportion analysis within each type

1) 信号系统故障引起的 15 min 以上列车晚点绝对值和占比均比其他因素的高,主要是因道岔故障、板卡故障和网络故障等引起线路关键节点阻塞或区域性产生较大影响,进而引起 15 min 以上的列车晚点。

2) 车辆故障引起的列车晚点主要是车门、制动、辅助供电、牵引等类型故障引起,通过切除车门、清客回场或存放存车线等措施,晚点时间均能控制在 15 min 以内,但也有 8 件因列车救援或车门故障引起 15 min 以上的列车晚点。另外,分析五年间发生的 7 件列车救援,5 件造成 15 min 以上的列车晚点,1 件处置得当把延误时间控制在 10 min 内;救援距离大部分在 1~2 个区间,个别出现了 4~6 个区间的情况。

3) 站台门故障引起的列车晚点主要是 DUC(门控单元)、PEDC(站台门控制器)、驱动 UPS(不间断电源)、绝缘不良等故障所引起的,通过站务及维修人员处理,晚点时间均能控制在 10 min 以内,发生 1 件因列车超重导致车门与屏蔽门防踏空胶条干涉,进而引起 15 min 以上的列车晚点。

4) 供电故障引起的列车晚点主要是保护跳闸、电压波动、结构渗水和绝缘不良等,发生后均能快速恢复,反映出其设备可靠性及冗余度较高,列车晚点数量少且时间均能控制在 15 min 以内。

5) 2015—2019 年,暂未发生因轨道、通信、综合监控、FAS(火灾报警系统)、PIS(乘客信息系统)、PA(广播)等其他系统设备引起 5 min 及以上的列车晚点。

2.2 乘客及外部因素特征分析

通过分析乘客及外部因素,夹人夹物引起的列车晚点类型最为突出,另外因乘客晕倒或不适、乘

客物品掉入轨行区、乘客擅动紧急装置、乘客冲突或恐慌等引起的列车晚点也存在一定的比率(如图 7 所示)。对夹人夹物引起的列车晚点类型作进一步分析可知,车门夹人夹物占比 90%以上,另有 3 件影响较大的车门与屏蔽门间隙夹人夹物。

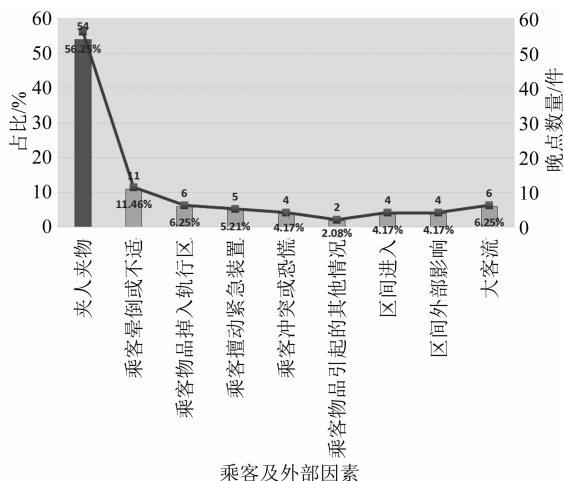


图7 乘客及外部因素造成列车晚点的分布情况

Fig. 7 Distribution of train delay caused by passenger and external factors

在 96 件乘客及外部因素引起的 5 min 以上列车晚点中,71.88%(69 件)的处置时间在 10 min 以内,9.38%(9 件)的处置在 15 min 以上,15 min 以上的列车晚点主要集中在区间进入、外部物品侵限、车门与屏蔽门间隙夹人、叠加设备故障等。

2.3 人员因素特征分析

通过对五年间发生的 348 件列车晚点的人员因素进行分析,5 件是由于人员问题引起的晚点,另有 85 件人员因素造成影响扩大,整体占比 25.86%;涉及岗位责任的主要是司机、站务人员、调度人员及检修人员,各岗位人员因素引起晚点的占比情况如图 8 所示。

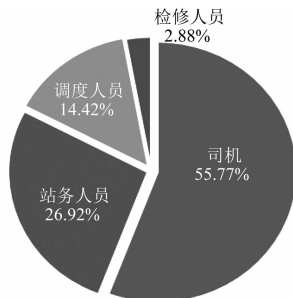


图8 各岗位人员因素引起晚点的占比分析

Fig. 8 Proportion analysis of delay caused by personnel factor in each post

1) 司机岗位的人员因素责任 58 件,占比 55.77%,主要包括应急处置能力(24 件)和操作技

能(34 件)两类问题:应急处置能力主要是在设备故障后判断失误、处置错误或延误等;操作技能包括车门切除作业问题(17 件)、操作失误(6 件)、岗位沟通延误(4 件)、对标停车(3 件)、清客(2 件)等。

2) 站务人员的人员因素责任 28 件,占比 26.92%,主要包括:清客时间过长 9 件,人工准备进路问题 5 件,车控室应急操作不当 4 件,站台门应急处置不当 3 件,车站客流管控不力 3 件,站台防护不到位 3 件,运营前检查不到位 1 件。

3) 调度人员的人员因素责任 15 件,占比 14.42%,处置延误或处置不当 8 件,行车组织不到位 5 件,调度命令沟通问题 2 件。

4) 因检修人员的原因导致列车晚点发生有 3 件,占比 2.88%。

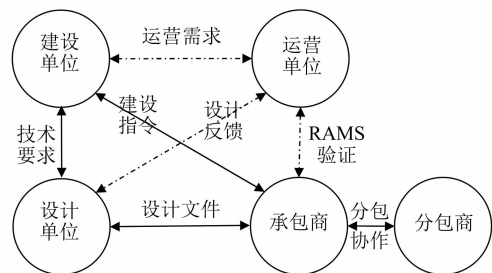
3 列车晚点控制措施及启发

3.1 设备因素控制措施及启发

通过以上分析可知,约有 7 成左右晚点是由设备因素引起的,故提高设备系统可靠性是减少晚点的最重要途径,特别是对信号、车辆、站台门和供电等行车相关设备系统。历年来,深圳地铁通过开展“三查一提升”“设备隐患专项整治”“设备维保质量提升”“遏制 15 min 以上列车晚点”等专项活动,对修程修制、检修质量、惯性故障、设备隐患等进行整治或优化,晚点指标已逐年向好,特别是一些明显缺陷导致的列车晚点得到控制,证明了运营公司加强设备管理可改善列车晚点指标。

从设备全生命周期的角度来看,目前建设阶段与运营阶段的设备系统 RAMS(可靠性、可用性、可维护性和安全性)管理相对独立,设计、建设、验证和反馈流程存在不能闭环的缺憾。在工程实践中,特别是对列车晚点影响较大的车辆、信号、站台门和供电等专业,可考虑对运营期间设备 RAMS 指标是否达标的验证、系统设计制造优化反馈等进行完善,具体如图 9 所示。

在近年来的全自动运行线路建设中,国内同行在提高设备系统可靠性、优化列车晚点指标等做了一些工作,对车辆、信号、综合监控、供电、站台门、通信等系统提出了系列的功能要求。《中国城市轨道交通全自动运行系统技术指南(试行)》^[2]提出了 RAMS 保障要求,通过建设阶段制定各系统 RAMS 指标、各设备部件的 RAMS 指标计算和分解、核心关键设备设计等,以保障系统稳定运行;在运营阶段



注: \longleftrightarrow 为现有信息流; \dashrightarrow 为优化后的信息流。

图 9 城市轨道交通 RAMS 管理优化示意图

Fig. 9 Diagram of urban rail transit RAMS management optimization

收集、验证系统 RAMS 指标是否达到要求,并用于指导新线建设。

3.2 乘客及外部因素控制措施及启发

乘客及外部因素作为列车晚点起因占比达到了 27.59%,也是控制列车晚点的重要因素。对于最为突出的夹人夹物类型,目前主要采取车站客流管控、站台监控、应急处置等人为管控措施。对于站台门防夹,国内地铁行业在积极探索站台门防夹板、激光探测、雷达探测等方案,但还需在抗干扰、可靠性、场景适用等方面作进一步优化,并通过工程实践来验证。

通过对大客流因素分析可知,因沿途大客流累加延误造成列车晚点 6 件,超过列车最大 AW3(超员载荷)载重能力造成列车晚点 3 件,沿途大客流叠加原晚点因素一起形成列车晚点 34 件。另外通过前文分析,由于早晚高峰乘客干扰因素多、行车间隔短、冗余时间少、设备负荷大,早晚高峰列车晚点集中发生,乘客及外部因素类型的列车晚点发生概率较大。为减少大客流的影响,可通过线路区域客流控制、站台全域管控、设备部门现场值守等措施,以形成车厢/站台可控、上下车有序、应急处置迅速的良好局面。

开展形式多样的安全乘车宣传活动和警示,也可提高乘客安全乘车意识。另外,对于区间进人、外部物品侵限等易造成较大晚点的因素,建议在设计阶段应加强高架车站和区间的防爬、封闭等措施。

在全自动运行线路中,对于乘客、司机作为首位发现者的情况,包括夹人夹物、区间进人、区间异物、乘客晕倒或不适、乘客恐慌等,可考虑采取探测、报警、语音技术等措施,及早发现事件,并有效控制事件。

3.3 人员因素控制措施及启发

从岗位因素来说,提高司机、站务、调度等人员

的应急处置能力和操作技能,可有效控制列车晚点的发生或扩大影响。对此,运营公司培训体系应发挥应有的作用,包括理论及实操培训、实操鉴定等。另外,对于行车岗位的心理素质提升及岗位间沟通培训也要开展一些强化工作。运营公司可梳理自身特征因素,建立对应培训体系。现根据人员因素分析,提出一些重点控制措施,如图 10 所示。

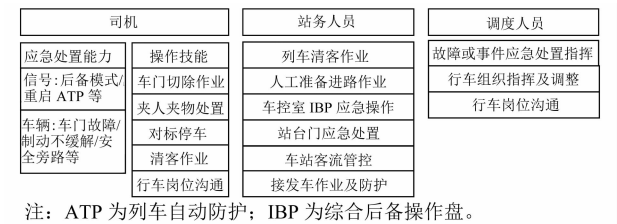


图 10 各岗位的人员因素控制措施示意图

Fig. 10 Diagram of personnel factor control measures in each post

从列车晚点类型控制角度来说,对车辆、信号、站台门、乘客及外部因素等类型进行细化分析,考虑建立基于列车晚点因素的应急预案及演练体系;每年可根据列车晚点情况对应急预案的契合度进行分析,对于应急预案进行优化;每年对演练科目及频次的适应性进行分析,并开展针对性的强化措施。



(上接第 217 页)

通过隧道时的车内压力波动,对运行线路固定的列车有一定的参考意义。后续可增加测试样本,进一步研究不同速度及不同隧道断面下的车内压力变化。

参考文献

[1] 张寅河,杜俊涛,熊小慧.运行中地铁列车的车内外压力变化特性研究[J].城市轨道交通研究,2017,20(4):94.
ZHANG Yinhe, DU Juntao, XIONG Xiaohui. Variation characteristics of metro vehicle internal and external pressures during operation[J]. Urban Mass Transit, 2017, 20(4): 94.

[2] 李冠鹏.地铁车辆通过隧道时车内外压力波动特性研究[J].电力机车与城轨车辆,2021(4):55.
LI Guanpeng. Study on characteristics of inside and outside pressure of metro vehicles passing through tunnels[J]. Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles, 2021(4): 55.

[3] 杨宁.地铁快线隧道内空气压力波控制技术方案与效果[J].城市轨道交通研究,2018,21(7):54.

4 结语

城市轨道交通列车晚点成因分析与控制是行业内重要的管理改善项目。本文通过扩大数据样本和细化分析模型,对深圳地铁五年间的列车晚点成因分析与对策进行了一些有益的探索和尝试。随着国内全自动运行线路的推广,列车晚点分析的一些成果将对今后全自动运行线路的功能设置、系统重点、RAMS 管理等有更多的启发,对提高系统稳定性也会发挥一定的作用。

参考文献

[1] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会.城市轨道交通运营指标体系:GB/T 38374—2019[S].北京:中国标准出版社,2019:34.
State Administration of Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. Operational index system of urban rail transit: GB/T 38374—2019[S]. Beijing: Standards Press of China, 2019: 34.

[2] 中国城市轨道交通协会.中国城市轨道交通全自动运行系统技术指南(试行)[S].北京:中国城市轨道交通协会,2019:42.
China Association of Metros. Technical guidelines for fully automatic operation system of urban rail transit in China (trial)[S]. Beijing: China Association of Metros, 2019: 42.

(收稿日期:2020-10-23)

YANG Ning. Technology scheme and effect of air pressure wave control within high-speed subway tunnel[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(7): 54.

[4] 李树典,周新喜.CRH2 型 200 km/h 动车组车内压力波动控制研究[J].机电传动,2009(2):6.
LI Shudian, ZHOU Xinxi. Study on the control of pressure fluctuation in CRH2 type 200 km/h EMUs[J]. Electric Drive for Locomotives, 2009(2): 6.

[5] 王宗昌.主动式与被动式车内压力保护系统对比分析[J].铁道车辆,2017,55(6):30.
WANG Zongchang. Comparison analysis of the active and passive pressure protection systems inside cars[J]. Rolling Stock, 2017, 55(6): 30.

[6] 张寒星.标准动车组空调压力波保护系统的优化[J].铁道车辆,2020,58(4):39.
ZHANG Hanxing. Optimization of the pressure wave protection system in air-conditioning of standard multiple units[J]. Rolling Stock, 2020, 58(4): 39.

(收稿日期:2021-12-01)