

《功率模块功率循环试验老化状态监测方法》编制说明

(征求意见稿)

一、工作简况

1 主要工作过程

起草（草案、调研）阶段：2024年11月，根据中国电工技术学会标准制修订计划，成立标准编写组，讨论确定了标准的主要内容及分工，并向各单位进行调研分析，收集资料；2024年12月~2025年1月标准编写组根据意见和建议，完成标准初稿，2025年2月标准编写组对初稿进行讨论修改后形成了标准草案。2025年3月对标准草案进行了讨论修改，形成了征求意见稿。

2 主要参加单位和起草工作组成员及其所做的工作

本标准由中国科学院电工研究所、中汽研新能源汽车检验中心（天津）有限公司、比亚迪汽车工程研究院、中国一汽研发总院、中国汽车工程研究院股份有限公司、北京纵横机电科技有限公司、工业和信息化部电子第五研究所、国家新能源汽车技术创新中心共同负责起草。

主要成员：仇志杰、温旭辉、郑丹、孔治国、凌和平、刘志强、晏飘、谢望玉、李文鹏、陈媛、郭大铭。

所做的工作：标准编写组收集了国内外功率器件功率循环试验的相关标准以及近几年的相关科技论文等文献资料，通过整理分析，确定了标准主要技术内容，主要由中国科学院电工研究所牵头完成标准初稿编制，其他参与单位配合编制，并负责收集相关资料、提出建议。

二、标准编制原则和主要内容

1、标准编制原则

本标准按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构与起草规则》的规定起草，遵循科学性、先进性、经济性，坚持实事求是，以深入地功率器件退化机理研究和丰富的老化试验及数据处理的实践经验为基础，遵守国家有关法律法规，符合团体标准要求，目的在于填补功率模块的功率循环试验过程中在线监测方法的缺失，解决失效判据的不统一问题，提高功率循环试验操作的规范性和测试结果的有效性。

2、标准主要内容

本标准征求意见稿分为七章，分别是范围、规范性引用文件、术语和定义、符号和缩略语、数据采集要求、数据清洗方法、老化状态表征方法。

范围中介绍了标准的主要内容以及所适用的领域。规范性引用文件中列出了引用的标准文件。术语和定义中对于功率循环实验中涉及到的物理量等进行了界定。符号和缩略语规定了标准中相关物理量的名称及文字符号，以及文本中提到的英文缩略语。数据采集要求对功率循环试验及其过程监测数据的采集要求做出了规定。数据清洗方法提出了宜采用的异常数据检测和处理以及数据噪声处理的方法。老化状态表征方法中提供了健康基准模型的建立以及老化表征参数和失效阈值的计算方法。

3、主要技术差异

本标准为新制度标准，无主要技术差异。

4、解决的主要问题

功率循环试验通过模拟器件在实际应用中承受的交变热应力和电应力，通过一定程度的加速老化以暴露器件封装的薄弱点，一直被工业界和学术界认为是考核功率半导体器件封装可靠性的最重要的测试手段。在功率循环试验过程中，被测器件老化状态的准确在线监测是至关重要的。在功率模块功率循环试验过程中，主要老化机理为键合线疲劳、表面金属化重构和焊料老化，其中，焊料老化会造成热阻上升，键合线疲劳和表面金属化重构都会造成大电流回路上的电阻增加，从而表现为导通压降的升高。AQG324 标准中规定当热阻达到初始值的 120% 或者导通压降达到初始值的 105% 认定为器件失效。但是导通压降与电流和结温均存在相关性。一方面功率循环样品施加的加热电流可能不同，其不同电流下的导通压降变化难以直接比较；另一方面，随着模块老化，试验过程中的最高结温随之升高，使得测试得到的导通压降变化包含了结温波动引起的变化，难以解耦并判断模块真实的老化程度，也无法确定统一的失效阈值。如果将模块拆下在标准温度、标准电流下进行测试，不仅增加了工作量，拆卸也会造成模块安装状态的改变，使得功率循环试验散热条件难以保持前后一致，因此，AQG324 中明确规定试验过程中不能对模块拆卸。本标准主要解决了功率循环试验过程中功率器件缺乏在线老化监测方法和失效判据设置方法的问题。

三、主要试验（或验证）情况

牵头单位中国科学院电工研究所联合中汽研新能源汽车检验中心（天津）有限公司、比亚迪汽车工程研究院、中国一汽研发总院、中国汽车工程研究院股份有限公司、北京纵横机电科技有限公司、工业和信息化部电子第五研究所、国家

新能源汽车技术创新中心等单位，开展了多应力条件、多样本等功率循环试验，并按照标准要求进行了过程数据监测和处理，结果表明，本标准提出的数据采集及处理方法正确，老化表征参数能够反映功率模块的老化状态，提高功率循环试验操作的规范性和测试结果的有效性。

四、标准中涉及专利的情况

标准涉及专利号为 202210524777.2 《功率模块老化参数准在线辨识方法和结温校准方法及系统》的使用。该专利持有人已向本文件的发布机构保证，文件的使用者可免费使用本专利。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。

五、预期达到的社会效益、对产业发展的作用等情况

功率循环测试是一项考核功率器件封装可靠性最重要的可靠性测试，也是进行器件寿命模型建立和寿命评估的根本。因此，测试结果的准确性相当重要，测试方法和测试技术的不同将导致不同的测试结果，降低结果的有效性和公证力。本文件提出了针对功率模块功率循环试验的老化状态监测方法，利用功率循环现有监测数据计算其参考温度下的导通电阻变化量作为老化状态表征，并提出了对老化状态进行表征的数据采集要求、数据处理方法以及状态表征和失效阈值计算方法，实现了在功率循环试验过程中对老化状态的表征和在线监测，弥补了现有功率循环试验标准在相关领域的缺失。本文件的立项和实施有助于推动行业标准的制定和完善，为功率器件的制造商和应用商提供统一的测试和评估标准。本标准未来在国内各大功率器件厂商和新能源领域应用商中推广和采纳，对于提高企业的产品质量，增强客户信任，以及提升产品在市场中的竞争力具有重要意义。

六、与国际、国外对比情况

未查到国外有功率模块老化状态监测的相关标准，本标准在制定过程中并未参照国际标准或国外先进标准。未对国外的样品进行测试，总体技术水平属于国内领先水平。

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

本标准与现行相关法律、法规、规章及相关标准保持一致。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

九、标准性质的建议说明

建议本标准的性质为推荐性团体标准。

十、贯彻标准的要求和措施建议

建议本标准批准发布 2 天后实施。

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。