

文章编号: 1009-6000(2021)03-0084-07  
中图分类号: [U-9] 文献标识码: B  
doi: 10.3969/j.issn.1009-6000.2021.03.012

基金项目: 天津市自然科学基金“天津多模式公共交通体系与土地利用开发的协同技术研究”(16JCQNJC07600)。

作者简介: 杨佳璇, 天津大学建筑学院, 博士研究生;  
任利剑, 通信作者, 天津大学建筑学院, 副研究员;  
运迎霞, 天津大学建筑学院, 教授, 博士生导师。

# 有轨电车环线系统的功能定位与空间组织效应研究

## ——以巴黎为例

Functional Orientation and Spatial Organization of Tramway Loop System: A Case Study of Paris

杨佳璇 任利剑 运迎霞

YANG Jiaxuan REN Lijian YUN Yingxia

### 摘要:

在巴黎多层次城市轨道交通系统的视角下, 梳理巴黎有轨电车环线的特点和作用。通过定性和定量分析, 认为巴黎有轨电车环线的线网形态、修建时机、线网规模能很好地适应巴黎城市发展的阶段和要求, 具有轨道网络优化和城市空间重组的双重效应, 起到完善巴黎轨道交通网络, 疏散城市中心人口, 培育环形切向客流, 重组多极城市空间的作用。文章理性分析有轨电车在我国的发展前景, 总结了巴黎有轨电车环线对我国城市轨道交通建设的经验与启示。

### 关键词:

有轨电车; 城市轨道交通; 环线; 空间组织

**Abstract:** In view of the multi-level urban rail transit system of Paris, this article studies the characteristics and functions of Paris tramway circle lines. Through qualitative and quantitative analysis, the article concludes that the network form, construction time and network scale of Paris tramway circle lines could well adapt to the stages and requirements of Paris urban development, which also played the effective role in improving the Paris rail transit network form, dispelling the population in urban center, cultivating circular tangential passenger flow and reorganizing multi-level urban space. This article gives a rational analysis of the development prospects of tramway in China, and also summarizes the experience and inspiration of Paris tramway loop system on urban rail transit construction in China.

**Key words:** tramway; urban rail transit; circle lines; spatial organization

## 0 引言

现代有轨电车系统于 20 世纪末在欧洲兴起后得到广泛关注并迅速发展。特别是巴黎<sup>①</sup>有轨电车系统 (Tramway), 经过近 30 年的发展已成为继巴黎地铁 (Métro)、区域快铁 (RER) 和郊区铁路 (Transilien) 后巴黎第四大城市轨道交通系统。我国正处在城市轨道交通的高速发展期, 但有轨电车仍处于起步阶段。截至 2019 年底, 全国共计 40 个城市开通城市轨道交通并投入运营, 运营里程达到

6736.2km, 其中地铁占比 76.9%, 有轨电车仅占比 6.19%<sup>②</sup>。由于部分城市对轨道交通多层次、多系统、多制式的客观规律认识不足, 对欧美城市和中国城市在发展阶段和城市运作方面的差异性研究不够, 导致大部分有轨电车系统尚缺乏准确的功能定位, 规划建设也存在一定盲目性, 最终运营效果并不理想。

随着 2018 年国务院办公厅印发《关于进一步加强城市轨道交通规划建设管理的意见》(国办发〔2018〕52

号),积极引导城市向多层次轨道交通系统发展,有轨电车在我国具有广阔的发展前景。截至2019年底,全国近30个城市已开通或在建有轨电车线路<sup>②</sup>。巴黎有轨电车是世界上最有成功的有轨电车案例之一,在巴黎多层次轨道交通系统的视角下,有必要深入研究其特点和作用,进一步认识有轨电车环线系统在城市轨道交通中的功能定位和空间组织效应,理性分析并总结对我国有轨电车发展的经验和启示。

## 1 巴黎城市结构与轨道交通系统概述

### 1.1 多中心紧凑型城市结构

巴黎大区即法兰西岛(Île-de-France),是法国本土13个大区之一,以巴黎省为中心,下辖8个省,1276个市镇。整个法兰西岛可分为3个空间层次:巴黎省(75省),即环城大道以内区域,面积105.4km<sup>2</sup>,人口214.05万人;大巴黎(含近郊3省),面积814km<sup>2</sup>,人口679.63万人;法兰西岛(含远郊4省),面积12012km<sup>2</sup>,人口1221.34万人。巴黎大区是欧洲最重要的商业枢纽,也是欧洲人口最

稠密的地区,国内生产总值(GDP)排名欧洲第一。

20世纪60年代以前,巴黎是长期延续下的单中心地理空间城市结构,随着人口的快速膨胀,单中心城市的圈层式蔓延加剧。为了阻止城市的无节制蔓延,从1965年的巴黎地区土地利用总体规划(SDAURP)<sup>③</sup>开始,多中心城市结构的规划理念正式提出,并产生深远影响。通过大规模新城建设和放射状的交通网络组织,构建基于便捷公共交通体系的多中心城市空间结构。1976年的法兰西岛土地利用总体规划(SDAURIF)<sup>④</sup>明确提出通过区域快铁带动巴黎多中心及新城市群的发展。1977年到1999年,巴黎相继开通了5条联系新城与市中心的区域快铁,然而便捷的轴向交通联系一定程度上加剧了巴黎的强中心效应,多中心的发展目标并未实现。

进入20世纪90年代,巴黎多中心城市空间的建设重点包括重组近郊经济开发区、发展远郊新城及新城市化地区、补充和完善城市中心外围轨道交通网络等。在大巴黎范围内修建垂直于地铁和区域快铁的圆弧形有轨电车线路,以方便市郊之间的联

系,成功疏解了巴黎市中心的交通压力,多中心城市结构也初步形成。2008年和2013年的法兰西岛战略规划(SDRIF)<sup>⑤</sup>继续强调多层次的轨道与城市发展、集聚与平衡的都市区结构,增强各层级中心间的交通联系,旨在构建绿色可持续的多中心紧凑型城市空间格局。

### 1.2 多层次城市轨道交通系统

从1900年巴黎地铁1号线在巴黎世博会期间开通运行,巴黎城市轨道交通系统已经发展了近120年。这一阶段的社会发展、城市空间与轨道交通协调互动,形成今天典型的多中心紧凑型城市结构以及对应的多层次、多系统、多制式的轨道交通网络(表1)。

巴黎地铁重点开通阶段在1900—1971年,这一阶段有13条主线、2条支线陆续开通运行,总里程达到190km。巴黎地铁主要服务于环城大道以内及部分近郊区域,呈环形+放射状的网络结构,采用小站距、大运量、中高速度的标准,建立了巴黎市中心便捷的轨道交通体系。这一阶段的地铁网络对二战后人口激增带来的巴黎市中心发展失控,进行了空间优化和重组,轨道建设与城市发展仍然延续了单中心的城市空间结构。1965年的巴黎地区土地利用总体规划开始提出沿塞纳河、马恩河和卢瓦兹河河谷方向的城市扩展带建设5座新城,以应对巴黎市中心人口的日益膨胀和城市的无序蔓延。随即开始兴建区域快铁,在1977—1999年开通了5条线路,以缓解当时“机动化优先”带来的交通拥堵,加强新城与市中心的快速交通联系。区域快铁经由巴黎市中心的各个铁路枢纽向周边放射,服务大巴黎及法兰西岛部分区域。区域快铁侧重巴黎近郊、远郊各极核与市中心的长距离快速交通,站距较大,设站均衡,同时均穿越市中心,直接接驳地铁线路,更方便巴黎3个层次城市空间之间的轴向交通联系。

随着巴黎外围的新城、开发区发展日益成熟,连接外围各次级中心的切向客流需求逐渐增大。然而,切向

表1 巴黎城市轨道交通系统重点开通阶段表

巴黎地铁	1900—1971年			
区域快铁		1977—1999年		
有轨电车			1992—2023年	
大巴黎快线				2020—2030年

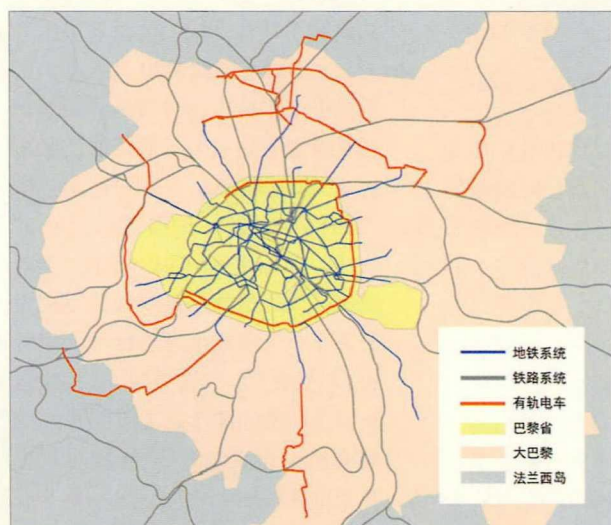


图1 巴黎多层次轨道交通系统现状图

注:根据法兰西岛运输联合会STIF开放数据自绘。

表2 巴黎有轨电车系统信息汇总表

代码	开通时间/年	最后拓展/年	标识	长度/km	平均站距/m	站点数量/个	年客流量/百万人次	类型	运营主体	备注
T1	1992	2012	①	17.2	478	36	65	环线	RATP	
T2	1997	2012	②	17.8	742	24	58	环线	RATP	
T3a	2006	2012	③a	13.0	520	25	66	环线	RATP	
T3b	2012	2018	③b	13.8	531	18	38	环线	RATP	
T4	2006	—	④	7.8	709	11	10	环线	SNCF	
T5	2013	—	⑤	6.5	406	16	16	常规	RATP	
T6	2014	2016	⑥	13.9	662	21	16	环线	RATP	
T7	2013	—	⑦	10.9	606	18	8	常规	RATP	
T8	2014	—	⑧	8.1	476	17	17	环线	RATP	
T9	2020	—	⑨	—	—	—	—	常规	RATP	在建
T10	2021	—	⑩	—	—	—	—	环线	RATP	在建
T11	2017	2023	⑪	10.6	1514	7	—	环线	SNCF	一期开通, 快线
T12	—	—	⑫	—	—	—	—	环线	SNCF	规划, 快线
T13	—	—	⑬	—	—	—	—	环线	SNCF	规划, 快线
总计	—	—	—	119.6	595	201	294	—	—	—

数据来源: 根据2019年巴黎大众运输公司 (RATP)、法国国家铁路公司 (SNCF) 开放数据整理。

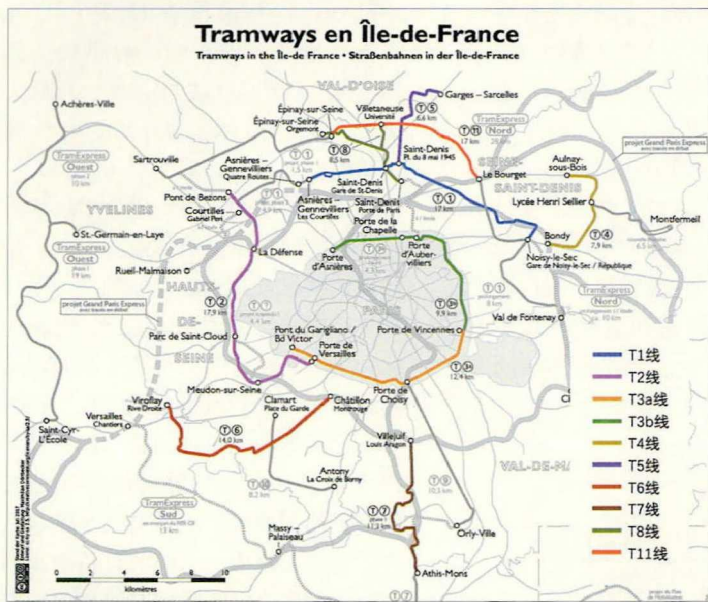


图2 巴黎有轨电车站网分布图

注: 根据法兰西岛运输联合会STIF开放数据改绘。

轨道交通线路的缺失导致切向客流必须经由市中心, 进一步加剧了巴黎市中心的交通压力, 一定程度上加速了城市的蔓延, 多中心城市结构仍未形成。从1990年代开始, 巴黎轨道交通的建设重点放在了与轴向轨道交通线路垂直的切向线路上, 旨在完善整个巴黎的城市轨道交通网络, 疏解巴黎市中心的交通压力。1992年至今, 巴黎现代有轨电车已陆续开通了10条线路, 服务于巴黎环城大道沿线及近郊圈层, 大部分为垂直于地铁和区

域快铁的圆弧形线路。有轨电车环线填补了巴黎城市轨道交通切向线路的空白, 不仅加强了近郊各极核的联系, 也带动了沿线及大巴黎地区的多中心城市发展。目前, 有轨电车环线系统客流稳步快速增长, 客运量持续增加, 5条线路还在建设或规划中, 预计将持续至2025年(图1)。

巴黎有轨电车环线为巴黎多中心紧凑型的城市结构培育了稳定的客流, 带动了沿线多中心城市发展。2008年, 巴黎从国家层面实施“大

巴黎计划”(Paris Métropole), 在有轨电车环线的基础上, 建设大巴黎快线(Grand Paris Express), 继续加强并优化多中心城市空间的拓展, 实现内外平衡、相互编织的多中心城市格局。大巴黎快线定位为服务大巴黎区域的干线环形地铁系统, 采用大运量、高速度、自动化的标准, 预计2020—2030年陆续开通4条线路, 组成“8”字形双环线系统。

## 2 巴黎有轨电车环线特征分析

截至2019年底, 巴黎有轨电车系统已运行10条线路, 运营里程119.6km, 共201个站点, 其中8条线路属于环线系统, 运营效果十分显著, 年客流量达29400万人次。巴黎有轨电车系统可细分为两种制式, 一种是常规有轨电车, 服务于巴黎市边缘及近郊地区, 采用中运量、中速度的标准; 另一种制式是有轨电车快线(Tram Express), 目前只运行一条T11线, 另外两条快线还在建设中, 服务于更外圈层的环形区域, 里程更长, 站距更大, 速度更快, 采用中运量、较快速度的标准(表2)。下面总结巴黎有轨电车系统近30年成功运行的几个重要特征。

### 2.1 多重切向组合环线

从线网形态上分析, 巴黎有轨电

车环线，并不是独立闭合的环形线路，而是在巴黎环城大道及近郊，呈不同半径分布的多重圆弧线路(图2)。“圆弧”距市中心4~12km之间，线路长度在6.5~17.8km之间，服务于不同圈层的近郊地带。“圆弧”根据不同近郊极核的功能定位和客流需求，灵活布局，客流方向以垂直于地铁和区域快铁的切向客流为主。多重圆弧形有轨电车线路与其他轨道交通线路接轨，形成环巴黎地区的组合环线系统。巴黎有轨电车环线并不是自成网络，而是衔接巴黎各层次轨道交通系统的重要纽带。

## 2.2 准确把握修建时机

巴黎有轨电车环线于20世纪70年代开始谋划，并于1983年由法兰西岛城市化治理研究院正式提出建设方案。这一时期全球经济一体化进程加快，巴黎的城市发展也开始加速扩张，强调不同层次城市极核特别是外围新城在城市职能、空间布局以及区位关系上的均衡发展及协作，通过建设外围新城和放射状的交通网络，构建基于便捷公共交通体系的多中心城市空间结构。从整个轨道交通网络发展来看，巴黎有轨电车环线的修建时机正处在巴黎郊区放射状的区域快铁轴向结构明显，交通量趋于饱和，但与轴向线路垂直方向，即郊区切向方向缺少轨道交通支撑，道路拥堵问题日益严重，郊区之间联系并不便利的时间点上。

所以从修建时机上分析，首先是问题导向，有轨电车环线的建设可以解决巴黎近郊区日益严重的交通拥堵；其次是需求导向，满足了巴黎加速扩张阶段向多中心城市结构发展的需求；最后结合经济导向，有轨电车环线具有高运量、低成本、环保节能

等优点，能更好地适应起步阶段的客流不足，降低环线系统的初期建设成本。自建成以来所有线路客流均稳步高速增长，也为下一阶段的干线、环线建设培育了客流。

## 2.3 非独立运行的线网

从功能定位上分析，巴黎有轨电车环线不是独立运行的轨道系统，而是作为补充网络，在巴黎市区外围的切向型客运走廊上接驳地铁、区域快铁等干线轨道交通线路，以完善整个巴黎的城市轨道交通网络。例如有轨电车T3a线，全程13km，站点25个，平均站距520m，年客流量6600万人次，是客流量最大的线路。T3a线全程与区域快铁C线、B线，地铁M8、M12、M13、M4、M7、M14、M1线，以及有轨电车T2、T3b线接驳(图3)。同时，接驳更多的干线轨道交通线路，也给有轨电车环线提供足够的客流供给，以保障客流规模，达到一定的经济效益。

## 3 巴黎有轨电车环线的空间组织效应

在巴黎多中心紧凑型城市空间结构及对应的多层次城市轨道交通系统的背景下，进一步研究有轨电车环线的空间组织效应。认为巴黎有轨电车环线在轨道网络优化和城市空间重组方面具有双重空间组织效应。在轨道网络优化方面，起到完善轨道交通网络、培育环形切向客流的作用；在城市空间重组方面，起到疏解城市中心人口、重组多极城市空间的作用。

### 3.1 完善轨道交通网络

在未建设有轨电车环线以前，大巴黎的轨道交通主要为轴向的区域快铁，导致郊区到市区的向心型客流、郊区到郊区的切向型客流以及郊区穿

市区到郊区的穿心型客流都会对巴黎市中心造成交通压力。巴黎有轨电车的建设，在大巴黎范围内填补了环形轨道线路的空白，完善了法兰西岛城市轨道交通系统的网络结构(图3)。

首先，有轨电车环线的建设可以满足巴黎市区外围区域之间日益增加的切向型客流需求，例如T2线串联了拉德芳斯商务区(La Défense)和凡尔赛门(Porte de Versailles)两个巴黎重要的就业中心，方便沿线居住的通勤客流。环形+放射形的快速轨道交通网可以提高市区外围之间的联系效率，为巴黎多中心的发展提供了可能性。其次，有轨电车环线通过接驳其他轴向线路，可以有效疏解向心型和穿心型客流，降低市中心换乘压力，缩短绕行距离。最后，通过有轨电车环线，还可以调节其他放射线路的客流分布，提高整体轨道交通网络的通行效率。

### 3.2 培育环形切向客流

由于巴黎有轨电车修建时机、线网形态都与巴黎城市发展相适应，并且线路无需自成网络，而是与地铁、区域快铁和郊区铁路接驳运行，客流一直处于稳定高速增长状态。例如T2线串联了拉德芳斯商务区，开通不久日客流量就超过预期出现饱和，巴黎大众运输公司为此加长了电车长度和月台长度以提高运力。T3a线串联了7条地铁线、3条区域快铁线、2条有轨电车线，日均客流11.2万人次，2017年客流6600万人次，是欧洲客流量最高的有轨电车线路之一。巴黎有轨电车系统(不含T11线)9条线路在2017年客流总量达29400万人次，其中T1线6500万人次，T2线5800万人次，T3a线6600万人次，T3b线3800万人次。

对比巴黎地铁系统、铁路系统(包含区域快铁和郊区铁路)和有轨电车系统18年的客流量数据(图4)，地铁系统和铁路系统占主导，但客流相对稳定，增长率较低。有轨电车系统的年客流量，从2000年的2450万人次增长到2017年的29400万人次，

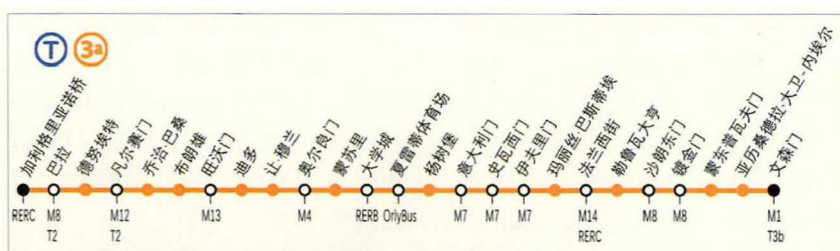


图3 有轨电车T3a线站点及换乘信息图

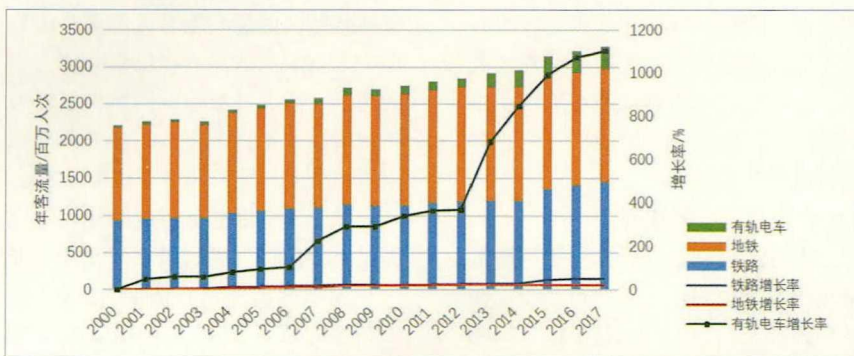


图4 巴黎有轨电车客流情况分析图 (2000—2017年)

注：根据法兰西岛运输联合会STIF开放数据绘制。

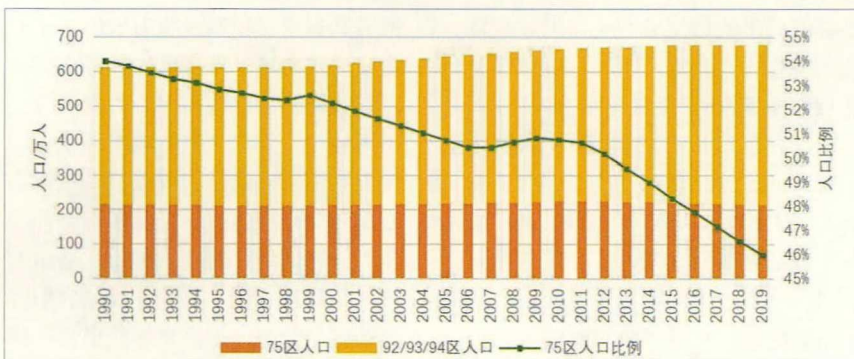


图5 大巴黎地区历年人口分布图

注：根据法国国家统计局Insee人口普查数据整理绘制。

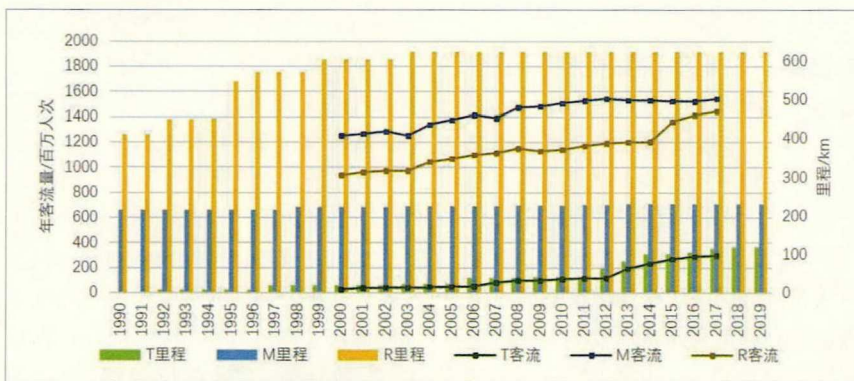


图6 大巴黎地区历年轨道交通系统里程及客流图

注：根据法国国家统计局Insee开放数据整理绘制。

翻了12倍。有轨电车系统的年客流量占整个轨道交通系统客流的比重也从2000年的1.12%增长到2017年的9.86%。

巴黎有轨电车环线，串联轴向轨道交通干线，完善了整个巴黎轨道交通网络，稳定了巴黎市区外围大巴黎范围内的环形切向客流，为未来大巴黎快线的开通积极培育了客流，同时也带动了大巴黎区域多中心紧凑的城市发展。

### 3.3 疏解城市中心人口

进一步探究有轨电车环线对巴黎

疏解城市中心人口的作用，收集整理了1990年至2019年30年大巴黎范围内各类轨道交通系统的里程、客流、线路、站点数据，以及巴黎省及近郊3省的人口数据和经济数据。通过对巴黎省（75区）、近郊3省（92、93、94区）人口数据的分析，发现1990年至今，整个大巴黎地区呈现相对平稳增长的态势，人口净增长66.47万人；而巴黎省人口小幅波动，不同阶段呈现流入或流出的态势，总体净减少0.96万人。为了客观反映1990年以来大巴黎地区的人口流动情况，选

取巴黎省占大巴黎地区的人口比例作为人口疏解指标，可以发现巴黎省的人口疏解趋势明显（图5）。

而这一阶段也是巴黎有轨电车系统的重点建设期。分析有轨电车、地铁和区域快铁的里程和客流数据，可以发现1990年以来，巴黎地铁系统没有再进行大规模建设，地铁客流也相对平稳；1999年以来，区域快铁的建设也进入停滞期，但客流增长比较明显，符合近郊3省人口增长的实际情况；2006年以来，有轨电车运营里程加速增长，随之客流也大幅度增长（图6）。可以认为30年以来，服务于大巴黎范围内的有轨电车和区域快铁系统对城市中心人口的疏解起到巨大的作用。

选取巴黎省人口比例作为因变量（ $y$ ），有轨电车里程（ $x_1$ ）、地铁里程（ $x_2$ ）、区域快铁里程（ $x_3$ ）、大巴黎人口（ $x_4$ ）作为自变量，进行多元线性回归分析。得出标准化后的回归模型： $y = -0.7788x_1 + 0.1659x_2 - 0.2455x_3 - 0.2017x_4$ 。有轨电车里程（ $x_1$ ）的偏回归系数最大，表示有轨电车里程对巴黎省人口比例影响最大，其次是区域快铁里程（ $x_3$ ），这是由于区域快铁服务的范围为整个法兰西岛，且均为放射状的线路，对巴黎市中心的人口疏解作用有限。

再对回归方程和回归系数进行假设检验。方差分析检验结果显示模型的F值为137.20n+4，P-value<2.2e-16，故回归模型是有意义的。t检验结果显示， $x_2$ 和 $x_4$ 的偏回归系数的P值均大于0.001，可以认为地铁里程（ $x_2$ ）和大巴黎人口（ $x_4$ ）对巴黎省人口比例（ $y$ ）均没有显著影响，这是由于地铁服务于巴黎省内部，在近郊3省缺少环线联系，且1990年以来基本没有变化，无法起到疏解城市中心的作用；而大巴黎人口（ $x_4$ ）不显著说明大巴黎人口的变化与巴黎省的人口比例不存在依存关系，更印证了选取巴黎省人口比例作为人口疏解指标的准确性。

最后通过逐步筛选法剔除不显

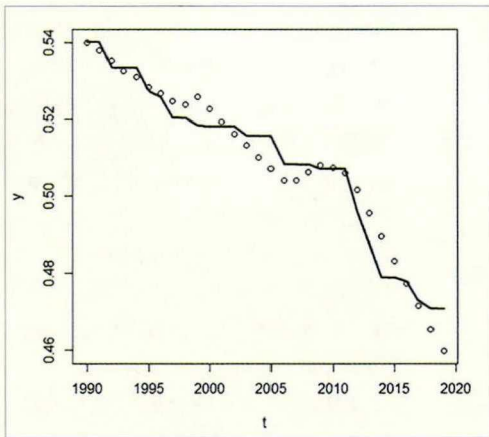


图7 回归模型拟合图

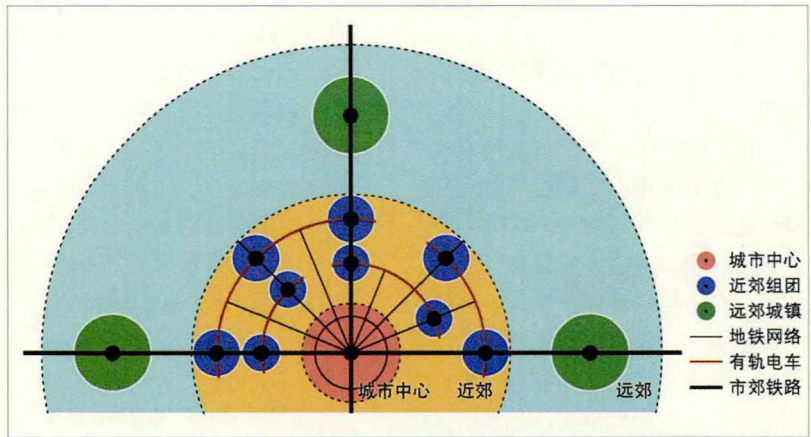


图8 多层次城市轨道交通下的有轨电车环线布局模式图

著的变量，得出最终的回归模型： $y=0.566368-0.000466x_1-0.000064x_3$ 。利用该回归模型计算出的巴黎省人口比例与历史巴黎省人口比例做出折线图（图7），拟合度较好。从回归模型的运行结果来看，1990年以来，巴黎省人口占大巴黎地区的比例下降趋势明显，体现出巴黎市中心的人口疏解效果明显，对有轨电里程的依存度非常高，是区域快铁的4倍以上。尽管巴黎的人口疏解是都市圈的发展阶段、多中心的空间格局、产业结构等诸多因素共同作用的结果，但不可否认巴黎有轨电车环线系统对疏解巴黎市中心人口具有非常显著的作用。

### 3.4 重组多极城市空间

巴黎有轨电车环线通过与其他轨道交通线路网络化运行，可以重组巴黎多极平衡的城市空间结构，控制巴黎的“单中心化”。在有轨电车环线服务的圈层，强化了拉德芳斯、伊纳河畔伊夫里（Ivry-sur-Seine）、凡尔泰瓦尔（Val de Fontenay）、塞纳河（Val de Seine）、博比尼（Bobigny）、圣丹尼（St-Denis）、勒布尔歌（Le Bourget）等巴黎近郊的城市副中心、近郊城市极核、新城等多极中心的发展。同时也带动了以巴黎省为核心的整个近郊圈层的城市高度发展，强化了各级中心的地位和职能在大巴黎整体城市结构中承担的作用，提高了各级中心空间分布的均衡性。

巴黎在向更深层次多中心发展的同时，也会反过来促进城市新圈层和

新环线的建设。2009年“大巴黎计划”提出巴黎区域多中心结构要逐渐向多中心紧凑型的空间结构转化，重组和复兴城市发展极核，强化地区经济发展组团。2013年的法兰西岛战略规划明确提出加强环形轨道交通线路建设，旨在通过多样化和层次化的交通系统强化次级中心空间结构布局。大巴黎快线在有轨电车环线圈层的基础上，联系了拉德芳斯商务区、萨克雷高原科研发展区（Plateau de Saclay）以及区域的两大主要机场，加强了近郊之间的通勤联系，实现了主要的机场、区域性战略节点互联互通的战略构想。有轨电车环线和大巴黎快线将会增加各次级中心间的联系，使多中心结构更加紧凑。巴黎近郊区的一些增长极也会通过环形轨道交通的配置，增强之间的联系。

## 4 对我国的启示

### 4.1 有轨电车环线宜服务于大都市区<sup>①</sup>近郊

我国大城市正处于由单中心城市向多中心都市区发展的初期，大都市区的空间组织多以轨道交通为主要支撑。有轨电车环线作为轨道交通系统的重要组成，在我国更适用于多层次轨道交通网络已初步成形的大都市区近郊。因为我国大城市中心区道路资源相对紧张，道路交通组织复杂，拥堵现象比较严重，在中心区内部布局有轨电车环线，运速过慢，不利于疏解城市交通。大都市区近郊本身轨道

交通线路覆盖密度较低，且线路多为轴向于城市中心方向，切向客流方向轨道线路较为缺失。在大都市区近郊布局有轨电车环线，可以串联城市中心外围的居住区、产业区、高校等近郊功能组团，有效疏解城市中心人口，强化大都市区多中心的城市空间结构（图8）。

### 4.2 有轨电车环线应作为多层次轨道交通网的重要补充

在多层次城市轨道交通的背景下，有轨电车不宜自成系统独立运行，而是作为重要的补充网络在城市中心外围呈环线运行，以接驳和补充干线轨道交通网络，完善整个多层次轨道交通的网络化运行。有轨电车环线应避免与干线轨道交通线路近距离平行布局，而是选择与轴向轨道交通干线垂直的切向方向，并接驳至少2条干线轨道线路，且串联就业、居住及公共服务等客流中心，以保障足够的客流量。例如北京地铁系统，处于多层次轨道交通发展初期，线网结构以放射状的长距离地铁线路为主，特别是联系近郊组团的房山线、大兴线、亦庄线、八通线等郊区线路，多强调与市中心的轨道联系，而郊区组团之间的轨道联系全部需要经由三环和四环之间的地铁10号线来完成，交通压力过大。可以考虑在五环和六环区域联系紧密的近郊组团之间灵活补充有轨电车环线，以加强近郊之间的交通联系，同时接驳其他轴向线路和郊区线路，优化轨道交通网络，疏解10号

线的交通压力。

### 4.3 有轨电车环线需满足苛刻的技术要求

尽管有轨电车环线系统具有轨道网络优化和城市空间重组的双重空间组织效应,但其相对苛刻的技术要求仍不可忽视。首先,应以半独立路权为主,在道路平交口采取信号优先和限速措施,独立路权路段比例在50%以上。高比例的独立路权可以维持较高的运速,安全性也更高。其次,控制实际建设成本,理性选择轮轨、低地板、站台、闸机等建设标准,发挥有轨电车的成本优势。再次,客流走廊应满足中运量的要求,一方面要充分接驳其他轨道交通及公交线网,另一方面也要减少与线路平行的公交线路,加密与线路相交的线路,提供喂给客流。建议运能水平为0.5万~1.0万人次/h,运速不宜低于20km/h,车辆编组可采用大编组,站距设置接近与地面公交的要求。最后,考虑有轨电车线路具有一列车故障,整条线路会受影响的问题,应避免线路过长,长度应控制在20km以内,运行时间不宜超过1h。

## 5 结论

巴黎有轨电车环线系统经过30年的运营,已成为全世界最成功的有轨电车案例之一。在巴黎多层次轨道交通系统的视角下,通过定性和定量分析,将有轨电车环线定位为城市外围干线轨道交通的环形切向补充网络,其线网形态、修建时机、线网规模能很好适应巴黎城市发展的阶段和要求,具有轨道网络优化和城市空间重组的双重空间组织效应,起到完善巴黎轨道交通网络,疏解城市中心人口,培育环形切向客流,重组多极城市空间的作用。我国目前很多大城市正处于多层次轨道交通系统和多中心都市区空间结构的发展初期,与巴黎有轨电车环线的发展背景和建设时机相类似。通过进一步探究有轨电车环线系统在城市轨道交通中的功能定位和空间组织效应,理性分析并总结对我国的

启示,认为我国发展有轨电车环线系统,必须综合考虑建设成本、运营管理、客运能力,并与城市发展和轨道交通建设相协调。本研究侧重于宏观的轨道交通系统和城市空间结构,在有轨电车环线的车道布设、车站设计、车辆编组、运量运力等方面仍有研究和探索的空间。

### 注释:

- ①本文所述“巴黎”,指巴黎大区,即法兰西岛。
- ②数据来源于中国城市轨道交通协会发布的《城市轨道交通2019年度统计和分析报告》。
- ③法文名称为 Le schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme de la région de Paris de 1965 (SDAURP)。
- ④法文名称为 Le schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme de la région d'Île-de-France de 1976 (SDAURIF)。
- ⑤法文名称分别为 Le Schéma directeur de la région Île-de-France de 2008 (SDRIF)、Le Schéma directeur de la région Île-de-France de 2013 (SDRIF)。
- ⑥在我国当前学术界对于大都市区的认识存在较大分歧,本文“大都市区”即为城市功能区域概念,空间尺度小于传统认识中的都市圈概念,是都市连连区的基本构成单元。

### 参考文献:

- [1] 顾保南,杨照,徐雷,等.1997—2017年中国城市轨道交通发展统计分析[J].城市轨道交通研究,2018,21(5):85—89.
- [2] 杨珂.都市圈多层次轨道交通系统规划研究[D].北京:北京交通大学,2017.
- [3] 黄忆波.巴黎有轨电车发展情况与经验[J].交通与港航,2017,4(1):36—38.
- [4] 陈建滨.后京都时代大巴黎地区多中心结构规划浅析[C]//中国城市规划学会、沈阳市人民政府.规划60年:成就与挑战——2016中国城市规划年会论文集(09城市总体规划).2016:14.
- [5] 吴育芬.巴黎大区城市空间与轨道交通网发展的关系分析[J].城市轨道交通研究,2014,17(6):4—10.
- [6] 陈洋.巴黎大区2030战略规划解读[J].上海经济,2015(8):38—45.
- [7] 李道勇,运迎霞,任晶晶.多中心视角下大都市区轨道交通与新城的协调发展:

巴黎相关建设经验与启示[J].城市发展研究,2013,20(11):81—86,106.

- [8] 任利剑,运迎霞,权海源.基于“节点—场所模型”的城市轨道站点类型及其特征研究:新加坡的实证分析与经验启示[J].国际城市规划,2016(1):109—116.
- [9] 杨佳璇.城市轨道交通站点接驳体系时空效率研究[D].天津:天津大学,2015.
- [10] 任利剑.城市轨道交通系统与城市功能组织协调发展研究[D].天津:天津大学,2014.
- [11] 崔异,施路.法国现代有轨电车的线网布局[J].都市快铁交通,2014,27(2):126—131.
- [12] 管海波,过秀成,杨洁.现代有轨电车应用模式及地区适用性研究[J].城市轨道交通研究,2009,12(2):46—49.
- [13] 沈景炎.我国现代有轨电车的发展、标准与规划探讨[J].都市快铁交通,2015,28(6):6—11.
- [14] 薛美根,杨立峰,程杰.现代有轨电车主要特征与国内外发展研究[J].城市轨道交通,2008,6(6):88—91,96.
- [15] 国务院办公厅.关于进一步加强城市轨道交通规划建设管理的意见[Z].国办发〔2018〕52号.
- [16] 中国城市轨道交通协会.城市轨道交通2017年度统计和分析报告[R].中国城市轨道交通协会信息,2018.
- [17] SOPHIE L, YOUSSEF D. Tramways in France—born again for urbanism[J]. Nova terra connected cities, 2007(2):22.
- [18] LUDOVIC H. The polycentric city region that never was: the Paris agglomeration, bassin Parisien and spatial planning strategies in France[J]. Built environment, 2006, 32(2):185—193.
- [19] Île-de-France. Défis, projet spatial régional et objectifs[R]. Île-de-France 2030, 2013:58—61.
- [20] IAU Île-de-France. Chiffres-clés de la région Île-de-France 2018[R]. 2018:10—46.
- [21] IAU Île-de-France. Comparaison de réseaux mass transit francilien et internationaux[R]. 2018:63—65.