

# 团 体 标 准

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

## 航空用风冷氢燃料电池系统 安全性要求

Safety requirements 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](http://www.csaa.org.cn) 联系人：梁勇 电子信箱：[csaa\\_123@163.com](mailto:csaa_123@163.com)

目 录

目 录 ..... II

前 言 ..... III

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 安全性要求 ..... 3

    4.1 安全分析 ..... 3

    4.2 防火要求 ..... 3

    4.3 带电部件要求 ..... 3

    4.4 绝缘性能要求 ..... 4

    4.5 气密性要求 ..... 4

    4.6 压力耐受要求 ..... 4

    4.7 非正常运行测试要求 ..... 4

5 试验方法 ..... 5

    5.1 带电部件检查 ..... 5

    5.2 绝缘性试验 ..... 5

    5.3 气密性试验 ..... 6

    5.4 压力耐受试验 ..... 8

    5.5 非正常运行测试要求 ..... 8

6 试验报告 ..... 9

附录 A（资料性）重大危险、危险情况和事件 ..... 10

附录 B（资料性）绝缘电阻试验电压 ..... 12

附录 C（资料性）介电强度测试电压 ..... 13

附录 D（规范性）测试矩阵 ..... 14

## 前 言

本文件附录 A、B、C、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、深圳市低空经济产业协会。

本文件起草人：王艳红、雷浩、徐鹏辉、徐琪、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 安全性要求

## 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）的安全性要求和试验。  
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 20042.1 质子交换膜燃料电池 第1部分：术语
- GB/T 20042.2 质子交换膜燃料电池 第2部分：电池堆通用技术条件
- GB/T 28816 燃料电池术语
- GB/T 38954 无人机用氢燃料电池发电系统
- IEC 62282-2-100 燃料电池技术 第2-100部分：燃料电池模块 - 安全性
- 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 通用规范

## 3 术语和定义

GB/T 20042.1、GB/T 28816、GB/T 20042.2、GB/T 38954、IEC 62282-2-100 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**阳极 anode**  
氢气的氧化反应发生所在电极。

### 3.2

**阴极 cathode**  
氧化剂的还原反应发生所在电极。

### 3.3

**热平衡状态 thermal steady state**  
温度维持相对恒定的状态。  
注：可用 15 min 之内温度变化不超过 3 K 或不超过运行时绝对温度（K）的 1 % 来判断。

3.4

**安全分析** safety analysis

对系统在设计、运行及故障状态下可能存在的危险源、失效模式及其风险进行识别、评估与控制的过程。

3.5

**安全特低电压** safety extra low voltage (SELV)

在正常状态和单一故障状态下，不超过相关应用标准中规定值的电压。

3.6

**低可燃极限** lower flammable limit (LFL)

可燃气体或蒸汽在与助燃气体形成的均匀混合系中能够被点燃并能传播火焰时的最低浓度（体积分数）。

3.7

**气体泄漏** external gas leakage

除有意排出的气体之外，产生气体漏出氢燃料电池堆的现象。

3.8

**交叉泄漏** cross leakage

气体在氢气腔和氧化剂腔之间发生的相互泄漏。

3.9

**最大运行压力** maximum operating pressure

由制造商规定的氢燃料电池堆可安全连续运行的内部的氢气或氧化剂的最大压力，以表压表示。

3.10

**允许最大工作压差** maximum allowable operating pressure difference

由制造商规定的氢燃料电池堆阳极和阴极之间可承受的最大压力差，而不会造成氢燃料电池堆损坏或永久性失去功能。

3.11

**氢气匮乏** hydrogen starvation

氢气供应量小于与产生电流所对应的需求量。

3.12

**空气匮乏** air starvation

空气供应量小于与产生电流所对应的需求量。

3.13

## 冷却不足 lack of cooling

电池系统内部产生的热量超过其有效散热能力，导致温度持续、不可控地上升，最终可能引发火灾或爆炸的现象。

## 4 安全性要求

### 4.1 安全分析

电池系统在设计和制造时宜根据 SAE ARP4761A 标准对电池系统进行安全分析，主要内容包括：

- a) 确保电池系统在预期的整个生命周期内，所有可预见的危险情况和事件均已识别（典型危险列表参见附录 A 表 A.1）；
- b) 根据危险发生的概率及其可预见的严重程度，预估每种危险情况的风险；
- c) 通过以下方式，将每种危险情况的发生概率和严重程度尽可能地消除或降低到可接受的风险水平：
  - 1) 构造及其方法的安全设计；
  - 2) 在不危及周围环境的情况下，通过安全相关控制功能或被动控制的方式释放能量；
  - 3) 对于无法通过 1 和 2 措施降低的残余风险，应提供操作人员容易理解的标签、警告或特殊培训要求。

### 4.2 防火要求

应对电池系统采取保护措施（如监测泄漏、安全相关控制等），以确保氢燃料电池堆内部泄漏或对外泄漏的气体无法达到爆炸性浓度。其中：

- a) 如果保护措施是电池系统的一部分，则保护等级应符合 4.1 中的要求；
- b) 如果保护措施不是电池系统的一部分，则此类措施的设计标准应由电池系统制造商提供。

处在爆炸性环境中的组件，设计和材料选择应避免火焰和燃烧扩展到电池系统外部，应确保在切断电源、氢气及空气供应后，不会产生持续燃烧。

占电池系统总质量小于 10% 的膜或其他材料，因数量有限，允许无火焰蔓延等级。如果使用此类材料，产品规范中应写明这一部分，以便系统集成商参考。

### 4.3 带电部件要求

电气系统的设计和构造，以及电气和电子设备和组件的应用，应符合航空相关标准的要求。电池系统设计者还应考虑以下问题：

- c) 氢燃料电池堆上的残余电荷；
- d) 单电池间的能量危险。

电气元件对电池系统运行所规定的环境条件的适用性应告知系统集成商。对于由系统集成商提供的电气元件，这些元件与本文件的符合性，应包含在电池系统的技术文件中。

电池系统制造商的技术文件应识别并写明以下内容：

- e) 可触及部件本身带电或与带电部件没有完全隔离，但该部件所属电路满足 SELV 要求，即在正常及单故障状态下，其电压不超过规定限值，因此触电风险可接受；
- f) 可触及部件本身带电或与危险带电部件隔离不足，且电压超过 SELV 限值，因此属于危险带电部件。

电池系统制造商应在技术文件中识别 SELV 和非 SELV 带电部件，并说明限制条件；系统集成商应依据这些信息完成最终系统的电气防护设计和触电防护措施。

#### 4.4 绝缘性能要求

##### 4.4.1 绝缘电阻

氢燃料电池堆在非运行状态下，正负极对地绝缘比阻值不应低于  $100\ \Omega/V$ 。

##### 4.4.2 介电强度

氢燃料电池堆在非运行状态下，应满足绝缘无击穿，漏电流不应超过  $1\ \text{mA}$  乘以测试电压与开路电压的比值。

##### 4.4.3 接地性能

可触及的非载流金属部件，如果它们可能在电气故障情况下带电，并进而可能导致电击或电能危害，则应满足保护接地的要求，或（在系统适用的情况下）连接至一个公共接地点。

为确保良好的电气接触，这些连接应进行防腐蚀保护。此外，其设计应能防止导体松动或扭转，并保持接触压力。

在预期的使用、储存和运输条件下，构成等电位连接的不同金属部件之间不应发生电化学腐蚀。可通过适当的电镀或涂覆工艺来实现抗电化学腐蚀的性能。

#### 4.5 气密性要求

##### 4.5.1 气体泄漏

电池系统在常温下，电堆及管路向大气的压力降与测试时间的比值不应超过  $1\ \text{kPa} / 30\ \text{s}$ ，泄漏速率应在制造商规定的范围内。

##### 4.5.2 氢气浓度

航空器内允许的最大浓度限值为  $25\%$  氢气的 LFL。

电池系统尾气中燃料浓度大于  $50\%$  氢气 LFL 的连续时间应小于  $5\ \text{s}$ 。

##### 4.5.3 交叉泄漏

适用于阴极封闭式风冷氢燃料电池，阳极腔向阴极腔和阴极腔向阳极腔的泄漏速率应在制造商规定的范围内。

#### 4.6 压力耐受要求

##### 4.6.1 最大运行压力

按照电池系统制造商规定的最大运行压力，氢燃料电池堆不应出现破裂、断裂、永久变形或其他物理性损坏。

##### 4.6.2 允许最大工作压差

按照电池系统制造商规定的允许最大工作压差，氢燃料电池堆不应出现破裂、断裂、永久变形或其他物理性损坏。在试验前后检测，阳极侧与阴极侧之间的交叉泄漏速率应在电池系统制造商规定的范围内。

#### 4.7 非正常运行测试要求

##### 4.7.1 氢气匮乏

电池系统的电压监测或其他安全相关控制功能应在达到危险状态之前发出告警，并自动降载转

换至安全运行状态。

#### 4.7.2 空气匮乏

电池系统的电压监测或其他安全相关控制功能应在达到危险状态之前发出告警，并自动降载转换至安全运行状态。

#### 4.7.3 过压

电池系统的安全相关控制功能应在达到危险状态之前发出告警，并自动降低压力转换至安全运行状态。

#### 4.7.4 冷却不足保护

电池系统的安全相关控制功能应在达到危险状态之前发出告警，并自动降载转换至安全运行状态。

### 5 试验方法

#### 5.1 带电部件检查

对电池系统可触及部件进行检查与测试。确认带电部件与可触及金属部件之间满足基本绝缘、双重绝缘或加强绝缘要求；检查 SELV 与非 SELV 回路隔离；验证短路条件下无可触及危险带电部件。

#### 5.2 绝缘性试验

##### 5.2.1 绝缘电阻

试验时，氢燃料电池堆应处于非运行状态。

试验的测量位置如下：

- a) 氢燃料电池堆的正负极与氢燃料电池堆端板（适用于端板接地的设计）；
- b) 氢燃料电池堆的正负极与氢燃料电池堆固定点（适用于固定点接地的设计）或其他指定地点。

绝缘电阻试验的试验电压取值见附录 B 表 B.1。

将绝缘电阻测试仪设置到指定的档位，将电压稳步增加到指定值，维持至少 5 s 以便获得稳定的绝缘电阻读数。试验过程中，燃料电池堆应与台架绝缘。

绝缘比电阻值按照公式（1）进行计算：

$$R = \frac{R_x \times 10^6}{V_{stack}} \dots\dots\dots(1)$$

式中：

R —— 绝缘比电阻值计算结果，单位为欧姆每伏特（ $\Omega/V$ ）；

$R_x$  —— 绝缘电阻测试仪读数，单位为兆欧（ $M\Omega$ ）；

$V_{stack}$  —— 燃料电池堆最高设计电压，单位为伏特（V）；

绝缘比电阻值的计算结果应向下保留小数点后一位。

##### 5.2.2 介电强度

对于额定电压不超过 1000 VAC 或 1500 VDC 的电池系统，其介电强度测试应在非运行状态下，

达到运行温度或最大可接受温度，按照 IEC 62477-1 第 5.2.3.4 条执行。

测试电压应施加在带电部件与非载流金属部件之间。测试电压应按附录 C 中表 C.1 的规定选取，可使用直流或频率在 48 Hz 至 62 Hz 之间的基本正弦波形的交流电压。电压应平稳地升高至规定值，然后保持至少 5 s。根据最终应用的要求，可采用超过 5 s 的测试时长。

### 5.2.3 接地性能

使用接地电阻测试仪测量接地端子与任意可触及金属部件之间的电阻。

## 5.3 气密性试验

### 5.3.1 气体泄漏

#### 5.3.1.1 流量计法

本试验应在按照制造商规定的方法停机后，在室温下静置 1 h 后进行。

封闭燃料电池堆的阳极腔和阴极腔的出口，在室温下将氮气通过稳压器和流量计同时通入氢燃料电池堆的阳极腔和阴极腔，慢慢调整压力直至压力达到最高工作压力（表压）并稳定 1 min。在泄漏试验过程中入口压力应稳定不变（即压力波动不超过 2 kPa），用串联于氢燃料电池堆入口进气管路处的流量计测量气体 10 min 的泄漏量，计算平均泄漏速率。

相应的气体泄漏速率应该按照公式（2）进行计算：

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

式中：

$q_{fuel}$  —— 燃料电池泄漏速率（常压室温），单位为毫升每秒或毫升每分钟（mL/s 或 mL/min）；

$q_{test}$  —— 试验气体平均泄漏速率（常压室温），单位为毫升每秒或毫升每分钟（mL/s 或 mL/min）；

$R$  —— 修正系数，见公式（3）或公式（4）。

应采用公式（3）或公式（4）计算修正系数  $R$ ，取较高值，并应写入试验报告。当使用氮气作为试验气体，燃料气体为氢气时，修正系数  $R$  取 3.74。

$$R = \sqrt{\frac{d_{test}}{d_{fuel}}} \quad (3)$$

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：

$$R = \frac{\mu_{test}}{\mu_{fuel}} \quad (4)$$

式中：

$\mu_{test}$  —— 试验气体的动力粘度，单位为牛顿秒每平方米（N·s / m<sup>2</sup>）；

$\mu_{fuel}$  —— 燃料气体的动力粘度，单位为牛顿秒每平方米（N·s / m<sup>2</sup>）。

#### 5.3.1.2 压降法

向氢燃料电池堆的阳极腔和阴极腔通入阳极气体或氦气，使其压力高于最大工作压力。然后关闭进气阀，监测压力变化，持续 1 min。初始压力应设置得足够高，以确保在测试结束时气体压力不低于最大工作压力的 1.1 倍。泄漏速率  $dV/dt$  应根据监测到的压力下降量以及电堆和所有管路

的总体积，使用公式（5）计算。

$$dV/dt = \frac{dp \times V_{tot}}{dt \times P_G} \quad (5)$$

$$dV/dt = \frac{dp \times V_{tot}}{dt \times (P_{ini} - P_G)}$$

$$dV/dt = \frac{(P_{ini} - P_{end}) \times V_{tot}}{dt \times (P_{ini} - P_G)}$$

式中：

dp —— 监测到的压力降，单位为千帕（kPa）；

V<sub>tot</sub> —— 电堆和所有管路的总体积，单位为升（L）；

dt —— 测量压力降所经历的时间，单位为秒（s）；

P<sub>G</sub> —— 电堆外部的压力水平，单位为千帕（kPa）；

P<sub>ini</sub> —— 测试开始时的气体压力，单位为千帕（kPa）；

P<sub>end</sub> —— 测试结束时的气体压力，单位为千帕（kPa）。

计算得到的泄漏速率应使用公式（6）转换为标准化泄漏速率（dV/dt）<sub>st</sub>。

$$(dV/dt)_{st} = (dV/dt) \times \frac{P_{ini}}{P_S} \times \frac{T_S}{T_{ini}} \quad (6)$$

式中：

P<sub>S</sub> —— 标准压力，101.325 kPa；

T<sub>S</sub> —— 标准温度，273.15 K；

T<sub>ini</sub> —— 测试开始或结束时的电堆温度，取较低者，单位为开尔文（K）。

经校正到基准条件和气体类型后的气体泄漏速率，再乘以 2，应符合 4.5.1 中规定的气体泄漏速率。

### 5.3.2 氢气浓度

将电池系统放入航空器指定用于安装电池系统的机壳内，或放入与航空器机壳容纳电池系统空间相似的机壳内，使电池系统在额定功率输出且达到热平衡的条件下运行。使用放置于机壳内部最高点的氢气浓度传感器测量氢气浓度，以不小于 15 min 的时间间隔读取数据，取测试过程中 4 次测量结果的最高浓度值。

电池系统在额定功率输出且达到热平衡的条件下运行，将氢气浓度传感器放置在距离排气口中轴延长线 10 cm 处，测量氢气浓度不少于 10 min，每秒采集数据。

### 5.3.3 交叉泄漏

#### 5.3.3.1 试验条件

该试验应在按照制造商规定的方法停机后，于室温下静置 1 h 后进行。

#### 5.3.3.2 阳极腔向阴极腔泄漏速率的测定

试验时，将氢燃料电池堆的阳极腔出口和阴极腔进口全部封住。在阴极腔的出气口接上流量计，由阳极腔的进气口通入氮气，缓慢调整压力至允许最大工作压力差，试验过程中入口压力应稳定不变（即压力波动不超过 2 kPa），稳定 1 min 后，在流量计上读取氮气向阴极腔的泄漏速率  $L_1$ ，相应泄漏速率  $X_1$  按照公式（7）进行计算：

$$X_1 = 2 \times R \times L_1 \quad (7)$$

式中：

$X_1$  —— 阳极腔向阴极腔的泄漏速率，单位为毫升每分钟（mL/min）；

$R$  —— 按公式（3）或公式（4）计算得出的修正系数中的较大者，当燃料气体为氢气时， $R$  取 3.74；

$L_1$  —— 阳极腔向阴极腔的氮气泄漏速率，单位为毫升每分钟（mL/min）。

### 5.3.3.3 阴极腔向阳极腔泄漏速率的测定

试验时，将氢燃料电池堆的阴极腔出口和阳极腔进口全部封住。在阳极腔的出气口接上流量计，由阴极腔的进气口通入氮气，缓慢调整压力至允许最大工作压力差，试验过程中入口压力应稳定不变（即压力波动不超过 2 kPa），稳定 1 min 后，在流量计上读取氮气向阳极腔的泄漏速率  $L_2$ ，相应泄漏速率  $X_2$  按照公式（8）进行计算：

$$X_2 = 2 \times R_{\text{氧化剂/氮气}} \times L_2 \quad (8)$$

式中：

$X_2$  —— 阴极腔向阳极腔的泄漏速率，单位为毫升每分钟（mL/min）；

$R_{\text{氧化剂/氮气}}$  —— 按公式（3）或公式（4）计算得出的修正系数中的较大者，当氧化剂为空气时， $R$  取 1.02；

$L_2$  —— 阴极腔向阳极腔的氮气泄漏速率，单位为毫升每分钟（mL/min）。

## 5.4 压力耐受试验

### 5.4.1 允许工作压力

电池系统应在最高或最低工作温度（取更严苛者）下进行测试，试验介质为氮气或其他合适的气体。在测试过程中，如果电池系统的阳极侧和阴极侧在正常运行条件下具有相同的内部压力，则两侧可以相互连通。电池系统的阳极腔和阴极腔应逐渐加压至不低于其允许工作压力的 1.3 倍，并保持稳定不少于 1 min，过程中压力波动不超过 2 kPa。如果无法达到规定的测试温度条件，那么电池系统应在环境温度下，以不低于允许工作压力 1.5 倍的压力进行测试。

### 5.4.2 允许最大工作压力差

压力差试验适用于阳极和阴极都是封闭式流道的氢燃料电池堆。电池系统应在最高或最低工作温度（取更严苛者）下进行测试。使用氮气或适当的气体对阳极腔或阴极腔逐渐加压，直到压力不低于允许最大工作压力差的 1.3 倍，并保持稳定不少于 1 min，过程中压力波动不超过 2 kPa。如果无法达到规定的测试温度条件，则电池系统可在环境温度下以不低于允许最大工作压力差 1.5 倍的压力进行测试。应在试验期间持续测量，或者在试验前后分别测量阳极腔与阴极腔之间的交叉泄漏速率。

## 5.5 非正常运行测试要求

### 5.5.1 氢气匮乏

电池系统应先在额定功率和正常参数条件下运行至稳态。根据 4.1 安全分析中确定的正常工作阈值，将氢气压力或流量降至下限值以下，从而引发氢气匮乏。

### 5.5.2 空气匮乏

电池系统应先在额定功率和正常参数条件下运行至稳态。根据 4.1 安全分析中确定的正常工作阈值，将氧化剂压力或流量降至下限值以下，从而引发空气匮乏。

### 5.5.3 过压

电池系统应先在额定功率和正常参数条件下运行至稳态。根据 4.1 安全分析中确定的正常工作阈值，逐步提高阳极侧或阴极侧的压力，直至超过上限值。

### 5.5.4 冷却不足保护

电池系统应先在额定功率和正常参数条件下运行至热平衡状态。关闭风扇，使氢燃料电池堆的温度超过制造商规定的上限值。

## 6 试验报告

试验报告应至少包括：

- a) 试验目的;
- b) 试验样品信息（型号、序列号、状态）;
- c) 试验设备清单（含校准信息）;
- d) 试验环境条件;
- e) 试验方法;
- f) 原始数据及处理结果;
- g) 判定结论（合格/不合格）;
- h) 对不符合项的说明。

## 附录 A

(资料性)

## 重大危险、危险情况和事件

本文件涉及的重大危险、危险情况和事件见表 A.1。

表 A.1 典型电池系统主要技术参数表

| 重大危险、危险情况和事件               | 子条款          |
|----------------------------|--------------|
| 机械危险：                      |              |
| 形状（锐边、夹点、粗糙表面）             | —            |
| 相对位置（绊倒/碰撞危险）              | —            |
| 质量和稳定性（可能在重力作用下移动的元件的势能）   | —            |
| 质量和速度（受控或不受控运动中元件的动能）      | —            |
| 机械强度不足（材料或几何规格不足）          | —            |
| 带压流体（过压、带压流体喷射、真空）         | 4.6.1, 4.7.3 |
| 电气危险：                      |              |
| 人员接触带电部件（直接接触）             | 4.3          |
| 人员接触在故障条件下带电的部件（间接接触）      | 4.3          |
| 接近高压带电部件                   | 4.3          |
| 静电现象                       | 4.3          |
| 电磁现象                       | —            |
| 短路、过载的热/化学效应               | 4.7.4        |
| 熔融颗粒                       | —            |
| 特定调整，例如电网特定电压条件            | —            |
| 应用不兼容材料（电解腐蚀）              | —            |
| 连接不当                       | —            |
| 热危险：                       |              |
| 人员接触极端高温表面                 | —            |
| 释放高温流体                     | —            |
| 热疲劳                        | —            |
| 设备超温导致非安全运行                | 4.7.4        |
| 材料和物质产生的危险：                |              |
| 接触或吸入有害流体、气体、烟雾、烟尘和粉尘      | —            |
| 可燃流体泄漏引起的火灾或爆炸危险           | 4.5.1        |
| 内部可燃混合物积聚引起的火灾或爆炸危险        | 4.5.3        |
| 可燃物质（液体、气体、固体）引起的火灾        | 4.2          |
| 燃料/空气混合不充分导致的不完全燃烧/氧化引起的危险 | 4.7.1, 4.7.2 |
| 燃料/空气燃烧/氧化产生的物质的危险         | —            |
| 材料衰退（如腐蚀）或材料积聚（如结垢）导致的危险   | —            |

|                           |         |
|---------------------------|---------|
| 污染物质（卫生）                  | —       |
| 窒息                        | —       |
| 反应性物质（自燃）                 | 4. 5. 2 |
| 故障引起的危险：                  |         |
| 由于软件或控制逻辑故障或不充分导致的不安全运行   | 4. 7    |
| 由于控制电路或保护/安全组件故障导致的不安全运行  | 4. 7    |
| 由于电源故障导致的不安全运行            | —       |
| 不遵守人机工程学原理引起的危险：          |         |
| 由于手动控制器设计、位置或标识不当引起的危险    | —       |
| 由于视觉显示单元和警告面板设计或位置不当引起的危险 | —       |
| 噪音                        | —       |
| 振动                        | —       |
| 人为错误引起的危险：                | —       |
| 偏离正确操作引起的危险               | —       |
| 制造/装配/安装错误引起的危险           | —       |
| 维护错误引起的危险                 | —       |
| 破坏行为                      | —       |
| 合理可预见的误用：                 |         |
| 可预见的非预期使用或操作              | —       |
| 与环境相关的危险：                 |         |
| 在极热/冷环境中不安全运行             | —       |
| 雨、洪水                      | —       |
| 风                         | —       |
| 地震                        | —       |
| 外部火灾                      | —       |
| 烟                         | —       |
| 雪、冰过载                     | —       |
| 有害动物侵袭                    | —       |
| 污染：                       |         |
| 空气污染                      | —       |
| 水污染                       | —       |
| 土壤污染                      | —       |

附录 B  
(资料性)  
绝缘电阻试验电压

绝缘电阻试验电压见表 B.1。

表 B.1 绝缘电阻试验的试验电压取值

| 序号                                                                          | 氢燃料电池堆最高设计电压 $V_{stack}$ 的 1.5 倍 / V     | 试验电压 $V_{IR}$ (V / DC) |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------|
| 1                                                                           | $(V_{stack} \times 1.5) \leq 250$        | 250                    |
| 2                                                                           | $250 < (V_{stack} \times 1.5) \leq 500$  | 500                    |
| 3                                                                           | $500 < (V_{stack} \times 1.5) \leq 1000$ | 1000                   |
| 4                                                                           | $(V_{stack} \times 1.5) > 1000$          | 2500                   |
| $V_{stack}$ —— 燃料电池堆最高设计电压，单位为伏特 (V)；<br>$V_{IR}$ —— 绝缘电阻试验的试验电压，单位为伏特 (V)。 |                                          |                        |
| *当被测样品的最高设计电压 $V_{stack} > 667$ V 时，试验电压可由制造商和买方协商确定。                       |                                          |                        |

附录 C  
(资料性)  
介电强度测试电压

介电强度试验的测试电压取值见表 C.1。

表 C.1 介电强度试验的测试电压取值

| 开路电压<br>V       | 用于基本绝缘和保护隔离电<br>路的测试电压 |         | 用于电路与可触及表面（不导<br>电，或导电但未保护接地）之间<br>的测试电压 |         |
|-----------------|------------------------|---------|------------------------------------------|---------|
|                 | AC RMS<br>V            | DC<br>V | AC RMS<br>V                              | DC<br>V |
| ≤ 71            | 80                     | 110     | 160                                      | 220     |
| 141             | 160                    | 225     | 320                                      | 450     |
| 212             | 240                    | 340     | 480                                      | 680     |
| 330             | 380                    | 530     | 760                                      | 1100    |
| 注：允许在所有范围内进行插值。 |                        |         |                                          |         |

附录 D  
(规范性)  
测试矩阵

航空用风冷氢燃料电池系统安全试验测试矩阵表 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 | 7 | 8 | 9 |
| 外观检查         | —     | 1       | √    | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| 验收试验程序 (ATP) | —     | 1, 5    | √    | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| 绝缘电阻         | 5.2.1 | 1, 4    | √    | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| 介电强度         | 5.2.2 | 2, 3    |      | √ |   |   |   |   |   |   |   |
| 接地性能         | 5.2.3 | 1, 3    | √    |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 气体泄漏         | 5.3.1 | 1       | √    | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| 交叉泄漏         | 5.3.3 | 1, 3    | √    |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 允许工作压力       | 5.4.1 | 2, 3    |      |   | √ |   |   |   |   |   |   |
| 允许最大工作压差     | 5.4.2 | 2, 3, 5 |      |   |   | √ |   |   |   |   |   |
| 氢气浓度         | 5.3.2 | 1, 3    | √    |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 氢气匮乏         | 5.5.1 | 2, 3, 5 |      |   |   |   |   | √ |   |   |   |
| 空气匮乏         | 5.5.2 | 2, 3, 5 |      |   |   |   |   |   | √ |   |   |
| 过压           | 5.5.3 | 2, 3, 5 |      |   |   |   |   |   |   | √ |   |
| 冷却不足保护       | 5.5.4 | 2, 3, 5 |      |   |   |   |   |   |   |   | √ |

- 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。
- 注 5：在执行安全测试之前，应先执行一次验收测试 (ATP)，见通用规范。

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 安全性要求                        |
| 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 |

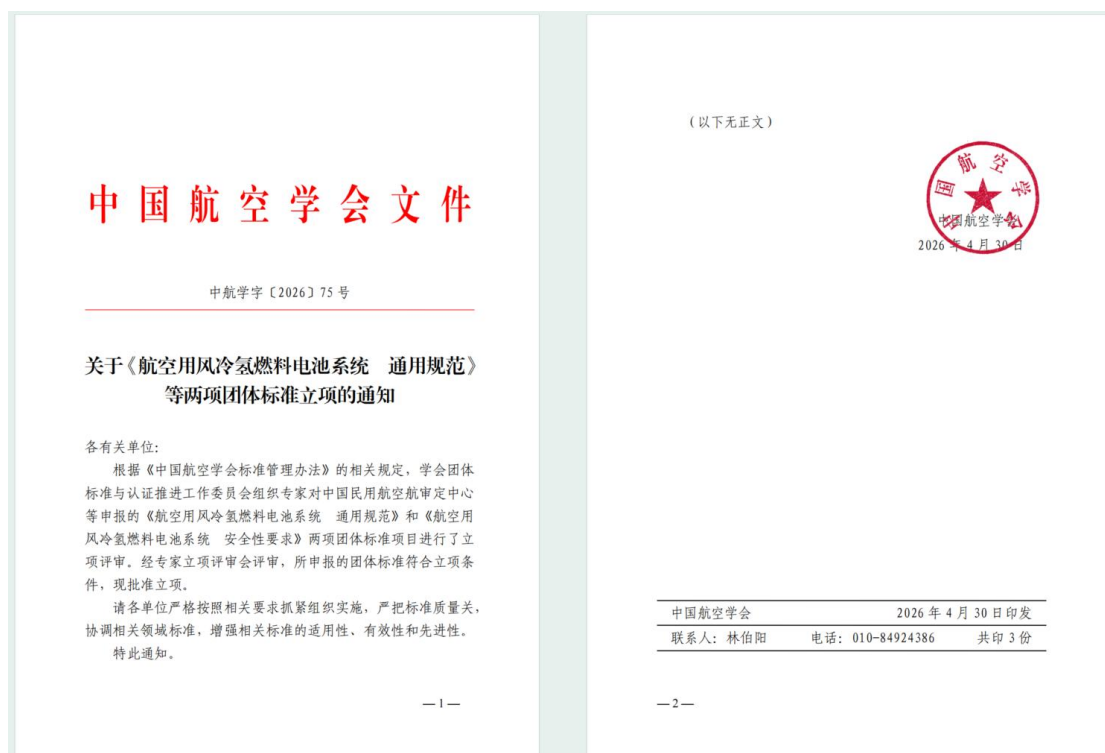
2026 年 7 月

# 《航空用风冷氢燃料电池系统 安全性要求》 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

#### 按立项会议情况修改

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 | 徐鹏辉   | 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    | 冯彦    | 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 | 王飞  | 负责产品技术支持工作。     |
| 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 | 徐琪  | 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堆（PEMFC）、海晔新能源的 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安全性要求和试验。

本文件适用于不载人无人驾驶航空器选用的风冷氢燃料电池系统的订货和交付验收。

主要包括:

|                                                                    |   |
|--------------------------------------------------------------------|---|
| 目录.....                                                            | 1 |
| 前言.....                                                            | 3 |
| 航空用风冷氢燃料电池系统 安全性要求.....                                            | 4 |
| 1 范围.....                                                          | 4 |
| 2 规范性引用文件.....                                                     | 4 |
| 3 术语和定义.....                                                       | 4 |
| 3.1 阳极 anode.....                                                  | 4 |
| 3.2 阴极 cathode.....                                                | 4 |
| 3.3 热平衡状态 thermal steady state.....                                | 5 |
| 3.4 安全分析 hazards analysis.....                                     | 5 |
| 3.5 安全特低电压 safety extra low voltage (SELV).....                    | 5 |
| 3.6 低可燃极限 lower flammable limit (LFL).....                         | 5 |
| 3.7 气体泄漏 external gas leakage.....                                 | 5 |
| 3.8 交叉泄漏 cross leakage.....                                        | 5 |
| 3.9 最大运行压力 maximum operating pressure.....                         | 5 |
| 3.10 允许最大工作压差 maximum allowable operating pressure difference..... | 5 |
| 3.11 氢气匮乏 hydrogen starvation.....                                 | 5 |
| 3.12 空气匮乏 air starvation.....                                      | 6 |
| 3.13 热管理失效 lack of cooling.....                                    | 6 |
| 4 安全性要求.....                                                       | 6 |
| 4.1 安全分析.....                                                      | 6 |
| 4.2 防火要求.....                                                      | 6 |
| 4.3 带电部件要求.....                                                    | 7 |
| 4.4 绝缘性能要求.....                                                    | 7 |
| 4.4.1 绝缘电阻.....                                                    | 7 |
| 4.4.2 介电强度.....                                                    | 7 |
| 4.4.3 接地性能.....                                                    | 7 |
| 4.5 气密性要求.....                                                     | 8 |
| 4.5.1 气体泄漏.....                                                    | 8 |
| 4.5.2 氢气浓度.....                                                    | 8 |

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 4.5.3 交叉泄漏.....                | 8  |
| 4.6 压力耐受要求.....                | 8  |
| 4.6.1 最大运行压力.....              | 8  |
| 4.6.2 允许最大工作压差.....            | 8  |
| 4.7 非正常运行测试要求.....             | 8  |
| 4.7.1 氢气匮乏.....                | 8  |
| 4.7.2 空气匮乏.....                | 8  |
| 4.7.3 过压.....                  | 8  |
| 4.7.4 热管理失效保护.....             | 9  |
| 5 试验方法.....                    | 9  |
| 5.1 带电部件检查.....                | 9  |
| 5.2 绝缘性试验.....                 | 9  |
| 5.2.1 绝缘电阻.....                | 9  |
| 5.2.2 介电强度.....                | 10 |
| 5.2.3 接地性能.....                | 10 |
| 5.3 气密性试验.....                 | 10 |
| 5.3.1 气体泄漏.....                | 10 |
| 5.3.2 氢气浓度.....                | 12 |
| 5.3.3 交叉泄漏.....                | 12 |
| 5.4.1 允许工作压力.....              | 13 |
| 5.4.2 允许最大工作压差.....            | 13 |
| 5.5 非正常运行测试要求.....             | 13 |
| 5.5.1 氢气匮乏.....                | 13 |
| 5.5.2 空气匮乏.....                | 13 |
| 5.5.3 过压.....                  | 13 |
| 5.5.4 热管理失效保护.....             | 13 |
| 6 试验报告.....                    | 14 |
| 附录 A 本文件涉及的重大危险、危险情况和事件.....   | 15 |
| 附录 B 绝缘电阻试验电压.....             | 18 |
| 附录 C 介电强度测试电压.....             | 18 |
| 附录 D 航空用风冷氢燃料电池系统安全试验测试矩阵..... | 19 |

## 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、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。（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，编制组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 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氢燃料电池动力系统缺乏满足适航要求的安全标准，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 安全性要求》标准，该标准规定了航空用风冷氢燃料电池系统的安全性要求和试验方法。

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，推动了航空用无人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机载安全特性，针对无人驾驶航空器安全运行条件以及风冷氢燃料电池散热等特殊工况，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。

开展绝缘电阻、介电强度等电气安全方面试验，结合风冷燃料电池在机载环境下的实际运行数据，明确不同绝缘防护等级与低压安全

分区要求。

系统地验证气体泄漏、氢气浓度监测及交叉泄漏试验，相关泄漏控制限值来源于生产企业长期积累的泄漏检测数据与安全冗余设计经验，确保无人驾驶航空器使用时的氢安全。

开展允许工作压力和允许最大工作压差试验，明确了机载工况下风冷氢燃料电池系统的最大运行压力与安全压差区间，相关压力限值已在产品开发阶段的耐压测试中得到验证。

开展氢气匮乏、空气匮乏、过压、热管理失效等四类典型故障的模拟试验，并结合风冷氢燃料电池系统依靠风扇进行热管理的特点，做了适应性调整。相关保护策略已在多型产品的故障注入测试中验证了有效性。

试验明确了航空用风冷氢燃料电池系统机载安全特性等指标要求，且相关要求在航空用风冷氢燃料电池产品的研发、生产与实际应用中已得到充分实践检验，能够有效适配无人驾驶航空器风冷氢燃料电池系统的使用工况。

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适航安全应用提供合适的参

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 7 项，具体如下：

GB/T 20042.1 质子交换膜燃料电池 第 1 部分：术语

GB/T 28816 燃料电池术语

GB/T 20042.2 质子交换膜燃料电池 第2部分：电池堆通用技术条件

IEC 62282-2-100 燃料电池技术 第2-100部分：燃料电池模块 - 安全性

GB/T38954 无人机用氢燃料电池发电系统

RTCA DO-160G 机载设备环境条件和试验程序

SAE ARP4761A 民用机载系统和设备安全性评估指南

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6月30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 |      |      |      |