

# 轨道交通牵引用绝缘栅双极晶体管(IGBT)模块技术规范

## 1 范围

本标准规定了轨道交通牵引用IGBT模块的型号、尺寸、额定值、特性值、检验规则、出厂及仓储要求等规范要求。

本标准适用于轨道交通牵引用IGBT模块，电压等级一般为1700V~6500V。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，仅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）适用于本标准。

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 2423.5-1995	电子电工产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ea和导则：冲击
GB/T 2423.10-2008	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 2423.17-2008	电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ka：盐雾
GB/T 2423.22-2012	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 4023-2015	半导体器件 分立器件和集成电路总规范 第2部分：整流二极管
GB/T 4937.3-2012	半导体器件 机械和气候试验方法 第3部分：外部目检
GB/T 4937.4-2012	半导体器件 机械和气候试验方法 第4部分：强加速稳态湿热试验(HAST)
GB/T 7354-2003	局部放电测量
GB/T 29332-2012	半导体器件分立器件 第9部分：绝缘栅双极型晶体管
EN 50439-1:2004	铁路应用-大功率半导体器件可靠性测试 第一部分：标准基板模块

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1

IGBT 模块 IGBT module

由多个IGBT芯片和可能带有的FRD芯片以及其他元器件相连接，并通常用绝缘材料作为外壳封装和具有一定电路功能构成的整体单元。

### 3.2

轨道交通 rail transit

通常以电能为动力，采取轮轨运转方式的大容量公共交通的总称。

3.3

短路电流 short-circuit current

在规定条件的短路工况时流经IGBT器件的电流典型值。

4 型号和尺寸

4.1 型号

IGBT模块的型号以字母和数字等表示，并包含额定电压、额定电流、封装形式、电路形式、以及版本号等信息。

4.2 尺寸

IGBT模块的详细外部及安装尺寸应符合给定型号的要求和订货合同规定。

5 额定值和特性

5.1 额定值

额定值（极限值）应符合表1规定，其中温度条件应规定公差范围。



表 1 额定值

序号	额定值	符号	单位
5.1.1	结温		
5.1.1.1	最高结温	$T_{jmax}$	℃
5.1.1.2	最低结温	$T_{jmin}$	℃
5.1.2	存储温度		
5.1.2.1	最高存储温度	$T_{stgmax}$	℃
5.1.2.2	最低存储温度	$T_{stgmin}$	℃
5.1.3	电压（应规定条件，如时间、频率、温度等）		
5.1.3.1	栅极-发射极短路时，集电极-发射极电压	$V_{CES}$	V
5.1.3.2	集电极-发射极短路时，栅极-发射极电压	$V_{GES}$	V
5.1.3.3	绝缘电压	$V_{iso}$	V
5.1.4	电流（应规定条件，如时间、频率、温度等）		
5.1.4.1	集电极连续电流	$I_C$	A
5.1.4.2	集电极重复峰值电流	$I_{CRM}$	A
5.1.4.3	二极管正向直流电流	$I_F$	A
5.1.4.4	二极管正向重复峰值电流	$I_{FRM}$	A
5.1.5	二极管 $I^2t$ 值	$I^2t$	A <sup>2</sup> s

5.2 特性

特性值应符合表2规定，“√”表示需要提供。

表 2 特性值

序号	特性和条件	符号	数值		
			最小值	典型值	最大值
5.2.1	集电极-发射极饱和电压 ( $T_j=25^\circ\text{C}$ 时和 $T_{j\max}$ 时)	$V_{\text{CESat}}$		√	√
5.2.2	栅极-发射极阈值电压	$V_{\text{GE(th)}}$	√		√
5.2.3	集电极截止电流 ( $T_j=25^\circ\text{C}$ 时和 $T_{j\max}$ 时)	$I_{\text{CES}}$			√
5.2.4	栅极漏电流	$I_{\text{GES}}$			√
5.2.5	二极管正向电压 ( $T_j=25^\circ\text{C}$ 时和 $T_{j\max}$ 时)	$V_{\text{F}}$		√	√
5.2.6	输入电容	$C_{\text{ies}}$		√	
5.2.7	栅极电荷	$Q_{\text{g}}$		√	
5.2.8	反向传输电容	$C_{\text{res}}$		√	
5.2.9	模块电感	$L_{\text{M}}$		√	
5.2.10	栅极内阻	$r_{\text{g}}$		√	
5.2.11	短路电流 (I类和II类短路, 最高工作结温时, 规定测试条件)	$I_{\text{SC}}$		√	
5.2.12	IGBT动态参数 ( $T_j=25^\circ\text{C}$ 时和 $T_{j\max}$ 时, 规定测试条件)	深圳市芯舟电子科技有限公司 Shenzhen Xin Zhou Electronic Technology Co., Ltd.			
5.2.12.1	关断延迟时间	$t_{\text{d(off)}}$		√	
5.2.12.2	下降时间	$t_{\text{f}}$		√	
5.2.12.3	关断能量	$E_{\text{off}}$		√	
5.2.12.4	开通延迟时间	$t_{\text{d(on)}}$		√	
5.2.12.5	上升时间	$t_{\text{r}}$		√	
5.2.12.6	开通能量	$E_{\text{on}}$		√	
5.2.13	二极管动态参数 ( $T_j=25^\circ\text{C}$ 时和 $T_{j\max}$ 时, 规定测试条件)				
5.2.13.1	二极管反向恢复电荷	$Q_{\text{r}}$		√	
5.2.13.2	二极管反向恢复电流	$I_{\text{rr}}$		√	
5.2.13.3	反向恢复损耗	$E_{\text{rec}}$			
5.2.14	IGBT结-壳热阻	$R_{\text{th(j-c) IGBT}}$			√
5.2.15	二极管结-壳热阻	$R_{\text{th(j-c) diode}}$			√
5.2.16	IGBT壳-散热器热阻 (规定散热条件)	$R_{\text{th(c-h) IGBT}}$			√
5.2.17	二极管壳-散热器热阻 (规定散热条件)	$R_{\text{th(c-h) diode}}$			√
5.2.18	质量	$m$		√	
5.2.19	安装力矩	$M$	√		√

表 2 特性值 (续)

序号	特性和条件	符号	数值		
			最小值	典型值	最大值
5.2.20	端子之间爬电距离	/	✓		
5.2.21	相比电痕化指数	CTI	✓		

## 6 试验条件和检验要求

### 6.1 概述

根据检验的频次及是否有破坏性将检验分成A组、B组和C组三组进行,其中A组为出厂试验,ABC组合起来为型式检验。

### 6.2 A组检验

A组为100%逐批检验,所有A组检验都是非破坏性的。

表3 A组检验-逐批

检验		符号	引用标准	检验条件	判据
分组	项目				
A1	外部目检	/	GB/T 4937.3-2012, 4	在正常照明和正常目视条件下	标志完整清晰,表面无机械损伤
A2	集电极-发射极饱和电压	$V_{CE(sat)}$	GB/T 29332-2012, 6.3.2	$T_j=25^{\circ}\text{C}$ 时和 $T_{jmax}$ 时; $V_{GE}=15\text{V}$ ; $I_C$ 为额定值	表2
	栅极-发射极阈值电压	$V_{GE(th)}$	GB/T 29332-2012, 6.3.3	$T_j=25^{\circ}\text{C}$ 时; $V_{GE}=V_{CE}$ ; 规定 $I_C$	
	集电极截止电流	$I_{CES}$	GB/T 29332-2012, 6.3.4	$T_j=25^{\circ}\text{C}$ 时和 $T_{jmax}$ 时; $V_{GE}=0\text{V}$ ; $V_{CE}$ 为额定值	
	栅极漏电流	$I_{GES}$	GB/T 29332-2012, 6.3.5	$T_j=25^{\circ}\text{C}$ 时和 $T_{jmax}$ 时; $V_{GE}=\pm 20\text{V}$ ; $V_{CE}=0\text{V}$	
	二极管正向电压	$V_F$	GB/T 4023-2015, 7.1.2	$T_j=25^{\circ}\text{C}$ 时和 $T_{jmax}$ 时; $I_F$ 为额定值	
	绝缘特性	/	GB/T 7354-2003	$T_j=25^{\circ}\text{C}$ 时; 绝缘电压; 60s	无绝缘击穿
suA3	放电量	/	GB/T 7354-2003	$T_j=25^{\circ}\text{C}$ 时: 第一次测试电压 $V_1=\frac{3\sqrt{2}}{4}V_{CES}$ , 60s; 第二次测试电压 $V_2=\frac{11\sqrt{2}}{20}V_{CES}$ , 30s	第二次测试放电量 $\leq 10\text{pC}$
	短路安全工作区	SCSOA	GB/T 29332-2012, 6.2.6.2	$T_{jmax}$ 时; 规定 $V_{GE}$ (额定值)、 $V_{CE}$ 、栅极配置、线路杂散参数; 栅极脉冲宽度 $t_{pdc} \geq 10\mu\text{s}$ ; 测试1次	是否损坏
	IGBT反向偏置安全工作区	RBSOA	/	按本标准附录B; $T_{jmax}$ 时; 规定 $V_{GE}$ 、 $V_{CE}$ 、栅极配置、线路杂散参数; $I_{C1}$ 为额定值, $I_{C2}$ 为2倍额定值	是否损坏

表3 A组检验-逐批 (续)

检验		符号	引用标准	检验条件	判据
分组	项目				
	二极管反向恢复安全工作区	RRSOA	/	按本标准附录C; $T_{jmax}$ 时; 规定 $V_{GE}$ 、 $V_{CE}$ 、栅极配置、线路杂散参数; FRD关断前导通电流为额定值	是否损坏

## 6.3 B组检验

B组为长周期检验, 并按照表4的规定进行。正常生产定型的产品, 每年至少应作一次B组检验。标有(D)的检验是破坏性的。

表4 B组检验-周期

检验		引用标准	检验方法	判据	抽样方案	
分组	项目				n	c
B1	被动热循环(D)	EN 50439-1:2004	$\Delta T_C=80^\circ\text{C}$ ; 循环周期数: 20000次	满足附录A表A.1及表A.2合格判据要求	6	0
	试后测量		按A2及附录D			
	温度冲击(D)	GB/T 2423.22-2002	试验条件Na; 低温为最低工作温度, 高温为最高工作温度; 高低温暴露时间各为2h; 转移时间小于30s; 循环100次	满足附录A表A.1及表A.2合格判据要求	6	0
	试后测量		按A2及附录D			
B2	稳态湿热(D)	GB/T 4937.4-2012	温度: $85^\circ\text{C}$ , 相对湿度: 85%, 持续时间: 1000h, $V_{GE}=0\text{V}$ , $V_{CE}=80\text{V}$	满足附录A表A.1及表A.2中外观合格判据要求	6	0
	试后测量		按A2			
B3	高温阻断(HTRB)	GB/T 29332-2012, 7.2.5.1	$80\%V_{CES}$ ; $T_{jmax}$ ; 持续时间: 1000小时	满足附录A表A.1合格判据要求	6	0
	试后测量		按A2			
	高温栅极偏置	GB/T 29332-2012, 7.2.5.2	$V_{GE}=20\text{V}$ ; $T_{jmax}$ ; 持续时间: 1000小时	满足附录A表A.1合格判据要求	6	0
	试后测量		按A2			
B4	高温贮存(D)	GB/T 2423.2-2008	$T_{jmax}$ ; 暴露时间: 1000小时	满足附录A表A.1及表A.2中外观合格判据	6	0
	试后测量		按A2			
	低温贮存(D)	GB/T 2423.1-2008	$T_{jmin}$ ; 暴露时间: 1000小时	满足附录A表A.1及表A.2中外观合格判据要求	6	0
	试后测量		按A2			

表4 B组检验-周期 (续)

检验		引用标准	检验方法	判据	抽样方案	
分组	项目				n	c
B5	输入电容	GB/T 29332-2012, 6.3.6	/	满足表2特性值要求	6	0
	栅极电荷	GB/T 29332-2012, 6.3.9	/	满足表2特性值要求	6	0
	反向传输电容	GB/T 29332-2012, 6.3.8	/	满足表2特性值要求	6	0
	栅极内阻	GB/T 29332-2012, 6.3.10	/	满足表2特性值要求	6	0

## 6.4 C组检验

C组检验按表5的规定，产品生产定型前必须通过C组试验，C组检验是破坏性的。

表5 C组检验

检验		引用标准	检验方法	判据	抽样方案	
分组	项目				n	c
C1	功率循环	GB/T 29332-2012, 7.2.5.3	温度 $\Delta T=60^{\circ}\text{C}$ ；循环周 期数：350000次	满足附录A表A.1及表 A.2合格判据要求	6	0
	试后测量		按A2及附录D			
C2	机械振动	GB/T 2423.10-2008	扫频范围：5Hz~500Hz， 加速度幅值：10g，振动 持续时间：6小时，3个 轴上每轴2小时	满足附录A表A.1及表 A.2中外观合格判据要 求	6	0
	试后测量		按A2			
C3	机械冲击	GB/T 2423.5-1995	正弦波，峰值加速度： 100g，脉冲持续时间： 6ms，三个垂直方向每个 方向连续冲击10次	满足附录A表A.1及表 A.2中外观合格判据要 求	6	0
	试后测量		按A2			
C4	盐雾	GB/T 2423.17-2008	工作试验空间温度为 $35^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ ；配置盐溶液 PH值为6.5~7.2；盐溶液 氧化钠质量百分比为 5%；持续时间：168h	满足附录A表A.1及表 A.2中外观合格判据要 求	6	0

表5 C组检验（续）

检验		引用标准	检验方法	判据	抽样方案	
分组	项目				n	c
	试后测量		按A2			

## 7 环境适应性要求

应用环境适应性要求，含海拔、振动、高/低温、湿热、盐雾、污染等要求。

## 8 出厂及仓储要求

### 8.1 产品上的标志

- a) 模块型号；
- b) 识别标志；
- c) 封装批代码；
- d) 厂家代码；
- e) 生产时间代码。

### 8.2 包装盒上的标志

- a) 模块型号；
- b) 制造厂家名称；
- c) 防潮防雨标志；
- d) 防静电标志。

### 8.3 产品出厂参数表

- a) 产品编号；
- b) 出厂测试参数表。

### 8.4 仓储要求

- a) 仓储温度；
- b) 仓储湿度；
- c) 污染等级；
- d) 防静电要求。

**深圳市芯舟电子科技有限公司**  
Shenzhen Xin Zhou Electronic Technology Co., Ltd.

## 附录 A

### (规范性附录)

### 合格判据

表 A.1 周期检验合格判据-电特性

参数	测量条件	合格判定标准	
		下限	上限
$V_{CESat}$	表 3 中 A2 组检验	-	USL*1.2
$V_{GE(th)}$		USL*0.8	USL*1.2
$V_F$		-	USL*1.2
$I_{CES}$		-	USL*2
$I_{GES}$		-	USL*2
放电量		-	USL

表 A.2 周期检验合格判据-其他特性

参数	测量条件	合格判定标准
外观	目检	塑料壳和基板之间没有分离，塑料壳上无裂纹
焊层检测	附录 B	焊层空洞率<10%；衬板金属层与陶瓷层无分离； 衬板陶瓷层内部无裂纹
热阻测试	GB/T 29332-2012, 6.3.13	上限：USL*1.2



## 附录 D

### (规范性附录)

#### IGBT模块焊层检测方法

##### D.1 引言

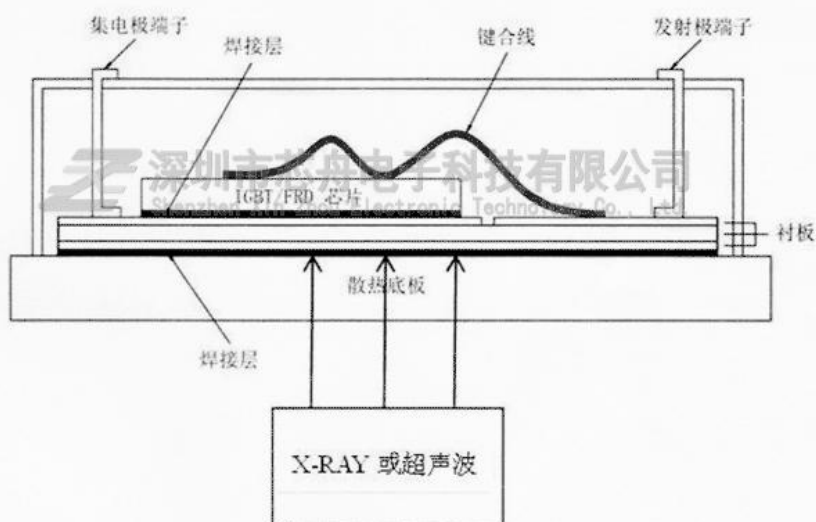
以下检测方法是非破坏性的。

##### D.2 目的

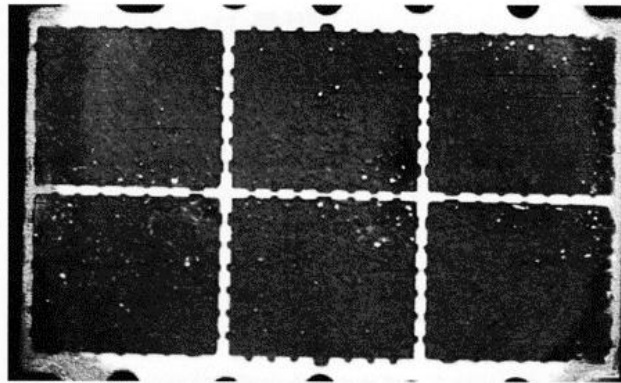
IGBT模块在B、C、D组检验后，模块内部会出现焊层退化、衬板金属层与陶瓷层分离、陶瓷层破坏等现象，需要进行焊层检测。

##### D.3 方法

焊层检测方法如图D.1，采用X射线或超声波对模块内部进行扫描。典型的基板焊层检测结果如图D.2。



图D.1 焊层X-RAY或超声波检测示意图



图D.2基板焊层超声波扫描典型结果图

 **深圳市芯舟电子科技有限公司**  
Shenzhen Xin Zhou Electronic Technology Co., Ltd.