

VE-Trac™ Direct / Direct SiC 装配指南

AND9989CN/D

本文档旨在介绍如何正确装配所有 VE-Trac Direct 系列的模块。文中介绍了将散热器贴装到功率模块以及将功率模块和栅极驱动器印刷电路板装配所需的推荐工具、材料和组件。

使用模块时，如果超出本指南中的限制和建议，用户需要进行额外的测试和验证。

适用于以下部件

NVHxxxS75LxSPx	IGBT 6pak, 带压合式引脚、pin-fin & Flat back 系列
NVXRxxSxxMxSPx	SiC 6pak, 带压合式引脚、pin-fin & Flat back 系列

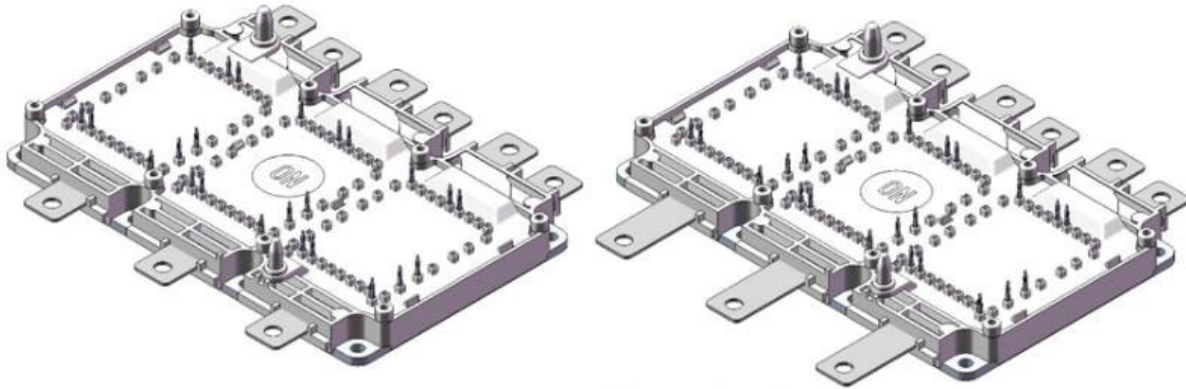


图 1.

简介

VE-Trac Direct 是专为电动汽车 (EV) 主驱应用设计的功率模块系列。本文档为使用该产品的 Si-IGBT 和 SiC MOSFET 版本的设计人员提供指南。其中还包括

各种端子和散热片变体。为了避免对组件造成不必要的机械应力，请务必按照推荐的装配顺序将功率模块正确装配到终端应用的功率转换器中。对于列出的每个步骤，请务必遵循本文档的详细指南。

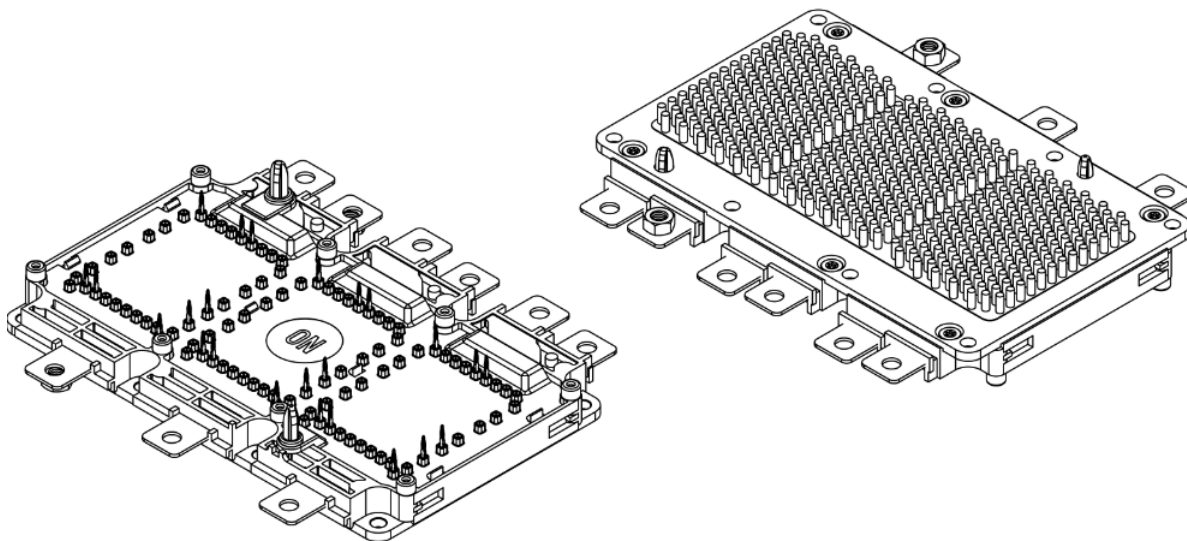


图 2. 示例 VE-Trac Direct 功率模块顶视图（右）底视图（左）

压合式组件的推荐装配顺序：

1. 将 PCB 对准功率模块。
2. 将 PCB 压入压合式引脚
3. 准备带密封圈的散热器
4. 将带有 PCB 的功率模块连接到散热器
5. 将模块固定到散热器上
6. 将 PCB 固定到功率模块
7. 将模块端子连接到终端应用的功率转换器

4. 将 PCB 固定到功率模块

5. 将压合式引脚焊接到 PCB

印刷电路板 (PCB) 装配

仅压合式情况下的 PCB 要求

所有 VE-Trac Direct 功率模块均采用独特的压合式引脚设计，适用于镀锡的标准 FR4 印刷电路板。PCB 双面的材料都必须符合 IEC 60249-2-4 或 IEC 60249-2-5。对于多层 PCB，材料必须符合 IEC 60249-2-11 或 IEC 60249-2-12。压合式引脚孔的要求总结如下，用于标准 1.6 mm 厚的 PCB 和在每个压合式引脚孔周围的组件禁入区：

带焊接的压合式引脚器件的推荐装配顺序：

1. 准备带密封圈的散热器
2. 将功率模块连接到散热器
3. 将 PCB 与功率模块对齐并插入，直到停在外壳安装凸起处

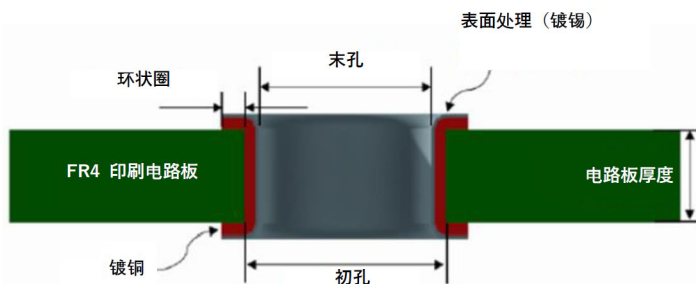


图 3. PCB 压合式孔的定义和每个压合式孔周围的组件禁入区

应该注意的是，在仅使用压合式接口时，不建议通过开槽来减少压合式引脚的受力。但是，如果要添加凹槽，则有必要将它们置于定义的禁入区之外。

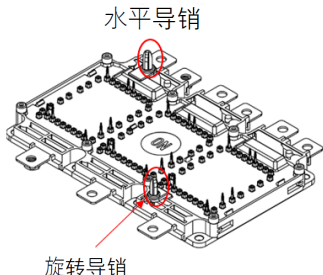
下表总结了 1.6 mm 厚的两层 PCB 的规格。插入和拔出所需的力在下一节中指定。

表 1. 压合式情况下的 PCB 要求

编号	描述	最小值	典型值	最大值
1	初始（钻）孔直径（mm）		1.15	
2	压合式孔的铜厚（ μm ）	25		50
3	压合式孔的金属化层（Sn）（ μm ）	10		15
4	末孔直径（mm）	1	1.04	1.09
5	环形圈（mm）	300		
6	孔距公差			$\pm 100\ \mu\text{m}$
7	电路板上的金属类型	锡		
8	引脚上的金属类型	Sn/Ni 以减缓晶须生长		

除了压合式孔外，PCB 上还需要有用于导销的孔。
下表列出了对导销孔的要求。

表 2. 导销要求

编号	描述	最小值	典型值	最大值	
1	水平导销的端孔直径	5.82 mm	5.9 mm		
2	旋转导销的端孔直径	4.82 mm	4.9 mm		
3	孔距公差			$\pm 100\ \mu\text{m}$	

印刷电路板装配工具

对于压合式选项（如果焊接压合式引脚则不需要），强烈建议使用工具将功率模块贴装到 PCB，以确保正确装配而不损坏 PCB 或功率模块。该工具本身由两部分组成：顶部和底部（图 4）。

该工具的底部由塑料制成，以避免损坏用于密封的关键底板表面。它被设计成一个托架，以适当地支撑功率模块并保护引脚鳍片在 PCB 压合式安装过程中免受损坏。功率模块底部的导销确保模块在底部工具中始终正确定位。

顶部工具围绕每个压合式引脚来支撑 PCB，以确保在压入过程中在 PCB 上均匀传递力，而不会弯曲 PCB。该工具由钢制成，可承受所需的压入力。PCB 中每个压合式引脚孔周围的空心圆柱体确保顶部工具与 PCB 上的其他组件之间没有机械干扰。由于模块的 SiC 版本具有不同的压合式引脚布局，因此有必要对 SiC 模块的顶部工具进行轻微修改。

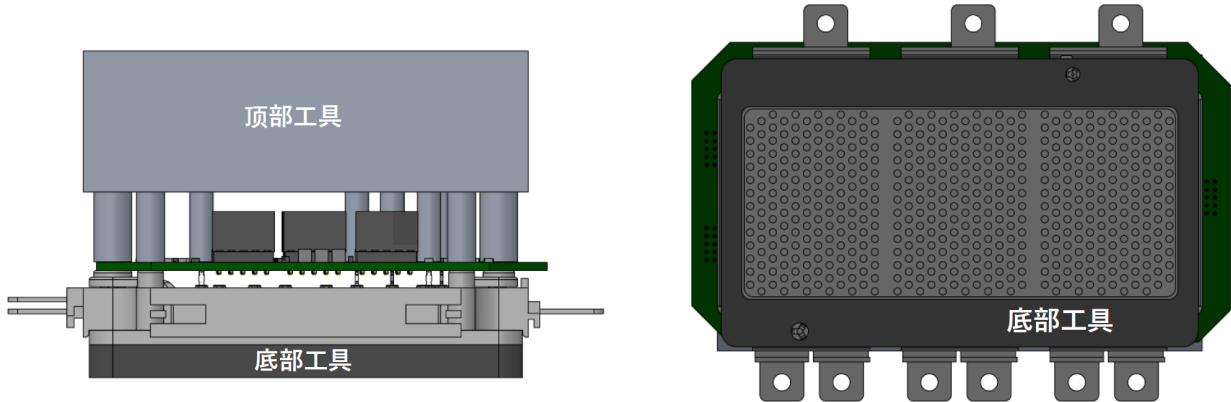


图 4. 显示了适用于所有 Si-IGBT 版本模块的 PCB 装配工具

需要注意的是，顶部工具上的空心圆柱体的高度必须足够高，以便它不会碰到 PCB 上最高的元件。在压入过程中，顶部和底部工具必须相互平行，并在垂直方向施加力以完成压入过程，将 PCB 连接到功率模块。

下面的图 5，7 和 8 提供了参考 PCB 插入工具的设计。参考工具的设计可根据特定的客户系统进行调整，前提是关键概念保持不变。

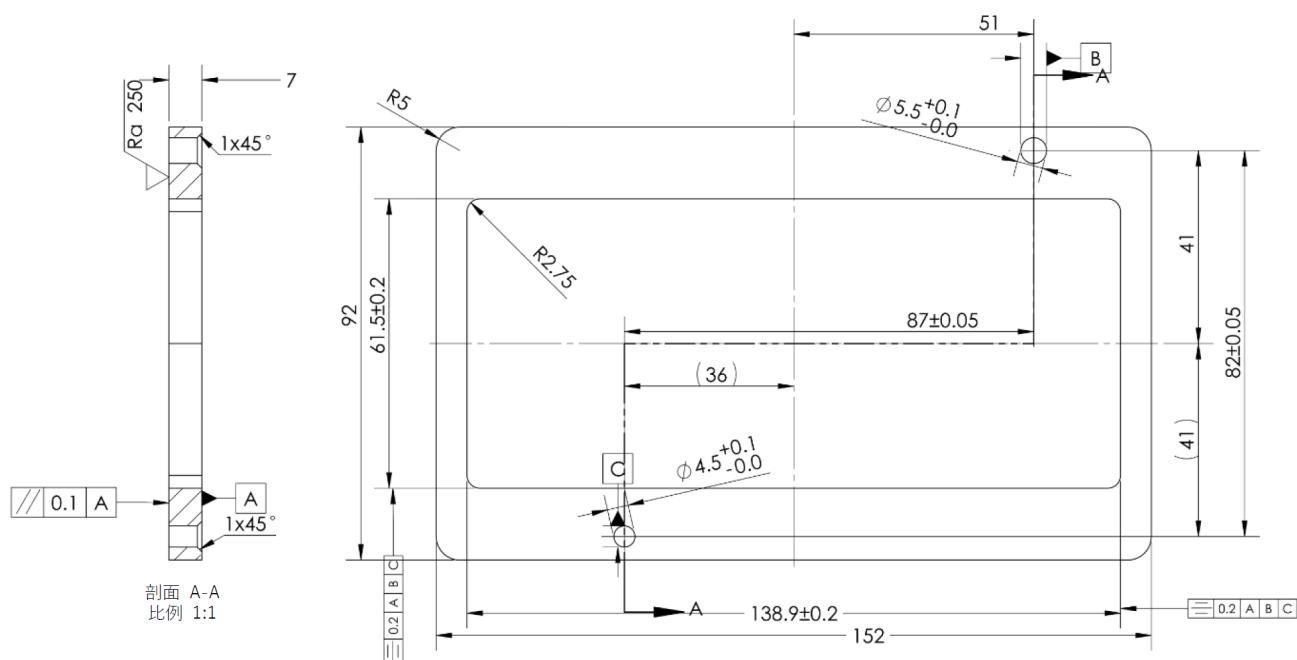


图 5. 底部工具的设计

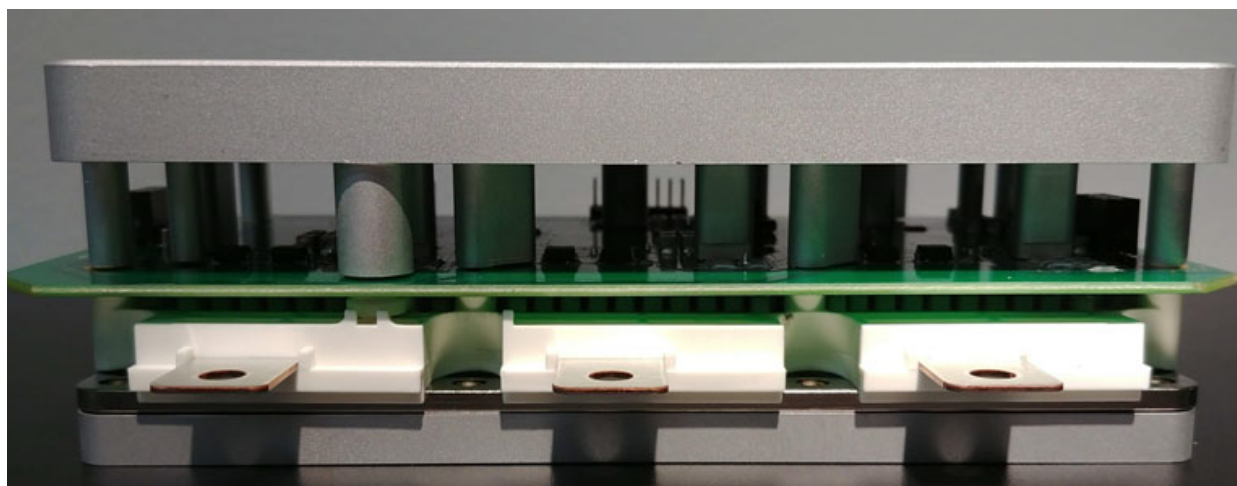


图 6. 实际 PCB 装配工具的使用示例

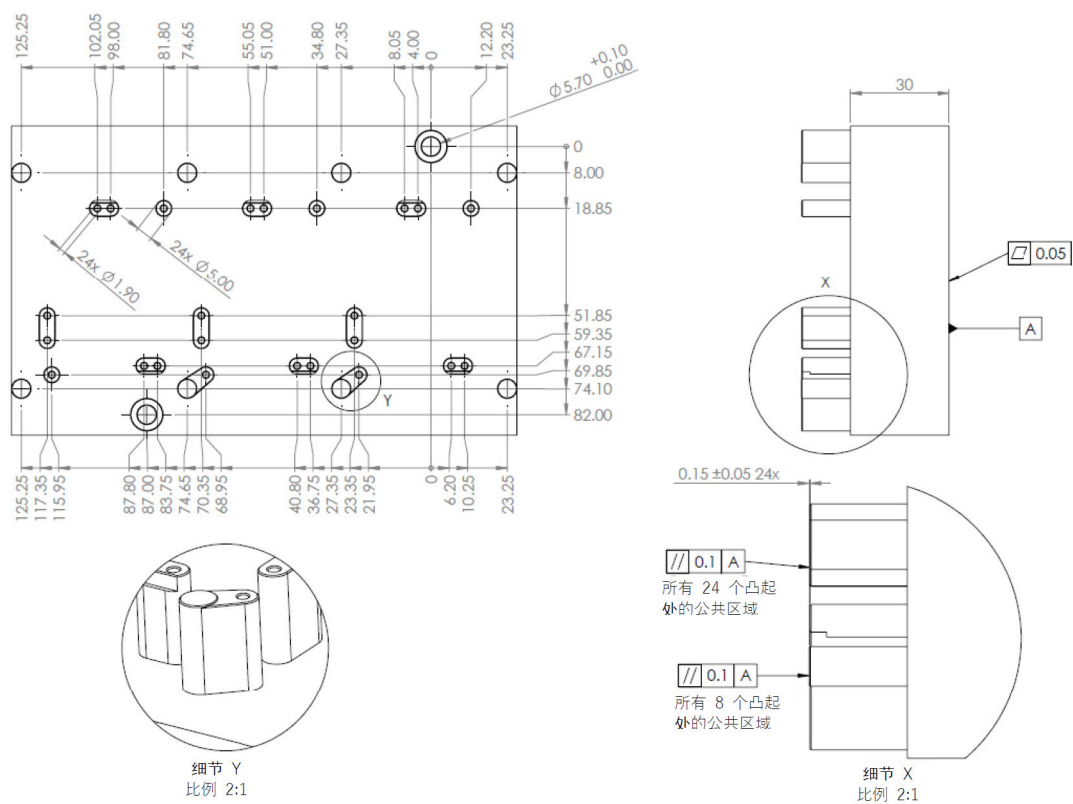


图 7. 专为 Si-IGBT模块的所有变体设计的顶部工具

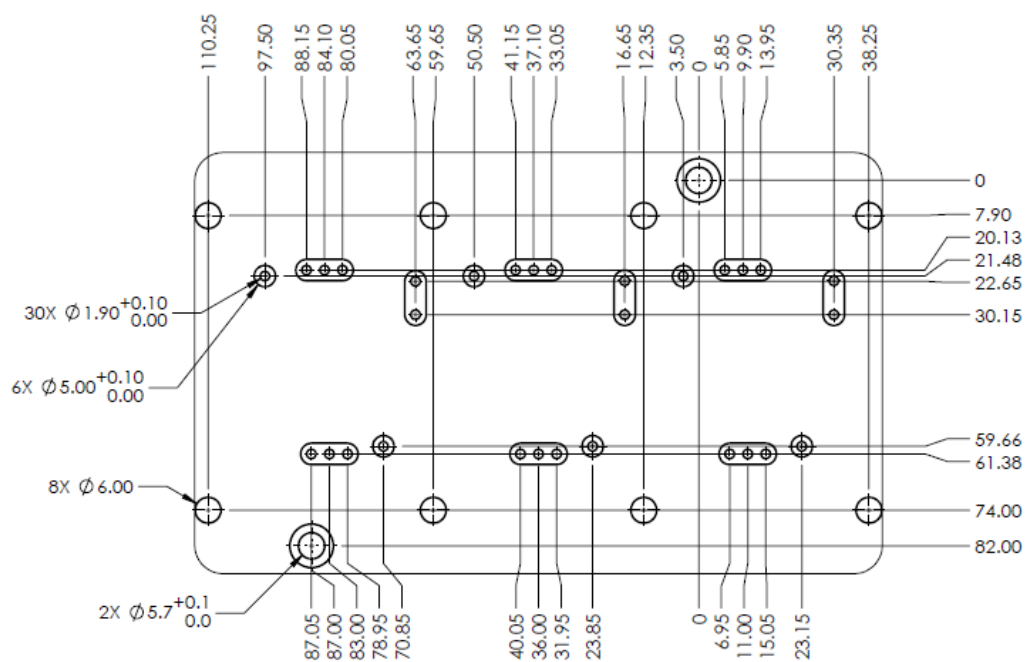


图 8. 适用于所有 SiC-MOSFET模块变体的顶部工具

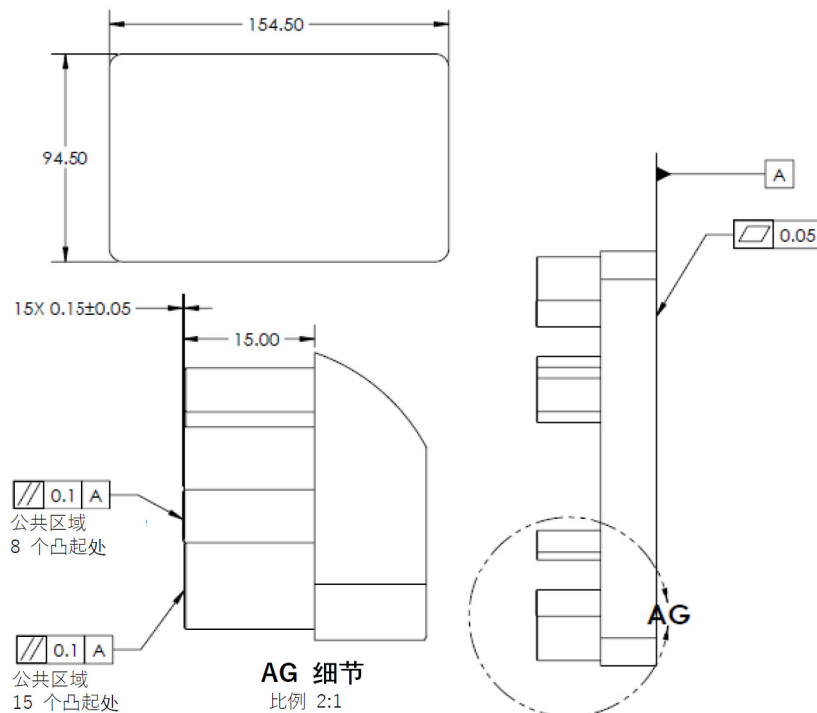


图 9. 用于 SiC 变体的顶部工具的详细信息

压合式装配

功率模块上的水平和旋转定位销可确保 PCB 在功率模块上正确定位。这也确保所有压合式引脚都与 PCB 上的压合式孔对齐。使用上一节中描述的压入过程，遵循表 3 和图 10 中推荐的速度和力。图 10 中所示的压入力图可以分为 3 个阶段。在第一阶段，压合式引脚的“鱼眼”正在塌陷，并在完全塌陷时达到顶峰。

在第 2 阶段，当鱼眼滑入 PCB 时，力会减小；在第 3 阶段，PCB 会碰到模块上的安装点，任何进一步增加的力都是不利的，并可能导致 PCB 组件损坏。图的下部显示了压入过程中 PCB 上的应变。应变传感器的位置已确定，力和应变测量值与 PCB 在 x 轴上的位移对齐。

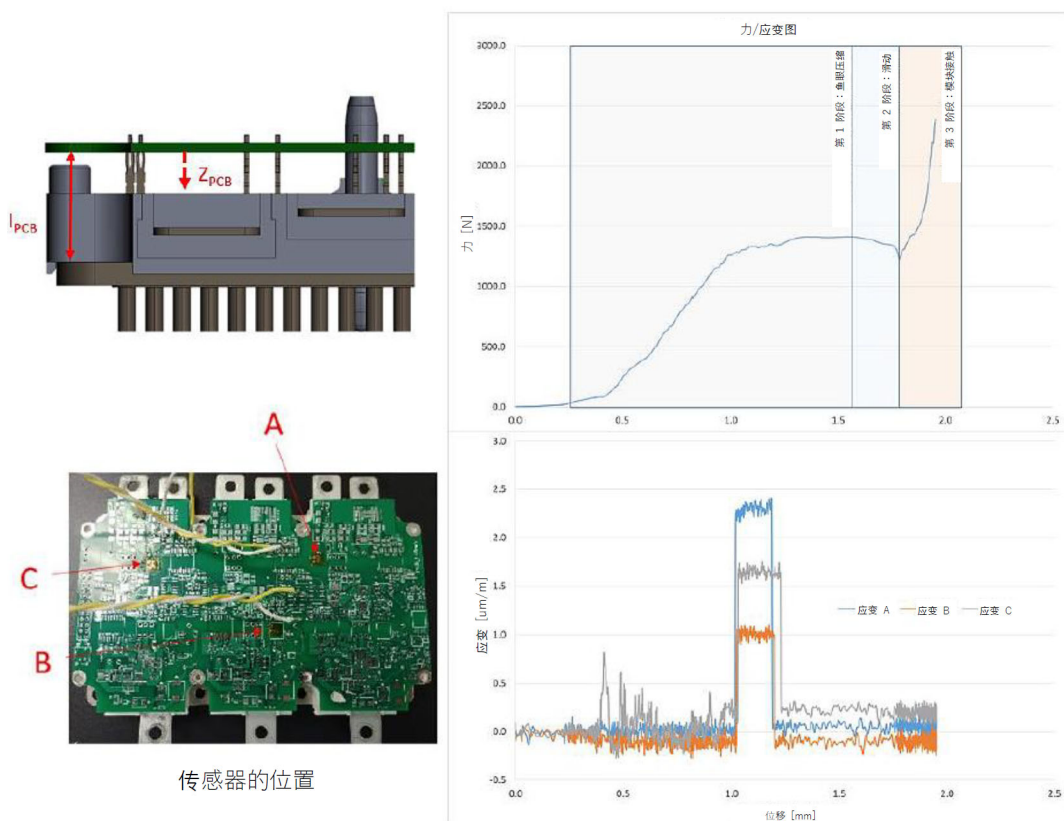


图 10. 压入的定义及压入力与位置图(该图基于 IGBT 模块，实际上 SiC 模块还要多出6个压合引脚，具体规格是不同的)

压出操作和工具目前尚未验证，因此不推荐使用。

表 3. 推荐的压入规格

编号	描述	最小值	典型值	最大值
1	压入速度	25 mm/min		500 mm/min
2	起始 I_{PCB}		14.5 mm	
3	行程距离 Z_{PCB}	1.7 mm		2 mm
4	终止 I_{PCB} (将 PCB 固定到模块后)	12.75 mm		
5	允许对模块施加的最大力			3.5 kN

带焊接的压合式引脚的 PCB 要求

安森美 (onsemi) 独特的压合式引脚设计使得功率模块和 PCB 之间的连接具有极低的 FIT 率。这一优势主要来自于压合式引脚在插入过程中能够扭曲或暂时变形，从而在引脚和 PCB 上的电镀通孔之间形成紧密而灵活且可靠的接触。如果压合式引脚在插入后焊接到

PCB 上，则会失去一些灵活性，并可能导致 FIT 率增加。因此，不推荐将压合式引脚焊接到 PCB。

但是，如果强烈希望焊接压合式引脚，请按照压合式引脚部分开头所述的 PCB 设计说明进行操作，但需要忽略下表中列出的信息。

表 4. 焊接压合式引脚的 PCB 要求

编号	描述	最小值	典型值	最大值
1	初始 (钻) 孔直径 (mm)		1.7	
2	压合式孔的铜厚 (μm)	20		25
3	压合式孔的金属化层 (NiAu) (μm)			7
4	末孔直径 (mm)	1.539	1.62	1.701
5	环形圈 (μm)	650		

表 4. 焊接压合式引脚的 PCB 要求

编号	描述	最小值	典型值	最大值
6	孔距公差			$\pm 100\ \mu\text{m}$
7	PCB 上压合式初始钻孔中心周围的组件禁入区	距离中心 $\geq 4\ \text{mm}$ 半径		
8	电路板上的金属类型	NiAu		
9	引脚上的金属类型	Sn/Ni 以减缓晶须生长		

上述参数的说明见图 3。将压合式引脚焊接到 PCB 上会使机械组件的顺应性降低，因此 PCB 需要开槽以将焊点与模块上装配点的冲击和振动分开，并消除任何潜在的机械振荡。

至关重要的是，在将压合式引脚焊接到 PCB 时，装配过程步骤应按照本文档第一部分中所列的进行。

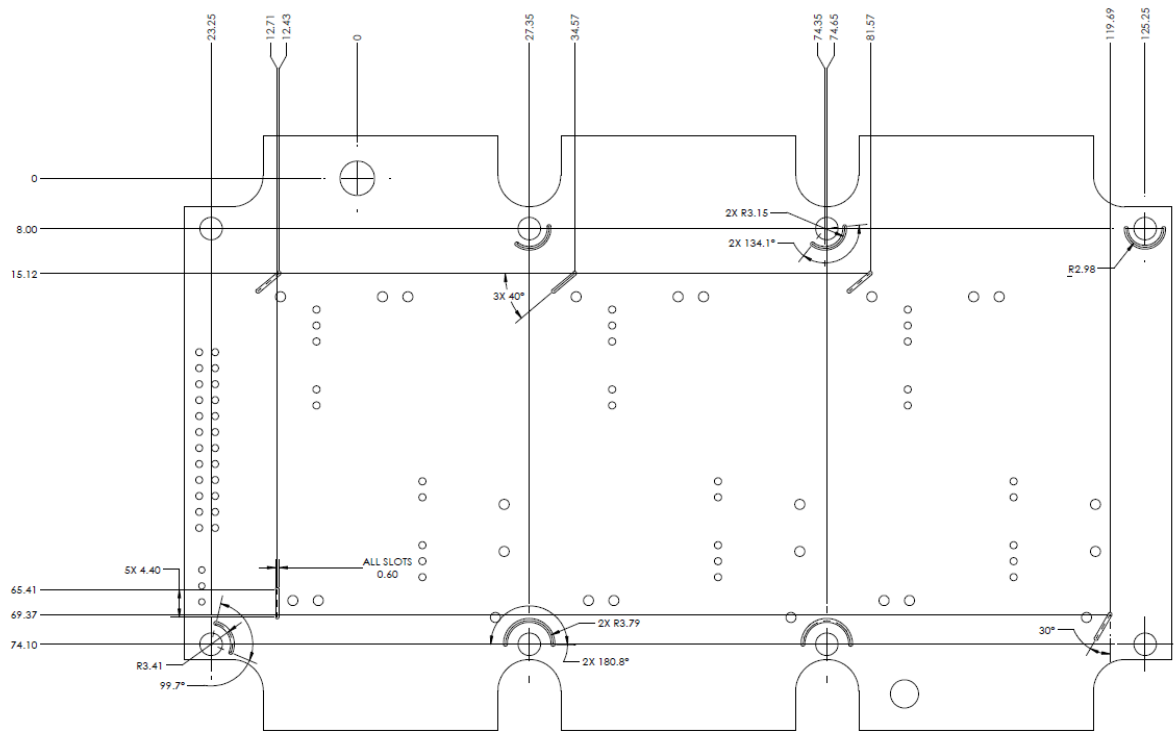


图 11. 推荐用于 PCB 的开槽，与 Si IGBT 模块一起使用，以最大限度地减少振动的影响

建议仅使用烙铁进行手动/自动焊接。对于表 1 中所述的 PCB 要求，遵循焊接方案的环形圈尺寸建议。只有在使用推荐的螺钉将 PCB 牢固地安装到模块后，才能尝试焊接引脚。这最大限度地减少了焊接引脚上的

机械应力。根据 IEC 68 第 2 节，焊接时间不得超过下表所示的值。必须调整烙铁的功率、烙铁头尺寸和工作温度，使其不超过规定的限值。焊接完成后，应根据 IPC-A-610G 对压合式引脚检查接合情况。

编号	描述	单位	最小值	典型值	最大值	备注
1	烙铁头最高温度	°C		280	315	
2	焊接时间	s		4	7	
3	焊接时模块外壳的最高温度	°C			225	
4	焊接时模块 PCB 安装凸起处的温度	°C	100		150	

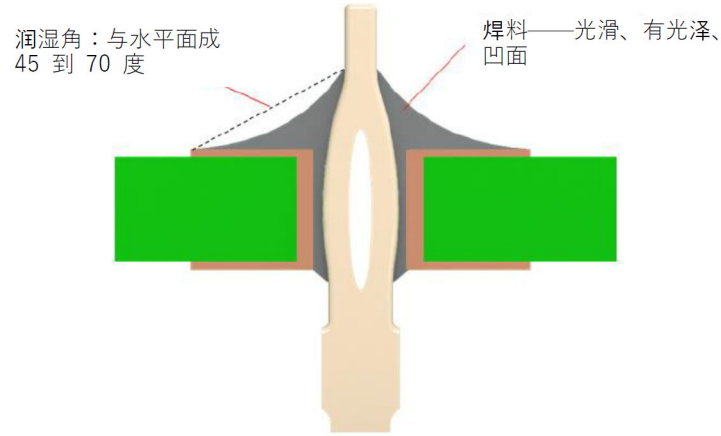


图 12. 焊接压合式引脚的示例说明

将 PCB 连接到功率模块

只有在将功率模块连接到散热片组件后，才应使用螺钉将 PCB 连接到功率模块。螺钉的长度应根据

PCB 的厚度来选择。对于厚度为 1.6 mm 的典型 PCB，建议使用以下自攻螺钉类型和长度，推荐的扭矩和速度如表 5 所示：

EJOT Delta PT WN5451 30x10



必须根据 PCB 的厚度来选择安装螺钉的长度。使用其他类型的螺钉可能会永久损坏塑料模块上的安装点。

表 5. PCB 安装螺钉的规格

编号	描述	最小值	典型值	最大值
1	PCB 螺钉的安装扭矩	0.45 Nm	0.5 Nm	0.55 Nm
2	螺钉转速	400 rpm		600 rpm

如图 13 所示，PCB 安装螺钉必须按照顺序进行。

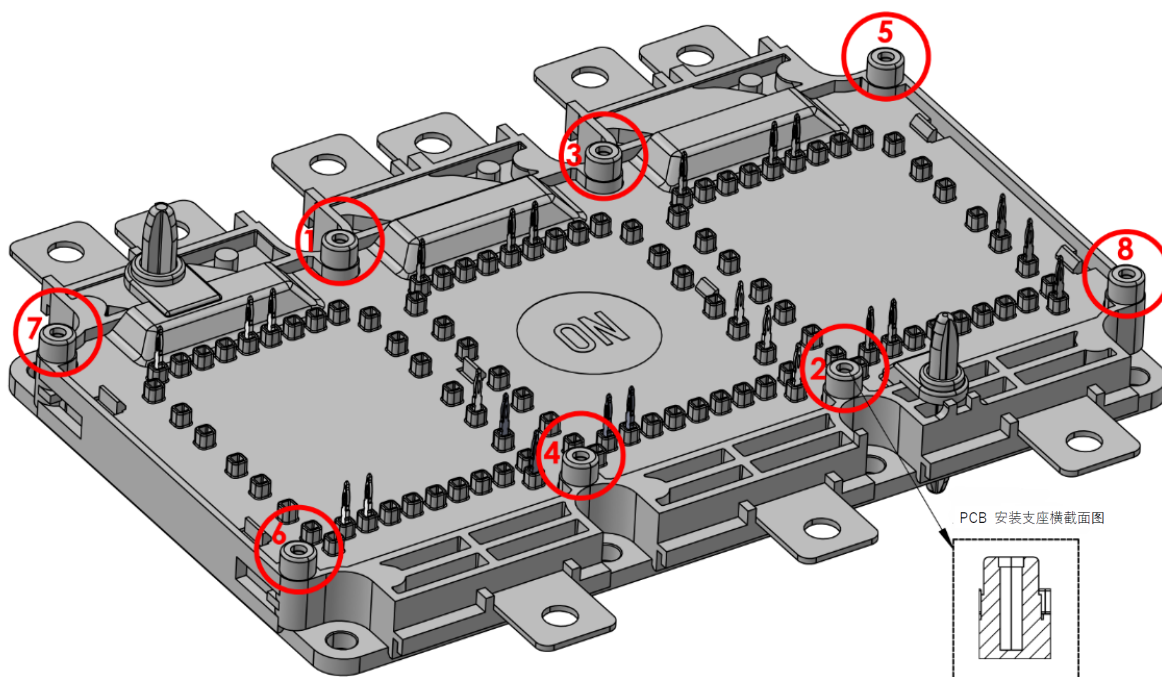


图 13. PCB 安装螺钉顺序

散热片组件

模块中耗散的功率必须有效地从模块中移除，而不超过数据表中指定的模块最大额定工作温度。

为此，所有 VE-Trac Direct 模块在模块的隔离铜底板底部都有一个引脚鳍片阵列。冷却液（例如乙二醇

和水的 50/50 混合物）通过引脚鳍片结构来为模块散热。

- 引脚鳍片结构允许最大尺寸为 1.5 mm 的颗粒通过。



安装模块时应格外小心，不要损坏引脚鳍片的镀镍层或结构。还要避免底板区域（图 14）受到污染、刮擦或其他损坏，因为该区域用于将模块密封到散热器。

确保冷却介质与散热器材料、功率模块的镍板底板和冷却回路的其他部分兼容。

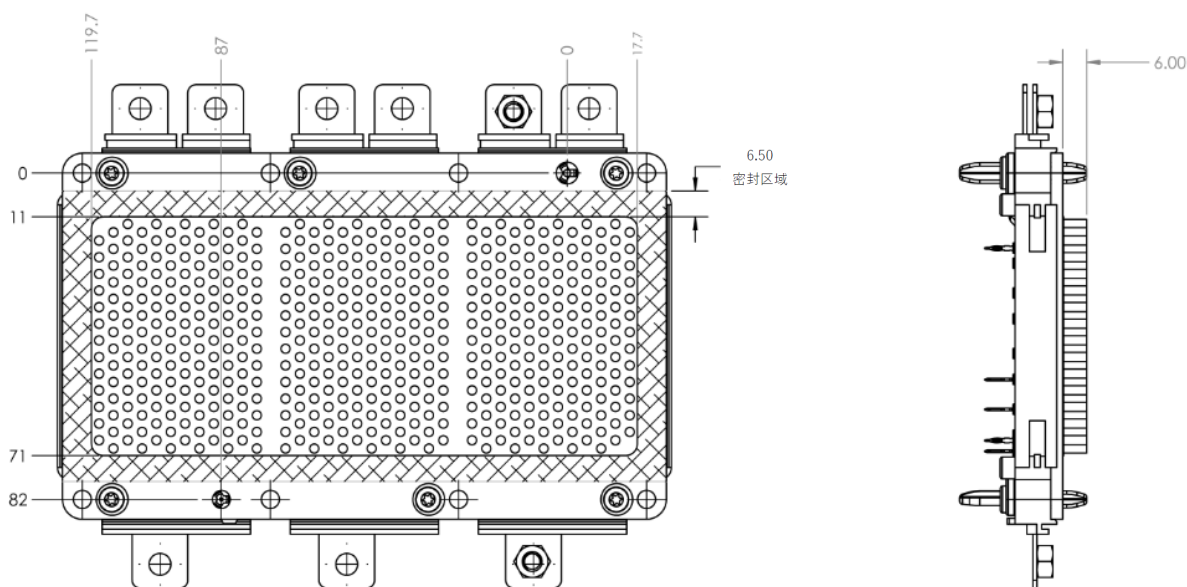


图 14. 功率模块底视图，显示引脚鳍片底板上的关键密封区域

散热套管要求

- 散热器密封区域的粗糙度如图 14 所示： $\leq RZ25$ (DIN EN ISO 1302)
- 模块密封区域的散热器平整度： $\leq 50 \mu\text{m}$

不满足上述要求可能会损坏功率模块或可能无法在模块和散热器之间形成适当的密封。建议散热器材料为 AlMgSi0.5 或与镀镍的铜底板兼容并能满足应用所需的机械应力的其他替代材料。

密封

建议使用具有 EPDM 50 材料且符合图 14 中所示规格的三重密封圈。所示示例由安森美设计，可从泉州

胜达橡塑制品有限公司获得。它设计用于安装在散热器中必须设计的凹槽中，如参考散热器部分所示。

有多家供应商提供类似的密封件以及更复杂的密封环，这些密封环具有对齐和锁定功能，可防止密封环在组装过程中移动。建议的供应商包括 Dichtomatik GmbH 和 Fabri-tech Components Inc。

请注意，本节中提到的密封件在功率模块鉴定测试中运行良好。但是，有必要由客户进行系统资格测试，以确定它是否满足特定的应用要求。

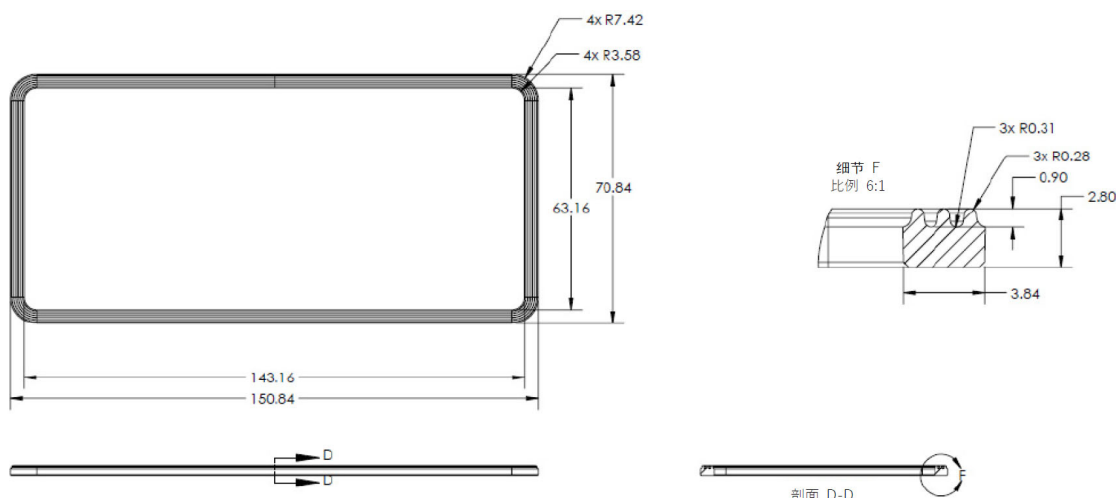


图 15. EPDM O 形密封圈和散热器凹槽的推荐图纸



我们不建议使用硅胶垫圈或任何其他方法将模块密封到散热器上。

用于引脚鳍片底板模块的参考散热器

参考散热器的设计可用作客户开发自己的散热器设计的指南。VE-Trac Direct 产品数据表中显示的热数据均为使用该参考散热器情况下的测量结果。只要满

足“散热套管要求”部分中描述的最低要求，并且对热阻/阻抗、压降和流速进行适当的权衡考虑，就可以采用不同的方式设计散热器。因此，应将图 16 中所示的参考设计视为示例设计。

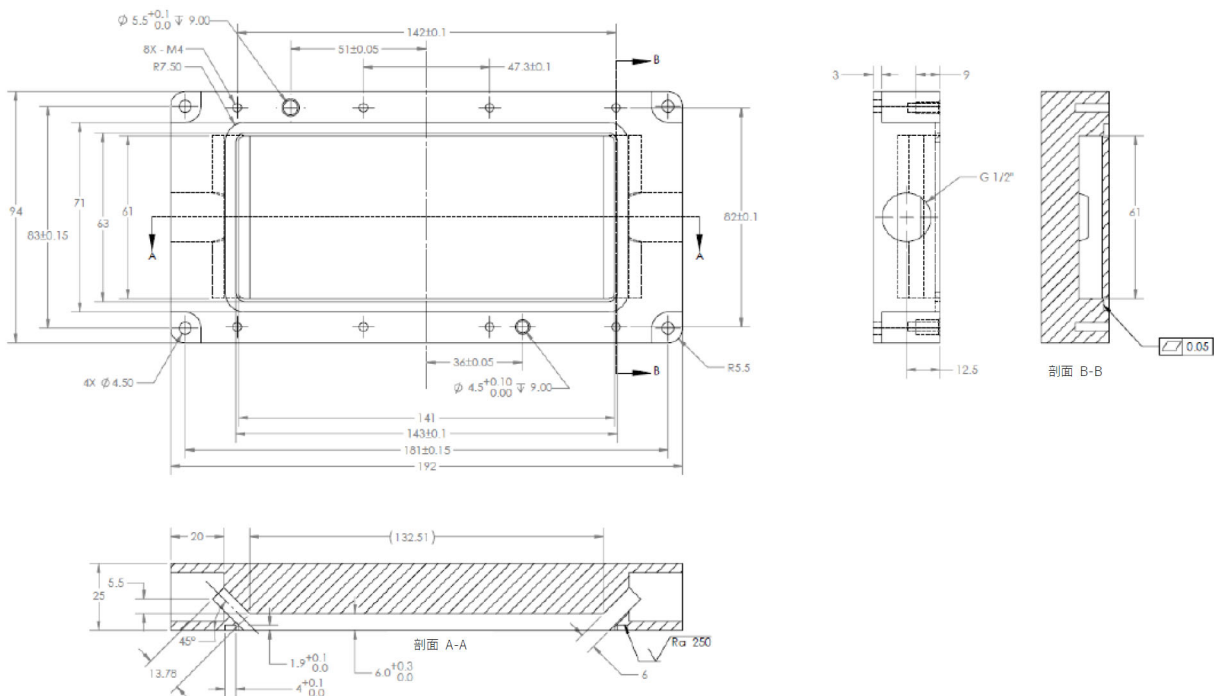


图 16. VE-Trac Direct 系列功率模块的参考散热器设计

用于平背底板模块的参考散热器

对于模块的平背版本，可以选择使用带界面材料的冷板（间接散热），也可使用直接散热选项，即冷却剂与模块底板直接接触（参见图 17）。

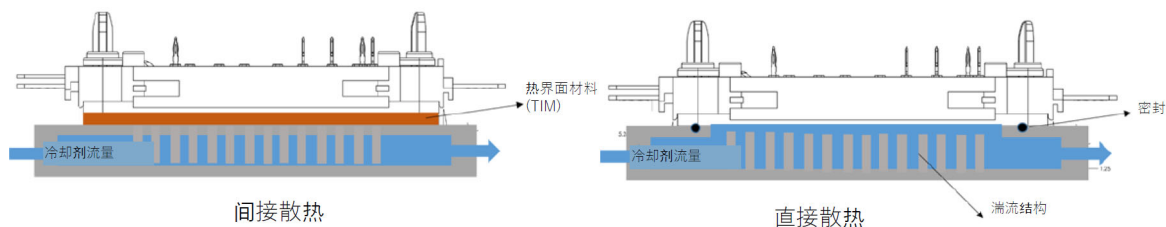


图 17. 平背模块的间接散热与直接散热

有一些供应商，例如 Wieland Microcool，为间接散热选项提供现成的解决方案。然而，间接散热器与直接散热方法在组装方面不具有通用性。安森美为平背模块的直接散热提供参考解决方案。请参见图 18，了

解带有菱形引脚鳍片式湍流器结构的参考散热器，该结构旨在产生冷却剂湍流，从而以最小的压降更好地散热模块。可通过安森美销售部门索取菱形引脚鳍片式散热器的设计细节。

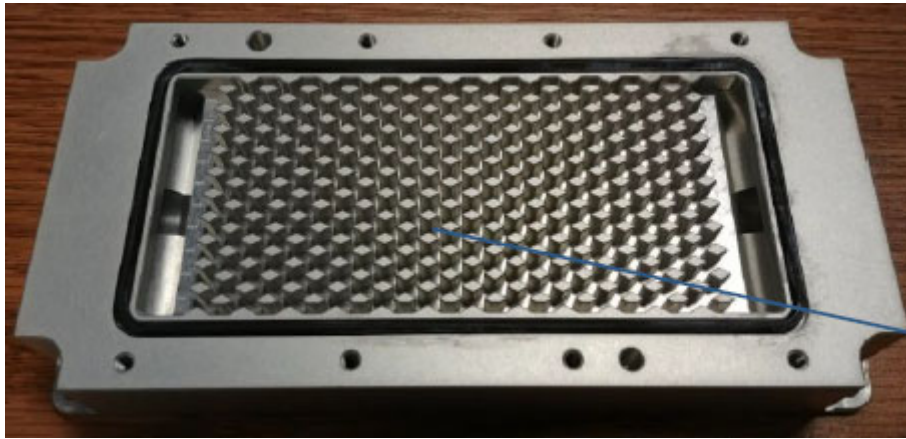


图 18. 用于平背模块直接散热的菱形引脚鳍片式散热器

表 6. 直接与间接散热在 10 LPM 时关键参数的性能比较

散热片解决方案	$R_{th,j-f}$ @ 10 LPM, 65°C (°C/W)	ΔP (Psi)
间接散热, Wieland Microcool 解决方案	0.145	414
直接散热, 安森美菱形引脚鳍片	0.154	122

安装五金件和方法

功率模块底板设计为使用 M4 螺钉固定到散热器上。标准螺钉 M4x10 ISO 4762 (DIN 912 A2) 和垫圈 M4 ISO 7090 (DIN 125 A2) 可与以下规格结合使用：

- 安装扭矩：1.8 / 2.0 / 2.2 nm（最小值/典型值/最大值）

- 最大螺钉转速：400 RPM
- 散热器中的螺钉有效长度：6 mm

下表列出了推荐的螺钉列表。

表 7. 将功率模块连接到散热器的螺钉推荐列表

五金件类型	描述
M4x10 ISO 4762 螺钉 M4 ISO 7090 垫圈	标准 M4 螺钉和独立垫圈
M4x10 ISO 7380-2 A2	带集成垫圈的 M4 螺钉
M4x10 ISO 7380-2 A2 TX	TX20 头 M4 螺钉，带集成垫圈

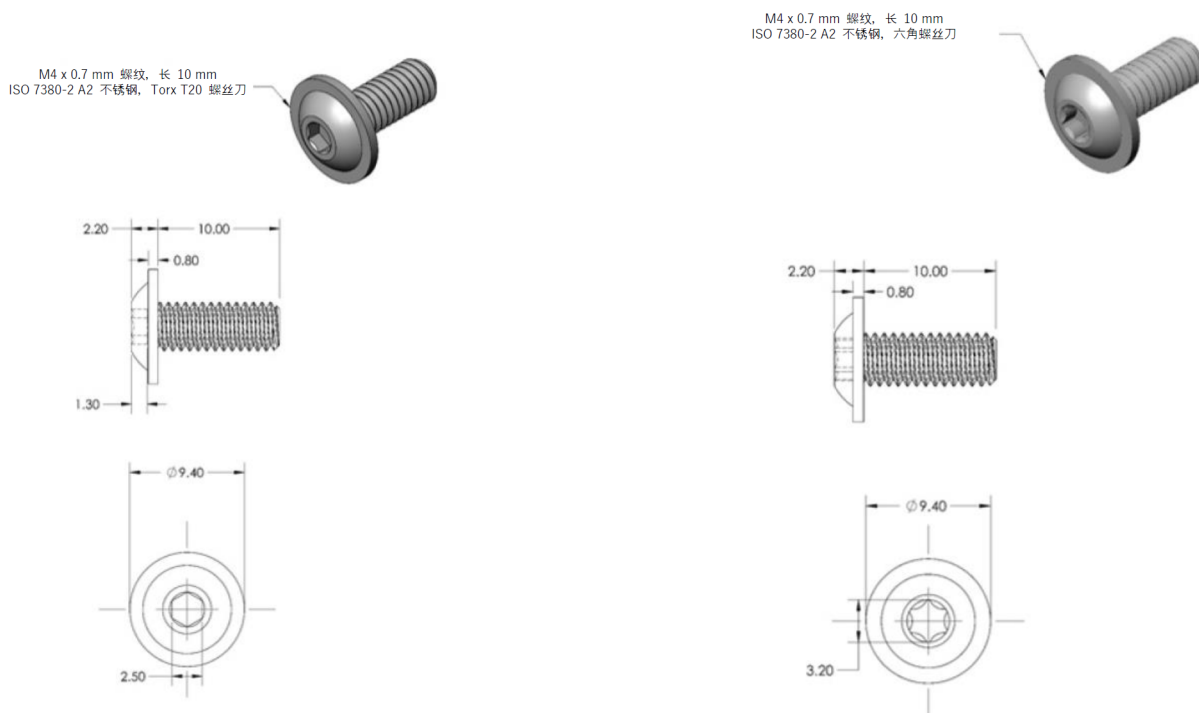


图 19. 将功率模块固定到散热器的推荐螺钉

将功率模块组装到底板上时，请务必遵循图 20 中所示的顺序。这是固定螺钉的唯一推荐顺序。

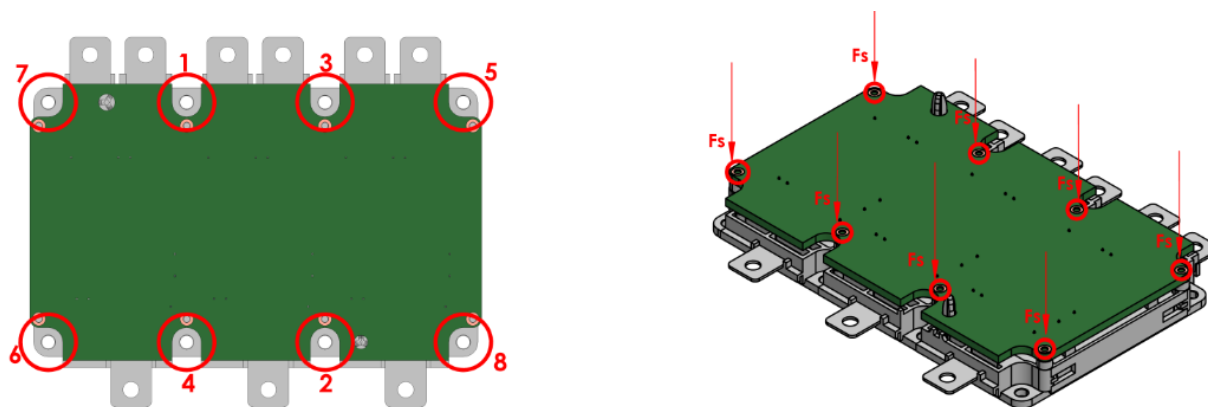


图 20. 功率模块装配散热器的螺钉顺序

为了使功率模块正确装配散热器上，需要在装配过程中固定模块以防止模块倾斜或旋转。有两种推荐的方法来固定模块：

1. 多步螺钉安装：螺钉 1 和 2 以最低扭矩 (0.4 – 0.6 Nm) 固定，以避免模块在装配过程中倾斜。后续的螺钉也以最低扭矩固定到位置 3 到 8。最后，再次按照顺序 1–8 将螺钉拧紧到其最终指定的扭矩。
2. 模块夹持方式：这种方法更适合大批量生产工艺。将带有 PCB 组件的模块放入散热器后，在旋入过程中，可以用总大小为 $F_S = 2 \text{ kN}$ 的力夹紧模块。可以在 PCB 安装螺钉孔所在的区域施加夹紧力，如图 20 所示。

电源端子连接

将模块电源端子连接到母线有多种选择。铜电源端子经过镀锡处理，非常适合螺钉型紧固，包括自锁紧固件和焊接工艺。

端子连接选项

可以采用不同的电源端子、母线、螺钉和螺母组合方式。一些可接受的叠层如图 21 所示。

标准 M4 自锁螺母可用于电源端子上的 M5 螺孔。在这种情况下，使用 M4 螺钉将电源端子连接到母线。关于将功率模块连接到母线，下面显示了几个端子连接选项示例。或者，您可以在母线上安装一个

M5 自锁螺母并使用 M5 螺钉来固定连接。查看表 8 中的图表以确定不同选项的正确扭矩。

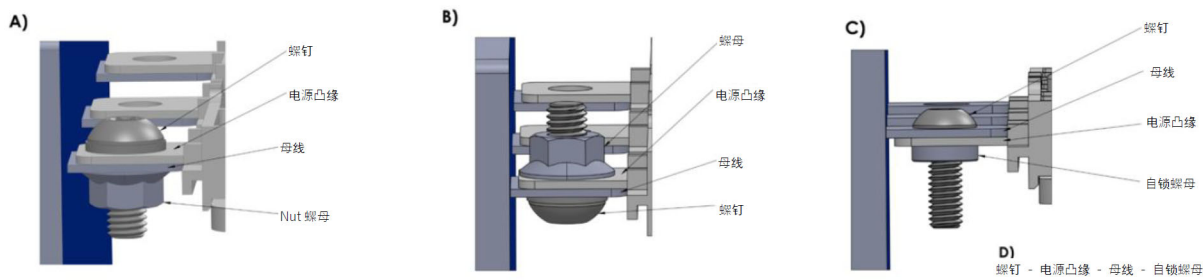


图 21. 装配到功率转换器系统的不同选项

表 8. 不同安装选项的扭矩

安装选项编号	五金件	安装扭矩 (nm)		
		最小值	典型值	最大值
A, B	M5 ISO 4762 螺钉 M5 ISO 7090 垫圈 M5 ISO 4032 螺母	3.6	4.0	4.4
A, B	M5 ISO 7380-2-A2 (TX) 螺钉 M5 ISO 6923 螺母	3.6	4.0	4.4
C	M4 ISO 7380-2-A2 (TX) M4 自锁螺母, 例如 PEM S-M4-0Z1	1.8	2.0	2.2
D	M5 ISO 7380-2-A2 (TX) 螺钉 M5 自锁螺母	3.6	4.0	4.4
	焊接	n/a		

限制

安装过程应形成一个系统，以限制电源端子在固定到母线上时所受到的力。图 22 显示了 25°C 时模块电源端子和压合式引脚在所有轴上的最大允许力。

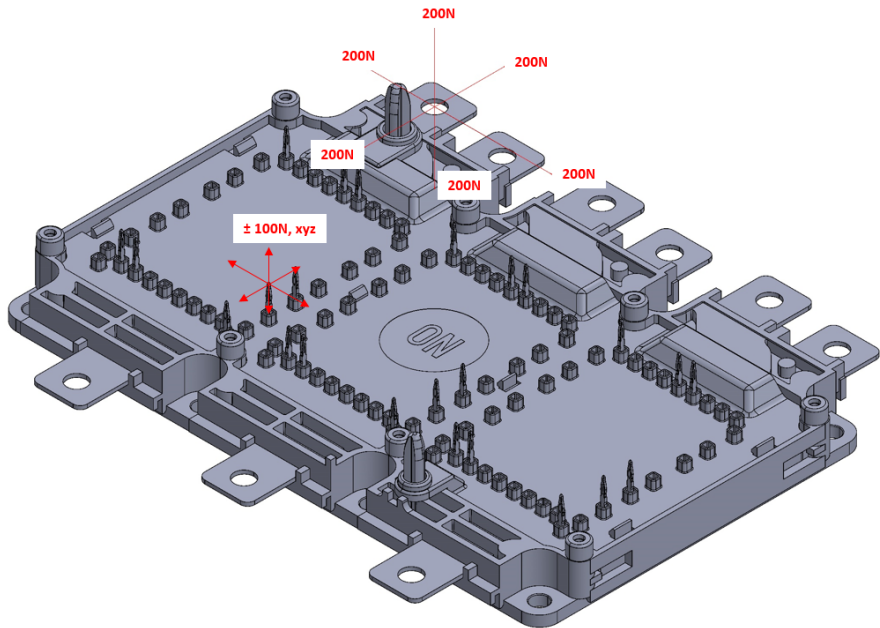


图 22. 模块电源端子上允许的力和方向

系统组装要求

爬电距离和间隙要求

应注意不要违背产品数据表中指定的模块的爬电距离和间隙要求。额外的外部组件，如金属散热片、母

线或紧固件，可能会无意中减少组件中的爬电距离和间隙距离。如图 23 所示，务必要检查组件，以确保满足所需的最小爬电距离和电气间隙。

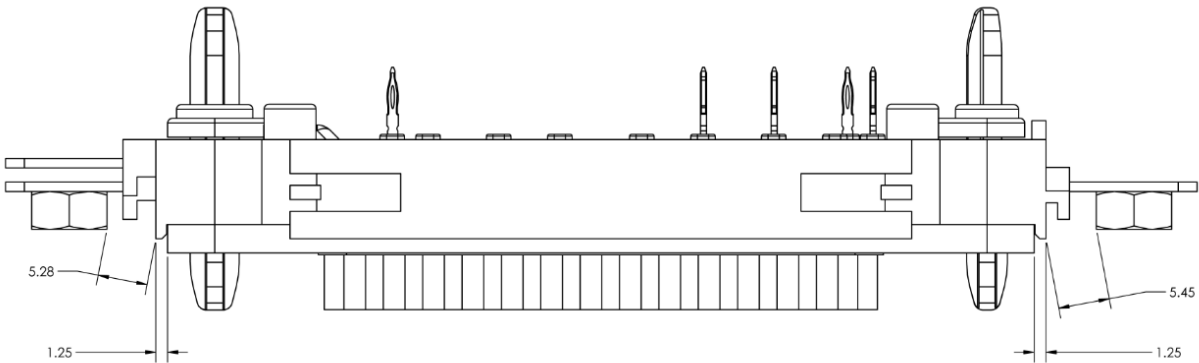


图 23. 最小爬电距离和间隙要求

电流传感器集成

将相电流传感器与模块集成有多种选择。LEM 的 HAH3DR 系列电流传感器提供了一些标准的现成选项。但这不是唯一的选择。最终，电流传感器的选择取决于终端应用的若干要求和功率转换器的封装设计。

视觉标记

可追溯性和标识

对于汽车应用，材料的正确识别和可追溯性是保证质量的一个重要方面。功率模块的标准标记如下图 24 所示，并在表 9 中进行了解释。

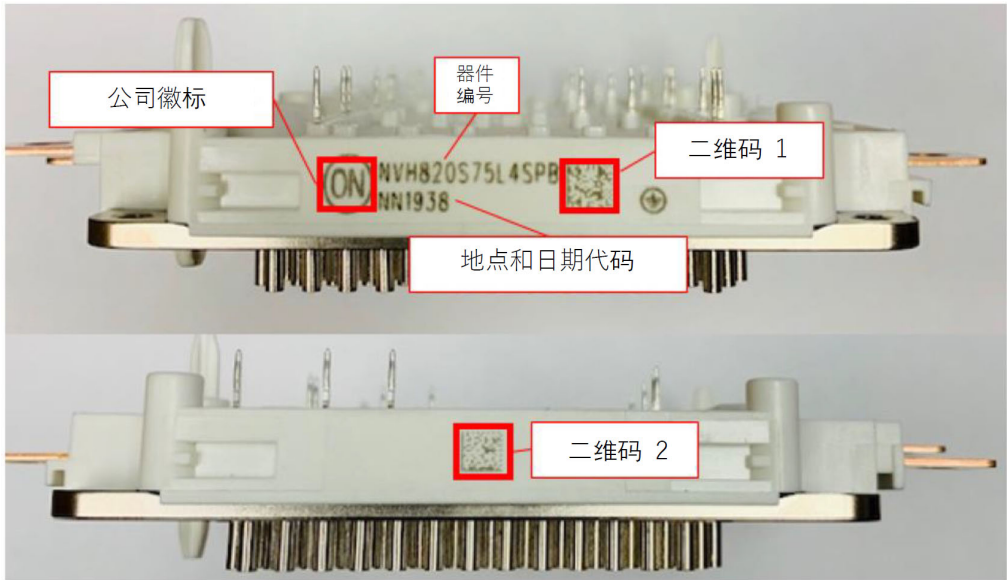


图 24. 模块识别标签和标记

大多数符合 IEC 24720 和 IEC 16022 标准的二维码扫描仪都可以读取这些二维码。安卓智能手机上某些读取二维码的应用程序也可以读取模块上的二维码。

表 9. 模块上视觉标记的解释

标记	描述
公司徽标	安森美徽标
二维码 1	日期代码 (YYWW) + 装配地点 (XX) + 装配批号 + S/N
二维码 2	装配批号 + S/N
地点和日期代码	装配地点 (XX) 和日期代码 (YYWW)
P/N 编号	器件编号, 14 个字符

视觉标记

运输和存储模块时需要小心, 避免极端的冲击、振动和环境。应遵循 IEC 60721-3-1 1K2 类的推荐存储

条件, 存储时间不应超过 2 年。以下是推荐的存储参数的摘要:

表 10. 推荐的储存条件的摘要

最高气温	40	°C
最低气温	+5	°C
最大相对湿度	85	%
最低相对湿度	5	%
冷凝	不允许	
降水	不允许	
冰冻	不允许	

VE-Trac is a trademark of Semiconductor Components Industries, LLC dba “onsemi” or its affiliates and/or subsidiaries in the United States and/or other countries.

onsemi, Onsemi, and other names, marks, and brands are registered and/or common law trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC dba “onsemi” or its affiliates and/or subsidiaries in the United States and/or other countries. onsemi owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of onsemi’s product/patent coverage may be accessed at www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf. onsemi reserves the right to make changes at any time to any products or information herein, without notice. The information herein is provided “as-is” and onsemi makes no warranty, representation or guarantee regarding the accuracy of the information, product features, availability, functionality, or suitability of its products for any particular purpose, nor does onsemi assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. Buyer is responsible for its products and applications using onsemi products, including compliance with all laws, regulations and safety requirements or standards, regardless of any support or applications information provided by onsemi. “Typical” parameters which may be provided in onsemi data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including “Typicals” must be validated for each customer application by customer’s technical experts. onsemi does not convey any license under any of its intellectual property rights nor the rights of others. onsemi products are not designed, intended, or authorized for use as a critical component in life support systems or any FDA Class 3 medical devices or medical devices with a same or similar classification in a foreign jurisdiction or any devices intended for implantation in the human body. Should Buyer purchase or use onsemi products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold onsemi and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that onsemi was negligent regarding the design or manufacture of the part. onsemi is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

ADDITIONAL INFORMATION

TECHNICAL PUBLICATIONS:
Technical Library: www.onsemi.com/design/resources/technical-documentation
onsemi Website: www.onsemi.com

ONLINE SUPPORT: www.onsemi.com/support
For additional information, please contact your local Sales Representative at www.onsemi.com/support/sales