

文章编号:1004-2954(2024)10-0001-12

线网规划级绿色城轨理论框架体系研究

李岩辉

(中铁第一勘察设计院集团有限公司,西安 710043)

摘要:为贯彻“交通强国”“双碳目标”要求,以《中国城市轨道交通绿色城轨发展行动方案》为指导,从城市空间、综合交通、轨道交通3个层面探讨线网规划阶段的绿色低碳分析与评价方法,系统性搭建了从宏观到微观层面的理论框架。分析过程采用建立模型、空间计量学、地理分析、客流预测等研究方法,通过“定量+定性”建立轨道交通绿色低碳效果理论架构。研究提出一种“城市-交通-轨道”三位一体绿色发展的框架,形成以定量分析为主的评价指标体系,能够有效落实并提升绿色出行占比的目标,在承接上位规划的同时,结合轨道交通自身特征,指导下阶段绿色城轨的实施、相关研究专题编制。研究结果表明,将轨道交通线网规划涉及的各要素与城市、综合交通结合,能全面、有效、量化反映绿色发展的要求,最终形成各指标计算方法,具备可实施性、可操作性、可对比性,不但能落实国土空间、综合交通规划的要求与目标,也能对后续建设规划、工可、初设等阶段的绿色发展提供指导,与轨道交通全过程规划设计流程较为匹配,分析结论与建议也能够较好地反馈并纳入国土空间规划、综合交通规划,确保规划一张蓝图。

关键词:轨道交通;绿色轨道;双碳目标;城市空间;综合交通;线网规划

中图分类号:U231.1 **文献标识码:**A **DOI:**10.13238/j.issn.1004-2954.2023006260003

Research on the Theoretical Framework of Green Urban Rail Transit at the Network Planning Level

LI Yanhui

(China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Xi'an 710043, China)

Abstract: To implement the requirements of “Building a Strong Transportation Nation” and the “Dual-Carbon Goals”, and guided by the “Action Plan for Green Urban Rail Transit Development in Chinese Cities”, this study explores green and low-carbon analysis and evaluation methods in the rail network planning stage from three aspects: urban space, integrated transportation, and rail transit. A comprehensive theoretical framework was systematically constructed, covering macro to micro levels. The analysis process employed various methods, including model building, spatial econometrics, geographic analysis, and passenger flow prediction, to establish a theoretical structure for the green and low-carbon effects of rail transit through both quantitative and qualitative approaches. The study proposed a tripartite green development framework integrating “City-Transportation-Railway”, forming a primarily quantitative evaluation index system that effectively promotes green travel. This system aligned with higher-level planning while considering the unique characteristics of rail transit, guiding the next phase of green urban rail implementation and related research. The research results demonstrated that combining elements of rail network planning with urban and integrated transportation could effectively and quantitatively reflect

green development goals. The calculation methods for evaluation indicators were feasible, operational, and comparable. This framework not only meets the requirements and goals of national land spatial planning and integrated transportation planning but also provides valuable guidance for

收稿日期:2023-06-26;修回日期:2023-07-24;网络首发日期:2023-09-15

基金项目:陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2023-JC-YB-474);中铁第一勘察设计院集团有限公司科研项目(2022KY12ZD(DWRH)-01);中国铁建股份有限公司2024年度地下空间利用领域科研课题(基于轮轨技术的城市地下物流运输系统研发)

作者简介:李岩辉(1988—),男,高级工程师,2018年毕业于长安大学交通工程专业,工学博士,主要从事线网规划、需求分析工作,E-mail:liyanhui.yy@crcc.cn

subsequent stages of construction planning, feasibility studies, and preliminary designs in green development. Furthermore, it aligns well with the entire planning and design process of rail transit. The conclusions and recommendations from this study can be effectively incorporated into national land spatial planning and integrated transportation planning to ensure a unified planning blueprint.

Key words: rail transit; green rail transit; dual-carbon goals; urban space; integrated transportation; network planning

1 研究背景

中国城市轨道交通协会于 2022 年 8 月颁布了《中国城市轨道交通绿色城轨发展行动方案》(以下简称“《行动方案》”),从要求、目标、任务、保障措施等多方面对轨道交通践行“双碳”目标提出具体的指导方案,明确轨道交通在规划、建设、运营等各阶段的低碳实施目标。

《行动方案》的“绿色规划先行行动”中要求在线网规划、建设规划等阶段编制“绿色发展专篇”,在线网规划阶段突出轨道交通功能、出行占比提升等内容。线网规划综合考虑了社会经济发展、人口分布特征、国土空间规划、综合交通、出行需求等因素,涉及方面众多。在解读“交通强国”“双碳目标”、《行动方案》等上位政策的前提下,结合国内各城市线网规划阶段的内容、深度,探索线网规划级绿色城轨理论体系,提出可用于线网规划绿色发展专篇的编制思路。通过对线网进行绿色低碳系统评估,量化分析绿色交通实施情况,并将其反馈到国土空间规划、线网规划、轨道交通后续设计工作中,提升各阶段绿色城轨实施效果、优化综合交通体系与用地融合效率、加强轨道交通引领下城市空间重塑。

2 理论体系建立

2.1 体系建立思考原则

在“双碳目标”、《行动方案》的指导下,从轨道交通的供需关系着手,将绿色规划先行、节能降碳增效、出行占比提升作为实施目标纳入线网规划的全过程^[1-2]。鉴于线网规划涉及因素众多,以宏观、前期研究为切入点,对影响线网研究的主要因素进行梳理,具体思考原则包括以下方面。

(1) 城市发展

城市发展在实施双碳、绿色体系中为总领作用,体现在城市结构、土地利用、市政、建筑、交通、能源等方面^[3-4],通过自上而下的空间指引,确定宏观指导原则,并从国土空间规划、用地功能平衡、城市结构-微观社区不同尺度提出减排增汇策略路径^[5]。

(2) 综合交通

作为城市基础设施的重要组成部分,综合交通的绿色低碳政策对全社会节能减排具有重要意义。以综合交通各方式与轨道交通的互动关系为基础,以优化公交网络与轨道网的协调关系、提升各交通方式衔接效率、车站设计与交通设施衔接为主,从顶层规划设计到具体实施建立完整的体系^[6]。

(3) 轨道交通

在轨道交通的全寿命周期内,均需制定相应的减排策略,包括线网规划、时序选择、线站位优化方案、客流需求分析、服务水平、交通一体化衔接、运营管理等方面,反映轨道交通全过程的绿色发展策略^[7]。在规划基础上进一步聚焦轨道交通落地实施的节能减排措施,考虑线网级或前期研究工作深度,可针对绿色工程设计提出设计原则、建设目标,以指导后续设计、施工^[8-9]。

2.2 理论体系概况

轨道交通绿色理论体系以“双碳目标”、可持续发展、统筹规划为主要前提^[10],结合线网规划阶段的研究重点,采用“定量+定性”的方法,构建“城市-交通-轨道”的体系框架(图 1),主要包括以下 5 个方面。

(1) 线网与城市空间的协同性

以城市发展现状、国土空间规划为上位依据,分析线网布局与城市空间关系、线路与主要发展轴线融合程度、线路对重要组团的覆盖等,判断线网对现状的引领带动、对规划的衔接支撑能否满足发展需求。

(2) 线网与综合交通衔接

轨道交通作为综合交通的重要组成部分,可从供、需两个方面进行分析。①供给,从各类交通设施特征出发,分析轨道网与道路功能、枢纽衔接、交通一体化的融合;②需求,分析出行特征、用地特征与发生吸引、职住分离程度,通过优化设施服务水平,提升绿色出行占比^[11]。

(3) 线网服务水平评价

构建线网方案的量化评价指标体系,通过客流效益、轨道交通出行占比、城市要素覆盖率、可达范围、连接重要客流集散点与对外枢纽、敏感点(文物、环保、特殊用地)的避让关系等内容^[12],对多方案进行评价、比选、优化,提出合理化建议。

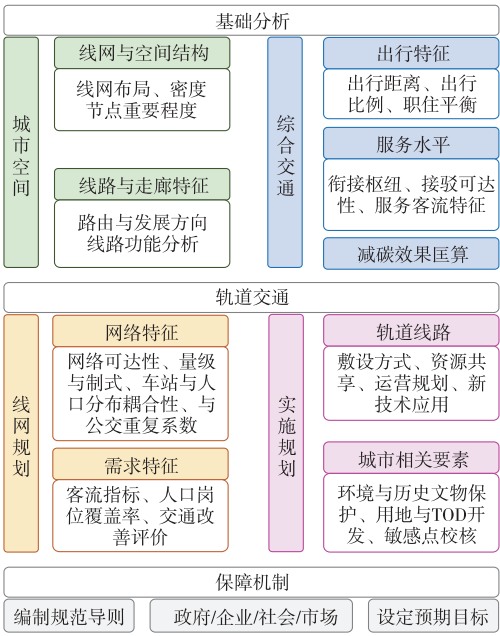


图 1 线网级绿色城轨体系框架

Fig. 1 Green urban rail framework at the network scale

(4)线站位布局的适宜性、合理性

以线网为基础,进一步细化线站位与人口分布融合、运营规划、敷设方式、资源共享、地块一体化开发、出入口交通设施衔接等内容,结合线网规划研究深度,分层、分类提出相应的落地实施原则。

(5)发展目标与保障反馈机制

根据上述分析,确定线网规划远期、远景年度应达到的绿色出行目标,包括出行比例、出行总量、碳排放减量匡算等指标,通过指标形成反馈机制,对国土空间规划、综合交通规划、线网规划、详细规划与街道设计提出优化意见^[13],促进轨道交通与城市协同发展。

3 城市空间

3.1 研究思路与框架

轨道交通是服务城市的重要基础设施,分析线网的绿色低碳评价体系,应从城市功能、空间组成、交通产生机理、城市对轨道交通的互动作用等方面总结居民出行的便捷性、集约性提升措施,通过空间的统筹、优化基础设施布局促进绿色发展,完善空间进而优化管理交通活动水平,提升不同圈层的交通平衡状态^[14]。在评价轨道交通线网与城市空间的绿色发展关系过程中,对宏观层次的低碳框架进行分解落实,城市空间层面绿色城轨评价指标如表 1 所示。

由表 1 可知,从宏观层面确定网络功能、效益能满足实际需求。一方面,审视网络方案的合理性;另一方面通过定量指标,对线网提出优化、调整策略。

表 1 城市空间层面绿色城轨评价指标

Tab. 1 Evaluation indices for green urban rail at urban spatial scale

指标	说明
网络分布与空间关系(面、点)	①线网密度与片区功能:定性+定量指标 城市重点发展片区、人口岗位与需求密集区域、开发强度较高的集中连片区,其线网密度相对较高,并与上述各指标呈正相关 ②重点片区辐射功能:定性+定量指标 “枢纽”作为网络分析概念,通过描述节点连接线路的数量衡量该节点的重要性,也可以用“度”“介数”或“Hub 节点”描述,区域重要程度应与连接对外辐射的网络数量呈正相关性
路由与主要发展轴线(线)	①线网与发展方向匹配:定性指标 比对线网与国土空间规划确定的发展轴带的一致性,要求既能满足现状发展的需求,也能支撑带动规划发展;既能确定已有成熟空间的走向,也能给未来发展、延伸提供弹性条件,增加网络韧性 ②网络与线路功能:定性+定量指标 线路功能一方面可根据国土空间规划确定其整体发展定位,也可采用空间句法、聚类分析、地理加权回归等模型定量确定线路功能

3.2 研究内容

3.2.1 网络分布与空间关系

(1)线网密度与功能片区(图 2)

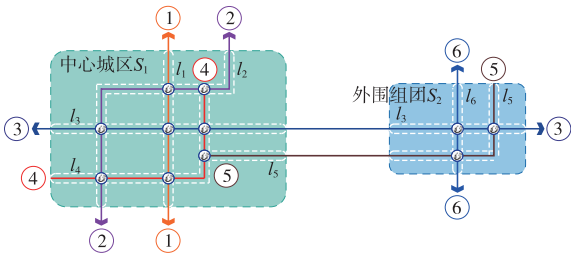


图 2 线网密度与功能片区

Fig. 2 Network density and function areas

考虑区域发展、资源与空间限制、道路条件、交通需求等因素,线网分布应有所侧重,对功能定位高、区位优势强、人口规模大、有发展潜力的区域,线网密度、换乘枢纽、线路条数也相应提高,以支撑区域发展。通过规划与区域禀赋相应的轨道交通,以提升区域公交出行比例。

中心城区与外位组团的面积分别用 S_1 、 S_2 表示,1~6 号轨道交通连接 2 个区域,在计算区域内部线网规模时,也应按照区域边界裁剪的线网规模进行(图 2 中白色虚线范围),因此,该项指标计算公式如下

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{S_j} \tag{1}$$

式中, α 为区域线网密度; l_i 为区域范围裁剪后各条线路长度,通过加和计算总规模; S_j 为对应区域的规划面积。

通过计算得出的线网密度与片区人口、建设用地

规模、功能定位进行综合比对,通过“定性+定量”指标确定其相关性。相关性越高的区域,该项指标越能体现线网对片区的支撑带动作用。

(2) 重点片区辐射功能

在复杂网络理论中,有多个评价节点重要度的指标,如“节点度”“介数”等,其基本原理是通过连接节点边的数量判断节点重要程度,一般情况下,连接节点的边数越多,该节点越重要、其枢纽地位越强。将该理论应用在轨道交通网络与空间关系中(图 3)。对于核心区、重点片区,其连接线路通常较多,且均为大运量 A/B 型车,满足主要通道的通勤需求;对于外围组团,其连接线路数量相对减少,并应根据客流需求确定适宜的制式。

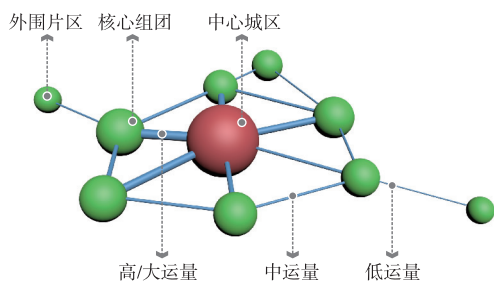


图 3 节点空间与网络层次

Fig. 3 Node spatial structure and network hierarchy

基于轨道网的节点重要度计算式为

$$d_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (2)$$

式中, d_i 为第 i 个片区的轨道交通节点重要度; a_{ij} 为第 i 个片区周边所有连接轨道线路数量之和(共 j 条)。该指标为定量指标,通过国土空间规划对各个区域的功能进行分级、定位,判断片区自身的重要程度和线网节点重要度的匹配性。对于重要区域连接不足或一般片区密度过高的情况,应予以调整。

3.2.2 路由与主要发展轴线

(1) 线网与发展方向

国土空间规划中确定的发展轴线是轨道交通路由布局的重要考虑因素,其线路数量、层次/制式、延伸方向均应与城市发展轴线保持一致(图 4)。

该指标为定性指标,首先需根据规划的发展轴线与拓展方向确定网络布局方向;其次根据城市空间确定网络密度与规模、线路功能层次,确保城市与线路的一致性,并进一步量化连接重要客流集散点的数量以评价其效果,构建轨道引导、支撑城市的发展模式。

(2) 网络与线路功能

传统的网络与线路功能通常为定性指标,以城市

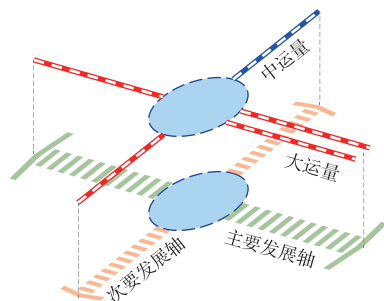


图 4 城市轴线与线路布局

Fig. 4 Urban axes and line layout

规划涉及的城市定位为依据。根据当前地理分析学科的进展,空间句法作为空间计量学的重要分支,能够量化线路的功能与特征,主要包括整合度与穿行度 2 个指标(图 5)。

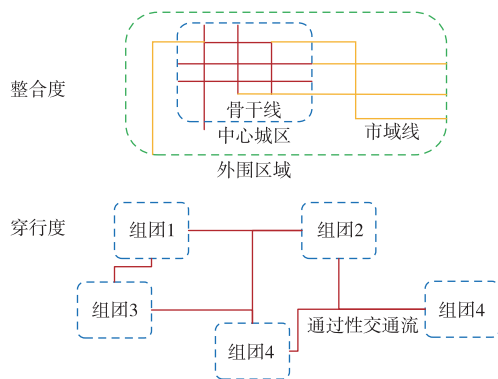


图 5 空间计量学与线路布局关系

Fig. 5 Relationship between spatial econometrics and line layout

整合度含义为各条道路到其他道路需要转换的节点次数的倒数,次数越多,该道路前往其他道路越不方便。整体来说,中间的道路位于几何中心,去任何地方均较为便捷,其整合度高;穿行度含义为各个节点之间最短路径使用每条道路的次数之和,若某条道路被使用次数越多,其重要性越大,承担的通过性客流(快速通过功能)越强,其穿行度越高。

该指标为定量指标,通过空间句法将线网、线路功能量化分析,对网络功能的重要性通过整合度进行分析,确定网络主要范围与区域定位的相关性;对线路功能的重要性通过穿行度进行分析,确定线路承担的通过性功能、快速衔接功能的能力。

3.3 小结

城市空间与线网规划的研究以宏观定性分析为主,随着地理信息、空间分析、多源大数据技术的发展,宏观分析量化逐渐成为技术趋势,通过分析可实现以下目标。

(1) 提升城市、轨道交通之间的融合度和匹配度,

从宏观层面提升“绿色出行占比”。需求特征与城市空间有高度相关性,轨道交通是否与城市发展一致、支撑城市规划实施,是吸引更多客流、提升绿色出行的前提^[15]。

(2)网络及宏观层面的空间一致性分析,通过逐级构建都市圈、区域、街区不同尺度的低碳空间规划体系,制定差异化的绿色行动具体方案,并为下阶段客流预测、运营组织、TOD 开发提供上位依据。

(3)城市规划自身是一个完整成熟的系统,在空间规划、形态布局、功能定位、公共空间、物理环境等方面,均有自身的绿色低碳规划理念,如城市空间设计、碳汇、碳捕获、产能协同、韧性城市、环境与文保、人居环境、紧凑城市等^[16]。交通作为城市系统的一部分,通过将城市绿色理论应用在轨道交通规划设计中,确保多规合一、绿色政策执行的一致性。

4 综合交通

4.1 研究思路与框架

作为交通系统的有机组成部分,轨道交通与综合交通各系统的融合效率,是提升绿色出行占比的重要保证。综合交通内涵复杂,包含各类交通子系统,由于轨道交通主要服务城市交通,本研究重点分析与轨道交通相关性较高的城市交通影响因素,在综合交通的视角下组成多层级的交通大系统,其内容体系与架构如表 2 所示。

表 2 综合交通层面绿色城轨评价指标
Tab.2 Evaluation indices for green urban rail under integrated transportation

指标	说明
提升绿色出行占比指标	包括出行比例、空间分布、出行距离、职住分离程度、轨道交通直接服务客流比例等特征,并通过出行方式与距离指标,匡算有无线网的情况下,减排效果差异,以量化评价建设轨道交通带来的绿色节能效果
一体化衔接	一体化接驳设施是提高轨道交通服务水平、完善最后 1 km 出行的重要手段,评价对外枢纽衔接效率、一体化设施的网络与节点衔接效果、可达范围、可达均衡性,为接驳设施优化提供依据
用地与交通	分析车站周围用地性质、混合程度,判断交通发生/吸引的自平衡率,评估片区内短距离出行、15 min 生活圈的效率

4.2 研究内容

4.2.1 提升绿色出行占比指标

《行动方案》明确将提高绿色出行占比作为重要目标,实现该目标需要在城市居民调查、交通预测模型中,分别对现状及未来的出行特征进行分析,进而从出行比例、分布、距离、覆盖范围等方面判断出行过程中

绿色低碳效果并进行量化匡算。

(1)出行比例

交通模型中通常用轨道交通出行比例、公交出行比例(轨道+常规公交)、绿色出行比例(轨道+常规公交+慢行)等指标描述公交系统的客流效益,在国土空间规划、综合交通体系规划中通常会确定轨道交通、公共交通出行占比的目标值,以量化绿色交通为发展目标。在线网级绿色体系中,通过客流预测专题研究,对比现状公交出行与规划目标差距、规划期公交出行预测值,将公交网络进行补充、优化、衔接。

(2)空间分布与出行距离

在轨道交通客流评价指标中,通常用运距(单条线路)、乘距(网络)、周转量综合评价出行距离,可通过区域出行 OD、站间 OD 计算得出。若从低碳出行角度看,出行距离越近,越能体现用地的集约化、组团化发展,体现片区的自平衡率。但轨道交通的发展,特别是多层次网络的建立,是为了拓展城市骨架结构,使长距离出行更加便捷。因此,在评价出行距离方面,整体网络的出行距离、周转量可以作为参考指标,并绘制不同距离间隔的分布柱状图,评价城市空间范围的变化;而在车站片区范围应关注接驳距离,指标越低则体现接驳越便捷。

(3)职住分离程度

职住关系是促进交通往来的主要动力,可以视为出行的“推-拉”作用。基于规划用地的静态分析,仅可识别片区内部用地属性的均衡程度,但实际出行并不会只限于片区内部。在上述用地分析的基础上,结合手机信令、公交刷卡、OD 调查等数据,分析城市职住距离,通过该指标判断通勤、就学的职住分离程度,结合用地属性分析通勤过程中长距离的出行特征、原因,进一步优化出行结构、补强交通设施、调整用地规划。

(4)轨道交通直接服务客流比例

轨道交通直接服务客流范围集中在车站周边 500~800 m 缓冲区内,该范围使用轨道交通的比例较高,通过步行或非机动车接驳以确保 10 min 内即可到达车站出入口,进而提高绿色出行方式的使用意愿。因此,评价直接使用轨道交通的客流比例,是提升轨道交通客流量、优化服务水平的重要指标。

出行起迄点可通过研究区域划分的格网确定,按照起迄点与车站覆盖范围关系划分为 4 种情形(图 6)。

- ①起迄点均在车站缓冲区且为本线直达,为红色线路 A_1 至 A_2 ,其出行路径为 $a_1-a_2-a_3$ 。
- ②起迄点均在车站缓冲区且为换乘抵达,为绿色

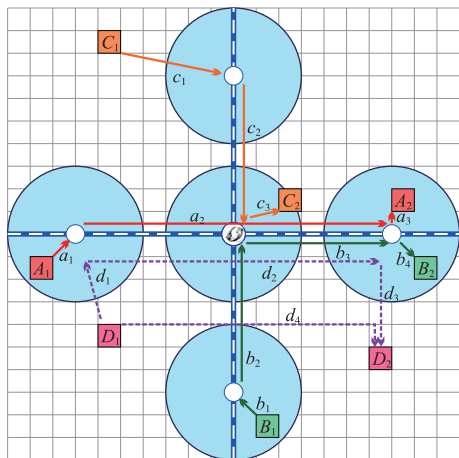


图 6 轨道直接与间接服务客流

Fig. 6 Direct and indirect rail passenger service

线路 B_1 至 B_2 , 其出行路径为 $b_1-b_2-b_3-b_4$, 其中 b_2-b_3 需换乘 1 次。

③起点不在覆盖范围、终点在覆盖范围, 为橙色线路 C_1 至 C_2 , 其出行路径为 $c_1-c_2-c_3$, 其中 c_1 需要通过其他接驳方式衔接。

④起迄点均不在缓冲区, 为紫色线路 D_1 至 D_2 , 其出行路径为 $d_1-d_2-d_3$ 。但由于两端均需要通过接驳才能抵达车站, 其出行时效受到影响, 当采用轨道出行时间不经济时, 出行者可能会选择其他方式或路径出行 (d_4)^[17]。

通过分类分析, 轨道交通直接服务人口可按照情形①、②进行考虑, 该情况使用轨道交通的概率更高, 通过对出行 OD 进行空间叠加, 判断轨道交通对出行链的覆盖水平。对于未覆盖区域, 可根据客流量级优化线路路由、增加中低运量线路、提升接驳设施进行补充, 提高绿色出行比例。

(5) 减碳效果匡算

为衡量现状交通方式、线网规划后交通方式的减碳效果变化, 采用人次·km 作为碳排放指数的衡量单位, 量化碳排放的影响、匡算减碳效果。考虑线网规划阶段研究深度, 可通过各方式 OD 分布进行计算^[18]

$$C_E = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \beta_j \times Q_i \times C_j \times L_i \quad (3)$$

式中, C_E 为各交通方式碳排放总量, kg; β_j 为各交通方式出行比例, %, 共 m 种; Q_j 为某 OD 的全方式出行量, 人次, 共 n 对; C_j 为各交通方式单位距离碳排放指数, kg/(人次·km), 可按照表 3 进行计算^[19]; L_i 为出行距离, km。其中, β_j 、 Q_j 、 L_i 可通过需求预测模型获取。通过计算轨道交通实施前后的碳排放对比, 可以量化轨道交通建设的节能减排效果。

表 3 各交通方式碳排放因子

Tab. 3 Carbon emission indices for each mode of transportation

交通方式	能耗 /(kg 标准煤/100 人·km)	碳排放因子 /(kg/人次·km)
地铁	0.24	0.035
轻轨	0.20	0.030
常规公交	0.85	0.053
小汽车	7.87	0.170
出租车	8.52	0.207
自行车	0	0
步行	0	0

4.2.2 交通一体化接驳设施

轨道交通与综合交通体系的有效衔接, 是提高出行便捷度、落实绿色出行的重要举措。结合轨道交通特征, 将一体化接驳分为衔接对外枢纽、衔接城市交通 2 个层次。

(1) 轨道交通与对外枢纽

轨道交通与对外枢纽的衔接主要包括网络层面与航空、铁路、公路枢纽的衔接, 以及内部流线组织优化 (图 7)。

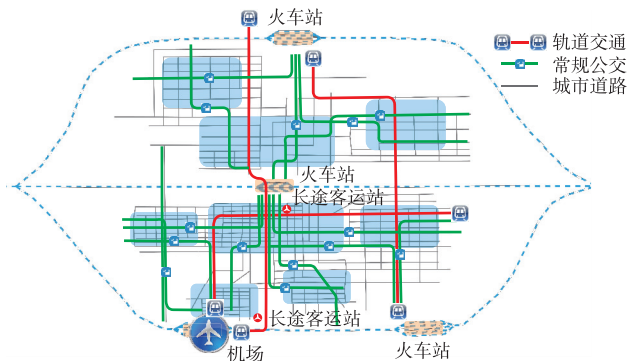


图 7 轨道与对外枢纽衔接关系

Fig. 7 Connection between rail and transportation hubs

对外枢纽一般包括机场、火车站、公路客运站等, 在网络层面, 评价轨道线网衔接各类枢纽的比例; 同时对于国际级、国家级重要枢纽应引入多条、多方向轨道线路, 以满足枢纽的中枢辐射作用。为进一步提升城市多枢纽的衔接融合, 应进一步考虑枢纽之间大范围的衔接关系, 如提升高铁站与机场、高铁站之间轨道交通衔接的可达性, 基于枢纽打造“多中心、网络化、组团式”的城市空间结构^[20]。

在大范围衔接的基础上, 结合大型枢纽组织复杂、规模庞大的特征, 提升枢纽周边的站城一体化、枢纽内部的客流组织、枢纽内的捷运系统等设施的规划, 是促进接驳便捷性的重要手段。

(2) 与城市交通衔接效果评价

作为城市综合交通系统的组成部分, 轨道交通与

其他交通方式的衔接效率是评价出行便捷度的重要指标^[21]。

在网络(线路)层面,反映在网络重复系数、绿色出行网络级配与布局、网络可达性等指标,应减少与轨道交通平行方向的公交重复系数,提升沿线公交网、慢行网络密度,轨道与综合交通网络关系如图 8(a)所示。

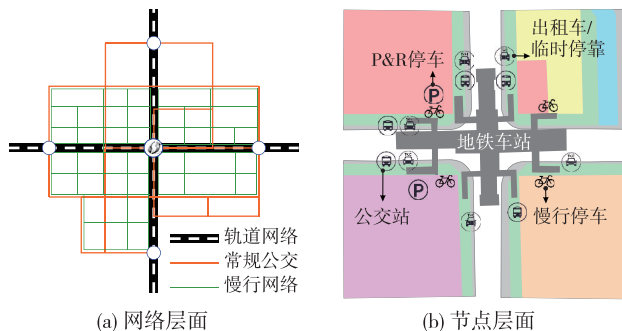


图 8 轨道与综合交通衔接关系

Fig. 8 Connections between rail and integrated transportation

在节点(车站)层面,重点评估出入口周边 50~100 m 范围的设施布局是否合理,研究车站出入口一体化衔接,进一步评价各类设施现状特征,提出改进与优化措施,提升接驳效率与服务水平。进而加强乘客绿色出行的选择意愿,轨道与综合交通节点关系如图 8(b)所示。

在设计方案基础上通过车站各出入口接驳可达范围、接驳均衡指标评价其实际衔接效果(图 9)。

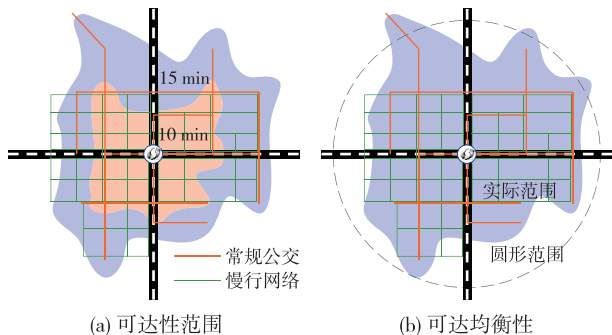


图 9 车站服务范围分析

Fig. 9 Station service area analysis

在图 9(a)中,通过 10 min 或 15 min 的可达范围大小评价接驳效率,主要评价网络连通性能、各层级网络密度;在图 9(b)中,用实际可达范围与可达同心圆比值为指标,评价可达范围的均衡性,图中第 4 象限的连通度不足,可达性受到一定影响,通过“微更新”对部分区域网络进行补充、加密、延伸,完善服务范围^[22]。

4.2.3 用地特征与综合交通模型

从低碳出行、15 min 生活圈的便捷性考虑,过多的

长距离、大范围通勤消耗资源更多,在 TOD 理念的指导下,轨道站点周边用地集约、功能复合发展可有效提升轨道交通的服务水平与客流效益,其空间关系如图 10 所示。

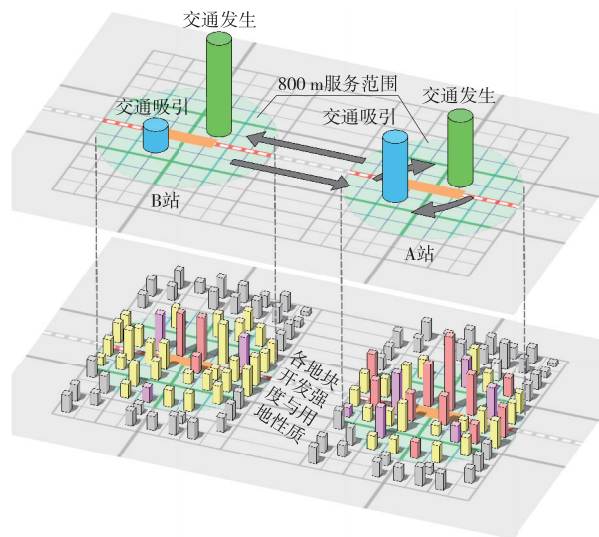


图 10 用地特征与综合交通模型

Fig. 10 Land use characteristics and integrated transportation model

A、B 站均按照 800 m 覆盖范围进行分析,A 站用地混合程度较高,发生吸引均衡;B 站以居住用地为主,交通发生量大于吸引量。因此,优化车站周边用地的复合程度与开发强度,是从源头上提高出行效率、减少长距离出行、实现“低碳街区”重要方法^[23]。该指标为定量指标,可通过用地混合熵进行计算,计算公式如下

$$E_i = - \sum_{k=1}^n (l_{ik} \cdot \ln l_{ik}) / \ln n_i \quad (4)$$

式中, E_i 为第 i 个车站 800 m 范围的用地熵值; l_{ik} 为第 i 个车站,第 k 类用地开发量占总开发量的比例; n_i 为第 i 个车站用地类型数量;熵值 E_i 取值范围为 $[0,1]$,值越高,各类用地开发差值越小,混合熵指数越高。

在轨道交通沿线用地调整时提高沿线用地的混合熵指数,构建沿线空间“紧凑化”,以短路径出行为目标,从规划层面形成区域平衡,注重出行的“短途化、集约化、有序化”,一方面减少出行总量,另一方面优化交通结构,打造低碳、慢行友好的车站“邻里单元”^[24]。

4.3 小结

本节探讨了与轨道交通相关性较强的综合交通指标作为绿色出行提升因素,由于综合交通与轨道交通体系的复杂性,在上述因素基础上,可做如下拓展分析。

(1)多层次多制式轨道交通的适应性。除城市轨

交通外,对于城际、市域、中低运量等制式,均可通过用地模型、出行特征、交通一体化等角度探讨绿色出行理论,通过车站服务范围、预测模型精度、车站周边交通网络进行分析。

(2)从实际交通特征来看,以区域内部用地、交通发生吸引自平衡为目标的规划并不能减少对小汽车的依赖,可进一步对用地集约利用、综合交通高效衔接,实现集约化、公共化的紧凑型空间形态。

通过分析各层次轨道交通对应的衔接模式,将综合交通系统与轨道交通有机融合,从出行特征入手,完善交通设施、提供高效的绿色出行环境,发挥城市规划的管控引领作用,进而提升绿色出行占比。

5 轨道交通

5.1 研究思路与框架

轨道交通绿色低碳理论体系是在城市发展、综合交通的基础上,发挥规划引领作用,将绿色低碳理念贯穿于规划、设计、建设、运营全过程,围绕不同阶段的重点任务展开,指标体系如表 4 所示。

表 4 轨道层面绿色城轨评价指标

Tab. 4 Evaluation indices for green urban rail at the rail level

指标	说明
线网	①服务水平 评价线网本身的可达性,以重要组团为起点测算早晚高峰有无线网情况下的可达性差异,评估绿色出行的效率与便捷性
	②车站覆盖率 以车站缓冲区为范围,分析覆盖的人口、就业岗位、用地开发量,评估车站服务水平
	③客流指标 分析客流预测的重要指标,将其与规划目标对比,是评估绿色出行最重要的量化因素
	④交通改善评估 以交通影响评价的方法分析有无轨道交通情况下,道路交通运行情况的改善
线站位	①人口与车站耦合性分析 通过人口重心与车站位置的匹配程度,分析车站设置合理性,对车站位置进行优化
	②公交重复系数 分析轨道路由上公交线路的重复系数,评价公交资源的布局均衡性,为公交线路调整优化提供依据
	③客流量级与制式一致性 以多层次轨道交通理念为指导,将运能与走廊量级匹配,因地制宜选择制式
	④敷设方式 计算各敷设方式规模,尽可能提高地面、高架线路占比,以减少施工、运营期间的能耗
	⑤运营规划 在线网规划阶段,提出运营规划的主要指导原则,提升线网资源利用效率、达到节能减排的目标
	⑥资源共享 从线网层面提出大宗用地、运营管理等资源效率提升措施
实施	在线网规划阶段,为下阶段落地实施提出指导原则,包括施工工法、节能减排措施、敏感点校核、新技术应用等,指导下阶段绿色目标的落实

5.2 线网层面

5.2.1 线网服务水平

(1)可达性

可达性是量化线网服务水平、时效性、速度优势的重要指标,相比于道路交通其早晚高峰通勤的优势更加明显,道路网与轨道网的可达性差异如图 11 所示。

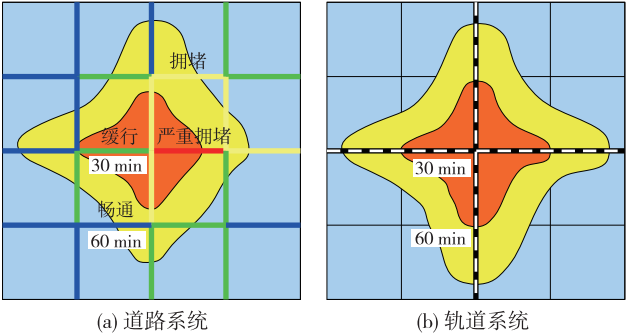


图 11 网络可达性研究思路

Fig. 11 Research approach to network accessibility

在图 11(a)所示的道路交通系统内,存在车流特征、信号管控等因素,在严重拥堵的路段方向,其出行可达性受影响较大;在图 11(b)所示的轨道网体系内,轨道车辆运行效率受到发车间隔、列车制式、技术标准影响,其出行时间基本可控、准确、各向均衡,在早晚高峰时期,轨道交通平均旅速大于拥堵路段。

通过网络可达性分析,一方面确定轨道出行时效,能否发挥相比于道路的优势,能否达到国土空间规划确定的通勤圈时间目标值要求;另一方面通过可达性范围与城市规划范围的比对,对轨道网络的功能、线网密度、局部路由进行调整,进一步提升网络效能。

(2)覆盖率

以车站为中心,测算向外一定范围内包含的人口、就业岗位、建设用地数量,分析覆盖率通常以车站缓冲区为覆盖面,并考虑不同功能或制式的轨道交通的站间距、车站服务范围、速度目标值差异,对覆盖范围予以区分(图 12)。

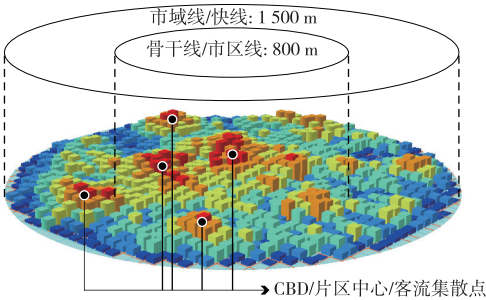


图 12 车站覆盖范围

Fig. 12 Metro station coverage area

通过覆盖率的分析,可明确线网对研究范围人口、建设用地的覆盖水平,随着线网规模增加、线路加密与延伸,其覆盖率也逐渐增长,覆盖率越高,网络服务水平越好,但仍无法敷设至每条城市道路,覆盖范围也无法达到 100%,对于覆盖盲区可通过中低运量轨道、常规公交以及其他接驳方式进行补充^[25]。

5.2.2 线网客流指标

客流指标是评价线网效益的重要指标,在线网规划、建设规划阶段,均需要编制客流预测专题。在客流预测过程中,需要对城市规划、综合交通、居民出行调查、交通预测模型等进行全方位分析。因此,客流指标能全面反映绿色出行特征。在线网规划阶段,其主要客流指标如下。

(1) 网络指标

包括总出行量、机动化出行量、公交出行量、轨道交通出行量、换乘系数、乘距、轨道交通占全方式/机动化/公交出行比例、客流预测网络图等。

(2) 线路指标

包括各线路客运量、客运周转量、平均运距、客流强度、客流密度、高峰小时最大断面等。

通过客流预测可直接从宏观层面定量、精确分析轨道交通出行比例,比对国土空间规划或综合交通规划提出的绿色出行目标并提出优化措施。

5.2.3 交通运行情况优化评价

轨道交通运营后,部分小汽车、公交、非机动车出行将转移至轨道交通,对缓解交通拥堵起到重要作用。

5.3 线站位层面

线站位层面的绿色体系分析体现在路由、车站选择的适宜性,主要包括线站位与人口、用地、一体化接驳、服务范围等因素的关系,该分析是对线网层面分析的补充、细化。

5.3.1 人口分布的空间耦合性

线站位的选择与优化应以需求为导向,而需求的主要决定因素为用地、人口、就业岗位。线站位选择与上述因素的一致性,是体现线网服务水平、合理性的重要指标(图 13)。耦合性在地理空间分析中可表示为距离相近性,通过计算人口分布的几何中心与车站位置的距离,识别其耦合性、轨道周边人口聚集的均衡程度。

人口与车站的耦合性可按照如下思路分析

$$\bar{X}_p = \frac{\sum_{i=1}^n p_i x_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \quad (5)$$

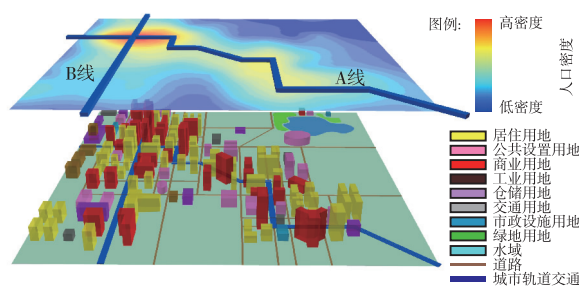


图 13 线站位与用地、人口耦合性

Fig. 13 Coupling of station location with land use and population

$$\bar{Y}_p = \frac{\sum_{i=1}^n p_i y_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \quad (6)$$

式中, $\bar{X}_p$ 、 $\bar{Y}_p$ 分别为车站 800 m 半径内人口中心的经纬度坐标; p_i 为 50 m 正方形格网内的人口规模,可通过人口普查、手机信令校核得出; x_i 、 y_i 分别为每个 50 m 格网中心点的经纬度坐标。

计算出人口中心以后,将其与车站方案的位置坐标进行对比(图 14),其相差绝对值越小,耦合度越高;同时,考虑车站周边人口分布的均衡性特征,差值越小,说明车站所在位置对周边各象限用地均有较好的服务,在图 14(a)中,西南象限为绿地,则人口中心受到其他象限影响而距离轨道车站较远;图 14(b)中的车站则对 4 个象限服务水平较为均衡。

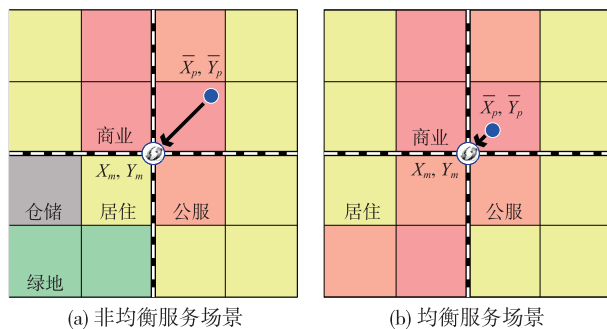


图 14 人口中心与车站匹配度

Fig. 14 Matching degree between population centers and stations

5.3.2 公交重复系数

结合轨道交通与常规公交的特征差异,公交系统应作为轨道交通的补充、加密、饲喂功能,在轨道交通线网规划过程中,通常会选择公交线路敷设较多的走廊进行布线。因此,应对部分公交线路进行调整,减少与轨道线路方向平行的公交线路,增加垂直方向线路,尽可能服务两侧城市用地,其计算公式如下

$$\eta_B = \frac{\sum_{B=1}^n l_B}{l_M} \quad (7)$$

式中, η_B 为轨道线路上的公交重复系数; l_B 为轨道线路上与之重合所有公交线路长度之和; l_M 为轨道线路长度。为明确轨道建设前后对公交线路的改造调整, 可通过改造前后重复系数的对比进行判断, 尽可能减少同一走廊的公交资源浪费、重复布线。

5.3.3 客流量级与制式一致性

在《“十四五”城市轨道交通规划建设实施方案(发改基础[2021]1302号)》(以下简称“1302号文”)中对轨道交通的客流指标提出了较高要求, 为提升轨道交通运营效益、资源利用效率, 在规划阶段应对沿线人口岗位、用地、规划进行详细调研, 并结合现状居民出行分布特征校核客流预测模型, 使之符合实际城市发展规律, 进而得到相对准确的走廊量级。以客流量级为判断依据, 结合《城市轨道交通工程项目建设标准》确定的高、大、中运量进行匹配, 在考虑运能富余、站立标准前提下, 评价运能与实际客流预测量级的适应性, 以多层次、多网融合为原则选择符合实际需求、城市发展的制式^[26]。

5.3.4 敷设方式

在“1302号文”中, 明确轨道交通有条件的宜采用高架形式; 轻轨地下比例不得超过30%; 低运量轨道交通原则采用地面敷设方式。通过控制敷设方式, 降低造价, 并减少施工、运营过程的碳排放。在线网规划阶段, 部分控制点无法详细研究, 但应根据政策要求、用地红线、道路条件、轨道制式等, 明确各线路主要敷设方式确定原则、基本结论, 最终匡算各敷设方式占比, 在满足政策要求的同时, 尽可能更多选择低碳节能、便于实施的敷设方式。

5.3.5 运营规划

线网规划阶段的运营规划以客流预测为依据, 确定线路量级、制式、运营速度、列车编组、发车间隔、交路、联络线、跨线运营、快慢车、灵活编组等宏观框架, 从整体角度提升网络资源利用效率、降低能源消耗、优化富余运能利用率, 对后续阶段的绿色、低碳运营提供上位指导。

5.3.6 资源共享

为提升线网层面行车组织、大宗用地规划的综合效益, 统筹安排既有资源, 优化资源共享、网络化运营水平, 从资源集约的角度实现绿色城轨发展目标。主要内容包括: 运营与人力资源培训管理; 应急指挥与控制中心; 主变及外部电源; 车辆段、停车场、综合维修基地; 自动售检票及清分系统; 通信信号、综合监控; 线网

标准化; 信息技术、BIM平台、智慧云平台等内容的规划原则与框架。

5.4 实施层面

在线网规划、前期研究阶段, 主要以方案基本合理、贯通为原则, 编制“线网规划落地研究”。尽管后期方案存在变化可能性, 但通过基础的落地研究, 可以从规划阶段就基本确保线路方案可实施性, 减少实际工程量, 提高绿色效能^[27]。主要从以下方面分析。

(1) 绿色工程的实施原则

线网规划层面重点应提出下阶段工程实施中绿色、低碳的措施与工法, 包括装配式建筑、零碳建筑、海绵城市融合设计、地下大空间综合利用、分布式光伏、节能设备、能源回收利用、列车轻量化、轨道物流、数智化管理等指导思路, 并在具体实施层面考虑国内不同地区气候、环境适应性, 做到“节地、节能、节材”, 提升线路综合减碳水平。

(2) 沿线敏感点校核

轨道交通线路设计、建设过程中, 沿线的建构筑物、管线、穿桥梁隧道、文物遗址、环境保护等重要控制点是影响工程可实施性、造价的重要因素, 在线网落地研究工作中通过合理的线站位布局, 尽可能减少后期实施难度, 降低拆迁、震动、噪音等因素对周围人居环境的影响, 从工程建设角度实现绿色低碳目标。

5.5 小结

从轨道交通的规划、线站位、落地实施3个层面总结轨道交通自身的绿色理论体系。该部分为城市空间、综合交通指引下在轨道方面的落实, 也是具体实现绿色城轨的终端环节, 直接体现低碳战略在轨道交通领域的实施效果。因此, 根据规划阶段的内容与深度要求, 建立不同层次的分析指标, 以适应线网规划阶段绿色理论体系应实现的评价目标, 实现绿色、环保选线, 既具备可操作、可量化、可实施性, 也能完整体现该阶段研究内容对后续工作的指导作用。

6 总结讨论

6.1 指标体系汇总

结合绿色城轨各方面内容分析, 考虑轨道交通涉及领域的综合性、多样性、层次性, 为有效指导轨道交通后续规划、设计、施工, 完善评价机制, 应确保指标可计量、可操作、有明确的方法和技术体系, 如表5所示。

6.2 相关问题讨论

(1) 与上位规划一致性

国土空间规划是实现绿色目标的上位指导, 本研究逐层分析国土空间规划、综合交通规划与轨道交通的绿色体系关系。为有效执行轨道交通的绿色体系规

划,仍需将其研究成果反馈并纳入国土空间规划等上位规划中,尊重城市发展客观规律,构建“政府-企业-社会-市场”四位一体的绿色制度保障体系,开展相应

技术研究、标准规范、财政政策、投融资体系、法律法规等措施研究,落实“双碳目标”、国土空间规划目标对轨道交通绿色发展的指引。

表 5 绿色城轨评价指标汇总
Tab.5 Evaluation indices for green urban rail

一级指标	二级指标	说明
城市空间	线网密度	定量指标(km/km ²),线网密度与片区功能匹配性
	节点度	定量指标,评价换乘站的重要程度与片区功能的匹配性
	路由与城市发展方向	定性指标,判断线路走向与城市发展方向的一致性
	网络与线路功能	定量指标(整合度/穿行度),通过空间句法模型量化线路功能
	用地混合熵	定量指标(混合熵),评价片区用地自平衡率
	出行比例	定量指标(%),评价各类交通出行比例
综合交通	出行距离	定量指标(km),评价空间分布特征、出行距离
	职住分离	定量指标(km),评价城市空间职住距离、长距离出行特征
	轨道服务客流比例	定量指标(%或人次),评价轨道交通覆盖的直接出行人口比例或总量
	减碳效果匡算	定量指标(kg),通过减排模型确定轨道交通带来的减排效果
	对外枢纽衔接评价	定量指标(个),评价线网衔接枢纽的个数、比例,重要枢纽衔接轨道条数、枢纽之间衔接效率、枢纽通过轨道交通的辐射区域
		接驳设施评估
接驳可达性评价		定量指标(km ² 及%),量化分析接驳设施可达范围、均衡程度
轨道交通	网络可达性评价	定量指标(km ²),量化分析轨道网络可达范围、相比道路交通的优势
	站点覆盖率	定量指标(%),评价车站覆盖人口、岗位、用地的比例
	线网客流	定量指标,需编制客流预测专题,通过各项客流指标评价线网客流效益
	交通改善评价	定量指标(%),评价有/无轨道交通的道路交通运行情况改善
	车站与人口耦合性	定量指标(km),评价人口重心与车站的距离
	公交重复系数	定量指标(无量纲),评价公交线路与轨道线路的重复系数
	客流量级与制式匹配度	定量指标(人次/h),通过量化的断面客流量级与轨道制式运能对比,评价制式与客流量级的匹配度
	资源共享	定量+定性指标,评价各类设施的数量、布局、效率、社会效益
	敷设方式	定量指标(%),评价全网各敷设方式比例
	运营与实施	定性指标,为下阶段落实提供指导性意见

(2) 新技术应用

随着城市圈层不断拓展、综合交通网络逐渐完善,网络分析涉及的数据类型、数据量、数据精细程度逐渐提高,对智慧交通、数字化提出较高要求,通过人工智能、大数据、数字孪生等技术,收集分析各维度的减碳数据、碳排放监测数据,建立碳排放总和最小的全过程低碳模型,对城市活动进行监控与管理。

(3) 建立各阶段绿色轨道发展指南

立足国内轨道交通规划、建设、运营特点,结合不同城市地域特征,以《行动方案》、综合交通体系规划编制要求、轨道交通线网规划编制要求为上位指导,因地制宜编制不同阶段的导则、标准,落实规划、建设、施工、运营等各阶段的绿色发展具体目标,扩大各领域合作、提高宣传、通过相关 App 进行绿色出行引导,对全国不同地区、不同阶段轨道交通发展提供普惠化、多元化技术指导。

(4) “开卷有益”,多方面验证校核

轨道交通作为城市、综合交通系统组成部分,其绿色体系也应与之融合、一致,其指标系统应结合“交通强国”“城市体检”“综合交通体系规划”“线网规划”

的目标与评价指标综合判定,将轨道交通绿色体系与城市、综合交通系统匹配起来,形成“一张绿色蓝图”。

(5) 指标多元化与分级分层

各城市、轨道交通发展千差万别,在制定绿色体系标准时,也应结合城市发展、自然地理特征、线网发展阶段、线路与车站功能,分级、分区、分阶段确定绿色标准系统,使之具备适应性与发展弹性。

(6) 未来发展趋势

随着社会经济、技术体系发展,国家发改委于 2023 年 4 月颁布《投资项目可行性研究报告编写大纲及说明(发改投资规[2023]304 号)》,要求分析绿色和韧性工程相关内容。同时我国轨道交通逐渐进入存量时代,部分城市轨道线网已趋于稳定,今后更多工作为调整、优化、补充加密,在此基础上,线网级绿色体系也应重视高质量发展,以完善设施品质、提升管理效率、优化接驳系统、加强与城市融合为目标,不断深化、更新绿色轨道交通体系。

参考文献:

[1] 李亮,赵星,杜希旺.城市绿色交通发展综合评价研究[J].华东交通大学学报,2021,38(2):51-60.

- LI Liang, ZHAO Xing, DU Xiwang. Study on Comprehensive Evaluation of Urban Green Transportation Development[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2021,38(2):51-60.
- [2] 马壮林,高阳,胡大伟,等.城市群绿色交通水平测度与时空演化特征实证研究[J].清华大学学报(自然科学版),2022,62(7):1236-1250.
- MA Zhuanglin, GAO Yang, HU Dawei, et al. Green Transportation Level Measurements and Spatial-temporal Evolution Characteristics of Urban Agglomeration Transportation Systems[J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2022,62(7):1236-1250.
- [3] HAGHSHENAS H, VAZIRI M, GHOLAMIALAM A. Evaluation of Sustainable Policy in Urban Transportation Using System Dynamics and World Cities Data: a Case Study in Isfahan[J]. Cities, 2015,45:104-115.
- [4] 温惠英,杨锐烁,张子佳,等.中等城市绿色交通发展水平评价[J].城市交通,2017,15(3):20-26.
- WEN Huiying, YANG Ruishuo, ZHANG Zijia, et al. Evaluation of Green Transportation Development in Medium-sized Cities[J]. Urban Transport of China, 2017,15(3):20-26.
- [5] WANG W Q, SUN Y H, WU J. Environmental Warning System Based on the DPSIR Model: a Practical and Concise Method for Environmental Assessment[J]. Sustainability, 2018,10(6):1728.
- [6] 郑德高,罗瀛,周梦洁,等.绿色城市与低碳城市:目标、战略与行动比较[J].城市规划学刊,2022,270(4):103-110.
- ZHENG Degao, LUO Ying, ZHOU Mengjie, et al. Comparison of Goals, Strategies and Actions between Green and Low-carbon Cities[J]. Urban Planning Forum, 2022(4):103-110.
- [7] 张健,鲍学英,王起才.基于 ANP 和粗糙集计算权重的绿色铁路客站评估[J].铁道标准设计,2017,61(7):150-155.
- ZHANG Jian, BAO Xueying, WANG Qicai. Green Railway Station Evaluation Based on ANP and Rough Set Calculation Weight[J]. Railway Standard Design, 2017,61(7):150-155.
- [8] 唐娟娟,伍军,王孟钧,等.绿色铁路工程评价研究的系统回顾与指标探索[J].铁道工程学报,2021,38(9):74-80.
- TANG Juanjuan, WU Jun, WANG Mengjun, et al. System Review and Index Exploration of Evaluation Research of Green Railway Engineering[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2021,38(9):74-80.
- [9] 鲍学英,张健,王起才.西北寒旱地区铁路绿色施工等级评价研究[J].铁道学报,2019,41(3):33-39.
- BAO Xueying, ZHANG Jian, WANG Qicai. Study on Grade Evaluation of Green Railway Construction in Northwest Cold and Arid Areas[J]. Journal of the China Railway Society, 2019,41(3):33-39.
- [10] 谭晓伟,高阳,马壮林.基于改进 DEMATEL-ISM 的国家中心城市绿色交通水平影响因素研究[J].公路交通科技,2023,40(4):248-255.
- TAN Xiaowei, GAO Yang, MA Zhuanglin. Study on Influencing Factors of Green Transport Level in National Central Cities Based on Improved DEMATEL-ISM[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2023,40(4):248-255.
- [11] BAGLOEE S A, SARVI M, WALLACE M. Bicycle Lane Priority: Promoting Bicycle as a Green Mode even in Congested Urban Area[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2016,87:102-121.
- [12] 龙俊仁,邵源,牛雄.城市轨道交通绿色发展问题思考[J].城市交通,2022,20(5):60-66.
- LONG Junren, SHAO Yuan, NIU Xiong. Thoughts on Green Development of Urban Rail Transit[J]. Urban Transport of China, 2022,20(5):60-66.
- [13] 黄黎晨,曹乔松.碳中和目标下交通领域绿色发展对策分析[J].城市交通,2021,19(5):36-42.
- HUANG Lichen, CAO Qiaosong. Green Transportation Development Strategies under the Carbon Neutrality Goal[J]. Urban Transport of China, 2021,19(5):36-42.
- [14] 熊健,卢柯,姜紫莹,等.“碳达峰、碳中和”目标下国土空间规划编制研究与思考[J].城市规划学刊,2021(4):74-80.
- XIONG Jian, LU Ke, JIANG Ziyang, et al. Study and Thoughts on Territorial Spatial Planning under the Goal of “Carbon Emissions Peak and Carbon Neutrality”[J]. Urban Planning Forum, 2021(4):74-80.
- [15] 李晓江,何舸,罗彦,等.粤港澳大湾区碳排放空间特征与碳中和策略[J].城市规划学刊,2022,267(1):27-34.
- LI Xiaojiang, HE Ge, LUO Yan, et al. Spatial Characteristics of Carbon Emissions and Carbon Neutralization Strategies for Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area[J]. Urban Planning Forum, 2022,267(1):27-34.
- [16] 李迅,董珂,谭静,等.绿色城市理论与实践探索[J].城市发展研究,2018,25(7):7-17.
- LI Xun, DONG Ke, TAN Jing, et al. Exploration of Green City Theory and Practice[J]. Urban Development Studies, 2018,25(7):7-17.
- [17] 柳伍生,周向栋,贺剑,等.基于多需求响应的定制公交绿色线网优化[J].公路交通科技,2018,35(3):132-142.
- LIU Wusheng, ZHOU Xiangdong, HE Jian, et al. Optimization of Green Customized Public Transport Network Based on Multiple Demand Response[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2018,35(3):132-142.
- [18] 张改景.城区低碳规划碳减排目标制定方法研究与实践[J].城市发展研究,2012,19(10):104-108.
- ZHANG Gaijing. Research and Practice of Carbon Emission Reduction Target for the Community Low-carbon Planning[J]. Urban Development Studies, 2012,19(10):104-108.
- [19] 张育南,张珩,王远楠,等.绿色出行背景下轨道交通城市节点设计[J].都市快轨交通,2016,29(3):20-24,32.
- ZHANG Yunan, ZHANG Heng, WANG Yuannan, et al. Urban Rail Transit Node Design under the Background of Green Travel[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2016,29(3):20-24,32.
- [20] 龙俊仁,邵源.深圳市轨道交通枢纽规划建设实践与探索[J].都市快轨交通,2021,34(3):10-19.
- LONG Junren, SHAO Yuan. Exploration of Planning and Construction of Shenzhen Rail Transit Hub[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2021,34(3):10-19.
- [21] 孙娟.城市街区减碳规划方法集成体系[J].城市规划学刊,2022(6):102-109.
- SUN Juan. Methodology of Integrated Planning Toward Urban Block-level Carbon Reduction[J]. Urban Planning Forum, 2022(6):102-109.

文章编号:1004-2954(2024)10-0013-08

江苏省城市群城际铁路技术标准体系构建探究

李建群¹, 吴宁¹, 王涛²

(1. 江苏省铁路集团有限公司, 南京 210049; 2. 华设设计集团股份有限公司, 南京 210014)

摘要:城市群城际铁路是支撑和引导我国新型城镇化进程的重要交通基础设施,其功能定位和技术标准是业界研究的热点。现行国家铁路技术标准体系无法较好适应“四网融合、互联互通”背景下的城市群城际铁路建设和运营全过程阶段。以城市群城际铁路进入市中心、公交化运营为目标,基于其功能定位和技术特征,对照国家铁路和城市轨道交通标准体系,以江苏省城市群城际铁路为研究对象,构建工程建设和运输服务两大标准子体系,以及基础、勘测、设计、施工、验收、运营、管理、服务九大业务板块标准,包含若干专业和专题研究方向的标准结构体系,指导城市群城际铁路设计、建设、装备、验收、运营管理,以实现“统一规划、统一标准、统筹运营、互联互通、换乘便捷、一票通达”的理念。

关键词:城市群; 城际铁路; 多层次轨道交通; 技术标准体系; 工程建设技术标准; 运输服务技术标准

中图分类号:U239.5; U29-3 **文献标识码:**A **DOI:**10.13238/j.issn.1004-2954.202304230006

Research on the Construction of Technical Standard System for Intercity Railways in Urban Agglomerations of Jiangsu Province

LI Jianqun¹, WU Ning¹, WANG Tao²

(1. Jiangsu Railway Group Co., Ltd., Nanjing 210049, China; 2. China Design Group Co., Ltd., Nanjing 210014, China)

Abstract: Intercity railways in urban agglomerations serve as critical transportation infrastructure, playing a key role in supporting and guiding the advancement of new urbanization in China. The functional orientation and technical standards of such railways have become focal areas of research within the industry. However, the current

收稿日期:2023-04-23; 修回日期:2023-06-07; 网络首发日期:2023-07-24

基金项目:江苏省铁路集团有限公司科技项目(JSRG2022GC082)

作者简介:李建群(1973—),男,高级工程师,1996年毕业于南京大学水文地质工程地质专业,理学学士,主要从事铁路建设与管理工
作,E-mail:1009671360@qq.com。

[22] 郭亮,彭雨晴,黄建中,等. 影响绿色出行的短距离通勤空间要素识别与优化——以武汉市为例[J]. 城市规划学刊,2022(3):37-43.

GUO Liang, PENG Yuqing, HUANG Jianzhong, et al. Identification and Optimization of Spatial Elements in Short Distance Commuting for Green Travel: Taking Wuhan as an Example[J]. Urban Planning Forum, 2022(3):37-43.

[23] 段亚琼,侯全华,张思伟. 低碳出行与城市建成区土地集约使用相互关系研究述评[J]. 规划师,2019,35(10):5-11.

DUAN Yaqiong, HOU Quanhua, ZHANG Siyi. Review of Intensive Land Use in Built-up Area Based on Low-carbon Travel[J]. Planners, 2019,35(10):5-11.

[24] 高长征,李保华,赵辉辉. 融入街区基于低碳的地铁站出入口设计[J]. 都市快轨交通,2014,27(6):46-49.

GAO Changzheng, LI Baohua, ZHAO Huihui. Design of Low-carbon Metro Entrance Integrated into Street[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2014,27(6):46-49.

[25] 李岩辉,杨博竣. 160~200 km/h 市域快轨功能与需求特点研究[J]. 铁道标准设计,2023,67(2):16-24.

LI Yanhui, YANG Bojun. Research on Function and Demand Characteristics of 160-200 km/h Suburban Railway[J]. Railway Standard Design, 2023,67(2):16-24.

[26] 李岩辉,沈增涛,田飞,等. 都市区轨道交通多层次各制式量化选择方法研究[J]. 铁道标准设计,2020,64(6):9-16.

LI Yanhui, SHEN Zengtao, TIAN Fei, et al. Research on the Quantitative Method of Multi-level and Multi-mode Rail Transit System Selection in Metropolitan Areas[J]. Railway Standard Design, 2020, 64(6):9-16.

[27] 施仲衡,丁树奎. 城市轨道交通绿色低碳发展策略[J]. 都市快轨交通,2022,35(1):1-4,11.

SHI Zhongheng, DING Shukui. Strategies for Green and Low-carbon Development of Urban Rail Transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2022,35(1):1-4,11.

(编辑:夏梦然)