



中华人民共和国国家标准

GB/T 41134.2—2021

电驱动工业车辆用燃料电池发电系统 第2部分：性能试验方法

Fuel cell power systems for industrial electric trucks—
Part 2: Performance test methods

(IEC 62282-4-102:2017, Fuel cell technologies—Part 4-102: Fuel cell power systems for industrial electric trucks—Performance test methods, MOD)

2021-12-31 发布

2022-07-01 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	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 符号	3
5 标准条件	5
6 热值基础	5
7 试验准备的一般要求	5
7.1 通则	5
7.2 数据采集方案	5
8 试验装置	6
9 测量系统不确定度的最低要求	7
10 试验条件	7
10.1 实验室条件	7
10.2 系统的安装和操作条件	7
10.3 蓄电池状态指示	7
10.4 试验燃料品质	8
11 燃料消耗试验	8
11.1 氢气燃料消耗试验	8
11.2 甲醇燃料消耗量试验	10
12 电功率输出试验	11
12.1 通则	11
12.2 试验方法	11
12.3 平均电功率输出的计算	11
12.4 电效率计算	11
13 运行状态下的功率稳定性	11
13.1 通则	11
13.2 输出功率	12
13.3 输入功率	12
14 环境性能型式试验	12
14.1 概述	12
14.2 噪声试验	12
14.3 尾气试验	14
14.4 排放水试验	16

15	工作性能型式试验	17
15.1	最大输出功率试验	17
15.2	电力循环电子负载试验	17
15.3	辅助负载电压尖峰试验	18
16	测试报告	18
16.1	通则	18
16.2	标题页	18
16.3	目录内容	19
16.4	报告摘要	19
附录 A (资料性)	标准条件下氢气和甲醇的热值	20
附录 B (资料性)	详细报告和完整报告内容指南	21
参考文献	22

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 41134《电驱动工业车辆用燃料电池发电系统》的第2部分。GB/T 41134 已经发布了以下部分：

- 第1部分：安全；
- 第2部分：性能试验方法。

本文件使用重新起草法修改采用 IEC 62282-4-102:2017《燃料电池技术 第4-102部分：电驱动工业车辆用燃料电池发电系统 性能试验方法》。

本文件与 IEC 62282-4-102:2017 相比做了下述结构调整：

- 为与 GB/T 41134.1—2021“范围”一章结构保持一致，调整图1至“范围”一章中；
- 调整第13章、第14章和第15章的顺序。

本文件与 IEC 62282-4-102:2017 相比存在技术性差异，这些差异涉及的条款已通过在其外侧页边空白位置的垂直单线(|)进行了标示。

本文件与 IEC 62282-4-102:2017 的技术性差异及其原因如下：

——关于规范性引用文件，本文件做了具有技术性差异的调整，以适应我国的技术条件，调整的情况集中反映在第2章“规范性引用文件”中，具体调整如下：

- 用等同采用国际标准的 GB/Z 23751.3—2013 代替 IEC 62282-6-300(见 10.4.2)；
- 用等同采用国际标准的 GB/T 27748.4—2017 代替 IEC 62282-3-201(见第9章)；
- 用 ISO 14687:2019 代替 ISO 14687-2(见 10.4.1)；
- 增加引用了 GB/T 19753—2021(见 10.3.2)，有利于标准技术全面；
- 删除了 IEC 62282-4-102:2017 引用的 ISO 9000 和 IEC 61672-1。

——修改了范围的内容(见第1章)。

——删除了 IEC 62282-4-102:2017 术语和定义的 3.5、3.10、3.15。

——根据 GB/T 27748.4—2017 修改第4章符号及其定义，并修改对应公式[见公式(1)~公式(16)]。

——修改了试验准备的一般要求(见 7.1 和 7.2)。

——修改了甲醇燃料电池试验装置示例(见图3)。

——删除了 IEC 62282-4-102:2017 中 9.1、9.2 和 9.3 的要求。

——修改了部分蓄电池状态指示，增加试验前后蓄电池荷电状态保持一致的试验方法(见 10.3)；

——修改了第11章和第12章部分试验内容[见 11.1.2 b)、11.2.2 b)及 12.2 b)]。

——修改了辅助负载电压尖峰试验方法(见 15.3)。

本文件做了下列编辑性修改：

——为与现有标准协调，将标准名称修改为《电驱动工业车辆用燃料电池发电系统 第2部分：性能试验方法》。

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：同济大学、上海机动车检测认证技术研究中心有限公司、新源动力股份有限公司、武汉理工大学、机械工业北京电工技术经济研究所、北京上电科赛睿科技有限公司、中国科学院大连化

学物理研究所、中国质量认证中心、潍柴动力股份有限公司、中国汽车技术研究中心有限公司、上海市质量监督检验技术研究院、无锡市产品质量监督检验院、南京大学、天能电池集团股份有限公司、北京氢璞创能科技有限公司、上海恒劲动力科技有限公司、上海重塑能源科技股份有限公司、北京长征天民高科技术有限公司、海南自贸区国济新能源科技有限公司。

本文件主要起草人：马天才、牛远春、裴冯来、邢丹敏、潘牧、俞红梅、侯明、张亮、卢琛钰、王刚、何云堂、张超、杨彦博、朱俊娥、姚乃元、靳殷实、刘建国、李松丽、陈耀、胡磊、曹寅亮、胡哲。

引 言

GB/T 41134 涉及电驱动工业车辆用燃料电池发电系统的安全性、性能和互换性等因素。考虑到国内外对电驱动工业车辆应用的迫切需要,本文件主要适用于配有燃料电池发电系统的电驱动工业车辆。

电驱动工业车辆用燃料电池发电系统可在混合动力和多模式下运行。本文件通过分解他们不同的模式并提供明确的电驱动工业车辆用燃料电池系统的设计和试验框架。用于评估电驱动工业车辆用燃料电池发电系统不同燃料电池组合模式的性能。

本文件的用户可以有选择地执行本文件中所描述的适合他们目的的试验项目。本文件不排除其他的试验方法。

GB/T 41134 拟由两部分构成。

- 第 1 部分:安全。给出电驱动工业车辆用燃料电池发电系统的结构、电路和燃料的安全要求及试验方法。
- 第 2 部分:性能试验方法。给出电驱动工业车辆用燃料电池发电系统的电、热和环境性能相关的统一和可重复的试验方法。

电驱动工业车辆用燃料电池发电系统 第2部分：性能试验方法

1 范围

本文件规定了电驱动工业车辆用燃料电池发电系统的性能试验方法。

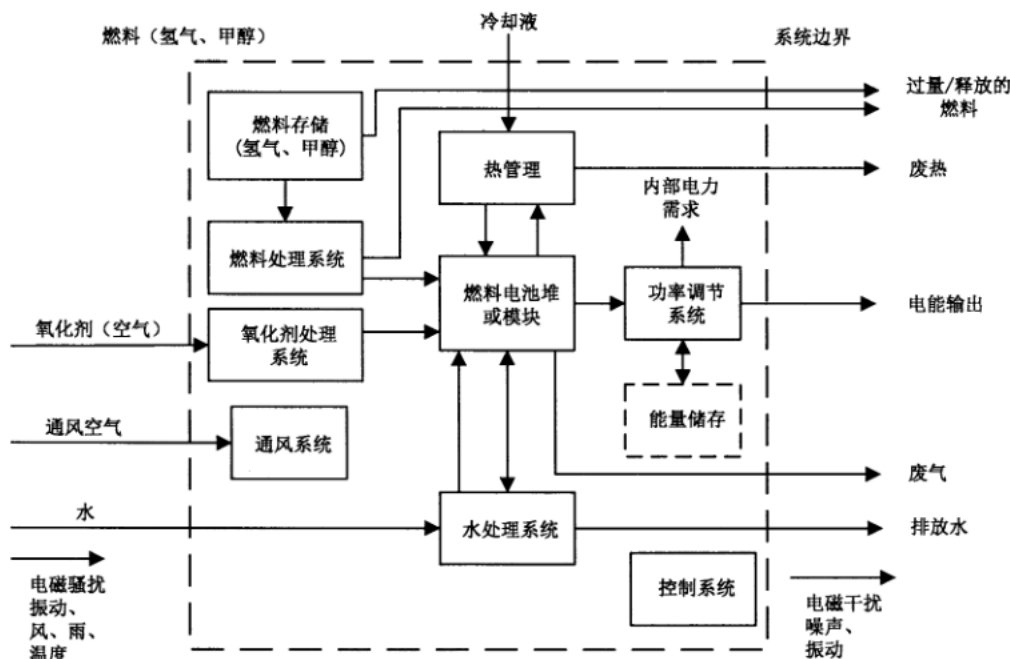
本文件适用于采用气态氢或直接甲醇为燃料的燃料电池发电系统的电驱动工业车辆，如物料搬运设备、叉车等。

本文件适用于室内和室外使用的额定输出电压不超过 150 V 的直流型燃料电池发电系统。

本文件适用于 3.7 和图 1 所定义的燃料电池发电系统。

本文件不适用于配备重整装置的燃料电池发电系统、配置内燃机的混合动力车辆和用于潜在爆炸环境的燃料电池发电系统。

本文件涉及的燃料电池发电系统，其燃料源容器永久地连接在工业车辆或燃料电池发电系统上。不准许使用可拆卸式燃料源容器。



标引序号说明：

- [] 燃料电池发电系统含子系统，该接口定义为概念性或功能性单元，而不是如电源包之类的硬件。
- ▭ 子系统：燃料电池模块，燃料处理器等。子系统的配置取决于燃料的种类、燃料电池或者系统的类型。
- 计算用数据的边界测量点。

图 1 电驱动工业车辆用燃料电池发电系统

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 19753—2021 轻型混合动力电动汽车能量消耗量试验方法

GB/Z 23751.3—2013 微型燃料电池发电系统 第3部分:燃料容器互换性(IEC 62282-6-300:2009,IDT)

GB/T 27748.4—2017 固定式燃料电池发电系统 第4部分:小型燃料电池发电系统性能试验方法(IEC 62282-3-201:2013,IDT)

ISO 14687:2019 氢气燃料品质 产品规范(Hydrogen fuel quality—Product Specification)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

噪声级 noise level

在某一特定的距离处,所测的燃料电池发电系统在所有运行模式下所产生的声压级。

注:表述单位为分贝(dB),测量方法见14.2。

3.2

背景噪声级 background noise level

在测量点处环境噪声的声压级。

注:14.2冷态下的燃料电池发电系统采用并描述了此测量方法。

3.3

蓄电池 battery

电化学能量储存装置,用来提供能量输入以支持辅助负载和/或提供电能输出。

注:不包括用于控制软件内存及类似应用的备用电池。

3.4

冷态 cold state

燃料电池发电系统处在环境温度下既没有能量输入也没有能量输出的状态。

[来源:GB/T 28816—2020,3.110.1]

3.5

排放水 discharge water

从燃料电池发电系统排放出的水,包括废水和冷凝水。

注:排放水不构成热回收系统的一部分。

[来源:GB/T 28816—2020,2.2,有修改]

3.6

燃料电池系统电效率 fuel cell system electrical efficiency

在某一给定时间段内,燃料电池发电系统的平均电输出功率和供给的燃料的平均功率的比率。

3.7

燃料电池发电系统 fuel cell power system

使用一个或多个燃料电池模块来产生电能及热的系统。

注1:燃料电池发电系统框图见图1。

注2:燃料电池发电系统可包括图1所示的部分或所有部件。用于工业车辆的燃料电池发电系统为GB/T 41134.1—

2021 中 3.9 和 3.10 中所述形式之一。

[来源:GB/T 28816—2020,3.49,有修改]

3.8

燃料输入量 fuel input

供给燃料电池发电系统的氢气或甲醇的总量。

3.9

燃料消耗量 fuel consumption

在特定运行条件下燃料电池发电系统消耗燃料的体积或质量。

3.10

最小电功率输出 minimum electric power output

燃料电池发电系统能够持续稳定运行的最小净输出电功率。

3.11

额定功率 rated power

在制造商规定的正常运行条件下,所设计的燃料电池发电系统(3.7)的最大连续电输出功率。

[来源:GB/T 28816—2020,3.85.4,有修改]

3.12

辅助负载 auxiliary load

为了维持燃料电池发电系统运行必需的辅助设备所消耗的功率。

3.13

试验持续时长 test duration

记录计算试验结果所需的数据点的时间间隔。

4 符号

下列符号适用于本文件。

表 1 和表 2 分别给出了在本文件中使用的关于电/热性能和环境性能的符号、含义以及相应的单位。

表 1 电/热性能的符号及其含义

符号	定义	单位
M, m	摩尔质量, 质量	
M_i	燃料的摩尔质量	kg/mol
m_i	试验期间测量的燃料质量	kg
p	压力	
p_s	标准压力[101.325 kPa(绝对)]	kPa(绝对)
p_i	平均燃料压力	kPa(绝对)
P	功率, 功率变化率	
P_n	平均净输出电功率	kW
P_{in}	平均输入燃料功率	kJ/s

表 1 电/热性能的符号及其含义 (续)

符号	定义	单位
E	输入能量	
E_{mf}	单位质量燃料的输入能量	kJ/kg
E_{vf}	单位体积燃料的输入能量	kJ/L
E_{fin}	总燃料的输入能量	kJ
q_m	质量流量	
q_{mf}	标准条件下的平均燃料质量流量	kg/s
q_v	体积流量	
q_{vf}	试验条件下燃料的平均体积流量	L/min
q_{vts}	标准条件下燃料的平均体积流量	L/min
H	热值	
H_{ts}	标准条件下燃料的摩尔热值	kJ/mol
H_{fl}	甲醇的热值	kJ/kg
t	时间	
Δt	试验持续时长	s
T	温度	
T_s	标准温度(273.15 K)	K
T_f	平均燃料温度	K
V, V_m	体积, 摩尔体积	
V_f	试验期间测量的总燃料体积	L
V_{ms}	理想气体的标准摩尔体积(22.414 L/mol)(在标准温度和压力条件下, $T_s = 273.15$ K 和 $p_s = 101.325$ kPa)	m ³ /mol
W	电能	
W_{out}	电能输出	kW·h
e_l	蓄电池电能输出	kW·h
η	效率	
η_{el}	电效率	%
η_{th}	热回收效率	%
η_{total}	总能量效率	%

表 2 环境性能的符号及其含义

符号	定义	单位
φ	体积分数	
$\varphi_{B, meas}$	组分 B 的测量体积分数	vol% 或 mL/m ³
$\varphi_{B, corr}$	组分 B 的校正体积分数	vol% 或 mL/m ³
$\varphi_{at(O_2)}$	干燥状态下空气进口处大气中氧气(O ₂)体积分数的测量值	vol%
$\varphi_{ex(O_2)}$	干燥的排放尾气中氧气(O ₂)的测量体积分数	vol%
$\varphi_{ex, corr(CO)}$	干燥的排放尾气中一氧化碳(CO)的校正体积分数	mL/m ³

表 2 环境性能的符号及其含义 (续)

符号	定义	单位
$\varphi_{\text{ex,corr}}(\text{THC})$	干燥的排放尾气中碳氢化合物(THC)的校正体积分数(碳当量)	mL/m^3 (碳当量)
γ	质量浓度	
$\gamma_{\text{ex}}(\text{CO})$	干燥的排放尾气中一氧化碳(CO)的质量浓度	mg/m^3
$\gamma_{\text{ex}}(\text{THC})$	干燥的排放尾气中碳氢化合物(THC)的质量浓度	mg/m^3
ϵ	排放	
$\epsilon(\text{CO})$	每单位输入燃料能量排放的一氧化碳(CO)的质量	$\text{mg}/(\text{kW} \cdot \text{h})$
$\epsilon(\text{THC})$	每单位输入燃料能量排放的碳氢化合物(THC)的质量	$\text{mg}/(\text{kW} \cdot \text{h})$
α	原子比	
$\alpha(\text{THC})$	排放尾气中总碳氢化合物(THC)的氢碳原子比	
H	热值	
ω	质量分数	
ω_{B}	甲醇的质量分数	

5 标准条件

标准条件规定如下:

- 标准温度: $T_s = 273.15 \text{ K}$ ($0 \text{ }^\circ\text{C}$);
- 标准压力: $p_s = 101.325 \text{ kPa}$ (绝对)。

6 热值基础

除非另有规定,燃料热值应采用低热值(LHV)或类似值。

注:附录 A 中给出了氢气和甲醇的低热值(LHV)和高热值(HHV)。

若采用低热值(LHV)计算能量效率,则无需标注“LHV”符号,如:

$$\eta_{\text{el}}、\eta_{\text{th}} \text{ 或 } \eta_{\text{total}} = \times \times \%$$

若采用高热值(HHV)计算能量效率,则该数值后应注明“HHV”符号,如:

$$\eta_{\text{el}}、\eta_{\text{th}} \text{ 或 } \eta_{\text{total}} = \times \times \% (\text{HHV})$$

7 试验准备的一般要求

7.1 通则

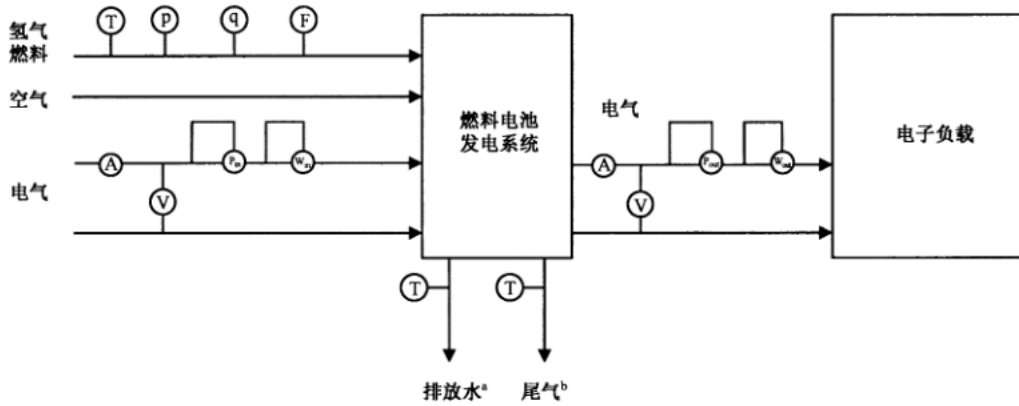
对于每项试验,应选择高精度的仪器,并仔细做好试验计划,且应注意细节以将不确定度降到最小。试验相关方以本文件为基础制定详细的试验计划,并编写书面试验计划。

7.2 数据采集方案

为满足目标的不确定度,需确定适当的读数持续时长和频率,且应在性能试验前准备好数据记录设备。

8 试验装置

图 2 和图 3 分别举例说明了使用氢气和甲醇燃料进行燃料电池发电系统测试所需的试验装置。燃料电池发电系统与电子负载连接。



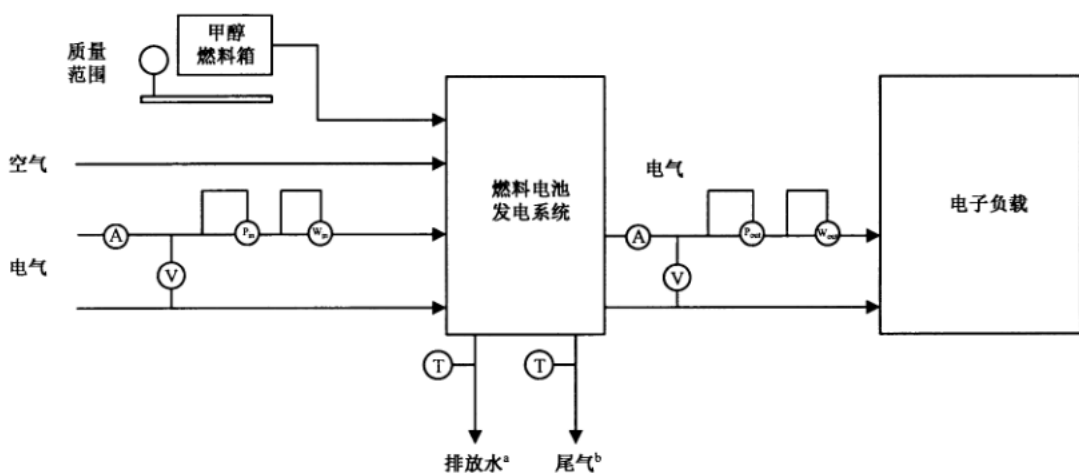
标引序号说明：

- Ⓐ——电流表；
- Ⓥ——电压表；
- Ⓣ——温度计；
- Ⓟ——压力表；
- Ⓠ——流量计；
- Ⓡ——集成流量计；
- Ⓟ——电功率计；
- Ⓜ——集成电功率计(电能计)。

^a 接收集装置以测量体积(或质量)、pH、生化需氧量(BOD)、化学需氧量(COD)。

^b 接收集装置以分析成分。

图 2 氢燃料电池试验装置示例



注：参照图 2 中的符号说明。

^a 接收集装置以测量体积(或质量)、pH、生化需氧量(BOD)、化学需氧量(COD)。

^b 接收集装置以分析成分。

图 3 甲醇燃料电池试验装置示例

9 测量系统不确定度的最低要求

设备的系统测量不确定度推荐如下,以测量值/计算值的百分比形式或绝对值形式给出:

- 电功率:±1%;
- 电能:±1%;
- 燃料气体流量:±1%;
- 累计气体流量:±1%;
- 时间:±0.5%;
- 液态燃料质量:按照 GB/T 27748.4—2017 中所述确定质量(不含燃料箱的质量)±1%;
- 相对湿度:±5%;
- 绝对压力:±1%;
- 燃料气体和排放水温度:±1 K;
- 尾气温度:±4 K。

10 试验条件

10.1 实验室条件

除非另有说明,应在如下规定的环境中进行性能试验:

- 温度:20 ℃±5℃;
- 湿度:65%±20%相对湿度;
- 压力:在 91 kPa(绝对)~106 kPa(绝对)之间。

在每次试验中都应测量试验过程中实验室的环境条件。因空气质量可能会影响燃料电池发电系统的性能,实验室空气组分(二氧化碳、一氧化碳、二氧化硫等)应与试验结果一起报告。

10.2 系统的安装和操作条件

燃料电池发电系统应在试验开始前按照制造商的安装说明进行安装和操作。

10.3 蓄电池状态指示

10.3.1 通则

对于配置蓄电池的系统,蓄电池的荷电状态(SOC)应该在试验开始时和结束时一致。可以将系统以额定输出功率运行 30 min 以上来达到标称荷电状态。如此过程无法确保蓄电池的荷电状态在试验开始时和结束时一致,按照 10.3.2 和 10.3.3 进行处理。

10.3.2 可外接充电的电驱动工业车辆

对于可外接充电的电驱动工业车辆,在试验开始前,按照 GB/T 19753—2021 中附录 C 的规定,完成对储能装置的完全充电以达到蓄电池的标称荷电状态。

试验结束后 30 min 内,按照 GB/T 19753—2021 中附录 C 的规定对储能装置进行充电。测量并记录从电网获得的电能 e_1 (kW·h), e_1 即为蓄电池电能输出。

注:仅当制造厂在其生产说明书中或以其他明确的方式推荐或要求定期进行车外充电时,电驱动工业车辆方可认为是“可外接充电”的。仅用来不定期的储能装置电量调节而非用作常规的车外能量补充,即使有车外充电能力,也不认为是“可外接充电”的车型。

10.3.3 不可外接充电的电驱动工业车辆

对于不可外接充电的电驱动工业车辆,在试验进行时,使用电能测量装置测量蓄电池输出的电能。为了使用外部设备测量蓄电池的电能,制造厂应在车上提供适当的、安全的、可接近的连接点。如果不可行,制造厂应帮助测试机构获得按照上述方式要求的将电能测量装置连接到储能装置输出线上的方法。

测量仪器应以最低 20 Hz 的频率采样,得出电能的测量值 e_1 (单位为 kW·h)。

10.4 试验燃料品质

10.4.1 氢气

试验用的氢气燃料品质应符合 ISO 14687:2019 中表 1 的要求。

10.4.2 甲醇溶液

用于制备试验用的甲醇溶液的甲醇应符合 GB/Z 23751.3—2013 中 5.5.2 的要求。

与甲醇混合的水的电导率应符合制造商的规定。

甲醇溶液中的甲醇浓度由制造商规定。

11 燃料消耗试验

11.1 氢气燃料消耗试验

11.1.1 通则

本试验旨在测量额定输出功率时的氢气燃料输入量。

本试验应与第 12 章规定的电功率输出试验同时进行。

11.1.2 试验方法

氢气燃烧消耗试验方法如下:

- a) 试验开始前,系统以额定输出功率运行 30 min 以上;
- b) 对于含有电化学蓄电池的系统,按照 10.3 所述对蓄电池进行处理;
- c) 保持系统以额定电功率输出,开始试验;
- d) 测量燃料温度、燃料压力及累计燃料输入流量(体积或质量)。每次测量至少 60 min。

11.1.3 结果计算

11.1.3.1 平均氢气燃料输入流量的计算

平均氢气燃料输入流量可表述为在标准条件下的体积流量 q_{vis} ,单位为 L/min,或质量流量 q_{mf} ,单位为 kg/s。应按照以下步骤进行计算。

a) 体积流量

- 1) 试验条件下的平均体积流量 q_{vf} ,单位为 L/min,计算方法为:将试验持续期间的总体积流量除以试验持续时长,见公式(1)。

$$q_{vf} = V_f / \Delta t \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

q_{vf} ——试验条件下燃料的平均体积流量,单位为升每分(L/min);

V_t ——试验持续期间的燃料总体积,单位为升(L);

Δt ——试验持续时长,单位为分(min)。

- 2) 标准条件下的燃料平均体积流量 q_{vis} ,单位为 L/min,应按照公式(2)进行计算,燃料温度及压力应采用试验持续期间获得的平均值。

$$q_{vis} = q_{vt} \times (T_s / T_t) \times (p_t / p_s) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

q_{vis} ——标准条件下的燃料平均体积流量,单位为升每分(L/min);

q_{vt} ——试验条件下的燃料平均体积流量,单位为升每分(L/min);

T_s ——标准温度(273.15 K);

p_s ——标准压力[101.325 kPa(绝对)];

T_t ——试验持续期间的平均燃料温度,单位为开尔文(K);

p_t ——试验持续期间的平均燃料压力,单位为千帕[kPa(绝对)]。

b) 质量流量

试验条件下的平均质量流量 q_{mf} ,单位为 kg/s,应用试验持续期间的累计质量流量除以试验持续时长来获得,见公式(3)。

$$q_{mf} = m_t / \Delta t \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

q_{mf} ——试验条件下的燃料平均质量流量,单位为千克每秒(kg/s);

m_t ——试验持续期间的累计质量,单位为千克(kg);

Δt ——试验持续时长,单位为秒(s)。

11.1.3.2 氢气燃料平均输入功率的计算

氢气燃料平均输入功率 p_{fin} ,单位为 kJ/s,应根据下述步骤进行计算。燃料的温度和压力应采用试验期间测得的平均值。

a) 体积流量法

- 1) 应按照公式(4)进行计算标准条件下单位体积燃料的能量 E_{vt} ,单位 kJ/L。

$$E_{vt} = H_{fs} / V_{ms} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

E_{vt} ——单位体积燃料的输入能量,单位为千焦每升(kJ/L);

H_{fs} ——标准条件下氢燃料的单位摩尔热值(241.56 kJ/mol);

V_{ms} ——理想气体的标准摩尔体积(22.414 L/mol)(本文件的标准温度 $T_s = 273.15$ K)。

注:通常燃料能耗和热值以低热值(LHV)为基准。

- 2) 应按照公式(5)进行计算燃料平均输入功率 P_{fin} ,单位 kJ/s。

$$P_{fin} = q_{vis} \times E_{vt} / 60 \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

P_{fin} ——燃料平均输入功率,单位为千焦每秒(kJ/s);

q_{vis} ——标准条件下燃料的平均体积流量,单位为升每分(L/min);

E_{vt} ——单位体积燃料的输入能量,单位为千焦每升(kJ/L)。

注:在 GB/T 27748.4—2017 中计算燃料消耗能量时考虑了氢燃料的比热焓和压力能,但在上述燃料消耗能量的计算中予以忽略,因为对处于低温低压工况下的叉车燃料电池发电系统,这些可以忽略不计。

b) 质量流量法

- 1) 单位质量燃料的输入能量 E_{mf} (kJ/kg),应按照公式(6)进行计算:

$$E_{mf} = H_{is}/M_f \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中:

E_{mf} ——单位质量燃料的输入能量,单位为千焦每千克(kJ/kg);

H_{is} ——标准条件下燃料的热值,单位为千焦每摩尔(kJ/mol);

M_f ——燃料的摩尔质量,单位为千克每摩尔(kg/mol)。

2) 燃料平均输入功率 P_{fin} ,单位 kJ/s,应按照公式(7)进行计算:

$$P_{fin} = q_{mf} \times E_{mf} \quad \dots\dots\dots(7)$$

式中:

P_{fin} ——燃料平均输入功率,单位为千焦每秒(kJ/s);

E_{mf} ——单位质量燃料的输入能量,单位为千焦每千克(kJ/kg);

q_{mf} ——燃料平均质量流量,单位为千克每秒(kg/s)。

11.2 甲醇燃料消耗量试验

11.2.1 概述

本试验旨在测量额定输出功率下的甲醇燃料输入量。如果制造商规定了在 50%、75% 部分负载和/或最低电功率输出下运行,则这些工作点也应被测量。

本试验应与第 12 章规定的电功率输出试验同时进行。

11.2.2 试验方法

甲醇燃料消耗量试验方法如下。

- a) 试验开始前,系统以额定输出功率运行 30 min 以上。
- b) 对于含有蓄电池的系统,试验开始前,按照 10.3 所述对蓄电池进行处理。
- c) 保持系统以额定电功率输出运行时开始试验。如果制造商规定了在 50%、75% 部分负载和/或最低电功率输出下运行,在这些工况下重复该试验。
- d) 测量燃料箱或者整个系统(包括燃料箱)的初始质量。
- e) 本试验至少持续 3 h。如果间歇性供给燃料,总测试持续时间应为燃料供应时间的 20 倍或 3 h,以较长者为准。
- f) 在试验结束时测量燃料箱或者整个系统(包括燃料箱)的质量。

11.2.3 甲醇燃料平均输入功率的计算

试验持续期间总的甲醇燃料输入能量 E_{fin} ,单位是 kJ,应按照公式(8)进行计算:

$$E_{fin} = (A - B) \times H_n \times \omega_B \quad \dots\dots\dots(8)$$

式中:

E_{fin} ——总的燃料输入能量,单位为千焦(kJ);

A ——试验开始时的质量,单位为千克(kg);

B ——试验结束时的质量,单位为千克(kg);

H_n ——甲醇的热值,单位为千焦每千克(kJ/kg);

ω_B ——试验用的甲醇溶液中甲醇的质量分数。

平均燃料输入功率 P_{fin} ,单位是 kJ/s,应按照公式(9)进行计算:

$$P_{fin} = E_{fin}/\Delta t \quad \dots\dots\dots(9)$$

式中:

P_{fin} ——燃料平均功率输入,单位为千焦每秒(kJ/s);

E_{fin} ——总燃料输入能量,单位为千焦(kJ);

Δt ——试验持续时间,单位为秒(s)。

注:通常,燃料输入能量和热值以低热值(LHV)为基准。

12 电功率输出试验

12.1 通则

本试验测量额定功率输出时的平均电功率输出。如果制造商规定了在 50%、75% 部分负载和/或最低电功率输出下运行,则这些工作点也应被测量。

本试验应与第 11 章规定的燃料消耗试验同时进行。

12.2 试验方法

电功率输出试验方法如下。

- 试验开始前,系统以额定输出功率运行 30 min 以上。
- 对于含有蓄电池的系统,试验开始前,按照 10.3 所述对蓄电池进行处理。
- 保持系统以额定电功率输出运行时开始试验。如果制造商规定了在 50%、75% 部分负载和/或最低电功率输出下运行,在这些工况下重复该试验。
- 测量试验期间的电功率输出。试验至少持续 3 h。如果间歇性供给燃料,总测试持续时间应为燃料供应持续时间的 20 倍或 3 h,以较长时间为准。

12.3 平均电功率输出的计算

平均电功率输出应按照公式(10)进行计算:

$$P_n = \frac{W_{\text{out}}}{\Delta t} \times 3\,600 \quad \dots\dots\dots(10)$$

式中:

P_n ——平均电功率输出,单位为千瓦(kW);

W_{out} ——试验期间的电能输出,单位为千瓦时(kW·h);

Δt ——试验持续时长,单位为秒(s)。

12.4 电效率计算

电效率是基于第 11 章和第 12 章中的计算结果得到的。

电效率 η_{el} ,单位为%,应按照公式(11)进行计算:

$$\eta_{\text{el}} = \frac{P_n}{P_{\text{fin}}} \times 100 \quad \dots\dots\dots(11)$$

式中:

η_{el} ——电效率,%;

P_n ——平均电功率输出,单位为千瓦(kW)(见 12.3);

P_{fin} ——平均燃料输入能量,单位为千焦每秒(kJ/s)(见 11.1.3.2 和 11.2.3)。

13 运行状态下的功率稳定性

13.1 通则

本试验旨在确定以实际车辆行驶工况运行时燃料电池发电系统功率输出的稳定性。

13.2 输出功率

车辆制造商应详细说明工业车辆在不同运行时间内电流、电压的输出要求,以保证车辆的性能。

试验前,燃料电池发电系统应在额定功率下运行 30 min 进行暖机,确认蓄电池已达到目标荷电状态(SOC)。

车辆应按栏目 ID_{\min} 中给出的时间间隔 TD_1 、 TD_2 、 TD_3 和无负载(零电流)条件下运行。额外时间间隔应由制造商提供。这些要求定义了车辆控制系统的要求而非车辆使用要求。

在车辆运行期间表 3 所要求的数据应记录在案。

表 3 输出功率的测量

间隔	ID_{\min} A	VD_{\max} V	VD_{\min} V
TD_1	燃料电池制造商声明的第 5 s 时的额定电流		
TD_2	燃料电池制造商声明的第 30 s 时的额定电流		
TD_3	燃料电池制造商声明的第 1 h 时的额定电流		
TD_0	0		

13.3 输入功率

车辆制造商应详细说明工业车辆在不同运行时间内自耗电流、电压的要求,以保证车辆的性能。

试验前应对燃料电池发电系统进行暖机。试验应在辅助储能装置达到目标荷电状态时开始。

车辆应按栏目 IA_{\min} 中给出的时间间隔下运行。额外时间间隔应由制造商提供。这些要求定义了车辆控制系统的要求而非车辆使用要求。

在车辆运行期间表 4 所要求的数据应记录在案。

表 4 输入功率的测量

间隔	IA_{\min} A	VA_{\max} V	VA_{\min} V
TA_1	车辆制造商所声明的第 5 s 时的额定电流		
TA_2	车辆制造商所声明的第 30 s 时的额定电流		

蓄电池状态(测量时的荷电状态和温度)应记录在报告中。

14 环境性能型式试验

14.1 概述

环境性能型式试验包括:

- 噪声试验(14.2);
- 尾气试验(14.3)。

14.2 噪声试验

14.2.1 概述

此试验是为了测量带有气压计、湿度计、温度传感器等装置的系统在每个阶段产生的噪声级,包含

从启动、额定功率输出、最小电功率输出(如果制造商规定了此运行模式且用户有此需求)到停机。额定输出功率由制造商规定。

14.2.2 试验条件

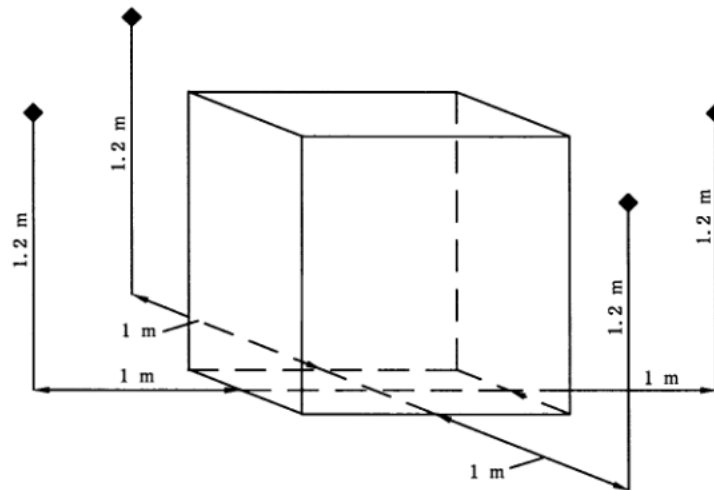
14.2.2.1 基准面

基准面应设置在距离燃料电池发电系统四个侧面(前、后、左、右)1 m 远的位置。如果不可行,可以调整为 50 cm 处的位置,试验报告应对此做明确说明。

如果燃料电池发电系统表面上的凸起对表面噪声无显著影响,则应忽略此凸起,并参考 ISO 6798 对燃料电池发电系统表面进行概念简化。

14.2.2.2 测量点

应在 4 个点进行测量,即在燃料电池发电系统前后中心线的两个方向和左右中心线的两个方向上。测量点应位于距发电系统的底部 1.2 m 的基准面上(见图 4)。



标引序号说明:

◆——测量点。

图 4 燃料电池发电系统噪声测量点

14.2.2.3 背景噪声的影响

噪声计在有待测噪声和无待测噪声时的读数差应在 10 dB 或 10 dB 以上。当燃料电池发电系统是唯一的噪声源时,如果读数差为 3 dB 或大于 3 dB 且不超过 10 dB,读数可按照表 5 进行调整以评估噪声级。

表 5 背景噪声对读数影响的补偿

读数和目标噪声的差异/dB	3	4	5	6	7	8	9
补偿值/dB	-3	-2		-1			

14.2.2.4 回声的影响

当麦克风或声源附近有大反射体时,从反射体反射回来的声音加入声源的噪声会导致测量误差。

测量之前,应尽可能移除反射体。如无法移开,应在试验报告中对此进行说明。

14.2.3 试验方法

噪声试验方法如下。

- a) 测量系统在冷态时的背景噪声级。
- b) 在冷态启动系统。
- c) 首先将输出加载至额定功率,达到额定功率后至少等待 30 min。然后在额定功率下继续运行系统 1 h 或更久。
- d) 如果制造商规定了最小电功率输出的工况,并且用户希望进行测量,则将系统设置为最小电功率输出,然后等待至少 30 min。继续以最小输出额定功率运行系统 1 h 或更长时间。
- e) 系统关机。
- f) 测量系统从启动到关机的噪声级。测量频率应以 1 s 为间隔。读数应取最为接近的整数(如 45.7 变为 46)。
- g) 系统关机完成后,测量背景噪声级,并确保背景噪声级之间偏差小于±2 dB(A)。

14.2.4 数据处理

按以下要求进行数据处理。

- a) 背景噪声的影响应按 14.2.2.3 所述进行校正。
- b) 以下代表性噪声级的数值应记录在报告中:
 - 所有运行阶段的最大噪声级以及产生最大值的运行阶段;
 - 在额定功率下运行 1 h 的噪声级均值。

14.3 尾气试验

14.3.1 概述

尾气试验只应用于直接甲醇燃料电池。本试验旨在测量直接甲醇燃料电池发电系统的废气中各组分的体积分数。这些值用于计算启动、额定功率输出和停机期间的如下值:

- 一氧化碳(CO)和总碳氢化合物(THC)(mg/m^3)(14.3.4.3)的质量浓度;
- 单位输入燃料能量中的一氧化碳(CO)和总碳氢化合物(THC)质量[$\text{mg}/(\text{kW} \cdot \text{h})$](14.3.4.4)。

14.3.2 待测组分

待测组分如下:

- 一氧化碳(CO);
- 总碳氢化合物(THC);
- 氧气(O_2)。

14.3.3 试验方法

尾气试验方法如下。

- a) 将取样探头(一个或多个)完全放入尾气气流中,确保取样探头(一个或多个)不阻塞排气管。取样探头应放置在燃料电池系统尾气出口的位置;对于封闭式排气通风系统,置于尾气排放管道内部;对于开放式排气通风系统,直接置于尾气出口处。如果排气管道外形尺寸较大,则在排气管道的中心及排气管横截面的格栅中选取有代表性的点读数,并算出平均值。
- b) 对于开放式排气通风系统,放置探头时应注意避免取样气体与周围空气混合。

- c) 测量期间,应避免温度传感器探头冷凝,冷凝将导致读数无效。
- d) 从冷态下启动系统,然后将输出功率加载至额定功率,达到额定输出功率后保持至少 30 min。
- e) 继续在额定功率下运行系统 1 h 或以上,然后关闭系统。
- f) 测量从启动到关机过程的尾气中各组分的体积分数(以 vol% 或 mL/m³ 为单位),燃料流量(体积或质量流量),燃料压力、温度、室温和湿度。数据采集的周期应为 15 s 或更短。

14.3.4 数据处理

14.3.4.1 通则

在干燥和无空气条件(14.3.4.2)下的修正体积分数应用于以下计算:

- 一氧化碳(CO)和总碳氢化合物(THC)的质量浓度(mg/m³)(14.3.4.3);
 - 单位输入燃料能量中的一氧化碳(CO)和总碳氢化合物(THC)质量[mg/(kW·h)](14.3.4.4)。
- 计算值应按照 14.3.4.5 和 14.3.4.6 展现在报告中。

14.3.4.2 干燥和无空气条件下校正体积分数

所测量的尾气中各组分的体积分数(mL/m³)应使用干燥尾气中氧气的体积分数来校正,以得到不同组分在干燥和无空气条件下的校正体积分数,如公式(12)所示:

$$\varphi_{B,corr} = \varphi_{B,meas} \times \frac{\varphi_{at(O_2)}}{\varphi_{at(O_2)} - \varphi_{ex(O_2)}} \dots\dots\dots(12)$$

式中:

- $\varphi_{B,corr}$ ——各组分校正后的体积分数,单位为体积百分比或毫升每立方米(vol% 或 mL/m³);
- $\varphi_{B,meas}$ ——各组分测量的体积分数,单位为体积百分比或毫升每立方米(vol% 或 mL/m³);
- $\varphi_{at(O_2)}$ ——干燥状态下空气进口处测量的氧气的体积分数,单位为体积百分比[vol%, 新鲜空气 $\varphi_{at(O_2)} \approx 21\%$];
- $\varphi_{ex(O_2)}$ ——干燥尾气中氧气的测量体积分数,单位为体积百分比(vol%)。

14.3.4.3 各组分的质量浓度

14.3.4.3.1 CO 的质量浓度

CO 的质量浓度应按照公式(13)进行计算:

$$\gamma_{ex(CO)} = \varphi_{ex,corr(CO)} \times 1.25 \dots\dots\dots(13)$$

式中:

- $\gamma_{ex(CO)}$ ——干燥尾气中 CO 的质量浓度,单位为毫克每立方米(mg/m³);
- $\varphi_{ex,corr(CO)}$ ——干燥尾气中 CO 的校正体积分数,单位为毫升每立方米(mL/m³);
- 1.25 ——标准条件下 CO 的密度,单位为千克每立方米(kg/m³)。

14.3.4.3.2 THC 的质量浓度

THC 的质量浓度应按照公式(14)进行计算:

$$\gamma_{ex(THC)} = \varphi_{ex,corr(THC)} \times [0.537 + \alpha_{(THC)} \times 0.045] \dots\dots\dots(14)$$

式中:

- $\gamma_{ex(THC)}$ ——干燥尾气中 THC 的质量浓度,单位为毫克每立方米(mg/m³);
- $\varphi_{ex,corr(THC)}$ ——干燥尾气中 THC 的校正体积分数,单位为毫升每立方米(mL/m³, 碳当量);
- $\alpha_{(THC)}$ ——尾气中 THC 的氢碳原子比;
- 0.537 ——标准条件下每摩尔体积碳原子质量,单位为千克每立方米(kg/m³);

0.045 ——标准条件下每摩尔体积氢原子质量,单位为千克每立方米(kg/m³)。

注:标准条件为 0 ℃、101.325 kPa(1 atm)。

14.3.4.4 单位输入燃料能量中各组分的质量

14.3.4.4.1 单位输入燃料能量中 CO 的质量

单位电能消耗 CO 的质量[mg/(kW·h)]应按照公式(15)进行计算:

$$\epsilon_{(\text{CO})} = \varphi_{\text{ex,corr}(\text{CO})} \times \left(\frac{22.4 \times 10^{-3}}{H_{\text{fs}}} \right) \times 1.25 \times 3\,600 \quad \dots\dots\dots(15)$$

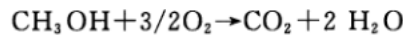
式中:

$\epsilon_{(\text{CO})}$ ——单位输入燃料能量排放 CO 质量,单位为毫克每千瓦时[mg/(kW·h)];

$\varphi_{\text{ex,corr}(\text{CO})}$ ——干燥尾气中 CO 的校正体积分数,单位为毫升每立方米(mL/m³);

H_{fs} ——标准条件下甲醇的摩尔热值,单位为千焦每摩尔(kJ/mol);

22.4×10^{-3} ——每摩尔甲醇参与反应时,理论上干燥尾气中气体体积(CO₂),反应式如下:



1.25 ——标准条件下 CO 的密度,单位为千克每立方米(kg/m³);

3 600 ——kJ 到 kW·h 的换算因子。

14.3.4.4.2 单位输入燃料能量中 THC 的质量

单位输入燃料能量中 THC 的质量[mg/(kW·h)]应按照公式(16)进行计算:

$$\epsilon_{(\text{THC})} = \varphi_{\text{ex,corr}(\text{THC})} \times \left(\frac{22.4 \times 10^{-3}}{H_{\text{fs}}} \right) \times [0.537 + \alpha_{(\text{THC})} \times 0.045] \times 3\,600 \quad \dots\dots\dots(16)$$

式中:

$\epsilon_{(\text{THC})}$ ——单位输入燃料能量中 THC 的质量,单位为毫克每千瓦时[mg/(kW·h)];

$\varphi_{\text{ex,corr}(\text{THC})}$ ——干燥尾气中 THC 的校正体积分数,单位为毫升每立方米(mL/m³);

H_{fs} ——标准条件下甲醇的摩尔热值,单位为千焦每摩尔(kJ/mol);

$\alpha_{(\text{THC})}$ ——尾气中 THC 的氢碳原子比。

14.3.4.5 数据平均值

在以额定输出功率运行过程中(达到额定功率 30 min 后运行 1 h),测量的各有害气体组分的平均质量浓度和平均单位输入燃料能量的平均质量,应对平均质量浓度和单位输入燃料能量的质量取平均值来计算。

平均质量浓度和单位输入燃料能量的平均质量应通过附加注解的方式记录,包括平均输出功率、平均室温和平均湿度。

14.3.4.6 尾气的平均温度

记录在额定功率下运行时尾气的平均温度。

14.4 排放水试验

14.4.1 通则

此试验旨在测量从启动、额定电功率输出到关机的所有运行模式下排放水的质量。额定输出功率由制造商规定。

14.4.2 试验方法

排放水试验方法如下。

- a) 安装收集排放水的装置之后,启动燃料电池发电系统。
- b) 收集从启动到停机过程中的排放水,当系统以额定功率运行 3.5 h 或 1 个氢瓶的燃料用尽时,系统停机。
- c) 测量以下项目:
 - 排放水总量(记录运行时间);
 - 排放水的温度;
 - pH;
 - 必要时生物需氧量(BOD);
 - 必要时化学需氧量(COD)。

宜参考 ISO 10523 测量 pH,参考 ISO 5815 测量 BOD,参考 ISO 6060 测量 COD。

15 工作性能型式试验

15.1 最大输出功率试验

15.1.1 通则

本试验旨在确定燃料电池启动后能立即维持的最大电力负荷的能力。一种情况是对已处于预处理状态一段时间后的燃料电池进行试验。另一种情况是在额定负载下运行一段时间后,关闭燃料电池,然后在最大持续负载的情况下启动燃料电池进行试验。

15.1.2 试验方法

最大输出功率试验方法如下。

- a) 在试验开始前对系统进行调试,将系统以额定输出功率运行 30 min 以上。
- b) 关闭燃料电池系统并冷却至环境温度,将最大额定电气负载(由制造商规定)连接至燃料电池并按照制造商的建议启动燃料电池发电系统。
- c) 以最大功率输出运行系统,达到制造商的规定的或 1 h(以较短者为准)后,按照制造商的规定关闭燃料电池发电系统。然后在 2 min 内,按照制造商的规定启动燃料电池发电系统。

15.1.3 数据处理

当启动带有负载的燃料电池发电系统时,如果系统不给负载供电,要记录负载不带电所持续的时间。如果系统出现了任何报警(如低电量指示灯亮起),也应记录在报告中。

15.2 电力循环电子负载试验

15.2.1 通则

本试验旨在对燃料电池系统进行循环电子负载测试,类似于电驱动工业车辆在实际运行过程中负载的变化。

15.2.2 试验方法

电力循环电子负载试验方法如下。

- a) 试验开始前,系统以额定输出功率运行 30 min 以上。

- b) 系统以额定输出功率运行 15 min,然后以制造商规定的最大输出电功率运行系统 15 min。重复循环持续 8 h。如果循环时燃料电池系统与负载断开,那么当系统重新连接负载时,需要将系统重新连接负载的时间记录在报告中。

15.2.3 数据处理

当燃料电池发电系统循环时,如果系统与负载断开,或系统出现任何报警(如低电量指示灯亮起),相应事件发生的时间和持续时间应记录在报告中。

15.3 辅助负载电压尖峰试验

15.3.1 通则

本试验旨在确定燃料电池发电系统是否能钳住由于使用接触器给外部负载供电而引起的感性尖峰电压。

15.3.2 试验方法

辅助负载电压尖峰试验方法如下:

- a) 将感性负载(如风扇)连接至燃料电池发电系统;
- b) 尖峰应在电功率输出端测量,即连接系统输出端的用户电缆;
- c) 按照制造商的要求启动燃料电池发电系统,在报告中记录燃料电池发电系统的电压以及电压尖峰的持续时长。

15.3.3 数据处理

按下列要求进行数据处理:

- a) 使用的感性负载要记录在报告中。负载应比制造商规定的小;
- b) 当启动带有负载的燃料电池发电系统时,应记录高于额定电压 2 V 或者低于 0 V 的电压尖峰。电压尖峰的幅值和持续时长也应记录在报告中。

16 测试报告

16.1 通则

试验报告应准确、清晰、客观的展现测试信息,以表明所有的试验目的都已达到。测试报告至少应有标题页、目录和总结报告。

第 11 章和第 12 章所测得的信息,可提供在详细报告与(或)完整报告中,作为内部使用。附录 B 中提供了详细报告与完整报告的内容指南。

16.2 标题页

标题页应包含以下信息:

- a) 报告编号(可选);
- b) 报告形式(摘要、详细或全部);
- c) 报告作者;
- d) 试验执行单位;
- e) 报告日期;
- f) 试验地点;

- g) 试验名称；
- h) 试验日期与时间；
- i) 燃料电池发电系统的编号与制造商的名称。

16.3 目录内容

目录应按照顺序展现报告中每章的标题、副标题及其页码等。

16.4 报告摘要

摘要报告应包含以下信息：

- a) 试验目的；
- b) 试验、仪器和设备的描述；
- c) 所有的试验结果；
- d) 每个试验结果置信度；
- e) 适当的结论；
- f) 试验及其结果的论述(如评价和观察)；
- g) 燃料分析结果。

附录 A

(资料性)

标准条件下氢气和甲醇的热值

标准条件下氢气和甲醇的热值见表 A.1。

表 A.1 标准条件下氢气和甲醇的热值

序号	组分	单位摩尔的低热值 kJ/mol	单位摩尔的高热值 kJ/mol	单位质量的低热值 MJ/kg	单位质量的高热值 MJ/kg
1	氢气	241.56	286.63	119.83	142.19
2	甲醇	676.44	766.59	21.11	23.92

注：上述数值摘自 ISO 6976:1995/Cor 3:1999 中的表 3 和表 4。

附 录 B
(资料性)
详细报告和完整报告内容指南

B.1 通则

建议创建详细报告及/或完整报告时,应记录下充足的信息,以表明所有试验目的均已达到。所有报告都应添加标题页及目录页,标题页应包含 16.2 中所描述的信息。

B.2 详细报告

除了摘要报告中所含有的信息外,详细报告应还包含以下信息:

- a) 燃料电池发电系统类型、规格、运行配置及说明试验边界的流程图;
- b) 仪器和设备的布置、安装位置与运行条件的说明;
- c) 仪器设备的校准情况;
- d) 计算方法的参考依据;
- e) 试验结果的表格化、图形化。

注:对于不确定性分析的详细叙述见 GB/T 27748.2—2013 中的附录 A。

B.3 完整报告

除了详细报告中包含的信息外,完整报告还应包含以下信息:

- a) 原始数据表的复印件;
- b) 除了测量数据外,原始数据表应包含以下信息:
 - 试验进行的日期和时间;
 - 试验所用仪器的型号、序列号及测量精度;
 - 试验的环境条件;
 - 试验执行者的姓名与资质;
 - 完整详细的不确定度分析。

参 考 文 献

- [1] GB/T 27748.2—2013 固定式燃料电池发电系统 第2部分:性能试验方法
 - [2] GB/T 28816—2020 燃料电池 术语
 - [3] 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
 - [4] ISO 5815 (all parts) Water quality—Determination of biochemical oxygen demand after n days (BOD_n)
 - [5] ISO 6060 Water quality—Determination of the chemical oxygen demand
 - [6] ISO 6798(all parts) Reciprocating internal combustion engines—Measurement of sound power level using sound pressure
 - [7] ISO 6976 Natural gas—Calculation of calorific values, density, relative density and Wobbe indices from composition
 - [8] ISO 10523 Water quality—Determination of pH
 - [9] IEC 62282-4-101 Fuel cell technologies—Part 4-101: Fuel cell power systems for propulsion other than road vehicles and auxiliary power units (APU)—Safety of electrically powered industrial trucks
 - [10] ASTM D1152/97 Specification for methanol
-