ICS 27.020
CCS J 92

团　　体　　标　　准

T/CSICE 003-2023

质子交换膜燃料电池活化方法

Activation methods for proton exchange membrane fuel cell

2023-12-04 发布　　2023-12-04 实施

中国内燃机学会　　发 布

目　次

前言 III
1　范围 1
2　规范性引用文件 1
3　术语和定义 1
4　活化对象、活化设备及条件 1
4.1　活化对象 1
4.2　活化平台及活化对象安装 2
4.3　活化环境与基本要求 3
4.4　特别规定 3
5　活化试验方法 3
5.1　总则 3
5.2　活化准备工作 3
5.3　活化流程 3
5.4　活化程度评价 5
6　测评报告 6
附录A(规范性)　安全和防护措施 7

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。

本文件由中国内燃机学会标准管理部提出。

本文件由中国内燃机学会归口。

本文件起草单位：清华大学、科威尔技术股份有限公司、国鸿氢能科技（嘉兴）股份有限公司。

本文件主要起草人：裴普成、阚宏伟、陈东方、燕希强、朱子敬、付熙、任棚、何良、崔士涛。

本文件于2023年首次发布。

质子交换膜燃料电池活化方法

警告：本标准的应用可能涉及到某些有危险性的材料、操作和设备，但未对与此有关的所有安全问题都提出建议。因此，用户在使用本标准之前有责任制定相应的安全和防护措施，并确定相关规章限制的适用性。

1 范围

本标准规定了质子交换膜燃料电池堆的活化方法和活化程度评价方法。

本标准适用于各种待活化的质子交换膜燃料电池堆。

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/T 20042.1—2017 质子交换膜燃料电池 第1部分：术语

GB/T 29838—2013 燃料电池 模块

GB/T 36288—2018 燃料电池电动汽车 燃料电池堆安全要求

GB/T 37244—2018 质子交换膜燃料电池汽车用燃料 氢气

GB 4962—2008 氢气使用安全技术规程

3 术语和定义

GB/T 20042.1-2017、GB/T 29838—2013界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

活化 activation

在设定条件下运行燃料电池从而使其达到设计性能或最优性能的过程。

3.2

氢泵活化 hydrogen pumping activation

向电池两侧供应氢气，在外电流激励的作用下提升电池性能的一种活化方式。

3.3

极限电流活化 limiting-current activation

使得电池电压处于较低电压区间，电流达到最大发电能力的一种活化方式。

3.4

活化程度 activation degree

燃料电池性能通过活化达到设计性能或最优性能的程度。

4 活化对象、活化设备及条件

4.1 活化对象

活化对象一般为未经过活化的质子交换膜燃料电池堆。

在活化平台上安装活化对象前，检查确认活化对象无外观损伤，并确认燃料电池堆符合 GB/T 36288—2018 的基本安全要求。

4.2 活化平台及活化对象安装

主要设备器件及精度见表 1。

表 1 主要设备器件及精度

测量器件	要求
露点温度测量装置	精度不低于±1.0 ℃
温度测量装置	精度不低于±1.0 ℃
压力测量装置	精度不低于±1.0 kPa
阳极质量流量测量装置	精度不低于±1.0%F.S.（满量程）
阴极质量流量测量装置	精度不低于±1. 0%F.S.（满量程）
电压测量装置	精度不低于±0.1%F.S.，采样频率不低于 10 Hz
高精度直流电源	量程不低于 0 V～200 V/200 A，精度不低于±0.1%F.S.

燃料电池活化平台如图 1 所示。测试设备应能按照测试程序自动调控，并记录测量参数；应具备多通道电压采集功能，能够显示和记录燃料电池堆每节单片电压；供气流量和湿度变化速度不低于活化过程中规定的变化速度。为了满足活化过程中冷却水温能够实现交替变化的要求，可采用图 2 所示的冷却水温控制的设计方案，其中冷却水回路 H 为高温回路，冷却水回路 L 为低温回路。可使用任何一方提供的活化平台，但应满足本标准要求。

要求进气温度、湿度、压力传感器布置在电池进气口上游 100 mm 之内，电池温度传感器布置在冷却液出口下游 100 mm 之内或电池堆内部，进气流量计布置于气体增湿之前的管路。

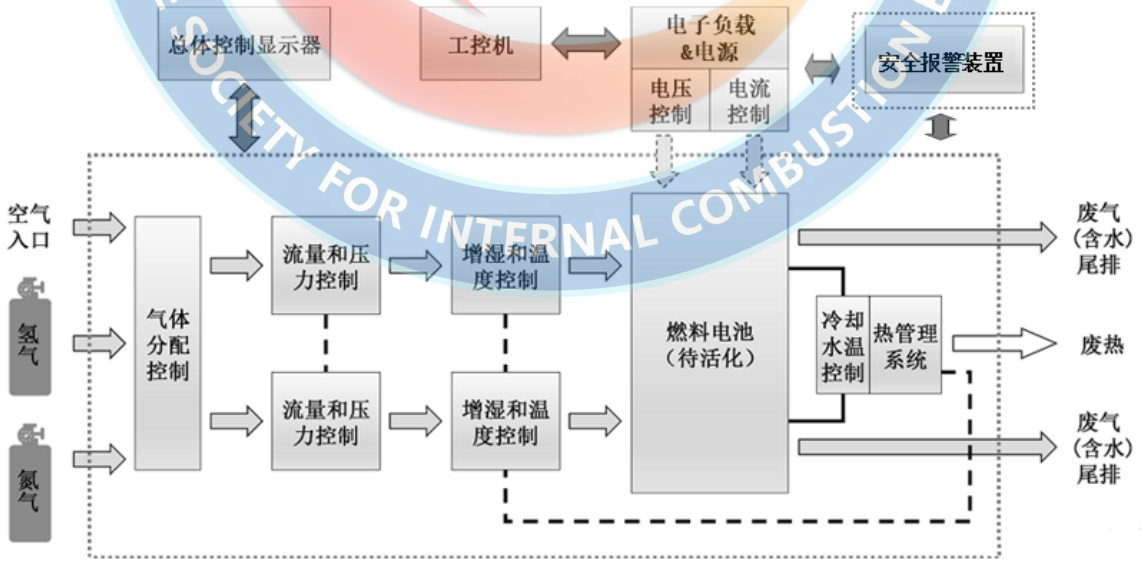


图 1 燃料电池活化平台示意图

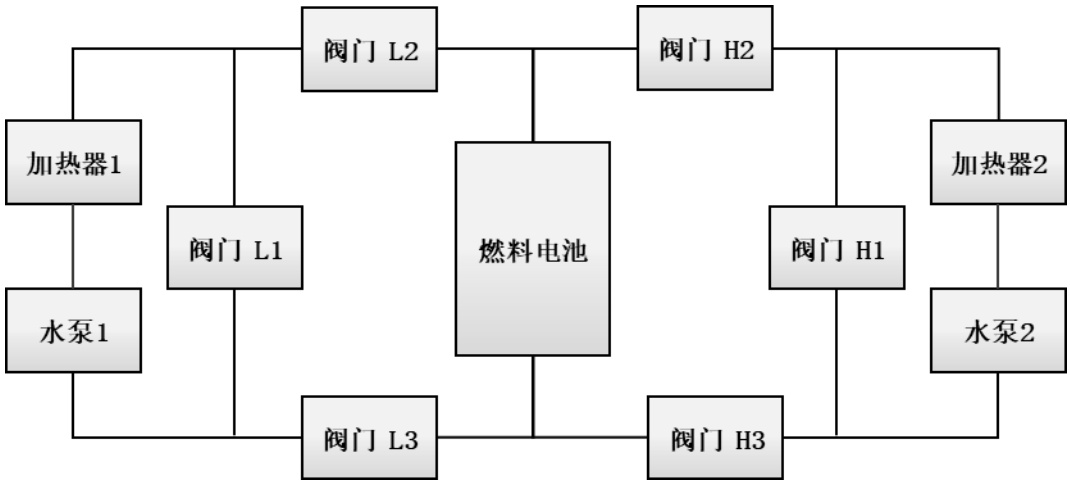


图 2　冷却水温控制示意图

4.3　活化环境与基本要求

规定活化的环境条件为：环境温度为 5 ℃～40 ℃，实验室与室外应保持通风，保证空气中氢气最高含量不超过 1%（体积比），设备、管道和阀门等连接点泄漏检查，可采用检漏液或携带式可燃性气体防爆检测仪，严禁明火，符合 GB 4962—2008 的规定。

基本要求：所用氢气纯度应不低于 99.97%，符合 GB/T 37244—2018 的规定。

4.4　特别规定

燃料电池堆额定电流：由委托方指定，或对应活化后燃料电池平均每节电压 0.65 V 时的电流。

5　活化试验方法

5.1　总则

要求依次完成下面的各项操作，除特殊说明，不得随意调整操作顺序、增减操作步骤以及更改各项操作的相关参数。如果实验对象和实验设备的零部件出现损坏，应及时终止活化操作。当发生意外停机时，应及时降低燃料电池各单片电压至 0.3 V 以下。意外停机排除后，可继续进行活化的相关操作。

5.2　活化准备工作

在进行正式的活化操作前，应确保活化的实验环境满足本标准中 4.3 的要求；应完成对待活化对象的检查，并确认活化对象符合 GB/T 36288—2018 的基本安全要求；应完成活化平台和相关设备的常规检测，保证气路、水路通畅以及各部件能正常运行。检查完毕后，正确地将待活化电池与活化平台和其他相关设备连接，核查无误即可进行正式的活化操作。

5.3　活化流程

5.3.1　活化流程要求

应依次完成活化前性能测试、氢泵活化和极限电流活化等操作。

本标准适用于各种质子交换膜燃料电池堆的活化流程，在本标准允许的范围内，如果对活化流程和操作参数进行了调整，没有严格按照本标准中规定的方法和参数进行活化，应在测评报告中作特殊说明。

活化过程中，燃料电池不得进行拆装和调整紧固力，如果出现膜电极、双极板或者密封件损坏，应及时终止活化操作。

5.3.2 活化前性能测试与一致性检查

活化前，对燃料电池堆的发电性能进行测试。测试中燃料电池堆的进气温度、进气湿度、进气压力、供气化学计量比、冷却液温度及冷却液压力等参数由委托方指定。

发电性能测试方法：在开路至平均每节燃料电池电压 0.60 V 范围，至少测量 10 个工况点并记录各工况稳定时的输出电流和电压。

发电性能测试结束后进行停机停气检查，监测各片电压下降情况。

更换开路电压过低、额定电流工况下电压过低或停机过程中电压下降过快的膜电极，过低量由制造方确定。

由活化前发电性能的测试结果，燃料电池平均每节电压 0.75 V 时的电流设定为后续氢泵活化的氢泵电流大小，平均每节电压 0.7 V 时的电流设定为后续极限电流活化的供气参考电流大小。

5.3.3 氢泵活化

当两条冷却水回路的温度都达到预设值时，可开展氢泵活化操作，氢泵活化过程共耗时 20 min，操作规程及参数如下：

a）向阳极和阴极通入氢气，标准状况两侧氢气流量按照下式计算：

$$\dot{V}_{\mathrm{H_2}} = 0.00698614 \times \lambda_{\mathrm{H_2}} \times n \times i_{\mathrm{H}} \times A_{\mathrm{MEA}} \quad \cdots\cdots\cdots\

极限电流活化过程共耗时 20 min，操作规程及参数如下：

a）开启阀门 L1、H2 和 H3，关闭阀门 H1、L2 和 L3，即冷却水回路 H 流经电堆，冷却水回路 L 保持旁通状态；

b）向电堆阳极通入氢气，阴极通入空气，氢气与空气流量分别按照下式计算：

$$\dot{V}_{\mathrm{H_2}} = 0.00698614 \times \lambda_{\mathrm{H_2}} \times n \times i_{\mathrm{L}} \times A_{\mathrm{MEA}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2)$$

$$\dot{V}_{\mathrm{air}} = 0.0165622 \times \lambda_{\mathrm{air}} \times n \times i_{\mathrm{L}} \times A_{\mathrm{MEA}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3)$$

式中:

i_{L} ——为供气参考电流密度，单位为 $\mathrm{A\cdot cm^{-2}}$；

$\lambda_{\mathrm{H_2}}$——为氢气供气化学计量比；

λ_{air}——为空气供气化学计量比。

相关工况参数见表 3，本标准只提供进气温度、进气湿度、背压的推荐值，实际操作中按照委托方要求进行设定。除进气温度、进气湿度、背压外，其余参数不得随意更改；

c）监测电堆各节电池电压，对电堆施加负载，使得最低单片电压从开路逐步降低至 0.1±0.05 V 的区间内，记录此时的电流大小，电堆在此电流下持续运行 20 min。运行期间可微调工作电流，维持最低单片电压始终在上述电压区间内。

表 3 极限电流活化工况参数

操作名称	阳/阴极气体	供气化学计量比	进气温度/℃	进气湿度/	背压（表压)/ bar	冷却水温/℃	时长/min
极限电流活化	氢气/空气	阳极：>1 阴极：1	80	100	1	80	20

5.3.5 其他活化方法

特指委托方指定的除氢泵活化、极限电流活化之外的可能有效的活化方法，比如装堆前清洗膜电极、向阴阳极流道通入去离子水等，这些操作应严格安排在本标准中 5.2 所规定的操作之前，需要详细记录操作过程和操作参数，并在测评报告中作特殊说明。

5.4 活化程度评价

5.4.1 活化后性能测试

完成活化后，再次对燃料电池堆的发电性能进行测试，发电性能测试方法与活化前测试相同。由发电性能的测试结果，确定活化后燃料电池堆的额定电流。

5.4.2 活化程度评价方法

本标准中的活化程度特指极限电流活化结束后的燃料电池活化程度，如果委托方要求在极限电流活化之后继续进行其他活化操作，则其对活化程度的影响不予考虑。

a）获取活化后电堆在额定电流下的平均每节电压 U_0；

b）电堆在额定电流下继续运行 5 min，随后再次进行发电性能的测试，获取电堆在额定电流下的平均每节电压 U_1；

c）按下式对活化程度进行评价：

$$\alpha = \left(1 - \frac{|U_0 - U_1|}{U_1}\right) \times 100\% \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4)$$

式中：

α——为活化程度。

若$\alpha \geq 98\%$，则经过极限电流活化后，电堆已得到充分活化，完成活化操作；

若$\alpha < 98\%$，则电堆未得到充分活化，重复进行步骤b），直至相邻两次发电性能测试时，额　定电流下的电堆平均每节电压之比≥99%，则电堆得到了充分活化，完成活化操作。

5.4.3　膜电极筛选

检查额定电流工况下各节电压一致性，拆除电压过低的膜电极，过低量由制造方确定。

6　测评报告

报告应包含以下内容：燃料电池堆型号、测试条件、测试单位、测试时间、相关人员签字。

测试结果内容应包括：冷却水温变化曲线、阴阳极流量变化曲线、各单片电压的变化曲线、各操作过程的时长、活化程度评价结果。

附 录 A
（规范性）
安全和防护措施

A.1 设备、管道和阀门等连接点泄漏检查，保证气密性。

A.2 使用压缩氢气瓶时，瓶内氢气不得全部用完，瓶内气压应不低于 0.05 MPa，以防空气进入瓶内。

A.3 室内必须通风良好，保证空气中氢气最高含量不超过 1 %(体积比)。

A.4 不得在室内排放氢气，操作过程中涉及到的氢气、氮气、氮氧混合气等气体尾排不得混合掺杂，不同气体应从单独的尾排管路排出。

A.5 实验室及其周围必须严防烟火，并设严谨烟火醒目标志，配备灭火器材。

A.6 电气设备的选型、配线和接地应符合国家《爆炸危险场所电气安全规程》的有关规定。

A.7 为防止静电，试验用电子负载与电源等设备必须接地良好，定期检查接地线，确保牢固可靠。

A.8 操作过程中水、电应隔离。

A.9 发生氢气泄漏或积聚时应采取下列措施：

a）切断气源。

b）打开通风装置。

c）不得进行可能产生火花的一切操作。

中国内燃机学会 CHINESE SOCIETY FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES CSICE