

国外典型城市轨道交通互联互通发展模式及启示<sup>\*</sup>侯阿提·叶尔江<sup>1,2</sup> 叶霞飞<sup>1</sup> 王镇波<sup>3</sup> 成 艳<sup>1</sup>(1. 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 201804, 上海; 2. 上海市隧道工程轨道交通设计研究院, 200235, 上海;  
3. 上海申通地铁集团有限公司技术中心, 201103, 上海)

**摘 要** [目的] 针对当前北京、上海、广州等城市已实现轨道交通网络化运营, 但通常各条线路独立运行导致换乘站压力大、资源分配不均的问题, 需借鉴国外典型城市轨道交通互联互通经验, 为我国城市轨道交通互联互通发展模式提供参考。[方法] 以东京、巴黎、卡尔斯鲁厄等城市轨道交通线路作为研究对象, 调查分析其线路互联互通的产生背景和发展模式, 总结其基本特点。[结果及结论] 上述典型城市轨道交通互联互通模式的产生背景不同, 我国应根据实际情况决定是否采用互联互通模式; 国外典型城市轨道交通互联互通主要存在于同一客流通道上的线路之间, 基本不存在城市轨道交通线网层面的互联互通; 实施互联互通时, 除非改造成本低且影响小, 否则一般不考虑改造既有运营线路, 新建线路的技术标准应与既有线路保持一致; 在城市轨道交通的互联互通中, 为节约成本, 仅在不同制式的既有轨道交通线路间才适宜使用双流制列车。

**关键词** 城市轨道交通; 互联互通; 发展模式

**中图分类号** U231.7

**DOI**: 10.16037/j.1007-869x.2025.01.003

## Development Modes of Typical Urban Rail Transit Interconnection in Foreign Cities and Implications

HOUATI · Yeerjiang<sup>1,2</sup>, YE Xiafei<sup>1</sup>, WANG Zhenbo<sup>3</sup>, CHENG Yan<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, 201804, Shanghai, China; 2. Shanghai Tunnel Engineering & Rail Transit Design & Research Institute, 200235, Shanghai, China; 3. Technical Center of Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd., 201103, Shanghai, China)

**Abstract** [Objective] Despite the current established rail transit networking operation in cities like Beijing, Shanghai and Guangzhou, usually the independent operation of each line leads to high pressure and uneven distribution of resources at transfer stations, it is necessary to draw on the experience of foreign cities in typical rail transit interconnection to provide references for the development mode of urban rail transit inter-

connection in Chinese cities. [Method] With the urban rail transit lines in cities like Tokyo, Paris and Karlsruhe as the research objects, the background and development modes of their interconnection are investigated and analyzed, the basic characteristics are summarized. [Result & Conclusion] As the typical urban rail transit interconnection modes in the above-mentioned cities emerge in different contexts, whether to adopt these modes or not should be decided based on the actual situation in China. The typical interconnection in foreign cities mainly exists among lines on the same passenger flow corridor, and basically not at the level of urban rail transit network. Therefore, in the implementation of interconnection, renovation of the existing operating lines should not be considered unless the renovation cost is low and the impact is small. The newly-built lines should use the technical standards that are consistent with those of the existing lines. In the interconnection of urban rail transit, dual-system trains are only suitable among existing rail transit lines with different systems in order to save costs.

**Key words** urban rail transit; interconnection; development mode

目前北京、上海、广州等城市的轨道交通已实现网络化运营, 但通常各条线路独立运行, 会产生换乘站客流压力大、线网资源分配不均的问题, 在此前提下互联互通运营理念受到广泛关注。国内对此研究尚浅, 而国外城市如东京、巴黎、卡尔斯鲁厄在互联互通方面已进行深入探索并积累了一定经验。本文将分析国外典型城市的互联互通背景和发展模式, 为我国城市轨道交通互联互通提供参考。

## 1 东京城市轨道交通互联互通的产生背景及发展模式

### 1.1 东京城市轨道交通互联互通的产生背景

1903 年, 东京市中心开始运营有轨电车, 标志

着城市轨道交通的起步。政府禁止私营铁路进入市中心,仅允许国营地铁及有轨电车运营。随着 JR (日本铁路公司)山手环线的建成,东京轨道交通形成“内轨外铁”布局,郊区乘客需换乘进入市区,给换乘站带来巨大客流压力。1955 年东京国有铁路与私营铁路线网示意图见图 1。

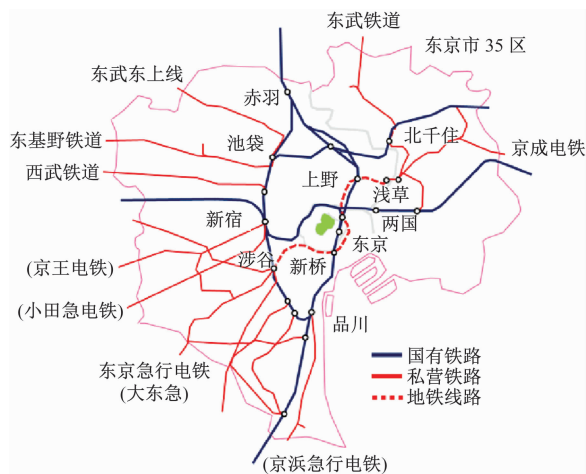


图 1 1955 年东京国有铁路与私营铁路线网示意图

Fig.1 Schematic diagram of the national and private railway networks in Tokyo in 1955

1955 年,城市交通委员会在东京成立,该咨询机构在后续多个报告中<sup>[1-2]</sup>,讨论了国有铁路、东京地铁的规划与建设,提出建设 11 个方向的地铁线路贯穿市中心,且两端与国有铁路或私营铁路线路相衔接;未来建设的地铁线路应与市郊私营铁路线路互联互通,标准与私营铁路统一,不受传统地铁线路标准约束。考虑到当时既有地铁线路(仅有银座线和丸之内线)与私营铁路线路技术标准不同,需待后续进一步研究。

1960 年,东京首次实现了私营铁路与地铁的互联互通运营,新建地铁线路均考虑了与外围铁路的互联互通。经过 60 多年的发展,东京市区的 13 条地铁线路中,除银座线、丸之内线和大江户线外,其余 10 条均实现了与私营铁路、JR 铁路的互联互通。根据日本国土交通省的统计数据,截至 2021 年,东京都市交通圈范围内,实现互联互通运营模式的线路里程已达到 975 km,约占东京都市交通圈轨道交通线路运营长度的 40%。

根据日本一般财团法人运输总合研究所出版的都市交通年报(2015 年版)的数据,得到 2015 年东京城市轨道交通部分线路(相互已开通直通运营线路)间的跨线乘客日交换量统计结果,如表 1 所

示。若相关线路未实施相互直通运营,则跨线乘客交换量将全部转化为中间换乘站的换乘上下客流量;跨线运营将为 161.1 万人次乘客出行节约 10.24 万 h(根据日本雅虎提供换乘时间,已包含乘客走行时间和二次候车平均候车时间),大大缓解了换乘站的客流压力和安全风险。

表 1 2015 年东京城市轨道交通部分线路间跨线乘客日交换量统计

Tab. 1 Statistics of daily cross-line passenger exchange volume between some lines of urban rail transit in Tokyo in 2015

车站名称	车站两侧 线路名称	跨线乘客日 交换量/万人次	换乘时间/ min
北千住站	日比谷线、 东武伊势崎线	21.1	5
中目黑站	日比谷线、 东急东横线	15.1	6
涉谷站	半藏门线、 东急田园都市线	39.6	2
代代木上原站	千代田线、 小田急小田原线	20.8	3
绫濑站	千代田线、 JR 常磐线	34.8	2
新宿站	新宿线、 京王线	15.0	5
泉岳寺站	浅草线、 京浜急行线	14.7	9

## 1.2 东京城市轨道交通互联互通的基本特点

东京城市轨道交通互联互通的基本特点为:

1) 东京采用城市轨道交通互联互通模式的主要背景是解决换乘站压力过大的问题,以确保城市轨道交通乘客的安全、便捷出行。

2) 东京城市轨道交通互联互通属于同一客流通道上线路之间的互联互通,基本不存在城市轨道交通线网层面的互联互通。

3) 互联互通相关的轨道交通线路并非同一时期建设。东京城市轨道交通中,大部分私营铁路线路建于 20 世纪 50 年代前,而地铁线路大多建于 20 世纪 50 年代后。因此,市区地铁与市域铁路(私营铁路、JR 铁路)之间的互联互通线路多为不同时期建设。

4) 在城市轨道交通互联互通过程中,一般不考虑改造既有线路(如京王电铁株式会社拒绝改造)。互联互通的线路通常会采用与既有线路相同的技

术标准,例如轨距和供电制式。

5) 东京城市轨道交通互联互通在运营组织上由 JR、私营铁路公司和地铁公司合作负责实施工作。

## 2 巴黎区域特快铁路互联互通的产生背景及发展模式

### 2.1 巴黎区域特快铁路互联互通的产生背景

1965 年,为了缓解城区压力,法兰西岛规划办在《城市规划和地区整治战略规划》中提出在巴黎的郊区建设 5 座新城,每座新城远期规划人口为 20 万~30 万人。为支撑构筑巴黎地区城市发展的骨架<sup>[3]</sup>,法兰西岛运输联合会于 1972 年通过了新的 RER(区域特快铁路)线网规划。其中,RER A 线和 RER B 线的大部分区段利用了巴黎通往其他城市的既有城际铁路,包括 RER A 线(长约 53 km)和 RER B 线(长约 65 km)。在巴黎的轨道交通系统中,RER 与市郊铁路参与互联互通运营,RER A 线和 RER B 线各自都有 RATP(巴黎大众运输公司)与 SNCF(法国国有铁路公司)所属的路段,因此存在 RATP 与 SNCF 所属路段之间的直通运营。

1983 年,RER B 线南北段开始互通运营,但由于巴黎北站以南的 RATP 路段的供电制式为 DC 1 500 V,巴黎北站以北 SNCF 管辖线路的供电制式为 AC 25 kV,所以被迫选择使用了双流制列车。由于运营公司背景和章程各异,列车在巴黎北站从一条铁路线网转入另一条铁路线网时需更换司机,此模式持续至 2009 年。

以 RER B 线为例,该条线路 B2、B4、B5 支线由既有铁路改建而成,沙特雷-大堂至巴黎北站区段以及 B3 分支为新建线路(见图 2)。以巴黎北站为界,B3 和 B5 支线由 SNCF 负责运营,线路供电电压为 AC 25 kV;B2 和 B4 支线由 RATP 负责运营,线路供电电压为 DC 1 500 V。

### 2.2 巴黎城市轨道交通互联互通的基本特点

巴黎城市轨道交通互联互通的基本特点为:

1) 巴黎提出采用轨道交通互联互通模式的主要背景是充分利用既有铁路构建 RER 线网,支撑构筑巴黎地区城市发展的骨架,以节约建设成本。

2) 互联互通相关线路基本处于同一客流通道上。巴黎 RER A 线和 RER B 线为东西互通运营线路或南北互通运营线路,属于同一客流通道上线路之间的互联互通,不存在城市轨道交通线网层面上

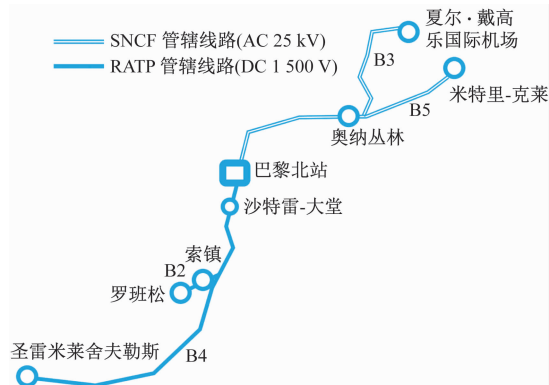


图 2 RER B 线示意图

Fig. 2 Schematic diagram of Line RER B

的互联互通。

3) 在实施城市轨道交通互联互通过程中被迫选择使用了双流制列车。巴黎 RER A 线和 RER B 线的支线由于建设时期不同,电气化改造时未考虑兼容性,造成技术标准不一,因此在实现城市轨道交通互联时,不得不采用双流制列车。

4) 巴黎 RER 线明显的特征之一是在互联互通运营组织上由 SNCF 和 RATP 合作负责。

## 3 卡尔斯鲁厄城市轨道交通互联互通的产生背景及发展模式

### 3.1 卡尔斯鲁厄城市轨道交通互联互通的产生背景

卡尔斯鲁厄的轨道交通包括有轨电车和地方铁路。有轨电车起源于 20 世纪初,而地方铁路则建于 19 世纪,未能覆盖人口密集区,导致郊区居民需多次购票才能到达市区。这种不便导致铁路公司客流量下降,列车减少,部分铁路资源闲置。为改善这一状况,当地实施了有轨电车与铁路的互联互通策略,有效吸引了客流,带来了正面的社会和经济效益<sup>[4]</sup>。

卡尔斯鲁厄参与互联互通的轨道交通线路(见图 3)由三家公司所有,城区部分归 VBK(卡尔斯鲁厄交通管理局)所有,除 S2 线以外的有轨电车线网归 AVG(阿塔塔尔交通公司)所有,其余线路归 DB(德国铁路股份公司)所有。

卡尔斯鲁厄城市轨道交通互联互通运营组织均由 AVG 负责实施。由于市区有轨电车线路供电制式为 DC 750 V,DB 铁路线路和 AVG 铁路线路的供电制式为 AC 15 kV,因此,1992 年在卡尔斯鲁厄市火车站和布雷顿站之间实施的第一条互联互通



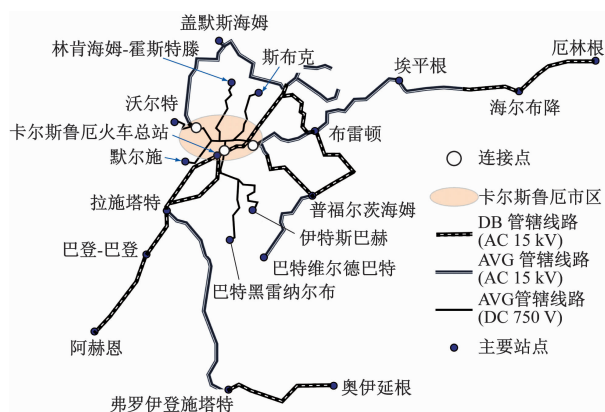


图3 卡尔斯鲁厄轨道交通互联互通运营线网示意图

Fig.3 Schematic diagram of the interconnected rail transit operation network in Karlsruhe

运营线路采用了双流制式列车。

1994年,AVG扩大了运营范围,KVV(卡尔斯鲁厄交通协会)成立,多家交通运营公司使用统一票价制度,同时KVV还负责卡尔斯鲁厄交通规划、协会成员关税、营销和票价收入分配等。

截至2010年,卡尔斯鲁厄城市轨道交通互联互通运营模式涉及覆盖到周边3550 km<sup>2</sup>范围内的120个城镇,服务于130万居民的日常出行。

### 3.2 卡尔斯鲁厄城市轨道交通互联互通的基本特点

卡尔斯鲁厄城市轨道交通互联互通的基本特点为:

1) 卡尔斯鲁厄采用轨道交通互联互通模式的主要背景是考虑闲置既有铁路的有效利用,以及轨道交通沿线客流的有效吸引。

2) 互联互通的两类轨道交通系统并非同一时期建设。卡尔斯鲁厄的有轨电车系统建设于19世纪70年代,于20世纪初完成电气化改造,而国有铁路线大多于20世纪前建设完成。

3) 两类不同轨道交通系统之间实现了互联互通。卡尔斯鲁厄作为一个相对小的城市,在已有两个不同类型轨道交通线网的情况下,通过采用双流制列车实现互联互通,最大程度地降低了改造成本,扩大了轨道交通的服务范围,增大了客流吸引能力。

## 4 国外典型城市轨道交通互联互通发展模式对我国的启示

本文通过研究东京、巴黎、卡尔斯鲁厄三个典型城市轨道交通互联互通的产生背景和发展模式,

对我国城市轨道交通互联互通的发展提出以下建议:

1) 从换乘站客流量压力的缓解,既有铁路的有效利用,以及轨道交通沿线客流的有效吸引等方面介绍了国外典型城市轨道交通互联互通模式不同的产生背景。我国各大城市需要根据自身的实际情况判断是否需要采用城市轨道交通互联互通运营组织模式。

2) 国外典型城市轨道交通互联互通基本属于同一客流通道上线路之间的互联互通,基本不存在城市轨道交通线网层面上的互联互通,且拟互联互通的城市轨道交通线路往往都是在不同时期建成的。

3) 在实施城市轨道交通互联互通过程中,通常情况下不宜考虑采用改造既有运营线路的措施,只有在改造成本很低且对既有线路运营影响相对较小的情况下,才可根据需要对既有线路进行必要的技术改造;拟互联互通线路中的新建线路的主要技术标准,原则上宜采用与既有运营线路相一致的主要技术标准。

4) 在实施城市轨道交通互联互通过程中,通常情况下,出于成本考虑,仅在拟互联互通的不同制式既有轨道交通相关线路之间,才适宜选择双流制列车。

## 参考文献

- [1] 運輸省鉄道監督局. 都市交通審議會答申集[M]. 东京:運輸省鉄道監督局,1956.  
Ministry of Transport (Japan). Urban transport council report collection[M]. Tokyo: Ministry of Transport, Railway Supervision Bureau,1956.
- [2] 国土交通省. 交通政策白書[M]. 令和3年版. 东京:勝美印刷,2021.  
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism. White paper on transport policy[M]. 3rd Year of Reiwa ed. Tokyo: katsumi Printing,2021.
- [3] Préfecture Île-de-France. Schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme de la région de Paris[R]. Paris: Conseil Régional D'Île-de-France,1965.  
Prefecture Île-de-France. Master plan for development and urban planning of the Paris region[R]. Paris: Regional Council of Île-de-France, 1965.
- [4] GEORG D. Durchführbarkeitsuntersuchung zur Verknüpfung des Schienenpersonenverkehrs eines Straßenbahnbetriebs und der Deutschen Bundesbahn am Beispiel des Raumes Karlsruhe[R]. Karlsruhe: Albtal-Verkehrs-Ges,1985.

GEORG D. Feasibility study on the connection of the rail passenger transport of a tramway operation and the deutsche bundesbahn ( German federal railway ), taking the karlsruhe region as an example [ R ]. Karlsruhe: Albtal-Verkehrs-Ges, 1985.

- [ 5 ] 東京都交通局. 東京都交通局 80 年史 [ M ]. 东京: 東京都交通局, 1992.

Tokyo Metropolitan Bureau of Transportation. 80-year history of the Tokyo Metropolitan Bureau of Transportation [ M ]. Tokyo: Tokyo Metropolitan Bureau of Transportation, 1992.

· 收稿日期: 2022-12-03 修回日期: 2023-02-01 出版日期: 2025-01-10  
Received: 2022-12-03 Revised: 2023-02-01 Published: 2025-01-10

· 第一作者: 侯阿提·叶尔江, 硕士研究生, houati@163.com  
通信作者: 叶霞飞, 教授, yxf@tongji.edu.cn

· ©《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

#### (上接第 5 页)

- [ 7 ] AFONSECA A, RAFAEL S, BANDEIRA J. Impact of autonomous vehicles on air quality and energy efficiency of road traffic flows—a case study in an urban round about [ J ]. Transportation Research Procedia, 2023, 72: 4018.

- [ 8 ] 马诗颖. 模块化设计在无人驾驶汽车内饰中的智能交互应用 [ D ]. 兰州: 兰州交通大学, 2023.

MA Shiyong. Intelligent interactive application of modular design in interior decoration of driverless car [ D ]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2023.

- [ 9 ] 王海涛. 无人驾驶汽车——基本概念、发展概况与体系架构 [ J ]. 电信快报, 2021(3): 6.

WANG Haitao. Autonomous vehicles: basic concepts, development overview and system architecture [ J ]. Telecom Express, 2021(3): 6.

- [ 10 ] ANDREI L, LUCA O. Assessing the transformative potential: an examination of the urban mobility impact based on an open-source microscopic traffic simulator for autonomous vehicles [ J ]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2024, 13(1): 16.

- [ 11 ] 王簋仪, 张薇, 罗通. 感应传感器在无人驾驶汽车轨迹控制中的应用 [ J ]. 机械设计与研究, 2024, 40(3): 147.

WANG Lanyi, ZHANG Wei, LUO Tong. Application of inductive sensors in trajectory control of autonomous vehicles [ J ]. Machine Design & Research, 2024, 40(3): 147.

- [ 12 ] 张相宇. 无人驾驶汽车连专用道网络设计问题研究 [ D ]. 大连: 大连海事大学, 2022.

ZHANG Xiangyu. Research on the design of connected lane network for driverless vehicles [ D ]. Dalian: Dalian Maritime University, 2022.

- [ 13 ] 姜允侃. 无人驾驶汽车的发展现状及展望 [ J ]. 微型电脑应用, 2019, 35(5): 60.

JIANG Yunkan. Development status and future prospects of pilotless vehicles [ J ]. Microcomputer Applications, 2019, 35(5): 60.

· 收稿日期: 2024-09-02 修回日期: 2024-10-09 出版日期: 2025-01-10  
Received: 2024-09-02 Revised: 2024-10-09 Published: 2025-01-10

· 通信作者: 葛世平, 正高级工程师, Geshiping6430@163.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

#### (上接第 9 页)

- [ 10 ] 钟海燕, 刘举. 在科研与教学之间: 试论高校青年教师的学术困境 [ J ]. 当代教育科学, 2014(15): 28.

ZHONG Haiyan, LIU Ju. Between scientific research and teaching: on the academic dilemma of young teachers in colleges and universities [ J ]. Contemporary Education Sciences, 2014(15): 28.

- [ 11 ] 岳宇君. 教学与科研: 关系、融合、分析及展望 [ J ]. 技术与创新管理, 2015, 36(1): 92.

YUE Yujun. Teaching and research: relationship, integration, a-

nalys and outlook [ J ]. Technology and Innovation Management, 2015, 36(1): 92.

· 收稿日期: 2024-05-30 修回日期: 2024-06-20 出版日期: 2025-01-10  
Received: 2024-05-30 Revised: 2024-06-20 Published: 2025-01-10

· 通信作者: 黄世泽, 副教授, hsz@tongji.edu.cn

· ©《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

欢迎投稿《城市轨道交通研究》

投稿网址: [tougao.umat1998.com](http://tougao.umat1998.com)