

11-20-2019

## Future Traffic Accident Risk Investigation Based on Human-machine-environment Factors

Yuan Quan

1. *State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, Beijing 100084, China*;;2. *Traffic Management Research Institute of the Ministry of Public Security, Wuxi 214151, China*;

Gao Yan

2. *Traffic Management Research Institute of the Ministry of Public Security, Wuxi 214151, China*;

Chenlu Qiu

2. *Traffic Management Research Institute of the Ministry of Public Security, Wuxi 214151, China*;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

# Future Traffic Accident Risk Investigation Based on Human-machine-environment Factors

## Abstract

**Abstract:** Based on the theory of human-machine-environment system engineering, this paper investigated the developing trends of autonomous vehicles and the types of traffic crashes in China, and *integrated changing human-vehicle-road factors of traffic system to speculate the possible new types and scenarios of traffic crashes. The recent occurred crash cases involving autonomous vehicles were concerned and investigated.* In future, some new affecting factors such as the mix traffic with various autonomous vehicles and piloted vehicles, the switching of driving behavior between human and machine, and the information security of intelligent traffic system, may cause traffic crashes. *Among these, the human factors and the influence of environment are still significant. Vulnerable road users are the main groups for automatic vehicles to avoid collision. The relevant laws formulating and the countermeasures for the crash prevention and processing are also suggested.*

## Keywords

autonomous vehicle, human-machine-environment factors, traffic crashes, intelligent transportation

## Recommended Citation

Yuan Quan, Gao Yan, Qiu Chenlu. Future Traffic Accident Risk Investigation Based on Human-machine-environment Factors[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(3): 566-574.

# 基于人-机-环境因素的未来交通事故风险研究

袁泉<sup>1,2</sup>, 高岩<sup>2</sup>, 裘晨璐<sup>2</sup>

(1. 清华大学 汽车安全与节能国家重点实验室, 北京 100084; 2. 公安部交通管理科学研究所, 无锡 214151)

**摘要:** 基于人-机-环境系统工程理论, 调研自动驾驶车辆和中国交通事故形态的发展趋势, 综合考虑人、车、路因素的变化, 推测未来可能出现的新的交通事故形态场景。关注探究最近发生的自动驾驶车辆事故案例。未来新的影响因素比如多种自动驾驶车辆与有人驾驶车辆共存、人机驾驶行为切换、智能交通系统的信息安全性问题等, 都可能引发事故。其中, 人的因素和环境影响依然重要; 弱势道路使用者是自动驾驶车辆的重点避撞对象。对相关的法规制定、事故预防和处理的应对措施提出了建议。

**关键词:** 自动驾驶车辆; 人-机-环境因素; 交通事故; 智能交通

中图分类号: U491.3

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2019) 03-0566-09

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.17WJP-012

## Future Traffic Accident Risk Investigation Based on Human-machine-environment Factors

Yuan Quan<sup>1,2</sup>, Gao Yan<sup>2</sup>, Qiu Chenlu<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. Traffic Management Research Institute of the Ministry of Public Security, Wuxi 214151, China)

**Abstract:** Based on the theory of human-machine-environment system engineering, this paper investigated the developing trends of autonomous vehicles and the types of traffic crashes in China, and integrated changing human-vehicle-road factors of traffic system to speculate the possible new types and scenarios of traffic crashes. The recent occurred crash cases involving autonomous vehicles were concerned and investigated. In future, some new affecting factors such as the mix traffic with various autonomous vehicles and piloted vehicles, the switching of driving behavior between human and machine, and the information security of intelligent traffic system, may cause traffic crashes. Among these, the human factors and the influence of environment are still significant. Vulnerable road users are the main groups for automatic vehicles to avoid collision. The relevant laws formulating and the countermeasures for the crash prevention and processing are also suggested.

**Keywords:** autonomous vehicle; human-machine-environment factors; traffic crashes; intelligent transportation

### 引言

车型智能安全化的不断发展提升了道路交通

安全也改变着道路交通系统, 由此引发的交通事故风险及形态都在随之变化。研究交通安全和事故预防必须及时关注车型的发展动态, 进而把握形态的发展变化。如当前各大汽车公司积极研发以自动驾驶车辆为代表的智能车辆, 少量原型车已在道路系统中测试运行。预计在不远的将来, 这些车辆将全方位登上道路交通平台。此外, 未来的车辆向



收稿日期: 2016-08-10 修回日期: 2017-01-04;  
基金项目: 公安部道路交通安全重点实验室开放课题(2016ZDSYSKFKT10);  
作者简介: 袁泉(1974-), 男, 黑龙江北安, 博士, 高工, 研究方向为交通安全等; 高岩(1978-), 男, 江苏徐州, 硕士, 副研究员, 研究方向为交通安全。

<http://www.china-simulation.com>

着轻量化、高速化和环保化的方向发展,然而,由于发展的不平衡,导致各种技术状况和智能级别的车辆共存,加上我国交通人-车-路因素原本的复杂性,交通事故的形态可能会更加复杂。

近年来,全球正掀起自动驾驶车辆的研发热潮,然而,自动驾驶车辆在道路上发生的交通事故也开始引起关注。2016年2月,谷歌自动驾驶车辆引发了它的第一起事故<sup>[1]</sup>,当它变线时与一辆巴士相撞,当时车速低并未造成人员伤亡。3个月之后,一辆特斯拉 Model S 以自动驾驶模式在道路上发生了更为严重的死亡事故<sup>[2]</sup>。这两起事故被认为是自动驾驶车辆问世以来的重要事件,预示着未来可能出现的新的交通事故类型。

交通事故的形态与车型发展变化之间密切相关。随着汽车技术水平的提高,我国的事故数量下降的同时,其形态特征也在不断变化。交通事故形态的动态变化对相应的交通安全管理提出了因时调整的要求。针对实际事故形态特征才能更好地研发有效的汽车安全技术、交通安全管理和事故预防及处理、事故救援等相关工作的应对措施。本文通过调研当前自动驾驶车型的国内外现状及发展趋势,结合我国交通事故状况及人车路因素的特点,分析未来可能具有的新的交通事故形态,提出相关应对建议。

## 1 国内外现状

### 1.1 自动驾驶车辆——国际大趋势

智能车辆已成为未来汽车的重要发展方向,自动驾驶技术日渐成熟。全球各大汽车公司,如宝马、梅赛德斯-奔驰、沃尔沃、通用和日产等,都陆续推出了自动驾驶试验车。谷歌公司在美国实际道路上开展了自动驾驶车辆的长里程行驶试验,我国的百度公司已与宝马合作开展自动驾驶车辆路试。

尽管当前公众对“无人驾驶”交通方式的接受程度还有待提高<sup>[3]</sup>,2015年以来,一些发达国家的政府已开始支持自动驾驶车辆在实际中的应用,比

如德国、英国和美国。目前在欧美发达国家已率先开展有关无人驾驶车辆事故中法律和责任方面的研究探讨<sup>[4-6]</sup>,满足自动驾驶实用推广的需要。

当前,在自动驾驶等智能汽车发展的大趋势下,我国各大汽车公司和互联网公司纷纷开始研发各种新型自动驾驶汽车,再加上智能交通技术的不断发展和应用,必将引发一场道路交通的革命性飞跃。然而,相应滞后的道路交通安全管理方面也应对这一突飞猛进的变化做出充分的准备,迎合车辆与交通技术的发展趋势。

据《华尔街日报》网站报道,百度公司很快将在美国测试其无人驾驶汽车<sup>[7]</sup>,百度宣布无人驾驶车将实现城市、环路及高速公路混合路况下的全自动驾驶,最高时速达到 100 km/h。而已有数家中国汽车公司承诺会推出首款无人驾驶汽车。早在 2006 年,中国一汽集团和国防大学合作研发,在红旗旗舰车型基础上完成高速公路自动驾驶样车。2011 年,一汽红旗 HQ3 无人车首次完成了从长沙到武汉 286 公里的高速全程无人驾驶实验。此外,长安、上汽、北汽、吉利、比亚迪、东风、广汽等国内汽车公司纷纷出台无人驾驶车辆的研究计划,共同推进智能互联技术在国内的发展。国内自主品牌车企在智能化的高速路上将展开激烈竞逐。

未来的自动驾驶技术可以降低由于驾驶员人为失误引起的事故风险。然而,考虑道路交通系统的复杂性、道路交通使用者的多样化以及发展的不平衡性,未来的智能交通系统和自动驾驶车辆仍然难以避免碰撞事故。需要根据未来的交通环境和车辆类型特点,预测可能发生的交通事故形态和典型场景,据此一方面及早研究相应的交通安全管理和事故预防对策,另一方面也要为相关的事故救援和处理做好积极准备。

### 1.2 我国道路交通事故的发展

自动驾驶汽车的研发如火如荼,也已经在我国北京、上海等一线城市的道路上进行实车测试,然而,当前由于普通汽车和道路使用者引发的交通事

故数量依然可观。2014 年，我国涉及人员伤亡的道路交通事故共发生 196 812 起，造成 58 523 人死亡，211 882 人受伤，直接财产损失 10.8 亿元<sup>[8]</sup>。关于交通事故各种形态的分布情况见图 1，其中，车辆之间发生的碰撞事故占 70.48%，车辆与人之间发生的事故占 22.16%，单车事故占 7.36%。图 2 所示为全年高速公路发生的交通事故形态统计，车辆之间碰撞事故占 62.08%，其中，碰撞运动车辆事故占 43.79%，追尾是高速公路最主要的碰撞形态，占 34.29%<sup>[8]</sup>。

对比十多年前的交通事故形态，可以发现事故的数量、类型和车型的变化趋势，其中也反映了人、车、路和环境因素的变化规律，综合各方面的因素变化情况，据此可进一步预测未来事故形态可能发生的变化。比如在我国，客车作为最普遍的车型，其引发的事故数量和比例最多，与车型本身的数量直接相关如图 3 所示，其次为货车和摩托车；电动车辆参与的事故逐渐增多，其中，电动自行车的发展突飞猛进，代替普通自行车成为肇事数量最多的

非机动车，近年各种小型的三轮和四轮电动车辆不断出现在道路交通场景中，数量逐渐增加，安全问题日益突显。总体而言，交通事故中弱势道路使用者（包括行人、摩托车及非机动车驾驶人等）的死亡人数占全部事故的 60% 以上，图 4 为 2014 年我国弱势道路使用者事故的数据，可以看出摩托车、行人、自行车的事故频度和伤亡风险较高，因此广大的弱势道路使用者也将成为未来自动驾驶车辆的重点避撞对象。

多年来，人口众多、地理环境复杂、发展水平不均衡一直是制约我国道路安全改善的主要因素。而面对未来的先进车辆和交通系统，众多的道路交通使用者将拥有更多的交通方式选择。经济发展的不平衡性、交通文明素质和安全意识的差异，虽逐渐改善但仍影响着道路交通系统的运行，而由于智能车辆的引入将导致各种车型的混杂。因此，未来我国的交通安全状况虽逐渐改善，但仍不容乐观，而且可能发生各种复杂的事故类型，值得研究人员重点关注。

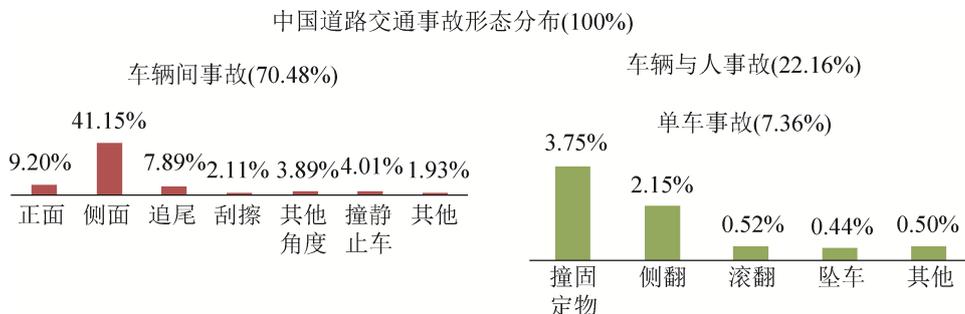


图 1 我国当前道路交通事故形态分布  
Fig. 1 Current road traffic accident forms in China

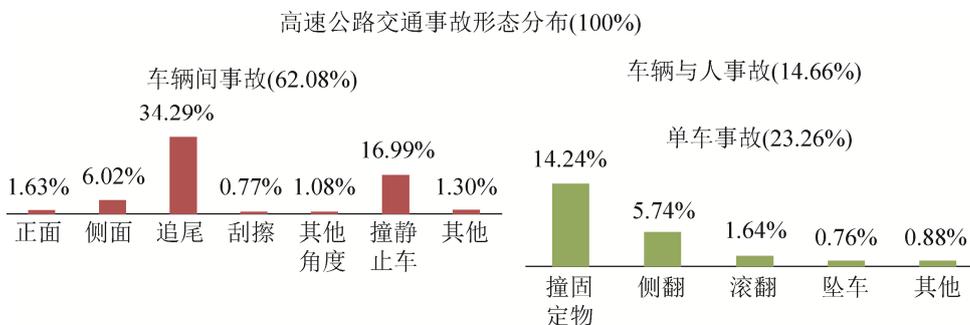


图 2 我国当前高速公路交通事故形态分布  
Fig. 2 Current traffic accident forms in expressways of China

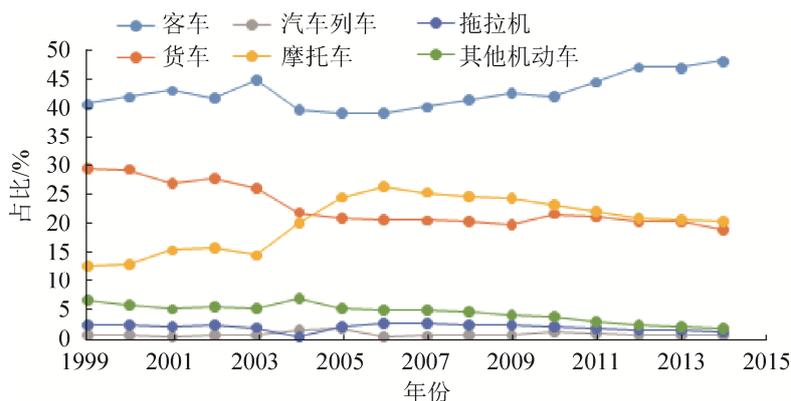


图 3 1999-2014 我国交通事故机动车的车型占比  
Fig. 3 Proportions of motor vehicle types in traffic accidents in China in 1999-2014

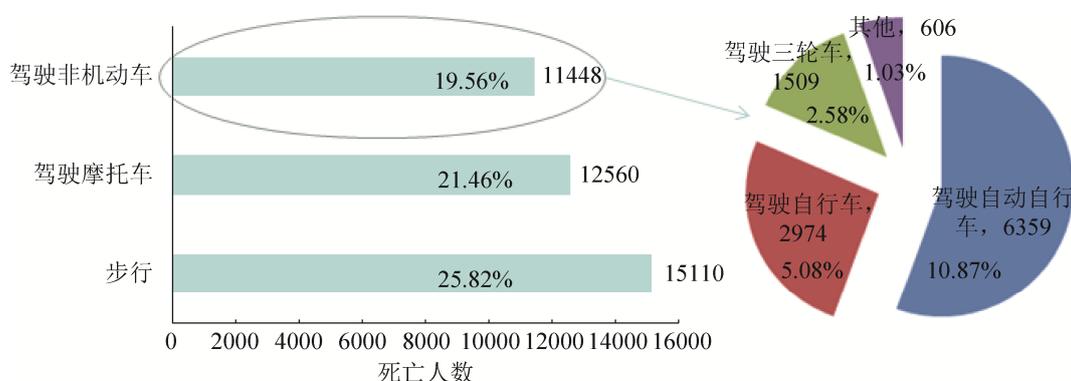


图 4 我国交通事故中弱势道路使用者类型及死亡人数  
Fig. 4 Types and fatalities of vulnerable road users in traffic accidents in China

## 2 基于人-机-环境因素的未来交通事故风险分析

自动驾驶很可能成为未来道路交通系统的主角,然而,从有人驾驶向无人驾驶的转变不是一朝一夕能够切换的,两者之间的过渡需要时日,此间,势必导致道路交通系统的复杂性突显,各种人、车、路因素相互作用,可能引发复杂的交通冲突。在此,基于人-机-环境系统工程的思想,审视和预测未来以自动驾驶车辆为特色的智能交通系统,将以机的因素为主导,人的因素为辅助,而依然不能回避道路环境因素。以下分别从人、机和环境三方面因素及其相互作用讨论未来道路交通系统可能存在的事故风险。

### 2.1 机的因素

#### 2.1.1 多种智能级别的车辆在道路上共存

NHTSA 公布的 5 种道路车辆自动化(驾驶)级别自低到高依次为:无自动化、特定功能自动化、协同功能自动化、有限的无人驾驶和完全无人驾驶<sup>[9]</sup>。这些不同智能级别的车辆很可能有机会同时在道路上运行(如无人车辆与有人驾驶车辆共存),因而依然存在着碰撞事故风险。谷歌自动驾驶汽车 6 年来进行道路测试已运行 320 万公里,共发生了 17 起轻微事故<sup>[1]</sup>。基于目前的技术条件,当无人驾驶车辆遇到前方突然有其他车辆驶入同车道,其避撞策略是对可能发生的几种情形尽量选择碰撞或严重度最低的情况,而后果并非绝对不发生碰撞<sup>[10]</sup>。因此,由于自动驾驶车辆对交通冲突的判

断和决策与实际的驾驶人之间可能存在差异,由此引发事故。

### 2.1.2 技术漏洞的存在

近期一些车辆在道路上以自动驾驶模式运行,偶发事故,甚至造成了人员伤亡。事故原因主要是由于车辆在智能识别方面存在的技术漏洞。比如,特斯拉 Model S 在 2016-05-07 发生了严重碰撞事故<sup>[2]</sup>。在自动驾驶车辆的发展过程中,技术是逐渐完善的,在发展的各阶段某种程度上难免存在着技术的局限性,因而容易造成突发的故障而引起事故。

### 2.1.3 小型轻量化车辆的事故风险

未来以车际互联、车路协同引领的智能交通模式将使得交通系统更具低能耗、高效率和高安全性,允许车辆之间在更高的车速和更小的间距下行驶,但这一模式也存在着安全风险。比如将来在高速公路上队列行驶的智能车辆,对比现在将具有更高的车速和更短的车距,由此可能发生多车之间的高强度连续追尾事故。在将来,小型轻量化的车辆比例逐渐增多,还涉及不同质量和类型车辆之间的碰撞相容性问题需要考虑<sup>[11]</sup>。

### 2.1.4 智能交通系统的信息安全问题

在网联化时代,除了碰撞安全,信息安全也变得尤为重要。智能交通系统信息传递的安全性,以及系统本身的可靠性都对智能交通系统的安全状况有着重要影响。计算机信息和通讯系统可能受到外界(如黑客)的攻击,以及系统本身的小概率差错等突发状况,可能会引发不同程度的系统紊乱,使得人、车、路三者之间的交互作用出错。

### 2.1.5 突发的机械故障和功能失效

尽管电子技术水平很高,未来智能车辆仍以传统的机械系统为平台依托,所以不能完全避免机械故障对行车安全的威胁,比如突发的车辆爆胎、零部件损坏,制动、转向等性能的异常和失效,以及电脑和传感器失灵等硬件故障。虽然车辆及其机械系统的性能也将不断改善,然而突发因素导致部件

失效的情况仍无法完全避免。

## 2.2 人的因素

### 2.2.1 人机共驾的相关问题

在非自动驾驶向自动驾驶的过渡阶段,可能出现几种不同智能级别的产品,其中包括“有限的自动驾驶功能”,也即某些场合驾驶员可以完全不管车辆操控,然而人机之间在操纵车辆转换前应该留有合理的时间。由此便涉及到人机之间的操作切换,对人来说,需要有一定的适应过程。比如,美国加州初创公司 Cruise Automation 的一辆日产聆风自动驾驶汽车 2016 年 1 月在旧金山路试时,发生了碰撞事故<sup>[12]</sup>。该车以约 20 英里/小时的速度在右侧车道行驶时突然向左侧车道移动,驾驶员准备通过手动控制车辆调整方向,却未能改变路线,最终与停在路边的一辆丰田普锐斯轿车相撞。此事故说明了无人驾驶系统存在出错的可能,也暴露了人机之间进行操作切换可能出现的问题。

对于此方面的研究和改进正在利用驾驶模拟试验等方法开展,比如对自动巡航控制(ACC)和高度自动驾驶功能下驾驶员意识的影响研究表明:驾驶员在两种不同程度自动驾驶工况下若处于非驾驶任务状态,对比手动驾驶其意识反应状况变差<sup>[13]</sup>;对半自动驾驶和高度自动驾驶两种情况下自动失效后驾驶性能影响的对比<sup>[14]</sup>;基于驾驶模拟试验研究从自动模式到手动模式的人机切换,包括两种条件:一方面当自动驾驶关闭,手动控制启动需要一个基于系统的时间间隔,另一方面从自动到手动,驾驶员的视线转换也需要经历特定的时长<sup>[15]</sup>。

### 2.2.2 未来人类的驾驶技能退化

“无人驾驶”标志着不再需要由人类驾驶员驾驶和操控车辆。未来随着无人车的逐渐普及,更多的“人的驾驶技能”会日益退化。由此对无人车的安全性提出了更高的要求:它应该具有应对和妥善处理各种突发交通冲突的能力。在将来,“人力驾驶”的技能将会变得日益稀缺,如果依然需要人类驾驶与自动驾驶结合,或人类驾驶作为研究开发的

模板和机器学习的样本,那么无人驾驶就不能完全取代有人驾驶而独立存在。

### 2.2.3 弱势道路使用者交通方式更加多样化

当前,电动自行车骑车人已成为交通事故肇事的最主要的非机动车使用者。随着能源紧张和环保的要求,小型电动交通工具将逐渐登陆道路系统,而广大交通出行人员拥有更多的选择。未来,虽然智能车辆风靡,然而,由于人口众多、交通工具多样化,广大弱势道路使用者依然在交通系统中出现,他们可能使用普通自行车、电动自行车、小型代步车,或借助于滑板车、平衡车,或仍然步行。这些交通使用者将永远是自动驾驶车辆避撞的重点对象。而他们之间能否绝对不接触,一方面取决于无人车的技术,另一方面则依赖于交通管理和人的交通安全意识、交通文明素质的提升。比如,“碰瓷”等行为在未来能否杜绝,则是相关社会问题的改善。

### 2.2.4 车内乘员姿态变换带来的挑战

类似房车等豪华车辆的功能特征,在未来的无人驾驶车辆上可能会有更多样和灵活的乘员环境。未来的自动驾驶车辆内部,当不再需要人类执行驾驶操作任务,将不必设置转向盘和脚踏板等人为操纵装置,因此人的活动空间和姿势会更加舒适灵活。比如,乘员座椅可以随意旋转,使得四位乘客能够相对而坐。每位乘员可以更加自如地使用电脑、手机,可以上网、阅读,交谈或休息,还可以进行一些适当的娱乐活动。由此,必将使车内乘员的身体姿态更为丰富和复杂,也给相应的车辆被动安全与乘员保护带来了更大的挑战。

## 2.3 环境因素

### 2.3.1 恶劣天气条件影响

未来的智能化车辆仍无法摆脱恶劣天气和自然灾害的影响,比如强风、强降雨雪、严重雾霾等恶劣气候与自然灾害对小型车辆的干扰,路面积雪对智能地图识别的影响等。据 2016 年 2 月 12 日美

国彭博社报道称,沃尔沃无人驾驶汽车在路试中遇到了强烈的暴雪天气,其传感器不能正常工作,难以辨识路况<sup>[16]</sup>。在强降雪天气,道路因积雪或结冰导致反射特性发生变化,影响激光雷达的效果,从而影响三维地图的构建,也就导致了无人车不能按照预定路线行驶。另外,无人车也需要视觉传感器对车道线及道路标志等信息进行识别,从而实现障碍避让并按法规行驶。在强降雪天气,车道线和道路标志会被大雪局部覆盖,而车辆及道路两侧的建筑则会因为冰雪覆盖而难以识别。

### 2.3.2 复杂自然地理环境影响

车辆人机系统存在于自然和交通环境中,未来的智能化车辆处于特定的道路环境之下运行,仍然无法避免环境条件的干扰对行车安全的威胁,如路面突然出现的障碍物、城市密布的建筑物、桥梁、山体及隧道对网联信号的阻挡以及突发的自然灾害等,在无人驾驶车辆的研发和改进中,复杂的地理环境因素不容忽视。

此外,在郊区公路上偶然穿行的动物也应属于自动驾驶车辆的避撞对象,而在城区,与日俱增的流浪猫狗也是难以管理的弱势道路使用者,成为特殊的安全风险因素。

## 2.4 各种因素的综合作用

回顾特斯拉 Model S 在 2016 年 5 月 7 日发生的事故。当时 Model S 以自动驾驶模式行驶在一条双向有中央隔离带的公路上,此时恰逢一辆拖挂车以垂直方向穿越公路。在强烈的日照条件下,Model S 的驾驶员和自动驾驶系统都未能注意到拖挂车的白色车身,因此未能及时启动刹车系统。由于拖挂车正在横穿公路,且车身较高,这一特殊情况导致 Model S 从挂车底部通过时,其前挡风玻璃与挂车底部发生撞击。事故原因是由于摄像头失效<sup>[2]</sup>。此事故也说明交叉口作为一种典型的道路区域,其复杂的路况条件是自动驾驶要面对的难关之一。

上述事故的发生是在特殊的自然光照环境下,

而自动驾驶系统的摄像头失效造成的。是机的因素和环境因素综合作用的结果。而 2.2.1 中的事故则是人、机因素综合作用的结果。

综上所述,虽然未来的智能交通系统理论上能够降低交通事故率,但仍无法消除诸多可能引发事故的因素。总结当前已有报道的在道路上测试运行的自动驾驶车辆已发生的事故,列于表 1,可见,自动驾驶车辆仍处在技术发展阶段,不可避免与现有的交通条件和人车路因素之间发生冲突。因此,应及时预测自动驾驶车辆在道路上可能引发的事故风险和事故形态,进而在事故预防、交通安全研究中给予针对性考虑。

### 3 讨论与展望

#### 3.1 自动驾驶车辆上路前的法规

我国在自动驾驶车辆研发方面已取得了突破进展,然而,在相应的车辆和交通管理方面急需配套推进,比如,在自动驾驶的车辆管理、道路通行规则及相应的事故处理和法律责任等方面,尚无明确的法规出台,而目前,已有少量自动驾驶原型车在道路上开展测试,也有实际的产品车发生事故,因而存在着较大的法律漏洞和风险。为此,需要尽快根据我国的实际情况,借鉴国外的相关立法经验,对《道路交通安全法》进行补充完善,明确规定自动驾驶车辆进入道路行驶的条件、通行规则、监管手段,以及在自动驾驶车辆发生事故之后的处理规则、责任认定法规,全方位推进自动驾驶车辆的技术标准及法律法规的制定和落实。

#### 3.2 基于历史事故数据挖掘汽车主动安全研发需要关注的典型驾驶场景

智能汽车的发展标志着主动安全技术的进步,汽车主动安全技术研发的目的是为了预防交通事故的发生,“零碰撞”是努力的方向。因此,主动安全技术的研发必须针对各种存在的事故形态建立相应的预防对策。需要从已有的交通事故数据中挖掘出具体的形态特点,为主动安全技术的研发提供需要关注的典型驾驶场景,如典型的驾驶员因素引起的事故特征,人为难以避免的碰撞形态,成为重要的事实参考依据。

#### 3.3 预测智能化发展趋势下的车辆事故形态及场景

智能网联技术的应用和自动驾驶车辆的推广将对道路交通带来重要影响。在未来,大部分的车辆将更加智能化、网联化、环保化和轻量化。由于中国道路交通系统的复杂性,交通事故不仅不会完全消失,而且可能呈现出更多复杂的形态。混合交通可能既包括传统的有人驾驶车辆、先进的无人驾驶车辆以及具有不同智能和安全级别的车辆。在那时,大量的道路使用者将选择不同的交通工具而有的依然可能选择自行车和步行。由此,变化的因素和不变的因素交织在一起便构成了未来复杂的交通场景。基于当前的事故形态,考虑未来车型可能的变化而移植在相似的交通场景中,于是构想和预测出典型的未来事故场景。

表 1 自动驾驶车辆已发生的事故列举

Tab. 1 Occurred accidents of self-driving vehicles when tested

时间	公司	事故形态	事故后果	事故原因	人机环因素
2016-02-14	谷歌	侧撞	轻微	无人驾驶车判断出错	机的因素
2016-02	沃尔沃	单车	传感器失效	恶劣天气影响	机+环境因素
2016-01-08	聆风	撞停止车	轻微	控制系统失效	机+人的因素
2016-05-07	特斯拉	撞转弯货车	严重	强光照射下摄像头失效	机+环境因素

### 3.4 揭示交通事故形态与车型发展变化之间的联系

收集整理当前已有的交通事故与车型相关数据, 首先根据研究需要进行聚类 and 统计, 深入了解交通事故的形态特征和发展趋势; 在此基础上, 一方面研究交通事故形态和车型之间的相关性联系, 另一方面结合车辆的发展趋势对未来可能发生的事故形态进行预测研究, 如考虑自动驾驶车辆不同发展阶段、车辆小型化和轻量化的趋势、车辆主动安全多种水平差异并存等情形, 对比当前的事故形态, 分析未来的事故风险, 提出可能出现的事故形态。针对涉及未来车型的典型事故形态和场景, 如无人驾驶车辆与有人驾驶车辆之间的接触, 拟定事故的场景和条件, 进行模拟分析, 获取深入的碰撞数据, 为乘员保护等相关研发提供参考依据。

### 3.5 应对未来事故形态变化做好准备

根据前述讨论结果, 尽管数量可能日渐下降, 然而未来的交通事故将呈现更为多样化和复杂化的趋势, 相关的法律、保险, 以及事故预防、乘员保护、事故处理、现场救援等问题需要积极考虑对策, 相关的研究开发应及早做好准备。比如对无人驾驶车辆引发事故的责任认定规范, 车内的乘员多样坐姿的安全保护问题研究, 复杂事故的现场救援措施等, 更重要的是及早对这些复杂事故形态和场景及时反馈给智能汽车研发过程, 尽量考虑并避免出现类似的意外风险, 或者尽力降低事故的严重性, 让未来的智能交通系统运行更加安全稳健。

欧美等发达国家和一些自动驾驶车辆研发部门已经开始意识到这些问题并着手积极应对。比如, 据美国媒体 motortrend 于 2015-10-08 报道, 沃尔沃公司公开表示, 未来如果旗下的无人驾驶汽车出现了交通事故, 沃尔沃将负责汽车在无人驾驶状态下所造成事故的全部责任。自动驾驶汽车在欧美发达国家发展最快, 英美等国家已经开始推进法律对策, 希望能够尽快为自动驾驶汽车建立指导法规, 尤其是汽车保险和事故相关的法律诉讼、赔付

标准等方面内容。在我国, 各大车企已纷纷加入无人车研制的队伍, 我国的相关监管部门也应及早跟进未来交通模式更新带来的问题和变化。

同时, 交通事故形态的多样化、复杂化, 对事故的再现和鉴定分析工作也将是一个巨大的挑战。由此引发的车速分析、责任认定、伦理道德等问题将成为新的研究课题。为此, 相关人员更应致力于车型动态更新和事故形态变化的关注和探索, 对未来的道路交通系统带来的新挑战做好充分的准备。

## 4 结论

智能化、自动化是先进汽车研发的主要方向, 其发展势头非常迅猛, 由此使得交通事故的风险和形态随之发生变化, 值得深入研究探讨。根据我国交通事故形态的发展规律及当前已发生的自动驾驶车辆事故特征, 综合考虑各种人、车、路的因素, 预测不久的将来可能出现的新的交通事故形态。在未来的道路交通系统中, 新的交通现象比如多种自动驾驶车辆与有人驾驶车辆共存、人机共驾、智能交通系统的信息安全问题, 以及依然存在的偶然机械故障, 环境干扰和天气影响等, 都可能成为事故诱因。其中, 人的因素依然重要, 弱势道路使用者是自动驾驶车辆的重点避撞对象。未来事故的发生依然将是人、机、环境因素综合作用的结果。针对未来事故可能的复杂性, 建议尽快制定自动驾驶车辆的相关标准和法规, 并对相关的事故预防、处理等实际需求提出应对措施。

虽然当前自动驾驶车辆的研究与开发轰轰烈烈, 然而围绕自动驾驶本身有太多相关问题尚需时间来解决和检验<sup>[17]</sup>。比如: 其造价多少? 未来谁来拥有它们? 个人还是公司? 当发生事故时, 谁来承担责任? 人们能否接受并且信任它们? 诸如此类, 一系列的问题只能通过时间和经验来回答, 而这个发展过程可能很快, 让我们拭目以待。

### 参考文献:

- [1] Google acknowledges "responsibility" in self-driving car

- accident [EB/OL]. (2016-03-02) [2016-03-10]. [http://news.xinhuanet.com/english/2016-03/02/c\\_135145841.htm](http://news.xinhuanet.com/english/2016-03/02/c_135145841.htm).
- [2] 刘健皓. 第一起自动驾驶死亡车祸! 特斯拉事故复现分析[EB/OL]. (2016-07-04) [2016-08-09]. [http://tech.ifeng.com/a/20160704/41633017\\_0.shtml](http://tech.ifeng.com/a/20160704/41633017_0.shtml).  
Liu Jianhao. The first fatal crash with autonomous car! Reconstruction and analysis of Tesla crash [EB/OL]. (2016-07-04) [2016-08-09]. [http://tech.ifeng.com/a/20160704/41633017\\_0.shtml](http://tech.ifeng.com/a/20160704/41633017_0.shtml).
- [3] Payre W, Cestac J, Delhomme P. Intention to use a fully automated car: Attitudes and a priori acceptability[J]. *Transportation Research Part F (S1369-8478)*, 2014, 27(PB): 252-263.
- [4] Hevelke A, Nida-Ru'melin J. Responsibility for Crashes of Autonomous Vehicles: An Ethical Analysis[J]. *Sci Eng Ethics (S1353-3452)*, 2015, 21(3): 619-630.
- [5] Schroll C. Splitting the Bill: Creating a National Car Insurance Fund to Pay for Accidents in Autonomous Vehicles[M]. USA: Northwestern University Law Review, 2015.
- [6] Marchant G E, Lindor R A. The coming collision between autonomous vehicles and the liability system[J]. *Santa Clara Law Review (S0146-0315)*, 2012, 52(4): 1321-1340.
- [7] China's Baidu to test driverless cars in the U.S.[N]. *THE WALL STREET JOURNAL*. 2016-03-16.
- [8] 中华人民共和国道路交通事故统计年报(2010-2014) [R]. 公安部交通管理局, 北京, 2011-2015 年.  
Traffic Management Bureau of the Ministry of Public Security of PRC. Annual statistical report of China road traffic collisions (2010-2014)[R]. Beijing, 2011-2015.
- [9] NHTSA. Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles[M]// Publication NHTSA 14-13. Washington, D.C., USA: U.S. Department of Transportation, 2013.
- [10] Goodall N J. Ethical Decision Making During Automated Vehicle Crashes[J]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C. (S0361-1981)*, 2014, 2424(1): 58-65.
- [11] Evans L. Causal Influence of Car Mass and Size on Driver Fatality Risk[J]. *American Journal of Public Health(S0148-7191)*, 2001, 91(7): 1076-1081.
- [12] Williams M. San Francisco has had its first self-driving car accident [EB/OL]. (2016-01-21) [2016-03-16]. <http://www.pcworld.com/article/3024939/car-tech/san-francisco-has-had-its-first-autonomous-car-accident.html>.
- [13] Winter JCFD, Happee R, Martens MH, et al. Effects of adaptive cruise control and highly automated driving on workload and situation awareness: A review of the empirical evidence[J]. *Transportation Research Part F (S1369-8478)*, 2014, 27(PB): 196-217.
- [14] Strand N, Nilsson J, Karlsson ICM, et al. Semi-automated versus highly automated driving in critical situations caused by automation failures[J]. *Transportation Research Part F (S1369-8478)*, 2014, 27(PB): 218-228.
- [15] Merat N, Jamson A H, Lai FCH, et al. Transition to manual: Driver behaviour when resuming control from a highly automated vehicle[J]. *Transportation Research Part F (S1369-8478)*, 2014, 27(PB): 274-282.
- [16] 姜靖. 无人驾驶车缘何一遇雪天就罢工[EB/OL]. 科技日报, (2016-02-22) [2016-03-16]. [http://digitalpaper.stdaily.com/http\\_www.kjrb.com/kjrb/html/2016-02/22/content\\_331893.htm?div=-1](http://digitalpaper.stdaily.com/http_www.kjrb.com/kjrb/html/2016-02/22/content_331893.htm?div=-1).  
Jiang Jing. Why driverless vehicle doesnot work in snowy days[EB/OL]. *Science and Technology Daily*, (2016-02-22) [2016-03-16]. [http://digitalpaper.stdaily.com/http\\_www.kjrb.com/kjrb/html/2016-02/22/content\\_331893.htm?div=-1](http://digitalpaper.stdaily.com/http_www.kjrb.com/kjrb/html/2016-02/22/content_331893.htm?div=-1).
- [17] Waldrop M M. Autonomous vehicle: No Drivers Required [EB/OL]. (2015-02-04) [2016-03-16]. <http://www.nature.com/news/autonomous-vehicles-no-drivers-required-1.16832>.