

# 不同场景的在线灵活编组联挂作业研究\*

范颖慧

(上海申通地铁建设集团有限公司, 201103, 上海)

**摘要** [目的]为解决客流时间和空间分布不均问题,有必要对不同场景的灵活编组联挂作业进行研究。[方法]定性分析了站前折返场景和站后折返场景的联挂作业的内容和特点。采用灵活编组仿真系统,对联挂作业的各阶段用时进行仿真计算,进而为采用灵活编组的线路折返形式提供参考。[结果及结论]相比站前场景,站后场景的联挂作业时间更长。对于采用列车灵活编组技术的线路,终端站在直接连接停车场或车辆段条件下,宜采用站前折返形式,能大幅提高联挂作业效率;中间站宜采用站后折返形式。

**关键词** 城市轨道交通;灵活编组;联挂作业

**中图分类号** U292.3<sup>+1</sup>

**DOI**:10.16037/j.1007-869x.2024.12.056

## On-line Flexible Marshalling and Coupling Operations in Different Scenarios

FAN Yinghui

(Shanghai Shentong Metro Construction Group Co., Ltd., 201103, Shanghai, China)

**Abstract** [Objective] To address the issues of uneven passenger flow distribution over time and space, there is a need to conduct research on flexible marshalling and coupling operations in different scenarios. [Method] The contents and characteristics of coupling operations in pre-station and post-station turn-back scenarios are qualitatively analyzed. A flexible marshalling simulation system is used to simulate and calculate the time required for each stage in coupling operations, further providing references for the turn-back forms of lines that adopt flexible marshalling. [Result & Conclusion] Compared to the pre-station operation scenarios, the time required for coupling operations is longer in post-station scenarios. For lines using flexible train marshalling technology, it is recommended to adopt pre-station turn-back operation at terminal stations with direct connection to parking lots or depots, thereby significantly improving the efficiency of coupling operations. At intermediate stations, the post-station turn-back is more suitable.

**Key words** urban rail transit; flexible marshalling; coupling operation

## 0 引言

面对城市轨道交通客流在时间和空间上分布不均的问题,灵活编组技术能快速改变列车编组,实现需求和运力的最佳协同<sup>[1-2]</sup>。

文献[3]结合灵活编组列车运行场景,针对驾驶模式,从编队形成、编队保持和编队解编方面重点分析全灵活编组作业的适应性。文献[4]提出,灵活编组是解决客流分布不均现状的有效方法。文献[5]探讨了在线灵活编组在全自动运行线路中的应用。文献[6]从经济效益角度论证灵活编组方式的可行性。文献[7]基于重庆市域(郊)铁路互联互通模式下交路形式、编组方案、运营模式及互联互通节点配线,提出灵活编组模式系统能力计算方法。文献[8]针对列车调度问题提出基于优先的ADMM(交替方向乘子方法),可为灵活编组方案提供参考。文献[9]提出,市场导向型运营模式是城际铁路运营组织未来的发展趋势,力求运力资源配置与乘客需求吻合。文献[10]提出了基于经济效益的灵活编组运营方案评价方法。文献[11]研究了灵活编组和多交路组合模式的优化。文献[12]以某地铁线路为例,研究了灵活编组列车的车辆车钩自动联挂技术。

在线灵活编组的相关研究中,针对站前折返场景(以下简称“站前场景”)及站后折返场景(以下简称“站后场景”),列车联挂每个阶段作业时间及灵活编组功能适用性问题研究较少。对此,本文采用定性与仿真定量分析相结合方法,分析在线灵活编组功能在不同场景下的适用性,以期为其他列车灵活编组项目提供参考。

## 1 在线灵活编组的联挂作业内容

### 1.1 常见场景的在线灵活编组联挂作业过程

站前场景及站后场景的灵活编组联挂过程分

\* 上海申通地铁集团科研计划项目(JS-KY23R041)

别如图 1 和图 2 所示,典型的在线灵活编组联挂作业内容如表 1 所示。

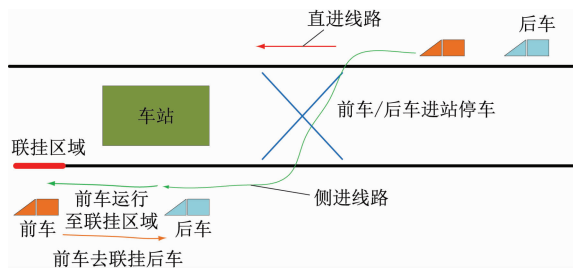


图 1 站前场景的灵活编组联挂过程

Fig. 1 Flexible marshalling and coupling process in pre-station scenario

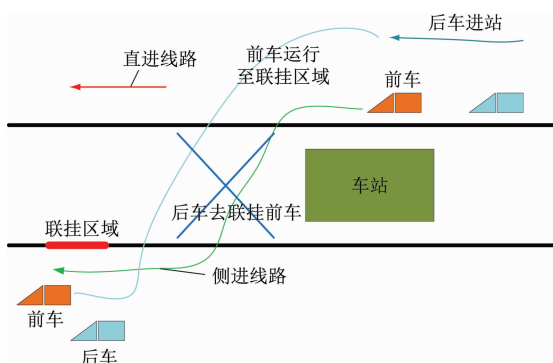


图 2 站后场景的灵活编组联挂过程

Fig. 2 Flexible marshalling and coupling process in post-station scenario

## 1.2 不同场景联挂作业的区别

由表 1 可见,无论站前场景或站后场景,联挂作业大致类似。二者区别如下:

1) 为了保证后车正常进站,需要提供一定安全防护距离。因此,在站前场景时,联挂区域与后车停车点距离较远。而且,在直行时的联挂作业中,后车进站速度偏高,所需防护距离稍长,进而增加了相应的联挂作业时间。站后场景没有这方面的限制条件。

2) 为了提高联挂效率,站前场景联挂作业要求前车去联挂后车,而站后场景联挂作业是后车完成清客作业后直接去联挂前车。相较而言,站后形式联挂作业列车的走行时间较长。

3) 图 1 中的渡线联挂作业太长,会影响后续列车的进站等流程,但是站后场景联挂作业不存在这样的问题。所以,站前场景联挂作业比较适合停车场的空车直接出库与站台列车进行联挂,联挂效率较高(如图 3 所示)。

表 1 联挂作业内容

Tab. 1 Content of coupling operations

站前场景联挂作业	站后场景联挂作业
前车运行至联挂解编专用线 3 节编组停车点停稳后,自动打开车门执行清客作业	前车运行至联挂解编专用线 3 节编组停车点停稳后,自动打开车门执行清客作业
前车运行至联挂解编停车位,自动完成换端并进入待命状态	前车运行至联挂解编停车位,自动完成换端并进入待命状态
后车运行至联挂解编专用线 3 节编组停车点停稳后,自动打开车门执行清客作业	后车运行至联挂解编专用线 3 节编组停车点停稳后,自动打开车门执行清客作业
前车以规定速度自动靠近后车,并完成碰钩;前车进行试拉以确保车钩联挂可靠;联挂列车完成联挂后,自动进行综合自检	后车以规定速度自动靠近前车,并完成碰钩。后车进行试拉以确保车钩联挂可靠 联挂列车完成联挂后,自动进行综合自检
联挂列车计划发车时间前,正线调度员通过 ATS 界面进行“联挂确认”操作。ATS 会自动匹配新车次号。如果未进行确认,则需要人工根据运行图计划设置计划车次	联挂列车计划发车时间前,正线调度员通过 ATS 界面进行“联挂确认”操作。ATS 会自动匹配新车次号 如果未进行确认,则需要人工根据运行图计划设置计划车次
根据运行图,联挂列车自动打开车门进行上客作业	根据运行图,联挂列车在计划发车时间到达时,离开联挂区域,前往站台载客

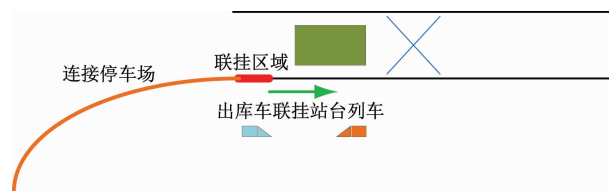


图 3 站前场景下的停车场出库列车与站台列车联挂示意图  
Fig. 3 Schematic diagram of out-off-depot train and station train coupling in pre-station scenario

## 2 灵活编组联挂作业的时间

### 2.1 灵活编组仿真系统

为了进一步量化分析不同场景的灵活编组联挂作业在每个阶段的作业时间,本文采用 CSS(灵活编组仿真系统)进行仿真计算。CSS 的功能模块如图 4 所示,主界面如图 5 所示。

整个仿真过程如下:

步骤 1 建立或选择联挂作业仿真数据。

步骤 2 选择或编辑车型(主要包括车辆参数)。

步骤 3 选择联挂作业(包括干扰点计算、前车运行至联挂区域、前车在站台联挂后车、后车去联挂区域联挂前车、联挂后列车投入运行等)。

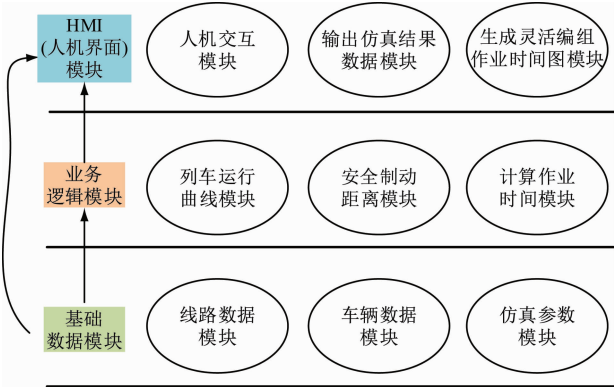


图 4 CSS 的模块结构图

Fig. 4 Diagram of CSS (flexible coupling simulation system) modular structure

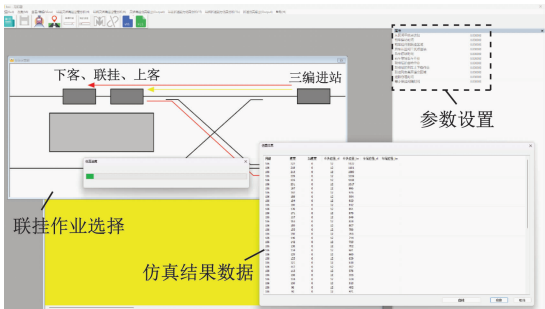


图 5 灵活编组仿真系统主界面

Fig. 5 Main interface of flexible marshalling simulation system

步骤 4 开始仿真运算,直至所有阶段运行完成。

步骤 5 生成仿真结果数据。仿真结果主要包括每个联挂作业阶段的时间表,以及对应的作业时序图。

2.2 典型场景的联挂作业仿真分析

本文以某线路的站前场景及站后场景联挂作业为例进行仿真分析。由于线路条件的原因,道岔距离站台较近,列车进站速度较低。所以,直进线路和侧进线路的列车走行时间比较接近。因此,本文只分析侧进线路。

仿真时所采用的列车关键参数如表 2 所示。经仿真计算,得到表 3 和表 4 的结果。对比分析不同场景的在线联挂方式。

通过对比 2 种不同场景的联挂作业时间,可以得到如下结论:

1) 站后场景的联挂作业时间相比站前场景的联挂作业时间偏长。站后场景联挂作业的走行时间为 71 s,比站前场景的联挂作业时间多了 27 s。

表 2 仿真列车关键参数

Tab. 2 Simulation of train key parameters

关键参数	参考值
3 节编组列车长度/m	60
6 节编组列车长度/m	120
列车定位误差/m	10
列车常用制动加速度/( $\text{m/s}^2$ )	-0.8
测速误差/%	3
列车最小保证紧急制动加速度/( $\text{m/s}^2$ )	-0.65
列车失控加速阶段时间/s	1.6
列车施加紧急制动动作时间/s	3.5
列车联挂配置时间/s	25
停站时间/s	35
进路建立时间/s	3
列车过道岔反位限速/( $\text{km/h}$ )	30
联挂区域与后车停车点之间的距离/m	50

表 3 站前场景的联挂作业各阶段时间仿真结果

Tab. 3 Simulation results of coupling operation time at each stage in pre-station scenario

联挂作业阶段内容	时间/s
前车从干扰点进站时间	57.5
前车停站清客时间	35.0
前车运行到联挂区域位置并停稳	32.0
后车从干扰点进站时间	57.5
后车停站清客时间	35.0
前车去联挂后车	44.0
联挂配置时间	25.0
联挂后列车停站载客时间	35.0
合计	321.0

表 4 站后场景的联挂作业各阶段时间仿真结果

Tab. 4 Simulation results of coupling operation time at each stage in post-station scenario

联挂作业阶段内容	时间/s
前车从干扰点进站时间	32.0
前车停站清客时间	35.0
前车运行到联挂区域位置并停稳	52.0
后车从干扰点进站时间	32.0
后车停站清客时间	35.0
后车去联挂前车	71.0
联挂配置时间	25.0
联挂后列车离开联挂区域	38.1
联挂后列车停站载客时间	35.0
合计	355.1

2) 若需要在终端站联挂作业,则终端站宜采用站前折返设计。特别是在终端站直接连接停车场或车辆段条件下,联挂区域等待的空车可以直接联挂,能极大提高联挂作业效率。经仿真计算,此时联挂作业全部用时仅为 161.5 s。

3) 若需要在中间站联挂作业,则该中间站宜采用站后折返设计。特别是在联挂作业较长(作业时间大于 5 min 时)的约束条件下,站后场景能有效减少联挂作业对后续列车的影响。

### 3 结语

本文分析了典型的站前场景及站后场景的在线灵活编组联挂作业过程,并采用仿真技术进行定量分析联挂作业中的每个阶段用时。通过分析站前及站后场景联挂作业的特征和区别,本文提出了具备灵活编组功能车站的折返线设计建议:

1) 采用灵活编组时,中间站宜采用站后折返形式。

2) 终端站与停车场或车辆段相连接时,为满足灵活编组需要,终端站更适合采用站前折返形式。

### 参考文献

- [1] 王立军,张帅,魏凡超. 灵活编组技术在城市轨道交通全自动运行系统中的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(2): 111.  
WANG Lijun, ZHANG Shuai, WEI Fanchao. Application of flexible train marshalling technology in urban rail transit FAO system[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(2): 111.
- [2] 李兆岭,严业智. 城市轨道交通信号系统灵活编组关键技术研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(12): 72.  
LI Zhaojing, YAN Yezhi. Key technologies of flexible marshalling in signaling system for urban rail transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(12): 72.
- [3] 王舟帆,柴鹏鹏,赵兴,等. 轨道交通灵活编组列车驾驶模式分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(5): 77.  
WANG Zhoufan, CHAI Pengpeng, ZHAO Xing, et al. Rail transit operating mode of flexible coupling train set[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(5): 77.
- [4] 张庆刚,张士臣,刘鸿宇,等. 灵活编组的城市轨道交通列车运行模式研究[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(7): 229.  
ZHANG Qinggang, ZHANG Shichen, LIU Hongyu, et al. Operation mode of urban rail transit train with flexible formation[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(7): 229.
- [5] 王冬海,黄荣光. 列车灵活编组在城市轨道交通全自动运行线路中的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(增刊2): 102.  
WANG Donghai, HUANG Qiguang. Application of flexible train formation on rail transit FAO lines[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(S2): 102.
- [6] 范海宁,何勇浩. 城市轨道交通列车灵活编组方案及功能实现[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(9): 200.  
FAN Haining, HE Yonghao. Flexible marshalling scheme and function realization of urban rail transit train[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(9): 200.
- [7] 陈阳. 重庆市域(郊)铁路互联互通运输组织研究[J]. 现代城市轨道交通, 2023(5): 90.  
CHEN Yang. Research on the network interoperability transportation organization scheme of Chongqing urban region (suburban) railways[J]. Modern Urban Transit, 2023(5): 90.
- [8] GAO R, NIU H. A priority-based ADMM approach for flexible train scheduling problems[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2021, 123: 102960.
- [9] 吴鹏升. 可变编组条件下市场导向型城际列车开行方案优化研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2022.  
WU Pengsheng. Research on optimization of market-oriented intercity railway line planning under variable marshalling EMU[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2022.
- [10] 韩桴. 城市轨道交通灵活编组关键技术及运营方案比选研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2021.  
HAN Fu. The key technology and operation plan of flexible urban rail organization comparison study[D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2021.
- [11] 马文虎. 城轨列车灵活编组和多交路组合模式优化研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2022.  
MA Wenhui. Optimization research on flexible compositions and multiple service routes combination mode of urban rail trains[D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2022.
- [12] 马青春,郭燕辉,李雪飞,等. 基于灵活编组无人驾驶车辆车钩连挂技术概述[J]. 智慧轨道交通, 2022, 59(4): 67.  
MA Qingchun, GUO Yanhui, LI Xuefei, et al. Overview of coupler connection technology of unmanned vehicle based on flexible marshalling[J]. Smart Rail Transit, 2022, 59(4): 67.

· 收稿日期:2024-04-02 修回日期:2024-04-24 出版日期:2024-12-10  
Received:2024-04-02 Revised:2024-04-24 Published:2024-12-10  
· 通信作者:范颖慧,高级工程师,1523633121@qq.com  
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license