



中华人民共和国国家标准

GB/T 38954—2020

无人机用氢燃料电池发电系统

Hydrogen fuel cell power system for unmanned aerial vehicles

2020-06-02 发布

2020-12-01 实施

国家市场监督管理总局
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 1

3 术语和定义 1

4 通用要求 2

 4.1 总则 2

 4.2 通用安全要求 3

 4.3 外观和结构 4

 4.4 其他通用技术要求 4

5 技术要求 4

 5.1 启动时间 4

 5.2 达到额定功率时间 4

 5.3 额定输出功率 4

 5.4 功率过载率 5

 5.5 输出电压范围 5

 5.6 电效率 5

 5.7 启动/关机方式 5

 5.8 关机时间 5

 5.9 连续运行时间 5

 5.10 噪声 5

 5.11 抗振能力 5

 5.12 电磁兼容限值 5

 5.13 数据传输 5

 5.14 供氢流量 5

 5.15 舱内燃料浓度 6

 5.16 尾气中燃料浓度限制 6

 5.17 舱室防护等级 6

 5.18 寿命 6

 5.19 氢气泄漏率 6

 5.20 告警功能与监控功能 6

6 试验方法 6

 6.1 试验准备 6

 6.2 启动时间试验 7

 6.3 达到额定功率时间试验 7

 6.4 额定输出功率试验 7

 6.5 功率过载率试验 7

 6.6 输出电压范围试验 8

6.7	电效率试验	8
6.8	启动/关机方式试验	8
6.9	关机时间试验	8
6.10	连续运行时间试验	8
6.11	噪声试验	8
6.12	抗振能力试验	8
6.13	电磁兼容限值试验	9
6.14	数据传输试验	9
6.15	氢气流量试验	9
6.16	舱内燃料浓度试验	9
6.17	尾气中燃料浓度试验	9
6.18	舱室防护等级试验	10
6.19	寿命试验	10
6.20	氢气泄漏率试验	10
6.21	告警与监控功能试验	11
7	标志、包装、运输	11
7.1	标志	11
7.2	包装	12
7.3	文件	12
附录 A (资料性附录)	氢气瓶要求	13
附录 B (资料性附录)	典型寿命试验方法	14

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

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:新研氢能源科技有限公司、首航国翼(武汉)科技有限公司、机械工业北京电工技术经济研究所、中国科学院大连化学物理研究所、新源动力股份有限公司、武汉理工大学、上海神力科技有限公司、航天新长征电动汽车技术有限公司、上海攀业氢能源科技有限公司、中国质量认证中心、武汉众宇动力系统科技有限公司、东莞众创新能源科技有限公司、北京上电科赛睿科技有限公司、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、广东合即得能源科技有限公司、北京亿华通科技股份有限公司、上海恒劲动力科技有限公司、上海博暄能源科技有限公司、浙江高成绿能科技有限公司。

本标准主要起草人:齐志刚、张亮、潘牧、俞红梅、周斌、邢丹敏、卢琛钰、靳殷实、董辉、王刚、李松丽、陈耀、黄平、赵锋、陈伟、徐伟强、刘然、胡磊、田丙伦、侯向理。

无人机用氢燃料电池发电系统

1 范围

本标准规定了无人机用氢燃料电池发电系统的通用要求、技术要求、试验方法以及标志、包装和运输要求。

本标准适用于以压缩氢气为燃料,为空载质量不超过 116 kg 且最大起飞质量不超过 150 kg 的无人机提供动力和非动力用电的燃料电池发电系统。

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 191 包装储运图示标志

GB/T 2893.2—2008 图形符号 安全色和安全标志 第2部分:产品安全标签的设计原则

GB/T 4208—2017 外壳防护等级(IP 代码)

GB/T 4980—2003 容积式压缩机噪声的测定

GB/T 15329—2019 橡胶软管及软管组合件 油基或水基流体适用的织物增强液压型规范

GB/T 17626.2—2018 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验

GB/T 17626.3—2016 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验

GB/T 20042.1 质子交换膜燃料电池 第1部分:术语

GB/T 20438.1 电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全 第1部分:一般要求

GB/T 20972.1 石油天然气工业 油气开采中用于含硫化氢环境的材料 第1部分:选择抗裂纹材料的一般原则

GB/T 28816 燃料电池 术语

GB/T 36288—2018 燃料电池电动汽车 燃料电池堆安全要求

YD/T 122 邮电工业产品铭牌

3 术语和定义

GB/T 20042.1、GB/T 28816 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

无人机 **unmanned aerial vehicle**

由遥控系统控制管理(包括远程操纵或自主飞行)的无人驾驶航空器。

3.2

无人机燃料电池发电系统 **fuel cell power system for unmanned aerial vehicle**

为无人机提供动力和非动力用电的燃料电池发电系统。

注:在本标准中,燃料电池发电系统包括燃料电池系统(含辅助储能模块)和为之提供氢气的燃料储存模块和燃料供应模块(两者统称为燃料系统)。

3.3

启动时间 start-up time

燃料电池发电系统从上电时刻(手动开机从开机动作开始的时刻)到有净电功率输出时刻的时长。

3.4

关机时间 shut-down time

燃料电池发电系统从收到关机指令时刻(手动关机从关机动作开始的时刻)到所有部件停止工作时刻的时长。

3.5

额定输出功率 rated output power

在生产商规定的正常运行条件下燃料电池发电系统的最大连续输出功率。

3.6

输出电压范围 output voltage range

在生产商规定的正常运行条件下,燃料电池发电系统从启动、运行到关机整个过程中输出电压的范围。

3.7

连续运行时间 continuous running time

在生产商规定的正常运行条件下,燃料电池发电系统在额定输出功率下运行时其输出电压不超出输出电压范围的连续时间。

3.8

燃料储存模块 fuel storage module

用于储存氢气的压力装置(如储氢瓶)。

3.9

燃料供应模块 fuel supply module

从储氢瓶到电堆氢气入口用于把氢气输送到燃料电池氢气入口的所有部件、管接件及其控制的总成。

注:燃料供应模块由下列部分或全部的部件组成:截止阀、过滤器(可选)、电磁阀(可选)、减压阀、熔断阀(可选)、节流阀(可选)、泄压阀(可选)、单向阀(可选)、燃料加注接口、压力传感器、温度传感器(可选)、压力表(可选)、流量计(可选)、电控装置(可选)等。

3.10

氢气泄漏率 hydrogen leaking ratio

氢气泄漏量与燃料电池发电系统在额定功率下所需理论氢气量的比值。

3.11

告警 alarm

将报警状态、故障状态传递给告警装置并给出声、光报警的功能。

4 通用要求

4.1 总则

无人机用质子交换膜燃料电池发电系统边界示意图如图 1 所示。

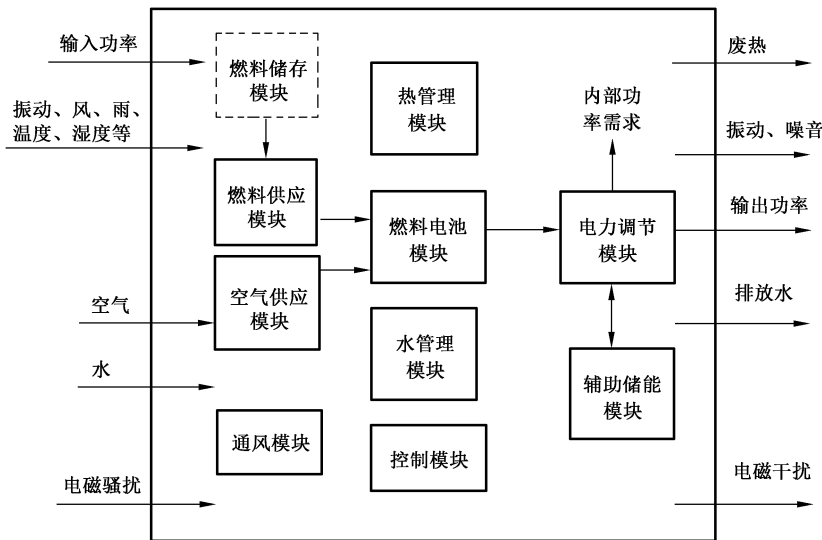


图 1 无人机用氢燃料电池发电系统边界示意图

根据实际需求，无人机燃料电池发电系统由下列部分或全部模块组成：

- 燃料电池模块(必选)：由一个或多个电堆、输送电堆产生电能电连接装置以及监控装置等构成；
- 空气供应模块(必选)：对燃料电池发电系统所需的空气进行计量、调节、加压及其他处理的装置总称；
- 燃料储存模块(必选)：用于储存氢气的装置；
- 燃料供应模块(必选)：从储氢瓶到电堆氢气入口用于储存氢气并把氢气输送到燃料电池氢气入口的所有部件、管接件及其控制的总成；
- 控制模块(必选)：由传感器、执行器、阀门、开关和逻辑元件组成的模块，用于将燃料电池发电系统参数维持在制造商设定范围内而无需人工进行干预；
- 热管理模块(可选)：提供冷却和散热功能以保持燃料电池发电系统内部处于正常温度范围，必要时还可以回收余热以及在启动过程中加热系统的相关部件；
- 水管理模块(可选)：对燃料电池系统所需水或所产生的水进行管理的模块；
- 电力调节模块：用于使电堆模块和辅助储能模块产生的电能与指定的用电需求相匹配的模块；
- 通风模块(可选)：通过自然或机械的方法，向燃料电池发电系统周围空间输送空气的模块；
- 辅助储能模块(可选)：系统内部所带的储能装置，用于储存电能、启动燃料电池发电系统、配合燃料电池模块向内部或外部负载供电。

4.2 通用安全要求

- 4.2.1 燃料电池发电系统的设计和制造应充分考虑在正常或非正常使用过程中可能遇到的各种故障和/或事故的安全风险，并能采取相应的处理措施避免安全风险或降低安全风险到可接受的程度。
- 4.2.2 对可能出现的安全风险，燃料电池发电系统应提供安全提示标识或者声、光、电等告警信号，并提供自动和/或手动处理措施。
- 4.2.3 针对燃料电池发电系统的发热部件，应采取相应措施，避免人员因接触或靠近热表面部件而造成伤害。
- 4.2.4 燃料电池发电系统的设计应保证系统部件的单一故障不会升级。防止故障升级的方法包括但不限于：

- 在燃料电池发电系统内设置保护装置(例如联锁防护装置和脱扣装置);
- 设置电路的保护性联锁功能;
- 使用被证明可行的技术和部件;
- 提供部分或完整的冗余装置或使保护性措施多样化;
- 向燃料电池发电系统的上级系统发出告警。

4.2.5 构成无人机用燃料电池发电系统的各主要部件应满足各自领域的专用安全要求,具体可参照下列文件执行:

- 燃料电池模块的安全应按照 GB/T 36288—2018 规定的要求;
- 控制装置部件应按照 GB/T 20438.1 的规定进行设计;
- 软管及软管组合件应符合 GB/T 15329—2019 中 1TE 型软管的规定;
- 金属管路及其连接件应符合 GB/T 20972.1 的规定。

4.3 外观和结构

- 4.3.1 燃料电池发电系统外表应清洁,无机械损伤,不应有裂纹、污迹及明显变形,接口触点无锈蚀。
- 4.3.2 燃料电池发电系统的可接触部件不应具有可能造成人身伤害的尖锐的边和角。
- 4.3.3 在燃料电池发电系统正常运行过程中,其零部件及其连接件应稳固、可靠,不应出现失稳、变形、断裂或磨损等现象。
- 4.3.4 燃料电池发电系统的通信接口、电源接口、用户接口、氢气进出口等应有明确的标识。
- 4.3.5 燃料电池发电系统的正、负极端子及极性应有明显标识,便于连接。

4.4 其他通用技术要求

- 4.4.1 燃料电池发电系统的使用环境要求:温度: $-5\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$;相对湿度: $\leq 100\%$;海拔: $\leq 3\,000\text{ m}$ 。
- 4.4.2 燃料电池发电系统应能够为无人机正常飞行提供充足的电力。
- 4.4.3 在通信信号正常传输的情况下,燃料电池发电系统自身或通过无人机的通信系统应能够和地面控制系统进行正常通信。
- 4.4.4 燃料电池发电系统的主要参数应能被实时监控。
- 4.4.5 在无人机和地面控制系统失去通信联系的情况下,燃料电池发电系统应能够继续为无人机提供电力,并执行预定方案。
- 4.4.6 燃料电池发电系统中的氢气瓶在使用过程中应有详细的充装记录。
- 4.4.7 燃料电池发电系统中的氢气瓶最小设计爆破压力及氢气瓶的设计耐充放疲劳次数应符合国家标准的相关要求;在没有这些标准的情况下,可参考附录 A。

5 技术要求

5.1 启动时间

燃料电池发电系统的启动时间应小于 1 min。

5.2 达到额定功率时间

当环境温度高于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,燃料电池发电系统达到额定功率的时间应小于 1 min。

当环境温度介于 $-5\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,燃料电池发电系统达到额定功率的时间应小于 5 min。

5.3 额定输出功率

燃料电池发电系统的额定输出功率应不低于制造商的标示值,且在此功率下,燃料电池发电系统的连续运行时间不低于制造商的标示值。

在规定的最短连续运行时间内,燃料电池发电系统的输出功率应保持在标称额定输出功率 $\pm 5\%$ 。

5.4 功率过载率

燃料电池发电系统应能够在额定输出功率的 150% 下连续输出大于 2 min。

5.5 输出电压范围

燃料电池发电系统的输出电压应在制造商标示的燃料电池发电系统的输出电压范围内。

5.6 电效率

在额定功率输出下,燃料电池发电系统电效率应大于 40%。

5.7 启动/关机方式

燃料电池发电系统应至少具备以下启动/关机方式之一:

- 手动;
- 遥控;
- 自动。

5.8 关机时间

燃料电池发电系统的关机时间应小于 2 min。

5.9 连续运行时间

使用在固定翼无人机上的燃料电池发电系统的连续运行时间应不小于 6 h;使用在多旋翼无人机上的燃料电池发电系统连续运行时间应不小于 3 h。连续运行时间也可依据燃料电池发电系统采购协议确定。

5.10 噪声

在额定功率输出下,燃料电池发电系统噪声应不大于 78 dB。

5.11 抗振能力

在正常运行条件下,燃料电池发电系统应能具备抗振能力,保持其机械和电气连接正常,氢气泄漏率满足 5.19 中的要求,舱内燃料浓度满足 5.15 中的要求。

5.12 电磁兼容限值

燃料电池发电系统静电放电抗扰度限值应符合 GB/T 17626.2—2018 中试验等级 3 的规定。试验期间,被测样品不应被损坏、出现故障或发生状态改变,但允许指示灯闪烁,试验后系统应能正常工作。

燃料电池发电系统射频电磁场辐射抗扰度限值应符合 GB/T 17626.3—2016 中试验等级 3 的规定。试验后设备性能不应发生永久性的损伤或降低,系统应能正常工作。

5.13 数据传输

燃料电池发电系统应具有如 RS232、RS485、CAN 等通信接口。

5.14 供氢流量

燃料系统向燃料电池模块提供的稳定供氢流量应达到制造商标示的数值。

5.15 舱内燃料浓度

燃料电池发电系统舱室内燃料浓度应小于 50% 最低可燃极限(LFL)。

5.16 尾气中燃料浓度限制

燃料电池发电系统尾气中燃料浓度大于 50% LFL 的连续时间应小于 5 s。

5.17 舱室防护等级

燃料电池发电系统舱室防护等级应至少符合 IP53。

5.18 寿命

燃料电池发电系统的累积运行时间应不小于 500 h, 或启停次数不小于 200 次。

5.19 氢气泄漏率

氢气泄漏率应不大于 0.5%。

5.20 告警功能与监控功能

5.20.1 告警功能

当以下情况发生时, 燃料电池发电系统应能够向用户提供告警功能:

- 氢气压力异常(如氢气瓶出口氢气压力低于规定的最低压力, 减压阀减压后的氢气压力低于设定的最低压力或高于设定的最高压力);
- 输出过/欠压、燃料电池模块输出电压低;
- 电力输出超过过载保护设定值;
- 环境温度过高/过低;
- 燃料电池模块温度过高;
- 辅助储能模块电压低;
- 舱内燃料浓度过高。

5.20.2 监控功能

燃料电池发电系统应具备以下监控功能:

- 遥测: 远程测量系统输出电压、系统输出电流、辅助储能模块电压、燃料电池模块输出电压、燃料电池模块输出电流、储氢瓶氢气压力、燃料电池模块入口氢气压力、燃料电池模块温度、环境温度;
- 遥信: 远程提供信号, 包括燃料电池模块过温、燃料电池模块入口氢气压力低/高、燃料电池系统输出过/欠压、燃料电池系统输出过流、氢气瓶氢气压力低/高、辅助储能模块电压低、环境温度低/高;
- 遥控: 系统开/关机。

6 试验方法

6.1 试验准备

6.1.1 试验一般要求

根据制造商要求, 将燃料电池发电系统置于特定的环境中, 连接气体管路和负载。整个试验过程

中,用电流表测试输出电流、电压表测试输出电压,测试数据能够实时采集并保存,采样频率 1 次/s。

6.1.2 试验环境要求

海拔不大于 1 000 m;环境温度为 5℃~40℃。

如果实际应用时海拔高度超过 1 000 m,或环境温度超出 5℃~40℃,制造商应考虑到燃料电池发电系统一些参数的变化。

6.1.3 测量仪器及精度

主要试验用测量仪器及精度要求见表 1。

表 1 测量仪器及精度

测量仪器	计量单位	精度
气压计	kPa	±1.0%(满量程)
湿度测量仪	%	相对湿度±3.0%
温度测量仪	℃	±1.0
压力测量仪	kPa	±1.0%(满量程)
质量流量控制器	L/ min	±1.0%(满量程)
电压测量仪	V	±1.0%(满量程)
电流测量仪	A	±1.0%(满量程)
氢气浓度检测仪	%(体积分数)	±1.0%(满量程)

6.2 启动时间试验

根据制造商要求,将燃料电池发电系统置于特定的环境中,连接气体管路和负载,待一切就绪后,给燃料电池发电系统发出启动命令,测量从发出启动指令开始到燃料电池发电系统有净电功率输出的时长(单位:s)。

6.3 达到额定功率时间试验

将燃料电池发电系统在测试的环境温度中静置 2 h 后,测量燃料电池系统从启动完毕后时刻到燃料电池发电系统输出额定功率的时长。



6.4 额定输出功率试验

在供应商标示的燃料电池发电系统额定输出功率下,燃料电池发电系统连续运行不短于供应商标识的连续运行时间,每秒钟记录一次燃料电池发电系统的输出电压,其值在整个测试过程中的任何时刻不应超出供应商标示的输出电压范围。

6.5 功率过载率试验

使燃料电池发电系统在不低于制造商标称额定输出功率的 150%下运行,监测燃料电池发电系统在该状态下的持续运行时间。运行时间超过 2 min 后,根据制造商规定的关机方法关闭燃料电池发电系统。

6.6 输出电压范围试验

在 6.2~6.5 的整个试验过程中,以 1 s 为间隔监测并记录燃料电池发电系统的输出电压。在从启动到关机的整个过程中,燃料电池发电系统从低值到高值的电压范围即为燃料电池发电系统的输出电压范围。

6.7 电效率试验

启动燃料电池发电系统,断开辅助储能模块,在额定功率 $W_{\text{额定}}$ 下运行燃料电池发电系统 30 min,用该时间段内累积净发电能量除以累积消耗的氢气量 $Q_{\text{消耗}}$ 所对应的能量(采用低热焓值 242 kJ/mol),通过式(1)计算燃料电池发电系统的电效率 $\eta_{\text{发电}}$ ($1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3\,600 \text{ kJ}$)。

$$\eta_{\text{发电}} = [0.5 \times W_{\text{额定}} / (242 \times Q_{\text{消耗}} / 3\,600)] \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$\eta_{\text{发电}}$ ——电效率;

$W_{\text{额定}}$ ——额定功率,单位为千瓦(kW);

$Q_{\text{消耗}}$ ——累计消耗的氢气量,单位为摩尔(mol)。

6.8 启动/关机方式试验

启动/关机方式的试验根据以下方法进行:

- 测试手动方式时,手动启动或关闭燃料电池发电系统,检查系统是否正常启动或关闭;
- 测试遥控方式时,远程启动或关闭燃料电池发电系统,检查系统是否正常启动或关闭;
- 测试自动方式时,定时启动或关闭燃料电池发电系统,检查系统是否正常启动或关闭。产品附带软件提示可以作为判据之一。

6.9 关机时间试验

燃料电池发电系统在额定功率运行的状态下,以手动、遥控或自动的方式向燃料电池发电系统发出关机指令,测量从发出关机指令的时刻到燃料电池发电系统所有部件停止工作时刻的时长。

6.10 连续运行时间试验

在额定功率下连续运行燃料电池发电系统,测量燃料电池发电系统输出电压不超出制造商标示的输出电压范围的时长。

6.11 噪声试验

燃料电池发电系统在额定输出功率下运行,用噪声计分别在距离燃料电池发电系统前、后、左、右、上、下各测量平面中心点 1 m 远的地方测量噪声,各方向测量平面按照 GB/T 4980—2003 中 4.4 规定方法确定。噪声计在有待测噪声与无待测噪声时的读数差应不小于 10 dB,否则应用表 2 来调整。

表 2 背景噪声影响的读数补偿

有待测噪声与无待测噪声间的读数差/dB	3	4	5	6	7	8	9
补偿值/dB	-3	-2		-1			

6.12 抗振能力试验

将燃料电池发电系统刚性连接到振动台面上,燃料电池发电系统在额定输出功率下运行,在 X、Y、

Z 三个方向,按图 2 的振动功率谱形和加速度谱均方根值进行试验,每个方向振动 5 min。记录燃料电池发电系统的运行情况,在试验结束后检查各种机械和电气连接是否正常,并进行(或重复)氢气泄漏率试验(见 6.20)和系统舱内燃料浓度试验(见 6.16)。

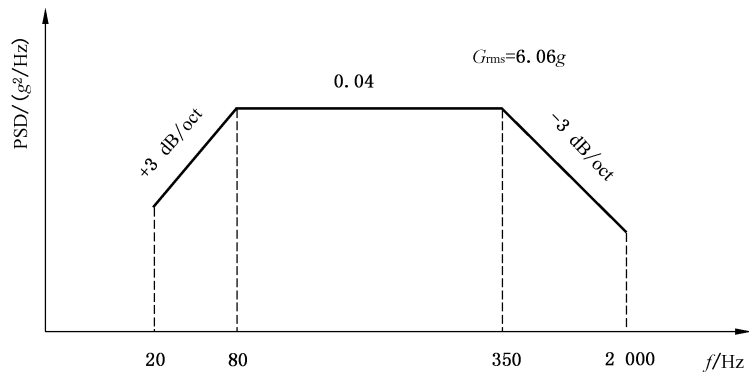


图 2 振动试验

6.13 电磁兼容限值试验

从启动、额定功率运行、150%额定功率运行到关机的整个过程中,进行电磁兼容性试验,记录每个环节的测试结果。

静电放电抗扰度试验根据 GB/T 17626.2—2018 进行:

- 接触放电,试验电压 6 kV;
- 空气放电,试验电压 8 kV。

射频电磁场辐射抗扰度试验根据 GB/T 17626.3—2016 进行:试验场强 10 V/m,频率范围 80 MHz~100 MHz。

6.14 数据传输试验

检查燃料电池发电系统是否具有通信接口或数据传输接口,数据传输是否正常工作。

6.15 氢气流量试验

将氢气充装到气瓶的公称工作压力,在燃料系统氢气出口处顺序安装一个压力表和一个氢气流量计。打开燃料系统的所有阀门,流量计有气体通过后关闭流量计。稳定 30 s 后记录此时的压力表读数,该读数为锁死压力(即没有氢气流动时的压力)。然后逐渐调节流量计的开关,使流量计的数值达到燃料系统制造商提供的稳定供氢流量数值,直至氢气瓶的压力低于制造商提供的最低供氢压力为止。在此过程中,压力表的压力不低于燃料系统厂家给出的燃料系统最低输出氢气压力为合格。

6.16 舱内燃料浓度试验

将燃料电池发电系统置于其对应的无人机内,或将燃料电池发电系统置于与其对应的无人机具有相同样放置空间及密闭条件的壳体内,让燃料电池发电系统在额定输出功率下运行,利用氢气浓度检测仪测定燃料电池发电系统所处舱室最高处氢气的浓度,每秒记录一个数值,直至氢气浓度不再有明显变化。

6.17 尾气中燃料浓度试验

燃料电池发电系统在额定输出功率下运行,在气体排放口中轴延长线 10 cm 处安放氢气浓度检测

仪,测量在不小于 10 min 的运行时间内排放气体中氢气的浓度,每秒记录一个数值。

6.18 舱室防护等级试验

按照 GB/T 4208—2017 中 13.4 和 14.2.3 分别进行防尘和防水试验。对于安装在舱室内或无人机外壳内的燃料电池发电系统或其部分部件,该试验进行时需要把燃料电池发电系统或其部分部件安装在舱室内或无人机外壳内。

6.19 寿命试验

根据无人机实际使用情形,依据采购协议确定在制造商标示的连续运行时间内燃料电池发电系统的运行工况,以此作为一个循环,反复运行燃料电池发电系统。当燃料电池发电系统在某一循环中其输出电压超出制造商标示的电压输出范围时,记录燃料电池发电系统累积运行的时间和启停次数。

在循环过程中燃料电池发电系统处于关闭和停机状态的时间不能计算在累积运行时间内。

典型寿命试验方法参见附录 B。

6.20 氢气泄漏率试验

在燃料电池模块氢气入口前气体管路上安装一个流量计。把进入燃料电池模块氢气的入口压力设置在其工作压力(即为燃料电池模块提供氢气的燃料储供模块的氢气出口压力),在燃料电池模块氢气出口处于开启状态下通气 1 min,然后关闭燃料电池模块氢气出口,在该压力保持 10 min,记录流量计的数值,该数值为泄漏量(把其单位转换为 mol/s)。如果用氦气或氮气做试验气体,漏气量应按照式(2)校正:

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

式中:

q_{fuel} ——燃料气体泄漏量,单位为摩尔每秒(mol/s);

q_{test} ——试验气体泄漏量,单位为摩尔每秒(mol/s);

R ——修正系数,计算方法见式(3)和式(4)。

$$R = (d_{\text{test}} / d_{\text{fuel}})^{1/2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

d_{test} ——试验气体的相对密度;

d_{fuel} ——燃料气体的相对密度。

或者

$$R = \mu_{\text{test}} / \mu_{\text{fuel}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

μ_{test} ——试验气体的绝对黏度;

μ_{fuel} ——燃料气体的绝对黏度。

应采用式(3)和式(4)计算修正系数 R ,取较高值。

燃料电池发电系统在额定功率下所需理论氢气量 q_t 计算见式(5):

$$q_t = NI / (2F) \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

q_t ——理论氢气量,单位为摩尔每秒(mol/s);

N ——电堆中单电池片数;

I ——电堆电流,单位为安(A);

F ——法拉第常数,96 485,单位为库仑每摩尔(C/mol)。

氢气泄漏率 η_{leak} 计算见式(6):

$$\eta_{\text{leak}} = q_{\text{fuel}} / q_{\text{t}} \dots\dots\dots (6)$$

式中：
 η_{leak} ——氢气泄漏率；
 q_{fuel} ——燃料气体泄漏量，单位为摩尔每秒(mol/s)；
 q_{t} ——理论氢气量，单位为摩尔每秒(mol/s)。

6.21 告警与监控功能试验

6.21.1 告警功能

观察当氢气压力异常(如氢气瓶出口氢气压力低于规定的最低压力,通过减压阀减压后的氢气压力低于设定的最低压力或高于设定的最高压力)、燃料电池发电系统电力输出过/欠压、燃料电池模块输出电压低、电力输出超过过载保护设定值、环境温度过高/过低、燃料电池模块温度过高时,系统是否发出告警。

6.21.2 监控功能

检查燃料电池发电系统是否具有 5.20.2 所述的遥测、遥信和遥控功能。

7 标志、包装、运输

7.1 标志

7.1.1 产品标志

在燃料电池发电系统的适当位置应有标志：
——产品铭牌的内容、外观、性能等应符合 YD/T 122 的规定；
——铭牌上的内容应至少包括燃料电池发电系统的额定功率、峰值功率、电压输出范围、质量；
——安全标志应符合 GB/T 2893.2—2008 的规定。

7.1.2 包装标志

燃料电池发电系统包装上应有标志并符合 GB/T 191 的规定。

7.1.3 氢气接口标志

燃料电池发电系统应明确标示系统中氢气的入口和出口。

7.1.4 极性标志

若燃料电池发电系统电气接头有极性之分,应予以标明。

7.1.5 警示标志

存在危险的燃料电池发电系统部位应使用警示标志,例如：
——触电危险；
——高温；
——易燃气体；
——高压气体。

7.2 包装

燃料电池发电系统包装应防潮、防振、防污染,无氨气、硫化物、挥发性有机气体产生。

7.3 文件

燃料电池发电系统应至少提供以下文件:

- 产品合格证;
- 产品说明书;
- 产品安装手册;
- 装箱清单。



附 录 A
(资料性附录)
氢气瓶要求

燃料电池发电系统中的氢气瓶技术指标宜符合如下要求：

- 氢气瓶最小设计爆破压力不低于公称工作压力的 1.5 倍；
- 氢气瓶的设计耐充放疲劳次数不低于 500 次。

注：实际应用中燃料电池发电系统中的氢气瓶技术指标或由供需双方协定。



附 录 B
(资料性附录)
典型寿命试验方法

燃料电池发电系统的寿命试验方法可以根据实际需求依据采购协议确定。燃料电池发电系统寿命试验方法的基本原则是:燃料电池发电系统的输出功率变化情况与无人机实际使用过程中的功率需求情况越接近越好。表 B.1 所给的一个典型寿命试验参数可供参考。其中,短时在 150%额定功率下运行是考虑到无人机在起飞过程中需要的功率一般大于额定功率;另外,无人机在突遇气流或机动飞行时所需功率也大于额定功率;关闭和停机状态不短于 45 min 是考虑到启、停和氢/空界面对燃料电池发电系统中电堆可能带来的寿命影响。

表 B.1 典型寿命试验参数

状态	启动和额定 功率运行	150%额定 功率运行	额定功率 运行	150%额定 功率运行	额定 功率运行	150%额定 功率运行	额定功率 运行	关闭和 停机状态
时间/min	6	2	1/3 连续 运行时间	1	1/3 连续 运行时间	1	1/3 连续 运行时间	≥45

