|  |  |
| --- | --- |
| **ICS** | 43.080.10 |
| **CCS** |

|  |
| --- |
|  |

T 71 |

团体标准

“领跑者”评价技术要求

车用燃料电池发动机

 Assessment technical requirements for forerunner——Fuel cell system for vehicle

（征求意见稿）

2025-XX-XX发布

2025-XX-XX实施

中国汽车工业协会  发布

T/CAAMTB XXXX—2025

1. 目次

[前言 II](#_Toc11040)

[1 范围 1](#_Toc12548)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc28559)

[3 术语和定义 1](#_Toc17019)

[4 基本要求 2](#_Toc24701)

[5 评价指标及要求 2](#_Toc15079)

[6 评价方法及等级划分 5](#_Toc1660)

[附录A（规范性）电磁兼容试验方法 6](#_Toc441)

[附录B（规范性）质量及体积比功率试验方法 13](#_Toc23841)

[附录C（规范性）燃料电池发动机低温启动能力 16](#_Toc21335)

[附录D（规范性）高温高原运行试验方法 17](#_Toc4835)

[附录E（规范性）噪声试验方法 19](#_Toc4158)

[附录F（规范性）可靠性故障试验和评分方法 21](#_Toc20879)

[附录G（规范性）耐振动特性试验和评分方法 26](#_Toc12082)

[附录H（规范性）系统效率试验方法 28](#_Toc15715)

1. 前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国汽车工业协会提出并归口。

本文件起草单位：\*\*\*\*\*\*\*\*\*。

本文件主要起草人：\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*。

本文件为首次发布。

“领跑者”评价技术要求 车用燃料电池发动机

* 1. 范围

本文件规定了车用燃料电池发动机“领跑者”标准评价的术语和定义、基本要求、评价指标体系、评价方法及等级划分。

本文件适用于车用燃料电池发动机的企业标准水平评价。相关机构在制定企业标准“领跑者”评估方案时可参考使用，企业在制定企业标准时也可参照使用。

* 1. 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 17045-2020 电击防护装置和设备的通用部分

GB/T 18655-2018 车辆、船和内燃机 无线电骚扰特性 用于保护车载接收机的限值和测量方法

GB/T 19001-2016 质量管理体系 要求

GB/T 19951-2019 道路车辆 电气/电子部件对静电放电抗扰性的试验方法

GB/T 20438.1-2017 电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全 第1部分：一般要求

GB/T 21437.2-2021 道路车辆 电气/电子部件对传导和耦合引起的电骚扰试验方法 第2部分：沿电源线的电瞬

GB/T 21437.3-2021 道路车辆 电气/电子部件对传导和耦合引起的电骚扰试验方法 第3部分：对耦合到非电源线电瞬态的抗扰性

GB/T 23331-2020 能源管理体系 要求及使用指南

GB/T 24001-2016 环境管理体系 要求及使用指南

GB/T 2423.43-2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 振动、冲击和类似动力学试验样品的安装

GB/T 2423.56-2018 环境试验 第2部分：试验方法 试验Fh：宽带随机振动和导则

GB/T 24548-2009 燃料电池电动汽车 术语

GB/T 24554-2022 燃料电池发动机性能试验方法

GB/T 28816-2020 燃料电池 术语

GB/T 30038-2013 道路车辆 电气电子设备防护等级（IP代码）

GB/T 33014.2-2016 道路车辆 电气/电子部件对窄带辐射电磁能的抗扰性试验方法 第2部分:电波暗室法

GB/T 33014.4-2016 道路车辆 电气/电子部件对窄带辐射电磁能的抗扰性试验方法 第4部分：大电流注入(BCI)法

GB/T 33014.8-2020 道路车辆 电气/电子部件对窄带辐射电磁能的抗扰性试验方法 第8部分：磁场抗扰法

GB/T 33014.9-2020 道路车辆 电气/电子部件对窄带辐射电磁能的抗扰性试验方法 第9部分：便携式发射机法

GB/T 3785.1-2023 电声学 声级计 第1部分：规范

GB/Z 44116-2024 燃料电池发动机及关键部件耐久性试验方法

GB/T 45001-2020 职业健康安全管理体系要求及使用指南

* 1. 术语和定义

GB/T 24548-2009、GB/T 28816-2020界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

燃料电池发动机 **fuel cell system**

包括燃料电池堆和燃料电池辅助系统，在外接氢源的条件下可以正常工作。

[来源：GB/T 24548-2009 3.4.3]

燃料电池堆 **fuel cell stack**

 由多个单体电池、隔板、冷却板、歧管等构成，而且把富氢气体和空气进行电化学反应生成直流电，并同时产生热、水等其他副产物的总成。

[来源：GB/T 24548-2009 3.2.1.1]

怠速状态 **idle conditions**

 燃料电池发动机处于最小稳定输出工作状态。

额定功率 **rate power**

 燃料电池发动机在特定工况条件下能够持续工作的功率，在该测试条件下，燃料电池电堆单电池平均节电压不低于0.60 V。

峰值功率 peak power

燃料电池发动机在规定的时间内的最大有效净输出功率。

基准电流 reference current

燃料电池发动机达到额定功率时对应的燃料电池堆电流。

* 1. 基本要求
		1. 近三年，生产企业无较大环境、安全、质量事故。
		2. 企业应未列入国家信用信息严重失信主体相关名录。
		3. 企业可根据GB/T 19001、GB/T 23331、GB/T 24001、GB/T 45001建立并运行相应质量、环境和职业健康安全管理体系，鼓励企业根据自身运营情况建立更高水平的相关管理体系。
		4. 产品应为量产产品，车用燃料电池发动机“领跑者”标准应满足国家强制性标准及相关燃料电池发动机产品标准规定的要求。
	2. 评价指标及要求
		1. 评价指标分类

车用燃料电池发动机“领跑者”标准中所包括的指标分为基础指标、核心指标和创新性指标。

基础指标包括氢气路气密性、整体气密性、绝缘强度、通用安全性要求、电磁兼容、防水防尘等级。

核心指标包括质量比功率、动态响应特性、起动特性、低温冷启动能力@-30℃；核心指标分为三个等级，包括先进水平，相当于企标排行榜中5星级水平；平均水平，相当于企标排行榜中4星级水平；基准水平，相当于企标排行榜中3星级水平。

创新性指标为体积比功率、排水体积占轮廓体积比、高温运行、高原运行、噪声、可靠性故障率、耐振动特性、系统效率，分为三个等级，包括先进水平，相当于企标排行榜中5星级水平；平均水平，相当于企标排行榜中4星级水平；基准水平，相当于企标排行榜中3星级水平。鼓励根据条件成熟情况适时增加与产品性能和消费者关注的相关创新性指标。

* + 1. 评价指标分类

车用燃料电池发动机“领跑者”评价指标体系框架见表1。

表1 车用燃料电池发动机评价指标体系框架

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 指标类型 | 评价指标 | 指标来源 | 指标水平分级 | 判定依据/方法 |
| 先进水平 | 平均水平 | 基准水平 |
| 1 | 基础指标 | 氢气路气密性 | GB/T 24554-2022 | 压力下降值≤60%的压力设定值 | GB/T 24554-2022 |
| 2 | 整体气密性 | 压力下降值≤10%的压力设定值 |
| 3 | 绝缘强度 | 燃料电池发动机和所有检测B级电压部件绝缘阻值的并联阻值＞100 Ω/V |
| 4 | 通用安全性要求 | 控制装置部件及安全功能 | GB/T 20438.1-2017 | 燃料电池系统控制装置部件及安全功能具有过流、过压、欠压、氢泄漏以及控制失效等非正常运行状态下的安全保障功能 | GB/T 20438.1-2017 |
| 5 | 电击防护结构 | GB/T 17045-2020 | 燃料电池系统所有电气装置、系统或设备应符合 GB/T 17045-2020中I类设备的规定 | GB/T 17045-2020 |
| 6 | 电磁兼容 | 本文件 | 10个检测项目均达标 | 附录A |
| 7 | 防水防尘等级 | GB/T 30038-2013 | ≥IP6K9K | GB/T 30038-2013 |
| 8 | 核心指标 | 质量比功率 | 本文件 | MPF≥0.60 kW/kg | 0.50 kW/kg≤MPF＜0.60 kW/kg | 0.40 kW/kg≤MPF＜0.50 kW/kg | 附录B |
| 9 | 动态响应特性 | 加载状态（怠速状态~90%PE） | GB/T 24554-2022 | t≤10 s | 10 s＜t≤15 s | 15 s＜t≤25 s | GB/T 24554-2022 |
| 10 | 卸载状态（90%PE~怠速状态） | GB/T 24554-2022 | t≤6 s | 6 s＜t≤12 s | 12 s＜t≤18 s | GB/T 24554-2022 |
| 11 | 起动特性 | 冷机状态至怠速工况 | GB/T 24554-2022 | t＜10 s | 10 s≤t＜15 s | 15 s≤t＜20 s | GB/T 24554-2022 |
| 12 | 热机状态至怠速工况 | GB/T 24554-2022 | t≤8 s | 8 s＜t≤12 s | 12 s＜t≤18 s | GB/T 24554-2022 |

表1 车用燃料电池发动机评价指标体系框架（续）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 指标类型 | 评价指标 | 指标来源 | 指标水平分级 | 判定依据/方法 |
| 先进水平 | 平均水平 | 基准水平 |
| 13 | 核心指标 | 低温冷启动能力@-30 ℃ | 怠速冷启动时间 | GB/T 24554-2022 | t≤2 min | 2 min＜t≤3 min | 3 min＜t≤4min | GB/T 24554-2022 |
| 14 | 额定功率冷启动时间 | t≤5 min | 5 min＜t≤7 min | 7 min＜t≤10 min |
| 15 | 过程能耗（启动至怠速状态，外部供能加本身氢耗） | 本文件 | ≤0.003 kWh/kW | 0.003 kWh/kW＜≤0.0045 kWh/kW | 0.0045 kWh/kW＜≤0.006 kWh/kW | 附录C |
| 16 | 创新性指标 | 体积比功率（排水体积） | 本文件 | VPF≥0.30 kW/L | 0.20 kW/L≤VPF＜0.30 kW/L | 0.20 kW/L≤VPF＜0.10 kW/L | 附录B |
| 17 | 排水体积占轮廓体积比 | NV≥80 % | 70 %≤NV＜80 % | 60 %≤NV＜70 % |
| 18 | 高温运行 | 基准电流下功率衰减 | 本文件 | △PT＜5 % | 5 %≤△PT＜10 % | 10 %≤△PT＜20 % | 附录D |
| 19 | 高原运行 | 基准电流下系统效率 | n≥50% | 45%≤n＜50% | 40%≤n＜45% |
| 20 | 基准电流下功率衰减 | △PP＜20 % | 20 %≤△PP＜30 % | 30 %≤△PP＜40% |
| 21 | 噪声 | 怠速状态 | 本文件 | SPL≤70 dB | 70 dB＜SPL≤75 dB | 75 dB＜SPL≤80 dB | 附录E |
| 22 | 额定功率 | SPL≤75dB | 75 dB＜SPL≤80 dB | 80 dB＜SPL≤85 dB |
| 23 | 可靠性故障率 | 可靠性评分 | 本文件 | 评分≥80分 | 70分≤评分＜80分 | 60分≤评分＜70分 | 附录F |
| 24 | 平均失效前时间 | *MTTFF*≥300h | 200h≤*MTTFF*＜300h | 100h≤*MTTFF*＜200h |
| 25 | 平均失效间隔时间 | *MTBF*≥200h | 100h≤*MTTFF*＜200h | 50h≤*MTTFF*＜100h |
| 26 | 耐振动特性 | 本文件 | 评分≥80分 | 70分≤评分＜80分 | 60分≤评分＜70分 | 附录G |
| 27 | 系统效率（50%以上的高效工作区间占比） | 本文件 | n≥60% | 55%≤n＜60% | 50%≤n＜55% | 附录H |

* 1. 评价方法及等级划分
		1. 对具体产品企业标准的全部指标进行综合评价，评价结果划分为先进水平(5星级)、平均水平(4星级)、基准水平(3星级)，划分依据见表2。
		2. 车用燃料电池发动机综合评价满足表2中先进水平要求的企业标准为先进水平(5星级)，企业标准进入所对应具体产品的企业标准“领跑者”入围名单。
		3. 车用燃料电池发动机综合评价满足表2中平均水平要求的企业标准为平均水平(4星级)。
		4. 车用燃料电池发动机综合评价满足表2中基准水平要求的企业标准为基准水平(3星级)。

表2　车用燃料电池发动机等级划分

|  |  |
| --- | --- |
| 评价等级 | 满足条件 |
| 先进水平（5星级） | 基本要求 | 基础指标要求 | 核心指标中至少7项达到先进水平要求 | 创新性指标至少5项达到先进水平要求 |
| 平均水平（4星级） | 核心指标至少6项达到平均水平要求 | 创新性指标至少5项达到平均水平以上要求 |
| 基准水平（3星级） | 核心指标至少5项达到基本水平要求 | — |

1.

（规范性）

电磁兼容试验方法

* 1. 范围

该方法适用于车用质子交换膜燃料电池发动机。

* 1. 试验条件要求

试验条件要求按照表A.2和表A.3中的参考标准进行设置，EUT工作模式定义见表A.1。

* 1. 试验方法

燃料电池发动机电磁兼容测试项目参照表A.2和表A.3，并按照参考标准中规定试验方法进行测试。

表A.1 EUT工作模式定义

|  |  |
| --- | --- |
| 工作模式 | 工作条件 |
| 模式1 | EUT正常工作，推荐按照20%额定功率进行测试，具体可与主机厂和零部件厂商协商 |
| 模式2 | 仅LV上电，通讯正常 |
| 模式3 | LV和HV均不上电，EUT不工作，且不接电源和负载 |

表A.2 发射类测试项目列表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 测试对象 | 测试项目 | 参考标准 | 工作模式 |
| EUT | 辐射发射 | GB/T 18655-2018 | 模式1 |
| 信号线 | 传导发射-电流探头法 | GB/T 18655-2018 | 模式1 |
| 电源线 | 传导发射-电压法 | GB/T 18655-2018 | 模式1 |
| 沿电源线的电瞬态传导发射 | GB/T 21437.2-2021 | 模式2 |

表A.3 抗扰度测试项目列表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 测试对象 | 测试项目 | 参考标准 | 工作模式 |
| EUT | 电磁辐射抗扰度 | GB/T 33014.2-2016GB/T 33014.4-2016 | 模式2 |
| 静电放电抗扰度 | GB/T 19951-2019 | 模式2、模式3 |
| 磁场抗扰度 | GB/T 33014.8-2020 | 模式2 |
| 便携式发射机抗扰度 | GB/T 33014.9-2020 | 模式2 |
| 电源线 | 沿电源线的电瞬态传导抗扰度 | GB/T 21437.2-2021 | 模式2 |
| 信号线 | 沿信号线的电瞬态传导抗扰度 | GB/T 21437.3-2021 | 模式2 |

* 1. 试验数据处理

按A.4.1~A.4.10中规定的功能状态要求进行测试和结果判断，符合要求则判定为达标并计数，全部试验完成后记录燃料电池发动机电磁兼容试验总的达标数。

A.4.1　辐射发射限值

EUT辐射发射测试结果应满足表A.4中的限值要求。

表A.4 辐射发射限值要求列表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 频带 | 频率范围f(MHz) | 限值A，平均值检波(dB μV/m) | 限值B，峰值检波(dB μV/m) | 带宽(kHz) |
| LW | 0.15～0.3 | 46 | 66 | 9 |
| MW | 0.53～1.8 | 36 | 56 | 9 |
| SW | 5.9～6.2 | 32 | 52 | 9 |
| CB | 26～28 | 32 | 52 | 9 |
| VHF | 30～54 | 32 | 52 | 120 |
| TV Band 1 | 41～88 | 30 | 40 | 120 |
| VHF | 68～87 | 27 | 47 | 120 |
| FM | 74～110 | 30 | 50 | 120 |
| VHF | 142～175 | 27 | 47 | 120 |
| TV Band 3 | 174～230 | 34 | 44 | 120 |
| DAB3 | 171～245 | 28 | 38 | 120 |
| RKE | 300～330 | 30 | 44 | 120 |
| RKE、TPMS | 420～450 | 24(19) | 38(25) | 120 |
| Analogue UHF | 380～512 | 30 | 50 | 120 |
| DTTV | 470～770 | 47 | 57 | 120 |
| TV Band 4/5 | 468～944 | 43 | 56 | 120 |
| (4G) | 703～821 | 40 | 60 | 1000 |
| UHF | 820～960 | 36 | 56 | 120 |
| GSM 800 | 859～895 | 36 | 56 | 120 |
| GSM 900 | 915～960 | 36 | 56 | 120 |
| DABL Band | 1447～1494 | 30 | 40 | 120 |
| GNSS | 1550～1620 | 10 | 40 | 9 |
| GSM 1800 | 1803～1882 | 36 | 56 | 120 |
| GSM 1900 | 1850～1990 | 36 | 56 | 120 |
| 3G /IMT 2000 | 1900～2180 | 46 | 66 | 1000 |
| SDARS | 2320~2345 | 36 | 46 | 120 |
| WiFi/Blue thooth | 2400～2500 | 40 | 60 | 100 |
| 4G/5G | 2496～2690 | 46 | 66 | 1000 |
| 5G /IMT-2020 | 3300～3800 | 46 | 66 | 1000 |
| 5G /IMT-2020 | 4800～5000 | 46 | 66 | 1000 |
| WiFi | 5150～5850 | 40 | 60 | 1000 |
| LTE-V2X | 5905～5925 | 40 | 60 | 1000 |

A.4.2　传导发射限值-电流探头法

EUT传导发射电流探头法测试结果应满足表A.5中的限值要求：

表A.5 传导发射-电流探头法限值要求

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 业务波段 | 频率MHz | 峰值（PK）dB(μA) | 准峰值（QP）dB(μA) | 平均值（AV）dB(μA) |
| LW | 0.15～0.30 | 70 | 57 | 50 |
| MW | 0.53～1.8 | 42 | 29 | 22 |
| SW | 5.9～6.2 | 31 | 18 | 11 |
| FM | 76～108 | 16 | 3 | -4 |
| TV Band Ⅰ | 48.5～72.5 | 12 | —— | 2 |
| DBA Ⅲ | 171～245 | 10 | —— | 0 |
| VHF | 30～54 | 22 | 9 | 2 |
| VHF | 68～87 | 16 | 7 | -4 |
| VHF | 142～175 | 16 | 7 | -4 |

A.4.3　传导发射限值-电压法

EUT传导发射电压法对非屏蔽系统及低压人工网络射频端口的测量， EUT传导发射电压法测试结果应满足表A.6中的限值要求；屏蔽电源装置传导发射电压法测试结果应满足表A.7中的限值要求。

表A.6 EUT传导发射-电压法限值要求

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 业务波段 | 频率MHz | 峰值（PK）dB(μA) | 准峰值（QP）dB(μA) | 平均值（AV）dB(μA) |
| LW | 0.15～0.30 | 90 | 77 | 70 |
| MW | 0.53～1.8 | 70 | 57 | 50 |
| SW | 5.9～6.2 | 65 | 52 | 45 |
| FM | 76～108 | 50 | 37 | 30 |
| TV Band Ⅰ | 48.5～72.5 | 46 | —— | 36 |
| VHF | 30～54 | 56 | 43 | 36 |
| VHF | 68～87 | 50 | 37 | 30 |

表A.7 屏蔽电源装置传导发射-电压法限值要求

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 业务波段 | 频率MHz | 峰值（PK）dB(μA) | 准峰值（QP）dB(μA) | 平均值（AV）dB(μA) |
| LW | 0.15～0.30 | 127 | 114 | 107 |
| MW | 0.53～1.8 | 100 | 87 | 80 |
| SW | 5.9～6.2 | 89 | 76 | 69 |
| FM | 76～108 | 62 | 49 | 42 |
| TV Band Ⅰ | 48.5～72.5 | 59 | —— | 49 |
| VHF | 30～54 | 71 | 58 | 51 |
| VHF | 68～87 | 63 | 50 | 43 |

A.4.4　沿电源线的电瞬态传导发射

EUT沿电源线的电瞬态传导发射测试结果应满足表A.8中的限值要求。

表A.8 瞬态传导发射限值要求

|  |  |
| --- | --- |
| 脉冲分类 | 脉冲限值（V） |
| 12 V系统 | 24 V系统 |
| 正慢脉冲（毫秒或更慢） | +37 | +37 |
| 负慢脉冲（毫秒或更慢） | -75 | -150 |
| 正快脉冲（纳秒至微秒） | +75 | +150 |
| 负快脉冲（纳秒至微秒） | -112 | -150 |

A.4.5　电磁辐射抗扰度

其中，在1 MHz～200MHz频率范围内，参考GB/T 33014.4-2016中8.3节的规定进行大电流注入（BCI）法试验，抗扰试验强度应不低于60 mA；在200 MHz～6 GHz频率范围内，参考GB/T 33014.2-2016中8.3节的规定进行电波暗室（ALSE）法试验，抗扰试验强度应不低于100 V/m。试验过程中，EUT不应出现性能下降，功能状态应满足附录A.5中等级A要求。

A.4.6　静电放电抗扰度

EUT静电放电抗扰度试验等级及功能状态要求应满足表A.9中的要求。

表A.9 静电放电试验严酷等级及功能状态要求

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| EUT工作模式 | 放电类型 | 严酷程度等级 | 功能状态等级 |
| 模式1 | 直接接触放电 | ±8 kV | A |
| 空气放电 | ±15 kV | A |
| 模式3 | 直接接触放电 | ±8 kV | A |
| 空气放电 | ±15 kV | A |

A.4.7　磁场抗扰度

EUT在0Hz～150 kHz频段内进行磁场抗扰试验，试验等级见表A.10。试验过程中，EUT不应出现性能下降，功能状态应满足附录A.5中等级A要求。

表A.10 磁场抗扰等级

|  |  |
| --- | --- |
| 频率f/Hz | 试验等级/(A/m) |
| 0（DC） | 900 |
| 15～60 | 300 |
| 60～1 800 | 300/（f/60） |
| 1 800～150 000 | 10 |

A.4.8　便携式发射机抗扰度

EUT在26 MHz～5 850 MHz频段内进行便携式发射机抗扰度试验，试验等级见表A.11。试验过程中，EUT不应出现性能下降，功能状态应满足附录A.5中等级A要求。

表A.11 便携式发射机抗扰等级

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 发射机类型 | 频率MHz | 试验等级W |
| 10 m | 26～30 | 10（有效值） |
| 2 m | 146～174 | 10(有效值) |
| 70 cm | 410～470 | 10(有效值) |
| TETRA/TETRAPOL | 380～390 | 10(峰值) |
| 410～420 |
| 450～460 |
| 806～825 |
| 870～876 |
| AMPS/GSM850 | 824～849 | 10(峰值) |
| GSM900 | 876～915 | 16(峰值)/2(峰值) |
| PDC | 893～898 | 0.8(峰值) |
| 925～958 |
| 1429～1453 |
| PCS GSM1800/1900 | 1710～1785 | 2(峰值)/1(峰值) |
| 1850～1910 |
| IMT-2000 | 1885～2025 | CW-1(有效值) |
| PM-1(峰值) |
| Bluetooth/WL人工电源网络 | 2400～2500 | 0.5(峰值) |
| IEEE 802.11a | 5725～5850 | 1(峰值) |

A.4.9　沿电源线的电瞬态传导抗扰度

仅对12 V和24 V系统的低压模块进行试验，对于沿电源线的电瞬态传导抗扰度使用的试验等级及功能状态要求见表A.12。

表A.12 沿电源线瞬态抗扰试验脉冲等级及功能状态等级要求

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验脉冲 | 脉冲等级（V） | 最少脉冲数/试验时间 | 猝发周期或脉冲重复时间 | 功能状态等级 |
| 12 V系统 | 24 V系统 | 最小 | 最大 |
| 1 | -112 | -450 | 500个脉冲 | 0.5 s | 5 s | C |
| 2a | +112 | +55 | 500个脉冲 | 0.2 s | 5 s | A |
| 2b | +10 | +20 | 10个脉冲 | 0.5 s | 5 s | C |
| 3a | -220 | -220 | 1 h | 90 ms | 100 ms | A |
| 3b | +150 | +220 | 1 h | 90 ms | 100 ms | A |

A.4.10　沿信号线的电瞬态传导抗扰度

EUT沿信号线的电瞬态抗扰度推荐试验等级见GB/T 21437.3-2021附录B中等级Ⅳ要求，试验等级要求详见表A.13和表A.14。试验过程中，EUT不应出现性能下降，功能状态应满足附录A.5中等级A要求。

表A.13 12 V系统使用的试验等级

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 试验脉冲 | 试验等级/V | 试验时间/min |
| 快3a（DCC和CCC） | -110 | 10 |
| 快3b（DCC和CCC） | +75 | 10 |
| ICC慢+ | +6 | 5 |
| ICC慢- | -6 | 5 |

表A.14 24 V系统使用的试验等级

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 试验脉冲 | 试验等级/V | 试验时间/min |
| 快3a（DCC和CCC） | -150 | 10 |
| 快3b（DCC和CCC） | +150 | 10 |
| ICC慢+ | +10 | 5 |
| ICC慢- | -10 | 5 |

* 1. EUT的功能状态分类

EUT的功能状态按照以下分类：

——等级A ：EUT在施加骚扰期间和之后，能执行其预先设计的所有功能，包括通讯正常、EUT正常加载运行，绝缘阻值大于1000 Ω/V，监测指标不超出以下规定的偏差：

1. 输出电压变化范围±10%；
2. 输出电流变化范围±10%；
3. 输出功率变化范围±3%；
4. 抗扰测试时CAN报文发送间隔不超过40 ms；
5. 燃料电池发动机温度、压力、流量传感器数值变化不超过±10 %；
6. 上机位不报故障，通讯连接正常。

——等级B：EUT在施加骚扰期间，能执行其预先设计的所有功能，包括通讯正常、EUT正常加载运行，绝缘阻值大于1000 Ω/V；监测指标不超出以下规定的偏差：

1. 输出电压变化范围±10%；
2. 输出电流变化范围±10%；
3. 输出功率变化范围±3%；
4. 抗扰测试时CAN报文发送间隔不超过40 ms；
5. 燃料电池发动机温度、压力、流量传感器数值变化不超过±10 %；
6. 有故障信息，所有功能在停止施加骚扰之后，自动恢复到正常工作范围内。

——等级C：：EUT在施加骚扰期间，不执行其预先设计的一项或多项功能，但在停止施加骚扰之后能自动恢复到正常工作范围内；

——等级D：EUT在施加骚扰期间，不执行其预先设计的一项或多项功能，在停止施加骚扰之后通过简单的“操作或使用”复位动作之后才能恢复到正常操作状态；

——等级E：EUT在施加骚扰期间，不执行其预先设计的一项或多项功能，且如果不修理或不替换设备或系统，则不能恢复其正常操作状态。

1.

（规范性）

质量及体积比功率试验方法

* 1. 范围

该方法适用于车用质子交换膜燃料电池发动机。

* 1. 试验条件要求

试验条件要求按照GB/T 24554-2022测试条件进行设置。

* 1. 试验方法

B.3.1　额定功率试验

B.3.1.1　试验条件

试验前燃料电池发动机的状态为热机状态，试验过程应自动进行，不能有人工干预。

B.3.1.2　试验方法

燃料电池发动机额定功率测试按以下试验方法进行：

a）燃料电池发动机热机过程结束后，回到怠速状态运行10 s；

b）测试平台按照规定的加载方式进行加载，加载到额定功率后持续稳定运行60 min，在稳定运行60 min内，燃料电池发动机输出功率应始终处于60 min平均功率的97%~103%之间；其单电池平均电压应不低于0.60 V，计算方式为60 min燃料电池堆的平均电压/单电池节数，采样频率不低于5 Hz。

c）以燃料电池发动机输出的60 min运行功率的平均值作为燃料电池发动机的额定功率测量值PF（以kW为单位），额定功率测量值取小数点后2位有效数字（采用四舍五入的方法），额定功率标称值为额定功率测量值的整数部分。

注1：单电池节数采用双极板数减1的方式计算，包括空电池。

B.3.1.3　试验过程中测量记录的数据

试验中记录的数据：燃料电池发动机的电压、电流；辅助系统的电压、电流。

B.3.2　质量测试

B.3.2.1　试验条件

测量燃料电池发动机质量要求：尽可能保证被测系统完整性的原则，确保能够实现燃料电池发动机各项性能和功能，且与装车状态一致。称重范围包括燃料电池发动机边界内的所有部分，单位kg，具体包括：

1. 燃料电池模块，包括燃料电池堆，集成外壳、轧带、固定螺杆、CVM等；
2. 氢气供应系统，包括氢气循环泵/或氢气引射器、氢气喷射器等；
3. 空气供应系统，包括空气压缩机、中冷器、增湿器等，不包括空气滤清器及消音装置；
4. 水热管路系统，包括冷却泵、去离子器、PTC等，不包括辅助散热组件、散热器总成、水箱、冷却液及加湿用水；
5. 控制系统：包括控制器、DC/DC、传感器等；
6. 组成燃料电池发动机所必需的阀件、管路、线束、接头和框架等。

B.3.2.2　试验过程中测量记录的数据

试验中测量的数据：燃料电池发动机质量。

B.3.3　体积测试

B.3.3.1　试验条件

燃料电池发动机应结构完整、能够实现各项性能和功能，且与装车状态一致，在连接氢气源和散热器的条件下即可正常工作。

1. 燃料电池发动机应包含下表规定的部件。

表B.1　燃料电池发动机包含部件

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 燃料电池模块 | 空气供应系统 | 氢气供应系统 | 水热管理系统 | 控制系统 | 其他部件 |
| 燃料电池堆 集成外壳 、 轧带、固定螺杆、CVM等 | 空气压缩机、中冷器、增湿器等 | 氢气循环泵/或氢气引射器、氢气喷射器等 | 冷却泵、去离子器PTC等 | 控制器、DC/DC、传感器等 | 组成燃料电池发动机所必需的阀件管路、线束、接头和框架等 |

b）下列部件可不计入体积测量范围：

空气滤清器、消音装置、辅助散热组件、散热器总成、水箱、冷却液及加湿用水、尾排管路、外接散热器连接的冷却管路外接高压电缆。所带部件如与a）和本项规定有不同之处，应在试验报告中加以说明。

B.3.3.2　排水法测试

a）将燃料电池发动机按装车状态放置，测量发动机的最大长、宽、高尺寸；

b）密封发动机的空气侧进口和出口、氢气侧的进口和出口、主水路的补水口和排气口、辅助水路的进水口和出水口；高、低压线束及其插件做好防水处理；

c）准备一个可满足发动机体积测试大小的水箱，向水箱加水（此高度需大于发动机高度），测量此时水箱的内长、内宽以及液面高度；

d）把发动机放置于水箱中，直至水面没过发动机最高点至少10 mm，此过程中不允许水溢出水箱。测量此时水箱的液面高度。

B.3.3.3　三坐标法测试

a）将燃料电池发动机按装车姿态装夹在三坐标测试台，调整好检测起始位置；

b）启动三坐标测量仪，根据制造商的规定编写测量程序，设置检测参数；

c）按测量程序进行自动检测，记录被测件的排水体积及轮廓体积。

B.3.3.4　计算方法

VP =a×b×(C2- C1)×10-6⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅（B.1）

式中：

VP——燃料电池发动机排水体积，单位为升（L）；

a——水箱内长，单位为毫米（mm）；

b——水箱内宽，单位为毫米（mm）；

C1——测试前液面高度，单位为毫米（mm）；

C2——测试后液面高度，单位为毫米（mm）。

VL =L×W×H×10-6⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅（B.2）

式中：

VL——燃料电池发动机轮廓体积，单位为升（L）；

L——燃料电池发动机最大长度，单位为毫米（mm）；

W——燃料电池发动机最大宽度，单位为毫米（mm）；

H——燃料电池发动机最大高度，单位为毫米（mm）。

B.3.3.5　试验过程中测量记录的数据

试验中测量的数据：燃料电池发动机排水体积、燃料电池发动机轮廓体积。

* 1. 计算方法

B.4.1　燃料电池发动机功率

如果燃料电池发动机的电压和电流直接测量得到，则燃料电池发动机功率按下式计算：

PF=UF×IF /1000⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅（B.3）

式中：

PF ——燃料电池发动机功率，单位为千瓦（kW）；

UF ——燃料电池发动机电压，单位为伏特（V）；

IF ——燃料电池发动机电流，单位为安培（A）。

如果燃料电池发动机的功率由燃料电池堆功率和辅助系统功率相减得到，那么燃料电池发动机功率按照下式计算：

𝑃F=𝑃S−𝑃AE⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅（B.4）

式中：

PF ——燃料电池发动机功率，单位为千瓦（kW）；

PS ——燃料电池堆功率，单位为千瓦（kW）；

𝑃AE——辅助系统功率，单位为千瓦（kW）。

注：辅助系统功率包括空压机、水泵、氢循环泵、控制器等部件所消耗的功率，散热器风扇的功率不计入辅助系统功率内。

B.4.2　燃料电池发动机质量功率密度

燃料电池发动机质量功率密度按照下式计算，单位为kW/kg。

MPF=PF/m⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅ (B.5）

式中：

MPF——燃料电池质量功率密度，单位为千瓦每千克（kW/kg）；

PF ——燃料电池发动机额定功率，单位为千瓦（kW）；

m——燃料电池发动机质量，单位为千克（kg）。

B.4.3　燃料电池发动机体积功率密度

燃料电池发动机体积功率密度按照下式计算，单位为kW/L。

VPF =PF/VP ⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅ (B.6）

式中：

VPF——燃料电池体积功率密度，单位为千瓦每千克（kW/L）；

PF——燃料电池发动机额定功率，单位为千瓦（kW）；

VP——燃料电池发动机排水体积，单位为升（L）。

B.4.4　排水体积占轮廓体积比

燃料电池发动机排水体积占轮廓体积比按照下式计算。

⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅ (B.7）

式中：

NV——燃料电池发动机排水体积占轮廓体积比；

VP——燃料电池发动机排水体积，单位为升（L）；

VL——燃料电池发动机轮廓体积，单位为升（L）。

1.

（规范性）

燃料电池发动机低温启动能力

* 1. 范围

该方法适用于车用质子交换膜燃料电池发动机。

* 1. 试验条件要求

a）参考GB/T 24554-2022中规定的试验方法进行，燃料电池发动机冷却液加注完成后，在试验期间不对燃料电池发动机进行任何操作；

b）将环境舱的温度设置到规定的温度值，环境舱的温度应控制在设定温度的±2 ℃内，环境舱温度达到规定温度以后开始计时，浸机12 h以上。

c）试验期间，氢气路取气为外管路取气，空气路取气为环境舱低温取气。

* 1. 试验方法

C.3.1 低温启动及运行试验

参考GB/T 24554-2022中8.1.2项规定的试验方法进行。

C.3.2 计算方法

C.3.2.1 氢气消耗能量

⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅（C.1）

式中：

——氢气消耗能量，单位为千瓦时（kWh）；

t1——燃料电池发动机接受到启动指令的时间，单位为秒（s）；

t2——燃料电池发动机到达怠速功率的时间，单位为秒（s）；

——氢气流量，单位为克每秒（g/s）；

——氢气低热值，1.2105 kJ/kg；

——燃料电池发动机低温启动至怠速状态这段时间内的净输出功率，单位为千瓦（kW）。

C.3.2.2 低温启动过程能耗

⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅（C.2）

式中：

——燃料电池发动机低温启动到怠速的过程能耗，单位为千瓦时（kWh）；

t1——燃料电池发动机接受到启动指令的时间，单位为秒（s）；

t2——燃料电池发动机到达怠速功率的时间，单位为秒（s）；

——氢气消耗能量，单位为千瓦时（kWh）；

——燃料电池发动机外部供电功率，单位为千瓦（kW）。

C.3.2.2 单位功率的低温启动过程能耗

/PF⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅（C.3）

式中：

——单位功率的低温启动过程能耗，单位为千瓦时（kWh/kW）；

PF——燃料电池发动机额定功率，单位为千瓦（kW）。

1.

（规范性）

高温高原运行试验方法

* 1. 范围

该方法适用于车用质子交换膜燃料电池发动机。

* 1. 试验条件要求

试验条件要求按照GB/T 24554-2022测试条件进行设置。

* 1. 试验方法

D.3.1　高温运行试验

D.3.1.1　试验条件

试验前燃料电池发动机置于环境舱中，将环境舱的温度设定为45.0 ℃，按照GB/T 24554的浸机方法进行浸机处理。试验过程应自动进行，不应有人工干预。

D.3.1.2　试验方法

燃料电池发动机高温运行测试按以下试验方法进行：

a）预处理过程结束后，按照制造商建议的起动操作步骤，测试平台按照规定的启动方式向燃料电池发动机发送起动指令，起动燃料电池发动机；

b）测试平台按照规定的加载方式进行加载，加载到制造商规定的高温条件下的基准电流且以该电流持续运行60min（水温按照系统供应商规定的最高水温进行控制），燃料电池发动机在该电流下的输出功率应始终处于60 min平均功率的97%~103%之间，采样频率不低于5 Hz。

c）以燃料电池发动机输出的60 min运行功率的平均值作为燃料电池发动机高温运行时基准电流下的功率测量值PT（以kW为单位），功率测量值取小数点后2位有效数字（采用四舍五入的方法）。

注1：单电池节数采用双极板数减1的方式计算，包括空电池。

D.3.1.3　试验过程中测量记录的数据

试验中测量的数据：燃料电池堆(或燃料电池发动机)的电压、燃料电池堆(或燃料电池发动机)的电流、辅助系统的电压、辅助系统的电流、氢气的消耗量。

D.3.2　高原运行试验

D.3.2.1　试验条件

试验前燃料电池发动机置于环境舱中, 使用环境舱模拟高海拔地区的气压条件（可选择采用空气路负压模拟），将环境舱的海拔高度设定为2000 m（温度：RT-13.0℃，大气压力：79.5kPa），尾排压力与进口保持一致。试验前燃料电池发动机的状态为热机状态，试验过程应自动进行，不能有人工干预。

D.3.2.2　试验方法

燃料电池发动机高原运行测试按以下试验方法进行：

a）预处理过程结束后，按照制造商建议的起动操作步骤，测试平台按照规定的启动方式向燃料电池发动机发送起动指令，起动燃料电池发动机；

b）测试平台按照规定的加载方式进行加载，加载到制造商规定的高原条件下的基准电流且以该电流持续运行60min，燃料电池发动机在该电流下的输出功率应始终处于60 min平均功率的97%~103%之间，采样频率不低于5 Hz。

c）以燃料电池发动机输出的60 min运行功率的平均值作为燃料电池发动机高原运行时基准电流下的功率测量值PP（以kW为单位），功率测量值取小数点后2位有效数字（采用四舍五入的方法）。

注1：单电池节数采用双极板数减1的方式计算，包括空电池。

D.3.2.3　试验过程中测量记录的数据

试验中测量的数据：燃料电池堆(或燃料电池发动机)的电压、燃料电池堆(或燃料电池发动机)的电流、辅助系统的电压、辅助系统的电流、氢气的消耗量。

* 1. 计算方法

D.4.1　高温运行基准电流下的功率衰减

⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅（D.1）

式中：

PF ——燃料电池发动机额定功率，单位为千瓦（kW）；

PT ——燃料电池发动机高温运行基准电流下的功率，单位为千瓦（kW）；

——燃料电池发动机高温运行基准电流下的功率衰减，单位为百分比（%）。

D.4.2　高原运行基准电流下的功率衰减

⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅（D.2）

式中：

PF ——燃料电池发动机额定功率，单位为千瓦（kW）；

PP ——燃料电池发动机高原运行基准电流下的功率，单位为千瓦（kW）；

——燃料电池发动机高原运行基准电流下的功率衰减，单位为百分比（%）。

D.4.3　高原运行基准电流下的系统效率

燃料电池发动机效率按下式计算：

 ⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅（D.3）

式中：

PP ——燃料电池发动机高原运行基准电流下的功率，单位为千瓦（kW）；

——燃料电池发动机效率（%）；

——氢气流量，单位为克每秒（g/s）；

——氢低热值，1.2105 kJ/kg。

1.

（规范性）

噪声试验方法

* 1. 范围

该方法适用于车用质子交换膜燃料电池发动机。

* 1. 试验条件要求

E.2.1　基准体试验条件

噪声测试时，燃料电池发动机应模拟整车运行状态（包括布置、连接），同时噪音测试过程中，燃料电池系统可增加进气消音器、排气消音器、降噪包裹材料等能在整车上实施的降噪措施，具体的降噪措施需要在噪音测试报告中体现说明。

E.2.2　测量仪器

测量仪器应使用GB/T 3785.1-2023规定的Ⅰ型或Ⅱ型以上的声级计，以及精度相当的其他测试仪器。每次测量前后，需用精度优于±0.5 dB的声级校准器对测试仪器进行校准。若测量前后的两次校准值相差超过1 dB，则测量无效。

E.2.3　测量距离

噪声测量时，应先确定基准体和测量距离以确定测量表面并布置传声器位置。测量距离优先选择1 m，d至少为0.1 m。测量表面与墙面和天花板的距离应大于或等于0.5 m，传声器的位置布置典型示例如图E.1所示。



图E.1　基准体、测量表面和传声器位置

注：

d——测量距离

○——传感器位置

RP1~RP4——反射面

E.2.4　测试室吸声及背景噪声

墙面和天花板经过均匀的吸声处理，在所用频率范围内，在平面波阻抗管中测得的吸声系数应≥0.99，地面应由坚硬光滑的平面构成，其垂直吸声系数在所用频率范围内不大于0.06。在测量表面上所有传声器位置和测试频率范围内的每个频段，背景噪声级应比被测声源工作时的声压级至少低10 dB。

* 1. 试验方法

E.3.1　试验样品状态

a）测试对象为燃料电池发动机，包含燃料电池空压机等附件，不包含燃料电池散热系统；

b）噪声测量前，燃料电池发动机按GB/T 24554-2022 7.4规定的方法进行热机，使燃料电池发动机处于热机状态，试验过程应自动进行，不能有人工干预。

E.3.2　试验方法

燃料电池发动机噪声测试按以下试验方法进行：

a）按照制造商建议的起动操作步骤起动燃料电池发动机；

b）燃料电池发动机起动后，在怠速状态下持续稳定运行10 min；

c）然后按照规定的加载方法进行加载，加载到燃料电池发动机额定功率，持续稳定运行10 min；

e）按照制造商规定的关机操作步骤关闭燃料电池发动机，待发动机达到待机状态，试验测试完毕。

E.3.3　数据记录

噪声试验过程中尽量避免暂停或中断，记录燃料电池发动机在怠速状态、额定功率过程中的噪声最大值。

时间平均声压级的测量时间间隔至少10 s，最好20 s或更长，试验结果为3组有效数据的算数平均值，单位为dB（A）。应比较同一试验工况下的数据，确保任意2组之间的总声压级有效值差异不能大于1 dB（A），否则数据无效并重新测量，直至3组数据中任意2组之间的总声压级有效值差异小于1 dB（A）。

1.

（规范性）

可靠性故障试验和评分方法

* 1. 范围

该方法适用于车用质子交换膜燃料电池发动机。

* 1. 试验条件要求

测量燃料电池发动机要求：尽可能保证被测系统完整性的原则，确保能够实现燃料电池发动机各项性能和功能，在外接氢源和起动电源条件下能够正常工作，且与装车状态一致。试验样本数量可根据制造商要求选择1-3台燃料电池发动机进行试验。

* 1. 测试方法

燃料电池发动机可靠性故障测试工况可根据制造商应用场景自行选择，或者参考GB/Z 44116-2024 5.2规定的试验方法进行测试，累积运行时长不低于500 h。

试验方法如下：

1. 试验准备阶段按照GB/Z 44116-2024 5.2.1.1规定进行测试；
2. 按照GB/Z 44116-2024 5.2.1.2的规定进行循环工况加载，加载工况见图F.1和表F.1；
3. 单个循环历时30 min，共进行1000个循环，运行持续时间500 h，并记录数据。



图F.1 燃料电池发动机耐久性循环工况曲线

表F.1 燃料电池发动机耐久性循环工况数据

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 步骤 | 加载功率kW | 持续时间s | 开始时刻s | 结束时刻s |
| 1 | 10%PE | 170 | 0 | 170 |
| 2 | 10%PE~30%PE | 2 | 170 | 172 |
| 3 | 30%PE | 137 | 172 | 309 |
| 4 | 30%PE~40%PE | 1 | 309 | 310 |
| 5 | 40%PE | 59 | 310 | 369 |
| 6 | 40%PE~50%PE | 1 | 369 | 370 |
| 7 | 50%PE | 59 | 370 | 429 |
| 8 | 50%PE~60%PE | 1 | 429 | 430 |
| 9 | 60%PE | 77 | 430 | 507 |
| 10 | 60%PE~30%PE | 3 | 507 | 510 |
| 11 | 30%PE | 40 | 510 | 550 |
| 12 | 30%PE~50%PE | 2 | 550 | 552 |
| 13 | 50%PE | 58 | 552 | 610 |
| 14 | 50%PE~60%PE | 1 | 610 | 611 |
| 15 | 60%PE | 87 | 611 | 698 |
| 16 | 60%PE~30%PE | 3 | 698 | 701 |
| 17 | 30%PE | 39 | 701 | 740 |
| 18 | 30%PE~60%PE | 3 | 740 | 743 |
| 19 | 60%PE | 67 | 743 | 810 |
| 20 | 60%PE~30%PE | 3 | 810 | 813 |
| 21 | 30%PE | 154 | 813 | 967 |
| 22 | 30%PE~80%PE | 5 | 967 | 972 |
| 23 | 80%PE | 78 | 972 | 1050 |
| 24 | 80%PE~60%PE | 2 | 1050 | 1052 |
| 25 | 60%PE | 108 | 1052 | 1160 |
| 26 | 60%PE~80%PE | 2 | 1160 | 1162 |
| 27 | 80%PE | 124 | 1162 | 1286 |

表F.1 燃料电池发动机耐久性循环工况数据（续）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 步骤 | 加载功率kW | 持续时间s | 开始时刻s | 结束时刻s |
| 28 | 80%PE~30%PE | 5 | 1286 | 1291 |
| 29 | 30%PE | 37 | 1291 | 1328 |
| 30 | 30%PE~60%PE | 3 | 1328 | 1331 |
| 31 | 60%PE | 56 | 1331 | 1387 |
| 32 | 60%PE~90%PE | 3 | 1387 | 1390 |
| 33 | 90%PE | 129 | 1390 | 1519 |
| 34 | 90%PE~100%PE | 1 | 1519 | 1520 |
| 35 | 100%PE | 251 | 1520 | 1771 |
| 36 | 100%PE~10%PE | 9 | 1771 | 1780 |
| 37 | 10%PE | 20 | 1780 | 1800 |

* 1. 评分方法

燃料电池发动机进行可靠性试验时，测量燃料电池发动机基本性能特征值（包含但不限于氢气进气压力、氢气进气温度、氢气进气流量、空气进气压力、空气进气温度、空气进气流量、尾排气体温度、尾排气体压力、进堆温度、出堆温度、电导率、电堆电流、绝缘电阻等），通过测试设备的设置限制和燃料电池发动机的控制系统等随时进行监测运行数据。

根据危害程度，将其分为致命故障、严重故障、一般故障三类。各类型故障特性描述如表F.2所示。由外围条件（氢气、高低压电、天气环境等）影响的燃料电池发动机停机不计入故障类型，可恢复后继续加载循环。

表F.2　燃料电池发动机的故障分类

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 故障等级 | 故障类型 | 故障特性描述 |
| 1级 | 致命故障 | 燃料电池发动机运行完全中断，无法正常运行启动。发生损坏、起火、失控等情况；危及人身安全、行车安全，或对周围环境造成严重危害；涉及安全的主要零部件功能失效（包括燃料电池堆、系统控制器、氢气循环泵、氢气浓度传感器、电流传感器、氢气调压阀等） |
| 2级 | 严重故障 | 燃料电池发动机通过关机解决故障后可再次运行启动。燃料电池发动机关机非正常关机；涉及运转的主要零部件功能失效（包括空压机、空压机控制器、水泵、电控三通阀、中冷器、增湿器、氢气循环泵、温度传感器、压力传感器、氢气电磁阀、电子节气门等） |
| 3级 | 一般故障 | 某项参数超出规定值，通过降功率或报警措施等方式可解决，不影响燃料电池发动机正常运行（包括冷却液温度、氢空温度、氢空压力、电堆及系统电压、电流、单片电压等） |

表F.3　燃料电池发动机可靠性故障试验评分方法

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 指标名称 | 评价方法 | 得分 |
| 可靠性故障率 | 评价条件：条件①“燃料电池发动机出现致命故障”条件②“燃料电池发动机出现严重故障”条件③“燃料电池发动机出现一般故障”条件④“燃料电池发动机电压衰减率＞10%” | 初始分值100分 |
| 发生条件①或条件④ | -100分/次 |
| 发生条件② | -6分/次 |
| 发生条件③ | -2分/次 |

* 1. 试验数据处理

F.5.1　电压衰减计算

根据所记录的燃料电池发动机可靠性试验前和试验后，额定功率试验中燃料电池发动机的平均单片电压衰减率，按如下公式计算：

⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅ (F.1）

式中：

——电压衰减率；

——可靠性实验前燃料电池发动机平均单片电压；

——可靠性实验后燃料电池发动机平均单片电压。

F.5.2　平均失效前时间（MTTFF）计算

平均首次失效前时间（*MTTFF*）可通过公式（F.2）和公式（F.3）进行计算。

⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅ (F.2）

⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅ (F.3）

式中：

——平均首次失效前时间点估计值，单位为小时（h）；

——无故障工作总时间，单位为小时（h）；

——发生故障燃料电池发动机数量；

——第j个发电系统首次故障时间，单位为小时（h）；

——试验的发动机总数；

——定时截尾时间。

F.5.3　平均失效间隔时间（MTBF）计算

平均失效间隔工作时间（*MTBF*）可通过公式（F.4）和公式（F.5）进行计算。

⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅ (F.4）

⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅ (F.5）

式中：

——平均失效间隔工作时间的点估计值，单位为小时（h）；

——时间内发生的故障总数；

——中止试验发动机数；

——工作总时间，单位为小时（h）；

——第j个发动机中止试验时间，单位为小时（h）。

1.

（规范性）

耐振动特性试验和评分方法

* 1. 范围

该方法适用于车用质子交换膜燃料电池发动机。

* 1. 试验条件要求

测量燃料电池发动机要求：尽可能保证被测系统完整性的原则，确保能够实现燃料电池发动机各项性能和功能，在外接氢源和起动电源条件下能够正常工作，且与装车状态一致。

* 1. 测试方法

试验方法如下：

a）试验前，对燃料电池发动机进行气密性测试和绝缘电阻测试。

b）试验对象参照在车辆的安装位置和GB/T 2423.43-2008的要求，将试验对象安装在振动台。控制点放在台面或按试验要求点设置，形成控制系统回路。

c）如单点控制，则从一个检测点获得；如多点控制，则从多个检测点获得。

d）加速度谱密度示值容差应控制±3 dB，截止容差控制在±5 dB。

e)振动试验台在三个轴向进行，试验从z轴开始，然后是y轴，最后是x轴。试验过程参照GB/T 2423.56-2018，每个轴向的实验时间是21 h。

f)完成以上试验步骤后，在试验环境温度下观察2 h，进行气密性测试和绝缘电阻测试，检查燃料电池发动机是否能够正常启动。

试验参照表G.1和图G.1进行。

表G.1　燃料电池发动机振动测试条件

|  |
| --- |
| 随机振动（每个方向测试时间为21 h） |
| 频率（Hz） | z轴功率谱密度（PSD）（g2/Hz） | y轴功率谱密度（PSD）（g2/Hz） | x轴功率谱密度（PSD）（g2/Hz） |
| 5 | 0.05 | 0.04 | 0.0125 |
| 10 | 0.06 | -- | 0.03 |
| 20 | 0.06 | 0.04 | 0.03 |
| 200 | 0.0008 | 0.0008 | 0.00025 |
| RMS | z轴 | y轴 | x轴 |
| 1.44 g | 1.23 g | 0.96 g |



图G.1 燃料电池发动机随机振动测试曲线

* 1. 评分方法

表G.2　燃料电池发动机耐振动试验评分方法

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 指标名称 | 评价方法 | 得分 |
| 耐振动试验 | 评价条件：条件①“燃料电池发动机保持连接可靠、结构完好、无明显变形，绝缘电阻值≥100Ω/V，燃料电池发动机能够正常工作”；条件②“燃料电池发动机振动前后气体压降差值Z≤5 kPa”；条件③“燃料电池发动机振动前后气体压降差值5 kPa＜Z≤10 kPa”；条件④“燃料电池发动机振动前后气体压降差值10 kPa＜Z≤15 kPa”。 | 初始分值100 |
| 不满足条件① | 0 |
| 满足条件①② | 100 |
| 满足条件①③ | 70 |
| 满足条件①④ | 60 |

* 1. 计算方法

采用燃料腔压降法对燃料电池发动机进行气密性测试，燃料电池发动机振动前后气体压降差值见式（G.1）

⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅（G.1）

式中：

Z——燃料电池发动机振动测试前后气体压降差值，单位为千帕（kPa）；

——燃料电池发动机振动测试前气体压降值，单位为千帕（kPa）；

——燃料电池发动机振动测试后气体压降值，单位为千帕（kPa）。

1.

（规范性）

系统效率试验方法

* 1. 范围

该方法适用于车用质子交换膜燃料电池发动机。

* 1. 试验条件要求

试验条件按照GB/T 24554-2022测试条件进行设置。

* 1. 测试方法

H.3.1　额定功率试验

试验方法如下：

a）根据实验要求对燃料电池发动机进行热机过程预处理，试验过程中应自动进行，不能有人工干预；

b）预处理过程结束后，按照制造商建议的起动操作步骤启动燃料电池发动机；

c）测试平台控制器按照制造商建议的方法向燃料电池发动机发送工作指令，同时测试平台按照规定的加载方法进行加载，加载到额定功率点且燃料电池发动机状态稳定后（稳定过程3 min）持续稳定运行60 min。

H.3.2　稳态特性试验

试验方法如下：

a）根据实验要求对燃料电池发动机进行热机过程预处理；

b）在燃料电池发动机工作范围内选择12个工况点，分别是怠速状态、10%PE、20%PE、30%PE、40%PE、50%PE、60%PE、70%PE、80%PE、90%PE、100%PE、峰值功率点；

c）热机过程结束后，回到怠速状态运行10 s；

d）按照规定的加载方法加载到预先确定的工况点，在每个工况点至少持续稳定运行3 min；

e）每个工况点分析数据时间长度不能少于2 min。

H.3.3　试验过程中测量记录的数据

试验中测量的数据：燃料电池发动机的输出电压、电流，氢气消耗量，辅助系统的输出电压、电流。

* 1. 试验数据处理

H.4.1　燃料电池发动机效率

燃料电池发动机效率按下式计算：

 ⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅（H.1）

式中：

*PF*——燃料电池发动机输出功率，单位为千瓦（kW）；

——燃料电池发动机效率（%）；

——氢气流量，单位为克每秒（g/s）；

——氢低热值，1.2105 kJ/kg。

H.4.2　稳态特性试验高效运行工作区间占比



图H.1 燃料电池发动机系统效率示意图

 ⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅⋅ （H.2）

式中：

n——启动至峰值功率燃料电池发动机系统效率在50%以上的高效运行工作区间占比；

P1——燃料电池发动机系统效率高于50%以上的起始输出功率，单位为千瓦（kW）；

P2——燃料电池发动机系统效率低于50%以下的结束输出功率，单位为千瓦（kW）；

P——燃料电池发动机运行的峰值功率，单位为千瓦（kW）。

