

ICS 点击此处添加 ICS 号

CCS 点击此处添加 CCS 号

T/ZHFCA

团 体 标 准

T/ZHFCA XXXX—20XX

质子交换膜燃料电池阻抗测量方法

On-line impedance measurement method for proton exchange membrane fuel cell

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

发 布

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××××提出。

本文件由××××归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

质子交换膜燃料电池阻抗测量方法

1 范围

本文件规定了质子交换膜燃料电池阻抗测量中的试品类别与品质，测试器具与电路，测量条件与准备以及测量方法。

本文件适用于质子交换膜燃料电池阻抗的测量。

2 总则

本文件从车用质子交换膜燃料电池角度出发进行对燃料电池的阻抗测量提供一种统一规范化的测量方法，但本文件不局限仅能使用在车用质子交换膜燃料电池，也可适用于使用质子交换燃料电池其他应用的产品。

3 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 20042.1 质子交换膜燃料电池 术语

GB/T 24548-2009 燃料电池电动汽车 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

4 术语和定义

GB/T 20042.1、GB/T 24548-2009、GB/T 29838-2013界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

4.1

阻抗 impedance

指在试品中有电阻、电感和电容的电路里，对电路中的电流所起的阻碍作用。

4.2

电化学阻抗谱 electrochemical impedance spectroscopy

在燃料电池运行工况回路中，施加一个频率不同的小振幅的交流信号，交流信号电压与电流的比值（此比值即为试品的阻抗）随正弦波频率的变化的图谱。

4.3

激励源 excitation source

指在燃料电池工况回路中一种允许施加于试品的外部电信号源头端口。

4.4

激励电流 excitation current

指在燃料电池工况回路中来自激励源所施加的电流。

4.5

额定功率 rated power

指燃料电池试品在特定工况条件下能够持续工作的功率。

5 试品

5.1 试品类别

包括，可不限于：

- 单电池；
- 燃料电池堆；
- 多个燃料电池堆组合模块；
- 燃料电池系统中集成的燃料电池堆或多个燃料电池堆组合模块。

5.2 试品品质

试品应是制造商出厂合格的产品，需要满足GB/T 36288-2018所规定。

6 测量器具与电路

6.1 测量器具

主要测量器具、参数、单位及准确度见表1。

表1 主要测量器具、测试参数、单位及准确度

器具名称	计量单位	精度
湿度表	%RH	±3.0
温度表	°C	±1
压力表	kPa	±1
电压表	V	±0.5%FS
电流表	A	±0.5%FS
气体流量计	g/s	≤1%FS

6.2 测量电路

阻抗测量电路示意图1。

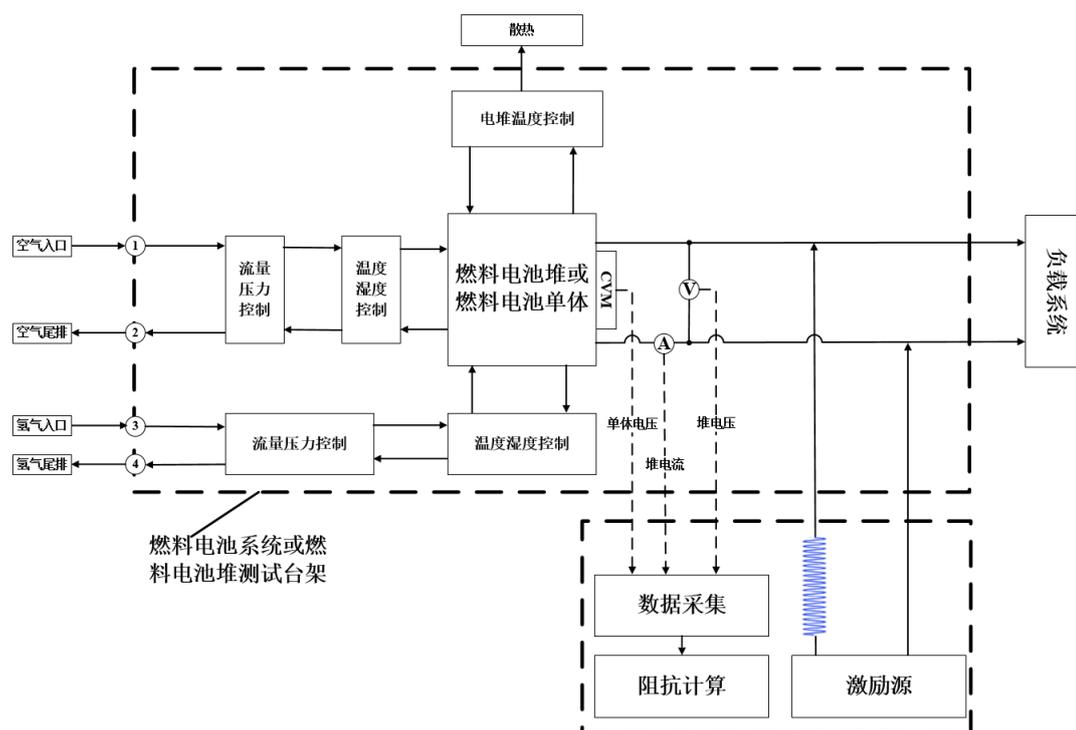


图1 阻抗测量电路示意图

7 测量条件与准备

7.1 测量条件

测量环境条件：海拔不超过1000m，环境温度在 $25 \pm 3^\circ\text{C}$ ，环境湿度在40~70%RH，实验室与外界大气应有强排风装置。

所用氢气的纯度应不低于99.97%，且符合GB/T 37244-2018规定。

7.2 测量前准备

7.2.1 安装要求

在试品测试台架上，要求进气温度、湿度、压力测量表布置在燃料电池堆进气口上游100mm之内，燃料电池堆温度测量表要求布置在冷却出口下游100mm之内或内部，进气流量计其布置于气体增湿之前管路。在燃料电池堆或模块外壳的特殊设计造成测量表布置位置无法达到前述位置100mm范围内，则可由测试方与制造方协商解决，供气流量和湿度的变化速度应不低于要求测试工况变载速率，对燃料电池堆测试使用的测试平台。

试品在线阻抗测试中，对阻抗测试仪器与受试设备之间的连接线束要求电压和电流测试线不要平行放置应垂直或分开放置，电流线使用双绞线。

按照要求正确安装阻抗测试仪与试品的正负极进行有效连接。

7.2.2 试品稳定性判断

7.2.3 阻抗测量前试品

在阻抗测量前的试品，需进行稳定性测试，按照制造方的规定启动试品，使其运行在额定功率下持续运行1小时，使试品本身温度与性能处于制造商规范的范围，且各单电池电压与单电压均值的绝对值在50mV以内。

7.2.4 试品阻抗测量开始

在试品阻抗测量开始，将试品运行至一定功率，待试品稳定后，通过阻抗测量仪施加恒定的频率与激励电流作用在试品上，试品运行中的各单电池电压与单电压均值的绝对值在50mV以内，可判断进行阻抗测量前试品的性能稳定。

7.3 异常终止测量条件

如测试期间发生试品出现异常，首先关闭阻抗测量仪器，并阻抗测量仪器完成关闭后，要及时按照制造商的规定要求将燃料电池各单节电压降低在0.3V以下，直至测试试品完全停止状态。

如发现以下情况需终止测量：

- 测试期间试品出现单电池电压为低于0；
- 测试期间试品出现单电池电压不能稳定在0.3V以上；
- 测量过程中试品的空气侧排气中氢气的体积浓度高于0.5%。

8 测量方法

8.1 阻抗测量前试品稳定性测量

8.1.1 测量方法

阻抗测量前稳定性测量方法如下：

- a) 按照制造商使用规定，试品工作在一定的功率点（在制造商规定的额定功率范围内），使得试品的工作温度达到制造商规定的正常工作温度；
- b) 试品回到最小可运行功率点运行60s；
- c) 试品按照制造商的加载规定的加载速率进行加载到额定功率点运行60min。

8.1.2 数据记录

试品测量中记录额定功率点运行的各节单体电压（V）。

8.2 试品阻抗测量开始稳定性测量

8.2.1 测量方法

试品阻抗测量开始稳定性测量方法如下：

- a) 按照7.2.1节要求，正确按照完成阻抗测量仪安装；
- b) 按照制造商使用规定，试品工作在一定的功率（在制造商规定的额定功率范围内），使得试品的工作温度达到制造商规定的正常工作温度；
- c) 试品回到最小可运行功率点运行60s；
- d) 试品按照制造商的加载规定的加载速率进行加载到额定功率点，待试品稳定性满足7.2.3节要求；
- e) 设定阻抗测量仪恒定频率10kHz与激励电流有效值5%的额定电流点对应的试品工作电流；
- f) 启动阻抗测量仪；
- g) 试品额定功率点运行60min。

8.2.2 数据记录

试品测量中记录额定功率点运行的各节单体电压（V）。

8.3 阻抗测量

8.3.1 测量方法

激励电流确认测量方法如下：

- a) 按照7.2.1节要求，正确按照完成阻抗测量仪安装；
- b) 试品满足8.1节测量要求；
- c) 试品在最小工况点运行60s；
- d) 试品按照制造商的加载规定的加载速率进行加载到额定功率点，试品满足8.2节测量要求；
- e) 设定阻抗测量仪频率0.1Hz~10000Hz，每10倍频率区间取10个点，共51个点，

f) 设定激励电流有效值在额定功率点电流的2%~10%，测量中至少选择激励电流不少3个点进行测量分析；

注：激励电流设定太小，信噪比太低，电化学阻抗谱不连续；激励电流设定太大，易导致燃料电池对进入非线性，不满足阻抗的线性测试要求，

g) 启动阻抗测量仪，进行额定功率下阻抗测量。

8.3.2 数据记录

试验中测量的数据：燃料电池堆电流（A），燃料电池堆电压（V），单电池电压（V），激励电流（A），频率值（Hz），阻抗谱中虚部阻抗（ Ω ），阻抗谱中实部阻抗（ Ω ），试品阻抗（ Ω ），根据测试数据绘制出内奎斯特（Nyquist）曲线。见图2。

注：在不同激励电流信号下得出电化学阻抗谱，内奎斯特（Nyquist）曲线中进行对比，根据电化学阻抗谱连续性来确定在线阻抗测量采取最佳的激励电流。

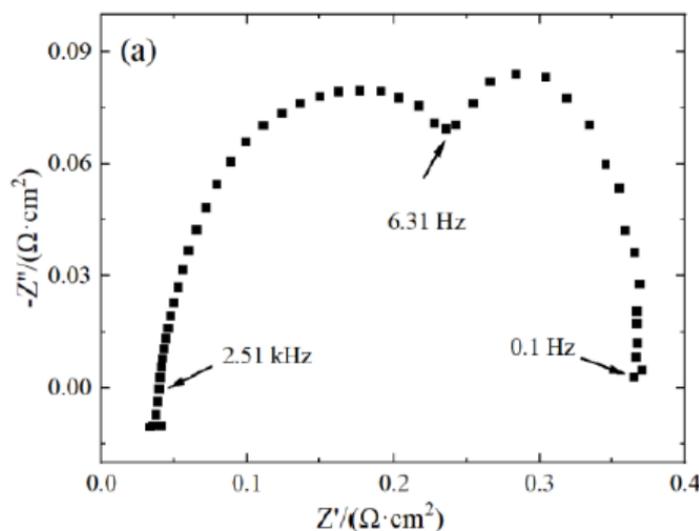


图2 内奎斯特（Nyquist）电化学阻抗谱示意图

图2中横坐标 Z' 表示实部阻抗，纵坐标 Z'' 表示虚部阻抗，表示指在复数 $Z=Z'+iZ''$ ，其中 Z' 、 Z'' 是任意实数， Z'' 称为复数 Z 的虚部，而在笛卡尔直角坐标系中， Z' 轴的值实部， Z'' 轴的值虚部。

表2 每10倍频率取点

频率/Hz	频率/Hz	频率/Hz	频率/Hz	频率/Hz	频率/Hz
10000	1000	100	10	1	0.1
7900	790	79	7.9	0.79	
6300	630	63	6.3	0.63	
5000	500	50	5	0.5	
4000	400	40	4	0.4	
3200	320	32	3.2	0.32	
2500	250	25	2.5	0.25	
2000	200	20	2	0.2	
1600	160	16	1.6	0.16	
1300	130	13	1.3	0.13	

8.4 阻抗测量

8.4.1 测量方法

阻抗测量按照以下方式进行：

- a) 按照7.2.1节要求，正确按照完成阻抗测量仪安装；
- b) 试品阻抗测量点至少要对最小运行工况点，50%额定功率点，额定功率点及制造规定的峰值功率点，其他工况点可视测量要求增加且阻抗测量工况点依次按照从小往大进行；
- c) 在试品各个工况点下，阻抗谱设定频率在0.1~10000Hz，每10倍频率区间取10个点，共51个点；
- d) 启动试品，按照制造商要求运行在最小运行工况点运行；
- e) 待工况点稳定后满足7.2.4节要求，设置阻抗测试仪激励电流有效值，开始进行测试对应工况点的电化学阻抗；
- f) 一个工况测试后，关闭电化学阻抗测试仪器，按照制造方要求进行加载到下一工况点测试，待工况点稳定后满足7.2.4节要求；
- g) 按照上述测量方式有序完成规定要求工况点的电化学阻抗测试；
- h) 如果在试验测量过程中对应工况点测量中断，则需要重新按照测量要求进行重新测量。

8.4.2 数据记录

试验中测量的数据：燃料电池堆电流（A），燃料电池堆电压（V），单电池电压（V），激励电流（A），频率值（Hz），阻抗谱中虚部阻抗（ Ω ），阻抗谱中实部阻抗（ Ω ），试品阻抗（ Ω ）。

由此数据可绘制出试品电化学阻抗谱，得出试品内部阻抗。