



DOI:10.12404/j.issn.1671-1815.2307461

引用格式:任晓红,沈佳,王惠.城市综合交通换乘便捷性影响因素[J].科学技术与工程,2025,25(1):346-356.

Ren Xiaohong, Shen Jia, Wang Hui. Influencing factors of the convenience of urban integrated transportation transfer[J]. Science Technology and Engineering, 2025, 25(1): 346-356.

交通运输

城市综合交通换乘便捷性影响因素

任晓红¹, 沈佳¹, 王惠²

(1. 重庆交通大学经济与管理学院, 重庆 400074; 2. 重庆交通大学交通运输学院, 重庆 400074)

摘要 研究城市综合交通换乘便捷性的影响因素可以为城市交通规划提供科学依据和指导。基于综合交通理论和换乘便捷性理论,对综合交通换乘体系逻辑进行了梳理,并绘制了综合交通换乘体系图,然后从综合交通枢纽站和单个异站换乘起讫点(origin-destination, OD)对两个视角,采用 Pearson 相关性分析、地理探测器模型、多元线性回归模型等方法研究综合交通换乘便捷性的影响因素。研究表明:单个枢纽站异站换乘便捷度主要与枢纽站地理位置有关;地理距离、出行方式、出行站数为最短换乘时间的主要因素,其中出行站数为最主要因素;地理距离、最短公路里程数、出行方式、出行站数为最少换乘费用的主要因素,其中出行方式和出行站数为最主要因素。

关键词 综合交通; 换乘便捷性; 交通枢纽; 影响因素

中图法分类号 U113;

文献标志码 A

Influencing Factors of the Convenience of Urban Integrated Transportation Transfer

REN Xiao-hong¹, SHEN Jia¹, WANG Hui²

(1. School of Economics and Management, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. School of Traffic and Transportation, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

[Abstract] The research on the factors affecting the convenience of urban integrated transportation transfer can provide scientific basis and guidance for urban transportation planning. Based on the comprehensive transportation theory and transfer convenience theory, the logic of the comprehensive transportation transfer system was sorted out, and the comprehensive transportation transfer system diagram was drawn. Then, from the two perspectives of the comprehensive transportation hub station and the transfer origin-destination (OD) pair of a single station, Pearson correlation analysis, geographic detector model and multiple linear regression model were used to study the factors affecting the convenience of integrated transportation transfer. The results show that the transfer convenience of a single hub station is mainly related to the location of the hub station. Geographical distance, travel mode and number of travel stations are the main factors of the shortest transfer time, and the number of travel stations is the most important factor. Geographical distance, shortest highway mileage, travel mode and number of travel stations are the main factors of the least transfer cost, among which the travel mode and number of travel stations are the most important factors.

[Keywords] comprehensive transportation; ease of transfer; transportation hub; influencing factors

随着城市化进程的加速和居民出行频率的不断增长^[1],城市交通系统的优化与发展成为刻不容缓的任务。尽管城市公共交通的发展已经为城市社会经济活动提供了重要的支撑和推动力量^[2],但是如何进一步提高交通系统的效率和便捷性,以满足居民多样化的出行需求,仍然是一个值得深入探讨的

问题。随着城市交通需求的不断增加,交通换乘的便捷性成为提升公共交通系统整体效能的关键因素。然而,当前综合交通枢纽存在布局与城市功能区不匹配、与周边建筑结合较弱、接驳布局组织混乱等问题^[3],使得当前的交通换乘过程中仍存在诸多挑战,如换乘距离长、时间和成本高^[4]、换乘设施不便等问

收稿日期: 2023-09-21 修订日期: 2024-06-26

基金项目: 国家社会科学基金一般项目(21BJY223); 重庆市自然科学基金面上项目(CSTB2023NSCQ-MSX0046); 重庆英才计划“包干制”项目(2024YC014)

第一作者: 任晓红(1969—),女,汉族,四川西充人,博士,教授,博士研究生导师。研究方向:区域经济学和交通运输经济学等。E-mail:renxh814@126.com。

题,这严重影响了居民的出行体验和公共交通系统的使用率。其次,随着城市交通规划的不断完善和综合交通运输体系的发展,加强不同交通工具之间的协调与衔接成为当前交通规划的重要方向^[5]。2021年国务院印发的《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》明确提出了应对客运场站、交通枢纽等进行合理优化,鼓励同站布设,加强与城市交通系统有效衔接等要求。然而,要实现综合交通换乘的便捷性,需要对交通网络布局、交通设施的连通性和便利性等方面进行深入研究和优化。只有通过深入了解交通换乘便捷性的影响因素,才能为城市交通规划提供科学的指导,实现交通系统的整体提升和优化。因此,深入研究交通换乘便捷性具有重要意义,将为优化城市交通网络、改善居民出行体验和推动城市交通发展做出积极贡献。

1 文献综述和理论基础

1.1 文献综述

综合交通换乘便捷性的影响因素研究涵盖了旅客出行心理因素和空间地理位置等方面。在旅客出行心理因素的研究方面,国内外学者通过调查问卷、建立模型等方法,分析了多个影响因素。在国外研究中,换乘预订时间的感知准确性对换乘便捷性有一定影响^[6],出行属性如乘坐距离、步行距离等也对乘客选择换乘车站产生影响^[7]。心理综合感知价值和累积前景理论被应用于换乘决策模型的构建,强调时间、出发时间、出行成本等因素的综合考虑^[8-9],交通信息服务被认为会影响出行者的出行方式和路径选择^[10]。研究还发现,不同交通方式之间的换乘会对出行时间产生负效用^[11]。在国内的研究中,通过问卷调查和模型分析,发现旅客主要追求出行费用效用最大化^[1]。城市公共交通的时间价值相对较低,小汽车出行时间价值高于城市公共交通^[12]。研究发现老年乘客比例明显影响换乘时间^[13]。相关研究还建立了Logit综合交通枢纽换乘选择模型,发现时间是影响城市轨道交通的重要因素^[14],除时间和费用外,换乘次数和换乘便捷性也被确认为主要影响因素^[15-17]。研究还指出,换乘时间、换乘距离、公交发车频率^[18]、舒适度和票价都是影响换乘的重要因素^[19],而乘客对换乘距离和时间满意度较低^[20]。

一些学者从空间地理位置出发,对综合交通换乘便捷性进行分析。研究表明,换乘工具种类、换乘时间和距离是影响站点空间换乘便捷性的主要因素^[21]。城市中心距离、交通设施衔接和站区周边空间范围也对高速铁路车站区与城市主城区的联

系产生影响^[22]。而出行距离、行李负载程度和同行照料水平变化是影响旅客离站换乘选择的主要因素^[23]。于宝霏等^[24]从换乘衔接布局、换乘衔接空间位置与换乘衔接数量等方面提出了换乘站的优化措施。

还有一些学者就其他方面对综合交通换乘便捷性进行了分析。徐士伟等^[25]研究发现公交车在枢纽中的行驶和蓄车时间也直接影响公交枢纽的换乘效率。庄宇等^[26]研究发现安检模式的改进会提升铁路客站换乘地铁效率。杨湖平^[27]从热力图的日出行分布情况推测天气因素也是影响换乘出行的关键因素之一。

1.2 理论基础

综合交通是指综合发展和利用各种交通基础设施和交通方式而形成的运输体系,包含两大方面,即交通基础设施和交通方式。交通基础设施是指能为社会和个人提供运输能力的公共设施,也是保证国家和社会经济活动正常进行的基础,主要包括公路、铁路、航空、水路、管道等运输设施^[28]。综合交通枢纽属于交通基础设施范畴,指两种及以上交通方式和交通方式所连接的设施组成的运输整体。交通方式是指居民出行所采用的方法或使用的交通工具,按出行地区的不同可分为对内交通方式和对外交通方式,对外交通主要以铁路、公路、水运、航空和管道等方式承接城际间出行;对内交通主要以城市轨道交通(地铁、轻轨等)、道路交通(行人、非机动车、公交车、出租车等)、水运等方式承接城市范围内出行。

换乘便捷性中换乘指旅客在行驶路途中间变换交通工具,而便捷性则包含方便性和快捷性两方面。方便性指旅客在出行过程中有多样的方式可以选择,且都可以完成出行目的;快捷性指旅客可以花费较少时间、较少费用、较少换乘次数等完成出行目的。

综合交通换乘从换乘站与接续站的关系来说,可分为同站换乘和异站换乘^[29]。同站换乘,指同一枢纽站内进行换乘,主要与综合交通枢纽站内部换乘有关,此换乘过程是较为理想的一种方式,其具有换乘成本少的优点,但与此同时,此方式对换乘设施配置以及交通方式衔接要求较高。异站换乘是指在不同枢纽站实现换乘的方式^[29],主要与综合交通方式相互衔接以及运输通道有关,也可将其理解为综合枢纽站空间分布之间的联系,需要跨越相同城市分离的2个车站,此方式需要依靠城市内部交通实现。

现首先基于综合交通理论和换乘便捷性理论,对各综合交通换乘体系进行剖析,然后基于“以人为本”“交通基础设施服务人”的理念,从交通基础

配置入手,客观探究综合交通换乘便捷性的影响因素。主要研究异站换乘中各影响因素的具体情况,采用 Pearson 相关性分析、地理探测器模型、多元线性回归模型等方法,从综合交通枢纽站和单个异站换乘 OD 对两个视角研究综合交通异站换乘便捷性的影响因素,以期为中国综合交通换乘线路规划以及综合交通枢纽站布局规划提供一定的参考。

2 研究设计

2.1 研究对象

依据“综合交通”概念的界定,研究对象从两方面进行选择,即交通基础设施和交通方式。在交通基础设施方面,由于综合交通枢纽站是综合交通交汇的载体,所以综合交通枢纽站作为研究对象的选择标准。在交通方式方面,分为对外交通与对外交通异站换乘、研究对外交通与对外交通同站换乘和对外交通与对内交通的同站换乘,对外交通主要研

究飞机与铁路的换乘,对内交通主要研究城市公共交通(城市轨道交通、公交车)的换乘。

选择 31 个省会城市中已建成且投入使用的大型综合交通枢纽站作为研究对象,客流量较少且即将停运的枢纽站不列为研究对象,故在机场枢纽站的选择中,选取等级为 4F、4E 级别的机场枢纽站样本共 34 个。在铁路枢纽站的选择中,选取一等及特等的铁路枢纽站样本共 76 个,累计选取综合交通枢纽站共 110 个。将各省会城市中机场枢纽站与铁路枢纽站分别进行两两组合,形成 352 个站点 OD 对,其中飞机与铁路组合 OD 对为 180 个,飞机与飞机组合 OD 对为 6 个,铁路与铁路 OD 组合对为 166 个。样本枢纽站选择情况如表 1 所示。

2.2 变量选取

为剖析综合交通异站换乘便捷性的影响因素,从综合交通枢纽站和单个异站换乘 OD 对两个视角研究综合交通异站换乘便捷性的影响因素。

表 1 样本枢纽站选择情况
Table 1 Selection of sample hubs

城市	飞机场	火车站点
北京市	北京首都国际机场、北京大兴国际机场	北京西站、北京站、北京南站、北京北站、北京东站、北京大兴站、北京丰台站、北京朝阳站
天津市	天津滨海国际机场	天津站、天津西站、塘沽站、静海站
石家庄市	石家庄正定国际机场	石家庄站
太原市	太原武宿国际机场	太原站、太原南站
呼和浩特市	呼和浩特白塔国际机场	呼和浩特站、呼和浩特东站
沈阳市	沈阳桃仙国际机场	沈阳站、沈阳北站、沈阳南站
长春市	长春龙嘉国际机场	长春站
哈尔滨市	哈尔滨太平国际机场	哈尔滨站、哈尔滨东站、哈尔滨西站、哈尔滨北站
上海市	上海浦东国际机场、上海虹桥国际机场	上海虹桥站、上海站、上海南站、上海西站
南京市	南京禄口国际机场	南京站、南京南站
杭州市	杭州萧山国际机场	杭州站、杭州东站、杭州南站
合肥市	合肥新桥国际机场	合肥站、合肥南站
福州市	福州长乐国际机场	福州站、福州南站
南昌市	南昌昌北国际机场	南昌站、南昌西站、向塘站
济南市	济南遥墙国际机场	济南站、济南东站、济南西站
郑州市	郑州新郑国际机场	郑州站、郑州东站
武汉市	武汉天河国际机场	武昌站、武汉站、汉口站
长沙市	长沙黄花国际机场	长沙站、长沙南站
广州市	广州白云国际机场	广州站、广州东站、广州南站
南宁市	南宁吴圩国际机场	南宁站、南宁东站、南宁西站
海口市	海口美兰国际机场	海口东站
重庆市	重庆江北国际机场	重庆北站、重庆西站
成都市	成都双流国际机场、成都天府国际机场	成都站、成都东站
贵阳市	贵阳龙洞堡国际机场	贵阳站、贵阳北站、贵阳东站
昆明市	昆明长水国际机场	昆明站、昆明南站
西安市	西安咸阳国际机场	西安站、西安北站
兰州市	兰州中川国际机场	兰州站、兰州西站
西宁市	西宁曹家堡国际机场	西宁站
银川市	银川河东国际机场	银川站
乌鲁木齐市	乌鲁木齐地窝堡国际机场	乌鲁木齐站、乌鲁木齐南站
拉萨市	拉萨贡嘎国际机场	拉萨站

2.2.1 基于综合交通枢纽站视角

依据以往研究^[14,19,21-23,30],将枢纽站与市人民政府的地理距离、站点间空间距离平均值、枢纽站内城市轨道交通线路数、公交线路数、公交站台车位数、首末公交线路数以上6个指标作为解释变量,枢纽站平均换乘时间和枢纽站平均换乘费用作为被解释变量,分析综合交通异站换乘便捷性的影响因素。变量选取结果如表2所示。

2.2.2 基于单条换乘线路视角

从异站换乘OD对线路入手,进一步分析综合交通异站换乘便捷性影响因素。根据已有学者的研究成果^[31-32],选取地理距离、最短公路里程数作为自然地理条件,出行方式、换乘次数和出行站数作为交通方式,以上5个指标作为解释变量,最短换乘时间和最少换乘费用为被解释变量,以分析综合交通换乘的影响机制。主要变量定义如表3所示。

2.3 研究方法

2.3.1 Pearson相关性分析

Pearson相关性系数是用来衡量解释变量与被解释变量之间相关程度大小的指标,其值用字母*r*表示,其值 $-1 < r < 1$, $r > 0$ 代表正相关, $r < 0$ 代表负相关,其绝对值越大,相关性则越强。依据Pearson相关性判定标准^[21,33], $|r| \geq 0.8$ 为高度相关, $0.5 \leq |r| < 0.8$ 为中度相关, $0.3 \leq |r| < 0.5$ 为低度相关, $|r| < 0.3$ 为不相关。其公式为

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

式(1)中:*r*为Pearson相关性系数; x_i 为解释变量; y_i

为被解释变量; \bar{x} 、 \bar{y} 为平均值。

2.3.2 地理探测器模型

地理探测器模型是一种用于检测空间分异度及其驱动机制的统计方法,将地理信息系统(geographic information system, GIS)空间叠加技术与集合理论相结合,探索影响因素与被解释变量间的关系^[34]。它的核心概念建立在如下假定之上:若一个独立变量对另一个独立变量有显著的影响,则独立变量与独立变量在空间上的分布应当趋于一致^[34]。利用地理探测器模型,从因子探测和交互作用探测两个方面来分析各枢纽站空间分布的影响因素以及交互作用。地理探测器方法的主要目的是将空间分异性进行定量化,因子探测的作用是探测某一个因子*x*对于属性*y*的空间分异性的解释程度有多大^[33],用*q*统计量来表示,其公式如下。

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} = 1 - \frac{SSW}{SST} \quad (2)$$

$$SSW = \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2 \quad (3)$$

$$SST = N \sigma^2 \quad (4)$$

式中:*h*为影响因子*x*或被解释变量*y*的分层,其中 $h = 1, 2, \dots, L$,也可称为分类; N_h 为层*h*的单位数量;*N*为全区的单元数量; σ^2 和 σ_h^2 分别为全区*y*和层*h*的方差;SSW为层内方差之和;SST为全区总方差;*q*的取值范围为 $[0, 1]$,当*q*越大且越接近1时,表明*y*的空间分异性越明显;对应至影响因子*x*来说,当*q*越大且越接近1时,表明影响因子*x*对被解

表2 变量选取结果

Table 2 Results of variable selection

变量名称	变量定义	单位
平均换乘时间(y_1)	枢纽站到达其他枢纽站花费的平均时间	min
平均换乘费用(y_2)	枢纽站到达其他枢纽站花费的平均费用	元
与市人民政府的地理距离(x_1)	枢纽站与市人民政府的地理距离	km
站点间空间距离平均值(x_2)	枢纽站与其他枢纽站间的平均地理距离	km
城市轨道交通线路数(x_3)	枢纽站可直接进行换乘的城市轨道交通线路数	条
公交线路数(x_4)	枢纽站出站后可即刻进行换乘的公交线路数	条
公交站台车位数(x_5)	枢纽站出站后可即刻到达的公交站台车位数	个
首末公交线路数(x_6)	枢纽站为首发站或到达站的公交线路数	条

表3 主要变量定义

Table 3 Main variable definitions

变量名称	变量定义	单位
最短换乘时间(Y_1)	最短异站换乘时间	min
最少换乘费用(Y_2)	最少异站换乘费用	元
地理距离(X_1)	枢纽站间直线距离	km
最短公路里程数(X_2)	枢纽站间最短公路里程数	km
出行方式(X_3)	异站换乘乘坐交通工具;1=地铁;2=公交;3=机场巴士	个
换乘次数(X_4)	异站换乘中所需换乘次数	次
出行站数(X_5)	异站换乘交通工具所需停靠站数	站

释变量 y 的解释力越强,但 $q=0$ 时则说明影响因子 x 对被解释变量 y 无关,当 $q=1$ 时则说明影响因子 x 对被解释变量 y 极度相关。

交互作用探测是用来检验不同风险因子进行交互之后的效果^[33],简而言之,是为了评估影响因子 x_1 和 x_2 共同作用时是否会增加或减弱对被解释变量的 y 解释力,或这些因子 y 对的影响是相互独立的^[34]。具体做法为,先计算出影响因子 x_1 和 x_2 分别对 y 的值 $q(x_1)$ 和 $q(x_2)$,接着将 x_1 和 x_2 进行交互,即 $q(x_1 \cap x_2)$ 并得出新的 q 值,最后将 $q(x_1)$ 、 $q(x_2)$ 、 $q(x_1 \cap x_2)$ 进行比对得出结果,两个因子交互左右的结果分为 5 类,具体如表 4 所示。

表 4 两个解释变量对被解释变量交互作用的类型

Table 4 Types of interaction between two explanatory variables and the explained variable

判断	交互作用
$q(x_1 \cap x_2) < \text{Min}[q(x_1), q(x_2)]$	非线性减弱
$\text{Min}[q(x_1), q(x_2)] < q(x_1 \cap x_2) < \text{Max}[q(x_1), q(x_2)]$	单因子非线性减弱
$q(x_1 \cap x_2) > \text{Max}[q(x_1), q(x_2)]$	双因子增强
$q(x_1 \cap x_2) = q(x_1) + q(x_2)$	独立
$q(x_1 \cap x_2) > q(x_1) + q(x_2)$	非线性增强

2.3.3 多元线性回归模型

构建以截面数据为主的多元线性回归模型,探究各影响因素的具体情况。模型构建如下。

$$\ln y = \beta_0 + \beta_1 \ln x_1 + \beta_2 \ln x_2 + \beta_3 \ln x_3 + \dots + \beta_n \ln x_n + \varepsilon \quad (5)$$

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 \ln X_2 + \beta_3 \ln X_3 + \dots + \beta_n \ln X_n + \varepsilon \quad (6)$$

式中: y 和 Y 为被解释变量; x 和 X 为解释变量; β 为相应变量的回归系数; ε 为随机误差项。

2.4 数据来源

在城市公共交通数据获取方面,于 2022 年 5 月 1 日—9 月 1 日基于高德地图开放平台 Web 服务路径规划 API,借助 Python 语言代码,对 352 个站点 OD 对进行批量请求,得到在高峰时段自驾出行、城市轨道交通出行、公交出行 3 种交通模式下各综合客运枢纽站之间异站换乘的平均通行时间数据。铁路数据来源于“铁路 12306”App,数据收集时间为 2022 年 9 月 2—10 日。包括公交线路数、公交站台车位数、公交首末线路数以及城市轨道交通线路数等公共交通数据的获取主要以出版的地图及互联网数据为基础,借助 GIS 平台进行数字化处理。对于部分缺失数据,基于高德地图开放平台 Web 服务,借助 Python 语言代码,对缺失数据进行爬取。在枢纽站点经纬度数据与位置直线距离数据采取高德地图 API 中的地理编码服务网站查询方式进行统计。

3 综合交通换乘体系

基于综合交通理论和换乘便捷性理论,对各综合交通换乘体系进行剖析。

3.1 交通方式间换乘体系

交通方式是指居民出行所采用的方法或使用的交通工具。交通方式主要有两种,即对外交通与对内交通,而对外交通与对内交通相互交错,有着天然的联系。

3.1.1 对外交通与对外交通的换乘

对外交通与对外交通换乘目的多为城际接续出行,对外交通与对外交通的换乘大致可分为同站换乘和异站换乘。当可实现同站换乘时(图 1),对于旅客来说可节省较多出行成本,此换乘关系一般为航空与铁路、航空与长途客车、铁路与铁路、铁路与长途客运等,例如从成都双流国际机场可直接乘坐高铁到达乐山,节省了换乘的时间成本,但在绝大多数情况时无法做到同站换乘,这时往往需要借助对内交通进行辅助换乘,即形成对外交通-对内交通-对外交通的异站换乘体系(图 2);有时也可借助铁路或公路实现同区域内其他对外交通枢纽站的异站换乘,即形成对外交通-对外交通-对外交通的异站换乘体系(图 3),例如乘坐飞机到达兰州中川国际机场后,可在兰州中川国际机场直接乘坐高铁到达兰州西站或兰州站,再在兰州站或兰州西站同站换乘火车到达嘉峪关。

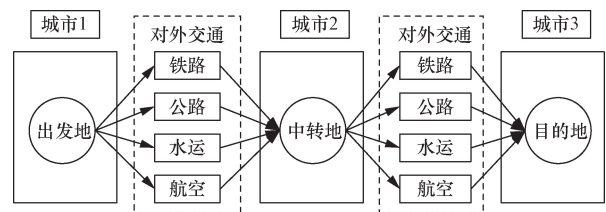


图 1 对外交通与对外交通同站换乘关系图

Fig. 1 External traffic and external traffic at the same station transfer relationship

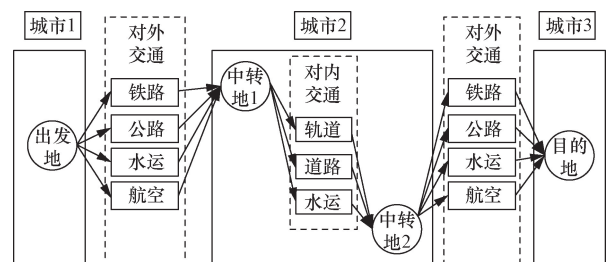


图 2 利用对内交通实现对外交通与对外交通异站换乘关系图

Fig. 2 The transfer relationship between external traffic and external traffic by using internal traffic

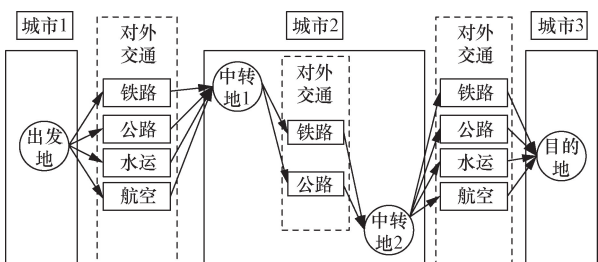


图3 利用对外交通实现对外交通与对外交通异站换乘关系图

Fig. 3 The transfer relationship between external traffic and external traffic stations

3.1.2 对外交通与对内交通换乘

对外交通与对内交通换乘的目的地多为某城市或某区域内部(图4),在旅客或居民到达对外交通枢纽站后,换乘对内交通到达某城市或某区域内部目的地,此种换乘方式在全国范围内普遍存在。

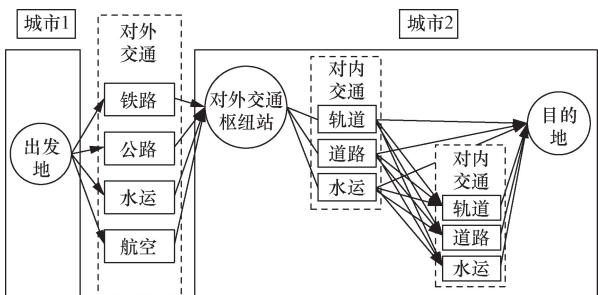


图4 对外交通与对内交通换乘关系图

Fig. 4 Transfer relationship between external traffic and internal traffic

3.1.3 对内交通与对内交通换乘

对内交通与对内交通换乘多为在某城市或某区域内的持续出行,即对内交通之间的互相衔接(图5),对内交通存在着相互合作又相互竞争的关系。城市轨道交通具有准点、速度快、舒适等特点,但城市轨道交通主要位于道路的主干线,在次干线以及城市轨道交通未覆盖到的其他区域将换乘至出租车、公交车等道路交通继续出行。

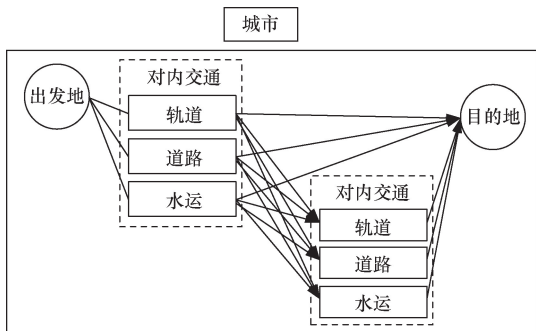


图5 对内交通与对内交通换乘关系图

Fig. 5 Relationship between internal traffic and internal traffic transfer

3.2 交通枢纽站换乘体系

交通枢纽站作为交通方式之间的交点,也可分为对外交通枢纽站和对内交通枢纽站,对外交通枢纽站主要承担的是集散通过城际交通到达或需通过城际交通出发的旅客。对内交通枢纽站主要为城市内部的城市轨道交通枢纽站或公交车枢纽站等城市公共交通换乘的平台。交通枢纽站将各种交通方式进行集合,充当旅客集散、换乘的场所。

3.3 综合交通换乘体系

交通方式与交通基础设施的结合组成了综合交通网络,交通方式之间的换乘形成了平面上的线,而交通枢纽站便成为平面上的线形成的交点,即枢纽站相当于交通方式换乘的载体,枢纽站负责集散旅客并提供换乘的场地,而交通方式负责将旅客运送至目的地。所以在关注综合交通换乘时,不仅要关注“点”即枢纽站内部换乘的便捷性,还应在空间平面角度考虑“线”的问题。综合交通换乘关系图如图6所示。

4 异站换乘便捷性影响因素

基于上述体系分析,从综合交通枢纽站和单个异站换乘 OD 对两个视角研究综合交通异站换乘便捷性的影响因素。

4.1 基于综合交通枢纽站视角

首先采用 Pearson 相关系数方法对枢纽站平均换乘时间、平均换乘费用与 6 个解释变量之间的线性关系进行分析。然而,Pearson 相关系数只能对变量间的线性相关关系进行分析,而忽视了空间分层异质性问题,不能体现出数据的区域差异特点^[33]。为此,从空间分异性的角度,引入“地理探测器”这一新的统计学分析手段,从多角度基于综合交通枢纽站视角深入剖析异站换乘便捷性的影响因素。

4.1.1 Pearson 相关性分析与因子探测结果

表 5 和表 6 是 Pearson 相关性分析与因子探测结果。平均换乘时间(y_1)仅与站点间空间距离平均值、与市人民政府的地理距离以及城市轨道交通线路数具有相关性,线性相关程度排序为站点间空间距离平均值(x_2) > 与市人民政府的地理距离(x_1) > 城市轨道交通线路数(x_3),其中与市人民政府的地理距离、站点间空间距离平均值属于中度相关性;在平均换乘费用(y_2)方面,仅与站点间空间距离平均值、与市人民政府的地理距离具有相关性,且相关性顺序与平均换乘时间相一致,其中与市人民政府的地理距离、站点间空间距离平均值属于中度相关性。从结果中可以看出,枢纽站平均换乘时间、平均换乘费用与市人民政府的地理距离、站点间空间距离平均值呈正相关,

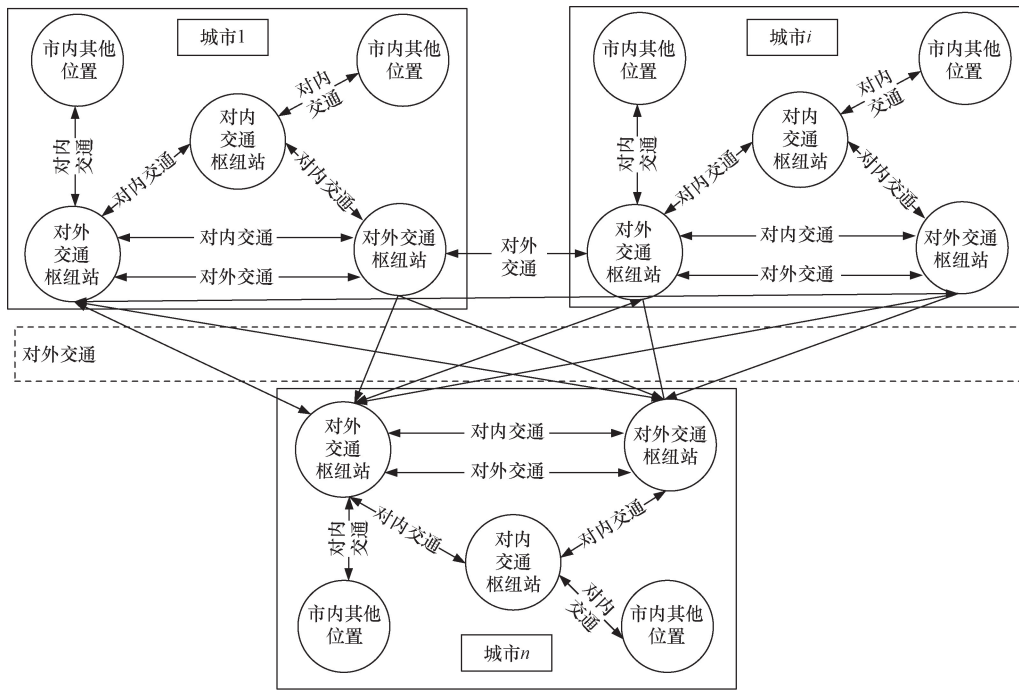


图6 综合交通换乘关系图

Fig. 6 Comprehensive traffic transfer relationship diagram

表5 枢纽站平均换乘时间(y_1)结果分析表

Table 5 Analysis of the average transfer time (y_1) at the hub station

解释变量	Pearson 系数	q
x_1	0.520 **	0.387 **
x_2	0.673 **	0.479 **
x_3	-0.364 **	0.187 *
x_4	-2.212 *	0.078
x_5	-0.070	0.022
x_6	-0.180	0.085

注：**、* 分别表示在1%、5%的(双尾)水平上具有统计学意义。

表6 枢纽站平均换乘费用(y_2)结果分析表

Table 6 Average transfer cost (y_2) results analysis table

解释变量	Pearson 系数	q
x_1	0.526 **	0.325 **
x_2	0.664 **	0.467 **
x_3	-0.255 **	0.093 *
x_4	-0.207 *	0.059
x_5	0.078	0.067
x_6	-0.137	0.044

注：**、* 分别表示在1%、5%的(双尾)水平上具有统计学意义。

而与城市轨道交通数呈现负相关,因此得出并非基础设施越多,整体的换乘便捷性越高,而是要有针对性的交通布局,才会带来更高的收益。

从表5与表6中的因子探测分析结果看出,有两个影响因素通过了1%的显著性检验,有一个影响因素通过了5%的显著性检验。其中与市人民政府的地理距离、站点间空间距离平均值这2个因素

是影响枢纽站平均换乘时间、平均换乘费用的重要驱动因素,其中, q 的大小表示被解释变量 y 在多大程度上受解释变量 x 的影响,与Pearson相关系数相似,站点间空间距离平均值仍然为换乘便捷性解释力最强的影响因素。

4.1.2 交互作用探测

由于地理探测器分析方法要求被解释变量为数值,解释变量应为类型变量,而本文被解释变量 y 和解释变量 x 均为数值量,故本文使用自然断点分类方法将各个解释变量(x_i)的数值均分成5类。交互作用探测结果如表7和表8所示。

由表7和表8可看出,6个影响因素之间存在双因子增强现象,影响因子解释力在进行双变量交互后显著上升。这说明,任意两个解释变量在交互之后,其影响力比单个解释变量具备更强的解释力,由此表明单个枢纽站平均换乘时间和平均换乘费用受到多个因素的共同作用影响。

表7 枢纽站平均换乘时间(y_1)交互作用因子得分表

Table 7 Average transfer time (y_1) interaction factor score table

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_1	0.387					
x_2	0.578	0.479				
x_3	0.487	0.618	0.187			
x_4	0.506	0.649	0.282	0.078		
x_5	0.478	0.597	0.254	0.211	0.022	
x_6	0.509	0.613	0.312	0.164	0.247	0.085

表 8 枢纽站平均换乘费用(y_2)交互作用因子得分表
Table 8 Average transfer cost (y_2) interaction factor score table

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_1	0.325					
x_2	0.591	0.467				
x_3	0.367	0.570	0.093			
x_4	0.406	0.613	0.175	0.059		
x_5	0.490	0.562	0.203	0.283	0.067	
x_6	0.405	0.545	0.233	0.089	0.254	0.044

从交互作用因子得分表看出,在枢纽站平均换乘时间方面,站点间空间距离平均值与公交线路数的交互作用最强,其 $q=0.649$,相比站点间空间距离平均值这一单个影响因素来说, q 增加了0.17;之后为站点间空间距离平均值与城市轨道交通线路数($q=0.618$),站点间空间距离平均值与首末公交线路数($q=0.613$),与市人民政府的地理距离与站点间空间距离平均值($q=0.578$)。其他影响因子之间的交互作用均弱于站点间空间距离平均值与其他5个影响因子之间的交互作用,充分说明了站点间空间距离平均值与其他因素结合对枢纽站平均换乘时间来说是最主要的影响因素。

在枢纽站平均换乘费用方面,站点间空间距离平均值与公交线路数的交互作用最强,其 $q=0.613$,相比站点间空间距离平均值这一单个影响因素来说, q 增加了0.146;之后为与市人民政府的地理距离与站点间空间距离平均值($q=0.591$),站点间空间距离平均值与城市轨道交通线路数($q=0.570$),站点间空间距离平均值与公交站台车位数($q=0.562$)。与枢纽站平均换乘时间方面相似,站点间空间距离平均值与其他5个影响因子之间的交互作用均高于其他因子之间的交互作用。

4.2 基于单条换乘线路视角

对于单个枢纽站平均换乘时间和费用来说,其与枢纽站地理位置具有较强的相关性,但与枢纽站周围所配备的交通基础设施资源相关性较弱。从异

站换乘 OD 对线路入手,进一步分析综合交通异站换乘便捷性影响因素。

多元线性回归结果如表 9 所示,Pearson 相关性结果如表 10 所示。多元线性回归模型中,对于被解释变量最短换乘时间(Y_1)来说, $R^2=0.721$;对于最少换乘费用(Y_2)来说, $R^2=0.784$;总体来说被解释变量模型效果较好。

从表 9、表 10 结果来看,多元线性回归结果与 Pearson 相关性结果一致。有 4 个因素对最短换乘时间(Y_1)具有显著影响,其中地理距离、出行方式、出行站数为主要因素,而出行站数为最主要因素;有 4 个因素对最少换乘费用(Y_2)具有显著影响,其中地理距离、最短公路里程数、出行方式、出行站数为主要因素,而出行方式和出行站数为最主要因素。具体而言,对于最短换乘时间来说,两站换乘地理距离的减少,其交叉共用的出行方式和线路也会逐渐增加,能在一定程度上降低旅客出行的时间,两站换乘的地理位置越远,其交叉共用的出行方式和线路也逐渐减少,规划者为加强两站的交通联系,势必会采取增加公交线路、增设公交或轨道站点等方式,若在前期规划中某站点并未纳入主要交通线路规划中,也会增加交通基础设施建设成本;出行工具行驶速度越快、换乘次数越少,在出行过程中所花费的时间也将越少;而出行过程中出行

表 10 综合交通换乘影响因素 Pearson 相关性结果
Table 10 Pearson correlation results of factors influencing comprehensive traffic transfer

变量	最短换乘时间 Y_1		最少换乘费用 Y_2	
	Pearson 系数	相关性强弱	Pearson 系数	相关性强弱
X_1	0.751	中度相关	0.710	中度相关
X_2	0.217	不相关	0.680	中度相关
X_3	0.775	中度相关	0.832	高度相关
X_4	0.317	低度相关	0.196	不相关
X_5	0.804	高度相关	-0.872	高度相关

表 9 综合交通换乘影响因素多元线性回归结果

Table 9 Results of multiple linear regression of factors influencing comprehensive traffic transfer

变量	最短换乘时间 Y_1			最少换乘费用 Y_2		
	标准化系数值	T	P	标准化系数值	T	P
X_1	0.456***	5.580	0.000	0.514***	3.348	0.000
X_2	0.064	0.718	0.470	0.523***	3.348	0.000
X_3	0.330***	6.458	0.000	0.498***	6.342 2	0.000
X_4	-0.040*	-1.929	0.050	-0.032	-0.505	0.610
X_5	0.159***	9.858	0.000	-0.363***	-10.580	0.000
常数项	1.680***	18.577	0.000	-0.803***	-4.518	0.000
R^2		0.721			0.784	

注:***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的水平上具有统计学意义。

工具所停靠的站数相比其他影响因素显著性更高,无论是哪种交通方式,两站之间耽搁的时间越长,总体的出行时间也将越长。

对于最少换乘费用来说,出行方式和出行站数为最主要因素。在公共交通换乘中,一般情况下,公交的费用<轨道交通的费用<机场巴士的费用,在不换乘的条件下,绝大部分公交车交通费用稳定在全程1~2元,部分城市和公交车线路也会在1~2元基础上进行上调,但总体费用相对较低;轨道交通多以站点计价制和里程计价制为主,居民乘坐的站点越多或出行的里程越多,居民支付的费用也越多,例如西安市地铁票制为“里程计价制”,票价起步价为2元/6 km(含),每增加1元,可继续乘坐4、6、8 km,即0~6 km 费用2元;6~10 km 费用3元;10~14 km 费用4元等;机场巴士主要服务于机场与市区其他地区的联系,大多数机场巴士的费用以15元起步,相对于公交和轨道交通来说,机场巴士的费用将会较高,所以在异站换乘过程中使用的交通工具就决定了在整个换乘过程中,居民所花费的费用成本。地理距离成了最少换乘费用与最短换乘时间公共的影响因素,对于最少换乘费用来说,地理距离越远,其乘坐公交、城市轨道交通的站数或公里数也越长,相应的换乘费用也会随着站数或公里数的增加而增加。

4.3 结果分析

依据上述宏观层面的分析可以得出,单个枢纽站异站换乘便捷度主要与地理位置有关,其原因在于,越靠近市人民政府,交通基础设施实力越雄厚,且两枢纽站距离越近,交叉交通也越多。依据常理,单个枢纽站周边基础设施越丰富,其到达其他枢纽站的时间和费用也会相对较少。但由上述结果得出,单个枢纽站平均换乘时间和换乘费用与枢纽站周边的交通基础设施无关,但在与其他因素结合后,其相关性显著增加,由此从侧面反映出,枢纽站周边的交通基础设施并未充分利用或并未充分规划,其交通基础设施在异站换乘方面并未得到重视,部分枢纽站虽地理位置、交通基础设施均较好,但其在异站换乘过程中,需在中途继续进行市内交通的换乘,造成异站换乘中的时间、费用均较高,最后导致枢纽站自身的平均换乘时间和费用均较高。

从微观层面得出,有4个因素对最短换乘时间具有显著影响,其中地理距离、出行方式、出行站数为主要因素,而出行站数为最主要因素;有4个因素对最少换乘费用具有显著影响,其中地理距离、最短公路里程数、出行方式、出行站数为主要因素,而

出行方式和出行站数为最主要因素。总体来说,在346个交通站点最少换乘费用与最短换乘时间换乘横截面数据中,仅有98个异站换乘OD对存在换乘时间最短的同时,换乘费用也是最少情况,而绝大多数情况为花费较少的时间就意味着花费较多的费用成本,花费较少的费用成本就意味着花费较多的时间成本。

当然,换乘时间长短、换乘费用多少并不是与地理距离、交通方式、公路距离、换乘次数、出行站数等单方面因素有关,而是多方面因素结合造成,换乘要便捷。首先,点要达到“点”最优,即枢纽站内部需换乘便捷,“线”要达到最优,即出行OD对也要达到最优,在整体规划时,应关注多个影响因素,地理位置不应过远,交通衔接的“线”不宜通过其他交点进行换乘;其次,交汇的点不能错综复杂,即达到零换乘或少换乘。所以在城市交通规划建设,除关注人口、经济等方面的同时,应关注交通设施之间的衔接以及人出行的心理状态,落实“以人为本”“交通基础设施服务人”的理念,有利于缓解换乘便捷性较差的现状,可能起到“1+1>2”的正向效应。在综合交通枢纽站规划设计时应充分考虑枢纽站的地理位置,将异站换乘便捷性也纳入规划范围内,将各个因素综合考虑,设计出更为合理的综合交通网络。

5 结论和建议

基于综合交通理论和换乘便捷性理论,对综合交通换乘体系逻辑进行了梳理,并绘制了综合交通换乘体系图,然后从综合交通枢纽站和单个异站换乘OD对两个视角,采用Pearson相关性分析、地理探测器模型、多元线性回归模型等方法研究综合交通换乘便捷性的影响因素。主要研究结果如下。

(1)单个枢纽站异站换乘便捷度主要与枢纽站地理位置有关。

(2)地理距离、出行方式、出行站数为最短换乘时间的主要因素,其中出行站数为最主要因素。

(3)地理距离、最短公路里程数、出行方式、出行站数为最少换乘费用的主要因素,其中出行方式和出行站数为最主要因素。

基于上述研究结果,提出建议如下。

(1)构建枢纽站地理位置优化:针对单个枢纽站的异站换乘便捷度,需要注重优化枢纽站的地理位置选择。选址时应考虑交通接驳便利性,使枢纽站与周边交通网络紧密衔接,减少乘客在换乘过程中的地理距离。

(2)提高换乘效率:研究结果表明,地理距离、

出行方式和出行站数对最短换乘时间和最少换乘费用具有重要影响。因此,为了提高换乘效率,一方面,应合理规划交通路线和站点布局,减少乘客在换乘过程中的地理距离和出行站数,提供更便捷的出行路径;另一方面,提供多种交通方式选择,包括公路、铁路、水路等,使乘客能够根据需求选择最适合的交通方式,从而减少换乘所需时间和成本。

(3)完善信息服务:信息服务在提高综合交通换乘便捷性方面起着关键作用。建议加强交通信息的公示和传达,包括换乘线路、时间表、票价等信息的及时提供,使乘客能够准确了解换乘信息,提前做好换乘准备,从而减少换乘的不确定性和时间成本。

综合交通换乘便捷性的改进需要综合考虑交通规划、设施建设、信息服务等多个方面的因素。政府部门、交通管理机构以及相关企业可以联合合作,共同推动综合交通换乘便捷性的提升,为居民提供更便利、高效的出行体验。

参 考 文 献

- [1] 张兴雅, 牟振华, 黄白, 等. 城际出行的市内接驳时间价值分析[C]//创新驱动与智慧发展——2018年中国城市交通规划年会论文集. 青岛: 中国城市规划学会城市交通规划学术委员会, 2018: 1-10.
Zhang Xingya, Mou Zhenhua, Huang Bai, et al. Analysis on the value of intercity connection time [C]//Innovation-driven and Intelligent Development: Proceedings of the 2018 Annual Conference on Urban Transportation Planning in China. Qingdao: Academic Committee of Urban Transportation Planning, Urban Planning Society of China, 2018: 1-10.
- [2] 刘佳林, 高悦尔, 齐瑞臻. 基于换乘时间成本的客流分类及空间分布研究——以厦门市为例[J]. 热带地理, 2024, 44(5): 921-937.
Liu Jialin, Gao Yue'er, Qi Ruizhen. Passenger flow classification and spatial distribution based on transfer time cost: a case study of Xiamen City[J]. Tropical Geography, 2024, 44(5): 921-937.
- [3] 莫飞, 张亚男, 席洋, 等. 站城融合背景下综合交通枢纽发展策略研究[J]. 城市规划, 2021, 45(9): 95-102.
Mo Fei, Zhang Yanan, Xi Yang, et al. Research on the development strategy of comprehensive transport hub under the background of station-city integration [J]. City Planning Review, 2019, 45(9): 95-102.
- [4] 崇志国, 孔维成. 北京城市副中心交通枢纽站城融合规划设计特点分析[J]. 城市轨道交通研究, 2022(S2): 1-8, 17.
Chong Zhiguo, Kong Weicheng. Characteristics analysis of station-city integrated planning and design of the Beijing Sub-center Transport Hub[J]. Urban Rail Transit Research, 2022(S2): 1-8, 17.
- [5] 何洪文, 孙逢春, 李梦林. 我国综合交通工程科技现状及未来发展[J]. 中国工程科学, 2023, 25(6): 202-211.
He Hongwen, Sun Fengchun, Li Menglin. Current status and future development of integrated transportation technology in China[J]. Engineering Science, 2023, 25(6): 202-211.
- [6] Jiang F, Wang L, Huang S. Analysis of the transfer time and influencing factors of air-rail integration passengers: a case study of Shijiazhuang Zhengding international airport[J]. Sustainability, 2022, 14(23): 16193.
- [7] Chen E H, Stathopoulos A, Nie Y. Transfer station choice in a multimodal transit system: an empirical study[J]. Transportation Research Part A, 2022, 165: 337-355.
- [8] Anker O N, Morten E, Karen M A, et al. Relevance of detailed transfer attributes in large-scale multimodal route choice models for metropolitan public transport passengers [J]. Transportation Research Part A, 2021, 147: 76-92.
- [9] Liang C, Bei T, Shengyu L, et al. Allowing for psychological comprehensive perception value in transfer decision of public transit[J]. Journal of Transportation Engineering, 2023, 149(4): 4023007.
- [10] Farag S, Lyons G. To use or not to use? an empirical study of pre-trip public transport information for business and leisure trips and comparison with car travel [J]. Transport Policy, 2012, 20: 82-92.
- [11] Schakenbos R, Paix L L, Nijenstein S, et al. Valuation of a transfer in a multimodal public transport trip [J]. Transport Policy, 2016, 46: 72-81.
- [12] 刘志伟, 刘建荣, 邓卫. 考虑潜在类别的市内机动化出行行为模型[J]. 西南交通大学学报, 2021, 56(1): 131-137.
Liu Zhiwei, Liu Jianrong, Deng Wei. Urban mobility behavior model considering potential categories [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2021, 56(1): 131-137.
- [13] 段力伟, 张开萍. 老龄化背景下城轨换乘站客流组织仿真分析[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(5): 2140-2146.
Duan Liwei, Zhang Kaiping. Simulation analysis of passenger flow organization in urban rail transfer stations under the background of aging[J]. Science Technology and Engineering, 2019, 23(5): 2140-2146.
- [14] 詹嘉. 综合交通枢纽不同成本换乘方式选择研究[J]. 交通与运输(学术版), 2013(1): 51-54.
Zhan Jia. Research on the selection of different cost transfer modes in comprehensive transportation hubs[J]. Traffic and Transportation (Academic Edition), 2013(1): 51-54.
- [15] 闫懿琛, 左大杰. 基于 Vague 集的旅客换乘选择偏好的影响因素研究[J]. 综合运输, 2018, 40(5): 65-70.
Yan Yichen, Zuo Dajie. A study on the influencing factors of passenger transfer choice preference based on Vague set [J]. Journal of Integrated Transport, 2018, 40(5): 65-70.
- [16] 叶玉玲, 陈俊晶, 刘小亚. 高铁站与市内交通换乘衔接选择研究[J]. 城市轨道交通研究, 2017, 20(11): 45-49.
Ye Yuling, Chen Junjing, Liu Xiaoya. Research on the selection of transfer connection between high-speed railway station and city traffic[J]. Urban Rail Transit Research, 2017, 20(11): 45-49.
- [17] 陈坚, 李睿, 傅志妍, 等. 综合交通枢纽乘客满意度影响因素分析模型[J]. 公路交通科技, 2021, 38(11): 117-125.
Chen Jian, Li Rui, Fu Zhiyan, et al. Analysis model of influencing factors of passenger satisfaction in integrated transportation hub [J]. Journal of Highway Transportation Science and Technology, 2021, 38(11): 117-125.
- [18] 刘雪杰, 欧阳彦峰, 马腾腾. 基于乘客出行时耗的公交网络拓扑结构分析[J]. 公路交通科技, 2022, 39(5): 175-181, 190.
Liu Xuejie, Ouyang Yanfeng, Ma Tengting. Bus network topology

- analysis based on passenger travel time consumption[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 202, 39(5): 175-181, 190.
- [19] 曹瞻, 左大杰, 雷之田. 基于 Vague 集的多目标铁路旅客换乘偏好研究[J]. 交通运输工程与信息学报, 2019, 17(1): 33-39.
Cao Zhan, Zuo Dajie, Lei Zhitian. A study of multi-objective railway passenger transfer preference based on Vague set[J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2019, 17(1): 33-39.
- [20] 王承琳, 赵胜川. 基于 IPA 分析的综合交通枢纽换乘问题研究——以重庆市沙坪坝综合交通枢纽为例[J]. 交通运输研究, 2022, 8(2): 79-86.
Wang Chenglin, Zhao Shengchuan. Research on transfer problem of integrated transportation hub based on IPA analysis: a case study of Shapingba integrated transportation hub in Chongqing[J]. Transport Research, 2022, 8(2): 79-86.
- [21] 段进, 殷铭. 长三角地区高铁站点空间换乘便捷度研究[J]. 中国科学: 技术科学, 2013, 43(2): 201-207.
Duan Jin, Yin Ming. Research on spatial transfer convenience of high-speed railway stations in Yangtze River Delta[J]. Science and Technology in China, 2013, 43(2): 201-207.
- [22] 王兰. 高速铁路对城市空间影响的研究框架及实证[J]. 规划师, 2011, 27(7): 13-19.
Wang Lan. Research framework and demonstration of the impact of high-speed railway on urban space[J]. Planners, 2011, 27(7): 13-19.
- [23] 迟明, 霍娅敏, 刘广武, 等. 基于 Logit 模型的高速铁路旅客离站换乘选择分析[J]. 铁道运输与经济, 2021, 43(5): 31-37.
Chi Ming, Huo Yamin, Liu Guangwu, et al. Analysis of departure transfer selection of high-speed railway passengers based on Logit model[J]. Railway Transportation and Economics, 2021, 43(5): 31-37.
- [24] 于宝霏, 任军. 基于 Anylogic 仿真模拟的高铁站换乘效率优化研究——以天津西站为例[J]. 南方建筑, 2021(6): 94-99.
Yu Baofei, Ren Jun. Research on optimization of high-speed railway station transfer efficiency based on any logic simulation while considering Tianjin west railway station as an example[J]. South Architecture, 2021(6): 94-99.
- [25] 徐士伟, 苏业辉, 李慧文, 等. 基于熵权法的枢纽内公交站场布局评价研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2023, 23(5): 104-112.
Xu Shiwei, Su Yehui, Li Huiwen, et al. Evaluation of bus station layouts in transportation hub based on entropy weight method[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2023, 23(5): 104-112.
- [26] 庄宇, 李丹瑞. 安检模式对铁路客站换乘地铁效率的影响[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2024, 52(2): 252-259.
Zhuang Yu, Li Danrui. Influence of security check procedures on transfer efficiency from railway stations to subways[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2024, 52(2): 252-259.
- [27] 杨湖平. 基于数据融合的公共自行车接驳公交行为辨识[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(3): 1257-1264.
Yang Huping. Behavior identification of public bicycle access regular bus transit based on data fusion[J]. Science Technology and Engineering, 2022, 22(3): 1257-1264.
- [28] 刘晓溪, 李博. 基于高速铁路枢纽站的客流中转换乘方案选择研究[J]. 铁道运输与经济, 2018, 40(11): 32-37, 63.
Liu Xiaoxi, Li Bo. Research on passenger flow transfer scheme selection based on high-speed railway hub station[J]. Railway Transportation and Economy, 2018, 40(11): 32-37, 63.
- [29] 杨飞, 贾俊芳. 大型铁路客运枢纽换乘服务研究[J]. 综合运输, 2021, 43(2): 47-51, 65.
Yang Fei, Jia Junfang. Research on transfer service of large railway passenger hubs[J]. Integrated Transport, 2021, 43(2): 47-51, 65.
- [30] 刘建荣, 郝小妮. 基于随机系数 Logit 模型的市内出行方式选择行为研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2019, 19(5): 108-113.
Liu Jianrong, Hao Xiaoni. Research on urban travel mode choice behavior based on random coefficient Logit model[J]. Transportation System Engineering and Information, 2019, 19(5): 108-113.
- [31] 周雨阳, 李芮智, 潘利肖, 等. 北京南站公共交通可达性计算与评价[J]. 北京工业大学学报, 2020, 12(12): 1365-1376.
Zhou Yuyang, Li Ruizhi, Pan Lixiao, et al. Calculation and evaluation of public transportation accessibility of Beijing South Railway Station[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2020, 12(12): 1365-1376.
- [32] 丁亮. 综合交通运输体系客运系统构建浅析[J]. 铁道经济研究, 2017(5): 9-11.
Ding Liang. Analysis on the construction of passenger transport system[J]. Railway Economic Research, 2017(5): 9-11.
- [33] 姜磊, 陈星宇, 朱竑. 中国城市养老院的空间分布特征及其分异成因[J]. 地理学报, 2021, 76(8): 1951-1964.
Jiang Lei, Chen Xingyu, Zhu Hong. Spatial distribution characteristics and causes of differentiation of urban nursing homes in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 76(8): 1951-1964.
- [34] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 116-134.
Wang Jinfeng, Xu Chengdong. Geodetector: principles and prospects[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(1): 116-134.