

《燃料电池堆振动测试技术规范》编制说明

一、工作简况

1.1 任务来源

《燃料电池堆振动测试技术规范》团体标准是由中国汽车工程学会批准立项。项目任务编号为：2021-49。本标准由同济大学提出，同济大学、上海机动车检测认证技术研究中心有限公司、上海神力科技有限公司、东风汽车集团有限公司技术中心、丰田汽车（中国）投资有限公司、中国汽车技术研究中心有限公司、上海捷氢科技股份有限公司、中国第一汽车股份有限公司、襄阳达安汽车检测中心有限公司、中国汽车工程研究院股份有限公司、上海智能新能源汽车科创功能平台有限公司、北京科技大学等单位联合起草。

1.2 编制背景与目标

燃料电池汽车在运行过程中，会受到外界环境引起的振动及冲击激励。长时间的振动冲击会导致燃料电池堆的性能衰减，甚至发生结构破坏。因此，振动是车用燃料电池堆必不可少的一项考核要求。而在车用燃料电池领域，世界范围内目前还没有正式发布关于车用燃料电池堆的振动标准，而抗振性能是车用部件的一项基本技术要求，燃料电池堆必须满足整车振动的基本要求，这严重制约了燃料电池堆的产品设计研发。

在国内，燃料电池堆的振动要求一般都是参考动力电池包的振动标准。但动力电池包和燃料电池堆在结构上又有本质区别，完全参考动力电池的振动标准并不一定完全合适。

GB/T 33978-2017 《道路车辆用燃料电池模块》中关于燃料电池堆振动要求直接引用了 SAE J2380 中的动力蓄电池振动要求，实质上还是动力蓄电池的振动技术要求。

另一方面，目前关于动力电池包振动标准制定的理论依据基本上都是依据金属疲劳等效的理论进行制定的，在路谱数据转化过程中，需要获得金属的 SN 曲线，而对于燃料电池堆来说，结构属于复合体，没有对应的 SN 曲线，所以从理论依据上来说，根据疲劳等效这个原则来制定燃料电池堆的振动标准从理论上是行不通的。本技术规范制定的理论依据是能量等效原则，根据这个原则进行实际道路谱的

转化，所以，本振动标准制定理论依据不同于现有的振动标准理论体系。从制定的理论体系上来说，是全新的尝试。

本标准的意义在于制定出专门适用于车用燃料电池堆的振动测试规范，既能满足当前各大厂商的迫切需求，也是技术发展的要求，同时也是燃料电池堆技术标准体系完善的需求，弥补车用燃料电池堆标准体系的空白，促进产业健康发展。

1.3 主要工作过程

本标准于 2020 年 7 月开始标准理论及研究，同时进行现有相关振动标准调研。

2020 年 12 月，标准基础理论研究工作行程初稿，同时形成了标准文本的初步草案。

2021 年 2 月、4 月、6 月，与丰田公司进行了标准理论基础的深入讨论，同时对标准文本进行了初步讨论。

2021 年 4 月，开始进行标准的试验大纲的准备工作。

2021 年 9 月，同济大学、上海机动车检测认证技术研究中心有限公司、上海神力科技有限公司开始了标准的试验对比验证工作。

2021 年 9 月，该标准正式立项。

2021 年 10 月，东风汽车集团有限公司技术中心也开始对标准进行了验证工作。

2021 年 8 月-11 月期间，标准起草组内部小范围对标准文本进行了多次讨论。

2021 年 12 月，针对试验验证结果，起草组内部对试验结果进行了多次讨论，根据试验结果，对标准文本进行了修改，形成了比较完善的标准文本。

2022 年 2 月 16 日，召开了标准起草组全体线上会议，对标准草案进行全面讨论和修改，形成了标准征求意见稿。

2022 年 3 月，进入标准征求意见程序。

二、标准编制原则和主要内容

2.1 标准制定原则

起草组对现有的相关振动标准进行了详细的梳理和归纳，详见表 1。

表 1 振动安全性技术标准和规范

标准体系或发布者	标准代号	适用范围
ISO	ISO 6469-1:2019	可再充能量存储系统

	ISO 12405-1:2011	锂离子动力电池
	ISO 12405-2:2012	锂离子动力电池
	ISO 12405-3:2014	锂离子动力电池
IEC	IEC 62660-2:2018	锂离子动力电池
	IEC 62660-3:2016	锂离子动力电池
SAE	SAE J2380:2013	电动汽车动力蓄电池
ECE	ECE R100-2	可再充能量存储系统
USCAR	USABC Electric Vehicle Battery Test Procedures Manual	电动汽车动力蓄电池
UN	UN 38.3	锂电池货物
国家标准化管理委员会	GB 38031-2020	电动汽车动力蓄电池

现有振动标准制定的理论依据基本上都是依据金属疲劳等效的理论进行制定的，该转化方法以 MIL-STD-810F 标准中的随机振动等效疲劳加速强化理论（即逆幂律模型）为基础，进行疲劳加速等效。逆幂律模型基于雨流计数疲劳统计，并结合范式等效应力，将多方向载荷引起的相对损伤累积进行等效转化，实现一维的疲劳寿命评估，从而可以基于 S-N 曲线的安全寿命对材料的疲劳寿命进行预测。

需要注意的是，逆幂律模型中的指数并不是基于标准等幅疲劳试验得到的 S-N 曲线指数。由于疲劳载荷的加载次序效应，以及载荷间的相互影响，变幅值加载的 S-N 曲线指数略大于标准等幅疲劳试验的 S-N 曲线指数。也就是说，在相同的平均应力幅值下，变幅值的疲劳寿命更短。因此，只有结构材料具有标准的 S-N 格式的随机疲劳数据时，才能确定疲劳等效转化的加速系数。

而对于燃料电池堆来说，结构属于复合体，没有对应的 SN 曲线，所以从理论依据上来说，根据疲劳等效这个原则来制定燃料电池堆的振动标准从理论上是行不通的。本技术规范制定的理论依据是能量等效原则，根据这个原则进行实际道路谱的转化，所以，本振动标准制定理论依据不同于现有的振动标准理论体系。从制定的理论体系上来说，是全新的尝试。

2.1.1 通用性原则

本标准提出的燃料电池堆振动测试技术规范适用于所有类型的车用燃料电池堆，其他用途的燃料电池堆可以参考执行。对于集成一体的燃料电池系统（燃料电池发动机）也可以参考执行。

因此本标准具有通用性。

2.1.2 指导性原则

本标准提出的振动技术规范可以为燃料电池堆振动测试提供指导作用，解决了燃料电池堆没有振动相关标准可以参考的问题，不能对燃料电池堆抗振性进行有目的的考核。

2.1.3 协调性原则

由于燃料电池堆的特殊性，目前国内外还没有此类相关标准，本标准提出的方法与目前国家标准协调统一、互补交叉，是一个全新的标准。

2.1.4 兼容性原则

本标准提出的试验方法充分考虑了不同类型燃料电池堆的使用环境要求，具有普遍适用性。

2.2 标准主要技术内容

本标准共分为6章，规定了燃料电池堆的耐久振动测试方法、机械冲击测试方法，以及振动后燃料电池堆性能检测判定方法。内容包括范围、规范性引用文件、术语和定义、测量参数单位和准确度、振动及机械冲击试验方法、燃料电池堆性能检测。

2.3 关键技术问题说明

本标准最主要的问题就是采用能量等效原则进行实际路谱的转化，这是这个标准制定的理论基础，对此问题，我们进行了多次讨论和深入研究。现有初步对比试验结果初步证实了这个理论基础的有效性。

振动幅值的选择采用了统计学的理论，根据实际路谱得到了振动幅值和冲击幅值。

振动脉宽是根据实际路谱采用加权计算方法获得的。

标准中涉及的关键参数都是根据一定的理论依据从实际路谱中得到的，都有理论依据。

2.4 标准工作基础

标准起草组主要起草单位同济大学从事燃料电池汽车及燃料电池测试已经有二十年的历史了，积累了丰富的经验，具有深厚的研究基础。2006年，在国内首次进行燃料电池汽车整车强化道路测试，验证了整车及关键部件的抗振性，随后进行了一系列专门针对燃料电池堆的强化振动测试，取得了一系列的研究成果。

本标准就是在前期多年研究的基础上，提出了能量等效的原则，避免了标准中关键参数的不确定性。本标准的制定有一套系统的理论基础作为参考，而且进行了初步的试验验证。

本标准提出的燃料电池堆振动及冲击试验方法具有较强的创新性、先进性、通用性、科学性和可操作性。

三、主要试验（或验证）情况分析

本标准进行了实际强化到路谱和本标准振动的对比验证试验，图1是两组振动试验后平均单电池电压衰减情况。由图1可知，考虑燃料电池堆制造装一致性方面的影响因素，两种振动对燃料电池堆的性能影响基本相当。

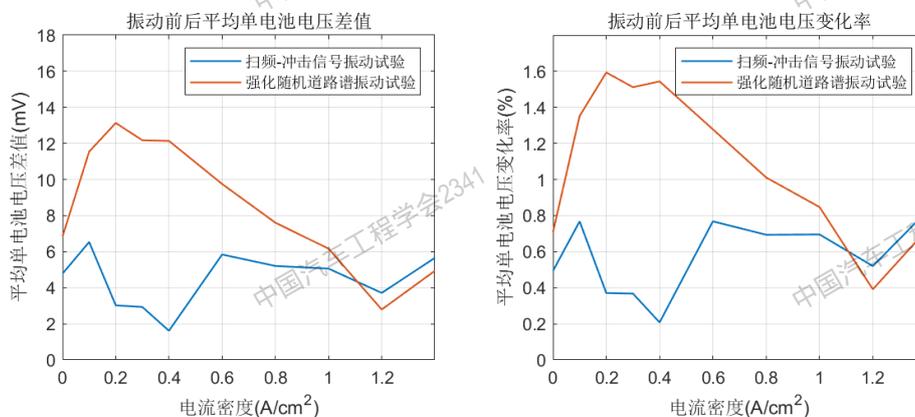


图1 两组试验平均单电池电压衰减对比

综上所述，本标准提出的方法经过了实际试验验证，具有可操作性和可实施性。

四、标准中涉及专利的情况

尚无。

五、预期达到的社会效益、对产业发展的作用的情况

燃料电池汽车技术的快速发展使得燃料电池汽车产品开始进入产品化阶段。国外已有丰田、本田、现代等推出了整车产品，国内上汽大通、上汽乘用车、宇通、北汽福田、佛山飞驰、东风特汽也都推出了自己的整车产品，产品的快速发展推动了标准需求。燃料电池堆作为燃料电池汽车的核心部件，其抗振性是其基本技术要求，这直接决定了整车的整体抗振性。目前国内外还缺乏此类标准的测试方法。通过标准形成，规范了燃料电池堆的振动测试方法和要求，解决目前无此类标准可依的情况，服务燃料电池堆及燃料电池汽车行业的健康发展。

六、采用国际标准和国外先进标准情况，与国际、国外同类标准水平的对比情况，

国内外关键指标对比分析与测试的国外样品、样机的相关数据对比情况

6.1 采用国际标准和国外先进标准情况

未采用，国际上还没有此类标准，因此不存在采用情况。

6.2 国内外测试样车相关数据对比情况

目前已进行了两组验证试验，基本验证了本标准的可行性和有效性。后续还需要更多的验证试验。

七、在标准体系中的位置，与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性

本标准属于团体标准，与现行法律、法规、规章和政策以及有关基础和相关标准不矛盾。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

尚无。

九、标准性质的建议说明

本标准为中国标准化协会标准，属于团体标准，供协会会员和社会自愿使用。

十、贯彻标准的要求和措施建议

本标准为首次发布。

十一、废止现行相关标准的建议

本标准为新起草的团体标准，无废止现行标准。

十二、其他应予说明的事项

无。

标准起草工作组

2022年3月