

智能汽车被动安全标准未来发展方向探究

唐洪斌^{1,3} 孙振东² 丁晓东^{1,3} 彭伟强²

(1.中国第一汽车股份有限公司研发总院,长春 130013;2.中国汽车技术研究中心有限公司,天津 300300;
3.高端汽车集成与控制全国重点实验室,长春 130013)

【摘要】为了解决现有被动安全相关标准制约智能汽车新技术发展的问题,根据国际标准组织和美国标准机构对智能汽车被动安全相关标准的修订工作及内容,制定了中国智能汽车被动安全标准评价体系建设方案和中国智能汽车被动安全标准发展路线图,并以一项国家强制标准进行举例说明以期为中国被动安全标准的适用性制定和修改提供必要的支撑。

关键词:被动安全标准 智能汽车 发展路线

中图分类号:U467.1+4;U467.1 **文献标识码:**A **DOI:** 10.19620/j.cnki.1000-3703.20230115

Exploration on The Future Development Direction of Passive Safety Standards for Intelligent Vehicles

Tang Hongbin^{1,3}, Sun Zhendong², Ding Xiaodong^{1,3}, Peng Weiqiang²

(1. Global R&D Center, China FAW Corporation Limited, Changchun 130013; 2. China Automotive Technology And Research Center Co., Ltd., Tianjin 300300; 3. National Key Laboratory of Advanced Vehicle Integration and Control, Changchun 130013)

【Abstract】The existing passive safety related standard restricts the development of new intelligent vehicle technologies. To solve this problem, this research team developed China construction scheme of intelligent vehicles passive safety standards and the development roadmap according to the revision of the relevant passive safety standards of intelligent vehicles by the international standard organizations and the American standards institution, and then took one national mandatory standards as an example. This research can provide necessary support for the applicability developing and revising China's passive safety standards.

Key words: Passive safety standards, Intelligent vehicle, Development route

【引用格式】唐洪斌,孙振东,丁晓东,等.智能汽车被动安全标准未来发展方向探究[J].汽车技术,2023(7):17-23.

TANG H B, SUN Z D, DING X D, et al. Exploration on The Future Development Direction of Passive Safety Standards for Intelligent Vehicles[J]. Automobile Technology, 2023(7): 17-23.

1 前言

伴随着人工智能以及新一代信息通信技术革命浪潮,汽车作为新技术集成应用的最佳载体之一,正在加速向智能化转型,智能汽车已经成为国际汽车产业发展的战略方向和竞争焦点^[1-4]。

为了避免现有标准制约新技术的发展,本文结合国际标准组织和美国标准机构对智能汽车被动安全相关标准的修订工作原则和方法,开展了中国智能汽车被动安全标准评价体系建设方案和中国智能汽车被动安全标准发展路线的研究工作,并针对被动安全相关标准的修订进行了初步探究。

2023年 第7期

2 国外智能汽车被动安全相关标准研究进展

2.1 美国NHTSA针对智能汽车被动安全相关标准的修订原则和范围

美国自2016年开始对美国现有被动安全标准进行了系统地扫描,以便应对智能汽车技术的发展带来的冲突和影响^[5]。美国高速公路安全管理局(National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA)在2018年9月28日发布了智能汽车驾驶系统的可测试案例和场景框架^[6],在2019年5月28日发布了预先通知建议规则(Advance Notice of Proposed Rule Making, ANPRM),用来解决未来智能汽车的开发对碰撞安全性能产生影响

- 17 -

的问题^[7-8]。为解决新型车辆设计的问题(尤其是非乘用车,或是对驾驶员位置和操控形式进行重大修改的车辆),NHTSA在2020年3月30日发布了一项规则制定提案,修改了几项耐撞性法规,以明确无驾驶员控制的机动车辆的安全标准^[9]。2021年1月13日,NHTSA推出了最终版提案,消除了重大的、不必要的法规障碍,为未来智能汽车的生产、销售和使用铺平道路^[10-11]。2022年3月10日,NHTSA发布了最终规则,该规则更新了乘员保护联邦机动车辆安全标准,以确保自动驾驶汽车乘员的安全。

2.1.1 NHTSA针对智能汽车被动安全相关标准的修订原则

第一,要保持智能汽车和传统汽车具有相同的乘员保护性能;第二,去掉针对智能汽车开发可能产生的不需要进行监管的条文要求;第三,修订后的要求有利于配备智能汽车技术的车辆,且不改变对非智能汽车的要求;最后,根据美国运输部指南《为未来运输作准备:自动车辆3.0》中概述的原则,修订后的要求以保持技术中立,即既不倾向主动安全也不倾向被动安全的方式对美国汽车安全技术法规(Federal Motor Vehicle Safety Standard, FMVSS)进行修改,并以更能反映某些创新内饰的方式对FMVSS进行修改。

2.1.2 NHTSA针对智能汽车被动安全相关标准修订的前提条件

a. 假定智能汽车座椅布局与传统车辆相同,其他形式的座椅布局需要进一步的研究。

b. 针对只载货(无/少乘客)的车辆修订了碰撞安全性的要求,但未考虑其相容性的问题。

c. 修订仅限于200系列FMVSS,不适用于300系列标准。不修改与信号装置和警告相关的要求,因为该领域的影响超出了200系列标准,并且是NHTSA继续研究的主题。但安全气囊抑制信号装置的修改计划在将来单独发布通知。

2.1.3 NHTSA针对智能汽车被动安全相关标准修订的范围

针对无驾驶员座位,但是有多个前排乘员座位的情况进行了修订。针对前排安全气囊指示灯和抑制装置,建议分开显示,并且在每一个前排乘坐位置乘坐时均可见。

针对中型客车(整备质量为4 536~11 793 kg)和校车(整备质量大于4 536 kg)安全带要求进行了修订,针对智能汽车无驾驶员的情况,建议车辆前排座椅满足与驾驶员座椅相同的要求。

当车辆没有转向盘和转向装置时,FMVSS 203和FMVSS 204将不适用于对智能汽车的评价。建议不将

乘员保护标准应用于仅用于载货的车辆(“无乘员”车辆),这种要求可通过修改适用范围来实现,以表明该标准仅适用于带有驾驶员的“卡车”。

NHTSA对FMVSS 201、FMVSS 205、FMVSS 206、FMVSS 207、FMVSS 208、FMVSS 214、FMVSS 216和FMVSS 226进行了修订。

2.2 WP.29被动安全性工作组针对智能汽车被动安全相关标准的修订范围

在2022年5月10日世界车辆法规协调论坛(World Forum for the Harmonization of Vehicle Regulations, WP.29)的被动安全性工作组(The Working Party on Passive Safety, GRSP)第71届会议中成立了被动安全标准与智能汽车相关功能协调性研究工作组,旨在研究目前被动安全相关联合国欧洲经济委员会汽车法规(the regulation of Economic Commission of Europe, ECE)和全球技术法规(Global Technical Regulation, GTR)标准中与未来智能汽车技术的兼容问题,以便推动智能汽车被动安全性能的合理发展^[12]。

目前该项工作处于初期阶段,涉及的主要相关ECE和GTR被动安全国际标准清单如表1所示。

表1 主要相关的ECE被动安全国际标准

序号	标准号	序号	标准号
1	ECE R11	16	ECE R127
2	ECE R12	17	ECE R129
3	ECE R14	18	ECE R134
4	ECE R16	19	ECE R135
5	ECE R17	20	ECE R137
6	ECE R21	21	ECE R145
7	ECE R25	22	ECE R146
8	ECE R29	23	ECE R153
9	ECE R42	24	GTR1
10	ECE R44	25	GTR7
11	ECE R80	26	GTR9
12	ECE R94	27	GTR13
13	ECE R95	28	GTR14
14	ECE R100	29	GTR20
15	ECE R114		

3 国内智能汽车被动安全相关标准研究进展

3.1 智能汽车标准发展与被动安全国家强制标准发展现状

近年来,中国智能汽车产量迅速增长,主动安全和被动安全相结合的技术也有了一定的发展。汽车安全

技术的规划和发展催生了主动安全和被动安全标准的制定和升级^[13-15]。

智能汽车标准主要由全国汽车标准化技术委员会(National Technical Committee of Auto Standardization, SAC/TC114)负责组织制定,标准划分为基础、通用规范、产品与技术应用、资源管理与信息服务及相关标准。到目前为止已发布智能汽车标准12项,另有26项标准处于研究中、立项或待发布状态。标准主要依据智能车辆的功能安全、信息安全、网络安全和人机交互方面进行技术功能和性能的约定,并未对车辆乘员的保护性能进行要求。

汽车被动安全标准主要由全国汽车标准化技术委员会汽车碰撞试验及碰撞防护分技术委员会SAC/TC114/SC33负责组织制定。目前已批准发布汽车强制性国家标准96项,其中汽车被动安全标准28项,占比29%,如表2所示。标准主要集中在对整车及其部件在碰撞过程中的性能要求,以及对车内乘员的保护要求,并未针对智能汽车新功能和部件对乘员伤害产生的影响进行规定。

表2 被动安全国家强制标准

序号	标准号	序号	标准号
1	GB 8410—2006	15	GB 15086—2013
2	GB 26134—2010	16	GB 11566—2009
3	GB 15083—2019	17	GB 20072—2006
4	GB 11552—2009	18	GB 20071—2006
5	GB 14166—2013	19	GB 11551—2014
6	GB 14167—2013	20	GB 26511—2011
7	GB 11557—2011	21	GB 26512—2011
8	GB 17354—1998	22	GB 11567—2017
9	GB 11550—2009	23	GB/T 37337—2019
10	GB 13507—2014	24	GB 20182—2006
11	GB24406—2012	25	GB11567.1—2001
12	GB 7063—2011	26	GB 11567.2
13	GB 32086—2015	27	GB 18296—2001
14	GB 27887—2011	28	GB 11568—2011

智能车辆主动安全功能和部件(如自动紧急制动功能)完全改变了车辆乘员在发生碰撞时的运动姿态和位置,传统的被动安全系统将无法正确地将乘员伤害最小化;另外,在未来无驾驶员或车内乘员乘坐姿态变化的情况下,现行标准内容将存在技术冲突和产品性能要求冲突的问题。为了避免现行国家标准内容限制先进技术的发展进步,有必要对现行国家标准进行系统性的技术内容扫描,提出对应的修改建议,以便促进汽车行业

合理有序发展。

3.2 中国智能汽车被动安全标准评价体系建设方案

结合目前智能汽车技术发展趋势和相关国家、国际标准组织对智能汽车被动安全相关标准的修订过程,依据标准内容和修订方向,在保障有利于配备智能汽车技术的车辆且不改变非智能汽车的要求的基础上,初步建立了中国智能汽车被动安全标准体系建设方案。

3.2.1 体系建设前提

- a. 智能商用车辆无乘员;
- b. 智能乘用车无驾驶员;
- c. 智能汽车无转向盘(或存在可收缩式转向盘);
- d. 存在新内饰的变化及座椅布置位置和形式的变化。

3.2.2 体系建设原则

在未来实际交通环境中必然存在传统车辆和智能汽车,2种类型车辆必须保证具有相同的乘员保护性能。修订的内容应有助于智能汽车技术的发展,以及可能产生的内饰结构或布置等新的变化,不能限制相关领域技术创新和技术进步。修订内容应有利于智能汽车的发展,但不能改变对传统车辆原有的要求。

3.2.3 体系建设内容

针对智能汽车和传统车辆并存的情况,需要对相应标准内容进行修订:

- a. 针对车辆类型是否是智能汽车,对标准适用范围进行修订;
- b. 针对有无驾驶员、转向控制机构和新的内饰布置及变化,对术语和相应的试验实施过程进行修订;
- c. 针对安全气囊和安全带在后排位置的变化,需要对座椅布置要求和乘员保护要求进行修订;
- d. 针对乘员位置的变化,需要对安全气囊和安全带警告装置要求进行修订;
- e. 针对新内饰和座椅布置的变化,需要对相应部件和整车碰撞标准内容进行适应性修订;
- f. 针对智能汽车主动安全装置起作用的情况下,需要对相关标准试验方法和过程进行修订。

3.3 中国智能汽车被动安全标准发展路线图

根据智能汽车发展规划,2025年高度自动驾驶(Highly Autonomous driving, HA)技术开始进入市场,2030年实现HA级智能网联汽车在高速公路广泛应用,在部分城市道路规模化应用,2035年以后HA级、完全自动驾驶(Fully Autonomous driving, FA)级智能网联车辆具备与其他交通参与者间的网联协同决策与控制能力,各类高度自动驾驶车辆广泛运行于中国广大

地区。

智能汽车被动安全标准体系发展总体路线如图1所示,在智能汽车可实现技术的基础上,兼顾了乘用车、货运车辆和客运车辆的智能发展需求,构建了整车和部件方向的技术架构,主要涵盖了智能汽车主动安全装置起作用条件下整车碰撞试验技术、新内饰新姿态下乘员保护评价技术和新型碰撞模式下部件碰撞试验技术等重点研究方向。

3.4 中国被动安全强制标准分析案例

结合智能汽车发展各阶段、安全场景、可能的未来事故场景等方面,开展对应标准领域技术发展趋势分析;同步梳理标准内容,开展标准内容的适用性分析。由此确定标准是否符合智能汽车发展趋势,是否需要废止、修订、加强、新增等。以GB 11551—2014《汽车正面碰撞的乘员保护》为例,标准建议修订内容如表3所示^[16]。

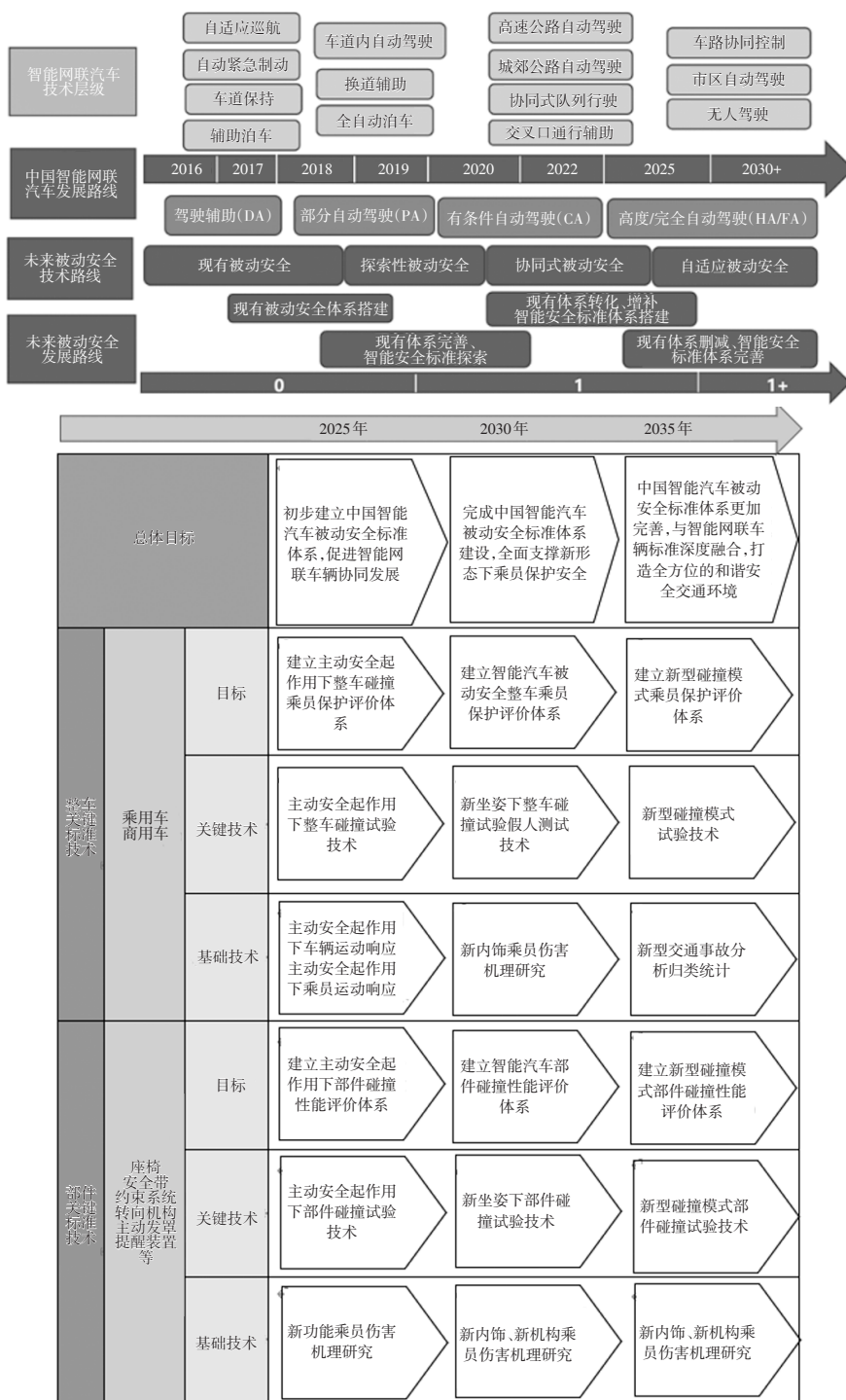


图1 智能汽车被动安全标准体系发展总体路线图

表3 主要相关的中国被动安全国家强制标准

序号	章条编号	原文内容	修改建议	修改依据
1	1	规定了车辆正面碰撞时前排外侧座椅乘员保护方面的术语和定义	规定了车辆正面碰撞时M1类汽车前排座椅乘员保护和最大设计总质量不大于2500kg的N1类汽车,以及多用途货车前排外侧座椅乘员保护方面的术语和定义	针对M1类汽车前排只有一个座椅或长条座椅的情况
2	3.5	通过驾驶员座椅“R”点的横向平面	通过前排外侧座椅“R”点的横向平面	针对无驾驶员的车辆类型
3	3.9	没有驾驶员、乘客和货物	没有乘客和货物	针对无驾驶员的车辆类型
4	4.1.2/ 4.1.3	如果前排乘坐位置的保护系统包括安全带,那么该安全带应符合GB 14166的要求 用于安放假人且装备了保护系统包括安全带的乘坐位置,其安全带固定点应符合GB 14167的要求。	增加智能驾驶模式下,安全带固定位置相关研究并进行修订。	考虑到L4高度自动驾驶车辆中驾驶员非正常坐姿及靠背后倾休息状态
5	4.1.4	对于装备了驾驶员正面安全气囊的车辆,应将“ AIRBAG ”字样的信息或相应信息标注在转向盘圆周范围内,并且耐久易见	对于装备手动转向控制机构的车辆,驾驶员正面安全气囊处应将“ AIRBAG ”字样的信息或相应信息标注在转向控制机构范围内,并且耐久易见	针对装备手动转向控制机构或无转向控制机构时,该位置安全气囊标识的描述不同。同时应将转向盘更改为转向控制机构
6	4.14	对于装备了乘员安全气囊的车辆,应有“ AIRBAG ”字样的信息或相应信息标注,并且耐久易见;警告标签应包含有4.1.5所示信息。	对于装备了前排乘员正面安全气囊的车辆,应有“ AIRBAG ”字样的信息或相应信息标注,并且耐久易见;警告标签应包含有4.1.5所示信息。	针对无驾驶员的车辆类型
7	4.1.4.3.2	转向盘位置若转向盘可调,则应结束时,转向盘应处于	转向控制机构位置若有手动转向控制机构,并且转向控制机构可调,则应转向结束时,转向控制机构应处于	针对新型转向控制装置
8	4.1.5	装备了一个或多个正面保护后向儿童约束系统而产生极端危险的信息	建议增加智能驾驶模式下,前排成人后向座椅气囊使用相关研究及修订	L5完全自动驾驶汽车中乘员乘坐姿态的变化
9	4.2	技术要求	建议增加智能驾驶模式下,前排成人后向座椅挥鞭伤相关研究及修订。	L5完全自动驾驶汽车中乘员乘坐姿态的变化
10	4.2.1	车辆按照GB/T 20913—2007的规定进行试验,且符合GB/T 20913—2007中4.2的规定	建议修改内容GB/T 20913—2007中相关的内容	保持两个标准的统一性
11	4.2.2	对于处于前排外侧座位的假人,按照附录B	对于M1类处于前排任意座位的假人,N1类和多用途车处于前排外侧座位的假人,按照附录B	针对无驾驶员的车辆类型
12	4.1.5	对处于前排外侧座位的假人,	对处于前排外侧座位的假人,对处于后排外侧座位的假人,增加伤害评价指标	L4高度自动驾驶,前排座椅不在驾驶位置碰撞时,对后排假人的损伤影响,需要考虑乘员在不同座椅位置下碰撞场景和伤害评价要求
13	4.2.6	在碰撞过程中,燃油供给系统不应发生泄漏。	在碰撞过程中,燃油供给系统或电池液不应发生泄漏。	考虑智能电动车范畴
14	4.2.7	若燃油供给系统存在液体连续泄漏,如果来自燃油供给系统的液体与来自其他系统的液体混合	若燃油供给系统或电池液存在液体连续泄漏,如果来自燃油供给系统或电池液的液体与来自其他系统的液体混合	考虑智能电动车范畴
15	5.1.3	壁障的方位应使碰撞角为0°	壁障的方位应使碰撞角为0°或不同的碰撞角度	L4高度自动驾驶汽车碰撞角可从0°适当扩大,0°碰撞不是主要碰撞场景,主动安全紧急避让功能会导致斜碰撞几率增大

16	5.1.4.3.1	若转向盘可调,直线行驶时的位置	转向盘调整机构处于非回收状态时,若转向控制机构可调,直线行驶时的位置;转向盘调整机构处于回收状态时,根据智能驾驶车辆转向控制机构回收时对乘员安全影响编写本条款	L4 高度自动驾驶汽车转向盘调整机构回收时调节位置与非回收状态时不同
17	5.1.4.3.11.1	对于长条座椅,应以驾驶员位置的H点为基准,当假人并且驾驶员座椅或前排乘客座椅的设计H点	对于长条座椅,应以前排任意位置的H点为基准,当假人并且前排任意位置座椅的设计H点	针对无驾驶员的车辆类型,如标准文本中图3所示。
18	5.1.4.3.11.1	对于纵向可调节座椅,……接近直线A	当座椅处于正常驾驶位置时,对于纵向可调节座椅,接近直线A。当座椅处于非正常驾驶位置时(任意角度),参考智能驾驶车辆座椅位置定义编写本条款	L4 高度自动驾驶,考虑座椅不在驾驶位置下的碰撞场景
19	5.1.4.3.11.2	前排座椅靠背位置	增加智能驾驶模式下,多角度座椅靠背伤害评价研究及修订	L4 高度自动驾驶汽车中驾驶员非正常坐姿,靠背后倾休息状态
20	5.2.1	按照附录C的规定,在每个前排外侧座椅上……	按照附录C的规定,在任意前排座椅上	针对无驾驶员的车辆类型
21	5.4	在碰撞瞬间,……也认为试验合格。	在碰撞瞬间,……也认为试验合格;或车辆速度达到XX km/h(大于50 km/h),并启动自动制动装置,使车辆在碰撞瞬间,也认为试验合格。	智能驾驶车辆在遇到碰撞事故时应具备提前制动功能。自动驾驶场景下,50 km/h的碰撞速度是否是道路交通事故中大概率发生情况,需要研究。
22	C.1.2.1	假人的对称平面应位于通过转向盘中心且平行……	假人的对称平面应位于通过转向控制机构中心且平行……	针对新型转向控制装置
23	C.2.2.2	乘客侧假人的上臂……	任意外侧乘客侧假人的上臂……	针对无驾驶员的车辆类型
24	C.2.3.1	驾驶员侧假人的手掌应在转向盘轮缘水平中心线……手能离开转向盘轮缘。	驾驶员侧假人的手掌应在转向控制机构轮缘水平中心线……手能离开转向控制机构轮缘。	针对新型转向控制装置
25	C.2.3.2	乘客侧假人的手掌……	任意乘客侧假人的手掌……	针对无驾驶员的车辆类型
26	C.2.4.1	……驾驶员侧和乘客侧假人的上躯干……且通过转向盘轮缘中心。乘客侧假人的对称面……	……驾驶员侧和前排外侧乘客侧假人的上躯干……且通过转向控制机构轮缘中心。乘客侧假人的对称面……如果没有驾驶员座椅位置,任意乘客假人的对称面也应铅锤陪你过平行于车辆纵向中心线,并通过其乘坐座椅的乘坐参考点。	针对无驾驶员的车辆类型
27	C.2.4.2	在装有单人座椅的车辆上……驾驶员及乘客……假人与单人座椅的纵向中心线重合。	在装有斗式座椅的车辆上……驾驶员及任意前排外侧乘客假人与斗式座椅的纵向中心线重合。	原文bucket seat 斗式座椅
28	C.2.4.3	H点:驾驶员侧及乘客侧假人	H点:驾驶员侧及任意前排外侧乘客侧假人	针对无驾驶员的车辆类型
29	C.2.5	……使驾驶员侧及乘客侧假人的大腿……尽量使驾驶员侧假人的左腿及乘客侧假人的双腿……	……使驾驶员侧及任意前排外侧乘客侧假人的大腿……尽量使驾驶员侧假人的左腿及任意前排外侧乘客侧假人的双腿……	针对无驾驶员的车辆类型

4 结束语

本文根据中国智能汽车标准和中国被动安全国家强制性标准的发展现状,分析了各自标准的关注焦点。智能汽车标准主要针对车辆的功能安全、信息安全、网络安全和人机交互方面进行技术功能和性能的约定,并未对车辆乘员的保护效果进行性能要求;而被动安全国家强制标准主要集中在车辆及其部件在碰撞过程中的性能要求,以及对车内乘员的保护要求,并未对智能汽车新功能和部件对乘员伤害产生的影响进行性能要

求。为了促进新技术的发展和真正实现乘员伤害的最小化,本文针对未来智能车辆被动安全相关标准的制定和修订工作进行了初步探索,结合国际标准组织和美国标准机构对智能汽车被动安全相关标准的修订工作原则和方法,提出了中国智能汽车被动安全标准评价体系建设方案和中国智能汽车被动安全标准发展路线图。

参 考 文 献

- [1] 未来智库. 巨人的游戏——2020汽车自动驾驶发展路径和产业链全景图[R/OI]. (2020-01-16)[2023-03-24]. <https://www.vzkoo.com/document/0c24574f6a8c2be039927a>

- 4d63d678b9.html?keyword.
vzkoo.com. Giant's Game: 2020 Auto Driving Development Path and Panorama of Industrial Chain[R/OL]. (2020-01-16) [2023-03-24]. <https://www.vzkoo.com/document/0c24574f6a8c2be039927a4d63d678b9.html?keyword>.
- [2] 北京百度网讯科技有限公司. 自动驾驶安全第一白皮书[R]. 北京: 北京百度网讯科技有限公司, 2019.
Beijing Baidu Netcom Science Technology Co., Ltd.. The First White Paper on Autonomous Driving Safety[R]. Beijing: Beijing Baidu Netcom Science Technology Co., Ltd., 2019.
- [3] ERTRAC. Automated Driving Roadmap[R]. Brussels: ERTRAC Working Group, 2017.
- [4] European Commission. High Level Group on the Competitiveness and Sustainable Growth of the Automotive Industry in the European Union (GEAR 2030)[R]. Brussels: European Commission, 2017.
- [5] KIM A, PERLMAN D, BOGARD D, et al. Review of Federal Motor Vehicle Safety Standards (FMVSS) for Automated Vehicles: Identifying Potential Barriers and Challenges for the Certification of Automated Vehicles Using Existing FMVSS: DOT-VNTSC-OSTR-16-03 [R/OL]. Washington, DC: United States Department of Transportation. (2016-03-11)[2023-3.24]. <https://ntl.bts.gov/ntl>.
- [6] THORN E, KIMMEL S C, CHAKA M. A Framework for Automated Driving System Testable Cases and Scenarios: DOT HS 812 623[R]. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration, 2018.
- [7] NHTSA. Removing Regulatory Barriers for Vehicles with Automated Driving Systems: 83 FR 6148[R]. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration, 2018.
- [8] NHTSA. Removing Regulatory Barriers for Vehicles with Automated Driving Systems: RIN 2127-AM00[R]. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration, 2019.
- [9] NHTSA. Occupant Protection for Automated Driving Systems: RIN 2127-AM06[R]. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration, 2020.
- [10] NHTSA. Occupant Protection for Vehicles with Automated Driving Systems: RIN 2127-AM06[R]. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration, 2021.
- [11] NICHOLAS C, JOHN M, MARK S. Autonomous Vehicles: Uncertainties and Energy Implications[R]. Washington, DC: U.S. Energy Information Administration, 2018.
- [12] WP.29 GRSP. Report of the Working Party on Passive Safety on Its Seventy-First Session[R]. Geneva: UNECE, 2022.
- [13] 中国汽车技术研究中心有限公司. 中国汽车安全发展报告[R]. 北京: 中国汽车技术研究中心有限公司, 2020.
China Automotive Technology Research Center Co., Ltd.. Annual Report on Automobile Safety in China[R]. Beijing: China Automotive Technology Research Center Co., Ltd., 2020.
- [14] 陈杰. 汽车主被动集成安全发展趋势研究[J]. 无线互联科技, 2021, 18(3): 81-82.
CHEN J. Discussion on the Development Trend of Automotive Active-Passive Integrated Safety[J]. Wireless Internet Technology, 2021, 18(3): 81-82.
- [15] 谢伟平, 穆国宝, 何凯欣, 等. 浅谈被动安全系统对汽车安全性能的作用及未来发展趋势[J]. 汽车零部件, 2018 (7): 90-93.
XIE W P, MU G B, HE K X, et al. Research on Passive Safety Systems for Car Safety and Its Development Trend [J]. Automobile Parts, 2018(7): 90-93.
- [16] 中华人民共和国工业和信息化部. 汽车正面碰撞的乘员保护: GB 11551—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China. The Protection of the Occupants in the Event of a Frontal Collision for Motor Vehicle: GB 11551—2014[S]. Beijing: Standards Press of China, 2014.

(责任编辑 王 一)

修改稿收到日期为2023年3月24日。