

ICS

CCS 点击此处添加 CCS 号



中华人民共和国汽车行业标准

XX/T XXXXX—XXXX

电动汽车动力电池管理系统模拟前端芯片 技术要求及试验方法

Technical requirements and testing methods for Analog Front End chip of Electric
Vehicle Power Battery Management System

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

草案版次选择

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。

2022 - XX - XX 发布

2022 - XX - XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发 布

电动汽车动力电池管理系统模拟前端芯片技术要求及试验方法

1 范围

本标准规定了电动汽车动力电池管理系统模拟前端芯片技术要求及试验方法；
本标准适用于电动汽车用动力电池管理系统模拟前端芯片；

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 19596-2017 电动汽车术语
GB/T xxxx 阻燃等级
GB/T 34590 功能安全
GB/T 28046.4-2011
GB/T 21437.3-2021
GB/T 33014.2
GB/T 33014.4
GB/T 33014.8
GB/T 33014.9
GB/T 17626.4-2018
GB/T 18655-2018
GB/T 19951

3 术语和定义

GB/T 19596-2017界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

模拟前端 Analog Front End

对信号源给出的模拟信号进行处理，将其数字化，具有多路模拟开关、电平转换、数模转换以及数字逻辑控制等模块。在本文件中特指，用于电动汽车动力电池管理系统用的模拟前端芯片；

3.2

电池监控单元 Cell Monitor Unit

将模拟前端芯片按照典型推荐电路设计，并通过生产制造得到的电路模块；

3.3

热插拔 Hot Plug

指带电插拔，在不关闭系统电源的情况下，将模块插入或拔出系统；对于模拟前端芯片特指将串联电池组接入电池监控单元的动作。

4 缩略语和符号

4.1 缩略语

表1规定的缩略语适用于本文件。

表1 本文件使用的缩略语说明

缩略语	说明
AFE	模拟前端，Analog Front End
CMU	电池监控单元，Cell Monitor Unit

4.2 符号

表2规定的符号适用于本文件。

表2 本文件使用的符号说明

符号	说明
N	AFE设计的电池电压采样通道数；
N _{MIN}	AFE最低可配置的电池电压采样通道数；
N _{MAX}	AFE最高可配置的电池电压采样通道数；
T _A	AFE运行的环境温度；
V _{PWR}	AFE的供电电压；
I _{SHDN}	AFE关断状态下的供电电流；
I _{SLP}	AFE休眠状态下的供电电流；
I _{ACT}	AFE运行状态下的供电电流；
ΔI _{diff}	一条菊花链通信回路中AFE运行状态电流差异，至少包括64节点；
V _{CELL_ACC}	AFE电池电压采样通道测量精度
V _{TEMP_ACC}	AFE电池温度采样通道测量精度
I _{CB}	AFE均衡电流
T _{SHDN2ACT}	由关断状态变成到运行状态的过渡时间
T _{SLP2ACT}	由休眠状态变成到运行状态的过渡时间
IsoSPI _{BUAD}	菊花链通信速率
IsoSPI _{No.}	菊花链通信节点个数
T _{CELL_SYN}	电池电压采样的同步性
T _{CELL_RT}	电池电压采样的实时性

批注 [SH1]: 不是所有菊花链都是基于 SPI 的 所以 isoSPI 不见得合适； 另外只规定物理层速率没有用， 要看比如 100Scell 多长时间从 MCU 发命令到收到所有数据。

5 技术要求

5.1 功能参数要求

5.1.1 运行环境温度要求

AFE 芯片运行环境温度应满足-40℃~+125℃，或由芯片制造商与应用方协商确定。

批注 [SH2]: 是否真的需要 125C。

5.1.2 供电电压范围要求

AFE 芯片供电电压范围应满足表 3。

表3 AFE芯片供电电压范围要求

参数		指标说明	指标要求
供电电压	V _{PWR}	供电电压超过压	V _{PWR} ≥(6.25*N)V
		供电电压过压	(5*N)V< V _{PWR} <(6.25*N)V

批注 [SH3]: 这个的定义依据是什么？ 6.25V 对于 4.3V 电压来说过高，造成芯片资源浪费过设计
对于不同电化学体系是否有不一样的要求？

		供电电压正常	$(1.5 \cdot N_{\text{MIN}})V \leq V_{\text{PWR}} \leq (5 \cdot N)V$
		供电电压欠压	$(1 \cdot N_{\text{MIN}})V \leq V_{\text{PWR}} < (1.5 \cdot N_{\text{MIN}})V$
		供电电压超欠压	$-0.3V \leq V_{\text{PWR}} < (1 \cdot N_{\text{MIN}})V$
		反向电压	$V_{\text{PWR}} < -0.3V$

5.1.3 供电电流范围要求

AFE 芯片供电电流范围应满足表 4。

表4 AFE芯片供电电流范围要求

参数		指标说明	指标要求
供电 电 流	I _{SHDN}	关断状态	$\leq 30\mu\text{A}$
	I _{SLP}	休眠状态	$\leq 100\mu\text{A}$
	I _{ACT}	运行状态（包含采样，均衡，诊断，通信功能）	$\leq 15\text{mA}$
	ΔI_{diff}	芯片间运行电流差异，32 节点	$\leq 1\text{mA}$

批注 [SH4]: 100uA 这个要求还是合理的，虽然 BM20 达不到。

可以问问温度范围，是否可以 65C 环境温度。

批注 [SH5]: 什么样的通信 load，频率。是平均电流？

批注 [SH6]: 几 sigma？这个非常重要

5.1.4 电压采样通道精度要求

AFE 芯片电池电压采样通道测量精度应满足表 5。

表5 电池电压采样通道测量精度要求

参数		指标说明	指标要求
电压采样 通道测量 精度	V _{CELL_ACC}	3.0V to 3.6V, T _A =25°C	$-1\text{mV} \leq V_{\text{CELL_ACC}} \leq 1\text{mV}$
		3.0V to 3.6V, -20°C ≤ T _A ≤ +65°C	$-3\text{mV} \leq V_{\text{CELL_ACC}} \leq 3\text{mV}$
		1.5V to 5.0V, -40°C ≤ T _A ≤ +125°C	$-5\text{mV} \leq V_{\text{CELL_ACC}} \leq 5\text{mV}$
		0.0V to 5.5V, -40°C ≤ T _A ≤ +125°C	$-10\text{mV} \leq V_{\text{CELL_ACC}} \leq 10\text{mV}$

批注 [SH7]: 几 sigma 是 end of life，焊接后？

批注 [SH8]: 这个范围是不是 25mV 就够了？

5.1.5 电池温度采样精度要求

AFE 芯片电池温度采样通道测量精度应满足表 6。

表6 电池温度采样通道测量精度要求

参数		指标说明	指标要求
温度采样 通道测量 精度	V _{TEMP_ACC}	0.0V to 5.0V, +25°C	$-5\text{mV} \leq V_{\text{TEMP_ACC}} \leq 5\text{mV}$
		0.0V to 5.0V, -20°C to +65°C	$-10\text{mV} \leq V_{\text{TEMP_ACC}} \leq 10\text{mV}$
		0.0V to 5.0V, -40°C to +125°C	$-15\text{mV} \leq V_{\text{TEMP_ACC}} \leq 15\text{mV}$

批注 [SH9]: 这个指标看起来太差了，用这个很那测准 NTC 温度把

批注 [SH10]: 这个一般都是 rationmatic 的，用 mv 是不是不太合适？

5.1.6 均衡电流要求

AFE 芯片均衡电流应满足表 7。

表7 均衡电流要求

参数		指标说明	指标要求
均衡电流	I_{CB}	均衡全开, $T_A=85^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{rise}}\leq 25^{\circ}\text{C}$;	$\geq 150\text{mA}$

5.1.7 唤醒时间要求

AFE 芯片唤醒时间应满足表 8。

表8 唤醒时间要求

参数		指标说明	指标要求
唤醒时间	T_{SHDN2ACT}	从关断状态到运行状态	$\leq 5\text{ms}$
	T_{SLP2ACT}	从休眠状态到运行状态	$\leq 300\mu\text{s}$

5.1.8 菊花链通信参数要求

AFE 芯片菊花链通信参数应满足表 9。

表9 菊花链通信参数要求

参数		指标说明	指标要求
菊花链通信	$I_{\text{soSPIBUAD}}$	菊花链通信速率	$\geq 2\text{Mbps}$
	$I_{\text{soSPINo.}}$	菊花链通信节点个数	≥ 32 个

5.1.9 电池电压采样时间参数要求

AFE 芯片电池电压采样时间参数应满足表 10。

表10 菊花链通信参数要求

参数		指标说明	指标要求
电池电压	$T_{\text{CELL_SYN}}$	电池电压同步性	$\leq 200\mu\text{s}$
采样时间	$T_{\text{CELL_RT}}$	电池电压实时性	$\leq 10\text{ms}$

5.2 功能要求

5.2.1 基本功能要求

AFE 芯片的基本功能要求见表 11。

表11 AFE芯片基本功能要求

功能名称		工作模式		
		关断状态	休眠状态	运行状态
采样功能	电池电压采样	×	×	√
	电池温度采样	×	×	√
	模组总压采样	×	×	√
均衡功能	内部均衡	×	√	√
	外部均衡	×	√	√

批注 [SH11]: 均衡全开（不是奇偶开）对 AFE 成本很不友好，对于后续 AFE、电动车降，行业都不利。

被动均衡反正都很慢，均衡的系统需求在哪里。快一点慢一点有多大区别？

是否可以规定效率：只要在单位时间内实现多少电荷被均衡掉，无论奇偶还是全开。

感觉这个过设计了。
是否可以 65°C ambient
另外如果 18S，4.2V 一节，150mA，从板上功耗 10W 以上，这个从板子是否可以承受？

很多时候过大的均衡电流被系统散热限制住了。

批注 [SH12]: 同上

批注 [SH13]: 这个系统要求在哪。欧美很多都是 500us-1ms 要求。

Pack 总电流的变化率也没有这么快，
从电池算法上看，1ms 同步性和 500us、200us 有多大区别？

批注 [SH14]: 很多时候 MCU 50-100ms 读一次电压，这个实时性怎么理解？

通讯功能	反向唤醒	√	√	×
	环形通讯	√	√	√
诊断功能	电池电压采样线开路	×	×	√
	电池均衡回路开/短路	×	×	√
	芯片通讯故障	×	×	√
告警功能	电池电压过压	×	√	√
	电池电压欠压	×	√	√
	电池温度过温	×	√	√
	芯片过温告警	√	√	√

批注 [SH15]: 为什么 AFE 关断状态需要反向唤醒? 休眠状态更合适吧

5.2.2 可选功能要求

AFE 芯片的可选功能要求见表 12。

表 12 AFE 芯片可选功能要求

功能名称		工作模式		
		关断状态	休眠状态	运行状态
采样功能	铜巴采样	×	×	√
	电流采样	×	×	√
保护功能	电池过流（电流采样适用）	√	√	√
诊断功能	供电电压线正极开路	×	×	√
	供电电压线负极开路	×	×	√
	电池电压采样线漏电流	×	×	√
	芯片相邻采样引脚短路	×	×	√

5.3 阻燃等级要求

AFE 芯片按 GB/T 5169.9-2021 进行阻燃等级试验，应满足阻燃等级 U94-V0 要求；

5.4 功能安全要求

AFE 芯片按 GB/T 34590 进行功能安全设计，功能安全 ASIL 等级由芯片制造商与应用方协商确定；

5.5 电气适应性能

5.4.1 静电抗扰

AFE 芯片层级静电抗扰能力应满足表 13 的电压等级

表 13 AFE 芯片层级静电抗扰等级要求

静电模型	电压等级	参考标准
------	------	------

人体模型（HBM）	±2000V	JESD22-A114/ AEC-Q100-002
带电设备模型（CDM）	±500V (all pins) ±750V (for corner pins)	JESD22-C101/ AEC-Q100-011

5.4.2 热插拔

AFE 芯片按 6.3.1 进行试验，功能状态等级达到附录 A 中规定的 A 级。

5.6 环境适应性能

5.6.1 低温性能

5.6.1.1 AFE 芯片按 6.4.1.1 进行低温贮存试验，功能状态应满足附录 A 中规定的 A 等级。

5.6.1.2 AFE 芯片按 6.4.1.2 进行低温运行试验，功能状态应满足附录 A 中规定的 A 等级。

5.6.2 高温性能

5.6.2.1 AFE 芯片按 6.4.2.1 进行高温贮存试验，功能状态应满足附录 A 中规定的 A 等级。

5.6.2.2 AFE 芯片按 6.4.2.2 进行高温运行试验，功能状态应满足附录 A 中规定的 A 等级。

5.6.3 温度梯度

AFE 芯片按 6.4.3 进行温度梯度试验，功能状态应满足附录 A 中规定的 A 等级；

5.6.4 温度循环

AFE 芯片按 6.4.4 进行温度循环试验，功能状态应满足附录 A 中规定的 A 等级；

5.6.5 湿热循环

AFE 芯片按 6.4.5 进行湿热循环试验，功能状态应满足附录 A 中规定的 A 等级。

注：对于安装在外壳内的受试对象，外壳防护等级达到 IP67 以上，可不进行该试验。

5.7 电磁兼容性能

5.7.1 信号线瞬态耦合抗扰度

AFE 芯片按 6.5.1 进行试验，功能状态应满足附录 A 中规定的 A 等级要求。

5.7.2 高压电源线传导瞬态抗扰度

5.7.2.1 AFE 芯片按 6.5.2.1 进行试验，功能状态应满足附录 A 中规定的 A 等级要求。

5.7.2.2 AFE 芯片按 6.5.2.2 进行试验，功能状态应满足附录 A 中规定的 A 等级要求。

5.7.3 电磁辐射抗扰度

5.7.3.1 AFE 芯片按 6.5.3.1 进行试验，功能状态应满足附录 A 中规定的 A 等级要求。

注：对于安装在外壳内的受试对象，需在试验报告中注明外壳材质。

5.7.3.2 AFE 芯片按 6.5.3.2 进行试验，功能状态应满足附录 A 中规定的 A 等级要求。

5.7.3.3 AFE 芯片按 6.5.3.3 进行试验，功能状态应满足附录 A 中规定的 A 等级要求。

注：对于安装在外壳内的受试对象，需在试验报告中注明外壳材质。

5.7.3.4 AFE 芯片按 6.5.3.4 进行试验，功能状态应满足附录 A 中规定的 A 等级要求。

注：对于安装在外壳内的受试对象，需在试验报告中注明外壳材质。

5.7.4 电快速脉冲群抗扰度

AFE 芯片按 6.5.4 进行试验，功能状态应满足附录 A 中规定的 A 等级要求。

5.7.5 浪涌抗扰度

AFE 芯片按 6.5.5 进行试验，功能状态应满足附录 A 中规定的 C 等级要求。

5.7.6 传导发射-电流法

AFE 芯片按 6.5.6 进行试验，功能状态应满足附录 A 中规定的 A 等级要求。

5.7.7 辐射发射

AFE 芯片按 6.5.7 进行试验，功能状态应满足附录 A 中规定的 A 等级要求。

注：对于安装在外壳内的受试对象，需在试验报告中注明外壳材质。

5.7.8 静电放电

AFE 芯片按 6.5.8 进行试验，功能状态应满足附录 A 中规定的 A 等级要求。

6 试验方法

6.1 试验条件

6.1.1 环境条件

如无特殊规定，所有试验应在下列环境条件进行：

- 室温温度：23℃±5℃；
- 相对湿度：20%RH~80%RH；
- 大气压力：86kPa~106kPa；
- 海拔高度：不超过 1000m，若超过 1000m，应按 GB/T 18488.1-2015 的有关规定修正。

6.1.2 供电电压

如无特殊规定，所有试验应在下列电压条件进行：

- 单体电池电压：3.65V；
- 总供电电压：(3.65*N)V

6.1.3 仪表或设备精度

所有测试仪表、设备应具备足够的精度和准度，设定值误差不高于表 14 规定。

表 14 设定值误差

参数	误差
频率	±1%
温度	±1℃
相对湿度	±5%
单体电压	±1mV
电流	±0.5%
时间	+1min

6.1.4 试验规定

- 6.1.4.1 将模拟前端芯片按典型电路设计成电池监控单元（CMU）；
- 6.1.4.2 将 CMU 按正常工作要求装配，或通过模拟系统提供 CMU 工作所需条件和需要检测的电气信号；
- 6.1.4.3 正确安装、布置检测设备，准确的探测系统的电压、电流和温度等信号；
- 6.1.4.4 将 CMU 采集的数据与检测设备的对应数据进行比较，并记录；
- 6.1.4.5 使用模拟系统测试时，如模拟系统无法满足测试设定值要求，可由应用方和制造商协商确定，差异性内容需在试验报告中说明。

6.2 功能参数试验方法

6.2.1 供电电压范围测试

- AFE 芯片按如下试验方法，进行供电电压范围验证。
- a) 将试验样品放置在温箱中，然后调整温箱温度到达指定的温度值；
 - b) 给试验样品通电，调整单体电池电压到指定值，检查试验样品功能是否符合规定要求；
 - c) 当试验样品的温度达到稳定后，在该条件下保持规定的运行时间；
 - d) 运行过程中，实时监控试验样品工作状态是否符合规定要求。
- 样品数量：6；
- 运行时间：24h；
- 环境温度和供电电压组合：见表 15；

表 15 环境温度和供电电压组合

环境温度	供电电压
-40℃	1.50V* N _{MIN}
+125℃	1.50V* N _{MIN}
-40℃	5.00V* N _{MAX}
+125℃	5.00V* N _{MAX}
+25℃	3.65V* N _{MAX}

6.2.2 供电电流范围测试

AFE 芯片按如下试验方法，进行供电电流范围验证。

- a) 将试验样品放置在温箱中，然后调整温箱温度到达指定的温度值；
- b) 给试验样品通电，调整单体电池电压到指定值，检查试验样品功能是否符合规定要求；
- c) 当试验样品的温度达到稳定后，设置试验样品进入关断状态；
- d) 在该条件下保持规定的运行时间；
- e) 运行过程中，实时监控试验样品工作电流，并记录；
- f) 重复 a 到 e 过程，完成休眠状态，运行状态电流测试。

——样品数量：6；
——运行时间：15min；
——环境温度和供电电压组合：见表 15；

6.2.3 电池电压采样精度测试

AFE 芯片按如下试验方法，进行电池电压采样精度验证。

- a) 将试验样品放置在温箱中，然后调整温箱温度到达指定的温度值；
- b) 给试验样品通电，调整单体电池电压到指定值，检查试验样品功能是否符合规定要求；
- c) 当试验样品的温度达到稳定后，开始读取试验样品采集到的单体电池电压值；
- d) 将试验样品采集到的电压值与检测设备值进行比较，并记录；
- e) 重复 a 到 d 过程，完成所有设定温度下的电压采样精度测试。

——样品数量：32；
——样品配置串数：N_{MAX}；
——样品状态：已完成 1000h@+125℃条件下老化的样品，老化条件参考 **AECQ-100**
——运行时间：1min；
——环境温度和供电电压组合：见表 16；

表 16 环境温度和单体电池电压组合

环境温度	单体电压值
-40℃	0.5V、1.5V、3.0V、3.3V、3.6V、4.25V、5.0V
-20℃	0.5V、1.5V、3.0V、3.3V、3.6V、4.25V、5.0V
0℃	0.5V、1.5V、3.0V、3.3V、3.6V、4.25V、5.0V
+25℃	0.5V、1.5V、3.0V、3.3V、3.6V、4.25V、5.0V
+65℃	0.5V、1.5V、3.0V、3.3V、3.6V、4.25V、5.0V
+85℃	0.5V、1.5V、3.0V、3.3V、3.6V、4.25V、5.0V
+105℃	0.5V、1.5V、3.0V、3.3V、3.6V、4.25V、5.0V
+125℃	0.5V、1.5V、3.0V、3.3V、3.6V、4.25V、5.0V

6.2.4 电池温度采样精度测试

AFE 芯片按如下试验方法，进行电池温度采样精度验证。

- a) 将试验样品放置在温箱中，然后调整温箱温度到达指定的温度值；
- b) 给试验样品通电，调整温度采样通道输入电压指定值，检查试验样品功能是否符合规定要求；
- c) 当试验样品的温度达到稳定后，开始读取试验样品采集到的温度采样通道电压值；
- d) 将试验样品采集到的电压值与检测设备值进行比较，并记录；
- e) 重复 a 到 d 过程，完成所有设定温度下的温度采样通道电压值精度测试。

——样品数量：32；

——样品状态：已老化 1000h，+125℃的样品，老化条件参考 **AECQ-100**

——运行时间：1min；

——环境温度和供电电压组合：见表 17；

表 17 环境温度和温度采样通道输入电压组合

环境温度	温度采样通道输入电压值
-40℃	0.5V、1.5V、3.0V、3.3V、3.6V、4.25V、5.0V
-20℃	0.5V、1.5V、3.0V、3.3V、3.6V、4.25V、5.0V
0℃	0.5V、1.5V、3.0V、3.3V、3.6V、4.25V、5.0V
+25℃	0.5V、1.5V、3.0V、3.3V、3.6V、4.25V、5.0V
+65℃	0.5V、1.5V、3.0V、3.3V、3.6V、4.25V、5.0V
+85℃	0.5V、1.5V、3.0V、3.3V、3.6V、4.25V、5.0V
+105℃	0.5V、1.5V、3.0V、3.3V、3.6V、4.25V、5.0V
+125℃	0.5V、1.5V、3.0V、3.3V、3.6V、4.25V、5.0V

6.3 电气适应性性能

6.3.1 热插拔测试

AFE 芯片按如下试验方法，进行热插拔验证。

- a) 将试验样品按照热插拔试验台架要求，完成模拟试验台架搭建；
- b) 给试验样品通电，调整单体电池电压为指定值，检查试验样品功能是否符合规定要求；
- c) 将试验样品断电，并进行样品残余电荷放电；
- d) 模拟热插拔工况，依次接入相应的电池通道，所有通道接入完成后，检查样品功能是否正常；
- e) 重复 c 到 d 过程，完成该工况下的热插拔试验要求；
- f) 重复 c 到 e 过程，完成其余热插拔工况的试验要求；

——样品数量：6；

——样品配置串数：N_{MAX}；

——样品状态：经过 6.2.1 试验方案验证，功能状态满足附录 A 中规定的 A 等级要求；

——单体电池电压值：4.25V，可由制造商和应用方协商确定，差异性内容需在试验报告中说明；

- 热插拔次数：不小于 30 次；
- 热插拔工况：可参考附录 B；

6.4 环境适应性能

6.4.1 低温性能

6.4.1.1 低温贮存试验

除本标准另有规定外，按照 GB/T 28046.4-2011 中 5.1.1.1 的试验方法，进行低温贮存试验。在贮存时间结束后，继续在该温度条件下切换试验样品工作模式，检查样品工作模式是否正常切换。

- 样品数量：6；
- 样品状态：经过 6.2.1 试验方案验证，功能状态满足附录 A 中规定的 A 等级要求；
- 环境温度、供电电压和工作模式组合：见表 18；

表 18 低温贮存环境温度、供电电压和工作模式组合

环境温度	供电电压	工作模式
-40℃	1.50V* N _{MIN}	关断状态→运行状态
-40℃	1.50V*N _{MIN}	休眠状态→运行状态
-40℃	5.00V* N _{MAX}	关断状态→运行状态
-40℃	5.00V* N _{MAX}	休眠状态→运行状态

6.4.1.2 低温运行试验

除本标准另有规定外，按照 GB/T 28046.4-2011 中 5.1.1.2 的试验方法，进行低温运行试验。在运行时间结束后，继续在该温度条件下切换试验样品工作模式，检查样品工作模式是否正常切换。

- 样品数量：6；
- 样品状态：经过 6.2.1 试验方案验证，功能状态满足附录 A 中规定的 A 等级要求；
- 环境温度、供电电压和工作模式组合：见表 19；

表 19 低温运行环境温度、供电电压和工作模式组合

环境温度	供电电压	工作模式
-40℃	1.50V* N _{MIN}	运行状态→关断状态
-40℃	1.50V*N _{MIN}	运行状态→休眠状态
-40℃	5.00V* N _{MAX}	运行状态→关断状态
-40℃	5.00V* N _{MAX}	运行状态→休眠状态

6.4.2 高温性能试验

6.4.2.1 高温贮存试验

除本标准另有规定外，按照 GB/T 28046.4-2011 中 5.1.2.1 的试验方法，进行高温贮存试验。在贮存时间结束后，继续在该温度条件下切换试验样品工作模式，检查样品功能是否符合要求。

- 样品数量：6；

- 样品状态：经过 6.2.1 试验方案验证，功能状态满足附录 A 中规定的 A 等级要求；
- 环境温度、供电电压和工作模式组合：见表 20；

表 20 高温贮存环境温度、供电电压和工作模式组合

环境温度	供电电压	工作模式
+125℃	1.50V* N _{MIN}	关断状态→运行状态
+125℃	1.50V*N _{MIN}	休眠状态→运行状态
+125℃	5.00V* N _{MAX}	关断状态→运行状态
+125℃	5.00V* N _{MAX}	休眠状态→运行状态

6.4.2.2 高温运行试验

除本标准另有规定外，按照 GB/T 28046.4-2011 中 5.1.2.2 的试验方法，进行高温运行试验。在运行时间结束后，继续在该温度条件下切换试验样品工作模式，检查样品功能是否符合要求。

- 样品数量：6；
- 样品状态：经过 6.2.1 试验方案验证，功能状态满足附录 A 中规定的 A 等级要求；
- 环境温度、供电电压和工作模式组合：见表 21；

表 21 高温运行环境温度、供电电压和工作模式组合

环境温度	供电电压	工作模式
+125℃	1.50V* N _{MIN}	运行状态→关断状态
+125℃	1.50V*N _{MIN}	运行状态→休眠状态
+125℃	5.00V* N _{MAX}	运行状态→关断状态
+125℃	5.00V* N _{MAX}	运行状态→休眠状态

6.4.3 温度步进

除本标准另有规定外，按照 GB/T 28046.4-2011 中 5.2 的试验方法，进行温度步进试验。

- 样品数量：6；
- 样品状态：经过 6.2.1 试验方案验证，功能状态满足附录 A 中规定的 A 等级要求；
- 温度范围：-40℃ to +125℃；

6.4.4 温度循环

除本标准另有规定外，按照 GB/T 28046.4-2011 中 5.3.1 的试验方法，进行规定变化率的温度循环试验。

- 样品数量：6；
- 样品状态：经过 6.2.1 试验方案验证，功能状态满足附录 A 中规定的 A 等级要求；
- 温度范围：-40℃ to +125℃；

6.4.5 湿热循环

除本标准另有规定外，按照 GB/T 28046.4-2011 中 5.6.2.2 的试验方法，进行湿热循环试验。

- 样品数量：6；
- 样品状态：经过 6.2.1 试验方案验证，功能状态满足附录 A 中规定的 A 等级要求；
- 温度范围：-10°C to +65°C；
- 循环次数：10 次；
- 工作模式：初始为关断状态，当达到最大循环温度时切换为运行状态进行功能试验。

6.5 电磁兼容性能

6.5.1 信号线瞬态耦合抗扰度

按照 GB/T 21437.3-2021 中的试验方法，进行信号线瞬态耦合抗扰度试验，试验严酷等级见表 22。

——耦合位置：单体电压采样线和电池温度采样线；

表 22 信号线瞬态耦合抗扰度试验严酷等级

测试模式	测试电平	测试时间
Fast a(CCC)	-200V	10min
Fast b(CCC)	+200V	10min
Slow +(ICC)	+10V	5min
Slow -(ICC)	+10V	5min

6.5.2 高压电源线传导瞬态抗扰度

6.5.2.1 按照 GB/T 21437.4 (ISO7637-4)中的试验方法，进行脉冲正弦波骚扰（波形 A）试验，试验严酷等级Ⅲ。

6.5.2.2 按照 GB/T 21437.4 (ISO7637-4)中的试验方法，进行低频正弦波骚扰（波形 B）试验，试验严酷等级Ⅲ。

6.5.3 电磁辐射抗扰度

6.5.3.1 按照 GB/T 33014.2(ISO11452-2)中的试验方法，进行电磁辐射抗扰度(ALSE 法)试验，试验严酷等级Ⅲ。

6.5.3.2 按照 GB/T 33014.4(ISO 11452-4)中的试验方法，进行电磁辐射抗扰度(BCI 法)试验，试验严酷等级Ⅳ。

6.5.3.3 按照 GB/T 33014.8(ISO 11452-8)中的试验方法，进行低频磁场抗扰度试验，试验严酷等级Ⅳ。

6.5.3.4 按照 GB/T 33014.9(ISO 11452-9)中的试验方法，进行手持发射机抗扰度试验，试验严酷等级Ⅱ。

6.5.4 电快速脉冲群抗扰度

按照 GB/T 17626.4-2018 中的试验方法，进行电快速脉冲群抗扰度试验，试验严酷等级见表 23。

表 23 电快速脉冲群抗扰度

测试等级	电压峰值/kV	重复频率/kHz
1	0.5	5 或者 100
2	1.0	5 或者 100

3	2.0	5 或者 100
4	4.0	5 或者 100
X	待定	待定

6.5.5 浪涌抗扰度

按照 GB/T 17626.5-2018 中的试验方法，进行浪涌抗扰度试验，试验严酷等级见表 24。

表 24 浪涌抗扰度试验等级

测试等级	开路试验电压 ($\pm 10\%$) /kV
1	0.5
2	1.0
3	2.0
4	4.0
X	待定

6.5.6 传导发射-电流探测法

按照 GB/T 18655-2018 中的试验方法，进行传导发射-电流探测法试验，试验限值 Class3。

6.5.7 辐射发射

按照 GB/T 18655-2018 中的试验方法，进行辐射发射-ALSE 法试验，试验限值 Class3。

6.5.8 静电放电

按照 GB/T 19951 中的试验方法，进行静电放电试验，试验严酷等级见表 25。

表 25 静电放电电压等级

放电模式	接触放电	空气放电
下电模式	$\pm 8\text{kV}$	$\pm 15\text{kV}$
上电模式	$\pm 6\text{kV}$	$\pm 8\text{kV}$

附录 A

(规范性)

功能状态等级定义

A.1 依据被测件受到电磁干扰期间和之后的功能状态，对其分类进行定义。

- 状态 A：试验过程中和试验结束后，DUT的所有功能和参数都满足设计规格要求。
- 状态 B：试验过程中，DUT所有功能都正常，但一项或多项参数指标超出规格。试验结束后，所有参数自动恢复到规定要求。
- 状态 C：试验过程中，DUT的一个或者多个功能无法正常执行。试验结束后，所有功能自动恢复到规定要求。
- 状态 D：试验过程中，DUT的一个或者多个功能无法正常执行，且试验后不能自动恢复到规定要求，需要对DUT进行简单操作或者重新激活。
- 状态 E：试验过程中，DUT的一个或者多个功能无法正常执行，且试验后不能自动恢复到规定要求，需要对DUT进行修理或更换。

注：不通电/关断状态/休眠状态测试的功能状态 A 等级为试验后通电进行判定。

附录 B
(资料性)
热插拔试验方法

- B.1 根据被测 AFE 芯片的最大采样通道数，配置同等数量的串联电池工装；
- B.2 电池工装与 AFE 测试板之间通过回路控制板连接，回路控制板中包含多路可控开关，可由测试上位机进行编程控制；
- B.3 每节电池电压为 4.25V。可由制造商和应用方协商确定，差异性内容需在试验报告中说明；
- B.4 测试上位机控制回路控制板实现如下几种上电时序：
- 1) 顺序
 - 2) 逆序
 - 3) 分组乱序：2 分组/3 分组/4 分组
 - 4) 随机数乱序
- B.5 每组测试不少于 30 次；每次重新上电时，需确保 AFE 芯片外围电路电容完全放电。
- B.6 测试结束后，对 AFE 芯片进行功能性检测，要求满足功能等级 A。同时，需要观察记录测试前后，芯片引脚漏电流大小的变化，确保芯片无异常漏电。

批注 [SH16]: 100% SOC 是否必要？
热插拔一般是电池下线的时候碰到，那个时候 SOC 一般低于 80%？

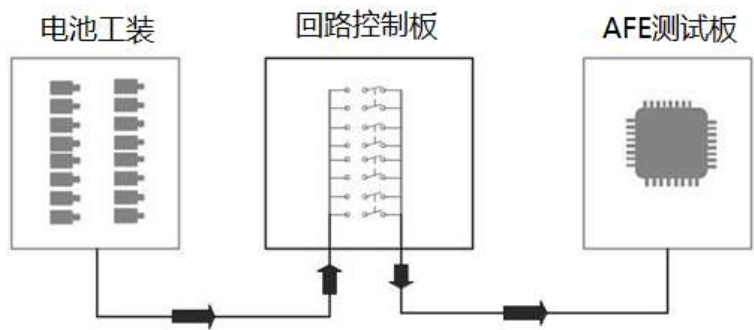


图 B.1 热插拔试验装置示意图