

# 灵活编组的城市轨道交通列车运行模式研究

张庆刚<sup>1</sup> 张士臣<sup>1</sup> 刘鸿宇<sup>1</sup> 马力平<sup>2</sup>

(1. 中车唐山机车车辆有限公司, 063035, 唐山;

2. 河北机车技师学院, 063035, 唐山//第一作者, 正高级工程师)

**摘要** 目的:为解决目前城市轨道交通客流不均衡造成运营成本高的现状,提出了一种能够灵活编组的城市轨道交通列车运行模式。方法:通过对现有城市轨道交通现状的调研分析,分析现有车辆配置和扩大运量的方案和缺点,提出了相应解决方案。灵活编组是解决现状的有效办法,即高峰期采用大编组高频次、平时时段采用小编组高频次,低客流量线路采用小编组;根据不同时段客流需求,大小编组混跑。灵活编组车辆推荐以2辆或3辆为基本编组,选择2+2重联或3+3重联。灵活编组类型分为场段内进行编组和正线车站进行编组2种。灵活编组的实现方式包括后车以低于3 km/h的速度撞击前车进行连挂和后车停在距前车300 mm处通过车钩伸缩进行连挂2种类型。结果及结论:该研究发现,如果要实现城市轨道交通车辆的灵活编组,还有待解决一些难题。例如:可伸缩车钩的精准伸缩连挂设计,该设计可以满足车辆在300 mm距离停靠后,2个头车车钩各自可自动伸出150 mm以完成连挂;信号系统如何对车辆进行精准控制而不发生意外碰撞等。

**关键词** 城市轨道交通列车;灵活编组;运行模式

**中图分类号** U292.3+1

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2023.07.043

## Operation Mode of Urban Rail Transit Train with Flexible Formation

ZHANG Qinggang, ZHANG Shichen, LIU Hongyu, MA Liping

**Abstract** **Objective:** In view of the current situation of unbalanced passenger flow and high operation cost of urban rail transit, a scheme of urban rail transit train flexible formation and operation is proposed. **Method:** Based on the investigation and analysis of urban rail transit current situation, the schemes and shortcomings of the existing vehicle configuration and traffic volume expansion are analyzed, and corresponding solutions are put forward. Flexible formation is an effective way to deal with the current situation, meaning to adopt large-formation high-frequency in peak hours and small-formation high-frequency in normal hours, and small-formation for low passenger volume lines. According to the demands of passenger flow in

different hours, large and small formation are mixed. Flexible formation vehicles are recommended to use 2-car or 3-car as the basic formation and to choose 2+2 or 3+3 double-headings. Flexible formation is divided in two types: formation in depot and formation at main line station. Flexible formation is implemented through two types of coupling: the rear vehicle colliding with the front vehicle at a speed of less than 3 km/h to couple, and the rear vehicle stopping at a distance of 300 mm from the front vehicle to couple through telescopic couplers. **Result & Conclusion:** It is found that there are still some problems to be solved for realizing urban rail transit vehicle flexible formation, for example, the precise telescopic coupling design of telescopic couplers can meet the requirements that after the vehicles are parked at an interval distance of 300 mm, the two head couplers can automatically extend 150 mm respectively to complete the coupling; how can signaling system control the vehicle accurately without accidental collision.

**Key words** urban rail transit train; flexible formation; operation mode

**First-author's address** CRRC Tangshan Co., Ltd., 063035, Tangshan, China

随着城市的发展,城市与市郊之间的城市轨道交通车辆需求日益增大。随着各地区发展态势的多样化,使得城市轨道交通车辆的实际需求也千差万别。例如:客流具有向心性特点,即客流主要为到城市中心的出行,城市中心区段客流量大,车辆配置需满足最大客流需求,但中心区段外车辆运能浪费;客流具有潮汐性<sup>[1]</sup>特点,即早晨进城方向客流量大,晚上出城方向客流量大,单向运量大,反向空跑,运能浪费严重;客流时间不均衡,平时时段、低谷时期的运能浪费严重。

原有的城市轨道交通车辆运营方式已无法满足现在的发展需求,因而迫切需要一种可实现多功能、灵活编组<sup>[2]</sup>的城市轨道交通车辆及其运行方案。

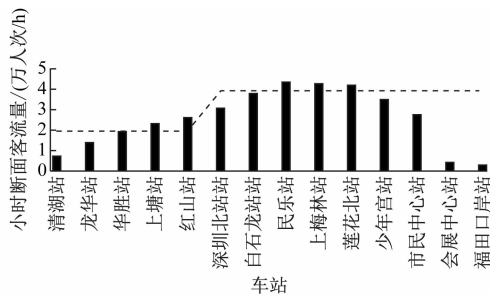
## 1 现有技术车辆编组的调研分析

### 1.1 6 辆编组列车

我国现有的城市轨道交通列车编组形式较为固定,多采用 6 辆编组。该 6 辆编组形式在我国较为常见,如北京地铁、天津地铁、福州地铁等均采用此编组方式。

经过调研发现,某城市轨道交通 6 辆编组列车存在以下运行情况:

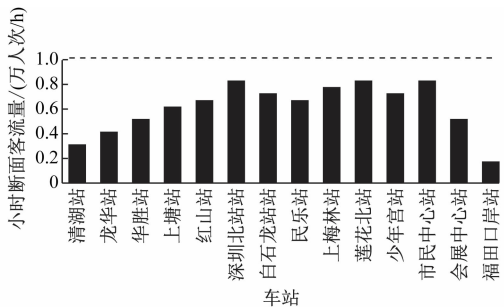
1) 如图 1 及图 2 所示,该线路上行时,最大断面客流量为 4.30 万人次/h,最小断面客流量约为 0.30 万人次/h;线路下行时,最大断面客流量约为 0.80 万人次/h,最小断面客流量约为 0.17 万人次/h。



注: ■ 为上行(清湖站—福田口岸站)小时断面客流量; --- 为上行小时运能。

图1 某城市轨道交通上行客流量

Fig. 1 Up line passenger flow volume of in a city urban rail transit



注: ■ 为下行(福田口岸站—清湖站)小时断面客流量; --- 为下行小时运能。

图2 某城市轨道交通下行客流量

Fig. 2 Down line passenger flow volume of in a city urban rail transit

2) 该城市轨道交通列车为 6 辆固定编组,经过城市内中心商圈,客流量较大,同时需承担换乘服务。因此,在换乘车站的瞬时客流量过多,已超过车辆的最大载客量,若不能及时缓解人流过多的问题,则会造成乘客滞留。而在某特殊时间段,该城市轨道交通车辆存在客流量极低的情况,乘客数量远少于车辆坐席数量。

由图 1 和图 2 可知,城市中心区段客流量大,列车上线数需满足最大客流量需求,下行多数区段运能浪费<sup>[3]</sup>;进一步以天津地铁线网中 6 辆编组列车线路为例,这些线路工作日全天分时客流量曲线呈双峰型(见图 3),工作日乘客出行的早高峰时段是 07:00—09:00,晚高峰时段是 17:00—19:00<sup>[4]</sup>。客流时间分布不均衡,非高峰时段的运能浪费严重;高峰时段客流拥挤、换乘排队时间长,乘坐舒适性差。

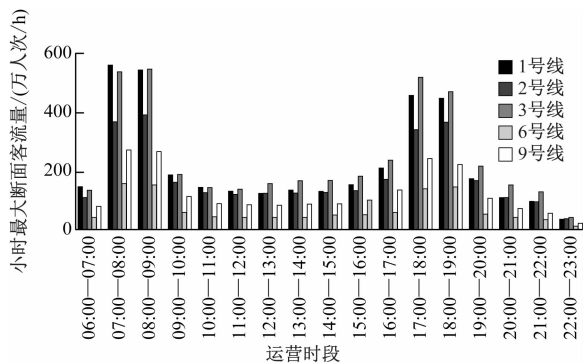


图3 天津地铁各线路工作日客流量分布

Fig. 3 Workday passenger flow distribution on each line of Tianjin Metro

3) 高峰期车站拥挤,乘客滞留,换乘站首当其冲,面临运营风险;增大了地铁线路的运营压力,进而增大了运营投入。

### 1.2 4 辆编组列车

国内某城市轨道交通车辆为固定编组。列车采用 2 动 2 拖的 4 辆编组方式: + Tc(带司机室的拖车)-Mp(有受电弓的动车)-Mp-Tc(“+”表示全自动动车钩,“-”表示带缓冲装置的半永久车钩)。

该城市轨道交通车辆可以在人工操控下通过全自动动车钩和车钩上的电气连接器实现机械、电气和气路的连接,最终实现双编组重联运营。连挂过程由人工对列车的速度和距离进行控制。连挂过程如下:列车 A 处于停止并施加停车制动,列车 B 由司机控制,并以不大于 5 km/h 的速度撞击列车 A 实现连挂。连挂示意图如图 4 所示。

解编过程需要在人工操作下在列车静止状态时完成。

4 辆编组列车的缺点:

1) 由车辆重联方式可知,如要实现重联,首先,要列车 A 减速入场段内,并制动停车;然后,列车 B 减速入场段内,并在安全距离制动停车;最后,列车 B 起动以不大于 5 km/h 速度撞击完成重联,

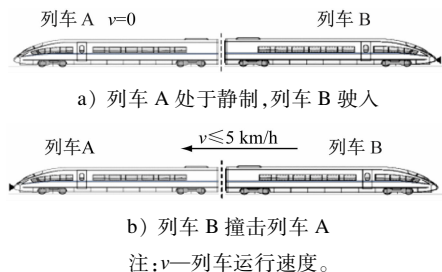


图4 4辆固定编组列车连挂过程示意图

Fig. 4 Diagram of coupling process of 4-car fixed formation train

此过程复杂,耗时过长。

2) 通过该城市轨道交通车辆的重联方式可知,该车辆安全重联需要在场段内完成,正线上无满足车辆重联的工况。因此,该列车无法在正线上完成快速连挂。

3) 由于列车 B 是在以不大于  $5 \text{ km/h}$  的速度撞击列车 A 以实现连挂,因此连挂时会对列车 A 造成撞击,增大了机械车钩的损伤。

## 2 解决方案

### 2.1 城市轨道交通车辆灵活编组的场景需求

高峰期大编组高频次、平常时段期小编组高频次,转换期编组可在场段内进行,在运营期内不更改发车间隔以增强乘客的满意度;低客流量线路,采用小编组,多流高峰组可在场段内连挂编组,根据不同时段客流需求,可大小编组混跑;支线客流小采用小编组,汇至干线后连挂为大编组,以适应干线大客流断面需求,需要在正线完成连挂编组。

### 2.2 城市轨道交通车辆灵活编组型式

城市轨道交通车辆灵活编组型式主要有以下 5 种方案:

方案 1:采用 2 辆编组为基本列车编组,  $1\text{M} + 1\text{T}$  (1 节动车 + 1 节拖车) 配置形式;

方案 2:采用 4 辆编组为基本列车编组,  $2\text{M} + 2\text{T}$  配置形式,即方案 1 中的 2 列车连挂编组;

方案 3:采用 6 辆编组为基本列车编组,  $3\text{M} + 3\text{T}$  配置形式,即方案 1 中的 3 列车连挂编组;

方案 4:采用 3 辆编组为基本列车编组,  $2\text{M} + 1\text{T}$  配置形式;

方案 5:采用 6 辆编组为基本列车编组,  $4\text{M} + 2\text{T}$  配置形式,即方案 4 中的 2 列车连挂编组。

方案 2、3、5 为重联列车,以快速重联为支撑的灵活编组模式,可减少列车购置、降低运营成本,平

常时段、低谷时小编组运行可减少能耗。2 列车重联技术较为成熟,3 列及以上列车重联技术尚可行,但目前没有应用,需要作进一步试验验证。

由此,城市轨道交通车辆的灵活编组型式推荐以 2 辆或 3 辆为基本编组,选择  $2 + 2$  重联或  $3 + 3$  重联。

### 2.3 城市轨道交通车辆灵活编组的实现

#### 2.3.1 灵活编组的类型

灵活编组有以下 2 种类型:①按照传统模式场段内进行编组,2 列车进行机械及电气连接,前车控制后车重联运行;②正线车站进行编组,为了保证干线列车运营效率,支线列车先与干线的前一列车同时进入一个站台的两侧;然后干线列车进入支线列车停车站台,与支线列车完成连挂。

#### 2.3.2 灵活编组的实现方式

##### 2.3.2.1 后车以低于 $3 \text{ km/h}$ 的速度撞击前车进行连挂

1) 编组过程。支线前车进站停车,完成上下客;干线后车进站后以低于  $3 \text{ km}$  的速度撞击前车完成机械及电气连挂;待后车上下客后,重联列车开车离站。

2) 编组时间。前车上、下车时间为 40 多 s,后车进站到停车连挂需要 50 多 s,后车上、下车时间为 40 s,合计 130 s。

##### 2.3.2.2 后车停在距前车 300 mm 处通过车钩伸缩进行连挂

1) 编组过程。支线前车进站停车,完成上下客;干线后车进站,停在距前车  $300(0, -60) \text{ mm}$  处;前后车车钩伸出完成机械及电气联挂,同时后车上、下车;重联列车开车离站。

2) 编组时间。前车上、下车时间为 40 多 s,后车进站时间为 40 多 s,后车上、下车时间 40 s,合计 120 s。

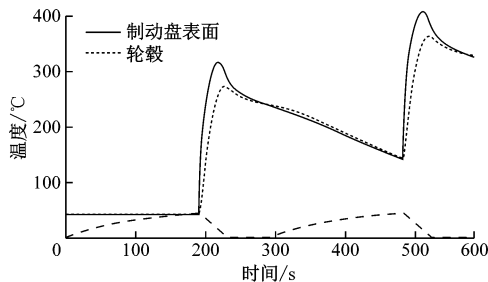
3) 此连挂过程中前后两列车均为静止状态,距离为  $300(0, -60) \text{ mm}$ ,通过新型可伸缩车钩完成连挂。连挂时,2 车车钩同时伸出 150 mm 距离,完成车辆在静止状态下两列车重联。

## 3 结语

1) 本次研究提出的灵活编组运营模式可为未来轨道车辆实现灵活编组提供参考,推广后可大幅降低运营成本,提高运营服务水平。

(下转第 235 页)

时间历程曲线。制动盘表面最大温度达到 548 ℃。由图 6 可见,制动盘表面与轮毂温度变化跟随性很强,因此要求制动盘部件材质具有良好的热传导性。



注: - - - - 为车辆两次紧急制动的车辆速度高低示意。

图 6 制动盘表面温度-时间历程曲线图

Fig. 6 Diagram of brake disc surface temperature-time history curves

## 5 结语

北美双层电客车具有轴重大、载客量多、运行速度快、紧急制动减速度大等特点,且制动方式只有纯摩擦制动,因此对基础制动性能的要求非常高。通过踏面制动与盘形制动的集成安装,实现了两种制动形式的同时使用,增强了整车的制动能力。

踏面制动采用修复型闸瓦,可在制动过程中消除车轮踏面缺陷和有效改善轮轨关系,保证轮轨摩擦系数相对稳定,显著延长闸瓦及轮对的使用寿命。

通过两次连续紧急制动过程中的热容量分析,发现车轮踏面最高温度相对较低,制动盘表面最高温度达 548 ℃,未超出设计许可温度 600 ℃,说明该

(上接第 231 页)

2) 本次研究发现如要实现城市轨道交通车辆的灵活编组,还需要解决很多难题。例如,基于以上方案的车辆头车可伸缩车钩的设计,该设计可以满足车辆在 300 mm 距离停靠后,2 个头车车钩各自可自动伸出 150 mm,完成联挂;同时,该过程还需要解决信号系统如何能做到车辆在 300 mm 的位置完成信号系统对车辆的控制而不发生意外的碰撞。

## 参考文献

- [1] 冉昕晨,陈绍宽,柏赞,等. 应对潮汐客流的城市轨道交通列车节能和乘客节时运行图优化模型[J]. 中国铁道科学, 2022, 43(1): 171.  
RAN Xincheng, CHEN Shaokuan, BAI Yun, et al. Train energy-efficient and passenger time-saving timetable optimization model for urban rail transit line with tidal passenger flow[J]. China Railway

基础制动装置的性能完全满足列车正常运行要求。

## 参考文献

- [1] 姜祥禄,高连东. FastBrake 电空制动控制系统[J]. 铁道机车车辆, 2009, 29(5): 48.  
JIANG Xianglu, GAO Liandong. FastBrake EP brake system[J]. Railway Locomotive & Car, 2009, 29(5): 48.
- [2] 李得花. 阿根廷米轨内燃动车组转向架基础制动装置优化设计研究[J]. 甘肃科技, 2018, 34(15): 3.  
LI Dehua. The optimized design research about diesel multiple unit bogie foundation brake device for Argentina[J]. Gansu Science and Technology, 2018, 34(15): 3.
- [3] 孙新海,郭彦峰,宋跃超,等. CR200J 动力集中电动车组动力车基础制动装置自主化研制[J]. 铁道机车车辆, 2020, 40(3): 17.  
SUN Xinhai, GUO Yanfeng, SONG Yuechao, et al. Independent research of CR200J power centralized EMUs basic brake equipment[J]. Railway Locomotive & Car, 2020, 40(3): 17.
- [4] 高飞,孙野,杨俊英,等. 摩擦副结构与制动盘温度关系的试验与模拟研究[J]. 机械工程学报, 2015, 51(19): 182.  
GAO Fei, SUN Ye, YANG Junying, et al. Experimental and simulation research on relationships of the pattern of a friction pair and temperature[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2015, 51(19): 182.
- [5] 马思群,李吉,王成强,等. 城轨车车轮轮对热容量有限元分析[J]. 大连交通大学学报, 2016, 37(3): 19.  
MA Siqun, LI Ji, WANG Chengqiang, et al. Finite element analysis of urban rail vehicle wheel thermal capacity[J]. Journal of Dalian Jiaotong University, 2016, 37(3): 19.

(收稿日期:2021-02-18)

Science, 2022, 43(1): 171.

- [2] 仲建华,梁青槐. 城市轨道交通互联互通网络化运营的思考[J]. 都市快轨交通, 2015, 28(5): 10.  
ZHONG Jianhua, LIANG Qinghuai. On inter-connected network operation of urban rail transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2015, 28(5): 10.
- [3] 梁强升. 城市轨道交通线路高峰期的不均衡运输组织研究与应用[J]. 都市快轨交通, 2014, 27(4): 30.  
LIANG Qiangsheng. Research on unbalanced traffic organization in the peak hour of urban rail transit and its application[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2014, 27(4): 30.
- [4] 张标,王多龙,王宇嵌,等. 天津地铁的客流特征与列车开行方案优化[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(8): 27.  
ZHANG Biao, WANG Duolong, WANG Yuqin, et al. Passenger flow characteristics and train operation scheme optimization of Tianjin Metro[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(8): 27.

(收稿日期:2021-02-23)