

# 轨道交通上的简阳航空城规划策略探讨

刘武君<sup>1</sup> 唐 炜<sup>2</sup> 李倩林<sup>3</sup>

(1. 同济大学复杂工程管理研究院, 200092, 上海; 2. 上海颀翔交通工程咨询有限公司, 200127, 上海;  
3. SPS 航空咨询公司, 45242, 辛辛那提, 美国)

**摘 要** [目的] 成都天府国际机场的启用及其快速发展为简阳市的城市发展带来了巨大的机遇和挑战, 有效地做好简阳航空城的规划是迫切需要解决的问题。[方法] 依据临空产业的发展规律, 利用轨道交通对产业具有巨大促进作用的优势, 从简阳市城市空间规划、综合交通体系和枢纽体系、轨道交通线网规划等多个方面探讨了简阳航空城规划策略。[结果及结论] 简阳临空开发一定会产生商务人流生活链和货运物流产业链等两条临空产业链。简阳轨道交通环线的规划与建设可以极大促进航空港、临空产业与城市的一体化, 对简阳航空城的开发效果具有重要作用。

**关键词** 简阳市; 航空城; 城市规划; 轨道交通

**中图分类号** F299.22

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.20241469

## Research on the Planning Strategy for Jianyang Aviation City on Rail Transit

LIU Wujun<sup>1</sup>, TANG Wei<sup>2</sup>, LI Qianlin<sup>3</sup>

(1. Research Institute of Complex Engineering & Management, Tongji University, 200092, Shanghai, China; 2. Shanghai J-Shine Transportation Engineering Consulting Co., Ltd., 200127, Shanghai, China; 3. Strategic Planning Services, Inc., 45242, Cincinnati, USA)

**Abstract** [Objective] The commissioning and rapid development of Chengdu Tianfu International Airport have brought significant opportunities and challenges to the urban development of Jianyang City. It is an urgent issue to make effective planning for Jianyang Aviation City. [Method] According to the development law of airport-related industry and utilizing the advantages of rail transit to greatly promote industries, the planning strategy of Jianyang Aviation City is discussed from several aspects, including urban spatial planning, integrated transportation and hub systems, and rail transit network planning. [Result & Conclusion] The development of Jianyang airport-related area is expected to create two airport industrial chains: the business passenger flow life chain and the freight logistics industry chain. The planning and construction of rail transit ring in Jianyang City will greatly promote the integration of airport, airport-related industries and the city, playing a cru-

cial role in the development of Jianyang Aviation City.

**Key words** Jianyang City; aviation city; urban planning; rail transit

成都天府国际机场独特的发展历程与城市轨道交通的快速发展, 使基于轨道交通的航空城建设成为简阳航空城规划的鲜明特色。若按此规划推进, 简阳航空城必将成为中国航空城发展史上的里程碑, 并吸引全球目光。

## 1 成都天府国际机场与简阳市的现状与规划

成都天府国际机场较为特殊, 其旅客量主要来自成都双流国际机场的分流。在通航3年后的2024年, 其旅客吞吐量便达到了5490.6万人次, 排名全国第五, 其中中转旅客量超840万人次。与成都天府国际机场的快速发展相比, 临空产业的发展和航空城的建设显得相对滞后。一般来说, 常规机场需要20年甚至更长时间才能达到成都天府国际机场同等量级的旅客量, 而周边地区的临空产业和城市经过20年的发展, 通常也会形成相当规模。因此, 作为成都天府国际机场的航空城, 简阳的发展目前未能完全跟上机场发展的步伐。

成都天府国际机场在规划上拥有南北两个主要进出场通道, 北进出场通道位于简阳市区南部, 承担主要进出场交通量。无论是从现状还是从规划发展来看, 成都天府国际机场的主要基础设施、生产设施都集中在机场北部。实际上, 所有成都天府国际机场的功能区, 包括旅客航站区、货运区、工作区和机务区等(见图1中的a组团), 都集中在机场北部, 与机场北边的简阳市区相邻。成都东部新区的临空产业园则集中规划在成都天府国际机场西侧, 并通过绿化带与机场隔开。从成都天府国际机场的视角来看, 主要问题在于: 上一轮规划中似乎忽略了简阳市, 这为简阳提供了巨大潜力, 使其

有望成为天府临空经济发展的一匹黑马,并为简阳作为航空城的规划建设留下了广阔空间。

目前,成都天府国际机场的发展对简阳城市建设的影响尚不明显。简阳的主要城市建成区分布在沱江两岸(见图1中的b、c、d组团)。根据简阳市总体规划,几个产业园区和居住组团的发展现状均不理想,呈现出“散装简阳”的局面。在交通方面,成都天府国际机场、成渝高速铁路、成渝高速公路,以及规划中的城市轨道交通(如18号线、S13线、D1线、S14线、成都都市圈环线铁路等)和双港大道、简州大道、迎宾大道、厦蓉高速公路等交通设施,与城市发展的关系尚未明确。从简阳市的视角来看,主要问题在于:尽管交通资源极其丰富,但这些资源漂浮于城市发展之外,缺乏枢纽设施将其落地,未能成为城市经济社会发展的动力源。

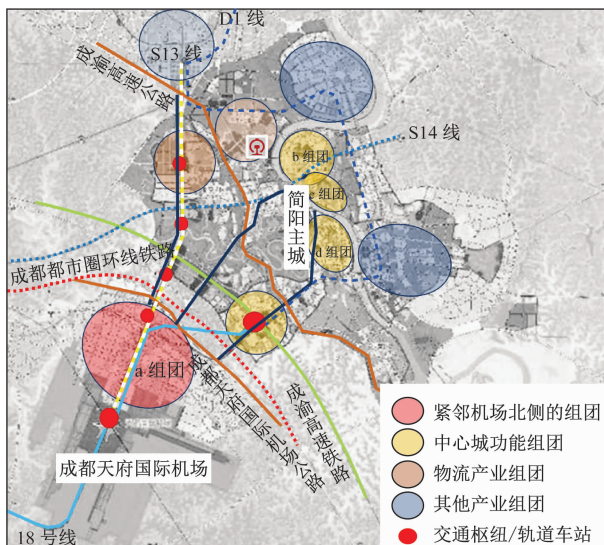


图1 成都天府国际机场与简阳市区的现状与规划

Fig. 1 Current situation and planning of Chengdu Tianfu International Airport and Jianyang City

## 2 临空产业与简阳城市空间再筑

临空产业的源头通常位于机场内,并分为5个功能区。最核心的是飞行区,它被机场的另外四大功能区隔离,与外部没有直接联系。通常,旅客航站区外围可以发展出商务园区,因为航站区流出的旅客会带来资金流和信息流,进而催生一系列商务设施。机场货运区则会吸引物流及相关产业集聚,支撑临空产业园的发展。机务区则促进与航空器相关的产业设施发展,这些产业往往与货运物流整合,催生出保税区、综合保税区、自由贸易区等。此

外,随着机场旅客和工作人员的增加,机场附近会逐渐形成一个城市化区域。这就是通常所说的四大临空产业链。

根据成都天府国际机场与简阳市的现状与规划,预计将在简阳市实现商务产业链与生活链的整合,以及货运物流与航空机务产业链的整合,最终形成两大临空产业链(见图2)。

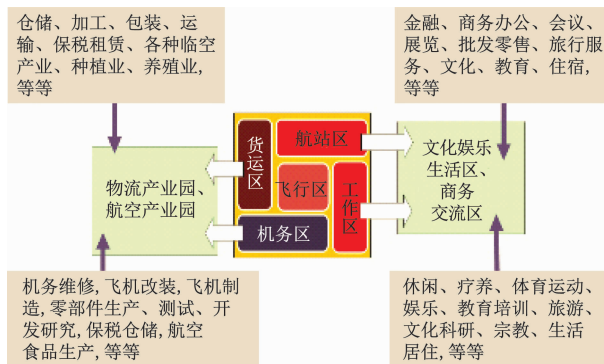


图2 简阳航空城的临空产业链

Fig. 2 Airport-related industrial chain of Jianyang Aviation City

由于18号线和S13线的规划建设,简阳很快具备了发展临空产业的条件。两条线路均从成都天府国际机场航站区的交通中心出发,为简阳带来了充足的人气。S13线还经过成都天府国际机场货运物流区,因此简阳的临空产业将优先围绕人流和物流两个方向的城市组团发展。此外,受迎宾大道、双港大道等主要道路和两条轨道交通的影响,简阳城市总体规划的组团布局需要进行调整,自然形成环状布局,中心区域可规划为城市绿心(见图3)。这种城市形态的规划得益于简阳市区内丰富的交通资源,尤其是轨道交通的存在。这是其他机场临

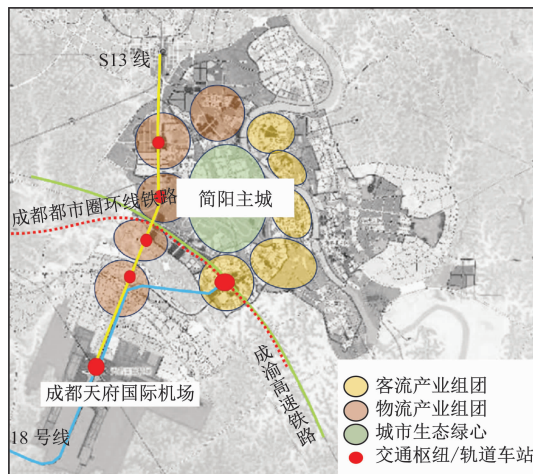


图3 简阳航空城的城市空间布局

Fig. 3 Urban space layout of Jianyang Aviation City



空区在发展初期所不具备的独特优势,必须充分发挥其在城市组团开发中的引导作用,使其成为构建简阳航空城的核心要素。

### 3 简阳航空城的交通规划

在航空城发展初期就拥有如此优越的轨道交通条件,这在世界范围内都非常罕见。简阳应以此为起点,规划建设一座兼具世界级水平与简阳特色的航空城。

现行的简阳城市总体规划在处理与成都天府国际机场的关系上存在不足,未能充分发挥城市轨道交通的作用,也未能充分体现临空产业园区和航空城规划的特征。简阳在新一轮城市总体规划修订中必须解决这一问题。这实际上也是历史赋予简阳的一个重大创新空间。简阳航空城规划的核心在于全力加强简阳市区各城市组团与成都天府国际机场各功能设施的对接。

1) 18 号线将很快延伸至规划中的空铁新城中心地区(成渝高速铁路简阳南站),这实际上启动了简阳航空城的规划建设,对简阳临空产业的发展极为有利。空铁新城向北可对接简阳市区现有组团,向南可连接成都天府国际机场的航站区。因此,空铁新城可规划建设面向航空客流、高铁客流以及机场和高铁工作人员的商务、商业、住宿、培训和旅游设施,形成多个城市组团,促进人流、信息流和商务流的流通与驻留(见图4中位于成渝高速铁路上的客流产业组团)。

2) 规划中的 S13 线将穿过简阳城区西部,并设有多个车站。这对简阳城市发展影响重大,有利于简阳对接成都天府国际机场的货运站和货运物流园区,发展航空物流产业。因此,简阳必须充分利用 S13 线,以其各车站为中心,开展以交通为导向的城市产业园区开发,快速形成西部航空货运物流产业发展轴(见图4中的物流产业组团)。

3) 简阳规划了3条道路与成都天府国际机场对接,市域内各城市组团均可便捷到达成都天府国际机场。其中,简州大道为高速公路等级的快速道路,应与成都天府国际机场高速公路互通;迎宾大道和双港大道则需尽快与成都天府国际机场场区道路系统实现便捷对接。

4) 尽管 S13 线和 18 号线将简阳西部和南部的城市组团与成都天府国际机场紧密连接,但东部和北部的组团则显得较为松散。这些组团与成都天

府国际机场以及其他组团之间的联系需要进一步加强。因此,未来条件成熟时,可通过1条轨道交通环线将所有组团串联起来,并与成都天府国际机场航站楼前的交通中心及成渝高速铁路简阳南站连接。这条环线将使简阳航空城更加紧凑高效,确保每个车站的乘客都能便捷进出机场。

5) 轨道交通环线上的每个车站和城市组团(见图4中的交通枢纽/轨道车站以及客流产业组团)都将形成新一轮的土地开发,即 TOD(以公共交通为导向的开发)。新的城市中心将被新建或重塑,并赋予不同的产业功能,形成文化、风景各异的城市景观。同时,通过规划这些 TOD 组团,利用车站周边地区的新城开发和旧城改造项目,筹集轨道交通环线的建设资金,实现其与运营费用的自平衡,从而推动城市的可持续发展。

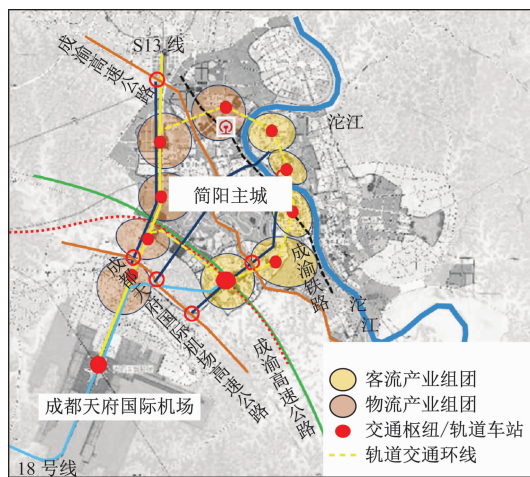


图4 简阳航空城规划建议方案

Fig.4 Jianyang Aviation City planning proposal

### 4 简阳航空城轨道交通环线的运输组织规划

轨道交通环线建成并投入运营后,航空城的公共交通出行量将大幅提升,经济、社会和生态环境也将得到改善。最重要的是,这条轨道交通环线将成都天府国际机场和简阳南站整合在一起。到达成都天府国际机场的旅客走出航站楼即可乘坐轨道交通环线前往简阳的各个城市组团;而从航空城各组团出发前往成都天府国际机场或高铁南站的旅客,则可在轨道交通环线的任一车站办理值机手续,使每个车站都成为城市航站楼。这相当于将成都天府国际机场航站楼的功能延伸至简阳的每个城市组团。

显然,这是一个多赢的方案。其难点在于如何将轨道交通环线引入成都天府国际机场。经初步研究,提出的主要概念方案为:轨道交通环线与 S13 线末端并轨运行。由于 S13 线在该区段运行频次较低,可利用空闲时段穿插环线列车运行。航空城轨道交通环线示意图见图 5。

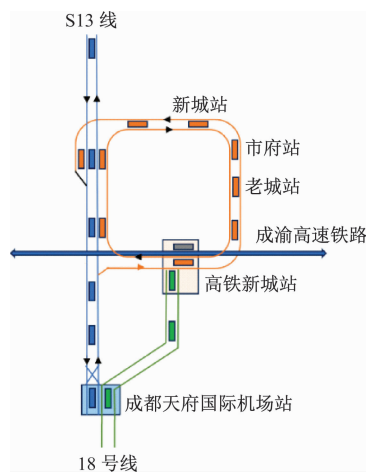


图 5 航空城轨道交通环线示意图

Fig. 5 Diagram of Aviation City rail transit ring line

由于 S13 线目前仍处于前期设计阶段,上述航空城轨道交通环线的实施在技术上并无太大难度,关键在于与 S13 线的投资建设方协调一致。对 S13 线的业主而言,轨道交通环线的实施仅增加少量工作量;但对简阳航空城的建设来说,却是创造历史的巨大成功,是一个投入少、效益极高的项目。

这条 P 字形轨道交通环线实现了成都天府国际机场与其临空区、高铁车站的一体化规划、建设和运营管理。成都天府国际机场与简阳各城市组团通过轨道交通环线连接,将打造出一个史无前例的航空城。假设在适当时机推出成都天府国际机场当日旅客可凭登机牌免费乘坐简阳轨道交通环线的政策,将会产生显著的社会经济效益。

## 5 简阳南站与空铁新城的功能定位

成都天府国际机场站是轨道交通环线最重要的核心车站,而另一个核心车站则是简阳南站。该车站汇聚了成渝高速铁路、18 号线、轨道交通环线及另一条城市轨道交通线路。未来,这里还将设置成都天府国际机场的城市航站楼,使乘坐成渝高速铁路、轨道交通环线、公共汽车或旅游巴士的航空旅客能够在此办理值机,随后乘坐 18 号线直达机场安检登机。综上所述,简阳南站集航空、高速铁路、

城市轨道交通和道路等多种交通方式于一体,其功能定位首先是一个空铁枢纽,空铁联运将成为该枢纽的突出功能。

同时,该空铁枢纽(见图 6)承担着进出成都天府国际机场、简阳以及成都市的门户功能,是一个典型的门户型综合交通枢纽。未来,这里将成为真正的成都东站和成都天府国际机场站。

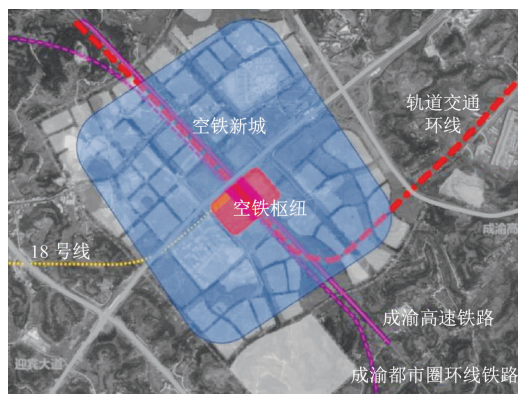


图 6 简阳航空城的空铁枢纽与空铁新城

Fig. 6 Air-rail hub and air-rail new city of Jianyang Aviation City

由于简阳南站的上述两大功能表现突出,其所在的城市组团将具有显著优势。该枢纽的功能更加综合,实际比成都天府国际机场更为便捷,将带动周边地区的城市发展和人口聚集,从而形成简阳航空城的 CBD(中央商务区)和 CAD(公共活动中心)。

显然,简阳南站所在的城市组团是简阳航空城最早的交通集聚地,也是经济社会发展最快、最早的组团。很快,这里将成为成都市东部的旅游集散中心,以及以成都天府国际机场和铁路为主体的各类交通方式工作人员和城市就业者的家园。它将发展成为一座典型的空铁新城,生活更加便利。从这个意义上讲,这座车站不应称为简阳南站,而应命名为成都天府国际机场站或空铁新城站。

总之,空铁新城的开发并非一般意义上的 TOD。如今,空铁新城的规划建设标志着简阳航空城建设的起点。待轨道交通环线建成投运后,简阳各城市组团将迎来新一轮的发展和升级。届时,空铁新城和空铁枢纽将成为简阳航空城的新高度、新窗口和新门户。

## 6 结语

简阳临空开发将形成两条临空产业链:商务人

流生活链和货运物流产业链。这两条产业链的开发将从空铁新城和物流新城的规划建设起步。然而,若没有轨道交通环线的规划建设跟进,新城建设只能算作普通的 TOD。只有建成轨道交通环线,才能真正称之为“简阳航空城”。

轨道交通环线越早建成越好,因为它决定了简阳临空开发水平的高度。有了轨道交通环线,简阳将成为世界一流的航空城;而没有轨道交通环线,简阳最多只能成为其他临空开发的跟随者,甚至可能难以跟上其他地区的发展步伐。

空铁新城是航空城规划建设的示范性项目。从该项目起步,简阳将逐步推进各组团和各枢纽的建设,最终回归空铁新城。届时,社会大众将发现空铁新城已发展到一个更高的境界:航空港、临空产业、城市(以下简称“港产城”)已融为一体。无论是现在还是未来,简阳各方努力的目标始终是对港产城一体化的不懈追求。港产城一体化不仅是简阳建设航空城的目标,更是其底线。

## 参考文献

- [1] 成都高新技术产业开发区管委会. 成都天府国际空港新城分区规划(2016—2035年)[R]. 成都:成都高新技术产业开发区管委会,2018.  
Management Committee of Chengdu High-tech Industrial Development Zone. Chengdu Tianfu International Airport New City zoning planning (2016—2035)[R]. Chengdu: Management Committee of Chengdu High-tech Industrial Development Zone, 2018.
- [2] 简阳市规划和自然资源局,简阳市自然资源规划编制研究中心. 简阳市国土空间总体规划(2021—2035年)[R]. 简阳:简阳市规划和自然资源局,2023.  
Jianyang Municipal Bureau of Planning and Natural Resources, Jianyang Natural Resources Planning and Preparation Research Center. Jianyang City land and space master plan (2021—2035)[R]. Jianyang: Jianyang Municipal Bureau of Planning and Natural Resources, 2023.
- [3] BERKERS M, BOSMA K, LINDERS J, et al. Megastructure Schiphol: design in spectacular simplicity[M]. Rotterdam: Nai010 Publishers, 2013.
- [4] 刘武君. 航空城规划[M]. 上海:上海科学技术出版社,2013.  
LIU Wujun. Aviation city planning[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2013.
- [5] 刘武君. 综合交通枢纽规划[M]. 上海:上海科学技术出版社,2015.  
LIU Wujun. Comprehensive transportation hub planning[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2015.
- [6] 日建设计站城一体开发研究会. 站城一体开发Ⅱ:TOD46的魅力[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,2019.  
Nikken Sekkei Station-city Integrated Development Research Committee. Integrated station-city development Ⅱ: 46 attractions of TOD[M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Publishing House, 2019.
- [7] 刘武君,顾承东. 打造交通极 成就桥头堡:珠海市公共交通发展战略研究[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2020.  
LIU Wujun, GU Chengdong. Building a bridgehead for traffic pole achievement: a study on the development strategy of public transportation in Zhuhai[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2020.
- [8] 李胜,唐炜. 双港驱动 海口腾飞:海口城市重大基础设施项目策划[M]. 上海:同济大学出版社,2020.  
LI Sheng, TANG Wei. Double port drive, Haikou takes off: planning of major infrastructure projects in Haikou City[M]. Shanghai: Tongji University Press, 2020.
- [9] 胡建忠,邢星,马世伟. 中小运能轨道交通系统的国际应用对上海虹桥国际中央商务区轨道交通规划的启示[J]. 城市轨道交通研究,2023,26(5): 157.  
HU Jianzhong, XING Xing, MA Shiwei. Enlightenment of medium-low capacity rail transit system application on Shanghai Hongqiao International CBD rail transit planning[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(5): 157.
- [10] 管娜娜,邓沈煦,谭月,等. 成都市轨道交通规划控制标准和管控要求[J]. 城市轨道交通研究,2023,26(12): 195.  
GUAN Nana, DENG Shenxu, TAN Yue, et al. Planning control standards and management requirements for Chengdu rail transit[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(12): 195.
- [11] 王宇. 上海市域(郊)铁路近远期线网规划的发展策略[J]. 城市轨道交通研究,2023,26(增刊2): 14.  
WANG Yu. Development strategy for short-to-long term Shanghai city (suburban) railway line network planning[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(S2): 14.
- [12] 黄江阳,李爱东,陈剑,等. 轨道交通市域快线快慢车运营模式方案研究[J]. 城市轨道交通研究,2023,26(1): 126.  
HUANG Jiangyang, LI Aidong, CHEN Jian, et al. Study on express/local train operation mode scheme of rail transit commuter express[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(1): 126.
- [13] 罗翔. “十四五”时期浦东临空地区发展战略思考[J]. 科学发展,2020(3): 28.  
LUO Xiang. Research on the development strategy of Pudong Airport area during the '14th Five-Year Plan' period[J]. Scientific Development, 2020(3): 28.
- [14] 周杰. 智慧城市轨道交通发展模型的构建及其发展趋势探讨[J]. 城市轨道交通研究,2023,26(6): 7.  
ZHOU Jie. Construction of smart urban rail transit development model and development trend[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(6): 7.
- [15] 周宜诺,杨家文. 微观权力视角下交通商业综合体的空间生产:以广州新塘站-凯达尔交通商业综合体为例[J]. 城市轨道交通研究,2023,26(9): 165.



- ZHOU Yinuo, YANG Jiawen. Space production of transportation and commercial complex from micro-power perspective: the case of Guangzhou Xintang Station-kaidar international TOD centre [J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(9): 165.
- [16] 彭子衿. 广州临空经济港产城融合发展策略分析[J]. 民航管理, 2023(7): 29.
- PENG Zijin. An analysis of the development strategy of Guangzhou airport economic port-industry-city integration[J]. Civil Aviation Management, 2023(7): 29.
- [17] 王巍. 从航空城看产业链发展[J]. 大飞机, 2019(1): 44.
- WANG Wei. Viewing the development of industrial chain from aviation city[J]. Jetliner, 2019(1): 44.
- [18] 王颖. 轨道交通引入国际机场综合交通枢纽实施案例分析[J]. 交通世界, 2024(增刊1): 17.
- WANG Ying. Case study on the introduction of rail transit into international airport comprehensive transportation hub [J]. TranspoWorld, 2024(S1): 17.
- [19] 何鸿杰, 陈先龙, 马小毅. 基于城市轨道交通指标与城市特征的二维城市分类模型[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(8): 22.
- HE Hongjie, CHEN Xianlong, MA Xiaoyi. Two-dimensional urban classification model based on urban rail transit indicators and urban characteristics [J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(8): 22.
- [20] 欧阳杰, 梁旭. 机场地区高铁站与机场轨道站双枢纽布局模式研究[J]. 铁道运输与经济, 2024, 46(1): 42.
- OUYANG Jie, LIANG Xu. Research on dual-hub layout mode of high speed railway station and airport rail station in airport area [J]. Railway Transport and Economy, 2024, 46(1): 42.
- [21] 冯社苗. 基于机场轨道交通快慢线共存的航空出发旅客选择行为研究[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(5): 289.
- FENG Shemiao. Research on passenger selection behavior of air departure based on the coexistence of fast and slow lines of airport rail transit[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(5): 289.
- [22] 张临辉, 陈龙, 凌宏伟, 等. 上海祝桥航空城交通发展模式 and 交通策略研究[J]. 交通运输部管理干部学院学报, 2016, 26(2): 32.
- ZHANG Linhui, CHEN Long, LING Hongwei, et al. Research on traffic development mode and traffic strategy of Shanghai Zhuchiao aviation city[J]. Journal of Transport Management Institute Ministry of Transport, 2016, 26(2): 32.
- [23] 于汝滨, 石修路, 林靖. 成都市域铁路竞争力提升策略研究[J]. 综合运输, 2023, 45(9): 165.
- YU Rubin, SHI Xiulu, LIN Jing. Research on the competitiveness promotion strategies of Chengdu suburban railway[J]. China Transportation Review, 2023, 45(9): 165.
- [24] 王超深, 赵炜, 冯田. 我国城市轨道交通与城市空间互动关系研究综述[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(5): 1.
- WANG Chaoshen, ZHAO Wei, FENG Tian. Review on urban rail transit and urban space interactive relationship in China[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(5): 1.
- 收稿日期:2024-12-10 修回日期:2025-02-14 出版日期:2025-06-10  
Received:2024-12-10 Revised:2025-02-14 Published:2025-06-10  
• 通信作者:刘武君,正高级工程师,748456841@qq.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4页)

- [10] 北京市规划和自然资源委员会. 2021 年度北京市轨道交通一体化实施评估[R]. 北京:北京市规划和自然资源委员会, 2023.
- Beijing Municipal Commission of Planning and Natural Resources. 2021 Implementation assessment of integrated rail transit in Beijing [R]. Beijing: Beijing Municipal Commission of Planning and Natural Resources, 2023.
- [11] 张笑天, 苏成成, 王治, 等. 大型商场对城市轨道交通进出站客流发生率的影响分析[J]. 城市轨道交通研究, 2025, 28(3): 45.
- ZHANG Xiaotian, SU Chengcheng, WANG Zhi, et al. Impact analysis of large shopping malls on inbound and outbound passenger flow rates at urban rail transit stations[J]. Urban Mass Transit, 2025, 28(3): 45.
- [12] 吴琼. 站城人一体化发展下铁路枢纽功能与客流需求分析[J]. 城市轨道交通研究, 2025, 28(1): 154.
- WU Qiong. Analysis of railway hub function and passenger flow demand under the integrated station-city-people development[J]. Urban Mass Transit, 2025, 28(1): 154.
- 收稿日期:2025-03-06 修回日期:2025-04-15 出版日期:2025-06-10  
Received:2025-03-06 Revised:2025-04-15 Published:2025-06-10  
• 通信作者:王婧,高级工程师,bjgydxwj@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