

郭凤香,周怡雯,李明远,等. 基于 TPB 理论和结构方程模型的老年驾驶人安全培训[J]. 长安大学学报(自然科学版),2022,42(5):96-104.
GUO Feng-xiang,ZHOU Yi-wen,LI Ming-yuan,et al. Elderly drivers safety training based on TPB theory and structural equation model[J].
Journal of Chang'an University(Natural Science Edition),2022,42(5):96-104.

DOI:10.19721/j.cnki.1671-8879.2022.05.010

基于 TPB 理论和结构方程模型的 老年驾驶人安全培训

郭凤香¹,周怡雯¹,李明远¹,陈 亮¹,田毕江²

(1. 昆明理工大学 交通工程学院,云南 昆明 650500; 2. 云南省交通规划设计研究院有限公司
陆地交通气象灾害防治技术国家工程实验室,云南 昆明 650031)

摘 要:为探究驾驶培训对老年驾驶人驾驶安全的影响,将“有无参加驾驶培训”作为影响驾驶人特性与交通安全关系的变量予以考虑,构建了基于计划行为理论(TPB)的驾驶培训模型,并采用结构方程模型(SEM)捕捉变量(如驾驶人年龄、驾驶行为、驾驶态度、危险驾驶倾向、训练水平等)之间的复杂关系,进一步验证了驾驶培训的必要性。研究表明:驾驶人年龄与训练水平对驾驶态度、驾驶行为特性和危险驾驶倾向具有显著影响;训练水平对驾驶行为特性的正向影响高于年龄对驾驶行为特性的负向影响,其对危险驾驶倾向的负向影响高于年龄对危险驾驶倾向的正向影响,参加培训更能改善老年驾驶人的驾驶行为特性并降低其危险驾驶倾向;驾驶态度对驾驶行为特性和危险驾驶倾向都有显著的间接影响,对驾驶行为特性具有正向影响,对危险驾驶倾向具有负向影响,驾驶人的驾驶行为特性和危险驾驶倾向更容易受到年龄的影响。基于计划行为理论的培训模型可以通过改变老年驾驶人驾驶态度来改变其驾驶行为特性,并提高其驾驶操作的稳定性和安全性,并且,调节训练水平从而改变驾驶态度对驾驶行为特性和危险驾驶倾向均有显著影响,因此,可通过调节训练水平和驾驶态度等方式加强对老年驾驶人的安全教育。

关键词:交通工程;交通安全;驾驶培训;老年驾驶人;计划行为理论;结构方程模型

中图分类号:U491.254

文献标志码:A

文章编号:1671-8879(2022)05-0096-09

Elderly drivers safety training based on TPB theory and structural equation model

GUO Feng-xiang¹, ZHOU Yi-wen¹, LI Ming-yuan¹, CHEN Liang¹, TIAN Bi-jiang²

(1. Faculty of Transportation Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, Yunnan, China; 2. National Engineering Laboratory of Land Traffic Meteorological Disaster Prevention and Control Technology, Yunnan Traffic Planning and Design Research Institute Co., Ltd., Kunming 650031, Yunnan, China)

Abstract: In order to explore the influence of driving training on elderly drivers safety safety, a driving training method based on the planned behavior theory (TPB) was proposed, and whether to participate in driving training was taken as a variable that affects the relationship between

收稿日期:2022-04-11

基金项目:国家自然科学基金项目(71961012);云南省交通规划设计研究院有限公司科技项目(ZL-2017-04);

甘肃省自然科学基金项目(20JR10RA181)

作者简介:郭凤香(1979-),女,黑龙江海林人,教授,工学博士,E-mail:guofengxiang@kust.edu.cn.

driver characteristics and traffic safety. The structural equation model (SEM) was used to capture the complex relationship between variables (driver's age, driving behavior, driving attitude, dangerous driving tendency, training level), and the necessity of driving training was further verified. The results show that the driver's age and training level have a significant impact on driving attitude, driving behavior characteristics and dangerous driving tendency. Among them, the positive effect of training level on driving behavior characteristics is higher than the negative effect of age on driving behavior characteristics. The negative influence of dangerous driving tendency is higher than the positive influence of age on dangerous driving tendency, participating in training can improve the driving behavior characteristics and reduce the dangerous driving tendency of elderly drivers. The driving attitude has a significant indirect influence on driving behavior characteristics and dangerous driving tendency, a positive influence on driving behavior characteristics, and a negative influence on dangerous driving tendency, indicating that drivers' driving behavior characteristics and dangerous driving tendency are more susceptible to the effect of age. The training model based on the theory of planned behavior can change the driving behavior characteristics of elderly drivers by changing their driving attitudes, and improve the stability and safety of their driving operations. Moreover, adjusting the training level to change the driving attitude has a significant impact on driving behavior characteristics and dangerous driving tendency. Therefore, safety education for elderly drivers can be strengthened by adjusting training levels and driving attitudes. 6 tabs, 5 figs, 27 refs.

Key words: traffic engineering; traffic safety; driving training; elderly driver; planned behavior theory (TPB); structural equation model (SEM)

0 引言

随着新道路交通安全法的实施,老年驾驶人队伍将会越来越庞大,但与国外发达国家相比,中国老年人学车还处在“萌芽”阶段,许多驾驶培训方法还不够完善,该因素在一定程度上影响着老年人的行车安全,交通管理部门面临的压力也越来越大。中国针对老年人驾驶特性与交通安全的关系研究也处在初步阶段,开展深入研究对提高社会管理的便利度以及增强交通安全性方面均具有积极的影响。

每年,全世界有超过 125 万人死于交通事故,其中 90% 以上是由人为错误造成的^[1]。尤其是老年驾驶人是驾驶人中的弱势群体,更容易发生交通事故,并存在较高的受伤率与死亡率。关于已有老年驾驶人交通安全的研究表明,导致老年驾驶人交通事故的主要因素是年龄^[2]、性别^[3]以及态度^[4];其次是交通^[5]与道路环境^[6]。目前,许多研究人员试图解释驾驶人特性在交通事故中的作用^[7],并通过培训改善驾驶人特征影响下的驾驶行为来减少交通事故的发生率^[8]。根据计划行为理论(theory of planned behavior, TPB)可知,行为态度、主观规范和感知行为控制(perceived behavioral control,

PBC)在行为信念中起着重要作用。研究人员建立了基于 TPB 的模型进行相关研究。分析行车风险和驾驶行为之间的关系^[9-11],研究驾驶时使用手机与行车风险的关系,在解释风险和驾驶行为之间相关性的基础上,构建风险干预模型。对疲劳驾驶行为展开分析,考虑不安全驾驶态度、主观意识及知觉控制的疲劳对驾驶行为的影响^[12],结合法律规范和行为经验 2 个因素^[13],构建疲劳驾驶行为的结构方程模型,分析疲劳程度、身体状况和驾驶经验之间的关系以及对疲劳驾驶行为的影响^[14]。研究防御型和激进型 2 类驾驶行为的构成因素,在持续跟踪调查的基础上^[15],基于计划行为理论构建心理认知模型,采用结构方程模型得到观察变量与基本概念以及基本概念内部的关系,构建因素分析模型,并最终分析得到影响驾驶人防御或激进驾驶行为的主要因素^[16-17]。相关研究表明,驾驶人特性与驾驶安全性密切相关,驾驶人特征可以分为驾驶人人口统计学特征和驾驶人态度特征,驾驶人人口统计学特征主要包含年龄、性别、驾驶经验和受教育程度等,其中年龄是驾驶安全的最主要影响因素^[18]。李鹏飞等为分析城乡结合部路段对驾驶行为的影响因素,以 TPB 为支撑设计调查问卷,通过阶层复回归模型对

计划行为理论模型进行验证^[19]。进一步的,王良秋等对不良驾驶态度及道路交通违法行为进行研究,基于 TPB 理论及其扩展模型分析机动车驾驶人的占道行驶行为及其他道路交通违法行为^[20-21],探究影响驾驶人超速行为意向的影响因素^[22],基于 TPB 构建竞争驾驶意图与行为关系结构方程模型^[23],此外,有研究表明,不良驾驶态度(如驾驶愤怒和事故倾向等)对驾驶安全有显著影响^[24]。但是,驾驶人特征复杂且相互关联,并且变量之间的关系难以识别。

本文在考虑驾驶培训有效性的前提下,将有无参加驾驶培训作为影响驾驶人特性与交通安全关系的变量予以考虑。以计划行为(TBP)为依据,采用结构方程模型(SEM)捕捉变量之间的复杂关系,并深入探讨了培训水平、驾驶人特征与交通安全变量之间的相互影响。拟通过开发一种适用于优化老年驾驶人驾驶行为特性的培训方法,以减少老年驾驶人在驾驶过程中的人为错误,从而为老年驾驶人安全教育开展,驾驶行为改善提供相关的理论支撑。

1 基于计划行为理论的培训方法

在对驾驶态度问卷进行统计时发现老年驾驶人难以正确面对自己和中青年驾驶人在感知能力上的差异。因此,研究将基于计划行为理论构建“认知-范式-执行(PNE)”模型,以改变老年驾驶人的驾驶行为态度,进而优化其驾驶行为特性,降低其危险驾驶倾向。

PNE 模型包括基于 TPB 的 3 个阶段:感知、规范和执行,每个阶段对应 1 个 TPB 中的主要元素。计划行为理论认为意图是最接近行为的决定因素,意图本身是基于态度(对行为的积极/消极评估)、主观规范(对行为的感知社会压力)和感知到的行为控制的难易程度^[25]。PNE 模型的基本框架如图 1 所示。

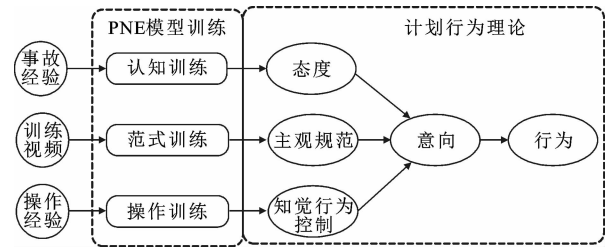


图 1 PNE 模型的基本框架

Fig. 1 Basic framework of PNE model

1.1 驾驶培训模型构建

(1)认知部分。这个阶段的重点是使驾驶行为

特性具有危险倾向的老年驾驶人理解其驾驶行为可能会导致交通事故。例如,在直线行驶情景下,老年驾驶人比中青年驾驶人出现更大的车辆速度标准差和偏差。通过问卷发现,这主要源于老年驾驶人对年龄差异的态度,他们难以正确面对自己和中青年驾驶人在感知能力上的差异。在计划行为理论中,态度是行为改变的核心要素之一,潜在的态度是对可能行为后果的行为信念。因此,本文假设 PNE 模型的 P 部分可以增强老年驾驶人的风险意识,从而改变他们对具有危险倾向的驾驶行为的态度。在驾驶行为培训试验中,不同的情景下设置了很多风险情景。试验时,一旦驾驶人在风险情景中发生了碰撞,将会有音频和视频效果模拟碰撞。通过这种方式,让老年驾驶人更好地理解具有危险倾向的驾驶行为后果,从而让老年驾驶人改变其具有危险倾向的态度。

(2)范式部分。这个阶段的重点是提高老年驾驶人的社会压力以及依从动机。笔者提出了关于重要他人的感知观点的一系列规范性信念,以作为主观规范的基础。重要他人的感知观点以视频的形式体现,视频内容取自于公安交通管理局发布的车辆驾驶教学材料。基于 Premier 软件剪辑有关本文所涉及的交通情景,每个剪辑的视频包含 2 个部分:①驾驶错误行为(交通状况判断错误、操作错误等)和碰撞引起的损害(伤害、财产损失等);②正确的驾驶行为(正确的判断、正确的操作等)。在驾驶行为培训试验中,当驾驶人完成一个交通情景,无论其是否发生交通事故,都会停车让其观看这些特定的视频剪辑,用以增强驾驶人的社会压力以及依从动机,达到增强其主观规范的目的。

(3)执行部分。这个阶段着重于驾驶人感知行为控制的提升。驾驶人的控制信念集可能有助于驾驶人行为也可能抑制驾驶人行为,从而成为感知行为控制的基础。驾驶人一旦对自己的驾驶能力有了模糊的认识,就会直接导致其在驾驶时过度自信。PNE 模型的 E 部分旨在应对老年驾驶人驾驶行为的第 3 个因素(即错误的感知行为控制)。该部分是在驾驶人观看完剪辑视频后,在语音的指导下正确完成交通场景。以改变车道为例,语音包括 3 个部分:①指示驾驶人在采取任何措施之前要仔细评估交通状况;②要求驾驶人遵循语音命令正确完成驾驶场景,该语音命令指导驾驶人采取正确的操作,首先提示驾驶人注意周围的车辆状况、并告诉他们转向指示灯,然后告诉

他们改变车道,最后告诉他们关闭指示灯;③要求驾驶人停车并反思操作过程。驾驶人在观看完视频剪辑后再次进行没有语音指导的试验,试验间隔 3 h,避免产生场景记忆。

1.2 数据采集

参照《老年人权益保障法》第 2 条的规定,以 60 周岁作为老年人的划分依据,按照 1:1 比例选取老年驾驶人和中青年驾驶人,并参考交通运输局统计结果,以男女车主 3:1 的比例作为性别选取依据。经过招募筛选,最终选定 40 名驾驶人作为本次试验的受试人员。其中,老年组驾驶人 20 人,包括 5 名女性驾驶人和 15 名男性驾驶人,男女驾驶人比例为 3:1,平均年龄 65 岁,标准差 3.268;中青年驾驶人 20 人,包括 6 名女性和 14 名男性,男女驾驶人比例 2.33:1,平均年龄 33 岁,标准差 6.429。在 VS-Design 三维场景设计软件中搭建驾驶模拟场景,基于 DSR-1000TS2.0 型驾驶模拟系统开展驾驶模拟试验。在驾驶行为试验中,共收集眼动特性数据、心理生理特性数据、操作行为和车辆状态特性数据 3 类数据,如图 2 所示。其中,眼动特性数据、心理生理特性数据主要用于分析老年驾驶人和中青年驾驶人在认知、感知上的异同,不适合做驾驶绩效的评价指标。一般而言,驾驶绩效指标有安全性、舒适度和花费的时间等 3 个准则^[26]。结合试验数据,使用车辆状态特性数据作为评价指标,包括安全性和舒适度 2 个准则。其中,安全性指标为车辆速度(SP)、转向灯使用时间(TSD)和车辆横向位置(LP);舒适度指标为车辆加速度(AC)。此外,选择数据时要考虑使用最少的数据来表示驾驶行为的原则^[27]。搭建直线行驶和交叉口转向基本交通情景,分心驾驶和变道行驶情景作为事故交通情景,处于极限刹车距离的紧急情况作为极限交通情景。驾驶行为特性

对比分析和培训的试验场景如图 3 所示,各交通情景下详细指标如下。

- (1)直线行驶:车辆速度。
- (2)换道行驶:车辆速度、转向灯使用时间和车辆加速度。
- (3)交叉口转向:车辆速度、转向灯使用时间和车辆加速度。
- (4)紧急情况:车辆速度、车辆加速度和车辆横向位置。
- (5)分心驾驶:车辆速度、车辆加速度和车辆横向位置。

1.3 数据对比分析

在培训前后收集老年驾驶人的特性数据,并对不同场景下车辆运行特性指标进行对比分析,用以评估 2 组驾驶人之间的差异,结果如表 1 所示。由表 1 可知:在直线行驶情景下,参加培训的老年驾驶人平均速度均值显著低于未参加培训,说明参加培训比未参加培训的老年驾驶人有了更好的速度感知;在换道行驶情景下,参加培训的老年驾驶人速度标准差均值显著低于未参加培训,且转向灯使用时间均值明显增加,说明参加培训的老年驾驶人在换道行驶时速度趋于稳定并且有了更多的风险意识;在交叉口转向情景下,参加培训的老年驾驶人平均速度均值和加速度标准差均值显著低于未参加培训,且转向灯使用时间均值明显增加,说明参加培训的老年驾驶人在交叉口转向时速度趋于稳定并且有了更多的风险意识;在紧急情况情景下,参加培训的老年驾驶人的速率、最大减速度和最大横向位置均显著低于未参加培训,说明参加培训的老年驾驶人的风险感知能力有了一定的提升;在分心驾驶情景下,参加培训的老年驾驶人的速率和最大减速度均显著低于

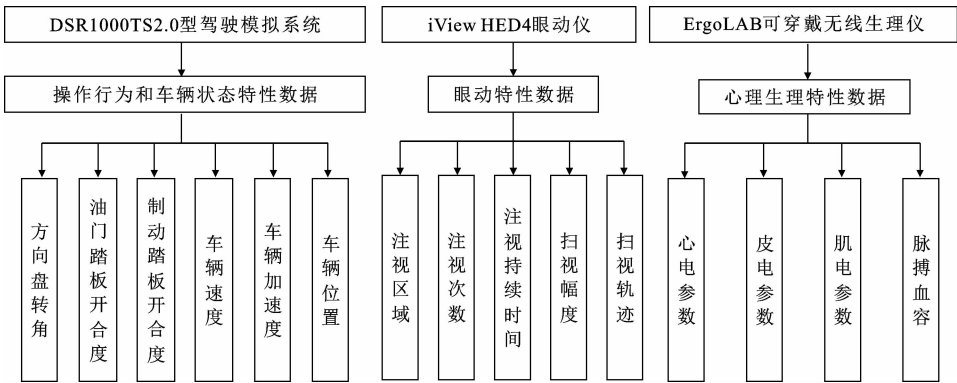


图 2 数据采集
Fig. 2 Data collection

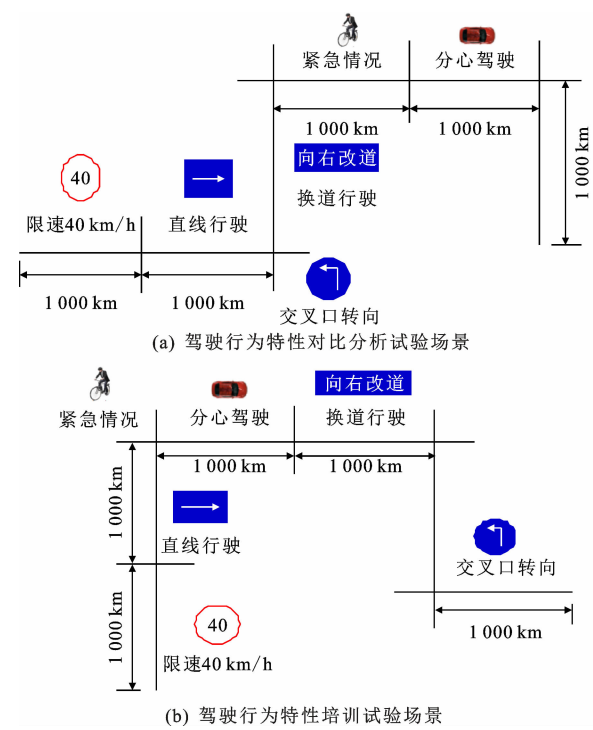


图3 试验场景

Fig. 3 Experimental scenes

表1 参加培训与未参加培训的老年驾驶人绩效指标对比

Tab. 1 Comparisons of performance indicators of whether elderly drivers participated in training

交通情景	指标	未参加培训	参加培训	p 值
直线行驶	车辆速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	39.19	32.44	0.049 *
	车辆速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	4.11	3.60	0.018 *
换道行驶	转向灯使用时间/s	1.11	4.90	0.000 *
	车辆加速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	0.20	0.23	0.355
交叉口转向	车辆速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	5.72	5.83	0.285
	转向灯使用时间/s	3.67	7.80	0.003 *
	车辆加速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	1.04	0.32	0.017 *
紧急情况	车辆速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	20.62	17.32	0.025 *
	车辆加速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	-4.73	-2.23	0.002 *
分心驾驶	车辆横向位置/m	1.09	0.59	0.028 *
	车辆速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	27.67	21.00	0.000 *
	车辆加速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	-4.38	-2.05	0.001 *
	车辆横向位置/m	0.17	0.18	0.256

注: * 表示 $p < 0.05$ 水平显著。

未参加培训,说明参加培训的老年驾驶人的风险感知能力有了一定的提升,在试验中更多拒绝了拨打电话。此外,在统计紧急情景和分心驾驶情景2组驾驶人的事故发现,参加培训比未参加培训的老年驾驶人事故分别降低了44.4%和66.7%。基于研究结果,说明基于计划行为理论的培训模拟可以通过改变老年驾驶人驾驶行为来提高其驾驶的稳定性 and 安全性。

2 基于结构方程模型的驾驶培训必要性论证

2.1 模型构建

2.1.1 变量设置

结合上述的分析可知,驾驶人特征包括人口统计学特征(仅研究年龄特性)和态度特征;驾驶安全分为危险驾驶倾向和驾驶行为特性。训练水平作为单独的变量。因此,潜在变量主要包括驾驶态度、驾驶行为特性和危险驾驶倾向。其中:驾驶态度的测量指标为交通拥堵、不满情绪、缓慢行驶和不合理驾驶行为,由70份问卷量表调查获得;驾驶行为特性的测量指标为车辆速度、车辆加速度、车辆横向位置和转向灯使用情况;危险驾驶倾向的测量指标为试验中的事故率和驾驶行为评分,驾驶行为评分基于表1不同场景下相应的指标得到,计算出异常点发生的次数,标准化处理后,把次数划分为0~10的离散点,即为0~10的评分。观测变量为驾驶人的年龄和训练水平。SEM模型测量指标如表2所示。

表2 结构方程模型测量指标设置说明

Tab. 2 Explanation for measurement indexes setting of structural equation model

变量名称	指标	指标类型	说明
驾驶人年龄 (AGE)	驾驶人年龄	分类变量	老年驾驶人取1 中青年驾驶人取0
驾驶人训练水平 (LEV)	驾驶人训练水平	分类变量	参加培训取1 未参加培训取0
驾驶态度 (ATT)	交通拥堵(ATT1)	有序变量	由 DAS 量表测量
	不满情绪(ATT2)	有序变量	由 DAS 量表测量
	缓慢行驶(ATT3)	有序变量	由 DAS 量表测量
	不合理驾驶行为 (ATT4)	有序变量	由 DAS 量表测量
驾驶行为特性 (BEH)	车辆速度(BEH1)	连续变量	车辆速度
	车辆加速度(BEH2)	连续变量	车辆加速度
	车辆横向位置 (BEH3)	连续变量	偏离道路中线的距离
	转向灯使用时间 (BEH4)	连续变量	转向前转向灯使用时间
危险驾驶倾向 (DAN)	事故数(DAN1)	有序变量	试验出现事故的次数
	驾驶行为评分 (DAN2)	有序变量	驾驶行为评分

2.1.2 初始模型

一般结构方程用3个基本的方程式表达如下

$$\begin{cases} \eta = \beta\eta + \Gamma\xi + \zeta \\ Y = \Lambda_y\eta + \epsilon \\ X = \Lambda_x\xi + \delta \end{cases}$$

式中: η 为内生潜变量; ξ 为外生潜变量; Δ_x 、 Δ_y 分别为 X 与 ξ 、 Y 与 η 之间的关系; X 、 Y 为测量变量; ϵ 为 Y 的测量误差; δ 为 X 的测量误差; Γ 和 β 均为路径系数,分别表示外生潜变量对内生潜变量的影响和内生潜变量之间的关系; ζ 为残差项,反映在方程中未能解释的部分。

其中,前 1 个方程是结构模型的表达式,后 2 个方程是测量模型的表达式。

基于国内外对驾驶人与交通安全关系研究的基础,提出初始模型如图 4 所示。图 4 中:椭圆形表示潜在变量,又称无法观察的变量,是不可直接测量或无法直接观察得到的,只能以间接的方式推论出来;长方形表示观察变量又称显性变量,是可以直接观察或直接测量获得的,获得的数据可以转化为量化数据;箭头表示变量之间的影响程度及变量之间的因果关系。初始模型中,内生变量包括驾驶态度、驾驶行为以及危险驾驶倾向;外生变量包括年龄和培训水平。初始模型假设年龄会对驾驶态度、危险驾驶倾向和驾驶行为特性产生影响;训练水平会对驾驶态度、危险驾驶倾向和驾驶行为特性产生影响;驾驶态度会对危险驾驶倾向和驾驶行为特性产生影响。

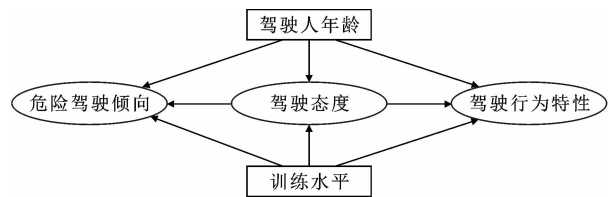


图 4 初始模型示意
Fig. 4 Sketch of initial model

2.1.3 参数估计

应用 Mplus 7.0 软件对模型参数进行估计。在模型的估计过程中,根据软件所提供的模型参数和修正指数对模型进行不断地修改。模型最终的拟合指数如表 3 所示。将本次模型的拟合指数与建议值进行对比, χ^2 为 80.812($p=0.001\ 2$), χ^2/d_f 的比值小于 3,CFI、TLI 的值均大于 0.9,SRMR 的值小于 0.08,表示假设模型与样本数据可以适配,说明假设模型是合适的。

表 3 模型拟合指数
Tab. 3 Model fitness indexes

拟合指标	卡方(χ^2)	卡方与自由度比($\frac{\chi^2}{d_f}$)	比较拟合指数(CFI)	塔克-刘易斯指数(TLI)	标准化残差均方和平方根(SRMR)
建议值 p	>0.05	<3.0	>0.9	>0.9	<0.05
指标值	80.812(46)	1.76	0.940	0.915	0.034

2.2 测量模型结果分析

潜在变量与其对应的观测指标关系如表 4 所示。其中,各观测变量因子载荷均大于 0.5 且均在 0.001 的水平上显著,说明 3 个潜在变量对与其对应的测量指标解释均具有统计意义,所有潜在变量均具有较好的效度。因此,无需删除任何一条路径。

表 4 因子载荷估计值与检验值
Tab. 4 Factor load estimates and test values

路径	估计值	标准误差(SE)	CR	p
ATT1 \leftarrow ATT	0.879	0.041	21.367	***
ATT2 \leftarrow ATT	0.924	0.030	31.101	***
ATT3 \leftarrow ATT	0.909	0.034	26.971	***
ATT4 \leftarrow ATT	0.927	0.028	33.012	***
BEH1 \leftarrow BEH	0.910	0.030	30.717	***
BEH2 \leftarrow BEH	0.869	0.041	21.270	***
BEH3 \leftarrow BEH	0.974	0.012	81.987	***
BEH4 \leftarrow BEH	0.934	0.023	41.343	***
DAN1 \leftarrow DAN	0.952	0.024	39.366	***
DAN2 \leftarrow DAN	0.949	0.025	38.685	***

注:***表示 $p<0.001$;CR 为非标准化载荷系数与 SE 之比。

2.3 结构模型结果分析

应用 Mplus 7.0 软件对结构模型进行估计,变量之间的影响结果如表 5 所示,其中估计值为标准化后的因子荷载。由模型估计结果可知:驾驶人年龄对驾驶态度具有显著的负向影响,说明老年驾驶人相比中青年驾驶人的驾驶态度更为消极;驾驶人年龄对驾驶行为特性具有显著的负向影响,说明老年驾驶人相比中青年驾驶人的驾驶行为特性更为稳定;驾驶人年龄对危险驾驶倾向具有显著的正向影响,说明老年驾驶人相比中青年驾驶人具有更高的危险驾驶倾向;训练水平对驾驶态度具有显著的正向影响,说明参加培训相比未参加培训驾驶人的驾驶态度更为积极;训练水平对驾驶行为特性具有显著的正向影响,说明参加培训相比未参加培训的驾驶人驾驶行为特性更为稳定;训练水平对危险驾驶倾向具有显著的负向影响,说明参加培训比未参加培训的驾驶人具有更低的危险驾驶倾向;驾驶态度对驾驶行为特性具有显著的正向影响,说明具有积极驾驶态度比具有不积极态度的驾驶人的驾驶行为特性更为稳定;驾驶态度对危险驾驶倾向具有显著的负向影响,说明具有积极驾驶态度比具有不积极态度的驾驶人具有更低的危险驾驶倾向。

由以上结果可知,参加培训可以在一定程度上

使老年驾驶人的驾驶态度更为积极,也可以在一定程度上改善老年驾驶人的驾驶行为特性,从而降低老年驾驶人的危险驾驶倾向。相关变量标准路径如图 5 所示。

表 5 结构模型估计结果
Tab. 5 Structural model estimation results

路径	估计值	SE(标准误差)	CR	<i>p</i>
ATT←AGE	−0.335	0.161	−2.083	*
BEH←AGE	−0.170	0.085	−2.015	*
DAN←AGE	0.249	0.104	2.397	*
ATT←LEV	0.514	0.150	3.420	***
BEH←LEV	0.212	0.088	2.410	*
DAN←LEV	−0.280	0.099	−2.814	**
BEH←ATT	0.850	0.054	12.781	***
DAN←ATT	−1.006	0.057	−17.678	***

注: *表示 $p<0.05$; **表示 $p<0.01$; ***表示 $p<0.001$; CR 为非标准化载荷系数与 SE 之比。

2.4 外生变量对内生变量的影响分析

为了更加深入探究驾驶人年龄和培训水平等外生变量对交通安全的影响,本文同时测试了相关外生变量对内生变量间接影响和总体影响。外生变量对驾驶人行为特性的影响如表 6 所示。

由表 6 的外生变量对驾驶行为特性的估计结果可知:驾驶人年龄通过驾驶态度对驾驶行为特性的间接影响为−0.284,而驾驶人年龄对驾驶行为特性的总体影响为−0.454,说明老年驾驶人相比中青年驾驶人驾驶行为特性的稳定性更差;训练水平通过驾驶态度对驾驶行为特性的间接影响为0.437,并

且训练水平对驾驶行为特性的总体影响为 0.649,说明参加培训比未参加培训的驾驶人驾驶行为特性更为稳定;此外,训练水平对驾驶行为特性的正向总体影响高于年龄对驾驶行为特性的负向总体影响,说明从总体影响的角度出发参加培训可以在一定程度上改善老年驾驶人的驾驶行为特性。

由外生变量对危险驾驶倾向影响的估计结果可知:驾驶人年龄通过驾驶态度对危险驾驶倾向的间接影响为 0.337,且驾驶人年龄对危险驾驶倾向的总体影响为 0.586,说明老年驾驶人相比中青年驾驶人具有更高的危险驾驶倾向;训练水平对危险驾驶倾向具有显著的负向间接影响和总体影响,说明无论从间接影响还是总体影响的角度出发,参加培训比未参加培训的驾驶人有着更低的危险驾驶倾向。此外,训练水平对危险驾驶倾向的负向总体影响高于年龄对危险驾驶倾向的正向总体影响,说明从总体影响的角度出发,参加培训可以在一定程度上降低老年驾驶人的危险驾驶倾向。

3 结 语

(1)驾驶人年龄对驾驶态度和驾驶行为特性具有负向影响,对危险驾驶倾向具有正向影响;训练水平对危险驾驶倾向有负向影响,对驾驶态度和驾驶行为特性具有正向影响;驾驶态度对驾驶行为特性具有正向影响,对危险驾驶倾向具有负向影响。表明参加培训更能改善老年驾驶人的驾驶行为特性并降低老年驾驶人的危险驾驶倾向。

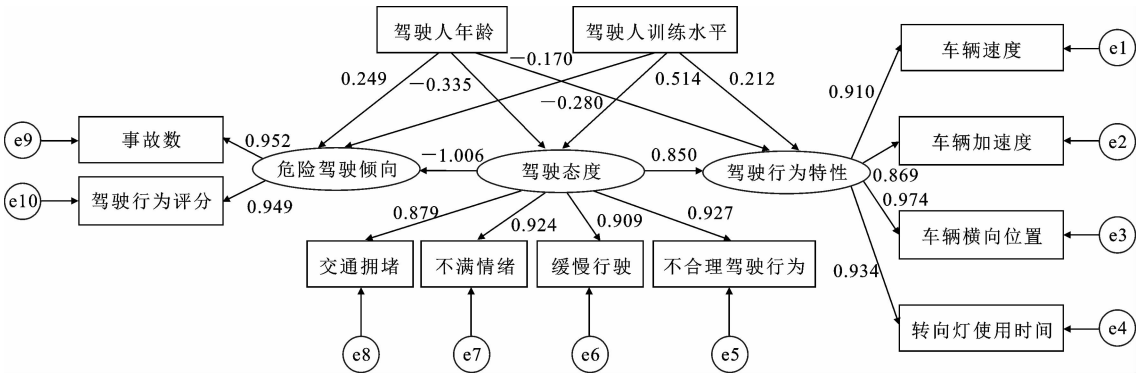


图 5 潜在变量和指标变量标准路径

Fig. 5 Standard paths of latent and indicator variables
表 6 外生变量对驾驶行为特性和危险驾驶倾向的影响

Tab. 6 Effects of exogenous variables on driving behavior characteristics and dangerous driving tendency

变量	驾驶行为特性(BEH)			危险驾驶倾向(DAN)		
	直接影响	间接影响	总体影响	直接影响	间接影响	总体影响
年龄(AGE)	−0.170 *	−0.284 *	−0.454 *	0.249 *	0.337 *	0.586 *
训练水平(LEV)	0.212 *	0.437 ***	0.649 *	−0.280 ***	−0.517 **	−0.797 **

注:本文均以中青年组作为参照,即老年组对于中青年组的相对显著性。*表示 $p<0.05$; **表示 $p<0.01$; ***表示 $p<0.001$ 。

(2)驾驶人年龄通过驾驶态度对驾驶行为特性和危险驾驶倾向都有显著的间接影响,表明驾驶人的驾驶行为特性和危险驾驶倾向更容易受到年龄的影响。

(3)训练水平通过驾驶态度对驾驶行为特性和危险驾驶倾向均有显著的间接影响和总体影响,表明参加培训比未参加培训的驾驶人有着更为稳定的驾驶行为特性和更低的危险驾驶倾向。

(4)本文的研究重点在以计划行为理论为框架,从老年人自身出发提出优化老年驾驶人驾驶行为的模型,但未考虑辅助系统对老年驾驶人的影响。后续可开展驾驶辅助系统对老年驾驶人驾驶行为影响的相关研究。

参考文献:

References:

- [1] WHO. Road traffic injuries fact sheet[R]. Geneva: WHO, 2016.
- [2] LI G H, BRAVER E R, CHEN L H. Fragility versus excessive crash involvement as determinants of high death rates per vehicle—Mile of travel among older drivers[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2003, 35(2): 227-235.
- [3] FAIN M J. Should older drivers have to prove that they are able to drive? [J]. *Archives of Internal Medicine*, 2003, 163(18): 2126-2134.
- [4] LUCIDI F, MALLIA L, LAZURAS L, et al. Personality and attitudes as predictors of risky driving among older drivers[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2014, 72: 318-324.
- [5] ZHANG J, LINDSAY J, CLARKE K, et al. Factors affecting the severity of motor vehicle traffic crashes involving elderly drivers in Ontario [J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2000, 32(1): 117-125.
- [6] MCGWIN J R G, BROWN D B. Characteristics of traffic crashes among young, middle-aged, and older drivers[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 1999, 31(3): 181-198.
- [7] 刘玲莉, 田东东, 王子越. 私家车驾驶员驾驶行为与人格特质的关系研究[J]. *中国安全科学学报*, 2019, 29(1): 13-18.
LIU Ling-li, TIAN Dong-dong, WANG Zi-yue. Study on relationships between driving behavior of private car drivers and their personality traits[J]. *China Safety Science Journal*, 2019, 29(1): 13-18.
- [8] LEE J Y, CHUNG J H, SON B. Analysis of traffic accident size for Korean highway using structural equation models[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2008, 40(6): 1955-1963.
- [9] CONNER M, LAWTON R, PARKER D, et al. Application of the theory of planned behaviour to the prediction of objectively assessed breaking of posted speed limits[J]. *British Journal of Psychology*, 2007, 98(3): 429-453.
- [10] NEMME H E, WHITE K M. Texting while driving: Psychosocial influences on young people's texting intentions and behaviour[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2010, 42(4): 1257-1265.
- [11] ELLIOTT M A, ARMITAGE C J. Promoting drivers' compliance with speed limits: Testing an intervention based on the theory of planned behaviour[J]. *British journal of Psychology*, 2009, 100(1): 111-132.
- [12] 李磊, 严敏, 王涛, 等. 基于TPB的疲劳对汽车驾驶员不安全驾驶行为的影响[J]. *西安科技大学学报*, 2019, 39(6): 979-984.
LI Lei, YAN Min, WANG Tao, et al. Influence of fatigue driving on unsafe driving behaviors of drivers based on TPB[J]. *Journal of Xi'an University of Science and Technology*, 2019, 39(6): 979-984.
- [13] 黄靖博, 马骏, 赵永强, 等. 基于计划行为理论的机动车驾驶人占道行驶行为分析[J]. *交通工程*, 2019, 19(2): 44-49.
HUANG Jing-bo, MA Jun, ZHAO Yong-qiang, et al. Analysis of illegal lane occupation based on the theory of planned behavior[J]. *Journal of Transportation Engineering*, 2019, 19(2): 44-49.
- [14] 范双双. 基于计划行为理论的防御性驾驶行为分析及模型构建[D]. 成都: 西南交通大学, 2019.
FAN Shuang-shuang. Defensive driving behavior analysis and model construction based on theory of planned behavior[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2019.
- [15] 张惠玲, 王益, 杨金燕. 基于TPB理论的城乡结合部路段驾驶员驾驶行为影响因素分析[J]. *重庆交通大学学报(自然科学版)*, 2018, 37(12): 105-110.
ZHANG Hui-ling, WANG Yi, YANG Jin-yan. Influence factors analysis on driver's driving behavior on road section at urban-rural fringe based on TPB theory[J]. *Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science)*, 2018, 37(12): 105-110.
- [16] 史晨军, 邓院昌, 林庆丰, 等. 基于扩展计划行为理论的驾驶员疲劳驾驶行为心理影响因素分析[J]. *安全与环境工程*, 2018, 25(6): 94-99.
SHI Chen-jun, DENG Yuan-chang, LIN Qing-feng, et al. Psychological factors analysis of drivers' fa-

- tigued driving behavior based on the extended theory of planned behavior[J]. *Safety and Environmental Engineering*, 2018, 25(6): 94-99.
- [17] 文江辉, 郭浩, 吴超仲, 等. 基于结构方程模型的疲劳驾驶行为影响因素间量化关系研究[J]. *交通信息与安全*, 2014, 32(5): 95-102.
- WEN Jiang-hui, GUO Hao, WU Chao-zhong, et al. Quantitative relationship between influencing factors of fatigue driving behavior based on structural equation model[J]. *Journal of Transport Information and Safety*, 2014, 32(5): 95-102.
- [18] 张彦宁, 郭忠印, 孙智. 驾驶模拟环境中激进驾驶行为的影响因素分析[J]. *中国公路学报*, 2020, 33(6): 129-136.
- ZHANG Yan-ning, GUO Zhong-yin, SUN Zhi. Influencing factors of aggressive driving behavior in driving simulation environment[J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2020, 33(6): 129-136.
- [19] 李鹏飞, 石建军, 刘小明. 基于计划行为理论的竞争驾驶行为建模[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2016, 16(1): 92-98.
- LI Peng-fei, SHI Jian-jun, LIU Xiao-ming. Modeling of competitive driving behavior based on theory of planned behavior[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2016, 16(1): 92-98.
- [20] 王良秋, 孙婷婷, 董妍, 等. 道路交通违法行为研究: 基于计划行为理论的视角[J]. *心理科学进展*, 2015, 23(11): 2009-2019.
- WANG Liang-qiu, SUN Ting-ting, DONG Yan, et al. Road traffic violations study: Based on the theory of planned behavior[J]. *Advances in Psychological Science*, 2015, 23(11): 2009-2019.
- [21] 刘彦宇. 基于计划行为理论对超速行车意向的研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2013.
- LIU Yan-yu. Drivers' intention to speed: A study inspired by the theory of planned behavior[D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2013.
- [22] 高红丽, 高丽英, 杨炜程, 等. 基于持续跟踪调查的防御性驾驶行为分析模型[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2020, 20(2): 151-156.
- GAO Hong-li, GAO Li-ying, YANG Wei-cheng, et al. Defensive driving behavior analysis model with follow-up surveys[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2020, 20(2): 151-156.
- [23] 郭凤香. 基于风险感知的老年驾驶人行为特性研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2019.
- GUO Feng-xiang. A study on the behavioral characteristics of older drivers based on risk perception[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2019.
- [24] 李梦琦, 张敬磊. 考虑愤怒情绪的驾驶员换道行为博弈分析[J]. *中国安全科学学报*, 2020, 30(2): 165-170.
- LI Meng-qi, ZHANG Jing-lei. Game analysis of car drivers' lane-changing behaviors considering angry feelings[J]. *China Safety Science Journal*, 2020, 30(2): 165-170.
- [25] ROWE R, ANDREWS E, HARRIS P R, et al. Identifying beliefs underlying pre-drivers' intentions to take risks: An application of the theory of planned behaviour[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2016, 89: 49-56.
- [26] 郭凤香, 熊昌安, 万华森, 等. 风险情境下老年驾驶人行为特性研究[J]. *中国公路学报*, 2021, 34(9): 309-321.
- GUO Feng-xiang, XIONG Chang-an, WAN Hua-sen, et al. Behavioral characteristics of older drivers based on risk perception[J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2021, 34(9): 309-321.
- [27] BEN-BASSAT T, SHINAR D. Effect of shoulder width, guardrail and roadway geometry on driver perception and behavior[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2011, 43(6): 2142-2152.