

兼容性站台门结构设计与分析

何东山¹ 彭建涛¹ 饶美婉¹ 赵 军²

(1. 广州地铁设计研究院股份有限公司, 510030, 广州; 2. 广州地铁集团有限公司, 510030, 广州)

摘 要 [目的] 互联互通是当前轨道交通建设的重要趋势, 不同制式的列车跨线贯通运营是互联互通的重要运营场景。不同车型在客室门的数量、位置和开度等均存在差异, 站台门需具备对多种车型参数的兼容能力。为更好地满足互联互通场景下乘客安全、高效、便捷的乘降需求, 需结合城际铁路、市域(郊)铁路及城市轨道交通车型特点及负载环境对站台门兼容性方案及结构性能进行深入研究。[方法] 以市域D型车与CRH6型车贯通运营场景为研究对象, 基于贯通运营列车客室门位置及参数特点, 提出平开套叠组合式兼容性站台门典型门体结构及整侧兼容性站台门门体布置方案, 并建立有限元分析模型对互联互通模式最不利的载荷工况下兼容性站台门典型门体结构强度进行计算验证。[结果及结论] 在乘客挤压力、风载荷、乘客冲击力及地震同时作用的最不利工况下, 兼容性站台门门体结构强度、刚度均符合规范要求。所建立的典型门体结构解决了不同车型跨线贯通运营的复杂工况下站台门系统兼容性问题。

关键词 轨道交通; 互联互通; 兼容性站台门; 站台门结构设计

中图分类号 U231.4

DOI:10.16037/j.1007-869x.20240180

Design and Analysis of Compatible Platform Screen Door Structure

HE Dongshan¹, PENG Jiantao¹, RAO Meiwan¹, ZHAO Jun²

(1. Guangzhou Metro Design & Research Institute Co., Ltd., 510030, Guangzhou, China; 2. Guangzhou Metro Group Co., Ltd., 510030, Guangzhou, China)

Abstract [Objective] Interoperability is a major trend in current rail transit development, and the cross-line through operation of trains with different systems is a key operational scenario of such interoperability. Since different train types vary in the number, position, and opening dimensions of passenger compartment doors, the PSD (platform screen door) must be compatible with a variety of train configurations. To better meet the safety, efficiency, and convenience requirements of passenger boarding/alighting in interoperability scenarios, it is necessary to conduct in-depth research on PSD compatibility schemes and structural performance, taking into account the

train-type characteristics and load environments of intercity railways, city (suburban) railways, and urban rail transit vehicles. [Method] Taking the cross-line operation of Type-D and CRH6 trains as the research object for the through operation scenario, and based on the characteristics of passenger compartment door positions and parameters for through-operation trains, a side-hinged and telescoping composite compatible PSD typical structure and a full-side compatible PSD layout scheme are proposed. A finite element analysis model is established to calculate and verify the structural strength of compatible typical PSD configuration under the most unfavorable load conditions in an interoperability scenario. [Result & Conclusion] Under the most adverse load condition of passenger crowd pressure, wind load, passenger impact, and seismic forces simultaneous action, the structural strength and stiffness of the compatible PSD fully meet regulatory requirements. The proposed typical door structure effectively resolves the compatibility challenges of PSD systems under the complex working conditions of cross-line operations involving different train-type configurations.

Key words rail transit; interoperability; compatible platform screen door; structural design of platform screen door

国内现有的轨道交通多以单线独立运营为主。近年来,随着国内各主要城市都市圈建设的不断推进,传统运营模式已经难以满足都市圈乘客多样化的出行需求。为了进一步提高线网资源利用率,改善乘客出行效率,降低建设运营成本,构建多层次、一体化、公交化的轨道交通互联互通新运营模式是当前城市轨道交通行业重要的发展趋势之一^[1]。

在多种车型贯通运营场景下,站台门的兼容性是最复杂、最关键的难题。站台门门体结构除应满足不同车型停靠时开关门功能需求兼容性外,还应满足互联互通模式复杂运营场景下的结构强度要求。在站台门系统兼容性研发应用方面,国内尚处于起步阶段,现有的站台门兼容性解决方案主要有门体退后站台边缘安装^[2]、双层/三层错叠门^[3]、升

降式站台门^[4]等,上述方案在乘客候车、乘降安全保障、门体结构稳定性等方面存在诸多不足,因此制约着互联互通安全、高效的公交化运营秩序的构建。本研究针对现有技术方案存在的问题,结合广州都市圈互联互通模式市域 D 型车与 CRH6 型车两种车型贯通运营的不同场景,提出一种平开套叠组合式兼容性站台门门体结构,并应用 ANSYS 软件对兼容性站台门典型门体结构单元进行强度计算,针对兼容性站台门典型门体结构单元在城际铁路、市域(郊)铁路及城市轨道交通风压等最不利负载组合下的门体变形进行仿真,为互联互通模式兼容性站台门门体设计与工程应用提供参照。

1 兼容性站台门门体结构设计

市域 D 型与 CRH6 型两种列车停靠时的对位关系模拟如图 1 a) 所示。通过对市域 D 型与 CRH6 型两种列车停靠同侧站台时客室门对位关系进行模拟,提出客室门重叠系数 C 按照客室门不同对位关系

场景进行分类,客室门重叠系数 C 的计算式为:

$$C = \frac{L}{X + 2\delta} \quad (1)$$

式中:

L ——重叠区域长度,单位 mm;

X ——列车客室门开度,单位 mm;

δ ——停车精度,单位 mm。

场景 1: 重叠系数 $C \geq 0.5$, 相同几何空间内两种列车客室门对位关系存在大范围重叠,采用大开度平开滑动门并根据不同到站车型进行门体开关区域自适应控制,实现此类场景下滑动门对两种列车的兼容,如图 1 b) 所示。

场景 2: 重叠系数 $C < 0.5$, 相同几何空间内两种列车客室门对位关系为小面积重叠或无重叠,为避免采用大开度滑动门后相邻滑动门开启后几何空间干涉,并确保滑动门开关动能与开关时间的平衡,采用双层前后错开的套叠滑动门方案实现此类场景下两种车型的兼容性问题,如图 1 c) 所示。

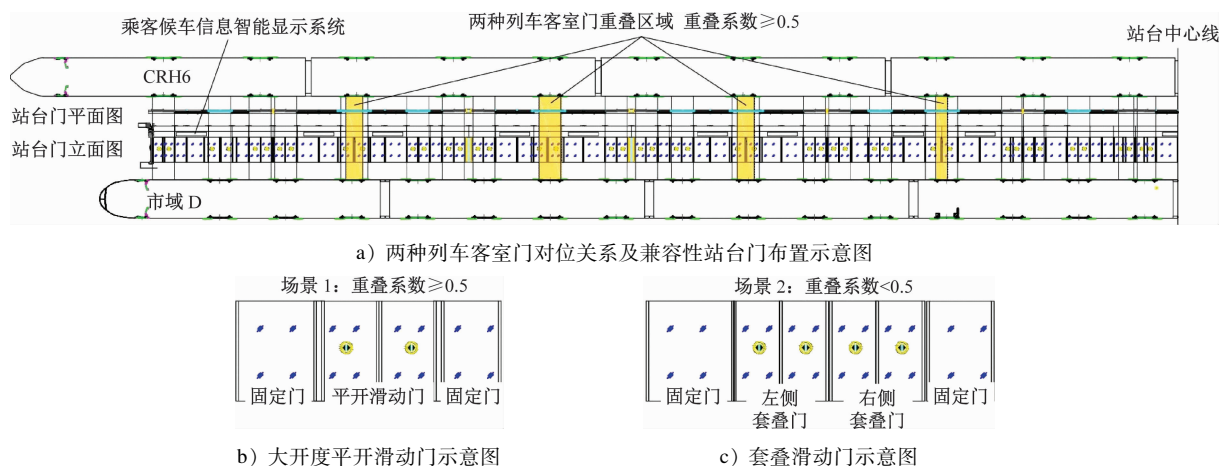


图 1 兼容性站台门门体布置示意图

Fig. 1 Layout diagram of compatible platform screen doors

基于对上述两种车型停站情况进行模拟,提出图 2 所示的平开套叠组合式兼容性站台门典型门体结构,该结构由固定门、平开滑动门、套叠滑动门组成,若干个典型门体结构相邻拼接可形成整侧完整兼容性站台门。根据图 1 模拟整侧兼容性站台门与列车停靠对位关系,所建立的典型门体结构解决了不同车型跨线贯通运营场景下站台门门体对不同车型的兼容性问题。

在互联互通场景下,不同列车到站后滑动门开启区域、列车目的地信息等均存在差异。基于所建立的兼容性站台门典型门体结构,可在站台门顶

箱、固定门玻璃安装乘客候车信息智能显示系统,对乘客候车区域、列车目的地信息进行智能提示,提高乘客候车及乘降便捷性。

2 兼容性站台门门体结构仿真

2.1 门体结构及使用工况

整侧完整兼容性站台门由若干个图 2 所示的典型门体结构拼接而成。为进一步验证所提出的兼容性站台门结构安全性,基于有限元法对城际铁路线路负载叠加工况下兼容性站台门典型门体结构强度及变形特征进行仿真分析。

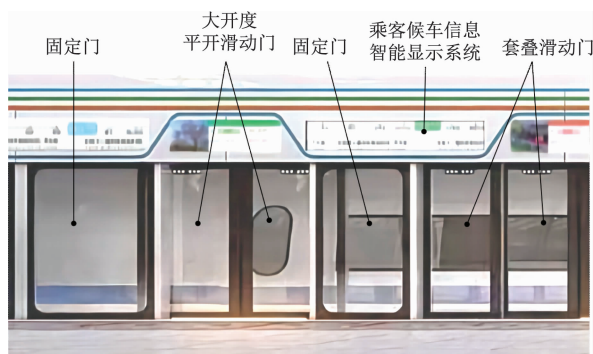


图 2 兼容性站台门典型门体结构

Fig. 2 Typical door structures of compatible platform screen doors

2.2 载荷条件组合

兼容性站台门承受的外载荷主要有风压、人群挤压载荷、冲击载荷和地震载荷等^[5],具体载荷条件如表 1 所示。

表 1 兼容性站台门载荷条件

Tab. 1 Load conditions of compatible platform screen doors

负载类型	载荷条件
风荷载	$\pm 2\ 400\ \text{Pa}$ (向轨道侧为“-”,向站台侧为“+”)
乘客挤压力	站台侧 $1\ 000\ \text{N/m}$ (作用在 $1.125\ \text{m}$ 高处,作用面积 $100\ \text{mm} \times 100\ \text{mm}$)
乘客冲击力	$1\ 500\ \text{N}$ (作用在 $1.125\ \text{m}$ 高处,作用面积 $100\ \text{mm} \times 100\ \text{mm}$)
地震作用	抗震设防烈度为 7 度,设计基本地震加速度值为 $0.10g$

为确保门体结构强度及功能安全,兼容性站台门应能承受最不利负载组合作用,表 2 列明了兼容性站台门所需承受的不同载荷作用工况,在有限元计算时应按最不利荷载组合工况进行分析^[6-16]。

表 2 门体承载组合

Tab. 2 Load combinations of doors

工况分类	载荷			
	风荷载	乘客挤压	乘客冲击	地震
工况一	√	√	√	√
工况二		√	√	√
工况三	√	√		√
工况四	√		√	√

2.3 有限元建模及网格划分

站台门的实际模型较为复杂。对站台屏蔽门进行有限元结构分析时,在不影响计算精度前提下,可将不受载的毛刷、密封件等零部件进行简化,

保留门体主要受载、受约束的零部件。简化的有限元模型主要由门框、钢化玻璃、立柱等组成。采用 solid 185 单元划分门体各结构,简化后站台屏蔽门各部件的主要材料为钢化玻璃、铝合金。

2.4 边界条件设定

根据最不利载荷组合工况要求,对简化后的站台屏蔽门有限元模型施加载荷及约束。

1) 站台乘客候车时对屏蔽门产生挤压力,挤压力高度设在离站台 $1.2\ \text{m}$ 高度处,作用方向为站台乘客区向轨行区。

2) 考虑恶劣情况,风荷载选取与乘客挤压力作用方向相同的风荷载。

3) 乘客冲击力为乘客偶然冲击门体的载荷,可在滑动门、固定门、套叠门等处各选取 1 个冲击点进行分析。

4) 地震基本烈度为 7 级,在门体各单元点施加 $0.1g$ 水平与竖直方向加速度。

5) 立柱顶部连接件与结构顶梁固定连接,立柱底部与地板固定连接。

6) 滑动门、套叠门顶部挂钩与传动装置固定连接,简化为固定滑动门顶部表面全约束。滑动门、套叠门底部因导轨约束不能前后摆动。

根据上述条件对站台屏蔽门单元施加相应边界条件,如图 3 所示。

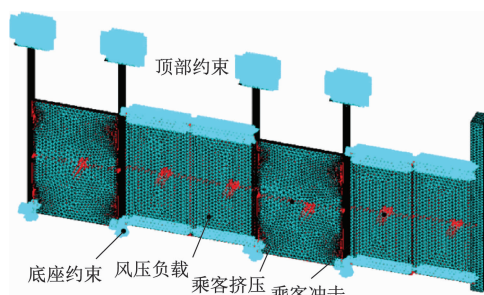


图 3 门单元边界条件

Fig. 3 Boundary conditions of door units

3 计算结果分析

3.1 门体位移分布

在最不利载荷组合作用工况下,门体变形分布如图 4 所示。门体最大变形为 $1.267\ \text{mm}$,出现在固定门玻璃中部,大开度平开滑动门最大变形量为 $0.795\ \text{mm}$,套叠滑动门最大变形为 $0.991\ \text{mm}$ 。兼容性站台门门体最大变形满足现行规范要求。

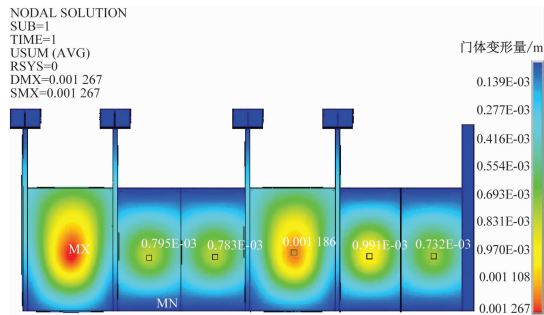


图4 门单元综合变形云图

Fig.4 Nephogram of door unit comprehensive deformation

3.2 门体应力分布

在最不利载荷组合作用工况下,门单元综合应力分布如图5所示。门单元最大应力位置在固定门立柱底部,该处最大应力为 50.00 MPa,典型门体结构中两扇固定门玻璃的最大应力为 14.30 MPa,大开度平开滑动门最大应力为 6.77 MPa,套叠滑动门最大应力为 7.63 MPa。兼容性站台门门体应力符合安全性设计原则。

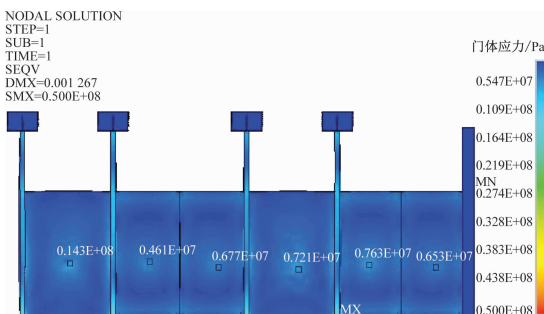


图5 门单元综合应力云图

Fig.5 Nephogram of door unit comprehensive stress

4 结语

基于广州都市圈市域 D 型车与 CRH6 型车的主要参数特点建立的平开套叠组合式兼容性站台门典型门体结构满足两种车型贯通运营模式下乘客安全、高效、便捷的乘降需求。有限元仿真结果表明,在城际铁路线路最不利负载组合作用工况下,兼容性站台门典型门体结构单元最大变形量与结构强度均满足规范要求,符合安全性设计原则。平开套叠组合式兼容性站台门系统可为轨道交通互联互通模式站台门系统的设计研究提供重要参照。

参考文献

[1] 王涛,谢红太,王伟,等.一种适用于多制式铁路车辆的地

上智能升降式站台屏蔽门:CN116220515B[P].2023-10-27.
WANG Tao, XIE Hongtai, WANG Wei, et al. Intelligent above-ground retractable platform screen door for multi-system railway vehicles: CN116220515B[P]. 2023-10-27.

- [2] 李科,董骥,方恒堃.基于气动效应的北京城际铁路联络线地下车站站台门退台距离研究[J].城市轨道交通研究,2021,24(6):55.
LI Ke, DONG Ji, FANG Hengkun. Research on platform screen door setback distance of Beijing intercity railway connection line underground station based on aerodynamic effect[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(6): 55.
- [3] 乐梅,王宁宁,杨婧,等.城市轨道交通互联互通网络化行车组织方案初探[J].都市快轨交通,2020,33(4):9.
LE Mei, WANG Ningning, YANG Jing, et al. A preliminary study on the network operation scheme for the CBTC interconnection[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2020, 33(4): 9.
- [4] 彭方进,周芑,周明翔,等.适应所有列车车型的站台安全门:CN104176067B[P].2017-10-31.
PENG Fangjin, ZHOU Peng, ZHOU Mingxiang, et al. Platform safety doors for all train models: CN104176067B[P]. 2017-10-31.
- [5] 廖爱华,黄旭,周祺.地铁站台屏蔽门门体结构的有限元分析[J].城市轨道交通研究,2014,17(4):33.
LIAO Aihua, HUANG Xu, ZHOU Qi. Finite element analysis of metro platform screen door structure[J]. Urban Mass Transit, 2014, 17(4): 33.
- [6] 王耀文,史和平.地铁站台屏蔽门系统的结构强度与安全性分析[J].城市轨道交通研究,2013,16(6):76.
WANG Yaowen, SHI Heping. Analysis of the structural strength and reliability of the platform screen[J]. Urban Mass Transit, 2013, 16(6): 76.
- [7] 金旭炜,蒋尧,葛红斌,等.160 km/h 城际铁路地下车站屏蔽门列车风压数值分析[J].高速铁路技术,2023,14(6):1.
JIN Xuwei, JIANG Yao, GE Hongbin, et al. Numerical analysis of train-induced wind pressure on platform screen doors in underground station of 160 km/h intercity railway[J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(6): 1.
- [8] 王丽慧,孙彬,黄淑敏,等.变工况下地铁屏蔽门风压特性实测研究[J].暖通空调,2023,53(2):148.
WANG Lihui, SUN Bin, HUANG Shumin, et al. Experimental study on wind pressure characteristics of metro platform screen doors under variable conditions[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2023, 53(2): 148.
- [9] 谢刘.高速列车对地下车站屏蔽门的气动效应分析[D].邯郸:河北工程大学,2022.
XIE Liu. Analysis of aerodynamic effect of high-speed train on screen door of underground station[D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2022.
- [10] 高伟,林剑洋,雷波,等.列车在城际铁路地下段越行过站时的屏蔽门气动压力变化规律[J].城市轨道交通研究,

- 2022, 25(8): 52.
- GAO Wei, LIN Jianyang, LEI Bo, et al. Platform screen door pneumatic pressure change law of train passing overtaking station of intercity railway underground section[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(8): 52.
- [11] 王城飞. 强载荷作用下地铁屏蔽门结构设计及有限元分析[D]. 西安: 西安石油大学, 2022.
- WANG Chengfei. Structural design and finite element analysis of subway screen door under strong load[D]. Xi'an: Xi'an Shiyou University, 2022.
- [12] 姜翼. 轨道交通市域地铁线路的站台门结构设计方案[J]. 现代制造技术与装备, 2021, 57(6): 41.
- JIANG Yi. Structural design of platform doors for metro lines in urban rail transit[J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2021, 57(6): 41.
- [13] 袁誉钊, 贺德强, 陈彦君, 等. 基于两车模型的地铁隧道活塞风对屏蔽门影响研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2021, 18(1): 227.
- YUAN Yuzhao, HE Deqiang, CHEN Yanjun, et al. Study on the influence of piston wind on platform screen door in subway tunnel based on two-train model[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2021, 18(1): 227.
- [14] 曾令伟, 易富民, 王汉封, 等. 地铁车站屏蔽门风压特性试验研究[J]. 实验流体力学, 2020, 34(6): 59.
- ZENG Lingwei, YI Fumin, WANG Hanfeng, et al. Experimental investigation on the wind pressure on the platform screen door of a subway station[J]. Journal of Experiments in Fluid Mechanics, 2020, 34(6): 59.
- [15] 王志飞. 列车高速过站风压对站台门结构特性的影响[J]. 机械设计与制造, 2020(12): 134.
- WANG Zhifei. The structure characteristic of platform doors considering wind pressure caused by high-speed train passing[J]. Machinery Design & Manufacture, 2020(12): 134.
- [16] 李凌宇. 地下高铁站台屏蔽门气动效应研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2020.
- LI Lingyu. Study on aerodynamic effect of platform screen door of underground high-speed railway[D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2020.
- [17] 黄俊生. 城市轨道交通网络互联互通条件下列车开行方案编制及优化研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2023.
- HUANG Junsheng. Study on the compilation and optimization of train operation scheme under the condition of urban rail transit network interconnection[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2023.
- [18] 周柯廷. 城市轨道交通互联互通条件下列车开行方案优化研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2023.
- ZHOU Keting. Study on optimization of train operation scheme under the condition of urban rail transit interconnection[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2023.
- [19] 符喋洁. 互联互通背景下城市轨道交通列车开行方案研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2023.
- FU Diejie. Research on train operation scheme of urban rail transit under the background of interconnection[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2023.
- [20] 马小薇. 城市轨道交通跨区域互联互通影响因素分析[J]. 现代城市轨道交通, 2020(10): 116.
- MA Xiaowei. Analysis on influencing factors of cross regional interoperability of urban rail transit[J]. Modern Urban Transit, 2020(10): 116.

· 收稿日期:2024-02-07 修回日期:2024-04-29 出版日期:2025-07-10
 Received:2024-02-07 Revised:2024-04-29 Published:2025-07-10
 · 通信作者:何东山,工程师,hedongshan@dsjy.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

Commentary

Only through Perseverance Can Success Be Expected

FU Zhihuan

(Academician of Chinese Academy of Sciences, Former Minister of the Ministry of Railways)

At the end of May 2025, Academician LIU Youmei and I were interviewed in Beijing by the production team of the CRRC Zhuzhou Electric Locomotive Co., Ltd. program 'Railway Culture Guest Room'. Together, we looked back on the eventful decade from 1958 to 1968, during which time China developed the 'Shaoshan' electric locomotive. Both of us came to Zhuzhou for work in 1961—he at the Zhuzhou (Tianxin) Locomotive Factory (hereinafter referred to as the 'Zhuzhou Factory') and I at the Zhuzhou Electric Locomotive Research Institute (hereinafter referred to as the 'Zhuzhou Institute').

It is widely known that electric traction possesses advantages such as high power, strong load capacity, and good climbing performance, that are features particularly vital for enhancing transport capabilities in mountainous railway regions. By the late 1950s, the Baoji-Chengdu Railway had reached full capacity. Along its route, the steep and lengthy Baoji-Fengzhou interval became a major bottleneck. The Ministry of Railways decided to electrify this section, which in turn required electric locomotives. However,