

《氢空燃料电池燃料供给循环系统技术要求》 (征求意见稿)

编制说明

《氢空燃料电池燃料供给循环系统技术要求》编制组

二〇二五年四月

《氢空燃料电池燃料供给循环系统技术要求》（征求意见稿）

团体标准编制说明

一、工作简况

（一）任务来源

本标准由中国联合国采购促进会提出并归口。本标准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。本标准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。

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”。

（二）起草单位情况

本标准起草单位包括：XXX、XXX、XXX。

（三）标准编制过程

（1）成立标准起草组，技术调研和资料收集

2025年3月10日—3月20日，为保证制订工作的顺利开展、提高标准的质量和可用性，由起草单位和相关技术专家共同组建了标准起草组，负责《氢空燃料电池燃料供给循环系统技术要求》标准的编制。通过制订

工作方案，标准起草组进一步明确了目标要求、工作思路、人员分工和工作进度等。

标准起草组对相关指标和要求进行了调研，搜集了众多与氢空燃料电池燃料供给循环技术相关的标准、文献、成果案例等资料，着手标准制定。

（2）确定标准框架，形成标准草案

2025年3月21日—3月31日，起草小组结合前期的调研和资料，多次召开内部研讨会，形成标准大纲，并邀请了专家和相关企业对标准进行技术指导，对《氢空燃料电池燃料供给循环系统技术要求》的标准编制工作重点、标准制定依据和编制原则等形成了共识，同时完成标准草案稿的撰写。

（3）形成标准征求意见稿，开展征求意见

2025年4月1日—4月3日，标准起草组对标准草案进行修改完善，包括调整基本原则内容、修改错误用词和格式等，在反复讨论和论证的基础上，修改形成了标准征求意见稿。

二、标准制定的目的和意义

制定氢空燃料电池燃料供给循环系统技术要求有着多方面的目的。首先，确保系统性能稳定是关键所在。氢空燃料电池燃料供给循环系统的性能优劣对燃料电池的发电效率和输出功率有着决定性影响。明确的技术要求为系统各部件划定了清晰的性能指标界限，其中氢气和空气的流量控制精度就是重要的一环。在实际运行中，无论是小型的固定燃料电池发电装

置，还是应用于大型交通工具如氢燃料电池列车等的系统，都需要依据不同的工况精确调控燃料和氧化剂的供给量。

保障系统安全可靠也是重要目的之一。氢气因其易燃易爆的特性，使得在氢空燃料电池系统中安全问题成为重中之重。技术要求详细规定了从系统整体到各个部件的安全措施和安全性能标准。从氢气的源头存储来看，氢气储存容器不仅要能够承受特定的压力范围，而且必须具备卓越的密封性，防止哪怕是极其微小的氢气泄漏。在系统运行过程中，对于可能出现的过压、过温等异常情况，必须配备完善的保护机制。同时对于系统中的电气元件，也需要满足相应的防爆、防火花等安全标准，确保整个燃料供给循环系统在各种复杂环境下都能安全运行。

规范系统设计与制造同样不容忽视。在氢空燃料电池燃料供给循环系统的产业链中，不同的制造商参与其中，而技术要求为整个设计和制造流程提供了统一且权威的标准。各个制造商在过程中都遵循相同的标准，这不仅便于系统集成，而且在系统维护和升级时，可以方便地更换故障部件，降低维护成本和时间。

氢空燃料电池燃料供给循环系统技术要求的意义非凡。在推动氢燃料电池技术发展方面，该系统作为氢燃料电池的关键子系统，其技术的进步是整个氢燃料电池技术突破的关键环节。在促进氢能源产业的商业化进程方面，氢能源产业的商业化成功与否很大程度上依赖于稳定、高效且安全的技术支持，而燃料供给循环系统技术要求扮演着至关重要的角色。在助力能源转型和环境保护方面，氢能源作为一种清洁的可再生能源，具有巨大的发展潜力。完善的燃料供给循环系统技术要求能够确保燃料电池高效

利用氢气发电，提高能源利用效率。在全球能源转型的大背景下，氢能源凭借其清洁、高效的特点，逐渐成为能源转型的关键力量。通过严格执行燃料供给循环系统技术要求，提高氢燃料电池的性能，减少对传统能源的依赖，从而降低碳排放，为改善环境质量做出积极贡献。

三、标准编制原则

本标准在编制的过程中遵循“先进性、科学性、可操作性”的原则，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。

四、标准主要内容

1、标准主要内容

本标准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。本标准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

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：该标准规定了承压设备用不锈钢和耐热钢的化学成分、力学性能、工艺要求及检验规则。在储氢装置和供氢管路设计中，引用此标准确保材料在高压、高温及氢气环境下的耐腐蚀性和抗氢脆性能，保障系统的长期安全运行。

GB/T 2423.17 环境试验 第2部分：试验方法 试验 Ka：盐雾：该标准

规定了盐雾试验的方法和设备，用于评价材料或产品在盐雾环境中的耐腐蚀能力。引用该标准用于验证系统外壳、管路及电气部件在海洋或高盐雾工业环境中的抗腐蚀性能，确保防护等级的可靠性。

GB/T 3836.28 爆炸性环境 第 28 部分：爆炸性环境用非电气设备 基本方法和要求：该标准规定了非电气设备在爆炸性环境中的设计、选型和测试要求，包括防爆结构、材料限制和试验方法。引用该标准指导氢气接触部件（如储氢容器、阀门）的防爆设计，防止氢气泄漏时因机械火花或高温引发爆炸，确保系统本质安全。

GB/T 9286 色漆和清漆 划格试验：该标准通过划格法测试涂层与基材的附着力，评价涂层的抗剥离性能。引用该标准用于验证系统金属部件防腐涂层的附着力等级，防止涂层脱落导致材料腐蚀，延长设备使用寿命。

GB/T 16422.2 塑料 实验室光源暴露试验方法 第 2 部分：氙弧灯：该标准规定了使用氙弧灯模拟自然光照条件，测试塑料及涂层材料的抗紫外老化性能。引用该标准用于评估户外暴露部件（如传感器外壳、管路护套）的抗紫外老化能力，确保其在长期光照下无性能退化。

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和测量方法：该标准规定了车辆电子设备的电磁辐射限值及测试方法，确保设备电磁兼容性（EMC）。引用该标准用于约束系统射频辐射水平（Class 3），避免对车载通信设备产生干扰，同时提升抗静电和浪涌干扰能力。

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：该标准提供了金属材料在高压/高温氢气环境中氢脆敏感性的测试流程与评价指标，用于筛选与氢气接触的金属材料（如储氢瓶、管路），确保氢脆敏感指数 ≤ 0.1 ，防止材料失效导致泄漏风险。

3、术语、定义和缩略语

本标准通过明确界定“氢空燃料电池”“燃料供给循环系统”“额定压力”“工作压力”等核心术语，以及“HAZOP 分析”“LEL”等关键缩略语，为规范中的技术要求、功能描述、安全策略及测试方法提供基础定义支撑。通过统一术语内涵与外延，确保设计、制造、测试及运维人员在执行过程中对技术对象形成一致认知，避免因概念模糊导致的理解偏差或操作失误。

4. 系统组成

本章以模块化系统设计理念为依据，将燃料供给循环系统划分为氢气供给单元、空气供给单元、温湿度控制单元等七大核心功能模块。其中，氢气供应单元采用 ISO 6162 法兰接口（DN15~DN50）连接储氢装置与供氢管路，确保高压氢气输送的密封性与可靠性；安全防护单元集成过压保护装置（安全阀、爆破片）及氮气吹扫系统，引用 GB/T 3836.28《爆炸性环境非电气设备要求》定义防爆设计边界，防止氢气泄漏引发燃爆风险。通过明确各单元的物理边界与功能接口，为系统集成、测试及运维提供标准化框架。

5. 设计要求

本章细化各子系统的关键设计参数，确保功能实现与安全可靠，其中：

5.1 氢气供给

储氢装置的设计以 GB/T 35544《车用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶》为依据，明确爆破压力 ≥ 3 倍工作压力（如工作压力 70 MPa 时，爆破压力 ≥ 210 MPa），确保极端工况下的安全裕度；结合氢气质谱法（ISO 15848-1）验证泄漏率 $\leq 1 \times 10^{-12}$ NL/s。供氢管路选用 316L 不锈钢或抗氢脆合金（氢脆敏感指数 ≤ 0.1 ，依据 ASTM G142 试验结果），内壁粗糙度 $\leq 0.8 \mu\text{m}$ 通过 CFD 仿真优化（参考 SAE J2579 氢气管路设计指南），静态泄漏率 $\leq 1 \times 10^{-10} \text{ m}^3/\text{s}$ （ISO 15848-1 Class AH 级密封标准）、动态泄漏率 $\leq 5 \times 10^{-12} \text{ m}^3/\text{s}$ （压力交变 0.5~1.2 倍工作压力，验证阀门抗疲劳性能）。密封材料经 2000 h 氢气浸泡（70 MPa、80℃）后体积膨胀率 $\leq 5\%$ ，引用 ISO 3601-3 氟橡胶耐氢性能测试方法，确保长期密封可靠性。

氢气循环装置的流量控制精度（稳态误差 $\leq \pm 2\%$ 、低流量精度 $\leq \pm 5\%$ ）基于 IEC 62282-2 燃料电池动态响应要求，匹配电堆功率波动；阶跃响应时间 $\leq 50 \text{ ms}$ （10%~90%流量）参考 ISO 15783 泵阀动态特性测试方法，能耗占比 $\leq 3\%$ 源自美国能源部 DOE 燃料电池辅助系统能效目标。

5.2 空气供给

空气压缩机输出压力波动 $\pm 5 \text{ kPa}$ （电堆阴极压力容限，参考 IEC 62282-2），流量控制稳态误差 $\leq \pm 3\%$ 、阶跃响应 $\leq 0.3 \text{ s}$ 通过 ISO 1217 压缩机性能测试方法验证，能效比 $\geq 2.5 \text{ m}^3/(\text{kW} \cdot \text{min})$ 源自行业能效标杆（如 Honeywell 燃料电池空压机数据）。空气过滤器三级过滤架构中，预过滤

$\geq 5 \mu\text{m}$ 颗粒效率 $\geq 95\%$ (ISO 16890 粗效过滤器标准), 高效过滤 $\geq 0.3 \mu\text{m}$ 颗粒效率 $\geq 99.97\%$ (ISO 29463 H14 级 HEPA 过滤器要求), 活性炭吸附残留油分 $\leq 0.01 \text{ mg/m}^3$ (SAE J2760 燃料电池空气污染物限值)。净化装置出口空气露点 $\leq -40^\circ\text{C}$ (ISO 8573-1 压缩空气质量等级 1 级), 通过冷凝水分离器设计实现, 确保电堆阴极无液态水积聚。

5.3 温湿度控制

湿度调节设备相对湿度误差 $\leq \pm 5\%$ (IEC 60721-3-3 Class 3K5 环境适应性等级), 响应时间 $\leq 20 \text{ s}$ 基于膜电极 (MEA) 湿度敏感性测试数据 (引用 GB/T 20042.5 质子交换膜测试方法); 湿度范围 $60\% \sim 80\% \text{RH}$ (SAE J2601 燃料电池湿度操作窗口)。冷却系统温度控制精度 $\pm 1^\circ\text{C}$ (电堆单片温差 $\leq 5^\circ\text{C}$, 依据 GB/T 33978 燃料电池堆性能要求), 多支路流量差异 $\leq \pm 10\%$ (ISO 5199 离心泵流量均匀性测试), 温度突变 $\pm 5^\circ\text{C}$ 时调节时间 $\leq 10 \text{ s}$ 通过 PID 算法仿真与实物温控实验验证。

5.4 压力调节

减压阀精度 $\leq \pm 2\%$ (设定压力)、响应时间 $\leq 0.3 \text{ s}$ (ISO 4126-1 安全阀性能标准), 流量覆盖 1.5 倍电堆最大耗气量 (冗余设计参考 NFPA 86 安全系数); 稳压阀压力波动 $\pm 1 \text{ kPa}$ 、响应时间 $\leq 0.2 \text{ s}$ (IEC 61508 安全控制系统响应要求), 确保阴阳极压差 $\leq 0.5 \text{ kPa}$ (依据 GB/T 24554 燃料电池发动机性能规范)。

5.5 泄漏检测

氢气传感器检测精度 $\leq \pm 1\%LEL$ 、响应时间 $\leq 1\text{ s}$ （IEC 60079-29-1 爆炸性环境探测器标准），检测范围 $0\sim 100\%LEL$ 覆盖氢气爆炸极限（参考 NFPA 2 氢气安全规范）；报警阈值 $15\%LEL$ （预警）与 $25\%LEL$ （切断）依据 ISO/TR 15916 氢气安全技术报告，动作延迟 $\leq 2\text{ s}$ （EN 50545 轨道交通应急响应要求）。

5.7 系统监控

控制器数据采集频率 $\geq 10\text{ Hz}$ （匹配电堆电压巡检需求，参考 GB/T 33978），控制算法响应时间 $\leq 0.1\text{ s}$ （IEC 61508 SIL2 安全等级要求）；通信误码率 $\leq 1 \times 10^{-6}$ （ISO 11898 CAN 总线可靠性标准），数据传输延迟 $\leq 50\text{ ms}$ （实时控制周期 $\leq 100\text{ ms}$ 的 $1/2$ 准则）。混合比例调节精度 $\pm 1.5\%$ （氢气/空气化学计量比 $1.5\sim 2.0$ 的允许偏差），湿度调节精度 $\pm 3\%RH$ （膜电极膨胀率容限）。

5.8 氮气吹扫系统

对氮气吹扫系统的置换率、吹扫的时间、氮气纯度、露点温度以及相关的安全方面进行了具体的规定。

5.9 关键部件参数

包括关键部件参数设计和，空气压缩机出口 $\Phi 50$ 快插接口（SAE J2044 车载氢系统连接器标准），耐压 $\geq 2\text{ bar}$ （依据车载振动工况下 2 倍安全系数设计）。所有参数通过 ISO 19880-1 氢能设施通用技术要求验证，确保部件级性能与系统集成目标的匹配性。

6. 性能要求

本章量化系统整体性能指标，确保高效可靠运行：系统效率 $\leq 8\%$ （基于典型燃料电池系统能耗分析，参考 DOE 燃料电池技术目标）；氢气纯度 $\geq 99.99\%$ （符合 SAE J2719 燃料电池氢气质量标准），颗粒物过滤精度 $0.1\ \mu\text{m}$ （引用 ISO 29463 终端过滤器要求）；盐雾试验 $\geq 480\ \text{h}$ （依据 GB/T 2423.17 验证耐腐蚀性），防护等级 IP67（引用 IEC 60529 测试方法）。

7. 接口要求

本章规定机械、电气及通信接口参数，保障系统兼容性与可扩展性：
机械接口：法兰密封面粗糙度 $R_a \leq 1.6\ \mu\text{m}$ （引用 ISO 4288 表面粗糙度标准），快插接口插拔寿命 ≥ 5000 次（依据 SAE J2044 测试方法）；电气接口：直流 $24\ \text{V} \pm 10\%$ （参照车载电源通用规范），CAN 总线波特率 $250\ \text{kbps}$ （兼容 J1939 协议）；通信协议：Modbus RTU 波特率 $9600 \sim 115200\ \text{bps}$ （满足工业控制设备互联需求）。

8. 安全要求

本章构建多层次安全防护体系，覆盖设计、运行与故障处理：防爆设计：Ex d IIC T4 等级（符合 GB/T 3836.28），表面温度 $\leq 135^\circ\text{C}$ （基于氢气燃点特性计算）；紧急停机：切断阀动作时间 $\leq 100\ \text{ms}$ （参考 NFPA 79 紧急停机响应要求），泄漏率 $\leq 0.01\ \text{NmL/h}$ （依据 ISO 15848-1 阀门密封标准）；HAZOP 分析：每 5 年一次（借鉴 IEC 61882 流程），首次分析在投运前完成（确保设计阶段风险可控）。安全阈值（如 25% LEL 切断气源）源自 NFPA 2 氢气安全规范，兼顾风险控制与系统可用性。

9. 运维要求

本章规范运维流程，提升系统全生命周期可靠性：日常维护：泄漏传感器每日校验（通入 1%LEL 标准气体，参照 GB/T 50493 校准方法），冷却液电导率 $\leq 5 \mu\text{S}/\text{cm}$ （引用 ASTM D1125 测试标准）；预防性维护：安全阀每 24 个月校验（依据 ISO 4126-1），高效过滤器压差 $\geq 200\%$ 时更换（参考 ASHRAE 52.2 效率衰减数据）；故障诊断：热成像仪分辨率 $\leq 0.1^\circ\text{C}$ （引用 IEC 62471 非接触测温标准），氢气检漏仪精度 $\leq 1 \text{ ppm}$ （符合 SAE J2719 检测要求）。运维周期基于加速寿命试验与行业经验制定，确保维护经济性与有效性。

五、重大分歧意见的处理经过和依据

本标准起草过程中无重大分歧。

六、贯彻标准的措施建议

标准只有通过实施才能起作用，如果不能实施，再好的标准也是“一纸空文”，更无法体现它的作用。贯彻实施标准要做好宣传教育工作、有良好的实施方法和检查监督机制。具体来说：（1）加大宣贯力度。利用报纸、电视、电台及微信、微博等各种新媒体，大力宣传，为标准的实施营造良好的社会氛围。（2）加强标准实施反馈。对在标准实施过程中发现的问题及提出的意见，要进行深入探讨和研究，做好标准的修订和完善工作。

七、废止现行有关标准的建议

本标准不涉及现行标准的废止。

八、其他应予说明的事项

无。

《氢空燃料电池燃料供给循环系统技术要求》编制组

2025 年 4 月