



团 体 标 准

T/UNP XXX—XXXX

氢空燃料电池 燃料供给循环系统技术要求

Hydrogen air fuel cell—Technical requirements for fuel supply cycle system

（征求意见稿）

2025 – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

中国联合国采购促进会 发 布

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语、定义和缩略语 1

 3.1 术语和定义 1

 3.2 缩略语 1

4 系统组成 1

5 设计要求 2

 5.1 氢气供给 2

 5.2 空气供给 2

 5.3 温度和湿度控制 3

 5.4 压力调节 3

 5.5 泄漏检测 3

 5.6 安全防护 3

 5.7 系统监控 3

 5.8 关键部件参数要求 3

6 性能要求 4

 6.1 系统效率 4

 6.2 系统使用寿命 4

 6.3 氢气质量 4

 6.4 材料兼容性 4

 6.5 环境适应性 4

 6.6 电磁兼容性 4

7 接口要求 4

 7.1 接口参数 4

 7.2 机械接口兼容性 5

8 安全要求 5

 8.1 基本要求 5

 8.2 防爆与抗震设计 5

 8.3 紧急停机 5

 8.4 氮气吹扫系统 5

 8.5 系统级安全架构 5

 8.6 关键部件安全性能 6

 8.7 异常工况保护 6

 8.8 电气安全强化 6

 8.9 安全验证与测试 7

9 运维要求 7

9.1 系统运行监控 7

9.2 系统维护 7

9.3 定期检查 7

9.4 故障排除 8

参考文献 9

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由××××提出。

本文件由中国联合国采购促进会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

引 言

为助力中国企业参与国际贸易,推动企业高质量发展,中国联合国采购促进会依托联合国采购体系,制定服务于国际贸易的系列标准,这些标准在国际贸易过程中发挥了越来越重要的作用,对促进贸易效率提升,减少交易成本和不确定性,确保产品质量与安全,增强消费者信心具有重要的意义。

联合国标准产品与服务分类代码(UNSPSC, United Nations Standard Products and Services Code)是联合国制定的标准,用于高效、准确地对产品和服务进行分类。在全球国际化采购中发挥着至关重要的作用,它为采购商和供应商提供了一个共同的语言和平台,促进了全球贸易的高效、有序发展。

围绕UNSPSC进行相关产品、技术和服务团体标准的制定,对助力企业融入国际采购,提升国际竞争力具有十分重要的作用和意义。

本文件采用UNSPSC分类代码由6位组成,对应原分类中的大类、中类和小类并用小数点分割。

本文件UNSPSC代码为“26.11.17”,由3段组成。其中:第1段为大类,“26”表示“发电配电机械及配件”,第2段为中类,“11”表示“电池、发电机和动能传输”,第3段为小类,“17”表示“电池、电芯和配件”。

氢空燃料电池 燃料供给循环系统技术要求

1 范围

本文件规定了氢空燃料电池燃料供给循环系统的系统组成、设计要求、性能要求、接口要求、安全要求和运维要求的内容。

本文件适用于氢空燃料电池燃料供给循环系统（以下简称“系统”）的设计、应用和运维。

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 713.7 承压设备用钢板和钢带 第7部分：不锈钢和耐热钢

GB/T 2423.17 环境试验 第2部分：试验方法 试验Ka：盐雾

GB/T 3836.28 爆炸性环境 第28部分：爆炸性环境用非电气设备 基本方法 and 要求

GB/T 9286 色漆和清漆 划格试验

GB/T 16422.2 塑料 实验室光源暴露试验方法 第2部分：氙弧灯

GB/T 18655 车辆、船和内燃机 无线电骚扰特性 用于保护车载接收机的限值 and 测量方法

ASTM G142 测定高压、高温或两者条件下含氢环境中金属脆化敏感性的标准试验方法（Standard Test Method for Determination of Susceptibility of Metals to Embrittlement in Hydrogen Containing Environments at High Pressure, High Temperature, or Both）

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

氢空燃料电池 hydrogen-air fuel cell

通过电化学反应将氢气和氧气的化学能直接转化为电能的装置。

3.1.2

燃料供给循环系统 fuel supply and circulation system

为氢空燃料电池提供氢气和空气所需的压力、流量、温度、湿度控制等功能的设备集合。

3.1.3

额定压力 rated pressure

设备或系统在设计时确定的最大安全运行压力，由制造商根据材料强度、结构安全性等设定。

3.1.4

工作压力 operating pressure

系统在实际运行中持续或周期性承受的压力，通常低于额定压力。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

HAZOP分析：危险与可操作性分析（Hazard and Operability Study）

LEL：下爆炸极限（Lower Explosive Limit）

4 系统组成

系统的组成单元包括：

- a) 氢气供应单元：存储、输送并调节氢气至电堆阳极，由储氢装置和供氢管路及氢气循环装置组成；
- b) 空气供应单元：过滤、加压空气至电堆阴极，由空气压缩机器、空气过滤器和净化装置组成；
- c) 温湿度控制单元：准确调节氢气与空气的温湿度，由湿度调节器和冷却系统组成；
- d) 压力调节单元：稳定氢气与空气压力，由减压阀和稳压阀组成；
- e) 泄漏检测单元：实时监测氢气泄漏，由传感器和报警阈值组成；
- f) 安全防护单元：在紧急状态下保障系统安全，由过压保护（安全阀和爆破片）和氮气吹扫系统组成；
- g) 系统监控单元：进行系统状态监测与动态调节，由控制器和通信接口组成。

5 设计要求

5.1 氢气供给

5.1.1 储氢装置

储氢装置应符合以下要求：

- a) 储氢压力与电堆需求相匹配，误差 $\leq \pm 1\%$ （额定压力），采用碳纤维全缠绕气瓶时，爆破压力 \geq 工作压力的3倍；
- b) 储氢量设计满足电堆额定功率连续运行 ≥ 2 h（按标准工况计算）；
- c) 工作压力范围为0.5 MPa~70 MPa，额定压力 \geq 工作压力的1.25倍；
- d) 在150%的工作压力范围内进行 $\geq 10^5$ 次循环试验（压力变化速率 ≤ 10 MPa/min，保压时间 ≥ 30 s）后，利用氢气质谱法检测，泄漏率 $\leq 1 \times 10^{-12}$ NL/s。

5.1.2 供氢管路

供氢管路应符合以下要求：

- a) 材质选用316L不锈钢或抗氢脆合金，内壁粗糙度 $\leq 0.8 \mu\text{m}$ ，降低氢气流动阻力；
- b) 连接采用焊接或高压密封接头，静态泄漏率 $\leq 1 \times 10^{-10} \text{ m}^3/\text{s}$ ，动态泄漏率（压力交变0.5倍~1.2倍工作压力） $\leq 5 \times 10^{-12} \text{ m}^3/\text{s}$ ；
- c) 密封材料经过2000 h氢气浸泡试验（70 MPa，80℃）后，体积膨胀率 $\leq 5\%$ 。

5.1.3 氢气循环装置

氢气循环装置应符合以下要求：

- a) 循环泵/引射器流量调节范围覆盖电堆阳极氢气流量需求；
- b) 流量控制精度：
 - 1) 稳态误差 $\leq \pm 2\%$ （额定流量），波动 $\leq \pm 1\text{FS}$ ；
 - 2) 低流量（ $\leq 10\%$ 额定值）时精度 $\leq \pm 5\%$ ；
 - 3) 能量消耗占系统总能耗比例 $\leq 3\%$ ；
 - 4) 阶跃响应（10%~90%）上升时间 $\leq 50 \text{ ms}$ ，超调量 $\leq 5\%$ 。

5.2 空气供给

5.2.1 空气压缩机

空气压缩机应符合以下要求：

- a) 输出压力稳定在电堆需求值 $\pm 5 \text{ kPa}$ ；
- b) 流量控制精度：
 - 1) 稳态误差 $\leq \pm 3\%$ ，波动 $\leq \pm 1.5\text{FS}$ ；
 - 2) 阶跃响应上升时间 $\leq 0.3 \text{ s}$ ；
- c) 流量调节响应时间 $\leq 0.5 \text{ s}$ ，额定工况下能效比 $\geq 2.5 \text{ m}^3 / (\text{kW} \cdot \text{min})$ 。

5.2.2 空气过滤器

空气过滤器宜采用三级过滤：

- a) 预过滤：≥5 μm 颗粒，效率≥95%；
- b) 高效过滤：≥0.3 μm 颗粒，效率≥99.97%；
- c) 活性炭吸附：残留油分≤0.01 mg/m³。

5.2.3 净化装置

配置冷凝水分离器，出口空气露点≤-40℃，满足电堆阴极对洁净空气的需求。

5.3 温度和湿度控制

5.3.1 湿度调节设备

湿度调节设备应符合以下要求：

- a) 相对湿度误差≤±5%，响应时间≤20 s；
- b) 加湿/除湿量满足电堆膜电极最佳工作湿度范围（60%RH~80%RH）。

5.3.2 冷却系统

冷却系统应符合以下要求：

- a) 温度控制精度±1℃，进出口温差≤8℃（额定工况下）；
- b) 冷却介质流量控制精度：
 - 1) 稳态误差≤±5%，多支路差异≤±10%；
 - 2) 温度突变±5℃时，调节时间≤10 s。

5.4 压力调节

5.4.1 减压阀的减压精度≤±2%（设定压力），响应时间≤0.3 s，流量范围覆盖电堆最大耗气流量的1.5倍。

5.4.2 稳压阀的压力波动控制在±1 kPa 内，稳压响应时间≤0.2 s，确保电堆阴阳极压力稳定匹配。

5.5 泄漏检测

5.5.1 氢气传感器检测精度≤±1% LEL，响应时间≤1 s，检测范围在 0LEL~100%LEL，工作温度为 -40℃~85℃。

5.5.2 泄漏装置的一级报警阈值宜设为 15%LEL，二级报警阈值宜设为 25%LEL，触发报警后系统应在 2 s 内启动响应措施（如切断气源）。

5.6 安全防护

5.6.1 过压保护装置的安全阀开启压力设定为工作压力的 1.1 倍~1.2 倍，全排量时压力升高≤10%（设定压力），爆破片爆破压力为工作压力的 1.25 倍~1.3 倍，响应时间≤5 ms。

5.6.2 氮气吹扫系统的吹扫流量≥系统最大氢气流量的 2 倍，吹扫压力≥0.3 MPa，吹扫时间≥5 min。

5.7 系统监控

5.7.1 控制器的数据采集频率≥10 Hz，控制算法响应时间≤0.1 s，氢气与空气的混合比例调节精度为 ±1.5%、压力调节精度为±1 kPa、温度调节精度为±0.5℃、湿度调节精度为±3%RH。

5.7.2 数据传输延迟≤50 ms，通信误码率≤1×10⁻⁶。

5.8 关键部件参数要求

关键部件的参数应符合表1所示的要求：

表 1 关键部件参数要求

部件名称	接口尺寸	连接方式	流量范围	工作压力
储氢容器	DN15~DN50法兰	ISO 6162法兰	N/A	0.5 MPa~70 MPa
氢气循环泵	G1/2内螺纹或DN25法兰	DIN 3852螺纹或ISO 6162法兰	10 NL/min~200 NL/min	0.5 MPa~3.0 MPa

部件名称	接口尺寸	连接方式	流量范围	工作压力
空气压缩机出口	Φ50快插接口	SAE J2044快插	50 m ³ /h~500 m ³ /h	0.1 MPa~0.5 MPa

6 性能要求

6.1 系统效率

燃料供给循环系统能量消耗占燃料电池输出功率的比例应 $\leq 8\%$ 。

6.2 系统使用寿命

系统各部件的使用寿命应 ≥ 2000 h。

6.3 氢气质量

6.3.1 纯度

供应的氢气纯度应 $\geq 99.99\%$ （体积分数）。供应的氢气中CO含量 ≤ 0.1 ppm，H₂S含量 ≤ 0.004 ppm。

6.3.2 湿度

氢气的露点温度应 ≤ -40 °C。

6.3.3 颗粒物过滤

终端过滤器精度应达到0.1 μm，初始压差 ≤ 0.01 MPa。

6.4 材料兼容性

系统采用的材料应符合以下兼容性要求：

- 所有与氢气、冷却液、压缩空气接触的材料具备良好的耐腐蚀性与抗氢脆性能；
- 管路、阀体、密封件采用符合 GB/T 713.7 和 ASTM G142 要求的不锈钢、氟橡胶等材料，确保长期运行稳定性；
- 在低温工况（ ≤ -40 °C）运行的系统采用抗低温脆裂材料，避免在极端环境中失效；
- 所有密封材料通过长期兼容性验证，确保在介质长期作用下无溶胀、软化、裂解现象；
- 所有电气连接件和金属接地部件须进行防腐蚀涂层处理，涂层附着力等级 ≥ 2 级（符合 GB/T 9286 的规定）。

6.5 环境适应性

为保证系统在不同环境条件下稳定运行，应满足以下要求：

- 工作环境温度范围为 -40 °C~ $+60$ °C，存储温度范围为 -50 °C~ $+85$ °C；
- 相对湿度范围为5%~95%，无冷凝；系统在高湿环境中无腐蚀、无性能退化；
- 抗盐雾能力符合 GB/T 2423.17 的规定，盐雾试验持续时间 ≥ 480 h，无红锈或起泡现象；
- 系统具有防尘、防水能力，防护等级 $\geq IP67$ ，满足户外和车载应用要求；
- 抗紫外老化能力符合 GB/T 16422.2 的规定，暴露时间 ≥ 1000 h，性能无明显下降。

6.6 电磁兼容性

系统应符合以下的电磁兼容性要求：

- 射频辐射不超过 GB/T 18655 对 Class3 的限制；
- 系统具备抗静电能力，接触放电 ≥ 8 kV，空气放电 ≥ 15 kV；
- 系统具备抗电快速瞬变脉冲群能力，电源线注入抗扰度 $\geq 70\%$ ；
- 控制器及通信接口具有浪涌保护能力，浪涌测试等级 $\geq \pm 1$ kV；
- 所有敏感线路采取屏蔽和接地措施，避免干扰信号耦合至控制信号或传感器回路。

7 接口要求

7.1 接口参数

系统接口应符合表2的要求。

表 2 系统接口要求

接口类别	接口类型	要求
机械接口	氢气入口法兰	公称直径为15 mm~50 mm，公称压力为40 bar，密封面粗糙度Ra≤1.6 μm
	电堆连接口	表面粗糙度Ra≤1.6 μm
	空气快插接口	耐压≥2 bar，插拔寿命≥2500次
电气接口	电源输入	直流电24 V±10%，防护等级为IP67
	信号输出	4 mA~20 mA模拟量+数字报警信号
通信协议	CAN 2.0B	波特率为250 kbps
	Modbus RTU	波特率为9600 bps~115200 bps

7.2 机械接口兼容性

机械接口的兼容性应符合以下要求：

- a) 法兰密封面粗糙度 Ra≤1.6 μm，预紧力偏差≤±10；
- b) 快插接口插拔寿命≥5000 次，泄漏率≤0.01 NL/min；
- c) 禁止使用 NPT 锥管螺纹连接氢气管路。

8 安全要求

8.1 基本要求

系统的设计符合以下要求：

- a) 在材料选择上，氢气接触部件采用抗氢脆材料，避免材料失效导致泄漏；
- b) 在结构设计上，管路无尖锐转角，减少湍流引起的静电积聚，表面电阻≤1×10⁵ Ω；
- c) 在能量限制上，电气回路最大能量≤20 mJ；
- d) 设置故障安全模式，通信中断时，阀门默认关闭，空压机停机，避免失控风险。

8.2 防爆与抗震设计

系统的电气设备防爆等级应达到Ex d IIC T4（符合GB/T 3836.28的规定），最高表面温度≤135℃，防止电火花引燃，控制柜正压通风≥50 Pa，阻止外部可燃气体渗入。防护等级达到IP67，抗随机振动≥5 g。

8.3 紧急停机

系统应具备紧急停机功能，在发生严重故障时，能迅速切断电力供应并释放压力，避免事故扩大。紧急切断阀的动作时间≤100 ms，泄漏率≤0.01 NmL/h。

8.4 氮气吹扫系统

氮气吹扫系统应符合以下要求：

- a) 氮气吹扫系统的置换率应≥99%，吹扫的时间应≥3 倍的管路容积（按吹扫流量≤10 L/min 计算）；氮气纯度应≥99.999%，露点温度≤-40℃；
- b) 吹扫过程中强制锁定氢气供应阀门与电堆电源（机械+电气双锁）；
- c) 吹扫管路通至室外安全区，距离火源≥5 m，出口设阻火器（孔径≤0.15 mm）；
- d) 吹扫管路接地电阻≤1 Ω，氮气湿度≤-40℃露点；
- e) 氮气的储罐容积≥系统管路总容积的 2 倍。

8.5 系统级安全架构

系统级安全架构应符合以下要求：

- a) 冗余设计：关键阀门和传感器双冗余，切换时间≤100 ms；
- b) 后备电源：维持安全状态≥30 s。

8.6 关键部件安全性能

关键部件的安全性能应符合以下要求：

- a) 储氢装置：爆破压力 ≥ 3 倍工作压力，10万次压力循环试验；
- b) 紧急切断阀：动作时间 ≤ 50 ms，泄漏率 ≤ 0.001 NmL/h；
- c) 氢气管路：100%无损检测，弯曲半径 ≥ 5 倍管径。

8.7 异常工况保护

8.7.1 过压保护

8.7.1.1 分级保护逻辑

过压保护应设置以下分级保护逻辑：

- a) 一级调节：压力 $\geq 105\%$ 工作压力时，稳压阀动态调节，响应时间 ≤ 10 ms，控制误差 $\leq \pm 2\%$ ；
- b) 二级泄放：压力 $\geq 115\%$ 工作压力时，安全阀开启泄压，动作时间 ≤ 50 ms；
- c) 三级紧急切断：压力 $\geq 130\%$ 工作压力时，爆破片破裂并联动紧急停机，响应时间 ≤ 5 ms。

8.7.1.2 验证要求

过压保护应进行以下验证：

- a) 压力阶跃测试（0~150%工作压力），验证各级动作顺序与响应时间；
- b) 单点失效测试（如安全阀卡滞），验证备用泄压通道有效性。

8.7.2 过温保护

8.7.2.1 分级控制策略：

过温保护应设置以下分级控制策略：

- a) 一级预警：温度 ≥ 80 °C时，提升冷却流量并报警；
- b) 二级降载：温度 ≥ 90 °C时，电堆功率限制至70%，切换备用冷却回路；
- c) 三级停机：温度 ≥ 95 °C时，紧急停机并启动应急冷却，动作阈值偏差 $\leq \pm 1$ °C。

8.7.2.2 传感器冗余

每片电堆配置双温度传感器，差异 ≥ 2 °C时触发故障诊断。

8.7.3 泄漏保护

8.7.3.1 分级响应机制

泄露保护应设置以下分级响应机制：

- a) 一级响应：泄漏浓度 $\geq 15\%$ LEL时，增强通风并声光报警；
- b) 二级切断：泄漏浓度 $\geq 25\%$ LEL时，2 s内切断气源并启动氮气吹扫。

8.7.3.2 性能要求：

泄露保护应具有以下性能要求：

- a) 传感器检测精度 $\leq \pm 1\%$ LEL，响应时间 ≤ 1 s；
- b) 从报警至执行保护动作的延迟 ≤ 2 s。

8.7.4 复合故障处理

应按如下要求进行符合故障处理：

- a) 过压与过温同时发生时，优先执行压力泄放，再启动强制冷却；
- b) 泄漏叠加过压时，同步切断气源、泄压及氮气吹扫。

8.8 电气安全强化

系统应符合以下电气安全强化要求：

- a) 防爆等级为Ex d IIC T4，表面温度 ≤ 80 °C；

- a) 防火花接插件的火花能量 $\leq 20 \mu\text{J}$ ，静电接地电阻 $\leq 0.1 \Omega$ 。

8.9 安全验证与测试

系统的安全验证与测试应符合以下要求：

- a) 1.5 倍工作压力保压 30 min 无泄漏；
- b) 在系统投运前完成首次 HAZOP 分析，之后每 5 年进行一次 HAZOP 分析。

9 运维要求

9.1 系统运行监控

9.1.1 系统参数监控

9.1.1.1 系统在运行过程中应实时监控以下参数：

- a) 氢气侧：压力、流量、纯度、露点温度、泄漏浓度；
- b) 空气侧：压力、流量、颗粒物浓度、露点温度；
- c) 电堆状态：温度、单片温差、湿度。

9.1.1.2 参数（9.1.1.1）的采样频率应 $\geq 10 \text{ Hz}$ ；其他参数采样频率应 $\geq 1 \text{ Hz}$ 。

9.1.2 远程监控与诊断

系统的远程监控与诊断应满足要求：

- a) 支持 4G/5G 或以太网远程传输，并进行数据加密；
- b) 云端存储历史数据 ≥ 3 年，支持故障代码自动推送。

9.2 系统维护

9.2.1 日常维护

系统的日常维护包括以下内容：

- a) 每日检查泄漏传感器功能（通入 1%LEL 标准气体验证）；
- b) 每周清洁空气过滤器表面粉尘（压缩空气反吹）；
- c) 每月检查冷却液电导率（ $\leq 5 \mu\text{S/cm}$ ）及液位。

9.2.2 预防性维护

系统的预防性维护应符合以下要求：

- a) 关键部件的更换周期符合以下要求：
 - 1) 氢气循环泵轴承润滑：每 2000 h；
 - 2) 空气高效过滤器：每 12 个月或压差 \geq 初始值 200%；
 - 3) 安全阀校验：每 24 个月。
- b) 传感器的校准符合以下要求：
 - 1) 压力/流量传感器校准：每 6 个月校准一次（精度 $\pm 0.5\%FS$ ）；
 - 2) 湿度传感器校准：每 12 个月校准一次。

9.3 定期检查

9.3.1 宜每季度进行一次氢气系统检查，检查项目包括：

- a) 储氢容器压力测试；
- b) 管路氢脆复检；
- c) 安全阀/爆破片密封性。

9.3.2 宜每半年进行一次空气系统检查，检查项目包括：

- a) 空压机动态响应测试；
- b) 过滤器效率验证；
- c) 快插接口插拔力测试。

9.3.3 宜每年进行一次温湿度控制系统检查，检查项目包括：

- a) 冷却液流量均匀性;
- b) 冷凝水排放速率测试;
- c) 湿度传感器精度验证。

9.3.4 宜每年进行一次安全系统检查，检查项目包括：

- a) 氮气吹扫置换率测试;
- b) 防爆电气设备表面温度;
- c) 接地电阻测试。

9.4 故障排除

9.4.1 故障诊断方法

9.4.1.1 在线诊断

通过HMI界面读取故障代码（如E01：氢气泄漏，E02：压力超限）；进行实时数据趋势分析（如压力曲线突变、温度梯度异常）。

9.4.1.2 离线诊断

使用精度 ≤ 1 ppm的氢气检查漏仪和分辨率 ≤ 0.1 °C的热成像仪定位故障点；进行关键部件拆解检测（如循环泵叶轮磨损、阀门密封圈老化）。

9.4.2 故障处理流程

9.4.2.1 氢气泄漏处理

按以下步骤进行氢气泄漏处理：

- a) 触发紧急停机，启动氮气吹扫;
- b) 使用红外成像仪定位泄漏点;
- c) 更换密封件或紧固法兰。

9.4.2.2 电堆温度异常处理

按以下步骤进行电堆温度异常处理：

- a) 检查冷却液流量与泵功率;
- b) 清理冷却流道堵塞物;
- c) 校准温度传感器。

参 考 文 献

- [1] GB/T 35544—2017 无人机用氢燃料电池发电系统
 - [2] GB/T 44723—2024 氢燃料内燃机 通用技术条件
-