

团 体 标 准

T/CSAA XX-2026
T/SZDKXH XXXX-2026

航空用风冷氢燃料电池系统 通用规范

General specification for air-cooled hydrogen fuel cell
systems for aviation applications

(征求意见稿)

(在提交反馈意见时，请您将知道的相关专利连同支持性文件一并附上)

2026-X-XX 发布

2026-XX-X 实施

中 国 航 空 学 会
深圳市低空经济产业协会

联合发布

中国航空学会（英文简称 CSAA）是具备开展国内、国际标准化活动资质的全国性社会团体。制定中国航空学会团体标准，以满足企业需要、市场需求和社会发展要求，推动航空技术创新和航空应用新模式，是中国航空学会标准化工作内容之一。中国境内的团体和个人，均可提出制、修订中国航空学会团体标准的建议并参与有关工作。

中国航空学会团体标准按《中国航空学会团体标准管理办法》进行制定和管理。

中国航空学会团体标准草案经向社会公开征求意见、专家评审、公开公示等流程，方可由中国航空学会予以发布。

在本标准实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中国航空学会团体标准与认证推进工作委员会。

本标准版权为中国航空学会所有。除了用于国家法律或事先得到中国航空学会正式许可外，不许以任何形式复制、传播该标准或用于其他商业目的。

中国航空学会地址：北京市朝阳区芍药居北里 101 号 1 幢世奥国际中心 A 座

邮政编码：100028 电话：010-68799027 传真：010-68799050

网址：www.csaa.org.cn 联系人：梁勇 电子信箱：csaa_123@163.com

目 录

前 言 V

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 一般要求 4

 4.1 预定用途 4

 4.2 型谱 4

 4.3 产品组成 4

 4.4 主要技术参数项 5

 4.5 电池系统的安全分析 6

 4.6 电池堆的设计、要求和试验 6

 4.7 数据传输 6

 4.8 设计保证等级 6

 4.9 安全要求 6

 4.10 氢气纯度 6

 4.11 氢气压力 7

 4.12 启动和关闭 7

 4.13 活化 7

 4.14 质量控制 7

 4.15 构型控制 7

5 功能和性能要求 7

 5.1 启动时间 7

 5.2 额定功率 7

 5.3 电气过载 7

 5.4 输出电压范围 7

 5.5 输出电流范围 7

 5.6 电池系统效率 7

 5.7 质量比功率 8

5.8 体积比功率	8
5.9 冷启动温度	8
5.10 连续工作时间	8
5.11 电池系统设计寿命	8
5.12 电池系统使用寿命	8
5.13 抗反极	8
5.14 气密性能	8
5.15 氢气利用率	8
6 试验方法	8
6.1 试验条件	8
6.2 测试矩阵	8
6.3 启动时间	9
6.4 额定功率	9
6.5 电气过载	9
6.6 输出电压范围	9
6.7 输出电流范围	9
6.8 电池系统效率	9
6.9 质量比功率	10
6.10 体积比功率	10
6.11 氢气压力	10
6.12 启动和关闭	10
6.13 冷启动温度	11
6.14 活化	11
6.15 连续工作时间	11
6.16 电池系统设计寿命	11
6.17 电池系统使用寿命	11
6.18 抗反极	11
6.19 气密性能	11
6.20 氢气利用率	11
6.21 环境适应性	12
7 安装注意事项	12
7.1 一般要求	12
7.2 电池系统制造商注意事项	12

7.3 安装商注意事项 13

7.4 安装设备的测试程序 13

8 交付要求 13

附录 A（资料性）典型电池系统主要技术参数示例 14

附录 B（资料性）电池系统环境要求试验项目示例 15

附录 C（资料性）典型活化试验步骤 16

附录 D（规范性）测试矩阵 17

附录 E（资料性）验收试验程序（ATP） 18

附录 F（资料性）典型寿命试验方法 19

附录 G（资料性）氢气利用率计算公式 20

前 言

本文件附录 A、B、C、E、F、G 为资料性附录，附录 D 为规范性附录。

本文件依据 T/CAS 1.1—2017《团体标准的结构和编写指南》的有关要求编写。

本文件由中国航空学会提出并归口。

本文件起草单位民航沈阳航空器适航审定中心、中国民用航空适航审定中心、民航江西航空器适航审定中心、民航西安航空器审定分中心、民航广州航空器审定分中心、民航成都航空器审定分中心、中氢航能（深圳）科技有限公司、协氢（上海）新能源科技有限公司、中国民航大学、中国民航科学技术研究院、追梦空天科技（苏州）有限公司、杰成航空智能（香港）有限公司、中国航空学会、深圳市低空经济产业协会。

本文件起草人：王艳红、雷浩、徐琪、徐鹏辉、贾惟、冯墨、魏桐、肖毅、马迎坤、毛德爱、汪璟、黎俊茂、赵麒麟、刘建、成涛、冯彦、王飞、田文筱、韩兵、高荷、陆入成、蒋明。

考虑到本文件中的某些条款可能涉及专利，中国航空学会不负责对该类专利的鉴别。

本文件为首次制定。

航空用风冷氢燃料电池系统 通用规范

1 范围

本文件规定了航空用风冷氢燃料电池系统（以下简称：电池系统）的预定用途、产品组成、主要技术参数项以及各系统详细功能性能要求、试验要求以及交付要求。

本文件适用于不载人无人驾驶航空器选用的风冷电池系统的订货和交付验收。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的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 13384—2008 机电产品包装通用技术条件

GB/T 20042.1-2017 质子交换膜燃料电池第1部分：术语

GB/T 20042.2-2023 质子交换膜燃料电池第2部分：电池堆通用技术条件

GB/T 20042.3-2022 质子交换膜燃料电池第3部分：质子交换膜测试方法

GB/T 20042.4-2025 质子交换膜燃料电池第4部分：电催化剂测试方法

GB/T 20042.5-2024 质子交换膜燃料电池第5部分：膜电极测试方法

GB/T 20042.6-2024 质子交换膜燃料电池第6部分：双极板特性测试方法

GB/T 20042.7-2024 质子交换膜燃料电池第7部分：炭纸特性测试方法

GB/T 24548-2009 燃料电池电动汽车 术语

GB/T 28816 燃料电池术语

GB/T 37154-2018 燃料电池电动汽车 整车氢气排放测试方法

GB/T 37244-2018 质子交换膜燃料电池汽车用燃料 氢气

GB/T 38954-2020 无人机用氢燃料电池堆和电池系统

IEC 62282-2-100:2020 燃料电池技术第2-100部分：燃料电池模块安全

IEC 62282-4-202:2023 燃料电池技术第4-202部分：推进和辅助动力用燃料电池系统无人机用性能试验方法

IEEE Std 1958-2026 氢能无人机框架标准

HB 6167-2013 机载设备的环境条件和试验程序

T/CSAA XX-2026 航空用风冷氢燃料电池系统安全性要求

3 术语和定义

GB/T 24548-2009、 GB/T 20042.1-2017、 GB/T 20042.2-2023、 GB/T 20042.5-2024、 GB/T 38954-2020、 GB/T 38914-2020、 GB/T 28816-2020、 GB/T 37154-2018、 IEC 62282-2-100:2020、 IEC 62282-4-202:2023 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

风冷氢燃料电池系统 air-cooled hydrogen fuel cell system

依靠自然空气对流或强制空气流动进行散热的质子交换膜燃料电池系统。

注：以氢气为燃料，通过燃料电池堆的电化学反应将化学能直接转化为电能、热能和其他反应产物，并配套燃料供应、空气供应、电力控制管理、风扇等辅助单元的发电系统。不包含独立液体冷却回路。

3.2

燃料电池堆 stack / fuel cell stack

由多个单体电池、隔板、歧管和支撑结构等构成，而且把氢气和空气进行电化学反应生成直流电，并同时产生热、水等其他副产物的总成。

3.3

冷启动 cold start

系统在标准温度下静置达到热平衡后，在标准环境温度进行的启动方式。

3.4

吹扫 purge

借助外部条件把燃料电池堆及管路进行排空的过程。

3.5

额定功率 rated power

在制造商规定的正常运行条件下，系统能够持续输出的最大功率，单位：kW。

3.6

电气过载 electrical overload

系统能够在短时间内输出的最大功率。

3.7

电池系统效率 fuel cell system efficiency

在规定的稳定状态运行条件下，电池系统净输出功率与单位时间内进入燃料电池堆的燃料热值（低热值）之比，单位：%。

3.8

电池系统设计寿命 fuel cell system design lifetime

电池系统从首次满足电流、电压或功率要求的运行开始，到其电流、电压或功率降至低于规定的最低可接受值的累计运行时间。由电池制造商规定的设计寿命，单位：h。

3.9

电池系统使用寿命 fuel cell system service lifetime

在设计寿命的基础上，由电池安装商结合实际工况标明，单位：h。

3.10

质量比功率 specific power

电池系统额定功率和其质量的比值，单位：kW/kg。

注：质量比功率通常简称比功率。

3.11

体积比功率 volumetric power density

电池系统额定功率和其体积的比值，单位：kW/L。

注：体积比功率通常称为功率密度。

3.12

冷启动温度 cold start temperature

在制造商规定的正常运行条件下，电池系统能够在低温环境下启动的最低环境温度，单位：℃。

3.13

氢气压力 hydrogen pressure

在制造商规定的正常运行条件下，供氢系统需要提供的稳定氢气压力范围，单位：kPa。

3.14

启动时间 start-up time

在启动程序初始化后，电池系统达到规定输出功率所用的时间，单位：s。

3.15

开路电压 open circuit voltage; OCV

在有氢气和空气存在且无外部电流的情况下，燃料电池堆端子间的电压，单位：V。

3.16

输出电压 output voltage

在正常工作条件下，电池系统的输出电压范围，单位：V。

3.17

输出电流 output current

在正常工作条件下，电池系统的输出电流范围，单位：A。

3.18

反极 voltage reversal

燃料电池运行时阳极的电势高于阴极电势的现象。

注 1：反极由多种原因引起。阳极反极是因阳极氢气供应量小于电化学反应消耗量的情况导致。在这种情况下，膜电极阳极会因反极发生严重腐蚀，出现性能显著衰减甚至失效。

注 2：评价阳极抗反极能力时，通常模拟阳极欠气的反应过程，膜电极在出现严重腐蚀（例如碳载体氧化等）之

前，膜电极所经受的无损或者低损的反极过程的时长（视作抗反极时长）。

3. 19

氢气利用率 hydrogen utilization

在规定的稳定状态运行条件下，氢气的理论消耗量与实际进入燃料电池系统的氢气量之比。

4 一般要求

4.1 预定用途

电池系统应输出稳定电流、电压，可直接驱动电机，也可为用电设备供电、为储能电池充电。

4.2 型谱

电池系统按阴极气体循环开放程度、冷却介质耦合方式及排气背压控制策略，可分为开放式阴极风冷燃料电池系统、半封闭式阴极风冷燃料电池系统、闭式阴极风冷燃料电池系统。

按电池系统功率，常见型谱见表 1 所示。

表 1 电池系统中单个电堆功率、电压、电流及应用的常见划分表

型谱	功率档位	电压范围	电流范围	核心应用
10KW 级别	0.10kW ~ 10.0kW	5V - 120V	15A - 150A	中小型无人机
20KW 级别	10.0kW ~ 20.0kW	60V - 150V	100A - 300A	大型无人机

注：功率范围是常见区间，并非绝对界限。

4.3 产品组成

电池系统一般包含燃料电池堆、进气电磁阀、风扇、温度传感器、FCU 控制器、排气/水电磁阀、空气过滤网和空气泵（可选）、低温控制器（可选）等。典型电池系统产品组成示意图参见图 1。

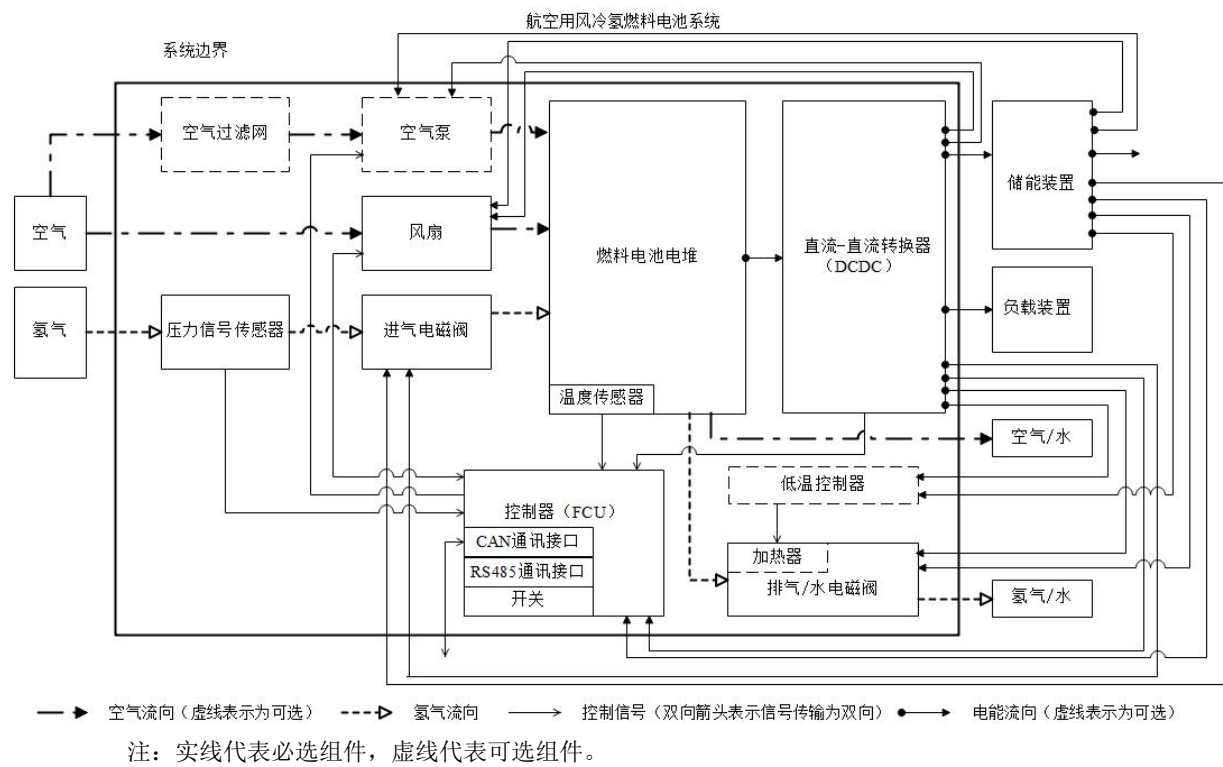


图 1 电池系统产品组成

其中必选组件包括：

- a) 燃料电池堆：电堆由多个单电池以串联方式堆叠而成，其完整组成部分包括：
 - 1) 由膜电极组件（含质子交换膜、催化层及气体扩散层）与双极板构成的单电池；
 - 2) 位于电堆两端用以汇集电流的集流板；
 - 3) 置于集流板与端板之间起电气隔离作用的绝缘板；
 - 4) 提供机械支撑的端板；
 - 5) 提供均匀压紧力以保证密封与接触的紧固件（如螺杆、弹簧、螺栓）
 - 6) 连接集流板与外部电路的端子。
 - 7) 端子和电气连接符合航空用电气标准。
- b) 进气电磁阀：用于控制氢气供给管路的通断。
- c) 风扇：承担散热和/或提供空气功能，同时按需排出电堆阴极侧电化学反应产生的水。
- d) 温度传感器：布置在电堆本体、环境气流或关键管路处，监测各点温度，将信号传输给 FCU 控制器，FCU 控制器依据温度数据调整风扇转速。
- e) FCU 控制器：控制器是该系统的控制中心，负责采集来自燃料电池堆、空冷系统、外部负载等多方面的数据，并进行调控。包含 DC/DC 变换器、RS232、RS485 或 CAN 等零部件。其中：
 - 1) 电池电压、电流监测：监测电池的工作状态，确保电池运行在安全的电压和电流范围内。
 - 2) 氢气供应管理：控制氢气输入与排出，保证氢气供应稳定、充足。
 - 3) 温度控制：通过读取温控传感器的信号，调节空冷风扇的转速，确保电堆温度维持在设定范围内。
 - 4) 功率调节：根据负载需求，自动调整输出功率。
 - 5) 故障诊断：实时监控运行状态，出现故障时，通过报警显示或声音提示，帮助用户及时排查问题。
 - 6) 系统诊断与自检：提供系统自检功能，并通过诊断接口输出详细的错误日志和性能报告。
 - 7) 远程监控与数据通信：支持远程监控，能够通过无线通信协议与上位机或云平台连接。
 - 8) 当燃料电池模块温度过高时，控制器应生成告警信号，并将该信号输出至航空器管理系统。该信号属于远程监控功能中的遥信信号，用于指示燃料电池模块过温状态。
- f) 排水/气电磁阀：周期性或按需排出电堆阳极侧累积的水和气。
- g) 储能装置：当氢燃料电池堆电压大于储能装置电压时，给储能装置充电；当氢燃料电池堆电压小于储能装置电压时，储能装置协助氢电堆对负载补偿电能；紧急状况时，储能装置可以单独实现紧急迫降。

可选项包括但不限于：

- a) 空气过滤网：过滤粉尘、颗粒物及有害气体，保护电堆免受污染，避免催化剂中毒或流道堵塞。
- b) 空气泵：对于高功率密度或高海拔应用为可选件，用于在低氧环境或大功率需求时强制供应足量压缩空气。
- c) 低温控制器：针对低温环境设计的专用管理组件。集成了加热器控制、低温关闭吹扫等功能。

4.4 主要技术参数项

系统的主要技术参数见表 2，包括但不限于：额定功率、电气过载、电池系统效率、使用寿命、质量比功率、体积比功率、冷启动温度、氢气压力、启动时间、输出电压、输出电流、气密性能。

典型风冷氢燃料电池系统主要技术参数见附录 A 中表 A.1。

表 2 主要技术参数项表征

主要技术参数	符号	量纲	衡量指标
额定功率	P_{rated}	kW	电池系统的持续稳定输出能力。
电气过载	/	/	应对加速、爬坡等瞬时大负荷需求。
电池系统效率	η_{sys}	%	电池系统的能量转换效率与经济性。
设计寿命/使用寿命	t_{dl}/t_{sl}	h	电池系统的耐久性与可靠性水平。
质量比功率	PEG	kW/kg	电池系统轻量化与集成度水平。
体积比功率	PEV	kW/L	电池系统紧凑化与小型化水平。
冷启动温度	T_{start}	°C	电池系统在低温环境下的启动适应能力。
氢气压力	$p_{an.}$	kPa	影响电池系统反应效率与功率输出。
启动时间	t_{start}	s	电池系统快速响应与便利性。
输出电压	U	V	反映电池系统的电气特性与匹配性。
输出电流	I	A	反映电池系统的负荷能力与运行状态。
气密性能	Q_{leak}	kPa/30s	电池系统内部氢气、空气等回路密封安全性与可靠性。

4.5 电池系统的安全分析

电池系统应按 T/CSAA XX-2026《航空器用风冷氢燃料电池系统 安全性要求》开展安全分析。

4.6 电池堆的设计、要求和试验

电池堆的设计、要求和试验参考 GB 20042.1-20042.7。

4.7 数据传输

系统应具有 RS232、RS485 或 CAN 等通信接口，数据传输应正常工作。

4.8 设计保证等级

设计保证等级（DAL）分类应与航空器级故障的影响相适应。适用于给定危险分类的 DAL 并非适用于所有航空器类型，设备对航空器级故障的贡献可能因航空器和其它已安装设备而异。

4.9 安全要求

电池系统应符合 T/CSAA XX-2026《航空器用风冷氢燃料电池系统 安全性要求》要求。

4.10 氢气纯度

电池系统所用氢气的纯度应符合 GB/T 37244 等标准。其中：

- 氢气纯度 $\geq 99.99\%$ ；
- 允许杂质：惰性气体（氦、氩、氮气、水蒸气） $< 0.01\%$ ；
- 碳氢化合物 $< 1 \text{ ppm}$ ；
- 氧气 $< 500 \text{ ppm}$ ；
- 一氧化碳和二氧化碳混合物 $< 1 \text{ ppm}$ ；
- 硫化物 $< 0.1 \text{ ppm}$ ；
- 氨气 $< 0.05 \text{ ppm}$ ；
- 氮氧化物 $< 0.5 \text{ ppm}$ 。

4.11 氢气压力

电池系统入口处的氢气供应压力应保持在制造商标称的压力范围内，应满足 50kPa-100kPa。在启动、稳态运行及瞬态工况变化过程中，氢气压力波动偏差不应超过标称范围的 $\pm 3\%$ 。

4.12 启动和关闭

燃料电池系统应至少具备手动、遥控和自动等启动/关机方式之一。

4.13 活化

新组装的电池系统应进行活化处理，以达到正常工作状态。

4.14 质量控制

电堆和电池系统在飞机应用中的可靠性和安全性要求制造商遵循有效的质量控制系统。制造商应建立经批准的质量保证体系。具体要求详见相应的质量保证标准，如 SAE AS9100、质量管理体系-航空、航天和国防组织要求、ISO 9000 或其他适用的质量标准。

4.15 构型控制

制造商应保持对所有零件、工艺和材料的构型控制。所有的构型变更都要记录在案，并由相应的实体批准。

5 功能和性能要求

5.1 启动时间

不应大于 60 s，通常小于 10s。

5.2 额定功率

电池系统的额定输出功率应不低于制造商的标称值，且在此功率下，电池系统的连续运行时间不低于制造商的标称值。试验期间额定功率输出的允许变化范围为 $\pm 3\%$ 。

5.3 电气过载

电池系统应具备短时过载运行能力，应在 120%额定输出功率下能稳定运行大于 2 min，运行过程中无异常关闭、无故障告警，输出电压保持在标称范围内。

试验后燃料电池堆不应出现开裂、永久变形或其他物理损伤。

5.4 输出电压范围

电池系统在启动、稳态运行、过载、关闭的全工况过程中，输出直流电压应始终保持在制造商标称的电压范围内。此外，单电池平均电压必须不低于 0.60V，电压波动偏差不超过标称范围的 $\pm 5\%$ 。

5.5 输出电流范围

电池系统在全工况过程中，输出直流电流密度应保持在制造商标称的电流范围内，电流波动偏差不超过标称范围的 $\pm 5\%$ 。

5.6 电池系统效率

额定工况下基于氢气低热值的电池系统效率应不低于 45%，实测值与标称值偏差不超过 $\pm 5\%$ 。

5.7 质量比功率

不低于 0.6kW/kg。

5.8 体积比功率

不低于 0.4kW/L。

5.9 冷启动温度

对于一个测试程序，一般推荐热平衡时间应该是在 12h 到 36h 之间，系统在热平衡期间不应该启动（在某一特定的温度范围条件下停放一定的时间），且应保持在规定的温度范围内。

冷启动温度应满足 $\geq -30^{\circ}\text{C}$ 。

5.10 连续工作时间

使用在固定翼无人机上的燃料电池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系统连续运行时间应不小于 2 h。连续运行时间也可依据燃料电池系统采购协议确定。

5.11 电池系统设计寿命

电池系统的累积运行时间应不小于 500h 且功率衰减不超过 20%，或启停次数不小于 200 次。

5.12 电池系统使用寿命

电池系统的累积运行时间应不小于 500h 且功率衰减不超过 20%，或启停次数不小于 200 次。

5.13 抗反极

从电压反转至 0 V 以下开始，电池系统必须在第 6.2.16 节试验下持续耐受不少于 3min，期间未出现短路、烧穿孔等失效。

5.14 气密性能

标称工作压力下压降 $\leq$ 初始压力的 $< 1\text{kPa}/30\text{s}$ 。

5.15 氢气利用率

氢气利用率 $\geq 97\%$ 。

6 试验方法

6.1 试验条件

电池系统的验证需在相关条件下进行试验程序，验证应基于材料制造商定义的材料特性和性能。如果未规定具体试验条件，则应在以下一般试验条件下进行试验：

- a) 温度： $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 相对湿度：35% RH ~ 80% RH；
- c) 大气压力：101 kPa（相当于海拔 0m 气压高度）；
- d) 在规定的环境温度内保持 1h 及以上，使得电池系统和环境温度温度差小到可以忽略不计。当在不同于上述环境条件下进行试验时，应记录实际条件。

6.2 测试矩阵

附录 D 表 D.1 提供了一个测试矩阵，该矩阵定义了所需的测试以及测试顺序。

6.3 启动时间

在电池系统设置完毕且所有试验设备就位后，启动电池系统，测量从发出启动信号时刻到燃料电池系统有净电力输出时刻之间的持续时间。启动时间应满足 5.1 要求。

6.4 额定功率

额定功率试验步骤如下：

- 按照制造商规定的条件进行加载，在指定工况点运行条件达到制造商规定的范围后，稳定运行 1min，直接加载至额定电流点；
- 在额定电流点至少持续运行 60min，持续运行期间，电池系统电压波动不应超过 $\pm 3\%$ ，即该时间段内的电池系统电压应始终处于平均电压的 97% ~ 103%之间；
- 按照制造商规定的正常关机规程停机；
- 若试验中断，应重新执行。

记录额定功率试验过程中电池系统的参数，结果取电流稳定运行阶段最后 1min 内的平均值。以额定电流下最后 1min 内的功率均值作为额定功率。除单片电压（V）向下保留三位小数外，其余参数均向下保留 1 位小数。

在试验报告中，应明确额定电流点所对应的阴阳极操作压力（表压）、过量系数、温度、湿度、电压效率等。额定功率应满足 5.2 要求。

6.5 电气过载

电气过载试验步骤如下：

- 按照制造商规定的条件进行加载，在指定工况点运行条件达到制造商规定的范围后，稳定运行 1min，直接加载至额定电流点，在额定电流点至少持续运行 10min；
- 按照制造商规定的加载方式将电流逐渐增加到规定值，并维持制造商允许的最大过载时间，在该时间内电压波动不应超过 $\pm 3\%$ ；
- 按照制造商规定的正常关机规程停机；
- 若试验中断，应重新执行。

记录电气过载试验过程中燃料电池堆的参数，结果取电流稳定运行阶段最后 1min 内的平均值，如运行时间不超过 1min，则取最后 30s 内的平均值。除单片电压（V）向下保留三位小数外，其余参数均向下保留 1 位小数。

在试验报告中，应明确过载电流点所对应的阴阳极操作压力（表压）、过量系数、温度和湿度等。电气过载应满足 5.3 要求。

6.6 输出电压范围

记录从启动、到制造商给出的持续运行时长内的额定功率运行、到电气过载运行、再到整个运行过程停机的电压。从最低到最高的电池系统输出电压即为输出电压范围。输出电压应满足第 5.4 节。

6.7 输出电流范围

记录从启动、到制造商给出的持续运行时长内的额定功率运行、到电气过载运行、再到整个运行过程停机的电流。从最低到最高的电池系统输出电流即为输出电流范围。输出电流应满足第 5.5 节。

6.8 电池系统效率

启动电池系统后，断开外部储能装置，在额定功率 P_{rated} 下运行电池系统 30min，用该时间段内

累积净发电能量除以累积消耗的氢气量 Q_{H_2} 所对应的能量（采用低热值 242kJ/mol），通过式（1）计算电池系统效率 η_{sys} （1kW·h = 3600kJ）。

$$\eta_{sys} = [0.5 \times P_{rated} / (242 \times Q_{H_2} / 3600)] \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

η_{sys} ——电池系统效率；

P_{rated} ——额定功率，单位为千瓦（kW）；

Q_{H_2} ——累计消耗的氢气量，单位为摩尔（mol）。

电池系统效率应满足第 5.6 节。

6.9 质量比功率

进行额定功率试验：在指定工况稳定运行 60min，记录最后 1min 的平均功率作为额定功率（单位：kW）。

在额定功率试验后，直接称量电池系统质量。测量系统质量 m ，单位为千克（kg）。测量结果向上保留小数点后两位。

系统的质量比功率按照式（2）进行计算

$$P_{EG} = P_E / m \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

P_{EG} ——系统额定功率下的质量比功率，单位为千瓦每千克（kW/kg）；

P_E ——系统在第 5.2.2 节中测得的额定功率，单位为千瓦（kW）；

m ——系统的质量，单位为千克（kg）。

质量比功率应满足第 5.7 节。

6.10 体积比功率

进行额定功率试验：测试方法与质量比功率试验一致。

测量电池系统体积，计算电池系统所占据的物理空间体积 V ，单位为升（L）。测量结果向上保留小数点后两位。

系统的体积比功率按照式（3）进行计算。

$$P_{EV} = P_E / V \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

P_{EV} —— 电池系统额定功率下的体积比功率，单位为千瓦每升（kW/L）；

P_E ——电池系统在第 5.2.2 节中测得的额定功率，单位为千瓦（kW）；

V ——电池系统的体积，单位为升（L）。

体积比功率应满足第 5.8 节。

6.11 氢气压力

在电池系统正常运行下，读取氢气进气口处减压阀的示数。应满足第 4.11 节。

6.12 启动和关闭

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断之一。

应满足第 4.12 节。

6.13 冷启动温度

电池系统能够成功启动的情况下，记录电池系统启动时的环境温度。应满足第 5.9 节。

6.14 活化

在完成气密性检查和绝缘性试验后，确认接线端子极性正确，按照制造商提供的活化方法对电堆进行活化。

活化后，在制造商规定的正常运行条件下（包括额定电流、工作温度、压力、流量等）连续运行至少 2h，记录电压、电流、温度、压力等参数，性能输出不应低于制造商技术文件中的规定值。详见附录 C。应满足第 4.13 节。

6.15 连续工作时间

电池系统启动后，将其功率输出增加至额定功率输出，将负载设置为固定功率输出模式，测量从电池系统能够提供额定功率输出的时刻到其输出电压偏离出规定的输出电压范围之间的时长。应满足第 5.10 节。

6.16 电池系统设计寿命

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

在循环过程中燃料电池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。应满足第 5.11 节。

典型寿命试验方法参见附录 F。

6.17 电池系统使用寿命

电池系统经不同工况运行后，当其额定功率衰减达到 20%时，由安装商提供对应的启停累计启停次数和累计实际运行时长 t_{sl} 。应满足第 5.12 节。

6.18 抗反极

电池系统经过气密性检查和活化后，按照制造商规定的条件进行加载，在指定工况点运行条件达到制造商规定的范围后，设置终止电位，建立稳定开路 5min 后，恒电位仪加载电流密度 200mA/cm²，待单电池电压稳定，切换氢气为氮气，并保持相同流量，湿度和背压，此时单电池开始进入模拟反极工况。待流道中残余氢气消耗殆尽，单电池电压迅速下降到 0V 以下，当电压达到终止电位时，切断电流。记录单电池电位从 0V 变化到终止电位的时长。应满足第 5.13 节。

6.19 气密性能

燃料电池堆处于冷态，关闭燃料电池堆的阳极出口，同时向阳极腔通入氮气，并逐渐加压至最大允许工作压力的 1.1 倍，压力稳定后关闭进气阀门，保压 1min。记录压力下降值，结果向上保留小数点后一位。气密性能应满足第 5.14 节。

6.20 氢气利用率

氢气利用率试验步骤如下：

- a) 电池系统的氢气进气端加装氢气质量流量计。
- b) 在试验之前，按照制造商规定的程序，启动电池系统，使其运行在额定功率，使电池系统本身温度处于制造商规定的范围内。

- c) 按制造商规定,启动电池系统并维持额定功率,完成一次排气吹扫过程后保持 1min,然后按照制造商规定的程序停机。
- d) 记录电池系统的输出电流、输出电压、氢气进气流量等时间历程曲线。
- e) 计算公式见附录 G。

6.21 环境适应性

电池或电池系统应按照附录 D 表 D.1 进行试验。试验类别的选择应与电池或电池系统的预期安装位置和适当的危险分类相称。

电池系统应按照 HB6167 进行试验,参见附录 B 中表 B.1。

进行环境试验时,下列性能要求适用:

- a) 电池系统外无碎片释放。
- b) 电池系统外面没有火焰。
- c) 电池系统无烟雾、烟尘排放。
- d) 电堆或电池系统没有破裂。
- e) 电池系统的变形不得超过规定的尺寸公差限制。
- f) 没有影响电池系统性能的物理损坏。
- g) 电堆或电池系统应能持续安全运行。
- h) 应报告输出电压或电流的任何不规则变化。
- i) 除了尾气外,电堆或电池系统的其余位置不应有明显的氢气泄漏。

每项试验之后执行附录 E 验收试验程序(ATP)。测试电池系统的 HB6167 类别应包括在测试报告和设计文件中。本节中包含的部分环境试验无需进行,除非制造商希望使设备符合该特定环境条件,这些测试由短语“如适用”标识。

对于要求电堆或电池系统工作的试验,应使用最有可能出现不利影响的运行模式。操作模式应考虑所有其他预期功能。

7 安装注意事项

7.1 一般要求

本节不包含设计要求。本节提供可能影响电池系统设计的安装考虑。它还为安装人提供安装考虑。根据飞机的类别,监管机构可能需要进行额外的试验,以获得安装批准。

7.2 电池系统制造商注意事项

7.2.1 航空器告警系统

任何使用电池系统的航空器,其功能对安全运行是必要的,为确保安全运行,可安装具备监测和警告功能的装置,当电池系统的能量状态低于制造商规定的最低水平时,该装置可准确提示操控航空器人员航空器不具备继续运行的条件。

7.2.2 航空器上环境

电池系统应与航空器上安装位置的环境条件兼容。这些环境条件包括但不限于温度、海拔、湿度、冲击、振动、防水、电磁干扰(EMI)和电磁兼容(EMC)。

7.2.3 失效保护

安装时应考虑接口设备故障对电池系统的影响,以避免电池系统失效。

7.3 安装商注意事项

7.3.1 安装设计

安装人员应核实电池系统的测试数据，确保电池系统能够满足无人机的安装设计要求。

7.3.2 安装设备的其他注意事项

安装使用电池系统时应注意如下事项：

- a) 确保航空器安装符合制造商建议的安装说明。
- b) 确保航空器安装与电池系统在任何故障条件下可能产生的排放和温度兼容。
- c) 如适用，在飞机上进行任何通风的设计。
- d) 确保正确安装电池系统中废气和废水的排放位置。
- e) 如适用，提供热冷却（对流、强制空气等）。
- f) 为电池系统报告功能提供接口，如内置测试或运行状况。
- g) 确保飞机安装位置考虑到外部物理或热事件导致电池系统损坏或故障的可能性。
- h) 确保飞机安装考虑到无人值守操作的额外保护。

7.4 安装设备的测试程序

实验室的鉴定试验并不总是足以证明符合安装的规定要求。当无法通过实验室测试充分确定性能时，需要对已安装的设备进行测试。安装设备测试通常在两种情况下进行：

- a) 飞机在地面，使用模拟或操作系统输入。
- b) 飞机在飞行中使用与被测设备相适应的操作系统输入。

地面和飞行测试可用于演示预期操作环境中的功能性能。该测试也可用于证明由于电磁效应对其他系统不产生干扰。

8 交付要求

产品交付时，整机及其零部件的包装应符合 GB/T 191 和 GB/T 13384 的规定，应在显著位置处设置产品铭牌，产品铭牌内容至少包括制造单位名称、制造地址、制造许可证号、设备型号、产品编号、制造日期、主要技术参数。

产品交付时至少应包括下列文件：

- a) 产品合格证明书，包括产品和主要外购件的合格证明书；
- b) 产品使用说明书，包括产品的安装、拆装、存储以及主要外购件的使用说明书；
- c) 维护保养说明书：包括维护文件指南、定期检查保养项目、检查保养内容和要求、检查保养方式等；其中维护文件是指制造商应提供的维护所需的文件，应包括但不限于以下信息：
 - 1) 接线图；
 - 2) 基本控制和操作；
 - 3) 安装说明；
 - 4) 设计寿命；
 - 5) 维护说明（包括气密检查和维修间隔）；
 - 6) 维修；
 - 7) 故障排除；
 - 8) 拆卸和更换零件；
 - 9) 装运建议/限制；
 - 10) 处置。
- d) 备件及易损件清单：包括专用工具、仪器清单。

附录 A

(资料性)

典型电池系统主要技术参数示例

典型 10KW 级别风冷氢燃料电池系统主要技术参数见表 A.1。

表 A. 1 典型电池系统主要技术参数表

类型	参数
启动时间 (s)	< 10
额定功率 (kW)	3. 55
输出电压 (V)	~50
平均单电池额定电压 (V)	≥0. 60
输出电流 (A)	~70
质量比功率 (kW/kg)	>0. 6
体积比功率 (kW/L)	>0. 4
气密性能 (kPa/s)	< 1
设计寿命 (h)	500 (功率衰减≤20%)

附录 B

(资料性)

电池系统环境要求试验项目示例

电池系统环境试验项目见表 B.1。

表 B.1 环境试验项目

环境条件	HB6167 章节	标注
温度	4.5	必需, 按 A1 类
高度	4.6.1	必需, 按 A1 类
失压/过压	4.6.2-4.6.3	不适用
温度变化	5	必需, 按 A 类
湿度	6	必需, 按 C 类
工作冲击	7.2	必需, 按 B 类
碰撞安全	7.3	必需, 按 B 类
振动	8	必需, 按 GB/T 38924.6-2020
爆炸性环境	9	必需, 按 H 类
防水性	10	如适用, 按 R 类
流体敏感性	11	不适用
砂尘	12	如适用, 按 S 类
霉菌	13	如适用, 按 F 类
盐雾	14	如适用, 按 S 类
磁影响	15	如适用, 按 Z 类
电源输入	16	必需, 按 B 类 (直流)
电压尖峰	17	必需, 按 B 类
音频传导敏感度	18	必需, 按 B 类
感应信号敏感度	19	必需, 按 CC 类
射频敏感度	20	必需, 按传导 M 类, 辐射 L 类
射频能量发射	21	必需, 按 M
闪电瞬态传导敏感度	22	必需, 按 B2、K2、L2 类
闪电直接效应	23	如适用
结冰	24	如适用, 按 A 类
静电放电	25	必需, 按 A 类
防火	26	如适用, 按 C 类

附录 C
(资料性)
典型活化试验步骤

电堆在初次启动或关闭超过三天后，为确保电堆恢复并维持良好工作状态，推荐在恒流模式下，以额定电流运行不少于 1h。需按以下程序进行活化处理：

a) 活化前的准备与检查

确认电堆各部件连接正确、牢固。使用万用表检测电堆正负极间是否存在短路。断开外部负载，调节氢气压力至设定值，随后开启电堆，此时所显示的电压即为电堆的开路电压。

b) 阶梯式加载活化流程

活化过程应遵循从低电流至高电流的逐步加载原则。首先，开启负载，使电堆输出电流为额定电流的 20%，在此电流下运行 30s。随后增加负载，使输出电流达到额定电流的 40%，运行 30s。继续增加负载至额定电流的 60%，运行 30s。再增加负载至额定电流的 80%，运行 1min。最后增加负载至额定电流，在额定电流下运行约 1h。运行期间若出现性能下降属正常现象，但需确保每片单电池的电压保持在 0.5 V 以上；若电压低于 0.5 V，应适当减小电流。

c) 初次活化后的冷却与再激活

完成上述步骤后，断开负载。待电堆温度降至 35° C 以下，关闭氢气供应，电堆自动停止运行。静置 1h 后，重新启动电堆，并重复上述阶梯加载步骤（从 20%额定电流逐步加载至 80%额定电流），随后使电堆在额定电流下运行 1min。之后继续增加负载，使输出电流达到额定电流的 110%，在此电流下运行约 1h，期间仍需保证每片单电池电压不低于 0.5 V，否则应适当降低电流。

d) 最终恢复与正常使用

再次断开负载，待电堆温度降至 35° C 以下后关闭氢气，停止运行。静置 1h 后，再次启动电堆，按上述阶梯加载步骤操作。待电堆能够在额定功率（即额定电流）下稳定运行后，即可投入正常使用。

e) 注意事项

当初次启动或关闭三天以上后，若电堆性能显著偏低（例如增大电流时电压迅速下降），必须严格遵循上述活化步骤，并建议多次执行活化运行，每次以 1h 为宜。若在增大电流过程中电压急剧下降，应减小电流，在小电流条件下运行一段时间后关闭电堆，静置 1h 后再重新启动，尝试加载大电流。活化过程中应控制环境温度，宜不超过 30° C。

附录 D
(规范性)
测试矩阵

电池系统测试矩阵见表 D.1。

表 D.1 测试矩阵

试验项目	章节	备注	测试对象					
			1	2	3	4	5	6
外观检查	附录 E 第 1 条	1	√	√	√	√	√	√
绝缘电阻	附录 E 第 2 条	1	√	√	√	√	√	√
气密性试验	6.2.17	1	√	√	√	√	√	√
启动/关闭	6.2.10	2,3	√	√	√	√	√	√
氢气压力	6.2.9	2,3	√	√	√	√	√	√
活化试验	6.2.12	2,3	√	√	√	√	√	√
启动时间	6.2.1	2,3	√	√	√			
冷启动温度	6.2.11	2,3	√	√	√			
额定功率试验	6.2.2	2,3	√	√	√			
电气过载试验	6.2.3	2,3	√	√	√			
输出电压/电流范围	6.2.4/ 6.2.5	2,3	√	√	√			
电池系统效率	6.2.6	2,3	√	√	√			
质量/体积比功率	6.2.7/ 6.2.8	2,3	√	√	√			
连续工作时间	6.2.13	2,3	√	√	√			
电池系统设计寿命	6.2.14	3	√	√	√			
抗反极	6.2.16	3				√	√	√

注 1：首先执行这些测试，按表格行顺序进行。

注 2：这些测试可以按任意顺序进行。

注 3：这些测试至少在一个测试样品上进行。

注 4：在完成测试后，对每个测试样品执行此测试。

附录 E
(资料性)

验收试验程序 (ATP)

当电池系统符合本标准时, 应编制验收试验程序, 以验证其性能和功能。在任何可能影响其预期功能的测试之前和之后, 还应执行验收试验程序 (或其子集) 以验证电池系统的运行。

验收试验程序应具有足够的范围测试所有电池系统电路路径和操作模式, 以满足规定的性能和功能要求:

a) 外观检查

目视检查制造商提供的电池系统的所有部件, 要求如下:

- 1) 电池系统容器或盖上有麻点、气孔或毛刺;
- 2) 腐蚀迹象;
- 3) 异物颗粒;
- 4) 含有气孔、裂纹或夹渣的焊缝;
- 5) 外壳、盖子和接口连接器、电子板和其他子部件损坏;
- 6) 松动零件, 如紧固件、连接器、部件;
- 7) 缺乏清洁;
- 8) 缺失或无关材料;
- 9) 过多的工具标记。

b) 绝缘电阻

试验步骤见安全性规范第 5.4.1 节。

c) 气密性能

试验见第 6.3.10 节。

d) 正常运行试验

将电池系统置于制造商定义的正常工作条件 (氢气气压、工作温度、相对湿度等) 下运行, 直至达到热平衡条件。测量并记录电堆的电压、电流、温度等性能参数。所有测量值均应在制造商规定的范围内。

附录 F
(资料性)

典型寿命试验方法

电池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。电池系统寿命试验方法的基本原则是：燃料电池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 F.1 所给的一个典型寿命试验参数仅供参考。

其中，短时在 120%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 45min 是考虑到启、停和氢/空界面对燃料电池系统中电堆可能带来的寿命影响。

表 F.1 典型寿命试验参数

状态	启动和额定功率运行	120%额定功率运行	额定功率运行	120%额定功率运行	额定功率运行	120%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	1/3 连续运行时间	1/3 连续运行时间	1		

附录 G
(资料性)
氢气利用率计算公式

G.1 电池系统实际氢气消耗量

如果氢气质量流量计以流量单位记录结果，则电池系统在某段时间内的实测氢气消耗量按式 (G.1) 计算：

$$M_{\text{实}} = \int_{T_2}^{T_1} m_{\text{实}} \cdot dt \cdots \cdots \cdots (G.1)$$

式中：

$M_{\text{实}}$ ——实际进入电池系统的氢气量，单位为克 (g)；

$m_{\text{实}}$ ——实际进入电池系统的氢气流量，单位为克每秒 (g/s)；

T_1 ——起始时间，单位为秒 (s)；

T_2 ——结束时间，单位为秒 (s)。

G.2 电池系统理论氢气消耗量

电池系统在某段时间内的理论氢气消耗量按式 (G.2) 计算：

$$M_{\text{理}} = \int_{T_2}^{T_1} m_{\text{理}} \cdot dt \cdots \cdots \cdots (G.2)$$

式中：

$M_{\text{理}}$ ——电池系统理论氢气消耗量，单位为克 (g)；

$m_{\text{理}}$ ——电池系统理论氢气流量，单位为克每秒 (g/s)；

T_1 ——起始时间，单位为秒 (s)；

T_2 ——结束时间，单位为秒 (s)。

G.3 理论氢气流量按式 (G.3) 法拉第

理论氢气流量按式 (G.3) 法拉第公式计算：

$$m_{\text{理}} = (m \times I \times N) / (n \times F) \cdots \cdots \cdots (G.3)$$

式中：

$m_{\text{理}}$ ——电池系统理论氢气流量，单位为克每秒 (g/s)；

m ——氢气摩尔质量，2.016g/mol；

I ——电池系统电流，单位为安 (A)；

N ——电池系统单电池片数；

n ——每个氢分子释放的电子数，2；

F ——法拉第常数，96485C/mol。

G.4 电池系统氢气利用率

电池系统在某段时间内氢气利用率 η_{sys} 按式 (G.4) 计算：

$$\eta_{\text{sys}} = M_{\text{理}} / M_{\text{实}} \cdots \cdots \cdots (G.4)$$

式中：

η_{sys} ——电池系统的氢气排放量，单位为克（g）；

$M_{\text{理}}$ ——电池系统理论氢气消耗量，单位为克（g）；

$M_{\text{实}}$ ——实际进入燃料电池系统的氢气量，单位为克（g）。

中国航空学会团体标准
编制说明

项目名称：	航空用风冷氢燃料电池系统 通用规范
计划项目代号：	中航学字〔2026〕75 号
主要起草单位：	民航沈阳航空器适航审定中心、中国民用航空适航 审定中心、中氢航能(深圳)科技有限公司等

2026 年 7 月

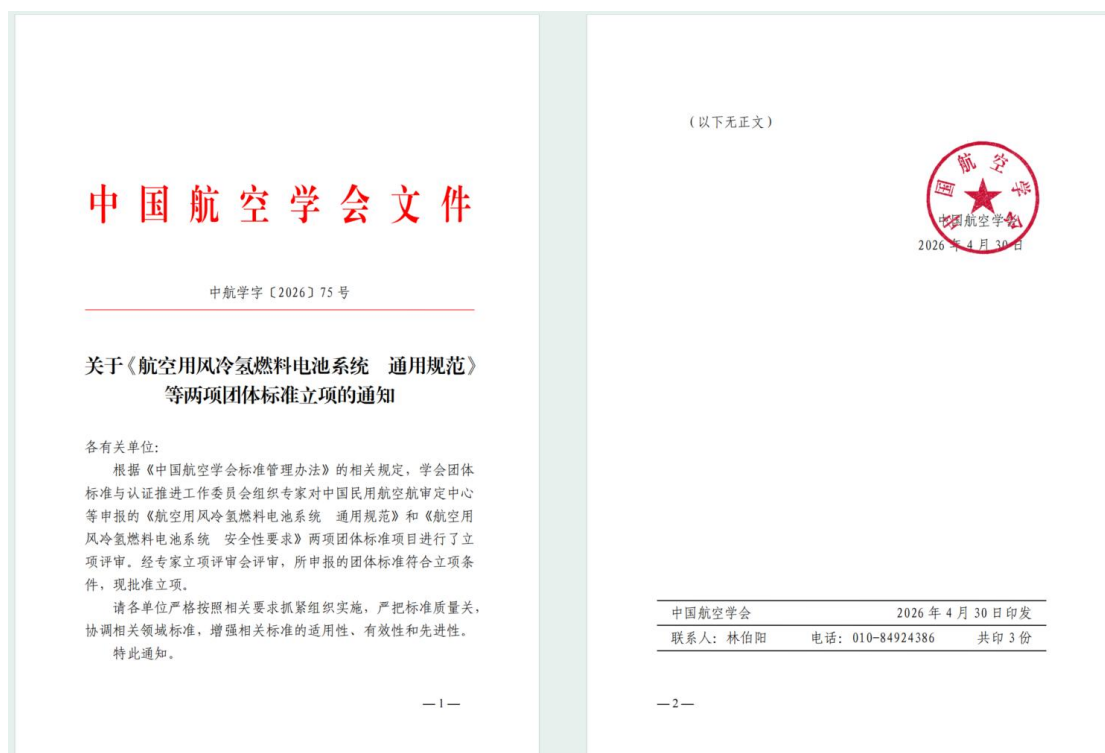
《航空用风冷氢燃料电池系统 通用规范》

团体标准编制说明

1. 项目简况

1.1 项目来源

依据中航学字[2026]75 号文“关于《航空用风冷氢燃料电池系统通用规范》等两项团体标准立项的通知”，本项团体标准于 2026 年 4 月 30 日立项。



1.2 工作组情况

本标准由民航沈阳航空器适航审定中心、中国民用航空适航审定中心、民航江西航空器适航审定中心、民航西安航空器审定分中心、民航广州航空器审定分中心、民航成都航空器审定分中心、中氢航能（深圳）科技有限公司、协氢（上海）新能源科技有限公司、中国民航大学、中国民航科学技术研究院、追梦空天科技（苏州）有限公司、

杰成航空智能（香港）有限公司、中国航空学会、深圳市低空经济产业协会等单位共同参加。

主要分工情况如下：

主要起草单位	主要起草人	主要任务
民航沈阳航空器适航审定中心	王艳红	项目负责人，进行项目调研和分析，进行标准框架设计、论证和相关试验验证资料收集工作；执笔编制初稿、征求意见稿并完成报批稿；讨论稿、报批稿的专家沟通与汇总。
中氢航能（深圳）科技有限公司	雷浩	技术负责人，进行技术协调、调研和分析，确保标准中提出的产品技术指标反映企业实际设计和生产能力。
中氢航能（深圳）科技有限公司	徐琪	在主编等人指导下，负责文字规范化、核对技术内容、编写说明、意见汇总和处理。
中国民航大学	贾惟	负责相关标准和前沿论文收集、为标准的科学性提供数据底座和佐证链条。
中国民航科学技术研究院	冯墨	负责标准的复核，进行独立审查，验证技术内容的正确性和可操作性。
中国民用航空适航审定中心	魏桐	负责立项前期沟通和项目建议书的申报，对标准提出完善和修改意见。
民航江西航空器适航审定中心	肖毅	负责对标准提出完善和修改意见，并在后续使用过程中进行宣贯和指导。
民航西安航空器审定分中心	马迎坤	负责对标准提出完善和修改意见，并在后续使用过程中进行宣贯和指导。
民航广州航空器审定分中心	毛德爱	负责对标准提出完善和修改意见，并在后续使用过程中进行宣贯和指导。
民航成都航空器审定分中心	汪璟	负责对标准提出完善和修改意见，并在后续使用过程中进行宣贯和指导。
深圳市低空经济产业协会	黎俊茂	负责标准格式的整理工作。
中氢航能（深圳）科技有限公司	赵麒麟	负责资源保障、高层协调和风险决策。
中氢航能（深圳）科技有限公司	刘建	负责企业内部资源调配和管理。
深圳市低空经济产业协会	成涛	负责跨组织协调并进行后续推广。
协氢（上海）新能源科技有限公司	冯彦	负责产品技术支持工作。
协氢（上海）新能源科技	王飞	负责产品技术支持工作。

有限公司		
协氢（上海）新能源科技有限公司	田文筱	负责产品技术支持工作。
协氢（上海）新能源科技有限公司	韩兵	负责产品技术支持工作。
协氢（上海）新能源科技有限公司	高荷	负责产品技术支持工作。
协氢（上海）新能源科技有限公司	徐鹏辉	负责产品技术支持工作。
追梦空天科技（苏州）有限公司	陆入成	负责对产品和标准提出使用建议。
杰成航空智能（香港）有限公司	蒋明	负责对产品和标准提出使用建议。

1.3 国内外情况

氢燃料电池产业正处于从示范应用向规模化发展的关键转型期。全球技术以交通与固定发电为主流；日、韩、美、欧技术起步早，在基础材料与核心部件上领先；国内在规模上全球领先：氢燃料电池商用车（重卡/客车）、加氢站数量世界第一，产业链完整，技术以质子交换膜氢燃料电池为主，电堆、系统基本国产化，膜电极逐步突破，但高端材料、关键辅机仍依赖进口。

2026年3月，工业和信息化部、财政部、国家发展改革委联合启动氢能综合应用试点工作，在“1+N+X”应用体系中明确将航空器纳入氢能创新应用范畴，推动氢能技术与低空交通、低空作业等场景深度融合。中国在氢燃料电池无人机的技术与商业化进程上已走在世界前列，正从技术验证阶段迈向初步的商业化。国内已有超30款国产氢动力无人机发布、试飞，覆盖数据通讯、气象监测、空域侦察、电力巡检、农业植保等多元化应用场景。

氢燃料电池系统在无人机上的应用正处在技术验证向商业应用跨越的关键时期。它以长航时、大载重、耐低温和零排放的独特优势，有效破解了锂电池无人机续航短的瓶颈，已成为低空经济绿色动力的核心方向之一。目前国内氢燃料电池相关企业已超 700 家，构筑了完整的产业生态。本次标准的制定技术支持单位是该领域的商业化领跑者：中氢航能（深圳）科技有限公司开发了专用于无人机的 HA031、HA051、HA071、HA081、HA101 等超过 5 个类型的电堆，已经在协氢 H15、H25、H100、H150、H200、H400、HF40、HF150 等机型的无人机应用，累计飞行数万小时。同类产品包括：氢航的 Hercules ACFC 和 LCFC 系列、氢鹏风冷氢燃料电池电堆（PEMFC）、海卓新能源的 Si-G 系列等。

1.4 制、修订的基本原则

本标准在编制过程中，遵循以下工作原则：

- 1) 安全优先。以保障航空应用场景下的人员安全、设备安全和飞行安全为首要目标，确保标准技术要求不低于强制性标准的相关规定。
- 2) 技术创新。聚焦风冷氢燃料电池在航空领域的技术特点与应用需求，提出具有创新性和先进性的技术指标与评价方法。
- 3) 重注实用。在尊重科学、紧密结合实践、广泛征求意见及调查研究的基础上，紧贴航空用风冷氢燃料电池需求实际情况，提出具有可操作性和实用性的指标。

4) 协调一致。与相关的法律法规和现有标准要求相协调，标准编制过程中应尽可能采用现有标准。

5) 开放透明。遵循开放、公平、透明的原则，广泛吸纳航空器制造商、燃料电池生产企业、科研机构、检测认证机构及运营用户等相关方参与，充分反映各方共同需求。

2. 标准的研制情况

2.1 制、修订的主要工作内容

本文件规定了航空用风冷氢燃料电池系统的预定用途、产品组成、主要技术参数项以及各系统详细功能性能要求、试验要求以及交付要求。

本文件适用于不载人无人驾驶航空器选用的风冷电池系统的订货和交付验收。

主要包括：

前言.....	5
航空用风冷氢燃料电池系统通用规范.....	6
1 范围.....	6
2 规范性引用文件.....	6
3 术语和定义.....	6
3.1 风冷氢燃料电池系统 air-cooled fuel cell system.....	6
3.2 燃料电池堆 stack / fuel cell stack.....	7
3.3 冷启动 cold start.....	7
3.4 吹扫 purge.....	7
3.5 额定功率 rated power.....	7
3.6 电气过载 electrical overload.....	7
3.7 电池系统效率 fuel cell system efficiency.....	7
3.8 电池系统设计寿命 fuel cell system design lifetime.....	7
3.9 电池系统使用寿命 fuel cell system service lifetime.....	7
3.10 质量比功率 specific power.....	7
3.11 体积比功率 volumetric power density.....	7
3.12 冷启动温度 cold start temperature.....	7
3.13 氢气压力 hydrogen pressure.....	7
3.14 启动时间 start-up time.....	7
3.15 开路电压 open circuit voltage; OCV.....	8
3.16 输出电压 output voltage.....	8
3.17 输出电流 cell reversal.....	8
3.18 反极 voltage reversal.....	8
3.19 氢气利用率 hydrogen utilization.....	8
4 一般要求.....	8
4.1 预定用途.....	8
4.2 型谱.....	8
4.3 产品组成.....	8
4.4 主要技术参数项.....	10
4.5 电池系统的安全分析.....	11
4.6 电池堆的设计、要求和试验.....	11
4.7 数据传输.....	11
4.8 设计保证水平.....	11

4.9 安全要求	11
4.10 氢气纯度.....	11
4.11 氢气压力	11
4.12 启动和关闭	11
4.13 活化.....	11
4.14 质量控制	11
4.15 构型控制	11
5 电池系统功能和性能要求.....	12
5.1 启动时间	12
5.2 额定功率	12
5.3 电气过载	12
5.4 输出电压范围.....	12
5.5 输出电流范围.....	12
5.6 电池系统效率.....	12
5.7 质量比功率.....	12
5.8 体积比功率.....	12
5.9 冷启动温度.....	12
5.10 连续工作时间	12
5.11 电池系统设计寿命.....	12
5.12 电池系统使用寿命.....	13
5.13 抗反极.....	13
6 试验方法.....	13
6.2.1 启动时间	13
6.2.2 额定功率	13
6.2.3 电气过载	14
6.2.4 输出电压范围.....	14
6.2.5 输出电流范围.....	14
6.2.6 电池系统效率.....	14
6.2.7 质量比功率	14
6.2.8 体积比功率	15
6.2.9 氢气压力	15
6.2.10 启动和关闭	15
6.2.11 冷启动温度	15
6.2.12 活化.....	15

6.2.13 连续工作时间	15
6.2.14 电池系统设计寿命	16
6.2.15 电池系统使用寿命	16
6.2.16 抗反极	16
6.2.17 气密性能	16
6.2.18 氢气利用率	16
6.3 环境适应性	16
7 安装注意事项	17
7.1 安装设计	17
7.2 安装使用	17
7.3 其他注意事项	17
7.3.1 航空器告警系统	17
7.3.2 航空器上环境	17
7.3.3 失效保护	17
8 交付要求	18
附录A 电池系统主要技术参数示例	19
附录B 电池系统环境要求试验项目示例	20
附录C 活化试验步骤	21
附录D 测试矩阵	22
附录E 验收试验程序 (ATP)	23
附录F 典型寿命试验方法	23
附录G 氢气利用率计算公式	24

2.2 标准制、修订的基本过程

1) 提案阶段:

2026 年 2-3 月，民航沈阳航空器适航审定中心、中国民用航空适航审定中心、中氢航能(深圳)科技有限公司等向中国航空学会提出项目立项需求，同步开展资料收集和立项申请书编写工作，并于 3 月 12 日在上海召开项目立项沟通交流会议。

2026 年 3 月 24 日，召开线上会议。（1）初步拟定组织主要编制单位为：民航沈阳航空器适航审定中心，技术支持编制单位：中氢航能(深圳)科技有限公司，参与编制单位为：中国民用航空适航审定

中心、民航江西航空器适航审定中心、民航西安航空器审定分中心、民航广州航空器审定分中心、民航成都航空器审定分中心、协氢（上海）新能源科技有限公司、中国民航大学、中国民航科学技术研究院、杰成航空智能（香港）有限公司、追梦空天科技（苏州）有限公司、中国航空学会、深圳低空经济产业协会。（2）明确标准适用范围为航空器安装使用的氢燃料电池系统，覆盖电堆、电控系统等核心组成部分。研讨了产品分类，按功率、电压、电流等划分等级。结合氢燃料电池技术特性补充专属技术要求。（3）环境试验涵盖温度、海拔/压力等试验项目。（4）需遵循 GB/T1.1《标准化工作导则》的格式要求，包括字体、空行、章节结构等均有规范约束；将标准拆分为两个独立团标，分别为安全要求和测试方法，两个标准间可进行关联引用。

2026 年 4 月 8 日，召开线上会议。主要进行框架性讨论，为后续编制详细内容、撰写项目建议书及正式立项奠定基础。会议详细讨论了团体标准编制的整体工作流程、阶段性目标及各环节的核心任务。

2) 立项阶段：

2026 年 4 月 28 日，中国航空学会团体标准与认证推进工作委员会在北京组织召开了《无人驾驶航空器氢燃料电池动力系统规范》、《无人驾驶航空器氢燃料电池动力系统安全性要求》两项团体标准立项评审会。会议成立了立项评审专家组，与会专家听取了标准申报单位中国民用航空沈阳航空器适航审定中心等对标准立项的目的、意义

以及标准拟定内容、编制方案等情况的汇报，并对有关问题进行了质询。经与会专家认真地评议和讨论，认为：该两项标准可为无人驾驶航空器选用氢燃料电池动力系统以及适航验证等提供依据。该两项标准立项的必要性充分，申报单位具有相应的技术储备，标准编制方案可行，符合中国航空学会团体标准立项要求。评审专家组一致同意该两项团体标准通过立项评审。

标准名称修改为：《航空用风冷氢燃料电池系统 通用规范》、《航空用风冷氢燃料电池系统 安全性要求》。

2026 年 4 月 30 日，正式发文立项。

3) 起草阶段：

2026 年 5 月-2026 年 6 月，编制组单位专业技术人员组建标准编制工作组。标准编制工作组对标准内容进行研究，编写形成标准初稿。编制组分别前往上海、重庆、广州、北京、天津等氢燃料电池测试机构调研。通过若干小型会议的形式，修改完善两份标准。根据航空用风冷氢燃料电池系统的电池特性及其实际应用特性，清晰框图边界、修改完善电池系统内部电堆、控制器和其他零部件的作用关系。明确电池系统的功能、性能的定义、要求和试验。依据电池特性，优化了环境适应性。

2026 年 5 月 21 号，中国航空学会在宁波组织的标准制定程序和编写要求专题培训会，按照培训内容和标准的格式规范对团标进行了修改。

2026 年 6 月 30 日，编制组完成征求意见稿编写。

4) 征求意见阶段:

定于 2026 年 7 月-2026 年 8 月,公开征求意见。在中国航空学会网站以及有关平台发布征求意见通知,开始公开征求意见。

5) 讨论阶段:

拟定 2026 年 7 月下旬,中国航空学会团体标准与认证推进工作委员会在北京组织召开团体标准征求意见讨论会。

6) 送审阶段:

拟定 2026 年 8-9 月,编制组整理意见,并逐条分析、修改。

拟定 2025 年 9 月,编制组完成修改,并对意见处理情况进行统计回复。提交送审。

7) 审查阶段:

拟定 2026 年 10 月,中国航空学会团体标准与认证推进工作委员会在北京组织召开团体标准审查会。

8) 报批阶段:

拟定于 2026 年 11 月完成报批。

2.3 解决的主要问题

随着无人驾驶航空器技术的不断成熟和分布式电推进系统在航空器上的应用,采用氢燃料电池作为电推进系统提供能源成为一种趋势。相较于水冷氢燃料电池,风冷氢燃料电池以其结构简单、轻量化、成本低和高效率的优点,被无人驾驶航空器广泛采用。

目前无人驾驶航空器用风冷氢燃料电池系统缺乏满足适航要求的规范,为了解决无人驾驶航空器制造商和氢燃料电池供应商适航取

证的需要，拟制定《航空用风冷氢燃料电池系统 通用规范》标准。该标准规定了航空用风冷氢燃料电池系统的预定用途、产品组成、主要技术参数项以及各系统详细功能性能要求、试验要求以及交付要求。

该标准填补了国内航空用风冷氢燃料电池系统适航领域的空白，与现行国家标准、行业标准协调互补，解决了当前存在的适航安全隐患等问题，提升了行业的规范性，推动了航空用自动驾驶航空器技术创新与发展。

2.4 其他情况

无。

3 主要试验（或验证）情况分析

本标准围绕航空用风冷氢燃料电池系统通用特性，针对航空用风冷氢燃料电池系统性能、功能、环境适应性的验证，所有试验对应标准正文及附录全部条款，试验数据为标准指标、检测方法编制提供工程支撑。

开展关于启动、冷启动、额定功率、过载、比功率等测试，确定系统性能限值，匹配无人驾驶航空器动态飞行负载特性。

验证氢气工作压力、氢气纯度指标，系统在高低温试验等后复测泄漏。

开展启停、变载循环、环境试验测试，记录性能衰减数据，验证系统设计寿命和使用寿命。

试验明确了航空用风冷氢燃料电池系统性能、功能、耐久、环境等指标，配套附录形成标准化检测流程，适配无人驾驶航空器机载场景。试验结果表明标准各项技术要求贴合无人驾驶航空器机载使用场

景，检测方法具备可操作性。

风冷氢燃料电池系统作为动力系统已实际搭载在无人机上，多款氢能无人机已通过了涵盖极寒环境、高海拔及国际安全标准的严苛测试，验证了其技术成熟度与可靠性。以下以氢能无人机的实际应用为验证形式。

极端环境适应性验证：氢能无人机在黑龙江大兴安岭地区成功通过了-35℃极寒环境的实战运输测试。试验数据显示，搭载 40 公斤载荷的无人机在该低温环境下仍能稳定飞行 2 小时，验证了氢能动力系统在低温严寒地区的强环境适应性及电堆双冗余设计的可靠性。

高海拔与长续航性能验证：垂起固定翼及多旋翼氢能无人机产品均具备 3000 米飞行海拔能力，且在多地复杂地形（如山地光伏、森林消防）中实现了 3 小时以上的超长续航作业，远超传统锂电无人机 30 分钟左右的续航极限。

国际合规与安全认证：氢能无人机用氢燃料电池系统产品已获得德国莱茵（TÜV Rheinland）与欧盟 CE 双重认证，标志着在质量管理体系、产品安全标准及全球合规性方面达到了国际顶尖水平。

光伏清洗：在广东河源京能集团 100MW 光伏清洗项目中，氢能无人机通过减少 80%的起降点设置（由 27 个减至 5 个），实现了清洗效率提升 80%，并有效解决了山地取电取水难的问题。

应急消防：在湖南长沙森林消防任务中，氢能无人机利用图传中继与 AR 精准定位技术，在复杂山林地形中实现火情自主识别与灭火弹投放，实现了零生命危险系数的自动化作业。

物流与巡检：氢能无人机已广泛应用于山东章丘风电巡检（单次换罐巡检 12 台风机）及高海拔物流运输，展现了大载重（最大载重达 200kg）与长航时的显著优势。

氢能两轮车：搭载固态储氢技术的氢能两轮车已在北上广深等全国十余个城市实现商业化投放与共享运营，验证了氢能交通终端的市
综上所述产品已在能源运维、应急安防、绿色交通等领域形成了成熟的商业化闭环。

4 标准中如果涉及专利，应有明确的知识产权说明 不涉及。

5 预期达到的社会效益等情况

（1）标准水平达到国内标准先进水平；拟申请立项的团体标准快速响应低空经济背景下，航空用氢燃料电池动力系统的技术变革与新兴场景；属于国家标准、国家军用标准、行业标准尚未覆盖的细分领域，为航空用风冷氢燃料电池系统在功能、性能、环境适应性提供合适的参考。

（2）随着低空经济与氢能产业进入协同爆发期，氢能无人机不仅突破传统锂电池无人机续航短、载重小、环境适应性弱的行业瓶颈，成为工业级低空作业的核心装备，还能通过替代部分传统燃油地面交通，进一步加快国家朝向减碳目标的步伐，实现生态与经济效益的双赢。

（3）航空用风冷氢燃料电池系统的技术体系深度横跨电化学、机械工程、电子信息工程、环境科学、材料科学、工业设计等多学科交叉边界，具备“技术聚合性强、产业适配性高、反向赋能空间广”的核心特征，各交叉学科领域的深度融合，促进企业主体与国内高校、科研院所产学研合作，通过共建实验室、联合技术攻关、定向人才培

养等模式，有助于培养一批交叉科学的人才，实现实验室技术成果的市场化验证与产业真实工程需求对研发方向的双向引导。

（4）氢能无人机巧妙地结合了低空经济和未来产业氢能这两个领域，积极响应了国家的政策号召，将在环境、经济、公共安全及就业结构等维度产生深远的社会影响和显著的经济效益。

6 采用国际标准和国外先进标准情况

无。

7 与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性

经编制组分析，与其他标准无矛盾。

经检索，相关领域现有国家和行业标准有 14 项，具体如下：

GB/T 20042.1-2017《质子交换膜燃料电池第 1 部分：术语》

GB/T 20042.2-2023《质子交换膜燃料电池第 2 部分：电池堆通用技术条件》

GB/T 20042.5-2024《质子交换膜燃料电池第 5 部分：膜电极测试方法》

GB/T 28816 《燃料电池术语》

GB/T 38954-2020《无人机用氢燃料电堆和电池系统》

IEC 62282-2-100:2020《燃料电池技术第 2-100 部分：燃料电池模块安全》

IEC 62282-4-202:2023《燃料电池技术第 4-202 部分：推进和辅助动力用燃料电池系统无人机用性能试验方法》

IEEE Std 1958-2026《氢能无人机框架标准》

RTCA/DO-160G《机载设备环境条件和试验程序》

RTCA/DO-178C 《机载系统中的软件考虑和设备认证》

RTCA/DO-254 《机载电子硬件设计保证指南》

SAE ARP4761A 《民用机载系统和设备安全性评估指南》

HB6167 《机载设备的环境条件和试验程序》

T/CSAA 《航空用风冷氢燃料电池系统安全性要求》

上述标准在编制过程中参考协调。

8 重大分歧意见的处理经过和依据

无。

9 标准性质的建议说明

本标准将以中国航空学会团体标准形式发布，为推荐性标准。

10 贯彻标准的要求和措施建议（包括组织措施、技术措施、过渡办法、实施日期等）

建议中国航空学会组织开展标准宣贯。

11 废止现行相关标准的建议

无。

12 其他

无。

《航空用风冷氢燃料电池系统 通用规范》

团体标准编制工作组

2026 年 7 月 2 日

附表

标准意见汇总处理表

序号	条文编号	修改意见	处理结果
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			