

T/CAICI

中国通信企业协会团体标准

T/CAICI 2026—XX

通信用多能互补固态储氢燃料电池供电 系统技术要求

Technical specification for communication-oriented multi-energy complementary
solid-state hydrogen storage fuel cell power supply system

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国通信企业协会 发布

目 次

前 言	1
1 范围	2
2 规范性引用文件	2
3 术语和定义	2
3.1 多能互补固态储氢燃料电池供电系统 Multi-energy Complementary Solid-state Hydrogen Storage Fuel Cell Power Supply System	2
3.2 系统光伏控制器额定输出电压 System photovoltaic controller rated output voltage...	3
3.3 固态储氢系统 Solid-state hydrogen storage system	3
3.4 控制系统 Control system	3
4 系统构成及控制原理	3
4.1 系统构成	3
4.2 系统控制原理	4
5 光伏系统技术要求	4
5.1 光伏板技术要求	4
5.2 光伏控制器技术要求	4
5.3 光伏系统安全保护要求	5
6 磷酸铁锂电池/铅酸蓄电池储能系统技术要求	6
6.1 系统组成、功能与总体技术要求	6
6.2 充放电控制与保护要求	6
6.3 安全与监控要求	6
6.4 环境与机械要求	7
7 固态储氢系统要求	7
7.1 总体技术要求	7
7.2 储氢材料与容器技术要求	7
7.3 储氢系统结构要求	8
7.4 充放氢控制与安全要求	8
8 燃料电池供电系统要求	9
8.1 燃料电池供电系统组成	9
8.2 燃料电池供电系统技术要求	9
9 试验方法	12
9.1 试验前准备	12
9.2 系统试验	13
参 考 文 献	18

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。

本文件由中国通信企业协会标准化管理委员会提出并归口。

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。

本文件起草单位：北京华清大运氢能科技有限公司、中国通信企业协会通信网络运营专业委员会、中国信息通信研究院、中国联合网络通信集团有限公司、中国铁塔股份有限公司、中国电信股份有限公司广东研究院、上海骥翀氢能科技有限公司、北京京豚科技有限公司。

本文件主要起草人：郑子涛、陶喜军、余磊、刘会战、金凯、范贵福、韩卫东、王平、蔡树国、邢殿辉、刘伟通、武亚波、刘思炜、付宇、姜炜、王江涛、何发。

本文件为中国通信企业协会首次发布。

通信用多能互补固态储氢燃料电池供电系统技术要求

1 范围

本文件规定了通信用光、储、氢互补供电系统（以下简称为系统）的定义、分类、要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、储存等。

本文件适用于利用太阳能和氢能向通信设备提供电力的供电系统的技术要求，也适用于其他混合供电系统的太阳能与氢能供电部分，实现多能互补应用场景的技术要求。不适用于向电网送电的供电系统。

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。未注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 19064-2025	家用太阳能光伏电源系统技术条件和试验方法
GB/T 2423.1-2008	电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法试验A：低温
GB/T 2423.2-2008	电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法试验B：高温
GB/T 27748.1-2017	固定式燃料电池发电系统：第1部分：安全
GB/T 27748.2-2022	固定式燃料电池发电系统 第2部分：性能试验方法
GB/T 27748.3-2017	固定式燃料电池发电系统：第3部分：安装
GB/T 31036-2025	质子交换膜燃料电池备用电源系统安全
GB/T 33292-2016	燃料电池备用电源用金属氢化物储氢系统
GB/T 39857-2021	光伏发电效率技术规范
GB/T 4208-2017	外壳防护等级（IP54）
GB/T 43057-2023	光伏组件动态机械载荷试验要求
GB 4962-2008	氢气使用安全技术规程
GB/T 50177	氢气站设计规范
GB/T 567.1-2012	爆破片安全装置
IEC 61215	光伏组件紫外老化标准
YD/T 1051-2018	通信电源系统总技术要求
YD/T 1429-2024	通信局（站）在用防雷系统的技术要求和检测方法
YD/T 2344.1-2023	通信用磷酸铁锂电池组 第1部分：集成式电池组
YD/T 2344.2-2015	通信用磷酸铁锂电池组 第2部分：分立式电池组
YD/T 983-2018	通信电源设备电磁兼容性要求和试验方法
TSG 21-2016	固定式压力容器安全技术监察规程

3 术语和定义

3.1

多能互补固态储氢燃料电池供电系统 Multi-energy Complementary Solid-state Hydrogen Storage Fuel Cell Power Supply System

指一种利用太阳能与氢能向通信设备供电的组合装置。供电系统输出电压直流负48V，若负载需要不同电压等级的直流或交流电，通过DC/DC变换器或DC/AC逆变器实现。

3.2

系统光伏控制器额定输出电压 System photovoltaic controller rated output voltage

指光伏板经过光伏控制器变换后输出的电压，约负55.2~负57.6V（负48V系统）。

3.3

固态储氢系统 Solid-state hydrogen storage system

指以固态储氢材料为核心，通过物理吸附或化学氢化反应实现氢气可逆吸放的完整系统，含储氢材料、储氢容器、换热/控温/安全附件及控制系统，无需高压容器或深冷设备。

3.4

控制系统 Control system

指以控制系统功率供需动态平衡为核心，通过储氢控制器/燃料电池控制器/BMS 等核心单元，实时监测供电侧（光伏/燃料电池）、储能侧（磷酸铁锂电池组/铅酸蓄电池组）、负载侧的功率/电压/SOC参数，按预设逻辑智能调配能量流向、调节充放电功率，实现系统运行及能源全过程控制的系统。

4 系统构成及控制原理

4.1 系统构成

多能互补固态储氢燃料电池供电系统主要由光伏板、光伏控制器、电池储能系统、直流/交流(DC/AC)变换单元、固态储氢系统、燃料电池系统、直流/直流(DC/DC)变换单元(可选)、控制系统及其他附件组成，系统结构如图1所示。

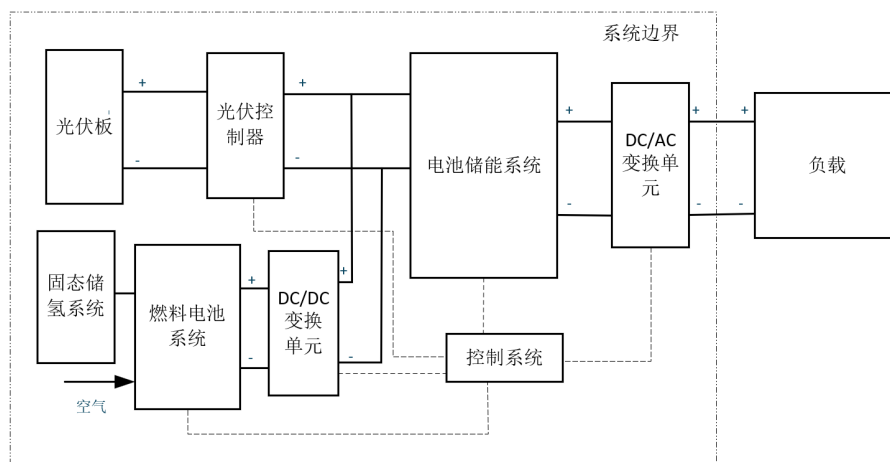


图1 多能互补固态储氢燃料电池供电系统构成示意图

4.2 系统控制原理

多能互补固态储氢燃料电池供电系统由多个子系统组成，具备可再生能源太阳能及氢能供电，提供7×24h 备电时长（如5×24h 电池组备电及2×24h 氢能备电，可根据实际需求配置）。优先消纳可再生太阳能，提升清洁能源利用率。

多能互补固态储氢燃料电池供电系统中控制系统实时监控电池储能系统的SOC（电池剩余容量）变化。当电池SOC在30%-100%之间时，负载供电由电池及光伏组成的系统提供。极端天气下，电池SOC下降到30%以下时，控制系统唤醒燃料电池系统等参与到负载供电；当监控单元检测到光伏板功率正常（超过额定功率50%）且电池SOC上升至40%以上，燃料电池系统等退出系统供电。

5 光伏系统技术要求

5.1 光伏板技术要求

5.1.1 电性能要求

5.1.1.1 转换效率：选用单晶PERC/TOPCon组件，效率 $\geq 21\%$ ，弱光照下效率衰减 $\leq 10\%$ （200W/m²）。

5.1.1.2 功率配置：单块组件功率应选取 $\geq 500\text{W}$ ，系统容量需预留10%-15%冗余。

5.1.1.3 开路电压：单块组件开路电压 $\geq 50\text{V}$ ；

5.1.1.4 衰减控制：首年衰减 $\leq 5\%$ ，年衰减 $\leq 0.7\%$ ，设计寿命内总衰减率 $\leq 20\%$ 。以上数据均满足GB/T39857-2021《光伏发电效率技术规范》要求。

5.1.2 极端环境耐受要求

5.1.2.1 耐温与耐候：工作温度范围 $-40^{\circ}\text{C}\sim 85^{\circ}\text{C}$ ，适配高原高寒、荒漠高温等场景；满足GB/T 19064-2025《家用太阳能光伏电源系统技术条件和试验方法》进行盐雾腐蚀、抗氨气腐蚀测试。

5.1.2.2 抗机械载荷：正面雪载荷 $\geq 5400\text{Pa}$ 、背面风载荷 $\geq 2400\text{Pa}$ ，抗12级大风；抗冰雹直径25mm，撞击速度 $\geq 23\text{ m/s}$ ，动态机械载荷满足GB/T 43057-2023《光伏组件动态机械载荷试验要求》。

5.1.2.3 抗紫外老化：经紫外预处理后，外观无黄变、开裂，适应高海拔强紫外线环境。满足IEC 61215《光伏组件紫外老化标准》要求。

5.1.3 安装与安全要求

5.1.3.1 安装适配性：组件轻量化（单块重量 $\leq 35\text{kg}$ ）；支持多角度（ $15^{\circ}\sim 45^{\circ}$ ）可调安装，匹配不同纬度的最佳倾角。

5.1.3.2 电气安全：光伏组件绝缘电阻 $\geq 2000\text{M}\Omega$ ，耐压测试（边框与电极间3000V电压1min无击穿）；接地电阻 $\leq 10\Omega$ 。

5.2 光伏控制器技术要求

5.2.1 性能要求

5.2.1.1 支持的电池：支持磷酸铁锂、铅酸蓄电池等多类型蓄电池。

5.2.1.2 充电模式：支持 MPPT（最大功率点跟踪）技术，跟踪效率 $\geq 99\%$ ，且具备多时段 MPPT 调节功能，适配基站光伏板的弱光供电场景；兼容 PWM（脉冲宽度调制）充电模式作为冗余备份，满足不同电池组类型需求。

5.2.1.3 充放电参数：系统光伏控制器额定输出电压范围 42V-60V（出厂默认 56V），电压控制精度 $\leq \pm 1\%$ ，电流控制精度 $\leq \pm 2\%$ 。可灵活设置浮充、均充等阶段参数，避免过充、过放损伤电池。

5.2.1.4 功率匹配：单路 MPPT 输入电压范围覆盖 65V-250V，适配多块光伏板串联的电压区间。

5.2.2 环境耐受与可靠性要求

5.2.2.1 工作温度：适应 $-40^{\circ}\text{C}\sim 85^{\circ}\text{C}$ 的环境，低温下无需预热即可启动，高温下具备降额保护功能且无性能衰减。

5.2.2.2 防护等级：控制器本体防护等级 $\geq \text{IP65}$ ，适应户外安装场景；接线端子防护等级 $\geq \text{IP65}$ ，防沙尘、雨水侵入导致短路。

5.2.2.3 抗干扰能力：通过 EMC 电磁兼容测试，能抵御通信设备的电磁干扰，同时不影响信号传输；具备浪涌保护功能，可承受 $\pm 2\text{kV}$ 的瞬态过电压冲击。

5.2.3 安全与保护功能要求

5.2.3.1 电路保护：具备过压、欠压、过流、过载、短路、反接保护功能，故障发生时自动切断回路并锁定，故障排除后可手动或自动恢复。

5.2.3.2 防雷保护：内置防雷模块，满足 YD/T 1429-2024《通信局（站）在用防雷系统的技术要求和检测方法》标准。

5.2.3.3 远程告警：系统支持远程查看过压、欠压、绝缘故障等告警信息实时推送，同时记录故障时间与类型。

5.2.3.4 安全操作：设备柜门设置警示标识与防盗锁，检修时需配备绝缘工具，且需断电源再操作。

5.2.4 监控适配要求

5.2.4.1 支持 RS485/Modbus、LoRa、4G 等通信协议，支持电流电压监测，可接入远程运维平台，实时上传光伏输入电压/电流、电池组 SOC、充放电状态等数据，实时反馈供电状态及故障告警。

5.2.4.2 配备 LCD 显示屏和按键，可现场查看、修改参数；支持故障告警（声光/远程推送），告警信息包含故障类型、发生时间，便于快速定位问题。

5.2.4.3 具备自动切换功能，当光伏供电不足时，无缝切换至燃料电池系统供电，保障 24 小时不间断供电；高温地区设备需配备散热风扇或散热片，避免高温停机。

5.3 光伏系统安全保护要求

5.3.1 电气安全保护

5.3.1.1 防过流/过压/短路：光伏组串侧配置直流断路器；控制器内置过流、过压保护模块，故障时10ms内切断回路。

5.3.1.2 防反充保护：控制器需具备反向电流截止功能，当光伏供电量不足或夜间无光照时，阻止电池组向光伏板反向放电。

5.3.1.3 绝缘监测：系统配置绝缘监测装置，实时监测直流侧对地绝缘电阻，当电阻 $<0.5\text{M}\Omega$ 时触发告警，避免漏电引发触电或设备故障。

5.3.1.4 接地保护：光伏组件边框、支架、控制器外壳需可靠接地，接地电阻 $\leq 10\Omega$ ，防止静电积累或漏电伤人。

5.3.2 线路防雷保护

5.3.2.1 线路防雷：光伏直流电缆穿波纹管，波纹管做可靠接地，减少雷击感应过电压风险。

5.3.3 光伏系统机械与防护

5.3.3.1 组件防护：支架需满足当地风载荷、雪载荷要求（高海拔地区雪载荷 $\geq 6000\text{Pa}$ ），防止组件坠落、坍塌。

5.3.3.2 设备防护：防止沙尘、雨水侵入。

6 磷酸铁锂电池/铅酸蓄电池储能系统技术要求

6.1 系统组成、功能与总体技术要求

6.1.1 电池组储能系统由蓄电池、变流器、电池管理系统（BMS）、能源管理系统（EMS）及电池柜等组成，需与光伏发电系统、燃料电池系统协同工作，实现能源存储与动态调配。

6.1.2 该系统总体技术应满足 YD/T 2344.1-2023《通信用磷酸铁锂电池组 第1部分：集成式电池组》，YD/T 2344.2-2015《通信用磷酸铁锂电池组 第2部分：分立式电池组》，YD/T 1051-2018《通信电源系统总技术要求》等标准相关要求。

6.2 充放电控制与保护要求

6.2.1 充放电参数适配：光伏控制器需支持磷酸铁锂、铅酸蓄电池等多类型蓄电池，可灵活设置浮充、均充等阶段参数，避免过充、过放损伤电池。

6.2.2 SOC 阈值管理：电池组 SOC 在 30%-100%时，负载由电池及光伏系统供电；SOC $<30\%$ 时，氢储能系统启动；SOC 回升至 40%以上时，氢储能退出。

6.3 安全与监控要求

6.3.1 BMS 功能：实时监测电池组 SOC、SOH（健康状态）、充放电电流、电压、温度等参数，采样频率 $\geq 1\text{Hz}$ ，响应延迟 $\leq 100\text{ms}$ ，确保数据时效性与负载供电稳定。

6.3.2 保护功能：具备过压、欠压、过流、短路、反接等电路保护，故障发生时自动切断回路并锁定，支持远程告警（如绝缘故障、过温等），记录故障时间与类型。

6.4 环境与机械要求

6.4.1 工作环境：电池在冬季或者海拔 1000 米以上的应用场景下，需适应 $-40^{\circ}\text{C}\sim 85^{\circ}\text{C}$ 的宽温环境，适配高原、荒漠等极端场景。

6.4.2 防护等级：电池柜需具备防尘、防水能力，参考系统整体防护等级要求 GB/T 4208-2017《外壳防护等级（IP 54）》。

7 固态储氢系统要求

7.1 总体技术要求

多能互补固态储氢燃料电池供电系统中固态储氢系统的技术应满足 GB/T33292-2016《燃料电池备用电源用金属氢化物储氢系统》的要求。

7.2 储氢材料与容器技术要求

7.2.1 储氢材料性能要求

7.2.1.1 固态储氢材料通常指金属氢化物储氢合金材料，种类主要包括 AB_5 、 AB_2 和 AB 型等，此外，还可以使用固溶体合金储氢材料，例如镁基合金、钒基固溶体储氢合金等。

7.2.1.2 储氢容量：在常温标准大气压条件下，储氢材料的有效储氢容量应不低于 1.6wt%（质量分数）或 $40\text{kg}/\text{m}^3$ （体积储氢密度）。

7.2.1.3 循环稳定性：在额定充放氢条件下，材料经过 2000 次循环后，储氢容量衰减率应不超过 15%。

7.2.1.4 安全性：储氢材料应无毒性、无腐蚀性，在受到机械冲击、挤压时，不发生爆炸、燃烧等危险现象，保障人员与设备安全。

7.2.2 储氢容器技术要求

7.2.2.1 材质要求：容器主体材质应选用 316L 不锈钢、铝合金或碳纤维增强复合材料，具备良好的耐腐蚀性、密封性和力学强度，能适配储氢材料的化学特性及充放氢过程中的压力变化。

7.2.2.2 结构尺寸：容器的结构尺寸应根据储氢材料的装填量、系统安装空间及备用电源功率需求确定。系统内部需要考虑实际应用的需求，均匀分布的导流结构，确保充放氢过程中热量均匀传递。

7.2.2.3 密封性能：固态储氢容器设计应符合 GB/T 50177《氢气站设计规范》的要求。用于连接的密封件应根据工况选择金属、石墨、聚四氟乙烯或氟橡胶等材料。

7.2.2.4 力学性能：容器应通过水压试验、气压试验和疲劳试验。对达到压力容器规定条件的储氢容器，其设计、制造、检验和验收应符合 TSG21-2016《固定式压力容器安全技术监察规程》的规定。

7.2.2.5 导热性能：容器壁应具备良好的导热性能，必要时需集成内置或外置导热组件（如导热管、加热片），确保储氢材料充放氢过程中的热量快速传导，维持系统温度稳定。

7.3 储氢系统结构要求

7.3.1 整体布局要求

7.3.1.1 模块化设计：系统采用模块化结构，单个储氢模块的储氢量可根据需求配置，模块之间通过标准接口连接，支持并联扩展，各模块运行互不干扰。

7.3.1.2 操作空间：系统布局应预留足够的操作空间，特别是对于如阀门、传感器、接口等关键部件的可操作性，便于人员操作和故障排查。

7.3.1.3 通风与散热：系统安装区域应具备自然通风或强制通风条件；若采用强制通风，风机应满足涉氢区域的防爆等级，确保系统散热及氢气泄漏时的安全排出。

7.3.2 具体结构要求

7.3.2.1 管路设计：系统内部管路采用 316L 不锈钢材质，管径根据充放氢流量确定，管路转弯处采用圆弧过渡，曲率半径不小于管径的 3 倍，减少流阻。固态储氢容器的相关管路连接优先推荐焊接方式，同时可采用法兰、卡套或锥管螺纹等方式。

7.3.2.2 阀门配置：每个储氢模块应配置独立的放氢阀、安全阀和排空阀，阀门材质与管路匹配，阀的额定压力不低于最高温升压力的 1.5 倍。安全阀应采用压力触发式泄压，应按照容器的相关规定设定触发压力，并应符合 GB/T567.1-2012《爆破片安全装置》的要求；安全泄压组件、阀门及其他保护结构应符合 GB4962-2008《氢气使用安全技术规程》的要求。

7.3.2.3 支撑与固定：储氢容器及管路系统通过防腐支架固定，支架材质选用热镀锌碳钢或铝合金，固定强度应能承受系统自重 1.5 倍的载荷，确保系统在运输、安装和运行过程中无位移、无变形。

7.3.2.4 布线与布线防护：系统内部的电气线路（如传感器线路、控制线路）应与氢气管路分开布置，线路采用阻燃、耐氢腐蚀的电缆，穿管保护并做好密封处理，避免氢气泄漏接触电气元件引发危险。

7.4 充放氢控制与安全要求

7.4.1 充放氢控制要求

7.4.1.1 充氢控制要求：充氢压力应控制在 0.5~5MPa，充氢流量根据模块储氢量确定，最大流量不超过制造商设定值；充氢过程中系统应实时监测充氢压力、温度、流量参数。

7.4.1.2 放氢控制要求：放氢流量控制可根据燃料电池模块的功率需求，系统应能实现放氢流量的适应性调节。当燃料电池功率突变（变化率 $\geq 50\%/s$ ）时，放氢流量响应时间不超过 0.5s，确保供电稳定。放氢压力控制应维持在 0.1~3MPa，通过压力调节阀实现闭环控制。当储氢量低于额定容量的 5%时或者放氢压力低于 0.1MPa，系统自动停止放氢并发出低储氢量报警。

7.4.2 安全要求

7.4.2.1 通用要求：配备完善的安全保护装置，包括氢气泄漏检测传感器、紧急切断阀、安全阀、温度监测装置、压力监测装置等。

7.4.2.2 泄漏要求：燃料电池备用电源用金属氢化物储氢系统在设计 and 制造时，应防止氢或金属氢化物颗粒在正常储存和运输时的泄漏。

8 燃料电池供电系统要求

8.1 燃料电池供电系统组成

燃料电池供电系统主要由燃料电池模块、燃料处理系统、氧化剂处理系统、电能变换单元、控制系统、通风系统、热管理系统等组成，该系统结构图如图 2 所示：

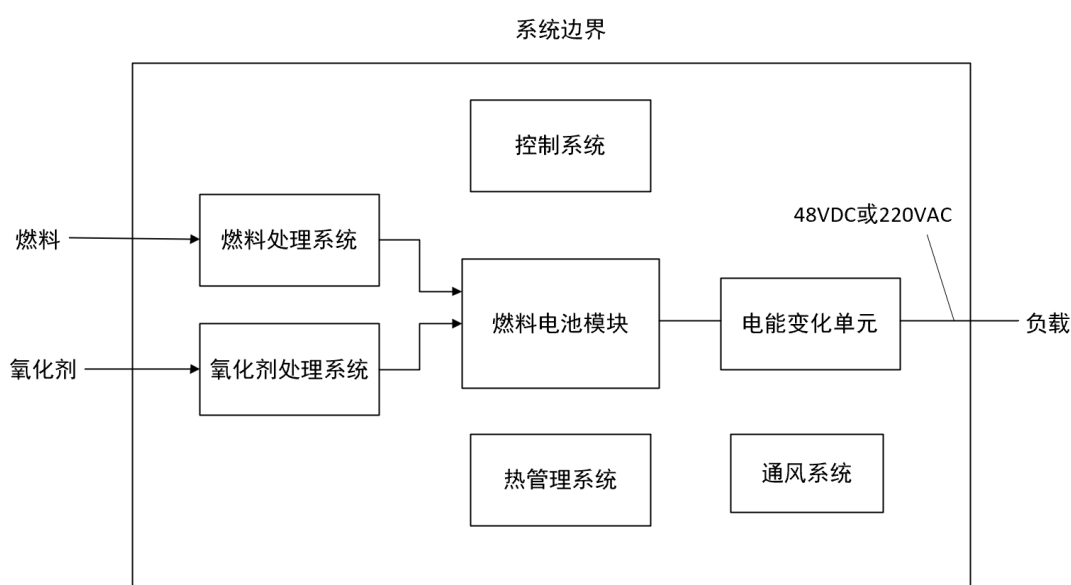


图 2 燃料电池供电系统结构示意图

8.2 燃料电池供电系统技术要求

8.2.1 使用条件

燃料电池供电系统应能在下列环境条件下正常运行：

- 工作环境温度： $-20^{\circ}\text{C}\sim 45^{\circ}\text{C}$ ；
- 储存温度： $-40^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ ；
- 环境相对湿度 RH： $10\%\sim 95\%$ ，不凝露；
- 海拔：不超过 2000m，如超过，应降功率使用。

8.2.2 系统技术要求

8.2.2.1 通用安全要求

系统应符合 GB/T 31036-2025《质子交换膜燃料电池备用电源系统安全》规定的要求。

8.2.2.2 外观和结构

系统的外观和结构应符合下列要求：

- 系统外表应清洁，无机械损伤，接口触点无锈蚀；
- 系统表面应有产品标识，且标识清楚；
- 系统的通信接口、电源接口、焊接端子、氢气接口等应有明确的标识。

8.2.2.3 输出电压范围

直流母线输出电压范围应为负 43.2V-负 57.6V。

8.2.2.4 启动 / 关机方式

系统应具备以下启动 / 关机方式：

- 手动启动 / 关机；
- 遥控启动 / 关机；
- 自动启动 / 关机。

8.2.2.5 过载能力

输出为额定功率（额定功率为 500W、1kW、2kW、3kW、4kW、5kW，可供客户选择）的 110%时，系统应能正常运行 10min。

8.2.2.6 系统待机功耗

系统待机功耗应不大于系统额定输出功率的 1%。

注：不包含燃料电池电加热部分功耗。

8.2.2.7 系统效率

系统输出额定功率时，其系统效率不低于 40%，其定义和计算方式符合 GB/T 27748.2-2022《固定式燃料电池发电系统 第 2 部分：性能试验方法》的要求。

8.2.2.8 保护与告警功能

8.2.2.8.1 基本要求

系统发生故障时，应能发出声或光告警并自动脱离供电系统。

8.2.2.8.2 过载保护

系统输出超过过载保护设置值时，应发出告警信息并自动关机保护。

8.2.2.8.3 氢气高、低压保护

对于氢气瓶储氢系统,当系统检测到储氢单元出口氢气压力和燃料电池组单元氢气压力低于产品规定的最低压力或高于产品规定的最高压力时,应发出告警信息并自动关机保护。

8.2.2.8.4 输出过、欠压保护

系统输出电压超过过压保护设定值或者低于欠压保护设定值时,应发出告警信息并自动关机保护。

8.2.2.8.5 输出短路保护

系统输出短路时应自动关机保护,不能自动启动,故障消除后,应能自动恢复工作。

8.2.2.8.6 过温保护

燃料电池系统工作温度超过过温保护设定值时,应发出告警信息并自动关机保护。

8.2.2.8.7 告警信息

燃料电池系统应具有下列告警信息:箱体门打开、氢气压力异常、氢气泄漏、负载开关断开、加热器故障、风扇故障(风冷系统)、输出过/欠压、电能变换单元故障、燃料电池系统电压低、环境温度过高过低、电堆温度过高等。

燃料电池系统应能通过通信接口或无线网络、短消息等方式将告警信号传送到近端、远程监控设备。

8.2.2.9 系统噪音

燃料电池系统正常运行时的噪音应不大于 65dB(A)。

8.2.2.10 防护等级

燃料电池系统防护等级应符合 GB/T4208-2017《外壳防护等级(IP54)》中规定的 IP54 防护等级。

8.2.2.11 绝缘电阻

最大工作电压下,燃料电池系统电流输出端与外壳接地点的绝缘电阻应不低于 2M Ω 。

8.2.2.12 电磁兼容性

8.2.2.12.1 传导骚扰限值

燃料电池系统传导骚扰限值应符合 YD/T983-2018《通信电源设备电磁兼容性要求和试验方法》中 8.1 的要求。

8.2.2.12.2 辐射骚扰限值

燃料电池系统辐射骚扰限值应符合 YD/T983-2018《通信电源设备电磁兼容性要求和试验方法》中 8.2 的要求。

8.2.2.13 接地性能

燃料电池系统应具有工作地和保护地，接地点标识清晰，且系统外壳所有可触及的金属零部件与接地端子间的电阻应不大于 $0.1\ \Omega$ 。

8.2.2.14 寿命

燃料电池系统累计工作时间不少于 1500h，可以正常启动，且输出额定功率不低于原额定功率的 90%。

9 试验方法

9.1 试验前准备

9.1.1 试验环境条件

试验环境条件如下：

- 环境温度： $20^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 。
- 环境相对湿度 RH：45%~75%。
- 大气压力： $86\sim 106\text{kpa}$ 。

9.1.2 试验用仪器

9.1.2.1 测量仪器、仪表

- 电压测量装置：量程 $0\sim 500\text{V}$
- 电流测量装置：量程 $0\sim 100\text{A}$
- 温度测量装置：量程 $-30\sim 60^{\circ}\text{C}$
- 尺寸测量装置：量程 $0\sim 3$ 米
- 质量测量装置：量程 $0\sim 500\text{kg}$
- 氢气浓度测量装置：量程 $0\sim 4\%$ ($0\sim 40000\text{ppm}$)

9.1.2.2 测量误差

测量参数	单位	精确度	分辨率
电压	V	$\pm 0.3\% \text{FSD}$	0.1
电流	A	$\pm 0.3\% \text{FSD}$	0.1
温度	$^{\circ}\text{C}$	± 1	0.1
质量	kg	$\leq 0.5\% \text{FSD}$	0.1
压力	Kpa	$\pm 0.3\% \text{FSD}$	0.001

9.1.3 试验电路图

试验电路图如下图 3 所示：

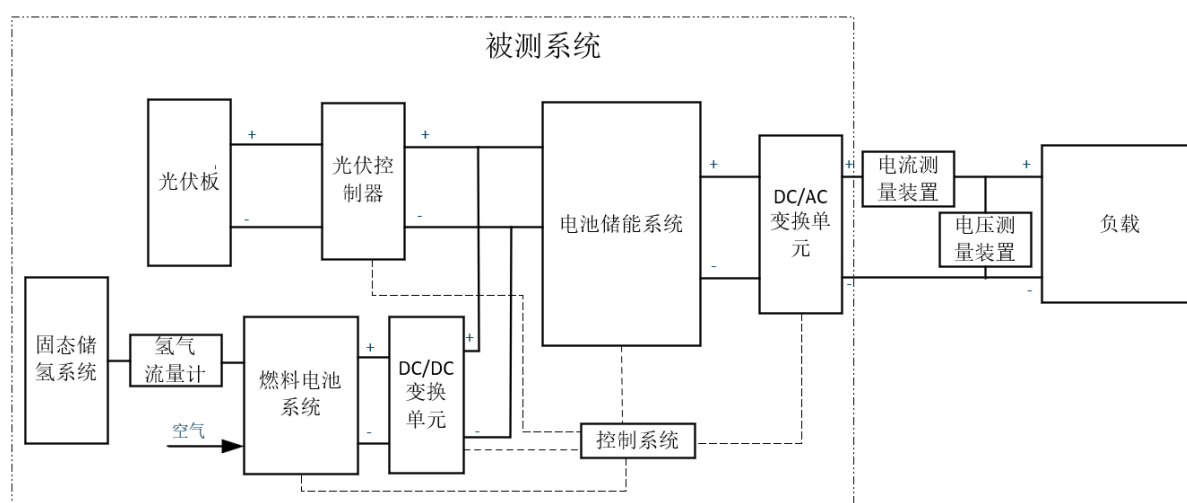


图3 试验电路框图

9.2 系统试验

9.2.1 通用安全试验

应按照 GB/T 31036《质子交换膜燃料电池备用电源系统安全》的方法进行安全试验，符合 GB/T 27748.1-2017《固定式燃料电池发电系统：第1部分：安全》、GB/T 27748.3-2017《固定式燃料电池发电系统：第3部分：安装》和 GB/T 31036《质子交换膜燃料电池备用电源系统安全》规定的安全要求。

9.2.2 外观与结构检查

系统的外观和结构应符合下列要求：

- a) 系统外表面清洁，无机械损伤、裂纹、变形及污渍；
- b) 系统外表面有清楚的产品标识；
- c) 系统通信接口、电源接口、管路接口等有明显的标识，且连接完整；
- d) 系统结构构成紧固，且做有防水、防尘和耐腐蚀处理。

9.2.3 气密性试验

应按照 GB/33292-2016《燃料电池备用电源用金属氢化物储氢系统》中 6.7 气密性试验的方法进行安全试验，结果应符合其要求。

9.2.4 输出电压范围试验

试验如图3连接试验电路，启动系统，接额定负载，测量输出电压应符合以下要求：

系统交流输出电压标称值为 220V，输出电压范围可根据其使用场景分为以下两种：

a) 对于通信设备负载电压等级为 220V 交流电压的一类设备，系统在电池储能系统后端加入 DC/AC 变换单元，输出电压 200 / 220 / 230 / 240Vac 可调；及输出频率 50/60Hz 可调。

b) 对于通信设备负载使用直流电压，系统可直接在电池储能系统上取电，系统输出电压可调范围应为 43.2~57.6V。

9.2.5 启动/关机方式试验

试验步骤如下：

- a) 当手动启动/关闭时检查系统是否运行/关闭正常。
- b) 电池储能系统 SOC 变化时检查系统是否正常运行/关闭正常。
- c) 试验结果要求保证负载正常工作。

9.2.6 负载调整功率试验

试验步骤如下：

- a) 按照图 3 连接试验电路图。
- b) 电池储能系统 SOC 选取在 30%以下时启动系统，负载电流为 50%的额定值，此时系统交流输出电压为出厂整定值。
- c) 调节线性负载使负载电流分别为 5%和 100%额定值，测量、记录输出电压。
- d) 试验结果要求满足电压波动小于 $\pm 1V$ 。

9.2.7 动态响应试验

试验步骤如下：

- a) 按照图 3 连接试验电路图。
- b) 电池储能系统 SOC 选取在 30%以下时启动系统，负载电流为 50%的额定值，此时系统交流输出电压为出厂整定值。
- c) 突变负载电流，使负载电流从额定值的 25%→50%→25%和 50%→75%→50%进行阶跃式变化，用数字储存示波器的适当量程观察交流电压的波形，计算出电压波动变化量。

试验结果要求满足电压波动小于 $\pm 1V$ 。

9.2.8 待机功耗试验

系统输出空载，测量所有附件消耗的功率，试验结果要求：

- a) 系统功率小于 3kW 时，系统待机功耗应不大于 30W。
- b) 系统功率大于等于 3kW 时，系统待机功耗应不大于系统额定功率的 1%。

注：不包含加热部分功耗。

9.2.9 过载能力试验

实验步骤如下：

a) 按照图 3 连接试验电路图。

b) 电池储能系统 SOC 选取在 30% 以下时启动系统，使负载电流为 110% 的额定值，交流输出电压为出厂整定值，用秒表记录系统能正常运行的时间。

试验结果要求满足应能正常运行 10min。

9.2.10 电效率试验

电池储能系统 SOC 在 30% 以下时启动系统进行效率测试，记录系统输出额定电压和额定电流进行效率及固态储氢系统氢气流量，按下列公式计算效率：

$$\eta_1 = (1000 \times UI) / (m_{H_2} \times LHV_{H_2}) \times 100\%$$

式中：

η_1 —— 系统效率；

LHV_{H_2} —— 氢气低热值， $1.2 \times 10^5 \text{ J/g}$ ；

UI —— 系统的输出功率，单位为千瓦（kW）；

m_{H_2} —— 氢气流量，单位为克每秒（g/s）。

电池储能系统 SOC 在 30% 以上时启动系统进行效率测试，记录系统输出额定电压和额定电流进行效率及光伏的额定功率，按下列公式计算效率：

$$\eta_2 = (1000 \times UI) / P_{\text{Photovoltaic}} \times 100\%$$

式中：

η_2 —— 系统效率；

$P_{\text{Photovoltaic}}$ —— 光伏板额定功率，单位为千瓦（kW）；

UI —— 系统的输出功率，单位为千瓦（kW）；

m_{H_2} —— 氢气流量，单位为克每秒（g/s）。

9.2.11 启动时间测试

室温条件下启动系统，用存储示波器测量输出功率从 0% 到稳定 80% 额定值的时间和 0% 到稳定 100% 额定值的时间。

试验结果要求满足应小于 2min。

9.2.12 监控功能试验

按以下步骤进行试验：

a) 检查系统有无 RS232、RS485、CAN 等标准通信接口。

b) 检查系统远程监控的内容

试验结果要求满足系统运行时通讯正常、远程监控正常。

9.2.13 连续运行性能试验

系统输出为额定负载条件下连续运行，记录系统能正常运行的时间。

试验结果要求满足系统应能正常连续运行不少于 24h。

9.2.14 高低温试验

9.2.14.1 高温工作试验

按照 GB/T2423.2-2008《电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法试验 B：高温》中“试验 Bd”进行试验。

对室内型系统试验温度为 $(40 \pm 3)^\circ\text{C}$ ，系统应能在此环境温度下正常工作。

对室外型系统试验温度为 $(55 \pm 3)^\circ\text{C}$ ，系统应能在此环境温度下正常工作。

9.2.14.2 低温工作试验

按照 GB/T2423.1-2008《电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法试验 A：低温》中“试验 Ad”进行试验。

对室内型系统试验温度为 $(0 \pm 3)^\circ\text{C}$ ，系统应能在此环境温度下正常工作。

对室外 I 型系统试验温度为 $(-40 \pm 3)^\circ\text{C}$ ，系统应能在此环境温度下正常工作。

对室外 II 型系统试验温度为 $(-10 \pm 3)^\circ\text{C}$ ，系统应能在此环境温度下正常工作。

9.2.15 绝缘试验

用绝缘电阻测试仪直流 500V 和交流 500V 的测试电压，分别测量 DC/AC 变换单元输入和输出端对地的阻值。

试验结果要求满足系统绝缘阻值应大于 $5\text{M}\Omega$ 。

9.2.16 接地性能试验

按以下步骤进行试验：

被测系统保持完整电路，从系统内选取距接地点最远线束端测量接地电阻值。

试验结果要求满足接地电阻小于 10Ω 。

9.2.17 寿命试验

系统输出额定功率，完成以下试验条款之一，当输出功率下降到额定功率的 80%以下时寿命终止。

a) 系统累计运行 1500 小时时检查能否正常启动并输出 80%额定功率。

b) 系统额定功率运行 30min，停止 30min，完成上述循环 500 次。

试验结果要求满足系统输出功率下降到 80%以下时，设计寿命不小于 5 年，累计工作时间不少于 1500h，累计开关次数不少于 500 次。

参 考 文 献

- [1] 《氢燃料电池》 化学工业出版社 衣宝廉、俞红梅、侯中军等著；
- [2] 《太阳能光伏发电系统原理与应用技术》化学工业出版社 何道清、何涛、邓勇编著。