

基于 PTAL 模型的多中心城市 轨道交通体系优化策略 ——以东莞市为例

成见开, 卢健波

(东莞市地理信息与规划编制研究中心, 广东东莞 523001)

摘要: 为推动城市轨道交通与城市空间、人口岗位和公共设施的协同发展, 基于城市综合交通模型, 构建融合城市轨道交通与常规公交的多维度(public transport accessibility level, PTAL)量化模型, 系统评估东莞市域公共交通可达性。研究发现, 东莞现状 PTAL 水平整体偏低, 中心城区、副中心、经济强镇、一般城镇的可达性指数均值比为 3.6 : 0.8 : 1.2 : 1, 呈现“单核极化, 外围小规模分散集聚, 其余地区均质断层”的空间格局, 存在公共交通资源投放与多中心结构脱节、城市轨道交通和公交未形成合力、公共交通资源供给与人口岗位分布错配等问题。研究表明, 通过城市轨道交通快线成网和公交薄弱区补强, 可使市域公共交通可达性值提升 65.3%, 其中松山湖、滨海湾副中心增幅达 153.6%, 显著强化“一主二副六片”多中心结构; 同时, 通过城市轨道交通站点公交接驳优化和公共设施协同布局, 可提升轨道交通资源与人口、公共服务分布的匹配程度。研究结果可为构建东莞市多中心发展的“轨道交通+公交”一体化体系提供技术支撑。

关键词: 城市轨道交通; 公共交通可达性; PTAL 模型; 多中心空间结构; 东莞

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2026)02-0020-09

Optimization Strategy for Polycentric Urban Rail Transit System Based on the PTAL Model: A Case Study of Dongguan City

CHENG Jiankai, LU Jianbo

(Dongguan Geographic Information and Planning Research Center, Dongguan, Guangdong 523001)

Abstract: To promote the coordinated development of urban rail transit with urban spatial layout, population and employment distribution, and public service facilities, this paper constructs a multi-dimensional (public transport accessibility level, PTAL) quantification model that integrates urban rail transit and conventional bus services based on a comprehensive urban transportation model. This model is used to systematically evaluate the public transport accessibility within the Dongguan metropolitan area. The study reveals that the current PTAL level in Dongguan is generally low, with average accessibility index ratios for the central urban area, sub-centers, economically strong towns, and ordinary towns recorded at 3.6:0.8:1.2:1. This indicates a spatial pattern characterized by “single-core polarization, small-scale decentralized clusters in peripheral areas, and homogeneous fragmentation in the remaining regions.” The findings highlight several issues, including a disconnect between public transport

收稿日期: 2025-03-24 修回日期: 2025-12-22

第一作者: 成见开, 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事城市交通与 TOD 开发等规划研究工作, 1181136@qq.com

基金项目: 国家自然科学基金(41871290)

引用格式: 成见开, 卢健波. 基于 PTAL 模型的多中心城市轨道交通体系优化策略: 以东莞市为例[J]. 都市轨道交通, 2026, 39(2): 20-28.

Cheng Jiankai, Lu Jianbo. Optimization strategy for polycentric urban rail transit system based on the PTAL model: a case study of Dongguan city[J]. Urban rapid rail transit, 2026, 39(2): 20-28.

resource allocation and the polycentric structure, a lack of synergy between urban rail transit and bus services, and a mismatch between public transport resource provision and the distribution of population and employment. The research demonstrates that by establishing a network of urban rail transit express lines and strengthening public transport services in underdeveloped areas, the overall public transport accessibility in the metropolitan area could increase by 65.3%. Notably, sub-centers such as Songshan Lake and Binhaiwan could experience an improvement of up to 153.6%, significantly reinforcing the polycentric structure defined as “one primary center, two sub-centers, and six clusters.” Furthermore, optimizing bus connections at urban rail transit stations and coordinating the layout of public facilities can enhance the alignment between rail transit resources and the distribution of population and public services. Ultimately, this study provides technical support for establishing an integrated “rail transit+bus” system to advance polycentric development in Dongguan.

Keywords: urban rail transit; public transport accessibility; PTAL model; polycentric spatial structure; Dongguan

随着城市迈入高质量发展新阶段,城市节点的功能重塑高度依赖轨道交通引领的时空重组。如朱金津等^[1]提出通过将多层次轨道交通枢纽与不同城市功能进行耦合,塑造功能互补的网络节点,促进都市圈的要流在不同层级、不同节点之间加速流动;王远回^[2]提出多层次轨道交通系统对于打造现代化都市圈、拓展城市和产业空间、强化跨市合作、推动优势互补和资源共享,具有先导性、基础性、战略性的意义;徐志焕等^[3]提出城市轨道交通作为城市空间拓展和结构优化的重要支撑与抓手,在城市存量更新的背景下,TOD 开发与沿线地区城市更新的协同成为大势所趋。此类实践表明,城市轨道交通不仅是物理连接工具,更是触发节点功能升级、重构城市空间结构的核心杠杆。

在此背景下,本文借鉴国内外城市的经验,通过 PTAL 模型,评估公共交通可达性与城市空间、人口岗位、公共设施布局的协同关系,并基于东莞“多中心”空间结构体系,提出差异化轨道交通发展策略,强化城市功能节点。

1 PTAL 模型基本特征

Hansen 等^[4]于 1959 年首次提出可达性概念,即能够相互联系的潜在机会或者水平,之后其测度方法演化形成 5 大类,即最小距离法、机会累积模型法^[5]、引力模型法、时空法、拓扑法。PTAL 分析法与等时圈分析等均属于机会累积模型法中的一种,其核心原理是在最短时间或距离内均等获取所需的资源能力。

PTAL 作为城市空间、土地利用与公共交通系统间协调发展的度量工具,既反映了评估点所在区域的公共交通线网密度、公共交通站点密度,还综合考量了发车间隔、线路时间可靠性、运营时间等公共交通服务便利性。根据伦敦交通局发布的《交通评估最佳实践指导手册》,可将 PTAL 等级根据公共交通可达性指

数(AI 值)由高到低分为 6b、6a、5、4、3、2、1b、1a 和 0 共 9 个等级,值越高表示人们获得公共交通服务越便捷。PTAL 等级描述、伦敦 PTAL 分布如表 1 所示。

表 1 PTAL 与公共交通可达性指数对应关系
Table 1 Correspondence between PTAL and public transport accessibility index

PTAL 等级	公共交通可达性指数(AI 值)	描述
1a	0.01 ~ 2.50	最差
1b	2.51 ~ 5.00	极差
2	5.01 ~ 10.00	差
3	10.01 ~ 15.00	中等
4	15.01 ~ 20.00	良好
5	20.01 ~ 25.00	优秀
6a	25.01 ~ 40.00	极好
6b	40.01+	最好

PTAL 最早于 1992 年在伦敦汉默史密斯—富勒姆区使用,目前已推广到新加坡、澳大利亚、新西兰等国家。国内城市,如上海、深圳、武汉、珠海也在积极探索使用 PTAL 作为城市交通规划的参照指标。近年来,PTAL 的应用研究主要集中在两个方面:一是评估公共交通设施的供给服务水平^[6],二是评估城市开发、城市人口及就业等与公共交通发展的协调程度,指导城市空间布局与城市功能优化^[7-8]。

2 东莞市 PTAL 模型构建

2.1 数据基础

PTAL 模型可对城市中任一个地点获取公共交通服务的便利程度进行分析,包括公共交通设施供给能力(即周边公共交通站点数量、途经站点的线路数量)及公共交通运营服务水平(如发车频率、运营时间、时间可靠性等),所需的数据包括栅格点、轨道交通及公交站点分布、公共交通服务信息等,具体的数字字段内

容如表 2 所示。

表 2 数据需求
Table 2 Data requirements table

序号	数据	字段内容	数据来源
1	栅格点	经度、纬度	城市行政边界
2	轨道交通及公交站点	站点名称、经停线路名称、经度、纬度	百度爬虫数据, 2024 年 11 月 15 日获取
3	步行网络	道路名称、道路等级、里程	通过公交公司、轨道公司收集
4	公共交通服务信息	线路名称、发车频率、运营时间、准点率	市综合交通模型
5	土地利用数据	现状建设用地属性、土地利用规划性质	
6	人口岗位数据	人口数量、岗位数量、人口密度、岗位密度	

- 1) 栅格点。东莞市公交站点的站间距一般为 300~500 m, 本文采用 200 m×200 m 栅格网络, 使各栅格内最多有一个公交站点。
- 2) 城市轨道交通及公交站点分布。轨道交通站点为 2 号线一二期(运营)、1 号线(在建)、2 号线三期(在建)以及 3 号线(拟建); 常规公交站点基本稳定, 以现状站点为研究对象。具体线路站点如图 1 所示。

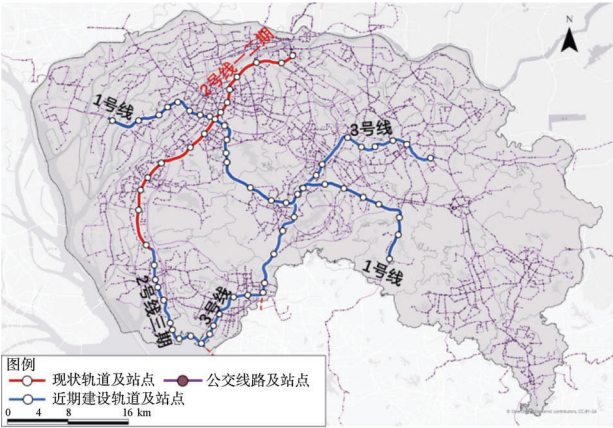


图 1 轨道交通及常规公交的站点空间分布
Figure 1 Spatial distribution of rail and bus stops

- 3) 步行网络。所有可供行人步行使用的道路(包括非市政道路), 用于计算从各栅格点到轨道交通站点及常规公交站点的的时间。
- 4) 公共交通服务信息。各站点途径的轨道交通线路数量、运营时间、频率, 以及各常规公交站点途径的公交线路数量、运营时间、发车频率。
- 5) 土地利用数据。现状建设用地地类属性、土地利用规划性质。
- 6) 人口岗位数据。现状及规划人口数量、岗位数量、人口密度、岗位密度。

2.2 数据矢量处理与计算

在分析可达性前, 需要对获取的数据进行坐标统一、数据链接、网络拓扑等。

- 1) 坐标转换。将获取的矢量数据通过 python 统一转换至 WGS-84 坐标系。
- 2) 数据链接。通过 Arcgispro 实现站点经停线路运营信息等文本数据与轨道交通站点、常规公交停靠站等空间数据的链接。
- 3) 拓扑网络构建。通过 transcad 平台, 建立栅格点与步行路网的连杆。
- 4) 步行接驳时间计算。基于最短路径法计算栅格点至公交站点的步行时间。为区分不同公共交通方式的吸引力, 将轨道交通站点与公交站点的步行接驳范围分别设定为 15 min 和 8 min。

2.3 模型构建

栅格点 o 步行接驳范围内有 N 个常规公交站点, 其中, 第 n 个站点包含 m 条常规公交线路, 并构成等效服务频率值子集 G_n :

$$G_n = \{G_{n,1}, G_{n,2}, \dots, G_{n,m}\} \tag{1}$$

将栅格点 o 步行接驳范围内所有常规公交站点及公交线路的等效服务频率值合并为全集 G :

$$G = \bigcup_{n=1}^N G_n = \{G_1, G_2, \dots, G_N\} \tag{2}$$

同理, 栅格点 o 步行接驳范围内有 K 个轨道交通站点, 其中第 k 个站点包含 j 条轨道交通线路, 并构成等效服务频率值子集 F_k ; 将步行接驳范围内所有轨道交通站点及对应线路的等效服务频率值合并为全集 F :

$$F_k = \{F_{k,1}, F_{k,2}, \dots, F_{k,j}\} \tag{3}$$

$$F = \bigcup_{k=1}^K F_k = \{F_1, F_2, \dots, F_K\} \tag{4}$$

栅格点 o 的 PTAL 等级根据表 1 的转换关系与可达性指数 AI 相互转换, 可达性指数为栅格 o 点步行接驳范围内的常规公交与轨道交通可达性指数之和。常规公交、轨道交通可达性指数的计算如下^[9]:

$$AI = AI_G + AI_F \tag{5}$$

$$AI_G = G_{\max} + \frac{G - G_{\max}}{2} \tag{6}$$

$$AI_F = F_{\max} + \frac{F - F_{\max}}{2} \tag{7}$$

$$E_i = \frac{60}{2T_i} \quad (8)$$

$$T_i = T_{i\text{步行}} + T_{i\text{等待}} + T_{i\text{惩罚}} \quad (9)$$

式中, AI 为栅格点 o 选择各种公共交通方式的可达性指数之和, AI 值与 PTAL 等级的转换详见表 1; AI_G 为栅格点 o 的常规公交可达性指数, AI_F 为城市轨道交通可达性指数; $G_{\max}$ 为栅格点 o 步行接驳范围内所有常规公交站点相应线路等效服务频率的最大值; $F_{\max}$ 为栅格点 o 步行接驳范围内所有城市轨道交通站点相应线路等效服务频率的最大值。 E_i 为栅格点 o 步行范围内选择第 i 种公共交通方式的等效服务频率; T_i 步行时间为第 i 种公共交通方式中, 栅格点 o 步行至公共交通站点的步行时间; $T_{i\text{等待}}$ 为第 i 种公共交通出行方式中的候车时间; $T_{i\text{惩罚}}$ 为第 i 种公共交通出行方式的时间可靠性惩罚因子。

$T_{i\text{等待}}$ 根据公共交通方式 i 的高峰发车频率计算, 对于轨道交通的高峰发车频率, 通常取 6 min, 常规公交的服务频率则根据每条线路公交车在高峰道路运行期间实际产生的 GPS 轨迹数据与站点数据, 匹配处理统计出来的实际到站频率。同时, 考虑轨道交通和常规公交的时间可靠度水平不一样, 因此通过 $T_{i\text{惩罚}}$ 增加了公共交通到站可能发生偏差的时间, 其中轨道交通取 0.75 min, 常规公交取 2 min。

3 东莞市 PTAL 分析

3.1 总体分析

基于上述数据基础和模型构建, 可计算得出各栅格地区的 PTAL 水平。全市现状公共交通可达性服务水平总体偏低, 大部分地区属于 2 级(差)水平, 约占城镇开发边界面积的 88.8%; 全市域达到优秀等级以上地区仅占全市开发边界内面积的 3.29%, 约覆盖全市人口总量的 3.6%。全市 PTAL 等级面积占比如表 3 所示。

表 3 基于现状的全市域 PTAL 面积占比

Table 3 Proportion of PTAL area in the whole city based on the current situation

PTAL 等级		全市开发边界内的面积占比/%
1a	最差	48.83
1b	极差	23.33
2	差	16.65
3	中等	5.40
4	良好	2.51
5	优秀	1.31
6a	极好	1.50
6b	最好	0.48

全市 PTAL 等级最高的地区主要集中在中心城区、虎门高铁站及东莞火车站, 城区内仅莞城、鸿福路一带的 PTAL 等级能达到 6b 水平(仅占中心城区面积的 2.58%)。根据常规公交与轨道交通刷卡数据分析, PTAL 评估结论基本与目前公共交通客流“多中心”空间分布特征相匹配, 中心城区及虎门高铁站、东莞火车站等节点客流分布与 PTAL 高等级图斑的分布基本相同。

为分析公共交通可达性指数分布与城市多中心的关系, 利用 ArcGIS Pro 中的热点聚类分析工具, 识别连绵程度较高的公共交通资源集聚空间。通过热点聚类分析可以发现, 公共交通可达性指数较高且连绵成片(面积 $\geq 2 \text{ km}^2$)的聚类图斑一共有 22 处(见图 2), 即全市公共交通资源相对集中的连绵片区; 从要素空间聚集形态特征上看, 公共交通资源要素呈现中心集中、市域分散的空间分布形态, 其分布与镇街园区空间分布基本接近。从形态上分析, 东莞多中心结构的首要特征是中心城区和外围镇街的集聚连绵程度差异大, 外围镇街积聚规模较小; 二是寮步—松山湖、石龙—茶山基本形成集中连绵的形态; 三是西部麻涌、望牛墩、洪梅等镇街以及东部谢岗镇街尚未形成相对集中的交通资源分布。

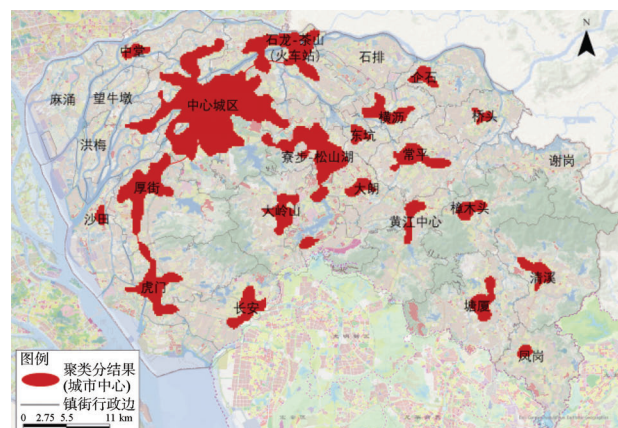


图 2 公共交通资源集聚的连片空间分布

Figure 2 Contiguous spatial distribution of concentrated public transportation resources

3.2 多中心结构下公共交通服务供给弱且分散

从现状 PTAL 等级分布来看, PTAL 等级在市域分布呈现“多中心空间分布、市中心区高向市域放射递减、对外交通枢纽与各镇街中心相对较高”等特征(见图 3)。但等级达到优秀以上的图斑呈现“小而散”的特征, 优秀等级以上仅为全市城镇开发边界内面积的 3.29%。

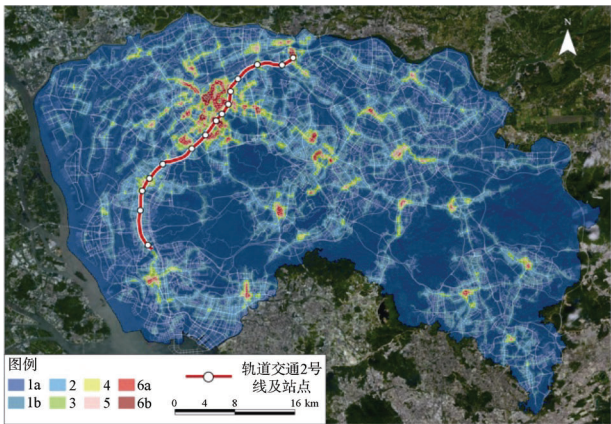


图 3 基于现状常规公交及轨道交通站点的 PTAL 分布
Figure 3 PTAL distribution based on bus and existing rail stations

根据评估结果见表 4，全市 33 个镇街园区中，仅 25 个镇街的局部地块达到 6a(极好)服务水平，且覆盖面积普遍有限——12 个镇街的 PTAL 优质区面积不足 0.5 km²，仅能支撑零星社区级的节点功能。尤其是松山湖、滨海湾两大副中心及东南临深等片区，虽被赋予城市副中心、融深示范区等使命，但其 PTAL 优质区平均面积不足中心城区的 1/5。

表 4 PTAL 等级为 6a 以上的图斑面积统计
Table 4 Statistics on area with PTAL level 6a and above

面积/km ²	数量	备注
>4	3	东城、莞城、南城
2~4	1	万江
1~2	3	寮步、松山湖、石龙
0.5~1	6	大岭山、常平、虎门、长安、厚街、横沥
<0.5	12	黄江、塘厦、道滘、茶山等 12 个镇街

从公共交通服务水平与“多中心”城镇体系结构的匹配性看(见图 4)，公共交通资源投放呈现“单核极化，外围小规模分散集聚，其余地区均质断层”特征：全市约 57%的公共交通品质较高的地区(PTAL≥6a)集中于中心城区；中心城区以外的镇街呈均质化分布，未形成金字塔式梯度结构，松山湖、滨海湾两大副中心的资源投放与其城市定位严重不匹配。具体表现为：中心城区、副中心、经济强镇、一般城镇的可达性指数平均值之比约为 3.6∶0.8∶1.2∶1；中心城区、副中心、经济强镇、一般城镇的高品质交通(PTAL≥6a)覆盖的人口岗位比为 19.5∶1.3∶1.6∶1。

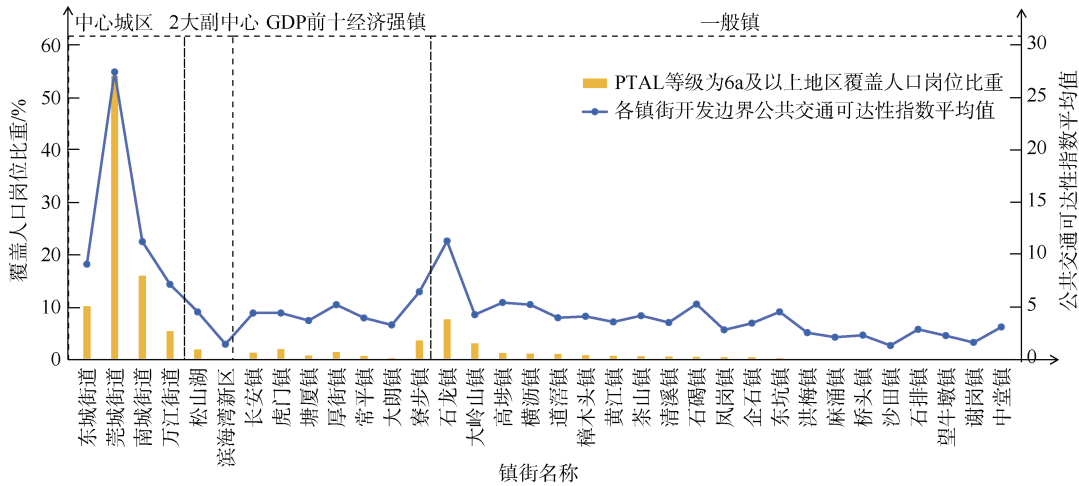


图 4 全市 33 个镇街园区公共交通可达性指数及高 PTAL 覆盖人口比重分析

Figure 4 Analysis of public transport accessibility index and proportion of population with high PTAL coverage in 33 townships

3.3 未围绕轨道交通形成高服务水平的交通廊道

在轨道交通地区，除了中心城区段，外围镇街的轨道交通地区并未形成高水平的公共交通可达性城市轴带，轨道交通 2 号线外围镇街沿线的公共交通可达性指数平均值仅为 9.6(2 级)，对比上海、深圳、武汉、杭州等城市围绕轨道交通地区形成的高水平交通供给服务有较大差距(上述城市轨道交通地区一般在 6a 以

上)。主要原因是轨道交通周边公交接驳体系较差，未能在轨道交通地区形成服务良好的公共交通体系。轨道交通线网密度和站点密度不高，站间距基本在 300 m 以上，其次是轨道交通接驳微巴发车间隔基本在 15 min 以上。

基于东莞市轨道交通建设规划二期调整线路(新建轨道交通 1 号线、2 号线三期、3 号线)，对全市域

PTAL 进行规划评估(见图 5)。公共交通基础薄弱地区的公共交通可达性提升较明显,在轨道交通沿线 1 km 范围,松山湖、滨海湾副中心以及外围镇街的提升幅度约为 20%以上,而中心城区的提升幅度约为 15%;在站点 500 m 范围地区更为显著,整体提升 35%以上。总体上看,轨道交通 1 号线、3 号线开通后,全市域优秀等级以上地区占全市城镇开发边界的比例仅提升至 3.55%,中等以上地区占比提升至 11.93%(见图 6),但仍难以支撑构建高服务水平的公共交通廊道,未来仍需要围绕轨道交通站点,加强接驳公交等公共交通资源的投入。

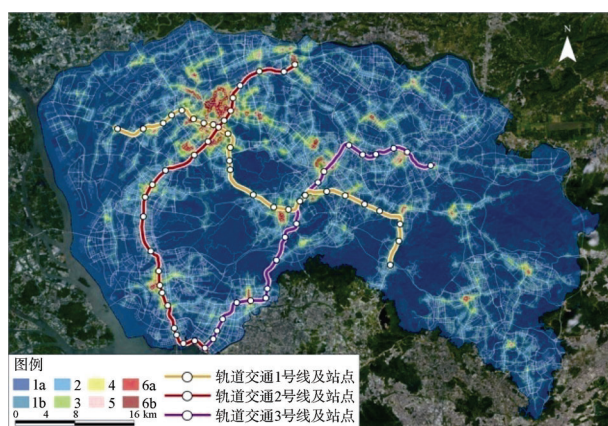


图 5 基于现状常规公交及轨道交通建规二期的 PTAL 分布
Figure 5 PTAL distribution based on bus and rail transit construction planning phase II

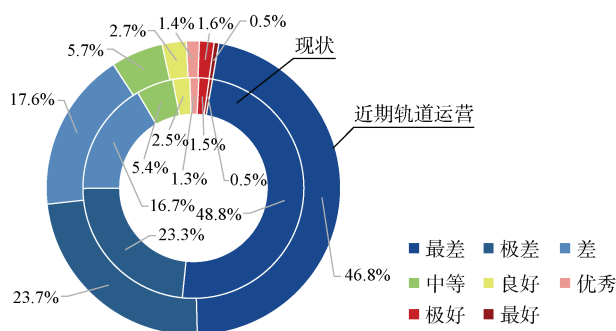


图 6 基于轨道交通建规二期实施前后的 PTAL 变化
Figure 6 PTAL variation before and after implementing of rail transit construction planning phase II

3.4 中心城区适配, 经济强镇滞后

将 PTAL 分析结果与全市人口岗位数据叠加对比分析(见图 7), 虽然全市总体的 PTAL 等级不高, 但在中心城区内, 人口岗位密度与 PTAL 等级总体呈现正相关, 即人口岗位越密集的地区, 公共交通服务水平越高。

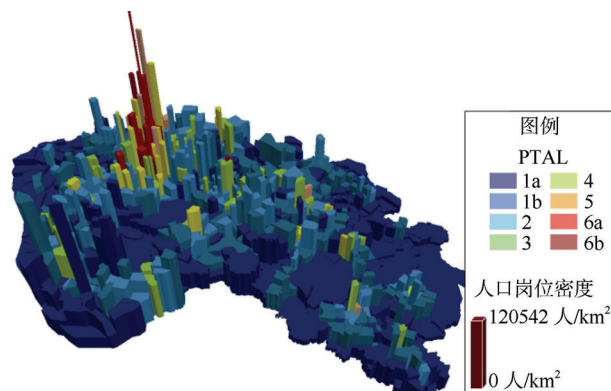


图 7 东莞市各交通小区 PTAL 值与人口岗位密度三维分布
Figure 7 Three-dimensional distribution of public transport accessibility level (PTAL), population, and employment density in traffic analysis zones, Dongguan

但在中心城区以外, 人口岗位密度与 PTAL 等级相关性不强, 如长安、虎门、大朗等经济强镇(全国经济强镇排名分别为第 4、7、14 位), 虽然人口岗位密度较高, 但大部分地区仅能达到 1~2 级的服务水平, 公共交通供给明显不足。这一情况反映出当前公交资源配置与城镇发展水平存在不匹配现象, 经济强镇的公共交通基础设施建设滞后其经济发展速度和人口集聚程度。

4 东莞市轨道交通体系优化策略

《东莞市国土空间总体规划(2021—2035 年)》明确: 坚持多中心、网络化的空间发展结构, 优化形成“一主、两副、六片区”的城镇空间结构; 完善中心城区城市功能及提升综合服务能级, 强化城市中心的引领带动作用。

对于东莞市现状 PTAL 水平总体较差、人口岗位密集区公交需求较大的情况, 轨道交通发展应当契合城镇空间结构, 实施“加速成网、强心集聚、便捷高效、公服协同”的发展策略。

4.1 快线成网, 锚固“一主两副”多中心结构

目前, 东莞市单条轨道交通快线对站点地区公共交通可达性指数的贡献值为 7.75, 单条轨道交通普线对站点地区公共交通可达性指数的贡献值为 12.6, 而单条常规公交线路的贡献值为 3.49, 由此可见, 轨道交通对公共交通可达性指数的贡献远大于常规公交。因此, 在市域层面构建以轨道交通快线为骨架的公共交通网络, 覆盖市域经济强镇和人口密集地区, 同时在核心区适当布局轨道交通普线, 对于整体提升市域公共交通可达性、支撑多中心城市结构尤为重要。

轨道交通 1 号线、2 号线、3 号线 3 条市域快线不仅契合“一主两副”空间结构，而且在市区、松山湖和滨海湾等地区两两交汇，形成东莞市域公共交通的骨架网络。其中，轨道交通 3 号线长安、大岭山、常平、东坑等经济强镇，沿线人口岗位密度达到 1.2 万人/km²，但 PTAL 等级仅为 2 级，说明这些区域具有较强的公交出行潜力。

初步评估，轨道交通快线成网并做好接驳服务后，将在站点地区形成若干优秀等级以上的高水平公共交通服务区域，进而串联形成线性交通廊道。预计优秀等级以上区域面积占全市的比重从 3.3% 提升到 5.72%，中等以上区域面积从 11.2% 提升到 16.03%，市域公交可达性水平提升效果明显，如图 8 所示。同时，应围绕轨道交通站点构建多层次 TOD 开发体系及模式，引导不同层级的公共资源、城市更新资源、交通资源往不同层级的轨道交通站点地区集聚，从而促进空间结构发展。

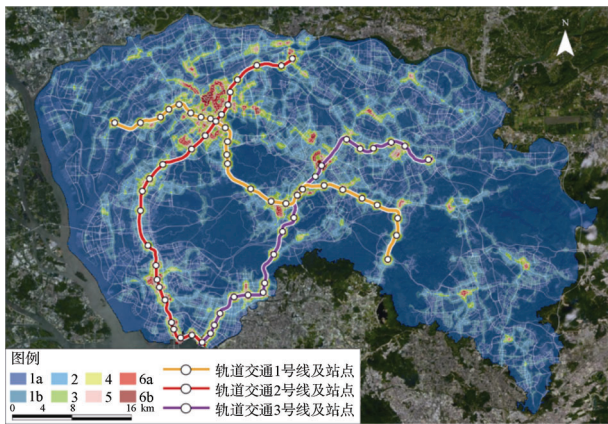


图 8 轨道交通快线成网+接驳服务提升后的 PTAL 变化
Figure 8 Changes in PTAL after the formation of a rail transit express network and the improvement of feeder services

4.2 强心集聚，推动公交弱区的轨道交通建设

在东莞市尚未启动城市轨道交通第三轮建设规划背景下，识别城市公交薄弱区域对指引其选线及建设时序具有直接意义。具体而言，以现状人口岗位密度表征公交需求、公共交通可达性指数表征公交供给，通过叠加公共交通可达性指数低值区与人口岗位密度数据，识别出低供给-高需求型公交弱区。

根据识别结果(见图 9)，6 号线、7 号线、10 号线、11 号线、12 号线串联低供给-高需求型公交弱区对城市中心支撑作用突出。

评估显示，上述线路开通且常规公交接驳服务同

步提升后，松山湖与滨海湾副中心的公共交通服务水平提升约 154%，如表 5 所示。



图 9 基于现状人口岗位与 PTAL 的公交弱区识别
Figure 9 Identification of public transport weak zones based on current population, employment, and PTAL

表 5 策略实施后各级城市中心公共交通可达性指数 AI 变化
Table 5 Changes in public transportation accessibility index (AI) for urban centers at all levels after strategy implementation

城市等级	所含镇街	现状可达性指数平均值(AI)	本策略实施后可达性指数平均值(AI)	增长幅度/%
中心城区	东城、南城、莞城、万江	10.37	15.19	46.5
副中心	松山湖、滨海湾	3.30	8.38	153.6
经济强镇	长安、虎门、厚街、塘厦、常平、大朗、寮步	4.44	7.98	79.7
一般城镇	其余镇街	3.34	5.16	54.5
	市域合计	4.44	7.34	65.3

若按人口岗位与现状公共交通可达性指数的比值进行排序，轨道交通线路建设优先顺序应为 10 号线、7 号线、6 号线、12 号线、11 号线(见表 6)。尤其是

表 6 远期轨道交通沿线的人口岗位与 PTAL 供需比
Table 6 Population and employment to PTAL supply-demand ratio along future rail transit corridors

远期轨道交通线路	沿线现状 PTAL 等级 (公共交通可达性指数 AI)	现状人口岗位密度/(人/km ²)	人口岗位密度与 PTAL 值供需比
10 号线	2 级(差, AI 值为 7.5)	16 883	2.02
7 号线	3 级(中等, AI 值为 13.6)	15 632	1.11
11 号线	3 级(中等, AI 值为 14.2)	14 590	0.95
6 号线	2 级(差, AI 值为 9.5)	12 639	1.09
12 号线	2 级(差, AI 值为 7.9)	12 044	1.08

10 号线沿线现状公共交通可达性指数仅为 7.5，供需比值达到 2.02，迫切需要提升 PTAL 水平，因此可加快推进详细规划、资金筹措等前期研究工作。

4.3 强化轨道交通接驳服务，打通公交接驳末梢

良好的常规公交接驳体系能最大限度地提升 PTAL 水平，如颜建新等^[10]研究提出针对大城市多元化、高品质的公交出行需求，必然要以“轨道交通为主导”推进公交线网结构的整合与优化。在轨道交通网络较分散且直接服务范围有限的情况下，开通高频微循环常规公交，将发车间隔压缩至 5 min 以内，同步在主要客流接驳地区有条件地推动公交专用道建设，有助于提升轨道交通出行最后一公里的服务品质，对 PTAL 的提升作用明显。

根据当前常规公交运行数据计算，东莞常规公交 PTAL 等级普遍处于 2 级及以下水平(公共交通可达性指数在 10 以下)，单条常规公交线路对站点 300 m 范围的贡献值仅为 2.48~3.49，而两条同等服务水平的常规公交线路对站点 300 m 范围的贡献值可达 3.73~5.23(见图 10)。

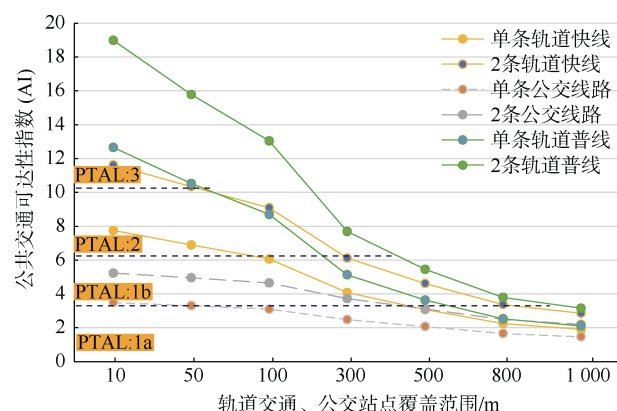


图 10 轨道交通及常规公交对周边 1 000 m 地区 PTAL 贡献

Figure 10 Contribution of rail transit and bus to PTAL within 1 000 m of stations

目前，东莞常规公交线路发车间隔上四分位为 14.5 min，下四分位为 10.0 min，发车间隔中位数为 11.8 min。基于发车间隔变化测算单条线路对站点地区公共交通可达性指数影响，在站点 100~300 m 范围内，发车间隔从 12.96 min 优化至 5 min 以内时，单条常规公交线路的公共交通可达性指数贡献值从 2.48~3.10 提升至 3.70~5.26(见图 11)。因此，应强化以轨道交通站点为核心的高效接驳系统，如：发展社区微

巴士，优化“最后一公里”出行；优化常规公交与轨道交通时刻表，实现无缝换乘；依据客流数据动态调整运力，提升公共交通的吸引力与效率。

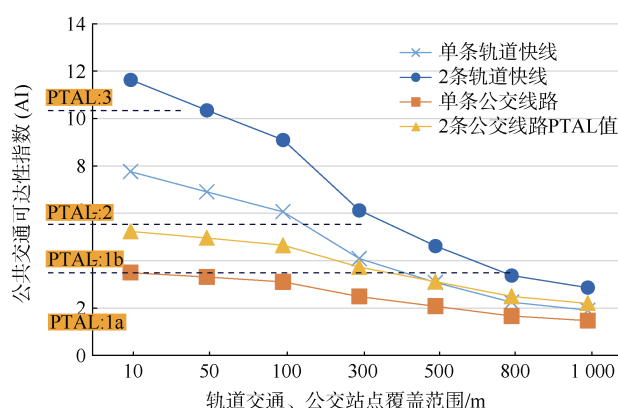


图 11 发车间隔对公交站点 50~500 m PTAL 值影响分析
Figure 11 Impact analysis of headway on PTAL values within 50~500 m of bus stops

4.4 协同轨道交通与公服，提升公共资源可达性

在公共交通可达性底图上叠加轨道交通线站位布局、医疗机构与教育设施布局，可分析轨道交通与公共设施布局的协调性。

如图 12 所示，轨道交通 1 号线、2 号线、3 号线周边集聚了大量的医疗机构和教育设施，除了中心城区范围的医院与学校的公共交通服务水平在 5 级以上(优秀)，大部分地区的学校、医院的公共交通服务水平在 3 级(中等)以下。将来，应坚定贯彻公共交通导向的开发理念，公共服务设施优先布局于轨道交通站点周边区域；与此同时，轨道交通新线的规划建设亦应以有效衔接城市核心公共服务锚点为关键选线原则。

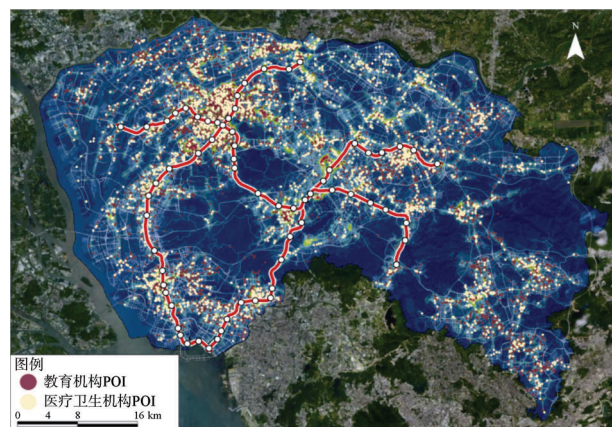


图 12 东莞全市医疗机构、教育机构的 PTAL 评估结果
Figure 12 PTAL assessment results for medical facilities and educational institutions in Dongguan

5 结语

1) 本文基于公共交通网络与步行路网,结合城市道路拥堵对公共交通准点率的影响,构建东莞市 PTAL 评估模型,不仅揭示了东莞市公共交通资源要素的分布特征,还反映其多中心城镇空间结构的高度契合性。

2) 研究结果表明,PTAL 模型可分析公共交通资源投放与城市发展战略的匹配性,以指导未来重大交通设施建设:松山湖和滨海湾两大城市副中心的公共交通资源投放水平仅是中心城区的 1/4,因此可加快轨道交通快线建设,推动形成“一主两副”空间结构。

3) PTAL 模型从量化的角度解释了轨道交通+公交协同发展的必要性:单条轨道交通普线的站点周边服务效能为公交的 3~4 倍,但仅靠轨道交通 PTAL 等级仅达 2~3 级(远低于 6 级最优水平),由此可见,须依托轨道交通站点构建公交接驳体系,方可实现整体服务水平的显著提升。

参考文献

- [1] 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]. 都市轨道交通, 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.
- [2] 王远回. 深圳市轨道交通规划建设实践与探索[J]. 城市轨道交通研究, 2025, 28(4): 6-9.
Wang Yuanhui. Practice and exploration in Shenzhen rail transit planning and construction[J]. Urban mass transit, 2025, 28(4): 6-9.
- [3] 徐志焕,葛会. 以城市轨道交通 TOD 开发带动城市更新策略研究:以宁波市为例[J]. 现代城市轨道交通, 2024(4): 9-15.
Xu Zhihuan, Ge Hui. Research on urban renewal strategy driven by urban rail transit TOD development-Ningbo city case study[J]. Modern urban transit, 2024(4): 9-15.
- [4] Hansen W G. How accessibility shapes land use[J]. Journal of the American institute of planners, 1959, 25(2): 73-76.
- [5] 卢小林,潘述亮,闫爽. 居民出行全链条视角下的公共交通站点可达性评价方法[J]. 交通运输工程与信息学报, 2025, 23(2): 32-56.
Lu Xiaolin, Pan Shuliang, Yan Shuang. Evaluation method for accessibility of public transport stations from the full chain perspective of residential travel[J]. Journal of transportation engineering and information, 2025, 23(2): 32-56.
- [6] 张娜,刘丙乾,陈青尧,等. 面向出行全过程的公共交通可达性水平计算方法:以成都市为例[J]. 城市交通, 2025, 23(1): 16-25.
Zhang Na, Liu Bingqian, Chen Qingyao, et al. Calculation method for public transit accessibility level oriented towards the entire travel process: a case study of Chengdu[J]. Urban transport of China, 2025, 23(1): 16-25.
- [7] 周航,李家斌,李渊,等. 伦敦公共交通可达性水平技术应用解析与国内实践探索[J]. 国际城市规划, 2023, 38(3): 126-136.
Zhou Hang, Li Jiabin, Li Yuan, et al. Application of London public transport accessibility levels (PTALs) technology and its exploration in China[J]. Urban planning international, 2023, 38(3): 126-136.
- [8] 刘雷雨. 公共交通支持下就业可达性评估[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2021.
Liu Leiyu. Employment accessibility assessment supported by public transport[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2021.
- [9] 张天然,朱春节. 伦敦公共交通可达性分析方法及应用[J]. 城市交通, 2019, 17(1): 70-76.
Zhang Tianran, Zhu Chunjie. Method and application of public transport accessibility in london[J]. Urban transport of China, 2019, 17(1): 70-76.
- [10] 颜建新,王涛,胡欣媛,等. 轨道交通成网背景下公交网络体系重构及线路优化关键技术分析[J]. 都市轨道交通, 2025, 38(4): 10-21.
Yan Jianxin, Wang Tao, Hu Xinyuan, et al. Analysis of key technologies for public transportation network system reconstruction and route optimization in the context of rail network formation[J]. Urban rapid rail transit, 2025, 38(4): 10-21.

(编辑: 傅依萱)