

# 城市交通公平性的识别方法

谢波<sup>1,2</sup>, 李晗<sup>1\*</sup>

1. 武汉大学城市设计学院, 武汉 430072

2. 湖北省人居环境工程技术研究中心, 武汉 430072

**摘要** 在梳理城市交通公平性内涵的基础上,从横向交通公平与纵向交通公平维度,围绕成本与效益、交通资源配置、交通服务质量、可达性、交通政策等角度综述了城市交通公平性识别的指标体系和技术方法。提出了城市交通公平性识别的框架体系,主要包括划分人群、确定指标、数据采集和识别,并进一步明确了识别交通公平性的技术流程和模型方法。

**关键词** 交通公平; 指标体系; 识别方法

为了应对全球贫穷、失业、经济危机等挑战,联合国《2030年可持续发展议程》和《新城市议程》明确提出“确保公民机会均等,减少结果不平等”的目标,从不同角度强调了公平的重要性,全面探索解决城市社会、经济与交通等不公平问题的有效途径<sup>[1-2]</sup>。公平指平等待遇和平等机会,包括权利公平、机会公平、规则公平等。环境公平作为公平的主要维度之一,国际上将其定义为“在环境法律、法规和政策的制定、实施和执行方面,全体人民不论种族、肤色、国籍或收入,应得到公平对待并卓有成效的参与其中<sup>[3-4]</sup>”。交通公平进一步扩展了环境公平的范畴和对象,将环境公平地区扩大为交通公

平地区,以涵盖无车家庭、残疾人和65岁以上的老年人等交通受限的人群<sup>[5-6]</sup>;它是指在当前和未来社会成员之间公平或公正地分配运输成本和收益,其成本由受益者支付,出行者对出行目标具有均等的可达性<sup>[7-9]</sup>。交通公平作为公平的重要组成部分,通过优化交通资源配置、提高交通可达性进而满足不同群体的出行需求,对于提高出行效率、创造公平的出行环境具有重要作用。

随着机动车的快速发展,机动车保有量急剧增加导致道路资源逐渐稀缺,交通拥堵、居住环境恶化、出行时长加剧等问题凸显,以及公共交通的不均等性暴露了交通资源分配的不公平性,低收

收稿日期:2023-07-07;修回日期:2023-09-20

基金项目:国家自然科学基金面上项目(42371252,41971179)

作者简介:谢波,教授,研究方向为城市交通安全与土地利用规划,电子信箱:xiebo317@whu.edu.cn;李晗(通信作者),硕士研究生,研究方向为城市交通安全与土地利用规划,电子信箱:lihan1128@whu.edu.cn

引用格式:谢波,李晗.城市交通公平性的识别方法[J].科技导报,2024,42(3):97-106;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2024.03.009

人、残疾人以及交通受限的社区更容易受到交通发展环境和系统负担的影响<sup>[10]</sup>,进而加剧了社会排斥。因此,探究交通公平性的内涵及应对措施具有重要理论和实践意义。然而,现有关于交通公平性的研究大多关注其识别方法与指标体系,较少构建系统的交通公平性识别框架体系。如何构建一套评价交通公平性的框架体系,识别交通不公平因素并提出针对性改进策略,成为缩小不同群体的出行差距、改善出行环境、提升居民交通出行品质的关键。基于此,本研究在梳理城市交通公平性内涵的基础上,优化交通公平性识别的指标体系与技术方法,进而构建完善的识别框架体系。

## 1 城市交通公平性内涵

社会公平的概念源于西方政治哲学思想,学界观点可分为2个阵营:功利主义观点和道义论观点。前者关心的是公平目标,探索实现该目标的原则和制度;后者认为公平是严格的社会义务,需要优先于社会其他准则。此外,也有研究人员认为公平不应是单一的目标或义务,而是关于人与人之间的互惠问题<sup>[11]</sup>。城市空间作为社会经济活动的重要载体,决定着空间各种资源和利益的分配模式,即决定公平原则的社会建构<sup>[12]</sup>,因此空间被纳入了公平的研究范畴。在空间公平理论中,最具启发和影响力的罗尔斯主义提出在各种机会背景下的行动自由是空间公平的基础<sup>[13]</sup>。一项1996年美国公交乘客因不满交通运输机构提高公交票价、取消月度公交通行卡、为富裕社区提供更优质的轨道交通服务等措施起诉并胜诉的案例,引发了空间公平中的交通公平研究<sup>[14]</sup>。

交通公平是交通规划、经济学、社会学、地理学等多学科交叉的综合概念,不同学科背景的内涵也存在差异。规划视角的交通公平主要考虑城市交通网络布局的公平性<sup>[15]</sup>;经济学视角的交通公平主要为不同交通方式的成本与效益平衡<sup>[7]</sup>;社会学视角的交通公平是指不同社会群体的交通出行应具有差异性,减少社会排斥<sup>[16]</sup>;地理学视角的交通公平主要分析不同空间层面城市交通设施配置和区

域可达的公平性<sup>[17]</sup>。

Litman<sup>[18]</sup>较为系统地分析了交通公平的内涵,主要包括横向交通公平和纵向交通公平。横向交通公平要求平等的个人和群体应获得平等份额的资源,承担相同的成本并得到同等的待遇。纵向交通公平考虑不同社会层级和收入水平的差异,要求不同社会层级和收入的个人和群体之间获得不同的利益分配,而且公平的交通政策应有利于经济和社会上处于不利地位的群体,从而弥补整体的不平等<sup>[19]</sup>。此外,纵向交通公平还考虑出行需求和能力的差异,要求在交通能力和需求不同的个人和群体之间获得不同的利益分配,并满足特殊出行者的需求<sup>[18]</sup>。

横向交通公平为同一出行群体利益分配的公平性。从成本与效益角度,交通公平是指为满足当地社会经济发展需要,交通运输服务所付出的代价与其带给当地的收益相匹配的现象。具体包括不同地区间的交通资源配置是否公平,以及同一地区交通资源的获益和付出是否对等<sup>[20]</sup>。从交通资源配置角度,交通公平是指在交通资源及其相应的利益分配上,社会群体之间所得与应得、所付与应付、所得与所付之间的“相称”关系,包括3层含义:(1) 交通运输带来的利益应在全社会公平分配;(2) 不同出行群体的交通权利和义务应当统一;(3) 交通作为达到目的的手段,可以为促进社会公平创造条件<sup>[21]</sup>。

纵向交通公平为不同出行群体利益分配的公平性,应满足不同社会层级和收入差异、出行需求和能力差异的个人或群体的需求,为其提供相应的设施及服务,重点关注经济发展滞后地区和弱势群体<sup>[22]</sup>。从可达性角度,交通公平是指人通过出行获得均等的参与社会活动的机会。即在有限的交通资源下,不同的出行群体对出行目标具有均等的可达性,包括3层含义:(1) 不同人群对出行目标具有均等的可达性;(2) 出行者的支出与所得相等;(3) 有益于弱势群体的出行<sup>[7, 23]</sup>。

综上,横向交通公平和纵向交通公平主要从出行群体角度进行划分,属于个人层面。从政府层面还需要考虑交通服务质量和交通政策的公平性,前者是指服务提供方按照法规政策向公众提供服务并保证公众在享有服务的过程中得到公平公正的

结果,属于横向交通公平;后者是指在制定和实施交通政策时确保公民能平等享有基本的出行权利和服务,并注重对弱势群体的保护和支持,属于纵向交通公平。然而,不同类型的交通公平往往存在重叠或冲突的现象,如横向交通公平要求使用者承担其交通设施和服务的成本,但纵向交通公平往往要求对弱势群体提供补贴,因此交通规划通常需要在不同的公平目标之间进行权衡<sup>[18]</sup>。

## 2 城市交通公平性的识别方法

交通公平作为可持续交通的重要内容之一,日益受到国内外学者的关注,如何识别交通公平性成为重点研究领域。国外针对交通公平性的识别研究主要集中在2方面,一是基于指标系数和技术平台分析交通供需差异进而评价交通公平性,例如结合GIS工具测度交通可达性,借鉴泰尔系数、基尼系数等经济领域指标量化交通公平等;二是针对不同群体的交通需求分析交通基础设施的公平性。国内则主要进行可达性分析以及利用基尼系数、洛伦兹曲线等识别交通公平性<sup>[24-25]</sup>。

综上所述,国内外关于城市交通公平性识别的研究主要从指标体系和技术方法2方面展开。指标体系包括横向和纵向维度,前者考虑同一出行群体的成本与效益、交通资源配置以及交通服务质量的各项指标,后者考虑不同社会经济和人口特征出行群体的可达性以及交通政策的各项指标。技术方法主要采用定量分析方法,涉及地理空间技术、数理统计模型、经济学和社会学模型以及新型数据源和大数据技术等方面。

### 2.1 交通公平性识别的指标体系

#### 2.1.1 横向交通公平

成本与效益方面,现有研究主要定量化测度不同交通方式及交通项目的外部成本与效益<sup>[17]</sup>,进而进行交通公平性分析。杨庭<sup>[26]</sup>构建了公共交通和小汽车交通出行总成本模型,从使用者成本、基础设施成本、出行时间成本以及外部成本4个方面计算出行成本并进行公平性分析,结果表明小汽车交通的出行成本远大于公共交通的出行成本,凸显了

社会资源分配的不公平。Shi<sup>[27]</sup>采用熵度量的方法,根据价格指数、平均家庭成本以及平均收入等计算研究区域的系数并提出公平指数(E)。通过计算收益成本比(benefit-cost ratio, BCR)和公平指数,确定项目的优先顺序,将更高的优先级分配给具有更大BCR/E值的项目,进而缓解中国不同地区间交通网络的失衡。

交通资源配置方面,现有研究主要评估了交通基础设施项目、道路资源和公共交通资源配置的公平性。交通基础设施投资的公平影响主要通过交通可达性分布的相应变化予以评估。Brockner等<sup>[28]</sup>构建空间可计算一般平衡模型(SCGE)评估欧盟交通基础设施项目的空间公平和效率问题,进而评估欧盟继续支持补贴的必要性。张杏林等<sup>[29]</sup>从城市道路设施的资金投入和道路使用情况入手,通过计算各种交通方式群体对城市道路资源的贡献与享用,进而定量分析城市道路资源配置的公平与效率问题,评价结果表明汽车是效率最低的交通出行方式。李旻芮<sup>[30]</sup>从站点覆盖率、服务供给量和网络通达性3方面构建综合评价公共交通资源配置水平的模型,分析发现厦门市整体公共交通资源分布处于不公平的状态,并提出了提高公交站点覆盖率、调整公交线路、增加微循环线路等改善策略。

交通服务质量方面,现有研究主要评估了公共交通和轨道交通服务供给的公平性。城市公共交通和轨道交通等均属于社会公共服务体系,其服务质量的公平性尤为重要。Delbosch等<sup>[31]</sup>使用洛伦兹曲线比较了澳大利亚墨尔本公共交通供应在人口和就业中的分布,结果显示70%的人口和就业仅共享了19%~23%的公共交通供应,同时发现墨尔本市中心的年轻人和低收入群体的公共交通供应更高,墨尔本所有地区的无车家庭主要居住在交通供应较高的地区。高文凯<sup>[32]</sup>从交通拥堵的角度出发,构建公共交通综合服务供给指数进而评价武汉市主城区公共交通的供给服务水平。结果表明武汉市公交综合供给服务水平呈现中心强、边缘弱的特点,在总人口的分配上存在一定不公平现象。郭思琪<sup>[33]</sup>认为城市轨道交通公平性维度的测评指标包括依法服务、依法管理、弱势关怀、人人平等和公

平正义,并对成都市轨道交通服务的公平性进行评价,发现与公众期望的水平还有一定差距,并提出了完善配套设施、加强换乘引导等改进城市轨道交通公共服务质量细节的建议。

### 2.1.2 纵向交通公平

理解交通公平的社会维度是可持续发展的一个重要方面。纵向交通公平要求考虑弱势群体的交通需求,主要从生理性弱势群体和社会性弱势群体两方面展开<sup>[19]</sup>。生理性弱势群体主要对应人口特征中的性别、年龄、是否残疾等因素,该类群体因其生理特性导致出行不便。社会性弱势群体主要对应社会经济特征中的家庭收入、经济发展等因素,该类群体因其经济条件约束导致交通出行限制较多。Casas<sup>[34]</sup>使用个人活动空间中可利用的机会数量比较残疾人和非残疾人群体之间的可达性水平,并探究残疾等特征是否导致他们遭受社会排斥。结果表明年轻、家庭规模小、有驾照、有稳定的工作、住在城市环境中、愿意长途出行等特征能有效提高交通可达性。Kamruzzaman等<sup>[35]</sup>使用活动空间捕捉个体行为和接近机会的时间变化,分析了农村地区交通不利条件对居民活动空间的影响并解释差异性,结果表明是否拥有机动车、公共交通服务水平、收入水平、性别、工作地点等是导致弱势群体交通不公平的因素。Smith等<sup>[36]</sup>研究农村家庭相比城市家庭的额外需求与成本,发现农村家庭的额外成本主要是交通成本,低于农村最低收入标准的家庭将无法负担得起合理水平的可达性服务或机会。

在可达性方面,可达性主要衡量从起点到指定目的地的出行便利程度,是交通网络规划性能的重要评估指标<sup>[37]</sup>,而交通网络规划问题直接影响不同群体和区域间的利益和损失分配,成为交通公平问题的核心<sup>[38]</sup>,因此可达性是识别交通公平问题的重要指标。Monzon<sup>[39]</sup>运用空间影响分析技术,以可达性指标为基础,通过评估可达性指标改善的幅度和分布进而评估高铁项目的公平和效率问题。Feng等<sup>[38]</sup>以区域可达性为基础,通过GINI系数、Theil指数、平均对数偏差(LDEV)、相对平均偏差(RDEV)、变异系数(COV)、Atkinson指数(ATK)等6个代表性指标对公平性进行定义,反映了可达性

在空间分布上的分散程度,并提出了一个公平最大化和建设成本最小化的双层多目标优化模型,为路网设计决策提供了多种选择。Almeida等<sup>[40]</sup>分析巴西米纳斯吉拉斯地区交通网络与区域公平之间的关系,结果表明加强贫穷地区与富裕地区之间的道路联系会极大地促进区域公平。

在交通政策方面,现有研究主要从交通拥堵收费、公交收费调整、公交优先等政策识别交通公平性。Karlstrom等<sup>[41]</sup>从行为调整和福利效应两方面评价了斯德哥尔摩地区拥堵收费政策对早晨通勤者的横向和纵向公平效应,结果表明该政策对出行方式和出发时间选择影响较小,对交通支出和基尼系数的影响不显著。Cornelius<sup>[42]</sup>分析了公交调整收费政策对不同乘客的公平性影响,使用替代价格弹性来估计由于价格变化而引起的客流量变化。结果表明增加换乘费用或取消无限制使用通行证的建议对某些乘客产生了巨大的不平等影响,保留现有通行证和允许小额换乘费的建议是最有利的。Bureau<sup>[43]</sup>研究了巴黎地区城市公共交通政策的分布效应,发现低收入人群从降低票价政策而非提高公共交通速度中获益更多,因此针对郊区低收入群体的公交优先政策应适当调整。

## 2.2 交通公平性识别的技术方法

早期的城市交通公平性识别主要采用定性分析方法,通过调查、访谈等途径获取不同群体的交通出行需求,并进一步识别不同群体所在社区是否过度暴露于交通外部性,例如空气或噪音污染、交通拥堵等问题。随着计算机技术的快速发展,交通公平性的识别方法逐渐从定性转向定量,定量方法首先将人口按照需求进行分类,分析出行行为特征,计算不同群体和场景的交通公平指标,通过比较各组场景之间指标的变化情况识别交通公平性<sup>[8]</sup>。近年来,越来越多的学者将地理空间技术、数理统计模型、经济学和社会学模型以及新型数据源和大数据技术运用于城市交通公平性的识别与评价中。

地理空间技术能够将各种数据与地理空间匹配起来,进而进行交通公平性的空间数据分析和识别。Beiler等<sup>[44]</sup>将地理信息系统(GIS)作为识别交通公平区域的一个基本工具,通过数据收集、绘制

数据空间地图和数据分析量化交通公平性指标,并识别了宾夕法尼亚州沙利文县的交通不公平区域。Wu等<sup>[45]</sup>使用GIS和ACCMAP开发网络模型分析北爱尔兰的城市公交网络的不利条件和可达性,评估了公交网络变化对城市公交可达性的空间影响,发现早晚高峰无车的家庭公交可达性较差。数理统计模型能够通过参数化函数精确高效的探索交通公平性与相关因素的关系,进而可视化结果。Cassas<sup>[34]</sup>使用独立样本比较试验、泊松回归和负二项回归分析识别由于可达性差异导致残疾人社会排斥的因素。Liu等<sup>[46]</sup>通过构建三波交叉滞后面板模型研究智能手机服务的易用性、可获得性与交通公平性的关系,发现智能手机服务的可获得性是衡量交通公平的合理指标,同时发现新的移动服务在进一步排斥和边缘化弱势群体。经济学和社会学模型能较好测度整体资源分配的公平性并解释公平性产生的原因,基尼系数和洛伦兹曲线是反映社会分配公平程度的指标,逐渐被引入到交通公平性的识别与评价研究中。席东其<sup>[47]</sup>总结公平性评价的模型主要包括基于洛伦兹曲线与基尼系数的公平性模型,基于泰尔指数的公平性模型、基于外部成本最小化的公平性模型和基于Wilson熵分布的公平性模型。Cornut等<sup>[48]</sup>根据基尼系数和第四季度与第一季度的比率衡量交通不公平的经济指标,进而研究巴黎城市群汽车拥有量的不平等。新型数据源

和大数据因其覆盖范围广、数据量大、更新速度快等优点可以降低样本失真风险,进行有效的分层研究,逐渐被运用到交通公平性研究。Zhou等<sup>[49]</sup>利用新的开放大数据如通用运输反馈规范数据(general transit feed specification data, GTFS)和交通卡数据探索澳大利亚布里斯班市公交票价的公平性,通过“路线重构”“票价匹配”“路段标签”“期望的线路及站点可视化”“通勤者识别”等分析发现东南部进出市中心的通勤者公交票价更贵,公交票价存在空间不公平现象。席东其<sup>[50]</sup>基于手机信令数据和高德地图应用程序编程接口(application programming interface, API)出行时耗数据分析昆山市交通公平性问题,发现公交公平性优于小汽车交通。

### 3 城市交通公平性的识别框架体系

当前关于城市交通公平性的识别研究主要集中于指标体系和技术方法,较少从理论层面构建完善的交通公平性识别框架体系。基于此,本研究从横向交通公平和纵向交通公平2个维度出发,全面梳理识别交通公平性的指标体系和技术方法,构建多维度的城市交通公平性识别框架体系(图1)。主要包括以下步骤:划分人群——确定指标——数据采集和识别,最后提出针对性的交通公平性改进策略。

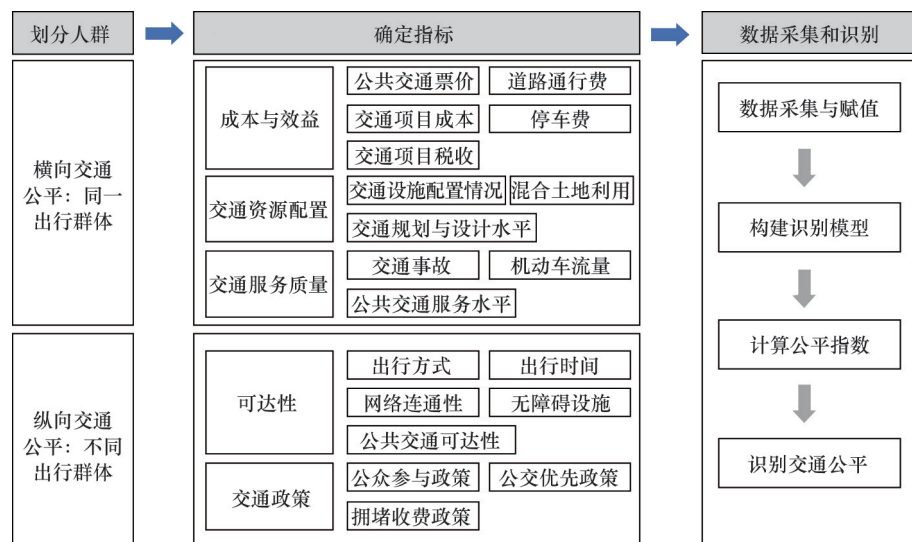


图1 识别城市交通公平性的框架体系

### 3.1 划分人群

出行人群的分类是识别交通公平性的首要环节,不同的出行人群需要匹配不同的影响因素,进而提出针对性的改善措施。吕政义根据交通方式、收入和出行能力将出行人群分为:步行、自行车、小汽车、地面公交、轨道交通、低收入群体和出行能力弱势群体等7类<sup>[7]</sup>。本研究根据年龄、收入、社会阶层、地理位置、行动能力、出行方式等人口和社会经济特征对目标群体进行分类<sup>[51]</sup>,将人群划分为同一出行群体和不同出行群体,同时根据社会经济特征和人口特征将不同出行群体进一步细分为社会性弱势群体和生理性弱势群体。

### 3.2 确定指标

城市交通公平性识别的指标体系首先需要确定公平性目标,按照相关性原则、定义清晰原则、一致性原则选取相应的指标,同时按照激励正确原

则、灵敏性原则、客观性原则、实用性原则等要求进行指标筛选,最后构建具体的指标体系<sup>[52]</sup>。

横向交通公平方面,在成本与效益上考虑不同交通出行方式的收费以及交通项目的投入与税收。在交通资源配置上考虑交通设施的配置情况及交通规划设计的公平性,主要通过道路网络布局的拓扑和几何特征量化,同时由于道路交通与土地利用具有耦合关系,也需要考虑土地利用混合对交通公平性的影响。在交通服务质量上考虑公共交通的服务水平以及路段机动车流量和交通事故情况。纵向交通公平方面,在可达性基础上考虑出行方式、出行时间以及公共交通可达性,同时将无障碍设施以及道路交通规划的网络连通性纳入指标范围。最后,在交通政策上主要纳入公众参与、拥堵收费和公交优先政策(表1)。

表1 城市交通公平性识别的指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	说明
横向交通公平	成本与效益	公共交通票价	公共交通的票价
		道路通行费	道路通行收费
		停车费	每小时停车收费
		交通项目成本	交通项目的投入成本
		交通项目税收	交通项目的收益
	交通资源配置	交通设施配置情况	交通设施的建设情况、服务质量、磨损程度等配置情况
		混合土地利用	土地利用混合度
		交通规划与设计水平	道路交通规划的公平性(通过道路网络布局的拓扑特征和几何特征量化,如道路网络中间中心性、路网密度、是否有人行道等)
	交通服务质量	交通事故	每年致命车祸比例
		公共交通服务水平	公共交通服务范围
机动车流量		机动车交通量比例	
纵向交通公平	可达性	出行方式	出行方式比例
		出行时间	出行时长比例
		公共交通可达性	公共交通站点和线路覆盖范围
	交通政策	无障碍设施	无障碍设施的比例及分布
		网络连通性	道路网络的连通性
		公众参与政策	公众参与城市交通管理
		拥堵收费政策	拥堵时段对道路使用者收费
公交优先政策	优先发展公共交通(通过公交出行分担率、公交专用道建设等量化)		

### 3.3 数据采集和识别

#### 3.3.1 数据采集与赋值

通过互联网开放大数据及各类新型数据源获取指标数据,例如公交刷卡及运行数据、交通规划一张图数据库、手机信令数据、居民出行调查数据、道路网络数据及路径导航数据等进行数据采集。然后使用GIS技术将各项指标要素和数据库与空间单元连接,绘制基础地图。将数据指标分级赋值,针对研究目标和区域的差异,同时考虑交通公平识别因素的动态性和针对性,运用层次分析法、

熵权法、主成分分析法以及模糊综合评价法等赋予一二三级指标相应的权重。

#### 3.3.2 构建识别模型

根据交通公平的分类构建识别模型。针对同一出行群体的横向公平,主要利用经济学模型评估成本与效益,使用数理统计模型测度交通资源配置的合理性以及交通服务的品质。针对不同出行群体的纵向公平,可使用地理空间模型分析可达性,最后可使用前后对照法(before-after study)对比干预措施差异进而评估交通公平政策的有效性(表2)。

表2 城市交通公平性识别的模型方法

一级指标	二级指标	模型方法	具体模型
横向交通公平	成本与效益	经济学模型	基于外部成本最小化的成本收益模型
	交通资源配置	数理统计模型	洛伦兹曲线与基尼系数
	交通服务质量	数理统计模型	洛伦兹曲线与基尼系数
纵向交通公平	可达性	地理空间模型	累积机会模型
	交通政策	前后对照法(before-after study)	/

##### 1) 经济学模型。

成本与效益分析可使用经济学基于外部成本最小化的成本收益模型,该模型从社会成本分担的角度考虑公平性,有利于分析不同出行方式的外部成本,进而优化路权分配,公式如下:

$$\text{MinSV} = \sum_i SV_i(t) dt = \sum_i \int \left| \sum_j CS_{ij}(t) - \sum_j CR_{ij}(t) \right| dt \quad (1)$$

$CS_{ij}(t) > 0; CR_{ij}(t) > 0; i = 1, 2, \dots, i; j = 1, 2, \dots, j$  式中, $SV_i(t)$ 表示第*i*种交通方式在时间*t*内应该承担的社会成本与私人成本差距; $CS_{ij}(t)$ 与 $CR_{ij}(t)$ 表示第*i*种交通方式在时间*t*内应该承担的第*j*项社会成本与私人成本; $i, j$ 表示交通方式与各类出行成本。

如果社会成本与私人成本之间的差值变大,那么对于除第*i*种交通方式以外的其它交通方式而言,负外部性即不公平性体现得越明显。所以*SV*的值越小,越趋向于公平<sup>[22]</sup>。

##### 2) 数理统计模型。

交通资源配置及服务品质分析可使用洛伦兹曲线与基尼系数计算,测度整体资源分配的公平性。根据人口和资源分配绘制洛伦兹曲线,进而计算得出基尼系数。该模型可以直观反映交通资源

在人口分配上的差距<sup>[47]</sup>,有利于优化交通资源配置,公式如下:

$$G = 1 + \sum_{i=1}^n Y_i P_i - 2 \sum_{i=1}^n Q_i Y_i \quad (2)$$

$$Q_i = \sum_1^i P_i$$

式中,*G*表示基尼系数,用来衡量资源分配的不平等程度; $Y_i$ 表示第*i*组人口获得资源量与全部资源量的比例; $P_i$ 代表第*i*组人口占全部人口的比例; $Q_i$ 表示累计人口占比数。

##### 3) 地理空间模型。

可达性可利用累积机会模型(cumulative opportunity model)进行计算,通常事先设定时间阈值,计算既定出行模式下从起点出发可接触到的发展机会来评定可达性的大小。该模型考虑了城市功能对可达性的影响,有利于全面分析兴趣点的可达性和公平性,公式如下:

$$A_i = \sum M_j f(C_{ij}), i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n.$$

$$f(C_{ij}) = \begin{cases} 1 & \text{if } C_{ij} \leq t_{ij} \\ 0 & \text{if } C_{ij} > t_{ij} \end{cases} \quad (3)$$

式中, $A_i$ 为起点*i*到终点*j*的可达性; $M_j$ 为终点*j*的吸引力,即发展机会,例如无障碍设施数量、站点数量

等;  $C_{ij}$  为起讫点之间的距离或者时间、费用等;  $t$  是出行时间阈值<sup>[53]</sup>。

### 3.3.3 计算指数与识别

根据上述模型分别计算出三级指标的交通公平程度,参考权重得出综合的公平指数,比较公平指数差异并识别出交通不公平的区域,进而提出针对性的改进策略与建议。主要包括在同一出行群体内实现出行的收支平衡、交通设施的均等配置和交通服务的品质提升,在不同出行群体内实现弱势群体的特别关注、出行的均等可达以及交通政策的公平。

## 4 结论

探索城市交通的公平性问题不仅能为交通规划研究寻求更合理的价值取向<sup>[54]</sup>,也能进一步优化城市空间结构与布局,完善交通相关的政策及法规,进而营造交通公平的和谐城市。本文总结了城市交通公平性的内涵,包括同一出行群体利益分配的横向交通公平和不同出行群体利益分配的纵向交通公平。在此基础上,综述了城市交通公平性识别的指标体系和技术方法。横向交通公平涵盖成本与效益、交通资源配置和交通服务3方面,成本与效益方面主要包括出行的各类费用及项目的收益,可使用经济学模型计算;交通资源配置方面主要包括交通设施配置、土地利用及交通规划,交通服务质量方面主要包括交通事故、公交服务及机动车流量,均可使用数理统计模型计算。纵向交通公平涵盖可达性和交通政策。可达性主要包括出行方式、出行时间、公交等设施分布,可使用地理空间模型计算;交通政策主要包括公众参与、拥堵收费和公交优先政策,可使用前后对照法(before-after study)对比差异。最后,构建了城市交通公平性的识别框架体系,包括划分人群、确定指标、数据采集和识别方法,以期为城市交通公平性的识别研究提供思路和框架体系,进而提高交通出行品质,缩小不同群体的出行差距,打造和谐公平的城市交通体系。

未来关于交通公平性的研究应根据本文提出的识别框架体系进行城市或社区的案例评估,进一

步检验交通公平性识别框架体系及方法的实用性,并结合不同利益群体和新技术应用等方面展开深入研究。首先,应针对不同利益群体例如政府、居民、社区及开发商等分析其交通公平性,扩展利益群体范围,进而覆盖更多人群的交通公平性。其次,应结合大数据等新技术构建面向智慧城市的交通公平性识别框架及分析方法,进一步探索城市交通公平性的动态精细化识别方法,智慧高效地提升城市交通的公平性。

### 参考文献(References)

- [1] The new urban agenda[EB/OL]. [2023-08-15]. <https://www.un.org/zh/documents/treaty/A-RES-71-256>.
- [2] Sustainable development goals[EB/OL]. [2023-08-15]. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/zh/development-agenda>.
- [3] 武翠芳,姚志春,李玉文,等. 环境公平研究进展综述[J]. 地球科学进展, 2009, 24(11):1268-1274.
- [4] What is environmental justice[EB/OL]. [2023-08-15]. <http://www.epa.gov/environmentaljustice>.
- [5] FHWA. An overview of environmental justice and transportation[EB/OL]. [2023-07-18]. [http://www.fhwa.dot.gov/environment/environmental\\_justice/overview](http://www.fhwa.dot.gov/environment/environmental_justice/overview).
- [6] Transportation equity report: An environmental justice study & title vi plan for the wilmapco region[EB/OL]. [2023-08-15]. [http://www.wilmapco.org/EJ/2013\\_EJ\\_T6\\_Report.pdf](http://www.wilmapco.org/EJ/2013_EJ_T6_Report.pdf).
- [7] 吕政义. 城市交通公平性评价及对策研究[D]. 西安: 长安大学; 2005.
- [8] Bills T S, Sall E A, Walker J L. Activity-based travel models and transportation equity analysis: Research directions and exploration of model performance[J]. Transportation Research Record, 2012, 2320(1): 18-27.
- [9] Ahmed Q I, Lu H P, Ye S. Urban transportation and equity: A case study of beijing and karachi[J]. Transportation Research Part A Policy and Practice, 2008, 42(1): 125-139.
- [10] Forkenbrock D J, Schweitzer L A. Environmental justice in transportation planning[J]. Journal of the American Planning Association, 1999, 65(1): 96-112.
- [11] David J. A brief history of justice[M]. Malden: Wiley-Blackwell Publishing, 2011.
- [12] Hay AM, Harvey D. Justice, Nature and the geography of difference[J]. Geographical Journal, 1997, 163(3): 320.

- [13] Rawls J. A theory of justice: Revised edition[M]. Harvard University Press, 1999.
- [14] Edward W. Seeking spatial justice[M]. Minnesota: The University of Minnesota Press, 2010.
- [15] 陈鹏宇, 陈梦玲. 基于路网空间属性的交通公平性研究——以南京市为例[C]// 2020/2021 中国城市规划年会暨 2021 中国城市规划学术季. 成都: 中国建筑工业出版社, 2021.
- [16] 任晓慧. 城市居民日常活动空间的交通公平研究[D]. 西安: 西安外国语大学, 2020.
- [17] 张开翼. 城市交通公平研究综述[C]//2017 中国城市规划年会. 东莞: 中国建筑工业出版社, 2017: 817-824.
- [18] Litman T. Evaluating transportation equity[J]. World Transport Policy & Practice, 2002, 2(8): 50-65.
- [19] 陈方, 戢晓峰, 张宏达. 城市化进程中交通公平的研究进展[J]. 人文地理, 2014, 29(6): 10-17.
- [20] 王怀相. 公平运输的定义与评价思路[J]. 综合运输, 2006(5): 10-11.
- [21] 杨文银. 试论交通公平[J]. 综合运输, 2006(Suppl 1): 13-16.
- [22] 石京, 杨朗, 黄谦, 等. 交通公平性的衡量角度与模型描述[J]. 铁道工程学报, 2009(1): 97-101.
- [23] 郑中元, 马云生. 城市交通公平性与轨道交通[J]. 交通科技与经济, 2009, 11(1): 47-50.
- [24] 朱治文. 常规公共交通系统公平性评价研究[D]. 南京: 东南大学, 2019.
- [25] 王宁. 面向多模式公共交通网络就业可达性的交通公平性分析[D]. 深圳: 深圳大学, 2020.
- [26] 杨庭. 广州市交通出行公平研究[D]. 广州: 广州大学, 2012.
- [27] Shi J. Transportation equity study and national balanced development in china[C]//European Transport Conference, Leeuwenhorst, Netherlands, 2007.
- [28] Brocker J, Korzhenevych A, Schurmann C. Assessing spatial equity and efficiency impacts of transport infrastructure projects[J]. Transportation Research Part B-Methodological, 2010, 44(7): 795-811.
- [29] 张杏林, 陈远通, 张国华, 等. 城市道路资源配置的公平与效率分析[J]. 城市交通, 2007(3): 62-66.
- [30] 李旻芮. 城市公共交通资源配置空间公平性评价及改善策略研究[D]. 泉州: 华侨大学, 2022.
- [31] Delbosc A, Currie G. Using lorenz curves to assess public transport equity[J]. Journal of Transport Geography, 2011, 19(6): 1252-1259.
- [32] 高文凯. 交通拥堵视角下的武汉市主城区公交供给服务水平评价与公平性研究 [D]. 武汉: 武汉大学, 2019.
- [33] 郭思琪. 城市轨道交通公共服务质量测评研究[D]. 成都: 西南财经大学, 2019.
- [34] Casas I. Social exclusion and the disabled: An accessibility approach[J]. Professional Geographer, 2007, 59(4): 463-477.
- [35] Kamruzzaman M, Hine J. Analysis of rural activity spaces and transport disadvantage using a multi-method approach[J]. Transport Policy, 2012, 19(1): 105-120.
- [36] Smith N, Hirsch D, Davis A. Accessibility and capability: The minimum transport needs and costs of rural households[J]. Journal of Transport Geography, 2012, 21: 93-101.
- [37] Guagliardo M F. Spatial accessibility of primary care: Concepts, methods and challenges[J]. International Journal of Health Geographics, 2004, 3(1): 3.
- [38] Feng T, Zhang J Y. Multicriteria evaluation on accessibility-based transportation equity in road network design problem[J]. Journal of Advanced Transportation, 2014, 48(6): 526-541.
- [39] Monzon A, Ortega E, Lopez E. Efficiency and spatial equity impacts of high-speed rail extensions in urban areas [J]. Cities, 2013, 30: 18-30.
- [40] de Almeida E S, Haddad E A, Hewings G J D. Transport-regional equity issue revisited[J]. Regional Studies, 2010, 44(10): 1387-1400.
- [41] Karlstrom A, Franklin J P. Behavioral adjustments and equity effects of congestion pricing: Analysis of morning commutes during the stockholm trial[J]. Transportation Research Part a-Policy and Practice, 2009, 43(3): 283-296.
- [42] Nuworsoo C, Golub A, Deakin E. Analyzing equity impacts of transit fare changes: Case study of alameda-contra costa transit, california[J]. Evaluation and Program Planning, 2009, 32(4): 360-368.
- [43] Bureau B, Glachant M. Distributional effects of public transport policies in the paris region[J]. Transport Policy, 2011, 18(5): 745-754.
- [44] Beiler M O, Mohammed M. Exploring transportation equity: Development and application of a transportation justice framework[J]. Transportation Research Part D-Transport and Environment, 2016, 47: 285-298.
- [45] Wu B M, Hine J P. A ptal approach to measuring changes in bus service accessibility[J]. Transport Policy, 2003, 10(4): 307-320.
- [46] Liu Q, An Z, Liu Y, et al. Smartphone-based services, perceived accessibility, and transport inequity during

- the covid-19 pandemic: A cross-lagged panel study[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2021, 97: 102941.
- [47] 席东其. 基于多源大数据的城市交通可达性与公平性评价[D]. 南京: 南京大学, 2020.
- [48] Cornut B, Madre J L. A longitudinal perspective on car ownership and use in relation with income inequalities in the paris metropolitan area[J]. Transport Reviews, 2017, 37(2): 227-244.
- [49] Zhou J, Zhang M, Zhu P. The equity and spatial implications of transit fare[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2019, 121: 309-324.
- [50] 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(6): 35-43.
- [51] Behbahani H, Nazari S, Kang M J, et al. A conceptual framework to formulate transportation network design problem considering social equity criteria[J]. Transportation Research Part a-Policy and Practice, 2019, 125: 171-183.
- [52] 石京, 周念. 交通公平性评价指标的选取原则与方法[J]. 铁道工程学报, 2010, 27(9): 92-97.
- [53] El-Geneidy A, Levinson D, Diab E, et al. The cost of equity: Assessing transit accessibility and social disparity using total travel cost[J]. Transportation Research Part a-Policy and Practice, 2016, 91: 302-316.
- [54] 孙喆. 城市交通公平研究综述[J]. 国际城市规划, 2015, 30(2): 55-61.

## Research on the identification method of urban transportation equity

XIE Bo<sup>1,2</sup>, LI Han<sup>1\*</sup>

1. School of Urban Design, Wuhan University, Wuhan 430072, China

2. Hubei Habitat Environment Research Centre of Engineering and Technology, Wuhan 430072, China

**Abstract** As an important part of social equity, transportation equity provides a foundation and guarantee for promoting urban sustainable development. Exploring ways to identify urban transportation equity can help optimize the layout of urban traffic, improve traffic policies and regulations, narrow the accessibility differences among travel groups, and create a equity travel environment. On the basis of sorting out the connotation of urban transportation equity, this study summarizes the index system and technical methods of urban transportation equity identification from the dimensions of horizontal transportation equity and vertical transportation equity, focusing on cost and benefit, transportation resource allocation, transportation service quality, accessibility and transportation policy. At the same time, it puts forward a framework system to identify urban transportation equity, which mainly includes crowd division, index determination, data collection and recognition, and further defines the technical process of transportation equity identification and modeling method in order to provide reference for relevant practice research of urban transportation equity identification.

**Keywords** transportation equity; index system; identification method ●



(责任编辑 卫夏雯)