

基于智慧交通的可达性与交通出行碳排放 ——理论与实证

曹小曙^{1,2}, 杨文越¹, 黄晓燕²

(1. 中山大学地理科学与规划学院, 广州 510275; 2. 陕西师范大学交通地理与空间规划研究所, 西安 710062)

摘要:信息与通信技术的发展推动了智慧交通建设,并将进一步提高城市交通可达性和影响居民出行。在全球应对气候变化、减少碳排放的共识背景下,由于“智慧交通—可达性—出行行为(碳排放)”间复杂的影响作用机制,已有的研究难以判断智慧化背景下的城市交通可达性提高将增加抑或减少出行碳排放。如何通过提高城市交通可达性来缓解交通拥堵,保障城市交通运输系统的有效运行,并提高居民出行效率,减少出行碳排放是当前中国智慧交通发展面临的关键问题之一。针对以上科学问题,本文尝试提出基于智慧交通的可达性与交通出行碳排放的理论框架,并以广州为研究案例地,研究了社区居民通勤碳排放特征及其影响机理,社区出行低碳指数格局及其影响因素的空间异质性,以及基于碳排放—位置分配模型的公共中心规划支持系统设计与应用,可为今后的相关研究提供借鉴。

关键词:智慧交通;信息与通信技术(ICT);可达性;出行;碳排放

1 引言

在信息化浪潮与数据科学崛起的共同推动下,智慧城市在全球范围内成为下一代城市发展的新理念和新实践。智慧交通是智慧城市的重要组成部分及基础支撑。世界范围内城市交通拥堵、交通安全和环境污染等问题日益凸显,迫切需要一个高效、新型的交通运输系统改变现有管理和服务模式。交通运输系统本身的结构调整要求智慧交通在转型过程中发挥引领和支撑作用。

气候变化受人类活动排放的二氧化碳影响(Dulal et al, 2011)。其中交通已成为碳排放第二大部门(IEA, 2013),减少交通碳排放成为地理、规划和交通等相关领域的共同目标。但目前学界对于构建低碳城市交通系统的整体思维还处于萌芽中(Banister, 2011)。智慧城市是基于物联网、云计算等新一代信息与通信技术(Information and Communication Technologies, ICT)而提出的(甄峰等, 2014),新ICT技术推动了智慧城市研究与发展(孙中亚等,

2013)。虽然,国内外已有大量的研究探讨了ICT对居民出行的影响,但对于在ICT技术创新推动的智慧化背景下,城市交通可达性和居民出行将受到怎样的影响,是增加抑或减少出行碳排放等问题上,还缺乏深入研究。如何通过提高城市交通可达性来缓解交通拥堵,保障城市交通运输系统的有效运行,同时提高居民出行效率,减少出行碳排放是当前中国智慧低碳城市建设面临的关键问题之一。因此,本文在对智慧城市的交通与出行和ICT技术对出行的影响的相关研究进行梳理和归纳的基础上,提出了智慧化背景下的城市交通可达性与出行碳排放研究框架。

2 智慧城市、智慧交通与智慧出行

2.1 智慧城市与智慧交通

智慧城市已成为全球范围内城市发展的新理念和新实践,高效性、可持续性与低碳化是智慧城市的重要特性。智慧城市建设包括多目标(环

收稿日期: 2015-04; 修订日期: 2015-04。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171139, 41130747); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(GK201303006)。

作者简介: 曹小曙(1970-), 男, 甘肃人, 博士, 博导, 教授, 主要从事地理与规划研究, E-mail: caoxsh@mail.sysu.edu.cn。

引用格式: 曹小曙, 杨文越, 黄晓燕. 2015. 基于智慧交通的可达性与交通出行碳排放: 理论与实证[J]. 地理科学进展, 34(4): 418-429. [Cao X S, Yang W Y, Huang X Y. 2015. Accessibility and CO₂ emissions from travel of smart transportation: theory and empirical studies[J]. Progress in Geography, 34(4): 418-429.]. DOI: 10.11820/dlkxjz.2015.04.003

境、社会和经济的可持续性),但不同目标之间可能会存在相互冲突(Mingardo, 2008)。例如,城市交通可达性的提升可能会对城市环境造成消极影响,而城市空气质量的提升也很可能对城市交通可达性形成一定的制约。因此,既要保持城市的经济增长,同时又要保障城市交通可达性水平和提高居民的生活质量,是智慧城市面临的一大挑战(Nam et al, 2011)。智慧城市的实质是在恰当的时间提供准确的信息,让市民、服务提供者和城市管理人员等能作出更好的决策,以利于提高城市居民的生活质量和城市的整体可持续性(Mostashari et al, 2011)。智慧城市鼓励市民的可持续行为,从而改变其政治、能源、出行和浪费行为;并通过改变城市基础设施(能源、土地利用和交通系统)推动城市的可持续规划和城市管理的结构(Khansari et al, 2014)。智慧城市对城市可持续性的动态影响如图1所示。

交通、环境和土地利用规划的整合是可持续发展的必要前提条件(Geerlings et al, 2003)。智慧交通是智慧城市中的核心部分,是整合上述规划、实现可持续发展的重要手段之一。与传统交通相比,智慧交通对环境更为友好,在服务频率、站点位置和覆盖面以及路线方面都更有弹性(Yigitcanlar et al, 2008)。其中,智能交通系统(Intelligent Transportation System, ITS)又是智慧交通的技术核心。它通过整合交通数据和建立智能与自适应的交通管理系统,能为出行者提供动态、准确和实时出行信息(如天气、交通拥堵、公共交通出发的时间、停车场信息及其他特殊问题等),提高居民出行效率。同

时,智能交通系统还能完善交通系统,优化交通运营者决策,提升城市交通运行效率和交通需求管理效率,并降低管理成本等(Verplanken et al, 1997; Vaa et al, 2007; Hancke et al, 2012; 赵渺希等, 2014)。总体而言,智能交通系统是城市交通低碳化发展的模式与方向,是解决城市道路建设与车辆增长之间供需矛盾的有效途径(刘露, 2013)。

2.2 智慧交通与出行

2.2.1 ICT对出行的影响

信息与通信技术(ICT)是智慧城市和智慧交通的技术基础。ICT技术的发展推动着交通出行智慧化,对城市交通可达性和居民出行具有重要的影响。ICT能够提高交通效率,减少实际和能够被感知的出行成本。通过出行信息查询和卫星导航能提高移动的适应性,允许出行者在出行前或行程中对不同方式和路线进行比较,从而进行出行决策(Avineri et al, 2006; Ben-Elia et al, 2008)。ICT对通勤决策的影响会因出行信息、通勤者社会经济特征和行程与路线的属性以及环境因素而异(Khattak et al, 1999)。总体上,ICT与居民出行之间的关系可归纳为替代,激生或互补,修正,中立或没有影响4种(Salomon, 1986)。

ICT对出行的替代作用在工作出行方面尤为明显(Hamer et al, 1991; Pendyala et al, 1991; Mokhtarian et al, 2005; Yeraguntla et al, 2005)。但De Graaff等(2007)的研究亦指出,虽然ICT可以通过在家工作来替代工作出行,但这种替代作用更多受不同的个人特征影响。不少研究发现对于某些休闲娱乐

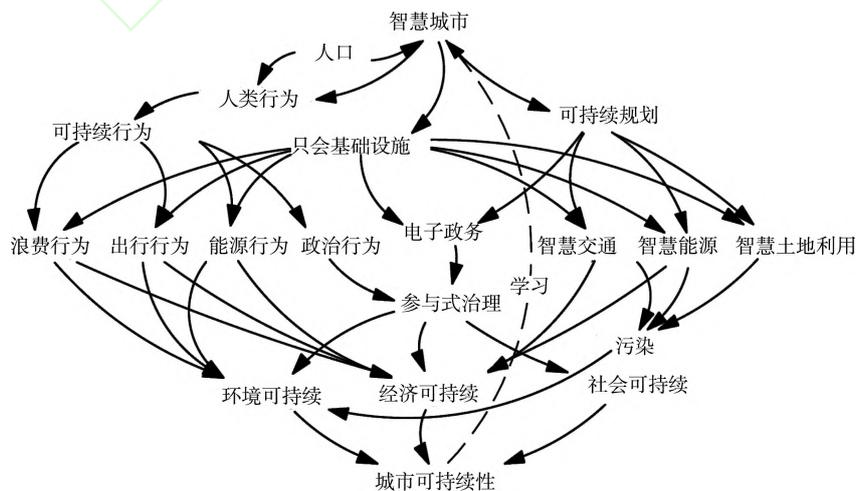


图1 智慧城市对城市可持续性的动态影响(Khansari et al, 2014)

Fig.1 Dynamic impact of smart city on urban sustainability(Khansari et al, 2014)

活动,ICT也能够起到替代作用。例如通过上网购物来代替出行到实体商店购物(Line et al, 2011)。国内以南京的实证研究发现,在ICT技术影响下,在家办公可减少日常工作出行,信息网络部分替代了居民日常出行(甄峰等, 2009)。也有研究显示,网络休闲活动的增加减少了居民每日的非必要性出行时间,对居民出行具有替代作用(赵霖等, 2013)。

然而,也有很多研究认为,ICT对出行的影响更多是激生、互补和修正(Banister et al, 2004),而非替代。因为ICT的使用在过去十多年中呈指数式增长,但出行距离和交通拥堵并没有大幅减少(Mokhtarian, 2002; Handy et al, 2005; Mokhtarian, 2009)。由于ICT为个人的日常活动和出行决策提供了更多弹性(Mokhtarian, 1998),所以一些活动被取代,而一些又激生出来,还有一些则被少量更长距离的出行所取代(Kenyon et al, 2003);也有可能是几种活动串联在一起,形成一个更长的出行链,一次取代分散的短距离出行,从而减少总出行距离。通过增加活动的机会和可达性,ICT会诱导出更多的出行,尤其是社交出行(Harvey et al, 2000; Robinson et al, 2010)和购物出行(Cao, 2012)。但值得指出的是,新的ICT服务和应用对出行行为的影响与早期ICT技术的影响并不相同(Hjorthol et al, 2009)。

移动技术(Mobile Technology)和互联网是ICT技术发展的主要驱动力。有研究指出,手机和网络对时空约束的影响是复杂多样的,取决于不同的活动类型、活动参与者、技术和社会经济物理环境。相对于空间约束,它们能让时间约束变得更有弹性,但这种时空约束不会因为ICT的应用而消失。男女性在时空约束方面具有差异,ICT的使用将扩大这种差异(Schwanen et al, 2008)。在“数字移动生活(Digital Nomadism)”时代,移动技术在人们新移动形式和工作—生活安排方面发挥着重要的作用,通过给人们掌握更多的信息,使其能利用更广阔的物质空间,在分配出行时间和资源方面更有效率,并促使更多出行发生(Dal Fiore et al, 2014)。移动技术使人们能够在任何地方与家庭、朋友和同事取得联系,从而解决出行的社会需求(Mascheroni, 2007; White et al, 2007)。还能够为出行提供安全感,减轻人们对可能发生的突发事件产生的焦虑。例如在出行途中,移动技术可确保出行者能及时与警察和急救中心联系(Nasar et al, 2007)。总的来说,移动技术能够减少出行的危险性和寂寞感,为

出行者提供更有吸引力的条件(Jain et al, 2008),对出行有促进作用,能减轻或消除出行的限制。但同时,亦有研究指出移动技术会给出行者带来新的负担和消极影响。由于给出行提供了便利因素和新的基本动力,改变了出行时空约束,移动技术将可能导致活动与出行空间的重构(Dal Fiore et al, 2014)。

ICT对人们活动与出行空间产生重大影响的表现之一为活动碎片化(Activity Fragmentation)。活动碎片化是在ICT使用背景下人类活动的时空再组织过程,亦即活动被细分为若干部分,在不同的时间和空间上进行,可分为活动时间碎片化和活动空间碎片化(Couclelis, 2003)。活动时间碎片化指的是一项活动被分解为各个小活动在不同的时间进行,例如在下班时间进行工作或者自由组织工作时间(Vana et al, 2007; Alexander et al, 2010)。活动空间碎片化则是指活动被分解在不同的空间中进行,例如在家里(Ory et al, 2006; Haddad et al, 2009)、商务行程(Laurier, 2002)或通勤路上(Lyons et al, 2005)等不同的空间中进行工作。活动碎片化、ICT和出行之间的关系是非常复杂的。Ben-Elia通过荷兰的实证研究发现,活动碎片化和ICT之间是相互作用的关系,移动ICT的使用会影响活动空间碎片化,固定ICT的使用则受到活动时间碎片化的影响。活动碎片化将减少工作出行,但同时也限制了非工作个人出行的可能性,并可重新分配娱乐休闲活动和出行时间(Ben-Elia et al, 2014)。国内的研究也指出,ICT技术的扩散与渗透会对人们休闲方式与休闲活动产生很大影响,以致城市休闲活动空间呈现虚拟化、移动化与破碎化、复合化的特征(尹罡等, 2014)。

2.2.2 智慧交通对出行的影响

智慧交通由于发挥了ICT技术的替代效用,对出行具有非常大的影响,主要表现为:引导居民出行、提高出行效率、转变出行行为、促进居民出行的智慧化和个性化。基于智能交通系统,智慧交通能为出行者提供准确和实时的出行信息,例如天气情况、交通拥堵、公共交通出发的时间、路况、方向和其他特殊问题(道路维修和封闭、交通事故、路面坑洞等),降低居民无效出行比率(Verplanken et al, 1997)。通过交通信号、摄像头和传感器等道路设施对实时交通数据进行整合,建立起智能和自适应的交通管理系统。在交通拥堵时,能为开车者提供动

态的交通信息,从而使他们选择最优的行车路线,绕开事故和拥堵的路段,及时引导出行者按照规划预案变更出行路线,提高出行效率和交通安全性(Vaa et al, 2007)。在城市交通需求管理方面,智慧交通可利用信息系统,根据进入城市中心区的车辆数量实行情景性收费,通过“软”性管理措施引导出行者适时改变出行方式,以控制车流量。同时还可 为出行者提供多样性的服务,例如将中心城区停车场信息实时地发布给邻近的出行者,通过海量数据的集成处理引导出行智慧化,以此提升城市交通运行效率和居民出行效率(赵渺希等, 2014)。

此外,智慧交通还可通过提供车辆位置信息来优化交通运营管理者 的决策,例如优化交通信号、规划新建道路以及解决其他现存道路问题等(Vaa et al, 2007);并能有效地降低交通管理成本,例如通过对桥梁、道路和建筑等公共基础设施进行监控,从而提高资源的使用效率,减少定期巡查的成本(Hancke et al, 2012)。

2.2.3 大数据在智慧交通中的作用

伴随着ICT技术和计算科学发展起来的大数据管理、应用与分析技术在智慧交通中发挥着重要作用。例如,云计算技术的发展为智能手机提供了各种可移动的服务。基于云服务,产生了多种查询出行信息的创新方式。智能出行系统(Smart-Travel System, STS)通过智能手机、GPS、谷歌地图和增强现实技术(Augmented Reality),能自动地为出行者

提供个性化的出行实时动态信息,提供行程的个人需求和全新的体验(Hung, 2012)。国外已有学者将GPS、Wi-Fi和蓝牙等传感器与智能手机相结合并整合为应用软件,用于追踪人群的出行轨迹,在收集多种交通方式的出行数据方面具有很大的优势(Vlassenroot et al, 2012)。利用大数据方法改进智能交通系统,缓解交通拥堵,是智慧交通规划领域的关键问题之一(赵鹏军等, 2014)。

3 基于智慧交通的可达性与交通出行碳排放

3.1 城市交通碳排放研究体系

交通碳排放涉及到经济、社会、资源、环境、技术等诸要素,成为地理学、城市学、生态学、环境学和经济学等多学科共同关注的焦点。国外学者基于可持续发展理论和循环经济思想,在交通碳排放与城市生态系统、城市精明增长和可持续社区等层面进行理论提升,并从交通碳排放特征、影响机理、动态模拟、政策调控等方面展开实证研究。形成了以碳排放特征研究为前提,动态模拟研究为基底,影响机理研究为核心,政策调控研究为关键,模型与方法研究为主线的相互关联的交通碳排放研究内容体系(图2)。国外关于城市交通碳排放的研究已比较成熟,现有的相关研究表明,在未来几十年内,交通部门的碳排放量还将持续增长,私人小汽

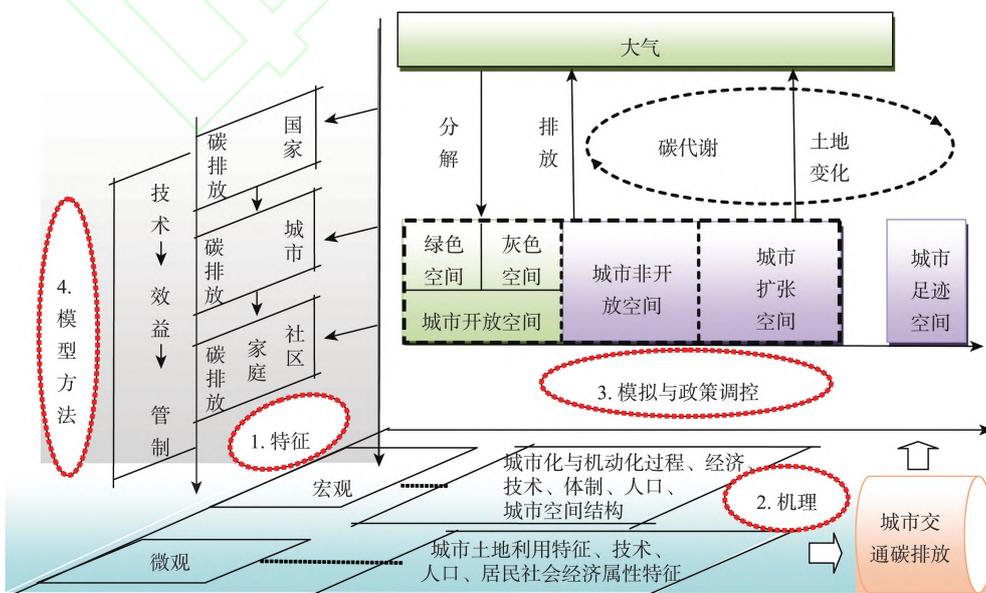


图2 城市交通碳排放研究体系

Fig.2 Research framework of urban transport carbon emissions

车、道路货运和航空运输是交通部门中碳排放的主要来源。在交通碳排放驱动因素研究方面,经济发展水平、产业结构、技术创新水平、交通运输量、交通运输结构、城市空间结构与土地利用方式、居民出行行为、燃料结构与成本等,对于不同国家和地区的城市交通碳排放会产生不同的影响。虽然研究的范围已从全球/国家宏观层面逐渐向地区/城市微观层面渗透,但对城市层面的研究还比较薄弱;在研究内容上主要关注于技术、政策等对交通碳排放的影响以及状况评估与预测分析等时间层面上,很少考虑空间层面的研究;由于微观个体数据获取难度较大等原因,在研究方法上更多地采用自上而下、集计的方法和模型,而自下而上的、非集计的方法和模型尚不多见。考虑到中国在制度体制、城市空间结构与城市交通发展特征方面与西方国家显著不同,因此,国外相关研究的理论及结论很难直接应用于中国的研究。

3.2 可达性与交通出行碳排放

ICT技术的发展推动着智慧交通建设,并进一步影响和作用于可达性及居民出行。城市交通可达性与居民出行之间是相互依存的关系。城市交通属于客观环境,为居民出行提供基础设施。居民出行在一定程度上取决于城市交通可达性,并对交通可达性产生反馈和促进作用。智慧交通和智慧出行将会促进城市交通可达性的提高。基于以上“主—客观”的思路,将可达性进一步分为基于地方的可达性和基于个人的可达性。地方可达性的提高会改变城市交通环境,例如城市路网密度、车速、拥堵情况、空气质量等;个人可达性的提高也会改变居民出行需求,包括出行范围、小汽车拥有及使用等(黄晓燕等, 2012)。更为重要的是,可达性的提高将会通过各种土地用途类型的再区位(如居住区位和商业区位的重新选择)来改变城市土地利用,从而又会对城市交通环境和居民出行需求产生影响。例如多中心化能够缓解中心城区的交通拥堵,同时也会对居民的职住空间距离产生影响(图3)。

由于“ICT—可达性—土地利用—出行行为”其间复杂的影响作用机制,通过已有研究仍较难判断智慧化背景下的城市交通可达性提高到底会增加抑或减少居民出行碳排放,如何通过政策制定、规划控制和行为引导来规避智慧交通和智慧出行对环境和气候变化的负面作用,针对上述科学问题,本文结合以上研究思路,从“对智慧交通与出行的

认识”、“智慧交通与出行的高效性”和“智慧交通与出行的可持续性”三方面提出以下研究框架:ICT技术推动下的智慧“交通—出行”发展特征与空间差异研究,基于智慧化的城市交通可达性与出行效率研究,以及智慧化背景下城市交通—土地利用对出行碳排放的影响研究。

对ICT技术推动下的智慧“交通—出行”发展特征与空间差异的科学认识,是进行基于智慧化的城市交通可达性与出行效率研究以及探讨智慧化背景下城市交通—土地利用对出行碳排放影响的基础。目前,国内地理学界关于该主题的研究还比较少。由于智慧“交通—出行”包括交通和信息通信基础设施层面的客观属性与居民出行和ICT使用层面的主观属性,因此,分析其发展现状特征与空间差异是研究的一大难点,需要构建和设计不同尺度下的智慧“交通—出行”发展评价指标体系来进行全面、客观和科学的评价,从而分析其发展特征与空间差异。国外已有学者通过构建多尺度的智慧城市指标体系对欧洲城市进行排名(Giffinger et al, 2007)。其中,智慧移动是该指标体系中的重要部分(表1),包括可达性(本地和全球层面)、ICT技

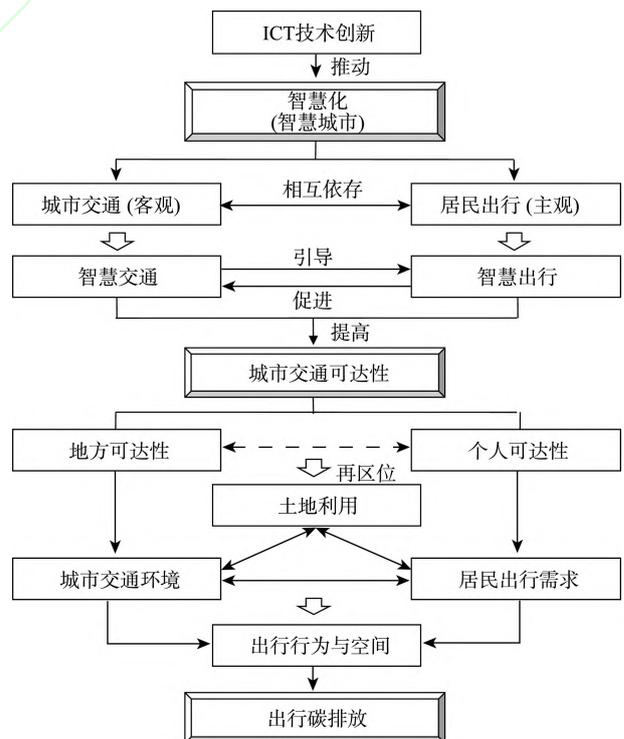


图3 智慧化背景下的城市交通可达性与出行碳排放关系图
Fig.3 Relationship between urban transport accessibility and CO₂ emissions from travel in the context of smart cities

表1 智慧移动的评价指标(Giffinger et al, 2007)
Tab.1 Indicator system of smart mobility assessment
(Giffinger et al, 2007)

因素	指标	尺度
本地可达性	人均公共交通网络	本地
	利用公共交通的满意度	全国
	公共交通质量的满意度	全国
全球可达性	全球可达性	区域
ICT技术的可用性	家庭电脑数	全国
	家庭是否有上网	全国
交通系统的可持续性、创新性和安全性	绿色移动的比例(非机动化的个人出行)	本地
	交通安全性	本地
	经济小汽车的使用	全国

术的可用性和交通系统的可持续性、创新性和安全性等方面。同时,不同尺度的智慧“交通—出行”发展评价指标还可指导智慧交通的规划和建设,因此是非常重要的基础研究工作。

智慧城市的高效性包括空间和个人两个维度。空间维度的高效性通过空间效率来表征,对于智慧交通而言主要表现为城市交通可达性。个人维度的高效性则通过出行效率来表征,而出行效率很大程度上是由城市交通可达性决定的。土地利用和交通政策的最重要目标是提高可达性。可达性可分为基于地方的可达性和基于个人的可达性两种。地方可达性指的是具体一个地方能够到达的便捷程度,个人可达性指的是个人或群体到达活动地点的便捷程度(Hanson et al, 2004)。因此,智慧化带来的空间和个人高效性主要体现在城市交通可达性和出行效率两方面。

学界虽然普遍认为不同形式的ICT对出行行为和活动模式具有影响的认识,但对可达性影响机理还相对不成熟。国外有学者认为可达性的概念涵盖土地利用、交通、时间和个人四方面,是指土地利用与交通系统通过不同交通方式及其组合,能使个人或群体到达活动或出行目的地的水平(Geurs et al, 2004)。基于以上定义,ICT对可达性的不同方面都会产生影响。例如,在土地利用方面,网上购物会导致商店重新选择区位(Relocate),从而进一步影响人们的区位选择;在交通方面,如果人们通过ICT在家工作,将改变通勤出行的时间,从而减少通勤高峰交通拥堵的发生;在时间方面,ICT也可能会改变活动的时间模式,例如在商店关门之后还可通过网络进行购物;在个人方面,不同群体对ICT的

利用具有很大的差异,例如年轻人在利用导航定位系统方面会比老年人更容易(Van Wee et al, 2013)。

值得注意的是,城市不同社区之间的可达性和公共交通供给水平往往具有很大差异。智慧化建设有可能会进一步扩大社区之间的这种差异,以至于形成“智慧鸿沟”。因此,在研究智慧化建设如何影响城市交通可达性和出行效率过程中需要关注城市不同地区的交通公平性问题,对如何通过智慧化建设来保障交通出行的公平性研究具有重要的理论和现实意义。

智慧城市的可持续性在空间维度上可概括为空间低碳发展和空间可持续性,对于智慧交通而言则主要表现为构建低碳交通系统和促进交通可持续发展;在个人维度方面上则主要表现为人们的出行方式选择和出行碳排放。

在交通与出行智慧化背景下,地方可达性的提高会影响城市交通环境,个人可达性的提高也会改变居民出行需求。同时,可达性还将促使土地利用发生变化,从而又对城市交通环境和居民出行需求产生影响。而出行行为与空间受土地利用、可达性、交通环境和出行需求等多方面的影响。因此,智慧化背景下城市交通—土地利用对出行行为及其碳排放的影响机制是非常复杂的。技术创新仅仅在一定程度上促进了交通的可持续性,但同时有可能会滋生出更多出行。因此,单纯通过技术创新和追求高移动性(提高可达性)来减少出行碳排放是不可行的(Banister, 2011)。在应对气候变化、推崇低碳出行、减少环境污染的背景下,研究交通出行智慧化对出行碳排放的影响意义重大。

4 广州的实证研究

在上述研究框架之内,以广州为研究案例地,首先对居民通勤行为及其相应的碳排放特征进行归纳,分析其与相关影响因素之间的相互作用机制。然后,基于可达性构建了社区出行低碳指数,用来表征全市小汽车出行到达各个社区所排放的二氧化碳总和,并探究了其空间异质性。最后,提出了基于碳排放—位置分配模型的公共中心规划支持系统,用智能化和可视化的方法定量模拟不同公共中心布局形式下的小汽车出行碳排放空间格局与碳排放总量,为公共中心规划选址提供一定的科学依据。

4.1 广州社区居民通勤碳排放特征及其影响机理

通过以都府社区、南雅苑、广氮新村和丽江花园4个典型社区为例的实证研究发现,广州市社区居民通勤碳排放特征存在明显的圈层差异。位于旧城中心和新城中心的社区如都府社区和南雅苑人均通勤碳排放最小,位于新城边缘社区的广氮新村人均通勤碳排放量次之,而位于城市边缘的丽江花园社区人均通勤碳排放量最大。在个体差异方面,社区居民通勤碳排放也具有较大差异,呈现接近60/20的量化分布(图4)。

通过结构方程模型对通勤碳排放的影响机理研究发现,通勤距离和通勤方式是决定社区居民通勤碳排放的两个直接影响因素,个体社会经济属性、态度偏好及居住空间环境通过通勤距离和通勤方式来影响通勤碳排放。其中,居住空间环境变量对居民通勤碳排放的影响比个体社会经济属性和居民态度偏好更为显著。土地利用多样性对居民通勤碳排放具有显著的负效应(总效应为-0.272),说明土地利用混合程度越高,通勤碳排放越小。公共交通可达性对通勤距离、小汽车通勤、公共通勤的直接效应分别为0.611、0.098和-0.128,对通勤碳排放的总效应为0.242,说明社区居民从居住地乘公共交通到达工作地点的最短时间越长,其通勤距离越长,小汽车通勤比例越高,而公共交通通勤的比例越低,从而造成通勤碳排放越高(图5)。

4.2 广州市社区出行低碳指数格局及其影响因素的空间异质性

构建基于可达性的社区出行低碳指数(Community Travel Low Carbon Index, CTLCI)模型,对广州市社区出行低碳指数格局与空间差异进行实证分析,发现广州市社区出行低碳指数由中心城区向外逐渐递增,呈明显圈层结构(图6)。内圈层的社区出行低碳指数内部差异最小,外圈层其次,中间过

渡圈层最大。以内圈层尤其是中心城区作为出行目的地,能使全市小汽车出行所排放的CO₂总量最小。

基于此,通过构建地理加权回归(GWR)模型,对广州市社区出行低碳指数与社区人口密度、公共交通供给水平和路网密度3个影响因素之间关系的空间异质性进行研究。模型回归结果显示(图7),广州市社区人口密度对社区出行低碳指数的影响呈正向作用的地域主要分布在外圈层和中间过渡圈层,呈负向作用的地域主要集中在内圈层;社区公共交通供给水平和路网密度对社区出行低碳指数的影响在大部分地域空间和社区范围内呈负向作用,因此,增加这些地区的公共交通和道路基础设施供给有利于减少广州市的出行碳排放总量。

4.3 基于碳排放—位置分配模型的公共中心规划支持系统设计与应用

基于碳排放—位置分配模型的公共中心规划支持系统(CELA-PCPSS)分为支撑层、数据层、模型层、功能层和表示层。其主要功能是基于低碳视角计算出公共中心布局选址的最优位置,定量、可视

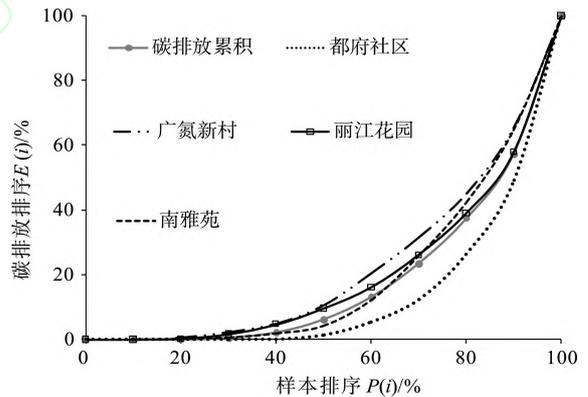


图4 社区通勤碳排放洛伦兹曲线
Fig. 4 Lorenz curves of carbon emissions from commuting

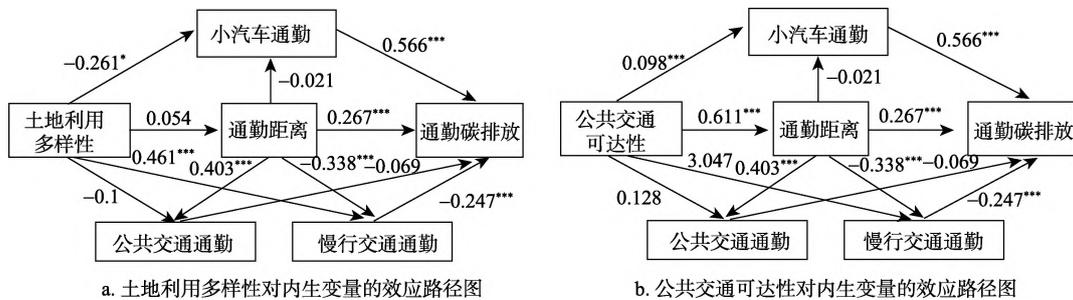


图5 土地利用多样性(a)和公共交通可达性(b)对内生变量的效应路径图
Fig. 5 Effects of land use (a) and public transport accessibility (b) to endogenous variables

化地模拟出不同公共中心布局形式下的小汽车出行碳排放空间格局与碳排放总量。以广州市为研究案例地,计算出了广州市规划1~6个公共中心的最优选址位置,并分别计算出到达各个公共中心的

小汽车数量及其产生的CO₂总量,模拟不同公共中心布局形式下的小汽车出行碳排放空间格局(图8)。

新增公共中心能减少小汽车出行碳排放总量,但具有边际效应,需综合考虑经济社会成本和人文因素来确定规划公共中心的数量和调整其选址位置,以使社会、经济和环境效益最大化。

5 结语

伴随着机动化的快速发展,城市交通可达性水平不断提高,但同时机动车保有量的高速增长也导致了城市交通拥堵和环境污染问题常态化,交通安全事故频发,出行环境日益恶化。修路、限行等以道路或车辆为单一管理目标的交通理念难以解决城市的交通问题。在既要保证城市机动化水平,又要减少交通对气候变化和城市环境造成负面影响的背景下,迫切需要以新理念、新路径、新技术推动智慧交通的发展,使交通管理进入到系统性、整体性、信息交互性及服务广泛性的新高度,促进城市交通的高效性、可持续性与低碳化。

随着智慧城市建设的热潮席卷全国和智慧交通建设的深入推进,中国智慧交通建设逐渐从管理向服务型转换,从侧重于交通信息服务向城市基础设施建设、运营、维护和城市土地利用与交通一体化发展等方面拓展。中国交通规划的重心也由注重设施建设转向注重居民的出行需求管理,从以物质空间规划为主转向“以人为本”,关注人的需求的规划。可以预见,未来将新技术与城市交通有效结

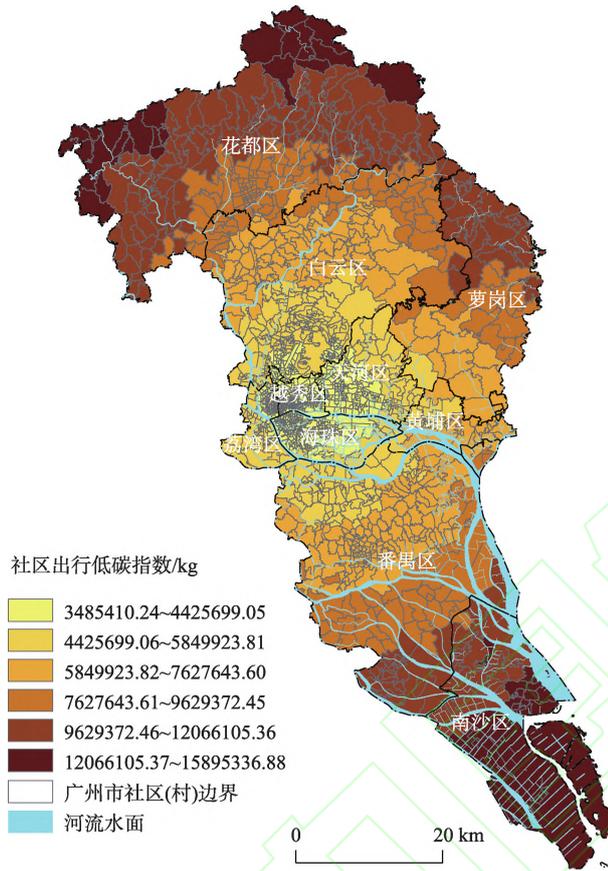


图6 广州市社区出行低碳指数空间格局
Fig.6 Spatial pattern of community travel lower carbon index (CTLCI) in Guangzhou

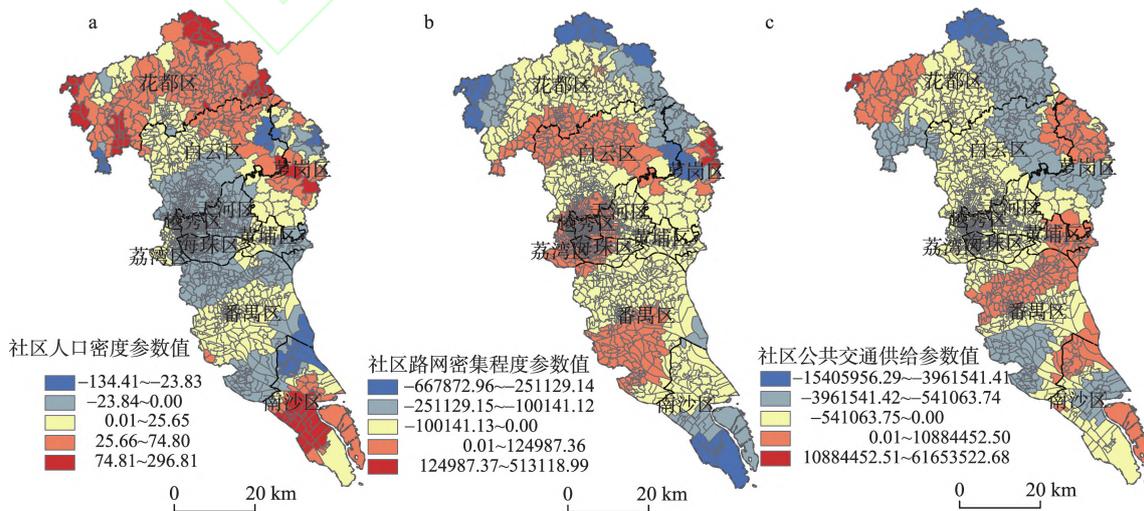


图7 社区人口密度(a)、公共交通供给水平(b)和路网密集程度(c)参数估计的空间分布图
Fig.7 Spatial variation of coefficients of independent variables in geographically weighted regression (GWR) modeling

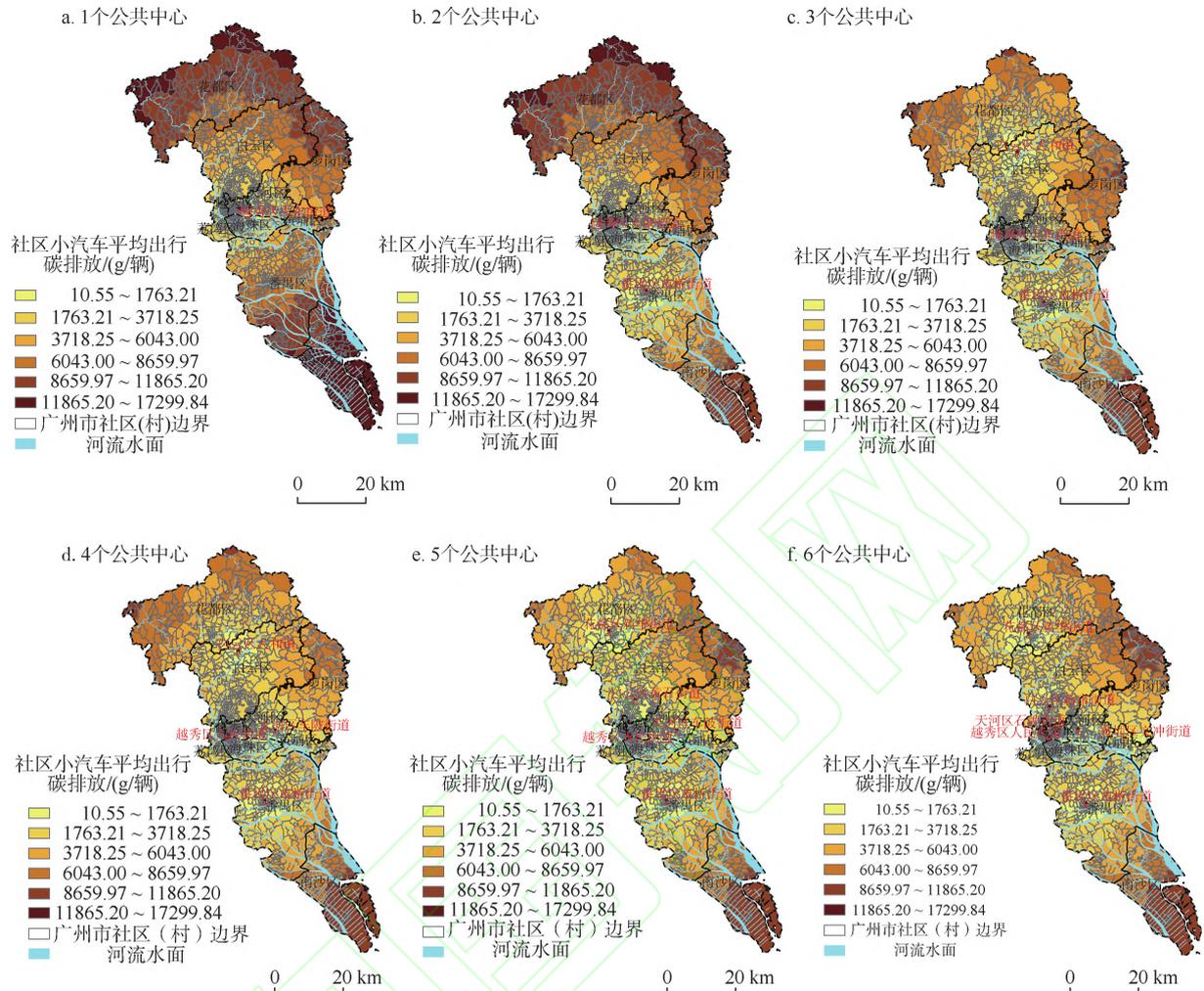


图8 广州市规划1~6个公共中心最优选址及其相应的小汽车出行碳排放空间格局

Fig. 8 Optimal location of public center(s) and corresponding spatial patterns of CO₂ emission from cars

合,通过合理的土地利用和交通规划、管理、服务手段引导居民低碳出行和智慧出行,必将成为解决城市交通问题的重要途径。因此,在智慧交通的体系架构下,交通地理领域未来研究的方向和重点为:ICT技术推动下的智慧“交通—出行”发展特征与空间差异研究,基于智慧化的城市交通可达性与出行效率研究,以及智慧化背景下城市交通—土地利用对出行碳排放的影响研究。

参考文献(References)

黄晓燕,张爽,曹小曙. 2013. 广州市地铁可达性时空演化及其对公交可达性的影响[J]. 地理科学进展, 33(8): 1078-1089. [Huang X Y, Zhang S, Cao X S. Spatial-temporal evolution of Guangzhou subway accessibility and its effects on the accessibility of public transportation services [J]. Progress in Geography, 33(8): 1078-1089.]

刘露. 2013. 城市交通低碳发展的智能化选择[J]. 中国科技论坛, (6): 105-108. [Liu L. 2013. Urban transportation intelligent options of low-carbon development[J]. Forum on Science and Technology in China, (6): 105-108.]

孙中亚,甄峰. 2013. 智慧城市研究与规划实践述评[J]. 规划师, 29(2): 32-36. [Sun Z Y, Zhen F. 2013. Intelligent city development and planning practice research review[J]. Planners, 29(2): 32-36.]

尹罡,甄峰,席广亮. 2014. 信息技术影响下城市休闲空间生产机理及特征演变研究[J]. 地理与地理信息科学, 30(6): 121-124. [Yin G, Zhen F, Xi G L. 2014. A study on production mechanism and evolution characteristics of urban leisure space affected by information and communication technologies[J]. Geography and Geo-Information Science, 30(6): 121-124.]

赵霖,甄峰,龙萨金. 2013. 信息技术对南京城市居民休闲活动与出行的影响[J]. 人文地理, 28(1): 56-61. [Zhao L,

- Zhen F, Long S J. The impacts of information technology on leisure activities and travel in Nanjing: a structural equations modelling approach[J]. *Human Geography*, 28(1): 56-61.]
- 赵渺希, 王世福, 李璐颖. 2014. 信息社会的城市空间策略: 智慧城市热潮的冷思考[J]. *城市规划*, 38(1): 91-96. [Zhao M X, Wang S F, Li L Y. 2014. Spatial strategy for the information society: rethinking smart city[J]. *City Planning Review*, 38(1): 91-96.]
- 赵鹏军, 李铠. 2014. 大数据方法对于缓解城市交通拥堵的作用的理论分析[J]. *现代城市研究*, (10): 25-30. [Zhao P J, Li K. 2014. A theoretical analysis for the applications of big-data methods for traffic congestion relief[J]. *Modern Urban Research*, (10): 25-30.]
- 甄峰, 秦萧. 2014. 智慧城市顶层设计总体框架研究[J]. *现代城市研究*, (10): 7-12. [Zhen F, Qin X. Study on comprehensive framework of top design of smart city[J]. *Modern Urban Research*, (10): 7-12.]
- 甄峰, 魏宗财, 杨山, 等. 2009. 信息技术对城市居民出行特征的影响: 以南京为例[J]. *地理研究*, 28(5): 1307-1317. [Zhen F, Wei Z C, Yang S, et al. 2009. The impact of information technology on the characteristics of urban resident travel: case of Nanjing[J]. *Geographical Research*, 28(5): 1307-1317.]
- Alexander B, Dijst M, Ettema D. 2010. Working from 9 to 6: an analysis of in-home and out-of-home working schedules[J]. *Transportation*, 37(3): 505-523.
- Avineri E, Prashker J N. 2006. The impact of travel time information on travelers' learning under uncertainty[J]. *Transportation*, 33(4): 393-408.
- Banister D. 2011. Cities, mobility and climate change[J]. *Journal of Transport Geography*, 19(6): 1538-1546.
- Banister D, Stead D. 2004. Impact of information and communications technology on transport[J]. *Transport Reviews*, 24(5): 611-632.
- Ben-Elia E, Alexander B, Hubers C, et al. 2014. Activity fragmentation, ICT and travel: an exploratory path analysis of spatiotemporal interrelationships[J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 68: 56-74.
- Ben-Elia E, Erev I, Shiftan Y. 2008. The combined effect of information and experience on drivers' route-choice behavior[J]. *Transportation*, 35(2): 165-177.
- Cao X J. 2012. The relationships between e-shopping and store shopping in the shopping process of search goods [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(7): 993-1002.
- Couclelis H. 2003. Housing and the new geography of accessibility in the information age[J]. *Open House International*, 28(4): 7-13.
- Dal Fiore F, Mokhtarian P L, Salomon I, et al. 2014. Nomads at last: a set of perspectives on how mobile technology may affect travel[J]. *Journal of Transport Geography*, 41: 97-106.
- De Graaff T, Rietveld P. 2007. Substitution between working at home and out-of-home: the role of ICT and commuting costs[J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(2): 142-160.
- Dulal H B, Brodnig G, Onoriose C G. 2011. Climate change mitigation in the transport sector through urban planning: a review[J]. *Habitat International*, 35(3): 494-500.
- Geerlings H, Stead D. 2003. The integration of land use planning, transport and environment in European policy and research[J]. *Transport policy*, 10(3): 187-196.
- Geurs K T, Van Wee B. 2004. Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions[J]. *Journal of Transport geography*, 12(2): 127-140.
- Giffinger R, Fertner C, Kramar H, et al. 2007. Smart cities-Ranking of European medium-sized cities[R]. Vienna, Austria: Vienna University of Technology.
- Haddad H, Lyons G, Chatterjee K. 2009. An examination of determinants influencing the desire for and frequency of part-day and whole-day homeworking[J]. *Journal of Transport Geography*, 17(2): 124-133.
- Hamer R, Kroes E, Van Oostroom H. 1991. Teleworking in the Netherlands: an evaluation of changes in travel behaviour[J]. *Transportation*, 18(4): 365-382.
- Hancke G P, Hancke Jr G P. 2012. The role of advanced sensing in smart cities[J]. *Sensors*, 13(1): 393-425.
- Handy S, Weston L, Mokhtarian P L. 2005. Driving by choice or necessity [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 39(2): 183-203.
- Hanson S, Giuliano G. 2004. The geography of urban transportation[M]. New York: Guilford Press.
- Harvey A S, Taylor M E. 2000. Activity settings and travel behaviour: a social contact perspective[J]. *Transportation*, 27(1): 53-73.
- Hjorthol R, Gripsrud M. 2009. Home as a communication hub: the domestic use of ICT[J]. *Journal of Transport Geography*, 17(2): 115-123.
- Hung J C. 2012. The smart-travel system: utilising cloud services to aid traveller with personalised requirement[J]. *International Journal of Web and Grid Services*, 8(3): 279-303.
- IEA statistics. 2013. CO₂ emissions from fuel combustion: highlights[EB/OL]. 2013[2015-04-10]. <http://www.iea>

- org/termsandconditionsuseandcopyright/.
- Jain J, Lyons G. 2008. The gift of travel time[J]. *Journal of Transport Geography*, 16(2): 81-89.
- Kenyon S, Lyons G. 2003. Social participation, personal travel and internet use[C]//Proceedings of the 10th international conference on travel behaviour research. Lucerne, Switzerland: IATBR: 10-15.
- Khansari N, Mostashari A, Mansouri M. 2014. Impacting sustainable behavior and planning in smart city[J]. *International Journal of Sustainable Land Use and Urban Planning*, 1 (2): 46-61.
- Khattak A J, Yim Y, Stalker L. 1999. Does travel information influence commuter and noncommuter behavior: results from the San Francisco Bay Area travinfo project[J]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1694(1): 48-58.
- Laurier E. 2002. The region as a socio-technical accomplishment of mobile workers[M]//Brown B, Green N, Harper R. *Wireless world*. London, UK: Springer London: 46-61.
- Line T, Jain J, Lyons G. 2011. The role of ICTs in everyday mobile lives[J]. *Journal of Transport Geography*, 19(6): 1490-1499.
- Lyons G, Urry J. 2005. Travel time use in the information age [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 39(2): 257-276.
- Mascheroni G. 2007. Global nomads' network and mobile sociality: exploring new media uses on the move[J]. *Information, Community and Society*, 10(4): 527-546.
- Mingardo G. 2008. Cities and innovative urban transport policies[J]. *Innovation: Management, Policy & Practice*, 10 (2-3): 269-281.
- Mokhtaria P L. 1998. A synthetic approach to estimating the impacts of telecommuting on travel[J]. *Urban studies*, 35 (2): 215-241.
- Mokhtarian P L. 2002. Telecommunications and travel: the case for complementarity[J]. *Journal of Industrial Ecology*, 6(2): 43-57.
- Mokhtarian P L, Salomon I, Choo S. 2005. Measuring the Measurable: why can't we agree on the Number of Telecommuters in the US[J]. *Quality and Quantity*, 39 (4): 423-452.
- Mokhtarian P. 2009. If telecommunication is such a good substitute for travel, why does congestion continue to get worse[J]. *Transportation Letters*, 1 (1): 1-17.
- Mostashari A, Arnold F, Maurer M, et al. 2011. Citizens as sensors: the cognitive city paradigm[C]//Emerging Technologies for a Smarter World (CEWIT), 2011 8th International Conference & Expo on. IEEE: 1-5.
- Nam T, Pardo T. 2011. Smart city as urban innovation: focusing on management, policy, and context[C]//Proceedings of the 5th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance. ACM: 185-194.
- Nasar J, Hecht P, Wener R. 2007. 'Call if you have trouble': mobile phones and safety among college students[J]. *International Journal of Urban and Regional Research*, 31 (4): 863-873.
- Ory D T, Mokhtarian P L. 2006. Which came first, the telecommuting or the residential relocation? an empirical analysis of causality[J]. *Urban Geography*, 27(7): 590-609.
- Pendyala R M, Goulias K G, Kitamura R. 1991. Impact of telecommuting on spatial and temporal patterns of household travel[J]. *Transportation*, 18(4): 383-409.
- Robinson J P, Martin S. 2010. IT use and declining social capital? More cold water from the General Social Survey (GSS) and the American Time-Use Survey (ATUS)[J]. *Social Science Computer Review*, 28(1): 45-63.
- Salomon I. 1986. Telecommunications and travel relationships: a review[J]. *Transportation Research Part A: General*, 20(3): 223-238.
- Schwanen T, Kwan M P. 2008. The Internet, mobile phone and space-time constraints[J]. *Geoforum*, 39(3): 1362-1377.
- Vaa T, Penttinen M, Spyropoulou I. 2007. Intelligent transport systems and effects on road traffic accidents: state of the art[J]. *IET intelligent transport systems*, 1(2): 81-88.
- Van Wee B, Geurs K, Chorus C. 2013. Information, communication, travel behavior and accessibility[J]. *Journal of Transport and Land Use*, 6(3): 1-16.
- Vana L N P, Bhat C R, Mokhtarian P. 2007. On modeling the choices of work-hour arrangement, location, and frequency of telecommuting[D]. Austin, American: University of Texas at Austin.
- Verplanken B, Knippenberg V A, Aarts H. 1997. Habit, information acquisition, and the process of making travel mode choices[J]. *European journal of social psychology*, 27(5): 539-560.
- Vlassenroot S, Bellens R, Verstraeten D, et al. 2012. The MOVE project: smartphones for smart travel-behaviour data analyses[C]//19th ITS world congress. Vienna, Austria: ITS America: 12.
- White N R, White P B. 2007. Home and away: tourists in a connected world[J]. *Annals of Tourism Research*, 34(1): 88-104.
- Yeraguntla A, Bhat C R. 2005. Classification taxonomy and empirical analysis of work arrangements[J]. *Transporta-*

tion Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1926(1): 233-241.
Yigitcanlar T, Fabian L, Coiacetto E. 2008. Challenges to ur-

ban transport sustainability and smart transport in a tourist city: the Gold Coast[J]. The Open Transportation Journal, 2: 29-46.

Accessibility and CO₂ emissions from travel of smart transportation: theory and empirical studies

CAO Xiaoshu^{1,2}, YANG Wenyue¹, HUANG Xiaoyan²

(1. School of Geography Science and Planning, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China;
2. Institute of Transport Geography and Spatial Planning, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China)

Abstract: The development of information and communication technologies (ICT) is promoting the construction of smart city, influencing urban transport and residents travel. Urban transport and residents travel are interdependent. Urban transport provides infrastructure services for residents travel, whereas the latter facilitates the development of urban transport through its feedbacks. Relative to urban transport, residents travel is subjective choices of individuals. Smart transportation and travel will improve accessibility, which includes place-based accessibility and individual accessibility. On the one hand, the improvement of place-based accessibility may change urban traffic environment. On the other hand, the improvement of individual-based accessibility may alter residents travel demand. These may change urban land use that in turn would have an impact on urban traffic environment and residents travel demand. Due to the complex relations of smart transport, accessibility, and travel and its related emissions, whether improved accessibility of smart transportation would increase or decrease CO₂ emissions from travel is hard to determine. A critical issue for smart transportation in China is to ease traffic congestion and ensure the effective operation of urban transport system, in the meantime, to enhance the efficiency of travel and reduce CO₂ emissions through improving accessibility. Therefore, this article proposes a theoretical framework for the study of accessibility and CO₂ emissions from travel of smart transportation, and presents some empirical studies by taking the city of Guangzhou as a case, in order to provide a reference for future research.

Key words: smart transportation; information and communication technologies (ICT); accessibility; travel; CO₂ emissions