Easy 模块装配说明

关于本文档

范围与目的

本应用笔记提供了有关如何使用和装配 Easy 模块的指南。本文档中提供的数值和建议不应被视为数据手册中的数值。

目标读者

本文档适用于所有使用英飞凌 Easy 模块的专家。

本应用笔记的原文使用英文撰写。为方便起见，英飞凌提供了译文；由于翻译过程中可能使用了自动化工具，英飞凌不保证译文的准确性。为确认准确性，请务必访问 infineon.com 参考最新的英文版本（控制文档）。

目录

关于本文档 **1**

目录 **2**

1 概述 **4**
1.1 关于功率模块操作的一般信息 6
2 对印刷电路板的要求 **7**
2.1 PressFIT 压接技术对 PCB 的要求 7
2.2 焊接 PressFIT 压接模块的 PCB 要求 9
2.3 载流能力 9
2.3.1 标准型压接引脚 10
2.3.2 大电流型压接引脚 10
2.3.3 热管理 10
2.4 焊接引脚的 PCB 要求 11
3 压入工艺 **12**
3.1 简介 12
3.2 一般的压入流程 12
3.2.1 PCB 上单个模块的一般压入流程 12
3.2.2 预涂热界面材料（TIM）模块的压入流程 13
3.2.3 PCB 上多个模块的一般压入流程 15
3.2.3.1 仅将 Easy3B 和 Easy4B 模块压入 PCB 17
3.3 压入工艺参数 18
3.3.1 压入行为 18
3.3.1.1 标准型压接引脚模块的压入曲线示例 19
3.3.1.2 大电流型压接引脚模块的压入曲线示例 20
3.3.2 压入力和速度 21
3.4 压入工具 22
3.4.1 适用于未预涂 TIM 的 Easy 模块的压入工具 22
3.4.2 适用于预涂 TIM 的 Easy 模块的压入工具 23
4 压出工艺 **25**
4.1 压出工具 25
4.2 压出力 26
5 PressFIT 压接连接的质量 **27**
6 压接引脚和焊接引脚的焊接工艺 **29**
7 将 PCB 安装到模块上 **30**
8 用于模块装配的散热器要求 **32**
9 施涂导热膏 **33**
10 在散热器上装配模块 **34**
10.1 将 Easy1B/2B 和 Easy1C/2C 模块装配到散热器上 34
10.2 将 Easy3B 和 Easy4B 模块装配到散热器上 36
11 关于机械鲁棒性的系统考虑因素 **38**
11.1 模块通过支撑柱与 PCB 连接并压装到 PCB 38

目录

11.2 模块以特定距离压入 PCB 38
11.3 PCB 上的多模块 39
11.4 模块装配顺序 40
12 电气间隙和爬电距离 42
12.1 引脚间爬电距离 42
12.1.1 EasyB 标准型压接引脚和焊接引脚的爬电距离 42
12.1.2 Easy3B/4B 中大电流型压接引脚的爬电距离 43
12.1.3 EasyC 中大电流型压接引脚的爬电距离 43
12.2 引脚间电气间隙 44
12.3 螺钉至 PCB 的电气间隙 44
12.4 引脚至散热器的电气间隙和爬电距离 45
修订记录 47

1 概述

Easy 模块是一种无底板模块，通过引脚与 PCB 连接。它广泛应用于工业和汽车领域。该系列共包含六种封装型号，分别为 Easy 1B、Easy 2B、Easy 3B、Easy 4B、Easy 1C 和 Easy 2C，如图 1 所示。

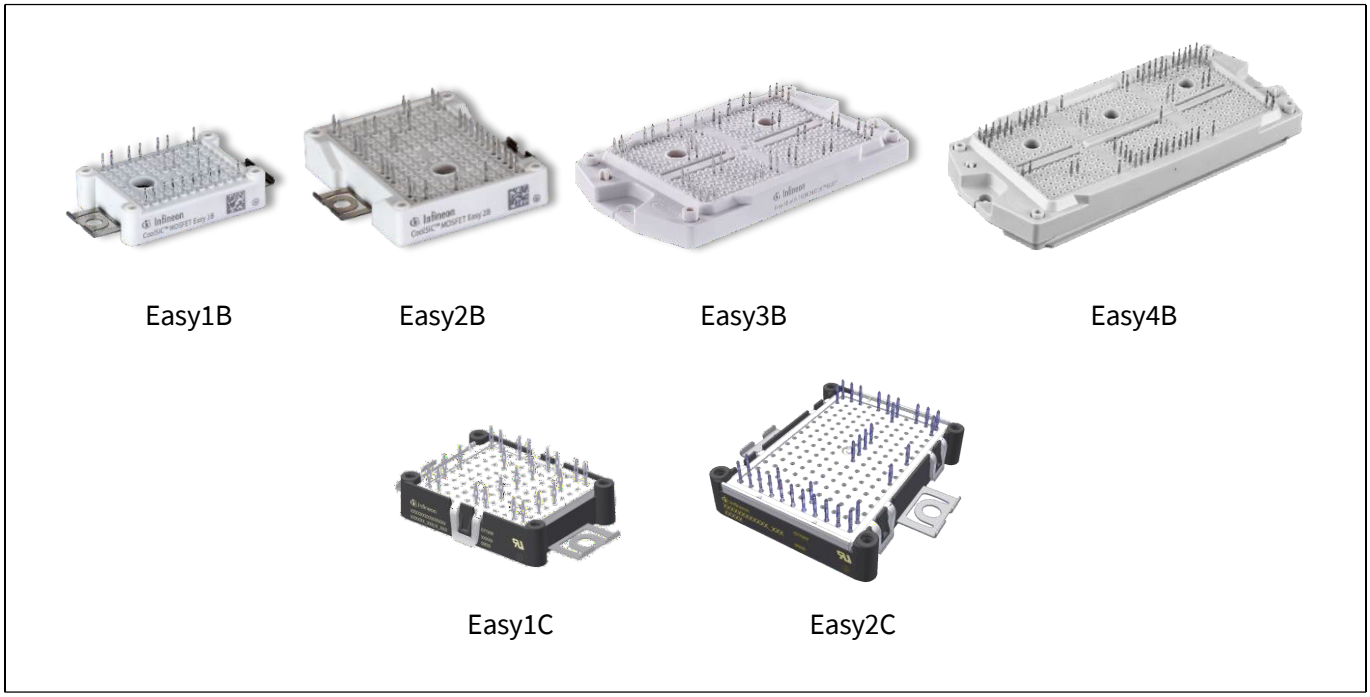


图 1 Easy 系列

除了传统的焊接引脚外，Easy 封装中还提供了压接（PressFIT）引脚。PressFIT 压接连接是一种冷焊技术，符合高耐用性、耐高温、符合 RoHS 标准以及操作简便的要求。英飞凌在 Easy 产品系列中采用了两种类型的压接引脚。根据功率密度和性能的不同，压接引脚分为标准型和大电流型。两者的区别在于材料特性以及压接区域。

大电流引脚配备了“针眼”式（EoN）压接区域。与标准型压接引脚相比，该引脚的材料具有更高的导电性和导热性。因此，大电流型压接引脚具有更高的电流能力和散热性能。这种压接引脚的优势在于，它能降低大电流应用中印刷电路板的热负荷。不过，这两种压接引脚类型对印刷电路板的要求是相同的。

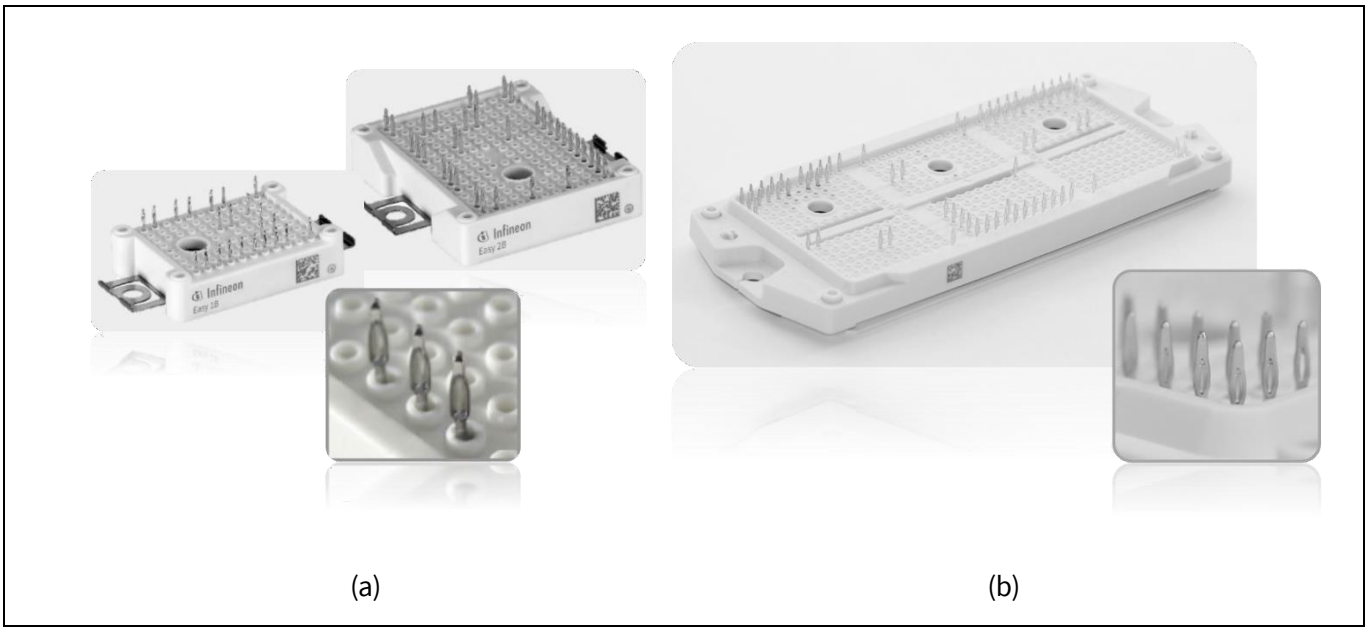


图 2　　采用压接连接的模块典型外观：标准型压接引脚（a）或大电流型压接引脚（b）

Easy PressFIT 压接连接具有约 1.7 mm 长的连接区，在压入过程中会自动适应 PCB 上的孔。这会导致压接区发生塑性变形。这种变形旨在适应公差，并为冷焊提供基础。

图 3 和图 4 展示了各种截面图和 REM 图像，从中可以观察到由压入力形成的气密结合材料。

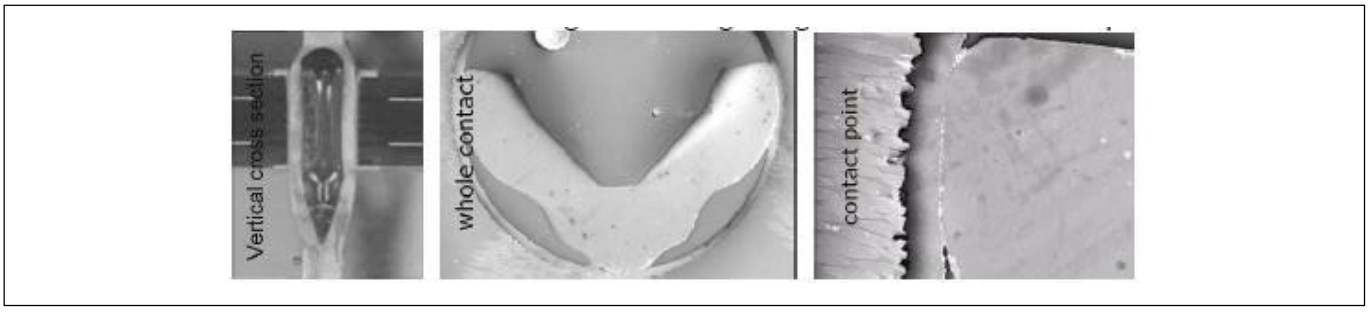


图 3　　Easy 标准型压接连接截面

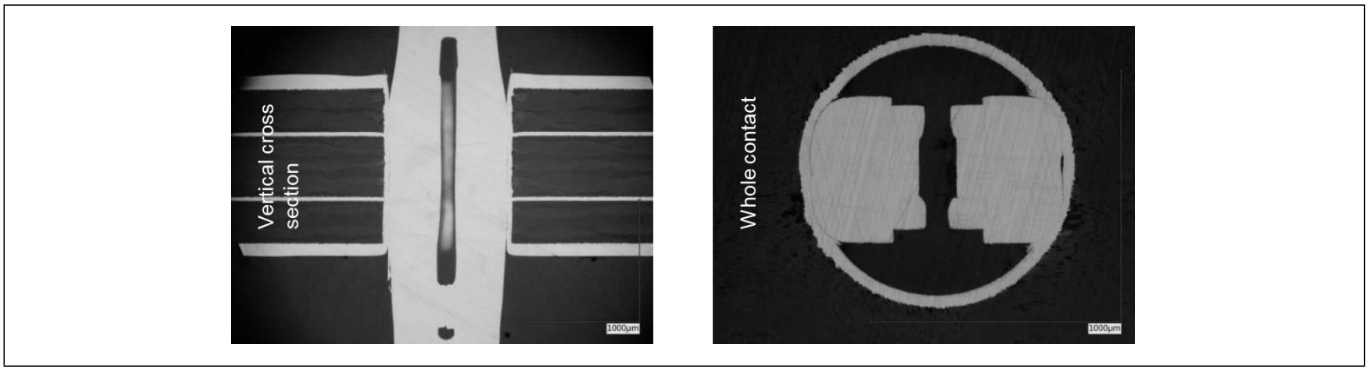


图 4　　Easy 大电流型压接连接截面

1.1 关于功率模块操作的一般信息

功率模块在设计上无法承受作用于模块外壳的外力，如图 5 所示。模块引脚置于平坦工作台上，作用于模块外壳上的外力（Fp）会将 DCB 推出外壳。因此，**在操作过程中必须避免对模块外壳施加外力（Fp）。此要求同时适用于 Easy B 和 Easy C 系列。**请注意，这与常规压入工艺的情况不同——在常规工艺中，DCB 在压入工具中得到充分支撑，且压入力作用于 DCB 而非外壳。

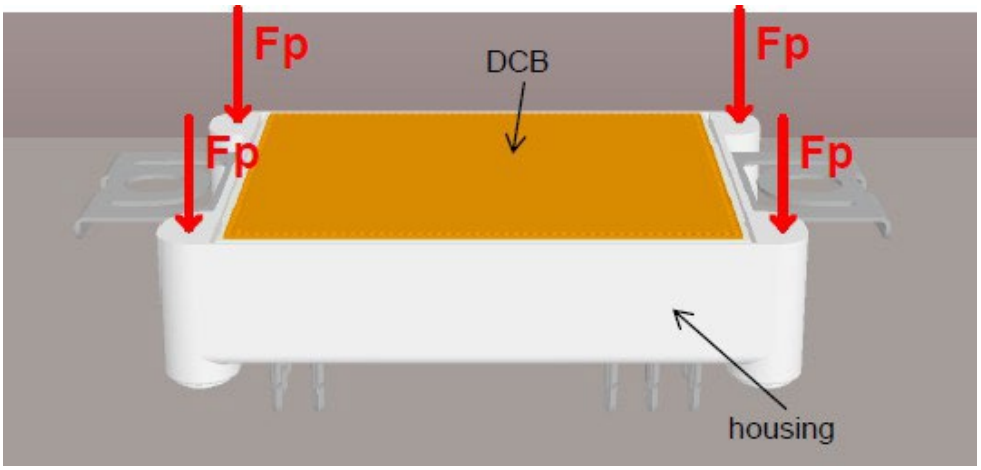


图 5 在模块操作过程中应避免对外壳施加外力，以防止 DCB 被推出

某些模块的 DCB 推出力（Fp）会相当低，其最小值并非功率模块的确认特性。这对实际应用而言并不关键，因为外壳随后会通过集成夹具安装在散热系统上。因此，外壳不会发生关键性的位移。此外，模块框架与 DCB 之间的密封剂仅在生产过程中填充隔离凝胶时起到密封模块的作用。填充完成后，液态凝胶经加热会转变为柔软的固态。在最终产品中，这种密封不具备粘合功能。

此外，严禁从 Easy1C/2C 模块的黑色框架上拆下白色盖子。

2 对印刷电路板的要求

2.1 PressFIT 压接技术对 PCB 的要求

Easy 模块中采用的 PressFIT 压接技术已由英飞凌科技股份公司根据 IEC 60352-5 和 IEC 60747-15 标准，针对具有“化学镀锡”和热风整平（HAL）工艺处理表面的标准 FR4 印刷电路板（PCB）完成检验和认证。英飞凌推荐使用化学镀锡金属化工艺。认证测试在符合 IEC 61249-2-7 要求的标准 FR4 材料上进行。

如果要在PCB生产中使用其他处理技术，则必须对其进行检查、测试和认证。

表 1 对PCB的要求

	最小值	典型值	最大值
钻孔直径	1.12 mm	1.15 mm	
孔内铜层厚度	> 25 µm		< 50 µm
孔内金属化镀层			< 15 µm
端孔直径	0.99 mm		1.09 mm
导电层的铜层厚度	35 µm	70 µm 105 µm	400 µm
电路板的金属化镀层	推荐使用锡（化学镀）		
引脚的金属化镀层	锡（电镀）		

为了确保压接连接牢固地安装在 PCB 上，必须遵守表1中给出的孔规格。

如果压接孔的规格仅限于成品尺寸（即金属化镀孔），则根据 PCB 制造商和生产理念的不同，可能会使用不同的钻头尺寸，并提供不同的金属化镀层厚度。这会导致因质量保证原因而必须被拒收的结果。端孔直径取决于钻孔尺寸、铜层厚度以及孔内的金属化镀层。如果端孔直径过小，压入力可能会过高。FR4 材料也会对压入力产生影响。

仍建议在制造过程中使用 1.15 mm 的钻头对 PCB 进行钻孔，而不应采用铣削工艺。经验表明，考虑到钻孔后主轴会因 FR4 材料的收缩而产生跳动公差，钻孔直径应在 1.12 mm 至 1.15 mm 之间。

当孔内铜层厚度为 30 µm 至 50 µm，且化学镀锡层厚度约为 1 µm 时，所得的端孔直径即为测试尺寸。由于镀锡层较薄，该直径始终大于 IEC 60352-5 标准中规定的 1 mm 值。考虑到钻孔直径、铜层厚度和化学镀锡层，最终孔径通常在 1.02 mm 至 1.09 mm 之间。

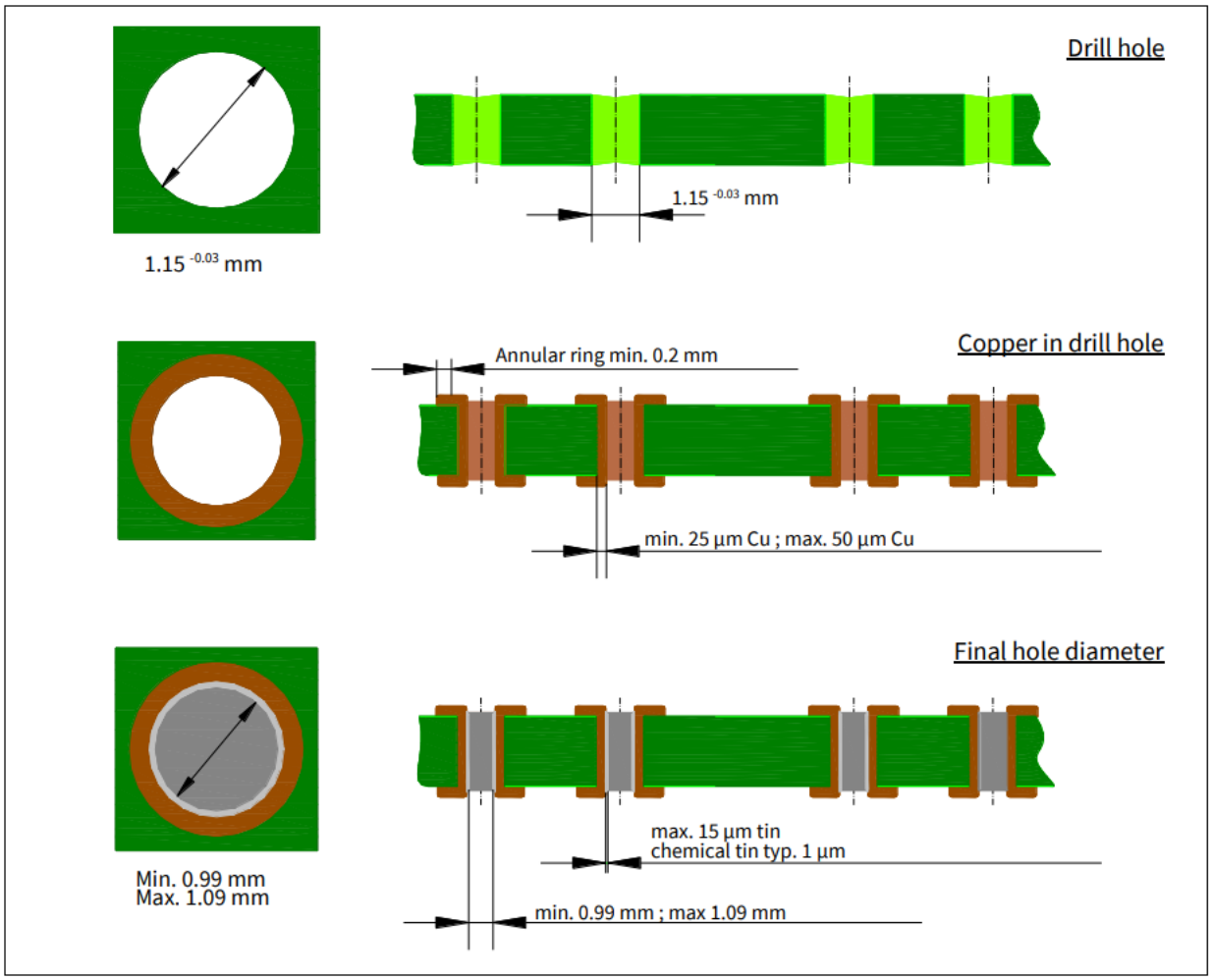


图 6　　PCB 的结构

PressFIT 压接技术已通过针对 FR4 PCB 材料的认证。

PCB 经过回流焊接处理后，可将模块轻松压入电路板中。压接式引脚的保持力不会减弱。

根据所使用的压接工具，必须注意在引脚中心与其他组件之间保持一定的距离。推荐保持 5 mm 的距离。

一个 PressFIT 压接模块最多可更换两次。这意味着一块 PCB 总共可使用三次。正确操作这些组件至关重要。

如果已压入的模块被压出，就无法再次压装至 PCB。此时，该模块只能通过焊接方式安装到新的 PCB 上。压接区域的塑性变形不允许再次进行压接压装。

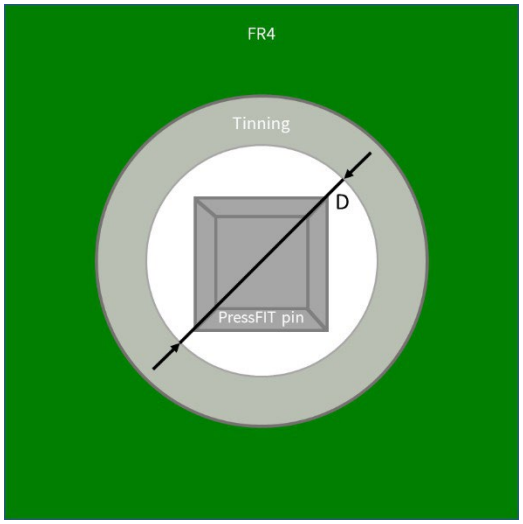
2.2 焊接 PressFIT 压接模块的 PCB 要求

Easy 压接引脚已通过 IEC 60068-2-20 标准的可焊性认证，因此 EasyPIM™ 和 EasyPACK™ 产品的组件均可焊接至 PCB 上。

焊接可作为 PressFIT 压接技术的替代安装方案。例如，当用 Easy 压接引脚模块替换焊接引脚模块时，由于生产线上已配备焊接装配设备，便可采用此方案。与焊接相比，PressFIT 压接技术的优势在于可靠性更高，且工艺时间更短，对此应予以考虑。

通孔的最终最小直径需根据引脚周长和模块公差确定。为了能够以机械方式将模块安装到印刷电路板上，推荐的通孔最终最小直径为 1.25 mm，以便焊接压接引脚模块。

标准型压接引脚和大电流型压接引脚的镀通孔最终孔径定义为“D = 1.25 mm + X”，如图 7 所示。“X”的值须遵循 IPC-2222 标准。



D = 1.25 mm + X

图 7 标准型压接引脚与大电流型压接引脚的横截面图

由于 PCB 类型、厚度、电镀、生产公差、焊接工艺和焊料合金等若干因素之间的相互影响，客户必须确定参数 X，以确保良好的焊接结果和可靠的长期连接。

最终的孔径必须仔细确定。如果孔径过大，可能难以确保引脚与电路板之间形成牢固的电气和机械连接。

2.3 载流能力

压接引脚的允许载流能力不仅取决于引脚本身，还取决于其热环境，包括相邻引脚的距离、PCB 设计、材料特性、PCB 上的其他局部热源以及整体散热条件。

2.3.1 标准型压接引脚

标准型压接引脚的额定电流通常不超过每引脚 25 A。

2.3.2 大电流型压接引脚

相比之下，大电流型压接引脚的额定电流上限为每引脚 50 A。该引脚所采用的合金材料使其导电性显著优于标准型压接引脚。

2.3.3 热管理

两种压接引脚类型的横截面积均约为 0.36 mm^2。根据计算，每根引脚在其额定电流下工作时，需要耗散约 2 W 的功率。然而，这些损耗的耗散方式各不相同。标准型压接引脚会将热量同时传导至 DBC 和 PCB，而大电流型引脚则得益于所用合金更高的导热性，只要引脚局部区域的可接受 PCB 温度始终高于基板温度，其大部分损耗便会向陶瓷基板耗散。这一点在作为对比的图 8 中也有所体现。根据边界条件的不同，温度可能会有所差异。

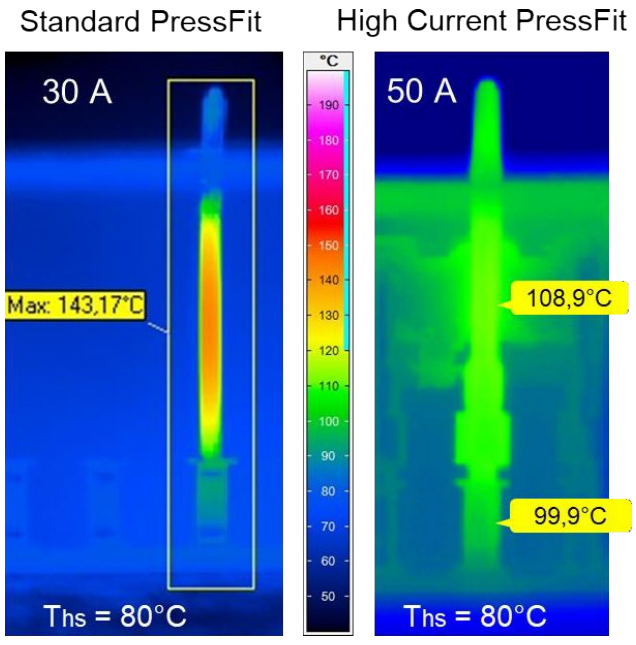


图 8　　具有相同层叠结构和布局的两种引脚的热性能

在大电流型引脚的示例中，尽管电流较大，但 PCB 温度较高，这可归因于采用了相同的层叠结构和布局。实践中已证明，将连续工作温度设定为比 PCB 玻璃化转变温度 Tg 低约25 K，是一条可靠且被广泛接受的指导原则。此外，还应考虑由周围组件引起的其他限制因素。对于模块本身，必须将外壳的相对温度指数（RTI）视为一个限制因素。

为了在系统层面提高两种压接引脚类型的载流能力，必须确保在引脚连接处，PCB 的横截面面积显著大于引脚的横截面面积，或显著大于并行引脚的总横截面面积。可通过遵循以下指导原则来实现：

- 使用厚铜箔——市面上常见的铜箔厚度可达 105 µm/3 oz，且仍可实现能够容纳典型功率电子器件（如驱动器）的布局
- 并联多层设计
    - 对于无低电感需求的连接（例如交流输出线路），所有层均可并联
    - 对于直流母线连接及其他会产生换相电感的线路，应将信号线布设在顶层，回流线布设在底层，并用厚芯板将两组线路隔开，以提供隔离并尽可能地降低电容
- 增加铜箔面积，即使对载流贡献有限，也有助于散热。不过，应避免与敏感电路产生电容耦合。
- 应避免导致电流拥挤的结构，例如 90° 直角

2.4 焊接引脚的 PCB 要求

带焊接引脚的 Easy 模块设计用于焊接至厚度不超过 2 mm 的 PCB 上。焊接引脚的几何形状在模块数据手册中提供。PCB 通孔直径应根据第 2.2 章所述的步骤确定。

3 压入工艺

本节介绍压入工艺，包括将 Easy 系列模块插入印刷电路板所需的工具和参数。

3.1 简介

PressFIT 压接模块通过使用压入技术插入印刷电路板。压接操作可使用肘杆式压力机或专用机器来完成。强烈推荐使用能够记录施加力和行程距离的压入工具来监控压入过程。这样可以确保质量的一致性和可重复性。

压入力与保持力以及压入连接的质量（电气阻抗和可靠性）密切相关。根据 IEC 60352-5 标准，标准测试中的压接速度应在 25-50 mm/min 之间。压接速度低于 25 mm/min 可能会导致压入力增大、引脚变形，或造成非气密性连接。英飞凌推荐采用约 100 mm/min 的压入速度。自动化装配线的典型压入速度可达 450 mm/min。

请注意，在压入过程中，PCB 的位置与压板的压接区域必须相互平行。压板应通过机械方式固定到位，且不允许有任何公差。随后，将模块匀速压入 PCB。

在压装过程中，模块引脚应穿透 PCB，直至模块的四个支撑柱孔，或如第 11.3 章“PCB 上的多模块”所述的可选间距保持结构与电路板连接。

为了限制压入过程结束时的作用力，可在压入工具的底模上安装圆柱销等间距保持结构。

只要遵守上述原则，就能实现两个组件的顺利插入。

3.2 一般的压入流程

压入可采用手动、半自动或全自动方式进行。我们区分以下两种应用场景：

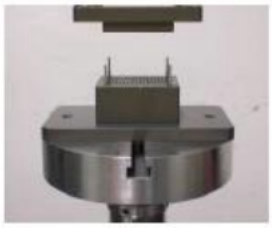
a) PCB 上的单个模块
b) 在 PCB 上安装多个模块时，这些模块既可以单独压入，也可以在一次压入流程中同时压入。

在以下章节中，将详细介绍这两种方法。

3.2.1 PCB 上单个模块的一般压入流程

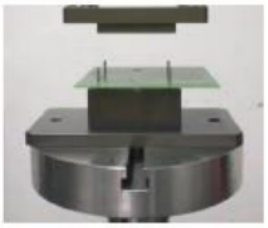
图 9 展示了在实验室中对 PCB 上的单个 Easy2B 模块进行压入的一般流程。该流程对应情况 a），即在 PCB 上安装单个模块。当模块的支撑柱孔连接到PCB表面时，该流程即告完成。关于在 PCB 与散热器之间放置间距保持结构（如支撑柱等）的更多信息，可参见第 11.1 章。

应使用间距保持结构将 Easy3B/4B 模块压入 PCB 中，例如按推荐距离进行安装。有关间距保持结构的更多详细信息，可参见第 11 章。



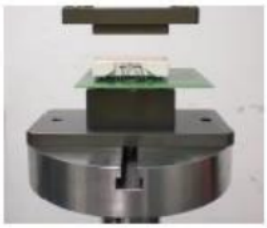
1.

The press is aligned so that all parts of the tool are directly above the other.



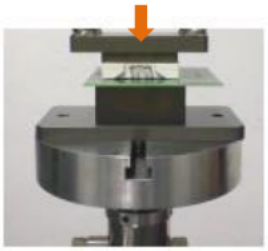
2.

The printed circuit board is placed on the tool and held in place by the guiding pins on the tool.



3.

The module is placed on the tool and positioned by using the guiding pins on the tool.



4

The module contacts are pressed into the PCB by pressing the upper tool part downwards.

图 9　　单个Easy 模块压入 PCB 的一般流程

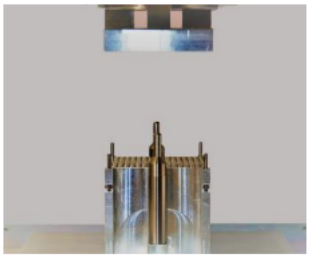
请注意：我们推荐在压入流程中保护 IGBT 模块的背面，以避免受损。

3.2.2 预涂热界面材料（TIM）模块的压入流程

预涂 TIM 的 PressFIT 压接模块的压入流程所需的压入工具与上述流程不同。这是由于模块上预涂了 TIM 蜂窝结构，且直接铜键合（DCB）层上的 TIM 之间存在狭窄的受限区域。

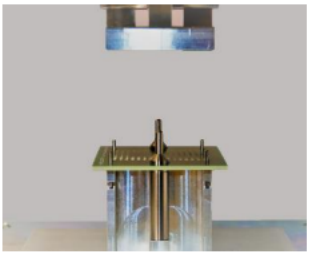
在预涂 TIM 的 Easy 模块整个压入流程中，必须避免损坏 TIM 蜂窝结构。因此，压入工具的设计必须考虑 TIM 材料在模块底板上的位置。压入力应施加在蜂窝结构之间的 DCB 区域。第 3.4.2 节对压入工具进行了更详细的描述。

关于压入工具和印刷电路板定位的所有其他说明，均与第 3.2.1 节所述的未预涂 TIM 压入流程相似。图 10 展示了实验室中预涂 TIM 的 Easy2B 的压入流程。



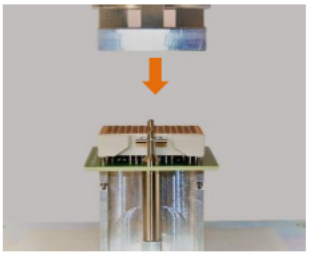
1)

The bottom tool is aligned to the upper tool by using the two long alignment pins and the slow-motion function of the press machine.



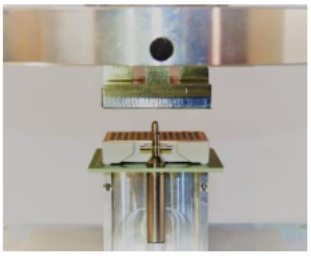
2)

The printed circuit board is placed on the tool and held in place by the four pins on the tool.



3)

The module is placed on the tool and positioned using the four pins on the tool.



4)

The module contacts are pressed into the PCB by pressing the upper tool part downwards.

图 10　　已预涂 TIM 的单个 Easy2B 模块的压入流程

图 11 展示了预涂 TIM 的 Easy2B 模块压装前后的压痕对比。



图 11　　预涂 TIM 的 Easy2B 模块压入前（左图）和后（右图）

此处展示的 TIM 表面结构仅为示例，Easy 系列不同产品的结构各不相同。

注：预涂 TIM 的模块在压入流程后，TIM 蜂窝结构之间的铜基板上可能会出现光学变化，这些变化仅在特定角度下可见。这些压入工具留下的压痕不会对基板产生负面影响，可视为纯光学效应。该现象在下方图 12（绿色圆圈）标注。

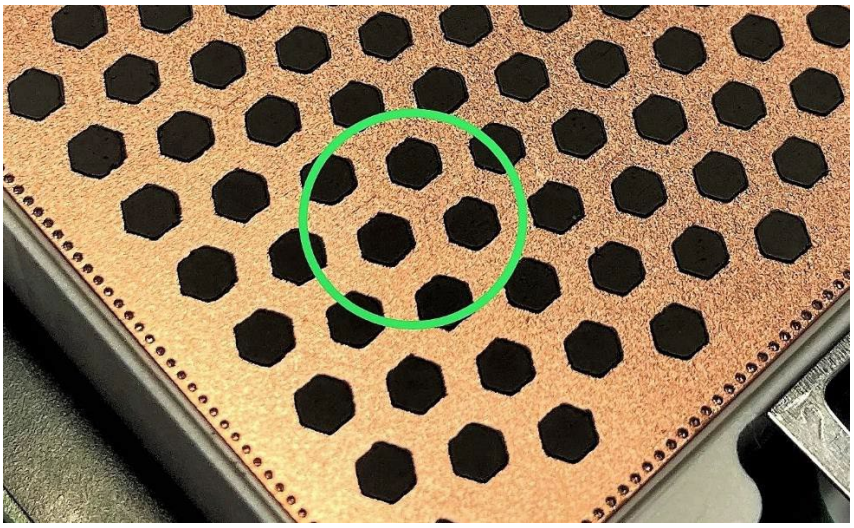


图 12　　铜基板的光学变化（绿色标注）

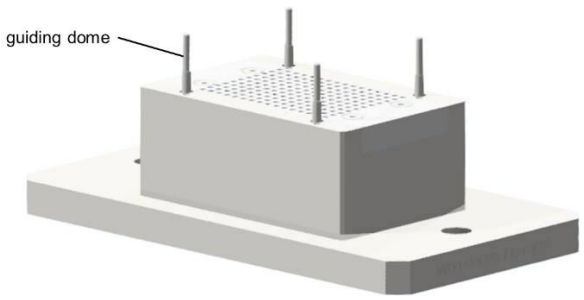
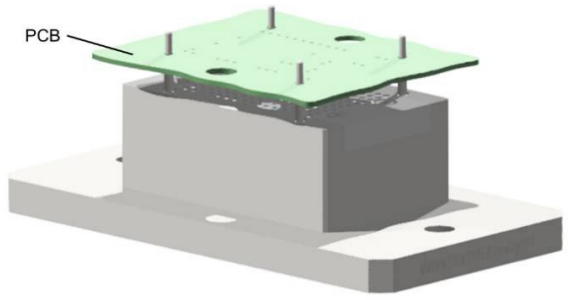
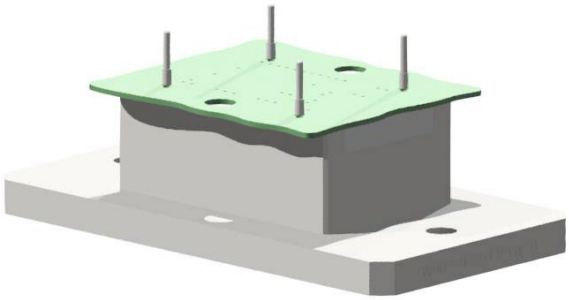
3.2.3 PCB 上多个模块的一般压入流程

将多个功率模块压装到大型 PCB 上时，由于模块和 PCB 存在与制造相关的公差，需要采用特殊的操作流程。该流程旨在解决模块与 DCB 以及 PCB 表面之间的高度偏差问题，因为这些偏差可能会对模块的散热性能和使用寿命产生显著影响。其目标是尽可能减小这些偏差，以防止 PCB 发生机械变形，或避免对模块及压接引脚施加不必要的力。

因此，模块不应完全压入 PCB，而应仅压入至预定距离。一个简单的解决方案是使用 U 形间距保持结构，或在顶部插入工具上安装额外的导向垫片。在这种情况下，间距保持结构会先于模块外壳接触 PCB。

确保 PCB 表面有足够的空间，以便在相邻模块之间放置间距保持结构。

图 13 展示了功率模块在 PCB 上的压入流程，这些模块被依次压入 PCB。也可以同时将多个模块插入同一块 PCB 中。这给确保压入流程的质量一致性带来了更大的挑战。只有针对所有模块同时进行操作，并结合相应的压入曲线，才能实现过流程控制。

	图中展示了压入工具的底面，其上的导向凸台有助于实现预对准。 请**注意**，底模设有相应的凹槽，用于在压入流程中固定 SMD 及 PCB 上的其他组件。
	下一步，将 PCB 放入底模中，此时底模上的导向凸台可确保 PCB 正确定位。
	这张图片展示了已安装好 PCB 的压入工具，准备进行模块装配。

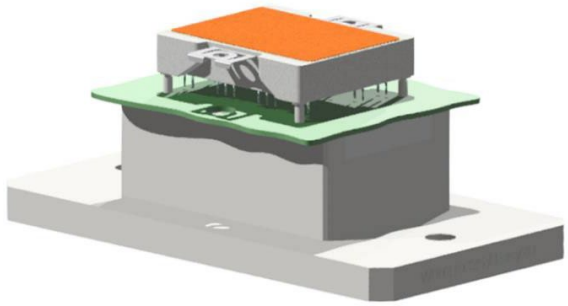
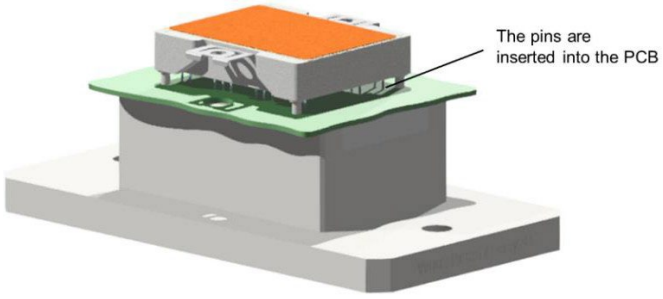
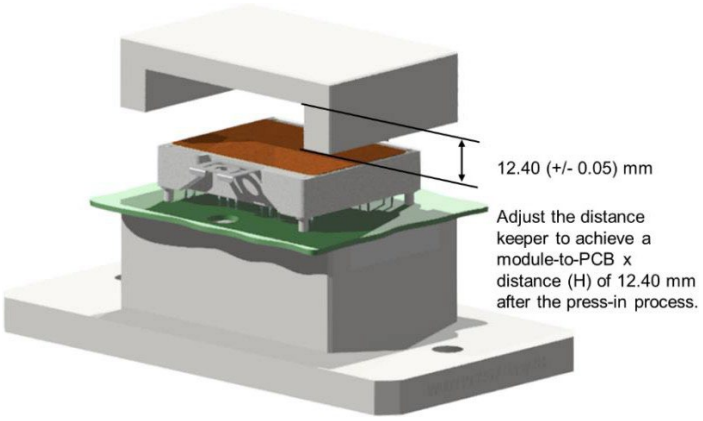
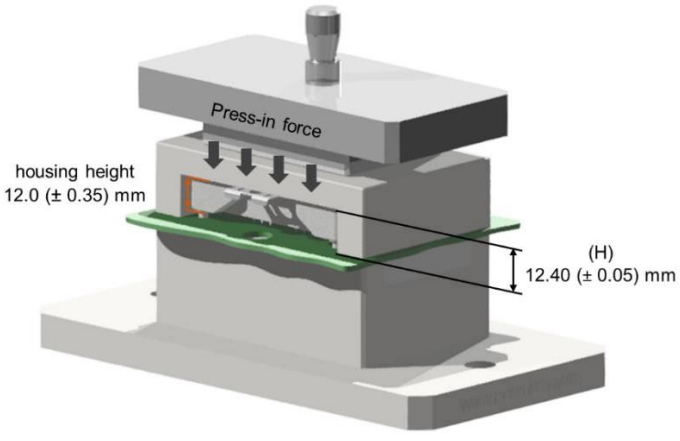
	随后将模块放置在导向件上，并将模块引脚插入 PCB 中。
	引脚插入 PCB 后，模块便与压入工具齐平。引脚在有效压入区的起始处（距引脚顶端约 2.5 mm 处）接触 PCB。如果模块未与压入工具齐平，或引脚未插入（例如，模块比图中所示的正常情况高出约 2.5 mm），则应在后续压入流程中引脚受损前纠正安装位置。
	在将模块预对准到底模后，即可使用间距保持结构。如图所示，将间距保持结构的高度设置为 12.4（± 0.05）mm。这样可以对模块的高度进行补偿。
	最后一步展示了受控路径力之下的压入流程。当 PCB 与间距保持结构之间的作用力增大时，压入流程将自动停止。如果压入流程在 PCB 接触到模块外壳之前停止，则操作正确。因此，模块背面到 PCB 的距离与模块高度无关。

图 13　　在规定距离下压入功率模块

3.2.3.1 仅将 Easy3B 和 Easy4B 模块压入 PCB

如果系统中仅使用 Easy3B 和 Easy4B 模块，原则上可以使用较短的间距保持结构。应遵循上文第 3.2.3 节中所述的一般原则。

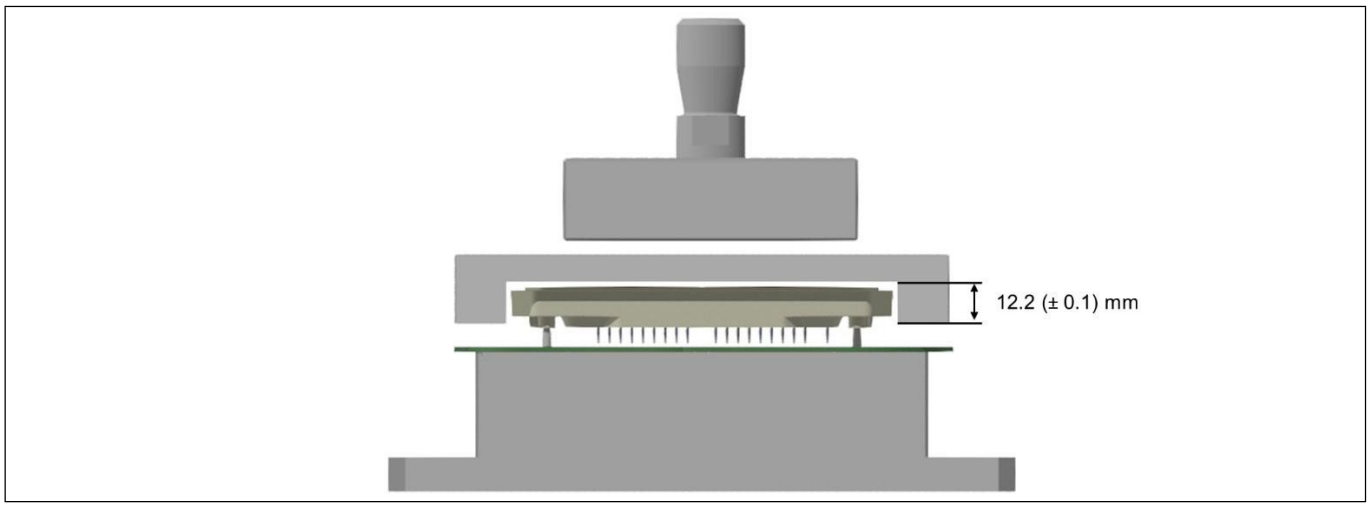


图 14 Easy3B/4B 模块的典型间距保持结构

3.3 压入工艺参数

本节介绍压入工艺参数，这些参数有助于在模块与印刷电路板之间建立高度可靠且机械性能稳定的压接连接。

3.3.1 压入行为

对压入工艺的监控至关重要。因此，推荐在批量生产中使用采取力-行程控制方法的压入机，以确保压入工艺的质量一致性和可重复性。

模块可通过预设的路径控制位移，或使用适当的间距保持结构压入 PCB。此外，把单个模块压入 PCB 时，也可将模块的四个支撑柱孔作为停止依据。当曲线末端压入力的斜率发生显著变化时，该流程原则上即告完成，因为有效压入流程已结束。

继续压入会增加对外壳的力。因此，检测斜率的变化点，并在检测到该点后立即停止压入流程十分有益。

将间距保持结构或模块支撑柱用作停止依据的方法之间并无显著差异。由于材料刚性的不同，曲线末端上升段的斜率仍可能出现轻微变化。

相反，使用间距保持结构进行的压入工艺与路径控制工艺在曲线变化趋势上存在差异——后者会在工艺结束时在模块与 PCB 之间留有间隙。在路径控制工艺中，由于未与 PCB 表面连接，曲线末端不会出现上升段。这两种方法分别如下文的图 15 和图 16 所示。

根据所选的压接引脚以及孔径、PCB 金属化层和 PCB 刚度等其他因素的不同，标准型压接引脚和高电流型压接引脚的压入曲线在变化趋势和总压入力方面可能会存在一些差异。

一般而言，压入曲线与压入路径的不同阶段相关。该曲线可分为三个主要阶段。

下文将在后续小节中对这些阶段进行图示说明和描述。

3.3.1.1 标准型压接引脚模块的压入曲线示例

图 15 显示了一个 Easy2B 模块的典型压入曲线，该模块配备了 33 个标准型压接引脚。

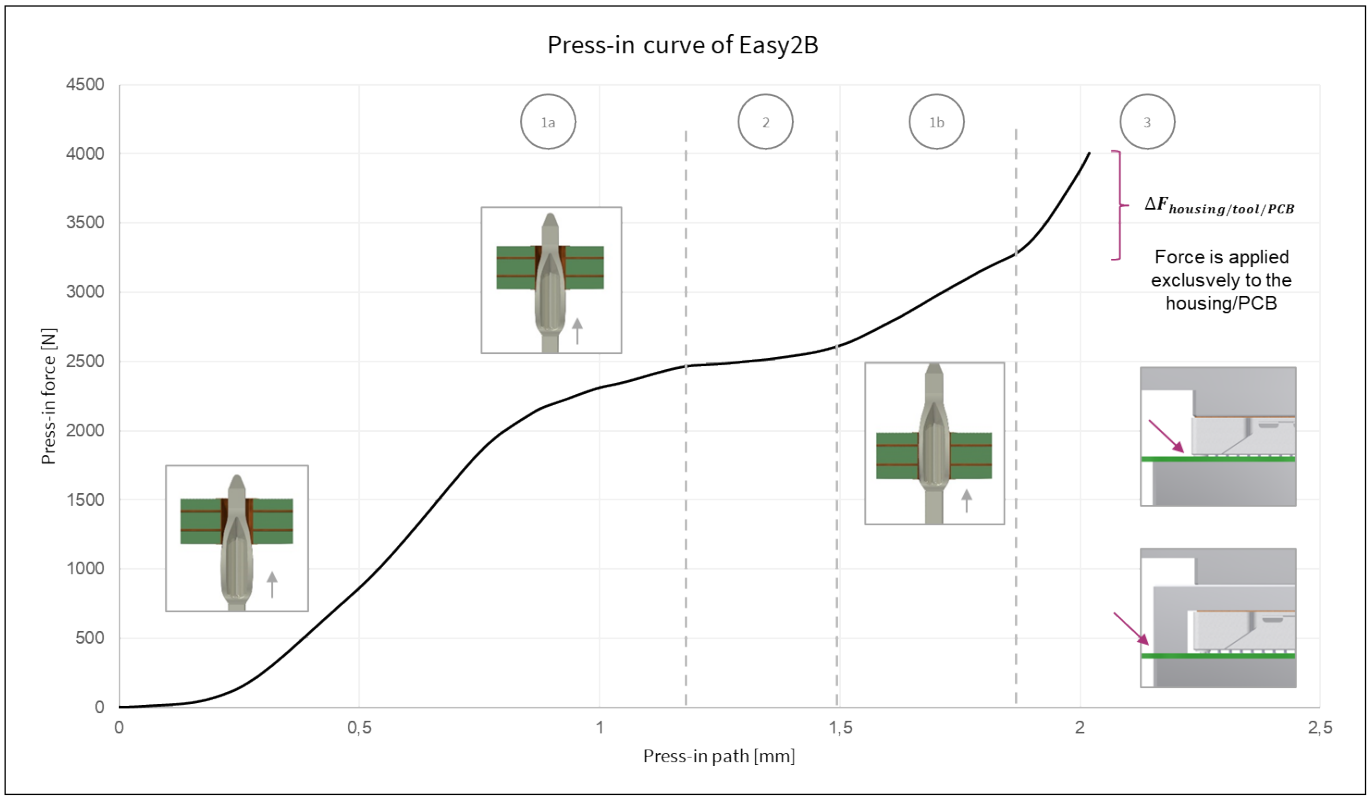


图 15　　配备 33 个标准型压接引脚的 Easy2B 的典型压入曲线

第一阶段（1a）是压接流程的开始。压接区域首先接触到 PCB 的镀通孔。随着模块被向下压入，压入力均匀增加。此时，压接区域受到 PCB 镀通孔的作用而发生一定程度的变形。

第二阶段（2）是由部分压接引脚在 DCB 铆钉中产生的额外滑动效应引起的，这是由于压接引脚末端与 DCB 铆钉内壁之间存在气隙所致。PCB 镀通孔的最终直径对这种现象有显著影响。孔径越小，曲线中该效应就越明显。如果在控制压入曲线的过程中未发现该第二阶段，则可推断压接引脚在 DCB 铆钉中的滑动效应较弱。

请注意：压接引脚在 DCB 铆钉中的滑动效应不会对模块或压接质量产生任何机械或电气影响，可视为非关键因素。滑动完成后，引脚与铆钉之间将实现冷焊。

后续阶段（1b）通常是第一阶段的延续。将压接引脚压入 PCB 的镀通孔中，直至达到最终位置。

一旦间距保持结构或外壳支撑柱接触到 PCB 表面（在第3阶段），压入流程即告完成。在此示例中，有效的压入流程在斜率变化处（大致在 z = 1.85 mm 处）成功完成，模块承受的总力约为 3300 N。曲线后续的上升部分，即 $\Delta F_{housing/tool/PCB}$，表明力已传递至模块外壳和 PCB。

3.3.1.2 大电流型压接引脚模块的压入曲线示例

本节以一款配备 75 个大电流型压接引脚的 Easy 4B 模块为例，展示压入进程。典型的压入进程如图 16 所示。该曲线走势可能与配备标准型压接引脚的 Easy 4B 模块的压入曲线有所不同。这主要是由于引脚的几何形状与印刷电路板的特性共同作用所致。

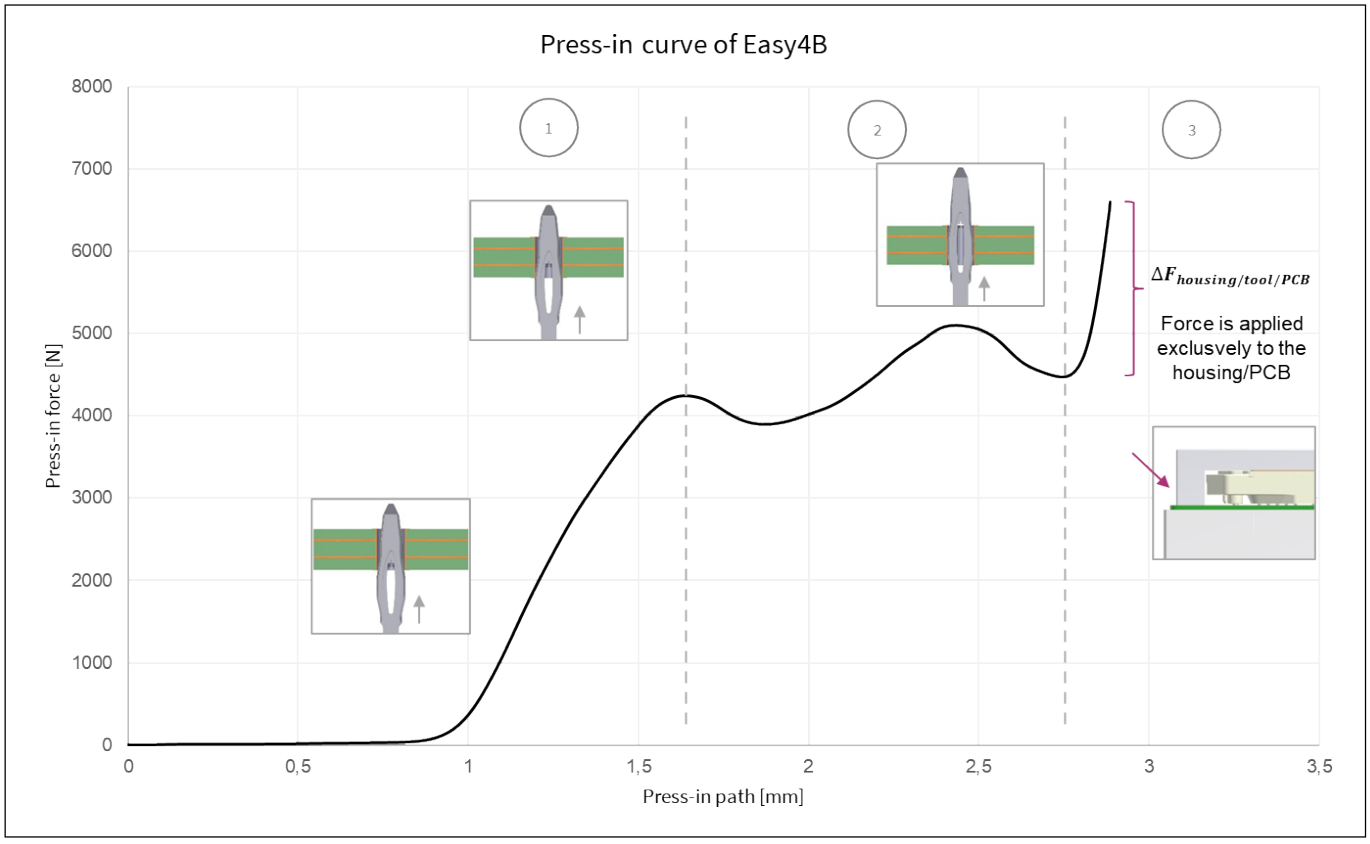


图 16 配备大电流型压接引脚的 Easy4B 的典型压入曲线

第一阶段（1）表示压接区域在 PCB 镀通孔内的起始位置。当模块继续被向下压入时，压接区域首先接触到 PCB 的镀通孔，并发生一定程度的变形。此时，压入力均匀增加。

其间出现的第一个曲线峰值是由压接区域的几何形状造成的。根据 PCB 孔的金属化处理、刚度，尤其是最终直径的不同，该峰值在曲线中的显著程度也会有所差异。孔径越小，该峰值就越明显。此外，小直径孔会导致压入力的陡峭上升。

在第二阶段（2），压入力逐渐减小，直至达到第二个峰值。此时，压接引脚被压入至最终位置，其周长达到最大，并承受允许的最大程度变形。随后，压入连接区完全位于 PCB 的镀通孔内。

随后的第三阶段（3）是由间距保持结构或模块外壳与 PCB 连接产生的。在此示例中，有效的压入流程在斜率变化处（大约在 z = 2.7 mm 处）成功完成。不过，该数值并不适用于所有压入工艺，仅供参考，因为该数值可能会因零点基准的不同而有所变化。在此示例中，该模块承受的总力为 5050 N。

3.3.2 压入力和速度

总压入力由引脚数量决定，并可能因多种因素而变化，例如 PCB 类型、孔径或 PCB 所用的金属化工艺。

根据模块类型，两种不同的压接引脚需要不同的压入力。使用标准型压接引脚将模块插入 PCB 时，每个引脚所需的压入力约为 60 N 至 100 N。相比之下，采用大电流型压接引脚的模块每个引脚所需的压入力较低，约为 50 N 至 80 N。

表 2 列出了 PressFIT 压入速度以及每个引脚的最大压入力。

	标准型压接引脚		大电流型压接引脚	
每个引脚的压入力	通常为 85 N	< 100 N（最大值）	典型值：60 N	< 80 N（最大值）
压入速度	> 25 mm/min（根据 IEC 60352-5 标准认证要求） 推荐为100 mm/min			

表 2 PressFIT 压入速度与每个引脚的压入力

为了实现可控的关断流程，需要根据压入机设定一个最大力值，该力值必须在压入机中进行配置。一旦达到该力值，流程将自动完成。此外，该力值还起到安全防护作用，可防止操作失误，例如工具与组件未对齐。

最大力值可根据引脚数量确定，其中包含安全裕量。但必须注意，安全裕量不应超过每个单独引脚的最大压入力。由于单个压接引脚的压入曲线变化走势及设计特性不同，安全裕量的数值也会有所差异。

以下示例说明了如何根据压接引脚的数量来确定最大总压入力：

$$F_{max,PressIn} = Number\ of\ Pins * F_{max,PressIn/pin} * 1.X$$

标准型压接引脚：	$F_{max,PressIn} = 33\ Pins * 100\frac{N}{Pin} * 1.20 = 3960\ N$
大电流型压接引脚：	$F_{max,PressIn} = 75\ Pins * 80\frac{N}{Pin} * 1.10 = 6600\ N$

表 3 压入机采用的模块最大压入力计算

请注意，为防止模块或 PCB 受损，实际力值不得超过上述最大力值。不过，根据实际产生的压入力，这些数值可能会有所降低，因为模块所需的最小总压入力可能会因 PCB 的特性而有所不同。因此，$\Delta F_{housing/tool/PCB}$ 值（该值代表专门传递至 PCB 或模块外壳的力）可能会受到影响。该数值可从压入曲线的最后阶段（3）中获取，如图 15 和图 16 所示。因此，若要避免对模块外壳或 PCB 施加过大的力，则可通过对 PCB 进行质量控制来降低 $\Delta F_{housing/tool/PCB}$，例如测量最终孔直径以及对压入力进行初步测试。这种方法可在确保所需安全性的同时，将压入力降至最低。

根据 IEC 60352-5 标准，压接速度不得低于 25 mm/min。英飞凌推荐的压入速度约为 100 mm/min。自动化装配线的典型压入速度可达 450 mm/min。

3.4 压入工具

对于三款 Easy B 系列和两款 Easy C 系列模块，推荐使用以下压入工具进行模块的压入和压出操作。

3.4.1 适用于未预涂 TIM 的 Easy 模块的压入工具

图 17 展示了适用于 Easy 1B/2B 和 Easy 1C/2C 这两种外壳类型的压入工具。适用于 Easy 3B 外壳的压入工具如图 18 所示。

每套工具均由两部分组成。第一部分压在模块底部，第二部分则用于固定待压接的 PCB 。

此类专用压接工具的安装区域内不得放置任何组件，以此防止在压接过程中造成损坏。

将多个模块压接到 PCB 上时，应调整压入工具的位置，确保压入后各模块处于同一水平上。通过这种方式，可将多个模块安装到散热器上，并形成良好的热连接。关于将多个模块安装到 PCB 上的详细安装顺序，可参见第 3.2.3 章。

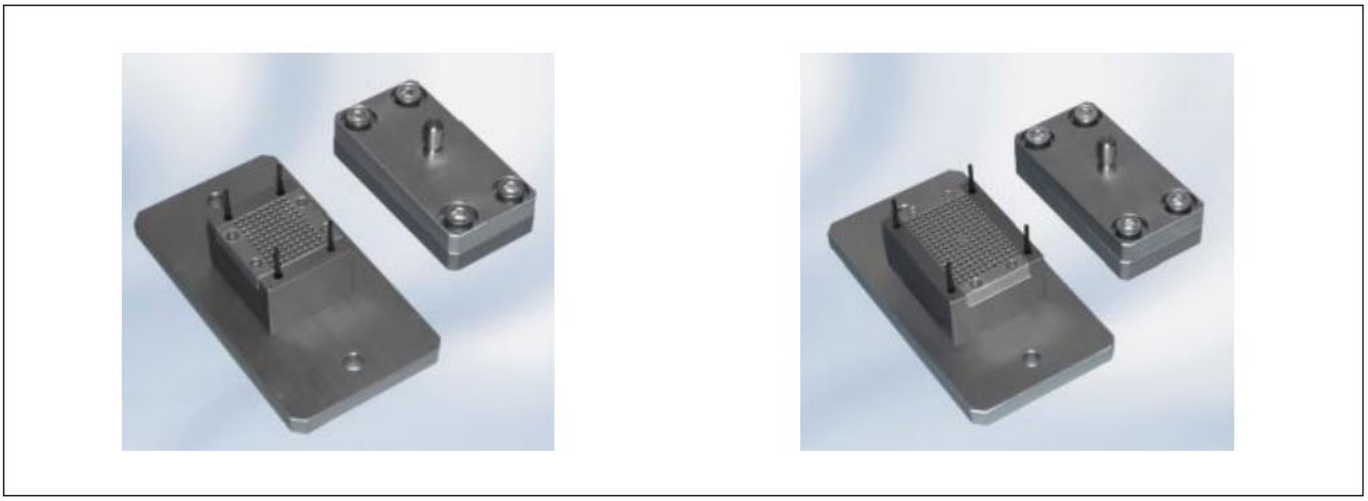


图 17 适用于 Easy1B/1C（图左）和 Easy2B/2C（图右）模块的标准压入工具



图 18　　HARTING Electronics GmbH 生产的 Easy3B 压接工具

可根据不同要求（例如模块引脚及其他部件的顶面装配）和首选制造商生产的工具对图纸进行调整。

3.4.2　适用于预涂 TIM 的 Easy 模块的压入工具

为避免损坏 TIM 的蜂窝结构，压印头在压入过程中不应接触 TIM 材料，应仅接触未涂覆 TIM 的基板区域。图 19 展示的示例为一个用于压入预涂 TIM 的 Easy2B/2C 模块的上压印头，该压印头由两部分组成。



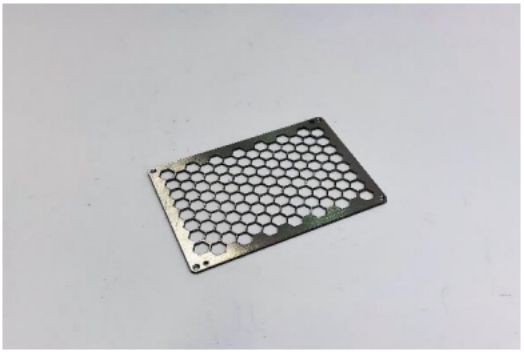


图 19　　Easy2B/2C 的压入压印头（左）和压板（右）

压板通过四颗螺钉固定在主体上。这一设计便于在经过多次压入流程后替换压板，或更改 TIM 蜂窝结构。此外，上压印头的主体设有两个沉头孔，用于与底模精确对准。

图 20 展示的示例为一个下压印头，该压印头可分为底板和底模。它通过圆柱形结构支撑压接引脚周围的 PCB，并在压入过程中支撑印刷电路板。

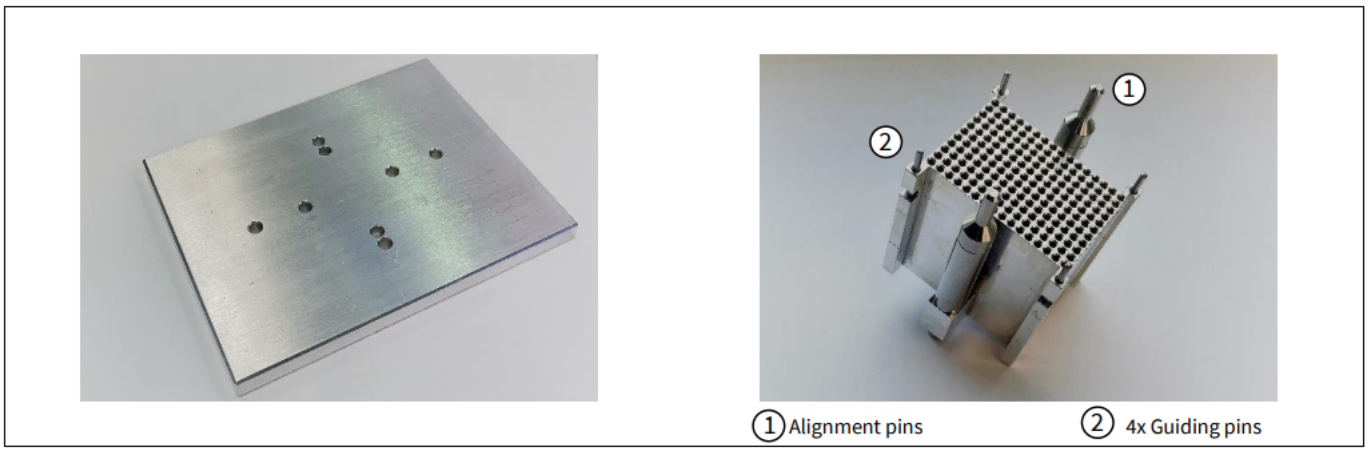


图 20　Easy2B/2C 的压入底板（左）和下压印头（右）

为了避免损坏 TIM 蜂窝结构，必须确保模块精确对准。因此，四个导向销有助于在压入过程中正确定位模块。此外，底模上还配备了两个长对准销，这些销将插入沉头孔中。

若决定针对特定印刷电路板通过减少导向销的数量来调整模具，应检查并验证压入工艺。可通过英飞凌销售渠道申请模具的图纸和 3D STEP 模型。客户须自行测试和认证模具在特定装配工艺和应用中的适用性。

4 压出工艺

本章介绍了 Easy 模块所需的压出力和工具。

应使用如图 21 和图 22 所示的相应工具将 PressFIT 压接模块压出。将装有 PressFIT 压接模块的 PCB 放置在器件托盘上。使用顶出板对从 PCB 突出的压接引脚施加力。压出工具必须彼此平行对齐，以免损坏各个部件（如 PCB 和模块）。一旦压接区域从 PCB 上抬起，模块就会落入工具下部的托盘中，并与电路板分离。

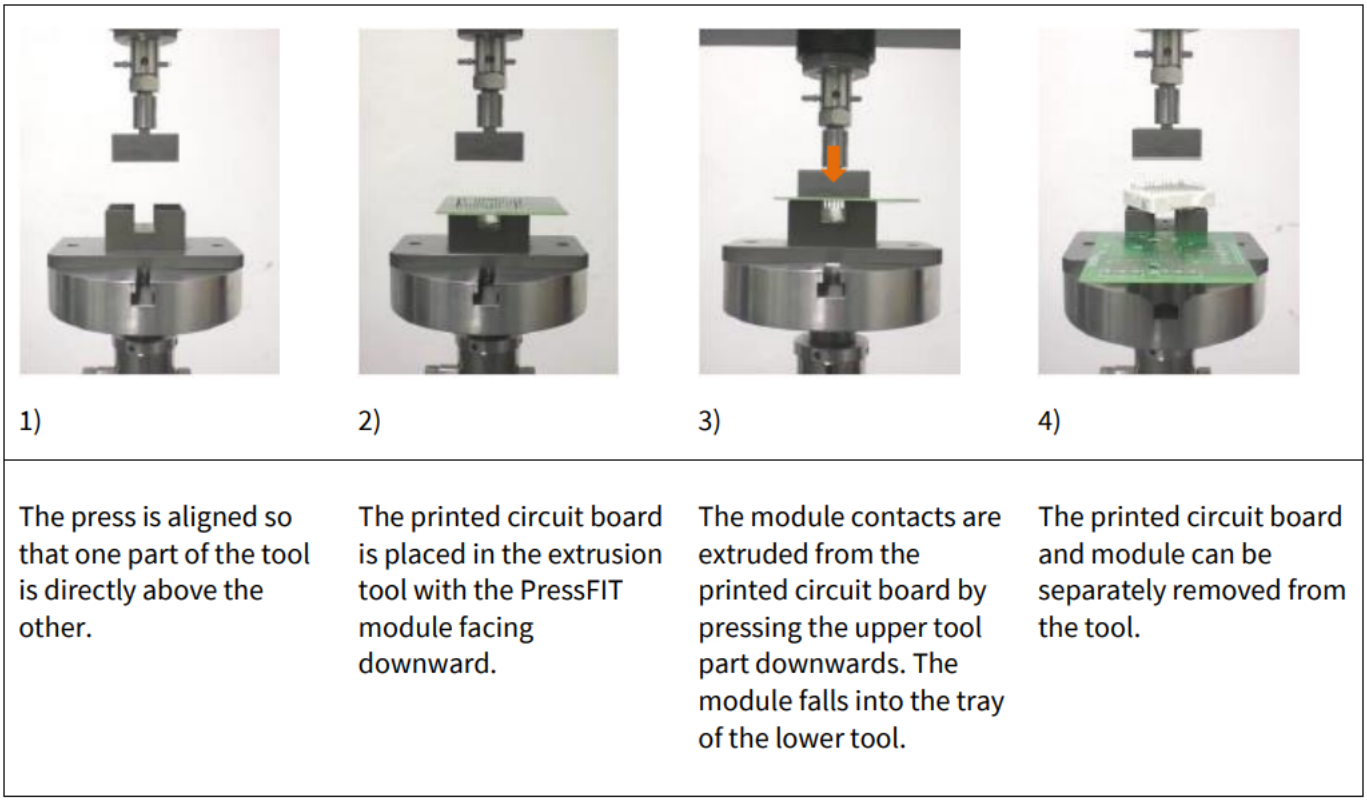


图 21 压出 Easy 模块

4.1 压出工具

如前所述，压出工具由两部分组成。工具的上部直接向下压在模块引脚上。工具的下部固定装有 PCB 的模块，并作为压出操作的基座。

拆卸工具必须相互平行对齐，以便在压出过程中实现均匀受力。

在设计 PCB 时，必须考虑压出工具的尺寸，以确保模块周围的部件不会被损坏。

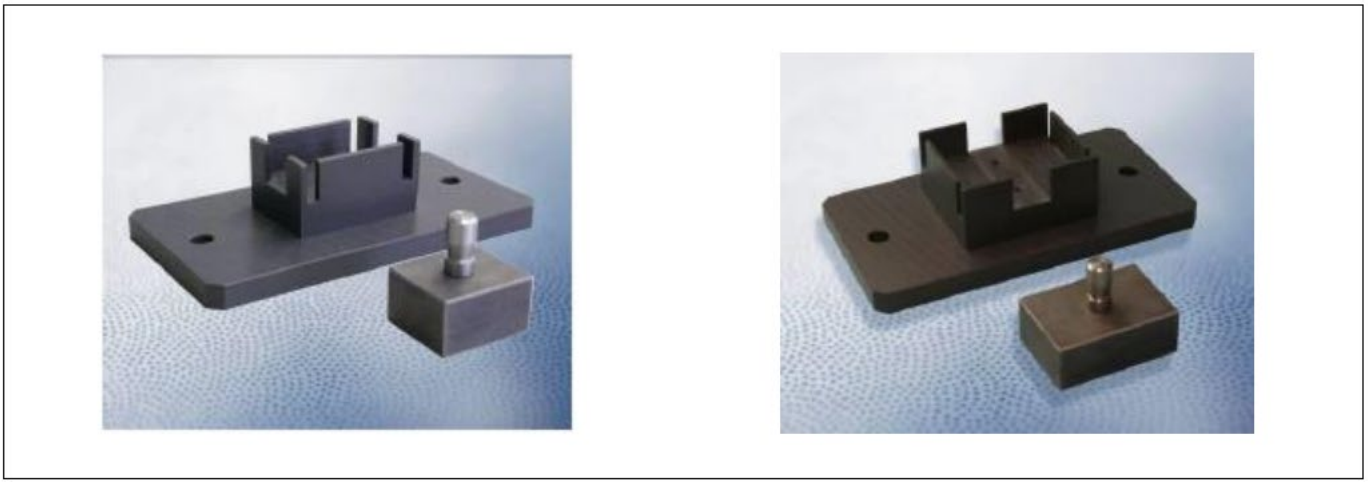


图 22　　适用于 Easy1B/1C（左）和 Easy2B/2C（右）模块的压出工具

图纸可根据要求和首选制造商生产的工具进行调整。

4.2　　压出力

为了将模块从 PCB 上压出，必须对模块中的每个引脚施加大约 > 40 N 的力。压出力主要取决于 PCB 中孔的直径。

5 PressFIT 压接连接的质量

PressFIT 压接技术是一种将 IGBT 模块上的控制电流和负载电流触点与 PCB 连接的解决方案。

目前各类要求正在持续增长，包括对更高耐用性的要求、向更高工作温度发展的趋势、无铅化要求，以及当然还有极其简便的可操作性要求。

作为市场上的一项先进技术，PressFIT 压接技术与手动焊接连接及其他连接类型相比，可将可靠性提高 100 倍。西门子标准 SN 29500-5 中的可靠性分析结果证明了这一点。

装配流程简单，从而节省了时间和成本。该工艺可靠，并确保了系统的可维修性。

表 4 摘录自西门子标准 SN 29500-5 / 2004-06 版第 5 部分，展示了不同连接技术的失效率。

表 4 西门子标准 SN 29500-5 / 2004-06 版第 5 部分中各种连接技术的失效率

工艺	导体直径（mm^2）	失效率 λref，以 FIT 为单位[1)]	注：标准/指南
手动焊接 自动焊接	–	0.5 0.03	IPC 610[2)]，2级
混合电路的引线键合 Al Au		0.1 0.1	28 µm / 楔形键合 25 µm / 球形键合
绕接	0.05 至 0.5	0.002	DIN EN 60352 – 1 / IEC 60352 – 1 CORR1
手动压接 自动压接	0.05 至 300	0.25	DIN EN 60352 – 2 / IEC 60352 – 2 A 1+2
夹片	0.1 至 0.5	0.02	DIN 41611 – 4
PressFIT 压接	0.3 至 2	0.005	IEC 60352 – 5
绝缘穿刺连接器	0.05 至 1	0.25	IEC 60352 – 3 / IEC 60352 – 4
螺钉	0.5 至 16	0.5	DIN EN 60999 – 1
端子（弹簧力）	0.5 至 16	0.5	DIN EN 60999 – 1

1) 1 FIT = 1×10^{-9} 1/h；（每 10^9 个部件小时发生一次失效）

2) PCB 的验收条件

PressFIT 压接连接已根据英飞凌针对功率半导体模块的常规标准进行了认证。

图 23 展示了各项测试中的部分摘录。该摘录表明，各项测试的条件应被视为比标准中规定的条件更为严格。例如，在腐蚀性气体测试中，单项测试范围内的温度比标准规定的条件高 15 K。而硫化氢（H2S）浓度则为标准规定值的五倍。绿色区域显示的是标准规定的测试条件，比单项测试中的要求更为宽松。

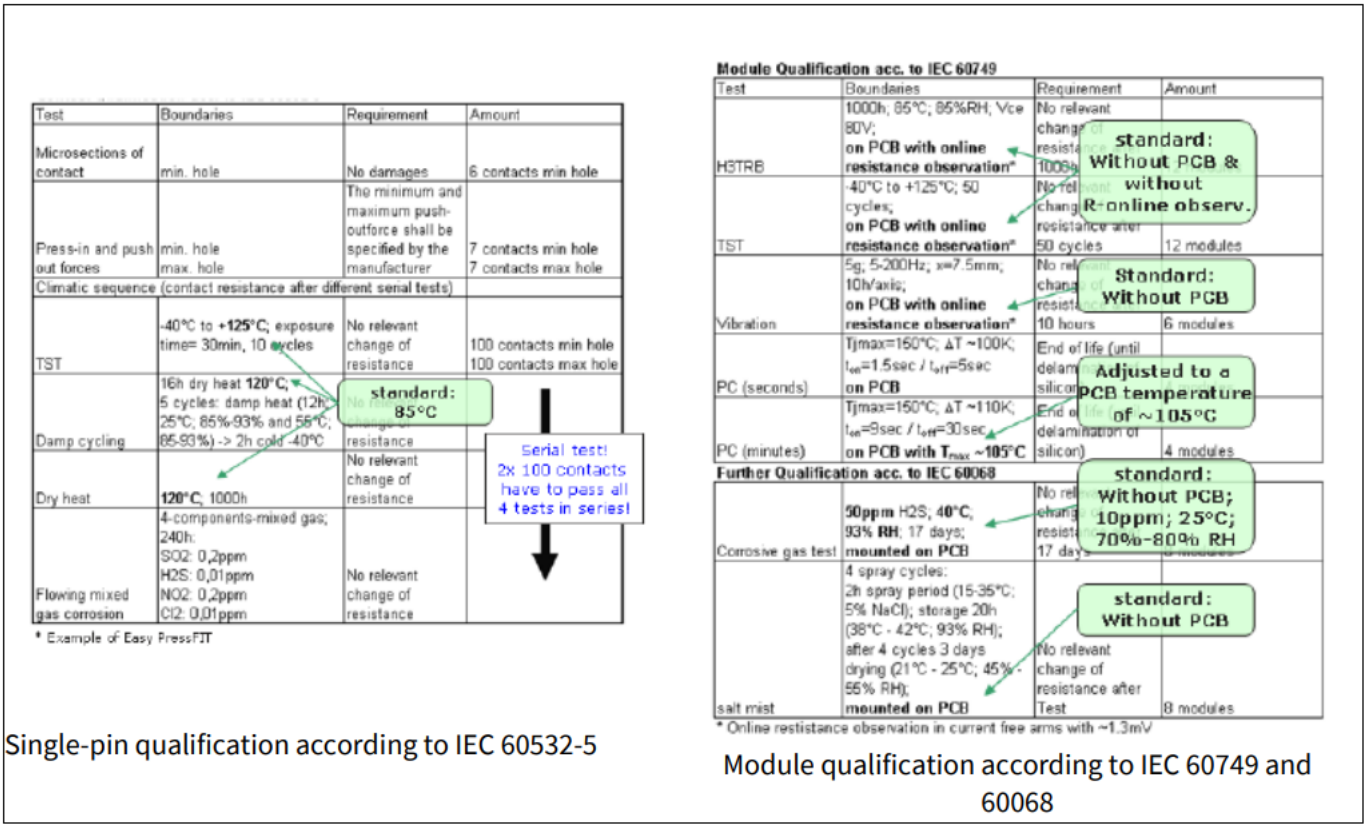


图 23　　认证测试摘录

有关单项测试的详细信息，可参见相关文献，例如 www.infineon.cn 上的 Reliability of PressFIT connections。

6 压接引脚和焊接引脚的焊接工艺

压接引脚和焊接引脚均兼容标准软焊接工艺。对 PBC 的要求详见第 2.2 章和第 2.4 章。

手动焊接、自动焊接和波峰焊接是常用的焊接工艺。根据 IEC 68 第 2 节的规定，260°C 焊接温度的最大持续时间为 10 秒。

为确保模块可靠性，焊接过程中模块外壳的最高温度不得超过 223°C。

7 将 PCB 安装到模块上

为了将 PCB 安装到模块上，可根据需要使用额外的螺钉。这些螺钉将拧入模块的支撑柱中，以机械方式减轻模块与 PCB 之间 PressFIT 压接连接所承受的应力。

推荐使用电子控制式或转速较低的电动螺丝刀（转速 n ≤ 300 rpm）作为安装工具。

由于精度不足，不推荐使用气动螺丝刀或手动螺丝刀。

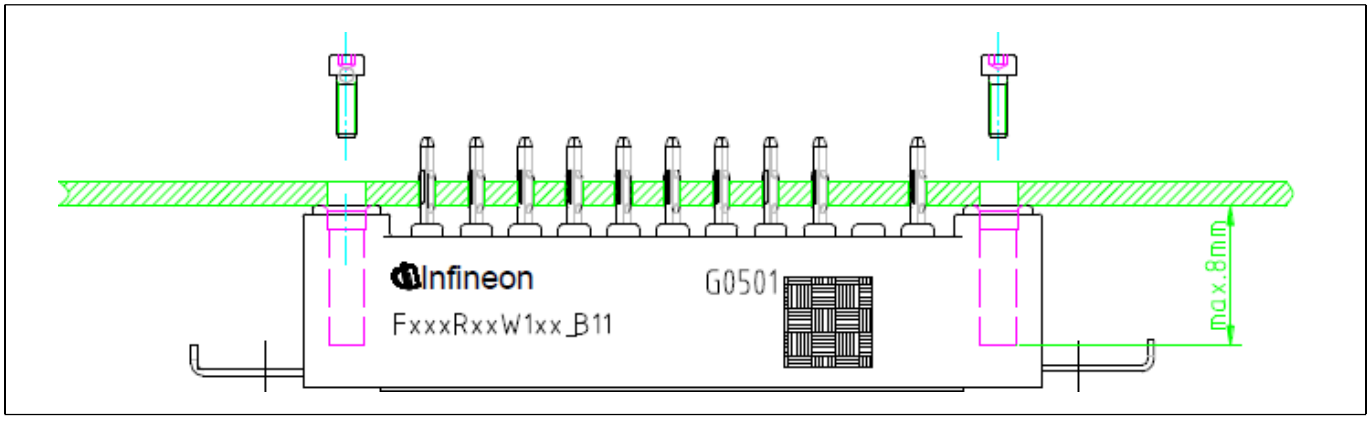


图 24 装配嵌件的详细视图

支撑柱中螺纹的有效长度应至少为 4 mm，最多为 8 mm。

安装支撑柱的初始 1.5 mm 仅起导向作用，无法承受任何力。塑料中的螺纹将在拧入过程中形成。

选择螺钉长度时，必须考虑给定的 PCB 厚度。

以下螺钉经过测试，可用于将 PCB 固定在模块上：

适用于 Easy B 系列：

- Ejot PT WN 1451 K25x10 A2K Mmax=0.45 Nm ±10%
- Ejot DELTA PT WN 5451 K25x8 Mmax=0.4 Nm ±10%

适用于 Easy C 系列：

- Ejot DELTA PT WN 5451 K25x8 Mmax=0.45 Nm ±10%；n=300 rpm
- Ejot DELTA PT DS 5451 K25x8 Mmax=0.45 Nm ±10%；n=300 rpm

为避免支撑柱受损或开裂，装配时必须确保螺钉垂直插入支撑柱中。

PCB 的通孔直径 d_h 取决于所选螺钉类型和模块的相应制造公差。推荐根据图 25，将 $d_h = 3$ mm 作为 PCB 通孔直径的参考值。对于其他公称螺纹尺寸较大的自攻螺钉类型，必须重新确定并检查该参数。

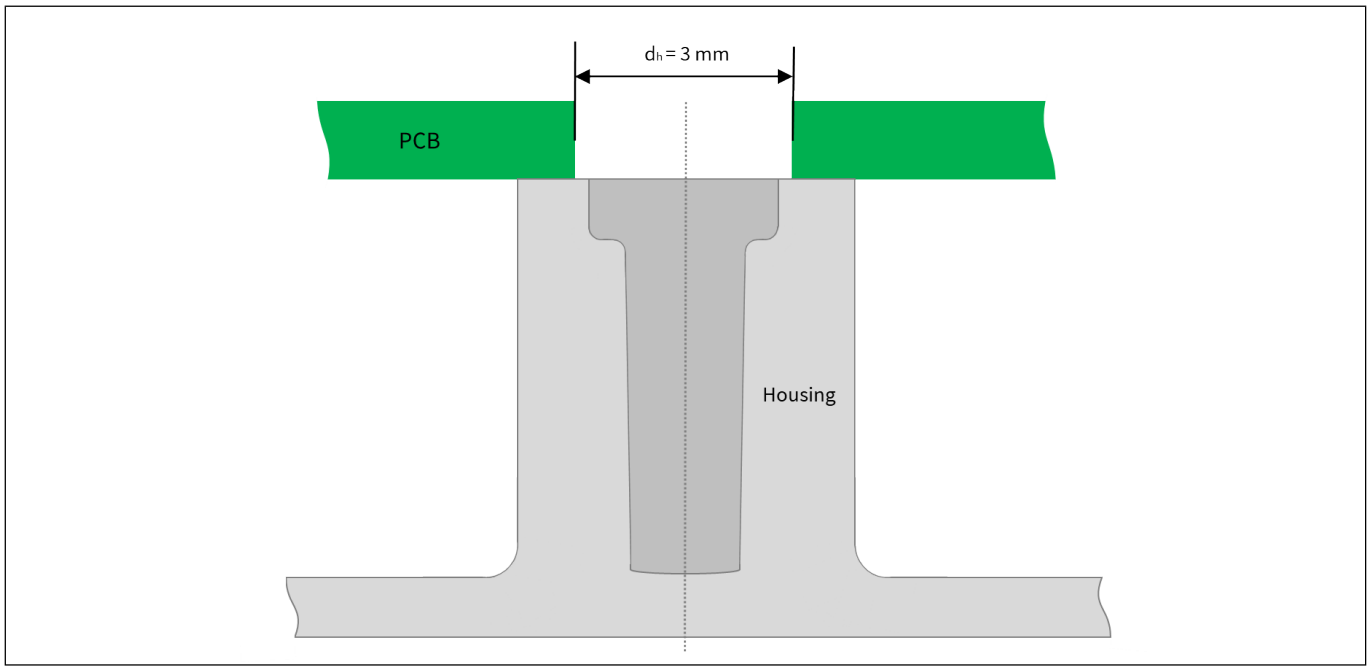


图 25　　自攻螺钉的 PCB 通孔直径推荐值

请注意：如果需要使用间距保持结构（如支撑柱等）将多个模块连接到同一块 PCB 上，则不推荐将模块固定在 PCB 上，因为存在与制造相关的高度公差，且各模块的支撑柱与 PCB 之间的间隙各不相同。

8 用于模块装配的散热器要求

模块中产生的功率损耗必须传导至散热器，以确保模块可在半导体规定的最大温度 T_{vjop} 范围内正常工作，并达到预期的电气性能和使用寿命。

在模块安装区域，散热器表面的状况至关重要，因为散热器与模块之间的界面对整个系统的热传递具有决定性影响。

连接面、模块底面以及散热器的表面必须保持完好无损且无污染，以防止模块承受过大的机械应力，并避免热阻增加。

模块与散热器之间的连接面不得超过以下数值：

- 以长度100 mm为基准的表面平整度 ≤ 50 µm
- 表面粗糙度 Rz ≤ 10 µm
- 台阶高度 ≤ 10 µm

注 1：散热器的平整度不应超过上述数值。该区域包括整个模块安装区域以及夹具的安装区域。

注 2：如果施涂的导热膏层过厚（例如为填补空隙所致），则模块与散热器之间的热阻 R_{th} 将会增加。

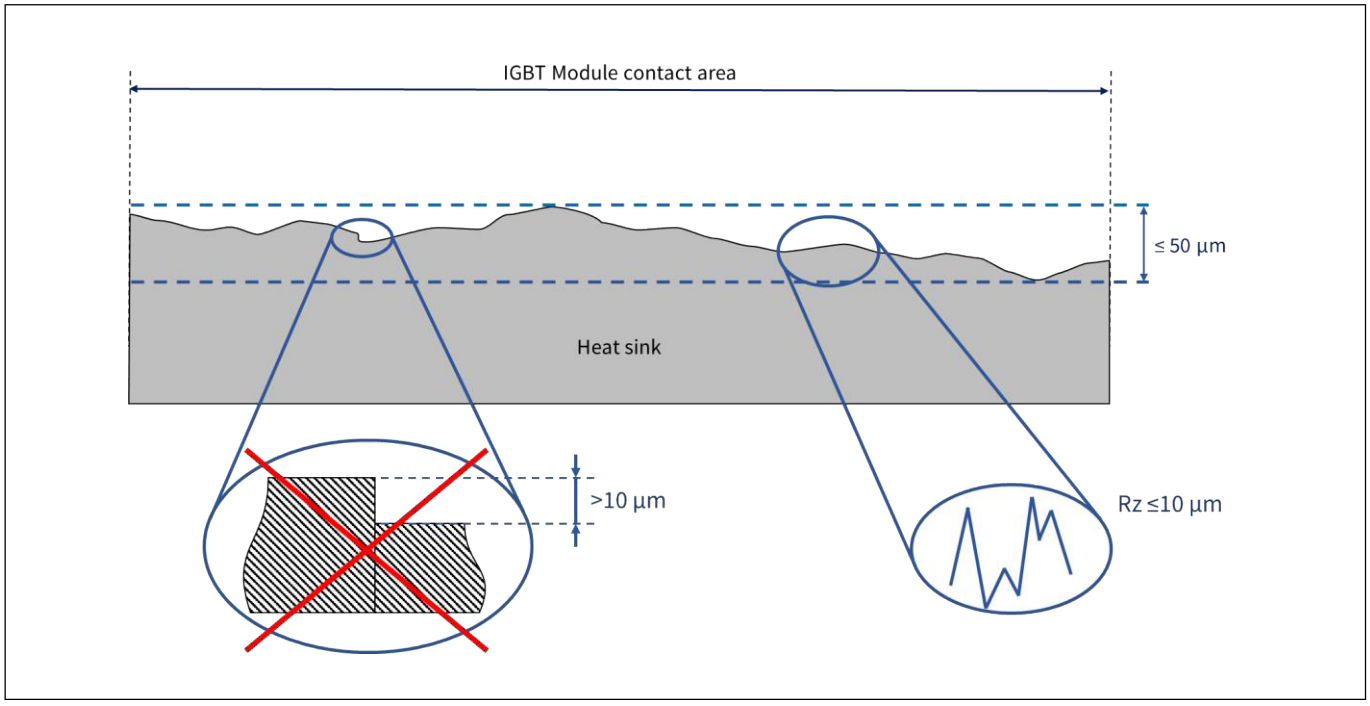


图 26 关于模块安装用散热器表面质量的建议

9 施涂导热膏

由于散热器和模块各自的表面形状（例如粗糙度和平整度）不同，模块的下表面与散热器的表面无法在整个区域内完全接触。因此，两个组件之间不可避免地会出现一定的局部分离。

为了有效耗散模块中产生的损耗，并确保热量能有效传导至散热器，所有局部空隙都必须填充导热化合物。使用导热膏时，必须确保施涂均匀。

施涂得当的导热膏层将填充所有空隙，同时仍能确保模块底座与散热器表面之间保持金属连接。应选择具有永久弹性特性的导热化合物，以确保持续保持良好的热阻。

在将模块安装到散热器上之前，建议根据模块尺寸和所用导热膏的类型，在模块底座或散热器上均匀施涂一层导热膏。可使用抹刀、滚筒或丝网印刷的方式施涂导热膏。若模块与散热器装配后，四周有少量导热膏溢出，则说明施涂量已足够。

对于 Al_2O_3 基板模块，导热膏的典型厚度为 80 µm。

对于 AlN 基板模块，导热膏的典型厚度为 40 µm。

建议采用丝网印刷工艺施涂导热膏。除了能够实现针对特定模块优化的导热膏分布外，该工艺还能确保涂层厚度均匀且可重复。若采用丝网印刷工艺，涂层厚度可降至上述数值以下。在此情况下，模块尺寸和导热膏的粘度是重要影响因素。

关于使用丝网印刷模板以施涂导热膏的更多说明，可参阅应用笔记 AN2006-02 Application of silk screen。

10 在散热器上装配模块

10.1 将 Easy1B/2B 和 Easy1C/2C 模块装配到散热器上

使用 M4 螺钉将该模块装配到散热器上，也可以使用一个额外的平垫圈。散热器上必须设有如图 27 所示的螺纹孔。

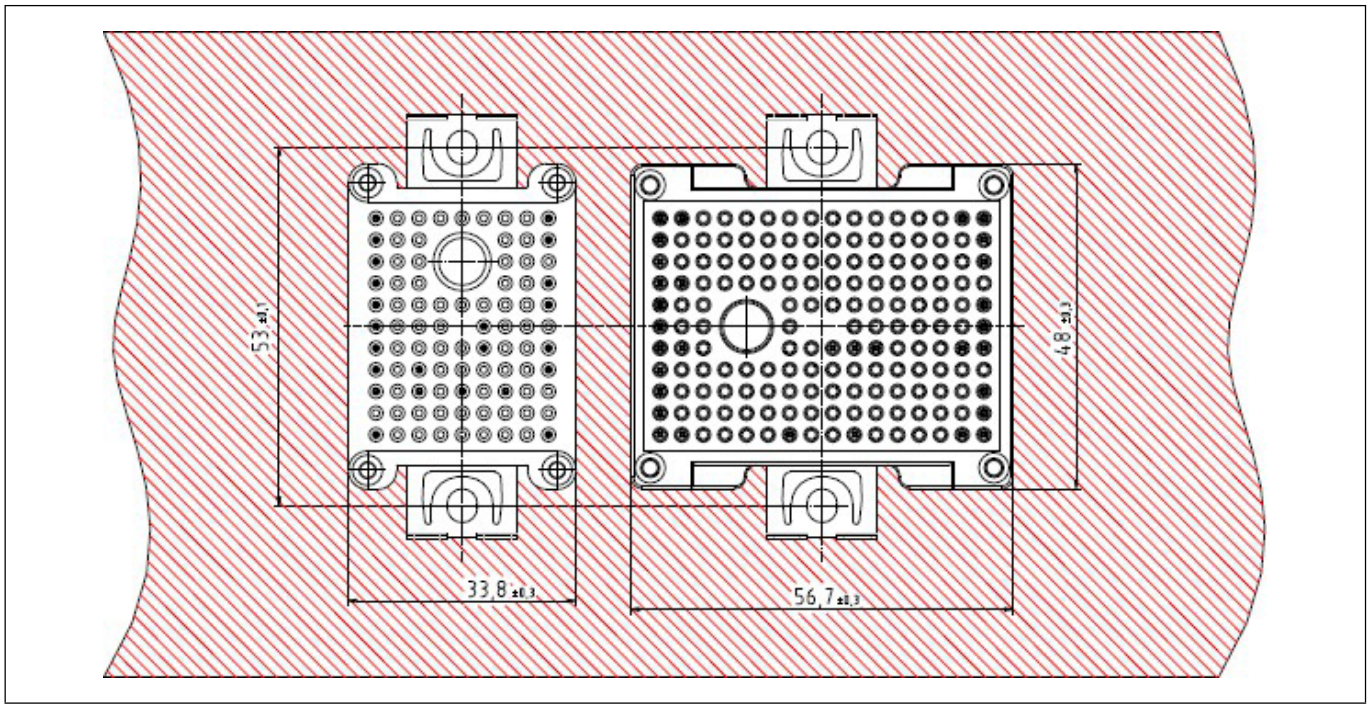


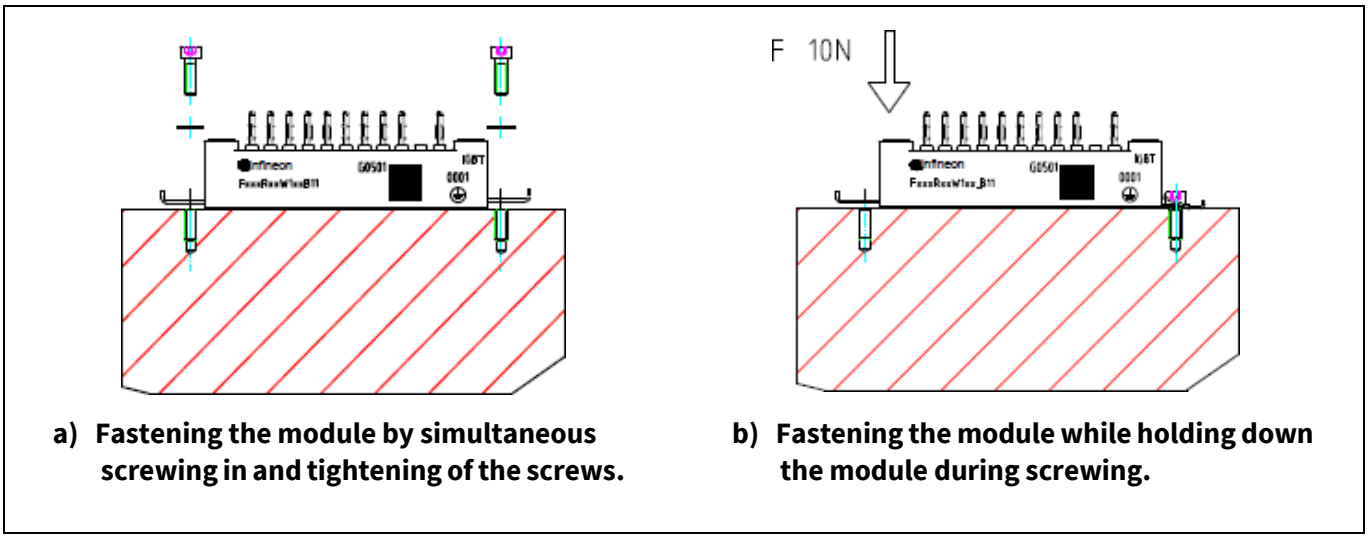
图 27 螺纹孔的间距

注：如果先将模块压入 PCB，或者后续需要拆卸模块，则 PCB 必须包含合适的通孔。孔的尺寸取决于螺丝刀尺寸、螺钉头直径或垫圈尺寸。

将模块放置在散热器上时，应确保螺钉夹具的孔位于散热器螺纹孔的正上方。安装表面必须清洁且无污染物。

可通过同时拧入并拧紧两颗螺钉以固定该模块（图 28a），或在安装过程中用约10 N的力压住模块，避免模块翘起（图 28b）。

对于采用 AlN 基板的模块，建议先将两颗螺钉拧紧至半扭矩，然后再将两颗螺钉拧紧至最大扭矩。



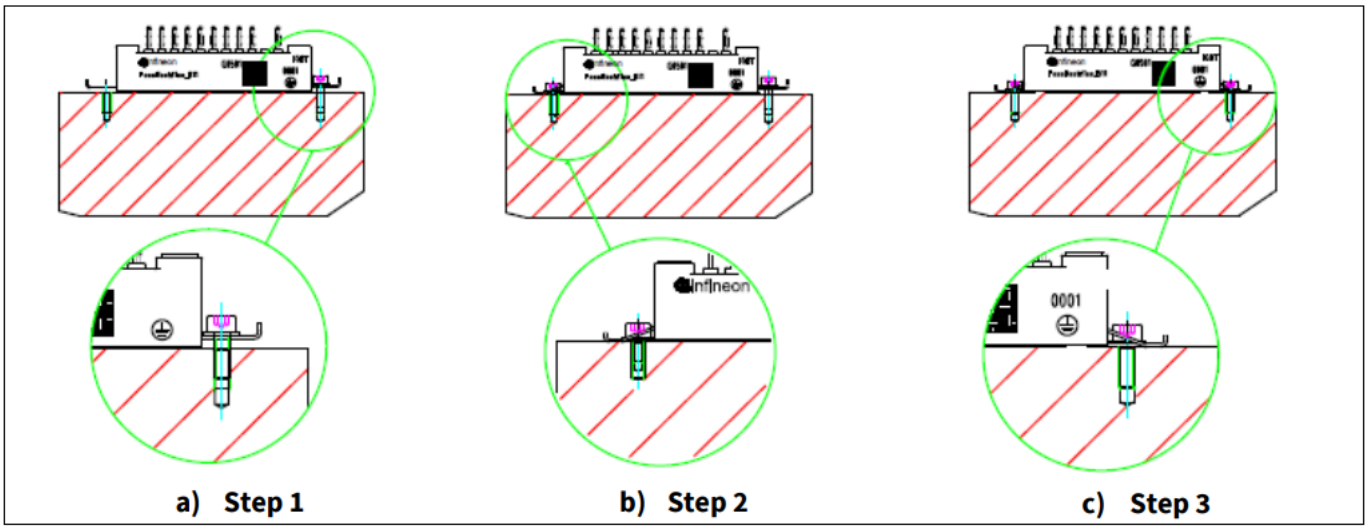
a) Fastening the module by simultaneous screwing in and tightening of the screws.

b) Fastening the module while holding down the module during screwing.

图 28　　模块固定选项

或者，可以先拧入一颗螺钉。关键是要确保模块不会翘起。为防止这种情况，应先将第一颗螺钉轻轻地拧紧，以免对夹具产生压紧力（图 29a）。然后，将第二颗螺钉完全拧紧（图 29b）。最后，将第一颗螺钉完全拧紧（图 29c）。

对于采用 AlN 基板的模块，建议在第 2 步和第 3 步中先以半扭矩拧紧螺钉，随后再将两颗螺钉均拧紧至最大扭矩。



a) Step 1　　b) Step 2　　c) Step 3

图 29　　先拧入一颗螺钉，然后依次拧紧两颗螺钉，将模块固定到位

表 5　安装螺钉的技术数据

描述	数值
安装螺钉	M4
推荐安装扭矩	Ma = 2.0 – 2.3 Nm[1)]
铝铸合金 硬化铝合金 未硬化铝合金	2.2 x d = 8.8 mm [2)] 1.2 x d = 4.8 mm [2)] 1.6 x d = 6.4 mm [2)]
符合 DIN 125 标准的垫圈	D = 9 mm

[1)] 不得超过螺钉的最大允许安装扭矩

[2)] 根据技术文献

10.2　将 Easy3B 和 Easy4B 模块装配到散热器上

在将 Easy3B 和 Easy4B 模块装配到散热器上时，英飞凌推荐使用 DIN M5 螺钉，并配合使用 M5 垫圈。

将模块正确地放置在散热器上，使模块的安装区域与散热器上的螺纹孔对齐。请确保模块与散热器之间没有异物。

可通过同时拧入并拧紧两颗螺钉来固定模块（参见图 30）。

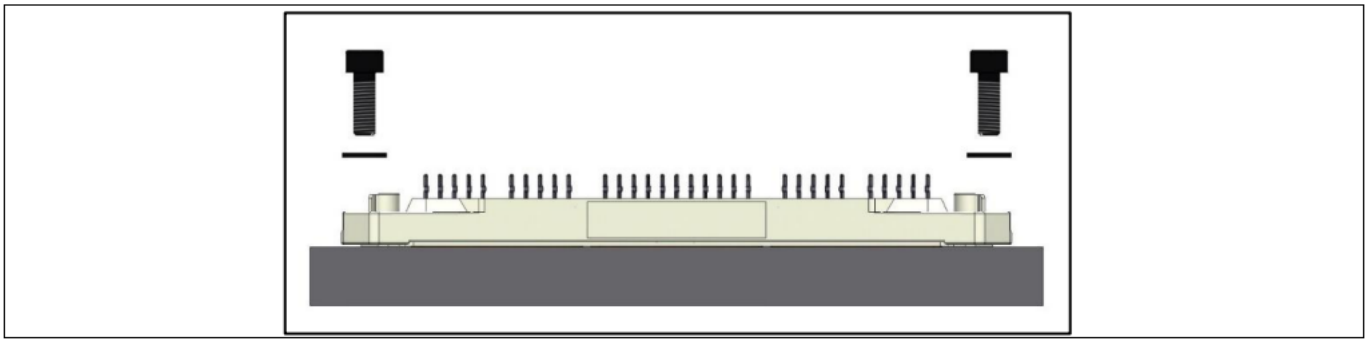


图 30　模块的替代固定步骤

此外，也可以通过以下几个步骤将模块安装到散热器上（参见图 31）：

- 第 1 步：将第一颗螺钉轻轻拧入。不要完全拧紧，以免施加压力。
- 第 2 步：将第二颗螺钉牢固地拧紧到散热器上。
- 第 3 步：最后，需将第一颗（未拧紧的）螺钉牢固地拧紧到散热器上。

注：如果先将模块压入 PCB，或者后续需要拆卸该模块，则 PCB 必须包含合适的通孔。孔的大小取决于螺丝刀尺寸、螺钉头直径或垫圈尺寸。

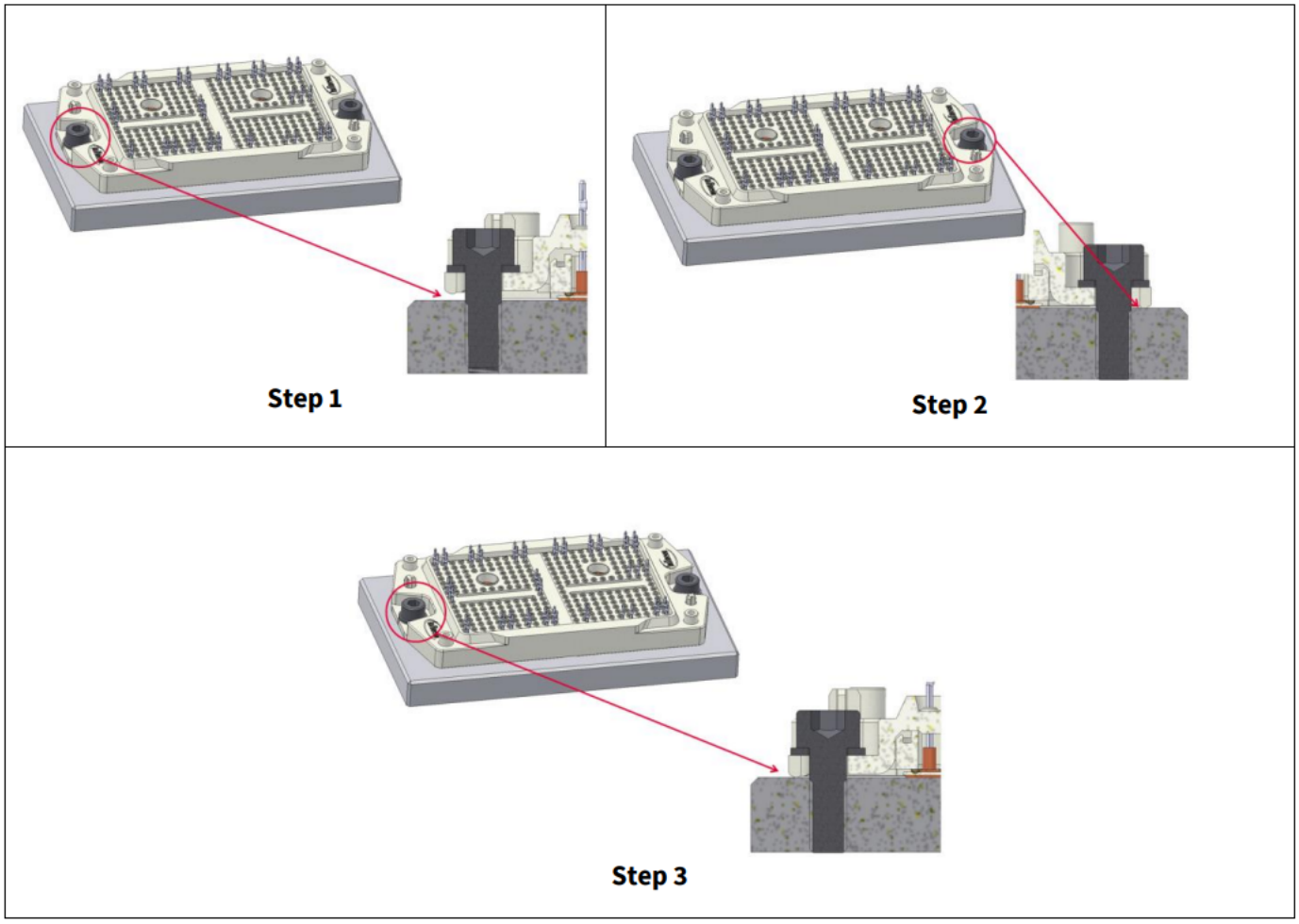


图 31　　模块固定步骤

推荐在安装过程中采用以下数值：

表 6　　散热器安装的推荐参数

描述	数值
安装螺钉	M5
推荐安装扭矩	Ma_{max} = 1.5 Nm [1)]
推荐螺栓性能等级	4.6 – 5.6
进入散热器的最小螺纹长度	2 x d = 10 mm
预紧扭矩	0.3 – 0.5 Nm
拧紧扭矩 Ma	1.3 – 1.5 Nm
螺钉拧入速度（预紧）	U ≤ 250 U/min
螺钉拧入速度（拧紧）	U ≤ 20 U/min
推荐垫圈	M5

[1)] 不得超过螺钉的最大允许安装扭矩

11 关于机械鲁棒性的系统考虑因素

如果模块已正确安装在散热器和 PCB 上，螺钉夹具将施加必要的压力。该压力结合适量的导热膏，可确保模块与散热器之间具有低热阻和最佳热流。由于 PCB 仅通过压入式引脚与模块连接，因此必须采取适当措施，确保将振动降至最低。必须避免端子与模块外壳之间发生任何位移。每个引脚垂直于散热器方向所承受的最大压力和拉力不得超过 6 N。作用于模块的总拉力不得超过 20 N。压缩力可比可能的拉力高出 10 倍。最好对模块施加较低的压缩负载。因此，应将电路板额外固定在散热器上靠近模块的位置。原则上，这可以通过多种方式实现，具体取决于所用模块的数量以及压入工艺的类型。

11.1 模块通过支撑柱与 PCB 连接并压装到 PCB

如果模块通过支撑柱与 PCB 表面连接的方式压装到 PCB，建议从模块外边缘到 12 mm 支撑柱之间保持至少 x = 5 cm的距离。在这种情况下，可在 PCB 与散热器连接后，使用额外的自攻螺钉（推荐）将模块固定在 PCB 上。应避免如图 32 所示，在模块支撑柱与 PCB 之间出现气隙。不建议对 Easy3B/4B 模块采用此操作方法。

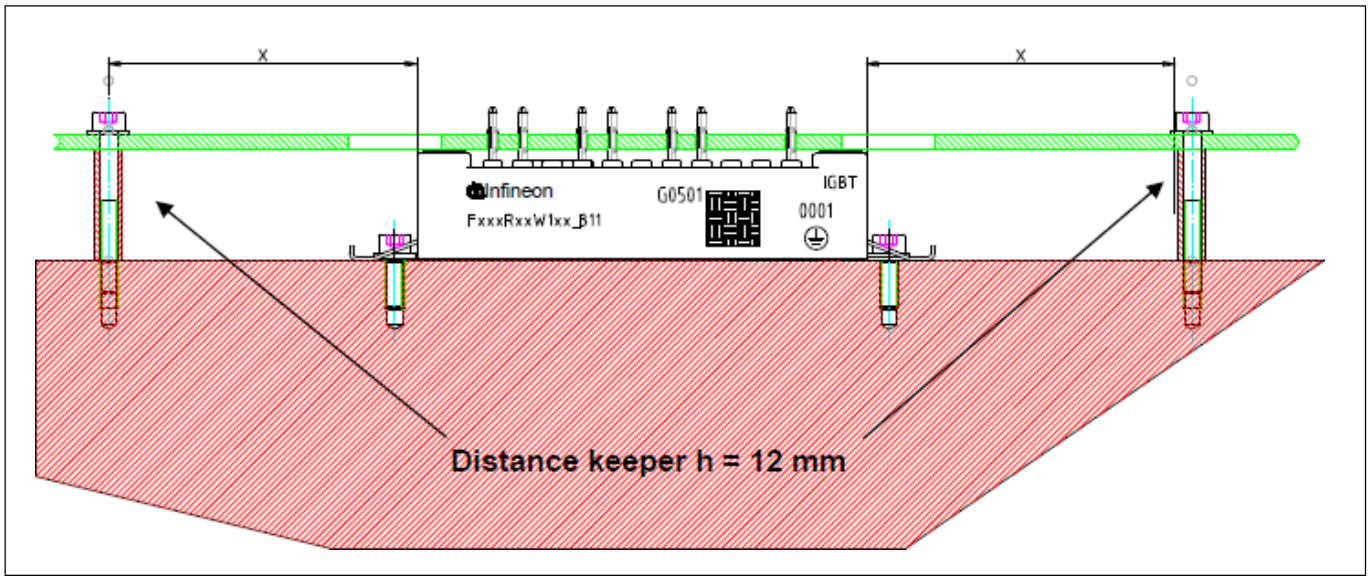


图 32 安装 PCB

11.2 模块以特定距离压入 PCB

这种情况类似于将多个模块压入 PCB 的装配说明。单个模块也能够以规定的距离压入 PCB，该距离为不小于模块外壳的最大可能高度。例如对于 Easy1B/2B 模块，压入过程中支撑柱的相应距离应 ≥ 12.35 mm。

在此情况下，为将 PCB 连接至散热器，支撑柱可尽可能靠近模块放置，即 x ≤ 5 cm。需确保压入过程中使用的支撑柱与系统中使用的支撑柱处于同一高度，以此避免产生机械应力。由于可能存在气隙，所以在此情况下不应将模块固定在 PCB 上。

11.3 PCB 上的多模块

如第 3.2.3 章所述，要在 PCB 上装配多个模块，必须将这些模块以特定间距压入 PCB 中。在此压入过程中，模块高度公差将得到准补偿。在此情况下，PCB 与散热器之间的支撑柱可以紧靠功率模块。支撑柱的位置应围绕功率模块对称布置。

PCB 至散热器的支撑柱高度应与压入过程中使用的间距保持结构高度完全一致。

- 对于采用 Al_2O_3 DCB 的 Easy1B/2B 和 Easy1C/2C 等应用，图 33 中所示的支撑柱高度（H）通常应为 12.4 ± 0.05 mm。
- 对于采用 AlN DCB 的 Easy1B/2B 等应用，图 33 中所示的支撑柱的高度（H）通常应为 12.6 - 0.05 mm。
- 对于仅使用 Easy3B/4B 模块的应用，图 33 中所示的支撑柱的高度（H）通常应为 12.2 ± 0.1 mm。

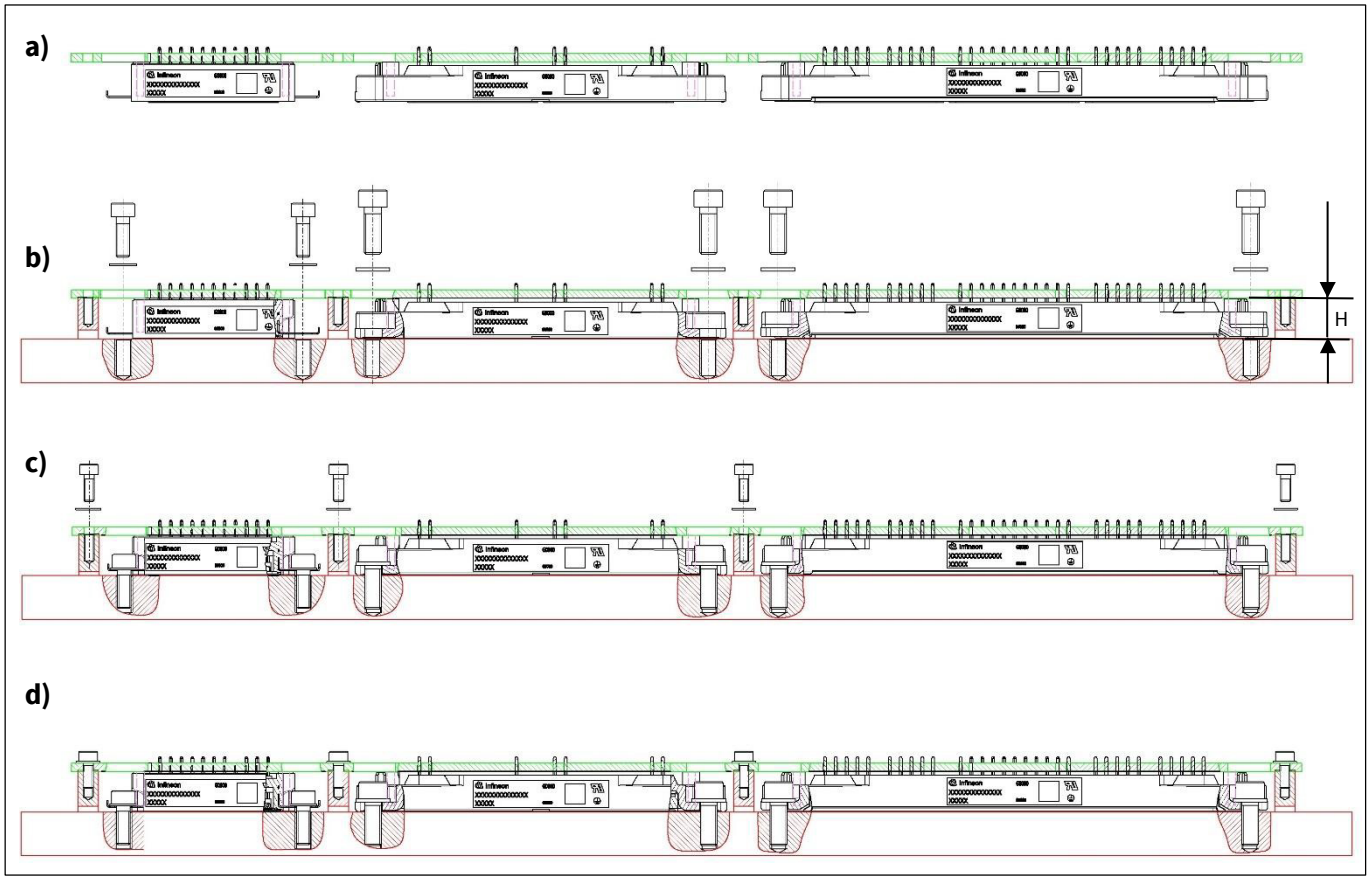


图 33 PCB 和模块安装到散热系统上的示例（图示非按比例绘制）

图 34 展示了最终系统装配的放大图。根据模块的高度不同，模块与 PCB 之间会残留微小的气隙。

由于图 33b 中的数值（H）不得高于图 33a 中所示的模块至 PCB 高度，因此可确保不会对功率模块施加拉力，考虑到模块与散热器之间的热接触，这一点至关重要。

请注意：模块与 PCB 的压紧距离可以小于最大值 12.45 mm。这将增加有效压接区（引脚与 PCB 连接面积）的重叠区域。如果将模块更紧地压入 PCB，请务必相应地降低散热系统的固定元件（图 33b）。图 33b 中的数值（H）不得高于图 33a 中所示的模块至 PCB 的高度。PCB 在散热系统方向上对模块施加的力并不关键，反而是有益的，因为这能改善热接触。

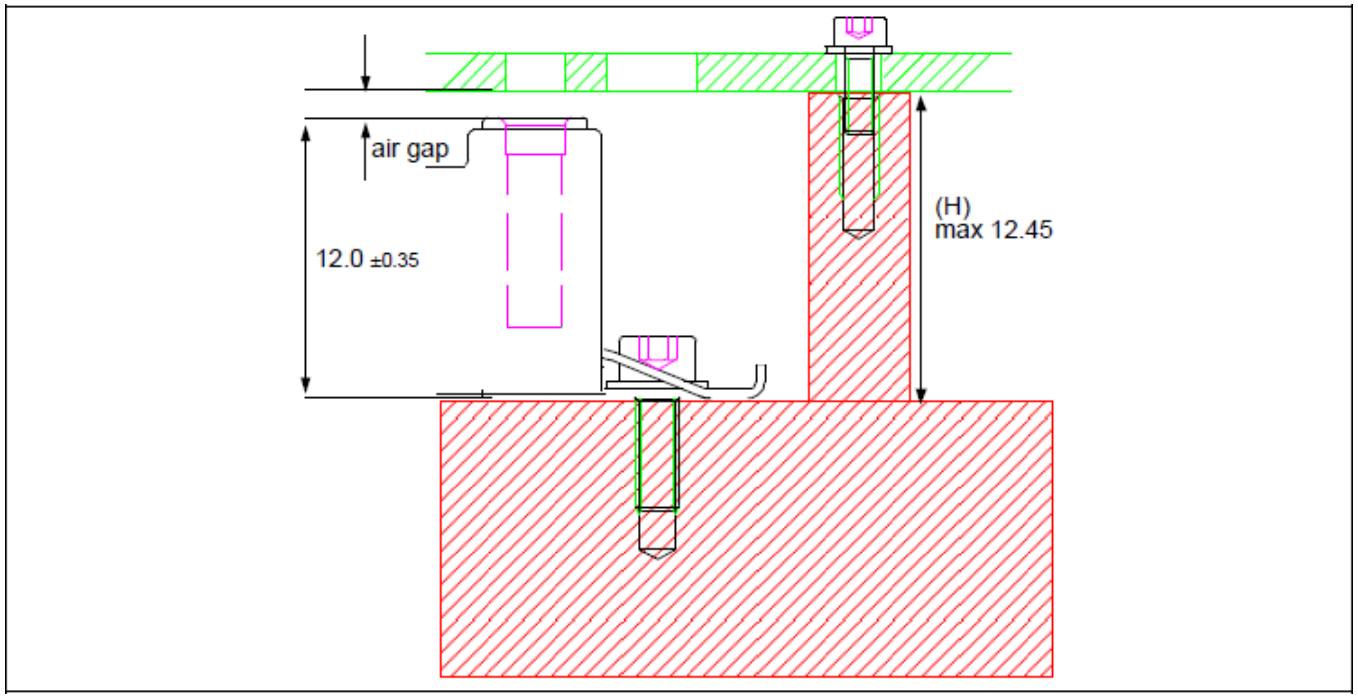


图 34　　最终系统装配的放大示意图（图示非按比例绘制）

请注意，采用这种保留气隙的压入方案时，无法像第 7 章所示将 PCB 用螺钉固定到支撑柱（导向孔）上。

11.4　　模块装配顺序

无论是一块 PCB 上只有一个模块，还是一块 PCB 上有多个模块，都建议先将模块装配到 PCB 上，然后再将装有模块的 PCB 装配到散热器上。这种装配顺序更便于定位，也更适合自动化生产。

当仅将单个带焊接引脚的模块装配到 PCB 上时，允许先将模块装配到散热器上，然后将 PCB 焊接到模块上。如图 35 所示。

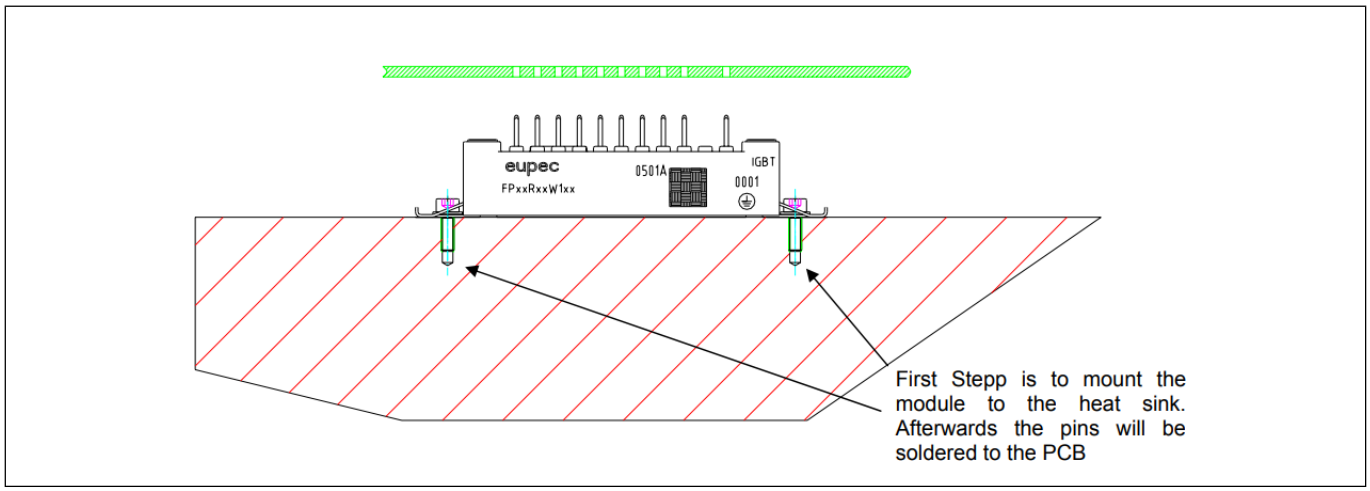


图 35 焊接前将模块安装到散热器上

12 电气间隙和爬电距离

根据 IEC 60664-1 第 3 版修订版，在计算电气间隙和爬电距离时必须考虑机械公差。旧版数据手册中也包含有关典型电气间隙和爬电距离的表格。然而，这些信息并未考虑公差以及不同引脚位置之间的多种复杂关系。因此，以下章节将概述 Easy 模块的爬电距离和电气间隙，以便根据新要求进行设计。这些数值可用于初步检查是否满足应用条件。若模块的电气间隙或爬电距离不满足相应的应用要求，请联系英飞凌销以获取进一步的技术支持。

12.1 引脚间爬电距离

爬电距离的定义为沿固体绝缘材料表面测量的最短距离。对于 Easy 模块，我们考虑的是外壳的外表面和内表面。该材料的 CTI 值在模块数据手册中给出。

12.1.1 EasyB 标准型压接引脚和焊接引脚的爬电距离

图 36 显示了 EasyB 封装的典型引脚间爬电距离。引脚下方的数值表示从该引脚到基准引脚的爬电距离，假设其间均未插装引脚。基准引脚可以是 Easy 模块中的任意一个引脚。根据相对于基准引脚的相对位置，可以轻松读取引脚间爬电距离。对于 Easy3B/4B，一个模块中包含多个 DCB，图中还展示了跨 DCB 的爬电距离。

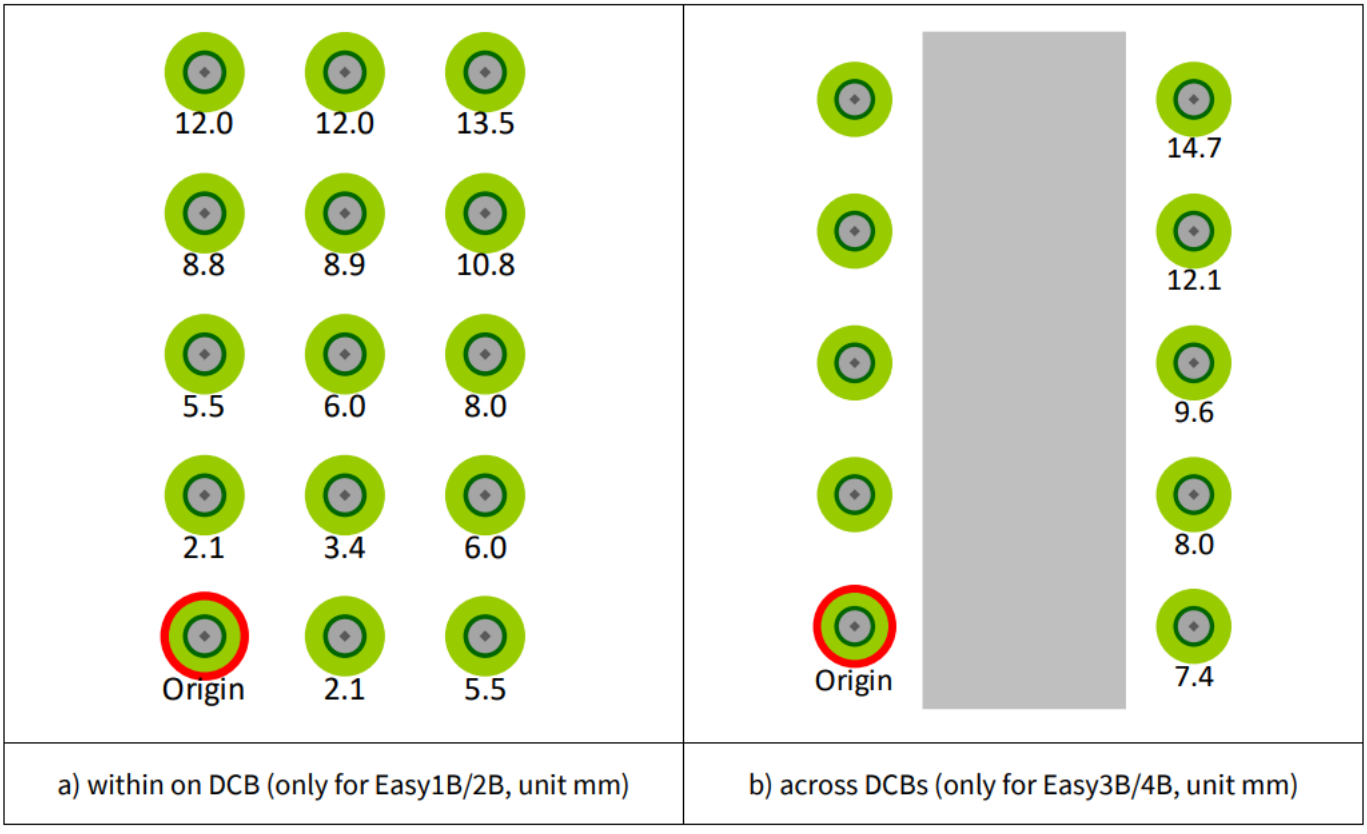


图 36 EasyB 中标准型引脚的引脚间爬电距离

12.1.2 Easy3B/4B 中大电流型压接引脚的爬电距离

在 Easy3B/4B 封装的部分模块中，采用了大电流型压接引脚。由于其几何形状与标准型引脚不同，其爬电距离略有差异。

在考虑爬电距离时，必须考虑引脚的几何形状和方向。需要注意的关键点是，从引脚的平面侧和肩部侧测得的距离并不相同。如需更多具体的设计信息或有相关疑问，请联系您的英飞凌联系人以获取进一步指导。

图 37 显示了采用大电流型引脚的 Easy3B/4B 的爬电距离。

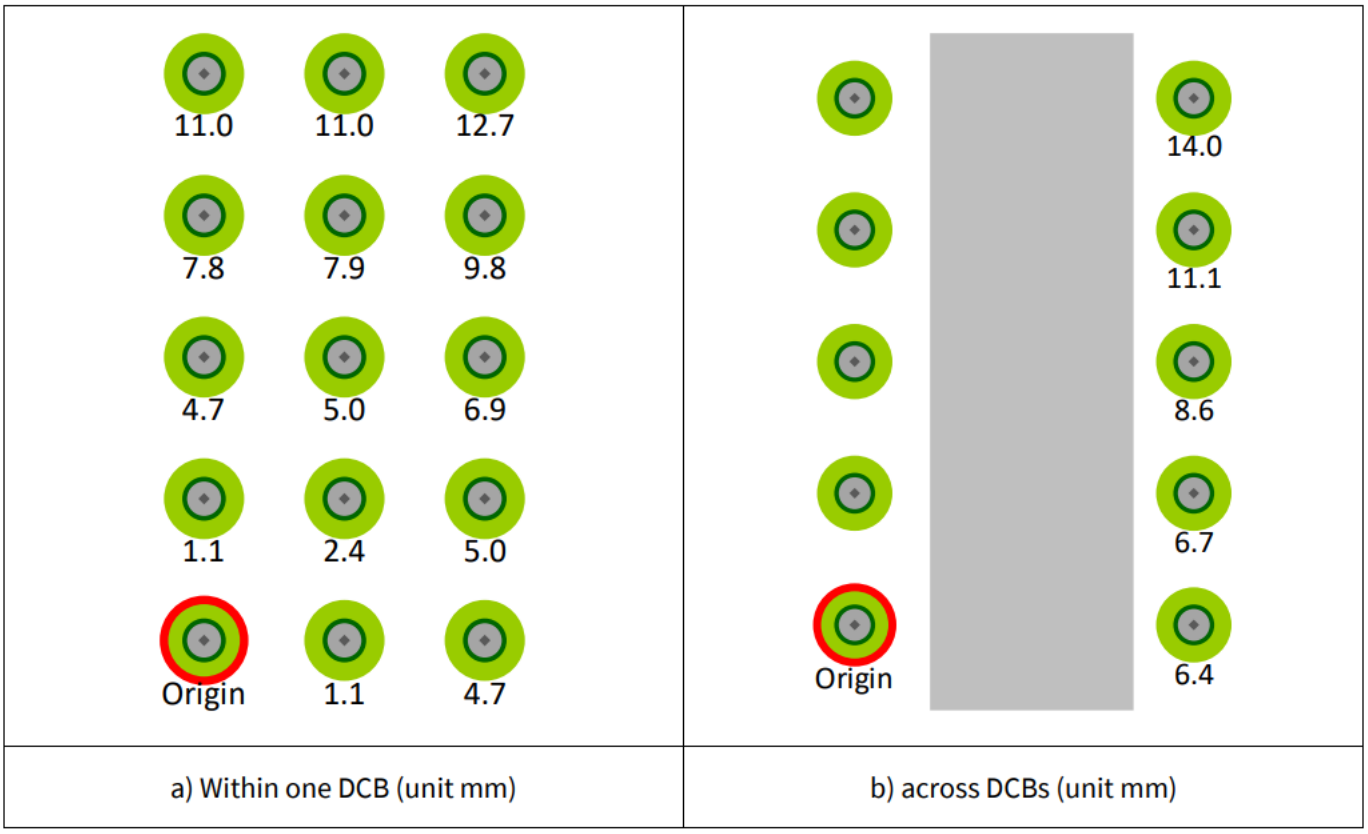


图 37 Easy3B/4B 中大电流型引脚的引脚间爬电距离

12.1.3 EasyC 中大电流型压接引脚的爬电距离

此外，新型 Easy1C/2C 标配大电流型压接引脚。

与 Easy3B/4B 相同，在考虑 Easy1C/2C 的爬电距离和电气间隙时，必须关注引脚的几何形状和方向。需要注意的关键点是，从引脚的平面侧和肩部侧测得的距离并不相同。

图 38 显示了配备大电流型引脚的 Easy1C/2C 的最坏情况爬电距离。

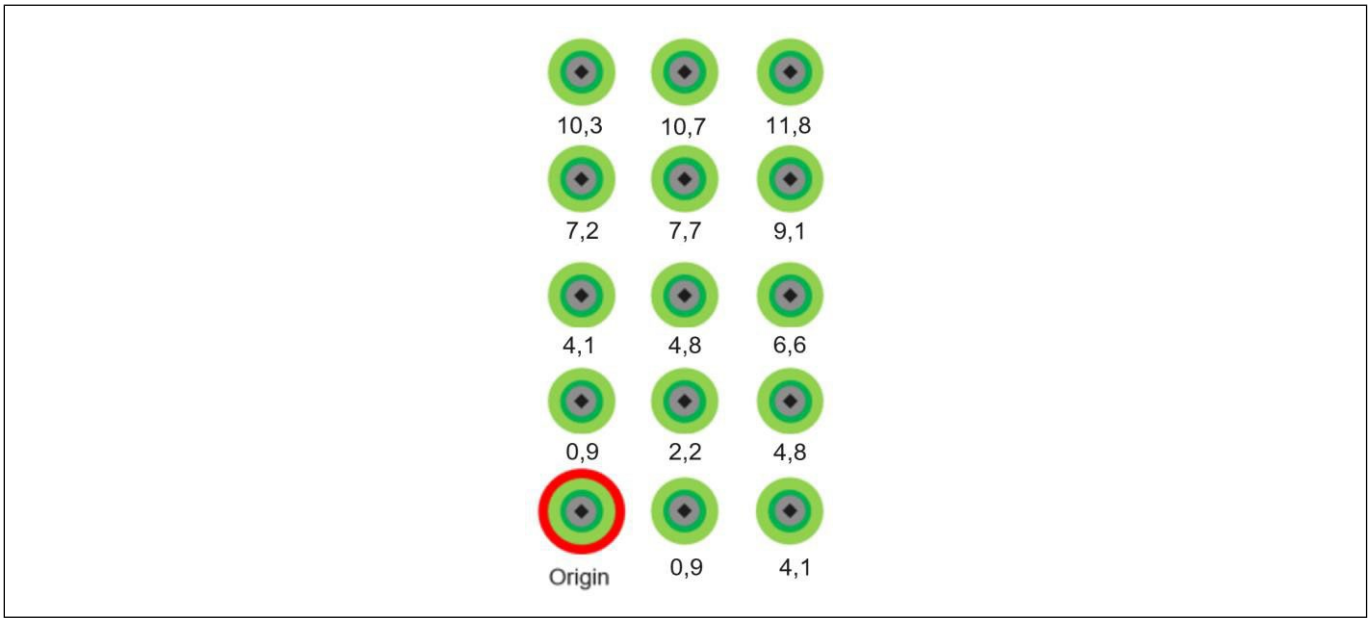


图 38　　EasyC 中大电流型引脚的引脚间爬电距离（单位：mm）

12.2　引脚间电气间隙

由于 Easy 模块必须安装在 PCB 上，因此当焊盘直径大于 1.7 mm 时，PCB 侧的引脚间电气间隙会受到限制。在此情况下，必须在 PCB 层面检查电气间隙。

12.3　螺钉至 PCB 的电气间隙

为满足电气间隙和爬电距离的相关要求，应避免在此区域设置载流器件或通孔，或必须考虑采取额外的绝缘措施（如涂覆绝缘漆）。

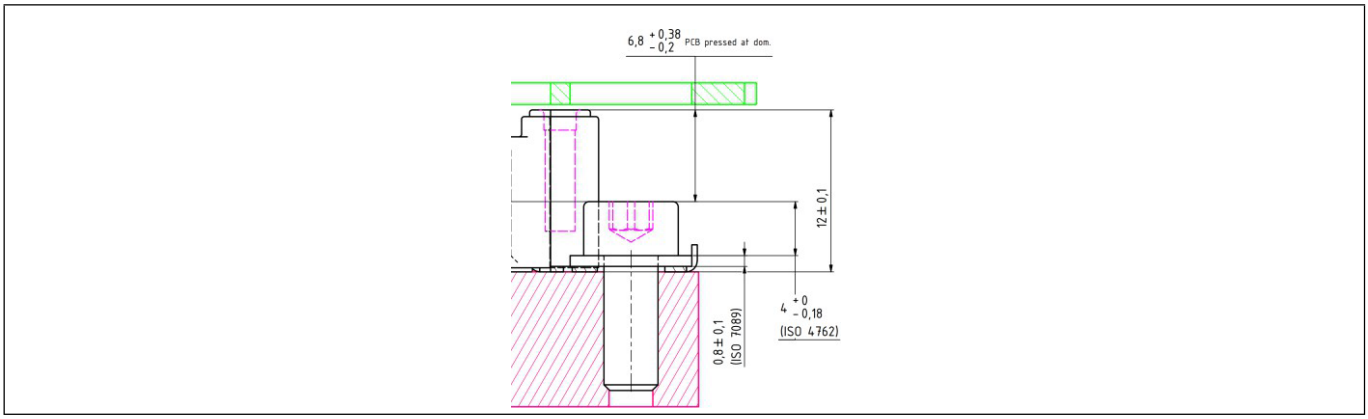


图 39　　Easy1B/1C 和 Easy2B/2C 封装中，夹具与 PCB 之间的电气间隙

螺钉与 PCB 之间的电气间隙距离取决于螺钉本身。对于 Easy1B/2B 和 Easy1C/2C 封装，当 PCB 接触到模块支撑柱时，使用符合 DIN 912 标准的 M4 内六角圆柱头螺钉、符合 DIN 125 标准的垫圈以及图 39 所示的夹具，使散热器到 PCB 的距离为 6.6 mm。

对于 Easy3B/4B 封装，当 PCB 接触到支撑柱（12.2 mm ± 0.1）时，使用符合 DIN 912 标准的 M5 内六角圆柱头螺钉和符合 DIN 125 标准的 M5 垫圈，使散热器到 PCB 的距离为 2.94 mm。详细图纸见图 40。

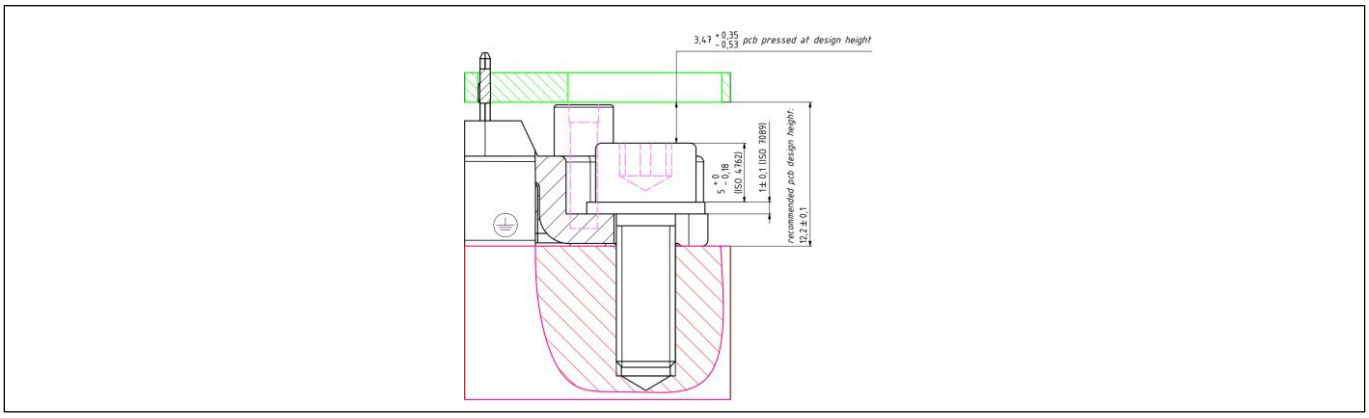
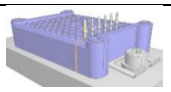
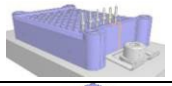
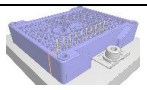
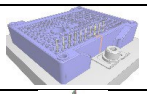
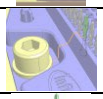
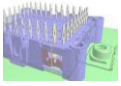
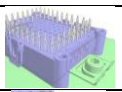
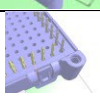


图40　　Easy3B 封装中，夹具与 PCB 之间的空气间隙

12.4　　引脚至散热器的电气间隙和爬电距离

表 7 列出了 EasyB 和 EasyC 的引脚至散热器电气间隙和爬电距离数值。

表 7　　引脚至散热器的电气间隙和爬电距离

封装	路径	起点	终点	爬电距离	电气间隙	视图
Easy1B	1	引脚	散热器 Al_2O_3	14.00 mm	13.40 mm	
	2	引脚	夹具/螺钉	15.50 mm	10.90 mm	
Easy2B	1	引脚	散热器 Al_2O_3	16.40 mm	15.20 mm	
	2	引脚	夹具/螺钉	15.50 mm	10.90 mm	
Easy3B	1	引脚	散热器	9.55 mm	8.96 mm	
	2	引脚	夹具/螺钉	15.11 mm	9.34 mm	
Easy4B	1	引脚	散热器	9.91 mm	9.76 mm	
	2	引脚	夹具/螺钉	14.62 mm	9.24 mm	
Easy1C	1	引脚	散热器 Al_2O_3 .XT	13.71 mm	13.66 mm	
	2	引脚	夹具/螺钉	11.71 mm	9.58 mm	
Easy2C	1	引脚	散热器 Al_2O_3 .XT	12.70 mm	12.70 mm	
	2	引脚	夹具/螺钉	11.30 mm	10.30 mm	

对于 EasyB 和 EasyC 系列，针对安装在散热器上的模块，按封装类型给出了最坏情况下的数值。根据 IEC 60664-1 第 3 版修订版 PD2 要求，确定了最坏情况下的绝对爬电距离和电气间隙值。已确定从一个引脚到接地电位的最关键爬电距离和电气间隙路径，并描述了两条关键路径：路径1为从最坏情况下的引脚到散热器，路径 2 为从最坏情况下的引脚到夹具或螺钉。这些最坏情况下的数值适用于所有采用 Al_2O_3 或 AlN 陶瓷的 EasyB 和 EasyC 模块。

修订记录

Document revision	Date	Description of changes
1.0	18.08.2023	Initial revision
1.1	31.10.2025	First revision: Integration of Easy C-series

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

Edition 2025-10-31

Published by

Infineon Technologies AG

81726 Munich, Germany

© 2026 Infineon Technologies AG. All Rights Reserved.

Do you have a question about this document?

Email: WAR-IGBT-Application@infineon.com

Document reference

AN 2009-01

IMPORTANT NOTICE

The information contained in this application note is given as a hint for the implementation of the product only and shall in no event be regarded as a description or warranty of a certain functionality, condition or quality of the product. Before implementation of the product, the recipient of this application note must verify any function and other technical information given herein in the real application. Infineon Technologies hereby disclaims any and all warranties and liabilities of any kind (including without limitation warranties of non-infringement of intellectual property rights of any third party) with respect to any and all information given in this application note.

The data contained in this document is exclusively intended for technically trained staff. It is the responsibility of customer's technical departments to evaluate the suitability of the product for the intended application and the completeness of the product information given in this document with respect to such application.

For further information on the product, technology, delivery terms and conditions and prices please contact your nearest Infineon Technologies office (**www.infineon.com**).

WARNINGS

Due to technical requirements products may contain dangerous substances. For information on the types in question please contact your nearest Infineon Technologies office.

Except as otherwise explicitly approved by Infineon Technologies in a written document signed by authorized representatives of Infineon Technologies, Infineon Technologies' products may not be used in any applications where a failure of the product or any consequences of the use thereof can reasonably be expected to result in personal injury.

免责声明

请注意，本文件的原文使用英文撰写，为方便客户浏览英飞凌提供了中文译文。该中文译文仅供参考，并不可作为任何论点之依据。
由于翻译过程中可能使用了自动化程序，以及语言翻译和转换过程中的差异，最后的中文译文与最新的英文版本原文含义可能存在不尽相同之处。
因此，我们同时提供该中文译文版本的最新英文原文供您阅读，请参见 http://www.infineon.com
英文原文和中文译文版本之间若存有任何歧异，以最新的英文版本为准，并且仅认可英文版本为正式文件。
您如果使用本文件，即表示您同意并理解上述说明。英飞凌不对因翻译过程中可能存在的任何不完整或不准确信息而产生的任何直接或间接损失或损害负责。英飞凌不承担中文译文版本的完整性和准确性责任。如果您不同意上述说明，请不要使用本文件。

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

版本 **2026-09-03**

Infineon Technologies AG 出版，
德国 **Neubiberg 85579**

版权 © **2026 Infineon Technologies AG**
及其关联公司。
保留所有权利。

Do you have a question about this document?

Email:

erratum@infineon.com

重要通知

Infineon Technologies AG 及其关联公司（以下简称 "英飞凌"）销售或提供和交付的产品（可能也包括样品，且可能由硬件或软件或两者组成）（以下简称 "产品"），应遵守客户与英飞凌签订的框架供应合同或其他书面协议的条款和条件，如无上述合同或其他书面协议，则应遵守适用的英飞凌销售条件。只有在英飞凌明确书面同意的情况下，客户的一般条款和条件或对适用的英飞凌销售条件的偏离才对英飞凌具有约束力。

为避免疑义，英飞凌不承担不侵犯第三方权利的所有保证和默示保证，例如对特定用途/目的的适用性或适销性的保证。

英飞凌对与样品、应用或客户对任何产品的具体使用有关的任何信息或本文档中给出的任何示例或典型值概不负责。

本文件中包含的数据仅供具有技术资格和技能的客户代表使用。客户有责任评估产品对预期应用和客户特定用途的适用性，并在预期应用和客户特定用途中验证本文件中包含的所有相关技术数据。客户有责任正确设计、编程和测试预期应用的功能性和安全性，并遵守与其使用相关的法律要求。

除非英飞凌另行明确批准，否则产品不得用于任何因产品故障或使用产品的任何后果可合理预期会导致人身伤害的应用。但是，上述规定并不妨碍客户在英飞凌明确设计和销售的使用领域中使用任何产品，但是客户对应用负有全部责任。

英飞凌明确保留根据适用法律，如《德国版权法》（UrhG）第 44b 条，将其内容用于商业资料和数据探勘（TDM）的权利。

如果产品包含安全功能：
由于任何计算设备都不可能绝对安全，尽管产品采取了安全措施，但英飞凌不保证产品不会被入侵、数据不会被盗或遗失，或不会发生其他漏洞（以下简称"安全漏洞"），英飞凌对任何安全漏洞不承担任何责任。

如果本文档包含或引用软件：
根据美国、德国和世界其他国家的知识产权法律和条约，该软件归英飞凌所有。英飞凌保留所有权利。因此，您只能按照软件附带的软件授权协议的规定使用本软件。

如果没有适用的软件授权协议，英飞凌特此授予您个人的、非排他性的、不可转让的软件知识产权授权（无权转授权）：(a) 对于以源代码形式提供的软件，仅在贵组织内部修改和复制该软件用于英飞凌硬件产品；及 (b) 对于以二进制代码(binary code)形式对外向终端用户分发该软件，仅得用于英飞凌硬件产品。禁止对本软件进行任何其他使用、复制、修改、翻译或编译。有关产品、技术、交货条款和条件以及价格的详细信息，请联系离您最近的英飞凌办公室或访问 **https://www.infineon.com**。