文章编号：1003-1421(2026)03-0068-12
引用格式：武飞，夏海山，刘晓彤，等. 东京都市圈多层级轨道交通网络演化机制及结构优化研究[J]. 铁道运输与经济，2026，48(3)：68-79.
WU Fei，XIA Haishan，LIU Xiaotong，et al. Evolutionary Mechanisms and Structural Optimization of Multi-Level Metropolitan Rail Transit Networks in Tokyo Metropolitan Area[J]. Railway Transport and Economy，2026，48(3)：68-79.

东京都市圈多层级轨道交通网络演化机制及结构优化研究

武　飞[1]，夏海山[2]，刘晓彤[2]，曾　琪[1]

(1.澳门城市大学 城市与可持续发展研究院，澳门　999078；2.北京交通大学 建筑与艺术学院，北京　100044)

摘　要：我国都市圈轨道交通在快速扩张过程中，面临网络结构失衡、圈层衔接断裂及协同效率不高的挑战，亟需借鉴成熟都市圈轨道网络的演化规律，构建契合国情的结构优化框架。通过以东京都市圈为例，构建“结构-功能-节点-圈层”分析框架，揭示轨道网络的演化路径及其在空间秩序重塑中的作用机制。研究发现，东京轨道交通通过“放射-环状-耦合”拓扑演化，形成强空间引导力的复杂网络；不同轨道系统在空间尺度与功能定位上分层互补，匹配各圈层通勤需求；交通节点沿“结构生长-功能嵌套-等级演进”路径，形成复合型空间单元；交通网络与都市圈空间结构呈渐进式适配，支撑边界拓展与功能优化。针对我国现状，应以构建层级耦合拓扑结构为核心，明确各层级轨道系统职能边界，强化复合节点等级体系，完善轨道交通-空间圈层适配结构，推动网络从覆盖主导转向结构协同，实现都市圈空间秩序优化。

关键词：都市圈；轨道交通网络；网络演化；空间结构；东京都市圈
中图分类号：U113　　**文献标识码**：A　　**DOI**：10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.20250818003

Evolutionary Mechanisms and Structural Optimization of Multi-Level Metropolitan Rail Transit Networks in Tokyo Metropolitan Area

WU Fei[1]，XIA Haishan[2]，LIU Xiaotong[2]，ZENG Qi[1]

(1. Institute of Urban and Sustainable Development, City University of Macau, Macau 999078, China;
2. School of Architecture and Design, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: During the rapid expansion of metropolitan rail transit in China, persistent challenges have emerged, including structural imbalances in networks, disconnections between spatial circles, and low coordination efficiency. It is therefore imperative to draw on the evolutionary patterns of mature rail networks to develop a structural optimization framework tailored to national conditions. Taking the Tokyo Metropolitan Area as a case study, this paper constructed a “structure-function-node-circle layer” analytical framework to reveal the evolutionary trajectory of the rail network and its role in reshaping spatial order. Results indicate that Tokyo’s rail transit has undergone a topological

收稿日期：2025-08-18
通信作者：夏海山(1969—)，男，北京人，北京交通大学建筑与艺术学院教授。
基金项目：国家自然科学基金项目(52578054，52078027)；住房和城乡建设部科学计划项目(2022-K-010)

evolution characterized by a “radial-ring-coupling” pattern, forming a complex network with strong spatial guidance. Different rail systems operate in a hierarchically complementary manner across spatial scales and functional orientations, effectively meeting commuting demands at various circle layers. Transport nodes evolve along a “structural growth-functional nesting-hierarchical advancement” pathway, gradually developing into composite spatial units. The rail network and the metropolitan spatial structure exhibit progressive adaptation, supporting both spatial expansion and functional optimization. For China, the strategic focus should be on establishing a hierarchically coupled topological network, clarifying the functional boundaries of each rail system, strengthening the hierarchical system of composite nodes, and improving the alignment between rail transit and spatial circle structures. This will facilitate a transition from coverage-oriented development to structurally coordinated growth, thereby optimizing the spatial order of metropolitan areas.

Keywords: Metropolitan Area; Rail Transit Network; Network Evolution; Spatial Structure; Tokyo Metropolitan Area

0　引言

伴随我国都市圈一体化进程加快，轨道交通正深度嵌入城市结构演化与区域空间治理，成为重塑空间秩序的核心要素。2025年7月中央城市工作会议提出，要优化现代化城市体系，发展组团式、网络化的现代化城市群和都市圈，坚持人口、产业、城镇、交通一体规划，优化城市空间结构。在此背景下，大运量、便捷化的公共交通被视为实现跨组团、跨城市高效通勤与空间要素流动的关键支撑。轨道交通不仅是出行通道，更通过网络形态与结构特征影响都市圈的空间格局，其作用发挥依赖于网络布局、节点体系与圈层协同的高度契合。

目前，我国多数都市圈轨道交通在快速扩张过程中暴露出层级体系模糊、网络结构失衡、节点功能单一、圈层衔接断裂等结构性挑战，导致交通网络效率与区域协调发展双重受限。例如，上海都市圈核心区地铁密度高，但外围昆山、嘉兴等区域覆盖不足，跨行政区(跨市)线路运能与频次偏低，通勤效率受限。广州都市圈广佛肇铁路(广州—肇庆)与广佛线(新城东—沥滘)对佛山重点区域覆盖有限，枢纽节点未接入两市中心区，地铁、城际铁路、高速铁路之间缺乏一体化衔接，导致换乘路径复杂。深圳都市圈广深高速铁路(广州—深圳)与穗莞深城际铁路(广州新塘—深圳机场)覆盖东莞有限，且与地铁衔接薄弱。这些现象反映了都市圈轨道系统建设中，面临的系统结构失衡与协同失效困境。

在此背景下，轨道交通与城市圈层空间的耦合失衡问题日益受到关注。现有研究从轨道交通可达性与弹性指标揭示了都市圈中心-边缘结构的通勤能力差异[1-2]，并通过等时圈分析与职住耦合建模反映边缘圈层轨道服务功能[3-4]；部分研究总结了多层轨道网络与城市空间结构之间的协同模式，强调轨道系统对城市扩展与职能分布的引导作用[5]；同时探讨了巴黎、东京、伦敦等国际都市圈多层轨道融合的经验路径[6]。然而，这些研究多停留在静态的横截面特征描述，缺乏对轨道网络演化过程及其对圈层空间结构塑造路径的系统剖析；且多聚焦地铁网络，忽视都市圈尺度下多轨道系统的协同机制与演化动力，更未构建“演化机制识别-结构问题诊断-优化路径构建”的完整框架。

针对上述问题，亟需借鉴成熟都市圈轨道网络的演化规律，探究多层级体系在空间秩序构建中的结构协同与组织机制。东京都市圈轨道交通系统历经百余年的演变，形成了多系统协同与空间结构治理深度融合的高效复杂网络。以东京为对象，构建涵盖“结构-功能-节点-圈层”的四维分析框架，探究轨道网络和空间组织的协同演化机制。通过梳理轨道网络的演化历程与空间特性，揭示其拓扑生成、系统分异、节点分化与圈层适配的结构逻辑，提出适用于我国都市圈轨道网络与空间结构协同优化的路径。

1　东京都市圈轨道网络的阶段性演进特征

东京都市圈轨道网络的百年演化并非线性扩

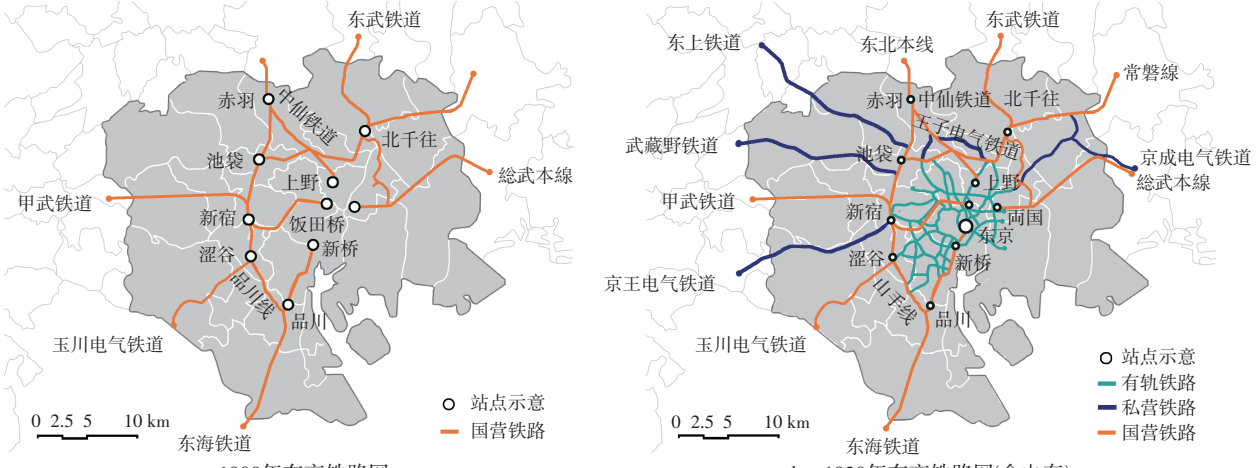
张，而是在城市功能与空间结构重构的驱动下，历经从单一放射到多中心、从分层拼接到系统融合的演进过程。在此过程中，轨道系统层级愈加清晰，节点体系不断完善，实现了从局部通达向整体统筹、从功能叠加向机制协同的转变。

1.1　单一拓扑期(1920年以前)："点-线"式空间原型形成

日本在明治维新(1868年)后产业集中，首都东京快速扩张。人口持续涌入皇居周边的"旧市五区"，城市面临严重的交通压力。彼时东京及其周边地区产业重心为钢铁、纺织与机械制造，交通需求集中于工业区与码头。工业化推动港口与周边工业城镇发展，城市开始出现核心区拥挤与外围初步扩展的矛盾。由此，1872年建立了连接东京与横滨港口的运输走廊，成为最初的货运主干通道。1915年前后，东北本线(东京—青森)、品川线(品川—田端，山手线前身)、东海道线(东京—神户)、中央线(东京—名古屋)等国营铁路相继建成，初步形成了由中心城区向工业带线性延展的"点-线"格局[7]。此时市内交通主要依靠有轨电车，到1919年电车里程达138 km，支撑全市80%以上的出行需求。总之，此阶段轨道交通结构以线性连接为主，服务于市中心、港口和工业区之间的货物运输及有限的通勤需求。轨道交通节点数量少，呈"点-线"结构态势，尚未造就明显的结构层级。1920年前东京铁路网如图1所示。

1.2　多中心扩张期(1920—1950年)：私营铁路兴起与节点功能分化

1920年代后，东京人口激增与郊区开发推动轨道系统进入快速外扩期，中心区交通与住房压力加剧。关东大地震后的重建进程推动东京城市空间向西部与北部外展，强化了城区与川崎、横滨等近郊地区之间的通勤联系。轨道交通由此成为恢复城市功能、支撑城市扩张与郊区居住化的关键基础设施。此时，私营铁路(如东急、小田急、京王)围绕中心城区向外铺设通勤铁路，形成以"放射走廊+山手环线"的多通道网络。1925年山手线闭环运营，形成城市内部环状通勤通道[8]。1927年银座线开通，标志地铁系统建设启动，形成"地铁强化中心区、私营铁路辐射外围"的复合格局。受限于政策壁垒，私营铁路线路止于山手线，新宿、池袋、涩谷等节点由此汇聚多线，迅速演化为区域枢纽与新副中心[9]。私营铁路采取"轨道+地产"模式，开发郊区住宅，形成私营铁路带动的走廊式城市开发格局，轨道节点功能从交通出行向复合转型。此阶段空间结构呈"城市核心-放射走廊-外围卫星城"雏形，私营铁路通勤走廊与山手环线支撑了人口郊迁与中心职能外溢的空间过程。轨道交通则由"放射+半环"向"多中心-多走廊"格局演化，节点体系开始等级分化，进入"节点等级分化萌发、结构分层启动"的新阶段。1920—1950年东京铁路网(含电车)如图2所示。



a　1900年东京铁路网
a　Tokyo railway network in 1900

b　1920年东京铁路网(含电车)
b　Tokyo railway network (including tramways) in 1920

图1　1920年前东京铁路网

Fig.1　Tokyo railway network before 1920

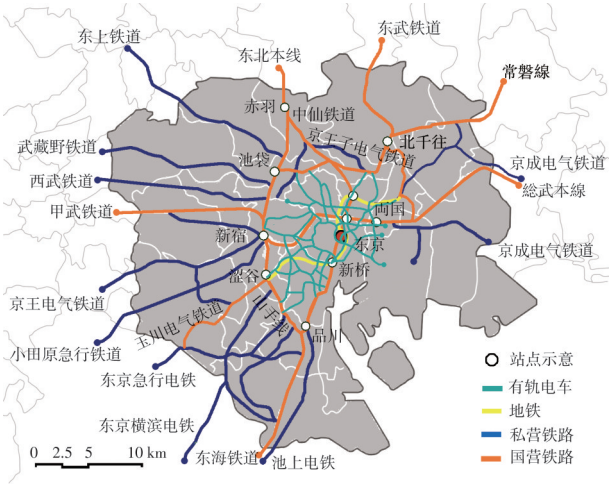


图2　1920—1950年东京铁路网(含电车)

Fig.2　Tokyo railway network (including tramways) in 1920–1950

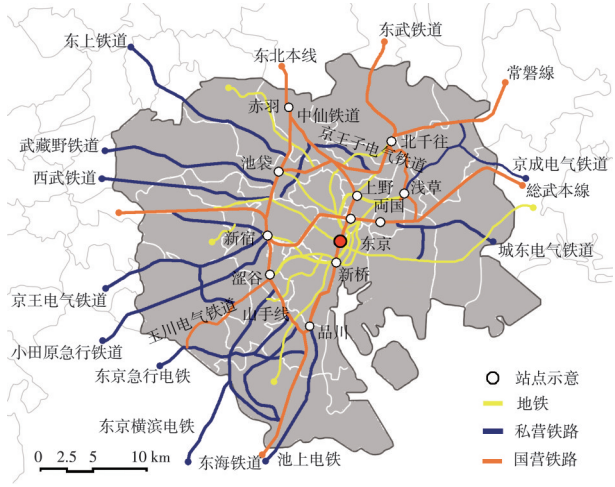


图3　1950—1985年东京铁路网

Fig.3　Tokyo railway network in 1950–1985

1.3　网络分层异构期(1950—1985年)：网络分层与功能协同

随着战后经济恢复与高速增长，东京都市圈城市化与通勤压力激增，推动轨道交通系统由规模扩展转向结构层级化发展。以东京站及皇居周边为核心的中心城区服务能力趋于饱和，居住与就业活动外溢至距东京市中心约50 km的郊区圈层。在制造业外迁与人口向多摩、埼玉等外环区域集聚的共同作用下，东京都市圈空间由单中心演化为“圈层扩展+多节点集聚”的多级结构，轨道交通由此被确立为连接多核心的通勤骨干。在此过程中，国营铁路、地铁与私营铁路并行发展：私营铁路向远郊延伸，地铁补密中心区，国营铁路转型为中长距离通勤主干，整体构建起“地铁–市郊快线–远郊干线”的多层级格局。1960年代地铁替代路面电车成为东京核心区交通主力，配合“通勤五方面作战计划”，推动复线化与运能提升[10]。1970年代起，通过直通运营、换乘枢纽与武藏野线等副环建设，形成“山手环+多放射+武藏野副环”结构体系，为多中心网络格局奠定基础。至1985年前后，轨道网络由“并置”走向“嵌套”，最终演化为“环放交织+副中心集聚”的多中心网络格局。1950—1985年东京铁路网如图3所示。

1.4　网络集成期(1985年至今)：复杂网络整合与“针灸”优化

1980年代后，东京都市圈轨道交通系统由规模扩张转向“针灸式优化”为特征的结构塑形阶段。伴随经济危机影响，东京进入以服务业主导的后工业化阶段，人口老龄化加剧，城市经济发展趋缓。轨道交通建设重心随之由扩张转向网络整合与服务品质提升。1987年国铁民营化改革后，拆分为7家JR(Japan Railways，日本大型铁路公司集团的统称)铁路公司。通过统一JR普铁(JR中的普通铁路，简称“JR普铁”)、地铁与私营铁路的换乘标准，将分立轨道交通系统进行整合，以提升无障碍覆盖和乘客体验，应对老龄化社会需求[11]。大江户线、副都心线等补强特定通勤走廊，筑波快线、琦玉副都心线填补中外围通达断点，强化多中心结构支撑；羽田单轨、伊奈导轨等中小运量线路接驳边缘空间，优化末端覆盖。核心站点普遍引入TOD开发，融合换乘与职住功能，推动轨道交通与城市功能的系统重塑，完成以秩序调节为核心的针灸式优化[12]。自此，空间结构从中心扩张转向多核融合，网络形态向“核心密集–中层强化–外层覆盖”演进，实现系统协同与空间秩序重塑。1985年后东京都市圈轨道交通网络如图4所示。

2　东京都市圈轨道网络的空间特征与等级体系

2.1　环放交织结构拓扑演化与空间组织

山手线作为东京都市圈的主要环线，构建起网络的核心环状骨架，串联新宿、池袋、涩谷等重要节点，并通过放射状线路向外延伸，形成“中心环

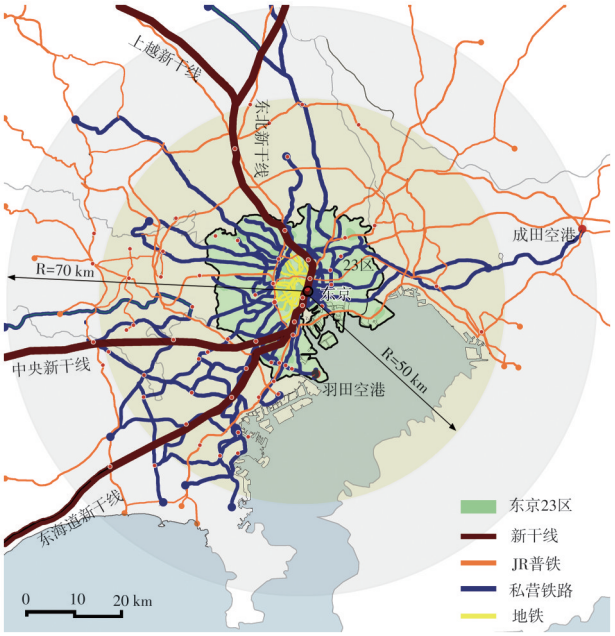


图4　1985 年后东京都市圈轨道交通网络
Fig.4　Tokyo metropolitan rail transit network after 1985

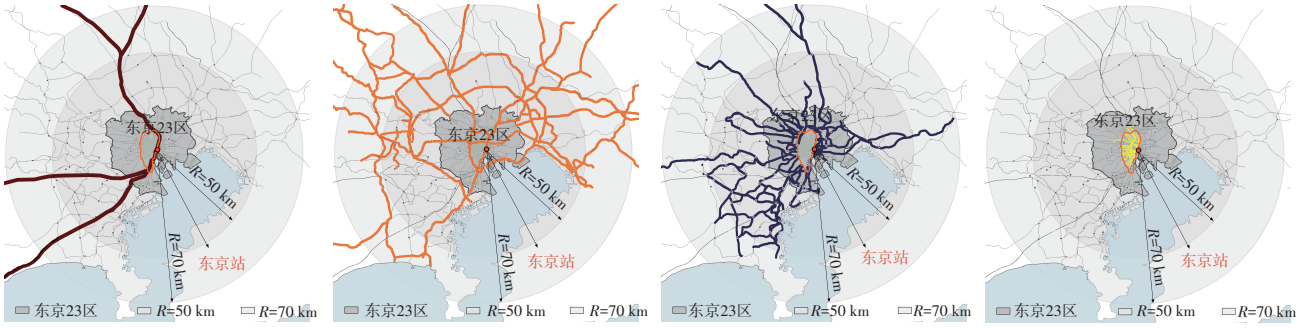
线–外围放射”的空间组织结构。随着武藏野线(府中本町—西船桥)、埼京线(大崎—大宫)、大江户线(都厅前—光丘)等次级环状及半环状线路依次建成，网络结构从“单环放射”演变为更为复杂的“多环放射交织”的拓扑体系，形成由主环、次环和放射线组成的三级结构[13–14]。主环功能高度集聚且连接核心站点，次环则加强中间区域和外围区域的横向连通性。这一结构增强了空间覆盖度和环间协调性，为多中心城市形态提供了“内部密集–中间互联–外部拓展”的空间基础。

2.2　多层级轨道网络功能异构与空间嵌套

东京都市圈轨道网络以多系统并存、功能异构为核心特征，由JR新干线、JR普铁、私营铁路、地铁等多系统组成，在空间尺度、通勤半径、服务对象与运量等级上实现分层。JR新干线承担区域级主干通勤与高速联通，JR普铁为中远圈层连接骨架，私营铁路侧重中近圈层的生活导向通勤，地铁聚焦中心城区的高密度短距换乘，中小运量线路则负责末端接驳与边界覆盖[15–16]，东京都市圈多层级轨道交通系统如图5所示。系统间通过“主干+副网+微循环”功能耦合，形成通勤尺度、服务分工和空间覆盖层级分明、功能互补的嵌套体系。

2.3　轨道网络节点的等级体系与职能分化

网络节点层级结构支撑都市圈空间布局和轨道网络的高效运行，根据功能与网络地位，轨道节点可划分为核心节点、副中心节点、换乘节点与一般通勤节点，东京都市圈轨道网络节点空间分布如图6所示。核心节点以东京站为代表，是多系统轨道线路交汇形成的最高等级节点，具有最强的通勤集聚能力与空间功能整合水平。副中心节点包括新宿、涩谷、池袋等7个，主要分布于山手线及周边，承担多线换乘与混合功能集聚，是多中心空间结构和中环功能的重要支撑[17]。换乘节点是轨道网络中承担线路衔接与客流分配的关键节点，在整个都市圈范围内共计约375个，其中山手环线沿线的27个站点构成换乘节点最为密集、网络地位最高的核心子集。一般通勤节点约1 222个，主要分布于网络边缘，承担基础通勤服务功能，实现都市圈尺度的出行覆盖[18–19]。整体上，轨道网络节点层级由核心向中环与外环递进延展，与区域功能分布相互嵌合，形成以东京站为核心、副中心节点为支撑、换乘节点为分流、一般



a　JR新干线　b　JR普铁　c　私营铁路　d　地铁
a　Shinkansen　b　JR conventioal railway　c　Private railway　d　Metro line

图5　东京都市圈多层级轨道交通系统
Fig.5　Hierarchical rail transit system in Tokyo Metropolitan Area

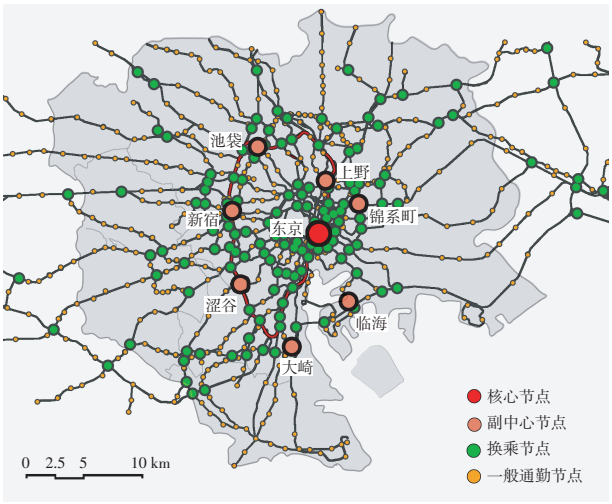


图6　东京都市圈轨道网络节点空间分布

Fig.6　Spatial distribution of rail network nodes in Tokyo Metropolitan Area

节点为补充的层级体系，呈现出“层级分异、功能集聚、环层嵌入”的结构特征。

3　东京都市圈轨道网络空间演化的内在规律

3.1　结构生成：放射–嵌套–耦合的拓扑组织

东京都市圈轨道网络的结构演化，呈现“点线放射–嵌套环状–多层耦合”的阶段性特征，拓扑形态与空间结构从单中心向多中心、由轴带向网络的演进过程高度契合，构建出以中心环线为骨架，放射干线为主干，横向连接线为辅助的复合型网络体系。从结构生成逻辑看，放射状阶段搭建了向心通勤体系，支撑城市核心向外扩展和空间流动[20–21]。嵌套状阶段通过环线闭合提升通勤效率，增强向心力与圈层覆盖[22]。耦合阶段通过节点强化与网络连通，构建多中心、多层次、协调运转的空间网络体系。东京都市圈轨道网络拓扑逻辑如图7所示。

具体来看，“放射式拓扑”阶段，政府职能、港口工业及人口高度集聚在皇居周边，空间结构呈明显的单中心格局。国营铁路承担对外放射的官民通勤与货运功能，构建了以“点–线”结构为主的放射网络，形态及功能简单。“嵌套式拓扑”阶段，战后城市面临产业外迁与人口郊区化，催生多个通勤次中心，原放射型轨道难以适配“职住分离”所带来的双向通勤需求。由此引入环状结构，增强不同通勤走廊之间的横向连通。地铁、私营铁路与JR铁路分别服务于中心区高频通勤、中距离住宅带及远郊城市连通，形成了结构上互嵌、功能上分层的“嵌套网络”。“耦合式拓扑”阶段，1980年代后城市由“单核外扩”转向“多核聚合”，新宿、池袋等多个副中心快速发展，轨道系统成为统筹多节点功能与空间流动的塑形工具。结构上体现出三重耦合机制。①层级耦合：不同轨道制式在换乘节点实现系统整合。②节点耦合：枢纽站点集聚商业、就业与服务职能，演化为“微型副中心”。③网络耦合：

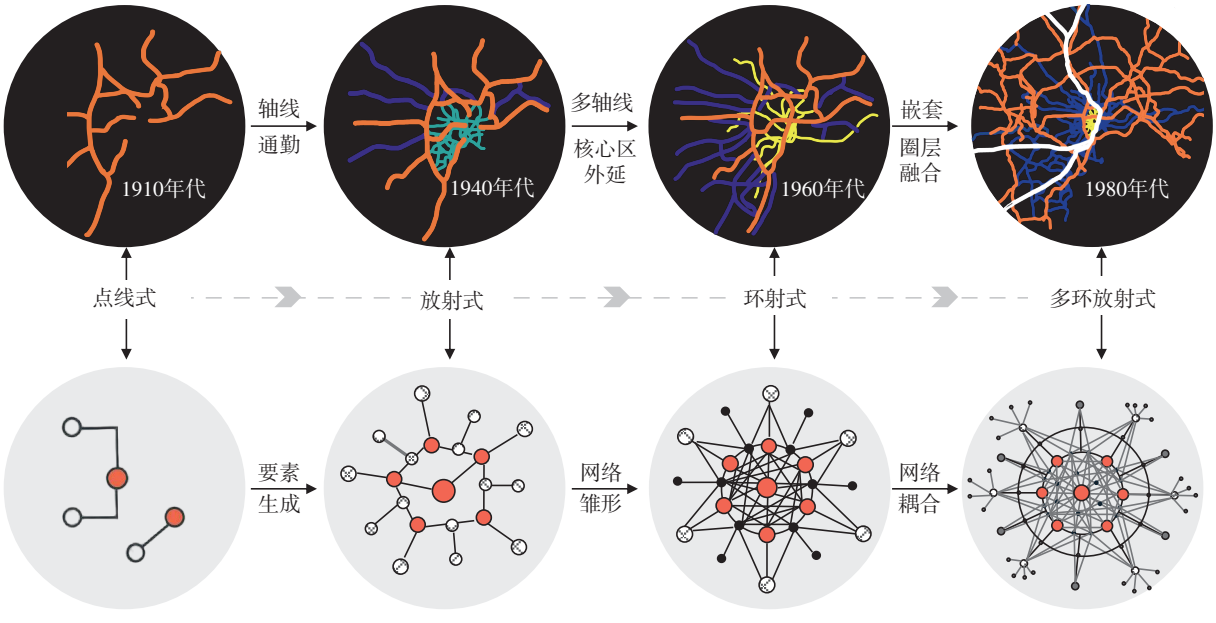


图7　东京都市圈轨道网络拓扑逻辑

Fig.7　Topological logic of the rail network in Tokyo Metropolitan Area

横向连接线路(埼京线、武藏野线)强化网络间协同，打破对单中心的过度依赖。

3.2　功能分工：异构多层级轨道网络结构协同

东京都市圈轨道系统主要由地铁、私营铁路、JR普铁、JR新干线构成，在服务半径、覆盖范围和功能定位方面展现出纵向分层、横向协同特征。从结构上看，地铁占比10%，服务于职住密集区域的高频通勤。JR普铁及私营铁路共占80%，覆盖近远郊通勤走廊，支撑“大范围分散–环状连通”的通勤骨架。JR新干线占6%，提供城际高速连接功能[23–25]。其他(单轨、导轨等中小运量线路)占4%，用于环状断点及高密区的末端可达。东京都市圈轨道交通线路规模配比如图8所示。

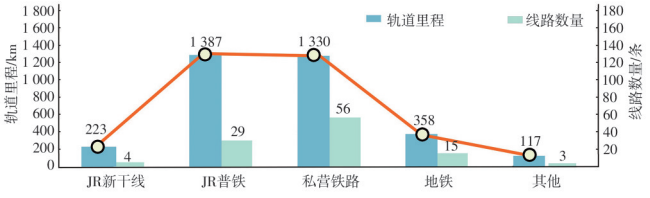


图8　东京都市圈轨道交通线路规模配比

Fig.8　Scale proportion of rail transit lines in the Tokyo Metropolitan Area

该分层结构的形成，是对空间结构与通勤需求梯度的长期适应。核心区职住高密度格局推动地铁在中心区形成高站点密度的加密布局，郊区职能与人口外溢催生中远距骨干线路，副中心发展强化多节点换乘枢纽需求。此外，轨道功能差异与建设运营机制高度相关：私营铁路依托“轨道+地产”模式匹配中距住宅通勤需求，JR铁路主导区域干线，地铁则配合政府主导的核心区再密化开发。由此，构建出“广泛覆盖–核心调控–终端渗透”的系统格局，实现对多中心、环状圈层化城市结构的支撑，东京都市圈轨道网络空间立体分层及覆盖范围如图9所示。

3.3　节点分化：轨道节点结构生长与职能演化

轨道网络扩展和空间重构过程中，节点演化呈现出由功能强化向结构集聚并最终走向等级分化的过程，逐步形成分工明确的多层级节点体系。高等级节点集中于核心圈层，多线路交会并叠加城市功能，演化为“交通节点+城市功能”高度耦合的集聚空间单元[26]，如新宿站、涩谷站等。中等级节点多分布于通勤走廊，两至三线交汇，嵌入局部生活圈，

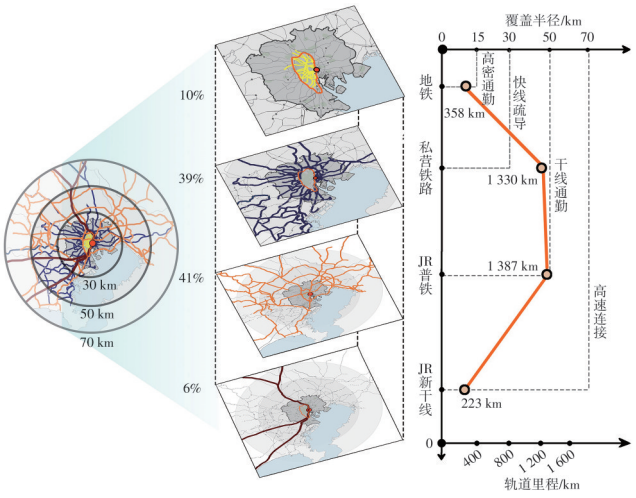


图9　东京都市圈轨道网络空间立体分层及覆盖范围

Fig.9　Spatial hierarchy and coverage of rail network in Tokyo Metropolitan Area

既承担“走廊型职住”的换乘功能，也是副中心发展的关键支点[27]。低等级节点分布于职住末端，以单线服务为主，满足基础可达需求。由此构建起以核心集聚、走廊支撑与末端覆盖为特征的节点分工格局，东京都市圈轨道网络节点分级如图10所示。

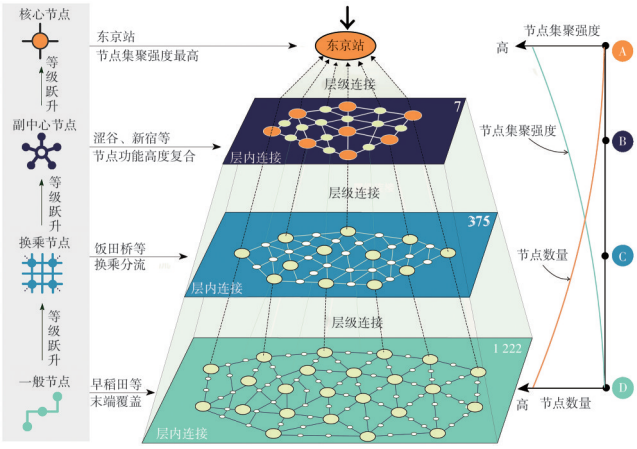


图10　东京都市圈轨道网络节点分级

Fig.10　Node hierarchical classification of rail network in Tokyo Metropolitan Area

节点等级分化并非静态配置，而是在空间结构演进与交通行为变化中动态生成的结果。部分原本功能单一的低等级节点，随着线路多向连通、土地复合开发及通勤需求增长，逐步成长为集交通与城市服务于一体的高能枢纽[28]，如私营铁路通过引入生活服务设施，实现由通勤节点向城市副中心的进化。这一过程表明，节点职能演化不仅源于轨道网络的拓展，更与职住格局调整与土地价值再分配密

切相关，使轨道节点成为引导人口流动、职能嵌套与多中心空间结构重塑的重要支点。

3.4　圈层适配：圈层结构与轨道支撑逻辑

东京都市圈轨道系统依据空间结构和服务半径，构建出多尺度适配的梯度圈层体系。轨道系统不仅被动适应城市通勤外扩，也在职住格局与功能配置演化中主动引导圈层重构，体现出空间结构与交通供给之间的双向耦合机制。

从空间圈层逻辑看，以东京站(皇居周边)为核心参照点，按距城市中心的空间距离(R)划分，可将东京都市圈分为四大圈层。核心圈层(R≤15 km)以山手线以内区域为主，土地高度集约、人口稠密、职能高度混合，轨道线路虽仅占都市圈总里程的22%，但车站800 m步行服务半径基本实现核心区全覆盖[29]，从而支撑高频、短时的核心区通勤活动。中心圈层(15<R≤30 km)覆盖东京23区，轨道里程占比约23%，私营铁路主导“廊道式”通勤，引导副中心职能集聚，应对职住错位与郊外迁移。近郊圈层(30<R≤50 km)轨道规模最大，里程占比达32%，以JR普铁为骨干，服务多摩、千叶、埼玉等周边卫星城[30]，承担中长距连接与副中心支撑功能。远郊圈层(50<R≤70 km)规模与核心圈持平，依托JR新干线连接机场、码头等节点，强化都市圈对外辐射能力。总体上，核心圈层强调高密度覆盖，中心圈层注重廊道配套和职住一体化，远郊则注重广域连通，形成轨道网络与城市功能演变相适应的梯度结构，东京都市圈轨道网络–空间圈层适配如图11所示。

从功能分工逻辑看，地铁支撑核心高密通勤，私营铁路组织中距职住走廊，JR普铁构建外环连通体系，JR新干线强化广域联系。地铁线路总里程约358 km，为东京核心区提供“密网+短距+高频”的近程通勤服务；私营铁路约1 330 km，覆盖中心至近郊范围，是中距离通勤主体；JR普铁约1 387 km，重点支撑远郊与多副中心之间的联系，是多中心结构外环组织的关键支撑；JR新干线223 km，服务跨区域与门户枢纽。整体上，距东京市中心15 km以外圈层的轨道线路规模最大，占比达77%，显示轨道系统在近远郊圈层空间组织中骨架作用最突出。总之，系统通过快线直达、慢线织密与支线补链的分层网络，支撑“中心高密、近圈协同、外圈辐射”的空间组织，有效实现轨道供给与圈层功能的梯度适配，东京都市圈各圈层轨道线网规模配比如图12所示。

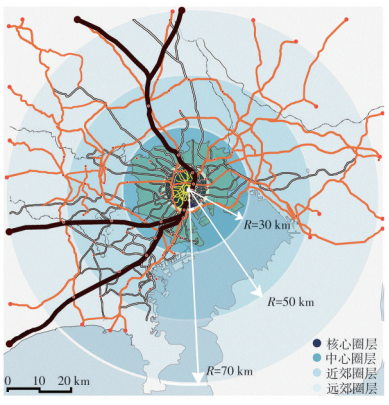


图11　东京都市圈轨道网络–空间圈层适配

Fig.11　Adaptation between rail network and spatial circle layers in Tokyo Metropolitan Area

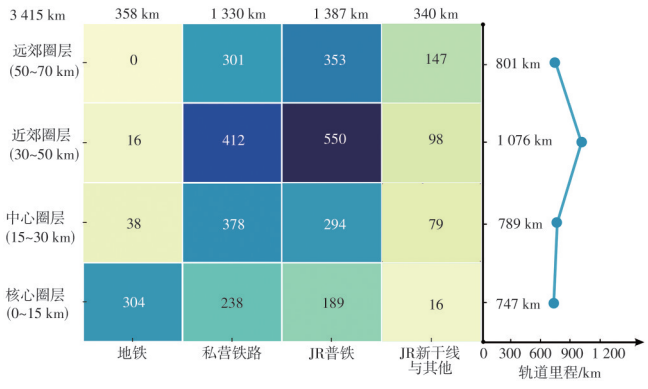


图12　东京都市圈各圈层轨道线网规模配比

Fig.12　Scale proportion of rail networks by circle layer in Tokyo Metropolitan Area

4　我国都市圈轨道交通网络结构优化路径

4.1　我国典型都市圈与东京都市圈的特征对比

东京都市圈在空间格局、通勤行为、人口发展与轨道系统层级方面，与我国部分处于相近发展阶段的都市圈(如北京、上海、广州、深圳等)存在较强相似性。空间结构上，东京由“核心–边缘”转向“多中心+组团化”，形成核心、中心、近郊与远郊圈层的梯度分布，与北京(通州、廊坊)、上海(嘉兴、昆山)、广州(南沙、佛山)等地从单中心到多中心扩散趋势相契合。通勤与职住结构上，东京已完成由单核通勤向多中心通勤串联的联动，而我国正处于向“一小时通勤圈”过渡的关键阶段，30~50 km范围成为跨圈出行的主通勤廊道，“职住分离、跨域通勤”趋势显著。人口发展阶段上，东京在轨道快速

扩张期人口突破2 000万，“核心过密、郊区外溢”显著，跨区通勤比率持续上升，迫使轨道不断延伸和分层。而我国都市圈正处于人口高度集聚与跨区域流动上升的阶段，中长距离通勤轨道系统承压明显。系统构成上，东京构建起JR新干线、JR普铁、私营铁路与地铁组成的多层级体系，基本对应我国正在推进的干线铁路、城际铁路、市域(郊)铁路、城市轨道交通“四网融合”格局。就阶段性困境而言，东京在多层级转型阶段，曾出现新宿、涩谷等节点过载、换乘割裂与通道重复等问题，1980年代JR与私营铁路在中距离走廊上平行竞争与冗余布设，造成系统重叠与效率下降。这与我国当前面临的层级模糊、衔接失效、枢纽过度集聚等结构性困境相似。我国典型都市圈与东京都市圈的特征对比如表1所示。

4.2　东京都市圈轨道交通网络演化的启示

4.2.1　重构拓扑结构：构建耦合型分级网络拓扑结构

都市圈轨道交通网络的形成遵循“外向内织密、环向补链、多向耦合”的演化路径。我国都市圈轨道网络正由中心城市向外放射式延伸，处于“平面扩张、系统叠加”阶段，空间形态尚未稳定，网络结构单中心主导、横向联系不足，交通效率受限于路径冗长与转换成本高。许多城市依然采用“先主干、后补链”的渐进式拓展模式，导致环线与交叉走廊往往滞后于放射线开通，难以支撑高频通勤与副中心发展。可借鉴东京引入环状线路、强化副中心间联动的做法。纵向延伸的同时，引入横向连通线路与交叉走廊，在不同圈层逐步构建多方向闭合路径。轨道拓扑路径应从线性增长转向结构耦合增长，以环线补链及局部子系统嵌套，使其在拓展过程中不断生成新的闭合单元和多路径通道。

4.2.2　细化系统分工：构建基于尺度差异的分工体系

轨道网络演化中形成以多层级系统分工为核心的高效协同格局。我国轨道系统职能边界比较模糊，尤其市域(郊)铁路或城际铁路建设不足的情况下，地铁线路被迫向远郊延伸，承担了本应由市郊铁路完成的中长距离通勤功能。这种“单系统全覆盖”的形态导致中心段运能紧张、远端通达效率低下，且换乘不畅，迫使外围出行需求转向私家车。可借鉴东京都市圈JR新干线、JR普铁、私营铁路、地铁多层级系统的功能划分，明确城市轨道交通、市域(郊)铁路、城际铁路、干线铁路及中小运量系统的功能定位与服务边界，形成服务半径差异、功能互补的分层结构，防止扩张过程中重叠无序。同时，强化“快线穿透–慢线密织–支线补链”的立体协同，提升市域(郊)铁路的中远距离直达性，避免地铁低效“越界运行”。

4.2.3　强化节点等级：构建等级分明的复合型节点体系

节点不仅是交通网络的物理连接点，更是多中心空间格局的“结构铰链”。我国轨道节点仍停留在换乘功能的物理实现，缺乏基于空间集聚力的等级划分与系统布局。高等级节点(如高速铁路车站、城际铁路车站)选址脱离高密度功能区，既与地铁换乘不畅，又在城市空间结构中处于“悬空”状态，难以发挥交通集聚与空间整合的支撑功能。可借鉴东京都市圈做法，推动节点由“交通接口”向“功能融合”空间转型，特别是在培育副中心这种

表1　我国典型都市圈与东京都市圈的特征对比

Tab.1　Comparative characteristics of typical metropolitan areas in China and Tokyo Metropolitan Area

分析维度	东京都市圈	我国典型都市圈
空间结构	多中心+组团化空间演进完成；核心–中心–近郊–远郊多层圈层清晰稳定；核心集聚–副中心分流–外围疏解组织逻辑成熟	由单中心向多中心过渡；圈层结构初步形成但边界模糊、层级尚不稳定；多尺度功能空间组织尚未形成有效梯度
通勤行为	“多中心联动型”通勤格局已形成；1 h通勤圈高度成熟，轨道主导职住耦合；通勤结构趋于均衡、网络适配性强	通勤仍以单向向心型流动为主；跨圈层需求增长，30~50 km通勤需求明显；网络适配性不足，职住重构适配性弱
人口发展	人口高度集中，超过3 000万；人口迁移与轨道扩张正反馈明显；强化核心–外围联动，实现圈层功能重构	人口仍在集聚化，部分都市圈突破3 000万；跨域人口流动增强，轨道系统承压显著；区域联动机制弱，圈层失衡
系统构成	JR新干线、JR普铁、私营铁路及地铁多层级系统；功能分工清晰，互补性强；枢纽高效衔接，协同机制完善	干线铁路、城际铁路、市域(郊)铁路、城市轨道交通“四网融合”推进中；系统功能清晰，但边界模糊、冗余空白并存；枢纽功能集中、衔接效率低
阶段困境	多层级转型期，枢纽超载，换乘效率低；各系统间衔接障碍多，转换成本高；局部区段重复供给，造成效率低与资源浪费	层级服务边界划分模糊，系统协调难；系统间接驳不畅，枢纽过载，中型节点薄弱；换乘路径长、缺乏一体化机制

高等级节点时，与城市主轴深度融合，以轨道节点为载体，同步导入就业、商业等职能，以增强交通–功能耦合，避免形成“孤岛”。同时，明确主、副、次节点在结构层级中的位置及定位，使其成为骨架线路的稳定锚点。

4.2.4　优化圈层协同：构建空间圈层–轨道网络的适配结构

通过服务半径、通勤节奏与空间密度的协同，塑造“核心高密、中圈协同、外圈疏解”的梯度格局。我国都市圈圈层结构上呈现出核心高密与外围空白并存的状态，线路集中在中心城区，对近、远郊圈层的结构引导力有限；中圈快线与跨圈通道滞后，通勤耗时长、竞争力弱。应借鉴东京都市圈“快线直达+慢线织密+支线补链”的结构组合，保持核心圈高密度地铁覆盖，以短站距与高频率保证通勤效率。中圈优先布局沿主发展轴的快线走廊，以快线连接主要功能组团。远圈干线铁路或城际铁路优先服务机场、港口等功能节点，建立面向外缘及卫星城的高效联系。同时，动态识别圈层边界的演化趋势，调整轨道延伸方向与节点布局，使交通网络在支持圈层空间扩张的同时，实现自我调节与均衡发展。

4.3　我国典型都市圈轨道交通网络优化建议

（1）核心圈层成熟型都市圈(广州、上海)：针对轨道基础良好、核心密集度高的都市圈，应聚焦多层级网络协同。核心区(R≤15 km)提升地铁换乘效率，重点实施短站距线路补强与既有重要节点的“针灸式”改造，强化15 min通勤圈。在中心圈层(15<R≤30 km)，加密市域快线覆盖、优化与地铁衔接，降低跨圈换乘成本；在远郊圈层(R>50 km)，优先布局外环线与交叉线，串联外郊圈层副中心组团，并与直达中心区的快线在副中心处衔接，进而扩大轨道圈层覆盖与多中心耦合能力。

（2）多中心培育型都市圈(深圳、杭州)：对于副中心功能尚不成熟、外环通勤压力突出的区域，应限制地铁过度外展(R≤30 km)，避免稀释核心效率。优先发展中长距离市域(郊)铁路或城际铁路，打通外围组团与中心间的高效通勤通道，压缩通勤时间与距离。副中心应同步推进TOD型轨道枢纽与用地一体化布局，集聚居住、办公与服务功能，提升承载力，缓解主中心压力。

（3）分散与复杂地形型都市圈(重庆、西安)：面对地形复杂、节点分散的区域，应采取差异化制式与分级网络。高密度片区引入中小运量支线或环线提升局部连通性，在极核中心与片区组团之间以市域快线保障效率。同时，针对分散的片区节点，依据轨道交通制定节点分级体系：一级节点(大于3种轨道制式交会)支持高强度复合开发，二或三级节点以单一或双功能为主，形成层级有序的站城系统。另外，尚在发育中的城市片区应前置轨道枢纽规划，锁定未来骨干节点，避免轨道系统与城市空间错位。

5　结束语

东京都市圈轨道交通网络的结构演化，是多机制耦合驱动下的分形生长与空间重构，其结构生成、功能分工、节点分化与圈层适配共同构建了都市圈空间秩序建构的核心逻辑。多层级协同、尺度异构与节点复合已成为轨道重塑空间结构的核心动力，网络的空间适配能力也决定了都市边界拓展、圈层组织与结构弹性，进而影响区域协同与空间秩序的深度重塑。我国都市圈轨道交通系统处于从规模扩张向结构重构和协同治理的关键转型期。网络优化应以构建层级耦合拓扑结构为核心，突破“单核放射”与“系统叠加”模式，明确系统层级和空间尺度的功能边界，推进异构轨道系统协同互补与高效整合。同时，构建“等级分明、功能融合”的节点体系，增强空间组织效能，嵌入圈层覆盖与边界响应策略，实现轨道供给、空间功能与边界调控之间的梯度适配。而治理范式应从注重物理覆盖到聚焦结构协同，从系统孤立并置到关联耦合，从“流量为主”到空间秩序重塑。未来有必要在多类型成熟都市圈比较分析的基础上，结合复杂网络指标(平均路径长度、聚类系数、度分布和介数中心性)，对轨道系统的效率、鲁棒性展开定量分析。通过多维度的比较与指标化研究，深化对轨道网络演进逻辑的普适性认知，为我国都市圈功能与轨道融合的优化路径提供实证支撑。

参考文献：

[1] 张天琳，任利剑，运迎霞．基于轨道交通可达性的多中心都市圈空间组织效应研究：以莱茵–鲁尔都市圈为例[J].

国际城市规划，2024，39(6)：116-126.
ZHANG Tianlin，REN Lijian，YUN Yingxia. Research on Spatial Organization of Polycentric Metropolitan Based on Rail Transit Accessibility：A Case Study of Rhine-Ruhr Metropolitan[J]. Urban Planning International，2024，39(6)：116-126.

[2] JU Y N，YUAN H H，LI Z P，et al. Multilayer Structures and Resilience Evaluation for Multimode Regional Rail Transit System[J]. IET Intelligent Transport Systems，2022，16(7)：843-859.

[3] WANG J L，HU G Y，HUANG J Z，et al. Coupling Research on Employment Centers and Their Service Area with Rail Transit Network：A Case Study of Shanghai，China[J]. Frontiers of Urban and Rural Planning，2025，3(1)：2.

[4] ZHAO Y L，LI L K，ZHANG Z S，et al. Performance Evaluation for the Expansion of Multi-Level Rail Transit Network in Xi'an Metropolitan Area：Empirical Analysis on Accessibility and Resilience[J]. Land，2024，13(10)：1682.

[5] 朱金津，夏海山，刘晓彤，等. 互联互通2.0：基于多层级网络效率的轨道交通与城市空间协同模式研究[J]. 都市快轨交通，2025，38(1)：20-29.
ZHU Jinjin，XIA Haishan，LIU Xiaotong，et al. Interconnection 2.0：Research on Synergy Mode of Rail Transit and Urban Space Based on Multi-Level Network Efficiency[J]. Urban Rapid Rail Transit，2025，38(1)：20-29.

[6] 王亚洁，潘昭宇，王新宁. 国际都市圈多层次轨道交通融合发展经验及启示[J]. 综合运输，2022，44(6)：37-43.
WANG Yajie，PAN Zhaoyu，WANG Xinning. Experience and Enlightenment of Multi-Level Rail Integration in International Metropolitan Areas[J]. China Transportation Review，2022，44(6)：37-43.

[7] LIU Y D，NITANAI R，MANABE R，et al. Institutionalization of Transit-Oriented Development in Tokyo 1868—1945[J]. Planning Perspectives，2023，38(6)：1185-1212.

[8] 张依婧，谢乐龙，汪　涛，等. 环状轨道交通廊道网络效能与枢纽体系解析：以东京山手线为例[J]. 上海城市规划，2023(1)：128-133.
ZHANG Yijing，XIE Lelong，WANG Tao，et al. Analysis of Loop Rail Transit Corridor Network Efficiency and Hub System：A Case Study of the Tokyo Yamanote Line[J]. Shanghai Urban Planning Review，2023(1)：128-133.

[9] 李　赢，张　沛，张中华. 东京都市圈演变历程及外围市镇特色化转型发展研究[J]. 城市发展研究，2024，31(3)：6-12.
LI Ying，ZHANG Pei，ZHANG Zhonghua. Study on the Evolution Process of Tokyo Metropolitan Area and the Characteristic Transformation of Peripheral Towns[J]. Urban Development Studies，2024，31(3)：6-12.

[10] 曹庆锋，常文军. 日本轨道交通发展历程及经验启示[J]. 交通运输研究，2019，5(3)：10-17.
CAO Qingfeng，CHANG Wenjun. Development History and Experience Enlightenment of Japanese Rail Transit[J]. Transportation Standardization，2019，5(3)：10-17.

[11] 李　薇，郎　嵬，张京祥. 典型都市圈空间结构与功能网络联系的演变研究[J]. 现代城市研究，2024(3)：96-102.
LI Wei，LANG Wei，ZHANG Jingxiang. Research on the Evolution of Spatial Structure and Functional Network of Typical Metropolitan Areas[J]. Modern Urban Research，2024(3)：96-102.

[12] BRAMSON A，HORI M，ZHA B R，et al. Social and Economic Flows across Multimodal Transportation Networks in the Greater Tokyo Area[J]. Applied Network Science，2020，5(1)：7.

[13] SCHAUER T. Network analysis of the Paris and Tokyo subway systems[D]. Youngstown (OH)：Youngstown State University，2023.

[14] MAY，HUANG J，ZHANG Q，et al. Coordinated Optimization of Multi-Level Rail Transit Network and Regional Spatial：International Contextual Differences and the Case of Shanghai[C]//Association of European Schools of Planning. AESOP Annual Congress Proceedings. Paris：AESOP，2024：427-443.

[15] 张　沛，王超深，吴　潇，等. 轨道交通线网与大都市区中心体系协同发展研究[J]. 城市规划，2023(9)：108-116.
ZHANG Pei，WANG Chaoshen，WU Xiao，et al. Research on Coordinated Development of Rail Transit Network and Center System in Metropolitan Area[J]. City Planning Review，2023(9)：108-116.

[16] 矢岛隆，家田仁. 轨道创造的世界都市：东京[M]. 陆化普译. 北京：中国建筑工业出版社，2016.

[17] 曹哲静. 城市商业中心与交通中心的叠合与分异：基于复杂网络分析的东京轨道交通网络与城市形态耦合研究[J]. 国际城市规划，2020，35(3)：42-53.
CAO Zhejing. Configuration of Urban Commercial Centers and Transport Centers：Evidence from Tokyo Transit Network and Urban Morphology Based on the Complex Network Analysis[J].

Urban Planning International，2020，35(3)：42-53.

[18] 李　妍. 东京都市圈轨道交通与城市协调发展分析[J]. 铁道建筑，2022，62(2)：167-171.
LI Yan. Analysis on Coordinated Development of Rail Transit and Cities in Tokyo Metropolitan Area[J]. Railway Engineering，2022，62(2)：167-171.

[19] 陈　锋. 东京都市圈应对轨道交通超高换乘系数的措施及启示[J]. 都市快轨交通，2019，32(4)：143-148.
CHEN Feng. Measures Taken by Tokyo Metropolitan Area to Deal with the Ultra-High Transfer Coefficient of Rail Transit and Their Implications[J]. Urban Rapid Rail Transit，2019，32(4)：143-148.

[20] 梁敏之，彭　磊，赵丹彤，等. 东京都市圈市域铁路、城际铁路效能提升经验及启示[J]. 城市轨道交通研究，2022，25(10)：6-9.
LIANG Minzhi，PENG Lei，ZHAO Dantong，et al. Efficiency Improvement Experience and Enlightenment of Urban Railway and Intercity Railway in Tokyo Metropolitan Area[J]. Urban Mass Transit，2022，25(10)：6-9.

[21] 潘昭宇. 都市圈轨道交通网络规划研究综述及展望[J]. 铁道运输与经济，2024，46(10)：61-72.
PAN Zhaoyu. Overview and Prospect of Urban Rail Transit Network Planning Research[J]. Railway Transport and Economy，2024，46(10)：61-72.

[22] DERRIBLE S. Network Centrality of Metro Systems[J]. PLoS One，2012，7(7)：e40575.

[23] 苗彦英，张子栋. 东京都市圈轨道交通发展及特征[J]. 都市快轨交通，2015，28(2)：126-130.
MIAO Yanying，ZHANG Zidong. Development and Characteristics of Rail Transit in Tokyo Metropolitan Circle[J]. Urban Rapid Rail Transit，2015，28(2)：126-130.

[24] 钱　蕾，郭　然. 多圈层视角下北京市轨道交通发展策略研究：基于与东京都市圈的对比分析[J]. 现代城市轨道交通，2024(1)：17-24.
QIAN Lei，GUO Ran. Research on a Rail Transit Development Strategy in Beijing Municipality from the Perspective of Multiple Circle Layers：A Comparative Analysis of the Tokyo Metropolitan Area[J]. Modern Urban Transit，2024(1)：17-24.

[25] 孟雷雷. 北京与东京城市空间结构演变的交通配套比较研究[J]. 城市发展研究，2022，29(3)：47-52，41.
MENG Leilei. A Comparative Study of Transportation Facilities in the Evolution of Urban Spatial Structure of Beijing and Tokyo[J]. Urban Development Studies，2022，29(3)：47-52，41.

[26] 李　健，檀鹏晶，杨　灵，等. 东京市郊铁路转型改造带动城市发展实践研究及对北京的启示[J]. 铁道运输与经济，2024，46(1)：192-198.
LI Jian，TAN Pengjing，YANG Ling，et al. Practical Study on Urban Development Driven by Tokyo Suburban Railway Transformation and Its Enlightenment to Beijing[J]. Railway Transport and Economy，2024，46(1)：192-198.

[27] LIU K，MURAYAMA Y，ICHINOSE T. Using a New Approach for Revealing the Spatio-Temporal Patterns of Functional Urban Polycentricity：A Case Study in the Tokyo Metropolitan Area[J]. Sustainable Cities and Society，2020，59：102176.

[28] 陈　烨，高悦尔，沈晶晶. 基于复杂网络的快速公交-轨道交通站点分级研究[J]. 热带地理，2023，43(7)：1234-1246.
CHEN Ye，GAO Yue'er，SHEN Jingjing. Classification of Bus Rapid Transit-Rail Transit Stations Using Complex Network Analysis[J]. Tropical Geography，2023，43(7)：1234-1246.

[29] 王淑伟. 东京都市圈轨道交通与城市空间互动发展经验[J]. 综合运输，2021，43(5)：129-133.
WANG Shuwei. Experience of Interaction Development between Rail Transit and Urban Space in Tokyo Metropolitan Area[J]. China Transportation Review，2021，43(5)：129-133.

[30] OKATA J，MURAYAMA A. Tokyo's Urban Growth，Urban Form and Sustainability[M]. Tokyo：Springer Japan，2011.

[31] 高明明. 铁路网规划的发展历程与应用实践[J]. 铁道运输与经济，2025，47(4)：62-67.
GAO Mingming. Development History and Application Practice of Railway Network Planning[J]. Railway Transport and Economy，2025，47(4)：62-67.

[32] ZHOU L，LIU Y J，YU L，et al. Research on the Spatial-System-Based Rail Transit Systems of the World Cities[J]. Procedia Engineering，2016，137：699-708.

[33] TSUMITA N，KIKUCHI H，VICHIENSAN V，et al. Urban Railway Network Expansion on Transit Oriented Development：Improvement in Accessibility in Four Asian Developing Cities[J]. Asian Transport Studies，2023，9：100097.

(责任编辑　汪沁萱)