文章编号：1003-1421(2025)12-0013-11
引用格式：陈江宏，梁臣，徐成，等. 基于高铁站接驳交通可达性的多层次公平性分析——以福州市为例[J]. 铁道运输与经济，2025，47(12)：13-23.
CHEN Jianghong，LIANG Chen，XU Cheng，et al. Multi-level Fairness Analysis Based on the Accessibility of High Speed Railway Station Feeder Transportation：Taking Fuzhou City as an Example[J]. Railway Transport and Economy，2025，47(12)：13-23.

基于高铁站接驳交通可达性的多层次公平性分析——以福州市为例

陈江宏，梁　臣，徐　成，徐锦强

(福建农林大学 交通与土木工程学院，福建 福州　350100)

摘　要：为探究城市内高铁站单一站点与多站点共同作用下的公平性水平，以福州市这一典型“多中心”高铁站协同格局城市为例，基于地图API爬取实时动态交通数据与高铁班次构建单一站点与多站点高铁站可达性指标体系，随后基于高铁站可达性提出基尼系数与泰尔指数双互补指标公平性测度思路，由整体及内部多层次对比分析高铁站单一站点与多站点综合作用下的可达性与公平性水平。结果表明：高可达性地区并不等同于高公平性水平，长乐区即使可达性较低，仍呈现出高公平性；晋安区Lorenz曲线最远离绝对公平线，其极端不公平性源于内部社区间与可达性分布差异；行政区间Lorenz曲线存在交点，区域间公平性优劣随人口比例动态变化；仓山区的多站点基尼系数与泰尔指数下皆优于单一站点，反映其能更充分享受多站点带来的接驳交通服务。本研究可为其余高铁站多点布局的城市探究高铁站接驳交通公平性水平提供参考与实践借鉴，为从多层次角度与差异化调控策略实现交通资源公平性的提升提供思路。

关键词：城市交通；交通公平性；交通可达性；高铁站；基尼系数；泰尔指数；地图API
中图分类号：U491.1　　**文献标识码**：A　　DOI：10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.20250107003

Multi-level Fairness Analysis Based on the Accessibility of High Speed Railway Station Feeder Transportation：Taking Fuzhou City as an Example

CHEN Jianghong，LIANG Chen，XU Cheng，XU Jinqiang

(College of Transportation and Civil Engineering, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350100, Fujian, China)

Abstract: To explore the fairness level of accessibility under the influence of both single and multiple high speed railway (HSR) stations in urban areas, this study took Fuzhou, a typical city with a “multi-center” HSR station coordination pattern, as a case. Using real-time dynamic traffic data and HSR schedule information obtained from map APIs, an acces-sibility indicator system for both single and multiple HSR stations was constructed. Subsequently, based on the accessibility of HSR stations, a dual-complementary fairness measurement approach was proposed using the Gini coefficient and the Theil index. By comparing accessibility and fairness levels at both the overall

收稿日期：2025-01-07
通信作者：徐锦强(1976—)，男，福建三明人，福建农林大学交通与土木工程学院副教授。
基金项目：国家自然科学基金项目(41701552)；教育部人文社会科学青年基金项目(21YJC630103)；福建省自然科学基金项目(2021J01105)；福建省社会科学基金博士扶持项目(FJ2023BF115)

and multi-level internal perspectives, the study analyzed the combined effect of single and multiple HSR stations. The results show that areas with high accessibility do not necessarily correspond to high levels of fairness. Even though Changle District has lower accessibility, it still demonstrates high fairness. The Lorenz curve of Jin'an District is the farthest from the absolute fairness line, and its extreme unfairness stems from the disparities in accessibility distribution between internal communities. The Lorenz curves of administrative districts intersect, indicating that the fairness between regions changes dynamically with population proportions. In Cangshan District, both the Gini coefficient and the Theil index for multi-station accessibility are superior to those for a single station, reflecting the district's ability to more fully benefit from the transfer services provided by multiple stations. This study provides valuable insights and practical references for cities with multi-point HSR station layouts, contributing to the exploration of the fairness level of HSR station feeder transportation accessibility. It also offers ideas for enhancing transportation resource fairness through multi-level perspectives and differentiated regulatory strategies.

Keywords: Urban Transportation; Transportation Fairness; Transportation Accessibility; High Speed Railway Station; Gini Coefficient; Theil index; Map API

0　引言

国务院印发的《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》提出推进以人为核心的新型城镇化，促进城市群、都市圈和城市内交通运输协同运行[1]。高铁出行作为城际出行的主要交通方式，城市内高铁站接驳交通也是影响整体出行的重要环节，而城市内区域间的交通发展水平差异会导致部分区域的乘客出行可达性大幅波动并错过高铁[2-3]。因此，研究分析各区域高铁站公平性有助于确保不同地区群体公平地享受到高铁服务带来的社会和经济效益，为未来衡量高铁站区域接驳交通公平性提供参考。

在交通领域中，Litman[4]将交通公平分为横向公平与纵向公平。横向公平只考虑出行者都享受平等的出行机会，纵向公平考虑了出行者本身之间的差异。各地区的出行机会总是不同，但不同不代表不公平，在公平性度量中，应在尽量保证出行机会公平的情况下，同时追求结果公平[5]。因此在公平性问题中，更应考虑人口因素，合理反映公平性的情况下同时满足“以人为本”的交通发展理念。现今，许多评价交通公平性的指标都是由可达性展开[6-7]。在探究可达性差异以评价公平性过程中，建议采用互补的指数来分析具体的公平性问题[8]，多数研究将基尼系数与泰尔指数交通公平性评价中，以基尼系数与Lorenz曲线评价资源在整体中的分配公平性[9-11]，运用基尼系数和泰尔指数多指标公平性测度思路，探究内部不公平区域产生的原因及对整体公平性的影响程度[12-15]。然而，既有研究主要聚焦于多城市节点间的高铁网络可达性公平性研究[16-17]，忽略了城市范围内的高铁站接驳交通可达性也是出行过程中需考虑的重要指标，且城市中并不只存在一个高铁站，研究单一站点难以全面衡量城市内多个高铁站的综合公平性水平。

在可达性指标方面可采用多种方法来衡量，例如缓冲区法、成本栅格法、网络分析法[18-19]等，但都很难全面地考虑实际出行过程中诸多因素带来的影响，现今地图API中的路径规划服务会提供实时动态交通出行数据[20]，多项研究都应用其来对城市中心、景区等地点进行更精确深入的可达性研究[21-25]。而构建城际高铁站可达性评价指标主要考虑其所在城市的个体经济人口属性，而非考虑高铁站本身的特殊性[26-27]。因此，城市内部的高铁站可达性指标构建除考虑符合实际的动态交通数据外，应进一步考虑出行距离以及高铁站列车班次对于出行者的影响。

综上，既有高铁站可达性研究普遍忽视了城市内部接驳高铁站的关键作用，且对于高铁站多点布局的综合影响未充分关注，尤其是多点布局下高铁站不同接驳交通方式的区域层次化公平性问题。本研究基于地图API获取的动态交通数据与高铁班次构建单一站点与多站点场景下的高铁站接驳交通可达性指标，结合基尼系数与泰尔指数的双重互补公平性测度模型，多层次分析不同区域在不同交通模式下的整体及内部公平性差异，进一步探讨高铁站多点布局相较于单一站点布局的公平性互补效应，为其余高铁站多点布局的城市探究高铁站接驳交通

公平性水平与优化策略提供依据。

1　研究方法

本研究利用动态交通数据，结合高铁班次构建可达性指标进行公平性评价，研究框架如图1所示。

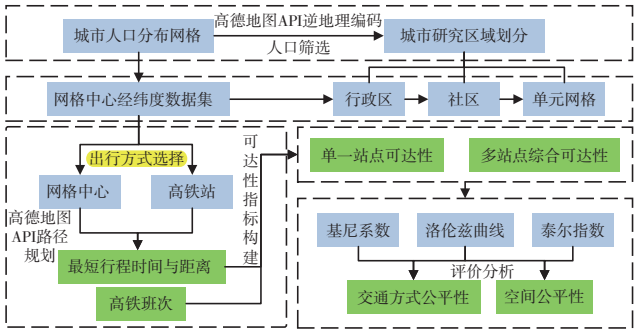


图1　研究框架

Fig.1　Research framework

1.1　高铁站交通可达性测算

本研究以城市内各区域通达高铁站的接驳交通过程为核心分析对象，假设城市内居民在高铁出行过程中的对外通达性等行为变量一致，重点研究城市内部至高铁站的交通接驳过程，评估不同交通方式下各区域到达各高铁站的可达性水平。

1.1.1　单一站点可达性

采用各网格至高铁站的最短出行时间作为单一站点高铁站可达性指标，通过高德地图API路径规划服务接口，获取该最佳路径所通行的距离与出行时间，单一站点可达性计算公式如下。

$$A_j^n = T_j^n \tag{1}$$

式中：A_j^n为网格j与高铁站n之间的高铁站可达性；T_j^n为网格j与高铁站n之间的最短出行时间。

1.1.2　多站点综合可达性

在拥有多个高铁站的城市，乘客并不会单一地选择一个高铁站出行。为研究各高铁站可达性在城市内的整体公平性程度，基于各网格至各高铁站的最短出行时间，利用高铁站列车班次与出行距离进行加权，衡量高铁站服务水平与出行距离差异对可达性格局的影响。多站点综合可达性计算公式如下。

$$A_j = \frac{\sum_{i=1} T_j^n \alpha_j^n}{\sum_{j=1} \alpha_j^n} \tag{2}$$

$$\alpha_j^n = \sqrt{D_j^n \cdot S_n} \tag{3}$$

$$D_j^n = \left(\frac{1}{d_j^n}\right)^{\mu} \tag{4}$$

式中：A_j为网格j至各高铁站的加权可达性；α_{ij}^n为高铁站的权重；S_n为高铁站n的列车班次；D_j^n为网格j至高铁站n的反距离权重；d_j^n为网格j至高铁站n的最短通行距离；μ为敏感系数，反映了出行者对出行距离的敏感性，设置为1。

1.2　基于可达性的公平性指标构建

本研究采用基尼系数与泰尔指数2类公平性指标联合分析，先通过基尼系数衡量整体人口中可达性分布的集中程度，反映总体公平性水平；再通过泰尔指数的可分解性进一步识别区域间与区域内部的差异来源，反映组间与组内的公平性差异。两者在理论逻辑与分析维度上具有互补性，前者强调整体判断，后者则强调内部差异剖析，当两者结论不完全一致甚至出现差异时，也可揭示出“整体均衡但局部结构不均”的空间特征，有助于从多维视角深入刻画高铁站接驳服务在城市内部的公平性特征。

1.2.1　基尼系数与Lorenz曲线

基尼系数与Lorenz曲线是一种常见的不公平程度度量方法，Lorenz曲线通过图表方式展现城市区域内可达性占比在人口占比中的分布情况。Lorenz曲线中，$y=x$为绝对公平线，表示资源与人口的完全平均分配。本研究采用其度量城市区域内整体的基于人口分配的可达性分布公平性程度，基尼系数的计算公式如下。

$$G = 1 - \sum_{k=1}^{n}(X_k - X_{k-1})(Y_k + Y_{k-1}) \tag{5}$$

式中：G为基尼系数；X_k为第k单元网格占总体的人口累积百分比；Y_k为第k单元网格可达性占总体的可达性累积百分比；n为单元网格数。基尼系数的取值为0~1之间，数值越小，说明该区域中可达性分布更均匀。

1.2.2　泰尔指数

泰尔指数是衡量个人之间或地区之间资源差距或不平等的指标，具有良好的分解性，分解后组间与组内泰尔指数可以解释行政区内不公平产生的原因，其数值越小则表明越公平[14]。泰尔指数进行分解的具体公式如下。

$$T = T_D + T_B \tag{6}$$

$$T_{\mathrm{D}}=\sum_{i=1}\left(W_i\lg\frac{W_i}{G_i}\right) \tag{7}$$

$$T_{\mathrm{B}}=\sum_{i=1}W_i\left(\sum_{j=1}W_{ij}\lg\frac{W_{ij}}{G_{ij}}\right) \tag{8}$$

式中：T为总体泰尔指数；T_{D}为组间泰尔指数，表示行政区内各社区间的可达性差异；T_{B}为组内泰尔指数，表示各社区内各单元网格间的可达性差异；W_i为第i社区的可达性占整体的总可达性比重；G_i为第i社区人口总数占总人口的比重；W_{ij}为第i社区中第j网格的可达性占第i社区的总可达性比重；G_{ij}为第i社区中第j网格人口总数占第i社区的总人口比重。

为更直观地展现组间差距与组内差距对整体的影响，计算组间泰尔指数与组内泰尔指数占泰尔指数的贡献率，具体表达式为

$$CR_{\mathrm{D}}=\frac{T_{\mathrm{D}}}{T}\times 100\% \tag{9}$$

$$CR_{\mathrm{B}}=\frac{T_{\mathrm{B}}}{T}\times 100\% \tag{10}$$

式中：CR_{D}为组间泰尔指数贡献率；CR_{B}为组内泰尔指数贡献率。

2　案例分析

2.1　研究区域及数据处理

2.1.1　研究对象

福州市为福建省省会、福州都市圈核心城市。福州地铁处于骨架网形成到网络运营的公共交通发展过渡阶段[28]，对小汽车接驳出行依赖较高，具备多出行方式对比分析的现实基础；福州市内布局多个高铁站，形成典型的“多中心”协同格局，适合开展多站点综合作用下的可达性与公平性特征研究，对其他同阶段且等级相当的城市在高铁站多点布局选择与接驳交通优化方面具有借鉴意义。

研究区域概况如图2所示，优先选取福州市主城区地铁覆盖且为高铁站邻近区域作为研究区域，涵盖鼓楼区、台江区、仓山区、晋安区、马尾区、长乐区和闽侯县[29]。由于福州站和福州南站高铁班次多，选取其作为研究对象。

2.1.2　数据获取与处理

在行政区层级的基础上，基于LandScan (landscan.ornl.gov)的中国1 km×1 km分辨率人口分布栅格数据，通过ArcGIS矢量转换构建1 km×1 km网格图层，保留1 km×1 km范围内人口数量>100人的

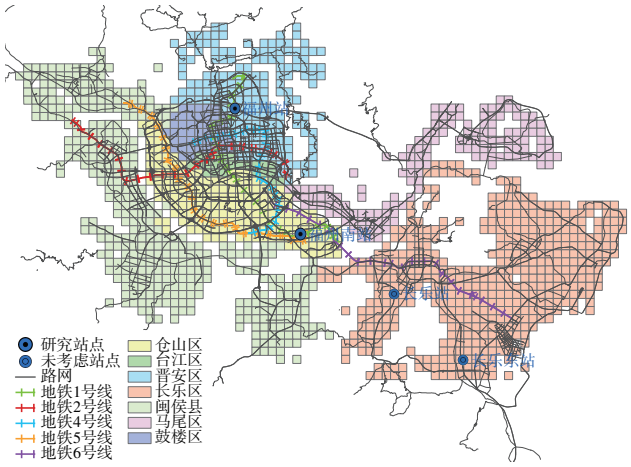


图2　研究区域概况

Fig.2　Overview of research area

单元网格作为有效研究单元，人口分布网格如图3所示。通过ArcGIS计算单元网格中心点经纬度，调用高德地图API逆地理编码接口，获取每个单元网格所处街道、乡(镇)属性作为行政区内的社区，将福州市划分为7个行政区，70个社区，1 458个单元网格，研究区域划分如表1所示。

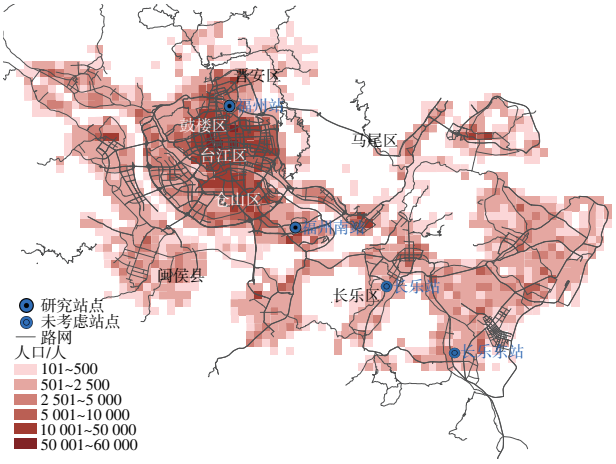


图3　人口分布网格

Fig.3　Population distribution grid

表1　研究区域划分　　个

Tab.1　Research area division

行政区	社区数	单元网格数
鼓楼区	10	44
台江区	9	22
仓山区	13	180
晋安区	8	178
闽侯县	9	404
长乐区	17	484
马尾区	4	146
总计	70	1 458

调用高德地图API路径规划服务接口获取最短出行时间与行程距离数据。获取2024年5月13—19日小汽车与公共交通2种模式下，以各单元网格为出发点至各高铁站的最短出行时间与行程距离数据。

高铁站列车班次数据来源于铁路12306网，高铁站7 d高铁班次统计表如表2所示。

表2　高铁站7 d高铁班次统计表　次

Tab.2　HSR station 7-day train frequency statistics

日期	5.13	5.14	5.15	5.16	5.17	5.18	5.19
福州站	169	165	165	165	181	170	187
福州南站	224	223	224	224	245	232	253
合计	393	388	389	389	426	402	440

2.2　可达性分析

2.2.1　行政区平均可达性分析

高铁站平均可达性如图4所示，在单一站点场景中，邻近站点的行政区普遍表现出较优的高铁站可达性。在小汽车模式下，福州站场景中，除长乐区外，其余行政区的可达性均低于平均值；福州南站场景中，仅台江区、仓山区和马尾区的可达性低于平均值。在公共交通模式下，晋安区的平均可达性排序相对小汽车有所下降，且福州南站也呈现出与小汽车模式不同的排序趋势，鼓楼区显著低于平均水平，而马尾区高于平均水平。

在多站点场景中，仓山区的平均可达性最优，仅长乐区的小汽车可达性低于多站点平均水平。在公共交通模式下，鼓楼区、台江区和仓山区的可达性水平接近，整体低于平均水平，而长乐区与马尾区仍低于平均水平。

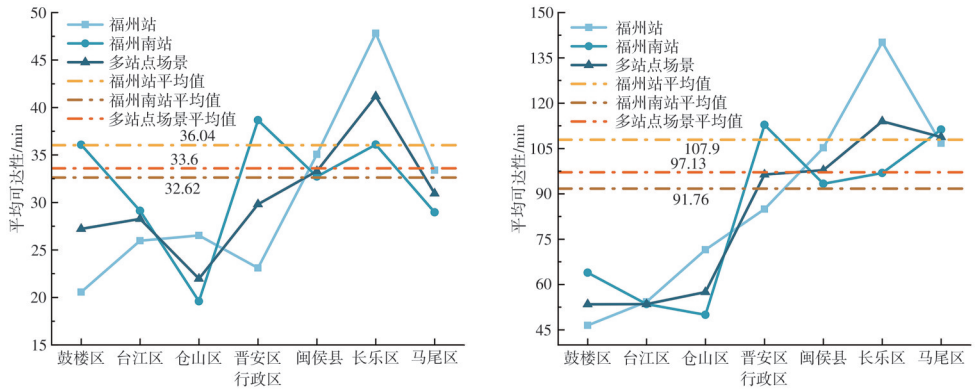
整体来看，单一站点场景下各行政区间的平均可达性差异较为显著，而多站点布局在一定程度上缩小了行政区间的平均可达性差距，体现出多站协同对整体交通可达性优化的积极作用。

2.2.2　可达性空间分布分析

不同交通方式下高铁站可达性分布如图5所示。

（1）小汽车可达性。从图5a与图5b分析可得，福州站与福州南站小汽车可达性整体上都呈现出从中心逐渐向外围递减的趋势。福州南站小汽车可达性在台江区与鼓楼区的中心区域降低，福州站小汽车可达性在台江区中心区域也有一定程度的下降趋势。其中，福州站小汽车可达性还存在距离近，但可达性相较其他行政区同等距离地区更低的现象。长乐区的福州南站小汽车可达性相对福州站有所提高，但大部分仍处于较低的分布水平。这些现象表明，尽管高铁站周边的城市快速路网络在一定程度上改善了可达性水平，但在交通繁忙且快速路覆盖不全的区域，出行可达性仍存在显著差异。

根据图5c分析可得，多站点场景小汽车可达性呈现出以台江区为中心“中间低，外围高”的分布特点。尽管福州南站在鼓楼区与台江区中心区域的可达性相对福州站较低，但从多站点可达性的角度来看，多站布局显著提高了鼓楼区与晋安区至福州南站的小汽车可达性，结合平均可达性分析可得，鼓楼区至福州南站的平均时间可达性由36.07 min降低至27.23 min，晋安区由38.66 min降低至29.80 min，台江区由29.12 min降低至28.27 min，这一改善得益于福州站与福州南站之间的环城快速路网络，促使了鼓楼区与晋安区多站点间的快速通行，多个高

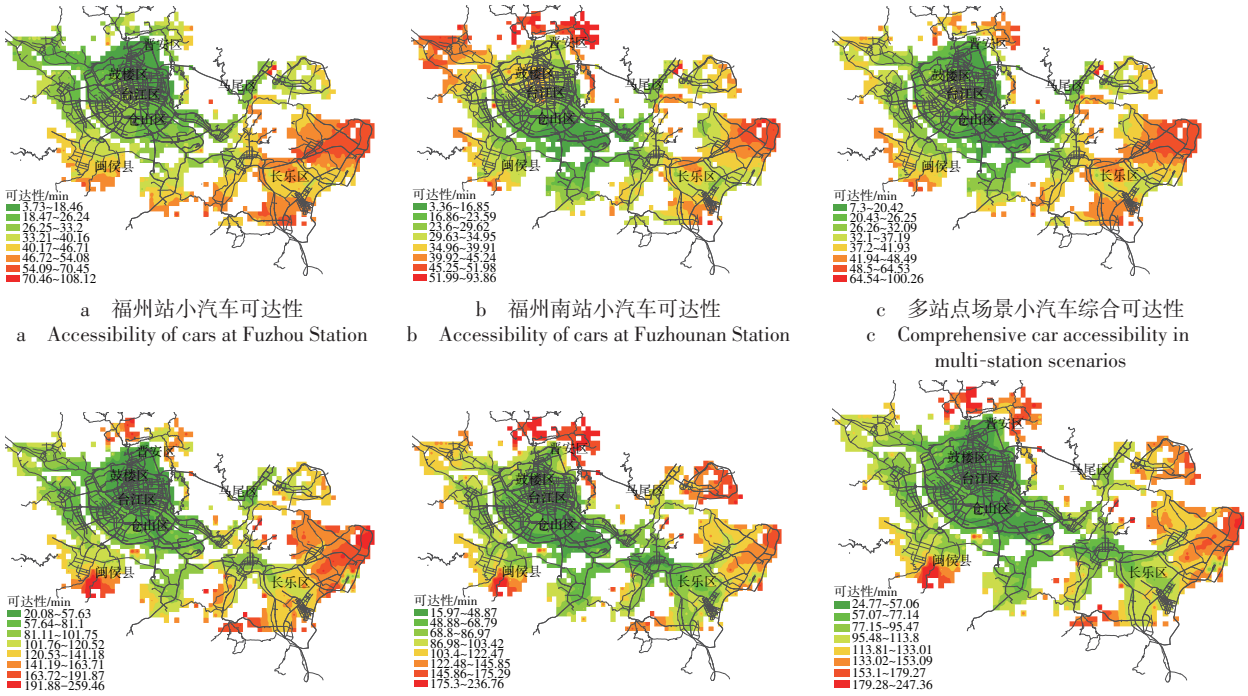


a　小汽车平均可达性　　b　公共交通平均可达性

a　Average accessibility of cars　　b　Average accessibility of public transportation

图4　高铁站平均可达性

Fig.4　Average accessibility of HSR stations



a　福州站小汽车可达性
a　Accessibility of cars at Fuzhou Station

b　福州南站小汽车可达性
b　Accessibility of cars at Fuzhounan Station

c　多站点场景小汽车综合可达性
c　Comprehensive car accessibility in multi-station scenarios

d　福州站公共交通可达性
d　Accessibility of public transportation at Fuzhou Station

e　福州南站公共交通可达性
e　Accessibility of public transportation at Fuzhounan Station

f　多站点场景公共交通综合可达性
f　Comprehensive public transport accessibility in multi-station scenarios

图5　不同交通方式下高铁站可达性分布

Fig.5　Distribution of accessibility of HSR stations under different modes of transportation

铁站的互补效应提高了整体可达性；而台江区则因处于2站点之间，能便捷地通达任一站点，整体可达性也有一定的提高。

（2）公共交通可达性。通过图5d与图5e分析，福州站与福州南站的公共交通可达性均呈现出从站点中心逐渐向外围递减的趋势。其中，福州站公共交通可达性在鼓楼区、台江区和晋安区中心城区分布较为均匀，相比之下，福州南站在这些中心城区的可达性分布差异明显，且向外围区域延伸时形成沿地铁线路分布的“爪”形分布。由此可见，多条地铁线路显著提升了福州南站的公共交通可达性，沿地铁线路的可达性分布相较于其他区域更为优越。

闽侯县和晋安区区域辽阔，存在部分偏远区域可达性仍较低，但福州站的公共交通可达性分布相对福州南站较优。在长乐区，地铁6号线的开通使得地铁沿线的可达性达到了福州市区相近的水平，福州南站的可达性提高尤其显著，而福州站则由于需要地铁换乘且出行距离较远，地铁线路带来的可达性提升辐射范围相对较小。

根据图5f分析可得，福州市区整体高铁站公共交通可达性较小汽车可达性分布更为均匀。市中心公共交通可达性水平依然保持较优水平，尤其是地铁线路覆盖的区域。鼓楼区与晋安区相对福州南站可达性较差，但福州站的存在使得整体公共交通可达性水平显著提升，结合平均可达性分析可得，鼓楼区由63.88 min降低至53.47 min，晋安区由112.84 min降低至96.38 min；仓山区与长乐区的可达性相对于福州站显著提升，仓山区由71.47 min降低至57.48 min，长乐区由140.18 min降低至114.03 min，而台江区与马尾区均维持于原先单一站点可达性水平。多站点互补效应提高了公共交通整体可达性，鼓楼区、仓山区和晋安区部分区域的可达性改善更为明显且分布平均，主要得益于其地铁网络的互通与完善。与小汽车整体可达性提升趋势不同的是，公共交通提升更偏向于邻近或主要服务该区域的站点，如长乐区和马尾区由于地铁覆盖不完全，福州南站为这2个区域提供了更多的出行选择和较短的通行距离，公共交通主要侧重便捷通达福州南站。闽侯县南部、长乐区东部与晋安区北部存在整体可达性极低的分布，说明这些区域的公共交通水平较差，是公共交通网络覆盖不全且过度依赖单一站点导致的。

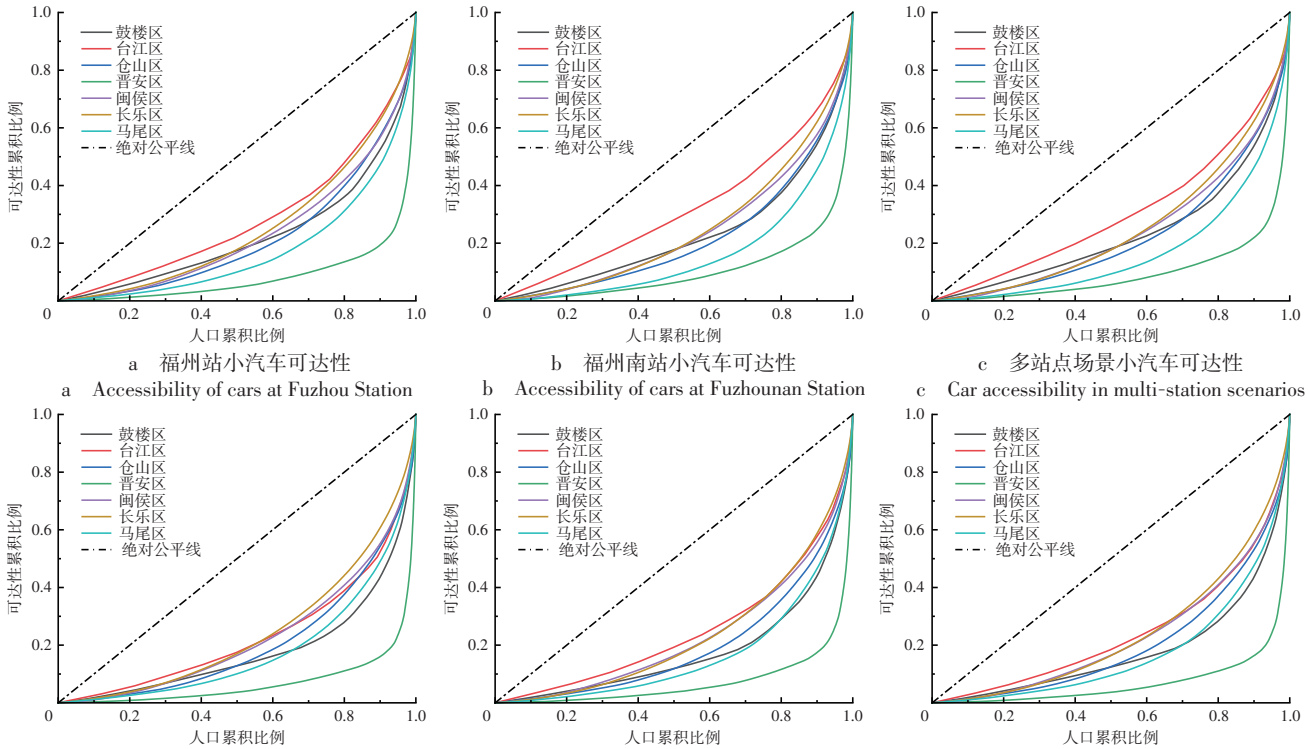
2.3　公平性分析

2.3.1　基尼系数分析

基于1.2.1节所述方法，绘制不同交通方式下高铁站可达性Lorenz曲线如图6所示。计算不同行政区域交通方式间的基尼系数如表3所示。

分析表3可得，在所有出行场景中，小汽车基尼系数普遍低于公共交通。晋安区的基尼系数最高，公平性最差，结合可达性水平与Lorenz曲线分析，晋安区虽平均可达性优于平均水准，但大部分人口享有较优的可达性，仅有小部分人口面临低可达性，导致可达性分布极不公平。台江区的小汽车交通基尼系数最低，公共交通基尼系数亦低于其他区域，且低于大部分区域的小汽车基尼系数，显示出该区域公共交通服务水平高，甚至优于其他区域的小汽车交通。马尾区虽无地铁覆盖，但公共交通的公平性与小汽车相当。这一现象表明在无地铁情况下，马尾区通过公交车主导的公共交通模式，实现了与小汽车水平相当的可达性公平性，同时也可认为区内公共交通依赖公交车，反而缩小了公共交通可达性差异。多数行政区通达福州站与福州南站的小汽车公平性较为均衡，但台江区、晋安区及马尾区则呈现出显著的公平性差距。公共交通方面，台江区、长乐区与马尾区的服务水平差异尤为突出。

综合考量多站点场景的整体影响，鼓楼区、仓



a　福州站小汽车可达性
a　Accessibility of cars at Fuzhou Station

b　福州南站小汽车可达性
b　Accessibility of cars at Fuzhounan Station

c　多站点场景小汽车可达性
c　Car accessibility in multi-station scenarios

d　福州站公共交通可达性
d　Public transport accessibility at Fuzhou Station

e　福州南站公共交通可达性
e　Public transport accessibility at Fuzhounan Station

f　多站点场景公共交通可达性
f　Public transport accessibility in multi-station scenarios

图6　不同交通方式下高铁站可达性Lorenz曲线

Fig.6　Lorenz curve of accessibility of HSR stations under different modes of transportation

表3　不同行政区域交通方式间的基尼系数

Tab.3　Gini coefficients of different transportation modes across administrative regions

站点	交通方式	基尼系数						
		鼓楼区	台江区	仓山区	晋安区	闽侯县	长乐区	马尾区
福州站	小汽车	0.544	0.431	0.559	0.827	0.531	0.489	0.645
	公共交通	0.636	0.533	0.586	0.856	0.542	0.509	0.635
福州南站	小汽车	0.534	0.358	0.560	0.786	0.518	0.496	0.670
	公共交通	0.640	0.499	0.603	0.850	0.539	0.533	0.663
多站点场景	小汽车	0.529	0.389	0.549	0.805	0.516	0.493	0.659
	公共交通	0.638	0.515	0.591	0.855	0.539	0.522	0.650

山区及闽侯县在多站点小汽车交通可达性方面，展现出较单一站点更低的基尼系数，说明福州站与福州南站间的互补作用提升了这些区域的交通服务水平。其他区域则介于各单一站点公平性水平之间，可以认为其出行对某单一站点有较大依赖，在城市规划和政策制定中或未充分考虑多站点的协同与各区域人口的实际需求，未实现道路交通资源最大化利用。在公共交通的综合可达性上，各行政区多站点公平性水平均介于各单一站点之间。

由图6可知，晋安区的Lorenz曲线在任何场景与出行模式下均最远离绝对公平线，且曲线斜率呈现“先缓后陡”的特征，说明了其可达性分布不均，仅多数群体可达性较优，导致其不公平程度最高；台江区在小汽车出行中最接近绝对公平线，但在公共交通出行中与长乐区曲线存在交点，说明台江区的公平性优势随覆盖人口增加而减弱，长乐区则呈现相反趋势，其他行政区间亦表现出类似现象。这一现象揭示了区域可达性公平性具有人口覆盖比例依赖性，对差异化交通政策制定具有重要启示。

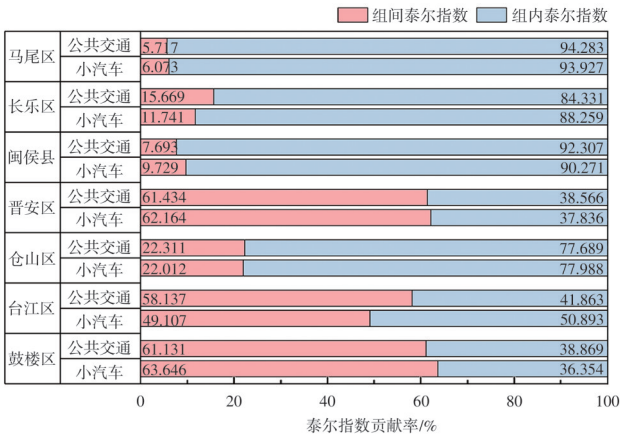
2.3.2　泰尔指数分析

不同出行场景下小汽车与公共交通可达性泰尔指数如表4所示，泰尔指数贡献率如图7所示。其

表4　不同出行场景下小汽车与公共交通可达性泰尔指数

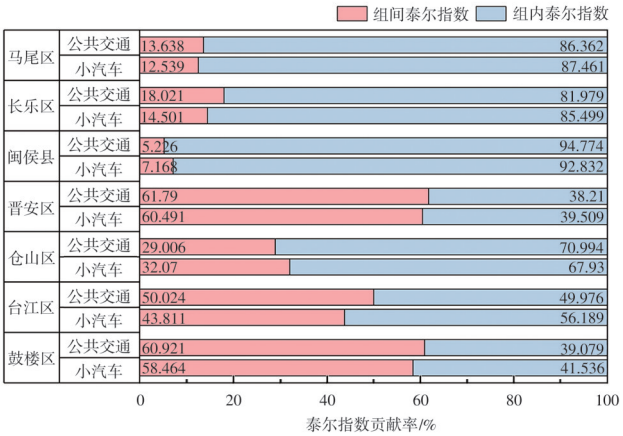
Tab.4　Theil index of car and public transport accessibility under different travel scenarios

站点	行政区	小汽车			公共交通		
		组间	组内	总体	组间	组内	总体
福州站	鼓楼区	0.181	0.104	0.285	0.244	0.155	0.398
	台江区	0.091	0.094	0.185	0.161	0.116	0.277
	仓山区	0.062	0.221	0.284	0.071	0.249	0.320
	晋安区	0.534	0.325	0.860	0.587	0.369	0.956
	闽侯县	0.024	0.225	0.249	0.020	0.245	0.265
	长乐区	0.023	0.170	0.192	0.033	0.179	0.213
	马尾区	0.023	0.351	0.373	0.020	0.332	0.352
福州南站	鼓楼区	0.155	0.110	0.265	0.240	0.154	0.393
	台江区	0.062	0.080	0.142	0.122	0.122	0.243
	仓山区	0.092	0.195	0.286	0.099	0.242	0.341
	晋安区	0.448	0.292	0.740	0.559	0.346	0.905
	闽侯县	0.017	0.219	0.235	0.014	0.246	0.259
	长乐区	0.029	0.171	0.200	0.043	0.193	0.236
	马尾区	0.050	0.352	0.402	0.053	0.333	0.386
多站点场景	鼓楼区	0.162	0.104	0.266	0.242	0.154	0.396
	台江区	0.074	0.086	0.160	0.139	0.119	0.257
	仓山区	0.075	0.200	0.275	0.084	0.243	0.327
	晋安区	0.497	0.306	0.802	0.583	0.357	0.941
	闽侯县	0.014	0.222	0.235	0.015	0.246	0.261
	长乐区	0.026	0.170	0.196	0.038	0.186	0.225
	马尾区	0.038	0.351	0.389	0.037	0.332	0.370



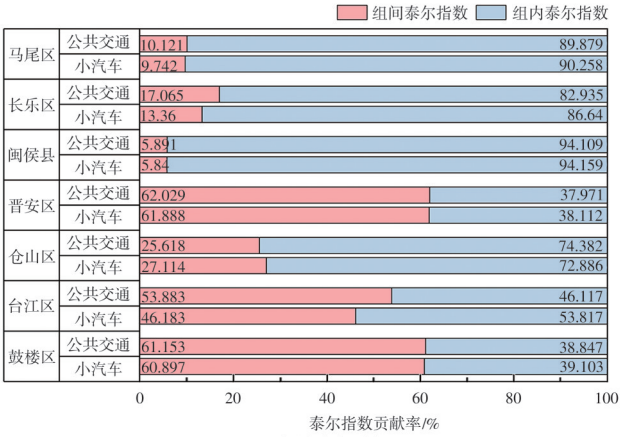
a　福州站

a　Fuzhou Station



b　福州南站

b　Fuzhounan Station



c　多站点场景

c　Multi site scenario

图7　泰尔指数贡献率

Fig.7　Theil index contribution rate

中，组间泰尔指数指行政区内部社区单元之间的公平性差异，组内泰尔指数指行政区内部各单元网格之间的公平性差异，总体泰尔指数指行政区整体的公平性水平。

综合表4分析，各出行场景下行政区小汽车泰尔

指数普遍低于公共交通。其中，晋安区的小汽车与公共交通泰尔指数在所有出行场景中均为最高，表明其公平性最差。根据其组间泰尔指数、组内泰尔指数与其贡献率可以发现，晋安区的组间差距与组内差距均非常大。晋安区北部的福州站可达性极低，而靠近城市中心区域的福州站可达性良好，这种两极分化导致了晋安区内整体的组间与组内差距巨大；晋安区在出行距离较远的福州南站整体出行的公平性相对较高，但相比其他行政区仍处于较低水平。与晋安区相对应的是台江区，台江区的小汽车出行公平性程度在所有出行场景中表现最优。而进一步对比发现，长乐区与台江区的出行公平性水平相近，均处于较高水平；然而，长乐区在地理位置上更接近的福州南站出行场景中，其公平性水平有所降低，而台江区在不同场景中保持稳定。结合图7贡献率分析，发现这一现象源于远距离出行中，福州南站附近社区的出行优势减弱，组间贡献率下降进而提高了整体公平性。马尾区和仓山区亦呈现类似趋势。

综合分析多站点场景的整体影响，各行政区在2个高铁站的辐射下的公平性水平表现出一定的差异性。特别是仓山区的多站点场景小汽车泰尔指数低于各单一站点，显示出该区域对2个高铁站接驳交通服务的充分利用。鼓楼区与闽侯县的小汽车泰尔指数虽处于单一站点指数之间，但边缘化趋势明显。以鼓楼区为例，福州站的泰尔指数为0.285，而福州南站为0.265，整体泰尔指数为0.266，说明福州南站对该区域的交通资源分配起着更为关键的作用，并很大程度上决定了整体公平性。至于公共交通的泰尔指数，所有行政区在多站点场景的公平性水平均介于各单一站点水平之间。由泰尔指数贡献率可以看出，鼓楼区与晋安区呈现了更高的组间贡献率，表明其行政区范围内的不公平主要是由于组间差异导致的。台江区在各出行场景下都保持相近的组间和组内贡献率。其余行政区的不公平主要由组内单元网格出行可达性差异显著导致。

进一步观察图7，处于福州市中心的鼓楼区、晋安区与台江区的组间泰尔指数贡献率更高，而相对外围区域的闽侯县、仓山区、长乐区与马尾区组间泰尔指数贡献率都较低，表示市中心区域公平性差距源于内部社区之间的差距，外围行政区的公平性差距源于内部网格间的可达性分布不均匀。城市中心区域交通发展较为先进，应重点关注缩小不同社区间的可达性差距。而城市外围区域，鉴于社区内部存在较大的差异，导致整体上的不公平性，应首先致力于提升各社区内部的道路连通性，以此提高整体的公平性，随后再考虑不同社区间的差距问题。

3　结论及建议

3.1　结论

本研究基于可达性与公平性指标，从单一站点与多站点多层次分析研究福州市高铁站接驳交通公平性差异。单一站点公平性研究可有效识别并为针对性地解决城市具体的不公平问题提供方向；多站点综合公平性分析则揭示了协同效应对于城市整体公平性的影响，有助于发现区域整体下交通不公平现象，多层次分析研究方法可适用于类似多站点布局的城市可达性与公平性特征研究，结合基尼系数与泰尔指数，逐层挖掘城市可达性的分布公平性。研究结论如下。

（1）高可达性水平并不等同于高公平性水平，尤其在公共交通出行中，行政区由于地铁线路覆盖的可达性大幅提升可能反而加剧整体的公平性失衡。衡量城市区域交通公平性不能仅关注整体可达性的提升，还需综合考量内部条件差异，以更全面、客观地评估交通资源配置的公平性。

（2）Lorenz曲线远离绝对公平线时，整体公平性水平越低，结合曲线斜率的“先缓后陡”趋势，说明高可达性资源集中于少数人群，导致了明显的不公平。不同行政区间Lorenz曲线存在交点反映出区域间公平性随着人口比例动态变化，区域可达性公平性具有人口比例依赖性。

（3）多数行政区的多站点公平性指标数值处于各单一站点公平性指标之间，说明其依赖于单一站点带来的交通便利。部分行政区在多站点综合作用下的公平性指标水平呈现出相比任一单一站点更低的数值，这体现了其能充分享受多站点资源整合带来的交通服务优势，可实现更高的公平性。

3.2　建议

（1）明确高铁站接驳交通改善方向。在整体公平性良好但组间差异显著的行政区，重点着力于缩

小社区间的公平性差异。而对于城市边缘区域，由于交通发展水平不均，普遍存在较大组内差异，需优先关注并提升内部整体的可达性，再考虑缩小社区间的具体差异。

（2）结合人口覆盖比例动态调整交通规划服务策略，特别是在低可达性群体多的区域，优化交通接驳，确保所有群体能够平等享有高效的交通服务，定期进行公平性评估以调整策略。

（3）加强站点合理布局和交通接驳资源整合，改善仅依赖单一站点区域对其他站点的可达性，强化多站点接驳交通资源整合与优势互补，实现各行政区在多站点模式下皆能优于单一站点模式，提升整体交通公平性。

参考文献：

[1] 国务院. 国务院关于印发“十四五” 现代综合交通运输体系发展规划的通知[J]. 中华人民共和国国务院公报，2022(4)：8-28.

[2] XU M H，SHUAI B，WANG X，et al. Analysis of the Accessibility of Connecting Transport at High Speed Rail Stations from the Perspective of Departing Passengers[J]. Transportation Research Part A：Policy and Practice，2023，173：103714.

[3] GAO Y E，KAN X X，CHENG J，et al. Accessibility Evaluation of a Newly Planned High Speed Railway Station in a Metropolitan Core Area Based on a Modified Two-Step Floating Catchment Area Method[J]. Journal of Urban Planning and Development，2024，150(2)：05024012.

[4] LITMAN T. Evaluating Transportation Equity[J]. World Transport Policy and Practice，2009，8：50-65.

[5] 林晓言，张泽华，王梓利. 中国交通公平性测度研究：基于交通基尼系数的分析[J]. 宏观经济研究，2019(5)：154-167.
LIN Xiaoyan，ZHANG Zehua，WANG Zili. A Study on China’s Traffic Fairness Measurement：Analysis Based on Traffic Gini Coefficient[J]. Macroeconomics，2019(5)：154-167.

[6] 蔡永龙，陈忠暖，刘　松，等. 快速铁路开通对海南岛空间可达性格局和空间公平性的影响[J]. 经济地理，2018，38(1)：36-45.
CAI Yonglong，CHEN Zhongnuan，LIU Song，et al. The Impact of Fast Railway Opened on Accessibility Patterns and Spatial Equity of Hainan Island Space[J]. Economic Geography，2018，38(1)：36-45.

[7] 裴玉龙，潘恒彦，郭明鹏，等. 轨道交通对城市公共交通网络可达性的影响：以哈尔滨市为例[J]. 公路交通科技，2020，37(6)：104-111.
PEI Yulong，PAN Hengyan，GUO Mingpeng，et al. Influence of Rail Transit on Accessibility of Urban Transit Network：A Case Study of Harbin City[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development，2020，37(6)：104-111.

[8] 蒋海兵，张文忠，祁　毅，等. 区域交通基础设施可达性研究进展[J]. 地理科学进展，2013，32(5)：807-817.
JIANG Haibing，ZHANG Wenzhong，QI Yi，et al. Research Progress on Accessibility to Regional Transportation Infrastructure[J]. Progress in Geography，2013，32(5)：807-817.

[9] 李旻芮，高悦尔，史志法，等. 基于公平视角的城市公共交通资源空间分布研究：以厦门市为例[J]. 城市发展研究，2022，29(3)：28-33.
LI Minrui，GAO Yue’er，SHI Zhifa，et al. Research on the Spatial Distribution Evaluation of Urban Public Transportation Resources from the Perspective of Equity：Taking Xiamen as an Example[J]. Urban Development Studies，2022，29(3)：28-33.

[10] 刘　炜，董傲然，邓　雷，等. 基于网络开放数据的城市公共交通可达性公平测度研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版)，2021，45(6)：1045-1050.
LIU Wei，DONG Aoran，DENG Lei，et al. Research on Fairness Measurement of Urban Public Transportation Accessibility Based on Network Open Data[J]. Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering)，2021，45(6)：1045-1050.

[11] YU L J，CUI M Y. How Subway Network Affects Transit Accessibility and Equity：A Case Study of Xi’an Metropolitan Area[J]. Journal of Transport Geography，2023，108：103556.

[12] 马书红，陈西芳，武亚俊，等. 基于可达性的城市群交通网络公平性分析[J]. 交通运输系统工程与信息，2022，22(6)：51-59.
MA Shuhong，CHEN Xifang，WU Yajun，et al. Equity Analysis of Transportation Networks in Urban Agglomerations Based on Accessibility[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology，2022，22(6)：51-59.

[13] 孙世超，郑　勇，成璐菊，等. 基于站点接驳可达性计算的轨道交通乘客公平性研究[J]. 大连海事大学学报，2023，49(3)：1-10.
SUN Shichao，ZHENG Yong，CHENG Luju，et al. Rail Transit Passenger Fairness Based on Accessibility Calculation of Station Connection[J]. Journal of Dalian Maritime University，2023，49(3)：1-10.

[14] 席东其，朱　乐，张　改，等. 基于手机信令数据的城市

交通公平性评价：以昆山市为例[J]. 现代城市研究，2021，36(6)：35-43.
XI Dongqi，ZHU Le，ZHANG Gai，et al. Urban Traffic Equity Evaluation Based on Mobile Phone Signaling Data：A Case Study of Kunshan City[J]. Modern Urban Research，2021，36(6)：35-43.

[15] 姚　伟，赵志远，吴　升. 厦门市公共出租汽车服务公平性[J]. 地球信息科学学报，2023，25(8)：1637-1654.
YAO Wei，ZHAO Zhiyuan，WU Sheng. Equality of Public Taxi Service in Xiamen City[J]. Journal of Geo-information Science，2023，25(8)：1637-1654.

[16] BRUZZONE F，CAVALLARO F，NOCERA S. The Effects of High Speed Rail on Accessibility and Equity：Evidence from the Turin-Lyon Case-Study[J]. Socio-Economic Planning Sciences，2023，85：101379.

[17] WANG Q，LU S K. The Influence of Hybrid Accessibility on Tourism Economy in Prefecture-Level Cities：Evidence from China's High Speed Rail Network[J]. Journal of Transport Geography，2022，104：103417.

[18] SHAO Z G，ZHANG L，HAN C F，et al. Measurement and Prediction of Urban Land Traffic Accessibility and Economic Contact Based on GIS：A Case Study of Land Transportation in Shandong Province，China[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health，2022，19(22)：14867.

[19] 姚志刚，傅宇豪，张俊青. 站点可达性方法对公交不平等测度的影响研究[J]. 交通运输系统工程与信息，2021，21(3)：206-213.
YAO Zhigang，FU Yuhao，ZHANG Junqing. Impacts of Accessibility to Transit Measures on Inequality Index of Public Transport[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology，2021，21(3)：206-213.

[20] RUAN X G. How Fast Is It to City Centers? The Average Travel Speed as an Indicator of Road Traffic Accessibility Potential[J]. Journal of Zhejiang University-SCIENCE A，2022，23(8)：621-638.

[21] 浩飞龙，王士君，谢栋灿，等. 基于互联网地图服务的长春市商业中心可达性分析[J]. 经济地理，2017，37(2)：68-75.
HAO Feilong，WANG Shijun，XIE Dongcan，et al. Space-Time Accessibility of Commercial Centers in Changchun Urban Area Based on Internet Map Service[J]. Economic Geography，2017，37(2)：68-75.

[22] 郭琛琛，梁娟珠. 基于网络地图的多交通模式医疗设施可达性分析[J]. 地球信息科学学报，2022，24(3)：483-494.
GUO Chenchen，LIANG Juanzhu. Accessibility Analysis of Medical Facilities Based on Multiple Transportation Modes of Network Map[J]. Journal of Geo-information Science，2022，24(3)：483-494.

[23] ZHENG Y，XIAO J Z，TANG J. Research on Urban Agglomeration Spatial Network Structure in the Middle Reaches of the Yangtze River Based on Real-Time Traffic Accessibility Scenario Analysis[J]. Transportation Letters，2025，17(2)：369-383.

[24] 高顺祥，陈　珍，张志健，等. 骑行替代步行后公共交通可达性改善效果评估方法[J]. 地球信息科学学报，2023，25(3)：439-449.
GAO Shunxiang，CHEN Zhen，ZHANG Zhijian，et al. Evaluation of Improvement of Public Transport Accessibility Considering Riding instead of Walking[J]. Journal of Geo-information Science，2023，25(3)：439-449.

[25] 刘琳琳，郑伯红，骆　晨. 基于交通大数据的南昌市中心城区等时圈划分及特征分析[J]. 地球信息科学学报，2022，24(2)：220-234.
LIU Linlin，ZHENG Bohong，LUO Chen. Division and Feature Analysis of Nanchang Urban Center Isochrone Maps Based on Traffic Big Data[J]. Journal of Geo-information Science，2022，24(2)：220-234.

[26] 李文军，曾俊伟，钱永生，等. 铁路可达性与城市活力的协调发展研究：以关中平原城市群为例[J]. 铁道运输与经济，2025，47(1)：200-209.
LI Wenjun，ZENG Junwei，QIAN Yongsheng，et al. Coordinated Development of Railway Accessibility and Urban Vitality：A Case Study of Urban Agglomeration in Guanzhong Plain[J]. Railway Transport and Economy，2025，47(1)：200-209.

[27] 吴　鹏，李得伟. 考虑实际出行成本的城市群铁路客运站点与网络可达性研究[J]. 铁道运输与经济，2023，45(6)：85-92.
WU Peng，LI Dewei. Accessibility of Railway Passenger Transport Stations and Networks in Urban Agglomeration Considering Actual Travel Costs[J]. Railway Transport and Economy，2023，45(6)：85-92.

[28] 陈　沥. 城市轨道交通客流成长规律和网络运营初期客流特征：以福州市为例[J]. 福建交通科技，2023(6)：89-94.

[29] 李嘉政，林以恒，张露丹，等. 基于高德地图API的地铁站点空间可达性研究：以福州为例[J]. 物流科技，2024，47(14)：10-15，68.
LI Jiazheng，LIN Yiheng，ZHANG Ludan，et al. Research on Spatial Accessibility of Subway Stations Based on Gaode API：Taking Fuzhou City as an Example[J]. Logistics Sci-Tech，2024，47(14)：10-15，68.

(责任编辑　汪沁萱)