



中华人民共和国汽车行业标准

QC/T XXXXX—XXXX

# 电动汽车用绝缘栅双极晶体管（IGBT）模块 环境试验要求及试验方法

Environmental test requirements and test methods of

IGBT Module for electric vehicles

（征求意见稿）

文稿版次选择

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

## 前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由全国汽车标准化技术委员会（SAC/TC 114）提出并归口。

本标准起草单位：。

本标准主要起草人：。

# 电动汽车用绝缘栅双极晶体管（IGBT）模块环境试验要求及试验方法

## 1 范围

本标准规定了电动汽车用绝缘栅双极晶体管（IGBT）模块环境适应性要求和试验方法。  
本标准适用于电动汽车用IGBT模块，其他半导体器件模块可参考使用。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 755 旋转电机 定额和性能
- GB/T 2423.1 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 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 2423.5 电工电子产品环境试验 第2部分：试验防范 试验Ea和导则：冲击
- GB/T 2423.10 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc：振动（正弦）
- GB/T 2423.22 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验N：温度变化
- GB/T 2423.28 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验T：锡焊
- GB/T 2423.56 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Fh：宽带随机振动（数字控制）
- 和导则
- GB/T 28046.3—2011 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第3部分：机械负荷
- GB/T 29332 半导体器件 分立器件 第9部分：绝缘栅双极晶体管（IGBT）
- IEC 60749-34 半导体器件 机械和环境试验方法 第34部分：功率循环（Semiconductor devices—Mechanical and climatic test methods Part: Power Cycling）

## 3 术语和定义

GB/T 29332界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### IGBT模块 IGBT module

将两个或两个以上IGBT和二极管分立器件或IGBT和二极管芯片按一定的电路结构相连接，用绝缘材料灌封在一个封闭的外壳内的模块。

## 4 符号和缩略语

下列符号和缩略语适用于本文件。

$T_{jop\_max}$ ：运行状态下最高工作结温。

$T_{stgmin}$ ：贮存最低温度。

$T_{stgmax}$ ：贮存最高温度。

$T_j$ ：结温。

$T_a$ ：环境温度。

- $V_{GES}$ : 栅极-发射极间电压。  
 $I_{GES}$ : 栅极-发射极间电流。  
 $V_{CES}$ : 集电极-发射极间电压（可施加最大电压）。  
 $I_{CES}$ : 集电极-发射极间电流。  
 $V_{GE(th)}$ : 栅极-发射极间阈值电压。  
 $V_{CESat}$ : 集电极-发射极间饱和电压。  
 $R_{th}$ : 热阻。  
 $V_F$ : 正向直流电压。  
 $I_F$ : 正向直流电流。  
 $I_C$ : 集电极电流。  
 $t_{on}$ : 导通时间。  
 $t_{off}$ : 关断时间。  
 $T_a$ : 试验箱温度。  
 $V_{CE}$ : 集电极-发射极电压。  
 $V_{GE}$ : 栅极-发射极电压。  
 $I_{CN}$ : 集电极标称电流。  
 USL: 规范手册上限。  
 LSL: 规范手册下限。  
 DUT: 测试样件 (Device Under Test)。  
 PSD: 功率谱密度 (Power Spectral Density)。

## 5 环境适应性要求

### 5.1 外观要求

试验装配前与试验拆卸后的主要检查项目和要求包括:

- IGBT模块壳体无破损;
- IGBT模块连接端子无变形、无氧化;
- IGBT模块的连接可靠;
- IGBT模块紧固件无松脱现象。

### 5.2 特性参数要求

接受判定特性、接受判据和测量条件见表1。

表1 接受判据

序号	特性参数	接受判据	测量条件
1	$I_{CES}$	<USL	规定的 $V_{CE}$
2	$I_{GES}$	<USL	规定的 $V_{GE}$
3	$V_{GE(th)}$	>LSL <USL	规定的 $V_{CE}$ 和 $I_C$
4	$V_{CESat}$	<USL	规定的 $I_C$
5	$V_F$	<USL	规定的 $I_F$
6	$R_{th}$	<USL	规定的 $I_C$

注: 由于某些失效机理引起的特性变化可完全或部分地被其他测量的影响掩盖, 宜以表2列出的顺序测量特性。这些特性通常在公开的详细规范中给出。它们可能超出初始产品试验规定值。

### 5.3 环境适用性试验项目

#### 5.3.1 扫频振动

IGBT模块应进行扫频振动试验，试验按照6.2的规定进行，试验结束后应满足5.1和5.2的要求。

### 5.3.2 随机振动

IGBT模块应进行随机振动试验，试验按照6.3的规定进行，试验结束后应满足5.1和5.2的要求。

### 5.3.3 机械冲击

IGBT模块应进行机械冲击试验，试验按照6.4的规定进行，试验结束后应满足5.1和5.2的要求。

### 5.3.4 高温阻断

IGBT模块应进行高温阻断试验，试验按照6.5的规定进行，试验结束后应满足5.1和5.2的要求。

### 5.3.5 高温栅极偏置

IGBT模块应进行高温栅极偏置试验，试验按照6.6的规定进行，试验结束后应满足5.1和5.2的要求。

### 5.3.6 高温高湿阻断

IGBT模块应进行高温高湿阻断试验，试验按照6.7的规定进行，试验结束后应满足5.1和5.2的要求。

### 5.3.7 功率循环

IGBT模块应进行功率循环试验，试验按照6.8的规定进行，试验结束后应满足5.1和5.2的要求。

### 5.3.8 温度冲击

IGBT模块应进行温度冲击试验，试验按照6.9的规定进行，试验结束后应满足5.1和5.2的要求。

### 5.3.9 温度循环

IGBT模块应进行温度循环试验，试验按照6.10的规定进行，试验结束后应满足5.1和5.2的要求。

### 5.3.10 高温贮存

IGBT模块应进行高温贮存试验，试验按照6.11的规定进行，试验结束后应满足5.1和5.2的要求。

### 5.3.11 低温贮存

IGBT模块应进行低温贮存试验，试验按照6.12的规定进行，试验结束后应满足5.1和5.2的要求。

### 5.3.12 锡焊焊接温度

IGBT模块应进行锡焊焊接温度试验，试验按照6.13的规定进行，试验结束后应满足5.1和5.2的要求。

### 5.3.13 锡焊可焊性

IGBT模块应进行锡焊可焊性试验，试验按照6.14的规定进行，试验结束后应满足GB/T 2423.28规定要求。

## 6 试验方法

### 6.1 试验条件和误差

#### 6.1.1 试验条件

如无特殊规定，所有试验应在下列环境条件下进行：

- 温度：18 ℃~28 ℃
- 相对湿度：45%~75%
- 气压：86 kPa~106 kPa
- 海拔：不超过1000 m，若超过1000 m，应按GB/T 755的有关规定修正。

### 6.1.2 试验设定值误差

试验设定值误差不低于表2的规定，并满足实际测量参数的精度要求。

表2 设定值误差

参数	数值
频率	±1%
温度	±2 ℃
湿度	±5%
电压	±2%
电流	±2%
时间	+ 5%

## 6.2 扫频振动试验

### 6.2.1 试验条件

IGBT模块应经受X、Y和Z三个方向的扫频振动试验，若无特殊规定，根据安装部位，IGBT模块扫频振动的严酷度和试验持续时间应参照GB/T 28046.3-2011的规定。

### 6.2.2 试验程序

扫频振动试验方法按GB/T 2423.10执行，试验程序如下：

- a) 试验前对样品进行编号，按照GB/T 29332对表2中的特性参数进行测试并记录数据；
- b) 选定振动方向，将DUT按数据手册安装要求固定在安装夹具上；
- c) 按照振动条件，设定好振动频率、加速度、时间等参数；
- d) 启动振动台，让DUT开始在一个方向上进行振动试验；
- e) 第一个方向振动结束后，变化DUT的安装方向，重复b)~d)步骤，直至X、Y、Z三个方向试验结束；
- f) 在24 h~48 h之内，按照GB/T 29332对表2中的特性参数进行测试，并整理报告，相应报告记录表见附录A。

## 6.3 随机振动试验

### 6.3.1 试验条件

IGBT模块应经受X、Y、Z三个方向的随机振动试验，若无特殊规定，根据安装部位，IGBT模块的随机振动严酷度和试验持续时间应参照GB/T 28046.3-2011的规定。

### 6.3.2 试验程序

随机振动试验方法按GB/T 2423.56执行，试验程序如下：

- a) 试验前对样品进行编号，按照GB/T 29332对表1中的特性参数进行测试并记录数据；
- b) 选定冲击方向，将DUT固定在安装夹具上；
- c) 按照随机振动条件，设定好频率、加速度、持续时间等参数；
- d) 启动振动台，让DUT开始在一个方向上进行随机振动试验；
- e) 第一个方向随机振动结束后，变化DUT的安装方向，重复b~d步骤，直至X、Y、Z三个方向试验结束；

f) 在24~48小时之内, 按照GB/T 29332对表1中的特性参数进行测试, 并整理报告, 相应报告记录表见附录A。

## 6.4 机械冲击试验

### 6.4.1 试验条件

模块应经受 $\pm X$ ,  $\pm Y$ ,  $\pm Z$ 六个方向的机械冲击试验, 若无特殊规定, 根据安装部位, IGBT模块的机械冲击严酷程度和冲击次数应参照GB/T 28046.3—2011的规定。

### 6.4.2 试验程序

机械冲击试验方法按GB/T 2423.5执行, 试验程序如下:

- 试验前对样品进行编号, 按照GB/T 29332对表1中的特性参数进行测试并记录数据;
- 选定冲击方向, 将DUT固定在安装夹具上;
- 按照机械冲击条件, 设定好加速度、时间、次数等参数;
- 启动振动台, 让DUT开始在一个方向上进行冲击试验;
- 第一个方向冲击结束后, 变化DUT的安装方向, 重复b~d步骤, 直至X、Y、Z三个方向试验结束;
- 在24~48小时之内, 按照GB/T 29332对表1中的特性参数进行测试, 并整理报告, 相应报告记录表见附录A。

## 6.5 高温阻断试验

### 6.5.1 试验条件

高温阻断试验应在下列条件下进行:

- 电压:  $V_{CE} \geq 0.8 \cdot V_{CES}$ ,  $V_{GE} = 0$  V;
- 温度:  $T_j = T_{jop\_max}$ ;
- 时间:  $\geq 1000$  h。

### 6.5.2 试验程序

高温阻断试验方法按GB/T 29332执行, 试验程序如下:

- 试验前对样品进行编号, 按照GB/T 29332对表1中的特性参数进行测试并记录数据;
- 将样品进行栅极、发射极短接, 按照GB/T 29332接线方法将DUT接入测试回路;
- 设置规定的试验电压及温度, 当达到设定值后, 试验开始计时并实施;
- 试验达到规定时间后, 关闭直流电源及烘箱, 样品自然冷却至室温;
- 在24~48小时之内, 按照GB/T 29332对表1中的特性参数进行测试, 并整理报告, 相应报告记录表见附录A。

## 6.6 高温栅极偏置试验

### 6.6.1 试验条件

高温栅极试验应在下列条件下进行:

- 电压:  $V_{GE} = \pm V_{GES}$ ;
- 温度:  $T_j = T_{jop\_max}$ ;
- 时间:  $\geq 1000$  h。

### 6.6.2 试验程序

高温栅极试验方法按GB/T 29332执行, 试验程序如下:

- 试验前对样品进行编号, 按照GB/T 29332对表1中的特性参数进行测试并记录数据;
- 将样品进行集电极、发射极短接, 按照GB/T 29332接线方法将DUT接入测试回路;

- c) 设置规定的试验电压及温度，当达到设定值后，试验开始计时并实施；
- d) 试验达到规定时间后，关闭直流电源及烘箱，取出样品自然冷却至室温；
- e) 在24~48小时之内，按照GB/T 29332对表1中的特性参数进行测试，并整理报告，相应报告记录表见附录A。

## 6.6 高温高湿阻断试验

### 6.7.1 试验条件

高温高湿阻断试验应在下列条件下进行：

- 电压： $V_{CE} \geq 0.8 \cdot V_{CES}$ ， $V_{GE} = 0$  V；
- 湿度：85%RH；
- 温度：85 °C；
- 时间： $\geq 1000$  h。

注：如电压 $V_{CE}$ 无法满足，可按 $V_{CE}=80$  V测试，以上测试条件需供需双方认可。

### 6.7.2 试验程序

高温高湿阻断试验方法按GB/T 2423.5执行，试验程序如下：

- a) 试验前对样品进行编号，按照GB/T 29332对表1中的特性参数进行测试并记录数据；
- b) 将样品进行栅极、发射极短接，按照GB/T 29332接线方法将DUT接入测试回路；
- c) 将接好线的DUT放置于恒温恒湿箱中，设置规定的试验电压、温度及湿度，当达到设定值后，试验开始计时；
- d) 试验达到规定时间到，关闭直流电源及恒温恒湿箱，取出样品自然冷却至室温，静置两小时以上；
- e) 在24~48小时之内，按照GB/T 29332对表1中的特性参数进行测试，并整理报告，相应报告记录表见附录A。

## 6.8 功率循环试验

### 6.8.1 试验条件

功率循环试验条件1：

- 起始温度： $T_{jop\_max} - 100$  °C；
- 温度： $\Delta T_j = 100$  °C；
- 负载电流：第一循环 $\geq 0.85 I_{CN}$ ，第二循环可 $\leq 0.85 I_{CN}$ ；
- 循环数： $\geq 30000$ 次；
- 循环时间： $t_{on} \leq 5$  s， $t_{off} \leq 15$  s；
- 寿命终止判断： $V_{CEsat}$ 增加 $\geq 5\%$ ； $V_F$ 增加 $\geq 5\%$ ； $R_{th}$ 增加 $\geq 20\%$ 。

试验条件1曲线见图1。

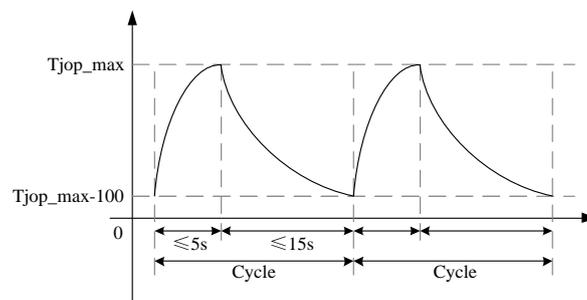


图1 条件1循环示意图

功率循环试验条件2：

- 起始温度:  $T_{jop\_max} - 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- 温度:  $\Delta T_j = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- 负载电流: 第一循环  $\geq 0.85I_{CN}$ , 第二循环可  $\leq 0.85I_{CN}$ ;
- 循环数:  $\geq 10000$ 次;
- 循环时间:  $t_{on} \geq 1.5\text{ min}$ ,  $t_{off} \leq 4.5\text{ min}$ ;
- 寿命终止判断:  $V_{CEsat}$ 增加  $\geq 5\%$ ;  $V_F$ 增加  $\geq 5\%$ ;  $R_{th}$ 增加  $\geq 20\%$ 。

试验条件2曲线见图2。

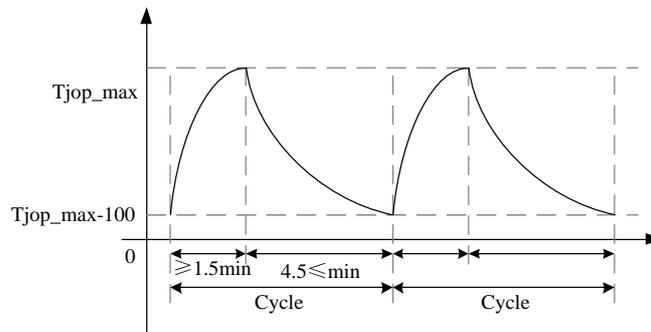


图2 条件2循环示意图

## 6.8.2 试验程序

功率循环试验方法按IEC 60749-34执行, 试验程序如下:

- a) 试验前对样品进行编号, 按照GB/T 29332对表1中的特性参数进行测试并记录数据;
- b) 按照GB/T 29332接线方法将DUT接入试验回路, 并将DUT需固定在散热器上, 安装完毕后, 检查线路;
- c) 给DUT施加小的电流, 确认试验台及试验回路是否工作正常;
- d) 确认正常后, 按试验条件施加大的电流及设定冷却水水温, 依次分别反复调节使其达到规定的试验条件1和条件2;
- e) 试验过程中需要监控 $V_{CEsat}$ 、 $V_F$ 、和 $R_{th}$ , 当 $V_{CEsat}$ 增加  $\geq 5\%$ 、 $V_F$ 增加  $\geq 5\%$ 、 $R_{th}$ 增加  $\geq 20\%$ 任一条件满足时终止试验, 并记录循环次数;
- f) 在24~48小时之内, 按照GB/T 29332对表1中的特性参数进行测试, 并整理报告, 相应报告记录表见附录A。

## 6.9 温度冲击试验

### 6.9.1 试验条件

温度冲击试验应在下列条件下进行:

- 温度:  $T_{stgmin} - T_{stgmax}$ ;
- 循环:  $\geq 1000$ 次;
- 高温存储时间:  $\geq 30\text{ min}$ ;
- 低温存储时间:  $\geq 30\text{ min}$ ;
- 温度转换时间:  $> 5\text{ s}$ 且 $< 30\text{ s}$ ;
- 被测样件: 不带电工作状态。

试验条件曲线见图3。

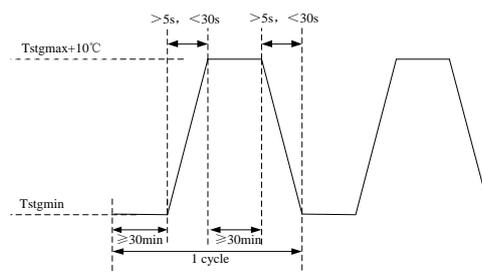


图3 工况循环

## 6.9.2 试验程序

温度冲击试验方法按GB/T 2423.22执行，试验程序如下：

- 试验前对样品进行编号，按照GB/T 29332对表1中的特性参数进行测试并记录数据；
- 将样品放置在温度冲击试验箱中；
- 根据要求的试验条件设置好高低温、驻留时间以及循环数等参数后实施试验；
- 试验结束后，24~48小时之内，按照GB/T 29332对表1中的特性参数进行测试，整理报告，相应报告记录表见附录A。

## 6.10 温度循环试验

### 6.10.1 试验条件

温度循环试验应在下列条件下进行：

- 温度： $T_{stgmin} - T_{stgmax}$ ；
- 循环： $\geq 1000$ 次；
- 高温存储时间： $\geq 30$  min；
- 低温存储时间： $\geq 30$  min；
- 温度变换速率： $\geq 18$  °C/min。

试验条件曲线见图4。

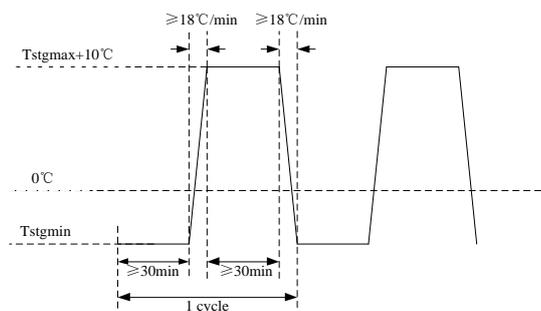


图4 工况循环

### 6.10.2 试验程序

温度循环试验方法按GB/T 2423.22执行，试验程序如下：

- 试件于试验前对样品进行编号，按照GB/T 29332对表1中的特性参数进行测试并记录数据；
- 将样品放置在温度循环试验箱中；
- 根据要求的试验条件设置好高低温、温度变换速率以及循环数等参数后实施试验；
- 试验结束后，24~48小时之内，按照GB/T 29332对表1中的特性参数进行测试，整理报告，相应报告记录表见附录A。

## 6.11 高温贮存试验

### 6.11.1 试验条件

高温贮存试验应在下列条件下进行：

- 温度： $T_a = T_{stgmax}$ ；
- 时间： $\geq 1000$  h。

### 6.11.2 试验程序

高温贮存试验方法按GB/T 2423.2执行，试验程序如下：

- a) 试验前对样品进行编号，按照GB/T 29332对表1中的特性参数进行测试并记录数据；
- b) 按规定设定好试验温度，将产品置于耐高温托盘上，放置于高温烘箱中；
- c) 高温烘箱开始升温，到达设定温度后，试验开始计时；
- d) 试验达到规定时间后，关闭高温烘箱，取出样品自然冷却至室温；
- e) 在24~48小时之内，按照GB/T 29332对表1中的特性参数进行测试，并整理报告，相应报告记录表见附录A。

## 6.12 低温贮存试验

### 6.12.1 试验条件

低温贮存试验应在下列条件下进行：

- 温度： $T_a = T_{stgmin}$ ；
- 时间： $\geq 1000$  h。

### 6.12.2 试验程序

低温贮存试验方法按GB/T 2423.1执行，试验程序如下：

- a) 试验前对样品进行编号，按照GB/T 29332对表1中的特性参数进行测试并记录数据；
- b) 按规定设定好试验温度，将产品置于托盘中，放置于低温箱中；
- c) 低温箱开始降温，当到达设定温度后，试验开始计时；
- d) 试验达到规定时间后，关闭低温箱，取出样品自然升温至室温；
- e) 在24~48小时之内，按照GB/T 29332对表1中的特性参数进行测试，并整理报告，相应报告记录表见附录A。

## 6.13 锡焊焊接温度试验

### 6.13.1 试验条件

锡焊焊接温度试验应在下列条件下进行：

- 温度： $260 \pm 5$  °C；
- 时间： $10 \text{ s} \pm 1 \text{ s}$ 。

### 6.13.2 试验程序

锡焊焊接温度试验方法按GB/T 2423.28执行，试验程序如下：

- a) 试验前对样品进行编号，按照GB/T 29332对表1中的特性参数进行测试并记录数据；
- b) 将焊锡炉升温至规定温度；
- c) 待焊锡炉中焊锡完全熔化后，将焊接端子浸入焊锡中规定的时间；
- d) 将进行过焊接的样品静置于室温环境1个小时以上；
- e) 在24小时之内，按照GB/T 29332对表1中的特性参数进行测试，并整理报告，相应报告记录表见附录A。

## 6.14 锡焊可焊性试验

### 6.14.1 试验条件

锡焊可焊性试验应在下列条件下进行：

- 温度：235±5 ℃；
- 等级：老化等级3。

#### 6.14.2 试验程序

锡焊可焊性试验方法按GB/T 2423.28执行，试验程序如下：

- a) 试验前对样品进行编号；
- b) 将焊锡炉升温至规定温度；
- c) 待焊锡炉中焊锡完全熔化后，将焊接端子浸入焊锡中规定的时间；
- d) 取出样品，将焊接端子放在放大镜下观察上锡面积；
- e) 整理报告，相应报告记录表见附录A。

附 录 A  
(资料性附录)  
试验报告记录表

所有试验项目需进行以下参数检查，试验报告应记录在表A.1中。

表A.1 报告记录表

时间		测试人员		模块编号	
地点					
试验参数	条件	试验前数据	试验后数据	评价标准	结果
$V_{CESat}$					
$V_{GE(th)}$					
$I_{CES}$					
$I_{GES}$					
$R_{th}$					
$V_F$					
外观					