团体标准

T/FSS X－2025

|  |
| --- |
|  |

佛山标准 船用高温甲醇燃料电堆模块

Foshan standard High-temperature proton exchange membrane fuel cell module

|  |  |
| --- | --- |
| 2025 - 06 - XX 发布 | 2025 - 06 - XX 实施 |

佛山市佛山标准和卓越绩效管理促进会  发布

|  |  |
| --- | --- |
| ICS | 91.100.25 |
| CCS | Q 31 |

目次

[前言 III](#_Toc201066961)

[引言 IV](#_Toc201066962)

[1 范围 1](#_Toc201066963)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc201066964)

[3 术语和定义 2](#_Toc201066965)

[4 要求 2](#_Toc201066966)

[4.1 通用安全策略 2](#_Toc201066967)

[4.2 设计要求 3](#_Toc201066968)

[4.3 船舶规范要求 7](#_Toc201066969)

[4.4 技术指标要求 8](#_Toc201066970)

[5 试验方法 10](#_Toc201066971)

[5.1 通则 10](#_Toc201066972)

[5.2 外观检查 10](#_Toc201066973)

[5.3 冲击与振动试验 10](#_Toc201066974)

[5.4 气体泄漏试验 10](#_Toc201066975)

[5.5 正常运行试验 10](#_Toc201066976)

[5.6 许可工作压力试验 10](#_Toc201066977)

[5.7 冷却系统耐压试验 11](#_Toc201066978)

[5.8 持续或短时电功率试验 11](#_Toc201066979)

[5.9 过压试验 11](#_Toc201066980)

[5.10 绝缘强度试验 11](#_Toc201066981)

[5.11 绝缘（静态）试验 11](#_Toc201066982)

[5.12 气体内窜试验 11](#_Toc201066983)

[5.13 压差试验 11](#_Toc201066984)

[5.14 可燃气体浓度试验 11](#_Toc201066985)

[5.15 非正常条件试验 12](#_Toc201066986)

[5.16 环境适应性 12](#_Toc201066987)

[5.17 外壳防护试验 13](#_Toc201066988)

[5.18 电磁兼容性试验 13](#_Toc201066989)

[5.19 滞燃试验 13](#_Toc201066990)

[5.20 无石棉检测 14](#_Toc201066991)

[6 检验规则 14](#_Toc201066992)

[6.1 通用规则 14](#_Toc201066993)

[6.2 型式试验规则 14](#_Toc201066994)

[6.3 例行试验规则 14](#_Toc201066995)

[7 标识与操作指南 14](#_Toc201066996)

[7.1 铭牌 14](#_Toc201066997)

[7.2 标识 15](#_Toc201066998)

[7.3 警示标签 15](#_Toc201066999)

[7.4 文件 15](#_Toc201067000)

[8 质量承诺 17](#_Toc201067001)

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这些专利的责任。

本文件由中科嘉鸿（佛山市）新能源科技有限公司提出。

本文件由佛山市佛山标准和卓越绩效管理促进会归口。

本文件起草单位：中科嘉鸿（佛山市）新能源科技有限公司、中国科学院大连化学物理研究所。

本文件主要起草人：孙公权、王素力、杨林林、王子乾、陈曦等。

1. 引言

佛山标准是佛山市为推动制造业高质量发展，打造的系列先进标准。

佛山标准倡导“标准决定质量，只有高标准才有高质量”的理念，坚持“国内领先、国际先进”定位，聚焦佛山制造业重点产业优势产品，对标国内国际先进标准，围绕消费升级方向，提升标准和质量水平，增加优质产品供给，以高标准打造中国制造品质高地,满足人民日益增长的美好生活需要。

佛山标准 船用高温甲醇燃料电堆模块

1. 范围

本文规定了船用高温甲醇燃料电堆模块的术语与符号、要求、试验方法、检验规则和标识、说明和技术文件。

本标准适用于船用高温甲醇燃料电堆模块（以下简称燃料电池模块）。

本标准并不限制或抑制技术进步。如果燃料电池模块材料或结构形式有异于本标准所述，可根据要求目的进行检查和试验，若实质等同，可视为符合本标准。

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；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。

E23 氢燃料电池

GB/T 14536.1 自动电气控制设备 第1部分：通用要求

GB/T 15329 橡胶软管及软管组合件 油基或水基流体适用的织物增强液压型 规范

GB/T 18290 无焊连接

GB/T 20438 电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全

GB/T 2423.1-2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A： 低温

GB/T 2423.2-2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温

GB/T 2423.3-2016 环境试验 第2部分：试验方法 试验Cab：恒定湿热试验

GB/T 2423.4-2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Db 交变湿热（12h＋12h循环）

GB/T 2423.5-2019 环境试验 第2部分：试验方法 试验Ea和导则:冲击

GB/T 2423.101-2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验：倾斜和摇摆

GB/T 2423.10-2019 环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc: 振动(正弦)

GB/T 2423.17-2024 环境试验 第2部分：试验方法 试验Ka：盐雾

GB/T 2423.18-2021 环境试验 第2部分：试验方法 试验Kb：盐雾，交变（氯化钠溶液）

GB 28526-2012 机械电气安全 安全相关电气、电子和可编程电子控制系统的功能安全

GB/T 29838-2013 燃料电池 模块

GB/T 3512 硫化橡胶或热塑性橡胶 热空气加速老化和耐热试验

GB/T 3683 橡胶软管及软管组合件 油基或水基流体适用的钢丝编织增强液压型 规范

GB/T 37765 电子电气产品中石棉的定性检测方法

GB 3836.1 爆炸性环境 第1部分：设备通用要求

GB 3836.14 爆炸性环境 第14部分：场所分类 爆炸性气体环境

GB/T 4208-2017 外壳防护等级（IP代码）

GB 4706.1 家用和类似用途电器的安全 第1部分：通用要求

GB 4943.1 音视频、信息技术和通信技术设备安全要求

GB/T 5169.5-2020 电工电子产品着火危险试验 第5部分：试验火焰 针焰试验方法 装置、确认试验方法和导则

GB/T 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用要求

GB/T 528 硫化橡胶或热塑性橡胶 拉伸应力应变性能的测定

GB/T 5563 橡胶和塑料软管及软管组合件 静液压试验方法

GB/T 7260.4 不间断电源设备 第1-2部分：限制触及区使用的UPS的一般规定和安全要求

GB/T 7826 系统可靠性分析技术 故障模式和影响分析 （FMEA）程序

GB/T 9575 橡胶和塑料软管 软管规格和最大最小内径及切割长度公差

GD019-2024 电气电子产品型式认可试验指南

GD14-2022 船舶应用燃料电池发电装置指南

GD16-2022 船舶应用甲醇乙醇燃料指南

MSA 2022年第2号公告 氢燃料电池动力船舶技术与检验暂行规则

MSA 2023年第9号公告 醇燃料动力船舶技术与检验暂行规则

R001-2024 钢质海船入级规范

R002-2025 材料与焊接规范

1. 术语和定义

GB/T 29838-2013界定的术语和定义适用于本文件。

气体泄漏 gas leakage

除有意排出的废气之外，离开燃料电池模块的气体的总和。

低可燃极限 lower flammability limit（LFL）

燃料-空气混合物中的燃料能被火源点燃的最低浓度。

爆炸性环境 explosive atmosphere

在大气条件下，可燃性物质以气体、蒸汽、粉尘、纤维或飞絮的形式与空气形成的混合物，被点燃后，能够保持燃烧自行传播的环境。

区域 zones

根据爆炸性气体环境出现的频次和持续时间把危险场所分为 0区、1 区和 2 区。

1. 要求
   1. 通用安全策略

由于燃料电池模块中有燃料和其他已经储备能量的储能物质（例如：易燃物质、加压介质、电能、机械能等），燃料电池模块制造商应对所有合理的可预见的危险进行评估，并出具风险分析报告，以确保：

1. 识别燃料电池发电系统寿命期限内所有合理的可预见危险、危险状况和事件；
2. 结合危险发生的可能性和预期严重性对各种危险的风险进行评估；
3. 将评估风险的两个因素（可能性和严重性）消除或减少到不超过可接受的风险级别，通过：
   1. 结构或方法的自身安全设计；
   2. 采用被动控制（如安全隔板、排气阀、热阻断设备等）确保能量安全释放不危及周围环境，或采用安全相关控制功能；
   3. 对1）和2）不能够减少的风险，贴示标签、警告或提供专业训练，在危险区域工作的人员应掌握这些措施。

为保证功能安全，应按以下示例确定设计要求的严重性级别、性能级别或控制功能级别：

* + 符合GB/T 5226.1的应用，同时满足GB 28526;
  + 符合GB 4706.1的应用，同时满足GB/T 14536.1；
  + 其他应用，满足GB/T 20438（所有部分）。
  + 以下标准可以指导失效模式影响分析（FMEA）和故障树分析方法：
  + GB/T 7826；

评估内容应包括所有以下可能风险：

1. 燃料电池堆温度；
2. 燃料电池堆和/或电池电压；
3. 加压部分压力。
4. 此外，下列情况应格外加以注意：
5. 机械危险：锋利表面、绊倒危险、物体移动和不稳，材料强度，压力下的气体或液体；
6. 电气危险：接触带电部件、短路、高电压：
7. EMC危险：燃料电池模块暴露在电磁环境中产生故障或因燃料电池模块电磁释放导致附近其他设备故障；
8. 热危险：高温表面、高温液体或气体排放、热疲劳；
9. 火灾和爆炸危险：易燃气体或液体、正常或非正常运行条件下可能的易爆混合物、故障条件下可能的易爆混合物；
10. 故障危险：因软件、控制电路或保护/安全部件失灵或错误生产或错误运行导致的不安全运行；
11. 材料和物质危险：材料老化、腐蚀、脆化、有毒物质的排放；
12. 废物处理危险：有毒材料处置、回收、易燃气体或液体处置；
13. 环境危险：热/冷、下雨、水淹、风、地震、外部起火、烟雾环境下的不安全操作。
    1. 设计要求
       1. 通用要求

燃料电池模块制造商应根据风险评估进行设计。风险评估应符合IEC 60812和IEC 61508规定。燃料电池模块及 其所有零部件应：

1. 适合于预期使用时的温度、压力、流量、电压及电流范围；
2. 在预期使用中，能耐受燃料电池模块所处环境的各种作用、各种运行过程和其他条件对燃料电池模块的不良影响；
3. 燃料电池模块采用的材料的质量和厚度，配件、终端及各部件集成方法，应在合理寿命时间内，正常安装和使用条件下，结构和运行特性不会发生明显的改变。燃料电池模块所有零部件应能够适应终端用户产品正常使用可能的机械、化学和热力等条件。

如果燃料电池模块带有封装外壳，则外壳防护应根据燃料电池模块的不同使用环境，并按GB 4208的要求选择适当的防护等级并予以标志。当终端设备具有防护外壳时，IP00级也可接受。

1. 除另有规定外，本文件中的气体压力均指表压。
   * 1. 正常和非正常运行条件下行为

燃料电池模块应按照制造商说明书的规定设计，在所有正常运行条件下燃料电池模块不会损坏。非正常运行条件应根据4.1的规定处理。

* + 1. 泄露

根据设计的不同，有可能会产生易燃气体或液体泄漏（试验见5.4）。气体泄漏率应纳入规范文件，以便于燃料电池系统集成商确定通风系统的最小通风能力、吹扫和通风流量要求[见7.4.1r)]。根据4.1，故障模式（渗漏）应作为风险评估内容之一。应根据4.1中给出的相关标准设计“电池电压监控”等措施。

若燃料电池模块不含渗漏保护装置，产品说明书应说明系统集成商必须提供防护设备或操作程序。

1. 危险场所分类见 GB 3836.14。
   * 1. 加压操作

如果燃料电池模块包括气密件和加压件，这些部件应符合国家规定。

应识别可能会对模块外部造成损害的加压操作条件（见4.1）并将信息传达给系统集成商。

1. PEFC（质子交换膜燃料电池模块）不需要特别考虑压力因素。PEFC电堆的尺寸、材料选择和制造规范主要基于满足电堆静态、动态和/或其他运行特性所需的足够强度、刚度和稳定性要求。比如，设计使用同轴力挤压器件，器件在损坏前产生泄漏。
   * 1. 起火和点燃
        1. 通则

应对燃料电池模块采取保护措施（如通风、气体检测等），以确保燃料电池模块内部泄漏或对外泄漏的气体不达到其爆炸浓度。

应由燃料电池模块制造商提供保护措施的设计规范（如要求的通风速率），并在说明书中加以说明，以便燃料电池系统集成制造商采取预防措施，确保安全。

在分级易燃气体环境中的零部件和材料应使用阻燃材料。在切断电力以及燃料和氧化剂后，这种材料应不会继续燃烧。材料阻燃级别V-0、V-1或V-2的选择见GB/T 5169系列标准。

4.1给出的应用标准要求应考虑耐热和防火。燃料电池模块使用的塑料部件应满足5.18规定的滞燃试验要求。

* + - 1. 免除项

通常认为燃料电池电堆内膜或其他材料占燃料电池模块质量不到10%，因其数量有限，因此无火焰蔓延等级要求。如果使用此类材料，产品说明书应有这部分说明以引起系统集成商注意。

如果燃料电池模块内任何易燃混合物可能出现的位置的实际温度高于自燃温度，气体燃料泄漏到氧化剂将立即导致易燃气体的氧化，反之亦然。因此无爆炸性气体浓度累积。

当高温燃料电池的温度低于自燃温度，燃料电池模块应当转换到安全状态（如通过吹扫）。

* + 1. 防护措施
       1. 通则

安全控制系统零件失灵[见4.1c)]应能触发燃料电池模块受控关机。为确保满足要求的防护措施级别（安全完整级别、性能级别或控制功能级别），安全相关设计应与4.1中给出的相关标准一致。

1. 当立即关机危险性更大时，比如燃料电池模块紧急动力系统的气体探测器失灵，可以延迟受控关机，或者允许完成运行循环后再关机。
   * + 1. 限制气体泄漏的保护措施

如果检测和限制气体泄漏的保护措施是模块的一部分，则保护措施停止运行的气体泄漏限值应由模块制造商规定，见7.4.4。

* + 1. 管路和管件配装
       1. 通则

易燃气体运输管路和接头螺纹连接应符合GB/T 30597，所有其他接头应为焊接，或至少在制造商指定密封面上进行匹配的连接。用于燃料气和氧气线的连接件应为磨口连接或法兰接头或者有适应燃料气体密封填充料的压力接头。

管路内部表面应彻底清洗，以除去松散颗粒，管路两端应小心处理，消除杂物、毛刺。

管路材料应满足预期输送的温度、压力的要求，并免于遭受流体介质对管材机械性能劣化的影响。选用柔性管路及相关配件输送气体时，该柔性管路应适用于气体输送。氢气管路应特别考虑，如老化、脆化、微孔等。

1. 以下标准可以指导选材：GB/T 528、GB/T 3512、GB/T 9575、GB/T 5563、GB/T 3683、GB/T 5564以及GB/T 15329。
   * + 1. 非金属管路系统

在下列情况下，可使用塑料和橡胶管材、管路和组件。

非金属管路系统应适应最高运行温度和最高运行压力的共同作用，不应释放出对燃料电池模块有害的物质，并能与使用、维修和保养时所接触的其他材料、化学品相容，应具有足够的机械强度，满足5.6和5.7规定的耐压要求。

必要时应加防护套管或外罩来防止燃料电池模块上的塑料或橡胶管件受到机械损伤。

所有安装有输送易燃气体的塑料或橡胶管件的腔室，都应防止可能的过热。如有这种过热的可能时，应告知燃料电池系统集成制造商这一部位允许的最高温度，以便他们提供一个控制系统，腔室温度应比输送燃料管件所用材料的最低热变形温度下限低10℃以上，否则应切断燃料输入。

用于危险区域（如爆炸性环境）内的塑料或橡胶材料应是能导电的，除非设计上能做到避免静电电荷累积，其应符合GB/T 3836.1的要求。

* + - 1. 金属管路系统

根据5.6和5.7规定的耐压要求，金属管路系统应适应最高运行温度和压力的共同作用，不应析出对燃料电池模块有害的物质，并能与使用、维修和保养时所接触的其他材料、化学品兼容。金属管道系统应具有足够的机械完整性和足够的机械强度。

1. 成型弯管不可因加工成形导致失效并应符合以下要求：
2. 只可用专用折弯设备及工艺制作弯头；
3. 所有弯头光滑，不可产生变形、裂缝或其他明显的机械损伤；
4. 管道纵向焊缝在弯头中轴附近；
5. 弯头内半径不得低于制造商规定的最小半径。
   * 1. 电气元件

电气系统设计和结构，以及电气电子设备应用，包括电机和封装，应满足相关电子产品应用标准。例如：

* + GB 4706.1（例如，民用/商用和轻工业）；
  + GB 5226.1（例如，重工业）；
  + GB 4943.1（例如，电信）；
  + GB 7260.4（例如，UPS）。

应提供技术规范以选择恰当的应用。

燃料电池设计者应考虑燃料电池特定的下列问题：

* + 燃料电池模块剩余电荷；
  + 电池间的能量危险。

告知系统集成商燃料电池电气元件合适的运行环境条件[见7.4.1 i)]：运行和储存的环境温度、湿度范围。

若系统集成商提供电子元件，应告知必要技术规范，以保证安全。

低于易燃气体自燃温度下运行封闭燃料电池模块，不受5.14所述易燃浓度限制。位于封装内的电子元件应符合GB 3836.14规定的危险场所分类要求，使用GB 3836系列标准规定的保护技术。

* + 1. 终端和电气连接

电源连接到外部电路，应符合以下规定：

1. 对外电路供电的电气连接件应满足下述要求：
2. 固定于装置，无松动的可能性；
3. 导体不得滑脱；
4. 正常触碰不会影响导体的使用功能；
5. 正常紧固时不会造成导体的传向、扭曲或永久变形；
6. 导电连接件应有防护措施，不可裸露；
7. 应采取防腐措施，使金属表面不发生腐蚀且相互连接的金属件之间不应发生化学腐蚀；
8. 接线端子和电气连接件应符合电力负荷的要求，母线端子标出正负极。

燃料电池模块终端符合GB/T 18290（所有部分）规定。

* + 1. 带电零部件

制造商的技术文件应根据4.2.8规定的相关应用标准规定，文件中需明确说明：

1. 易接近的非载流金属部件，不与带电部件分开，但符合安全超低电压（SELV）要求的部件除外：
   1. Ⅰ类结构（含PE）的基本绝缘
   2. Ⅱ类结构的增强绝缘；
2. 未达到SELV和满足SELV的带电部件之间不满足增强绝缘要求的易接近部件；
3. 短路时会产生高电流危险的可接近带电部件，以及应预防的意外短路情况；
4. 系统关闭后由于残余电压而存在危险的带电部分；
5. 燃料电池系统集成制造商应采取防止电击措施。
6. 燃料电池系统集成商应有责任保护这些带电部件，以防电击。
   * 1. 绝缘材料及绝缘强度

应根据4.2.8给出的电气设备电压分级应用标准设计燃料电池模块中所有带电部件与非带电金属部件的绝缘。

对如压缩强度等会影响材料机械特性的功能表现，应以高出正常运行最高温度至少20K或者5%（以高者为准）设计，但不得低于80 ℃。

判定应基于材料制造商规定的材料特性。

* + 1. 连接

除了与4.2.8给出的相关标准不同的情况外，以下内容适用。

应连接至等电位点以避免易接触非载流金属部件因漏电导致的电击或者触电危险。

连接应防腐以保证良好的电接触。

导体应设计为防松动和扭曲，并能保持接触压力。

金属部件之间不得有电化学腐蚀。针对使用、存储和运输等情况，通过适当的电镀或涂层工艺达到耐电化学腐蚀。

* + 1. 监控要求

为确保燃料电池模块的安全，宜提供相关参数的监控措施，如：

燃料电池模块温度；

燃料电池模块和/或单电池的电压。

监控点的位置由燃料电池模块制造商规定并向燃料电池系统集成制造商加以说明。

在用其他方式对燃料电池模块提供安全运行保障的情况下，这些方式应具有对温度及电压监控等效的安全保障能力。

* + 1. 冲击与振动

制造商文件应包含燃料电池模块设计所能承受的冲击与振动极限。

* 1. 船舶规范要求
     1. 通则

除本文件中4.1～4.2的要求外，用于船舶的燃料电池模块应符合《钢质海船入级规范》第三篇、第四篇以及第七篇的相关要求，同时符合《船舶应用燃料电池发电装置指南》的相关要求。

燃料涉氢的燃料电池模块应符合《氢燃料电池动力船舶技术与检验暂行规则》相关要求，燃料涉醇类的燃料电池模块应符合《船舶应用甲醇乙醇燃料指南》以及《醇燃料动力船舶技术与检验暂行规则》相关要求。

涉及焊接工艺的燃料电池模块，其焊接材料与工艺应符合《材料与焊接规范》的相关要求。

* + 1. 入级要求

燃料电池模块入级应符合《钢质海船入级规范》第一篇以及《E23 氢燃料电池》的相关要求。

* 1. 技术指标要求
     1. 通则

制造商应按照GD019-2024中1.3的应用环境分类与型式认可试验项以及《E23 氢燃料电池》中第7章的型式试验项，确认燃料电池模块的适用环境以及型式试验项，对于适用的型式试验项，其技术指标应满足4.4.2～4.4.15的相关要求。

* + 1. 气密性要求

制造商应按照本文件的测试方法 [气体泄漏试验（5.4）与气体内窜试验（5.12）]对燃料电池模块进行气密性测试，结果应满足制造商在技术文件中对泄漏速率的要求，其中气体泄漏速率不得高于10mL/min @ 30kPa（氮气），气体内窜速率不得高于5mL/min@10kPa（氮气）；

对于含封装外壳且设有集中安全通风系统和吹扫程序的燃料电池模块，应按照本文件的测试方法进行可燃气体浓度试验（5.13），通风出口可燃物浓度应低于LFL的25%。

* + 1. 压力耐受要求

制造商应按照本文件的测试方法[许可工作压力试验（5.6）冷却系统耐压试验（5.7）过压试验（5.9）和压差试验（5.13）]进行耐压试验，燃料电池模块及其零部件不应出现开裂、永久变形或其他物理损伤。

* + 1. 绝缘性能要求

燃料电池模块中带电部分和不带电的导电部分之间的所有绝缘结构设计，都应符合电气绝缘结构有关标准的相应要求。影响结构件功能的材料的机械特性（如抗拉强度）应得到保证，当其所在部位温度比正常运行温度的最高值还高20℃（但不应低于80℃）时，仍应符合设计要求。

制造商应按照本文件的测试方法[绝缘强度试验（5.10）与绝缘（静态）试验（5.11）]进行绝缘试验，燃料电池模块在加注冷却液且冷却液处于冷态不循环状态下，正负极对地绝缘电阻值不应低于100 MΩ，如果在绝缘试验中不能满足要求，则应停止后续试验，且应向系统集成商提供试验数据，由系统集成商采取减少危险的措施。

* + 1. 非正常条件运行要求

各种非正常条件下燃料电池，模块的故障模式[正常条件试验（5.15）]不应对人造成危险或者对燃料电池模块外部造成损害。针对非正常条件的防护，可通过燃料电池模块保护控制或通过终端应用的防护机制实现。其中，燃料电池模块应能在额定运行状态下承受冷却中断至少30s而不出现危险。

* + 1. 性能要求

燃料电池模块按制造商规定的工作条件运行时，其运行参数[正常运行试验（5.5）]不应偏离制造商在技术文件中规定的范围。

燃料电池模块应按照本文件的测试方法进行持续或短时电功率试验（5.12），燃料电池模块应能在制造商标称的峰值功率或峰值电流下连续运行至少5分钟，燃料电池模块不应出现开裂、永久变形或其他物理损伤。

* + 1. 冲击与振动

燃料电池模块应按制造商提供的冲击及振动条件进行冲击与振动试验（5.3）,在试验过程中燃料电池模块应无异常和受损现象，试验后应能正常工作。

其中燃料电池模块应能适应GD019-2024中表2.7.3（2）规定的一般振动条件（2 Hz～100 Hz，0.7g加速度）。

* + 1. 倾斜和摇摆要求

燃料电池模块应按照本文件的测试方法进行倾斜和摇摆试验（5.16.1），在试验进行过程中和试验后，燃料电池模块均应能正常工作，且无异常和受损现象。

* + 1. 高低温环境要求

燃料电池模块应按制造商提供的适用温度条件进行高温试验（5.16.2）与低温试验（5.16.3），在试验进行过程中和试验后，燃料电池模块均应能正常工作，且无异常和受损现象。

其中燃料电池模块最低允许工作环境温度应不高于5℃，最高允许工作环境温度应不低于70℃。

* + 1. 湿热环境要求

燃料电池模块应按制造商提供的适用湿热条件进行交变湿热试验（5.16.4）与恒定湿热试验（5.16.5），在试验进行过程中和试验后，燃料电池模块均应能正常工作，且无异常和受损现象。

其中燃料电池模块应能在22℃～57℃、80%～100%相对湿度的交变湿热环境下正常工作。

对于适用于恒定湿热试验的燃料电池模块，应能在不低于42℃、96%相对湿度的恒定湿热环境下正常工作。

* + 1. 盐雾环境要求

对于放置在甲板上的燃料电池模块，应进行盐雾Ka试验（5.16.6）与盐雾Kb（5.16.7）试验，试验后燃料电池模块应能正常工作且不产生腐蚀损坏。

* + 1. 外壳防护要求

燃料电池模块应配置气密防水外壳，如无特殊要求，燃料电池模块外壳防护等级应达到IP67，试验时应按照本文件的测试方法进行外壳防护试验（5.17）。

* + 1. 电磁兼容性要求

燃料电池模块在额定工作状态下所产生的电磁信号[电磁兼容性试验（5.18）]不应超过适用场景所规定的限值。

燃料电池模块在额定工作状态下应能承受适用场景所规定的各类电磁信号[电磁兼容性试验（5.18）]。

* + 1. 滞燃要求

不满足4.2.5.2免除项要求的塑料部件应进行滞燃试验（5.19），其在规定的火焰下应具备滞燃与自灭特性。

* + 1. 无石棉要求

燃料电池模块禁止使用含石棉的材料，对于高石棉风险材料，应进行无石棉检测（5.20），并出具无石棉检测报告。

1. 试验方法
   1. 通则

除非另有规定，燃料电池模块宜在如下所述的环境条件下进行试验：

1. 气压：80 kPa～106 kPa；
2. 环境温度：15℃～35℃；
3. 环境相对湿度：30%～90%。
   1. 外观检查

外观检查的内容如下：

1. 标签/铭牌检查：标签/铭牌是否按要求粘贴在设计位置，标签/铭牌的内容是否完整，清晰，在燃料电池模块表面是否有正负极标识，在燃料电池模块接口处是否有管路介质标识；
2. 外观检查：采用目测法检查被试样品的外观是否完好，有无损坏、划伤等缺陷；
3. 极性检查：对接线端子和电气连接进行检验，确认是否符合要求；在进行5.5正常运行试验时用电压表检查样品接线端子极性。
   1. 冲击与振动试验
      1. 通则

燃料电池模块应符合制造商文件中规定的冲击和振动测试极限，制造商在规定允许值的同时，也应规定试验的严苛条件和试验方法。若制造商没有规定冲击和振动限制，则按照实际应用场景相关标准规定的方法进行振动和冲击试验。

进行冲击与振动试验时，应根据实际使用情况设置防护措施。

* + 1. 振动试验

燃料电池模块应按照GB/T 2423.10-2019规定的方法进行振动试验，试验参数应符合GD019-2024中2.7的要求，其中一般振动条件试验的起始频率应为2Hz。

* + 1. 冲击试验

燃料电池模块应按照GB/T 2423.5-2019规定的方法进行冲击试验。

* 1. 气体泄漏试验

燃料电池模块应按照GB/T 29838-2013中5.3规定的方法进行气体泄漏试验。

室温下，试验压力不得低于30 kPa。

* 1. 正常运行试验

燃料电池模块应按照GB/T 29838-2013中5.4规定的方法进行正常运行试验。

* 1. 许可工作压力试验

燃料电池模块应按照GB/T 29838-2013中5.5规定的方法进行许可工作压力试验。

室温下，试验压力不得低于45 kPa。

* 1. 冷却系统耐压试验

燃料电池模块应按照GB/T 29838-2013中5.6规定的方法进行冷却系统耐压试验。

室温下，试验压力不得低于60 kPa。

* 1. 持续或短时电功率试验

燃料电池模块应按照GB/T 29838-2013中5.7规定的方法进行持续或短时电功率试验。

试验时，燃料电池模块功率或电压不得低于制造商标称的峰值功率或峰值电流，测试时间不得低于5分钟。

* 1. 过压试验

燃料电池模块应按照GB/T 29838-2013中5.8规定的方法进行过压试验。

* 1. 绝缘强度试验

燃料电池模块应按照GB/T 29838-2013中5.9规定的方法进行绝缘强度试验。试验电压不低于1000 VAC或1500 VDC。

* 1. 绝缘（静态）试验

燃料电池模块应按照GB/T 29838-2013中5.10规定的方法进行绝缘（静态）试验。

* 1. 气体内窜试验

该试验应在按照制造商规定的方法停机后，于室温下静置1 h后进行。

试验时，将燃料电池模块的阳极腔出口、阴极腔进口以及冷却液腔进出口全部封住。在阴极腔的出气口接上流量计，由阳极腔的进气口通入氮气，缓慢调整压力至允许最大工作压力差（不低于10 kPa），试验过程中入口压力应稳定不变，稳定1 min后，在流量计上读取氮气向阴极腔的窜气速率，对应氢气窜气速率按照公式（1）进行计算：

(1)

式中：

*X*1 ——阳极腔向阴极腔的氢气窜气速度，单位为毫升每分钟（mL/min）；

R ——同GB/T 29838-2013中5.3的修正系数R；

*L*1 ——阳极腔向阴极腔的氮气窜气速度，单位为毫升每分钟（mL/min）。

计算所得的窜气速率乘以1.5，不得大于7.4.1中e) 的规定值。

* 1. 压差试验

燃料电池模块应按照GB/T 29838-2013中5.11规定的方法进行压差试验。

室温下，试验压差不得低于30 kPa。

* 1. 可燃气体浓度试验

燃料电池模块应按照GB/T 29838-2013中5.14规定的方法进行可燃气体浓度试验。

* 1. 非正常条件试验
     1. 通则

本试验用于验证可预见的非正常运行条件不会导致危险结果或燃料电池模块的外部损害。如无特殊要求，存在破坏性的试验应在正常试验之后进行，也可用能够发生典型反应的燃料电池子模块进行试验，应根据试验破坏性或危险递增程度来安排试验顺序。

非正常条件试验期间，应记录试验品的最高表面温度，如果比正常条件下获得的温度高，应提供给终端产品制造商。

5.15.2～5.15.9列出的各种非正常条件下燃料电池模块的故障模式不应对人造成危险或者对燃料电池模块外部造成损害。针对非正常条件的防护，可通过燃料电池模块保护控制或通过终端应用的防护机制。后者需为集成商提供警示及需要的保护形式说明。如果试验样品在非正常条件试验中受损，应使用通过5.4试验的样品进行后续试验。

若燃料电池模块因性能衰减（非安全相关控制功能）关机，应重复试验。

* + 1. 燃料匮乏试验

燃料电池模块应按照GB/T 29838-2013中5.15.2规定的方法进行燃料匮乏试验。

* + 1. 氧气/氧化剂匮乏试验

燃料电池模块应按照GB/T 29838-2013中5.15.3规定的方法进行氧气/氧化剂匮乏试验。

* + 1. 短路试验

燃料电池模块应按照GB/T 29838-2013中5.15.4规定的方法进行短路试验。

* + 1. 缺乏冷却/冷却受损试验

燃料电池模块应按照GB/T 29838-2013中5.15.5规定的方法进行乏冷却/冷却受损试验。

冷却中断/受限试验时间不应低于30s。

* + 1. 泄漏检测系统试验

燃料电池模块应按照GB/T 29838-2013中5.15.6规定的方法进行泄漏检测系统试验。

* + 1. 冷冻/解冻循环试验

燃料电池模块应按照GB/T 29838-2013中5.15.7规定的方法进行冷冻/解冻循环试验。

* + 1. 能源波动试验

如无特殊要求，燃料电池模块应按照GD019-2024中2.4规定的方法进行能源故障试验。

当试验过程中燃料电池模块存在安全风险时，可以在燃料管中通空气或者氮气进行空载运转。

* + 1. 能源故障试验

如无特殊要求，燃料电池模块应按照GD019-2024中2.5规定的方法进行能源故障试验。

当试验过程中燃料电池模块存在安全风险时，可以在燃料管中通空气或者氮气进行空载运转。

* 1. 环境适应性
     1. 倾斜和摇摆试验

对于应用于船舶的燃料电池模块，应按照GB/T 2423.101-2008规定的方法进行倾斜和摇摆试验，试验参数应符合GD019-2024中2.6的要求。

* + 1. 高温试验

燃料电池模块应按照GB/T 2423.2-2008规定的方法进行高温试验，试验参数应符合GD019-2024中2.8的要求。

当试验过程中燃料电池模块存在安全风险时，可以在燃料管中通空气或者氮气进行空载运转。

* + 1. 低温试验

燃料电池模块应按照GB/T 2423.1-2008规定的方法进行低温试验，试验参数应符合GD019-2024中2.9的要求。

当试验过程中燃料电池模块存在安全风险时，可以在燃料管中通空气或者氮气进行空载运转。

* + 1. 交变湿热试验

燃料电池模块应按照GB/T 2423.4-2008规定的方法进行交变湿热试验，试验参数应符合GD019-2024中2.10的要求。

当试验过程中燃料电池模块存在安全风险时，可以在燃料管中通空气或者氮气进行空载运转。

* + 1. 恒定湿热试验

燃料电池模块应按照GB/T 2423.3-2016规定的方法进行恒定湿热试验，试验参数应符合GD019-2024中2.11的要求。

当试验过程中燃料电池模块存在安全风险时，可以在燃料管中通空气或者氮气进行空载运转。

* + 1. 盐雾Kb试验

燃料电池模块应按照GB/T 2423.18-2021规定的方法进行盐雾Kb试验，试验参数应符合GD019-2024中2.12的要求。

* + 1. 盐雾Ka试验

燃料电池模块及部件应按照GB/T 2423.17-2024规定的方法进行盐雾Ka试验，试验参数应符合GD019-2024中2.13的要求。

* 1. 外壳防护试验

燃料电池模块应按照GB/T 4208-2017规定的方法以及供应商标称的外壳防护等级进行外壳防护试验。

* 1. 电磁兼容性试验

燃料电池模块应按照GD019-2024中第3章规定的方法进行电磁兼容性试验。

* 1. 滞燃试验

燃料电池模块塑料部件应按照GB/T 5169.5-2020进行滞燃试验，试验参数应符合GD019-2024中2.16的要求。满足4.2.5.2免除项中要求的部件无需进行该试验。

* 1. 无石棉检测

制造商应提供燃料电池模块内石棉高风险材料的无石棉检测报告或送至第三方检测机构按照GB/T 37765进行石棉含量检测。

1. 检验规则
   1. 通用规则

每台燃料电池发电系统都应经检验合格才能出厂并附有产品合格证。针对不同的产品，检验分为型式试验与例行试验。

* 1. 型式试验规则

凡遇下列情况的产品，应进行型式试验，型式试验样品应不少于两台：

1. 新产品试制或小批试生产；
2. 定期抽试，连续批量生产的产品每年不得少于1次；
3. 设计或工艺的变化足以引起产品的性能改变时；
4. 产品转厂生产或长期停止生产（超过定期抽试期限）后又恢复生产；
5. 上级质量监督部门有要求时。

型式试验包括第5章规定的各项试验。

* 1. 例行试验规则
     1. 概述

对于在型式试验有效期内正常生产的每台产品，可仅进行产品的例行试验。例行试验的项目包括气密性试验、绝缘强度试验与正常运行试验。

* + 1. 气密性试验

按本文件5.4与5.12的规定进行燃料电池模块的气密性试验。

* + 1. 绝缘试验

按本文件5.11的规定进行燃料电池模块的绝缘试验。

* + 1. 正常运行试验

按本文件5.5的规定进行燃料电池模块的正常运行试验。

1. 标识与操作指南
   1. 铭牌

铭牌应永久固定在燃料电池模块上，考虑化学腐蚀、热和环境影响，铭牌应持久而易见。铭牌应至少包含如下信息：

1. 制造商名称，或注册商标；
2. 模块 ID；
3. 日期编码或者可追溯到生产日期的序列号；
4. 性能参数；
5. 适用气体种类/浓度。
   1. 标识

应标明互换连接导致的不安全情况。如可行，应标示反极连接和接地。

* 1. 警示标签

根据情况使用如下警示标签：

1. 振动危险；
2. 高温；
3. 易燃气体或液体；
4. 腐蚀性介质；
5. 有毒介质。

高电压需要在燃料电池模块上贴示“优先处理短路”标签。

* 1. 文件
     1. 总则

以图、图表、表格和使用说明的形式提供燃料电池模块所必需的集成、安装、运行和维护信息。

如果燃料电池模块个体之间存在差别，燃料电池模块制造商应提供给系统集成商每个模块的技术文件说明。

对于以上文件，燃料电池模块制造商应选择以下一种方法:

1. 以上所有文件互为参照；或
2. 所有文件编号，制作文件目录。

第1个措施仅适用于文件数量较少的情况（不多于5个）。

以下信息提供给系统集成商：

1. 4.1所述通用安全策略；
2. 燃料和氧化剂类型，可用的燃料和氧化剂种类（气体成分、纯度等）；
3. 燃料和氧化剂气体输送压力（最大压力和最小压力）；
4. 额定功率和最大功率下燃料和氧化剂用量；
5. 气体泄漏率（气腔外漏、冷却液腔外漏、阴阳极内窜）；
6. 可用燃料和氧化剂输送温度；
7. 最高排气温度；
8. 典型排放；
9. 操作、储存环境温度、湿度范围；
10. 海拔范围；
11. 允许冲击和振动等级；
12. 正常运行温度；
13. 最高表面温度；
14. 冷却剂种类；
15. 冷却剂入口出口测量点温度；
16. 冷却剂输送压力和流量范围；
17. 过载电流/过载/过压/欠压和其他保护装置的类型和特点；
18. 吹扫和通风流量要求；
19. 尺寸；
20. 重量；
21. 电力输出额定值（额定电压、额定电流、额定功率、开路电压、满负荷电流电压）；
22. 最大过载；
23. 辅助功率供给（例如电压、频率、功率）；
24. 使用最终产品所需包含的组件；
25. 接地连接位置；
26. 有关寿命终端的其他信息。

考虑回收和处理要求。

* + 1. 安装手册

安装手册中应对燃料电池模块的安装、电连接、燃料连接、氧化剂连接和冷却系统连接给予全面且明确的描述，只要模块中存在上述部分。

1. 安装手册中应包括：
2. 装卸、运输和储存；
3. 准备工作；
4. 方向（上侧和下侧的位置等）；
5. 模块固定方法；
6. 气体和冷却管道连接方法；
7. 电气线路和传感器的连接方法；
8. 一般注意事项和禁止操作；
9. 适当的概览图解；
10. 电路图。
    * 1. 安装图
         1. 总则

安装图应提供建立燃料电池模块的前期工作所有必需的信息。复杂情况下需要提供详细的装配图。

应明确标示现场安装所用的输送配件、电线、软管和管路等的推荐位置和种类。

应对所选防护设备的种类、特性、类别及背景加以说明。

应详细说明提供给用户的管路、托盘或燃料电池模块及相关设备间支持部件的尺寸、类型及作用。

必要时，应有图表说明移出或维修燃料电池模块所需的空间。

此外，在适当情况下应提供接线图或表。该图或表应提供有关的所有外部连接全部信息。

* + - 1. 方块（系统）图与工作原理图

如果需要方便理解模块工作原理，应提供方块（系统）图。方块（系统）图可象征性地表明燃料电池模块与其功能间的相互关系，不必绘出全部连接。

工作原理图可以是方块（系统）图的组成部分或是额外补充。

* + - 1. 电路图

若方块（系统）图不能详细说明燃料电池模块单元的基本细节，应提供不同电路详细图解。这些图表将说明燃料电池模块及其相关设备的电路。若图形符号IEC 60617中没有提及，应单独用图表或支持文件进行说明或描述。该零部件及设备的符号在所有文件和燃料电池模块中应前后一致。

在适当情况下，应提供能看到终端、连接点的图及类似界面图。该图可与电路图结合简化。图中应包含所示每个单元详细电路图。

电路应能够帮助加深理解功能及维修。如果控制装置和组件功能相关特性用符号表达不够明显，应在图旁标注或引用脚注。

* + 1. 操作手册

技术文件应包含操作手册，详细说明燃料电池模块安装和使用步骤。应特别注意安全措施并预估潜在的不当操作。

如燃料电池模块可以编程操作，应提供关于编程方法、所需设备、程序验证和附加安全规程的详细信息。

操作手册应包括：

1. 启动和运行步骤；
2. 操作步骤；
3. 检查频率；
4. 正常和紧急关机程序；
5. 贮存步骤和条件；
6. 一般事项和禁止操作；
7. 适用物理环境信息（例如，工作环境温度范围、振动、噪声、大气污染物）。
   * 1. 维护手册

技术文件应包含维修手册，详细介绍维护、服务、预防性检查和维修的妥善步骤和时间间隔。建议手册中包含维修/服务记录。必须提供正确操作的验证方法（例如，软件测试程序）。

燃料电池零部件制造商应指导妥善处理和回收零件。

* + 1. 部件清单

部件清单最少应含有订购备件或正常运行替换零件和预防性维护或燃料电池模块用户建议进行的故障检修所需的必要信息（例如，组件、设备、软件、测试设备、技术文件）。

1. 质量承诺

用户在遵守产品使用说明书规定的操作条件下，自购买产品之日起，产品质保期12个月。质保期间若因质量问题造成产品故障的，制造商应负责免费维修或更换。

如因操作不当或外部不可抗拒的因素所造成的非质量问题导致产品故障，或超过保修期的，制造商应提供维修服务。

对客户反馈的信息应在24 h内做出响应。

