采用回流焊封装的 TO-247PLUS

产品描述、仿真和机壳建议

关于本文档

范围和目的

本应用手册旨在介绍英飞凌的 TO-247PLUS 封装，它适用于符合 J-STD-020 标准的回流焊。它采用了 750 V EDT2 技术，具有高达 200 A 的大电流等级。本文档将重点介绍产品特性和系统机壳建议，适用于在极端环境下运行的应用。

目标读者

本应用手册适用于设计商用车辆中主逆变器的工程师。

目录

关于本文档 **1**

目录 **1**

1 产品描述 **2**

1.1 PG-TO247-3-PLUS-NN8.5 封装 2

1.2 IGBT 和共同封装二极管 2

2 仿真系统热阻抗 **3**

2.1 不同 DCB 材料对系统热阻抗的影响 3

2.1.1 整个系统的仿真热阻抗 4

2.1.2 扩大 DCB 的效果 4

2.1.3 减少 DCB 铜厚度的效果 5

2.1.4 使用 DUT 和基板的 DCB 铜对焊接质量的影响 5

2.1.5 银烧结与焊接相比 6

3 机壳建议 **7**

4 结论 **8**

5 参考文献 **9**

文档修订记录 **10**

1 产品描述

TO-247PLUS SMD 封装使用现有的 TO-247PLUS [1] 封装，其背面适合在 245°C 下回流焊接。该设计用于主逆变器系统，特别是商业、建筑和农业车辆 (CAV) 应用。该封装使用了 750 V/ 200 A EDT2 IGBT 与 200 A EC3 二极管的共封装。EDT2 IGBT 技术已成功应用于多个汽车逆变器模块。它的额定阻断电压为 750 V，使直流母线系统的工作电压可达 470 V，并为电压过冲提供了更大的裕量。车规级芯片使用微沟槽场截止技术，可显著降低导通和开关损耗 [2]。针对高达 10 kHz 的开关频率的应用进行了优化。在接下来的章节中，我们将列出其主要功能，并讨论仿真和推荐的机壳进气保护(IP)要求。

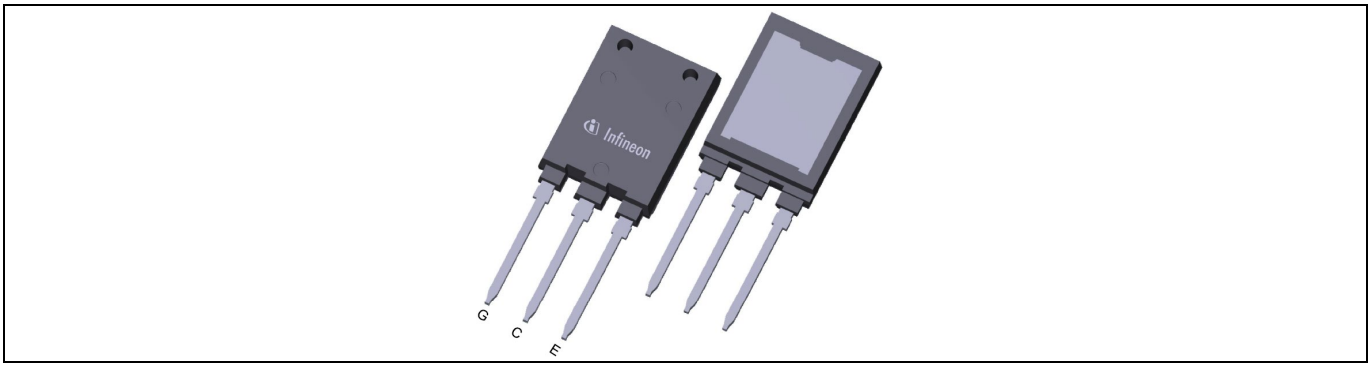

图 1 采用 TO-247PLUS SMD 封装的 IGBT 的顶面和底面

1.1 PG-TO247-3-PLUS-NN8.5 封装

- 高爬电距离 TO-247PLUS 封装
- 封装背面适合在 245°C 下回流焊接 3 次
  - 根据 JEDEC J-STA-020 标准，湿度灵敏度等级 (MSL) 为 1
- 电镀引脚可进一步使电阻焊接成为可能

1.2 IGBT 和共同封装二极管

- 750 V 集电极-发射极阻断电压能力
- 三个电流等级：120 A，160 A 和 200 A
- I_{Cnom} 和 25°C 时，低饱和电压 V_{CEsat} = 1.4 V
- 在 V_{CC} ⩽ 450 V 和 V_{GE} = 15 V 条件下，短路稳固性的耐压时间为 3 µs
- 与全电流软快速恢复二极管共同封装
- 针对高达 10 kHz 的硬开关拓扑进行了优化

2 仿真系统热阻抗

在开发 TO-247PLUS SMD 封装的过程中进行了多次仿真。这些仿真中考虑的器件使用的是能装入 TO-247 封装的最大芯片尺寸。要了解使用可回流焊接的 TO-247 的优势，首先必须验证整个系统的热阻抗。

2.1 不同 DCB 材料对系统热阻抗的影响

在对组装在 DCB 上的器件进行可靠性测试之前，使用有限元法（FEM）软件 Ansys 进行了热仿真。它们首次显示了不同类型 DCB 材料的系统热性能。为了简化 DUT 模型，我们省略了布线，因为仿真侧重于结点到环境热流。DCB 使用两层铜，铜层之间使用 Al_2O_3 陶瓷材料。该模型使用的三层材料厚度分别为 0.3 mm 铜、0.38 mm Al_2O_3 和 0.3 mm 铜。如 图 2 所示，将 DUT 焊接到带有 80 µm SAC 合金的顶部铜 DCB 层上，而 DCB 的底部铜则焊接到铜基板上。然后将仿真结果与实际值进行比较。

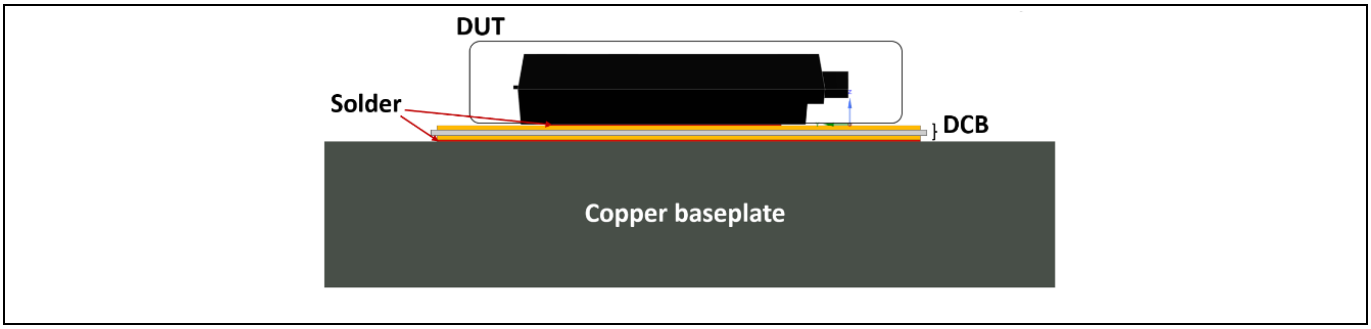

图 2 仿真系统 TO-247PLUS SMD 封装（DUT）焊接在 DCB 顶部，DCB 底部焊接在铜基板上

然后，在芯片加热到 150°C 并持续 20 秒，使芯片、DCB 和基板之间达到静态热分布后，根据冷却曲线确定热阻抗。使用不同尺寸和厚度的 DCB 铜进行了进一步测试。此外，还考虑了焊接质量，以了解其对系统整体热阻抗的影响。

仿真系统热阻抗

2.1.1 整个系统的仿真热阻抗

用于后续仿真的 IGBT 初始化测量结果显示，结至机壳的典型热阻（$R_{th(j-c)}$）为 0.120 K/W。根据这些值， 图 3 显示了整个系统从结至周围环境的仿真热阻（$R_{th(j-a)}$）为 0.292 K/W。

在不考虑任何间隙和爬电要求的情况下，初始化仿真的重点是材料选择的影响，最小尺寸 DCB 的置位略大于器件背面。DCB 的测量值为 20 mm x 23 mm，而被测器件的背面通常为 15.8 mm x 20.36 mm。

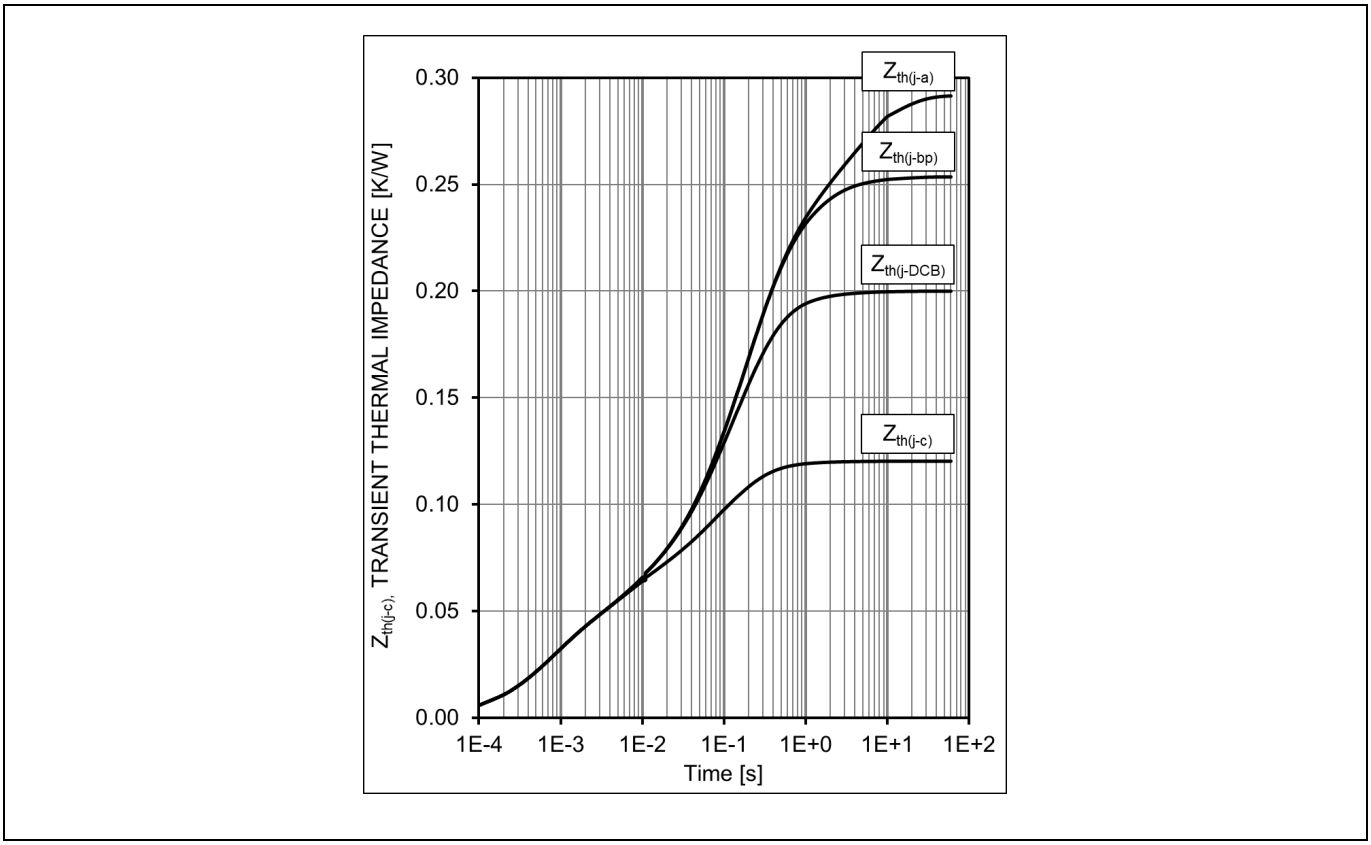

图 3 仿真瞬态热阻抗，DCB 尺寸为 20 mm x 23 mm

2.1.2 扩大 DCB 的效果

一些 DCB 供应商只提供大于 20 mm x 23 mm 的基板。考虑到这一点，我们使用两倍于前一种尺寸的 DCB 进行了 $R_{th(j\,a)}$ 仿真。现在，28 mm x 32 mm 基板的仿真 $R_{th(j\,a)}$ 测量值为 0.288 K/W，提高了 1.4%。仿真 $R_{th(j-a)}$ 的这一微小改进表明了 DCB 尺寸对整体热阻抗的影响。

仿真系统热阻抗

2.1.3 减少 DCB 铜厚度的效果

接下来的仿真是测试 DCB 上下两面铜的厚度减小对 DCB 热阻抗的影响。初始化厚度为 0.3 毫米，后减至 0.2 毫米。仿真 $R_{th(j-a)}$ 结果为 0.294 K/W，与较厚的 DCB 铜相比增加了 0.7%。与 Al_2O_3 陶瓷材料（25°C 时的热导率为 26 W/mK）相比，铜的热导率更高（25°C 时的热导率为 398 W/mK），减少铜的厚度会增加 DCB 的整体热阻抗。原因之一是铜厚度减少后，热量无法均匀地扩散到整个区域。因此，DCB 的热阻抗增加了 [3]。

2.1.4 使用 DUT 和基板的 DCB 铜对焊接质量的影响

当半导体器件被焊接到 DCB 和散热器上时，焊接空隙是不可避免的。众所周知，焊接空隙会降低系统的热性能，甚至会影响系统的长期可靠性。有几种方法可以最大限度地减少这些焊接空隙 [4]。我们进行了仿真来考虑客户装配过程中的这些可能性。考虑到最坏的情况 [5]，单个焊接空隙在被测器件芯片的中心下方有一个圆形，位于被测器件和 DCB 的顶部铜之间，以及 DCB 和底板的底部铜之间。最初,0.292 K/W 的 $R_{th(j-a)}$没有焊接空隙。当焊接空隙增加 10%时，热阻增加 10.3%。25% 的最大仿真空隙导致 0.39 K/W 的热阻抗，比 0% 的空隙高出 34.2%。图 4 显示了在焊料空隙百分比不断增加的情况下仿真的 $R_{th(j-a)}$。

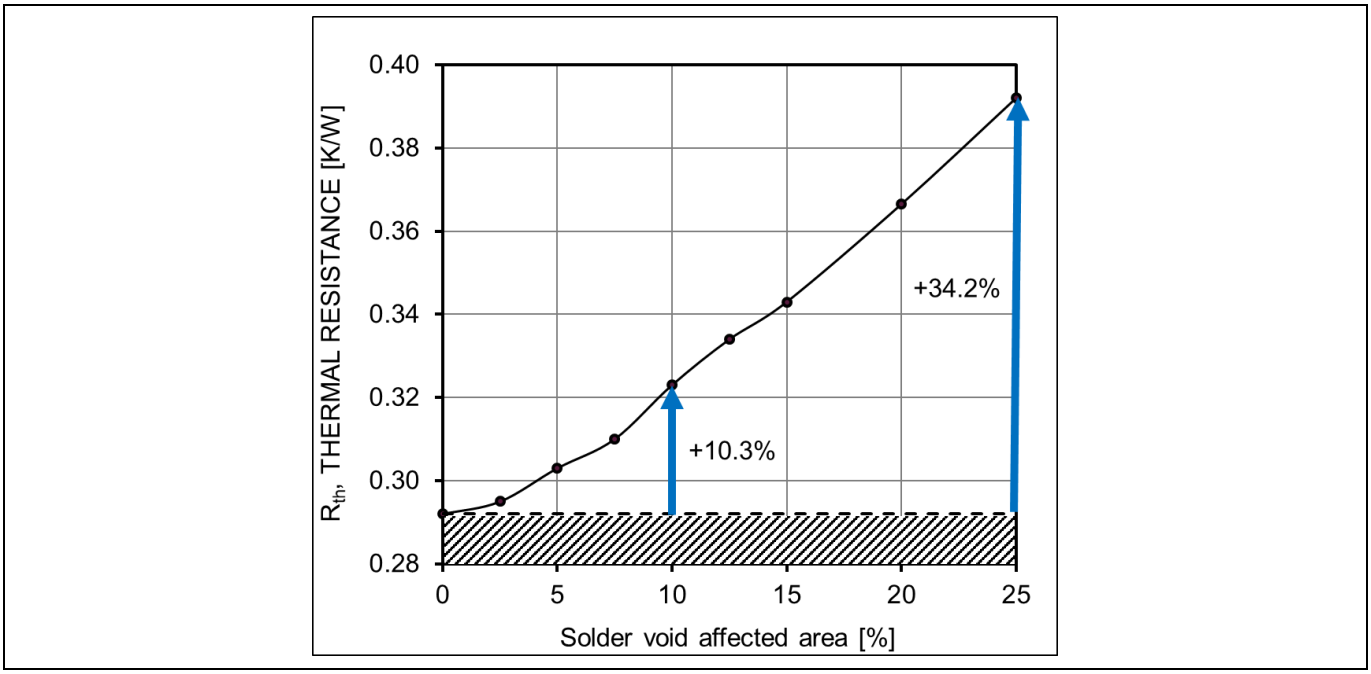

图 4 给定百分比的焊接空隙的仿真热阻在焊接空隙为 10% 时，R_{th} 增加 10.3%

仿真系统热阻抗

2.1.5 银烧结与焊接相比

银烧结是一种利用热量将粘性材料形成压缩动力的过程。它是焊接的替代方案，其特点是连接的强度和质量。我们研究了在 DCB 和基板上烧结 25 µm DUT 的模型。这种高质量解决方案采用银烧结连接，$R_{th(j-a)}$ 为 0.280 K/W。与焊接工艺相比，提高了 4.1%。

表 1 总结了不同 DCB 材料的仿真 $R_{th(j-a)}$。增大 DCB 的尺寸可以减小系统的热阻抗，而减小 DCB 的铜厚度则会增大 $R_{th(j-a)}$。一个关键参数是单个焊缝空隙，在该空隙处 $R_{th(j-a)}$有相当大的增加。为提高 DUT、DCB 和基板之间的连接强度和质量以及整体热性能，应考虑使用银烧结而不是焊接工艺。

表 1 不同 DCB 材料和装配工艺的仿真 $R_{th(j-a)}$ 摘要

参数	$R_{th(j-a)}$, [K/W]	差异，[%]
DCB 尺寸： 20 x 23 mm DCB 铜厚度：0.3 mm 焊接空隙：0% 焊接：80 µm SAC 合金	0.292	参考
DCB 尺寸：28 x 32 mm	0.288	-1.4
DCB 铜厚度：0.2 mm	0.294	0.7
单个焊接空隙： 10%	0.323	10.3
银烧结：25 µm 厚	0.280	-4.1

3 机壳建议

商用车辆等应用可能在恶劣和极端的环境中运行。暴露在潮湿和灰尘中，可能导致由环境敏感元件组成的系统发生故障。在系统级别妥善保护这些部件非常重要。此类极端应用需要适当密封的机壳。常用的机壳是压铸铝，可防水防尘。这些机壳的防护等级可通过其入侵防护等级或 IEC 制定的 IP 等级进行分类。IEC 60529 [6]详细规定了机壳的防水防尘等级。对于像 CAV 等在极端环境中工作的应用，一般建议使用 IP67 防护等级的机壳，并辅以适当的热管理。

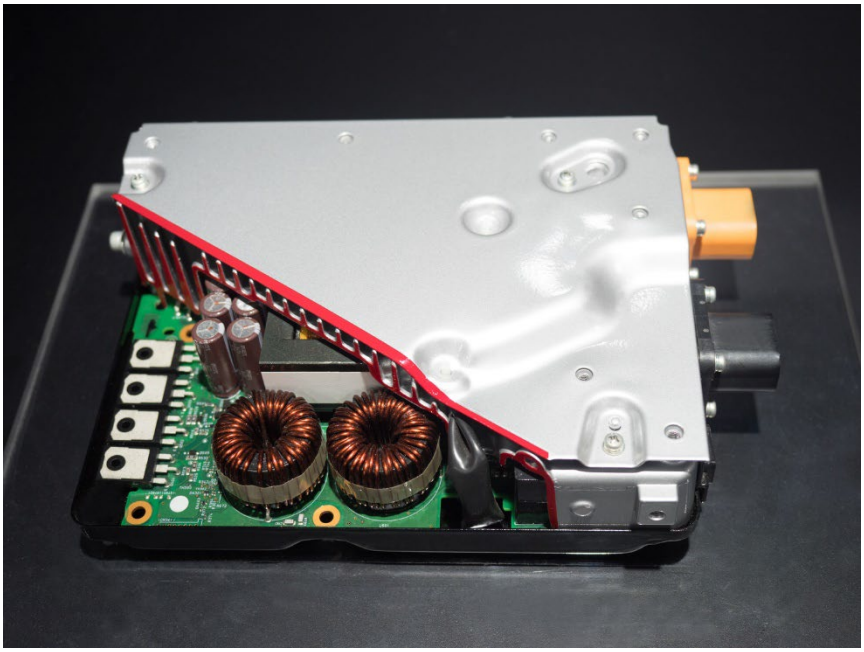

图 5 电动汽车逆变器示例

参考 IEC 60529，IP 等级为 IP67 的机壳可在特定条件下(6)防止灰尘进入系统和(7)暂时浸入水中。

4 结论

TO-247PLUS SMD 是用于 CAV 等高要求应用的理想分立封装。该封装能够在 245°C 下回流焊接至 DCB。根据 JEDEC J-STA-020 标准，它具有 1 级湿度灵敏度。热仿真显示，单个焊接空隙会对整个系统的热性能产生巨大影响，而银烧结可以大大提高系统的热传导性。在恶劣和极端环境中运行的应用所使用的机壳应为敏感元件提供 IP67 入侵保护。

5 参考文献

[1] 英飞凌科技股份公司，"应用笔记 - TO-247PLUS" 2017 年，访问时间：2023 年 4 月 21 日。在线资源: 可用： https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-Discrete_IGBT_in_TO-247PLUS-AN-v02_00-EN.pdf?fileId=5546d46249cd10140149e0c7fe9d56c7

[2] 英飞凌科技股份公司，"应用笔记 - 采用 TO247Plus 封装的双封装 EDT2 IGBT 和 EmCon3 二极管"。2022 年，访问时间：2023-05-05 在线资源: 可用： https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-Z8F80280825_AIKQ200N75CP2_and_AIKQ120N75CP2-ApplicationNotes-v01_00-EN.pdf?fileId=8ac78c8c80027ecd01806f6f55ce3600

[3] Lutz, Josef, et al. "Semiconductor power devices." Physics, characteristics, reliability (2011)

[4] V. Rawinski, "Void reduction in reflow soldering processes by sweep stimulation of PCB substrate," 2018 International Conference on Electronics Packaging and iMAPS All Asia Conference (ICEP-IAAC), 2018, pp. 313-316, doi: 10.23919/ICEP.2018.8374312.

[5] N. Zhu, "Thermal impact of solder voids in the electronic packaging of power devices," Fifteenth Annual IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium (Cat. No.99CH36306), 1999, pp. 22-29, doi: 10.1109/STHERM.1999.762424.

[6] Degrees of protection provided by enclosures (IP Code), IEC 60529, ed. 2.2, Aug. 29, 2013.

文档修订记录

文档版本	提交日期	变更说明
1.0	2023-05-05	第一版

Trademarks
All referenced product or service names and trademarks are the property of their respective owners.

Edition 2023-05-05

Published by

Infineon Technologies AG

81726 Munich, Germany

© 2024 Infineon Technologies AG. All Rights Reserved.

Do you have a question about this document?

Email: erratum@infineon.com

Document reference
AN-2023-06_ZH

重要提示

本文档所提供的任何信息绝不应当被视为针对任何条件或者品质而做出的保证（质量保证）。英飞凌对于本文档中所提及的任何事例、提示或者任何特定数值及/或任何关于产品应用方面的信息均在此明确声明其不承担任何保证或者责任，包括但不限于其不侵犯任何第三方知识产权的保证均在此排除。此外，本文档所提供的任何信息均取决于客户履行本文档所载明的义务和客户遵守适用于客户产品以及与客户对于英飞凌产品的应用所相关的任何法律要求、规范和标准。

本文档所含的数据仅供经过专业技术培训的人员使用。客户自身的技术部门有义务对于产品是否适宜于其预期的应用和针对该等应用而言本文档中所提供的信息是否充分自行予以评估。

如需产品、技术、交付条款和条件以及价格等进一步信息，请向离您最近的英飞凌科技办公室接洽(www.infineon.com)。

警告事项

由于技术所需产品可能含有危险物质。如需了解该等物质的类型，请向离您最近的英飞凌科技办公室接洽。

除非由经英飞凌科技授权代表签署的书面文件中做出另行明确批准的情况外，英飞凌科技的产品不应当被用于任何一项一旦产品失效或者产品使用的后果可被合理地预料到可能导致人身伤害的任何应用领域。