

中国体征碰撞测试假人开发路径研究

刘志新, 武永强, 马伟杰

(中国汽车技术研究中心有限公司, 天津 300300)

摘要: 汽车安全是影响公共交通安全的重要因素, 而碰撞测试假人是支撑汽车安全的核心技术。汽车安全设计不能最优保护中国乘员安全, 以及国外独家技术垄断、核心技术受制于人, 是制约当前我国汽车安全技术进一步发展的主要问题。本文通过分析国内外碰撞测试假人的发展趋势和关键技术, 并结合我国技术现状, 初步提出中国体征碰撞测试假人开发路径, 进一步完善我国汽车安全标准体系。中国体征碰撞测试假人的开发将直接推动我国高端装备制造业发展与标准创新, 对于我国建设创新型国家、增强国际竞争力具有十分重要的现实意义和长远的战略价值。

关键词: 汽车安全; 碰撞测试假人; 中国体征; 标准体系

中图分类号: U467 **文献标识码:** A

Development Path of Anthropomorphic Test Device with Chinese Physical Signs

Liu Zhixin, Wu Yongqiang, Ma Weijie

(China Automotive Technology and Research Center Co., Ltd., Tianjin 300300, China)

Abstract: Automobile safety is an important factor affecting public transport safety, and the anthropomorphic test device (ATD) is the core technology to ensure vehicle safety. However, the design of existing ATDs cannot be used for properly evaluating the safety of vehicles for Chinese passengers, and China do not possess the core technologies of the ATD. These are the major problems restricting further development of automobile safety technologies in China. In this paper, through research on the development trend and key technologies of the ATD in China and worldwide, and by considering China's technical status, a development path for the ATD with Chinese physical signs is proposed, thus to further improve the standards system for automobile safety in China. The development of ATDs in China will promote its high-end equipment manufacturing industry and standards innovation. It also has practical significance and long-term strategic values for building China to be an innovative country and enhancing its international competitiveness.

Keywords: automobile safety; anthropomorphic test device (ATD); Chinese physical signs; standards system

一、前言

随着我国汽车保有量的持续增长, 道路交通安全形势越发严峻。当前, 我国道路交通事故万车死

亡率仍是欧美等发达国家的 2~4 倍, 交通安全已成为威胁经济与社会发展的严重公共安全问题。汽车安全技术作为影响道路交通安全的重要因素, 已成为政府、社会和汽车业界共同关注的焦点话题。

收稿日期: 2019-05-16; 修回日期: 2019-05-25

通讯作者: 刘志新, 中国汽车技术研究中心有限公司教授级高级工程师, 研究方向为汽车安全; E-mail: liuzhixin@catarc.ac.cn

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

乘员保护是汽车安全技术的最终目的，它与交通事故分析、汽车安全设计优化、车辆安全性能试验验证等方面息息相关。而碰撞测试假人是直接用于评估碰撞冲击环境对人体的伤害程度，进而评价车辆安全性能优劣的测量仪器。因此，碰撞试验假人是支撑汽车安全的核心技术。

一方面，我国初期的汽车安全标准主要为直接引用国外标准，在短时间内解决了我国汽车安全技术约束有无的问题，因此，在一定时期内安全技术标准有效改善了我国公共交通安全问题。但近几年，安全技术的提高对减少交通安全贡献度却没有原来显著。主要原因之一是汽车安全标准中采用的碰撞测试假人是基于欧美人体特征开发，从而导致现有的汽车安全设计不能最优保护中国驾乘人员的问题 [1~3]。另一方面，碰撞测试假人及其相关技术标准为美国独家垄断，核心技术受制于人。如果美国对此进行技术封锁，我国将面临无“人”可用的尴尬局面。尤其是我国目前拥有世界最大的汽车市场，这种技术放大效应变得格外显著。

本文深入剖析目前影响我国汽车安全进步的核心问题，并在此基础上开展了中国体征碰撞测试假人开发必要性、可行性的分析研究工作。初步提出了中国体征碰撞测试假人的开发路径，从而进一步完善我国汽车安全标准体系。开发符合中国人体体征的汽车碰撞试验假人及制定相应的标准，不仅有利于摆脱核心技术“受制于人”的局面，而且能通过中国标准的核心力量，并辅以中国的市场优势，把握我国技术标准的主导权。

二、汽车安全标准问题剖析

碰撞测试假人是安全标准的“砝码”，国内标准中所采用的假人是依据欧美人体开发的，欧美的“砝码”衡量出的汽车安全能否对我国驾乘人员提供最佳的保护效能值得商榷。

（一）现有汽车安全设计不能最优保护中国乘员安全

碰撞测试假人作为衡量汽车安全性的关键技术，直接影响到汽车的安全设计，其具有“技术砝码”效应，然而在汽车碰撞安全领域，我国所用的碰撞测试假人沿用国外，其是按照美国第 50 百分位成年男子的主要尺寸制作的。而目前我国所有汽

车安全设计均以这种假人为保护对象。然而，中美人体无论是在外在体征（如身高、体重、肌肉密度、质量分布），还是内在特性（动态响应、生物力学）上都有较大的差异。如与美国中等尺寸男性相比，中国相应的男性假人矮了 3.48%，体重轻了 13.55%；中国人体与欧美人体各部位的比例差异也较大，中国中等尺寸男性上臂比美国中等尺寸男性上臂短了 4.14%，坐姿膝盖高度矮了 12%；在生物力学特性方面差异也十分显著，它直接影响人体耐受限度以及测试假人的评价指标与限值。以胸部为例，中国人肋骨骨密质厚度明显小于美国人，这说明：中国人的胸部在同样的碰撞中比美国人更容易受到伤害。这种差异说明了以“欧美人体”为保护对象的汽车安全设计不能真正保护“中国人体”；换言之，即由于“技术砝码”的不准确性，使得“美国砝码”无法真实衡量中国的汽车安全。

（二）国外技术垄断，核心技术受制于人

作为汽车碰撞安全标准“砝码”的假人由美国独家垄断。相关汽车碰撞试验假人研究的滞后导致所有假人及其易损件主要依赖进口，不仅价格昂贵、供货周期长，而且自主品牌的开发成本和周期受制于人。为了打破垄断，占据主动，当务之急就是要加快开发符合中国体征的碰撞假人及其安全标准体系，其理应成为我国从汽车大国迈向汽车强国的重要战略举措。

我国目前拥有世界最大的汽车市场，汽车保有量达 2 亿辆，注册驾驶员 4 亿人。如此庞大的汽车保有量，所有的汽车安全设计均以保护“欧美人”而非“中国人”为设计目标，使得以国外碰撞试验假人为车辆安全设计基准暴露出的问题随汽车保有量的增加而更加突出。

三、开发符合中国体征碰撞测试假人及其标准的必要性和可行性

（一）中国体征碰撞测试假人开发必要性分析

中国人体体征与欧美人体体征无论是从外在特征，还是内在特性上都与相应的中国人体有较大差异，二者对汽车安全设计的影响较大，直接影响到汽车的约束系统和安全性能评价指标。主要差异分

为以下三个方面。

1. 动态响应差异性

混 III 50 百分位假人是根据欧美 50 百分位人体尺寸设计的,其身高为 1.76 m,体重为 78 kg,与中国人体的体型(身高为 1.69 m,体重为 69 kg)差异较大,动态响应也会有所不同。计算机仿真分析表明,在汽车碰撞试验中,中国人体的人体损伤响应和混 III 假人的损伤响应存在明显差异,因此,直接采用混 III 假人进行测试评价会导致开发出来的乘员约束系统不能对中国人体实现最佳保护。在轨道交通及航空航天领域,采用欧美人体假人进行测试评价同样难以开发出适用于中国人体的最佳防护措施。

2. 力学性能差异性

欧美人体与中国人体的差异不仅仅会影响到两者在受力时的动态响应。研究表明,身材不同,骨骼结构也存在明显差异,致使两者的力学特性存在差异,影响人体损伤机理及耐受限度。形态统计学的研究表明,人体的一些特征参数,包括身高、体重以及年龄等对人体骨骼的尺寸和形状有着重要的影响,例如随着身材的变化,肋骨的横截面积、胸腔的宽度和厚度、盆骨的高度和宽度以及上下肢骨骼的横截面积和长度都有显著的变化,而相应的仿真研究以及尸体试验的结果表明,这些几何形态上的差异影响着事故中人体的损伤部位以及损伤的严重程度。同时,中西方人群在骨骼的材料参数上也有较大的差异,研究表明,东方女性相比于西方女性而言,盆骨的骨密度较高而脊椎的骨密度较低,因此,人体对于外力的耐受程度也会随着相应材料参数的变化而改变。

3. 躯干生物逼真度有限

虽然现有假人的胸部生物特性是基于人体胸部正面撞击响应数据而开发的,但其胸部仿生结构的生物逼真度仍有其局限性。如假人胸部肋骨的仿生结构与人体肋骨的结构存在较大差异,只能在较大面积的钝性撞击时反映人体的响应,而在小面积撞击及侧向或斜向撞击时,不能准确反映人体的受力特性。另外,假人的脊椎是用整块刚性结构与橡胶腰椎来模拟的,只能反映人体在大范围弯曲时的特性;同时,研究表明人体在坐姿条件下其腰椎是向前弯曲的,而现有假人的腰椎则是向后弯曲,这会导致假人与真人产生不一致的上半身动态响应。

为更加有效降低我国驾乘人员在交通事故中的

伤亡率,充分保障人民的生命财产安全,推动我国汽车工业可持续发展,提高我国汽车工业核心竞争力,研究开发、制定和推广符合中国人体体征的碰撞试验假人及其标准就显得尤为迫切。

(二) 中国体征碰撞测试假人开发可行性分析

假人最早应用于军用领域,经过十多年的发展,逐渐的应用于汽车、航空、体育和医用领域。由企业主导转为政府主导,同时,假人在不断的发展,更强调地区的适用性,如美国人现在肥胖化、老龄化比较严重,其逐步开始研发肥胖假人和老年假人。国内在 2000 年开始研制假人,更多的是模仿和探索,只是造出一个样子,而没有考虑中国人的外在体征和内在体征。

尽管国内在碰撞假人开发方面有一定的基础,也进行过初步的探索,但是并没有取得相应的成功,根源在于我国缺乏相关的顶层设计,没有明确的设计目标,缺乏总体规划,从而造成了各自为战、研究不深入及重复研究的不利局面,假人的推广应用问题也未能得到根本性的解决。从关键技术研究到研发设计,从生产制造到性能验证,再到标准的制定等资源分布在不同的机构,需要进行充分的协调与合作才能完成中国体征碰撞假人的开发。其根源在于缺乏政府主导,协调行业的一个组织。

由中国汽车技术研究中心联合国内整车企业、大学和科研机构共同发起成立工作组。工作组的成立有助于充分发挥全行业资源,发挥不同研究领域的技术优势,对研发和制定符合中国体征的碰撞测试假人及其标准体系具有十分重要的意义,同时也有助于提升中国在汽车安全领域的国际竞争力和标准话语权。

四、开发符合中国体征碰撞测试假人的技术路径

中国假人的开发是一个系统工程,具有技术复杂性及多学科交叉的特点,单纯模仿国外已有假人不能从根本上解决问题。本项目将充分依托中国体征碰撞假人工作组的优势,严格遵循智能技术高度集成、制造产业高端发展的产品发展新模式,在未来实现技术先进性、标准适用性、市场不可替代性的高质量、智能化的中国假人系列

总体开发目标。

中国体征碰撞假人初步开发技术方案包括以下六个方面。

（一）开发思路

第一，要有中国特色，符合中国人体体征，满足中国人体外部尺寸特征及内在生物力学响应特征；第二，要有技术的超越，在继承中创新，考虑与国外假人及其标准的衔接性，解决现有假人存在的技术问题；第三，要另辟蹊径，结合中国实际道路交通事故现状，满足新型测试工况要求。

（二）开发原则

第一，政府主导、开放合作：充分发挥政府主导作用，加强开放合作，调动各方积极性，多元参与，遵循市场规律，确保各项任务落到实处，实现多方共赢；第二，目标清晰，注重实效：依据国情设定切实可行目标，大力推进技术、应用、管理以及体制的创新发展，不断提高工作组运行效率和技术合作水平，促进假人开发项目协调发展；第三，总体规划，分步实施：结合中国假人的目标与任务，构建短期和长期研究任务，制定总体发展规划框架，遵循技术向行业转化的规律，集中力量实施重点突破；第四，创新优化，协同发展：推进技术应用、商业模式、行业应用标准和制度创新，充分发挥工作组指导与协调作用，推动中国假人开发工作又好又快发展。

（三）总体目标

规划分为长期规划和短期规划。长期规划大约需要10年，短期规划则为3年。前期分三个阶段来完成，第一个阶段是完成关键技术与方法研究：包括交通事故与损伤研究；中国人体体型参数标准分析；完善优化各领域资源；初步掌握假人开发关键技术；形成假人开发整体流程。目标是在继承中创新：一是要实现对现有假人坐姿的优化；二是建立符合中国交通事故特征的假人模型。第二个阶段是完善假人开发与标准研究：包括中国人体生物力学研究；材料生物等效技术；传感信息融合技术；仿生结构设计技术；仿真模型开发技术；开展相关标准研究。目标是实现内外兼修：一是实现对坐姿

假人的开发；二是完善符合中国交通事故特征的假人模型；三是适用主被动安全相结合的测试假人。第三个阶段是完成示范推广与标准应用：包括开展假人测试评价方法研究；示范推广应用；制定标准法规。目标是实现标准应用于假人系列化：一是要实现中国碰撞假人系列化的发展；二是实现汽车安全测试法规与评价规程应用。

（四）开发体系

开发体系，即保障与运维管理体系，由技术层、平台层、政策层和保障层四个层级来统筹。技术层从假人开发、标准研究、示范应用三个领域开展；平台层包括关键技术攻关、标准研究、应用推广三个平台及大数据和测试评价两个中心；政策层由国家创新型发展战略、工业和信息化部委托、国家标准化管理委员会委托三个层面支撑；保障层分为政策保障、技术保障、组织保障、监督保障。

（五）重点任务

重点任务的选取依据：一是服务国家战略需求和引领行业发展的基础问题；二是为跨行业的产业发展提供亟需解决的前瞻性、基础性支持服务；三是为不同企业产品研发提供跨领域的共性交叉基础模块、中间组建和通用平台；四是整合优势资源，分工合作。

假人开发的首批重点任务包括中国道路交通事故研究、中国人体损伤生物力学、仿生结构与先进制造、传感与信号融合技术、新型替代材料技术五大共性关键技术和关键技术攻关平台、标准研究平台、应用推广平台三大平台，以及大数据（事故数据、伤害数据、试验数据、材料数据）和测试评价（标定测试、生物仿真度评价、试验评价）两大中心。

五、结语

开发“中国假人”及其标准需求迫切，是保障我国驾乘人员生命安全、解决核心技术受制于人的重要举措。碰撞假人开发是个系统工程，开发具有技术复杂性和多学科交叉性的特点，亟需集行业之力整合资源，联合攻关，开展大量的技术研究。研究内容隶属交通领域公共服务平台，政府应加大重

视与支持力度。符合中国体征碰撞测试假人的开发路径，应由国家层面推动，其标准体系也应成为我国由汽车大国成为汽车强国的重要战略举措。

参考文献

- [1] Zhang J H, Yang J, Jin X, et al. Differences of anthropometric dimensions between Chinese and American and the effects on drivers' injury risks in vehicle frontal crash [J]. *Journal of Automotive Safety and Energy*, 2016, 7(2): 175–181.
- [2] Jesse R. Finite element modeling of the human head and the biomechanical basis of head injury criterion (HIC) [R]. Changsha: 2nd International Forum of Automotive Traffic Safety, 2002.
- [3] 中国汽车技术研究中心有限公司. 中国新车评价规程 (C-NCAP) (2018 版) [EB/OL]. <http://www.C-ncap.org>.
China Automotive Technology and Research Center Co., Ltd. China new vehicle evaluation rules (C-NCAP) (2018) [EB/OL]. <http://www.C-ncap.org>.