文章编号：1003-1421(2026)07-0047-11
引用格式：杨韬润，王超. 基于熵权法和TOPSIS法的都市圈轨道交通“四网融合”发展程度评价研究[J]. 铁道运输与经济，2026，48(7)：47-57.
YANG Taorun，WANG Chao. Research on Evaluation of Development Degree of “Four-Network Integration” of Rail Transit in Metropolitan Areas Based on Entropy Weight Method and TOPSIS Method[J]. Railway Transport and Economy，2026，48(7)：47-57.

基于熵权法和TOPSIS法的都市圈轨道交通“四网融合”发展程度评价研究

杨韬润，王　超

(北京交通大学 经济管理学院，北京　100044)

摘　要：在城镇化深入发展与国家政策驱动背景下，都市圈已成为关键增长极，而推动轨道交通“四网融合”对于提升区域协同效率至关重要。通过构建评价模型，分析我国主要都市圈“四网融合”的发展水平与不足，为都市圈高质量发展提供决策依据。研究选取线网规划布局、轨道交通衔接、运营运输服务和顶层统筹设计4个一级指标，进一步细分为17个二级指标，建立了轨道交通“四网融合”评价指标体系，并运用熵权法确定指标权重，结合TOPSIS法和K-means聚类分析方法，对19个都市圈进行系统评估与类型划分。结果表明，我国都市圈“四网融合”发展整体水平有待提升，区域间不平衡问题较为突出，目前已形成成熟型、发育型、起步型三级梯队的差异化发展格局，在此基础上提出了具有针对性的优化建议。

关键词：轨道交通；四网融合；评价研究；都市圈；熵权法
中图分类号：U239.5；F503　　**文献标识码：**A　　**DOI：**10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.20250926001

Research on Evaluation of Development Degree of “Four-Network Integration” of Rail Transit in Metropolitan Areas Based on Entropy Weight Method and TOPSIS Method

YANG Taorun，WANG Chao

(School of Economics and Management, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: Under the background of the in-depth development of urbanization and the drive of national policies, metropolitan areas have become key growth poles, and promoting the “four-network integration” of rail transit is crucial for enhancing regional collaborative efficiency. This paper aims to analyze the development level and deficiencies of the “four-network integration” in major metropolitan areas in China by constructing an evaluation model, providing a decision-making basis for the high-quality development of metropolitan areas. Four first-level indicators, namely planning and layout of line network, connection of rail transit, operation and transportation services, and top-level integrated design, were selected and further subdivided into 17 second-level indicators to establish an evaluation index system for the “four-network integration” of rail transit.

收稿日期：2025-09-26
基金项目：北京市社会科学基金重点项目(B25HZ200030)

The entropy weight method was used to determine the index weights, and the TOPSIS method and K-means clustering analysis method were combined to systematically evaluate and classify 19 metropolitan areas. The results show that the overall development level of the “four-network integration” of metropolitan areas in China needs to be improved, and the problem of regional imbalance is relatively prominent. Currently, a differentiated development pattern of three tiers, namely mature, developing, and nascent types, has been formed. On this basis, targeted optimization suggestions are proposed.

Keywords: Rail Transit; Four-Network Integration; Evaluation Research; Metropolitan Area; Entropy Weight Method

0　引言

国家统计局数据显示，截至2025年底，我国常住人口城镇化率已达67.89%。在这一发展背景下，城市群与都市圈正逐步演变为推动国民经济增长、优化区域发展格局的关键空间载体。随着区域协同发展的深入推进，生产要素跨区域配置效率显著提升，人口迁移和日常通勤的空间尺度已从单一城市扩展至都市圈乃至更广阔的跨区域范围。我国正加速构建功能完善、层级分异的轨道交通体系，这将有力促进轨道交通网络与城市空间结构的协同发展，为城市转型升级注入新动能。为构建都市圈一体化交通体系，我国自2019年起出台了一系列政策文件，指导推动干线铁路、城际铁路、市域(郊)铁路与城市轨道交通的“四网融合”。

目前，国内外关于轨道交通“四网融合”的文献主要集中在4个方面：线网规划方面，有学者认为线网建设应适当超前，同时注重与城市协同[1-2]；轨道衔接方面，涵盖了枢纽换乘、多点衔接、共线运营等多种形式[3]；在运营服务方面，学者普遍主张票务系统的整合[4]、调度指挥的智能协同[5]以及开行方案的灵活优化[6-7]；在顶层设计方面，学者强调需建立跨层级、跨区域、跨部门的协同机制，通过明晰的权责分配与高效的信息共享[8-9]，为轨道交通一体化提供制度保障。尽管我国在多层次轨道交通体系研究方面取得了一定进展，但仍存在一些问题，当前研究多集中于单一案例的定性分析或技术标准的探讨，在实践层面缺乏能够跨区域、可量化评价四网融合发展程度的通用方法。因此，开展都市圈轨道交通“四网融合”发展程度评价研究具有重要的现实意义和研究价值。通过构建相关评价指标体系，可以掌握我国都市圈“四网融合”的发展程度及不足，为政策制定和规划调整提供科学依据，给国内其他都市圈多层次轨道交通发展提供参考，推动都市圈轨道交通的高质量发展。

1　评价体系构建

1.1　基本概念

“四网融合”在轨道交通领域中的概念，是指通过推动干线铁路网、城际铁路网、市域(郊)铁路网、城市轨道交通网的互联互通，实现多层次轨道交通方式之间的高效转换和深度融合。干线铁路网是国家铁路网的主骨架，连接着全国各大城市和经济区域，是国家综合交通体系的重要组成部分。它主要服务于国家层面的战略运输需求，以及旅客的跨区域出行需求。城际铁路网是连接相邻城市或城市群内部城市之间的快速轨道交通网络，主要服务于中短途旅客出行需求。市域(郊)铁路网是连接城市中心与郊区、卫星城镇或新城的轨道交通网络，主要服务于城市内部及周边地区的通勤客流。城市轨道交通网是指在大中城市内部运行的轨道交通网络，主要包括地铁、轻轨、有轨电车等系统，主要服务于城市内部居民的出行需求。

1.2　评价指标体系的建立

基于对已有关于“四网融合”的文献分析，结合评价指标选取的独立性、可获得性、代表性等原则，最终构建包含4个一级指标和17个二级指标的都市圈轨道交通“四网融合”评价指标体系如表1所示。

2　实证分析

2019年，《关于培育发展现代化都市圈的指导意见》(发改规划〔2019〕328号)发布，意见提出“加快培育发展现代化都市圈”。2021年2月，《南京都市圈发展规划》获国家发展和改革委员会复函同意，系全国首个获批同意的都市圈规划。选取北京

表1　都市圈轨道交通“四网融合”评价指标体系

Tab.1　Evaluation index system for “four-network integration” of rail transit in metropolitan areas

	一级指标	二级指标
都市圈轨道交通“四网融合”评价体系	线网规划布局	城市轨道线网密度
		市域(郊)铁路线网密度
		城际铁路和高速铁路线网密度
		综合线网密度
	轨道交通衔接	城市轨道出行直达比例
		跨市域城市轨道线路数
		复合功能线路数
		铁路与地铁接驳站数
	运营运输服务	跨线直通运输线路里程
		城市轨道交通及市域(郊)铁路旅行速度
		城际铁路和高速铁路旅行速度
		不同层次轨道换乘平均时间
		城市轨道最短行车间隔
		城际铁路和高速铁路覆盖程度
		票务一体化程度
	顶层统筹设计	协同机制健全度
		规划体系完备性

都市圈和上海大都市圈以及目前已获批的17个国家级都市圈作为研究范围，首都都市圈与上海大都市圈，是我国“京津冀协同发展”“长三角一体化发展”两大国家区域战略的核心载体，承担着国家空间治理示范和跨区域基础设施协同标杆的战略使命，17个国家级都市圈覆盖东中西部，涵盖不同发展能级，能较好地反映我国都市圈“四网融合”发展程度的整体水平。

2.1　数据收集

参考已有文献做法[10]，对数据进行收集和处理，指标含义及数据来源如表2所示，所有数据为截至2024年底的数据，得到都市圈数据如表3所示。

2.2　实证过程

2.2.1　熵权法赋权

熵权法是一种客观赋权法，完全依赖数据的客观性进行计算，避免了人为赋权可能带来的主观偏见，使得权重的确定更加合理和准确。同时，能够

表2　指标含义及数据来源

Tab.2　Meanings of indicators and data sources

指标	含义	数据来源
城市轨道线网密度	城市轨道交通运营里程/都市圈面积	都市圈规划文件、地铁运营公司
市域(郊)铁路线网密度	市域(郊)铁路运营里程/都市圈面积，本研究市域(郊)铁路是指国铁系统中被界定为市域(郊)铁路的线路以及跨市域运行的城市轨道交通线路	各地铁路集团及地铁运营公司
城际铁路和高速铁路线网密度	城际铁路、高速铁路都市圈内运营里程/都市圈面积，仅统计各线路在都市圈范围内的站间里程	各地铁路集团、中国高速铁路网
综合线网密度	都市圈轨道交通线网总规模/都市圈面积，为前3项相加的结果	自行统计
城市轨道出行直达比例	轨道交通出行直达比例与换乘系数成反比，轨道交通出行直达比例=进站量/全线网客运量	交通运输部每月公布的轨道交通运营数据速报，选取2024年全年的线网进站量和客运量数据计算
跨市域城市轨道线路数	连接不同行政市域的城市轨道交通线路总数	自行统计
复合功能线路数	高速铁路或城际铁路兼顾市域(郊)或城市轨道交通功能，即具备连接城市中心与郊区的线路	自行统计
铁路与地铁接驳站数	各城市高速铁路、城际铁路、市域(郊)铁路站点中可接驳地铁的站点数量	自行统计
跨线直通运输线路里程	各城市四网轨道之间实现跨线贯通运行的线路里程	自行统计
城市轨道交通及市域(郊)铁路旅行速度	轨道交通线路里程/平均旅行时间	地铁运营公司、高德路径规划
城际铁路和高速铁路旅行速度	城际铁路和高速铁路线路里程/平均旅行时间	各地铁路集团、中国高速铁路网、铁路12306时刻表
不同层次轨道换乘平均时间	各城市高速铁路、城际铁路、市域(郊)铁路站点换乘地铁的平均时间	高德路径规划
城市轨道最短行车间隔	同一方向连续两列列车从同一个车站出发的最小时间间隔	地铁运营公司、本地宝
城际铁路和高速铁路覆盖程度	城际铁路和高速铁路班次与所连通/外围城市数量	铁路12306时刻表
票务一体化程度	赋分制，得分区间为0~5分，支持铁路e卡通乘车；支持中铁银通卡乘车；开设通勤计次票；开设通勤定期票；地铁乘车卡/码与市域(郊)或城际铁路等客票兼容	铁路12306

续表2

指标	含义	数据来源
协同机制健全度	赋分制，得分区间为0~2.5分，设立上级城市群管理组织机构得0.5分，设立都市圈管理组织机构得1分，设立专项负责都市圈轨道交通的组织机构得1分	自行统计
规划体系完备性	规划体系完备性的评分依据包括：编制上级城市群规划得0.5分，编制都市圈规划得1分，编制都市圈交通规划得1分	自行统计

表3　都市圈数据

Tab.3　Metropolitan area data

都市圈名称	城市轨道线网密度/(km/km^2)	市域(郊)铁路线网密度/(km/km^2)	城际铁路和高速铁路线网密度/(km/km^2)	综合线网密度/(km/km^2)	城市轨道出行直达比例	跨市域城市轨道线路数/条	复合功能线路数/条	铁路与地铁接驳站数/个
首都都市圈	0.007 4	0.002 4	0.009 5	0.019 3	0.563 1	0	0	10
上海大都市圈	0.018 3	0.002 4	0.015 2	0.035 9	0.579 8	1	0	28
南京都市圈	0.018 0	0.003 7	0.018 3	0.040 0	0.602 0	2	1	5
福州都市圈	0.005 5	0.000 0	0.022 9	0.028 4	0.717 8	0	0	2
成都都市圈	0.019 1	0.007 0	0.016 9	0.043 0	0.570 9	1	0	9
长株潭都市圈	0.010 8	0.001 9	0.017 5	0.030 2	0.540 1	1	1	6
西安都市圈	0.012 5	0.008 3	0.012 4	0.033 2	0.645 6	4	0	4
重庆都市圈	0.013 6	0.000 0	0.027 6	0.041 2	0.619 8	0	0	6
武汉都市圈	0.017 8	0.000 8	0.015 8	0.034 4	0.633 3	1	3	6
杭州都市圈	0.026 9	0.008 8	0.021 2	0.056 9	0.601 6	2	0	9
沈阳都市圈	0.004 2	0.000 0	0.008 9	0.013 1	0.639 3	0	0	3
青岛都市圈	0.016 2	0.000 0	0.031 0	0.0472	0.688 2	0	0	6
广州都市圈	0.031 7	0.012 0	0.032 5	0.076 2	0.554 1	3	3	17
深圳都市圈	0.039 1	0.000 0	0.037 9	0.077 0	0.571 2	0	3	12
郑州都市圈	0.024 1	0.004 2	0.049 4	0.077 7	0.604 2	1	0	6
济南都市圈	0.004 3	0.000 0	0.015 0	0.019 3	0.716 3	0	0	3
合肥都市圈	0.009 3	0.000 0	0.022 0	0.031 3	0.599 7	0	0	3
厦漳泉都市圈	0.004 8	0.000 0	0.018 4	0.023 2	0.768 9	0	0	2
石家庄都市圈	0.004 5	0.000 0	0.023 7	0.028 2	0.691 5	0	0	2

都市圈名称	跨线直通运输线路里程/km	城市轨道交通及市域(郊)铁路旅行速度/(km/h)	城际铁路和高速铁路旅行速度/(km/h)	不同层次轨道换乘平均时间/min	城市轨道最短行车间隔/s	城际铁路和高速铁路覆盖程度	票务一体化程度	协同机制健全度	规划体系完备性
首都都市圈	200.70	38.84	168.92	4.357 1	105	76.25	5	0.5	1.5
上海大都市圈	151.50	37.95	155.06	3.857 1	110	139.31	5	1.5	1.5
南京都市圈	67.50	40.42	176.02	2.400 0	120	53.00	4	2.5	2.5
福州都市圈	0.00	36.95	141.10	1.500 0	270	81.00	4	1.5	1.5
成都都市圈	0.00	42.39	131.89	2.444 4	120	53.00	5	1.5	2.5
长株潭都市圈	0.00	31.44	159.71	2.666 7	198	55.00	5	2.5	1.5
西安都市圈	0.00	37.70	156.75	5.500 0	135	48.00	3	1.5	1.5
重庆都市圈	175.92	39.40	101.65	3.833 3	150	3.00	4	0.5	1.5
武汉都市圈	0.00	33.42	150.13	4.666 7	150	53.00	5	2.5	2.5
杭州都市圈	0.00	35.69	158.20	5.666 7	135	89.33	3	2.5	2.5
沈阳都市圈	0.00	26.20	154.38	2.333 3	224	34.17	3	1.5	1.5
青岛都市圈	0.00	41.74	159.71	2.166 7	155	81.00	4	0.5	1.5
广州都市圈	258.00	41.89	167.08	4.411 8	118	111.00	5	2.5	1.5
深圳都市圈	59.90	38.47	147.23	2.583 3	115	226.00	5	1.5	1.5
郑州都市圈	71.70	41.24	166.77	4.333 3	170	115.50	4	1.5	2.5
济南都市圈	0.00	44.04	153.05	2.333 3	300	68.20	3	1.5	1.5
合肥都市圈	0.00	34.44	158.85	3.333 3	220	12.17	4	1.5	1.5
厦漳泉都市圈	0.00	37.66	152.26	6.000 0	180	129.00	4	1.5	1.5
石家庄都市圈	0.00	32.71	216.85	7.500 0	300	40.00	2	2.5	1.5

动态地根据各指标的数据分布情况调整权重，适应不同情境下的评价需求，能够很好地解决涉及多维度、多指标的评价问题。使用熵权法赋权时，首先需要对数据进行标准化处理，为了避免出现除以0的问题，将数据归一至[0.002，1]区间，其次计算第j项指标下第i个样本值占该指标的比重及各指标的信息熵，最后确定各指标权重。

$$w_j = \frac{1 - E_j}{m - \sum_{j=1}^{m} E_j} \tag{1}$$

式中：w_j为第j个指标的权重；E_j为第j个指标的信息熵；m为指标数量。

得到基于熵权法的都市圈轨道交通“四网融合”评价指标权重如表4所示。

2.2.2　TOPSIS评分

TOPSIS法即逼近理想解排序法，是一种多属性决策方法，主要通过计算方案与理想解的相似度来评价各个样本的优劣程度。首先将标准化矩阵Y_{ij}与权重w_j相结合得到加权矩阵Z_{ij}，进而计算各评价对象与最优、最劣值之间的距离，最后得出评价对象与最优值的相对接近度C_i，C_i越大，评价对象越优。

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \tag{2}$$

式中：C_i为相对接近度；D_i^+和D_i^-分别为评价对象与最优值和最劣值的距离。

计算得到都市圈轨道交通“四网融合”评价体系综合得分与各级指标得分如表5所示。

2.2.3　聚类分析

通过熵权法确定权重，并用TOPSIS方法对19个都市圈“四网融合”综合水平及4个一级指标分别进行评分后，利用K-means快速聚类的方法对19个都市圈进行分类。肘部法是选择聚类K值的常用方法，都市圈分类肘部图如图1所示，可以得出最佳聚类数为3。

对综合得分和4个一级指标分别进行聚类分析，得到聚类结果及排序如表6所示。

2.2.4　结果分析

（1）综合分析。根据TOPSIS得出的综合评分，19个都市圈“四网融合”发展程度分为3类，其中，成熟型3个，发育型8个，起步型8个，“四网融合”发展程度分析如表7所示。总体来看，我国都市圈“四网融合”发展呈现出显著的“梯队化”特征，整体尚处于由局部探索向全面深化过渡的初级阶段。绝大多数都市圈仍处于发育与起步阶段，仅有少数都市圈跻身成熟型行列，主要分布在长三角地区、珠三角地区及重要铁路交会枢纽城市周

表4　基于熵权法的都市圈轨道交通“四网融合”评价指标权重

Tab.4　Evaluation index weights for “four-network integration” of rail transit in metropolitan areas based on entropy weight method

一级指标	二级指标	指标权重	总权重
线网规划布局	城市轨道线网密度/(km/km^2)	0.05	0.22
	市域(郊)铁路线网密度/(km/km^2)	0.10	
	城际铁路和高速铁路线网密度/(km/km^2)	0.03	
	综合线网密度/(km/km^2)	0.03	
轨道交通衔接	城市轨道出行直达比例	0.03	0.37
	跨市域城市轨道线路数/条	0.10	
	复合功能线路数/条	0.17	
	铁路与地铁接驳站数/个	0.07	
运营运输服务	跨线直通运输里程/km	0.13	0.23
	城市轨道交通及市域(郊)铁路旅行速度/(km/h)	0.01	
	城际铁路和高速铁路旅行速度/(km/h)	0.01	
	不同层次轨道换乘平均时间/min	0.01	
	城市轨道最短行车间隔/s	0.02	
	城际铁路和高速铁路覆盖程度	0.03	
	票务一体化程度/分值	0.01	
顶层统筹设计	协同机制健全度/分值	0.03	0.18
	规划体系完备性/分值	0.16	

表5　都市圈轨道交通“四网融合”评价体系综合得分与各级指标得分

Tab.5　Comprehensive scores and sub-indicator scores of evaluation system for “four-network integration” of rail transit in metropolitan areas

都市圈名称	综合得分	线网规划布局得分	轨道交通衔接得分	运营运输服务得分	顶层统筹设计得分
首都都市圈	0.281 7	0.170 5	0.089 9	0.750 2	0.000 0
上海大都市圈	0.299 3	0.249 4	0.272 7	0.599 1	0.080 4
南京都市圈	0.496 1	0.325 5	0.358 9	0.307 2	1.000 0
福州都市圈	0.107 2	0.106 3	0.106 0	0.135 9	0.080 4
成都都市圈	0.419 4	0.519 4	0.140 8	0.180 5	0.919 6
长株潭都市圈	0.215 4	0.176 3	0.293 5	0.146 8	0.149 4
西安都市圈	0.317 5	0.539 6	0.370 4	0.138 2	0.080 4
重庆都市圈	0.251 2	0.181 0	0.067 4	0.640 6	0.000 0
武汉都市圈	0.545 9	0.182 6	0.636 8	0.153 0	1.000 0
杭州都市圈	0.451 2	0.672 7	0.232 5	0.146 2	1.000 0
沈阳都市圈	0.074 3	0.000 0	0.063 1	0.107 9	0.080 4
青岛都市圈	0.128 7	0.215 3	0.100 1	0.166 1	0.000 0
广州都市圈	0.611 6	0.866 9	0.796 8	0.892 4	0.149 4
深圳都市圈	0.437 7	0.380 8	0.596 3	0.328 9	0.080 4
郑州都市圈	0.437 6	0.480 7	0.130 9	0.316 0	0.919 6
济南都市圈	0.099 2	0.047 0	0.106 0	0.127 4	0.080 4
合肥都市圈	0.083 5	0.120 6	0.039 8	0.116 4	0.080 4
厦漳泉都市圈	0.120 3	0.072 9	0.132 5	0.153 3	0.080 4
石家庄都市圈	0.110 9	0.108 7	0.091 7	0.084 8	0.149 4

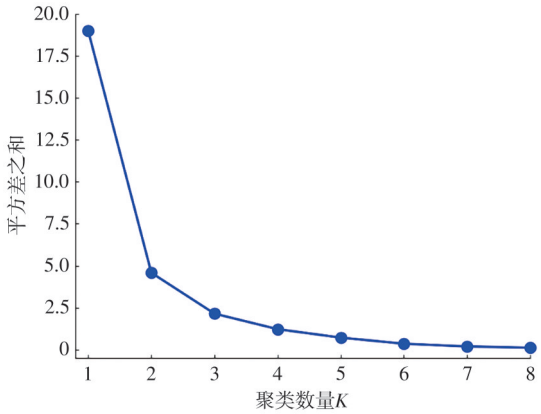

图1　肘部图

Fig.1　Elbow diagram

围，显示出发展的不均衡性。

（2）成熟型都市圈“四网融合”发展程度分析。“四网融合”发展成熟的都市圈有广州都市圈、武汉都市圈、南京都市圈。此类型都市圈的共同优势在于顶层统筹设计较为成熟，发展的核心制约在于相对滞后的运营运输服务，应在物理衔接的基础上，全力攻坚“运营服务”环节。统一和简化票制票价，推广“一码通行”和“一次安检”；对有条件的城际、市域(郊)铁路推行公交化运营。

广州都市圈在线网规划布局、轨道交通衔接及运营运输服务方面均表现成熟。2024年5月，广佛环线城际铁路南段(佛山西—番禺)、佛莞城际铁路(番禺—东莞西)正式开通，与既有佛肇城际铁路(佛山西—肇庆)、莞惠城际铁路(东莞西—小金口)实现四线贯通运营，将佛山、东莞中心区纳入广州半小时通勤圈，肇庆、惠州中心区纳入广州1 h通勤圈。贯通线路采用“站站停+大站快车”公交化运营，以满足不同旅客的出行需求。此外，广州都市圈积极推动不同运营主体铁路安检互信，目前实现了广肇城际铁路(番禺—肇庆)、广惠城际铁路(番禺—惠州北)、广清城际铁路(广州白云—飞霞)与国铁在佛山西、肇庆、花都、东莞4个车站安检互认，极大缩短了旅客换乘时间。但广州都市圈目前还没有出台正式的都市圈交通专项规划，在顶层设计方面存在欠缺。

武汉都市圈在轨道交通衔接和顶层统筹设计方面表现成熟，处于全国领先水平。武黄城际铁路(武昌—大冶北)、武冈城际铁路(葛店南—黄冈东)、武孝城际铁路(汉口—云梦东)、武咸城际铁路(南湖东—咸宁南)开通运营，初步形成了以武汉为核心

表6　聚类结果及排序

Tab.6　Clustering results and sorting

都市圈名称	排序	综合聚类结果	线网规划布局	轨道交通衔接	运营运输服务	顶层统筹设计
广州都市圈	1	成熟型	成熟型	成熟型	成熟型	发育型
武汉都市圈	2		起步型	成熟型	起步型	成熟型
南京都市圈	3		发育型	发育型	起步型	成熟型
杭州都市圈	4	发育型	发育型	发育型	起步型	成熟型
深圳都市圈	5		发育型	成熟型	起步型	发育型
郑州都市圈	6		发育型	起步型	起步型	成熟型
成都都市圈	7		发育型	起步型	起步型	成熟型
西安都市圈	8		发育型	发育型	起步型	发育型
上海大都市圈	9		起步型	发育型	发育型	发育型
首都都市圈	10		起步型	起步型	成熟型	起步型
重庆都市圈	11		起步型	起步型	发育型	起步型
长株潭都市圈	12	起步型	起步型	发育型	起步型	发育型
青岛都市圈	13		起步型	起步型	起步型	起步型
厦漳泉都市圈	14		起步型	起步型	起步型	发育型
石家庄都市圈	15		起步型	起步型	起步型	发育型
福州都市圈	16		起步型	起步型	起步型	发育型
济南都市圈	17		起步型	起步型	起步型	发育型
合肥都市圈	18		起步型	起步型	起步型	发育型
沈阳都市圈	19		起步型	起步型	起步型	发育型

表7　“四网融合”发展程度分析

Tab.7　Analysis on development degree of “four-network integration” of rail transit in metropolitan areas

类型	个数	占比/%	均值
成熟型	3	15.79	0.551 2
发育型	8	42.11	0.362 0
起步型	8	42.11	0.117 4

的放射状城际网。2024年1月，武鄂黄黄新城快线(武汉东—黄冈西、武汉东—大冶北)开通，实现了城际铁路的公交化运行，每日开行列车最高达50列，最短间隔仅0.5 h，乘客不需要提前买票，可以直接通过支付宝、微信等方式刷卡或刷码乘车，采用类似地铁的运营模式，不预设固定车厢与座位，乘客可自由选择。在顶层设计方面，武汉都市圈成立了专管都市圈交通规划建设的领导机构，并于2023年8月审议了《武汉都市圈交通运输发展规划(征求意见稿)》，充分体现了其对“四网融合”的重视程度。

南京都市圈在顶层设计方面表现成熟。2024年11月15日，南京都市圈党建引领交通运输高质量发展联盟成立暨交通专委会会议在南京召开，大会审议并通过了《南京都市圈综合交通运输体系规划(2024—2035年)》，为都市圈轨道交通“四网融合”提供了强有力的政策支持。目前，南京都市圈开通运行的宁句城际铁路(马群—句容)、滁宁城际铁路滁州段(滁州高铁—汊河)已成功联通了南京、句容和滁州，宁马城际铁路(西善桥—太白)、宁扬城际铁路(仙林湖—扬州西)、滁宁城际铁路南京段(南京北—盘城)、宁淮城际铁路(南京北—淮安东)、宁宣城际铁路(南京—宣城)正加快建设，南京都市圈交通一体化衔接会进一步得到加强。

(3) 发育型都市圈“四网融合”发展程度分析。“四网融合”发展处于发育阶段的都市圈有杭州都市圈、深圳都市圈、郑州都市圈、成都都市圈、西安都市圈、上海大都市圈、首都都市圈和重庆都市圈。此类型都市圈在轨道交通衔接及运营运输服务方面表现较弱，一些都市圈尚未规划市域(郊)铁路，难以覆盖外围组团。各层次轨道交通规划协调不够，缺少统筹布局与合理衔接，存在规划冲突、通道配置重复等现象，应积极探索有条件的线路跨线贯通运行，利用国铁开行市域(郊)列车，选择既有普速铁路或客流较小的城际铁路，通过优化时刻表、增加停站、改造票务系统等方式，开行服务于通勤的市域(郊)列车。

杭州都市圈在顶层设计方面表现良好。在市域(郊)铁路密度处于领先地位，2021年，杭海城际铁路(临平南高铁站—浙大国际校区)、杭绍甬城际铁路(宁波—杭州南)相继开通，极大地便利了杭州、绍兴、海宁人民的出行，基本上满足了杭州“1 h通勤”的要求。此外，杭州都市圈成立杭州都市圈交通专委会，多次开展专题会议及培训，编制《杭州都市圈市域铁路网专项规划》等。

深圳都市圈在交通衔接方面表现成熟。都市圈内综合枢纽数量多，多个换乘站点实现了国铁制式和地铁制式的接驳。都市圈内“四线”贯通实现了城市轨道交通和城际铁路之间的兼容。但目前深圳都市圈还未出台专门的都市圈交通规划，未来在深圳都市圈统筹规划方面还需进一步探索。

郑州都市圈在顶层统筹方面表现良好。2021年郑州市发展改革委印发了《郑州都市圈交通一体化发展规划(2020—2035年)》，为郑州市都市圈交通发展提供了政策支撑。目前，郑州米字形高速铁路网大格局基本形成，郑开城际铁路(郑州东—开封)、郑焦城际铁路(郑州—焦作)、郑机城际铁路(郑州东—郑州航空港)、郑许市域(郊)铁路(长安路北—许昌东)等相继开通，综合线网密度名列前茅。

成都都市圈在顶层统筹设计方面表现良好。四川省推进成德眉资同城化发展领导小组办公室负责成都都市圈建设工作，印发《成德眉资同城化综合交通发展规划(2022—2025年)》，明确了交通“同城同网”的总体思路、空间布局和重点任务。票制通勤方面，成灌铁路(成都—青城山)购票乘车方式多元化，可用车票、天府通交通卡、中铁银卡通、乘车码多种方式进出站，目前已实现高水平的公交化运营。犀浦站作为全国首个实现动车与地铁安检互信、同站台交互换乘的车站，成功实现了成灌铁路(成都—青城山)与成都轨道交通2号线(犀浦—龙泉驿)之间的双向同台换乘。

西安都市圈在线网布局、设施衔接以及顶层设计方面均处于发育状态。线网密度较低，尤其是市域(郊)铁路规划不足，未来应结合都市圈实际情况，及时制定市域(郊)铁路网规划方案，补足四网融合过程中的短板，促进多层次轨道交通网络全面、可持续发展。

上海大都市圈设施衔接、运营服务与顶层设计处于发育状态。上海积极探索通勤多样化票制，市域(郊)铁路金山铁路(上海南—金山卫)综合了国铁和地铁2种运营模式，乘客可以选择购买铁路火车票，也可以使用公交卡刷卡刷码进站，实现了与市区的无缝连接。得益于长三角一体化政策支撑，出台了长三角发展规划及上海大都市圈国土规划，但尚未出台轨道交通层面的规划。

首都都市圈在运营运输服务层面达到成熟，通过北京地铁1号线(玉泉路—四惠)与地铁八通线(四惠—环球度假区)的跨线运行、地铁4号线(安河桥北—公益西桥)与地铁大兴线(公益西桥—天宫院)、地铁9号线(郭公庄—国家图书馆)与地铁房山线(东管头南—阎村东)、天津轨道交通5号线(北辰科技园北—京华东道)与天津市域(郊)铁路津静线(京华东道—团泊医学园)的贯通运行减少了乘客的换乘负担，促进了首都都市圈的四网融合水平。依托京津冀协同发展战略，“轨道上的京津冀”主骨架成型，形成1 h交通圈和主要城市间2 h通达圈，区域运输组织和服务质量大幅提升。这源于其以交通一体化为先行领域的战略定位，且有国家层面专项规划推动，使得运输服务在实践中率先实现成熟化。但当前首都都市圈尚未成立专门的组织机构，还未出台都市圈层面的发展规划，顶层设计较为薄弱。此外，与上海大都市圈相同，碍于较大的都市圈面积，尽管拥有规模较大的城市轨道和高速铁路线路，但整体密度较小。

重庆都市圈在运营运输服务方面为发育型。当前重庆市域(郊)铁路江跳线(跳磴—圣泉寺)与重庆轨道交通5号线(悦港北路—跳磴)实现贯通运营，轨道交通4号线(顺水寺公园—黄岭)、轨道交通5号线与轨道交通环线(重庆图书馆—重庆图书馆)也实现了贯通，部分线路已体现融合成效。但受地形限制，设施衔接难度较大，尚未形成规模化的衔接体系。

(4) 起步型都市圈“四网融合”发展程度分析。“四网融合”发展处于起步阶段的都市圈有长株潭都市圈、青岛都市圈、厦漳泉都市圈、石家庄都市圈、福州都市圈、济南都市圈、合肥都市圈和沈阳都市圈。起步型都市圈在线网规划布局和轨道交通

衔接2个硬件基础上全面落后，运输服务及顶层设计也较为薄弱，当前最迫切的任务不是大规模建设，而是做好顶层设计和战略预留，特别是为市域(郊)铁路和城际铁路进入城市中心区预留条件，避免未来拆迁和改造的巨额成本。

3　政策建议

3.1　构建分层协同的立体网络

明确功能定位与圈层布局，以干线铁路为都市圈对外联系的主干网络，城际铁路聚焦1 h通勤圈，市域(郊)铁路强化核心区与外围组团衔接，城市轨道交通覆盖中心城区短距离出行，推动多层次线网功能融合。推动高速铁路承担城际功能，普速干线铁路承担市域(郊)功能，利用既有普速铁路富余能力，在通勤需求大的都市圈范围内，通过线路、场站适应性改造，开行市域(郊)列车[11-12]，满足都市圈通勤需要，从而实现资源的充分利用，实现可持续发展。

此外，需要辩证看待轨道交通与城市发展的互动关系。作为重要的基础设施，轨道交通不仅服务于城市内部通勤需求，更在都市圈经济空间重构中发挥着战略引领作用。在都市圈轨道交通规划中，应当前瞻性地考虑其对区域空间布局和经济要素流动的引导效应，通过科学论证适度超前布局[13]，为都市圈高质量发展提供支撑。对于发展条件尚不成熟的地区，则需避免盲目投资建设，防止增加财政压力。这类城市应注重长远规划，提前做好客流预测和廊道预留[14-15]，待时机成熟时快速推进轨道交通建设，最终构建规模合理、层级清晰的都市圈轨道交通网络体系。

3.2　强化枢纽衔接和站城融合

对于正处于轨道交通规划或建设初期的城市，可以充分利用“后发优势”实现更高水平的发展，既要重点优化网络通达性，科学设计线路走向，提升站点间的直达效率，同时为未来多制式轨道交通系统预留发展空间，注意设备兼容或统一标准。针对已建成且结构相对固化的轨道交通网络，可通过优化换乘枢纽的方式提升都市圈轨道交通的互联互通水平。对现有换乘站点进行改造升级，简化进出站、候车等流程，重点优化跨制式换乘体验[16]，合理控制换乘距离，参考犀浦站同台换乘设计可显著提升换乘效率，缩短乘客中转时间。

在推进综合交通枢纽建设过程中，应当注重与城市功能的有机融合，将枢纽选址与国土空间规划体系紧密衔接，在城市总体规划和详细规划层面统筹考虑铁路通达性与站点周边开发的关系，将车站功能与城市生活空间有机串联，实现交通功能与城市发展的双向协调。大力推行TOD开发理念，通过交通导向型开发模式激发站点区域活力，形成“枢纽+社区+商业”的复合功能组团[17]，实现土地价值与交通效益的叠加倍增。

3.3　探索一体化运营管理模式

丰富和完善客运产品供给，例如在市中心段，以“站站停”方式扩大轨道交通覆盖面，并通过加密发车、缩短行车间隔来提升运营频率，对需求旺盛的线路实行公交化运营，保障早晚高峰运力供给；在郊区段，通过实施跨站运行或开行大站快车减少停站次数，实现中心区与郊区新城之间的快速连通，提升通勤吸引力[18]。推动铁路乘车卡与城市轨道交通卡兼容，推出定期票、计次票等新型票制产品，更好满足旅客多样化需求。同时，积极推广“虚拟换乘”模式，研究完善多制式轨道交通票制互通机制，拓展“一次购票、一次支付”服务模式[14]，根据出行路径和票价制定清分结算[19]等标准，从而有效培养客流、提高城市连通性和便利性。

打通关键节点的服务障碍，积极推动由单向安检互认向双向安检互认过渡[20]，最终构建全流程“一次安检”的便捷模式；完善车站标识系统，有条件的高速铁路枢纽设置城际铁路和市域(郊)铁路专用快速通道；推广全程无感通行技术，实现“刷脸进站、扫码乘车”智能化服务，同时优化站内客流组织方案，重点改善中转换乘效率。建立跨制式轨道交通数据共享机制，搭建统一的信息交互平台，实现不同层级轨道系统间的运营数据实时互通。优化12306平台功能，开发全程出行智能规划系统，为旅客提供最优路线推荐、换乘方案及票务一体化服务，完善联程票、接续票等特色功能。

3.4　强化制度保障与区域协同

加强政策保障顶层设计，研究出台促进多层次

轨道交通融合发展的指导性文件，统筹谋划多层次轨道交通的网络布局、功能定位、技术标准等。制定税收减免、用地指标倾斜等政策包，鼓励企业开展跨网技术研发与模式创新。当前国家铁路局已经发布了多项推动四网融合的铁路行业工程建设标准，并以大湾区为试点推动轨道交通标准衔接，下一步应加快形成不同建设主体、不同运营主体、不同制式轨道交通间基础设施、牵引供电、通信信号、动车组等方面的技术规范，编制区域性行业标准，推动四网融合从试点示范向全面实施转变。

将四网融合实施成效纳入地方政府绩效考核，建立“以奖代补”机制激发改革动力。推动成立轨道交通融合发展领导小组[21]，统筹制定跨区域、跨部门的政策法规，建立“规划—建设—运营”全周期协同管理机制，破解行政壁垒导致的规划冲突与资源错配问题。创新投融资和利益分配模式，探索“专项债+REITs(不动产投资信托基金)”组合融资模式，吸引社会资本参与跨制式轨道项目建设[21]。设计基于客流贡献度的收益分成模型，明确国铁、城轨企业与地方政府在票款收入、商业开发收益中的分配比例。对公益性突出的市域(郊)铁路线路，建立中央与地方按比例分担的运营补贴长效机制等。

4　结束语

“四网融合”是推动都市圈高质量发展的重要路径而非目标，不宜盲目推进轨道交通建设，以免加重财政压力，造成资源闲置，各都市圈应立足自身实际，科学对标先进地区与同类区域，稳步推进多层次轨道交通的规划与建设。研究搭建了“四网融合”发展程度的评价体系，未来可进一步结合各都市圈的功能定位与发展特征，设计差异化指标以提升评估精准度。研究目前侧重都市圈之间的横向比较，缺少对不同发展阶段的动态考量。未来可系统剖析都市圈与轨道交通的协同演进逻辑，探寻适配不同发展水平的轨道交通优化模式。

参考文献：

[1] 张依婧，张　毅，汪　涛，等. 基于BP神经网络的城市轨道交通线网合理规模研究[J]. 城市道桥与防洪，2023(3)：230-235，29-30.
ZHANG Yijing，ZHANG Yi，WANG Tao，et al. Study on Reasonable Scale of Urban Rail Transit Network Based on BP Neural Network[J]. Urban Roads Bridges & Flood Control，2023(3)：230-235，29-30.

[2] 胡　杨. 新发展阶段下轨道交通线网规划分析[J]. 运输经理世界，2023(8)：1-3.

[3] 李　昂. 高速铁路与城市轨道交通衔接换乘问题研究[D]. 北京：北京交通大学，2011.

[4] 陈青云，顾　洋，李海博. 跨市域轨道交通一票制换乘应用探析[J]. 铁道运输与经济，2020，42(11)：12-16，71.
CHEN Qingyun，GU Yang，LI Haibo. A Tentative Study on Application of One-Ticket Transfer in Cross-City Rail Transit[J]. Railway Transport and Economy，2020，42(11)：12-16，71.

[5] 彭　磊，王多宏. 重庆轨道交通一体化运营调度系统研究[J]. 铁道运输与经济，2024，46(1)：133-138.
PENG Lei，WANG Duohong. Integrated Operation and Dispatching System in Chongqing Rail Transit[J]. Railway Transport and Economy，2024，46(1)：133-138.

[6] 曹恺宁，王思颖，李子谅. 轨道交通四网融合路径探讨：以大西安为例[J]. 城市道桥与防洪，2020(2)：1-9.
CAO Kaining，WANG Siying，LI Zijing. Exploration on Path of Four-Network Integration of Rail Transit[J]. Urban Roads Bridges & Flood Control，2020(2)：1-9.

[7] YANG A N，WANG B，HUANG J L，et al. Service Replanning in Urban Rail Transit Networks：Cross-Line Express Trains for Reducing the Number of Passenger Transfers and Travel Time[J]. Transportation Research Part C：Emerging Technologies，2020，115：102629.

[8] 林雄斌，杨家文. 粤港澳大湾区都市圈高速铁路供给机制与效率评估：以深惠汕捷运为例[J]. 经济地理，2020，40(2)：61-69.
LIN Xiongbin，YANG Jiawen. Metropolitan High Speed Rail Supply and Its Efficiency in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area：Case of Shenzhen-Huizhou-Shanwei[J]. Economic Geography，2020，40(2)：61-69.

[9] 何龙庆，陈　雷，张　磊. 轨道交通“四网融合”发展规划的思考[J]. 交通与运输，2022，35(S1)：153-158.
HE Longqing，CHEN Lei，ZHANG Lei. Thinking and Practice of Four-Network Integration in Rail Transit[J]. Traffic & Transportation，2022，35(S1)：153-158.

[10] 郭　婷. 我国都市圈轨道交通“四网融合”发展程度评价研究[D]. 北京：北京交通大学，2022.

[11] 陈　旭. 面向四网融合的大型铁路枢纽规划重点问题探

讨[J]. 铁道运输与经济，2024，46(4)：68-74.
CHEN Xu. Discussion on Key Issues of Large-Scale Railway Hub Planning for Four Networks Integration[J]. Railway Transport and Economy，2024，46(4)：68-74.

[12] 王　超，王文杉，武剑红，等. 北京市利用国铁资源发展都市圈市郊铁路构想研究[J]. 铁道运输与经济，2020，42(5)：92-96.
WANG Chao，WANG Wenshan，WU Jianhong，et al. A Concept of Developing Metropolitan Suburban Railway Using National Railway Tracks in Beijing[J]. Railway Transport and Economy，2020，42(5)：92-96.

[13] 张沣铭. “四网融合”视域下轨道交通对长三角区域经济一体化的影响及启示[J]. 中国市场，2024(19)：23-26.

[14] 蔡润林，何兆阳，杨敏明. 轨道交通四网融合的发展需求、内涵和路径：以长三角城市群为例[J]. 城市交通，2022，20(5)：13-22，30.
CAI Runlin，HE Zhaoyang，YANG Minming. Development Demand，Connotation and Path of Four-Network Integration of Rail Transit：A Case Study of Yangtze River Delta City Cluster[J]. Urban Transport of China，2022，20(5)：13-22，30.

[15] 訾海波，吴娇蓉. 基于四网融合的上海新城对外客运枢纽构建路径[J]. 城市交通，2022，20(5)：31-40.
ZI Haibo，WU Jiaorong. Construction Path of External Passenger Terminals in Shanghai’s New Cities Based on Four-Network Integration[J]. Urban Transport of China，2022，20(5)：31-40.

[16] 戴　智，王小龙，韩延彬，等. 粤港澳大湾区城际铁路公交化运营模式下服务提升对策研究：以广佛都市圈为例[J]. 都市快轨交通，2024，37(4)：9-15.
DAI Zhi，WANG Xiaolong，HAN Yanbin，et al. Countermeasures for Service Improvement under Bus-Like Operation of Intercity Railways in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area：A Case Study of the Guangfo Metropolitan Region[J]. Urban Rapid Rail Transit，2024，37(4)：9-15.

[17] 孙　宝. “四网融合”理念下无锡市域(郊)铁路规划研究[J]. 铁道运输与经济，2024，46(5)：183-191，218.
SUN Bao. Research on the Urban(Suburban) Railway Planning of Wuxi under the Concept of “Four Networks Integration”[J]. Railway Transport and Economy，2024，46(5)：183-191，218.

[18] 蔡涵哲，孙元广，王芳玲. 市域快速轨道交通规划实施分析：以广州都市圈为例[J]. 城市交通，2022，20(2)：53-58，98.
CAI Hanzhe，SUN Yuanguang，WANG Fangling. Implementation of Urban Rapid Rail Transit Planning：Case Study of Guangzhou Metropolitan Area[J]. Urban Transport of China，2022，20(2)：53-58，98.

[19] 李晓玉，苏跃江，胡郁葱，等. “四网融合”背景下粤港澳大湾区轨道交通票价一体化研究[J]. 城市轨道交通研究，2022，25(10)：14-19.
LI Xiaoyu，SU Yuejiang，HU Yucong，et al. Integration of Rail Transit Fares in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area under the Background of “Four-Network” Integration[J]. Urban Mass Transit，2022，25(10)：14-19.

[20] 蔡昌俊. 轨道交通助力粤港澳大湾区发展：多网融合研究与实践[J]. 城市轨道交通，2023(5)：38-41.

[21] 武剑红，王璞玉，王　超，等. 国铁参与市域(郊)铁路发展的机遇与路地合作机制创新[J]. 铁道运输与经济，2016，38(10)：59-63，71.
WU Jianhong，WANG Puyu，WANG Chao，et al. The Opportunity and Cooperation Mechanism between the National Railways and the Local Governments in the Development of the Suburban Railways in China[J]. Railway Transport and Economy，2016，38(10)：59-63，71.

(责任编辑　刘宁馨)

(上接第46页)

Report%20on%20Railway%20Safety%20and%20Interoperability%20in%20the%20EU%202022. pdf.

[15] KOCHAN A，DASZCZUK W B，GRABSKI W，et al. Formal Verification of the European Train Control System (ETCS) for Better Energy Efficiency Using a Timed and Asynchronous Model[J]. Energies，2023，16(8)：3602.

[16] 刘　丹，王　剑，姜　维，等. 列车组合定位系统定位精度评估方法研究[J]. 铁道学报，2019，41(11)：79-87.
LIU Dan，WANG Jian，JIANG Wei，et al. Research on Positioning Accuracy Evaluation Method for Integrated Train Positioning System[J]. Journal of the China Railway Society，2019，41(11)：79-87.

[17] 葛思宇，许哲谱，邹劲柏，等. 城市轨道交通车载台检测系统设计与实现[J]. 铁路计算机应用，2025，34(3)：82-86.
GE Siyu，XU Zhepu，ZOU Jinbai，et al. Detection System of on Board Communication Radio for Urban Rail Transit[J]. Railway Computer Application，2025，34(3)：82-86.

(责任编辑　金　晶)