

驾驶模拟在交通事故致因理论体系中的应用研究

胡孟夏 王岩 李一兵 兰乔

清华大学, 汽车安全与节能国家重点实验室, 北京 100084

摘要: 通过分析交通事故致因理论中各种因素的层次和因果关系, 对原有的模型进行了修正, 建立了间接因素加上两层直接因素的致因理论体系。驾驶模拟方法在事故致因理论的研究中所用甚少, 因此, 本文针对上述体系的各个直接因素, 提出了利用驾驶模拟器进行致因研究的方法。以研究能见度与驾驶员应急反应行为能力关系的驾驶模拟实验为例, 验证了利用驾驶模拟器进行事故致因研究的有效性, 为交通事故致因理论的定量、深入和系统研究提供了新的途径。

关键词: 交通事故; 致因理论; 驾驶模拟

中图分类号: U492.8

文献标识码: A

文章编号: 1672-4747(2011)02-0035-06

Application of Driving-simulation to the Theory System of Traffic Accident Causation

HU Meng-xia WANG Yan LI Yi-bing LAN Qiao

State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy,

Tsinghua University, Beijing 100084, China

Abstract: By analyzing the level and causation relation of all the factors in the traffic accident causation theory, the original model was amended and a theory system consisted of the indirect factors and two level direct factors was suggested. Few literatures could be found on using driving simulation method for accident causation research. Aiming at each direct factor in the system, a method for traffic accident causation research using driving

收稿日期: 2010-03-24.

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划课题“道路交通安全评估预警关键技术研究”(2007BAK35B06); 清华大学汽车安全与节能重点实验室自主科研计划项目(zz2010-153)。

作者简介: 胡孟夏(1985-), 男, 山西省太原人, 汉族, 清华大学汽车工程系博士研究生, 主要研究方向为汽车安全与交通事故再现等。

simulator was proposed. A driving simulation experiment aiming at analyzing the relationship between visibility and driver's emergency reaction capability was made, which approved that driving simulation was an effective method for traffic accident causation theory research. This method provided a new approach for the quantitative, systematical and in-depth research for the traffic accident causation theory.

Key words: Traffic accident, causation theory, driving simulation

0 引言

道路交通事故致因理论的研究由来已久,它以实际交通事故为数据基础,通过建立数学模型、分析诱发事故发生的各因素的影响,力求预防和减少交通事故的发生,以及帮助加强政府部门进行交通管理。目前的道路事故致因理论有很多,但各种理论侧重点不同,发展并不完善,而且,由于真实交通事故的不可重复性,前期的致因理论研究缺乏可以融合多种因素、可以重复并系统地进行实验的研究手段。

驾驶模拟器是从20世纪80年代开始发展的一项新的研究和培训技术,随着虚拟现实技术的进步和计算机性能的迅速提升,凭借着良好的安全性、可重复性和方便性正逐步在汽车安全领域得到越来越多的应用。国外在驾驶模拟器的研发和研究应用方面已成体系,国内从上世纪末开始引进和开发驾驶模拟器,它的应用前景十分广阔,在事故致因理论中很多内容都可以借助驾驶模拟方法进行研究。

1 道路交通事故致因理论的直接影响因素分析

在事故致因分析中,海因里希的因果连锁论^[1]将事故原因分为直接原因和间接原因。其中人的因素是主要的直接原因,这一点在事故致因分类和规律等方面得到了一定的认可,然而,在其他因素的影响方面则有所欠缺。事实上,导致事故发生的直接原因既包括人的因素,也包括一些车辆因素、道路因素和环境因素。但是,车辆、道路和环境的不安全状态并不是一定会带来事故后果,因为,在这种不安全状态发生后至交通事故发生之前,驾驶员的操作和应对仍然

会对事故过程产生影响,甚至避免事故发生。因此,本文对该模型进行一些修正,认为人、车辆、道路、环境都可以作为交通事故的直接致因,但后三者的致因结果也必须依赖人的因素。更具体的说,直接致因分为两个层次:第一层是人的因素、车辆因素、道路因素,以及环境因素;第二层是驾驶的操作校正因素。只有当两层均处于不安全的情况时,交通事故才会发生。

1.1 人的因素

在组成道路交通事故的各因素中,人的因素所导致的事故总量比例远大于其它各因素之和,因此,人作为道路交通系统中的主体,对道路交通安全起主导和控制作用,国内外的统计数据也证明了这一点^[2]。这里所指的人就是指道路交通的参与者,主要包括机动车驾驶员、非机动车驾驶员和行人。机动车驾驶员在观察、判断和操作等方面的错误是导致交通事故发生的主要原因,例如超速行驶、酒后驾驶、疲劳驾驶、未保持车辆间的安全距离等;另外,非机动车及行人在参与交通时也会直接诱发交通事故,例如闯灯、违规横穿马路、翻阅栏杆等。

此外,在各种诱发因素发生之后,驾驶员能否做出及时、正确的操作校正也直接关系到事故是否发生。例如发生了车辆爆胎,如果驾驶员可以迅速做出合适的制动和转向操作,是有可能避免交通事故发生的。

1.2 车辆因素

车辆是道路交通系统的重要组成部分,与交通安全密不可分,机动车辆对交通安全有最直接且非常明显的影响。一般地,影响道路交通安全的车辆安全技术包括车辆主动安全性和车辆被动安全性。影响车辆主动安全性能的因素主要包括汽车制动性、操纵稳定

性、驾驶员视野等。车辆被动安全性包括碰撞时安全性、碰撞后安全性。

1.3 道路因素

道路因素主要包括道路线形、道路横断面尺寸、车道宽度、道路坡度、平面交叉口数量、路面附着系数、两侧缺少护栏等,这些都从客观上增加了道路交通事故的发生率。一些通常被认为是人的因素导致的交通事故,其中可能就包含了部分道路因素。一些英国学者^[3]认为,如果一个路段上发生的事故大于3次,则可以认为该路段的道路因素对驾驶员产生了不利影响。

1.4 环境因素

环境因素在交通事故成因分析中也是不可忽视的重要因素。典型的环境因素主要有气候条件、道路周围建筑和植物等。气候条件涉及昼夜、阴晴、雨、雪、雾等因素,通过影响驾驶员的状态和车辆的制动性能,进而影响交通安全。道路周围建筑物、植物对交通安全的影响主要通过妨碍驾驶员和行人视线,造成视距不足,从而引发交通事故。

另外,如同大多数的事故致因理论一样,本文认为交通管理因素属于间接因素。

2 驾驶模拟研究在事故致因理论中的运用

驾驶模拟技术在致因理论的很多方面都可以应用,不过其主要应用还是在于以下几种直接致因的研究方面。

2.1 在人为因素研究中的运用

在影响事故发生的人为因素中,驾驶员因素所占比例是最高的,其研究意义也最大。现有的驾驶员能力测试等方法,在一定程度上可以反映出驾驶员的生理、心理因素对事故发生的作用,然而,缺乏交通冲突环境对驾驶员的影响;摄像头追踪的手段难以普遍推行而且成本较高;事故再现和事故深入数据分析则受限于现场痕迹和线索。而驾驶模拟研究在这个方面

则具有许多优势。首先依靠已经较为成熟的虚拟现实技术和计算机模拟技术,驾驶模拟器可以给予驾驶员接近真实情况的驾驶环境,这使得实验结果和真实交通事故具有可比性;其次,驾驶模拟实验可以实现实车实验不可能做到的严重冲突场景和事故过程;第三,在驾驶模拟实验中,驾驶员和车辆的各项数据可以方便地进行采集而不受震动或环境干扰。人因分析是驾驶模拟器在事故致因分析中应用最多的部分。这是因为无论事故的最初诱发条件是什么,它们的发生过程中都包含了驾驶员的参与,而且驾驶员的反应对于是否发生事故、事故的严重程度都影响很大,所以对驾驶员的状态、操作的记录和分析十分必要。

利用驾驶模拟器对人为因素进行交通事故致因分析,可以分为具体案例分析与宏观分析两种情况。前者的目的往往是对过程复杂、定责困难的重大交通事故进行致因分析,需要三个实验步骤:首先获取事故现场的完整环境与路面、车辆参数,进行三维建模和初始参数输入;然后让当事驾驶员或驾驶经验、年龄等与之接近的驾驶员在同样的事故环境和同样的驾驶状态下进行模拟,获取驾驶员数据(眼动、制动/加速踏板操作、方向盘操作等)与车辆运动数据;最后通过车辆数据的比对确定模拟过程与事故真实过程是否一致,如果一致则通过记录的驾驶员操作来进行致因分析。震惊世界的戴安娜王妃交通事故就多次进行了驾驶模拟实验,研究者利用测量或三维扫描仪获取事故发生时隧道的完整参数,并让实验驾驶员的血液酒精浓度与事故后的警方数据一致,之后进行了多次实验用以还原事故发生的情景。

宏观分析的目的是对某一种驾驶状态(一般是非正常状态)或某一类驾驶员的驾驶能力,尤其是事故中的驾驶操作进行分析和对比,从而对该类型驾驶员参与的交通事故进行致因分析。举例来说,对于酒后驾驶行为进行分析时,可以对不同血液酒精含量的驾驶员进行分组,让其在典型交通环境(跟车、穿越路口等)中进行驾驶并发生冲突,记录不同组别驾驶员的反应时间、制动踏板压力、方向盘角速度等参数,对于不同血液酒精浓度下的驾驶操作进行分析。

在实际研究中,有时也需要将驾驶模拟与其他研究手段相结合。有针对性的问卷调查有助于分析驾驶员的主观因素对其驾驶操作的影响;对驾驶员进行视觉特性、听觉特性、反应特性方面的测试,结合交通事故驾驶模拟实验的结果,可以分析出上述特性与驾驶员应急反应能力的关系。图1为六自由度研究驾驶模拟器。



图1 清华大学六自由度研究型驾驶模拟器
Fig.1 6-DOF driving simulator in Tsinghua University

2.2 在车辆因素研究中的运用

车辆在行驶中遇到故障,并不一定直接造成事故后果,也取决于驾驶员能否采取恰当的应对策略。一般来说,驾驶员极少遇到车辆故障,因此可能操作慌张或不知所措,也就是说两者的结合造成了交通事故的发生。因此,在研究车辆致因时,也要结合驾驶员因素综合考虑。

驾驶模拟器同样可以分析车辆为主要诱因的交通事故。由于故障前后的车辆动力学性能不同,因此需要对两者的车辆分别建模。在实验中,首先让驾驶员处于正常驾驶状态,在某个时刻突然改变车辆的动力学性能,模拟故障的发生,继而记录驾驶员的操作和反应情况,从而分析在车辆故障和驾驶员应对的共同作用下,两者各自对事故后果的影响。

2.3 在道路因素研究中的运用

不安全的道路线形和道路坡度、因遮挡造成的视距过小、道路缺陷等因素有时也会诱发交通事故。然

而,这种致因与前两种情况不同,道路因素并不一定会造成事故。事实上,即使当一起交通事故的主要致因是道路时,这一段道路每天也会安全地通过千百辆机动车。道路致因的这个特性使得利用模拟事故的方法进行驾驶模拟实验变得非常困难。因此,利用驾驶模拟器对道路致因进行分析时,可以转化为对微观道路安全性的评价。对于评价结果较差的道路,则可以认为存在道路安全隐患,一般可采取主观评价和客观评价两种方式^[4]。

对于主观评价,就是让驾驶员在三维重建的虚拟道路上进行模拟驾驶后,根据经验和驾驶主观感受对道路安全性进行评价。这样既可以进行整体评价,直接得出评价结果,又可以分别对不同指标进行评价,继而进行标准化处理和权重分析,得到总体评价结果。由于后者可以对不同的道路参数及相关性进行分析,因此,在致因分析中更宜采用。

对于客观评价,就是记录模拟驾驶实验过程中的驾驶员生理参数和车辆运动参数,建立相应模型进行评价。例如利用驾驶员眼动、方向盘和踏板操作频率及幅度、驾驶员心率、车辆运动轨迹偏离程度等参数都可以建立客观评价模型,也可以结合多项指标建立综合模型。

2.4 在环境因素研究中的运用

天气、能见度等因素也是交通事故致因中的重要部分,一些理论也把交通环境归类于环境因素之中。在驾驶模拟器中,这部分因素可以通过调整相关的虚拟现实模型参数、或是调整交通流设计等进行改变。对于环境因素造成的动力学参数改变(例如雨雪天气造成的路面附着系数变化等)可以通过调整车辆动力学模型来实现。在研究中可以分等级改变环境条件,测试驾驶员应对同样冲突时的反应及结果,来分析环境因素对事故的影响。

3 驾驶模拟试验与分析

为验证驾驶模拟试验方法在致因分析中的可用性,以下通过一个实验考查雾天环境下的能见度因素对交叉路口交通事故前驾驶员应急避让操作的影响。

3.1 测试环境

测试基于六自由度驾驶模拟器，道路环境为虚拟的城镇道路，包括交通标志、信号灯、护栏、树木和建筑物等。为避免不同交通环境对实验结果的影响，实验中去除了冲突车辆以外的其他车辆。

测试分别针对白天 200 米能见度、白天 100 米能见度、夜间 300 米能见度、夜间 200 米能见度四种驾驶环境进行测试。考察不同条件下，在冲突发生时驾驶员是否进行了应急操作以及是否造成事故。

3.2 测试过程

(1) 让驾驶员熟悉驾驶模拟器的驾驶特性与环境。

(2) 指引驾驶员按照既定路线行驶，行驶过程中会途经近二十个路口，实验人员会随机在其中的一些路口设置从侧向行驶过来的汽车，并记录驾驶员的操作情况以及是否发生碰撞事故。

(3) 分别对白天、夜间的四种不同能见度环境进行适应驾驶及实验测试（见图 2）。

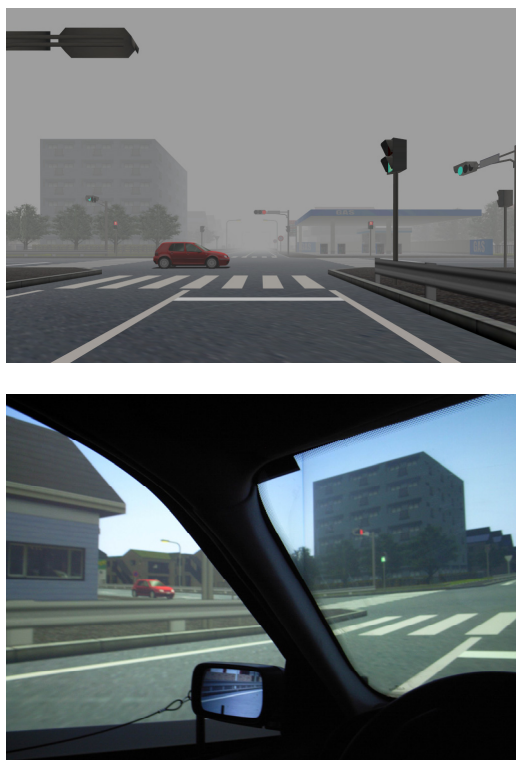


图 2 驾驶模拟实验场景

Fig.2 Scenario of the driving simulation experiment

3.3 试验结果

测试得到的实验结果如表 1 所示。在六次冲突中，驾驶员在不同的能见度条件下作出应急反应的次数有所不同，而最终发生碰撞的次数也各有差异。

表 1 能见度因素对交通事故的影响

Tab.1 Visibility's effect on crashes

条 件	冲突总次数	驾驶员做出应急反应的次数	碰撞事故发生次数
白天，能见度 200 m	6	6	2
白天，能见度 100 m	6	5	3
夜间，能见度 300 m	6	5	3
夜间，能见度 200 m	6	3	4

从表 1 可以看出，随着能见度降低，驾驶员对于突发事件成功做出反应的次数降低，而且，最终发生碰撞的次数增加了。另外可以看出，能见度因素在夜间比白天对驾驶员的影响要大得多，这是由于在车辆的灯光照明而非自然光条件下，驾驶员的视野更为狭窄，因而对于侧面冲突作出的反应次数有所降低。

上述驾驶模拟实验说明，能见度高低对驾驶员能否作出应急反应、能否来得及作出可避免碰撞的应急反应有着密切的关系。而这种关联性显然由于安全性和测量准确性等原因难以通过在实际道路实验或者事故数据分析中获得，而驾驶模拟实验则为此提供了简洁方便的研究途径。

由于本实验主要为了验证驾驶模拟实验在致因分析中的可用性，因此，没有对一些深入数据（驾驶员反应时间、方向盘最大转角、踏板压力）等进行分析讨论。在今后更深入和更有针对性的致因分析中，这些参数是需要被考虑和计算的。

4 结束语

道路交通事故致因理论整体上可以划分为对人、车、路、环境因素的分析。相对于传统的研究方法而言，驾驶模拟器有着安全性高、逼真度好、重复性强和数据获取方便的优势，这使得它在致因分析研究方

面有着很大的发展潜力。通过合理地选择目标驾驶员和驾驶状态、结合车辆动力学建模、虚拟现实技术、交通流建模方法等,可以使驾驶模拟器可以近似模拟绝大多数道路突然事件情景和过程。利用驾驶模

拟方法进行事故致因研究和事故再现在国外已经有较为成熟的体系,随着国内先进驾驶模拟器的引进和自主研发的发展,其在致因分析方面的应用会逐渐得到推广。

参考文献

[1] Heinrich H. W. Industrial accident prevention: a scientific approach [M]. New York: McGraw-Hill Book Company, 1959.
 [2] 巴布可夫. 道路条件与交通安全[M]. 景天然,译. 上海: 同济大学出版社, 1990.
 [3] Elvik R., Vaa T. (Eds.) The handbook of road safety measures [J]. Safety Science, 2006, 44 (3): 277-278.
 [4] 丁立, 熊坚, 何玉川. 基于模拟器的道路安全评价方法[J]. 中国公路学报, 2003, 16(3): 90-92.

(中文编辑: 吴继屏)

上接第 34 页

以,本文所分析的路网的连通可靠性主要是以高峰时段的连通可靠度为主。结果表明,所选路网的连通可靠度虽然不高,但也能反映出路网能满足出行者的连通需求,达到出行目的。

4 结束语

本文根据交通流状态的分析,提出一种基于交通流状况分析的连通可靠性评价分析方法,实现了对该方法的具体应用,并取得了较满意的结果。作者在基

于交通流状况分析的连通可靠性评价分析方法的基础上,进一步深入分析,提出了路段连通度定义,并由此推出计算路径连通度和路网可靠度的方法。最终结合北京市区域路网的实测数据进行示例分析,验证了分析方法的有效性和算法的可行性,并做了相应分析。另外由于在实际路网中路段之间并非完全独立,关键路段的拥堵,会由于出行者选择其他路段,而直接导致其他路段得不畅通。本文对于路段连通度的分析是相互独立,下一步的研究,应该在路段连通度的基础上,进一步分析路段的相关性。

参考文献

[1] 熊志华, 邵春福. 路网可靠性研究的回顾与展望[J]. 交通运输系统工程与信息, 2003, 3(2): 77-80.
 [2] 陈艳艳, 梁颖, 杜华兵. 可靠度在路网运营状态评价中的应用[J]. 土木工程学报, 2003, (1).
 [3] 任福田, 刘小明, 荣建等. 交通工程学[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
 [4] 王建玲, 蒋阳升. 交通拥挤状态的识别与分析[J]. 系统工程, 2006, 24(10): 105-109.
 [5] 肖位权. 图论及其算法[M]. 北京: 航空工业出版社, 1999.

(中文编辑: 吴继屏)