

# 城市轨道交通无场段条件下线上停检线的收发车计划自动化排布系统

祁勇<sup>1</sup> 卢钢<sup>1</sup> 王骏祺<sup>2</sup> 庄磊<sup>2</sup>

(1. 绍兴市轨道交通集团有限公司运营分公司, 312001, 绍兴;

2. 成都汇辙科技有限公司, 610031, 成都//第一作者, 工程师)

**摘要** 目的:受城市规划用地的限制或线路设计等因素影响,部分线路需要在没有场段的情况下实现初期试运营,需依托极为狭小的线上停检线完成车辆停放、日常检修与维护。为了避免人为排布车辆收发计划可能出现的各种问题,需通过收发车计划自动化排布系统,充分整合有限资源进行合理规划,同时满足次日的发车需求与当日车辆退出运营后的车辆检修维护需求,实现最优的线上停检线车辆收发管理。**方法**:针对收发车计划自动化排布系统,介绍了其系统架构、功能模块及图形化界面。阐述了排布规则与相关算法逻辑,并以实际项目为例总结了该系统的试用经验。**结果及结论**:收发车计划自动化排布系统借助信息化手段,使用智能化自动化方式完成计划自动排布,并以直观图形化的方式展示给相关业务人员查看与审核,从而解决无场段条件下线上停检线列车收发计划排布的“痛点”,为特定场景下的复杂行车运营生产提供有利的技术支撑。实际项目的数据模拟试验与联调测试结果表明,收发车计划自动化排布系统已实现了预期功能。

**关键词** 城市轨道交通;收发车计划自动化排布;线上停检线;无场段

**中图分类号** U284.59

**DOI**:10.16037/j.1007-869x.2023.08.048

## Automated Train Scheduling and Arrangement System for Urban Rail Transit On-line Parking Inspection Line without Depot

QI Yong, LU Gang, WANG Junqi, ZHUANG Lei

**Abstract** Objective: Due to restrictions imposed by urban land planning or line design factors, some rail lines need to commence initial trial operation without depot. In such cases, vehicles must be parked on extremely limited on-line inspection lines for routine inspection and maintenance. To avoid potential issues associated with manual TSA (train scheduling and arrangement), an automated TSA system is required to fully integrate and reasonably plan the limited resources, meeting the next day departure demands as well as the inspection and main-

tenance requirements for vehicles out of operation on the current day. It is aimed to realize optimal TSA for on-line parking inspection lines. **Method**: The automated TSA system is presented, including its system architecture, functionality modules, and graphical user interface. The arrangement rules, related algorithm logic, and practical experience summarized from actual projects are expounded. **Result & Conclusion**: The automated TSA system utilizes information and intelligent means for the automated TSA, which are displayed in a visual and graphical format for review and approval by relevant personnel, tackling the 'sting' in TSA for on-line parking inspection lines without depot. It provides valuable technical support for complex operation scenarios in specific context. Data simulation experiments and joint commissioning testing in actual projects demonstrate that the automated TSA system fulfils the expected functionality.

**Key words** urban rail transit; automated train scheduling and arrangement; on-line parking inspection line; without depot

**First-author's address** Operation Branch, Shaoxing Rail Transit Group Co., Ltd., 312001, Shaoxing, China

## 0 引言

目前,受场地等条件制约,部分城市轨道交通线路在准备开通初期试运行未能配置停车场、车辆段与综合基地(以下简称“场段”),而在运营正线中某个地下站点的两侧设置地下线上停检线,用于停车与检修。这给列车收发及车辆检修管理提出了巨大的挑战。在编制收发车及调车计划时,既需要考虑到大量关联信息,又要满足车辆检修计划需求、日常维护计划需求、行车运行图需求、停检线施工作业计划需求及调车司机资源等多维度条件。此外,由于线上停检线同运营正线联系紧密,且距

离较近,若列车停放位置同发车位置、检修位置或施工位置不能匹配,则可执行调车任务的空间与时间窗口将会被严格限制,收发车管理的容错量将会大大减小。

为了提高无场段运营模式下收发车管理工作的准确性与及时性,保障行车安全与效率,亟须建设 1 套数字化、智能化的收发车计划自动化排布系统。这样既能保证调度人员对收发车排布计划的验证与发布,又能提高人工计算与匹配的效率和准确性。

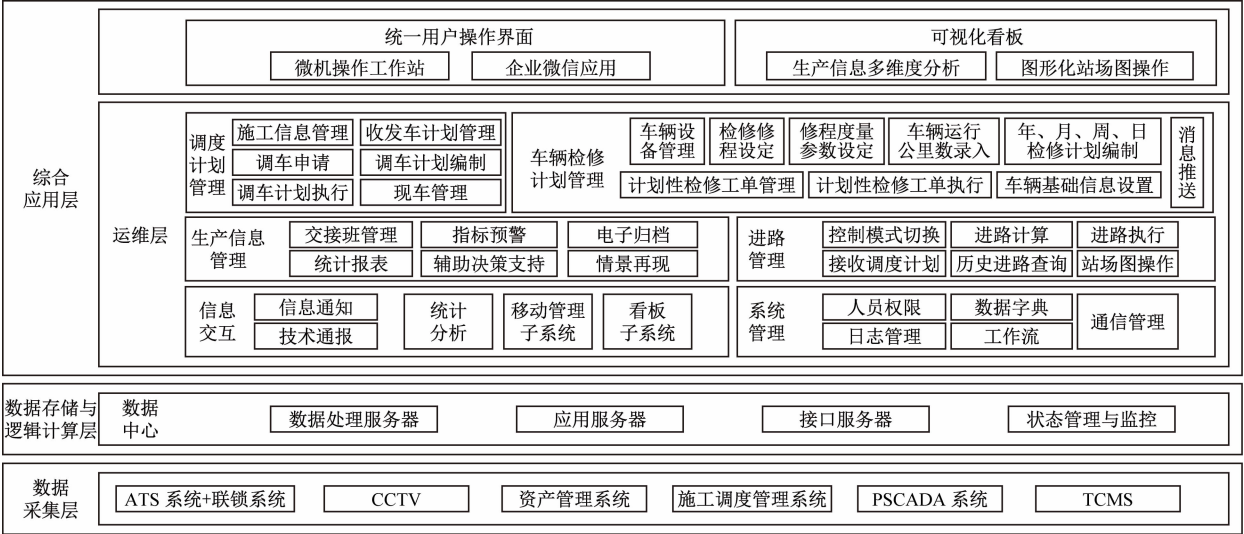
### 1 收发车计划自动化排布系统

收发车计划自动化排布系统可获取相关系统实时数据,并根据先进算法进行实时运算,高效规划线路轨道资源,最终及时地输出实时线上停检线收发车排布计划供相关调度人员进行验证与下发操作,从而最终满足无场段条件下的行车运营要求。

值得注意的是,由收发车计划自动化排布系统计算出的实时收发车排布计划需要采用直观的图形展示方式,以便相关调度人员可以一目了然地进行验证与下发工作,避免出现木桶短板效应,导致整套系统的效率卡在验证或者下发环节。

#### 1.1 系统架构

收发车计划自动化排布系统分为综合应用层、数据存储与逻辑计算层、数据采集层。综合应用层实现用户对业务的操作与交互,还可为接入其他业务子系统提供必要的数据支撑;数据存储与逻辑计算层负责完成对所有数据的存储、监控与逻辑计算,提供给综合应用层进行业务操作;数据采集层,通过城市轨道交通云大数据平台获取各相关业务子系统的实时数据,为数据逻辑分析提供充足的必要数据资源。收发车计划自动化排布系统架构如图 1 所示。



注:ATS—列车自动监控;CCTV—闭路电视;PSCADA—电力监控与数据采集;TCMS—列车监控管理系统。

图 1 收发车计划自动化排布系统架构

Fig. 1 Architecture of automated train scheduling and arrangement system

#### 1.2 功能模块

收发车计划自动化排布系统在城市轨道交通的运营期(既有线及新线均可)进行部署实施,针对停车场调度、检修调度、行车调度及乘务调度等工作岗位的日常性或计划性工作进行流程上与功能上的适配。在整个运营管理系统中,基于具体的生产组织环节,每日直接面对一线的计划制定与业务执行人员。根据具体的业务需要,收发车计划自动化排布系统的基本功能模块如下:

1) 完成与行车 ATS 信号系统的实时数据对接,在系统内实现车辆联锁进路的展示与管理。

2) 完成与车辆检修管理系统的实时数据对接,在系统内实现车辆检修计划的展示与管理,为收发车计划自动排布提供基础数据,同时对需要执行检修计划的列车进行标记与记录。

3) 完成与线路施工调度系统的实时数据对接,在收发车计划自动排布系统内实现施工调度计划的展示与管理,同时标记所涉及到施工调度计划的

## 车辆与占用轨道。

4) 自动编制收发车计划排布策略,提供图形化展示方式供调度人员审核与下发。

5) 自动编制调车计划,及时反映出其他业务子系统中的临时性变化。

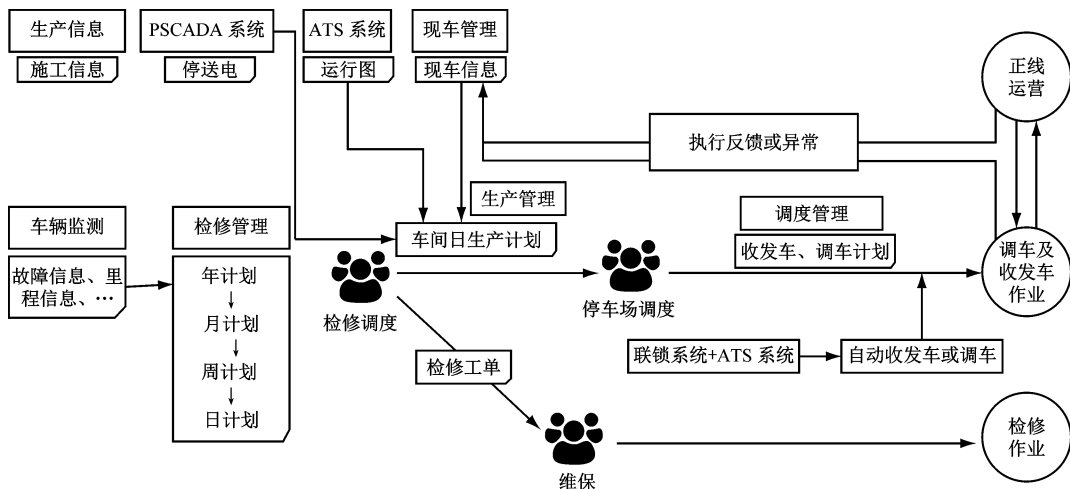


图2 收发车计划自动化排布系统的主要工作流程

Fig. 2 Main work flow of automated train scheduling and arrangement system

### 1.3 图形化界面

为确保操作的实时性与准确性,操作人员需要快速完成验证与确认工作,并下发执行计划。对此,收发车计划自动化排布系统通过直观明了的图形化界面来呈现各核心业务的内容与操作逻辑,节省了人工确认的耗时。主要的操作界面包括虚拟场段矢量图界面、车辆配置界面、收发车计划界面、时刻表数据界面、车辆检修计划数据界面等。

1) 虚拟场段矢量图界面。根据线路实际需求,将虚拟场段的线路图矢量化,能标记所有可利用的停车与检修轨道资源,以匹配最大列车数量,自动划分运营车辆、检修车辆、工程车辆及热备车辆,并同时考虑列车折返与可能的调车操作需占用的轨道资源。通过“hover”指令,可显示车辆的基本信息(包括车底号、车次、收发车时间、停车位置轨道号、车辆状态等),便于操作人员快速确认车辆信息。虚拟场段矢量图界面如图3所示。

2) 车辆配置界面截图如图 4 所示。车辆配置是行车计划排布规则的输入源之一。通过车辆配置界面,可实现对线路全部车辆的统一配置与管理。

3) 收发车计划界面截图如图 5 所示。操作人员通过收发车计划界面操作指令,进而发布已经通过审核的排布计划,并交付 ATS(列车自动监控)系

6) 车辆管理,实现对线路上所有车辆状态的监管与统计展示。

如有需要,还可以在基本功能模块的基础上进行拓展性开发。收发车计划自动化排布系统的主要工作流程如图 2 所示。

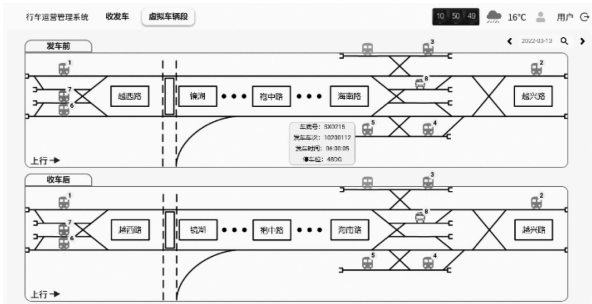


图3 虚拟场段矢量图界面截图

Fig. 3 Screenshot of virtual depot vector diagram interface

车辆运营管理系统

收发车

当前车辆

10:10

16°C

用户G

收发车计划

车辆记录

司机

+

添加车辆

车辆编号	车牌号	状态	里程 (公里)	上线时间	时长(周/月)	车型/品牌	备注	操作
SN0005	SN01	运营	21.22	2023-1-1	118/2.8/3.9	4B		<a href="#">点编辑</a> <a href="#">点删除</a>
SN0006	SN02	运营	21.22	2023-1-1	118/2.8/3.9	4B		<a href="#">点编辑</a> <a href="#">点删除</a>
SN0007	SN03	运营	21.22	2023-1-1	118/2.8/3.9	4B		<a href="#">点编辑</a> <a href="#">点删除</a>
SN0008	SN04	维护	21.22	2023-1-1	118/2.8/3.9	平替车		<a href="#">点编辑</a> <a href="#">点删除</a>
SN0009	SN05	备用	21.22	2023-1-1	118/2.8/3.9	工牌车		<a href="#">点编辑</a> <a href="#">点删除</a>

图4 车辆配置界面截图

Fig. 4 Screenshot of train configuration interface

统予以执行。

4) 时刻表数据界面截图如图6所示。通过该界面,操作人员可获取所有需要执行的时刻表数据,从而获取每日所需的发车时间、收车时间及车次等数据。这些数据为行车计划排布规则的输入源之一,可在系统中查看或管理。



图 5 收发车计划界面截图

Fig. 5 Screenshot of train scheduling plan interface



图 6 时刻表数据界面截图

Fig. 6 Screenshot of train scheduling timetable interface

5) 车辆检修计划数据界面截图如图 7 所示。操作人员通过该界面查看从第三方检修业务子系统中获取的车辆检修计划数据。这也是作为行车计划排布规则的输入源之一。车辆检修计划编辑与验证等操作是在第三方检修业务子系统中完成的。收发车计划自动化排布系统仅展示车辆检修计划的相关数据,以便让操作人员快速确认车辆检修计划的合理性与合规性,避免出现无法进行行车计划排布规则运算的可能。



图 7 车辆检修计划数据界面截图

Fig. 7 Screenshot of train maintenance planning data interface

1.4 系统部署与可靠性保障

收发车计划自动化排布系统与城市轨道交通的核心业务的关联非常紧密,故其对时间的敏感性非常高,容错率很低。由于参与计算的其他业务系统数据较多,对网络条件的要求也很高。因此,收发车计划自动化排布系统不宜部署在公有云上,而应该部署在线路自建的城市轨道交通私有云上,以

保证网络带宽与服务资源。

此外,为了保证收发车计划自动化排布系统的可靠性,其规则的配置既要同时体现科学的严谨性与逻辑的灵活性,还要对大量的模拟数据进行验证以保证最终输出行车排布计划的可用性与安全性。需要说明的是,收发车计划自动化排布系统所需的模拟数据是指符合项目实际情况的模拟行车数据,包含所有可能出现的极端运行情况,而并不需要用每日的真实运营数据来进行模拟规划。这既因为获取真实数据所需时间很长,不利于收发车计划自动化排布系统尽快投入使用,也因为每日的真实运营数据无法涵盖所有极端运行情况。因此,需要在真实数据的基础上建立模拟数据库,使收发车计划自动化排布系统通过算法学习,方能达到设计的可靠性要求。

2 排布规则与相关算法逻辑

2.1 停车位属性定义

定义线上停检线可停放列车的轨道位置(即停车位)为  $N$ ,对于第  $i$  个停车位( $i \geq 0$  且为整数)包括其所有的属性为:

1) 该停车位是否需要优先发车。若停车位需要优先发车,则用 P 标记。收发车计划自动化排布系统会优先占用该停车位,然后再占用低优先级的停车位,停车位的优先级可以相同,也可以不同,需根据线路特点进行配置。若停车位不需要优先发车,则不需要进行标记。

2) 是否具备检修功能。如具备,则用 R 标记。

3) 若该停车位发车只能向上行方向发车则标记为 U,若只能向下行方向发车则标记为 D,若可双向发车则不进行标记。

4) 该停车位是否位于列车折返所需轨道。若是则标记为 T。收发车计划自动化排布系统若需要占用此位置,则需要给出强提醒。

2.2 条件数据

为计算准确的排布信息,收发车计划自动化排布系统需要从其他业务系统中获取相关关键信息,作为规则计算的条件数据。这些信息如下:

1) 从施工调度系统中获取当日的所有施工计划。收发车计划自动化排布系统中筛选出被占用的轨道信息(以 O 进行标记)及轨道被占用时间段。

2) 车辆检修管理系统需要给出当日的计划详情。收发车计划自动化排布系统需要匹配相应的列车与可检修停车位,以及所需的计划检修具体时间段。

收发车计划自动化排布系统还须根据运行图时刻表来计算每日需收发车数量与每列车的收发时间。计算范围包括电客车、轨道车与热备车。

### 2.3 排布规则的定义

排布规则引擎负责对所有规则的优先级进行划分。相同优先级的规则存在执行顺序及与或非逻辑判断。不同类型线路的优先级与执行顺序可能会根据列车的出车方向等现场情况变化。

以标准的一字线路类型为例,假设线路一头是站后折返,另一头是站前折返,则排布规则如下:

1) 可停车的停车位数量 $\geq$ 上线列车数+检修车数+热备车数+工程车数。如小于则需要检查是否可以占用折返线轨道。

2) 可检修的停车位数量 $\geq$ 检修车数量。

3) 待检修列车在匹配检修停车位时,需保证次日发车顺序不受影响。如无法确定匹配,则须在完成检修任务后安排调车任务。

4) 若检修列车无法当夜完成检修(检修时长 $\geq 6$  h),则应标记相应列车为特殊检修列车,安排检修位时应该选择优先级最低的可检修停车位。

5) 在站前折返时,最后一列列车清客后将停靠尾端车站站台,承接次日轨道任务。此时收发车计划自动化排布系统需要从运行图时刻表获得信息,以保证不会安排需要检修列车运行最后一班车次。

6) 停车位优先级是收发车计划自动化排布系统进行发车操作的顺序指标。优先级越高,该停车位列车越先发车。

7) 收发车计划自动化排布系统根据 FIFO(先进先出)原则进行收发车排布,以避免出现“跑偏车”的情况,进而导致一段时间以后列车运行里程数与运行时间的不平衡。

8) 高峰时段转非高峰时段的收车按照非高峰时段转高峰时段的发车要求进行排布。此期间若需要安排检修作业,则按照普通早晚高峰时段收发车逻辑执行即可。此时,列车数量将大大少于可用停放位置数,故排布的逻辑计算更加简单。

9) 根据列车运行里程的数量变化动态调整列车排布计划,从而保证列车使用的平衡性。

### 2.4 ATS 系统对接

收发车计划自动化排布系统的排布计划应对接 ATS 系统的运行图时刻表,按照时刻表信息自动匹配发车车底号与车次号,提供出库位置信息,供 ATS 系统计算联锁进路,执行跑图任务。

列车回库时,同样需要通过 ATS 系统运行图时刻表信息来匹配回库车辆的车底号。收发车计划自动化排布系统根据车底号与车辆所需的维护内容完成对入库位置的自动排布,而后将轨道位置信息提供给 ATS 系统,使其排列出入库的联锁进路并予以执行。

## 3 应用案例

### 3.1 项目简介

某地铁线路已试用收发车计划自动化排布系统,本文对其试用经验进行总结。

该线路全线规划 21 座车站。目前,一期工程需开通初期试运营,但仅完工其中 9 座地下车站,且尚未建设场段。对此,在设计阶段安排在试运营线路的线上停检线进行车辆的维护与停放,形成了无场段条件下的行车运营管理模式。

该线路一期工程全长 10.55 km。列车采用 4 节编组 B 型列车,最高运行速度为 100 km/h。线路一端采用站后双折返,另一端采用站前交叉渡线折返并设置线上停车线与检修线(4 车位)。在试运营期,高峰时段上线 6 列运营列车,1 列热备车,1 列检修列车,1 列工程车,共计 9 列列车。

线路两端均需预留折返轨道空间及设备,站间折返端需预留越站条件,并实现每日 1~2 列车的列检工作。在此情况下,可用于车辆停放和检修的轨道位置仅有 8 个,冗余列车需要在运营完成后停放在始发站站台。若需进行夜间维护工作,则需安排其他列车进行置换。

在数据模拟试验与联调测试中,收发车计划自动化排布系统已实现相关功能。这给线路的行车运营管理提供了强有力的技术支持。

### 3.2 经验与挑战

在收发车计划自动化排布系统的通用化规则引擎计算与计算逻辑调整中,遭遇了较大困难:由于每条线路的具体建设与站点分布情况不尽相同,在规则引擎的规划上无法实现通用算法逻辑;该项目无需支撑针对所有情况下可能出现的线路类型

进行的普适性规则计算,故而转向定制化的规则计算。

在试运营中,收发车计划自动化排布系统自动完成了检修调度和场站调度的大部分计划性工作,大大减少了相关的工作量,且其收发车计划还能最大程度上避免非必要调车的产生。由此建议,将检修调度和场站调度的工作岗位合并。当前,有些成熟的线路已经开始采用这种岗位设置方式。

此外,采用线上停检线的线路没有传统的场段,收发车均在线上完成,故行车调度和场站调度的工作界限模糊,且工作量不大,可以将完全可将行车调度和场站调度业合并,甚至可以再深入一步,将行车调度、检修调度和场站调度的岗位合并。这样既能减少多岗位人员之间的信息交流成本,也能减少调度人员总数,不论是从经营成本还是从管理效率上来看,都是积极的。

## 4 结语

根据《中国共产党第二十次全国代表大会报告》的指导纲要,企业应该坚持信息化改革的路线,加快信息化的步伐,让信息化的工具成为辅助生产的得力助手。

在收发车计划自动化排布系统的实施过程中,遇到最大的困难是数据对接工作,存在数据获取不全等实际问题。经分析,当前的城市轨道交通信息化管理系统往往由多个子系统单独上线拼凑而成,缺少整体的统一规划,由此导致了虽然单个子系统功能没有问题,但多系统联动却无法实现的窘境。由此可见,应建立统一的城市轨道交通数据云平台,对信息化管理系统进行完整设计,让现在飞速发展的信息化互联网技术在城市轨道交通行业发挥更大的作用。届时列车收发计划自动化排布系统能及时获取更多的相关信息,就能在现有的基础上给予更智能、更丰富的决策辅助支持。

本文采用了自动化智能化的技术手段实现了在无场段条件下利用线上停检线进行列车自动化收发车计划排布管理,对传统的行调、场调、检调等城市轨道交通行业的工作模式提出了更优的解决方案。但该解决方案在行业内尚处在探索研究阶段,所以本文提出的数据与工作流程可能与当前既

有的管理模式存在一定的偏差,交付成果仅供行业内参考使用。

## 参考文献

- [1] RICCI S. Scheduling algorithms for rail operations and the automatic generation of timetables: application for railway capacity and perturbation evaluation [J]. Ingegneria Ferroviaria, 2015 (10):787.
- [2] ZHANG L, QIN Y, MENG X, et al. MPSO-based model of train operation adjustment [J]. Procedia Engineering, 2016, 137: 114.
- [3] 沈卫平, 崔学忠. 城市轨道交通综合联调组织与实践[M]. 北京: 人民交通出版社, 2016.  
SHEN Weiping, CUI Xuezhong. Organization and practice of urban rail transit comprehensive test[M]. Beijing: China Communications Press, 2016.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁设计规范: GB 50157—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for design of metro: GB 50157—2013 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014.
- [5] 城市轨道交通列车通信与运行控制国家工程实验室, 交通运输部科学研究院, 城市轨道交通运营安全管理技术及装备交通运输行业研发中心. 城市轨道交通全自动运行系统运营需求导则 V1.0: WP-2019001 [A]. 北京: 交通运输部科学研究院, 2019.  
Train Communication and Operation Control National Engineering Laboratory of Urban Rail Transit, China Academy of Transportation Science, Urban Rail Transit Operation Safety Management Technology and Equipment Transportation Industry R&D Center. Urban rail transit fully automatic operation system operational requirement guide V1.0: WP-2019001 [A]. Beijing: China Academy of Transportation Science, 2019.
- [6] 孙少军, 王慧芳. 城市轨道交通列车运行自动调整的优化模型及算法研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2013, 10 (2): 55.  
SUN Shaojun, WANG Huifang. Optimization model and algorithm of automatic train operation regulation for urban rail transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2013, 10(2): 55.
- [7] 吴丽然. 高速铁路列车运行调整问题研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2011.  
WU Liran. Study on high-speed railway train regulation [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2011.

(收稿日期:2022-09-30)