

# 《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》编制说明

（一）工作简况（包括任务来源、主要工作过程、主要参加单位和工作组成员及其所做的工作等

## 1.1 背景

随着国家能源战略导向、油耗政策的影响，电动汽车将在未来占据更大市场，驱动电机系统的地位和传统发动机持平甚至可能取而代之。据发改委的调查数据，2015 年国内主要的 12 家电机和控制器企业，其产能已经达到 70 万套/年，而 2016 年的电动汽车产销量已达 50 万辆。中国不但是传统汽车产销量第一，而且也是世界上最大的电动汽车市场。

电动汽车用电机控制器的核心部件是绝缘栅双极晶体管（IGBT）模块，它在电动汽车产品大规模进入市场后，相应的法律法规也应未雨绸缪，以便规范和引领行业，迎接即将到来的电机控制器产品汹涌大潮。

绝缘栅双极晶体管模块在航空、轨道、工控、汽车等不同领域都有广泛应用，不同应用领域对模块的要求也是不同的，区分不同应用领域模块的关键一项就是环境试验，这一核心技术目前都掌握在国际领先的厂家，但这些厂家标准也不统一。

当前，国内绝缘栅双极晶体管（IGBT）模块行业重点在工业工控领域，逐步开始涉入汽车行业，但对于汽车级 IGBT 模块的要求尚未清晰，没有统一的标准规定，因此有必要建立国内统一的汽车应用 IGBT 模块环境试验标准要求，从而推动国内行业汽车级产品推广和技术升级，保证国内行业与国际厂家同平台竞争，同时为汽车厂家和汽车零部件厂家筛选高可靠汽车级 IGBT 模块器件判断提供了参考。

国标委发布的《半导体器件 分立器件 第 9 部分：绝缘栅双极晶体管（IGBT）》标准是使用翻译法等同采用 IEC 60747-9 的标准，该标准定位为一般通用标准，适用于绝缘栅双极晶体管（IGBT）分立器件，标准给出了绝缘栅双极晶体管（IGBT）的术语、文字符号、基本额定值和特性以及测定方法、部分可靠性试验项目和试验条件等产品特定要求，但未对绝缘栅双极晶体管（IGBT）模块、模块不同应用（工业、汽车等）下的可靠性试验项目和试验条件给出定义，为此，针对电动车用绝缘栅双极晶体管（IGBT）模块环境试验要求和试验方法就尤为重要。

绝缘栅双极晶体管模块环境试验标准可以参考半导体器件和电工电子产品相关的标准，为此调研了半导体器件标准 GB/T 29332-2012《半导体器件 分立器件 第 9 部分：绝缘栅双极晶体管（IGBT）》和电工电子产品环境试验系列标准 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：试验方法 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《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》和 GB/T 2423. 50《环境试验 第 2 部分: 试验方法 试验 Cy: 恒定湿热 主要用于元件的加速试验》。

为推动国内汽车行业以及国内功率模块行业统一汽车级 IGBT 功率模块认识, 建立行业统一认证标准, 工信部下达了 QC/T《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》(计划号 2015-0227T-QC) 制定计划。

## 1.2 前期研究及任务来源

根据行业发展以及电机系统标准体系需要, 起草组申报并着手开展《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》(计划号 2015-0227T-QC) 标准制定工作。主要包括:

1) 认真分析欧洲、日本等国际主流模块厂家汽车级 IGBT 模块环境试验相关标准, 同时与相关负责的技术工程师针对标准细节进行了细致交流, 深入了解和理解了汽车级 IGBT 模块环境试验的项目和试验方法;

2) 积极与国内汽车行业和 IGBT 模块相关行业交流汽车电子和 IGBT 模块传统工业环境试验相关标准, 进一步理解汽车环境试验的特殊性和 IGBT 模块与汽车电子测试的差异性。

## 1.3 主要工作过程

按工作部署部署, QC/T《电动汽车用绝缘栅双极晶体管模块环境试验要求及试验方法》标准制定工作于 2017 年正式启动, 以下是主要工作过程:

■ 2017 年 3 月, 在天津市召开了电动汽车用驱动电机标准研究工作组会议, 会上对标准的原则、编制方案和标准框架做了首次介绍, 会议要求:

(1) 以满足行业管理需求为出发点, 力求简洁实用, 达到筛选电动汽车用绝缘栅双极晶体管(IGBT)模块的目的;

(2) 尽快启动标准草案研究和起草工作。

■ 2017 年 6 月, 在成都市召开了电动汽车用驱动电机标准研究工作组会议, 会上就标准框架、标准内容中的试验项目、试验条件和试验方法展开了交流和讨论, 会议最终要求: 针对会议提出问题进行确认、修改和完善;

■ 2018 年 1 月, 在天津市召开了电动汽车用驱动电机标准研究工作组会议, 会上就标准试验项目、试验条件和试验方法进行了交流讨论, 会议最终要求: 针对会议提出问题进行确认、修改和完善;

■ 2018 年 7 月, 在昆明市召开了电动汽车驱动电机标注研究工作组会议, 会上就标准试验项目、试验条件和试验方法进行了交流讨论, 会议最终要求:

(1) 针对会议提出问题进行确认、修改和完善;

(2) 启动编制说明书起草工作。

■ 2018 年 9 月, 完成征求意见材料, 与 2018 年 9 月 13 日至 10 月 26 日在全国汽车标准化技术委员会官网征求意见, 在此期间共收到 5 个单位及专家的 30 余条意见, 起草组认真查看意见并逐条进行回复, 通过反馈意见对征求意见稿进行完善。

- 2019年3月，起草组完成审查材料，与2019年3月13日在天津对QC/T《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》在内的6项标准进行审查，会上，部分委员认为该标准存在较大质疑，送审稿结构需要进行调整，因此会议并未对该标准进行投票。
- 按照审查会要求，起草组对送审稿结构进行重新调整，并形成征求意见稿，并与2019年7月重新征求意见。

## **（二）标准编制原则和主要内容（如技术指标、参数、公式、性能要求、试验方法、检验规则等）的论据，解决的主要问题，修订标准时应列出与原标准的主要差异和水平对比**

### 1) 编制原则

本标准的编制是为我国电动汽车企业提供能够评价汽车级IGBT模块试验环境要求的统一标准，从而推动国内行业汽车级产品推广和技术升级，保证国内行业与国际厂家同平台竞争，同时为汽车厂家和汽车零部件厂家筛选高可靠汽车级IGBT模块器件判断提供了参考。

### 2) 适用范围

本标准规定了电动汽车用绝缘栅双极晶体管（IGBT）模块环境试验要求和试验方法。

本标准适用于电动汽车用IGBT模块。

### 3) 总体思路

不同领域用绝缘栅双极晶体管（IGBT）模块的一个突出区别是环境试验，在汽车应用领域，国际主流模块厂家都制定了自身的环境试验标准，但这些厂家标准也不统一。这些主流厂家针对功率模块环境试验标准的测试项目是统一的，差别在于试验条件制定的不同，基于此，本标准在充分调研国际主流功率模块环境试验标准基础上，同时结合搭载模块电机控制器环境试验要求和电工电子产品环境试验标准制定电动汽车用绝缘栅双极晶体管模块环境试验要求和试验方法。

### 3) 试验规程

标准总体按照试验准备、试验项目实施，以及试验后接受评价顺序进行试验，其中每项试验项目都按设定试验条件、依照试验方法和试验程序进行试验实施。标准主要试验项目包括扫频振动试验、随机振动试验、机械冲击试验、高温阻断试验、高温栅极偏置试验、高温高湿阻断试验、功率循环试验、温度循环试验、温度冲击试验、低温贮存、高温贮存、焊接温度试验和可焊性试验，本标准中的试验项目设置主要是根据国内外IGBT模块生产商和国内主机厂对IGBT模块的要求，同时参考了GB/T 29332的试验项目进行规定。

#### 试验条件：

本标准中规定了扫频振动、随机振动和机械冲击三个项目，考虑到IGBT模块的应用环境主要在车辆（电动车辆）上，而目前尚没有电动车辆振动和冲击环境要求的标准，并且电动汽车电气及电子系统或部件标准多采用GB/T 28046.3，该标准考虑了搭载整车不同位置的振动要求，可以支撑搭载整车不同位置IGBT模块的振动考虑，因此对于以上三个项目本标准引用GB/T 28046.3的相关条件要求进行规定。

其他项目的试验条件充分对标国际主流汽车级 IGBT 模块厂家，结合国内汽车厂和模块厂家经验制定。

试验程序：

每项环境试验前应先对表 2 中的特性参数按照 GB/T 29332 的规定进行测量并记录，具体试验方法根据试验项目不同，按照 GB/T 2423 系列部分标准、GB/T 29332 和 IEC 60749-34 的规定进行，试验完成后再次对特性参数进行测试，并进行记录。

试验结束后按照 5.1 和 5.2 的要求对试验结果进行判定。

试验项目：

4) 试验条件和评价准则

a) 评价准则

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。

特性参数要求：

序号	特性参数	接受判据	测量条件
1	外观	达到外观检查要求	
2	$I_{CES}$	<USL	规定的 $V_{CE}$
3	$I_{GES}$	<USL	规定的 $V_{GE}$
4	$V_{GE(th)}$	>LSL <USL	规定的 $V_{CE}$ 和 $I_c$
5	$V_{CEsat}$	<USL	规定的 $I_c$
6	$R_{th}$	<USL	规定的 $I_c$

注：USL——数据手册上限值；LSL——数据手册下限值。

b) 环境试验条件

(1) 扫频振动试验

试验目的：

车辆运行工况较为复杂，需要经历较为严酷的振动环境和机械冲击环境，将振动环境进行分解可分解为扫频振动和随机振动，本项目是在规定试验条件下，检验模块的抗振性中的扫频振动。

条件设置：

由于本标准规定的 IGBT 模块应用于电动汽车，因此振动条件应按照汽车振动条件进行，所以扫频振动条件按照 GB/T 28046.3-2011 的规定，根据 IGBT 模块的安装位置确定其试验条件。

试验条件：

IGBT 模块应经受 X, Y, 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。

## （2）随机振动试验

### 试验目的：

车辆运行工况较为复杂，需要经历较为严酷的振动环境和机械冲击环境，将振动环境进行分解可分解为扫频振动和随机振动，本项目是在规定试验条件下，检验模块的抗振性中的随机振动。

### 条件设置：

由于本标准规定的 IGBT 模块应用于电动汽车，因此振动条件应按照汽车振动条件进行，所以随机振动条件按照 GB/T 28046.3-2011 的规定，根据 IGBT 模块的安装位置确定其试验条件。

### 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。

## （3）机械冲击试验

### 试验目的：

车辆运行工况较为复杂，需要经历较为严酷的振动环境和随机振动，本项目是在规定试验条件下，检验模块的抗振性中的机械冲击。

### 条件设置：

由于本标准规定的 IGBT 模块应用于电动汽车，车辆运动过程中会受到前后、左右、上下等各个方向的冲击，本试验按照车辆部件所受冲击的情况进行模拟设定，并根据车辆的冲击强度按照 GB/T 28046.3-2011 的规定进行试验条件的设定。

### 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。

## （4）高温阻断试验

### 试验目的：

电动汽车在工作状态下，会产生大量热量，IGBT 模块将常常工作于高温的环境条件下，因此需要围绕高温的环境条件进行环境试验，本项目是在规定试验条件下，检验 IGBT 器件 C、E 之间在长期高温下的电气稳定性。

### 条件设置：

本项试验条件是根据国内外主要 IGBT 零部件供应商和部分电动汽车主机厂共同协商确定的试验条件。

### 试验条件：

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

## （5）高温栅极偏置

试验目的：

电动汽车在工作状态下，会产生大量热量，IGBT 将常常工作于高温的环境条件下，因此需要围绕高温的环境条件进行环境试验，同时电动汽车电压平台逐渐提升，IGBT 工作电压较高，本项目是在规定试验条件下，检验 IGBT 器件 G、E 之间在长期高温和电压状态下的电气稳定性。

条件设置：

本项试验条件是根据国内外主要 IGBT 零部件供应商和部分电动汽车主机厂共同协商确定的试验条件。

试验条件：

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

#### (6) 高温高湿阻断试验

试验目的：

电动汽车在工作状态下，会产生大量热量，随着水分的介入，IGBT 将常常工作于高温高湿的环境条件下，因此需要围绕高温高湿的环境条件进行环境试验，本项目在规定的试验条件下，检验 IGBT 模块带电抵御高温高湿恶劣环境的能力。

条件设置：

本项试验条件是根据国内外主要 IGBT 零部件供应商和部分电动汽车主机厂共同协商确定的试验条件。

试验条件：

- 电压： $V_{CE} \geq 0.8 * V_{CES}$ ， $V_{GE} = 0$  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 $V_{CE}=80V$ 测试，以上测试条件需供需双方认可。

#### (7) 功率循环试验

试验目的：

在规定的试验条件下，检验模块键合线及焊料在频繁温度变化条件下的电气性能、热性能以及机械性能。

条件设置：

本项试验条件是根据国内外主要 IGBT 零部件供应商和部分电动汽车主机厂共同协商确定的试验条件。

试验条件：

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 $\geq 0.85I_{CN}$ ，第二循环可 $\leq 0.85I_{CN}$ ；
- 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 $\geq 20\%$ 。

条件 2:

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

#### (8) 温度冲击试验

试验目的:

由于工作环境的复杂多样，IGBT 模块将承受温度冲击的影响，本项目在规定试验条件下，检验模块封装结构和材料在高低温循环变换条件下的电气及热性能。

条件设置:

本项试验条件是根据国内外主要 IGBT 零部件供应商和部分电动汽车主机厂共同协商确定的试验条件。

试验条件:

- 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；
- 温度转换时间： $> 5$  s 且  $< 30$  s；
- 被测样件：不带电工作状态。

#### (9) 温度循环试验

试验目的:

电动汽车工作环境将会受到温度变换的条件，相应的 IGBT 模块也会在温度变换的工作环境下，本项目是在规定试验条件下，检验模块封装结构和材料在高低温循环变换条件下的电气及热性能。

条件设置:

本项试验条件是根据国内外主要 IGBT 零部件供应商和部分电动汽车主机厂共同协商确定的试验条件。

试验条件:

- 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。

#### (10) 高温贮存



定的试验条件。

试验条件：

- 温度：235±5℃；
- 等级：老化等级 3。

### **（三）主要试验（或验证）情况分析**

本标准涉及到的试验项目主要包括几类，如功能/性能、振动试验、环境试验和特殊试验；功能/性能通过 IGBT 静态及动态测试仪进行测试；振动相关试验要求引自标准 GB/T 28046.3，且国外主流的英飞凌等国际领先 IGBT 模块厂家也遵循该标准，相关振动试验要求得到了充分验证。环境类试验，如温度贮存、温度循环和温度冲击，使用较为通用的设备如高低温环境舱、温度冲击试验箱；功率循环和焊接等特殊的项目，其试验要求对标国际领先的英飞凌、富士、三菱等厂家试验标准，同时兼顾一汽相关的逆变器系统试验要求，在开发过程中进行了验证。

### **（四）明确标准中涉及专利的情况，对于涉及专利的标准项目，应提供全部专利权人的专利许可声明和专利披露声明**

本标准的主要技术内容均不涉及专利。

### **（五）预期达到的社会效益、对产业发展的作用等情况**

该标准目的在于筛选电动汽车用 IGBT 模块，提高搭载应用整车的可靠性和安全性；另外，标准的出台有助于国内 IGBT 模块行业能有针对性地明确面向电动汽车产品的环境试验要求和试验方法，在产品推广应用中能与国际领先厂家同平台竞争，进而提升电动汽车用 IGBT 国产模块的占有率，同时促进国内 IGBT 模块行业产品升级和技术提升，满足传统工业应用到汽车应用的高可靠性要求。

### **（六）采用国际标准和国外先进标准情况，与国际、国外同类标准水平的对比情况，国内外关键指标对比分析或与测试的国外样品、样机的相关数据对比情况**

无。

### **（七）在标准体系中的位置，与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性**

本标准属于电动车辆领域的其他系统及部件类别系列标准，与现行相关法律、法规、规章及相关标准没有冲突或矛盾。

与现行标准的协调性方面：

国标委发布的《半导体器件 分立器件 第 9 部分：绝缘栅双极晶体管（IGBT）》标准是使用翻译法等同采用 IEC 60747-9 的标准，该标准定位为一般通用标准，适用于 IGBT 分立

器件，标准给出了 IGBT 的术语、文字符号、基本额定值和特性以及测定方法、部分可靠性试验项目和试验条件等产品特定要求，但未对 IGBT 模块、模块不同应用（工业、汽车等）下的可靠性试验项目和试验条件给出定义，本次编制标准是在国标委发布标准基础上完善环境试验项目，同时，基于汽车行业应用特点，提出环境试验要求和试验方法，因此，编制标准与现行标准要求一致。

#### **（八）重大分歧意见的处理经过和依据**

本标准制定过程中，无重大分歧。

#### **（九）标准性质的建议说明**

建议本标准作为汽车行业标准实施。

#### **（十）贯彻标准的要求和措施建议（包括组织措施、技术措施、过渡办法、实施日期等）**

国际及国内未形成汽车级 IGBT 模块的统一认定标准，这给用户带来一定困扰和影响，汽车级 IGBT 模块认定标准中的关键一项是环境试验，因此，统一并实施汽车行业对汽车级 IGBT 模块环境试验的认定标准就颇为急需和必要。

#### **（十一）废止现行相关标准的建议**

无

#### **（十二）其他应予说明的事项**

无