

道路交通外部成本评估研究综述*

蔡 铭, 周展鸿

(中山大学工学院//广东省智能交通系统重点实验室, 广东 广州 510006)

摘 要: 道路交通外部成本是评价道路交通活动对旁观者的影响的重要指标, 对评估道路交通基础设施与交通政策的综合价值有着显著的意义。通过对道路交通外部成本评估的前沿文献进行回顾, 系统地总结了道路交通的交通拥堵、交通事故、空气污染、噪声污染和温室效应 5 种典型外部成本的评估方法, 并详细分析和对比了各外部成本的不同评估方法的优缺点与其适用情况。最后, 讨论了开展道路交通外部成本评估的重点和难点, 并将此结合上述研究在我国的研究现状和基础, 提出了关于开展我国城市道路交通外部成本评估研究的建议, 为在我国开展此类研究提供一定的参考。

关键词: 交通工程; 外部成本评估方法; 研究综述; 道路交通; 外部性

中图分类号: U491 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2015)04-0001-07

A Review of Evaluation of External Costs in Road Transport

CAI Ming, ZHOU Zhanhong

(School of Engineering//Guangdong Provincial Key Laboratory of Intelligent Transportation System, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: External costs in road transport are important indicators that evaluate the impacts on bystanders brought by road transport activities. They play significant roles in assessing comprehensive value of road transport infrastructures and policies. By reviewing the advanced literature of evaluation of external costs in road transport, the evaluation methods of external congestion cost, external accident cost, air pollution cost, noise cost and global warming cost in road transport are summarized systematically. Then, the advantages, disadvantages and applicability of different evaluation methods of each external cost are analyzed in detail. At last, the emphases and difficulties of conducting evaluation of external costs in road transport are discussed and some suggestions about carrying out evaluation study of external costs in road transport in Chinese urban area are offered. In these suggestions, the actuality of evaluation research of external costs in road transport in China is taken into account.

Key words: traffic engineering; evaluation method of external costs; literature review; road transport; externality

道路交通能促进地区间商品的流动, 拉动社会经济增长, 然而同时也引起了交通拥堵、交通事故和环境污染等负面问题。这说明其具有十分显著的外部性^[1]。经济合作与发展组织的数据指出, 道

路交通的总外部成本约占每年 GDP 的 5%^[2]。然而, 由于道路交通服务的使用者与提供者在决定交通的需求量或供给量时常没有注意到该成本, 从而使市场无法有效地配置交通资源, 引起了道路交通

* 收稿日期: 2015-01-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51178476); 广东省交通运输厅科技计划资助项目(科技-2014-03-003)

作者简介: 蔡铭(1977年生), 男; 研究方向: 交通环境工程; E-mail: caiming@mail.sysu.edu.cn

服务的过量或不足。因此,研究道路交通外部成本有助于市场充分意识到道路交通出行的真实价格,使市场更有效配置资源。

在国外,已有相当多的学者进行此方面的研究。早在 1975 年,Keeler 和 Small 就基于速度-流量曲线尝试评估旧金山地区机动车带来的行程时间和环境污染外部成本^[3]。Levinson 等^[4]通过分析回顾大量文献,估计出美国加州道路交通的交通拥堵、交通事故、空气污染和噪声污染四种外部成本。Bickel 等^[5-7]建立了一系列损害函数评估道路交通中交通事故、空气污染、噪声和土地利用等因素的外部成本。除此之外,进入 21 世纪后,欧美地区出现了大量由国家资助的道路交通外部成本研究计划。其中,UNITE 和 IMPACT 对交通事故、空气污染和交通拥堵等外部成本进行系统研究,为欧洲相关政策的制定提供参考^[8-9]。HEATCO 和 NEEDS 则对欧洲各国的道路交通进行了社会成本-效益分析^[10-11]。类似地,加拿大交通部组织了专家团队进行了相关的成本分析^[12]。而在国内,也有部分学者对我国道路交通的外部性和外部成本评估进行了一定的研究。邓欣等^[13]则以北京道路交通为例,对其空气污染成本、噪声污染成本、交通拥堵成本和交通事故成本进行了保守的估算。贾丰源等对上海五角场环形交叉口区域的尾气排放情况进行了评价,并以此目标对该交叉口的信号配时进行优化^[14]。刘永红等^[15]和李璐等^[16]则进一步根据国家颁布的尾气污染物排污费分别评估不同交叉口控制方式和人行天桥对道路交通空气污染成本的影响。然而,国内在道路交通外部性上的研究,关于道路交通外部成本评估的文献总体上仍然相对较少,特别是更具系统性和全面性的分析则更为罕见。

本文对前沿的道路交通外部成本评估方法进行综述,旨在对交通拥堵、交通事故、空气污染、噪声污染和温室效应 5 种典型道路交通外部成本的计算方法进行系统总结与分析,从而为我国道路交通外部成本评估提供参考。

1 道路交通外部成本及其分类

根据经济学的定义,当道路交通活动影响到旁观者的福利,且并未对这种影响付出代价或得到报酬时,就产生了外部性。若该影响是不利的,则为负外部性。为补偿他人受道路交通负外部性影响而应付出的代价称为道路交通的外部成本。

Verhoef 根据受影响的对象将道路交通外部成

本分为三类,分别为:道路交通使用者相互影响的外部成本、影响社会人群带来的外部成本和影响生态环境带来的外部成本^[17]。如交通拥堵仅会在驾驶者之间产生影响,则交通拥堵的外部成本属于道路交通使用者相互影响外部成本;而空气污染会对驾驶者之外的人和生态环境造成影响,则空气污染的外部成本属于影响社会人群和生态环境带来的外部成本。图 1 将更多的道路交通外部成本划分到上述分类中。

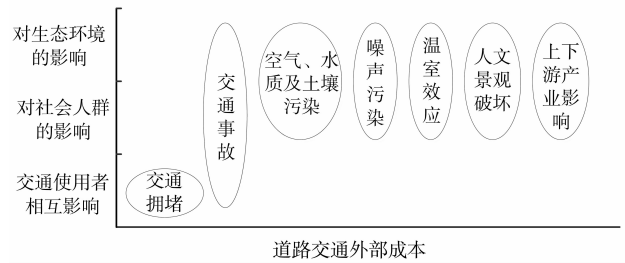


图 1 道路交通外部成本分类图

Fig. 1 Category of external cost in road transport

由于道路交通造成水体、土壤污染,人文景观破坏等其他外部效益影响机理复杂,其货币化方法存在较大不确定性,大部分关于道路交通外部成本的研究主要关注交通拥堵、交通事故、空气污染、噪声污染和温室效应造成的外部成本,因此本文也针对道路交通产生的交通拥堵、交通事故、空气污染、噪声污染和温室效应这 5 种典型外部成本的评估方法进行回顾与分析。

2 道路交通外部成本评估方法研究

2.1 交通拥堵外部成本评估方法

当道路出现拥堵后,每个新增的出行者都使该条道路上出行者的行程时间开始增加,从而引发了外部性。交通拥堵外部成本便是用于衡量拥堵产生的外部性的大小。在评估该成本时,研究者主要先基于速度-流量函数对边际拥堵外部成本进行计算,再以此为基础估计交通拥堵外部成本。式(1)为给定交通流量 Q 下的边际拥堵外部成本^[9]:

$$MEC_{cong}(Q) = VOT \cdot Q \cdot \frac{1}{v(Q)^2} \cdot \frac{\partial v(Q)}{\partial Q} \quad (1)$$

式中, VOT 为出行时间价值 (MYM/veh-h), Q 为给定交通流量 (veh), $v(Q)$ 为速度-流量函数 (km/h), $\frac{1}{v(Q)^2} \cdot \frac{\partial v(Q)}{\partial Q}$ 则为流量 Q 下出行者的行程时间增量。

具体而言,文献中主要出现 5 种评价指标评估拥堵外部成本,分别为最优流量下的边际拥堵外部成本(即交通拥堵最优收费)^[9,18]、零流量到实际流量的累计边际拥堵外部成本^[19]、基于边际拥堵外部成本计算交通拥堵带来的无谓损失^[20]、相对于参考速度的交通延误成本和拥堵费总收益^[21]。交通拥堵最优收费通过估计在社会最优流量下额外的出行者带来的外部效应来衡量拥堵外部成本,而后四种指标则从描述交通拥堵这一过程产生的外部效应对拥堵外部成本进行评估。对于后四种指标, Van Essen 等^[19]对其进行了比较,并发现上述指标的相对大小比例依此为 77%、31%、100% 和

153% (假设边际外部成本函数为二次曲线,交通需求弹性为 -0.8)。由于相对于参考速度的交通延误成本计算较为方便和直观,可作为交通拥堵外部成本的上界;而无谓损失是经济学上用于衡量交通拥堵外部性造成市场配置资源无效率程度的直接指标,则可作为交通拥堵外部成本的下界。

此外,出行时间价值的取值也是交通拥堵外部成本评估中的重要因素。研究者普遍认为工作出行的时间价值与个人的边际劳动产出有关,非工作出行的时间价值与个人偏好有关^[22]。对此,世界银行、美国交通运输部和 HEATCO 项目给出了其取值方法,如表 1 所示。

表 1 出行时间价值取值方法列表

Table 1 List of evaluation method of value of time

来源	工作出行时间价值	非工作出行时间价值
世界银行 ^[23]	133% 时薪	成人: 30% 家庭收入 小孩: 15% 家庭收入
美国交通运输部 ^[24]	100% 时薪	50% 时薪
HEATCO ^[10]	工资率法	支付意愿调查法

由表 1 可知,世界银行和美国交通运输部均建议以一定比例的工资率或家庭收入衡量出行时间价值,而 HEATCO 项目提出的取值基本方法为工作出行时间价值用工资率法获取,而非工作出行则采用出行者支付意愿调查法来获取。对此,若具备开展调查的条件时,可根据 HEATCO 建议的方法进行,否则,使用世界银行提供的取值方法进行取值。

2.2 交通事故外部成本评估方法

道路交通事故外部成本是交通事故社会成本中未被保险费覆盖的部分,其组成包括风险价值成本、人力资源损失成本、医疗成本、财物损失成本和管理成本等。交通事故外部成本的评估方法分为自下而上和自上而下方法两种。前者主要基于具体地点的交通事故数量与交通流量的关系,结合事故风险弹性,计算给定交通流量下的边际事故外部成本来估计事故外部成本,代表研究有 UNITE^[8]和 Lindberg^[25];后者则根据国家性或地区性的交通事故统计数据 and 保险费用数据,计算总交通事故外部成本,代表研究有 Maibach^[9]和 Delucchi^[26]。两种方法的计算公式如式(2)和式(3)所示。

$$EAC = rQ(a + b + c)[(1 - \theta) + E] + \theta rQc \quad (2)$$

式中, r 为车型 j 交通事故发生率, Q 为交通流量(veh), a 为统计生命价值, b 为亲友的损失成本, c

为事故给社会带来的成本, θ 为保险费占事故总成本的比例, E 为风险弹性。

$$EAC_{total} = \sum_i N_i \cdot C_i \cdot (1 - \theta) \quad (3)$$

式中, N_i 为交通事故类型 i 发生的数量(按严重程度将交通事故分为死亡、重伤、轻伤和物资损失 4 类), C_i 为包括统计生命价值、医疗和财物损坏等因素的交通事故类型 i 总成本。

由上式可见,自下而上方法主要关注交通流与交通事故成本的微观关系,可用于局部范围内交通基础设施的评估与定价问题;而自上而下方法则从宏观上计算区域性的交通事故外部成本,能覆盖各种交通事故的外部成本,可用于大区域的道路交通成本评价。

类似地,统计生命价值及不同严重程度的事故成本是货币化交通事故外部成本的重要因素。对此,已有相当多的学者对其进行研究。De Blaeij^[27]和 Viscusi^[28]对世界各地关于统计生命价值的研究进行了详细的回顾。由上述回顾可知,各研究求得的统计生命价值取值差异较大,其范围为 15 万~2 900 万美元。而欧洲的 UNITE 计划推荐使用 150 万欧元作为标准生命价值(欧洲平均水平),使用时可根据具体国家的购买力平价系数对其进行转化^[8]。而美国公路安全手册则给出了不同严重程度的事故成本,供难以获取本地事故成本的评估

研究使用^[29]。其具体取值如表 2 所示。

表 2 不同严重程度的事故成本

Table 2 Accident cost by accident severity

事故类型	成本/2001 USD
死亡事故	4 008 900
致残事故	216 000
明显受伤事故	79 000
可能受伤事故	44 900
仅财物损坏事故	7 400

2.3 空气污染成本评估方法

由于机动车排放的尾气污染物 (PM, NO_x, SO₂ 和 VOC) 产生会影响个人健康、损坏建筑物表面、使农作物减产和影响生态环境, 从而产生道路交通空气污染成本。空气污染成本的评估方法同样分为自下而上和自上而下方法两种。自下而上方法基于污染物排放量与交通流的关系, 根据具体场景考虑污染物的扩散, 并结合污染物浓度 - 反应函数, 计算空气污染的边际外部成本。而自上而下方法一般通过回顾文献数据估计出各种尾气污染物对个人健康、建筑物损害和农作物减产等因素造成的成本因子, 随后再与相应污染物排放量相乘, 求出总空气污染成本。

对于前者, 最有代表性的研究为欧洲 ExternE 计划开发的影响路径分析法 (Impact Pathway Approach)^[30]。该方法对每种机动车尾气污染物, 建立了一系列浓度 - 反应函数来评估污染物浓度增加造成死亡人数、呼吸道疾病、农作物产量、建筑物损坏以及生物多样性等因素的变化量。最后根据每种因素的经济成本, 计算各污染物的成本。此方法被广泛地运用到道路交通空气污染成本的评估中^[9,19,25]。而对于后者, 代表研究则有 Eyre^[31] 和 Mayeres^[32]。其研究通过归纳大量文献的评估结果, 总结出当地适用的各种尾气污染物的成本因子, 从而计算道路交通的空气污染成本。

上述两种评估方法都有各自的优缺点。自下而上方法能较为准确地衡量机动车尾气污染物对当地居民、建筑物和生态环境等因素的影响。然而, 该方法需收集人口, 交通流和医疗等大量的数据, 其具体实施的难度较大。相对而言, 自上而下方法虽然其可靠性稍有下降, 但计算难度则大为降低, 便于数据不足的研究使用。

2.4 噪声污染成本评估方法

道路交通噪声不仅增加暴露人群患高血压、心

肌梗塞的机会, 而且会影响个人心理状况, 使其心情烦恼。道路交通噪声污染成本便由上述两种影响产生。因此, 噪声污染成本的计算也分为个人健康成本和烦恼成本两部分。

对于个人健康成本, 一般先通过建立噪声水平与心血管疾病发病数量的关系, 估计交通噪声对个人健康的影响, 再结合相关疾病的医疗成本和噪声暴露人群数量进行计算。其中, 关于交通噪声与高血压、心肌梗塞等心血管疾病患病风险的关系已得到学者广泛的研究^[33-35]。而 De Kluizenaar 等^[36] 对此方面的研究进行了全面的回顾, 并提出了噪声水平与各类相关疾病患病风险的函数关系。

而烦恼成本可由交通噪声分贝值、该噪声水平下个人为减轻噪声烦恼的支付意愿和噪声暴露人群数量三者乘积求得。对于个人的支付意愿, 大多数研究根据享乐价格法进行估计, 也有部分研究采用陈述性偏好调查 (SP 调查) 进行估计。前者通过分析房屋价格与其所在地噪声水平的关系, 从而求出个人为减少噪声烦恼的支付意愿^[37]; 而后者则向调查对象提供一个假设情景以及一些反映噪声及相关属性的可选方案, 并让其在方案集进行选择, 从而估计出噪声的烦恼成本^[38]。对此, Becker^[39] 指出上述两种方法对交通噪声烦恼成本的估计结果较为类似。因此, 在具体的评估研究中可比较两者实施的难度进行选择评估方法。

2.5 温室效应成本评估方法

道路交通运输会导致二氧化碳等温室气体的排放, 对全球气候造成影响, 从而产生道路交通的温室效应成本。该成本可通过计算二氧化碳等价物排放量与二氧化碳成本因子的乘积求得。

其中, 二氧化碳成本因子的评估方法可分为损害成本法和减排成本法两种。前者通过建立数学模型评估气候变化对人体健康、农作物和水资源等因素的影响, 再结合具体因素的经济成本估计出二氧化碳的损害成本, 代表的研究有 Tol^[40] 和 Anthoff^[41]。而后者则根据具体减排目标 (如达到《京都议定书》的减排目标) 对二氧化碳的排放成本进行估计。Capros 和 Mantzos^[42] 根据欧洲的减排政策计算出二氧化碳的减排成本。当前, 由于研究者对全球气候变化带来的影响仍没有较一致的认识, 利用损害成本法评估的二氧化碳排放成本具有较大的不确定性, 因此二氧化碳减排成本常作为次好方案被运用于温室效应成本的评估中。

3 分析与讨论

由上文 5 种典型道路交通外部成本评估方法的

研究综述可知,在进行道路交通外部成本评估时,需要根据具体的评估对象和评估目标选择适合的方法。虽然选择的评估方法越准确就越能产生更可靠的评估结果,但是其评估的难度和相应的成本也随之增加。同时,出行时间、生命价值和尾气污染物等非货币量的货币化也是交通外部成本评估的关键因素。另外,上文回顾的评估方法在估计各类道路交通外部成本时都进行了不同程度的假设和简化。如交通拥堵外部成本评估方法主要基于确定性的速度-流量关系进行计算,但现代交通流理论则多以随机过程来解释两者之间的关系。这种简化的评价方法会使其结果会有一定的局限性。因此,在该领域的前沿研究中,越来越多的学者正着力于开发更精细化的道路交通外部成本方法^[43]。

目前,我国的道路交通外部成本评估研究尚处于起步阶段。虽然国内也曾有研究对北京市居民出行时间价值和统计生命价值进行估计^[44-45],但是在总体上相关的文献仍然较少。其次,由于一些评估所需的重要统计数据的缺乏(如机动车年行驶里程,由空气污染引起的呼吸道疾病数量等),使我国道路交通外部成本评估工作的难度进一步增加。此外,道路交通外部成本评估需要调查居民的主观意向,从而对空气污染物、噪声等非货币量进行货币化。但由于我国居民的环保意识相对淡薄,使得所得的结果容易出现偏差,使整体的评估受到影响。因此,结合我国上述的情况,本文对开展我国城市道路交通外部成本评估提出如下建议:

1) 对于交通拥堵外部成本,若涉及拥堵收费定价问题,应计算边际拥堵外部成本,并以此为基础计算最优收费。而若需要总体评估交通拥堵过程带来的外部成本,则可使用相对参考速度的延误成本作为其上界。该参考速度一般为畅行速度的60%^[19]。

2) 对于交通事故外部成本,若涉及具体地点的交通设施评估与定价问题,则可使用自下而上方法计算一定流量下的交通事故外部成本。而若要评估区域性的交通事故外部成本,则可使用自上而下方法进行计算。

3) 对于空气污染成本,由于在我国统计因污染物浓度增加而增加的死亡人数、呼吸道疾病数等相关数据较为困难,因此可使用自上而下方法进行计算。文献[30]指出在评估时若缺乏空气污染物成本因子计算的相关数据,可将欧洲地区的空气污染物成本因子根据研究地区与欧洲购买力平价比例进行转化来使用。因此,在计算我国道路交通

空气污染成本时,可将欧洲地区的空气污染物成本因子本地化来使用。

4) 由于交通噪声的烦恼成本比重比其个人健康成本更为大,Bickel等学者认为噪声产生的个人健康成本较之烦恼成本次要^[10],因此,在评估我国道路交通噪声成本时,可以烦恼成本为主。而在噪声货币化方面,为减少我国居民环保意识淡薄对评估的影响,在我国可使用意向调查法调查研究地居民为减少噪声的支付意愿,再结合享乐价格法对其进行一定的校准,从而计算每分贝噪声的成本因子。

5) 近年来,我国各地的碳排放交易所相继成立,其碳排放权成交价格能反映为达到各个地区制定的减排目标而产生减排成本。因此,评估我国道路交通温室效应成本时,可使用碳排放交易所中碳排放权的均衡价格作为二氧化碳的成本因子进行计算。

4 总 结

本文系统地回顾了交通拥堵外部成本、交通事故外部成本、空气污染成本、噪声污染成本和温室效应成本5种典型道路交通外部成本的评估方法,并对每种外部成本中非货币评价量的货币化方法进行了分析与总结。在最后,本文根据国外研究的成果对开展我国道路交通外部成本评估进行了讨论,并给出了一定的建议。

道路交通外部成本是道路交通成本的重要组成部分,对道路交通资源的合理配置、道路交通基础设施的评估与定价有着显著意义。随着我国城市机动车保有量的逐渐增多,道路交通带来的安全和环境问题也会日益严重,基于道路交通外部成本的评估方法分析城市典型交通问题和交通政策将成为未来的又一研究重点。

参考文献:

- [1] 贾顺平. 交通运输经济学 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [2] KINNOCK N. Towards fair and efficient pricing in transport [R]. Europe: European Commission Directorate General for Transport, 1995.
- [3] KEELER T, SMALL K A. The full costs of urban transport, part III: automobile costs and final intermodal comparisons [M]. Berkeley, CA: University of California at Berkeley, Institute of Urban and Regional Development, 1975.
- [4] LEVINSON D, GILLEN D, KANAFANI A, et al. The

- full cost of intercity transportation—a comparison of high speed rail, air and highway transportation in California [M]. Berkeley, CA: University of California at Berkeley, Institute of Transportation Studies, 1996.
- [5] BICKEL P, FRIEDRICH R. External costs of transport in Germany [C] // HOHMEYER O, RENNINGS K, OTTINGER R L. Social Costs and Sustainability. Berlin Heidelberg: Springer, 1997: 341–356.
- [6] OTTERSTRÖM T. Valuation of the impacts from road traffic fuel emissions: summary of results and conclusions [M]. Helsinki, Finland: Ekono Energy, Ltd, 1995.
- [7] DELUCCHI M A. The annualized social cost of motor vehicle use in the United States, based on 1990–1991 data [R]. Davis, CA: University of California, Institute of Transportation Studies, 1996.
- [8] NASH C. Unification of accounts and marginal costs for transport efficiency (UNITE), final report for publication [R]. Leeds: ITS, University of Leeds, 2003.
- [9] MAIBACH M, SCHREYER C, SUTTER D, et al. Handbook on estimation of external costs in the transport sector internalisation measures and policies for all external cost of transport (IMPACT) [R]. Delft: CE Delft, 2008.
- [10] BICKEL P, ARAMPATZIS G, BURGESS A, et al. Developing harmonised European approaches for transport costing and project assessment (HEATCO) deliverable 5 proposal for harmonised guidelines [R]. Stuttgart: Universität Stuttgart, 2005.
- [11] Institute of Studies for the Integration of Systems. New energy externalities development for sustainability (NEEDS) deliverable d6.7: final report on the monetary valuation of mortality and morbidity risks from air pollution [R]. Paris: University of Paris, 2007.
- [12] Economic Analysis Directorate of Transport Canada. Estimates of the full cost of transportation in Canada [R]. Canada: Transport Canada, 2008.
- [13] 邓欣, 黄有光. 中国道路交通外部成本估计——北京案例研究 [J]. 重庆大学学报: 社会科学版, 2008, 14(1): 4–10.
- [14] 贾丰源, 严凌, 董洁霜, 等. 基于环境质量的城市道路环形交叉口信号配时优化研究 [J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2008, 47: 161–164.
- [15] 刘永红, 廖瀚博, 余志, 等. 基于环境影响的交叉口控制方式综合评估研究 [J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2013, 52(1): 12–16.
- [16] LI L, CAI M, LIU Y H. Integrated benefit evaluation of pedestrian bridge [J]. Environmental Modeling Assessment, 2012, 17(3): 301–313.
- [17] VERHOEF E. External effects and social costs of road transport [J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 1994, 28(4): 273–287.
- [18] HAU T D. Congestion pricing and road investment [C] // BUTTON K J, VERHOEF E T. Road Pricing, Traffic Congestion and the Environment Cheltenham, England: Edward Elgar Publishing Limited, 1998: 39–78.
- [19] VAN ESSEN H, SCHROTEN A, OTTERN M, et al. External costs of transport in Europe: update study for 2008 [R]. Delft: CE Delft, 2011.
- [20] BANFI S, DOLL C, MAIBACH M, et al. External costs of transport: accident, environmental and congestion costs in Western Europe [R]. Zürich/Karlsruhe: INFRAS/IWW, 2000.
- [21] SCHADE W, DOLL C, MAIBACH M, et al. COMPETE final report: analysis of the contribution of transport policies to the competitiveness of the EU economy and comparison with the United States [R]. Karlsruhe, Germany: ISI, INFRAS, TIS, Europe Economics, 2006.
- [22] IT TRANSPORT LTD. The value of time in least developed countries (Knowledge and Research (KaR) 2000/01 DFID Research No. R7785) final report [R]. UK: Department for International Development, 2002.
- [23] GWILLIAM K M. The value of time in economic evaluation of transport projects: lessons from recent research [R]. Washington DC: World Bank, 1997.
- [24] BELENKY P. Revised departmental guidance on valuation of travel time in economic analysis [R]. Washington DC: U.S. Department of Transportation, 2011.
- [25] LINDBERG G. Generalisation of research on accounts and cost estimation (GRACE) deliverable d3 marginal costs case studies for road and rail transport [R]. Leeds: ITS, University of Leeds, 2006.
- [26] DELUCCHI M A. Summary of the nonmonetary externalities of motor-vehicle use: report #9 in the series: the annualized social cost of motor-vehicle use in the United States, based on 1990–1991 Data [R]. California: Institute of Transportation Studies, University of California, Davis, 2004.
- [27] DE BLAEIJ A, FLORAX R J, RIETVELD P, et al. The value of statistical life in road safety: a meta-analysis [J]. Accident Analysis & Prevention, 2003, 35(6): 973–986.
- [28] VISCUSI W K & ALDY J E. The value of a statistical life: a critical review of market estimates throughout the world [J]. Journal of Risk and Uncertainty, 2003, 27(1): 5–76.
- [29] National Research Council (US), Transportation Research Board, Task Force on Development of the Highway Safety Manual, et al. Highway safety manual [M].

- Washington, D C: AASHTO, 2010.
- [30] BICKEL P, FRIEDRICH R. Externe externalities of energy: methodology 2005 update [R]. Luxembourg: European Commission, 2005.
- [31] EYRE N, OZDEMIROGLU E, PEARCE D, et al. Fuel and location effects on the damage costs of transport emissions [J]. *Journal of Transport Economics and Policy*, 1997, 31(1): 5 - 24.
- [32] MAYERES I, OCHELEN S, PROOST S. The marginal external costs of urban transport [J]. *Transportation Research D*, 1996, 1(1): 111 - 130.
- [33] BLUHM G L, BERGLIND N, NORDLING E, et al. Road traffic noise and hypertension [J]. *Occupational and Environmental Medicine*, 2007, 64(2): 122 - 126.
- [34] BODIN T, ALBIN M, ARDO J, et al. Road traffic noise and hypertension: results from a cross-sectional public health survey in southern Sweden [J]. *Environ Health*, 2009, 8(1): 38 - 47.
- [35] PIRRERA S, DE VALCK E, CLUYDTS R. Nocturnal road traffic noise: a review on its assessment and consequences on sleep and health [J]. *Environment International*, 2010, 36(5): 492 - 498.
- [36] DE KLUIZENAAR Y, PASSCHIER-VERMEER W, MIEDEMA H. Adverse effects of noise exposure to health [R]. Leiden: TNO PG, 2001.
- [37] NELSON J P. Hedonic property value studies of transportation noise: aircraft and road traffic [C] // BARANZINI A, RAMIREZ J, SCHAEERER C, et al. *Hedonic Methods in Housing Markets*, Springer, 2008: 57 - 82.
- [38] WARDMAN M, BRISTOW A L. Traffic related noise and air quality valuations: evidence from stated preference residential choice models [J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2004, 9(1): 1 - 27.
- [39] BECKER T, GERLACH J. The true costs of automobility: external costs of cars overview on existing estimates in EU - 27 [R]. Dresden: TU Dresden, 2012.
- [40] TOL R S. Is the uncertainty about climate change too large for expected cost-benefit analysis [J]. *Climatic Change*, 2003, 56: 265 - 289.
- [41] ANTHOFF D, HEPBURN C, TOL R S. Equity weighting and the marginal damage costs of climate change [J]. *Ecological Economics*, 2009, 68(3): 836 - 849.
- [42] CAPROS P, MANTZOS L. Kyoto and technology at the European Union: costs of emission reduction under flexibility mechanisms and technology progress [J]. *International Journal of Global Energy Issues*, 2000, 14(1): 169 - 183.
- [43] KORZHENEVYCH A, DEHNEN N, BROCKER J, et al. Update of the handbook on external costs of transport [R]. UK: DG MOVE, 2014.
- [44] 齐彤岩, 刘冬梅, 刘莹. 北京市居民出行时间成本研究 [J]. *公路交通科技*, 2008, 25(6): 144 - 153.
- [45] 罗俊鹏, 何勇. 道路交通安全统计生命价值的条件价值评估 [J]. *公路交通科技*, 2008, 25(6): 130 - 134.