

SAE J3121_202202《氢燃料汽车碰撞试验实验室安全指南》标准解析

孙田^{1,2} 郝冬^{1,2} 陈光^{1,2} 马明辉^{1,2}

(1.中汽研新能源汽车检验中心(天津)有限公司; 2.中国汽车技术研究中心有限公司)

摘要:近年来,氢能行业不断发展。氢燃料汽车与传统内燃机汽车具有一些相同的安全特征需求,车辆需要符合厂家及政府监管的相关标准要求,而由于氢燃料汽车内部包含高压气体、高压部件等危险源,在进行碰撞等破坏性试验时具有较高的安全要求,因此SAE在2022年2月份发布了SAE J3121_202202《氢燃料汽车碰撞试验实验室安全指南》,旨在告知碰撞测试、设施管理等相关人员安全风险点及对应措施。本文主要解析SAE J3121中相关技术要求,为氢燃料汽车碰撞试验提供试验流程、安全管理等相关指南方法。

关键词:氢燃料汽车,碰撞,安全指南

DOI编码: 10.3969/j.issn.1674-5698.2023.09.010

Analysis of SAE J3121_202202, *Hydrogen Vehicle Crash Test Lab Safety Guidelines*

SUN Tian^{1,2} HAO Dong^{1,2} CHEN Guang^{1,2} MA Ming-hui^{1,2}

(1. CATARC New Energy Automotive Test Center (Tianjin) Co., Ltd.;
2. China Automotive Technology and Research Center Co., Ltd.)

Abstract: In recent years, with the continuous development of the hydrogen industry, the number of hydrogen vehicles has increased significantly. Hydrogen vehicles have some of the same safety characteristics as traditional internal combustion engine vehicles, and the vehicles need to meet the relevant standards and requirements of manufacturers and government supervision. Because hydrogen vehicles contain high-pressure gas, high-pressure components and other dangerous sources, they have higher safety requirements when conducting destructive tests such as collisions. SAE issued SAE J3121_202202, Hydrogen Vehicle Crash Test Lab Safety Guidelines, in February 2022 with the purpose to inform relevant personnel of collision test, facility management and others of the safety risk points and corresponding measures. This paper mainly analyzes the relevant technical requirements in SAE J3121, and provides the test process, safety management and other relevant guidance methods for the hydrogen vehicle crash test.

Keywords: hydrogen vehicle, crash, safety guidelines

基金项目: 本文受国家重点研发计划项目“车载储能系统安全评估技术与装备”(项目编号:2021YFB2501500)资助。

作者简介: 孙田,硕士研究生,工程师,主要研究方向为氢燃料电池汽车及关键部件检测技术。

0 引言

在当今化石燃料存量日益减少且消耗量增加的背景下,氢能因清洁、高效等诸多优点被各国家、地区和国际组织广泛青睐,被认为是能源低碳转型和可持续发展的战略选择之一,美国、欧洲、日本、韩国均发布了关于氢能的发展路线和规划布局^[1-6],我国也在2021年发布了《氢能产业发展中长期规划(2021—2035年)》提出国内氢能产业在不同时期的发展规划目标。

新能源汽车是氢能技术研发和应用的重要场景之一,随着氢能基础设施的不断完善和关键零部件技术的攻关,氢燃料汽车得到多场景应用并快速发展。传统车辆碰撞测评技术已趋于成熟,而氢燃料汽车本身拥有高压氢气、动力电池、高压储氢装置、高压电器设备等多种危险源,继而导致氢燃料汽车进行碰撞试验后存在触电、热失控、高压阀件(部件)失效引起的氢泄漏等诸多风险点,目前国内外没有氢燃料汽车碰撞试验相关安全管理指导文件,因此SAE在2022年2月发布了SAE J3121_202202《氢燃料汽车碰撞试验实验室安全指南》,为氢燃料汽车碰撞试验后风险管控及预防给出指导性建议,降低氢燃料汽车碰撞后安全隐患风险。

1 适用范围

本安全指南概述了氢燃料电池汽车(Fuel cell vehicle, FCV)、燃料电池混合动力汽车(Fuel cell hybrid vehicle, FCHV)、燃料电池电动汽车(Fuel cell electric vehicle, FCEV)等车辆进行碰撞试验的相关风险和保护性预防措施,以确保氢燃料车辆测试期间测试人员和车辆的安全有效测试程序。该指南文件旨在提供风险和预防措施,并提出应定期审查需求,以确保符合新技术发展。

2 技术要求

2.1 减轻触电风险

氢燃料汽车内包含动力电池、DC-DC等高压部件,因此氢燃料汽车碰撞试验具有较高的触电风险。指南文件中指出,建议试验相关人员应接受有关车辆高压电气系统的基本培训,在高压环境作业中穿戴个人防护装置和接受内部安全程序知识培训对于保护人员和设施安全至关重要。使用电气防护装置时,需要在实验室其他人员监督下进行,推荐的安全设备包括但不限于耐高压绝缘手套、防护面罩、高压救援钩、防静电绝缘鞋、自给式呼吸器、防护工作服、可燃有毒气体检测装置、数字万用表等。同时在指南文件中给出了相关适用个人防护装置的标准,供行业人员参考。

2.2 风险缓解测试

氢燃料混合动力汽车动力系统中含有氢燃料电池、动力电池等高压电气部件系统,在碰撞试验过程中可能存在多种失效模式,为降低试验过程中出现的风险,建议氢燃料电池系统和动力电池系统进行部件级的验证试验,如:跌落、温湿度循环、极端环境条件下压力循环、拉伸剪切、氢相容等试验。同时,由于电池组为热失控传播、有害气体释放、火灾等综合风险来源,因此动力电池风险管理对于缓解风险也十分重要。

较部件级测试相比,整车碰撞测试的系统级性能差异会更为突出,因此要充分考虑潜在风险尤其是可能导致灾难性故障的风险,且留有安全余量优先保障人员安全、设施完好和车载数据采集系统的保护。

指南中要求在收到任何潜在危险化学品(即电解液等)之前,须向实验室提供安全数据表(SDS),包含关于电化学性质的相关信息。同时有必要提供电池和相关系统的容量、结构、配置等基本参数,便于实验室评估风险。在进行试验前,要建立基于高压储氢装置、燃料电池、动力电池等可能发生故障后安全响应的程序,并给出了氢燃料汽车典型风险指标。

电气部件也是需要考虑安全因素的重要部件之一,目前温度指标是判断潜在风险的首选标志,便于在早期阶段检测,既可基于整车电池管理系统远程监控,又可以通过实验室温度监测给出风

险预警。除温度外,还建议增加烟雾和气味监测,尤其是一氧化碳和氟化氢的含量。

目前车用储氢装置中基本为高压压缩氢气,由于氢气分子量极小,因此十分容易发生泄漏风险。与常用的CNG相比,压缩氢气压力更高,储存容器设计要求也更为严苛,但是仍不能避免泄漏风险,因此实验室内要加强氢气浓度检测,建立相关报警机制,严格控制火灾或爆炸风险。

2.3 降低风险测试

进行氢燃料汽车碰撞试验时,必须将风险管控到可接受水平,在确认风险等级之前,指南文件强烈建议进行独立的测试评估进行风险摸底。

为了解氢燃料汽车部件在碰撞测试中所需要的基本物理条件,尤其是在车辆及部件开发阶段应对惰性系统进行碰撞测试模拟系统的尺寸、重量、刚度等,但不包含活性的化学物质。基于惰性系统可以观察确认:整车完整性,现结构下的安全裕度,储氢装置、燃料电池、动力电池的整体性以及所能承受的碰撞加速度,碰撞后监控系统的可靠性,电气接线盒安全位置及测试前后完整性,碰撞对传动装置的影响,验证供氢系统、燃料电池和动力电池的测试方法等。惰性试验可以根据需求多次重复进行,直到达到足够安全余量。

在进行氢燃料汽车整车碰撞试验前,应根据部件在碰撞过程中的条件进行部件级的测试,以保证相关部件配置留有一定安全裕度支撑整车碰撞试验。部件级的测试,可基于现有行业标准经验、惰性试验结果以及相关经验验证过的仿真模型进行功能试验。测试标准即要求氢燃料汽车中部件系统保持稳定、结构完整且没有泄漏等故障发生。典型功能测试和破坏性测试可包括三自由度或六自由度机械冲击、刺穿试验、火烧试验、短路试验等。尤其是破坏性试验结果可对实验室提供有价值信息以用于建立应急响应程序保证工作人员的安全工作条件。

2.4 降低高压部件失效风险

高压部件故障导致的风险主要受环境和条件影响,故障可能发生在碰撞测试的所有阶段。如果因高压部件失效引起火灾,会导致5000psi储罐产

生超压波,从而在距离事发点50ft的地方导致鼓膜破裂(2psig),并在65ft范围内打碎窗户,火球的直径为8~24m,发射功率约为 340kW/m^2 ,车辆碎片可能移动超过100m。在高压部件发生故障时,缓解风险的主要方法是防止释放的氢气着火,以及在着火时保护设施和人员免受高压和火灾的伤害,因此指南中要求在装有氢气的车辆25m范围内,不得存在火花或其他火源以降低氢气泄漏引发火灾的风险。如果没有通风系统能够将室内氢气浓度降低至不会造成点火风险水平时,氢燃料车辆不得存放在封闭设施内。实验室应配备综合灭火系统实现无需人员操作的自动快速灭火功能。车辆中应安装氢气泄漏检测装置及联动装置,当检测到氢浓度过高时可以远程控制车辆电气系统断电,并提醒人员移至安全区域。为降低故障的影响,实验室应提前规划涉及危险的试验流程及人员安全保障预案。在进行试验过程中,人员和被测车辆之间应有防爆设施阻断或降低因超压和爆炸产生的风险,保证人员有足够的能力处理现场所出现的风险。

2.5 设施准备

在进行氢燃料汽车碰撞试验之前,需要考虑设施准备,应制定一份记录良好的应急响应计划,所有员工都需要接受计划中涉及的相关培训。该计划应包括消防部门的响应时间、在进行氢燃料电池车碰撞测试之前向消防机构发出警告、事故期间的疏散和疏散程序等项目。通常在进行氢燃料汽车碰撞试验之前,应考虑试验区域的灭火系统,在某些情况下,可能需要额外的灭火措施。指南中特别提醒,鼓励实验室在进行氢燃料电池车碰撞测试之前咨询其保险公司,以确保其拥有进行氢燃料电池车撞击测试所需的保险范围。

实验室在进行氢燃料汽车碰撞测试时,要考虑测试区域体积和通风,降低电池组释放有害气体的风险。

还应对现场设施进行评估,以确定与氢燃料汽车碰撞试验相关的每项任务符合相关个人防护装置要求。在进行碰撞测试期间,每个阶段任务都需要考虑使用绝缘叉车、电气隔离垫、个人防护装

置等。

2.6 碰撞后储存

存放碰撞后氢燃料汽车之前,了解车辆整车结构、储氢装置和动力电池的状况是十分必要的,因此要对相关内容进行检查评估物理损坏,如有储氢系统损坏、储氢减压系统异常、电解液或冷却液泄漏、气体烟雾排放或温度异常等现象,不得存放,应保障检测时长够长以监测相关状况,确保稳定后方可进行存储。必要时可在制造商指导下拆除储氢装置或断开动力电池电气连接。

进行碰撞试验后,考虑氢燃料汽车失效因素仍为高压储氢系统失效、触电、热活动导致的有毒气体释放及火灾、泄漏等,除现场人员需按要求穿戴个人防护装置外,还应考虑清除储存现场易燃物、保证合适的温度环境条件等管控风险。若将车辆存放在室内时,应采取留有一定安全余量、实时监控系统及进行有效围挡、制定应急预案等措施降低可能对周围人员产生的风险。

在运输受损的氢燃料汽车、储氢装置、动力电池时,应遵守地方政府的各项法律规定。

2.7 荷电状态 (State of Charge, SOC)

动力电池在除非已知可能发生热失控的短路电流临界阈值且样本电池电量均低于该阈值时,否则在试验过程和后处理过程中应以满电状态采取相应措施。当SOC值为零时,并不意味着零电量或零电压,此时动力电池电压等级仍然较高,因此个人防护装置及安全程序依然是必备的。

动力电池SOC值低于一定阈值时,可能会被短路电流加热,从而引发热失控或增加内部压力具有一定风险,且物理几何性状和电池内部配置不同也会导致该阈值差异,因此需要充分评估SOC安全阈值。

3 结语

通过对SAE J3121_202202《氢燃料汽车碰撞试验实验室安全指南》中的主要内容进行分析,介绍了进行氢燃料汽车碰撞试验的安全风险及应对措施。本文的分析有助于相关企业及技术人员较好了解现阶段氢燃料汽车碰撞试验过程中可能产生的风险点和管控措施,有利于推动新能源汽车碰撞技术快速发展。

参考文献

- [1] 舟丹. 国外氢能产业化发展现状[J]. 中外能源, 2022,27(11):92.
- [2] 韩笑,张兴华,闫华光,等. 全球氢能产业政策现状与前景展望[J]. 电力信息与通信技术, 2021,19(12):27–34.
- [3] 陆颖. 美国产业界发布氢能经济路线图[J]. 科技中国, 2020(11):100–102.
- [4] 应对能源转型 欧洲多国布局氢能产业[J]. 科学大观园, 2022(09):38–41.
- [5] 张真,刘倩,史英哲,等. 全球绿氢产业财政金融激励政策与启示[J]. 环境保护, 2022,50(14):66–70.
- [6] 日本进入氢能发展新时代[J]. 氯碱工业, 2021,57(01):47–48.