

雾霾天气对出行行为的影响机理研究

李聪颖^{1,2}, 黄一哲^{2,3}, 李 敢^{2,4}, 易 超^{2,5}, 朱文强², 刘 雯^{2,6}

(1. 西安建筑科技大学城乡规划学博士后流动站, 陕西 西安 710055; 2. 西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055;

3. 上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院, 上海 200240; 4. 哈尔滨工业大学深圳研究生院, 广东 深圳 518055;

5. 上海理工大学管理学院, 上海 200093; 6. 上海海事大学交通运输学院, 上海 201306)

摘要: 雾霾天气下, 较多出行者会对出行行为进行调整, 为系统分析雾霾天气对于出行者出行行为的影响机理, 将计划行为理论拓展后建立关于出行者态度、主观规范、行为控制认识、身体状况等潜变量的结构方程分析模型, 并对分析模型进行了检验和改进。结果表明, 雾霾天气会对采用不同出行方式的出行者产生不同程度的影响, 其中出行者的态度、心理状态以及身体状况对此有较大的解释力, 对应的路径系数分别为 0.565、0.268、0.164; 出行者过去积累的经验以及对自己雾霾天气下出行能力的认识会对其出行态度产生较大影响。

关键词: 交通工程; 雾霾; 出行行为影响机理; 结构方程模型

中图分类号: U121

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2015)05-0728-06

Analysis of the influence of smog on the travel behavior

LI Congying^{1,2}, HUANG Yizhe^{2,3}, LI Gan^{2,4}, YI Chao^{2,5}, ZHU Wenqiang², LIU Wen^{2,6}

(1. Postdoctoral Research Station of Urban and Rural Planning, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

2. School of Civil Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

3. School of Naval Architecture, Ocean & Civil Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, 200240, China;

4. Shenzhen Graduate School, Harbin Institute of Technology, Shenzhen 518055, China;

5. College of Management, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai 200093, China;

6. College of Transport and Communications, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In smog hours, many individuals tend to change their daily activity schedules and decisions. In order to analyze the influence mechanism of such weather on the travel behavior, an analysis structural model is built based on the Theory of Planned Behavior, and this paper proposes the hypotheses that the reason of individuals changing their travel behaviors in smog weather involves the attitude towards traveling in such bad days, as feeling sick, psychologically uncomfortable, individual's past experience, the cognition of the ability to travel, and subjective norm. The model output shows that attitude, and the psychological state and physiological state have a significant impact on the traffic behavior, and the corresponding standard coefficients between these latent variables and traffic behavior are 0.565, 0.268 and 0.164, respectively. Traveler's experience and cognition of the ability to travel will exert significant effect on the traveling attitude towards the smog weather.

Key words: traffic engineering; smog; influence of travel behavior; structural equation model

近年来, 我国各大城市雾霾天气日趋增多, 造成了出行者的不适, 也对道路交通安全产生了严重影响。为改变上述状况, 除了从环境工程角度予以治理, 还应深入探究雾霾天气下内外部因素对出行者具体行为的影响。

影响出行行为的主要因素包括出行费用、各种选择的可行性等外部交通设施限制以及日常的行为和个人的特征^[1], 雾霾等外部环境对交通行为的影响主要在于后者。目前针对外部环境对出行行为影响的研究主要有最大效用理论和心理行为理论这两类理论方法^[2]。

最大效用理论从微观个体最大效用角度出发分析个体的选择行为: 石小法^[3]等提出将路阻作为随时间变化而改变的随机过程变量, 出行者在路径选择时选择路阻最小的路径出行; 迪克(Dick)等^[4]建立了基于期望效用理论的出发时刻选择概念模型。心理行为理论从出行者心理角度揭示行为的内在机理: 郭寒英^[5]从出行者生理、心理特征以及生理心理交互作用等角度分析城市客运交通出行行为; 布鲁克赫伊斯(Brookhuis)^[6]和唐登科^[7]等采用心电、脑电数据分析驾驶人的驾驶行为。最大效用理论在较简单的静态决策环境下比较合适, 但难

收稿日期: 2015-03-19

修改稿日期: 2015-10-05

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(51408460); 中国博士后科学基金面上资助(2014M562380); 住房和城乡建设部科学技术项目(2013-K5-26)

作者简介: 李聪颖(1977-), 女, 讲师, 博士, 主要从事城市交通规划方面的研究。E-mail: licongying@126.com

以分析较为复杂的决策行为^[8],而心理对个体行为选择的影响机理目前仍不是特别明确^[2].

雾霾天气下,出行者态度、感知等无法直接观测到的变量会对行为决策产生重要影响,结构方程模型可以有效揭示不可直接观测变量对行为的影响:加特林(Garling)^[9]等通过建立结构方程模型探究了态度对驾驶行为决策的影响;戈龙布(Golob)^[10]等通过建立结构方程模型分析了个人出行行为与对政策支持程度的关系;伊莱亚斯(Elias)^[11]等应用结构方程模型分析了出行者对于事故的感知对出行行为选择的影响.总体上,结构方程模型在分析态度、感知等对出行行为影响的研究领域已经有了较为广泛的应用^[12].

基于社会心理学相关理论,引入生理、心理感知变量,构建了结构方程模型,联立分析不同影响因素之间的联系,探究了雾霾对于出行行为的影响机理.

1 雾霾对出行行为的影响

为探究雾霾对出行者的影响,从出行次数、出行方式、出行速度以及出行时间 4 个方面调查了雾

霾对不同出行方式的出行者出行行为的影响程度.

结合调查结果,针对雾霾对出行行为的影响程度进行了均值和方差分析,如表 1 所示.

结果显示雾霾天气对于各种出行方式的出行者的交通行为都造成了一定的影响:

(1)雾霾天气下出行者出行次数都有一定程度的减少(均值小于 3),不同出行方式的出行者出行次数下降的程度没有显著的不同($P>0.05$);

(2)不同出行方式的出行者在雾霾天气下对原有的出行方式的依赖程度不同($P<0.05$),其中公共交通出行者更容易选择原有的出行方式(3.70),步行者更容易放弃原有的出行方式(2.83);

(3)不同出行方式的出行者在雾霾天气下速度的变化有显著的不同($P<0.05$),其中电动车(1.69)和自行车(2.07)的速度都有较大程度的下降,而步行者的出行速度有一定程度的增加(3.21);

(4)雾霾天气下,出行者的出行时间都有一定程度的减少(均值小于 3),其中电动车出行者的出行时间减少较多(1.68),私家车出行者的出行时间减少较少(2.64).

表 1 雾霾天气下出行者出行行为改变的均值和方差分析
Tab.1 Means and variance analysis of travel behavior in the smog weather

出行行为改变	主要出行方式					F 值	p
	公共交通	私家车	电动车	自行车	步行		
出行次数	2.28±0.95	2.59±0.68	2.08±0.76	2.47±1.36	2.16±1.07	1.68	0.15
出行方式	3.70±1.05	3.41±1.23	3.62±1.34	3.53±1.06	2.83±1.34	3.60	0.01
出行速度	2.72±1.28	2.38±0.88	1.69±0.75	2.07±0.88	3.21±1.19	7.99	0.00
出行时间	2.31±1.09	2.64±1.01	1.68±0.48	2.20±1.08	2.19±0.91	2.50	0.04

注:表格中的数字分别代表了雾霾天气下对于出行次数、出行方式、出行速度以及出行时间四种交通行为的影响程度,其中 1 代表减少很多(一定不会选择原来的出行方式),2 代表减少(偶尔选择原来的出行方式),3 代表中立,4 代表增加(偶尔不会选择原来的出行方式),5 代表增加很多(一定会选择原来的出行方式).

2 结构方程分析模型的构建

出行者在雾霾天气下出行行为主要表现为一种短期调整,调整的原因包括出行者生理、心理上感知到的不适以及由过去行为、主观认识等形成的对雾霾天气出行的态度等.为进一步分析雾霾天气对出行者交通行为的影响特性,本文基于计划行为理论建立了结构方程分析模型.

2.1 结构方程模型

结构方程模型是一种以回归为基础的多变量分析技术,并结合路径分析,属于验证性实证研究的数据分析技术,其目的在于探究变量间的因果关系并验证理论^[13].结构方程模型拥有一套独特的变

量体系:能够直接观测到的变量为观测变量(observed variable),难以直接观测的抽象概念为潜变量(latent variable).

结构方程模型可分为测量模型和结构模型两部分,其中测量模型可用来描述潜变量和观测变量之间的关系,结构模型可用来描述潜变量间的关系.可采用矩阵方程式的形式来反映上述模型:

$$x = A_x \xi + \delta \tag{1}$$

$$y = A_y \eta + \varepsilon \tag{2}$$

$$\eta = B\eta + \Gamma\xi + \zeta \tag{3}$$

其中: x 为外生观测变量向量; A_x 为外生观测变量与外生潜变量之间的关系,是外生观测变量在外生

潜变量上的因子荷载矩阵; ξ 为外生潜变量向量; δ 为外生观测变量的残差项向量; y 为内生观测变量向量; A_y 为内生观测变量与内生潜变量之间的关系, 是内生观测变量在内生潜变量上的因子荷载矩阵; η 为内生潜变量向量; ε 为内生观测变量的残差项向量; B 和 Γ 都是路径系数, B 表示内生潜变量之间的关系, Γ 表示外生潜变量对于内生潜变量值的影响; ζ 为结构方程模型的误差项。

2.2 模型的构建

分析模型采用计划行为理论作为分析雾霾对交通行为影响的理论基础, 并对其进行了拓展。

2.2.1 计划行为理论

计划行为理论(Theory of Planned Behavior, TPB)从信息加工的角度、以期望价值理论为出发点解释个体行为的一般决策过程^[14], 已被广泛应用于交通行为的预测和解释^[15]。计划行为理论一般认为影响行为的主要因素有: 态度、主观规范、行为控制认识和过去经验。针对雾霾天气, 对这些影响因素进行分析:

(1) 态度

态度指对事物或者观念的存在和属性的认知, 也指对待事物喜欢与否的感觉^[16]。出行者对待雾霾天气下出行的态度是其出行行为发生改变的首要决定因素。

(2) 主观规范

主观规范指个体执行某种行为时, 所感受到其他重要关系人的压力。雾霾天气下家人或朋友等看法会影响出行者的决策。

(3) 行为控制认识

行为控制认识指同时考虑到个人技能、资源及机遇等因素后, 实施某一特定行为的困难容易程度。雾霾天气下出行者的行为控制认识包括对能见度的认识、对路面附着系数的认识、对反应时间的认识、对自己顺利出行能力的认识、对路段管控措施的认识、对自己生理、心理受到影响的认识等。

(4) 过去经验

过去经验指个人过去行为所积累的经验。出行者在过去的雾霾天气下有无发生交通险情、是否出现过不适、周围(政府部门、新闻媒体等)对雾霾天气各方面宣传对自己的影响等方面都会影响出行者的经验。

许多学者实证研究发现, 态度不仅影响行为,

且在主观规范、行为控制认识和过去经验等变量对行为影响过程中起中介作用^[13], 于是将态度作为中介变量。

2.2.2 理论模型的拓展

雾霾天气下, 出行者的出行行为不仅会受到态度的影响, 同时会受到心理、生理状态的影响。为反映出行者在实际雾霾环境下的出行决策过程, 在原有计划行为理论基础上, 引入心理状态和身体状况两个潜变量, 拓展了理论。

其中雾霾天气下出行者的心理状态主要有急躁感、紧张感、疲劳感、情绪低落感以及恐惧感 5 类, 身体状况主要有呼吸系统疾病症状、心血管疾病症状以及各类传染病症状 3 类。

2.2.3 分析模型的提出

综合上述分析, 提出了基于计划行为理论的分析模型, 其中包含以下 6 点假设:

(1) 过去经验对态度具有显著影响;

(2) 行为控制认识对态度具有显著影响;

(3) 主观规范对态度具有显著影响;

(4) 态度对雾霾天气出行行为的改变有显著影响, 且在过去经验、行为控制认识与主观规范对雾霾天气出行行为改变的影响过程中起中介作用;

(5) 身体状况对雾霾天气出行行为的改变具有显著影响;

(6) 心理状态对雾霾天气出行行为的改变具有显著影响。

3 模型的计算与验证

3.1 问卷设计与调查实施

为了对相关变量进行测量, 设计了雾霾天气出行行为调查问卷。问卷共分 7 个维度, 27 个问项, 分别测量了出行行为、态度、过去经验、行为控制认识、主观规范、心理状态、身体状况等 7 个潜变量下的 27 个观测变量, 评分表采用李克特(Likert) 5 级量表形式。问卷首先通过德尔菲专家法对各维度测量项目的涵盖、问卷的语气以及各指标的选取进行了预调查, 以保证问项设置的合理性。最终问项设置见表 2。

为确保问卷分发的随机性, 采用路边询问法和网上问卷法 2 种形式进行问卷的发放, 共计发放问卷 500 份, 最终回收 484 份有效问卷, 回收率 96.8%。

3.2 可信度与有效度分析

利用主成分分析法对数据进行建构效度分析,

剔除公因子荷载 0.5 以下的 PE2、K1、K4 和 K5 共 4 个问项. 对样本数据进行可信度分析, 得到各潜变量的内部一致性系数(α 系数)均在 0.6 以上, 信度较高, 结果如表 3 所示. 最终得到 7 个潜变量包含的共 23 个观测变量, 可用于进一步的模型分析与假设检验.

3.3 结构方程模型验证

为分析各潜变量之间的关系以及对雾霾天气交通行为影响的解释程度, 采用结构方程模型的方法对分析模型进行检验, 借助 AMOS 20.0 软件对样本数据进行分析.

对预设的结构方程模型(如图 1 所示)作了初步检验, 各拟合指数如表 4 所示. 根据模型拟合结果, 除 RMSEA 满足要求外, 其他拟合指数 χ^2/df 、NFI、IFI、TLI、CFI 等均不合格, 模型拟合不佳.

表 2 测量变量及具体问项内容
Tab.2 Measuring variables and specific content of items

观测变量	问项内容基本描述
出行行为 /TB	出行次数(TN)、出行方式改变(TM)、出行速度(TS) 出行时间(TT)
态度/A	减少出行的态度(A1)、改变出行方式的态度(A2)、 减少出行时间的态度(A3)、降低出行速度的态度(A4)
过去经验 /PE	是否出现交通险情(PE1)、是否出现身体不适 (PE2)、宣传的影响(PE3)
行为控制 认识/K	能见度降低的认识(K1)、路面致滑的认识(K2)、 反应时间增加的认识(K3)、生理心理受危害的认 识(K4)、出行能力的认识(K5)、路段管控措施的 认识(K6)
主观规范 /SN	家人的态度(SN1)、朋友的态度(SN2)
心理状态 /P	急躁感(P1)、紧张感(P2)、疲劳感(P3)、情绪低落 感(P4)、恐惧感(P5)
身体状况 /B	呼吸系统疾病症状(B1)、心血管疾病症状(B2)、 其他传染病症状(B3)

表 3 研究变量的可信度分析结果
Tab.3 The reliability of variables

研究变量	出行 行为 /TB	态度/A	过去经 验/PE	行为控 制认识/K	主观规 范/SN	心理状 态/P	身体 状况/B
α 系数	0.618	0.662	0.717	0.679	0.793	0.859	0.743

为寻求更好的拟合模型, 以修正系数 M.I. 为参考, 根据相关理论对结构方程模型进行部分改进. 雾霾天气下, 生理上的不适会产生不良情绪, 不良情绪也会对身体产生消极影响, 生理和心理相互作用, 相互影响^[5]. 且参考 AMOS 生成的修正系

数表, 增加心理状态和身体状况之间的关系路径, 对模型进行第一次修正.

雾霾天气下的行为经验会受到过去雾霾天气下心理状态的影响, 而现状的心理状态又易受到过去对于雾霾天气出行经验的干扰, 所以心理状态和过去经验之间也有一定的相关关系. 且根据重新形成的修正系数表, 增加心理状态和过去经验之间的关系路径, 对模型进行第二次修正.

再次修正后的结构方程模型如图 2 所示, 各潜变量间、各观测变量与潜变量间的路径系数均在 [-1,1] 范围内, 符合结构方程的要求. 模型拟合指数如表 5 所示. 从表 5 来看, χ^2/df 结果尚可, 在可接受区间 [1,3] 内, NFI、TLI、CFI 都超过了 0.9, IFI 则接近 0.9, RESMA 低于 0.10. 综合各类评价指标, 该模型拟合效果良好, 表明态度等因素对雾霾天气下出行者出行行为的调整有较好的解释作用.

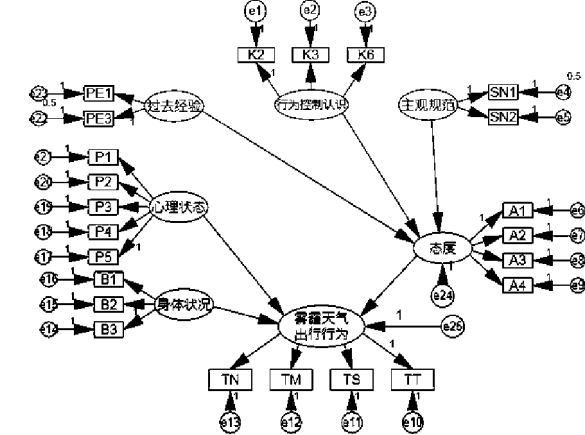


图 1 基于计划行为理论的结构方程模型
Fig.1 Structural equation model based on the TPB

表 4 预设模型的拟合指标分析表
Tab.4 Fitting index of the default model

拟合指数	拟合效果值	可接受区间
卡方自由度比 χ^2/df	3.152	1~3
规范拟合指数 NFI	0.873	0.9~1
增量拟合指数 IFI	0.799	0.9~1
塔克尔勒威斯指数 TLI	0.816	0.9~1
比较拟合指数 CFI	0.862	0.9~1
近似均方根误差 RMSEA	0.083	<0.10

4 模型结果分析

根据各潜变量之间的路径系数值, 可以得到以下公式:

$$A = 0.177 SN + 0.424 PE + 0.280 K \tag{4}$$

$$TB = 0.565 A + 0.164 B + 0.268 P \tag{5}$$

模型结果表明:

(1)态度是主观规范、过去经验和行为控制认识对出行行为产生影响的中介变量,过去经验对态度的路径系数是 0.424,行为控制认识对态度的路径系数是 0.280,主观规范对态度的路径系数是 0.177.

雾霾天气下,出行者的主观规范、过去经验及行为控制认识对于出行行为的态度具有显著影响,假设 1、2、3 得到支持.其中过去经验对态度的路径系数最大,表明雾霾天气下出行者对出行行为的态度主要源于其过去行为所积累的经验.行为控制认识对态度的解释力次之,说明出行者对于雾霾天气下出行能力的认识也会对出行的态度产生较大影响.而家人朋友等对出行者的主观规范对于态度的解释力最低.

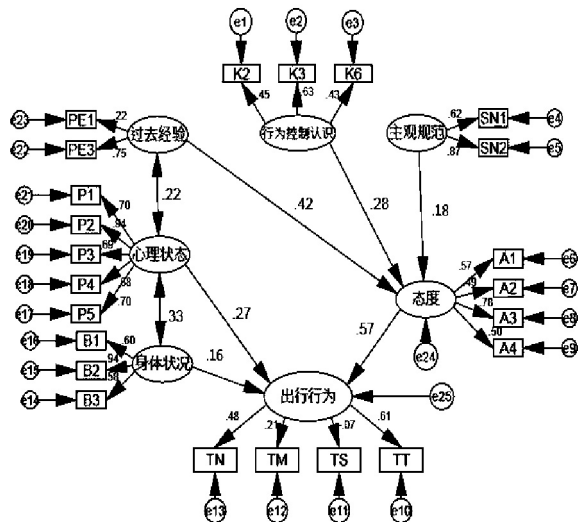


图2 第二次修正后的结构方程模型
Fig.2 Modified structural equation model

表5 修正模型的拟合指标分析表
Tab.5 Fitting index of the modified model

拟合指数	拟合效果值	可接受区间
卡方自由度比 χ^2/df	2.623	1-3
规范拟合指数 NFI	0.904	0.9-1
增量拟合指数 IFI	0.892	0.9-1
塔克尔勒威斯指数 TLI	0.914	0.9-1
比较拟合指数 CFI	0.930	0.9-1
近似均方根误差 $RMSEA$	0.087	<0.10

(2)对于雾霾天气下交通行为改变的解釋力,态度的路径系数为 0.565,心理状态的路径系数为 0.268,身体状况的路径系数为 0.164.

雾霾天气下,态度、身体状况及心理状态对出行行为行为的改变具有显著影响,假设 4、5、6 成立.而且态度对于这种改变的解釋力最大,说明在

雾霾天气中,出行者对待雾霾天气的态度是影响其出行行为的主要因素.而心理状态的解釋力大于生理状态,说明出行者更易根据自己在雾霾天气下的心理情绪调整出行行为,生理状态对出行行为的解釋力有限.

(3)潜变量身体状况与心理状态之间的路径系数是 0.329,潜变量过去经验与心理状态之间的路径系数是 0.223.

雾霾天气下,生理与心理因素相互影响,过去经验也会对出行者的心理状态产生一定的影响.其中身体状况对心理状态的解釋力高于过去经验对心理状态的解釋力.

(4)对于出行行为这一内生潜在变量,出行次数、出行方式、出行速度以及出行时间这四个测量变量对应的因子荷载分别是 0.48、0.21、-0.07、0.61.

因子荷载可以表示测量变量对于潜变量的解釋力.模型结果表明,对于结构方程模型中所定义的出行行为潜变量,出行时间的解釋力最大,其次是出行次数、出行方式,出行速度的解釋力最小.

5 结论与建议

对雾霾天气对于交通行为的影响机理进行了较为系统的分析,并采用结构方程模型的方法对分析模型进行了验证和改进,得到的主要结论和相关建议如下:

(1)雾霾天气会对不同出行方式的出行者产生不同程度的影响,建议出行者减少步行和非机动车的出行时间,优先乘坐公共交通工具出行,有关部门可以针对不同出行方式的出行者采取不同的交通管理措施,并优先保障公交车的通行.

(2)雾霾天气下出行者的出行行为主要受到出行者的态度以及在雾霾天气下心理、生理的状态的影响,建议出行者理性地认识雾霾对身体的危害,出门保持愉悦的心情,并做好相应的防护措施.

(3)雾霾天气下出行者过去积累的经验以及对自己雾霾天气下出行能力的认识会对其雾霾天气下出行的态度产生影响,建议有关部门增加对雾霾天气出行利弊以及道路交通条件的宣传力度,加强出行者对于雾霾天气下出行的理性认识.

参考文献 References

- [1] NOBLET C L, THØGERSEN J, TEISL M F. Who attempts to drive less in New England [J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2014, (23): 69-80.

- [2] CHEN C F, CHAO W H. Habitual or reasoned using the theory of planned behavior, technology acceptance model, and habit to examine switching intentions toward public transit[J]. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2011, 14(2): 128-137.
- [3] 石小法, 卢林. 交通信息影响下的动态路径选择模型研究[J]. *公路交通科技*, 2000, 17(4): 35-37.
SHI Xiaofa, LU Lin. Study on Dynamic route choice model with travel information[J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2000, 17(4): 35-37.
- [4] ETTEMA D, TIMMERMAN H. Costs of travel time uncertainty and benefits of travel time information: conceptual model and numerical examples[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2006, 14(5): 335-350.
- [5] 郭寒英. 基于出行者生理、心理的城市客运交通出行行为研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2007.
GUO Hanying. Study on travelers behavior based on their physiology and psychology in urban passenger transportation[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2007.
- [6] BROOKHUIS K A, de WAARD D. The use of psychophysiology to assess driver status[J]. *Ergonomics*, 1993, 36(9): 1099-1110.
- [7] 唐登科. 驾驶员驾车生理、心理反应与道路线形关系的研究[D]. 南京: 东南大学, 2006.
TANG Dengke. Research on the relationship of driver's physical and mental reaction, and road alignment [D]. Nanjing: Southeast University, 2006.
- [8] SAKANO R, BENJAMIN J M. A structural equations analysis of revealed and stated travel mode and activity choices[J]. *Transportmetrica*, 2008, 4(2): 97-115.
- [9] GÄRLING T, FUJII S, BOE O. Empirical tests of a model of determinants of scriptbased driving choice[J]. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2001, 4(2): 89-102.
- [10] GOLOB T F, HENSHER D A. Greenhouse gas emissions and Australian commuters' attitudes and behavior concerning abatement policies and personal involvement[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 1998, 3(1): 1-18.
- [11] ELIAS W, SHIFTAN Y. The influence of individual's risk perception and attitudes on travel behavior[J]. *Transportation Research Part A: policy and practice*, 2012, 46(8): 1241-1251.
- [12] GOLOB T F. Structural equation modeling for travel behavior research [J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2003, 37(1): 1-25.
- [13] 李华敏. 乡村旅游行为意向形成机制研究[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2009.
LI Huamin. Study on the formation mechanism of rural tourism behavior intention[M]. Beijing: China Social Sciences Publishing House, 2009.
- [14] 段文婷, 江光荣. 计划行为理论述评[J]. *心理科学进展*, 2008, 16(2): 315-320.
DUAN Wenting, JIANG Guangrong. A Review of the Theory of Planned Behavior[J]. *Advances in Psychological Science*, 2008, 16(2): 315-320.
- [15] DONALD I J, COOPER S R, CONCHIE S M. An extended theory of planned behaviour model of the psychological factors affecting commuters' transport mode use[J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2014, 40: 39-48.
- [16] GOLOB T F. Joint models of attitudes and behavior in evaluation of the San Diego I-15 congestion pricing project[J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2001, 35(6): 495-514.

(编辑 吴海西)

(上接第 722 页)

- [16] LIU Xiaoyu, LAU Siu-Kit, LI Haorong. Optimization and analysis of a multi-functional heat pump system with air source and gray water source in heating mode[J]. *Energy and Building*, 2014, 69: 1-13.
- [17] BYRNE P, MIRIEL J, LENAT Y. Experimental study of an air-source heat pump for simultaneous heating and cooling—Part1: Basic concepts and performance verification[J]. *Applied Energy*, 2011, 88: 1841-1847.
- [18] JIANG M L, WU J Y, WANG R Z. Research on refrigerant flow characteristics and performance of a multi-functional heat pump system[J]. *Energy Conversion and Management*, 2011, 52: 2323-2328.
- [19] BAXTER V D. Comparison of field performance of a high efficiency heat pump with and without a desuperheater water heater[C]. *ASHRAE Trans*, 1983, 89(2): 180-189.
- [20] 刘雄. 空调制冷设备: 中国, 201410414401.1[P]. 2014-08-16.
LIU Xiong. Air conditioning refrigeration equipment: China, 201410414401.1[P]. 2012-07-11.
- [21] 刘雄. 空气处理设备水系统: 中国, 201210362440.2[P]. 2012-09-17.
LIU Xiong. Water system of air handling equipment: China, 201210362440.2[P]. 2012-09-17.
- [22] STUIJ B. Waste heat recovery heat pumps for buildings: an international overview[J]. *IEA Heat Pump Central Newsletter*, 1994, 12(9): 12-19.
- [23] CANE R L D, CLEMES S B, FORGAS DA. Heat recovery heat pump operating experience[C]. *ASHRAE Trans*, 1994, 100(2): 165-172.

(编辑 桂智刚)