文章编号：1003-1421(2026)02-0119-11
引用格式：王雪鑫. 城市轨道交通重联编组联挂、解编与折返协同作业能力研究[J]. 铁道运输与经济，2026，48(2)：119-129.
WANG Xuexin. Collaborative Operation Capability of Coupling, Decoupling, and Turnback for Urban Rail Transit[J]. Railway Transport and Economy，2026，48(2)：119-129.

城市轨道交通重联编组联挂、解编与折返协同作业能力研究

王雪鑫[1, 2]

(1.中铁第一勘察设计院集团有限公司 陕西省铁道及地下交通工程重点实验室，陕西 西安 710043；
2.中铁第一勘察设计院集团有限公司 城市轨道交通设计研究院，陕西 西安 710043)

摘 要：为实现“运力-运量匹配”和列车的按需开行，提出3+3重联编组运营模式，在高峰期将2列3编组列车联挂载客，平峰期解编为3编组运营。为探究解编、联挂与折返协同作业过程中，车站的接、发车能力，以2种典型的尽端式折返站配线型式为案例，首先对全自动模式下3+3重联编组的联挂及解编作业流程进行分析，之后对解编、联挂与折返作业的不同场景进行分析，最后针对不同的场景仿真模拟车站的接、发车能力。结果表明，无论是站后双停车线还是站后交叉渡线的配线型式，折返列车在联挂列车之前发车时，接、发车能力较在联挂列车之后发车可分别提高2对/h、1对/h，且发车更为均衡。解编与折返协同作业2个场景下，不同的配线形式下接发车能力有所不同，但折返列车在一列解编列车发出后发出时，车站接车时间更为均衡。通过研究可为后续采用重联编组线路提供借鉴与参考。

关键词：城市轨道交通；重联编组；接、发车能力；协同作业；列车解编联挂
中图分类号：U292.5 **文献标识码**：A **DOI**：10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.20250321001

Collaborative Operation Capability of Coupling, Decoupling, and Turnback for Urban Rail Transit

WANG Xuexin[1, 2]

(1. Shaanxi Provincial Key Laboratory of Railway and Underground Traffic Engineering, China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Xi'an 710043, Shaanxi, China; 2. Urban Rail Transit Design and Research Institute, China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Xi'an 710043, Shaanxi, China)

Abstract: To achieve "capacity-volume matching" and on-demand travel of trains, a "3+3" multiple formation operation mode was proposed. During peak hours, two 3-formation trains were coupled to carry passengers, and during off-peak hours, the trains were decoupled to operate as 3-formation trains. To investigate the receiving and departure capacity of stations during the coupling, decoupling, and turnback operations, two typical terminal return station line layouts were used as case studies. First, the coupling and decoupling operation processes of the 3+3 multiple formation in fully automated mode were analyzed. Then, different scenarios of decoupling, coupling, and turnback operations were examined. Finally, the receiving and departure capacity of stations under

收稿日期：2025-03-21 **修订日期**：2025-10-21
基金项目：陕西省自然科学基础研究计划项目(2023-JC-YB-474)；中国铁建股份有限公司地下空间利用领域科研项目(2024-W17-03)；中铁第一勘察设计院集团有限公司科研项目(KY23-B014)

different scenarios were simulated through modeling. The results indicate that, regardless of whether the line layout features two post-station parking lines or a post-station crossover line, the receiving and departure capacity of stations can be increased when the return train departs before the coupled train—by 2 train pairs per hour and 1 train pair per hour, respectively—and departures are more evenly distributed. In the two scenarios of decoupling and turnback operations, the receiving and departure capacity of stations vary with different line layouts. However, when the return train departs after a decoupled train has left, the station achieves more balanced train receiving times. This study provides a valuable reference for future implementation of multiple-unit coupling operation lines.
Keywords: Urban Rail Transit; Multiple Formation; Receiving and Departure Capacity; Collaborative Operation; Train Decoupling and Coupling

0　引言

随着轨道交通线网的逐渐完善，一线城市已完成三四轮建设规划，大多数二线城市也已经完成两轮建设规划，由于大多新建线路已至城市边缘地区或城市新城，客流时空分布不均衡的特征凸显，主要表现在早、晚高峰客流大，其余时段客流较小，线路中心客流大，外围客流小，根据北京、成都、青岛等地客流分析，高峰时段客流一般为平峰时段的5倍左右[1-2]。为实现“运力-运量匹配”和列车的按需开行，在轨道交通设计、建设及运营领域均进行了研究探索[3-5]。3+3重联编组可在平峰时段采用3编组列车运营，在高峰期2列3编组列车联挂运营[6]，解编联挂使得运营灵活，可有效应对客流风险，实现客流与运力的精准匹配，且符合低碳、绿色发展的国家战略，已成为新建轨道交通线路的研究趋势[7-8]。

目前对于研究3+3重联编组的研究聚焦于土建[9]、机电设备改造[10-12]等可实施性分析以及经济性分析[13]，较少探寻实际运营中出现的具体问题。由于3+3重联编组高峰期、平峰期编组形式不同，因此实际运营中高峰期向平峰期过渡时，需完成3+3编组列车在线解编为2列3编组列车，平峰期向高峰期过渡时完成2列3编组列车在线联挂为1列3+3编组列车[14]。在线解编联挂一般在具有折返功能车站完成，由于在线解编、联挂作业时间较长[15]，为保证列车在线解编、联挂时线路反向发车间隔均匀，在线解编、联挂过程中还需有折返列车通过折返线进行折返作业，在此协同作业过程中，接、发车时间将直接影响线路的通过能力[16-17]，并且各项作业时间也是编制运行图基础数据，因此推进3+3重联编组在地铁线路中的应用，需对解编、联挂与折返作业时的能力进行系统研究。

1　3+3重联编组折返技术作业过程分析

为保证乘客舒适度及运营安全，列车解编、联挂作业不载客进行，并且不影响正线其他列车的运营，解编、联挂作业区域的选择一般为起终点站后折返线、停车线、小交路折返点或车辆段(停车场)接轨站。本次以尽端式折返车站为研究对象，即所有列车均需在本站停站上下客作业，由于地铁车站一般在小于2‰坡度的直线段设置，车站区域平纵面对列车启制动时间影响较小，探讨在全自动模式下的3+3联挂、解编与折返协同作业下的接、发车能力时，忽略线路平纵面对启制动时间影响。站后交叉渡线车站示意图如图1所示，站后双停车线车站示意图如图2所示。

图中P0表示前车在站台区域时，后车禁止到

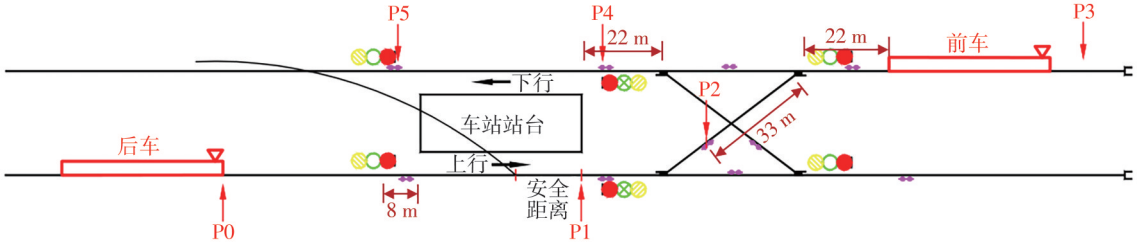


图1　站后交叉渡线车站示意图
Fig.1　Post-station crossover lines

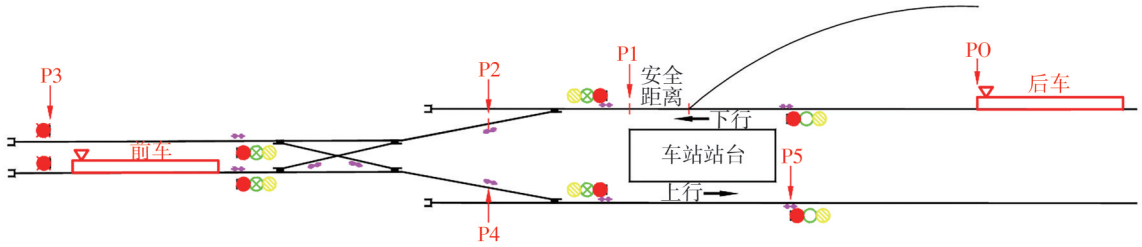


图2　站后双停车线车站示意图
Fig.2　Post-station double parking lines

达点或者前车尾部出清P2点时，列车需要开始制动位置；P1表示列车到达车站站台停车点；P2表示后车办理接车进路时，前车需出清的限制点；P3表示折返停车点；P4表示后车办理折返进路时，前车需出清的限制点；P5表示后车从折返停车点发车时，前车应该出清的限制点。

1.1　联挂作业流程

3+3重联编组在早、晚高峰期采用3+3编组列车运营，平峰期采用3编组列车运营，因此平峰期向高峰期过渡时需要在折返配线上完成列车联挂作业。已运营的上海地铁16号线在龙阳路站采用ATO联挂模式，同时根据系统厂商的研究成果，目前已可实现全自动联挂模式，并将在北京地铁3号线中使用，联挂系统配置时间进一步压缩。

全自动联挂模式中，后车进入折返线后直接低速联挂撞钩，具体步骤如下。

步骤1：1号3编组列车进站停车至P1点清客，2号3编组列车不可入侵P0点；1号车办理折返进路。

步骤2：2号车进入车站停至P1点清客，办理折返进路，距离1号车10~20 m处以3 km/h低速运行，直接与1号车撞钩联挂成为3+3编组列车，并进行系统配置。

步骤3：3+3编组列车上线发车。

列车联挂作业示意图如图3所示。

1.2　解编作业流程

在高峰期向平峰期过渡时，3+3编组列车需利用折返配线解编为3编组列车运营，具体解编作业流程如下。

步骤1：3+3编组列车进站停车至P1点清客，办理折返进路，驶入折返线停车至P3点。

步骤2：列车解体系统配置，变为独立2列3编组列车，2号列车办理发车进路，驶入车站进行上客作业。

步骤3：2号列车驶出车站尾部出清P5点后，办理1号列车发车进路。

列车解编作业流程示意图如图4所示。

2　重联编组车站接、发车能力影响因素

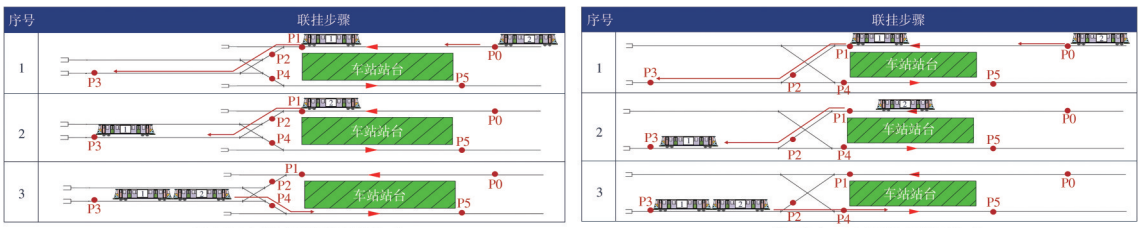
2.1　固定设备

2.1.1　车站配线布置

不同的车站配线形式将直接影响重联编组列车的作业形式和接发能力。单线折返/单渡线车站：单一作业模式，重联车解编时占用折返线，后续列车需等待；双停车线/交叉渡线折返车站：平行作业模式，一列车解编或联挂时，后续列车可正常折返，小时接发能力较单一作业模式配线车站提升约40%。

2.1.2　道岔参数

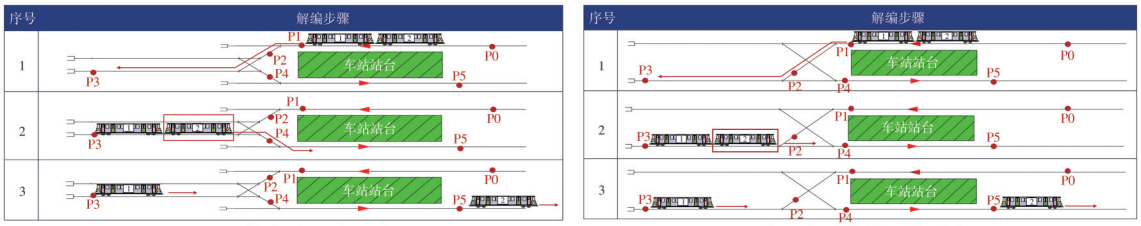
（1）道岔型号与列车侧向过岔限速直接相关，



a　站后双停车线配线形式
a　Distribution form of post-station double parking line

b　站后交叉渡线配线形式
b　Distribution form of post-station crossover line

图3　列车联挂作业示意图
Fig.3　Train coupling operation



a　站后双停车线配线形式
a　Distribution form of post-station double parking lines

b　站后交叉渡线配线形式
b　Distribution form of post-station crossover line

图4　列车解编作业流程示意图

Fig.4　Train decoupling operation process

例如9号道岔侧向过岔限速为35 km/h，12号道岔为50 km/h，18号道岔为80 km/h，同样的配线形式车站，采用12号道岔折返能力较采用9号道岔提升约8%，采用18号道岔较9号道岔提升13%。

（2）道岔联动响应时间差异。不同道岔的转换时间略有差异，例如机械道岔转换一次时间6~8 s，电子道岔如S700K型转换时间普遍≤3 s，转换的时间差异也将直接影响车站的接、发车能力。

2.1.3　信号系统参数

（1）对列车追踪间隔的影响。以地铁线路常用的CBTC为例，全自动驾驶线路(GOA2)最小折返追踪间隔理论数据为90~110 s，理论最大折返能力可达33~40列/h。2024年4月开通运营的青岛地铁6号线采用了全自主运行系统(TACS)，为我国第一条TACS示范工程，最小折返追踪间隔理论可缩小至75 s，理论最大折返能力可达48列/h。

（2）对进路办理时间的影响。传统的中央联锁集中控制，进路建立耗时10~12 s(含道岔切换+联锁校验)，TACS系统车载控制器实时计算移动权限(MA)，替代地面联锁的逐段校核，进路建立耗时可缩小至5 s之内。

2.2　移动设备

移动设备主要受列车参数影响，不同类型列车的车辆长度、车门数量、启制动加速度等关键参数均有所不同，其中列车长度决定折返线长度及走行时间(如6节编组B型车需120 m+车挡距离，较4节编组增加约33%，折返时间增加约5 s)，车门数量制约清客速度，而加速度性能则主导道岔区通过效率，各站车辆参数的区别会使车站的接发车能力有所区别。

2.3　运输组织

2.3.1　停站时间

停站时间通过制约站台轨道占用时长直接限制车站的折返能力，其中停车时间的确定与车站客流乘降量、车门数量、地铁运营部门管理水平有关，一般线路起终点站初期停站时间在40~50 s之间。

2.3.2　列车限速

起终点站前后若存在限速曲线，列车将限速进出车站，以80 km/h速度目标值线路为例，在进站限速区若存在45 km/h的限速曲线，列车进站时间耗时增加约8 s，折返能力会下降5%。

2.3.3　解编联挂作业场景

全日高峰时刻全部为重联编组列车运营，高峰向平峰转换期，重联编组列车解编为2列小编组列车，平峰向高峰转换期，2列小编组列车联挂为重联编组列车，由于列车解体、联挂时间均较长，在转换期间，为保证列车在线解编、联挂时线路反向发车间隔均匀，行车对数符合全日行车计划要求，在线解编、联挂过程中部分列车还需进行折返作业，因此转换期解编、联挂与折返列车的不同到达顺序，将产生不同的作业场景，对车站的接、发车能力产生影响。以平峰向高峰转换期为例说明，存在2种不同作业场景，一是折返列车在2列解编列车发出后发出；二是折返列车在1列解编列车发出后发出。2种不同的作业场景势必对线路的发车频率及均衡性产生影响。

综合各种影响因素，线路固定设备、移动设备及运输组织中列车限速在线路设计阶段已确定，停站时间受控于客流、管理等方面，因此若提高重联编组线路的通过能力，可从解编联挂作业场景入手，系统梳理不同的作业过程，仿真关键作业流程时间，通过图示法得到不同转换期的车站接、发车能力。对此研究还可为实际运营提供借鉴，具有一定研究意义。

3　重联编组作业场景分析

以站后双停车线的配线形式为例，针对解编、联挂作业分别论述与折返列车协同作业的不同场景。

3.1　联挂、折返协同作业场景

3.1.1　联挂与折返协同作业场景Ⅰ

联挂与折返协同作业场景Ⅰ为折返列车在联挂列车完成作业后发出，在此场景下，折返列车在联挂列车发车之后再发出，联挂列车1到达车站完成下客作业后进入停车线，联挂列车2到达车站完成下客作业，进入停车线后低速与联挂列车1撞钩，完成信号、通信、车辆等系统配置，实现2列车联挂，并排发车进路，到达站台完成上客作业，在此过程中，联挂列车2尾部出清P2点后，折返列车办理接车进路，联挂完成列车尾部出清P4点后，折返列车办理折返进路，联挂完成列车尾部出清P5点后，折返列车办理发车进路。联挂与折返协同作业场景Ⅰ示意图如图5所示。

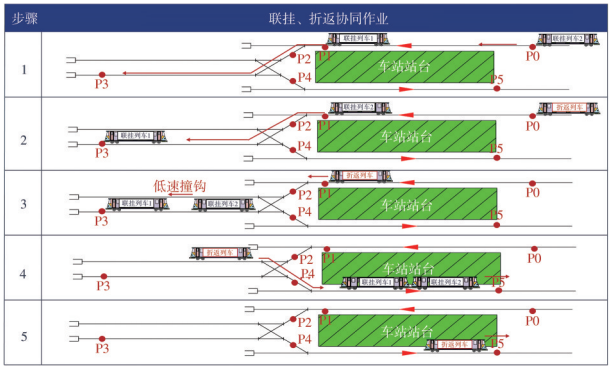


图5　联挂与折返协同作业场景Ⅰ示意图

Fig.5　Coupling and turnback collaborative operation scenario Ⅰ

3.1.2　联挂与折返协同作业场景Ⅱ

联挂与折返协同作业场景Ⅱ为折返列车在联挂列车之前发车，在此场景下，折返列车作业穿插在2列联挂列车之间，联挂列车1到达车站完成下客作业后进入停车线等待，后续列车为折返列车，联挂列车1尾部出清P2点之后，折返列车办理接车进路，之后离开停车线到达站台，完成上客作业后发车。在此过程中，折返列车尾部出清P2点后，联挂列车2办理接车进路，并在停车线上完成低速撞钩、系统配置等联挂作业，折返列车尾部出清P4点后，联挂完成列车办理折返进路，折返列车尾部出清P5点后，联挂完成列车办理发车进路，联挂与折返作业场景Ⅱ示意图如图6所示。

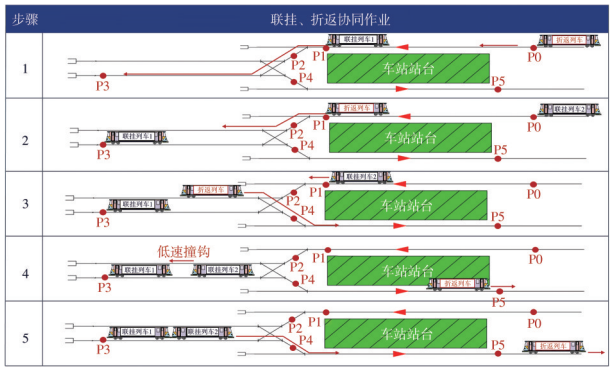


图6　联挂与折返作业场景Ⅱ示意图

Fig.6　Coupling and turnback operation scenario Ⅱ

3.2　解编、折返协同作业场景

3.2.1　解编与折返协同作业场景Ⅰ

解编与折返协同作业场景Ⅰ为折返列车在2列解编列车发出后发出，在此场景下，折返列车在解编列车发车之后再发出，解编列车到达车站完成下客作业后进入停车线，完成信号、通信、车辆等系统配置，实现列车解编，解编列车2排发车进路，到达站台完成上客作业，尾部出清P5点后，解编列车1排发车进路。在此过程中，解编列车尾部出清P2点后，折返列车办理接车进路；解编列车2尾部出清P4点后，折返列车办理进入停车线进路，解编列车1尾部出清P5点后，折返列车办理发车进路。解编与折返协同作业场景Ⅰ示意图如图7所示。

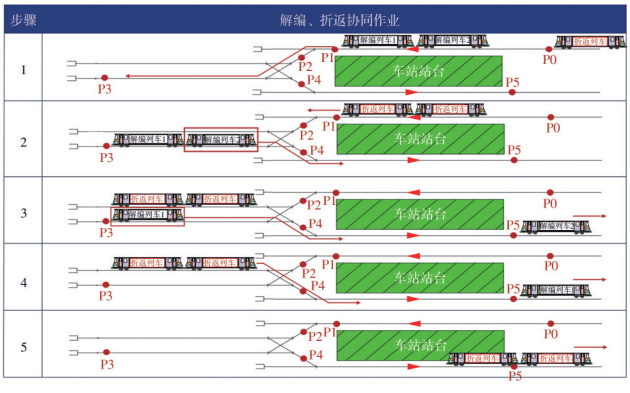


图7　解编与折返协同作业场景Ⅰ示意图

Fig.7　Decoupling and turnback collaborative operation scenario Ⅰ

3.2.2　解编与折返协同作业场景Ⅱ

解编与折返协同作业场景Ⅱ为折返列车在1列解编列车发出后发出，在此场景下，折返列车在解

编列车2发车之后发出，解编列车到达车站完成下客作业后进入停车线，完成信号、通信、车辆等系统配置，实现列车解编，解编列车2排发车进路，到达站台完成上客作业，尾部出清P5点后，折返列车排发车进路。在此过程中，解编列车2尾部出清P2点后，折返列车办理接车进路；解编列车2尾部出清P4点后，折返列车办理进入停车线进路，解编列车2尾部出清P5点后，折返列车办理发车进路。解编与折返协同作业场景Ⅱ示意图如图8所示。

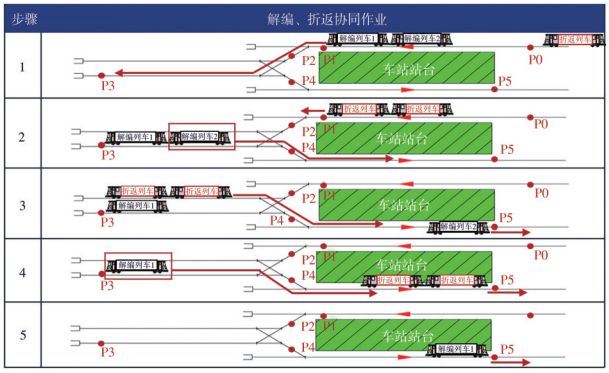


图8　解编与折返协同作业场景Ⅱ示意图

Fig.8　Decomposing and turnback collaborative operation scenario Ⅱ

4　解编联挂与折返协同作业不同场景接发车能力分析

4.1　仿真模拟参数设置

仿真模拟的相关参数取值如表1所示。

4.2　仿真模拟过程

利用城轨列车运行计算软件，首先输入表1中列车参数，并输入站后双停车线、站后交叉渡线2种站型信号机控制距离，具体控制距离见图1、图2，仿真模拟列车进站停车时间、列车从车站进入折返线并停车时间、列车从车站进入折返线且尾部出清P2点时间、列车进入折返线并低速(3 km/h)撞钩时间、列车离开折返线进入车站停车时间、列车离开折返线且尾部出清P4点时间，剩余参数按运营经验取值，例如办理接、发车进路取15 s，停站时间取45 s等。仿真模拟时间结果如表2所示。

根据仿真模拟结果，对3.2.1、3.2.2节中描述的联挂/解编、折返协同作业场景通过图示进行绘线，根据图示结果统计列车出发/到达间隔，得出不同站型下的接、发车能力。

表1　仿真模拟的相关参数取值

Tab.1　Values of relevant parameters for simulation

参数	3编组	3+3编组
车长/m	60.96	121.68
最大车速/(km/h)	100	
最大牵引加速度/(m/s²)	1.131	
牵引激活延时/s	3.3	
保障制动率/(m/s²)	0.85	
紧急制动减速度/(m/s²)	1.2	
最大启动加速度/(m/s²)	0.9	
最大区间运行加速度/(m/s²)	0.5	
牵引切除时间/s	1.106	
制动施加时间/s	0.85	
旋转质量/%	9.4	
道岔号数	9	
9号道岔侧向过岔顶棚速度/(km/h)	35	
停站时间/s	45	
最小安全控制距离/m	50	

表2　仿真模拟时间结果　　s

Tab.2　Results of simulation

项目	结果	
	双停车线	交叉渡线
列车进站停车时间	33	28
列车从车站进入折返线并停车时间	49	43
列车从车站进入折返线且尾部出清P2点时间	28	25
列车进入折返线并低速撞钩时间	51	48
列车离开折返线进入车站停车时间	49	54
解编后列车离开折返线且尾部出清P4点时间	28	38
联挂后列车离开折返线且尾部出清P4点时间	36	49

4.3　不同作业场景下接发车能力统计

4.3.1　联挂、折返协同作业场景接发车能力统计

根据3.1.1节描述协同作业场景，站后双停车线配线型式联挂与折返协同作业场景Ⅰ接发车能力示意图如图9所示，站后交叉渡线配线型式联挂与折返协同作业场景Ⅰ接发车能力示意图如图10所示。

由图9、图10可知，在联挂、折返协同作业场景Ⅰ时，2种配线型式下从列车1开始办理进路至列车8出清站台区域所需时间基本一致，站后双停车线配线型式下列车平均到达时间间隔为144 s，平均发车间隔为216 s，站后交叉渡线配线型式下列车平均到达时间间隔为143 s，平均发车间隔为214 s，2种配线型式在场景Ⅰ下接车能力为25对/h，发车能力为16对/h。

根据3.1.2节描述协同作业场景，站后双停车线配线型式联挂与折返协同作业场景Ⅱ接发车能力示意图如图11所示，站后交叉渡线配线型式联挂与折

返协同作业场景Ⅱ接发车能力示意图如图12所示。

由图11、图12可知，在联挂、折返协同作业场景Ⅱ时，2种配线型式下从列车1开始办理进路至列车8出清站台区域所需时间基本一致，站后双停车

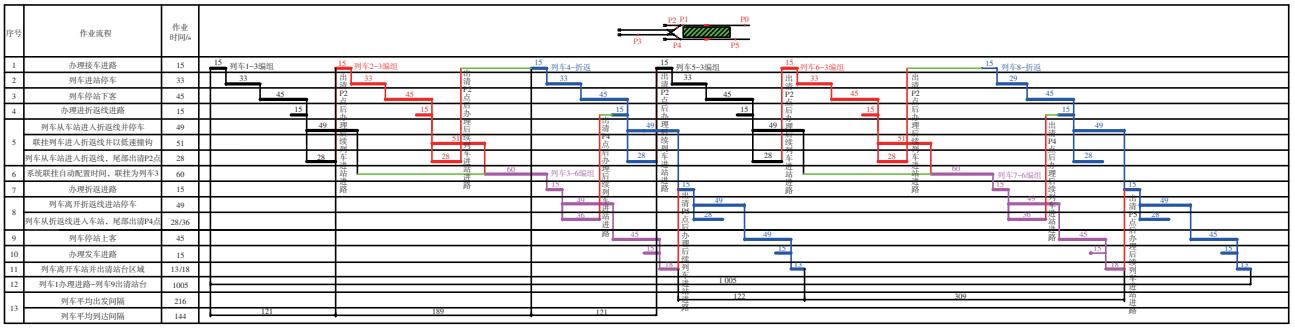


图9　站后双停车线配线型式联挂与折返协同作业场景Ⅰ接发车能力示意图

Fig.9　Receiving and departure capacity for coupling and turnback collaborative operations scenario Ⅰ with post-station double parking lines

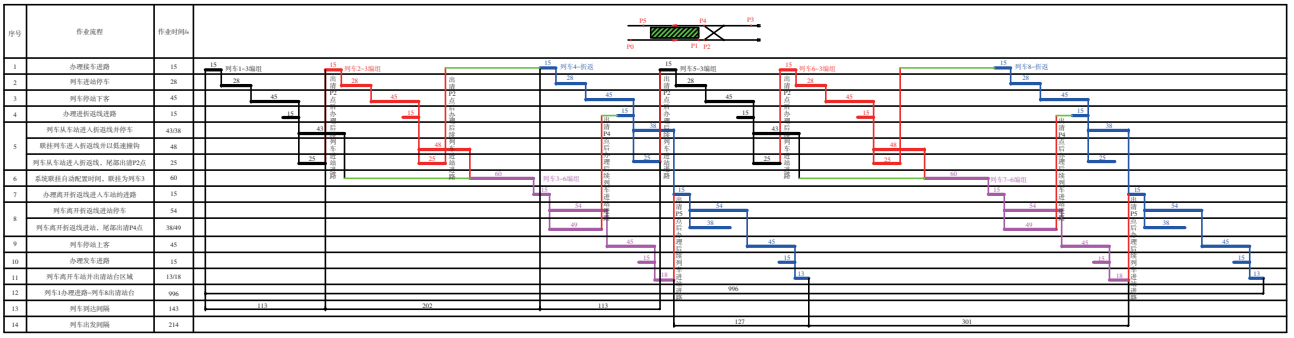


图10　站后交叉渡线配线型式联挂与折返协同作业场景Ⅰ接发车能力示意图

Fig.10　Receiving and departure capacity for coupling and turnback collaborative operations scenario Ⅰ with post-station crossover lines

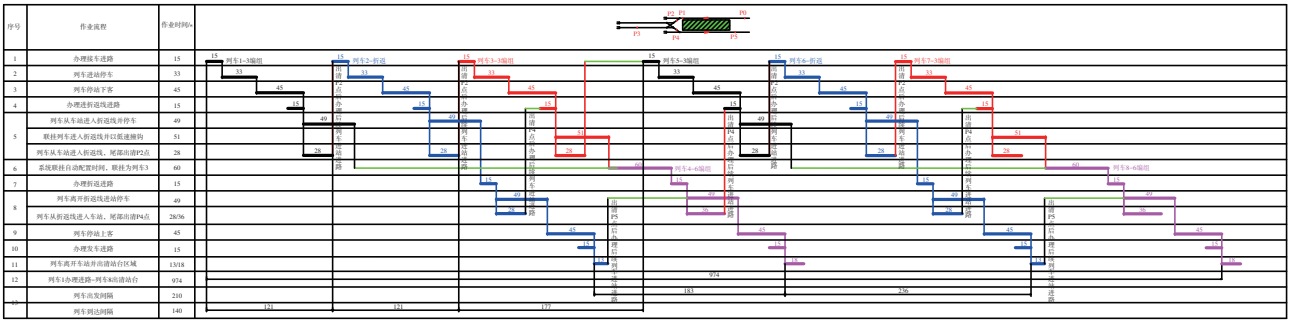


图11　站后双停车线配线型式联挂与折返协同作业场景Ⅱ接发车能力示意图

Fig.11　Receiving and departure capacity for coupling and turnback collaborative operations scenario Ⅱ with post-station double parking lines

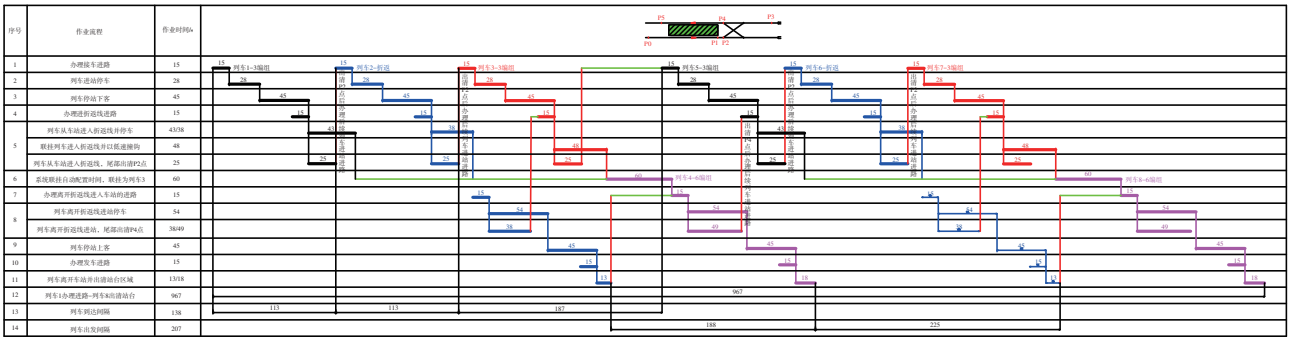


图12　站后交叉渡线配线型式联挂与折返协同作业场景Ⅱ接发车能力示意图

Fig.12　Receiving and departure capacity for coupling and turnback collaborative operations scenario Ⅱ with post-station crossover lines

线配线型式下列车平均到达时间间隔为140 s，平均发车间隔为210 s，站后交叉渡线配线型式下列车平均到达时间间隔为138 s，平均发车间隔为207 s。

4.3.2　解编、折返协同作业场景接发车能力统计

根据3.2.1节描述协同作业场景，站后双停车线配线型式解编与折返协同作业场景Ⅰ接发车能力示意图如图13所示，站后交叉渡线配线型式解编与折返协同作业场景Ⅰ接发车能力示意图如图14所示。

由图13、图14可知，在解编、折返协同作业场景Ⅰ时，站后双停车线配线型式下从列车1开始办理进路至列车8出清站台区域所需时间为990 s，站后交叉渡线配线型式下所需时间为996 s，两者相差6 s；从接发车能力上看，站后双停车线配线型式下发车能力为25对/h，接车能力为16对/h，站后交叉渡线配线型式下发车能力为25对/h，接车能力为17对/h，站后交叉渡线型式下接发车时间更加均匀，且接车能力更大。

根据3.2.2节描述协同作业场景，站后双停车线配线型式解编与折返协同作业场景Ⅱ接发车能力示意图如图15所示，站后交叉渡线配线型式解编与折返协同作业场景Ⅱ接发车能力示意图如图16所示。

由图15、图16可知，在解编、折返协同作业场景Ⅱ时，站后双停车线配线型式下列车平均到达时间间隔为210 s，平均发车间隔为140 s，站后交

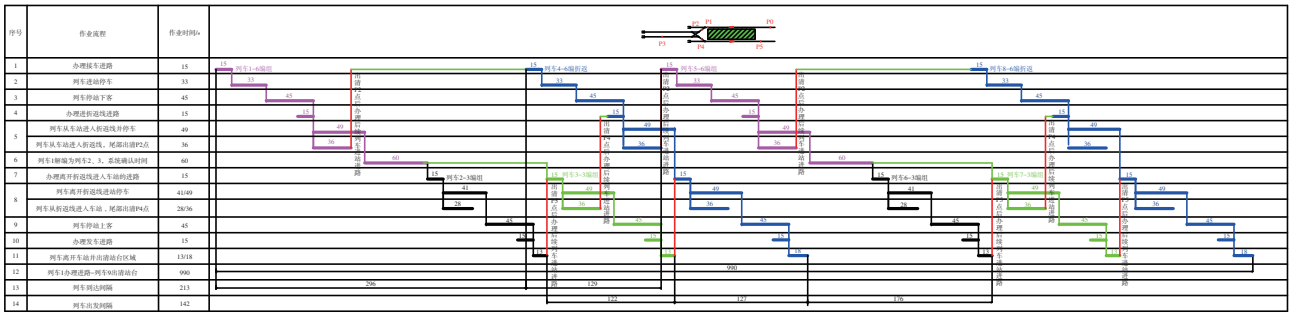


图13　站后双停车线配线型式解编与折返协同作业场景Ⅰ接发车能力示意图

Fig.13　Receiving and departure capacity for decoupling and turnback collaborative operations scenario Ⅰ with post-station double parking lines

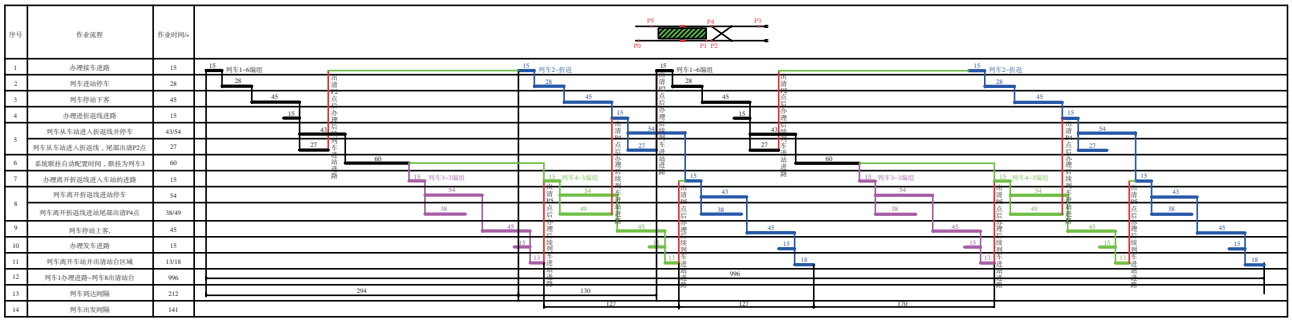


图14　站后交叉渡线配线型式解编与折返协同作业场景Ⅰ接发车能力示意图

Fig.14　Receiving and departure capacity for decoupling and turnback collaborative operations scenario Ⅰ with post-station crossover lines

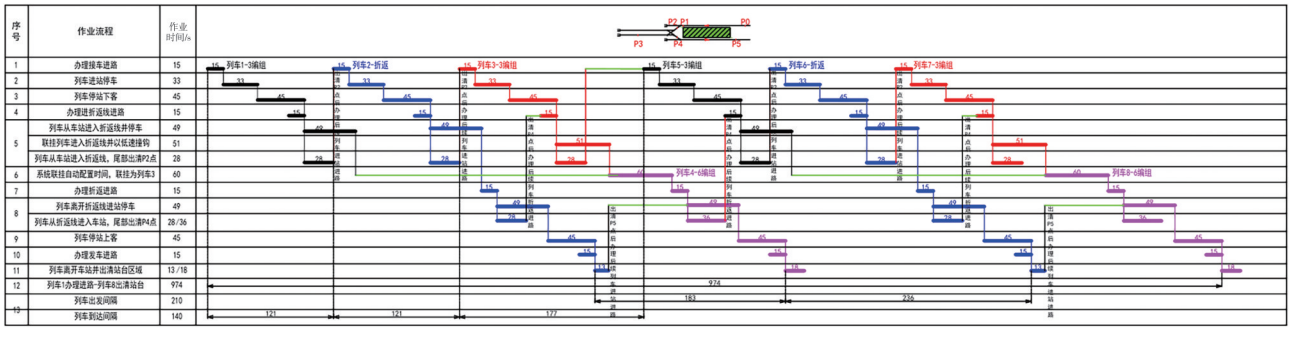


图15　站后双停车线配线型式解编与折返协同作业场景Ⅱ接发车能力示意图

Fig.15　Receiving and departure capacity for decoupling and turnback collaborative operations scenario Ⅱ with post-station double parking lines

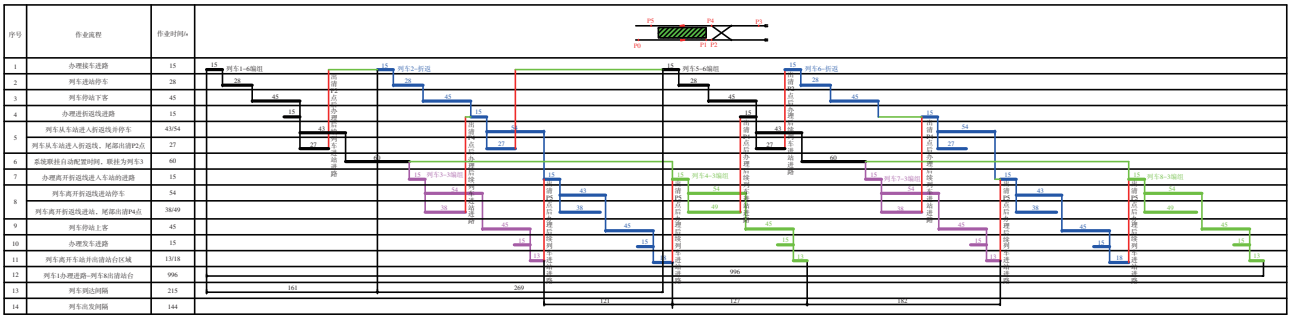


图16　站后交叉渡线配线型式解编与折返协同作业场景Ⅱ接发车能力示意图

Fig.16　Receiving and departure capacity for decoupling and turnback collaborative operations scenario Ⅱ with post-station crossover lines

叉渡线配线型式下列车平均到达时间间隔为215 s，平均发车间隔为144 s。

4.4　解编、联挂与折返协同作业不同场景结果分析

重联编组的联挂、解编作业受系统配置、作业流程的影响，在一个周期内不同列车的接、发车时间间隔并不均衡，经4.3节统计结果显示，周期内联挂作业时到达4列3编组列车，存在3组到达时间间隔，发车时2列3编组联挂为1列3+3编组列车，因此存在2组发车时间间隔，同理周期内解编作业时到达3列3+3编组列车，存在2组到达时间间隔，发车时1列3+3编组列车解编为2列3编组列车，因此存在3组发车时间间隔。

4.4.1　联挂与折返协同作业不同场景结果分析

通过对4.2.1、4.2.2节计算结果统计，2种配线型式下联挂与折返协同作业不同场景接发车能力统计如表3所示。

2种配线型式(站后双停车线、站后交叉渡线)在联挂场景Ⅰ的接发车能力均为25对/h，在场景Ⅱ的接车能力为25对/h、26对/h，发车能力均为17对/h，较场景Ⅰ可提高1对/h。从不同场景的发车均衡性进行分析，以双停车线配线为例，联挂场景Ⅰ列车发车时间分别为122 s与309 s，平均216 s可发出1列车，联挂场景Ⅱ发车时间分别为183 s与236 s，平均每210 s可发出1列车，虽然2种场景的平均发车时间仅相差6 s，但联挂场景Ⅱ发车时间更均衡，联挂场景Ⅰ第1列车发出之后，后续列车等待309 s后才会发车，发车时间的不均衡、间隔过大易引起乘客投诉、后续站台乘客滞留，存在安全隐患，因此这2种配线型式的尽端式车站平峰向高峰过渡期均应采用联挂场景Ⅱ作业。

4.4.2　解编与折返协同作业不同场景结果分析

通过对4.3.1、4.3.2节计算结果统计，2种配线型式下联挂与折返协同作业不同场景接发车能力统计如表4所示。

通过对解编与折返协同作业不同的2种场景接、发车能力分析，2种配线型式(站后双停车线、站后交叉渡线)在解编场景Ⅰ、解编场景Ⅱ的发车能力均为25对/h，接车能力为16对/h(17对/h)、17对/h(16对/h)。从不同配线形式分析，若尽端式车站采用双停车线形式，高峰向平峰转换期，需采用场景Ⅱ运营，以提高折返能力，若尽端式车站采用交叉渡线形式，高峰向平峰转换期，需采用场景Ⅰ运营，以提高折返能力。从发车均衡性进行分析，场景Ⅰ双停车线配线型式下，列车发车时间分别为296 s与129 s，平均每213 s发出1列车，场景Ⅱ发车时间分别为174 s与216 s，平均210 s发出

表3　2种配线型式下联挂与折返协同作业不同场景接发车能力统计

Tab.3　Receiving and departure capacity statistics for different scenarios of coupling and turnback collaborative operations with two line types

场景		联挂场景Ⅰ(折返列车在联挂列车完成作业后发车)						联挂场景Ⅱ(折返列车在联挂列车之前发车)					
配线型式		站后双停车线			站后交叉渡线			站后双停车线			站后交叉渡线		
接车能力分析	列车到达时间/s	121	189	121	113	207	113	121	121	177	113	113	187
	列车平均到达时间/s		144			144			140			138	
	车站接车能力/(对/h)		25.0			25.0			25.7			26.1	
发车能力分析	列车发车时间/s	122		309	127		301	183		236	188		225
	列车平均出发时间/s		216			214			210			207	
	车站发车能力/(对/h)		16.7			16.8			17.1			17.4	

表4　2种配线型式下解编与折返协同作业不同场景接发车能力统计

Tab.4　Receiving and departure capacity statistics for different scenarios of decoupling and turnback collaborative operations with two line types

场景		解编场景Ⅰ(折返列车在2列解编列车发车后发出)						解编场景Ⅱ(折返列车在1列解编列车发出后发出)					
配线型式		站后双停车线			站后交叉渡线			站后双停车线			站后交叉渡线		
发车能力分析	列车出发时间/s	122	127	176	127	227	170	127	122	171	121	127	182
	列车平均出发时间/s	142			141			140			143		
	车站发车能力/(对/h)	25.4			25.5			25.7			25.2		
接车能力分析	列车到达时间/s	296	129		294	130		174	216		161	269	
	列车平均到达时间/s	213			212			210			215		
	车站接车能力/(对/h)	16.9			17.0			17.1			16.7		

1列车，虽然2种场景的平均发车时间仅相差3 s，但场景Ⅱ发车时间更均衡，场景Ⅰ列车发出之后，后续列车最大等待时间为296 s才会发出，过长的发车间隔时间，易引起乘客投诉、后续站台乘客滞留，存在安全隐患。

5　结论

列车重联编组可有效解决“运力-运量不匹配”的问题，实现城市轨道交通客流精准匹配，提升实际运营列车解编、联挂与折返协同作业过程中车站的接、发车能力。以2种典型的尽端式折返站配线型式为案例，通过对不同作业流程的描述，仿真计算关键作业时间，通过图示的方式统计不同作业流程并得出接、发车能力。研究结论如下。

（1）通过对联挂与折返协同作业的2种不同场景接、发车能力结果分析，无论是站后双停车线还是站后交叉渡线的配线型式，折返列车在联挂列车之前发车时，车站接、发车能力均较大，发车更为均衡，因此平峰期向高峰期过渡时，实际运营中应选择2列联挂列车中穿插折返列车，以保证车站更大的接发车能力及线路更加均衡的接发车。

（2）通过对解编与折返协同作业的2种不同场景接、发车能力结果分析，配线型式不同的车站接、发车能力有所不同，若尽端式车站采用双停车线形式，高峰向平峰转换期，需采用场景Ⅱ运营，若尽端式车站采用交叉渡线形式，则需采用场景Ⅰ运营，以提高折返能力。但是折返列车在1列解编列车发出后发出时(场景Ⅱ)，接车会更加均匀。过长的接车间隔时间，易引起乘客投诉且存在安全隐患，因此高峰期向平峰期过渡时，实际运营中应选择2列小编组列车发车过程中穿插折返列车。

研究结果表明单座车站进行解编、联挂与折返协同作业时，列车的折返能力均无法达到线路的系统能力30对/h，因此后续的研究可将线路多座车站解编、联挂作业的协调统一为方向进一步探索。

参考文献：

[1] 邰国璇，黄友能，李春驰，等. 基于灵活编组的市域快轨时刻表优化方法研究[J]. 交通运输系统工程与信息，2023，23(3)：195-203.
TAI Guoxuan，HUANG Youneng，LI Chunchi，et al. An Optimization Method of Train Scheduling for Urban Rapid Rail Transit Based on Flexible Train Composition Mode[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology，2023，23(3)：195-203.

[2] DONG X L，LI D W，YIN Y H，et al. Integrated Optimization of Train Stop Planning and Timetabling for Commuter Railways with an Extended Adaptive Large Neighborhood Search Metaheuristic Approach[J]. Transportation Research Part C：Emerging Technologies，2020，117：102681.

[3] 陈　旭. 云南省铁路运输组织策略研究[J]. 铁路物流，2025，43(3)：32-36.
CHEN Xu. Research on Railway Organization Strategy of Yunnan Province[J]. Railway Logistics，2025，43(3)：32-36.

[4] 宋仲仲. 城市轨道交通灵活编组优势及实现条件分析[J]. 铁道标准设计，2024，68(5)：10-15.
SONG Zhongzhong. Analysis on Advantages and Realization Conditions of Flexible Marshalling in Urban Rail Transit[J]. Railway Standard Design，2024，68(5)：10-15.

[5] 李　崇. 东北铁路运输能力适应性分析和补强措施研究[J]. 铁道货运，2024，42(11)：25-30.
HLI Chong. Adaptability Analysis and Reinforcement Measures of Northeast Railway Transportation Capacity[J]. Railway Freight Transport，2024，42(11)：25-30.

[6] 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)：111-115，120.
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)：111-115，120.

[7] 胡荣华. 城市轨道交通列车自动灵活编组技术应用研究[J]. 城市轨道交通研究，2022，25(11)：143-147.
HU Ronghua. Application of Flexible Urban Rail Transit Train Formation Technology[J]. Urban Mass Transit，2022，25(11)：143-147.

[8] 马雪娇，朱昌锋，王学贵，等. 不同编组运营模式下地铁运力与客流匹配度对比分析[J]. 铁道标准设计，2023，67(3)：22-29.
MA Xuejiao，ZHU Changfeng，WANG Xuegui，et al. Comparative Analysis of Matching Degree of Subway Capacity and Passenger Demand in Different Operation Modes[J]. Railway Standard Design，2023，67(3)：22-29.

[9] 李团社. 地铁重联编组运营对站台门布置的影响及其解决方案[J]. 铁道运输与经济，2021，43(12)：126-133.
LI Tuanshe. Influence of Metro Reconnection Marshalling Operation on Layout of Platform Doors and Its Solutions[J]. Railway Transport and Economy，2021，43(12)：126-133.

[10] 赵川宇，张荣华. 基于列车灵活编组的车载PIS系统重联网络技术研究[J]. 现代城市轨道交通，2022(10)：18-21.
ZHAO Chuanyu，ZHANG Ronghua. Research on Interconnection Network Technology of On-Board PIS System Based on Flexible Train Formation[J]. Modern Urban Transit，2022(10)：18-21.

[11] 李兆龄，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)：72-77.
LI Zhaoling，YAN Yezhi. Key Technologies of Flexible Marshalling in Signaling System for Urban Rail Transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering，2021，18(12)：72-77.

[12] 许万涛，唐兆祥，陈　争，等. 短编组动车组重联过分相控制方法研究[J]. 机车电传动，2021(4)：20-25.
XU Wantao，TANG Zhaoxiang，CHEN Zheng，et al. Research on Control of Short EMU Reconnection Passing Neutral Section[J]. Electric Drive for Locomotives，2021(4)：20-25.

[13] 王学贵. 地铁重联编组运营组织综合效益分析[J]. 铁道运输与经济，2022，44(10)：112-119.
WANG Xuegui. Comprehensive Benefit Analysis on Operation Organization of Reconnection Marshalling for Subway[J]. Railway Transport and Economy，2022，44(10)：112-119.

[14] 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)：200-203.
FAN Haining，HE Yonghao. Flexible Marshalling Scheme and Function Realization of Urban Rail Transit Train[J]. Urban Mass Transit，2021，24(9)：200-203.

[15] 段博韬. 基于灵活编组模式的城市轨道交通列车通过能力分析[J]. 城市轨道交通研究，2023，26(6)：118-124.
DUAN Botao. Analysis of Urban Rail Transit Train Passing Capacity Based on Flexible Formation Mode[J]. Urban Mass Transit，2023，26(6)：118-124.

[16] 侯　吉. 嫩林铁路加格达奇—古莲段扩能改造方案研究[J]. 铁路物流，2025，43(9)：33-39.
HOU Ji. Capacity Expansion and Reconstruction Project of Jiagedaqi to Gulian Section of Nenjiang-Gulian Railway[J]. Railway Logistics，2025，43(9)：33-39.

[17] 刘　学，徐　能，高　宝. 南仓站作业能力提升对策探讨[J]. 铁路物流，2025，43(8)：7-13.
LIU Xue，XU Neng，GAO Bao. Discussion on Countermeasures for Improving Operational Capacity of Nancang Railway Station[J]. Railway Logistics，2025，43(8)：7-13.

(责任编辑　魏　然)