

# 城市轨道交通 T 型换乘站换乘能力计算新方法<sup>\*</sup>

张 瑾<sup>1</sup> 唐 安<sup>1</sup> 许 凡<sup>2</sup>

(1. 广州地铁设计研究院有限公司, 510010, 广州;

2. 北京交通大学交通运输学院, 100044, 北京//第一作者, 高级工程师)

**摘 要** 针对城市轨道交通 T 型换乘站结构特征、主要换乘形式及换乘能力影响因素, 分析原换乘能力计算方法存在的问题, 探讨了站台可通行宽度及换乘设施实际通过能力对换乘能力取值的影响, 提出了基于站台可通行宽度的站台通过能力计算方法, 并以此提出了 T 型换乘站换乘能力测算的新方法; 最后以郑州地铁南五里堡站为对象进行案例研究。研究结果表明, 相对于原计算方法, 新方法大幅度提升了换乘能力计算的准确性。

**关键词** 城市轨道交通; T 型换乘站; 换乘能力; 站台可通行宽度

**中图分类号** U292.5; U231.4

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2022.08.006

## New Calculation Method of Transfer Capacity of Urban Rail Transit T-type Transfer Station

ZHANG Jin, TANG An, XU Fan

**Abstract** Targeting the structural characteristics, main transfer forms and influencing factors of transfer capacity of urban rail transit T-type transfer station, the problems existing in the old transfer capacity calculation methods are analyzed. The influence of the platform passable width and the actual passing capacity of transfer facilities on the transfer capacity is discussed. The calculation method of platform passing capacity based on platform passable width is proposed, on the basis of which, a new method for calculating the transfer capacity of T-type transfer station is proposed. Finally, Nanwulibao Station of Zhengzhou Metro is taken for case research. Results show that compared with the conventional calculation methods, the new method greatly improves the accuracy of transfer capacity calculation.

**Key words** urban rail transit; T-type transfer station; transfer capacity; platform passable width

**First-author's address** Guangzhou Metro Design & Research Institute Co., Ltd., 510010, Guangzhou, China

换乘能力是评价城市轨道交通换乘站是否满足远期客流需求的核心参数。GB 50157—2013《地铁设计规范》要求, 换乘设施的通过能力应满足超高峰设计换乘客流量的需要。为使换乘站设计更加贴近现实, 文献[1-3]研究了换乘站换乘设施的实际通过能力, 文献[4]对换乘能力进行了仿真分析, 文献[5-6]重点研究了换乘相关的参数取值问题。既有研究主要集中在换乘站主要换乘设施实际通过能力计算及换乘能力仿真评估方面, 目前还缺乏能较准确且系统地测算换乘站换乘能力的方法。

本文通过分析城市轨道交通 T 型换乘站换乘能力的影响因素, 针对现有方法存在的不足, 提出了 T 型换乘站换乘能力测算的新方法。

## 1 T 型换乘站换乘能力的影响因素

### 1.1 T 型换乘站

城市轨道交通 T 型换乘站一般由上下相交的 2 座车站组成, 其中 1 座车站的端部与另 1 座车站的中部相连。此类换乘站具有换乘距离短、换乘便捷度高的优点, 但在站台相交处客流量较大, 易形成客流通过瓶颈。

T 型换乘站大多采用站台换乘与站厅换乘相结合的换乘形式, 如图 1 所示。站台换乘时, 乘客通过两线衔接处设置的换乘楼梯直接由换出线站台前往换入线站台; 站厅换乘时, 乘客需要经由换出线站台通过站台与站厅的连接设施前往共用站厅, 再由站厅与站台的连接设施前往换入线站台。

### 1.2 换乘能力影响因素

参考 GB/T 38374—2019《城市轨道交通运营指标体系》, 城市轨道交通换乘站换乘能力可定义为: 在给定的设备设施布置形式和管理条件下, 单位时

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金面上项目(72171021)

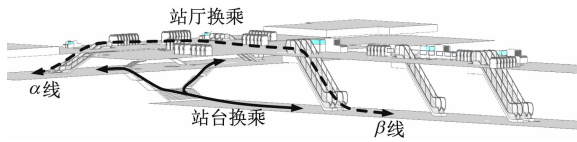


图1 T型换乘站两种换乘路径

Fig. 1 Two types of T-type transfer station transfer paths

间内某一换乘站各城市轨道交通线路之间能容纳的最大换乘人次。

T型换乘站换乘能力受多方因素的影响,主要影响因素包括:

1) 换乘设施通过能力影响。乘客换乘过程中经由站台、站厅、楼扶梯、通道等设施,实际通过能力对换乘能力影响较大。

2) 站台客流分布不均衡影响。站台客流分布不均衡会导致候车乘客与站台流动区乘客相互干扰,影响站台的实际通过能力和T型换乘站的换乘能力。

3) 换乘设施选择不均衡影响。乘客在换乘过程中选择各换乘设施的比例不均衡,会造成部分换乘设施负荷过大,形成拥堵,降低了车站换乘能力。

## 2 原换乘能力计算方法的不足

### 2.1 原换乘能力计算方法

目前,在T型换乘站设计中,多采用静态换乘能力计算方法。如广州地铁车陂南站、郑州地铁古玩城站等多采用此方法。该方法先计算两线间换乘过程中经由换乘设施的总通过能力,再减去本站进出站客流,进而得到换乘站的换乘能力。

设T型换乘站2条线路分别为 $\alpha$ 线与 $\beta$ 线, $Q_{\alpha\beta}$ 、 $Q_{\beta\alpha}$ 分别为2条线路远期的高峰时段单位时间换乘客流预测量,人次/h; $A_1$ 、 $A_2$ 分别为扶梯及楼梯的通过能力,人/(m·h); $N_\alpha$ 、 $N_\beta$ 分别为2条线路的扶梯数量, $B_\alpha$ 、 $B_\beta$ 分别为2条线路的楼梯宽度, $B_t$ 为换乘楼梯的宽度; $Q_{\alpha,in}$ 、 $Q_{\beta,in}$ 、 $Q_{\alpha,out}$ 、 $Q_{\beta,out}$ 分别为2条线路的单位时间进出站客流量,人次/h。

$\alpha$ 线换乘 $\beta$ 线的换乘能力 $C_{\alpha\beta}$ 为:

$$C_{\alpha\beta} = A_1 N_\alpha + A_2 B_\alpha + 0.5 A_2 B_t - Q_{\beta,in} - Q_{\alpha,out} \quad (1)$$

$\beta$ 线换乘 $\alpha$ 线的换乘能力 $C_{\beta\alpha}$ 为:

$$C_{\beta\alpha} = A_1 N_\beta + A_2 B_\beta + 0.5 A_2 B_t - Q_{\beta,in} - Q_{\alpha,out} \quad (2)$$

2条线路之间的换乘能力还需要满足远期高峰换乘预测客流量的要求。

$$\begin{cases} Q_{\alpha\beta} \leq C_{\alpha\beta} \\ Q_{\beta\alpha} \leq C_{\beta\alpha} \end{cases} \quad (3)$$

### 2.2 存在的问题

经分析,现有换乘能力计算方法存在以下不足:

1) 未考虑站厅换乘中使用2次的部分设施。站厅换乘路径的乘客需使用换出线设施1次,再使用换入线设施1次方可完成换乘。而现有计算中,仅计算1位乘客使用1次设施,未能体现运能折减工况,故换乘能力计算结果偏大。

2) 未考虑换乘设施实际通过能力的折减由于T型换乘站客流分布不均衡,故在部分客流较大区域可能形成客流交织,客流冲突严重,易形成客流交通瓶颈,导致换乘设施的实际通过能力有所下降。如采用GB 50157—2013《地铁设计规范》的推荐值来计算,则会造成换乘能力计算值偏大,难以在实际运营中实现。

3) 未考虑站台通过能力的折减。站台通过能力是车站换乘能力的重要组成部分。由于站台客流分布明显不均衡,以及站台与部分楼扶梯相连接的区域乘客拥堵等问题,候车乘客会阻塞站台流动区域,导致候车乘客与走行乘客干扰严重,致使站台可通行空间不足,造成站台通过能力下降。计算车站换乘能力时,需要考虑此影响。

## 3 换乘能力计算新方法

### 3.1 站台通行能力

受限于T型换乘站的结构,换乘客流需穿越部分站台才能到达相应候车位置,可见,站台通过能力决定了整个换乘能力,而站台通过能力受站台可通行宽度的限制。

借鉴文献[7-8],将站台按楼扶梯和车站用房位置分为不同的区域。将地铁站台区域候车区同楼扶梯组及车站用房之间的流动空间定义为站台可通行宽度,如图2所示。不同区域的可通行宽度可表示为:

$$L_i = L_{rc} + L_{f,i} - L_{rq,i} - b_a \quad (4)$$

$$L_{rq} = \frac{\rho(z) q_s}{T/\Delta t} \frac{1}{k} \quad (5)$$

式中:

$L_i$ ——分区*i*的可通行宽度;

$L_{rc}$ ——侧站台宽度;

$L_{f,i}$ ——分区*i*对应流动区的宽度;

$b_a$ ——站台安全防护带宽度;

$L_{rq,i}$ ——分区*i*的站台排队长度;

$\rho(z)$ ——候车区客流分布函数, $z$ 为车门编号;

$q_s$ ——研究周期内,单方向上车客流量;  
 $T$ ——研究周期;  
 $\Delta t$ ——研究周期内的列车发车间隔;  
 $k$ ——候车乘客单排队列密度值。

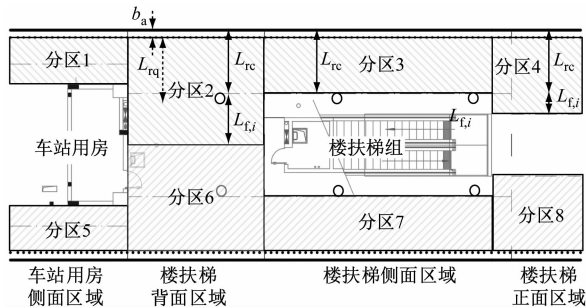


图2 站台可通行宽度

Fig. 2 Platform passable width

通过在郑州地铁南五里堡站进行实地观测,发现  $L_i$  最小值为 0.3 m。则站台对应分区  $i$  的通过能力  $C_{z,i}$  为:

$$C_{z,i} = \begin{cases} A_3 L_i, & L_i \geq 0.3 \\ 0, & L_i < 0.3 \end{cases} \quad (6)$$

式中:

$A_3$ ——单位宽度通道通过能力。

将站台通过能力定义为站台可供行人通行区域中单位时间内可以通过的最大人数。当无拥堵情况时,整个站台的通过能力  $C_z$  可表示为各分区  $C_{z,i}$  的最小值。如候车乘客过多发生堵塞,则该分区  $C_{z,i} = 0$ , 则  $C_z$  为堵塞区域上游未堵塞分区集合  $K$  的  $C_{z,i}$  最小值,即:

$$C_z = \begin{cases} \min(C_{z,i}), & \text{存在堵塞区域} \\ \min(C_{z,i}), & \text{不存在堵塞区域} \end{cases} \quad (7)$$

## 3.2 换乘能力计算

### 3.2.1 站台换乘形式的换乘能力计算

在站台换乘中,换乘能力取换乘楼梯通行能力与站台通过能力的最小值。在常见的双向换乘组织的情况下,有:

$$\begin{aligned} C_{\alpha-\beta,t} &= \min(C_{z\beta}, 0.5A_2B_t) \\ C_{\beta-\alpha,t} &= \min(C_{z\alpha}, 0.5A_2B_t) \end{aligned} \quad (8)$$

其约束条件为:

$$\begin{aligned} Q_{\alpha-\beta,t} &\leq C_{\alpha-\beta,t} \\ Q_{\beta-\alpha,t} &\leq C_{\beta-\alpha,t} \\ Q_{\alpha-\beta,t} + Q_{\beta-\alpha,t} &\leq A_2B_t \end{aligned} \quad (9)$$

式中:

$C_{\alpha-\beta,t}$ 、 $C_{\beta-\alpha,t}$ ——分别为  $\alpha$  线与  $\beta$  线的站台换乘

能力,人/h;

$Q_{\alpha-\beta,t}$ 、 $Q_{\beta-\alpha,t}$ ——两线站台换乘量,人/h;

$C_{z\alpha}$ 、 $C_{z\beta}$ ——分别为  $\alpha$  线和  $\beta$  线的站台通过能力。

由于高峰时段客流量巨大,故出于安全性考虑,部分 T 型换乘站会设置为单向换乘组织。单向换乘组织下的站台换乘能力为:

$$\begin{aligned} C_{\alpha-\beta,t} &= \min(C_{z\beta}, A_2B_t) \\ C_{\beta-\alpha,t} &= \min(C_{z\alpha}, A_2B_t) \end{aligned} \quad (10)$$

### 3.2.2 站厅换乘形式的换乘能力计算

选取换乘走行过程中存在风险的关键设施节点,对两线换乘客流的进入、离开站台能力依次进行计算,并以各关键设施节点能力最小值作为控制值,即:

$$\begin{aligned} C_{\alpha-\beta,T} &= \min \left( A_1N_{\alpha,out} + A_2B_{\alpha,out} - Q_{\alpha,out}, A_1N_{\beta,in} + A_2B_{\beta,in} - Q_{\beta,in} \right) \\ C_{\beta-\alpha,T} &= \min \left( A_1N_{\beta,out} + A_2B_{\beta,out} - Q_{\beta,out}, A_1N_{\alpha,in} + A_2B_{\alpha,in} - Q_{\alpha,in} \right) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} Q_{\alpha-\beta,T} &\leq C_{\alpha-\beta,T} \\ Q_{\beta-\alpha,T} &\leq C_{\beta-\alpha,T} \end{aligned} \quad (12)$$

式中:

$C_{\alpha-\beta,T}$ 、 $C_{\beta-\alpha,T}$ ——分别为两线站厅换乘能力;

$Q_{\alpha-\beta,T}$ 、 $Q_{\beta-\alpha,T}$ ——分别为两线站厅换乘量;

$N_{\alpha,out}$ 、 $N_{\beta,out}$ ——分别为两线离开站台扶梯数量;

$N_{\alpha,in}$ 、 $N_{\beta,in}$ ——分别为两线进入站台扶梯数量;

$B_{\alpha,out}$ 、 $B_{\beta,out}$ ——分别为两线离开站台楼梯宽度;

$B_{\alpha,in}$ 、 $B_{\beta,in}$ ——分别为两线进入站台楼梯宽度。

### 3.2.3 综合换乘能力计算

T 型换乘站的  $C_{\alpha\beta}$  和  $C_{\beta\alpha}$  为:

$$\begin{aligned} C_{\alpha\beta} &= C_{\alpha-\beta,t} + C_{\alpha-\beta,T} \\ C_{\beta\alpha} &= C_{\beta-\alpha,t} + C_{\beta-\alpha,T} \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} Q_{\alpha\beta} &\leq C_{\alpha\beta} \\ Q_{\beta\alpha} &\leq C_{\beta\alpha} \end{aligned} \quad (14)$$

设乘客换乘走行过程中有  $N$  条路径,各自长度为  $L_p$ ,路径  $p$  上不同设施  $j$  的走行距离为  $l_{p,j}$ ,该设施的走行速度为  $v_{p,j}$ ,对应时间为  $t_p$ ,选择该路径进行换乘的乘客数量为  $Q_p$ ,路径使用系数为  $k_p$ 。平均换乘距离  $L_{av}$  和平均换乘时间  $t_{av}$  可以表示为:

$$L_{av} = \sum_{p=1}^N L_p k_p = \sum_{p=1}^N L_p Q_p / \sum_{p=1}^N Q_p \quad (15)$$

$$t_{av} = \sum_{p=1}^N t_p k_p = \sum_{p=1}^N \sum_{j=1}^m l_{p,j} Q_p / v_{p,j} \sum_{p=1}^N Q_p$$
$$L_p = \sum_{j=1}^m l_{p,j}, j = 1, 2, \cdots, m \quad (16)$$

3.3 案例应用

以郑州地铁南五里堡站为例,对该站换乘能力进行计算。该站为 2 号线和 5 号线换乘站。2 号线远期高峰小时的进出站客流量分别为 8 210 人次/h 和 8 416 人次/h,5 号线远期早高峰小时进出站客流量分别为 6 085 人次/h 和 2 751 人次/h。2 号线区域设置上行扶梯 2 台,下行扶梯 1 台,混行楼梯宽 6 m(有效宽度按 5.5 m);5 号线区域设置上行扶梯 3 台,下行扶梯 2 台,混行楼梯宽 3.6 m(有效宽度按

3.3 m);2 号线与 5 号线站台连接处设置 4.2 m 宽双向换乘楼梯(有效宽度按 3.85 m)。远期规划中,高峰 2 号线换入 5 号线的小时客流需求量为 10 354 人次/h,5 号线换入 2 号线的小时客流需求量为 11 667 人次/h。

根据 GB 50157—2013《地铁设计规范》,原方法中, $A_1$ 、 $A_2$  及  $A_3$  分别取 3 200 人次/(m·h)、6 720 人次/(m·h)和 4 000 人次/(m·h)。根据站内实地观测并拟合得到的密度-流量关系,在新方法中, $A_1$ 、 $A_2$  及  $A_3$  按实际情况分别取 3 520 人次/(m·h)、6 300 人次/(m·h)和 3 980 人次/(m·h)。采用综合换乘能力计算的新方法先对两线站台进行分区,并计算各分区的通过能力,结果见图 3。

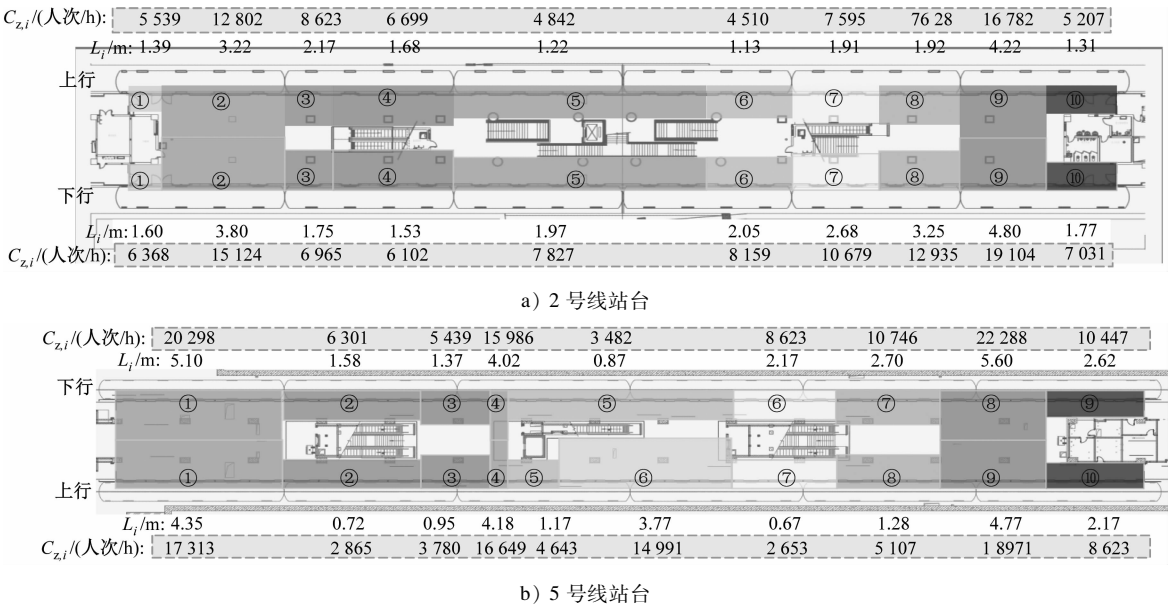


图 3 郑州地铁南五里堡站 2 号线和 5 号线站台不同分区的通行能力

Fig. 3 Platform capacity of different zones of Zhengzhou Metro Nanwulibao Station Line 2 and Line 5

由图 3 的数据计算可得,2 号线换乘 5 号线的  $C_z$  为 6 135 人次/h,5 号线换乘 2 号线的  $C_z$  为 10 631 人次/h。由式 (7) 及式 (10) 可得,  $C_{2,5,T} = 6 135$  人次/h,  $C_{5,2,T} = 6 776$  人次/h,  $C_{2,5,T} = 12 323$  人次/h,  $C_{2,5,T} = 7 770$  人次/h。采用不同计算方法得到的换乘能力计算结果如表 1 所示。

表 1 不同计算方法得到的换乘能力计算结果对比

Tab. 1 Comparison between transfer capacity results of different calculation methods

换乘方向	换乘能力实测值/ (人次/h)	换乘能力/(人次/h)		绝对误差/(人次/h)		相对误差/%	
		原方法	新方法	原方法	新方法	原方法	新方法
2 号线→5 号线	19 231	294 19	18 458	10 188	-773	52.98	-4.02
5 号线→2 号线	14 384	39 359	145 46	24 975	162	173.63	1.13

注:实测换乘能力值由客流高峰期各方向饱和换乘流量之和的最大值计算而得。

由表 1 可见,原换乘能力计算方法存在较大的误差。经分析,原方法未能分别对不同线路进行分析,也未考虑站台实际候车人数导致的换乘能力扣除,故误差较大。本文提出的新方法可以有效降低换乘能

力的误差,将换乘能力分析误差降低到 5% 以下。

### 4 结语

论文基于城市轨道交通 T 型换乘站结构特征,给出了换乘能力的定义,在分析 T 型换乘站主要换乘形式及其换乘能力影响因素的基础上,探讨了现有方法存在的问题,针对换乘设施实际通过能力及站台可通行宽度限制等问题,在计算站台可通行宽度和站台通过能力的基础上,提出了 T 型换乘站换乘能力测算的新方法。最后,以郑州地铁南五里堡站为对象进行案例研究,说明了新方法的合理性。研究结论可为进一步完善城市轨道交通 T 型换乘站设计提供理论支撑和应用参考。

### 参考文献

[1] 贾洪飞,孙宝凤,罗清玉,等. 地铁换乘枢纽设施能力测度方法及其适应性分析[J]. 吉林大学学报(工学版), 2009 (增刊 2): 199.

JIA Hongfei, SUN Baofeng, LUO Qingyu, et al. Measurement and adaptation analysis of their facilities capacity for the subway passenger terminal[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2009(S2):199.

[2] 何彬,顾保南,杨照. 城轨交通换乘站结点换乘设施行人拥堵分析方法[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2020 (6): 861.

HE Bin, GU Baonan, YANG Zhao. Pedestrian congestion analysis method for transfer facilities in urban metro transit transfer stations [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2020 (6):861.

[3] 吴昊灵,袁振洲,李慧轩,等. 考虑行人异质性的地铁站楼梯

通行能力仿真模型[J]. 交通运输系统工程与信息, 2016 (3): 141.

WU Haoling, YUAN Zhenzhou, LI Huixuan, et al. A capacity simulation model of stairway in subway station considering pedestrian heterogeneity[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2016(3):141.

[4] 刘启钢,张岚. 北京复兴门地铁站换乘能力研究[J]. 铁道运输与经济, 2011 (4): 76.

LIU Qigang, ZHANG Lan. Study on transfer capacity of Beijing Fuxingmen subway station[J]. Railway Transport and Economy, 2011(4): 76.

[5] 王志刚,石嵘,高伟君. 上海轨道交通车站乘客走行时间函数的分析[J]. 城市轨道交通研究,2010 (12):57.

WANG Zhigang, SHI Rong, GAO Weijun. Analysis of passengers' walking time function at Shanghai urban rail station[J]. Urban Mass Transit, 2010(12): 57.

[6] 李玉书,孙越,万衡,等. 城市轨道交通车站换乘通道客流压力的评估方法[J]. 城市轨道交通研究,2020 (1):106.

LI Yushu, SUN Yue, WAN Heng, et al. Evaluation method of transfer passageway passenger flow pressure at urban rail transit station[J]. Urban Mass Transit, 2020(1): 106.

[7] 吴娇蓉,马山,刘学丽. 设屏蔽门的岛式地铁车站站台宽度设计方法[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2015 (10): 1510.

WU Jiaorong, MA Shan, LIU Xueli. Design of island-platform width at metro station equipped with screen door[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2015(10):1510.

[8] 郭福强,叶霞飞. 城市轨道交通站台宽度计算方法研究[J]. 城市轨道交通研究, 2019 (22): 108.

GUO Fuqiang, YE Xiafei. Study on the calculation method of urban rail transit platform width [J]. Urban Mass Transit, 2019 (22):108.

(收稿日期:2021-11-07)

## 国际铁路联盟发布中国制定的高铁标准

日前,国际铁路联盟发布实施由我国主持制定的《高速铁路设计 基础设施》标准和《高速铁路设计 供电》标准,两项标准均是相关领域的首部国际铁路标准。

国际铁路联盟是铁路行业最具影响力的专业国际标准组织。此次发布的两项标准由中国国家铁路集团有限公司专家主持,法国、德国、日本、西班牙、意大利等 10 余个国家的 20 余名专家参与,历时 4 年编制而成。这两项标准在总结世界高速铁路设计成功经验、系统集成先进技术的基础上,引入中国高速铁路总体设计理念,吸纳中国高速铁路列车荷载图式、线间距、路基填料分类、隧道围岩分类等基础性关键指标,推介中国 CRTSIII 型板式无砟轨道和动车组修程、接触网系统等优势技术,最终确立了国际铁路联盟高速铁路总体设计、线路、路基、桥梁、隧道、轨道、车站、动车组运用检修设施、维修设施、综合防护、环境保护、牵引供电变、接触网、电力供电和远动系统等领域的设计理念、关键参数和技术要求。为世界高速铁路建设运营贡献了中国智慧和方案。

国际铁路联盟高速铁路委员会主席霍世保表示,国际标准是国际贸易的重要技术依据,也是推进“一带一路”制度规则联通的重要内容。充分依托国际标准化平台,主持参与铁路重要技术标准制修订,显著提升了中国铁路标准的国际影响力。

(摘编自 2022-07-19《环球时报》)