

文档

测试报告

规范性测试 · 报告编号 MUAN-BUSBAR-BENCH-V1 / R4-HW-001

PDF 版测试报告

可下载、可打印，供招投标/验收使用（A4 格式）

[下载测试报告 PDF](#)

本页把沐安的核心算法与硬件接入测试，整理为**规范性测试报告**格式：每项含**报告编号、测试条件、方法、数据、判定**，并标注**固件/脚本版本与时间**——满足“哪版固件、哪个信号、哪种边界条件”的可审计要求。

报告一：Busbar AI 基准测试（MUAN-BUSBAR-BENCH-V1）

报告要素	内容
------	----

报告编号	MUAN-BUSBAR-BENCH-V1
------	----------------------

测试对象	Busbar 汇流母排 AI 健康检测算法
------	-----------------------

数据来源	模拟物理模型（可复现，随机种子 20260813）+ 端侧液网络实训练
------	-------------------------------------

参考路线	LTC 液时间常数网络（Hasani et al. 2020, MIT）
------	--------------------------------------

测试周期	分实验室 / 实车 / 端侧三阶段
------	-------------------

脚本版本	busbar-benchmark.mjs（仓库可复现）
------	-----------------------------

1. 测试用例（11 项）

用例	规模	验证点
T1 接触电阻标注	300 组 (10~500 $\mu\Omega$)	回归精度
T2 SOH 老化等级	20 组 (5 级)	健康度评分一致性
T3 失效模式分类	1500 组 (5 类 @24h)	分类识别
T4 早期失效	50 早期 + 150 正常	微弱失效检出
T5 老化曲线	8 组 (加速至失效)	提前预警量
T6 连接器松脱	6 组 (振动台)	机械失效预警

用例	规模	验证点
T7 动态工况	100h (无失效)	误报率
T8 宽温扫描	-20~60°C × 300	环境适应性
T9 振动工况	120 组 (三级路面)	抗干扰
T10 边缘网关	车规 ARM + 1 TOPS	端侧性能
T11 低算力 MCU	Cortex-M4 256KB	工程落地

2. 关键结果与判定

指标	结果	判定阈值	结论
接触电阻 MRE	0.23%	≤0.5%	通过 (虚拟微欧计)
早期失效检出率	92%	≥90%	通过
早期失效误报率	2.7%	≤3%	通过
分类准确率 (云端)	98.7%	≥95%	通过
分类准确率 (端侧)	90.9%	≥88%	通过
焊接失效提前预警	120.8 天	≥60 天	通过 (7.7 倍)
连接器松动预警	45.7 小时	≥24 小时	通过
动态工况误报率	5.3%	≤10%	通过
宽温漂移	3.3pp	≤5pp	通过
振动工况误报	2.5%	≤8%	通过
端侧模型体积	353 参数 / 0.84KB	≤4KB	通过
MCU 推理延迟	1.3ms	≤5ms	通过

综合判定：11 项基准测试全部达标。数据来源可复现 (固定随机种子)，脚本 `busbar-benchmark.mjs` 可本地运行复核。

报告二：硬件在环测试 (R4-HW-001)

报告要素	内容
报告编号	R4-HW-001
测试对象	Arduino Uno R4 WiFi (ESP32-S3) 数据源 → 平台协议层

报告要素	内容
网络栈	WiFiS3.h + WiFiSSLClient.h (TLS 校验)
协议	BYD-BMS 报文 (帧头 0x5A + SOC/温度/单体电压/绝缘)
上报端点	POST /api/ingest/decode (HTTPS)
固件版本	Arduino_R4_WiFi_Battery_Source.ino

用例	SOC	温度℃	解码结果
正常行驶	70	30.0	逐位一致
过温 45℃	60	46.0	逐位一致
过温 52℃	60	52.0	逐位一致
压差 0.37V	60	35.0	逐位一致
绝缘偏低	60	35.0	逐位一致
SOC 过低	8	35.0	逐位一致

综合判定：端到端 **6/6** 解码通过——真实微控制器帧流可被平台协议层实时接收解析，SOC/温度/单体电压/绝缘逐位还原。可复现脚本 `e2e-decode-live.mjs`。

如何复核

- `node hardware/r4_wifi_battery_source/verify-byd-frame.mjs` — 帧解码 (3/3)
- `node hardware/r4_wifi_battery_source/verify-alarms.mjs` — 告警判级 (6/6)
- `node hardware/r4_wifi_battery_source/e2e-decode-live.mjs` — 端到端 (6/6)
- Busbar 基准: `scripts/busbar-benchmark.mjs` (含 11 项用例与判定)

本报告为**自测验证**结果。如需**第三方检测 (CMA/CNAS) 或 UL/IEC 认证**等强资质，可在本技术基础上引入权威机构——本报告证明底层能力已达行业标准要求的量化水平。