

中华人民共和国国家标准

GB/T 43691.1—2024

燃料电池模块 第1部分：安全

Fuel cell modules—Part 1: Safety

(IEC 62282-2-100:2020, Fuel cell technologies—Part 2-100: Fuel cell modules—
Safety, MOD)

2024-03-15 发布

2024-10-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 2

3 术语和定义 3

4 要求 7

 4.1 通用安全策略 7

 4.2 设计要求 7

5 型式试验..... 11

 5.1 通则 11

 5.2 冲击和振动试验 12

 5.3 气体泄漏试验 12

 5.4 正常运行试验 13

 5.5 允许工作压力试验 14

 5.6 冷却系统耐压试验 14

 5.7 持续和短时电功率 14

 5.8 过压试验 14

 5.9 耐电压试验 15

 5.10 绝缘试验 15

 5.11 压差试验 16

 5.12 气体泄漏试验(重复) 16

 5.13 正常运行(重复) 16

 5.14 可燃浓度试验 16

 5.15 异常运行条件试验 16

6 例行试验..... 18

 6.1 通则 18

 6.2 气密性试验 18

 6.3 耐电压试验 18

7 标识和说明书..... 18

 7.1 铭牌 18

 7.2 标识 19

 7.3 警示标签 19

 7.4 文件 19

附录 A (资料性) 本文件中处理的重大危险、危险情况和事件 22

附录 B (资料性) 性能及评估试验参考信息 25

 B.1 用工作气体以外的试验气体评估系统泄漏率 25

 B.2 允许工作压力试验“安全系数”的推导(5.5) 27

 B.3 验收试验建议 28

参考文献 30

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。

本文件是 GB/T 43691《燃料电池模块》的第1部分。GB/T 43691 已经发布了以下部分：

——第1部分：安全。

本文件修改采用 IEC 62282-2-100:2020《燃料电池技术 第2-100部分：燃料电池模块 安全》。

本文件与 IEC 62282-2-100:2020 相比做了下述结构调整：

——增加 5.10“绝缘试验”，其后编号顺延；

——删除国际标准附录 C(见 IEC 62282-2-100:2020 附录 C)。

本文件与 IEC 62282-2-100:2020 的技术差异及其原因如下：

——用 GB/T 4208 替换了 IEC 60529，以便于标准使用(见 4.2.1)；

——用 GB/T 5169(所有部分)替换了 IEC 60695(所有部分)，以便于标准使用(见 4.2.5.1)；

——增加引用了 GB/T 5169.11—2017，以便于标准使用(见 4.2.5.1)；

——用 GB/T 5226.1 替换了 IEC 60204-1，以便于标准使用(见 4.1、4.2.8)；

——用 GB/T 16855.1 替换了 ISO 13849-1，以便于标准使用(见 4.1)；

——用 GB/T 20438(所有部分)替换了 IEC 61508(所有部分)，以便于标准使用(见 4.1)；

——更改了管道设计要求，以便于标准使用(见 4.2.7.1)；

——增加了型式试验的环境条件，以便于标准使用(见 5.1)；

——更改了部分试验条件，以便于标准使用(见 5.3.2、5.3.3、5.5、5.6、5.11)；

——增加了“绝缘试验”内容，以便于标准使用(见 5.10)。

本文件做了下列编辑性改动：

——为与现有标准体系协调，将标准名称改为《燃料电池模块 第1部分：安全》；

——删除了“关于某些国家特殊情况的说明清单”的资料性附录。

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。

本文件由中国电器工业协会提出。

本文件由全国燃料电池及液流电池标准化技术委员会(SAC/TC 342)归口。

本文件起草单位：新源动力股份有限公司、北京英博捷氢科技有限公司、北京神橡科技有限公司、机械工业北京电工技术经济研究所、同济大学、中国质量认证中心、无锡市检验检测认证研究院、武汉理工大学、中国科学院大连化学物理研究所、上海电气集团股份有限公司、北京长征天民高科技有限公司、清华大学、特嗨氢能检测(保定)有限公司、上海捷氢科技股份有限公司、未势能源科技有限公司、中山市深中标准质量研究中心、上海神力科技有限公司、潍柴动力股份有限公司、无锡威孚高科技集团股份有限公司、海卓动力(青岛)能源科技有限公司、上海攀业氢能源科技股份有限公司、新研氢能源科技有限公司、上海挺淳新能源科技有限公司、中国汽车工程研究院股份有限公司、上海骥翀氢能源科技有限公司、爱德曼氢能源装备有限公司、浙江天能氢能源科技有限公司、深圳市雄韬电源科技股份有限公司、国鸿氢能科技(嘉兴)股份有限公司、山东国创燃料电池技术创新中心有限公司。

本文件主要起草人：邢丹敏、周斌、王玉玺、马天才、孙昕、杜晓莉、张亮、王刚、陈耀、潘牧、侯明、靳殷实、蒋北羽、杨敏、裴普成、杨彦博、段志洁、陈沛、韩硕、欧慧敏、甘全全、郝富强、张义煌、谢佳平、董辉、齐志刚、胡磊、毛占鑫、付宇、徐黎明、曹寅亮、陈宏、赵钢、王彦波。

引 言

燃料电池模块是燃料电池发电系统的重要组成部分。为了完善燃料电池模块标准体系,规范燃料电池模块的通用安全要求及相关性能试验方法,特制定本文件。

GB/T 43691《燃料电池模块》采用 IEC 62282-2 系列国际标准制定,重点考虑燃料电池模块的安全、性能测试方法等方面。

GB/T 43691 拟由以下部分构成。

- 第 1 部分:安全。目的在于给出燃料电池模块的通用安全策略和防护、振动等方面的设计要求,规定基本的型式试验及例行试验的方法和要求。
- 第 2 部分:质子交换膜燃料电池额定功率及功率密度计算。目的在于给出统一的质子交换膜燃料电池额定功率和功率密度的试验条件和计算方法。

燃料电池模块 第 1 部分：安全

1 范围

本文件规定了燃料电池模块结构、正常和异常条件下运行以及测试的安全相关要求。

本文件适用于具有下列电解质的燃料电池模块：

- 碱性；
- 聚合物电解质(包括直接甲醇燃料电池)¹⁾；
- 磷酸；
- 熔融碳酸盐；
- 固体氧化物；
- 盐水溶液。

燃料电池模块含有或没有外壳,能在明显的增压或接近环境压力条件下运行。

本文件涉及对人产生危害和对燃料电池模块外部造成损害的条件,不涉及防止燃料电池模块内部损坏的保护,只要该损坏不会导致模块外部的危险。

针对特殊应用的需要,这些要求被配置有燃料电池模块的设备的其他标准取代。

本文件不涉及道路车辆燃料电池。

本文件并不限制或抑制技术进步,如果电器材料或结构形式有异于本文件所述,根据要求目的进行检查和试验,若实质等同,视为符合本文件。

燃料电池模块是最终产品的组成部分。对最终产品进行安全评估,以适应终端应用场景的安全要求。

本文件仅涉及直流输出的燃料电池模块。

本文件不涉及图 1 所示的外围设备。

本文件不涉及燃料电池模块燃料和氧化剂的储存和输送。

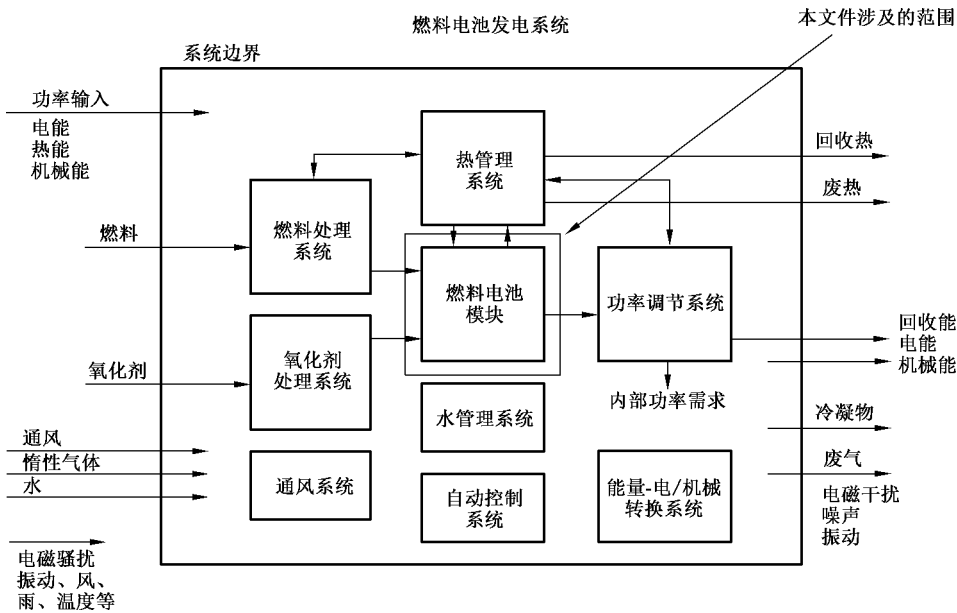


图 1 燃料电池发电系统部件

1) 又称为质子交换膜燃料电池。

2 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。

GB/T 4208 外壳防护等级(IP代码)(GB/T 4208—2017,IEC 60529:2013,IDT)

GB/T 5169(所有部分) 电工电子产品着火危险试验[IEC 60695(所有部分)]

GB/T 5169.11—2017 电工电子产品着火危险试验 第11部分:灼热丝/热丝基本试验方法 成品的灼热丝可燃性试验方法(GWEPT)(IEC 60695-2-11:2014,IDT)

GB/T 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分:通用技术条件(GB/T 5226.1—2019,IEC 60204-1:2016,IDT)

GB/T 16855.1 机械安全 控制系统安全相关部件 第1部分:设计通则(GB/T 16855.1—2018,ISO 13849-1:2015,IDT)

GB/T 20438(所有部分) 电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全[IEC 61508(所有部分)]

ISO 23550 燃气燃烧器和燃气家电安全及控制设备 一般要求(Safety and control devices for gas and/or oil burners and appliances—General requirements)

注:GB/T 30597—2014 燃气燃烧器和燃烧器具用安全和控制装置通用要求(ISO 23550:2011,MOD)

IEC 60079-10-1 爆炸性环境 第10-1部分:区域的分类 爆炸性气体环境(Explosive atmospheres—Part 10-1:Classification of areas—Explosive gas atmospheres)

注:GB 3836.14—2014 爆炸性环境 第14部分:场所分类 爆炸性气体环境(IEC 60079-10-1:2008,IDT)

IEC 60335-1 家用电器及类似电器 安全 第1部分:通用要求(Household and similar electrical appliances—Safety—Part 1:General requirements)

注:GB 4706.1—2005 家用和类似用途电器的安全 第1部分:通用要求(IEC 60335-1:2004,IDT)

IEC 60352(所有部分) 无焊连接(Solderless connections)

注:GB/T 18290(所有部分) 无焊连接[IEC 60352(所有部分)]

IEC 60512-15(所有部分) 电子设备连接元器件 测试与测量 第15部分:连接元器件测试(机械)[Connectors for electronic equipment—Tests and measurements—Part 15:Connector tests (mechanical)]

IEC 60512-16(所有部分) 电子设备连接元器件 测试与测量 第16部分:接触点和接线端的机械性能测试(Connectors for electronic equipment—Tests and measurements—Part 16:Mechanical tests on contacts and terminations)

IEC 60617 图表用图形符号[Graphical symbols for diagrams(在 <http://std.iec.ch/iec60617>)获取]

注:GB/T 4728(所有部分) 电气简图用图形符号(IEC 60617 database)

IEC 60730-1 电自动控制器 第1部分:通用要求(Automatic electrical controls—Part 1:General requirements)

注:GB/T 14536.1—2022 电自动控制器 第1部分:通用要求(IEC 60730-1:2013,IDT)

IEC 61010-1 测量、控制和实验室用电气设备的安全要求 第1部分:一般要求(Safety requirements for electrical equipment for measurement,control,and laboratory use—Part 1:General requirements)

注:GB 4793.1—2007 测量、控制和实验室用电气设备的安全要求 第1部分:通用要求(IEC 61010-1:2001,IDT)

IEC 61204-7 低压开关模式电源 第7部分:安全要求(Low-voltage switch mode power sup-

plies—Part 7; Safety requirements)

IEC 62040-1 不间断电源系统 第1部分:安全要求[Uninterruptible power systems(UPS)—Part 1; Safety requirements]

注: GB/T 7260.1—×××× 不间断电源设备(UPS) 第1部分:安全要求(IEC 62040-1:2022, IDT)

IEC 62061 机械安全 与安全有关的控制系统安全功能(Safety of machinery—Functional safety of safety-related control systems)

注: 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(IEC 62061:2005, IDT)

IEC 62282-4-101 燃料电池技术 第4-101部分:电驱动工业车辆用燃料电池发电系统 安全(Fuel cell technologies—Part 4-101: Fuel cell power systems for electrically powered industrial trucks—Safety)

注: GB/T 41134.1—2021 电驱动工业车辆用燃料电池发电系统 第1部分:安全(IEC 62282-4-101:2014, MOD)

IEC 62368-1 音/视频、信息与通信技术设备 第1部分:安全要求(Audio/video, information and communication technology equipment—Part 1; Safety requirements)

注: GB 4943.1—2022 音视频、信息技术和通信技术设备 第1部分:安全要求(IEC 62368-1:2018, MOD)

IEC 62477-1: 2022 电力电子变流系统和设备的安全性要求 第1部分:总则(Safety requirements for power electronic converter systems and equipment—Part 1: General)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

燃料电池模块 fuel cell module

一个或多个燃料电池堆组成的集合体,如适用可包含适当的附加部件,该集合体用于组装到一个发电装置或一个交通工具中。

注: 一个燃料电池模块由以下几个主要部分组成:一个或多个燃料电池堆、输送燃料、氧化剂和废气的管路系统、电池堆输电的电路连接、监测和/或控制手段。此外,燃料电池模块还包括:输送额外流体(如冷却介质、惰性气体)的装置,检测正常或异常运行条件的装置,外壳或压力容器和模块的通风系统,以及模块操作和功率调节所需的电子元件。

[来源:IEC 60050-485:2020, 485-09-03]

3.2

验收试验 acceptance test

合同规定的试验以向客户证明产品满足它的技术指标。

[来源:GB/T 2900.83—2008, 151-16-23, 有修改——删除术语“接收试验”]

3.3

最大允许工作压差 maximum allowable differential working pressure

由制造商指定,在可承受范围内对燃料电池模块没有任何损坏或永久性损伤的阳极和阴极之间的最大压差。

注: 最大允许工作压差单位为帕(Pa)。

[来源:IEC 60050-485:2020, 485-17-02, 有修改——“燃料电池”修改为“燃料电池模块”]

3.4

允许工作压力 allowable working pressure

由制造商指定,在可承受范围内对燃料电池模块没有任何损坏或永久性损伤的最大表压。

注: 对于装有减压装置的燃料电池模块,通常用来确定设备的压力设定值。

3.5

环境温度 ambient temperature

处于仪器、设备或安装设施周围可能影响其性能的介质温度。

3.6

活化 conditioning

能保证燃料电池模块(3.1)正常运行的(和电池/电池堆有关)预备步骤,按照制造商规定的规程来实现预期的性能。

注:根据电池技术,活化可能包括可逆和/或不可逆过程。

[来源:IEC 60050-485:2020,485-11-08,有修改——“燃料电池”修改为“燃料电池模块”]

3.7

燃料电池 fuel cell

将一种燃料和一种氧化剂的化学能直接转化为电能(直流电)、热和反应产物的电化学装置。

注:燃料和氧化剂通常存储在燃料电池的外部,当它们被消耗时输入到燃料电池中。

[来源:IEC 60050-485:2020,485-08-01]

3.8

燃料电池堆 fuel cell stack

由单电池、分隔板、冷却板、歧管和支承结构组成的设备,通过电化学反应(通常)把富氢气体和空气反应物转换成直流电、热和其他反应产物。

[来源:IEC 60050-485:2020,485-06-01]

3.9

额定电流 rated current

制造商规定的最大连续电流,燃料电池模块设计在该电流下运行。

[来源:IEC 60050-485:2020,485-12-02,有修改——“发电系统”修改为“模块”,删除注释]

3.10

串漏 crossover

交叉泄漏 cross leakage

燃料电池的燃料端和氧化剂端之间任一方向的泄漏,一般是穿过电解质。

[来源:IEC 60050-485:2020,485-06-25]

3.11

气体泄漏量 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。

注:气体泄漏可能产生于:

- 燃料电池堆;
- 相关压力释放装置;
- 其他气体管路和流体控制部件。

[来源:IEC 60050-485:2020,485-06-24,有修改——增加注释]

3.12

危险 hazard

可能导致伤害的潜在根源。

[来源:ISO/IEC 指南 51:2014,3.2]

3.13

伤害 harm

对人体健康的损害或损伤,对财产或环境的损害。

[来源:ISO/IEC 指南 51:2014,3.1]

3.14

危险区域 **hazardous area**

爆炸性气体存在或可能存在的区域,且爆炸性气体能达到一定量以至于在该区域进行电气设备的施工、安装和使用时要有特别的预防措施。

注: IEC 60079-10-1 规定了含有爆炸性气体环境的危险区域的划分(见 IEC 60050-426 中的 426-03-03、426-03-04 和 426-03-05)。

[来源:IEC 60050-426:2008,426-03-01,有修改——删除注 2]

3.15

热变形温度 **heat deflection temperature**

标准测试样棒在负载下产生指定形变时的温度。

注: 用以确定短时间耐热性。

3.16

低可燃极限 **lower flammability limit; LFL**

燃料-空气混合物能被火源点燃的最低浓度。

注: 若火源可引发燃烧则该燃料-空气混合物易燃,其主要因素是燃料-空气混合物的比例或构成。混合物浓度低于低可燃极限(LFL)或高于高可燃极限(UFL)的临界比例不会引发燃烧。

3.17

最大运行压力 **maximum operating pressure**

由部件或系统制造商规定的最大表压,系统或部件被设计成在该压力下能连续运行。

注 1: 最大运行压力单位为帕(Pa)。

注 2: 最大运行压力包括所有正常运行、稳态和瞬变状态。

[来源:IEC 60050-485:2020,485-17-04,有修改——增加注 2]

3.18

通风 **ventilation**

由于风力、温度梯度或人工方式(如风机或排气扇)作用造成的空气流通,实现新鲜空气与原来空气置换的过程。

[来源:IEC 60050-426:2008,426-03-14]

3.19

开路电压 **open-circuit voltage; OCV**

空载电压 **no-load voltage**

燃料电池有燃料和氧化剂但没有外部电流流动时电池堆的端电压。

注: 开路电压单位为伏(V)。

[来源:IEC 60050-485:2020,485-13-02]

3.20

例行试验 **routine test**

对制造中或完工后的每一个产品所进行的合格试验。

注: 不要与以下两项混淆:

——“合格试验”[GB/T 2900.83—2008,151-16-15]:为合格评价所做的试验;

——“合格评价”[GB/T 2900.83—2008,151-16-14]:对产品、过程或服务达到规定要求的程度所进行的系统的检查。

[来源:GB/T 2900.83—2008,151-16-17,有修改——增加注释]

3.21

防护 safeguarding

根据工艺参数而采取的控制系统的措施,以避免可能对人员有伤害或对燃料电池及周围环境造成损害的状况出现。

[来源:IEC 60050-485:2020,485-09-15]

3.22

安全特低电压 safety extra low voltage;SELV

正常和单次故障情况时,不超过 4.2.8 中有关应用标准所规定值的电压。

3.23

热平衡条件 thermal equilibrium conditions

间隔 15 min 读取一次温度,由温度变化不超过 3 K(5 °F)或绝对工作温度的 1%的相对高者确定的恒定温度条件。

3.24

型式试验 type test

对一个或多个具有代表性的产品进行的合格与否的试验。

注:不要与以下两项混淆:

——“合格试验”[GB/T2900.83—2008,151-16-15]:为合格评价所做的试验;

——“合格评价”[GB/T2900.83—2008,151-16-14]:对产品、过程或服务达到规定要求的程度所进行的系统的检查。

[来源:GB/T 2900.83—2008,151-16-16,有修改——增加注释]

3.25

正常运行 normal operation

燃料电池模块在制造商规定的正常条件下运行,其环境条件、预期气体、电网等要求处于规定的允许范围内。

3.26

自燃温度 auto-ignition temperature

在规定的试验条件下,使可燃性气体(或蒸气)与空气(或空气-惰性气体)混合物点燃的(热表面)最低温度。

[来源:ISO/IEC 80079-20-1:2017,3.3,有修改——增加“热”]

3.27

液压安全阀 hydrostatic relief valve

由入口液体静压驱动的压力安全阀,开启度与超压成正比。

3.28

安全阀 safety valve

由入口静压驱动的泄压阀,具有快速开启或泄压作用。

注 1: ANSI/CSANGV2—2000^[21] 中以下条款:

——“压力释放装置(PRDs)的有效性应按照 18.9(燃烧试验)进行验证”;

——燃烧试验的目的是验证在某些特定的火灾条件下,装有设计中规定的压力释放装置的成品容器,其压力释放装置能防止容器破裂。

注 2: CGA 12.6-M94^[22] 使用较大的安全系数。这些部件在 4 倍设计压力下测试 1 min。

本文件没有对 PRD(s)进行性能测试。

注 3: 因燃料电池模块不是最终产品,其 PRD 的有效性无法测试。目前在模块阶段,燃料储罐的大小和压力以及燃气阀组可能是未知的,无法预知模块在异常状态下的压力承受情况。因此,在模块级别上进行性能测试并不具有代表性,并且使用较高的安全系数可能会在设计上受到限制。

注 4: 模块制造商向最终用户至少提供以下信息:

- a) 使用的 PRD/PRV 类型;
- b) PRD/PRV 开启压力的设定;
- c) 泄压能力;
- d) 终端用户宜研究模块 PRD/PRV 在最终产品中的有效性。

3.29

电池堆接线端 stack terminal

母线 bus bar

从燃料电池堆向外供应电力的输出端。

[来源:IEC 60050-485:2020,485-06-08]

4 要求

4.1 通用安全策略

制造商应进行下列书面的风险分析。

- a) 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、危险情况和危险事件(典型危险的清单见附录 A)。
- b) 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。
- c) 在实际可能的范围内,将评估风险的两个因素(可能性和严重性)消除或减少到可接受的风险级别,通过:
 - 1) 结构及其方法的本质安全设计;或
 - 2) 采用被动控制(例如安全隔板、排气阀、热切断装置等)确保能量安全释放且不危及周围环境,或采用与安全相关的控制功能;
 - 3) 对 1)和 2)无法降低的风险,应提供标识、警告或对在危险区域内工作的人员提供专业培训来掌握相关应对措施。

为保证功能安全,应根据以下要求确定和设计所需的严重性级别、性能级别或控制功能级别:

- IEC 62061(或 GB/T 16855.1)适用于符合 GB/T 5226.1 的应用;
- IEC 60730-1 或 ISO 23550 适用于符合 IEC 60335-1 的家用电器,包括住宅、商业和轻工业;
- GB/T 20438 (所有部分)其他应用。

采用以下标准对失效模式与效果分析(FMEA)和故障树分析方法进行指导:

- IEC 60812;
- SAE J1739;
- IEC 61025。

评估内容还应包括下列可能的风险:

- 电池堆或模块温度;
- 电池堆或模块和/或电池电压;
- 受压部件的压力。

如果设计中涉及附录 A 所列之外的其他危险,则应考量并涵盖它们。

4.2 设计要求

4.2.1 通则

燃料电池模块应按照燃料电池模块制造商的风险评估进行设计。所有零部件应:

- a) 适应预期的用途中所承受的温度、压力、流量、电压和电流范围；
- b) 具备预期用途中面临的反应、过程以及其他条件的耐受能力。

燃料电池模块采用材料的材质和厚度、配件、电池堆接线端子及各部件集成方法，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遇到的机械、化学和热力等条件。

燃料电池模块外壳应符合 GB/T 4208 的要求以适应系统应用。燃料电池模块应执行相应的 IP 代码。

4.2.2 在正常和异常操作条件下的特性

燃料电池模块应被设计成能承受制造商的规格中定义的所有正常运行条件而不会损坏。非正常运行条件应根据 4.1 的规定处理。

4.2.3 泄漏

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 5.3）。燃料电池模块在正常和异常工作条件下的气体泄漏率应纳入规范文件中，以便于燃料电池系统集成商确定所需通风系统的最小通风能力[见 7.4.1r)]。

电池堆内部的故障模式“串漏”应作为 4.1 风险评估内容之一。根据风险评估的结果，应按照 4.1 中给出的相关标准设计，采取检测或预防“燃料串漏”的措施，如“电池电压监控”，以满足功能安全的要求。

如果燃料电池模块中无串漏保护，产品说明书应说明系统集成商应提供的防护装置或操作程序。

注：危险区域的分类见 IEC 60079-10-1。

4.2.4 加压操作

如果燃料电池模块包含气密件和加压件，这些部件应符合相应国家标准的安全规定。

应识别可能造成模块外部危险状况的加压操作条件（见 4.1），并将信息传达给系统集成商。

注：下述模块特性如下。

- 聚合物电解质燃料电池(PEFC)模块：压力是 PEFC 模块（聚合物电解质燃料电池堆）的设计中一个重要的设计要素。PEFC 电池堆的尺寸、材料选择和制造规范主要基于强度、刚性和稳定性，以满足其静态、动态和/或其他运行特性的要求。例如，使用同轴力压缩硬件的设计在断裂前泄漏。
- 磷酸盐燃料电池(PAFC)模块：PAFC 模块通常在常压下运行。
- 熔融碳酸盐燃料电池(MCFC)模块：MCFC 模块被集成到 MCFC 发电系统中加压运行。MCFC 发电系统包含 MCFC 模块的外壳，其根据承压系统相关国家和国际的规范和标准进行设计；根据上述规定，加压引起的 MCFC 模块危险可由外壳防护。
- 固体氧化物燃料电池(SOFC)模块：SOFC 模块被集成到 SOFC 发电系统中的加压运行。SOFC 发电系统包含 SOFC 模块的外壳，其根据承压系统相关国家和国际的规范和标准设计。

4.2.5 起火和自燃

4.2.5.1 通则

应采取措施（例如，通风、气体探测器、控制氧化、运行温度高于自燃温度等）保护燃料电池模块，以防止从燃料电池模块或其内部泄漏的气体达到爆炸浓度。

如果保护措施是燃料电池模块的一部分，防护等级应符合 4.1 中相关标准的要求。

如果保护措施不是燃料电池模块的一部分，燃料电池模块制造商应提供此类装置（例如，所需的通风率）的设计标准。

在被归类为易燃气体环境内的部件和材料应搭建或使用阻燃材料，以避免燃料电池模块外部着火。

材料的燃烧性应保证在切断电源及燃料和氧化剂供给后不会继续燃烧。应根据 GB/T 5169(所有部分)的要求,选择满足 V-0、V-1 或 V-2 的材料并进行验证。应提供符合 GB/T 5169.11—2017 的相关信息,见 7.4.1aa)。

注:在 ISO/IEC 80079-20-1^[7]等标准中列出的自燃温度是可燃气体混合物点燃的最低温度。实际的自燃温度可能远高于这些值,这取决于表面几何结构,材料和实际的气体混合物。这里要求的自燃温度是指基于所选择的材料和几何结构,在任意条件下都会触发易燃气体自燃的自燃温度。

应考量 4.1 中所述应用标准的耐热性和防火性要求。

4.2.5.2 豁免项

通常认为在燃料电池堆内的薄膜或其他材料占燃料电池模块质量不超 10%,因其数量有限,可不划分火焰蔓延等级。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,燃料气体泄漏到氧化剂中将立即导致易燃气体的氧化,反之亦然。因此,爆炸性气体不会聚集到危险浓度。

当高温燃料电池的温度低于自燃温度时(例如启动过程),燃料电池模块应转换到安全状态(例如通过吹扫),以避免出现危险情况。延迟点火试验可用于评估能否发生危险情况。

4.2.6 防护

4.2.6.1 通则

安全控制系统内部零件发生故障[见 4.1c)]应触发燃料电池模块启动受控关机。为确保满足要求的防护[SIL(安全完整性级别)、性能级别或控制功能级别],安全相关设计应符合 4.1 的要求。

注:当立即关机将导致更高的风险时,受控关机可能存在时间延迟,或允许完成运行循环。例如,应急电源用燃料电池模块中的气体检测器故障。

4.2.6.2 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,则达到保护措施停止运行的气体泄漏量极限应由模块制造商规定(见 7.4.4)。

4.2.7 管道及配件

4.2.7.1 通则

易燃气体输送管道和接头的螺纹连接应符合 ISO 23550 的规定。其他接头宜为焊接,或至少在制造商规定的密封区域内进行连接件连接。用于燃料气或氧气管道中使用的连接件宜使用磨口接头、法兰接头,或者其他适应燃料气体密封填充的压力接头。

管道内表面应清洗彻底,以清除松散颗粒,管道末端应仔细绞孔以清除杂物和毛刺。

选用柔性管道和相关连接件输送气体时,该柔性管路应适用于气体输送。应关注氢气管道的老化、脆化、多孔性,以及氧气管道的可燃性、易燃性和清洗工艺。

4.2.7.2 非金属管道系统

聚合物和橡胶材质的硬管、软管及部件应允许在下列条件下使用:

应证明材料在使用寿命期内能够同时满足最高运行温度和压力,并且与它们在使用和维护期间接触到的其他材料和化学品兼容。应根据 5.4 和 5.5 证明其有足够的机械强度。

燃料电池模块内的塑料或弹性部件不应受到机械损伤。可对装置内的旋转设备或其他机械设备做适当的屏蔽以免发生故障。

应对用于输送易燃气体的塑料或弹性部件的密闭舱室加以保护,以防止过热。

如果不能避免燃料流动温度超过最低热变形温度 10 K 以上的危险,则应提供符合 4.1 中相关标准要求的控制系统,来弥补相应的风险,并停止燃料流动。

在危险区域使用的塑料或弹性材料,应以导电或其他方式(如限制流量或其他方法)的设计以避免静电积聚。电导率不足的塑料或弹性材料,只能在非危险区域使用。

注:有关各项规定的资料见下列标准:ISO 37、ISO 188、ISO 1307、ISO 1402、ISO 1436 及 ISO 10619-1、ISO 10619-2、ISO 10619-3。

4.2.7.3 金属管道系统

金属管道系统应能承受最高运行温度和最大运行压力,并应在使用和维护期间与其他材料和化学品兼容。金属管道系统应具有足够的机械完整性。应根据 5.5 和 5.6 证明有足够的机械强度。

金属管道系统应符合 5.3 规定的泄漏要求。

成型弯管不应因加工成型导致失效并符合以下要求:

- 只可用专用折弯设备及工艺制作弯管;
- 所有弯管应光滑,没有变形、裂纹,或其他机械损伤;
- 管道纵向焊缝应靠近弯管中轴;
- 弯管的内半径应不低于管道制造商规定的最小半径。

4.2.8 电气元件

电气系统的设计和制造,以及电气电子设备和元件(包括电机和外壳)的应用,应符合相关电气产品应用标准的要求,例如:

- IEC 60335-1(如住宅、商业和轻工业);
- GB/T 5226.1(如机械);
- IEC 62368-1(如电信);
- IEC 62040-1(如 UPS);
- IEC 61010-1(测量、控制和实验室设备);
- IEC 62282-4-101(工业车辆)。

对于作为元件的电力电子变流系统(PECS)或开关模式电源(SMPS),如没有相关的电气产品应用标准,则适用下列标准:

- IEC 62477-1:2022;
- IEC 61204-7(SMPS)。

应提供技术规范以选择恰当的应用。

燃料电池设计者还应分析以下燃料电池的特定问题:

- 燃料电池堆上的剩余电荷;
- 电池间的能量危险。

电气元件对于燃料电池系统运行所规定环境条件的适应性应告知燃料电池系统集成商[见 7.4.1i)]。

若系统集成商提供电气元件,模块的技术文件中应包括与本文件相符的元件技术规范。

当封闭的燃料电池模块在可燃气体的自燃温度下工作,不受 5.13 所述易燃浓度限制,外壳内的电气元件应符合 IEC 60079-10-1 中定义的区域等级。

4.2.9 接线端和电气连接

电源连接到外部电路应:

- a) 固定在装置上,不能自动松开;

- b) 其构造应确保导体不会从其预定位置滑出；
- c) 确保正确接触，不会损伤导体以致无法实现其功能；和
- d) 确保在正常紧固时，不会对导体造成转动、扭曲或永久变形。

直接连接到燃料电池的连接件在正常使用中不应明显受损。燃料电池模块中的电池堆接线端应符合 IEC 60352(所有部分)、IEC 60512-15(所有部分)和 IEC 60512-16(所有部分)的规定，或符合 4.2.8 中接线端和电气连接的应用标准要求。

4.2.10 带电部件

根据 4.2.8 中给出的相关应用标准，制造商的技术文件应明确下列说明。

- a) 不能与带电部件分离的可触及的非载流金属部件，除非它们通过以下方式满足 SELV 的要求：
 - 1) 采用基本绝缘的Ⅰ类设备(具备保护接地)；或
 - 2) 采用加强绝缘的Ⅱ类设备。
- b) 由 SELV 供电但不满足带电部件(非 SELV)和 SELV 之间加强绝缘要求的可触及部件。
- c) 短路时会产生高电流危险的可触及带电部件。

燃料电池系统集成商应负责保护这些带电部件，以防电击。

4.2.11 绝缘材料和介电强度

在燃料电池模块中用于带电部件和非载流金属部件之间的所有电介质的设计应符合 4.2.8 中有关电压等级的电气设备所给出的标准。

对如抗压强度等会影响材料功能表现的机械特性，设计温度应至少高于正常运行条件下最高温度 20 K 或者 5% (以高者为准)，但不应低于 80 °C。

判定应基于材料制造商规定的材料的性能和特征。

4.2.12 保护接地/连接

以下规定适用于与 4.2.8 所述的相关标准有不同的情况。

可触及的非载流金属部件有可能由于电气故障而带电，并导致触电或电能危害，如果系统适用，应满足保护接地或连接至公共点的要求。

为确保良好的电接触，应进行防腐保护。导体应设计为防松动和扭曲，并能保持接触压力。

金属部件之间不应有电化学腐蚀。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。

4.2.13 冲击和振动

制造商文件中应包含燃料电池模块设计的可承受冲击和振动极限以及相应的标准。

5 型式试验

5.1 通则

通过试验设备模拟燃料电池系统或使用燃料电池系统本身进行试验以获得所需的运行条件。正常运行试验的设备可用于燃料电池模块初始启动的活化设备。宜按照下列顺序执行试验。异常条件的试验可能具有破坏性。

除非另有规定，燃料电池模块宜在如下所述环境条件下进行试验：

- 海拔不超过 1 000 m；
- 环境温度 5 °C ~ 40 °C。

5.2 冲击和振动试验

燃料电池模块应符合制造商文件中规定的冲击和振动试验极限。

注：若制造商未给出冲击和振动极限，不必进行本试验。

若燃料电池模块在试验中能以制造商规定的标准承受振动和冲击并没有损坏，则符合要求。燃料电池模块在活化后进行试验。

5.3 气体泄漏试验

5.3.1 通则

本试验不适用于下列情况的燃料电池模块气体泄漏：

- 工作温度高于易燃气体自燃温度(见 4.2.5)；或
- 燃料电池置于符合相关国家标准的气密容器内。

在无法使用整堆的情况下，可使用电池数量减少但仍具有代表性的电池堆。泄漏应根据电池数量的比率计算。

按照 5.3.2 或 5.3.3 中的方法进行。

5.3.2 流量计法

燃料电池模块应在额定电流下运行，并在最高运行温度条件下达到热平衡。

达到上述条件后停止运行，吹扫燃料电池模块，并关闭气体出口；燃料电池模块温度应降低至规定的最低工作温度或以下。燃料电池模块应使用标准阳极气体或惰性气体(如氦气、氮气)加压，逐渐达到制造商规定的最大运行压力，并保持稳定 1 min。

泄漏测量期间，入口压力应维持稳定。气体泄漏率应使用位于燃料电池模块入口、压力释放装置上游精度为 2% 的流量计进行测量。流量计测量气体 10 min 的泄漏量，计算平均气体泄漏速率。气体泄漏率应按照公式(1)、公式(2)或公式(3)进行计算(见附录 B)：

$$q_{\text{fuel}} = 2 \times R \times q_{\text{test}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

q_{fuel} ——燃料气体泄漏速率，单位为毫升每秒或毫升每分(mL/s 或 mL/min)；

q_{test} ——试验气体平均泄漏速率，单位为毫升每秒或毫升每分(mL/s 或 mL/min)；

R ——修正系数，见公式(2)或公式(3)。

$$R = (\text{TGSG}/\text{FGSG})^{1/2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

TGSG ——试验气体相对密度；

FGSG ——燃料气的相对密度。

$$R = \mu_{\text{test}}/\mu_{\text{fuel}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

μ_{test} ——试验气体绝对黏度；

μ_{fuel} ——燃料气的绝对黏度。

公式中计算的 R 值，应选取最坏情况或最高值并报告。

注 1：如试验气体为氮气，燃料气体为氢气时，修正系数 R 取 3.74。

应记录气体泄漏率，包括气体通过泄压阀的流量。

如果由于诸如滞后或压力设定等原因，试验中不包含压力释放装置，则总泄漏量应为最大燃料输送压力下压力释放装置单独的泄漏量与本试验所得泄漏量之和。

按照公式(1)计算得出的结果，应符合文件中的气体泄漏率(见 7.4)的规定。

注 2: 如有必要, 将此信息提供给最终产品用户, 以便计算通风需求。

5.3.3 压降法

应将阳极气体或氦气以高于最大运行压力的压力通入电池堆, 并应关闭进气阀监测压力 1 min。初始压力值应设定得足够高, 以确保气体压力试验结束时不低于最大运行压力的 1.1 倍。泄漏率 dV/dt 应根据监测的压降和电池堆及所有管道的总气体体积按公式(4)计算:

$$dV/dt = \frac{d_p \times V_{tot}}{dt \times P_G} \dots\dots\dots (4)$$

$$dV/dt = (d_p \times V_{tot}) / [dt \times (P_{ini} - P_G)]$$

$$dV/dt = \{ (P_{ini} - P_{end}) \times V_{tot} / [dt \times (P_{ini} - P_G)] \}$$

式中:

d_p ——监测的压降;

V_{tot} ——电池堆和所有管道的总气体体积;

dt ——测量压降的时间;

P_G ——电池堆外围的气压;

P_{ini} ——试验开始时的气压;

P_{end} ——试验结束时的气压。

计算的泄漏率应转换为标准泄漏率 $(dV/dt)_{st}$ 。

按公式(5)进行计算:

$$(dV/dt)_{st} = (dV/dt) \times \frac{P_G}{P_s} \times \frac{T_s}{T_{ini}} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

P_s ——标准压力, 101.325 Pa;

T_s ——标准温度, 273.15 K;

T_{ini} ——测试开始或结束时的电池堆温度, 选取较低值。

如果由于诸如滞后或压力设定等原因, 试验中不包含压力释放装置, 则总泄漏量应为最大燃料输送压力下压力释放装置单独的泄漏量与本试验所得泄漏量之和。

根据参考条件和气体类型修正的气体泄漏率乘以 2, 应符合文件中的气体泄漏率(见 7.4)的规定。

注: 如有必要, 可将此信息提供给最终产品用户, 以便计算通风需求。

5.4 正常运行试验

正常运行下的试验应在正常条件下进行, 尤其指:

- 基于电压和电流的功率输出范围;
- 基于温度和冷却剂流量(如适用)的热能输出范围;
- 燃料电池模块的温度范围;
- 燃料成分的范围;
- 阳极和阴极介质的流量范围;
- 阳极和阴极流体的压力范围;
- 输出功率的变化率。

正常运行的型式试验中, 燃料电池模块应在上述正常条件下运行, 直到达到热平衡条件。

应按照 7.4 的规定, 对下列参数进行测量, 并将测量结果记录:

- a) 燃料电池模块额定电流下接线端的电压;
- b) 温度(燃料电池堆、燃料电池模块表面、环境; 测量点应给出);

- c) 燃料压力(表压): $-5\% \sim +5\%$ 或 ± 1 kPa, 以较高者为准;
- d) 燃料消耗率: $-3\% \sim +3\%$;
- e) 氧化剂供应量: $-5\% \sim +5\%$ (如适用);
- f) 氧化剂压力: $-5\% \sim +5\%$ 或 ± 1 kPa, 以较高者为准, 如适用;
- g) 冷却剂入口和出口温度(如适用);
- h) 冷却剂流量(如适用);
- i) 冷却剂入口和出口压力(如适用);
- j) 燃料和氧化剂压差或根据 c) 和 f) 计算;
- k) 冷却剂电导率监测(如适用)。

对于测量的所有参数, 测量值都在制造商的规定值内, 则表示合格。

5.5 允许工作压力试验

燃料电池模块应在最高或最低工作温度下进行试验, 以较严苛者为准。

试验过程中, 燃料电池模块逐步加压, 试验介质为氮气。如果燃料电池模块在正常运行时燃料侧和空气侧内部压力相同, 则可相互连通。如果燃料电池模块包括冷却系统, 该系统可同时以同样的方式进行过压试验。

燃料电池模块(阳极和阴极通道)应逐步增压至不低于 1.3 倍允许工作压力, 并维持稳定不低于 5 min。

如果燃料电池模块包括泄压阀, 可将其拆下或使其无法工作。

若可取得试验参数, 本试验可在气体泄漏试验或正常运行试验期间进行。

如果不能达到试验条件(温度), 则燃料电池模块应在环境温度下且在不低于 1.5 倍允许工作压力下进行试验。

燃料电池模块不应有破裂、断裂、永久变形或其他物理损伤。

5.6 冷却系统耐压试验

若允许工作压力试验中没有对冷却系统进行试验, 应进行此试验。

燃料电池模块应在允许工作压力试验相同的温度条件下进行试验。

燃料电池模块的冷却系统应加压到冷却系统允许工作压力的 1.3 倍, 试验介质为氮气, 维持至少 5 min。

如果不能达到试验条件(温度), 则冷却系统应在允许工作压力 1.5 倍的环境温度下进行试验。

系统不应有破裂、断裂、永久变形或其他物理损伤。如果系统含液体冷却剂, 试验期间冷却剂不应泄漏。

5.7 持续和短时电功率

当制造商规定了短时电流值, 燃料电池模块应在额定电流下稳定后将电流上升到规定的短时值并维持制造商规定的时间。

系统不应有破裂、断裂、永久变形或其他物理损坏。

5.8 过压试验

如果燃料电池模块有限压装置, 压力应逐步增加到超过限压装置的启动压力。如有必要, 在本试验中应禁用或旁接燃料电池模块入口压力调节器。根据限压装置的特性, 限压装置的运行应导致压力降低, 或根据 4.1 的规定, 转入安全运行状态。

如果终止试验前出现泄漏, 本试验可能具有破坏性, 可根据 5.14 的要求执行。本试验的数据及相

应的危险应提供给系统集成商。

5.9 耐电压试验

不超过交流 1 000 V 或直流 1 500 V 的燃料电池模块的耐电压试验,应根据 IEC 62477-1:2022 中 5.2.3.4 的规定,在下列条件下进行:

- 在运行温度下,使用冷却介质;
- 如果燃料电池模块不能维持运行温度,试验应在最高允许温度下进行,并应记录温度;
- 在全集成的燃料电池模块上,断开燃料供应并用吹扫气进行吹扫。

结果应符合:

- IEC 62477-1:2022 的规定,和
- 泄漏电流不应超过 1 mA 与试验电压和开路电压之比的乘积。如果不满足此值,试验数据应提供给系统集成商并由系统集成商减少所有相关危险。

超过交流 1 000 V 和直流 1 500 V 的燃料电池模块耐电压试验应按下列规定进行:

- 耐电压试验应在运行温度和使用冷却介质时进行;
- 如果燃料电池模块不能维持运行温度时,耐电压试验应在最高允许温度下进行,并记录该温度;
- 应在与燃料断开的全集成的燃料电池模块上进行试验,提供吹扫气并吹扫;
- 试验电压应适用于带电部件和非载流金属部件。应用直流或正弦 48 Hz~62 Hz 交流电进行试验。电压应稳步增加到规定值并维持至少 5 s。

结果应符合以下要求:

- 绝缘层无击穿。泄漏电流不应超过 1 mA 与试验电压和开路电压之比的乘积。如果不能满足此值,试验数据应提供给系统集成商并由系统集成商减少所有相关危险。

根据最终应用情况,试验持续时间可能需要 5 s 以上。

试验电压应如表 1 所示。

表 1 耐电压试验电压

开路电压	基本绝缘电路和带保护隔离的电路 交流和直流试验电压		电路和可触及表面(不导电或导电但未 保护接地)交流和直流试验电压	
	交流有效值 kV	直流 kV	交流有效值 kV	直流 kV
$1\sqrt{2}$ kV=1.41 kV	2.25	3.2	5.0	7.1
$1.5\sqrt{2}$ kV=2.12 kV	3.0	4.2	6.4	9.1
$3\sqrt{2}$ kV=4.24 kV	5.25	7.4	11.2	15.8
$6\sqrt{2}$ kV=8.4 kV	9.75	13.8	17.5	24.8
$10\sqrt{2}$ kV=14.14 kV	15.75	22.3	34.0	48.1
注:在所有范围内进行插值。				

5.10 绝缘试验

绝缘试验测量点如下:

- a) 电池堆集流体与外壳表面外露金属件;
- b) 电池堆集流体与电池堆安装框架外露表面金属件,考虑安装形变。

测量条件:模块内充满冷却液(不循环),使用电池堆模块标称电压 1.5 倍的试验电压或 1 000 V 直流电压,两者取较高值。电压应稳步增加到指定的值维持至少 5 s,以便获得稳定的绝缘电阻读数,绝缘电阻数值不低于 30 Ω /V。如果不满足该值,试验数据应提供给系统集成商。由系统集成商采取措施减少危险。

注:根据终端产品情况的不同,可能需要 5 s 以上的绝缘试验。

5.11 压差试验

压差试验适用于阳极和阴极采用不同通道的燃料电池模块。燃料电池模块应处于最高或最低运行温度,以较严苛者为准。燃料电池模块应在阳极或阴极通道上使用氮气逐步加压至不低于 1.3 倍的最大允许工作压差,维持至少 5 min。如果试验条件无法实现,燃料电池模块可在环境温度下且在不低于 1.5 倍最大允许工作压差下进行试验,维持至少 5 min。

应在试验期间使用如流量计连续测量泄漏率,如果不能连续测量,则在加压到最大允许工作压差的加压前后进行测量。

燃料电池模块不应出现破裂、断裂、永久变形或其他物理损伤。应在制造商规定的试验温范围内进行试验,试验后阳极和阴极之间的泄漏率不应增加。加压后测试仪器和试验装置测量值的精度和可重复性不应偏离初始值。如果在电池设计上不能施加过大的压差,可忽略本试验。

5.12 气体泄漏试验(重复)

按照 5.3 规定的试验条件,燃料电池模块应在没有预活化的情况下重复进行泄漏试验。

气体泄漏率不应超过制造商规定值,变化率不超过初始值的 10%或 5 cm^3/min ,以较高者为准。

5.13 正常运行(重复)

正常运行试验应按照 5.4 的规定重复进行。记录的测量值应在 5.4 规定的额定偏差范围内。

5.14 可燃浓度试验

本试验仅适用于运行温度低于可燃气体自燃温度的封闭系统,该系统具有吹扫程序和整体通风,以避免达到可燃浓度。

通风和吹扫程序取决于燃料电池模块的特性和要求。本试验应确定正常运行下模块外壳内部的最大可燃气体浓度。

燃料电池模块应在标称温度范围内运行,直到达到热平衡条件。试验应在测试台的大气压下,并在无明显气流区域进行。

燃料电池模块外壳应有规定的通风流量(见 7.4)。

应在远离吹扫或排放点一定距离处进行四次测量,以确保测量的可燃物浓度是内部舱室的浓度,而不是气源的浓度。

注:PEMFC 进行可燃浓度试验时,位置宜在距离吹扫口或出风口 1 cm 的位置。

试验应持续进行,直到四次连续测量的可燃浓度的增加不超过四次测量平均值的 5%。

每次测量的时间间隔不应少于 30 min。

本试验应至少进行两次。

如果可燃气体的浓度小于低可燃极限的 25%,则该试验合格。当浓度超过低可燃极限的 25%时,按照 4.2.8 的规定处理。

5.15 异常运行条件试验

5.15.1 通则

在异常运行条件下进行试验的目的是证明根据 4.1 确定的异常运行条件不会导致危险或造成燃料

电池模块外部损坏。试验可能具有破坏性,宜在非破坏试验后进行。试验也可在能代表燃料电池模块典型特性的子模块上进行。试验的顺序可能因燃料电池模块的类型而不同,应按照针对不同试验品破坏性危险递增的程度安排试验顺序。

异常运行条件试验应在与正常运行条件试验相同的试验环境中进行。试验设备可进行修改,以达到预期的异常运行条件。

在异常运行条件试验期间,应记录试验品的最高表面温度。如果温度高于正常条件下的温度,应提供给最终产品制造商。

5.15.1~5.15.7 所列的各种异常条件下燃料电池模块的故障模式不应对人造成伤害或对燃料电池模块外部造成损坏。针对异常条件的防护,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来提供。后者应提供文件以提醒集成商需要提供的保护和保护形式。如试验样品在异常条件试验中损坏,应使用已通过型式试验(见 5.3)的试验样品进行后续试验。

如果燃料电池模块因性能衰减(非安全相关控制功能)而关机,则应重复试验,绕过非安全有关的控制功能,以确保安全相关的控制功能在发生任何危险情况之前关闭进程。

5.15.2 燃料匮乏试验

燃料电池模块应在额定功率和正常运行参数下稳态运行。为引发燃料匮乏,根据 4.1 将燃料流量降低到风险评估确定的最低值。电压监控系统或其他与安全有关的控制功能应提供信号,以便在达到危险状态之前将燃料电池模块切换为安全状态。

5.15.3 氧气/氧化剂匮乏试验

燃料电池模块应在额定功率和正常运行参数下稳态运行。为引发氧气/氧化剂匮乏,将氧化剂的流量降低到燃料电池模块制造商提供的风险评估所确定的最低值。电压监控系统或其他与安全有关的控制功能应提供信号,以便在达到危险状态之前将燃料电池模块进入安全状态。

5.15.4 短路试验

燃料电池模块应在额定功率和正常运行参数下稳态运行。然后由一个合适的大电流开关在燃料电池模块正负极之间以最小电阻和电感触发短路。应采用适当的方法测量短路电流和电压,例如用预触发脉冲电流和脉冲电压监测装置来测量。这些数据应连同由此产生的危险一并提供给系统集成商。

如果制造商规定了防护措施,如保险丝、断路器(作为系统集成商技术规范的一部分),为避免短路造成的危险,本试验应包括这些防护措施。

如果防护措施已运行,或者温度(在达到最高温度之后)已经低于相关部件的最高允许温度,则试验终止。

短路试验可在子模块进行,可由此推算至整个产品。

5.15.5 缺乏冷却或冷却受损试验

在制造商规定的最大允许功率输出下,运行达到制造商规定的稳态条件,如果冷却剂和氧化剂是分开的,则立即停止冷却剂流动以模拟冷却系统故障,燃料电池模块的运行:

- 冷却剂切断后,制造商规定的允许持续时间;或
- 在超过结构材料的使用温度之前,燃料电池模块性能衰减而停机;或
- 在达到危险状态之前,燃料电池模块安全相关控制功能提供信号将燃料电池模块切换至安全状态。

5.15.6 串漏监控系统试验

本试验仅适用于带监控系统的燃料电池模块。

当阳极与阴极之间串漏导致危险时,应通过电池电压监测装置或等效装置对燃料电池模块进行连续监测或采取类似手段将其切换到安全状态。

试验应在正常运行条件下进行。应通过降低监测电池电压至低于关闭临界来模拟串漏。此过程应反复随机抽取至少 2% 电池电压。

注 1: 通过使用电池电压接线端和电池电压监控装置输入之间的分压器来实现。用分压器低电压电阻作为电位计,通过电位计持续降低电压直至达到关闭状态。

注 2: 如果系统故障导致电压过高,燃料电池可能会发生反极或电解。这可能产生氢气和氧气并造成危险。

5.15.7 冷冻/解冻循环测试

本试验仅适用于存储或运行温度低于 0 °C 的聚合物电解质燃料电池模块。

在正常运行至稳态后,应关闭燃料电池模块。燃料电池模块在制造商规定的最低环境温度条件下冷冻。经冷冻后,根据制造商的规定将其至少解冻至 10 °C。冷冻/解冻循环重复 10 次。此后,应重复泄漏试验。

在电池堆温度和环境仓温度达到热平衡之前,应保持所有温度。如果制造商没有规定停留时间(热平衡后启动),则应执行 60 min 的最低停留时间。

宜在第三次重复试验后执行过渡的泄漏测试。

注: 在测试结果不受影响的情况下,移除燃料电池模块的隔热材料,以减少冷冻/解冻循环时间。

6 例行试验

6.1 通则

应通过试验设备模拟燃料电池系统或燃料电池系统本身进行例行试验所需的操作条件。宜按如下顺序执行例行试验。

如果在初次启动和活化的程序时进行例行试验,燃料电池模块应连接到活化设备,在制造商规定的条件下运行。否则燃料电池模块应集成到燃料电池系统或上述定义的系统模拟设备中,应根据制造商的规定开始启动,燃料电池模块处于下列例行试验所要求的运行条件。

应执行以下例行试验。

6.2 气密性试验

所有产品均应进行气密性试验。

在环境条件下,应使用检漏液对所有承压部件的接头和连接进行气密性试验。在环境温度下,当暴露 3.17 定义的最大运行压力下时,不应产生气泡。如有需要,可在环境温度下以设计工作压力的 1.5 倍进行气密性试验。

燃料电池堆可使用 5.3.2 或 5.3.3 的程序单独试验。

泄漏试验可根据 5.3 进行,并应用于整个燃料电池模块。

6.3 耐电压试验

应对所有完成装配的产品进行耐电压试验。

耐电压试验应按照 5.9 的规定进行,环境温度下试验持续时间为 1 s。

7 标识和说明书

7.1 铭牌

铭牌应永久固定在燃料电池模块上。考虑化学腐蚀、热和环境情况,铭牌上的标记应清晰耐用。

铭牌标识应至少包括以下信息：

- a) 制造商名称或注册商标；
- b) 模块 ID；
- c) 日期编码或可追溯到制造日期的序列号。

7.2 标识

如果连接可互换并导致不安全的情况，则应进行标识。如适用，应标明电气连接的极性和接地。

7.3 警示标签

根据情况，应使用以下警示标签：

- 冲击危险；
- 高温；
- 易燃气体或液体；
- 腐蚀性介质；
- 有毒介质。

当可能产生高电压时，燃料电池模块上应贴上“优先处理短路”的标签。

7.4 文件

7.4.1 通则

燃料电池模块的系统集成、安装、运行和维护所需的信息应以图纸、示意图、图表、表格和说明书的形式提供。

如果系统集成商和燃料电池模块制造商之间未另行商议，燃料电池模块制造商应确保为每个燃料电池模块提供 7.4 中规定的技术文件。

对于上述文件，燃料电池模块制造商应选择以下方法之一：

- 上述所有文件均应附有与其他文件的文件编号相对照的文件编号；或
- 所有文件应在图纸或文件清单中列出文件编号和标题。

第 1 种方法只适用于文件数量较少的情况（少于 5 个）。

应向系统集成商提供以下附加信息：

- a) 符合 4.1 规定的通用安全策略；
- b) 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）；
- c) 燃料和氧化气体输送压力（最小和最大）；
- d) 额定功率和最大功率下燃料和氧化剂消耗量；
- e) 最大燃料泄漏率，见 5.3.2 或 5.3.3；
- f) 可用燃料和氧化剂输送温度；
- g) 最高排气温度；
- h) 典型排放；
- i) 运行和储存的环境温度及湿度范围；
- j) 海拔范围；

注：功率输出取决于氧化剂的可用性，高海拔地区运行性能可能降低。

- k) 允许的冲击和振动级别；
- l) 正常模块工作温度；
- m) 最高表面温度；

- n) 冷却剂种类；
 - o) 冷却剂入口和出口温度设定点；
 - p) 冷却剂输送压力和流量范围；
 - q) 过流/过载/过压/欠压和其他防护装置的类型和特性；
 - r) 吹扫和通风流量要求；
 - s) 尺寸；
 - t) 质量；
 - u) 电力输出额定值(额定电压、额定电流、额定功率、开路电压、额定电流下的电压)；
 - v) 最大过载电流；
 - w) 辅助电源(例如电压、频率、电源)；
 - x) 使用最终产品所需包含的组件；
 - y) 接地连接位置(如适用)；
 - z) 有关寿命终止程序的适当资料；
 - aa) 有关使用材料耐火或火势蔓延的资料。
- 宜考虑回收和处置的法规要求。

7.4.2 安装手册

安装手册应对燃料电池模块的安装、固定、电连接、燃料连接、氧化剂连接和冷却系统连接给予全面清晰的描述。

安装手册应包括：

- 操作、运输和储存；
- 准备工作；
- 方向(上侧和下侧的位置等)；
- 模块固定方法；
- 气体和冷却剂管道的连接方法；
- 电气线路和传感器的连接方法；
- 一般注意事项和禁止操作；
- 适用的概述及框图；
- 电路图。

7.4.3 安装图

7.4.3.1 通则

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。在复杂情况下,可能需要详细的装配图。

应明确标识现场安装所用的配件、电线、软管、管道等的推荐位置和种类。

应说明选择要安装的任何保护装置的类型、特性、额定值和设置所需的数据。

燃料电池模块与用户要提供的设备之间的管道、托盘或支架的大小、类型和用途应详细说明。

如有必要,该图应指明拆卸或维修燃料电池模块所需的空間。

此外,在适当时,应提供接线图或表。此类图表应提供有关所有外部连接的完整信息。

7.4.3.2 (系统)框图和原理图

如有需要便于理解工作原理,应提供(系统)框图。(系统)框图可象征性地表示燃料电池模块及其

功能间的关系,无需绘出全部连接。

原理图可以作为(系统)框图组成部分或是额外补充。

7.4.3.3 电路图

当(系统)框图不能详细说明燃料电池模块的原理时,应提供不同电路的详细图。电路图应使用 IEC 60617 中规定的图形符号来说明燃料电池模块及其相关设备上的电路。其他符号应在图表或辅助文件中分别说明和描述。所有文件和燃料电池模块上的部件及设备的符号和标识应保持一致。

在适当的情况下,应提供用于接口连接的电池堆接线端、连接点等的示意图。该图可与电路图简化合并。图纸应包含所示各单元的详细电路图的引用。

电路的说明应有利于理解其功能和维护。与控制装置和部件功能相关的特征,如果通过符号标识不明显,则应在符号附件的图表中标注或引用脚注。

7.4.4 操作手册

技术文件应包含操作手册,详细说明安装和使用燃料电池模块的正确程序。在本文件中应特别注意,以避免燃料电池模块的安全功能因集成和预估的不当操作方式而导致损坏。

如果燃料电池模块可编程运行,应提供有关程序编程方法、所需设备、程序验证(如适用)的详细信息。当可编程功能作为安全相关功能执行时需要包含上述必要信息。

操作手册应包括:

- 启动和运行程序;
- 操作步骤;
- 检查频率;
- 正常和紧急关机程序;
- 储存程序和活化;
- 一般注意事项和违规操作;
- 有关物理环境的信息(例如运行环境温度范围、振动、噪声级、大气污染物等);
- 运行过程中的最大气体泄漏率(受防护措施限制),见 4.2.6.2。

7.4.5 维护手册

技术文件应包含维护手册,详细说明调校、维护和预防性检查以及维修的合适流程和间隔时间。维护手册中宜包含维护/服务记录的建议。如果提供正确操作的验证方法(如软件测试程序),应详细说明。

燃料电池模块制造商应提供零部件处置和回收的说明。

7.4.6 零件清单

零件清单至少应包括订购备件、正常运行和预防性或纠正性维护所需的替换部件(如部件、设备、软件、测试设备、技术文件)的信息,包括建议燃料电池模块用户进行库存的信息。

零件清单应包含:

- 文件中使用的参考名称;
- 其类型名称;
- 其一般特征(如适用)。

附 录 A
(资料性)

本文件中处理的重大危险、危险情况和事件

表 A.1 给出了本文件中涉及的重大危险、危险情况和事件以及相关子条款。表 A.1 还列出了尚未处理的危险。

表 A.1 典型的危险情况和事件

重大危险、危险情况和事件	章条号
☐ 因下列原因引起的机械危险：	
☐ 形状(尖锐边缘、夹点、粗糙表面)	—
☐ 相对位置(跳闸/碰撞危险)	—
☐ 质量和稳定性(重力势能造成的移动)	4.2
☐ 质量和速度(动能引发的受控或非受控运动)	4.2
☐ 机械强度不足(材料或几何形状不规范)	4.2
☐ 流体受压(过压、压力引起的流体喷射、真空)	4.2、5.4
☐ 因下列原因引起的电气危险：	
☐ 人员接触带电部件(直接接触)	4.2.8
☐ 人员与因故障条件带电的部件的接触(间接接触)	4.2.10、4.2.12
☐ 接近高压带电部件	4.2.11、5.9
☐ 静电现象	4.2.7、4.2.8
☐ 电磁现象	4.2.8
☐ 短路、过载产生的热/化学效应	4.2.8
☐ 熔融粒子	—
☐ 特定电压条件下的电网调整	4.2.8
☐ 不相容材料的应用(电解腐蚀)	4.2.1
☐ 连接不当	4.2.7
☐ 连接到电网	—
☐ 电能储存	4.2.8
☐ 因下列原因引起的热危险：	
☐ 人员在极端高温下与表面接触	5.14.1
☐ 高温流体释放	—
☐ 热疲劳	—
☐ 设备超温导致不安全操作	4.2.8

表 A.1 典型的危险情况和事件（续）

重大危险、危险情况和事件	章条号
☐ 材料和物质产生的危险：	
☐ 接触或吸入有害流体、气体、雾、烟和粉尘造成的危险	—
☐ 易燃流体泄漏导致火灾或爆炸危险	4.2.3、5.13
☐ 由于易燃混合物内部积聚而引起的火灾或爆炸危险	5.13
☐ 可燃物质（液体、气体、固体）引起的火灾	5.13
☐ 由于燃料/空气混合不充分而导致不完全燃烧/氧化的危险	5.14.2
☐ 燃料/空气燃烧/氧化产生的物质危险	—
☐ 由材料变质（如腐蚀）或积聚（例如污垢）引起的危险情况	4.2.12
☐ 物质污染（卫生）	—
☐ 窒息性气体	—
☐ 材料反应（自燃）	—
☐ 故障产生的危险：	
☐ 由于软件或控制逻辑的故障或不足而导致的不安全操作	4.1、4.2.6、4.2.8
☐ 由于控制电路或保护/安全部件故障而导致的不安全操作	4.2.6
☐ 停电造成的不安全操作	4.2.8
☐ 不符合人体工程学造成的危险：	—
☐ 由于手动控制装置的设计、位置或识别不当而造成的危险	4.2.8
☐ 由于视觉显示装置和警告标识的设计或位置不当造成的危险	—
☐ 噪声	—
☐ 振动	—
☐ 人为错误干预产生的危险：	
☐ 偏离正确操作造成的危险	4.1
☐ 制造/装配/安装错误造成的危险	—
☐ 维护错误造成的危险	7.4
☐ 故意破坏	—
☐ 可合理预见的误操作：	
☐ 可预见的非预期使用或操作	4.1
☐ 环境危险：	
☐ 在极热/极冷环境下的不安全操作	7.4
☐ 淋雨、浸水	—
☐ 风	—

表 A.1 典型的危险情况和事件（续）

重大危险、危险情况和事件	章条号
☐ 地震	—
☐ 外部火灾	—
☐ 烟雾	—
☐ 雪、冰荷载	—
☐ 害虫攻击	—
☐ 污染：	
☐ 空气污染	4.2.8
☐ 水污染	4.2.8
☐ 土壤污染	4.2.8

附 录 B

(资料性)

性能及评估试验参考信息

B.1 用工作气体以外的试验气体评估系统泄漏率

B.1.1 总则

如果燃料电池模块制造商不使用工作气体进行气体泄漏率试验,则需用试验气体的泄漏率估算工作气体的泄漏率。

液体和气体的泄漏率与密度的平方根成反比,见公式(B.1):

$$\text{泄漏率与}(1/\rho)^{1/2} \text{ 成正比} \quad \dots\dots\dots (\text{B.1})$$

式中:

ρ ——密度。

ρ 为分母,密度较大的气体泄漏率低,较轻的气体泄漏率较高。例如,氢气的相对密度为 0.069 6,空气的相对密度为 1。因为氢气的密度远小于空气,所以氢气等较轻气体的泄漏率高于空气等较重气体的泄漏率。

体积泄漏率与绝对黏度成反比,见公式(B.2):

$$\text{泄漏率与}(1/\mu) \text{ 成正比} \quad \dots\dots\dots (\text{B.2})$$

式中:

μ ——绝对黏度。

动力黏度也称为绝对黏度。

高黏性气体的泄漏量比低黏度气体少。例如,空气黏度比氢气黏度高,因此,在相同的温度和压力条件下氢气泄漏更多。

应通过试验来确定特定系统下何种模式更为适用。

通过燃料气体与试验气体泄漏率之比估算泄漏率的比率 R ,可由已知试验气体泄漏率得到工作气体泄漏率。比率 R 的表现形式见公式(B.3):

$$R = \text{燃料气泄漏率} / \text{试验气体泄漏率} \quad \dots\dots\dots (\text{B.3})$$

B.1.2 用公式(B.1)计算 R

由公式(B.1)可知,气体的泄漏率与气体密度的平方根成反比。将公式(B.1)代入公式(B.4), R 为试验气体密度与燃料密度倒数比的平方根。相对密度是气体密度与空气密度之比, R 按照公式(B.4)及公式(B.5)进行计算:

$$R = [(1/\text{FGSG}) / (1/\text{TGSG})]^{1/2} \quad \dots\dots\dots (\text{B.4})$$

式中:

FGSG —— 燃料气体的相对密度;

TGSG —— 试验气体的相对密度。

简化为:

$$R = (\text{TGSG}/\text{FGSG})^{1/2} \quad \dots\dots\dots (\text{B.5})$$

如果燃料气体比试验气体轻, R 将大于 1,反之亦然。

B.1.3 使用公式(B.2)计算 R

用公式(B.2)燃料气体与测试气体的泄漏率之比代入公式(B.3)中,得:

$$R = (1/\mu_{\text{fuel}}) / (1/\mu_{\text{test}})$$

即：

$$R = \mu_{\text{test}} / \mu_{\text{fuel}}$$

式中：

μ_{test} ——测试气体的绝对黏度；

μ_{fuel} ——燃料气体的绝对黏度。

如果燃料气体黏度低于试验气体黏度，则 R 将大于 1，反之亦然（公式(B.5)来自参考文献[13]）。

B.1.4 示例

如用公式(B.4)进行计算，则：

$$R = (\text{TGSG}/\text{FGSG})^{1/2}$$

——若氢气既是燃料又是试验气体， R 为 1；

——若用空气作燃料电池的试验气体，则 R 将为 $(1/0.069\ 68)^{1/2} = 3.79$ 。

如果用空气进行试验时获得 28.3 L/h (1 ft³/h) 的泄漏率，则预估氢气泄漏率将为 107.3 L/h (3.79 ft³/h)。

由公式(B.5)可得类似的 R 。若空气是试验气体，氢气是燃料，则空气在 293 K 和大气压下的绝对黏度(动态黏度)为：

$$1.846\ 2 \times 10^{-5} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$$

氢气在 293 K 和大气压下的绝对黏度(动态黏度)为：

$$8.963 \times 10^{-6} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$$

因此， $R = 2.06$ 。

由于氢气的黏度比空气的黏度低，它的泄漏量会增加 2.06 倍。

气体动态黏度主要是温度的函数，基本上与压力^[18]无关。表 B.1 中列出了一些气体的不同动态黏度值。

如果未进行试验确定系统适用的泄漏模式，可采用最差值。

计算结果基于相同温度和压力下的试验气体温度与工作气体。

建议使用氢气作为氢燃料电池模块的试验气体。

对于这种情况，计算公式如下：

$$R = (\text{HeSG}/\text{H}_2\text{SG})^{1/2}$$

式中：

HeSG —— 氦气的相对密度 = 0.138 2*；

H₂SG —— 氢气的相对密度 = 0.069 6*。

注：“*”表示在大气压力和 293 K 下。

或

$$R = \mu_{\text{test}} / \mu_{\text{fuel}}$$

式中：

μ_{test} ——测试气体的绝对黏度；

μ_{fuel} ——燃料气体的绝对黏度。

B.1.5 结论

当用氦气作为试验气体进行泄漏率试验时，可采用以下程序估算工作气体的泄漏率。进行评估时工作气体与试验气体所处温度压力环境相同。宜通过工作气体与氦气之间的泄漏率的比值计算得到 R ，用 R 乘以氦气泄漏率得到工作气体泄漏率。宜分别使用两个公式计算 R 值并选择最坏情况(较高

值)。如果氢气为工作气体,公式为:

$$R = (\text{HeSG}/\text{H}_2\text{SG})^{1/2}$$

式中:
HeSG —— 氦气的相对密度=0.138 2*;
H₂SG —— 氢气的相对密度=0.069 6*。

注:“*”表示“在大气压和 293 K 下”。
对于其他工作气体,H₂SG 宜替换为大气压和 293 K 下实际工作气体的相对密度:

$$R = \mu_{\text{test}}/\mu_{\text{fuel}}$$

式中:
 μ_{test} —— 测试气体的绝对黏度;
 μ_{fuel} —— 燃料气体的绝对黏度。
绝对黏度与温度有关,与压力无关,可从表 B.1 中获得。

表 B.1 大气压下的气体黏度

温度 ℃ °F	0 32	20 68	60 140	100 212	200 392	400 752	600 1 112	800 1 472	1 000 1 832
气体	$\mu \text{ (lbf} \cdot \text{s) / (ft}^2 \text{) [47.88 (N} \cdot \text{s) / m}^2 \text{]} \times 10^8$								
空气 ^a	35.67	39.16	41.79	45.95	53.15	70.42	80.72	91.75	100.8
二氧化碳 ^a	29.03	30.91	35	38.99	47.77	62.92	74.96	87.56	97.71
一氧化碳 ^a	34.6	36.97	41.57	45.96	52.39	66.92	79.68	91.49	102.2
氦气 ^a	38.85	40.54	44.23	47.64	55.8	71.27	84.97	97.43	—
氢气 ^{a,b}	17.43	18.27	20.95	21.57	25.29	32.02	38.17	43.92	49.2
甲烷 ^a	21.42	22.7	26.5	27.8	33.49	43.21	—	—	—
氮气 ^{a,b}	34.67	36.51	40.14	43.55	51.47	65.02	76.47	86.38	95.4
氧气 ^b	40.08	42.33	46.66	50.74	60.16	76.6	90.87	104.3	116.7
注:本表中的单位与国际单位制不一致。									
^a 根据参考文献[25]中给出的数据计算得出。 ^b 根据参考文献[26]中给出的数据计算得出。									

B.2 允许工作压力试验“安全系数”的推导(5.5)

B.2.1 总则

以下是北美标准中关于压力释放装置/泄压阀(PRD/PRV)的简要说明。用于选择允许工作试验压力下的安全系数。

B.2.2 压力释放装置

B.2.2.1 通则

防爆膜类压力释放装置的开启压力宜设定在 90%~100%范围内,如压力和温度联合触发,则设置

在 80%~105%之间。还要对这些装置进行流量试验。

B.2.2.2 泄压阀

开启压力应在 90%~105%之间。当每小时通过 24.5 kg(54 bf)的水时,释放压力宜保持在开启压力以上不超过 10%。极限温度范围限制下,偏差不得超过 5%。100 个操作循环内偏差不得超过 5%。

B.2.2.3 安全阀

开启压力不得超过标记值的 110%。在开启压力的 120%压力下测量流量。密封压力不宜低于开启压力的 65%(流量试验后)。寿命试验后,开启压力和密封压力的偏差不得超过 5%。

B.2.2.4 液压安全阀

初始启动释放压力宜在 5%以内。

B.2.3 结论

宜使用安全系数 132%(UL 132 允许 110%偏差乘以 120%全排放)用以表示最坏情况,或者根据所使用的 PRD/PRV 类型。根据 ANSI/IAS PRD 1—1998 的规定,对于使用立即完全排放(PRD)的模块为 105%,根据 UL 132 的规定,对于带有安全泄压阀的模块为 132%。

B.3 验收试验建议

B.3.1 泄漏试验

本试验不适用于下列燃料电池模块:

- 运行温度高于可燃气体自燃温度的;或
- 燃料电池放置于密封容器内。

试验程序如下。

采用制造商和测试机构双方同意的抽样方法,燃料电池模块宜按照 5.3 所述进行试验。记录泄漏率,且不得超过产品规格中规定的 5%。

B.3.2 正常运行

采用制造商和测试机构双方同意的抽样方法,燃料电池模块宜按照 5.4 所述进行试验。

B.3.3 允许工作压力试验

若燃料电池模块放置于符合国家相关法规认证的压力容器内,则可不进行本试验。

采用制造商和测试机构双方同意的抽样方法,燃料电池模块宜按照 5.5 所述进行试验。

B.3.4 冷却系统耐压试验

采用制造商和试验机构共同同意的抽样方法,燃料电池模块宜按照 5.6 中的说明进行试验。

B.3.5 过压试验

采用制造商和试验机构共同同意的抽样方法,燃料电池模块宜按照 5.8 中的说明进行试验。

B.3.6 压差试验

采用制造商和试验机构共同同意的抽样方法,燃料电池模块宜按照 5.11 中的说明进行试验。

B.3.7 安全控制功能

制造商宜验证所有与安全相关的控制功能都符合所生产的所有部件的规定。

如果可能,宜采用制造商和测试机构双方同意的抽样方法,证明燃料电池模块安全装置满足其预期用途。

参 考 文 献

- [1] GB/T 2900.83—2008 电工术语 电的和磁的器件
- [2] ISO 37 Rubber, vulcanized or thermoplastic—Determination of tensile stress-strain properties
- [3] ISO/IEC Guide 51:2014 Safety aspects—Guidelines for their inclusion in standards
- [4] ISO 188 Rubber, vulcanized or thermoplastic—Accelerated ageing and heat resistance tests
- [5] ISO 1307 Rubber and plastics hoses—Hose sizes, minimum and maximum inside diameters, and tolerances on cut-to-length hoses
- [6] ISO 1402 Rubber and plastics hoses and hoses assemblies—Hydrostatic testing
- [7] ISO 1436 Rubber hoses and hose assemblies—Wire braid reinforced hydraulic types for oil-based or water based fluids—Specification
- [8] ISO 10619-1 Rubber and plastics hoses and tubing—Measurement of flexibility and stiffness—Part 1: Bending tests at ambient temperatures
- [9] ISO 10619-2 Rubber and plastics hoses and tubing—Measurement of flexibility and stiffness—Part 2: Bending tests at sub-ambient and temperatures
- [10] ISO 10619-3 Rubber and plastics hoses and tubing—Measurement of flexibility and stiffness—Part 3: Bending tests at high and low temperatures
- [11] ISO/IEC 80079-20-1:2017 Explosive atmospheres—Part 20-1: Material characteristics for gas and vapour classification—Test methods and data
- [12] IEC 60050-426:2008 International Electrotechnical Vocabulary (IEV)—Part 426: Equipment for explosive atmospheres (available at <http://www.electropedia.org>)
- [13] IEC 60050-485:2020 International Electrotechnical Vocabulary (IEV)—Part 485: Fuel cell technologies
- [14] IEC 60812 Analysis techniques for system reliability—Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)
- [15] IEC 60079 (all parts) Explosive atmospheres
- [16] IEC 61025 Fault tree analysis (FTA)
- [17] ANSI/CSANGV 2-2000 Basic Requirements for Compressed Natural Gas Vehicle (NGV) Fuel Containers
- [18] ANSI/IAS PRD 1-1998 Pressure Relief Devices for Natural Gas Vehicles (NGV) Fuel Containers
- [19] CGA 12.6-M94 Vehicle Refueling Appliance
- [20] SAE J1739 Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA), Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA)
- [21] UL 132 Safety Relief Valves for Anhydrous Ammonia and LP-Gas
- [22] KALYANAM, K.M. and HAY D.R., Safety Guide for Hydrogen, National Research Council
- [23] HOLMAN J.P., Heat Transfer, Fifth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, 1981, p.543-543
- [24] AVALLONE, Eugene A. and BAUMEISTER III Theodore, Marks' Standard Handbook for

Mechanical Engineers, tenth edition, McGraw-Hill Book Company, New York, 1996, p.3-32 and 3-33

[25] Handbook of Chemistry and Physics, 52d ed., Chemical Compang, 1971-1972

[26] Tables of Thermal Properties of Gases, NBS Circular 564, 1955
