



中华人民共和国国家标准

GB/T 29838—2013

燃料电池 模块

Fuel cell modules

(IEC 62282-2:2012, MOD)

2013-11-12 发布

2014-03-07 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	Ⅲ
1 范围	1
2 规范性引用文件	2
3 术语和定义	2
4 要求	5
5 型式试验	10
6 例行试验	15
7 标识与操作指南	16
附录 A (资料性附录) 性能与试验评估参考信息	20
参考文献	25

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准使用重新起草法修改采用 IEC 62282-2 Ed. 2:2012《燃料电池技术 第 2 部分:燃料电池模块》。

本标准在技术上与 IEC 62282-2:2012 一致,修改内容如下:

- 删除了国际标准的前言和引言,增加国家标准的前言;
- 本标准中的引用标准,凡是有与 IEC(或 ISO)对应国家标准的均用国家标准代替;
- 本标准中安全标准结合了国家具体安全要求,在第 5 章“型式试验”中增加“5.10 绝缘(静态)试验”。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准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。

本标准起草单位:新源动力股份有限公司、机械工业北京电工技术经济研究所、上海神力科技有限公司、武汉银泰科技燃料电池有限公司、宁波拜特测控技术有限公司、武汉理工大学、中国科学院大连化学物理研究所、上海攀业氢能科技有限公司、清华大学、同济大学、南京大学昆山创新研究院、深圳市华测检测技术股份有限公司等。

本标准主要起草人:侯中军、李晓楠、田超贺、张若谷、齐志刚、黄平、燕希强、陈晨、潘牧、衣宝廉、董辉、侯明、裴普成、侯永平、卢琛钰、顾军、朱平等。

燃料电池 模块

1 范围

本标准提出燃料电池模块安全和性能最低要求,适用于下列电解质燃料电池模块:

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

燃料电池模块含或不含封装,操作压力为常压及以上。

本标准只涉及对人体和模块外部产生的危险,不导致模块外部危险的模块内部损害防护本标准不予考虑。

针对特殊应用的需要,要求部分可用含燃料电池模块设备其他标准取代。

本标准不包括道路车辆用燃料电池模块。

本标准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标准所述,可根据要求进行检查和试验,若实质等同,可视为符合本标准。

燃料电池模块是最终产品组成部分。燃料电池模块产品需评估以适用于终端产品安全要求。

本标准只涉及到燃料电池模块直流电输出。

本标准不涉及如图1所示外围设备。

本标准不涉及燃料电池模块燃料和氧化剂的储存和输送。

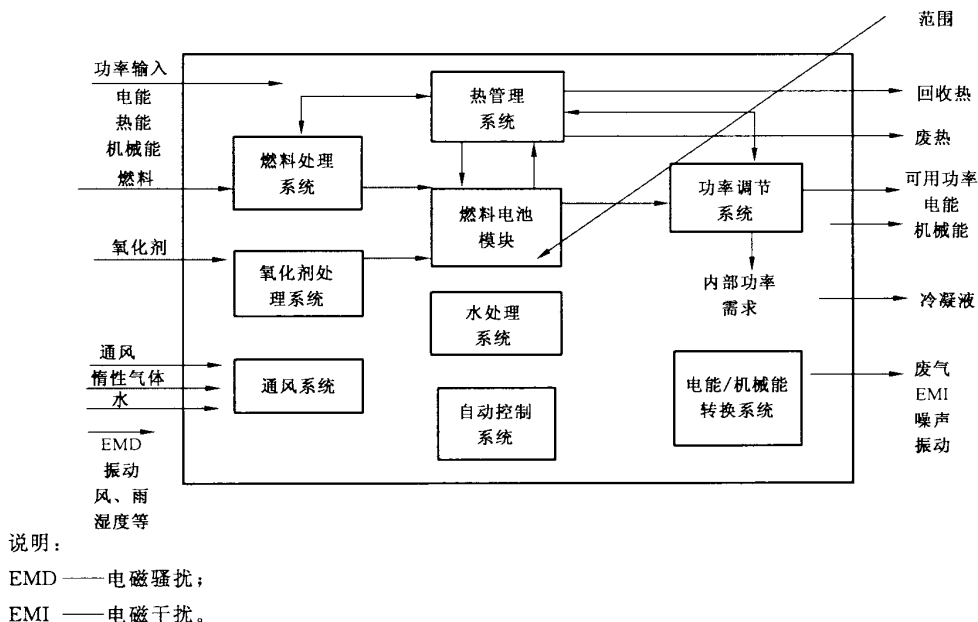


图1 燃料电池系统部件及标准适用范围

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期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 3836(所有部分) 爆炸性气体环境用电气设备[IEC 60079(所有部分)]

GB 3836.14 爆炸性气体环境用电气设备 第14部分:危险场所分类[IEC 60079-10]

GB 4208 外壳防护等级(IP代码)(GB 4208—2008,IEC 60529:2001,IDT)

GB 4706.1 家用和类似用途电器的安全 第1部分:通用要求(GB 4706.1—2005,IEC 60335-1:2001,IDT)

GB/T 4728(所有部分) 电气简图用图形符号[IEC 60617(所有部分)]

GB 4943.1 信息技术设备 安全 第1部分:通用要求(GB 4943.1—2011,IEC 60950-1:2005,MOD)

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

GB 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 5226.1—2008,IEC 60204-1:2005,IDT)

GB 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 7260.4—2008,IEC 62040-1-2:2002,MOD)

GB 14536.1 家用和类似用途电自动控制器 第1部分:通用要求[GB 14536.1—2008,IEC 60730-1:2003(Ed 3.1),IDT]

GB/T 16855.1 机械安全 控制系统有关安全部件 第1部分:设计通则(GB/T 16855.1—2008,ISO 13849-1:2006,IDT)

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

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)]

GB 28526 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 28526—2012,IEC 62061:2005,IDT)

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:接触点和终端的机械性能测试(Connectors for electronic equipment—Tests and measurements—Part 16: Mechanical tests on contacts and terminations)

ISO 23550 燃气燃烧器和燃气家电安全及控制设备 总体要求(Safety and control devices for gas burners and gas-burning appliances—General requirements)

EN 50178 电力装置用电子设备(Electronic equipment for use in power installations)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本部分。

3.1

验收试验 acceptance test

合同规定的实验以向客户证明产品满足它设定的技术指标。

3.2

允许工作压差 allowable differential working pressure

由制造商规定的阳极和阴极间的最大压力差,燃料电池模块能承受此压差而不损坏或永久失去功能特性。

3.3

许可工作压力 allowable working pressure

制造商规定的最大表压,燃料电池模块能承受此压力而不损坏或永久失去功能特性。

注:在这个数值(或低于这个数值)下设置卸压保护。

3.4

环境温度 ambient temperature

仪器、设备或安装设施周围可能影响其性能的介质温度。

3.5

活化 conditioning

按照制造商规定的规程正确运行燃料电池模块(3.8)必须的(和电池/电池堆有关)预备步骤。

注:根据电池技术,活化包括可逆和/或不可逆步骤。

3.6

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,当它们被消耗时而输入到燃料电池中。

3.7

燃料电池堆 fuel cell stack

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

[GB/T 28816—2012,定义 3.50]

3.8

燃料电池模块 fuel cell module

一个或多个燃料电池堆(3.7)和其他主要及适当的附加部件的集成体,目的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(3.7)、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,燃料电池模块还可包括:额外流体(如冷却介质、惰性气体)的输送手段、检测正常或不正常运行条件的手段、外壳或压力容器和模块的通风系统。

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。

3.10

渗漏 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。

3.11

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。

注:气体泄漏可能产生于:

——燃料电池堆;

- 相关减压装置；
- 其他气体管路和流体控制部件。

3.12

危险 hazard

能够对人身健康、财产或环境造成物理伤害的潜在危害源。

3.13

危险区域 hazardous area

分级区域 classified area

空气中存在或可能存在的易燃灰尘、纤维或挥发性液体、气体、蒸汽或混合物，数量足够多，能够形成易燃易爆混合物数量的区域或空间。

3.14

热变形温度 heat deflection temperature

标准测试棒在负载下产生指定变形时的温度。

注：用以确定短时间耐热性。

3.15

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。

注：若火源可引发燃烧则该燃料-空气混合物易燃。主要是燃料-空气混合物比例或构成。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。

3.16

最大运行压力 maximum operating pressure

由部件或系统制造商规定的最大压力，系统或部件被设计成在该压力下可以连续运行。

注1：最大运行压力表示为 p_a 。

注2：包括所有正常运行，稳态和瞬变状态。

3.17

最低输出电压 minimum voltage

一个燃料电池模块在其额定功率下能连续运行的最低电压或其在最大允许过载条件下的最低电压两者之间的低值。

注：最低电压单位为 V。

3.18

自然通风 natural ventilation

由于风和/或温度梯度的影响使空气移动及新鲜空气置换。

3.19

开路电压 open-circuit voltage

燃料电池在有燃料和氧化剂但没有外部电流流动时的端电压。

注：开路电压单位为伏(V)。

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符合性试验。

[GB/T 2900.83—2008，定义 151-16-17]

注：勿混淆与“一致性试验”(GB/T 2900.85—2008，定义 151-16-15)：一致性评估试验或“一致性评估”(GB/T 2900.85—2008，定义 151-16-14)：系统检查产品、工艺或服务是否满足特定要求。

3.21

标准条件 standard condition

作为测试基础的预定测试或运行条件,以便得到重复、可比的测试数据。

3.22

防护 safeguarding

控制系统根据运行参数动作,以避免可能对人有危险或对燃料电池及周围环境造成损害的状况出现。

3.23

安全电压 Safety Extra Low Voltage(SELV)

正常运行和发生单一故障时,干燥环境下正弦交流有效电压值不超过 30 V 或直流峰值电压不超过 42.4 V,若为可能发生接触的潮湿环境,正弦交流有效电压值不超过 15 V 或直流峰值电压不超过 21.2 V。

3.24

热平衡条件 thermal equilibrium conditions

15 min 读数一次温度,温度变化不超过 3 K(5 °F)或 1%绝对工作温度的恒定温度条件,两者取高值。

3.25

热稳定性 thermal stability

温度稳定的恒温状态。

3.26

型式试验 type test

根据一个或多个代表性生产产品的样本所进行的符合性试验。

[GB/T 2900.83—2008, 定义 151-16-16]

注:勿混淆与“一致性试验”(GB/T 2900.85—2008, 定义 151-16-15):一致性评估试验或“一致性评估”(GB/T 2900.85—2008, 定义 151-16-14):系统检查产品、工艺或服务是否满足特定要求。

4 要求

4.1 通用安全策略

制造商应提供风险分析书面报告,以确保:

- 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、危险状况和事件(可参考附录 A 进行识别);
- 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) 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;或
 - 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;并
 - 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,应按以下示例确定和设计要求的严重性级别、性能级别或控制功能级别:

- 符合 GB 5226.1 的应用,同时满足 GB 28526(或 GB/T 16855.1);
- 符合 GB 4706.1 的应用,同时满足 GB 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；
- SAE J 1739；
- IEC 61025。

评估内容应包括所有以下可能风险：

- 电堆温度；和
电堆和/或电池电压；
- 加压部分压力。

此外，下列情况应格外加以注意：

- 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；
- 电气危险，接触带电部件、短路、高电压；
- 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；
- 热危险，高温表面、高温液体或气体排放、热疲劳；
- 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；
- 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；
- 材料和物质危险，材料老化、腐蚀、脆化、有毒物质的排放；
- 废物处理危险，有毒材料处置、回收、易燃气体或液体处置；
- 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。

4.2 设计要求

4.2.1 通用要求

燃料电池模块应按照燃料电池模块制造商风险评估进行设计。所有零部件应：

- a) 满足预期用途温度、压力、流量、电压、电流范围；和
- b) 对预期用途中面临的反应、过程以及其他条件的耐受能力；
- c) 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。

燃料电池模块封装应满足 GB 4208 规定要求以适应系统应用。燃料电池模块应执行相应的 IP 代码。

注：当终端设备具有防护外壳时，IP00 级也可。

4.2.2 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。

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)。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[见 7.4.1 r)]、吹扫和通风流量要求。

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。

注:危险场所分类见 GB 3836.14。

4.2.4 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。

注:下述模块特性:

PEFC 模块

设计 PEFC(质子交换膜燃料电池堆)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。

PAFC 模块

PAFC(磷酸燃料电池)模块通常在常压下运行。

MCFC 模块

加压运行条件下,MCFC(熔融碳酸盐燃料电池)模块应集成到 MCFC 系统中。系统包含 MCFC 模块封装,并应根据加压系统相关国家和国际准则和标准进行设计。

加压引起的危险应排除在模块封装外,应符合相关标准。

SOFC 模块

如果对 SOFC(固体氧化物燃料电池)进行加压操作,SOFC 模块应集成到 SOFC 发电系统中去。SOFC 模块放置在按照加压系统相关国家和国际准则及标准进行设计、制造及安装的压力容器内。

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,使得燃料电池模块内部及从模块泄漏的气体不能形成爆炸浓度。

燃料电池模块制造商提供设计标准(如需要的通风率)。燃料电池模块制造商或燃料电池系统制造商提供措施。若燃料电池制造商不提供这些措施,应提供这些措施(如所需通风速率)的设计和试验标准。

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 V0、V1 或 V2 的选择见 GB/T 5169 系列标准。

注:在 IEC 60079-20-1 等列出的自燃温度是易燃气体混合物可能燃烧的最低温度。由于表面几何形状、材料和实际气体混合物成分的不同,实际自燃温度通常高于规定的值。这项要求中的自燃温度是指对于特定的物体材料和几何形状,在任意条件下都会触发易燃气体自燃的自燃温度。

4.1 给出的应用标准要求应考虑耐热和防火。

4.2.5.2 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)。

4.2.6 防护措施

安全控制系统零件失灵[见 4.1 c)]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。

注: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。

4.2.7 管路及配件

4.2.7.1 通则

易燃气体运输管路和接头螺纹连接应符合 ISO 23550。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。

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。

注:以下标准可以指导选材:GB/T 528、ISO 188、ISO 1307、ISO 1402、GB/T 3683 及 GB/T 5564。

4.2.7.2 非金属管路系统

下列情况允许使用聚合物和橡胶管路、部件:

根据 5.4 和 5.5,材料在使用寿命内应能承受最高运行温度和最大运行压力,并在寿命期间内与其他材料和化学品兼容,具有足够的机械强度。

燃料电池模块内的塑料或弹性部件应避免受到机械损伤。可对旋转设备或机组里的其他机械设备做适当的屏蔽以免发生故障。

应对用以输送易燃气体的塑料或弹性部件密闭舱室加以保护,防止过热的可能性。

根据 4.1,如果燃料流温度达到低于燃料输送部件所用材料最低热变形温度 10 K 以上且无法停止时,控制系统应切断燃料流动。

在危险位置使用塑料或弹性材料,应导电或以其他方式设计以避免静电积聚,如限制流量或其他方法。塑料或弹性材料的导电性不足,只应用于非危险区域。

4.2.7.3 金属管道系统

根据 5.5 和 5.6,金属管道系统应能承受最高运行温度和最大运行压力,并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和足够的机械强度。

金属管道系统应符合 5.3 规定的泄漏要求。

成型弯管不可因加工成形导致失效并应符合以下要求:

- 只可用专用折弯设备及工艺制作弯头;
- 所有弯头光滑,不可产生变形、裂缝或其他明显的机械损伤;
- 管道纵向焊缝在弯头中轴附近;
- 弯头内半径不得低于制造商规定的最小半径。

4.2.8 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。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:

- 燃料电池堆剩余电荷;
- 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 5.12 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。

4.2.9 终端和电气连接

电源连接到外部电路,应:

- a) 固定于装置,无松动的可能性;
- b) 导体不得滑脱;
- c) 正常触碰不会影响导体的使用功能;
- d) 正常紧固时不会造成导体的传向、扭曲或永久变形。

正常使用条件下,与燃料电池的直接相连不应有明显受损。燃料电池模块终端符合 GB/T 18290(所有部分),IEC 60512-15(所有部分)和 IEC 60512-16(所有部分)规定,或符合 4.2.8 给出的终端和电气连接应用标准要求。

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说明:

- a) 不满足安全超低电压(SELV)要求的可接近带电部件;
- b) 短路时会产生高电流危险的可接近带电部件。

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。

4.2.11 绝缘材料,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 20 K 或者 5% (以高者为准)设计,但不得低于 80 °C。

判定应基于材料制造商规定的材料特性。

4.2.12 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。

易接触非载流金属部件有可能因漏电导致电击或者触电危险,应连接至等电位点。

为了保证良好的电接触,这些连接应防腐。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。

4.2.13 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。

5 型式试验

5.1 总则

用试验设备模拟燃料电池系统或者用燃料电池系统进行型式试验以获得所需运行条件。正常运行型式试验设备可用作燃料电池模块初次启动的活化设备。建议按下述顺序执行型式试验。非正常条件试验可能具有破坏性。

5.2 冲击和振动试验

制造商文件应说明燃料电池模块能承受的冲击与振动试验极限。

注：若制造商未说明冲击和振动极限，可不进行试验。

若设备按照制造商规定的振动和冲击标准试验没有损伤，则设备活化后进行试验运行。

5.3 气体泄漏试验

该试验不适用于以下燃料电池模块：

- 运行温度高于易燃气体自燃温度(见 4.2.5)；或
- 燃料电池放置于符合国家有关规定的气密容器内。

使用全堆进行泄漏试验可能不切实际，可用仍具代表性的短堆试验代替。可以根据电池数量比例计算泄漏量。

运行燃料电池模块至满负荷电流并在最高运行温度条件下达到热平衡。

达到以上条件后停止运行，吹扫燃料电池模块，关闭气体出口，燃料电池模块温度应减少到规定的最低运行温度或以下。燃料电池模块用阳极气体或氦逐渐加压到制造商设定的最高运行压力，保持稳定 1 min。

泄漏测量期间入口压力应维持稳定。使用安装在燃料电池模块入口泄压装置上端精度为 2% 的流量计测量气体泄漏量。如果用氦气作为试验气体，气体泄漏率按式(1)计算：

$$R = \text{燃料气体泄漏量} / \text{试验气体泄漏量} \dots\dots\dots (1)$$

其中：

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

式中：

- R —— 气体泄漏率；
- TGSG —— 试验气体相对密度；
- FGSG —— 燃料气体相对密度。

或：

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

式中：

- μ_{test} —— 试验气体绝对黏度；
- μ_{fuel} —— 燃料气体绝对黏度。

这两个公式用于计算 R，选最坏情况，取高值。

应记录气体泄漏速率，包括气体通过泄压装置的流量。

如果由于如磁滞或压力设定的原因，试验不含泄压装置，总泄漏量应等于最大燃料输送压力下泄压装置本身的泄漏量和试验中获得的泄漏量的加和。

根据参考条件和气体类型修正所得气体泄漏率乘以 1.5，应符合 7.4 中给出的气体泄漏率。

注：该信息可能为终端产品用户计算通风条件所需要。

5.4 正常运行

正常运行是指燃料电池模块在正常条件下运行,尤其指

- 电压和电流标称功率输出;
- 温度和冷却剂(如有必要)流量标称热能输出;
- 燃料电池模块标称温度范围;
- 标称燃料组分;
- 阳极和阴极介质标称流量;
- 阳极和阴极流体标称压力范围;
- 制造商规定的标称范围内输出功率变化率。

正常运行型式试验,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 7.4 要求测量下述参数和记录结果:

- a) 燃料电池模块满负荷电流时的终端电压;
- b) 温度(燃料电池堆,燃料电池模块表面,环境);
- c) 燃料压力(表压) $-5\% \sim +5\%$ 或 ± 1 kPa,取高值;
- d) 燃料消耗速率 $-5\% \sim +5\%$;
- e) 如有必要,氧化剂供应控制在 $-5\% \sim +5\%$;
- f) 如有必要,氧化剂压力应控制在 $-5\% \sim +5\%$ 或 ± 1 kPa,取高值;
- g) 冷却液入口和出口温度(如有条件);
- h) 冷却液流量(如有必要);
- i) 冷却液入口和出口压力(如有必要);
- j) 燃料和氧化剂压差。

对于测量的所有参数,测量值应在制造商规定值内。

5.5 许可工作压力试验

燃料电池模块应在最高或最低运行温度下试验,以要求更高者为准。

在本试验中,如果燃料电池模块在正常运行时燃料和空气两侧内部压力相同,燃料和空气侧可互相连通。如果燃料电池模块包括冷却系统,可能需要按同样方法同时进行过压试验。

燃料电池模块(包括阳极和阴极通道)应逐步加压至不低于 1.3 倍许可工作压力,并维持稳定不低于 1 min。

如果燃料电池模块包括泄压阀,要移除泄压阀或使之不动作。

若能取得试验所需参数,则本试验可在气体泄漏试验或正常运行试验中进行。

如果无法实现试验条件(温度),应在环境温度下对燃料电池模块加压至不低于 1.5 倍许可工作压力进行试验。

燃料电池模块不应有破裂、裂缝、永久变形或物理损伤。

5.6 冷却系统耐压试验

若许可工作压力试验中没对冷却系统进行试验,应进行本试验。

燃料电池模块应在许可工作压力试验温度相同条件下试验。

燃料电池模块冷却系统应加压到冷却系统许可工作压力的 1.3 倍,维持至少 10 min。

若无法实现试验条件(温度),应在环境温度下对冷却系统加压至冷却系统许可工作压力 1.5 倍进行试验。

系统不得有破裂、裂缝、永久变形或其他物理损坏。如果系统含液体冷却剂,试验中冷却剂不得泄漏。

5.7 持续和短时电功率

根据制造商规定的短时额定电流,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电功率输出并维持制造商规定的时间。

系统不得有破裂、裂缝、永久变形或其他物理损坏。

5.8 过压试验

若燃料电池模块有限压装置,压力应逐步提高到超过限压装置启动压力。如有需要,本试验可禁用或旁接燃料电池模块进口压力调节器。安全机制应能触发,将压力降低或将燃料电池模块切换到安全运行状态。

如果在预计试验中断前出现泄漏,试验可能具有破坏性,需按 5.13 要求进行。试验数据及所有相关危险应提供给系统集成商。

5.9 绝缘强度试验

燃料电池模块可有两种不同设计:

- a) 电堆接地;
- b) 电堆不固定。

设计 a) 不需绝缘强度试验,只有开路电压。

设计 b) 应在运行温度、充有冷却剂条件下进行绝缘强度试验。若燃料电池模块不能维持在运行温度时,应在最高容许温度下进行绝缘强度试验,应记录温度。若绝缘强度试验适用,应在切断燃气供应并充分吹扫的全集成燃料电池模块内进行。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 48 Hz~62 Hz 正弦交流电进行试验,电压应稳步增加到规定值维持至少 5 s。如果没有绝缘击穿则试验通过。漏电不得超过 1 mA 与试验电压和开路电压之比的乘积。如果不满足该值,试验数据应提供给系统集成商。由系统集成商减少所有相关危险。

注:根据最终应用情况的不同,可能需要 5 s 以上的耐受试验。

试验电压见表 1。

表 1 绝缘强度试验电压

(选自 EN 50178)

栏 1 开路电压	栏 2		栏 3	
	基本绝缘电路和防护隔离 电路交流和直流试验电压		电路和容易接触到的表面(导电或不导电,但没有接地)的交流和直流试验电压	
	AC 有效值 kV	DC kV	AC 有效值 kV	DC kV
$\leq 50\sqrt{2}$ V=71 V	0.35	0.5	0.35	0.5
$100\sqrt{2}$ V=141 V	0.5	0.7	0.7	1.0
$150\sqrt{2}$ V=212 V	0.8	1.1	1.3	1.8
$230\sqrt{2}$ V=325 V	1.1	1.6	1.8	2.5
$300\sqrt{2}$ V=424 V	1.2	1.7	2.2	3.1
$400\sqrt{2}$ V=566 V	1.35	1.9	2.6	3.7
$600\sqrt{2}$ V=849 V	1.65	2.3	3.5	5.0
$690\sqrt{2}$ V=976 V	1.8	2.5	3.8	5.4

表 1 (续)

(选自 EN 50178)

栏 1 开路电压	栏 2 基本绝缘电路和防护隔离 电路交流和直流试验电压		栏 3 电路和容易接触到的表面(导电或不导电,但没有接地)的交流和直流试验电压	
	AC _{r.m.s} kV	DC kV	AC _{r.m.s} kV	DC kV
$1\sqrt{2}$ kV=1.414 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:允许更改。				

5.10 绝缘(静态)试验

测量点:

- 电堆集流体与封装壳体外表面外露金属件;
- 电堆集流体与电堆安装框架外露金属面,考虑安装形变。

测量条件:模块内充满冷却液(不循环),使用一个电堆模块标称电压 1.5 倍的试验电压或 1 000 VDC 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,绝缘电阻数值不超过 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:根据最终应用情况的不同,可能需要 5 s 以上的绝缘测试试验。

5.11 压差试验

压差试验适用于燃料电池模块中阳极和阴极采用不同流道。燃料电池模块在最高或最低运行温度下,以更苛刻者为准。燃料电池模块阳极或者阴极通道用合适的气体逐步加压至不低于 1.3 倍的允许工作压差,维持至少 1 min。如果试验条件无法实现,燃料电池模块可在环境温度下试验,压力不低于 1.5 倍许可工作压差。

使用如流量计等连续测量泄漏率,如果不能连续测量,要在不同的允许工作压力加压前和加压后测量。

燃料电池模块不得有破裂、裂缝、永久变形或其他物理损坏。试验后阳极和阴极之间的泄漏率不应增加,并应在制造商规定试验温度的范围内。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。若电池设计不存在压差,本试验可以省略。

5.12 气体泄漏试验(重复)

按 5.3 规定的同样试验条件,燃料电池模块应不做准备的重复泄漏试验。

气体泄漏率不应超过制造商规定,变化率不超过初始值 10% 或者 5 cm³/min,取高值。

5.13 正常运行(重复)

重复进行 5.3 定义的正常运行试验。测量记录应在 5.3 规定额定偏差范围内。

5.14 可燃浓度试验

此试验只适用于集成了安全通风和吹扫程序的封闭系统,运行温度低于易燃气体自燃温度。

安全通风和吹扫程序取决于燃料电池模块特性及要求。试验应确定正常运行条件下模块封装内的最大易燃气体浓度。

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。在试验地点的大气压力下和无可见气流区域进行试验。

燃料电池模块封装应有规定的通风流量(见 7.4)。

四次测量点离吹扫口或释放口应有一定距离,是测量模块内部隔舱易燃气体浓度,而不是气源易燃气体浓度。

测量应持续进行,直到四次连续测量的易燃气体浓度增加不超过四次测量平均值的 5%。

每次测量之间的时间间隔不得少于 30 min。

该试验应至少进行两次。

如果易燃气体浓度低于 25% 的低可燃极限,试验合格。如果浓度超过 25% 的低可燃极限,按 4.2.9 的规定处理。

5.15 非正常条件试验

5.15.1 总则

在非正常运行条件下进行型式试验是为了说明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。由于在非正常条件下,这些试验可能是破坏性的,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。非正常条件下的试验顺序根据不同类型的燃料电池模块可能会不同,应按照针对不同试验样品破坏性危险递增的程度来安排试验顺序。

型式试验所用的试验设备也可用于非正常条件试验。可能需要修改试验设备以满足非正常条件。

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。

5.14.1~5.14.6 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,用通过 5.3 试验的样品进行下面试验。

若燃料电池模块性能衰减(非安全相关控制功能)关机,应重复试验,应避免非安全相关控制功能,这样安全装置能够在危险情况发生之前关闭。

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。为了造成燃料匮乏,将燃料流量减少到燃料电池模块制造商评估决定的最小程度,电压监视系统或其他安全系统应提供信号将燃料电池模块在达到危险状态前切换到安全状态。

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。为了造成氧气/氧化剂匮乏,将氧化剂流量减少到燃料电池模块制造商评估决定的最小程度,电压监视系统或其他安全系统应提供信号,将燃料电池模块在达到危险状态前切换到安全状态。

5.15.4 短路试验

燃料电池模块应在额定功率和正常操作参数下稳态运行。可由合适的大电流开关触发带有最小电阻和电感的燃料电池模块短路。应以适当的方式来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。数据及所有相关危险应提供给系统集成商。

短路试验可在子模块上进行,可由此推算至整个产品。

5.15.5 缺乏冷却/冷却受损试验

在制造商规定的最大允许功率输出条件下进行,运行达到制造商规定的稳态,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如下:

- 冷却剂切断后在制造商允许时间限度内维持运行;或
- 在温度没有升高到危及结构材料的程度之前,燃料电池模块性能下降,停止运行;
- 在达到危险状态之前,或燃料电池模块安全装置提供信号将燃料电池模块切换到安全状态。

5.15.6 渗漏监测系统试验

此试验只适用于带有监测系统的燃料电池模块。

阳极和阴极气体渗漏导致危险时,应当由持续电压监测装置或者类似措施将燃料电池模块切换到安全状态。

试验应在正常运行条件下进行。通过降低监测电池电压至低于关闭临界值模拟渗漏。这一过程应反复随机抽取至少2%电池电压监测通道。

注1:可通过在电池电压端和电池电压监测设备输入之间使用分压器实现。分压器低电压电阻可以是电位计,由其持续降低电压直到达到开关关闭状态。

注2:如果系统故障等导致电压过高,燃料电池可能会发生电源反向或电解。这可能导致氢气和氧气生成并造成危险。

5.15.7 冷冻/解冻循环试验

该试验只适用于PEFC燃料电池模块低于0℃的储存或运行。

在正常稳态运行后,关闭燃料电池模块。燃料电池模块放置制造商指定的最低环境温度条件设备内。经过冷冻后,该模块按照制造商规定解冻到最低10℃。冷冻/解冻循环重复10次。此后,应重复泄漏试验。

注:若测试结果不会产生负面影响,可以移除燃料电池模块的绝热材料以减少冷冻/解冻循环的时间。

6 例行试验

6.1 总则

用试验设备模拟燃料电池系统或用燃料电池系统本身进行例行试验获得所需的运行条件。建议执行顺序如下:

如果在初次启动和活化情况下进行例行试验,燃料电池模块连接到活化设备,在制造商指定的操作条件下运行。否则燃料电池模块须集成到燃料电池系统或系统模拟器,根据制造商规定开始启动,燃料电池模块在运行条件下进行例行试验。

6.2 气密性试验

所有产品均应进行气密性试验。

在常压条件下,用液体检漏法对所有承压部件的连接件和连接点进行气密性试验。常温下在 3.16 所述最大运行压力下试验,不允许产生气泡。试验应在 1.5 倍标称运行压力条件下进行。

6.3 绝缘强度试验

绝缘强度试验应在所有完成装配的产品上进行。

绝缘强度试验应按 5.9 所述进行试验,常温下试验时间为 1 s。

注:根据最终应用的不同,一次试验时间可能超过 1 s。

7 标识与操作指南

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、热和环境影响,铭牌应持久而易见。

铭牌应至少包含如下信息:

- a) 制造商名称,或注册商标;
- b) 模块 ID;
- c) 日期编码或者可追溯到生产日期的序列号。

7.2 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。

7.3 警示标签

根据情况使用如下警示标签:

- 振动危险;
- 高温;
- 易燃气体或液体;
- 腐蚀性介质;
- 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。

7.4 文件

7.4.1 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须的集成、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:

- 以上所有文件互为参照;或
- 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:

- a) 4.1 所述通用安全策略;
- 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) 燃料和氧化剂气体输送压力(最大压力和最小压力);

- d) 额定功率和最大功率下燃料和氧化剂用量；
- e) 最大燃料泄漏率；
- 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) 操作、储存环境温度、湿度范围；
- j) 海拔范围；

注：氧气供应影响功率输出。高海拔地区工作性能可能降低。

- k) 许可冲击和振动等级；
- l) 正常电堆运行温度；
- m) 最高表面温度；
- n) 冷却剂种类；
- o) 冷却剂入口出口测量点温度；
- p) 冷却剂输送压力和流量范围；
- q) 过载电流/过载/过压/欠压和其他保护装置的类型和特点；
- r) 吹扫和通风流量要求；
- s) 尺寸；
- t) 重量；
- u) 电力输出额定值(额定电压、额定电流、额定功率、开路电压、满负荷电流电压)；
- v) 最大过载；
- w) 辅助功率供给(例如,电压、频率、功率)；
- x) 使用最终产品所需包含的组件；
- y) 接地连接位置；
- z) 有关寿命终端的其他信息。

考虑回收和处理要求。

7.4.2 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。

安装手册中应包括:

- 装卸、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；
- 气体和冷却管道连接方法；
- 电气线路和传感器的连接方法；
- 一般注意事项和禁止操作；
- 适当的概览图解；
- 电路图。

7.4.3 安装图

7.4.3.1 总则

安装图应提供建立燃料电池模块的前期工作所有必须的信息。复杂情况下可能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間。

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。

7.4.3.2 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)图可象征性的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。

7.4.3.3 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 GB/T 47281 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。

7.4.4 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可能的不当操作。

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:

- 启动和运行步骤;
- 操作步骤;
- 检查频率;
- 正常和紧急关机程序;
- 贮存步骤和条件;
- 一般事项和禁止操作;
- 适用物理环境信息(例如,工作环境温度范围、振动、噪音、大气污染物)。

7.4.5 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 and 回收零件。

7.4.6 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)。

附 录 A
(资料性附录)
性能与试验评估参考信息

A.1 用工作气体外的试验气体评估泄漏速率

A.1.1 总则

若燃料电池模块制造商不用工作气体测量泄漏率,则需用试验气体测试泄漏率。

液体和气体的泄漏率与密度的平方根成反比,也就是:

$$\text{气体泄漏率与}(1/D)^{1/2} \text{成正比} \quad \dots\dots\dots(\text{A.1})$$

式中:

D ——密度。

D 是分母,密度较大的气体泄漏率较低,较轻的气体泄漏率较高。如氢气之类的较轻气体的泄漏速率高于如空气之类的较重气体的泄漏速率,因为氢气密度远低于空气。氢气相对密度是 0.068,空气相对密度是 1。[注:相对密度对于气体是指气体的分子量同空气的分子量(28.964 4)的比值。]与此类似,容积泄漏速率与黏度成反比。也就是:

$$\text{泄漏率正比于}(1/\mu) \quad \dots\dots\dots(\text{A.2})$$

式中:

μ ——绝对黏度。

动态黏滞度指的是绝对黏度。

这意味着高黏度气体泄漏比低黏度气体少。空气之类的气体黏度比氢高,因此,相同的温度和压力条件下氢气泄漏可能性更高。

为了找出对于某一特定系统哪种模式更为适用,应进行试验。

通过燃料气体与试验气体的泄漏速率比估算泄漏率的比率,可以由已知的试验气体的泄漏速率得到工作气体泄漏速率。这个比率为 R ,也就是:

$$R = \text{燃料气体泄漏速率} / \text{试验气体泄漏速率} \quad \dots\dots\dots(\text{A.3})$$

A.1.2 用式(A.1)计算 R

由式(A.1)~式(A.3),气体泄漏率与密度平方根成反比。因此,将式(A.1)带入式(A.3), R 是试验气体和燃气密度比的倒数的平方根,相对密度是气体密度比空气密度。 R 如下:

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

式中:

FGSG —— 燃气相对密度;

TGSG —— 试验气体相对密度;

简化为:

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

如燃气轻于试验气体,则 R 值大于 1,反之亦然。

A.1.3 用式(A.2)计算 R

用式(A.2)计算泄漏速率比,将式(A.2)带入式(A.3)得:

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

即：

$$R = \mu_{test} / \mu_{fuel} \dots\dots\dots (A.6)$$

式中：

μ_{test} —— 试验气体绝对黏度；

μ_{fuel} —— 燃料绝对黏度。

如燃气黏度低于试验气体，则 R 值大于 1，反之亦然。{式(A.6)来自参考文献[13]}

A.1.4 示例

若用式(A.5)，则 $R = (TGSG/FGSG)^{1/2}$ ，

a) 若氢气既是试验气体也是燃气，则 R 为 1；

b) 若空气用作试验气体，氢气是燃气，则 R 为 $(1/0.068)^{1/2} = 3.83$ 。也就是说，若空气试验气体的泄漏率是 28.3 L/h 则氢气的泄漏速率则为 108 L/h。

由式(A.6)可得到相似的结论。若空气是试验气体，氢气为燃料，则空气在常压温度 300 K 下的绝对黏度(动态黏度)是 $1.8462 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$ 。

氢气在常压温度 300 K 下的绝对黏度(运动黏度)是 $8.963 \times 10^{-6} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$ 。

因此 $R = 2.06$ 。

因此由于氢气黏度小于空气则泄漏率大，比值为 2.06。

气体运动黏度与温度有关，与气压无关。表 A.1 可以查到同一气体的不同动态黏度值。

如果不进行试验寻找特定系统适用的泄漏模式，可采用最坏的方案。

计算结果是基于试验气体与工作气体的温度和压力相同。

推荐使用氦气作为氢燃料电池模块的测试气体。

对于这种情况，计算公式如下：

$$R = (HeSG/H_2SG)^{1/2}$$

式中：

HeSG —— 氦的相对密度 0.142*；

H₂SG —— 氢气的相对密度 0.069 5*。

注：“*”表示常压，温度 300 K。

或：

$$R = \mu_{test} / \mu_{fuel} \dots\dots\dots (A.7)$$

式中：

μ_{test} —— 试验气体绝对黏度；

μ_{fuel} —— 燃料绝对黏度。

A.1.5 结论

以下程序可以用于以氦气为测试气体进行泄漏率测试评估工作气体的泄漏率。进行评估时工作气体与试验气体所处温度压力环境应该相同。工作气体与氦气的泄漏速率比 R 可以计算得到， R 乘以氦气泄漏速率就可以得到工作气体的泄漏率。计算 R 值时，两个公式都要用到，并选择最坏情况(较高值)。如果氢气为工作气体，该公式为：

$$R = (HeSG/H_2SG)^{1/2}$$

式中：

HeSG —— 氦的相对密度 0.142*；

H₂SG —— 氢气的相对密度 0.069 5^{*}。

注：“*”表示常压，温度 300 K。

对其他工作气体，式中 H₂SG 应替换为实际工作气体比，在大气重力压力和绝对温度为 300 K 状态时相对密度：

或：

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

式中：

μ_{test} —— 试验气体绝对黏度；

μ_{fuel} —— 燃料绝对黏度。

绝对黏度与温度有关，与压力无关，表 A.1 可以得到气体黏度值。

表 A.1 常压下气体黏度^a

°C	0	32	20	68	200	392	400	752	600
°F	60	140	100	212	1 112	800	1 472	1 000	1 832
气体	$\mu(\text{lb} \cdot \text{s}) / (\text{ft}^2) [47.88 (\text{N} \cdot \text{s}) / (\text{m}^2)] \times 10^8$								
空气 ^b	35.67	39.16	41.79	45.95	53.15	70.42	80.72	91.75	100.8
二氧化碳 ^b	29.03	30.91	65.00	38.99	47.77	62.92	74.96	87.56	97.71
一氧化碳 ^b	34.60	36.97	41.57	45.96	52.39	66.92	79.68	91.49	102.2
氢气 ^b	38.85	40.54	44.23	47.64	55.80	71.27	84.97	97.43	—
氢气 ^{b,c}	17.43	18.27	20.95	21.57	25.29	30.02	38.17	43.92	49.20
甲醇 ^b	21.42	22.70	26.50	27.80	33.49	43.21	—	—	—
氮气 ^{b,c}	34.67	36.51	40.14	43.55	51.47	65.02	76.47	86.38	95.40
氧气 ^c	40.08	42.33	46.66	50.74	60.16	76.60	90.87	104.3	116.7
^a 表格单位不是国际单位。 ^b 根据参考文献[16](标注 b)数据计算得出。 ^c 根据参考文献[17](标注 c)数据计算得出。									

A.2 许可工作压力试验推荐安全系数

A.2.1 总则

以下是北美标准中关于泄压装置/泄压阀 (PRD/PRV) 的一个简短说明。用于选择许可工作压力下推荐安全系数。

A.2.2 减压装置

A.2.2.1 总则

若是防爆膜之类以压力触发的泄压装置，开启压力为 90%~100% 设定值。若为压力温度联合触发，则开启压力为从 80%~105% 设定值。这些装置也需要测试流量。

A.2.2.2 泄压阀

开启压力应为 90%~105% 设定值。水流量 24.5 kg/h (54 英镑) 时，释放压力不得高于 110% 开启

压力。极限温度范围使用偏差不得超过 5%。100 个操作循环内偏差不得超过 5%。

A.2.2.3 安全阀

开始排放压力不超过 110% 标定值。120% 开始排放压力值下测量流量。密封压力应不小于 65% 的开启压力(流量试验后)。寿命试验后,开始排放压力和密封压力偏差不得超过 5%。

A.2.2.4 静压减压阀

初始启动释放压力应在 5% 以内。

A.2.3 定义

A.2.3.1

静压减压阀

入口静压触发减压阀,气体释放量与超过压力释放临界值的部分成正比。

A.2.3.2

安全阀起座压力

阀盘以较高或较低压力下相应移动速度更快的速度朝开启方向移动所增加的进口静压力值。只适用于可压缩流体安全阀门。

A.2.3.3

安全阀

入口静压触发泄压阀,其特点是快速开启。

注 1: ANSI/CSANGV2—2000 有以下条款:“安全阀的有效性应按照 18.9(火烧试验)加以验证”。

火烧试验是验证带有泄压装置的完好容器在某些特定火烧条件下不会产生破裂。

注 2: CGA 12.6-M94 使用了更高的安全系数。零部件需在指定压力下测试 4 次,每次用时 1 min。

标准不涉及 PRD 性能试验。

注 3: 燃料电池模块 PRD 的有效性只在其作为终端产品的一部分时才是有效的。我们并不清楚非正常情况下模块所承受的压力。事实上,模块阶段的非正常情况是未知的。燃料罐的体积和压力也未知,气体吸收装置也同理。因此模块级的性能测试不具有代表性,使用非常高的安全系数可能限制设计。

注 4: 模块制造商最好至少为终端用户提供以下信息:

- a) 使用的 PRD/PRV 类型;
- b) PRD/PRV 设定(开启压力);
- c) 流量;
- d) 终端用户应考察模块 PRD/PRV 在终端产品上的有效性。

A.2.4 结论

建议安全系数 132%(UL132 允许 110% 偏差乘以 120% 全排放)用以表示最糟情况。或者根据所用的 PRD/PRV 类型,即按 ANSI/IAS PRD 1-1998 的评估,带 PRD 的燃料电池模块为 105%(即时全排放),按 UL132 的评估带安全阀的燃料电池模块为 132%。

A.3 建议采用的试验

A.3.1 泄漏试验

试验不适用于:

- 运行温度高于易燃气体自燃温度;或
- 燃料电池放置于气密性容器内。

采用制造商和测试机构双方同意的抽样方案,按 5.3 所述测试燃料电池模块。记录泄漏速率,不得超过产品说明规定值的 5%。

A.3.2 正常运行

采用制造商和测试机构双方同意的抽样方案,按 5.4 所述测试燃料电池模块。

A.3.3 许可工作压力试验

若燃料电池模块置于符合相关国家规定的压力容器内,则可不进行该试验。

采用制造商和测试机构双方同意的抽样方案,按 5.5 所述测试燃料电池模块。

A.3.4 冷却系统耐压试验

采用制造商和测试机构双方同意的抽样方案,按 5.6 所述测试燃料电池模块。

A.3.5 过压试验

采用制造商和测试机构双方同意的抽样方案,按 5.8 所述测试燃料电池模块。

A.3.6 压差试验

采用制造商和测试机构双方同意的抽样方案,按 5.11 所述测试燃料电池模块。

A.3.7 安全控制

制造商核实所有生产机组类型试验的安全控制都得到详细说明。

采用制造商和测试机构双方同意的抽样方案,如果可以的话,燃料电池模块安全装置应证实能够满足预期应用。

参 考 文 献

- [1] GB/T 2900.83—2008 电工术语 电的和磁的器件(IEC 60050-151:2001, IDT)
- [2] GB/T 28816—2012 燃料电池 术语(IEC 62282-1:2010, IDT)
- [3] GB/T 3683—2011 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(ISO 1436:2009, IDT)
- [4] GB/T 5564—2006 橡胶及塑料软管 低温曲挠试验(ISO 4672:1997, IDT)
- [5] GB/T 528—2009 硫化橡胶或热塑性橡胶 拉伸应力应变性能的测定(ISO 37:2005, IDT)
- [6] GB/T 7826—2012 系统可靠性分析技术 失效模式和影响分析(FMEA)程序(IEC 60812:2006, IDT)
- [7] IEC 60079-20-1 Explosive atmospheres - Part 20-1: Material characteristics for gas and vapour classification - Test methods and data
- [8] IEC 61025 Fault tree analysis (FTA)
- [9] ISO 188:2007 Rubber, vulcanized or thermoplastic—Accelerated ageing and heat resistance tests
- [10] ISO 1307:2006 Rubber and plastics hoses - Hose sizes, minimum and maximum inside diameters, and tolerances on cut-to-length hoses
- [11] ISO 1402:2009 Rubber and plastics hoses and hose assemblies—Hydrostatic testing
- [12] 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)
- [13] UL 132 Safety Relief Valves for Anhydrous Ammonia and LP-Gas
- [14] ANSI/CSANGV2-2000 Basic Requirements for Compressed Natural Gas Vehicle (NGV) Fuel Containers
- [15] ANSI/IAS PRD 1-1998 Pressure Relief Devices for Natural Gas Vehicles (NGV) Fuel Containers
- [16] CGA 12.6-M94 Vehicle Refueling Appliance
- [17] CSA B51-03 (R2007) Boiler, Pressure Vessel, and Pressure Piping Code
- [18] CSA C22.2 N° 60529-05-CAN/CSA: Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)
- [19] CAN/CSA-C22.2 N° 60079-0-07 Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres—Part 0: General Requirements
- [20] 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
- [21] Handbook of Chemistry and Physics, 52d ed., Chemical Rubber Company, 1971-1972
- [22] HOLMAN J. P., Heat Transfer, Fifth Edition, McGraw—Hill Book Company, New York, 1981, p. 542-543
- [23] KALYANAM, K. M. and HAY D. R., Safety Guide for Hydrogen, National Research Council
- [24] Tables of Thermal Properties of Gases, NBS Circular 564, 1955

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
燃 料 电 池 模 块
GB/T 29838—2013

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100013)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235
读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 2 字数 52 千字
2014年1月第一版 2014年1月第一次印刷

*

书号: 155066·1-48010 定价 30.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



GB/T 29838-2013