

非机动车交通方式服务水平探讨 ——应对步行和自行车服务水平评价问题

Zohreh Asadi-Shekari¹, Mehdi Moeinaddini¹, Muhammad Zaly-Shah¹ 著, 钮志强² 译

(1.马来西亚理工大学建筑环境学院城市与区域规划系, 马来西亚 柔佛州士姑来 81310; 2.中国城市规划设计研究院, 北京 100037)

摘要: 关于机动车运行状况的评价研究已有很多, 相比之下, 针对处于弱势的非机动交通方式使用者的研究非常有限, 例如行人和骑车者, 特别是老人、小孩和残疾人。鉴于此, 通过综述道路运行评价方面既有研究, 识别出表征非机动车出行状况的主要指标为自行车服务水平和步行服务水平。现有研究中已使用各种不同的方法来评价服务水平, 主要存在以下不足之处: 首先, 行人和骑车者被等同于机动车一样看待; 其次, 大多数方法较复杂且耗时长, 利用其构建道路设计流程也相当困难; 此外, 这些方法仅适用于有限数量的步行和自行车设施使用者, 对不同年龄、不同体能的更广泛人群来说不一定有效。针对该现状, 主要讨论步行和自行车服务水平研究面临的挑战, 并尝试为今后的研究引入新的目标与途径, 以完善上述不足。

关键词: 道路评价; 非机动车交通方式; 步行服务水平; 自行车服务水平; 评价模型; 道路设施

Non-motorised Level of Service: Addressing Challenges in Pedestrian and Bicycle Level of Service

Written by Zohreh Asadi-Shekari¹, Mehdi Moeinaddini¹, Muhammad Zaly-Shah¹, Translated by Niu Zhiqiang²

(1.Department of Urban and Regional Planning, Faculty of Built Environment, Universiti Teknologi Malaysia, Skudai 81310, Malaysia; 2.China Academy of Urban Planning & Design, Beijing 100037, China)

Abstract: Motorised vehicle conditions have been evaluated by many researchers. In contrast, there are very limited studies on vulnerable and non-motorised users, such as cyclists and pedestrians, specifically children, the elderly and the disabled. Thus, this paper reviews prominent studies on street evaluations to identify effective indicators for non-motorised trips. The street condition for these trips is measured by the bicycle level of service (BLOS) and the pedestrian level of service (PLOS). In previous studies, different methods have been introduced for PLOS and BLOS. However, these methods have several major shortcomings. First, pedestrians and cyclists are assumed to be users who can share street facilities with motorised vehicles and thus are considered equivalent to cars. Second, the majority of these methods are complicated and time-consuming, and it is difficult to connect them to a design process. Furthermore, these methods support only a limited number of walking and cycling facilities; therefore, they may not be valid for a wide range of pedestrians and cyclists with a diverse variety of abilities and ages. This study discusses the challenges in the BLOS and PLOS research and attempts to introduce new objectives for further studies in this field to eliminate the aforementioned shortcomings.

Keywords: street evaluation; non-motorised; pedestrian level of service; bicycle level of service; evaluation model; street facilities

收稿日期: 2014-01-19

作者简介: Zohreh Asadi-Shekari(1981—), 女, 伊朗人, 博士, 主要研究方向: 可持续交通与城市规划、城市道路网络、街道与共享空间、步行和自行车交通设施规划设计、步行和自行车交通安全。E-mail: asadi41360@gmail.com

译者简介: 钮志强(1986—), 男, 山东潍坊人, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 城市交通规划、交通工程。E-mail: nzq8633_co@163.com

文章来源: Transport Reviews, 2013年第33卷第2期166-194页, Taylor & Francis Ltd.(http://www.tandfonline.com)版权所有, 文章链接: http://dx.doi.org/10.1080/01441647.2013.775613。

0 引言

当前由于机动车过度使用导致社会、经济和环境问题频发,交通工程师以倡导绿色交通为己任,例如步行和自行车^[1-2]。绿色出行有益于减肥和提升生活质量^[3]。道路是城市空间的重要组成部分,对践行可持续交通规划必不可少,因此道路设计应满足包括行人和骑车者在内所有使用者的需求^[4]。相应地,步行和自行车应纳入道路规划设计的范畴^[5],以便对道路设施进行必要的改善,使行人和骑车者更加安全和舒适。多角度和多层面的设计需要有能够评估并增强可靠性的工具和方法,所以道路评价和设计方法的系统运用是一项极富挑战性的工作。因此,引入一种能够有效评估包括步行和自行车在内的道路服务水平方法非常重要。

由于设计决策会对道路使用者产生影响,因此设计者需收集有关使用者尽可能多的信息。认识到为某一群体所做的道路设计可能会降低或加强其他群体的使用效能,所以考虑不同群体的多样化需求也很重要。人行道和自行车道的设计应为大多数使用者创造便利^[6],而且人行道应该富有吸引力、连续、具备良好铺装和优美绿化,另外建筑立面和沿线景观也能够提升行人和骑车者的体验^[7]。

本文综述相关研究,以识别影响非机动车出行的关键指标,同时明确目前将步行和自行车考虑在内的道路评价方法的评价原理,分析不同评价方法的优缺点以便提出更好的评价方法。

1 道路评价

大部分研究都是基于服务水平对道路进

行评价,服务水平一般被认为是表征当前设施、情景、设备和基础设施好坏情况的标准,也包括服务质量^[8]。多种服务水平模型被提出,用以评估步行、机动车、自行车和公共交通方式的需求。典型代表是将使用者的喜好以某种等级划分,例如服务水平一般划分为A~F六个级别。根据研究人员的定义,A级服务水平是最好的或最受欢迎的。有良好服务水平等级的道路能够为使用者提供安全可靠的基础设施,反之F级服务水平表明道路不能达到为使用者提供最低限度服务的要求。很多道路评价研究主要基于机动车展开^[8-17],缺少考虑步行和自行车多样化需求的类似研究,因此,本文主要讨论既有的步行和自行车服务水平研究成果。

1.1 步行服务水平模型

与机动车服务水平相比,计算步行服务水平更加复杂^[18]。为了有效评估行人步行状况,最常见的做法是使用步行服务水平评价。为了解最新进展,对既有研究进行综述非常重要,因此,本文回顾在过去40年中步行服务水平评价的主要方法和实践,为当前研究提供参照和对比。同时通过总结优缺点为确定合理的步行服务水平评价方法提供基础,并指明进一步研究的新方向。

目前有两种常用的步行服务水平评价模型:第一种是基于通行能力的模型,第二种是基于道路特征的模型,后者更多地考虑步行设施和环境因素(见图1),还有一些研究是综合两种模型联合开展。文献[19]中讨论了一个基于人行道通行能力和行人流量的步行服务水平模型,该模型是评价步行服务水平的第一次尝试。基于行人占有面积的大小,文献[20]提出针对人行道设计的服务水

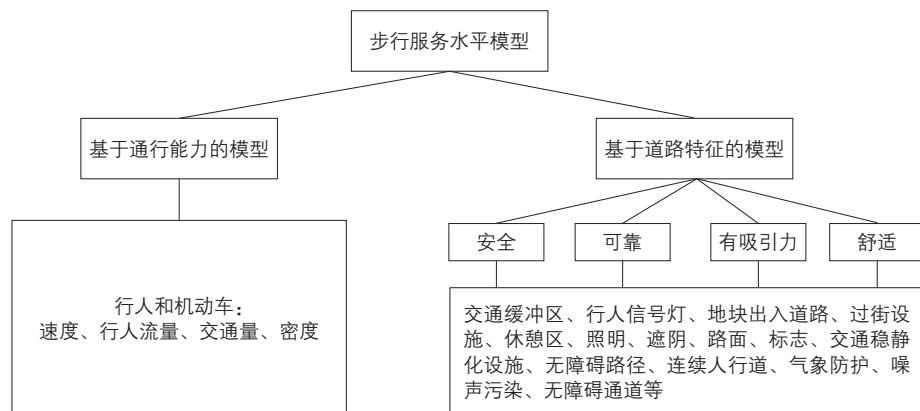


图1 步行服务水平评价的一般方法

Fig.1 Common approaches for evaluating PLOS

平模型, 此项研究利用文献[19]涉及的服务水平指标作为设计标准。在文献[9]中, 通行能力、流量和速度是步行服务水平评价的主要指标。在亚洲发展中国家, 大部分的步行设施设计指南都是以美国《道路通行能力手册》(Highway Capacity Manual, HCM)为依据^[21]。由于HCM(2000)将机动车运行特征和规律简单套用于步行研究, 很多学者对其开展批评^[4], 同时此方法基于美国社会经济文化背景构建, 缺少全球层面的普适性^[22]。在此类模型中, 没有对一些重要的与步行环境质量紧密相关的因素开展彻底的调查研究, 例如恰当的评判标准、设施设备和街道家具状况等。

对步行设施的评价还有许多其他方法。例如, 文献[23]中开展环境因素对行人设施影响的研究, 其他一些研究者通过将几个重要的影响变量合并到步行服务水平的计算中来扩展研究模型。文献[24]提出6级步行服务水平等级: A~F, 步行最舒适的道路用A级表示。在此定性模型中, 舒适、便利、有吸引力、安全、连续、一致性是主要的评价指标。基于相同的标准, 文献[25]提出一个定性评价方法, 将安全和防护视为最重要的指标。在环境因素的基础上, 文献[26]也提出一项服务水平理论, 认为在步行环境中具有吸引力的节点数量也是影响服务水平的重要因素, 包括购物中心、餐厅等。

文献[27]对步行服务水平评价展开了全面综述, 列举若干对步行服务水平有显著影响的要素, 例如舒适、便利、安全、经济等。文献[18]提到的方法重点关注路段状况, 主要指标有人行道宽度、人行道连续率、机动车速度、机动车流量、车道总数以及人行道与车行道横向间隔等, 文献[28]利用相同的指标评价步行服务水平。文献[29]则将道路沿线出入口数量、交通量(自行车、行人和机动车), 以及机动车道与人行道距离等指标作为主要影响因素。

如何选择有效因素对步行服务水平进行评价有多种途径, 既有研究主要关注行人流量、行人数量和人行道通行能力^[19, 30-32]。文献[33]认为不同行人流的流量、速度和密度关系以及行人流运行特征是影响服务水平的重要因素, 香港已将这种方法用作指导编制设计指南。也有几种方法将安全因素纳入考虑范畴, 例如交通安全岛、机动车流量和速度^[18, 28, 34]。另外包括行人照明范围、遮阴绿

化和街道家具等在内的便利性设施也有所涉及^[35-37]。尽管这些研究的目的是给出评价步行服务水平的有效因素, 但为行人考虑, 也需要在街道上设置一些特别的行人设施, 例如盲道(tactile pavement)、轮椅友好设施、饮水机等。

文献[34]提出基于4项主要指标的步行服务水平模型: 行人通行区宽度、行人通行区侧向安全净空、外侧车道交通量、外侧车道机动车速度。此外还包括3个二级指标: 步行区冲突点数量、重型车流量和道路交叉口等待时间。此方法给出的推荐性设施设计指标(主要目的是使道路设计符合1990年的美国残疾人法案要求)缺少精确的设计指引, 对残疾人缺少足够的可靠评价手段, 主要依靠使用者的主观判断。

基于物理、生理和心理学参数, 文献[37]提出另一个步行服务水平模型。此模型从满足行人舒适性的微观细节出发, 范围包括老年人、残疾人和小孩, 但是仅包含不同街道评价指标的较少数量的标准和细节, 并未给出关键设施的衡量标准(例如供儿童使用的厕所和户外游戏场以及残疾人使用的盲道), 这一评价方法不够完善, 主要考虑连续的步行道、街旁长椅、公共设施、绿色交通方式和减少道路机动车数量(以减轻空气污染)等要素以提供舒适的步行环境。文献[38]提出针对小孩的行人友好度评价指标, 对其从家到学校的路程进行评价, 主要包括交叉口指标和路段指标, 但该模型缺少舒适度因素, 例如户外游乐场地、遮阴绿化和公园等。

表1总结了最主要的关于步行服务水平的研究成果, 本文得出以下主要结论: 首先, 所有的步行服务水平模型都致力于行人的可达性和安全性评判, 却忽略了老人、小孩等弱势群体在微观细节层面的特殊需求。其次, 部分模型仅考虑健全人士一般性需求而缺少对残疾人的关注, 缺少针对残疾人的适宜模型^[45]。因此, 构建广泛和可兼容的道路评价模型面临的主要挑战在于提出一个兼顾普通人群(包括成年人、小孩和老人)和残疾人需求的步行服务水平模型。

由文献[46]可知, 大部分欧盟国家60岁以上人口所占比例将会快速增长。在全球范围内该部分人口所占比例将由2010年7.6%上升至2015年8.2%^[47]。同样在日本、美国 and 德国等发达国家, 人口老龄化趋势也增长

表1 不同步行服务水平模型汇总

Tab.1 Summary of different PLOS models

文献(年份)	指标	数据来源	对象	重要指标	方法	服务水平等级
文献[19](1971)	服务水平	调查	路段	行人占用面积, 移动速度, 交通量	线性关系	A~F
文献[20](1989)	服务水平	调查和视频	路段	行走速度, 行人密度	线性关系	A~F
文献[34](1994)	服务水平		路段	4个基本变量(行人通行区宽度、行人通行区侧向安全净空、外侧车道交通量、外侧车道机动车速度), 3个二级指标(步行区冲突点数量、重型车流量和交叉口等待时间)	打分法	
文献[35](1996)	步行服务水平	统计	路段	行人设施类型(主要设施类型、人行道宽度、路外或其他平行可替代设施), 冲突(行人信号延误、车行道数量、减少转向冲突措施、行驶速度、交叉口宽度和安全岛), 休闲设施优先权(长凳或行人照明、缓冲区和遮阳), 机动车服务水平, 维护, 多方式支撑	打分法	A~F
文献[39](1999)	步行服务水平	观测	路段	围墙, 道路网络复杂度, 建筑物连廊, 空间复杂度, 开敞度, 减速带, 遮阳棚, 遮阳棚及其附属设施	打分法	A~F
文献[40](2000)	步行服务水平	调查	交叉口	中间分隔带开口数量, 信号相位, 行人报警装置, 人行横道, 可靠性, 无障碍通道, 交叉口限速	仿真与打分法	A~E
文献[41](2001)	步行服务水平	统计	路段	设计要素(道路宽度、路面质量、障碍物、过街便利性和辅助设施), 位置要素(连通性、步行环境、与机动车潜在冲突), 行人要素(行人流量、混行道路使用者、行人安全)	打分法	A~E
文献[18](2001)	步行服务水平	观测	路段	横向隔离元素(外侧车道宽度、路肩或自行车道宽度、沿街停车影响率、沿街停车路段百分比、缓冲隔离护栏率、缓冲区宽度、人行道连续率、人行道宽度), 机动车流量(每15 min 平均交通量和每小时交通量), 机动车平均速度	逐步多元回归分析	A~F
文献[37](2002)	服务水平(宏观和微观量水平(微观)	统计	路段	物理方面(充足的人行道、连续的人行道、弱势群体便利性、无障碍人行道、路面行走舒适度、座椅、极端天气防护措施), 心理方面(维持正常步行速度的体力、参与各项徒步活动的能力), 生理方面(噪声和污染)	打分法	A~F
文献[42](2005)	整体步行服务水平	调查	路段	人行道宽度, 与机动车交通的侧向间距, 障碍物, 人流量, 行人与自行车交互	回归分析	
文献[43](2005)	步行服务水平	调查	交叉口	转弯车辆数量, 信号控制延误, 行人与自行车交互	多元逐步回归分析	
文献[44](2006)	步行服务水平	观测	路段和交叉口	交叉口冲突区域总宽度、临近车道每15 min 交通量	皮尔逊相关分析和逐步回归分析	A~F
文献[36](2007)	步行服务水平	问卷调查和视频录像	路段	步行区类型(沥青、混凝土、自行车道、道路路肩、车行道), 沿线土地利用(居住、商业、混合、乡村田地、乡村树林), 机动车平均速度, 机动车流量, 行人流量, 自行车和摩托车数量, 缓冲区, 停放的机动车数量, 中间分隔带, 步行区域宽度, 车行道数量和绿化遮荫	多元逻辑回归分析	A~F
文献[29](2007)	步行服务水平	调查	路段	5 min 通过的自行车量, 5 min 通过的行人量, 5 min 通过的机动车数量(pecu), 沿线道路开口数量, 人行道与车行道距离	逐步回归分析	A~F
文献[45](2008)	步行服务水平	调查和视频剪辑	路段和交叉口	人行道宽度, 行人流量, 外侧车道宽度, 路肩宽度, 沿街停车, 隔离带, 缓冲区宽度, 车行道数量, 机动车速度	回归分析	A~F
文献[28](2009)	步行服务水平	观测	路段	外侧车道宽度, 路肩或自行车通道宽度, 沿街停车影响率, 沿街停车路段百分比, 缓冲区隔离率, 缓冲区宽度, 人行道连续率, 人行道宽度, 高峰期每15 min 平均交通量, 每小时交通量, 机动车平均速度	逐步回归分析	A~F
文献[5](2011)	步行服务水平	观测	路段和交叉口	减缓机动车速度措施, 缓冲区和隔离带(路缘石和设施带), 较少的车行道, 较短的过街距离(路缘石延伸), 过街安全岛, 公共空间(咖啡馆), 景观和绿化, 设施(消防栓), 设备(垃圾桶), 人行道路面, 标线(斑马线), 行人过街安全岛, 两侧人行道, 提前停止线, 人行道宽度, 车道, 灯杆, 信号和灯箱	打分法	A~F

迅速^[48]，图2显示了这些国家老龄化人口比例的预计增幅。

对老年人来说，生活在舒适的环境中会令他们更健康，因此在合适的条件下他们更愿意进行户外活动^[50]。统计数据表明由于人行道不足、街道照明欠佳、两侧步行道缺失以及其他因素导致老年人的人身安全不容乐观^[51]。尽管总体设计的基本价值观包括了要为所有使用者规划和考虑的理念，但老龄化趋势的明显加速并未引起足够重视，尤其是在具体设计过程中。

发展中国家青少年所占比例也在上升，伊朗26.1%^[52]和马来西亚29.6%^[53]的人口年龄在14岁以下，而在印度尼西亚青少年人口数量超过0.76亿人^[54]。道路是青少年玩耍的主要场所^[55]，根据文献^[56]的统计，46%的青少年主要在道路上玩耍，仅12%的青少年有专门的游玩场所。出于安全和健康考虑，很多孩子都会远离街道^[55]。因此，对设计人员来说设计安全、对青少年友好的道路非常重要。

统计表明，道路上青少年死亡人数的下降，不是因为更加安全可靠的设施投入使用，而相反的是在道路上玩耍的孩子总数在下降^[55]，使用小汽车接送孩子上下学比过去10年更加普遍^[57-58]。因此青少年的独立性也在下降^[59]，同时他们肥胖比例的增加与缺少体育活动密切相关^[38, 60-61]。此外，步行有助于孩子发现、探索周边环境并促使其自信心和个性提升^[62]。步行和骑车可增强体质^[63]，

为了孩子的健康，有必要尽可能多地为孩子提供接触户外和步行的机会^[55]。

上文提出了一些在提升老年人和儿童步行体验方面的措施，包括经济、政治和环境效益等。对于提高包括老年人在内的所有年龄群组出行者的便利性来说，改善步行设施是最重要的节省成本的方式^[64]。对老年人而言，能够没有困难的通过步行方式到达目的地很重要，提供足够数量的设施将会鼓励他们步行^[65]。有几项因素需要考虑以使老人和小孩有良好的步行体验，主要包括：缩窄机动车道宽度^[66]，增加长椅以及提供报纸和信息亭以外的休憩区、厕所^[50]、公园、游玩空间^[67]和自动饮水设备^[68]等。

全球约有6.5亿残疾人^[69]，世界银行判断占人口总数约20%的最贫困人口都存在不同程度的残疾^[69]。2003年，澳大利亚统计局(Australian Bureau of Statistics)估计约20%的澳大利亚人口存在残疾^[70]；英国约有1000万残疾人^[71]；每5个美国人中就有1个是残疾人^[72]。因此，设计更具包容性的街道对此类人群来说很有必要，包容性街道可以提供更多的可进入空间，帮助弱势群体远离孤独和寂寞。为残疾人进行创新性设计是一个复杂的过程，因为这类群体会遇到其他交通方式的各种挑战。因此，残疾人的处境应当被规划师、设计师重视，尽力排除有可能导致他们不愿意沿道路步行的各种障碍。

对残疾人来说，在城区的行动障碍与其身体状况和配套设施缺乏有关^[73]。根据文献

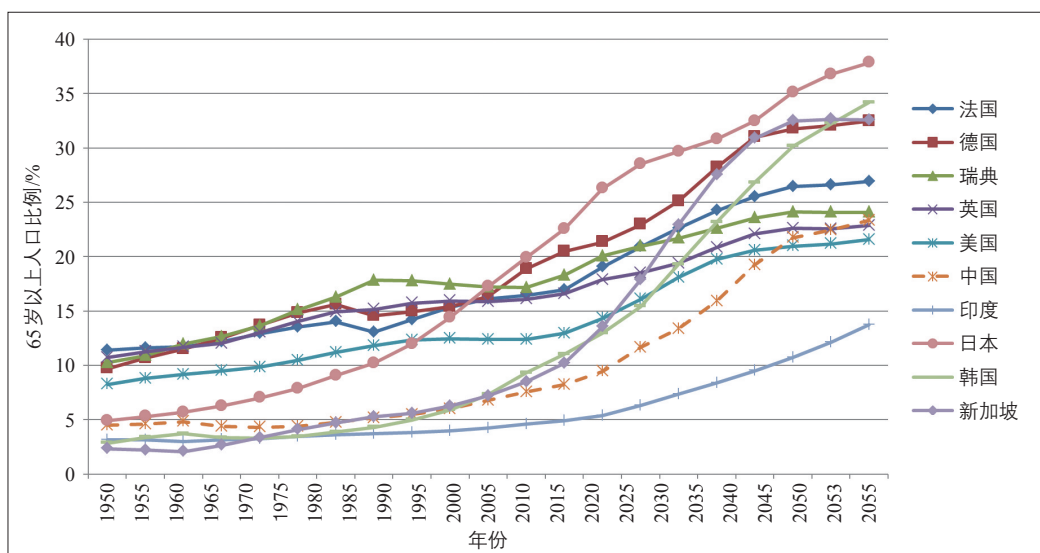


图2 老年人口(65岁以上)比例的增长情况

Fig.2 Growth in the proportion of the elderly population (over 65) compared to the total

数据来源：文献^[49]。

[6]中的研究,为鼓励残疾人步行,应该构建专门的设施设备,例如文献[74]提到在交叉口处设置路缘石缓坡和行人信号灯是必要的,另外文献[6]中还提到平整的人行道路面铺装和有无障碍斜坡的人行道是适于步行的有效要素。总体来说,目前的步行服务水平研究中关于提高残疾人步行环境方面仅提出有限数量的影响指标。在部分成熟的设计指南中提出了一些关键要素,包括人行天桥出入口的电梯或升降梯^[75],适于轮椅高度的喷嘴式饮水机^[76],引导和警示盲道^[75]以及公共厕所^[77]。充足的、高质量的辅助设施可提高残疾人的步行体验,遗憾的是,包括伊朗和马来西亚在内的发展中国家,由于类似设施的缺失,残疾人最低限度的步行需求都难以满足。

通过在不同环境中运用和发展,步行服务水平模型不断被优化,然而其效果还不适宜做推广使用^[22]。既有研究对能够在微观层面为所有出行者提供舒适、安全、可靠和方便的步行环境的细节标准和设施设备重视不足,只有少数研究提出了专门为老人、小孩和残疾人服务的设施(见表1),例如饮水设备、盲道、路缘石缓坡和厕所等。当前的评价方法只适用于少数道路环境,可能并不适用于所有情景,需要一个适当而且标准化的步行服务水平模型来评估步行环境,且应适用于大部分行人。

为收集步行服务水平模型的相关数据,大部分的研究采用问卷调查、直接观察和视频录像等手段。仿真^[40]、回归分析^[18, 36, 44]和打分法^[34-35, 41]是比较常用的步行服务水平分析方法(见图3)。文献[35]提出利用打分法进行步行服务水平评价的模型,该模型比较适用于道路分级情况,但因子权重取值比较随意,且未考虑多种场景下的不同分组差异,因此中间等级的因子权重难以确定。格林模型(Gallin's model)^[41]是另一种使用打分法进行步行服务水平评价的模型,该模型中的因子权重也是依靠主观判断,因此其结果带有主观色彩。文献[35, 41]中使用的打分法可以比较容易地进行道路服务水平评价,同时可以通过规避偏见和增加因子来改善和优化该模型,以便在未来的研究中避免既有缺点。

1.2 自行车服务水平模型

由于交通系统带来巨大能源消耗,交通

出行已严重影响可持续发展^[78]。与机动车出行相比,绿色交通方式的外部影响较小,其中最有效的就是自行车出行^[79-80]。自行车出行能够增加体育运动、减少外部影响,例如交通拥堵、环境污染等这些小汽车所固有的外部效应^[81]。

尽管步行和自行车出行有着良好的社会和健康效益,也一直被推崇,但实际上还是有一定危险性,当前必要设施的缺乏导致不同类型的人身伤害甚至死亡,因此人们需要安全的步行和自行车交通环境^[1]。必要设施设备的缺失会导致自行车使用率的下降,根据文献[82]的统计,只有约5%的自行车出行有充足的通行空间(如自行车道等)。另外,自行车不只是被限定在道路上的交通方式^[83],它可以在商业区、街巷和学校周边发挥作用,因此为了在不同区域内提供安全的骑行环境,独立的通道、专用路和自行车停车服务非常必要。

既有研究已提出不同的设施要求以鼓励人们将自行车出行作为首选^[84-87]。最主要的骑行影响因素是有效、高质量、多形态的设施^[88],文献[88]中提到相比节省出行时耗来说,独立于道路外的自行车专用路更具吸引力。文献[84]对自行车通勤率与自行车设施之间的关系进行调查,文献[89]针对自行车道对出行方式选择的影响进行评估。高密度的自行车道与降低每户机动车出行距离有显著的相关性^[90-91],当具备专门设施条件,例如存在独立于机动车交通流之外的自行车道、多用途的绿道和安静的街巷道路时,人们更加喜欢使用自行车出行^[92]。尽管一些研究中考虑到自行车道等基础设施,但仍缺乏强调设施重要性或给出这些要素对自行车服务水平产生何种影响的微观层面研究。

评价自行车适应性有很多方法,例如自行车安全指数等级(Bicycle Safety Index Rating, BSIR)^[93],自行车风险水平(bicycle street level)^[94],路况指标体系(Roadway Condition Index, RCI)^[95],自行车适应性评级^[96],自行车服务水平^[34-36, 97],自行车适应性评分^[98]以及自行车兼容性指标(Bicycle Compatibility Index, BCI)^[99-100]。自行车服务水平是一项重要的评价方法,广泛应用于自行车交通规划、设计、监控、优先权划定等策略制定方面,大部分设计人员已开始利用自行车服务水平来评价道路的舒适性和安全性。文献

[93]提出的BSIR是主要的评估道路因素对自行车影响的数学模型,该模型从优秀到不合格有4个等级。然而一些影响舒适和安全的条件或变量(如标志标线、停车设施、无障碍斜坡等)并未纳入考虑,而且分类标准主要依据主观判断,降低了该模型的可靠性。

1991年设计人员将BSIR模型的一部分应用于布劳沃德郡(Broward County)的道路评价实践,他们利用道路分段指标(Roadway Segment Index, RSI),但将其改名为RCI。尽管未对该模型做出其他改变,但在某些变量和参数(如区位、路面条件)方面进行了修正。此后RCI模型也被优化并作为一个新的模型应用于戴德郡(Dade County)道路评价中,进行的调整主要包括增加重型车辆百分比指标,简化区位和路面条件指标^[101]。此外,文献[96]利用RSI模型作为唯一的方法来确定自行车适应性等级,但将交叉口评价排除在外。文献[102]中将布劳沃德郡的RCI模型进行优化以评价城市不同区域的自行车服务水平,包含从优秀到很差5个等级。

文献[94]对不同等级下的自行车交通系统设施设计进行重点讨论,根据骑车者的意愿,从“安全街道”到“不适宜骑车”分为5个等级,基本变量包括高峰小时机动车流量、外侧车道速度、路缘石宽度,二级指标包括每英里的道路开口数量、停车周转率和重型车辆比例(由于经费问题,二级指标并未纳入分析)。该模型由于缺少自行车道数和路面条件等一些显而易见的指标而饱受争议^[103]。文献[94]提出的自行车风险水平模型,被认为是一个简单模型,因为仅包括3个指标(高峰小时机动车流量,外侧车道速度和路缘石宽度)而且很容易解释。

有几项国家标准也被用于对自行车骑行环境进行评价,其中主要是利用BCI模型,该模型分为6个等级、9个变量,表征不同交通环境下自行车骑行的便利性和安全性。文献[99-100]中首次提出该模型,文献[104]对其进行优化。北卡罗来纳州道路交通安全研究中心(Highway Safety Research Centre)也利用该模型为美国联邦公路管理局(Federal Highway Administration)服务,然而该模型缺少几项重要指标,例如照明、停车设施、标志和标线等。

文献[97]提出评价自行车骑行环境和设施的另一种方法,主要考虑自行车流量、机动车道宽度、路面铺装、机动车速度、自行

车道宽度、路内停车和总车道数等指标。尽管该模型的重要性得到认可且被各种指南所采用,但仍有几项重要的指标没有考虑,例如自行车道无障碍斜坡、自行车专用信号等,而且该模型无法对机非混行道路做出评价。与BCI模型类似,兰迪斯模型(Landis's Model)也有A~F 6级服务水平,但边界不相同^[97]。表2给出了自行车服务水平评价方面主要的研究模型及其指标和方法。

大部分的自行车服务水平研究使用视频录像、观测和问卷调查的方法来收集相关数据。文献[108]中利用智能手机定位数据开展研究,但需要特定的移动电话来支持,有一定的局限性。与步行服务水平一样,自行车服务水平最常用的分析方法(见图3)包括仿真^[109]、回归分析^[97, 99-100]和打分法^[35, 106]。

在自行车服务水平研究中,最值得注意的不足之处是没有将骑车者作为道路的特殊使用者来对待,大部分研究都是基于自行车和机动车能够平等使用道路的认识(见表2)。例如,这些研究将机动车流量和速度作为一项重要指标^[34, 93-94, 97, 99-100, 103]。另外,文献[93, 97]中考虑了机动车车道数量因素,将其作为自行车基础设施考虑。

只有极少数的研究,例如文献[110]中提出机动车流量不是影响自行车服务水平的显著因素。也有部分研究考虑了一些特殊因素,如路面条件对骑行的影响^[35, 93, 97, 106]。文献[35]对一些能够有效减少机动车影响的措施进行了讨论,例如无障碍街道、出入口道路和街巷整治等。尽管既有研究都致力于涵

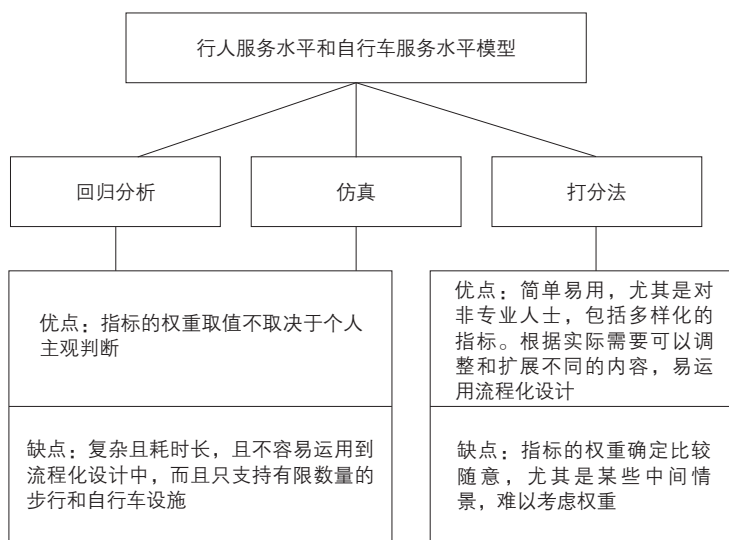


图3 步行服务水平和自行车服务水平模型优缺点分析

Fig.3 The weaknesses and strengths of PLOS and BLOS methods

表2 不同自行车服务水平模型汇总

Tab.2 Summary of different BLOS models

文献(年份)	指标	数据来源	对象	重要指标	方法	服务水平等级
文献[34](1994)	自行车服务水平		路段	3个主要道路条件(自行车道宽度、机动车速度和交通量), 3个二级因素(自行车流量、重型车流量和外侧车道干扰)	打分法	
文献[35](1996)	自行车服务水平	统计	路段	自行车设施(自行车道宽度、路外或其他平行可替代道路), 冲突(机动车道数、无障碍、无路内停车、安全岛、 unlimited 视距、交叉口渠化), 速度差, 机动车服务水平, 维护	打分法	A~F
文献[105](1996)	自行车交互风险评分	访谈	路段	平均日交通量, 车道总数, 自行车道有效宽度, 沿路用地开发强度, 无控制车辆出入口密度, 路面状况, 限速, 重型车数量	概率重力模型	A~F
文献[97](1997)	自行车服务水平	观测	路段	15 min 定向机动车流量, 车行道数量, 限速情况, 重型车辆百分比, 两侧地块交通生成密度, 无控制车辆出入口密度, 路面状况, 外侧车道有效宽度	线性回归分析	A~F
文献[98](1997)	自行车适应性分数	电话访问	路段	路肩宽度(或无路肩道路的步行使用宽度), 年平均日交通量, 速度限制(或平均车速), 路肩路面状况(或无路肩道路的步行路面状况)	打分法	4个等级
文献[99](1998)	自行车适应性指数 (BCI)	视频录像	市区和郊区道路路段	车道数量和行驶方向(弯道、自行车道、铺装路肩、停车带和排水沟宽度), 交通量, 限速和第85位车速; 道路开口数量, 人行道和安全岛, 两侧土地利用	线性回归分析	A~F
文献[106](2003)	对骑车者的兼容性	调查	路段	铺装路肩, 骑行空间, 小汽车速度, 小汽车交通量, 货车交通量, 路面材料, 土地利用状况(零售、工业、住宅)	打分法	
文献[104](2006)	通过事件模型 (Passing event model)	视频和观测	路段	3个子模型(骑车者外部空间、机动车外部空间变化、冲突); 自变量: 自行车道宽度(如果存在), 机动车道宽度, 总车道宽度(假如存在自行车道, 则是自行车道宽度、机动车道宽以及机非分离带宽之和, 如果路侧设置为自行车设施, 则总车道宽度为机动车道宽度), 有无对向车道, 有无同向车道, 有无双向、左转弯道, 外侧车道小时交通量, 外侧车道货车交通量, 外侧车道货车比重, 相邻车道小时交通量, 平均观测速度, 有无居住区开发(小时交通量小于150辆以及沿线建筑均为居民区), 骑车者是否休闲出行目的(至少70%自行车出行是娱乐和锻炼)	回归分析	
文献[107](2007)	自行车路段服务水平 和自行车设施服务水平	视频模拟 和问卷	路段和交叉口	自行车路段服务水平: 15 min 定向自行车流量, 自行车道数, 有效速度限制, 重型车比例, 路面铺装, 自行车道平均有效宽度 自行车设施服务水平: 以距离加权平均得到的自行车设施服务水平; 每英里无信号交叉口数量	皮尔逊相关系数分析;逐步回归分析	A~F
文献[36](2007)	自行车服务水平	视频制作 和问卷	路段	相应满意度等级系数, 路侧开发模式与景观, 自行车道与最近机动车道缓冲区间宽度, 机动车平均速度, 紧邻路侧 20 km·h ⁻¹ 骑行速度的行人流量, 每百米停车数量, 路侧自行车道宽度, 自行车道宽度(指在市区或郊区铺有至少 0.9 m 宽路肩的自行车道), 紧邻机动车道宽度, 缓冲区间宽度, 人行道设置(有人行道取1, 没有取0), 公共汽车站设置(有公共汽车站取1, 没有取0), 机动车道设置(≥4车道取1, 1~3车道取0)	多元逻辑回归分析	A~F
文献[45](2008)	自行车服务水平	调查和視頻剪辑	路段和交叉口	路段服务水平: 高峰小时系数, 定向自行车道数, 定向机动车流量, 有效速度系数, 机动车平均速度, 重型车比例, 路面状况等级(5 为优秀, 1 为很差), 平均自行车道有效宽度, 路段沿街停车长度百分比, 外侧自行车道至人行道边缘的宽度, 按流量推算的自行车道有效宽度, 外侧自行车道加上铺装路肩的宽度 交叉口服务水平: 外侧车道和自行车道的总宽度, 过街距离, 单侧道路宽度(包括辅路和中央隔离带), 各方向 15 min 交通量, 进口车道数	回归分析	A~F

盖最重要的自行车服务水平影响因素，但尚没有能够涵盖足够设施和需求的独立模型(如照明、停车、标志、标线等)使自行车出行安全、舒适、便捷和可靠。特别需要指出的是，现有研究对未铺装的非机动车道、机非混行车道和多用途的非机动车道等都没有予以应对(见表2)。

1.3 其他评价方法

目前存在很多类似于 walkscore.com 的步行友好度评价系统，该打分系统按照步行适应性、自行车分数和通过性分数来评价街区 and 城市对步行的友好性。文献[111]提出一项针对步行友好性的城市设计评估体系，该体系利用打分法评估街道形象、视觉感受、人性化尺度、透光度以及街道景观复杂度。尽管该方法考虑了建筑、社会和环境因素，但并未包括步行硬件设施指标。文献[112]提出的核算分析方法使用环境品质、交通环境、硬件设施、美学和社会环境等因素对街道进行分级，该方法重点关注户外活动频率，其分数基于个人主观判断得到。文献[113]对包含更多指标(160项)的类似分析方法进行了探讨，包括与交通和犯罪相关的无障碍环境、选择喜好和安全防护等因素，但未交代如何给出中间等级的分数，也存在个人主观判断的偏差。

文献[114]中提出了基于打分法的步行和自行车评价模型，尽管该方法考虑了一些微观层面的设施因素，如人行道宽度、路面条件、安全间距、路缘石缓坡、照明、自行车道和行人安全岛等，但这些设施不足以使道路对步行和骑车者更具友好性。另外，个人主观判断和中间等级打分依据的缺乏也使该方法存在一定的偏差，与之类似的其他方法也存在同样问题，例如文献[115-116]提出的老年人步行路线状况评价工具(Walking Route Audit Tool for Seniors)和步行环境数据收集与展示系统(Pedestrian Environment Data Scan)。

这些评价方法大部分使用的是与服务水平评价类比的打分法，因此也存在与之相同的不足之处，即个人主观判断和中间等级打分依据缺乏。大部分的评价手段主要关注宏观层面而对具体设施细节问题很少涉及，此外，这些方法也没有包括与自行车和行人相关的所有主要街道设施。

步行和自行车设施环境、社会经济和城市空间结构因素是影响步行和自行车出行的主要因素，很多研究对步行和自行车交通与城市空间结构的相互关系进行了分析。在大部分的研究中，街区土地利用被认为是影响出行者是否选择步行和自行车出行的重要因素^[117-122]。其他影响因素是就业密度、土地混合利用、人口密度和职住平衡情况^[123-127]。文献[125]基于汽车保有量、交叉口密度和家庭自行车出行率评估工作地点可达性对自行车出行的影响。文献[127]根据通勤和非通勤的区别对步行和自行车出行方式选择与路网连通性之间的关系开展研究。路径的直线系数也是影响因素之一^[128]。文献[124]研究了与市区的距离对步行和自行车出行的影响。另外，文献[123, 129]研究发现与最近公共交通车站的距离对是否选择步行和自行车方式也有显著影响。

社会经济因素对出行者选择步行和自行车影响甚大^[117, 130]，其中包括出行的成本和时间^[117, 130-132]、个体喜好因素^[120, 129, 133-134]、感知和交通系统因素^[120, 135-138]。

大部分关注社会经济和城市空间结构因素的研究将所有的街区或者交通区域归类为传统型(traditional)、郊区型(suburban)、公交导向型(transit-oriented)或新城市主义型(new urbanism)^[129, 139-144]。这些研究一般综合利用各种指标评估街区步行和自行车状况，例如行人无障碍设施情况、步行友好性、路径舒适度和自行车友好性等。

这些宏观层面的方法不能在细节层面对步行和自行车设施开展有效评价。尽管街区设计比行人设施紧要，但硬件设施设备的可用性对行人和骑车者更加重要，尤其是对老人、小孩和残疾人来说^[145]。自行车设施的增加带来一些道路优势，文献[146]提到50%以上的自行车出行是在具备一定硬件设施的道路上完成的，例如自行车道、自行车专用路、自行车绿道等。步行和自行车基础设施对非机动车交通方式出行来说意义重大^[84, 145, 147-150]，因此，本文重点关注服务水平方面的研究以期给出微观层面评价的有效方法，利用该方法可设计出兼顾广泛使用者的道路，所做综述可被用来了解既有研究在设计更具兼容性道路方面所做的努力，并可根据其中的优缺点改进指标、方法和结果。

2 面临的挑战

本文对考虑非机动车交通使用者(行人和骑车者)的道路评价的相关研究成果开展评估,以确定对步行和自行车出行状况有显著影响的变量和指标。为了改进道路状况使之更适宜步行和自行车出行,有必要评价既有步行和自行车交通设施存在的问题与不足之处。本文讨论了多种道路评价标准和方法,可划分为不同的服务水平模型,如步行服务水平和自行车服务水平。总体来看,目前评价方法主要存在以下不足之处:

- 1) 行人被等同于机动车一样看待,因此其评价方法也是基于机动车服务水平;
- 2) 缺少考虑残疾人特殊需求和设施要求的评价方法;
- 3) 缺少考虑老人和小孩步行状况的评价方法;
- 4) 某些研究将自行车认为是与机动车可以共享路权的道路使用者;
- 5) 缺少一个完整的能够创建充足基础设施的评价模型,以满足安全、可靠、舒适和便利的步行与骑行需求;
- 6) 利用大部分既有模型构建道路设计流程非常困难,这些模型复杂而耗时;

7) 当前的评价模型仅覆盖了较窄范围的道路状况,有可能对其他不同层次结构等级的道路不适用(如主干路、集散道路、支路和出入口道路)。

大部分的研究仅给出少数步行和自行车设施指标且不一定对所有情景都适用。这些方法不能基于行人(特别是老人、小孩和残疾人)和骑车者的需求对道路进行有效评价。恰当的评估应该能有效表征道路上存在的问题,只有明确存在的问题,提出的方法才能得到更有效的结果。因此,当前的挑战在于构建考虑所有步行和自行车需求的评价模型。

多模式服务水平模型(Multi-modal Level of Service, MMLOS)被认为是评价各种交通方式及影响的评级系统^[28, 45],能够有效地评价不同使用者角度下的道路服务水平。在绿色出行中,最重要的交通方式便是步行和自行车^[151]。绿色交通模式的推广能够提升道路的可持续性,目前道路主要被机动车占用,对行人和骑车者并不友好,尤其是对弱势群体(老人、小孩和残疾人)。因此,应当尽快构建充分考虑步行和自行车需求、提升非机动车交通方式效用的MMLOS模型,这种非机动车交通方式服务水平评价模型(Non-

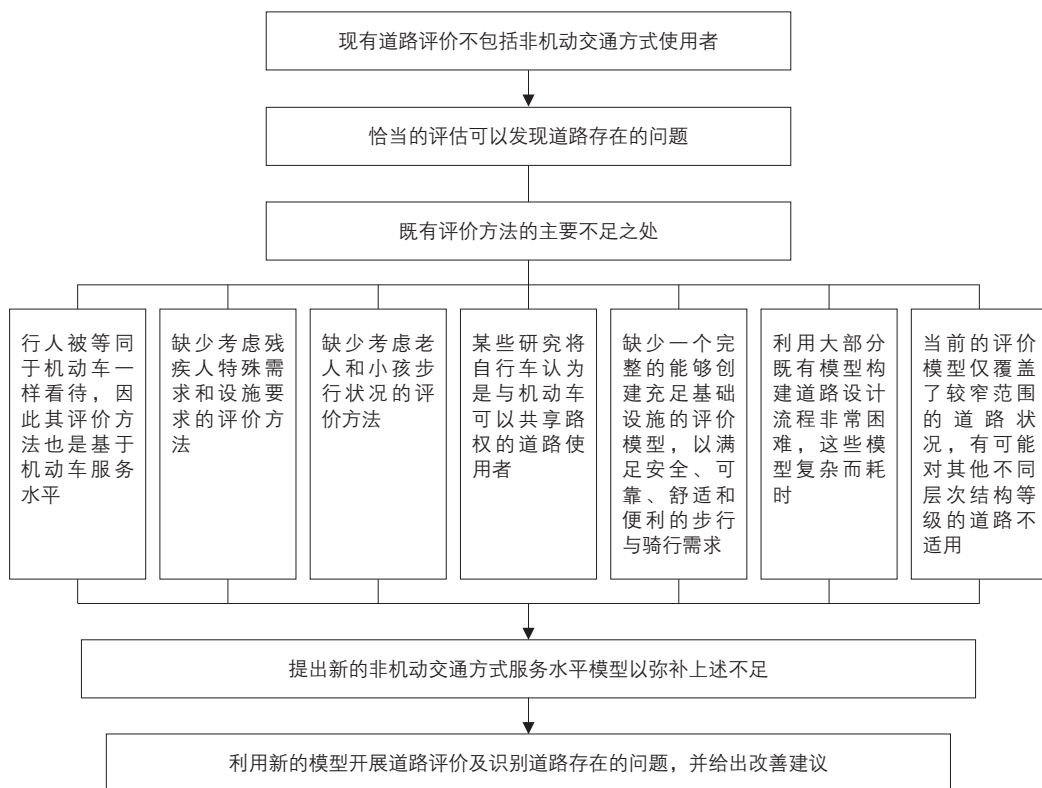


图4 问题及解决方案

Fig.4 Challenges and proposed solution

motorised Level of Service, NMLOS)在既有研究中并未提及,图4阐述了该模型提出的背景。

3 展望

总的来说,20世纪90年代以来,按照功能等级分类和机动车需求导向的设计思路被广泛应用于道路规划设计中,然而该设计思路并未考虑实际道路使用者的需求。归功于社会各界对可持续发展的认识和期望,这种设计方法现正在发生改变,考虑所有年龄层次和身体状况的行人和骑车者需求以增强道路的舒适性和可持续性变得越来越重要。由于考虑了非机动车方式使用者,将会出现更多的道路设计分析流程和方法,例如考虑步行和自行车的MMLOS,该模型能够改善道路设计分析、评价和流程的适用性。

本文讨论了多种道路评价手段和方法,根据服务对象不同分为不同服务水平模型,例如步行服务水平和自行车服务水平,同时对服务水平及其评价指标的主要研究成果进行归纳总结。由于这些评价模型存在不足之处,本文提出了NMLOS的概念,并进行简要说明,认为行人和骑车者是有着特殊需求并需要专门设施的道路使用者。该方法可适用于不同城市不同类型的道路。

进一步的研究目标可划分为几个不同的阶段。1)第一阶段:基于既有的各种规范导则和文献中的不同设施要求,重新识别影响步行(考虑不同体能与年龄)和自行车服务水平的关键因素。由于目前研究的各种限制,并未将一些有争议的和临界因素考虑在内,所以在这一阶段考虑规范导则非常重要。在不同的规范细则中,各类影响因素和指标有不同的标准,将其纳入考虑范围可发现更多有价值的因素指标。2)第二阶段:为步行和自行车提出一个整合了关键因素及相关标准规范的完整道路设计导则或指南。3)第三阶段:提出一个定位大多数基础设施、理论性与实用性兼顾的步行和自行车服务水平评价方法,这一目标可在充分比较上一步骤提出的道路设计指南与目前步行和自行车状况的前提下实现。4)最后一个阶段是利用提出的模型进行道路评价,识别存在的问题并给出改进建议。图5给出了研究框架流程,可用于构建具备操作性的NMLOS模型,达到评估和改善步行和自行车出行环境的目的。

致谢

感谢所有支持本研究并做出卓越贡献的人。

参考文献:

References:

- [1] Litman T. Evaluating Non - motorized Transportation Benefits and Costs[R]. Victoria: Victoria Transport Policy Institute, 2011.
- [2] Moeinaddini M, Asadi - Shekari Z, Zaly Shah M. The Relationship between Urban Structure and Travel Behavior: Challenges and Practices [J]. Tema, Land Use, Mobility and Environment, 2012, 5(3): 47-63.
- [3] Ewing R, Schmid T, Killingsworth R, Zlot A, Raudenbush S. Relationship between Urban Sprawl and Physical Activity, Obesity, and Morbidity[J]. American Journal of Health Promotion, 2003, 18(1): 47-57.
- [4] Asadi - Shekari Z, Moeinaddini M, Zaly Shah M. A Disabled Pedestrian Level of Service Method for Evaluating and Promoting Inclusive Walking Facilities on Urban Streets [J]. Journal of Transportation Engineering, 2013, 139(2): 181-192.
- [5] Asadi- Shekari Z, Zaly Shah M. Practical Evaluation Method for Pedestrian Level of Service in Urban Streets[R/OL]. 2011[2012-10-31]. <http://www.sustainability.utm.my/cipd/>

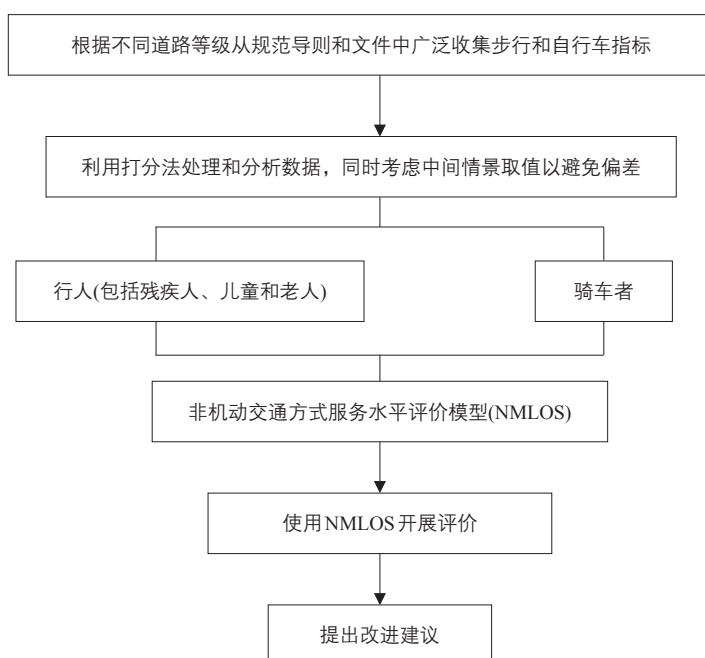


图5 未来研究的分析步骤

Fig.5 Next steps for future studies

- files/2011/10/Practical- Evaluation- Method- For- Pedestrian- Level- Of- Service- In- Urban- Streets.pdf.
- [6] Boodlal L. Accessible Sidewalks and Street Crossings[R]. Washington DC: U.S. Department of Transportation, 2001.
- [7] Ashland City Council. Street Standard Handbook [R]. Ashland: Department of Community Development, 1999.
- [8] Colman S. Assessing Arterial Level of Service for Congestion Management Programs: A User Perspective[R/OL]. 1994[2012-10-31]. <http://trid.trb.org/view.aspx?id=720467>.
- [9] National Research Council. Highway Capacity Manual[M]. Washington DC: Transportation Research Board, 2000.
- [10] Lee D, Kim T G, Pietrucha M T. Incorporation of Transportation User Perception into Evaluation of Service Quality of Signalized Intersections Using Fuzzy Aggregation[R/OL]. 2007[2012-10-31]. <http://trid.trb.org/view.aspx?id=801841>.
- [11] Li J, Yue Z, Wong S. Performance Evaluation of Signalized Urban Intersections under Mixed Traffic Conditions by Gray System Theory[J]. Journal of Transportation Engineering, 2004, 130(1): 113-121.
- [12] Pécheux K K, Flannery A, Wochinger K, Rephlo J, Lappin J. Automobile Drivers' Perceptions of Service Quality on Urban Streets[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2004, 1883: 167-175.
- [13] Pécheux K K, Pietrucha M, Jovanis P. User Perception of Level of Service at Signalized Intersections: Methodological Issues[R/OL]. 2000[2012-10-31]. http://www.researchgate.net/publication/242673589_User_Perception_of_Level_of_Service_at_Signalized_Intersections_Methodological_Issues.
- [14] Sutaria T C, Haynes J J. Level of Service at Signalized Intersections[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1977, 644: 107-113.
- [15] Talvitie A, Dehghani Y. Models for Transportation Level of Service[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 1980, 14(1-2): 87-99.
- [16] Zhang L, Prevedouros P. Signalized Intersection LOS that Accounts for User Perceptions[R/OL]. 2004[2012-10-31]. http://www.researchgate.net/publication/239921380_Signalized_Intersection_LOS_that_Accounts_for_User_Perceptions.
- [17] Zhang L, Prevedouros P. User Perceptions of Signalized Intersection Level of Service[R]. Washington DC: Transportation Research Board, 2005.
- [18] Landis B W, Vattikuti V R, Ottenberg R M, McLeod D S, Guttenplan M. Modeling the Roadside Walking Environment: A Pedestrian level of Service[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2001, 1773, 1: 82-88.
- [19] Fruin J J. Pedestrian Planning and Design [R]. New York: Metropolitan Associations of Urban Designers and Environmental Planners, 1971.
- [20] Tanaboriboon Y, Guyano J A. Level-of-service Standards for Pedestrian Facilities in Bangkok: A Case Study[J]. ITE Journal, 1989, 59(11): 39-41.
- [21] Mateo-Babiano I, Ieda H. Street Space Sustainability in Asia: The Role of the Asian Pedestrian and Street Culture[J]. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2007, 7: 1915-1930.
- [22] Singh K, Jain P K. Methods of Assessing Pedestrian Level of Service[J]. Journal of Engineering Research and Studies, 2011, 2 (1): 116-124.
- [23] Lautso K, Murole P. A Study of Pedestrian Traffic in Helsinki: Methods and Results[J]. Traffic Engineering and Control, 1974, 15 (9): 446-449.
- [24] Sarkar S. Determination of Service Levels for Pedestrians, with European Example[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1993, 1405: 35-42.
- [25] Khisty C J. Evaluation of Pedestrian Facilities. Beyond the Level-of-service Concept[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1994, 1438: 45-50.
- [26] Seneviratne P N, Morrall J F. Level of Service on Pedestrian Facilities[J]. Transportation

- Quarterly, 1985, 39(1): 109–123.
- [27] Henson C. Levels of Service for Pedestrians [J]. ITE Journal, 2000, 70(9): 26–30.
- [28] FDOT. Quality/Level of Service[R]. Tallahassee: Department of Transportation, 2009.
- [29] Tan D, Wang W, Lu J, Bian Y. Research on Methods of Assessing Pedestrian Level of Service for Sidewalk[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2007, 7(5): 74–79.
- [30] Benz G P. Pedestrian Time-space Concept, a New Approach to the Planning and Design of Pedestrian Facilities[R]. New York: Parsons Brinckerhoff Quade and Douglas, 1986.
- [31] Pushkarev B, Zupan J M. Pedestrian Travel Demand[J]. Highway Research Record, 1971 (355): 37–53.
- [32] Pushkarev B, Zupan J M. Urban Space for Pedestrians[M]. New York: MIT Press, 1975.
- [33] Lam W H K, Morrall J F, Ho H. Pedestrian Flow Characteristics in Hong Kong[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1995, 1487: 56–62.
- [34] Mozer D. Calculating Multi-mode Levels-of-service[R]. Seattle: International Bicycle Fund, 1994.
- [35] Dixon L. Bicycle and Pedestrian Level-of-service Performance Measures and Standards for Congestion Management Systems[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1996, 1538: 1–9.
- [36] Jensen S. Pedestrian and Bicycle Level of Service on Road Way Segments[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2007, 2031: 43–51.
- [37] Sarkar S. Qualitative Evaluation of Comfort Needs in Urban Walkways in Major Activity Centers[R/OL]. 2002[2012–10–31]. <http://connection.ebscohost.com/c/articles/11274613/qualitative-evaluation-comfort-needs-urban-walkways-major-activity-centers>.
- [38] Niece J L. Children's Travel to School: The Influence of Built Form and Perceptions of Safety[D]. Vancouver: University of British Columbia, 2006.
- [39] Jaskiewicz F. Pedestrian Level of Service Based on Trip Quality[R/OL]. 1999[2012–10–31]. <http://trid.trb.org/view.aspx?id=686656>.
- [40] Miller J S, Bigelow J, Garber N J. Calibrating Pedestrian Level-of-service Metrics with 3-D Visualization[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2000(1705): 9–15.
- [41] Gallin N. Pedestrian Friendliness: Guidelines for Assessing Pedestrian Level of Service[R/OL]. 2001[2012–10–31]. <http://trid.trb.org/view.aspx?id=732751>.
- [42] Muraleetharan T, Adachi T, Hagiwara T, Kagaya S. Method to Determine Overall Level-of-service of Pedestrian Walkways Based on Total Utility Value[J]. Journal of Infrastructure Planning and Management Japan Society of Civil Engineers (JSCE), 2005, 22(3): 685–693.
- [43] Muraleetharan T, Adachi T, Hagiwara T, Kagaya S. Method to Determine Pedestrian Level-of-service for Crosswalks at Urban Intersections[J]. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2005, 6: 127–136.
- [44] Petritsch T A, Landis B W, McLeod P S, et al. Pedestrian Level-of-service Model for Urban Arterial Facilities with Sidewalks[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2006, 1982: 84–89.
- [45] NCHRP. Multimodal Level of Service Analysis for Urban Streets[R]. Washington DC: Transportation Research Board, 2008.
- [46] United Nations Population Division. Population Facts[R/OL]. 2011[2012–10–31]. http://www.un.org/esa/population/publications/popfacts/PopFacts_2011-1.pdf.
- [47] Australian Bureau of Statistics. Population by Age and Sex, Australian States and Territories[R/OL]. 2010[2010–12–21]. <http://www.abs.gov.au/AUSSTATS/abs@.nsf/MF/3201.0>.
- [48] United Nations. Demographic Profile of the Older Population[R/OL]. 2012[2012–12–02]. <http://www.un.org/esa/population/publications/worldageing19502050/pdf/90chapteriv.pdf>.
- [49] United Nations. World Population Prospects: The 2008 Revision[R]. New York: UN

- Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2009.
- [50] Thompson C W. Older People's Pedestrian Needs: Inclusive Design for Getting Outdoors (I'DGO)[R]. Edinburgh: OPENspace Research Centre, Edinburgh College of Art, 2009.
- [51] Axelson P W, Chesney D A, Galvan D V, Kirschbaum J B, Longmuir P E, Lyons C, Wong K M. Designing Sidewalks and Trails for Access[R]. Washington DC: U.S. Department of Transportation, 1999.
- [52] Country Facts Information. The Current Population of Iran[R/OL]. 2012[2013-01-06]. <http://www.kwintessential.co.uk/articles/iran/The-current-Population-of-Iran/125>.
- [53] Indexmundi. Malaysia Demographics Profile [R/OL]. 2012[2013-01-02]. http://www.indexmundi.com/malaysia/demographics_profile.html.
- [54] Indonesia. Save the Children[R/OL]. 2012[2012-10-31]. <http://www.savethechildren.org/site/c.8rKLIXMGIpI4E/b.6150539/>.
- [55] Lacey L. Street Play: A Literature Review [R/OL]. 2007[2012-10-31]. http://www.playday.org.uk/media/2675/street_play_literature_review.pdf.
- [56] Whewey R, Millward A. Child's Play: Facilitating Play on Housing Estates[R]. London: Chartered Institute of Housing and Joseph Rowntree Foundation, 1977.
- [57] McDonald N C, Aalborg A E. Why Parents Drive Children to School: Implications for Safe Routes to School Programs[J]. Journal of the American Planning Association, 2009, 75(3): 331-342.
- [58] McMillan T. The Relative Influence of Urban Form on a Child's Travel Mode to School[J]. Transportation Research Part A, 2007, 41(1): 69-79.
- [59] O'Brien C. Planning Transportation for and with Children: Good News for Pedestrians and Cyclists[R/OL]. 2004[2012-10-31]. <http://www.bikewalk.org/pdfs/forumarch0105.pdf>.
- [60] Lorenc T, Brunton G, Oliver S, Oliver K, Oakley A. Attitudes to Walking and Cycling Among Children, Young People and Parents: A Systematic Review[J]. Journal of Epidemiology and Community Health, 2008, 62(10): 852-857.
- [61] McDonald N C. Children's Mode Choice for the School Trip: The Role of Distance and School Location in Walking to School[J]. Transportation, 2008, 35(1): 23-35.
- [62] Weinstein C S, David T G. Spaces for Children: The Built Environment and Child Development[M]. New York: Plenum Press, 1987.
- [63] Hoskens J, Lawrence B K, Lee K, et al. Schools for Successful Communities: An Element of Smart Growth[R]. Scottsdale: Council of Educational Facility Planners International and United States Environmental Protection Agency, 2004.
- [64] Oxley J, Charlton J, Fildes B. The Effect of Cognitive Impairment on Older Pedestrian Behaviour and Crash Risk (No. 244) [R]. Melbourne: Monash University, 2005.
- [65] Oxley J, Corben B, Fildes B, O'Hare M, Rothengatter T. Older Vulnerable Road Users: Measures to Reduce Crash and Injury Risk (No. 218) [R]. Melbourne: Monash University Accident Research Centre; Vstra Gotaland: Swedish National Road Administration (SNRA), 2004.
- [66] Otak. Pedestrian Facilities Guidebook[R/OL]. 1997[2012-10-31]. <http://www.wsdot.wa.gov/publications/manuals/fulltext/m0000/pedfacgb.pdf>.
- [67] City of Calgary. Pedestrian Policy and Design Report[R/OL]. 2008[2012-10-31]. <http://www.calgary.ca/CA/City-Clerks/Documents/Council-policy-library/tp010.pdf?noredirect=1>.
- [68] City of Tacoma. Mobility Master Plan Bicycle and Pedestrian Design Guidelines[R/OL]. 2009[2012-10-31]. http://cms.cityoftacoma.org/Planning/MoMaP/MoMaPDesignGuidelines_PublicReviewDraft.pdf.
- [69] United Nations Enable. Factsheet on Persons with Disabilities[R/OL]. 2012[2012-12-02]. <http://www.un.org/disabilities/default.asp?id=18>.
- [70] Disability Statistics Australian. Disability Statistics Australia[R/OL]. 2008[2012-06-05]. <http://www.disabled-world.com/disability/statistics/disability-statistics-australia.php#ixzz24cIr8AGv>.

- [71] Papworth Trust. Disability in the United Kingdom: Facts and Figures[R/OL]. 2011[2012-10-31]. http://www.papworth.org.uk/downloads/factsandfigures_disabilityintheuk_july2011_110721132605.pdf.
- [72] Census Brief. Disabilities Affect One-fifth of All Americans Proportion Could Increase in Coming Decades[R]. Washington DC: U.S. Department of Commerce Economics and Statistics Administration, Bureau of the Census, 1997.
- [73] Abdi-Daneshpour Z. Urban Environment Adaptation for Disabled People[D]. Tehran: University of Olum Behzisti va Tavanbakhshi, 2006.
- [74] Davidson K. Designing a Walkable Suburban Landscape: New Urbanism and Light Rail as Methodologies[D]. Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University, 2006.
- [75] UTTIPEC. Pedestrian Design Guidelines[R]. New Delhi: Delhi Development Authority, 2009.
- [76] Access Board. Americans with Disabilities Act (ADA), Accessibility Guidelines for Buildings and Facilities[R]. Washington DC: U.S. Architectural and Transportation Barriers, Compliance Board (Access Board), 1990.
- [77] Public Rights of Way. Guidelines for Accessible Public Rights-of-way[R]. Washington DC: United States Access Board, 2002.
- [78] Kwok R C W, Yeh A G O. The Use of Modal Accessibility Gap as An Indicator for Sustainable Transport Development[J]. Environment and Planning A, 2004, 36(5): 921-936.
- [79] Gatersleben B, Appleton K M. Contemplating Cycling to Work: Attitudes and Perceptions in Different Stages of Change[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2007, 41(4): 302-312.
- [80] Krizek K J. Estimating the Economic Benefits of Bicycling and Bicycle Facilities: An Interpretive Review and Proposed Methods [R/OL]. 2004[2012-10-31]. http://www.peoplepoweredmovement.org/site/images/uploads/Economic_Benefits_of_Bicycling_and_Bicycle_Facilities.pdf.
- [81] Cavill N, Davis A. Cycling and Health: What's the Evidence?[R]. London: Cycling England, 2007.
- [82] NHTSA, BTS. National Survey of Pedestrian and Bicyclist Attitudes and Behaviors[R]. Washington DC: U.S. Department of Transportation's National Highway Traffic Safety Administration and the Bureau of Transportation Statistics, 2002.
- [83] Larsen J, Patterson Z, El-Geneidy A. Build It. But Where? The Use of Geographic Information Systems in Identifying Locations for New Cycling Infrastructure[J]. International Journal of Sustainable Transportation, 2013, 7(4): 299-317.
- [84] Dill J, Carr T. Bicycle Commuting and Facilities in Major U.S. Cities: If You Build Them, Commuters Will Use Them—Another Look[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2003, 1828: 116-123.
- [85] Librett J J, Yore M M, Schmid T L. Local Ordinances That Promote Physical Activity: A Survey of Municipal Policies[J]. American Journal of Public Health, 2003, 93(9): 1399-1403.
- [86] Rietveld P, Daniel V. Determinants of Bicycle Use: Do Municipal Policies Matter?[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2004, 38(7): 531-550.
- [87] Wardman M, Hatfield R, Page M. The UK National Cycling Strategy: Can Improved Facilities Meet the Targets?[J] Transport Policy, 1998, 4(2): 123-133.
- [88] Tilahun N Y, Levinson D M, Krizek K J. Trails, Lanes, or Traffic: Valuing Bicycle Facilities with an Adaptive Stated Preference Survey[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2007, 41(4): 287-301.
- [89] Hyodo R, Suzuki N, Takahashi K. Modeling of Bicycle Route and Destination Choice Behavior for Bicycle Road Network Plan[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2000, 1705: 70-76.
- [90] Bhat C R, Eluru N. A Copula-based Approach to Accommodate Residential Self-selection Effects in Travel Behavior Modeling[J]. Transportation Research B, 2009, 43(7): 749-765.
- [91] Bhat C R, Sen S, Eluru N. The Impact of

- Demographics, Built Environment Attributes, Vehicle Characteristics, and Gasoline Prices on Household Vehicle Holdings and Use[J]. *Transportation Research B*, 2009, 43(1): 1–18.
- [92] Winters M, Davidson G, Kao D, Teschke K. Motivators and Deterrents of Bicycling: Comparing Influences on Decisions to Ride [J]. *Transportation*, 2010, 38(1): 153–168.
- [93] Davis J. Bicycle Safety Evaluation[R]. Chattanooga: Auburn University, City of Chattanooga, and Chattanooga- Hamilton County Regional Planning Commission, 1987.
- [94] Sorton A, Walsh T. Bicycle Stress Level as a Tool to Evaluate Urban and Suburban Bicycle Compatibility[J]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1994, 1438: 17–24.
- [95] Epperson B. Evaluating Suitability of Roadways for Bicycle Use: Toward a Cycling Level-of-service Standard[J]. *Transportation Research Board: Journal of the Transportation Research Board*, 1994, 1438: 9–16.
- [96] Davis, J. Bicycle Test Route Evaluation for Urban Road Conditions[R/OL]. 1995[2012–10–31]. <http://www.johnforester.com/Articles/Facilities/jdavis.htm>.
- [97] Landis B W, Vattikuti V R, Brannick M T. Real- time Human Perceptions: Toward a Bicycle Level of Service[J]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1997, 1578: 119–126.
- [98] Turner S, Shafer S, Stewart W. Bicycle Suitability Criteria for State Roadways in Texas[R]. College Station: Texas Transportation Institute, 1997.
- [99] Harkey D L, Reinfurt D W, Knuiman M. Development of the Bicycle Compatibility Index[J]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1998, 1636: 13–20.
- [100] Harkey D L, Reinfurt D W, Knuiman M, Stewart J R. The Bicycle Compatibility Index: A Level of Service Concept[R]. Washington DC: FHWA, Department of Transportation, 1998.
- [101] FHWA. Development of the Bicycle Compatibility Index: A Level of Service Concept[R]. McLean: Federal Highway Administration; Washington DC: US Department of Transportation, FHWA, 1998.
- [102] Eddy N. Developing a Level of Service for Bicycle Use[R]. Portland: Pro Bike Pro Walk 96, 1996.
- [103] Cambridge Systematics Inc. Guidebook on Methods to Estimate Nonmotorized Travel [R]. Cambridge: Bicycle Federation of America, and Michael Replogle, 1998.
- [104] Hallett I, Luskin D, Machemehl R. Evaluation of On-street Bicycle Facilities Added to Existing Roadways[R]. FHWA/TXDOT – 06/0 – 5157 – 1, Austin: Center for Transportation Research, the University of Texas at Austin, 2006.
- [105] Landis B W. Bicycle System Performance Measures[J]. *ITE Journal*, 1996, 66(2): 18–26.
- [106] Noël N, Leclerc C, Lee- Gosselin M. Compatibility of Roads for Cyclists in Rural and Urban Fringe Areas[R]. Washington DC: Transportation Research Board, 2003.
- [107] Petritsch T A, Landis B W, Huang H F, McLeod P S, Lamb D, Farah W, Guttenplan M. Bicycle Level of Service for Arterials[J]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2007, 2031: 34–42.
- [108] Charlton B, Sall E, Schwartz M, Hood J. Bicycle Route Choice Data Collection Using GPS-enabled Smartphones[R]. Washington DC: Transportation Research Board, 2011.
- [109] Hughes R, Harkey D. Cyclists’ Perception of Risk in a Virtual Environment: Effects of Lane Conditions, Traffic Speed, and Traffic Volume[R/OL]. 1997[2012–10–31]. <http://cedb.asce.org/cgi/WWWdisplay.cgi?105613>.
- [110] Providelo J K, Sanches S d P. Roadway and Traffic Characteristics for Bicycling[J]. *Transportation*, 2011, 38(5): 765–777.
- [111] Ewing R, Clemente O, Handy S, Winston E, Brownson R C. Measurement Instrument for Urban Design Quantities Related to Walkability[R/OL]. 2006[2013–01–06]. <http://www.activelivingresearch.org/node/10635>.

- [112] Brownson R C, Ramirez L K B, Hoehner C M, Cook R A. Analytic Audit Tool and Checklist Audit Tool[R/OL]. 2006[2013-02-06]. <http://www.activelivingresearch.org/node/10616>.
- [113] Boarnet M G, Forsyth A, Day K, Oakes J M. The Street Level Built Environment and Physical Activity and Walking Results of a Predictive Validity Study for the Irvine Minnesota Inventory[J]. *Environment and Behavior*, 2011, 43(6): 735-775.
- [114] Emery J, Crump C, Bors P. Walking and Bicycling Suitability Assessment (WABSA) [EB/OL]. 1998[2013-01-06]. <http://www.activelivingresearch.org/node/11614>.
- [115] Kerr J, Rosenberg D E. Walking Route Audit Tool for Seniors (WRATS) [R/OL]. 2009[2013-01-06]. <http://www.activelivingresearch.org/node/11950>.
- [116] Clifton K J, Livi A, Rodríguez D A. Pedestrian Environment Data Scan (PEDS) tool[R/OL]. 2007[2013-01-06]. <http://www.activelivingresearch.org/node/10641>.
- [117] Cervero R, Duncan M. Walking, Bicycling, and Urban Landscapes: Evidence from the San Francisco Bay Area[J]. *American Journal of Public Health*, 2003, 93(9): 1478-1483.
- [118] Ewing R, Cervero R. Travel and the Built Environment: A Meta - analysis[J]. *Journal of the American Planning Association*, 2010, 76(3): 1-30.
- [119] Ewing R, Greenwald M, Zhang M, et al. Traffic Generated by Mixed- use Developments — Six-Region Study Using Consistent Built Environmental Measures [J]. *Journal of Urban Planning and Development*, 2011, 137(3): 248-261.
- [120] Handy S L, Xing Y, Buehler T J. Factors Associated with Bicycle Ownership and Use: A Study of Six Small U.S. Cities[J]. *Transportation*, 2010, 37(6): 967-985.
- [121] Krizek K J, Forsyth A, Baum L. Walking and Cycling International Literature Review [R]. Melbourne: Department of Transport, 2009.
- [122] Schneider R J, Arnold L S, Ragland D R. A Pilot Model for Estimating Pedestrian Intersection Crossing Volumes[J]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2009, 2140: 13-26.
- [123] Bento A M, Cropper M L, Mobarak A M, Vinha K. The Impact of Urban Spatial Structure on Travel Demand in the United States[R/OL]. 2003[2012-10-31]. <http://elibrary.worldbank.org/docserver/download/3007.pdf?expires=1361643147&id=id&accname=guest&checksum=99EDA7B1A73AB8539A2DE84700A9AD44>.
- [124] Chatman D G. Residential Self-Selection, the Built Environment, and Nonwork Travel: Evidence Using New Data and Methods[J]. *Environment and Planning A*, 2009, 41(5): 1072-1089.
- [125] Greenwald M J. SACSIM Modeling-Elasticity Results[R]. Walnut Creek: Fehr and Peers Associates, 2009.
- [126] Kockelman K M. Travel Behavior as a Function of Accessibility, Land Use Mixing, and Land Use Balance: Evidence from the San Francisco Bay Area[J]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1997, 1607: 116-125.
- [127] Zhang M. The Role of Land Use in Travel Mode Choice: Evidence from Boston and Hong Kong[J]. *Journal of the American Planning Association*, 2004, 70(3): 344-361.
- [128] Soltani A, Allan A. Analyzing the Impacts of Microscale Urban Attributes on Travel: Evidence from Suburban Adelaide, Australia [J]. *Journal of Urban Planning and Development*, 2006, 132(3): 132-137.
- [129] Kitamura R, Mokhtarian P L, Laidet L. A Micro-analysis of Land Use and Travel in Five Neighborhoods in San Francisco Bay Area[J]. *Transportation*, 1997, 24(2): 125-158.
- [130] Kim S, Ulfarsson G F. Curbing Automobile Use for Sustainable Transportation: Analysis of Mode Choice on Short Home-based Trips[J]. *Transportation*, 2008, 35(6): 723-737.
- [131] Bowman J L, Ben-Akiva M E. Activity-based Disaggregate Travel Demand Model

- System with Activity Schedules[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2000, 35(1): 1-28.
- [132] Ryley T J. The Propensity for Motorists to Walk for Short Trips: Evidence from West Edinburgh[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2008, 42(4): 620-628.
- [133] Handy S L, Cao X, Mokhtarian P L. Correlation or Causality between the Built Environment and Travel Behavior? Evidence from Northern California[J]. Transportation Research Part D, 2005, 10(6): 427-444.
- [134] Walton D, Sunseri S (Eds.). Impediments to Walking as a Mode Choice[R]. Wellington: Land Transport New Zealand, 2007.
- [135] Black C, Collins A, Snell M. Encouraging Walking: The Case of Journey- to- school Trips in Compact Urban Areas[J]. Urban Studies, 2001, 38(7): 1121-1141.
- [136] Jonnalagadda N, Freedman J, Davidson W A, Hunt J D. Development of Microsimulation Activity- based Model for San Francisco: Destination and Mode Choice Models[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2001, 1777: 25-35.
- [137] McMillan T, Day K, Boarnet M, Alfonzo M, Anderson C. Johnny Walks to School: Does Jane? Sex Differences in Children's Active Travel to School[J]. Child Youth Environment, 2006, 16(1): 75-89.
- [138] Saelens B E, Sallis J F, Black J B, Chen D. Neighborhood- based Differences in Physical Activity: An Environment Scale Evaluation [J]. American Journal of Public Health, 2003, 93(9): 1552-1558.
- [139] Brown A L, Khattak A J, Rodriguez D A. Neighbourhood Types, Travel and Body Mass: A Study of New Urbanist and Suburban Neighbourhoods in the US[J]. Urban Studies, 2008, 45(4): 963-988.
- [140] Cao X, Handy S L, Mokhtarian P L. The Influences of the Built Environment and Residential Self- selection on Pedestrian Behavior: Evidence from Austin, TX[J]. Transportation, 2006, 33(1): 1-20.
- [141] Clifton K J, Dill J. Women's Travel Behavior and Land Use: Will New Styles of Neighborhoods Lead to More Women Walking?[C]//Transportation Research Board. Research on Women's Issues in Transportation, Report of a Conference, Volume 2: Technical Papers. Washington DC: Transportation Research Board, 2005: 89-99.
- [142] Ewing R, Cervero R. Travel and the Built Environment: A Synthesis[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2001(1780): 87-114.
- [143] LUTRAQ. Making the Land Use Transportation Air Quality Connection[R/OL]. 1993[2012-10-31]. <http://www.calthorpe.com/lutraq>.
- [144] Shriver K. Influence of Environmental Design on Pedestrian Travel Behavior in Four Austin Neighborhoods[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1997, 1578: 64-75.
- [145] Forsyth A, Krizek K. Promoting Walking and Bicycling: Assessing the Evidence to Assist Planners[J]. Built Environment, 2010, 36(4): 429-446.
- [146] Dill J. Bicycling for Transportation and Health: The Role of Infrastructure[J]. Journal of Public Health Policy, 2009, 30, 95-110.
- [147] Broach J, Dill J, Gliebe J. Where Do Cyclists Ride? A Route Choice Model Developed with Revealed Preference GPS Data[J]. Transportation Research Part A, 2012, 46(10): 1730-1740.
- [148] Kelly C E, Tight M R, Hodgson F C, Page M W. A Comparison of three Methods for Assessing the Walkability of the Pedestrian Environment[J]. Journal of Transport Geography, 2011, 19(6): 1500-1508.
- [149] Li Z, Wang W, Liu P, Ragland D R. Physical Environments Influencing Bicyclists' Perception of Comfort on Separated and On- street Bicycle Facilities[J]. Transportation Research Part D, 2012, 17(3): 256-261.
- [150] Pucher J, Dill J, Handy S. Infrastructure, Programs, and Policies to Increase Bicycling: An International Review[J]. Preventive Medicine, 2010, 50, 106-125.
- [151] TA. The Green Transportation Hierarchy [R/OL]. 2001[2012-10-31]. <http://www.transalt.org/files/news/magazine/012Spring/09hierarchy.html>.