

AN2012-06 IHM 和 IHV 模块使用及安装指南



IHM和IHV模块使用及安装指南

版本 2012-06

英飞凌科技股份公司印制

59568 Warstein, Germany

© 英飞凌科技股份公司版权所有, 2012.

保留所有权利。

免责声明

本应用文档中给出的信息仅作为关于使用英飞凌科技组件的建议, 不得被视为就英飞凌科技组件的任何特定功能、条件或质量作出的任何说明或保证。本应用文档的使用者必须在实际应用中验证本文档描述的任何功能。英飞凌科技在此声明, 未就本应用文档中给出的任何及所有信息作出任何性质的保证, 也不承担任何性质的责任, 包括但不限于没有侵犯任何第三方的知识产权的保证。

为方便客户浏览, 英飞凌以下所提供的将是有关英飞凌产品及服务资料的中文翻译版本。该中文翻译版本仅供参考, 并不可作为任何论点之依据。虽然我们尽力提供与英文版本含义一样清楚的中文翻译版本, 但因语言翻译和转换过程中的差异, 可能存在不尽相同之处。因此, 我们同时提供该中文翻译版本的英文版本供您阅读, 请参见【[Application and Mounting Instructions for IHM and IHV modules](#)】。并且, 我们在此提醒客户, 针对同样的英飞凌产品及服务, 我们提供更加丰富和详细的英文资料可供客户参考使用。请详见【[Power Modules, Discs and Systems](#)】

客户理解并且同意, 英飞凌毋须为任何人士由于其在翻译原来的英文版本成为该等中文翻译版本的过程中可能存在的任何不完整或者不准确而产生的全部或者部分、任何直接或者间接损失或损害负责。英飞凌对于中文翻译版本之完整与正确性不担负任何责任。英文版本与中文翻译版本之间若有任何歧异, 以英文版本为准, 且仅认可英文版本为正式文件。

您如果使用以下提供的资料, 则说明您同意并将遵循上述说明。如果您不同意上述说明, 请不要使用本资料。

信息垂询

若需获得关于技术、交付条款和价格的更多信息, 敬请联系距离您最近的英飞凌 (www.infineon.com)

警告

由于技术要求, 组件可能包含有害物质。若需了解相关物质的类型, 请联系距离您最近的英飞凌办事处。如果可以合理地预计英飞凌的某个组件失效可能会导致生命支持设备或系统失效, 或者影响该等设备或系统的安全性或有效性, 那么在将这些组件用于生命支持设备或系统之前, 必须获得英飞凌的明确书面同意。生命支持设备或系统意指用于植入人体内部, 或者支持和/或维持、维系和/或保护人类生命的设备或系统。如果这些设备或系统失效, 可以合理推定其用户或其他人的健康将受到威胁。

AN 2012-06

版本记录: 日期 (2012-10-01), V1.0

先前版本: AN2004-05

页: 项目 (最后版本的修订之处)

全部: 初始版本

作者: Thomas

Schütze - IFAG IPC

HP HV

欢迎提出意见和建议

您是否认为本文档中的任何信息存在错误、含糊不清或遗漏? 您的宝贵意见和建议将帮助我们持续不断地改进本文档的质量。请将您的意见和建议 (请注明本文档的索引号), 发送电子邮件至:

IIGBT.Application@infineon.com

IHM和IHV模块使用及安装指南

目录

- 1. 综述..... 4
- 2. 产品质量..... 4
- 3. 储存及运输..... 4
- 4. IGBT 模块是静电敏感器件(ESD)..... 5
- 5. 模块标识, RoHS & Green Product..... 6
- 6. 模块选型..... 7
 - 6.1 模块的电压等级的选择及模块在高海拔的工作特性..... 10
 - 6.2 IHM/IHV 在活跃气候条件下的通流性能 11
- 7. 模块的爬电距离和电气间距..... 12
- 8. 模块的安装与连接..... 13
 - 8.1 模块装配所使用的散热片表面质量 13
 - 8.2 导热材料 14
 - 8.2.1 使用丝网印刷敷涂导热膏 14
 - 8.2.2 敷涂导热膏的其它方法..... 17
 - 8.3 将模块安装到散热片上..... 18
 - 8.4 与功率端子和辅助端子的连接..... 21
 - 8.5 一种低杂散电感的对称性相桥臂设计示例 24
- 9. 参考资料..... 25

IHM和IHV模块使用及安装指南

1. 综述

本应用手册AN2012-06 Rev.1《IHM与IHV模块安装指南》用于代替AN2004-05。

IHM 和 IHV为功率半导体器件。

本手册给出了模块机械设计结构的重要信息，包括器件使用时的使用条件。在机械、电气和热特性的设计时必须遵守这些使用条件。

本手册中的注释及建议并不能够涵盖所有的应用和条件。因此，本手册并不能用于代替用户及其技术部门对应用的适用性所作的全面评估。因此，本手册在任何情况下都不能被当成供应合同担保的一部分，除非供应合同书面做出不同的规定。

2. 产品质量

根据IEC60747-9和IEC60747-15，所有的IGBT在交付前都要经过最后一次测试。因此，收货方并不需要对器件进行进货测试。

经过最后一次的外观检查，准备装运的器件都被装入一个静电防护运输盒。器件基片上的微米级凹陷和/或凸起都在Infineon的规格界限范围内，因此不会对功率模块的热特性、电气特性及稳定性造成影响。

一旦用户将器件从静电防护盒内取出，根据第四章要求，需要进行进一步的处理。

3. 储存及运输

在模块的运输和储存过程中应当避免极端的外力作用，比如撞击和/或者震动，以及Infineon提到的来自储存环境外部的极端环境影响[1]。

或许可以将模块储存在数据手册规定的限制温度下，但不推荐。

根据[1]建议的储存条件下的储存时间不应超过规定值。

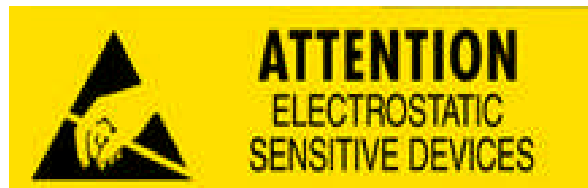
对于IHM/IHV模块来说，在装配前不需要进行如同塑装器件比如微处理器或者TO封装的器件的预干燥处理。

IHM和IHV模块使用及安装指南

4. IGBT 模块是静电敏感器件(ESD)

IGBT是静电敏感器件，这类器件需要根据ESD规范进行使用。不受控制的放电、来自不接地的操作设备或者人体的电压以及静电放电或者类似的影响都可能会损害器件。门极-发射极控制端为静电敏感接触点。注意不要在门极-发射极开路时工作或测量IGBT。

静电放电(ESD)可能部分或者完全损坏IGBT模块。



在使用、移动以及包装这些器件的过程中，用户必须检查所有的预防措施以防静电放电。

重要提示：

为了避免被静电放电损坏或者造成预损伤，器件要根据ESD规范用合适的ESD包装进行发放。为了拆封模块并去除模块的ESD保护措施以及使用这些无保护的模块，必须要用ESD的工作台。

- 随后的工作步骤只能在满足以下条件的特殊工作台进行：
 - 高阻抗的接地连接
 - 导电的工作台表面
 - 防静电手环
- 所有的运输设备及PCBs要在静电敏感器件进行进一步处理前进行除静电处理。

更多的信息请查阅它们当前版本的标准。

- IEC 61340-5-2, 静电环境下的电子元器件防护——般要求
- ANSI/ESDS2020
- MIL-STD 883C, 电子器件测试及分类方法3015.6
- DIN VDE 0843 T2, 与IEC801-2等同

IHM和IHV模块使用及安装指南

5. 模块标识, RoHS & Green Product

Infineon IHM / IHV B 模块部分遵守RoHs规定。数据手册——列出了产品的材料, 即所谓的材料数据手册, 可从Infineon获得。

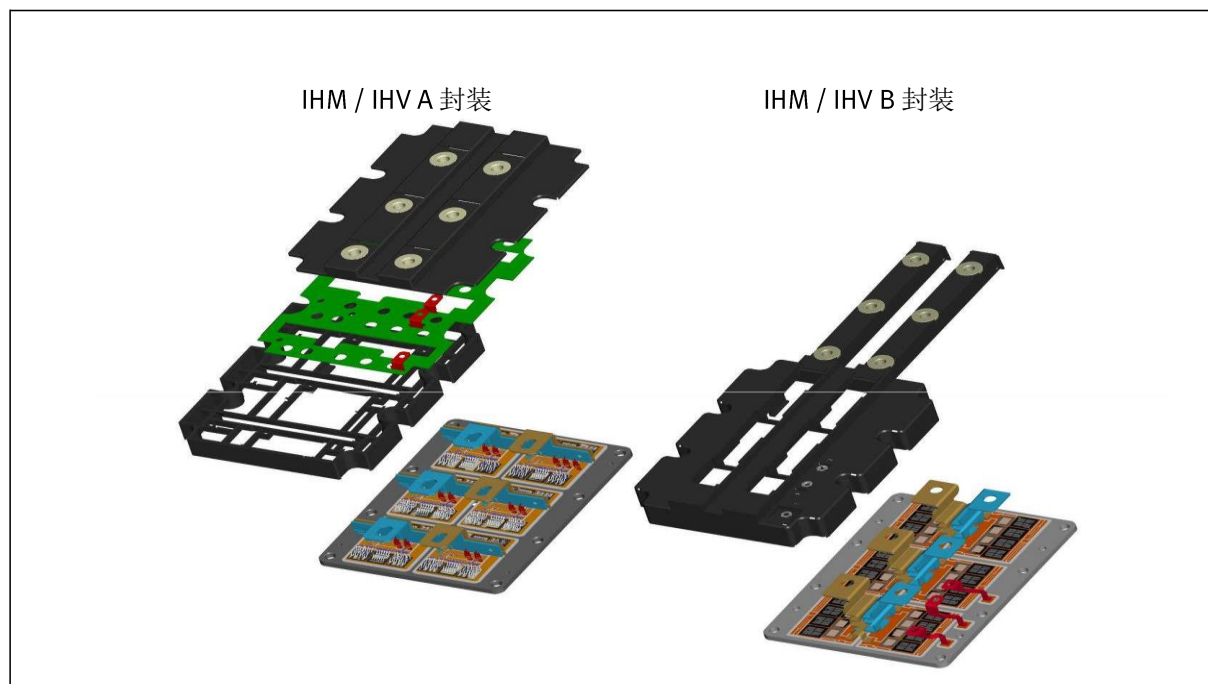


图.1: IHM / IHV A与B 的封装

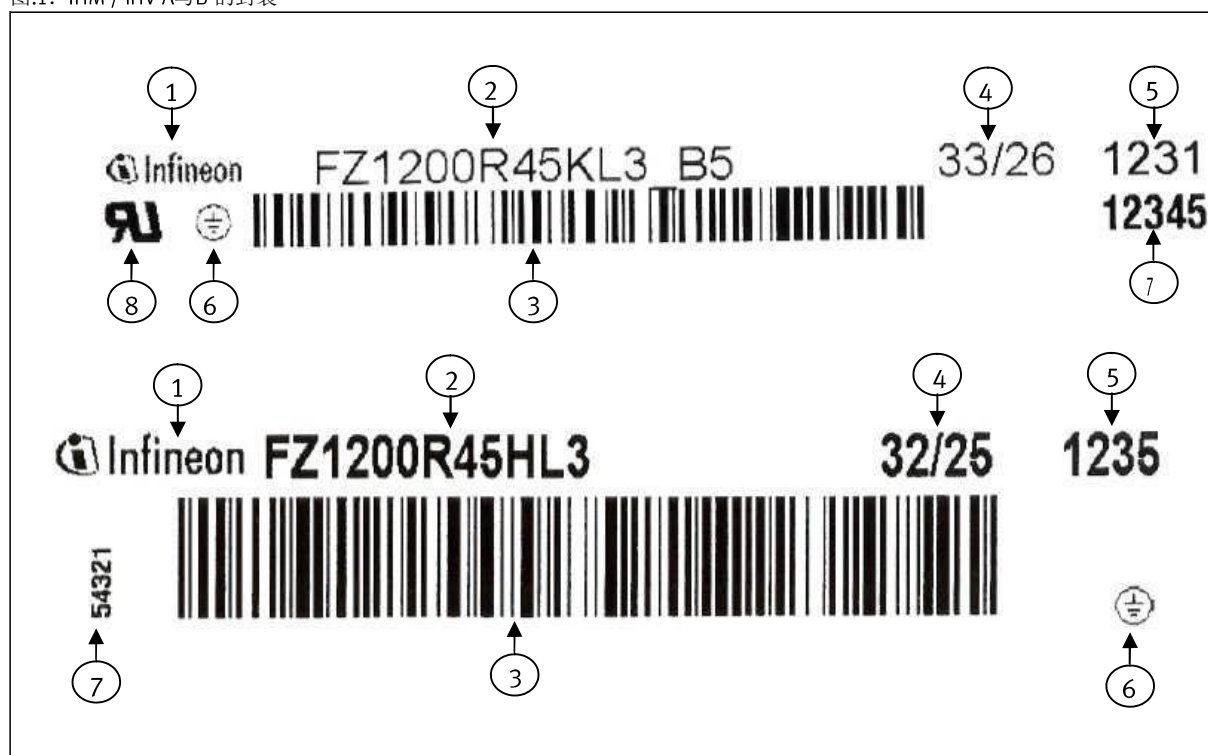


图.1: IHM / IHV标签设计

IHM和IHV模块使用及安装指南

1. Infineon商标
2. 型号
详见表 1
3. 条形码 (128码)
 - 1.- 5. 位: 模块序列号
 - 6.- 11. 位: 模块材料号 (内部)
 - 12.- 19. 位: 产品订单号 (内部)
 - 20.- 21. 位: 日期代码 (年份)
 - 22.- 23. 位: 日期代码 (星期)
 - 24.- 25. 位: VCEsat等级
 - 26.- 27. 位: VF等级
4. VCEsat / VF等级
2 digit averaged terminal value @ 125°C
5. 日期代码
 - 1.- 2. 位: 日期代码 (年份)
 - 3.- 4. 位: 日期代码 (星期)
6. 接地标志
7. 模块编号
5位, 清楚地与日期代码混合标注出来
8. UL认证
如果要采用到该认证

6. 模块选型

IHM / IHV模块有着最多样的结构以及电压电流范围, 它们都带有经过不同优化的IGBT和二极管。
完整的产品概述及选型和仿真程序, IPOSIM, 请访问www.infineon.com.

产品的数据手册和应用手册中的最大值都是指绝对值, 这些是绝对不能超过的值——即使是很短的时间, 因为这可能会导致器件的预损伤或彻底损坏。更多信息请查阅应用手册[2]。

选择最合适的器件需要考虑到各种各样的因素。图2中的概述给出了一个基本的例子与提示。

IHM和IHV模块使用及安装指南



图. 2: 不同IHM/IHV模块的典型外观

IHM和IHV模块使用及安装指南

FF	800	R	17	K	F	6	C	B2	双开关
FF									单开关
FZ									斩波器结构
FD									单二极管
DZ									双二极管
DD	800								最大集电极直流电
		R							类型:
		S							逆导通
			17						快速二极管
				K					集电极电压为100 V
				H					机械结构: 模块
				I					封装: IHM / IHV B-Series
					F				封装: PrimePACK™
					L				快速开关 IGBT 芯片
					S				低损耗 IGBT 芯片
					E				快速开关短拖尾电流 IGBT 芯片
					T				低饱和快速开关 IGBT 芯片
					P				速IGBT芯片
						1...n			大功率软开关IGBT芯片
							C		内部参考号码
							D		带发射极控制二极管
							-K		高二极管电流
							G		共阴极设计
							I		模块的外壳大
								B1..n	集成散热
								S1..n	结构变化
								P1..n	电气选择
									器件选型

表 1: IHM / IHV模块典型型号概述

6.1 模块的电压等级的选择及模块在高海拔的工作特性

在选择合适的电压等级时，所选的IGBT要有满足适用于应用场合的阻断能力。

表2列出了在不同供电电压下可能适用的IGBT电压等级。这一表格可以用于IGBT模块的初始选择。在开关过程中，最大集射极电压（ V_{CES} ）即使在很短的时间内也是不能超过的，而且在整个温度范围内选择合适的电压等级时也要考虑这一情况。

功率电压 额定母线直流电压	首选的IGBT电压等级
400 V _{RMS} (620V _{DC})	1200 V
600 V _{DC} (max. appr. 900 V _{DC})	
690 V _{RMS} (1070V _{DC})	1700 V
750 V _{DC} (max. appr. 1100 V _{DC})	
1500 V _{DC} (max. appr. 2100 V _{DC})	3300 V
up to 2500 V _{DC} controlled	4500 V
3000 V _{DC} (max. ca. 4500 V _{DC})	6500 V

表 2: IGBT的阻断能力作为供电电压的一个选择标准

当IGBT器件工作在海拔>2000m的高度或者有很高的直流电压时，需要限制其工作范围。

- 由于气压降低，需要评估空气冷却系统的冷却能力。
- 由于空气的介电强度降低，绝缘能力，特别是电气间距需要经过调整。详见第7章。
- 在选择合适的电压等级且通常在设计环节时，需要考虑由于功率半导体器件工作在高海拔（宇宙辐射）和/或高电压场合而可能导致的失效概率。
- 当工作温度 $T < 25^{\circ}\text{C}$ 时，IGBT降低的阻断能力和一些特殊场合中器件在这些温度下的开关特性，设计者需要牢记在心，并且在设计中要单独进行研究。温度 $T = -40^{\circ}\text{C}$ 到 $T = +25^{\circ}\text{C}$ 之间时，模块阻断能力与温度相关的特性，您可以通过咨询Infineon功率器件的销售代表获得。

器件在设计寿命内承受功率循环的能力需要根据负载情况计算得到。关于这一主题的更多信息，欢迎咨询或者参照[3]。

6.2 IHM/IHV 在活跃气候条件下的通流性能

IHM / IHV模块不是密封的。其外壳及模塑料（用于外壳内部的电气隔离）对于湿度和气体在各个方向都是通透的。因此需要平衡各个方向的湿度差异。

器件在工作和储存时要隔绝腐蚀性气体。

在活跃气候条件下，对于固定安装的Infineon IHM/IHV模块，其通流能力为EN60721-3-3的3K3等级。

模块要避免工作在由凝结产生的潮湿空气中和/或超过EN60721-3-3的3K3等级的气候条件下，如工作在这类场合中，要有额外的应对措施。

7. 模块的爬电距离和电气间距

在计算绝缘特性时，要考虑具体应用的特定标准，特别是关于电气间距和爬电距离的规定。

特定模块的IHM/IHV封装图纸可以从数据手册中得到，或者可以通过您的Infineon模块销售伙伴获得电子档的CAD文件。

特别在选择螺钉和垫圈时，必须要考虑电气间距和爬电距离。也请留意第6.1章中的信息。为了满足此处的使用要求，如果必要时应避免使用导电组件或者金属过孔或者采取隔离绝缘措施，如喷漆。

IHM/IHV模块数据手册中指出的电气间距和爬电距离是针对那些还未安装或连接的模块。下列数值为符合IEC60664-1规范的污染等级PD2规定的最小电气间距和爬电距离。下列表格列出了不同封装的电气间距和爬电距离概述。

描述	值	备注
爬电距离		
端子到散热器 端子到端子	15 mm	IHM
	32.2 mm	IHV
	56 mm	IHV 高隔离度
电气间距		
端子到散热器 端子到端子	10 mm	IHM
	19.1 mm	IHV
	26 mm	IHV 高隔离度

表 3: 不同IHM/IHV模块类型的电气间距和爬电距离

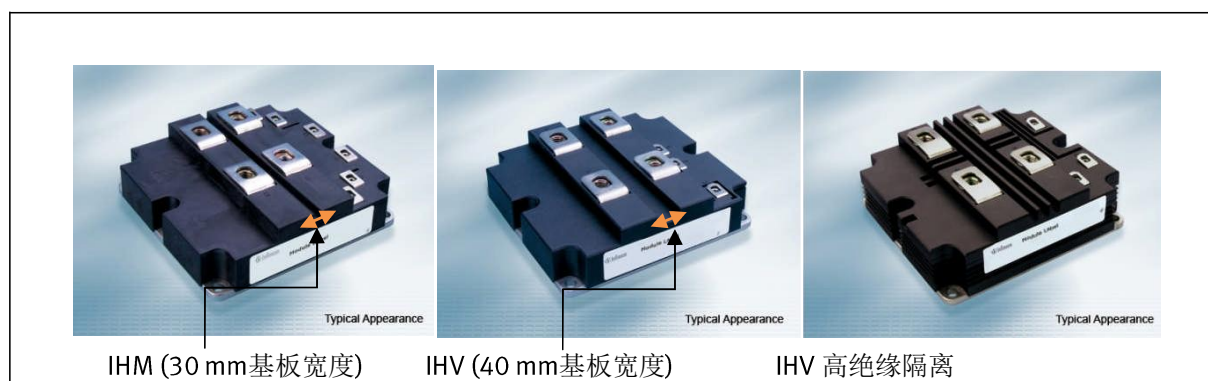


图. 3: 未安装和连接的IHM/IHV模块的最小电气间距和爬电距离

在任何情况下，需要检查实际应用中的电气间距和爬电距离并与用户要求的标准比较，且如果必要，通过设计措施来保证。

8. 模块的安装与连接

在IGBT的使用和安装过程中，用户需要采取一切措施以防止静电放电。详见第4部分。

8.1 模块装配所使用的散热片表面质量

模块损耗导致的热量必须通过一个合适的散热器散热出去，防止模块开关工作过程中温度超过数据手册中给出的最大值（ T_{vjop} ）。更多信息请见[4]。模块与散热片之间的装配接触面的质量很重要，因为散热片和模块之间的接触对模块的散热有着重要的影响。

为了最佳的散热，散热片到每个IHM/IHV模块的接触面的情况不能超过下列数值：

底板尺寸	表面粗糙度	表面平滑度
140x 73 mm 模块	15 μm	< 30 μm
140x130 mm模块	15 μm	< 30 μm
140x190 mm 模块	15 μm	< 50 μm

表 4: 不同IHM/IHV模块基板尺寸所需的散热片表面粗糙度和平滑度

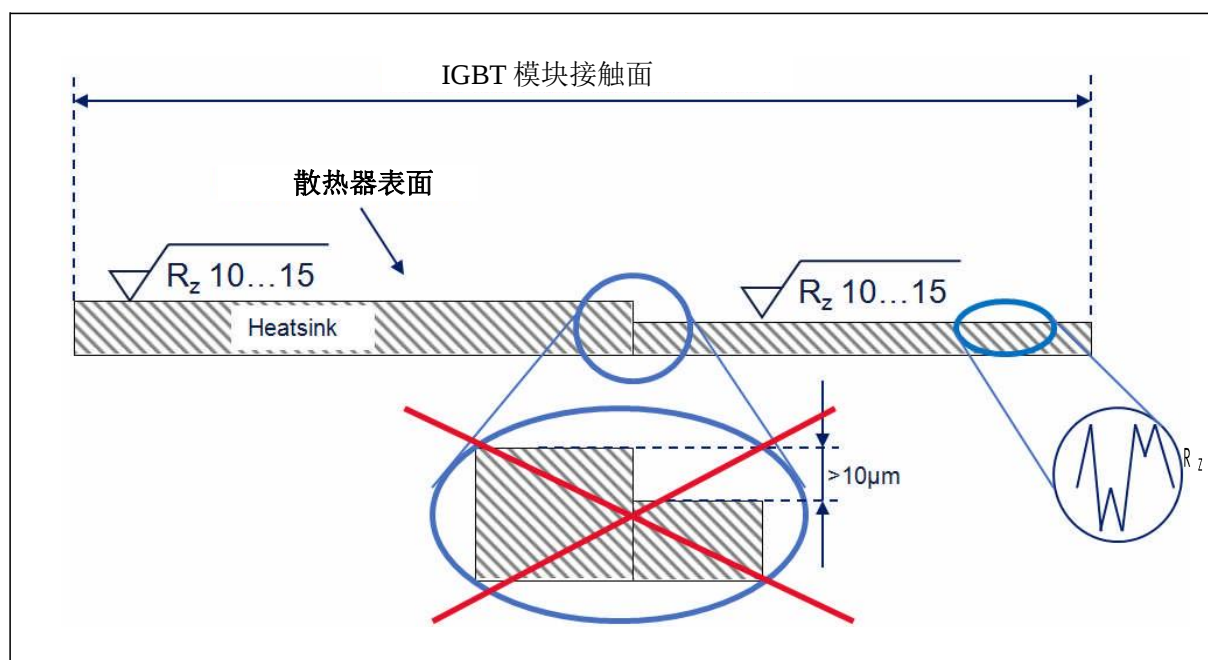


图. 4: 模块安装前散热片表面条件的建议

模块基板和散热片表面的装配接触区域必须不受损伤或污染，否则恶化二者的热接触。在安装模块之前，建议用一块不起毛的布清洁接触区域。

散热片在安装与随后的运输过程中要有足够的硬度，这样它才不会对模块基板施加额外的机械压力。在整个安装过程中，散热片必须不扭曲，例如：使用一款合适的支撑夹具。

8.2 导热材料

由于模块基板和散热片各自的表面形状，它们在整个装配接触区域并不能紧密贴合，因此在部分接触区域不可避免会出现气隙。

为了散热模块中产生的热量并使热量良好地流向散热片，所有的空隙需要填充合适的导热材料。

该导热材料在应用中应该要有长期的稳定性以及恒定的良好热阻。同时，它应当正确敷涂以免污染装配孔，导致安装扭矩因此出错。

8.2.1 使用丝网印刷敷涂导热膏

用户应当选择并评估导热膏的适用性和长期稳定性。为了使用丝网印刷正确敷涂导热材料，即导热膏，用户自己需要独立检验导热膏的适用性。

为了达到最佳效果，模块、应用场合的几何尺寸、散热片的接触面积以及导热材料应当作为一个整体来考虑。

手工敷涂这样一层厚度只有微米级的导热膏是有问题的，因为最佳的填充层应当要填满所有的气隙而不能阻碍基板和散热片表面的金属性接触。因此，建议使用丝网印刷敷涂导热膏。通过这种方法，不仅可以根据模块的类型达到客户自定义的应用效果，而且还能对导热层的厚度进行可重复性生产的调整。

更多关于使用丝网印刷模具进行导热膏敷涂的信息，可参见指南[5]。印刷模具的具体图纸可以通过Infineon模块分销商处获得。需要注意的是，对于带AISIC基板的模块，模具的材料厚度为100 μm ，而对于带铜基板的模块，厚度为120 μm 。

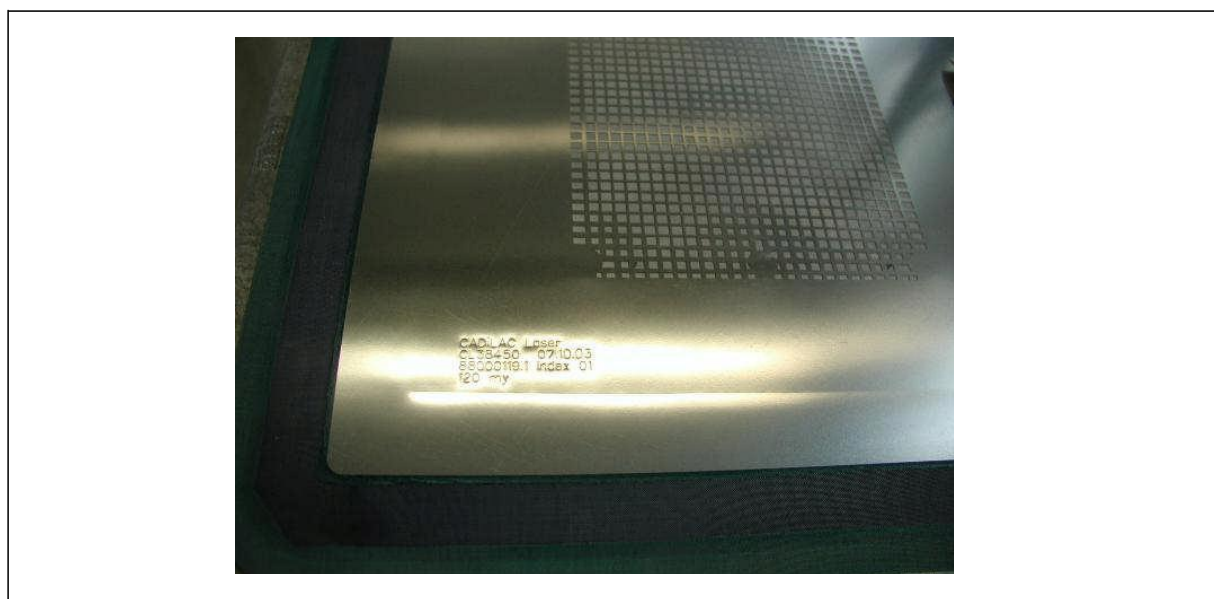


图. 5: Infineon IHM/IHV模块的丝网印刷模具

下列图片对丝网印刷导热膏进行举例说明。



图. 6: 丝网印刷过程中使用敷涂夹具敷涂导热膏示例，模块基板细节

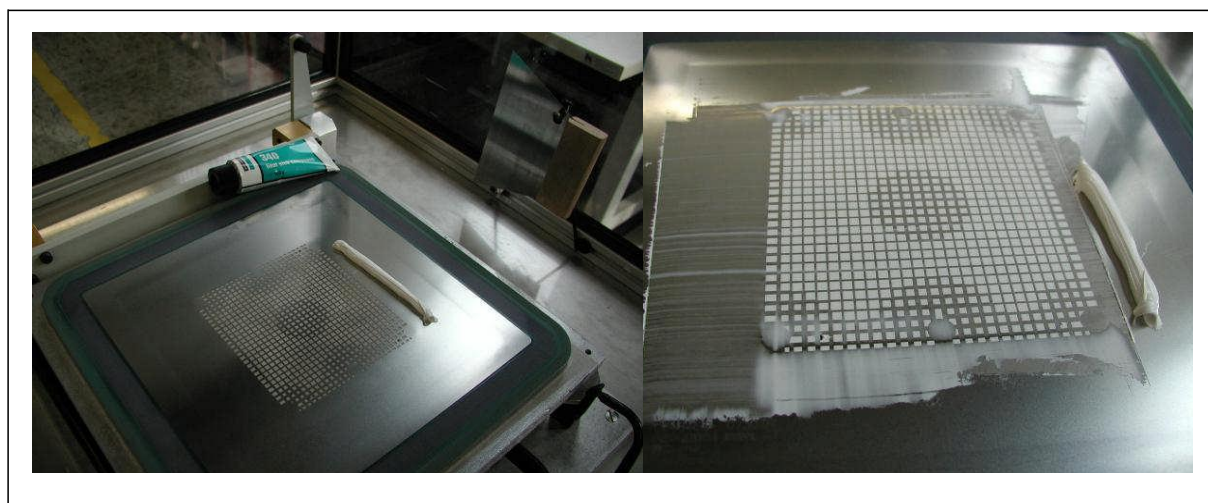


图. 7: 使用模具敷涂导热膏

1. 清洁模具上可能残留的导热膏。这一步骤可以通过使用合适的有机溶剂如异丙醇或乙醇来完成。使用这些材料时请遵守安全守则。
2. 调整模具和模块。或许可以使用图6所示的夹具固定模块。
3. 降低模具高度，使其贴到模块底板。
4. 在模具上敷涂导热膏，见图7。模具所有的孔必须全部涂满导热膏。
5. 提起模具并移开模块。
6. 涂完导热膏后进行外观检查，确保模具上的每一点都被填满了。使用模具敷涂导热膏，特别是手工敷涂时，会受到模具的调整不当和导热膏数量的微小变化的影响，并因此会使目标的温度提高几度。
7. 因此强烈建议测量沉积导热膏材料的厚度并保证涂有足够数量的导热膏。

经过一段时间沉淀后，散热片和它对应的模块应当有良好的导热膏分布且在其边缘处有多余的导热膏形成的条边。

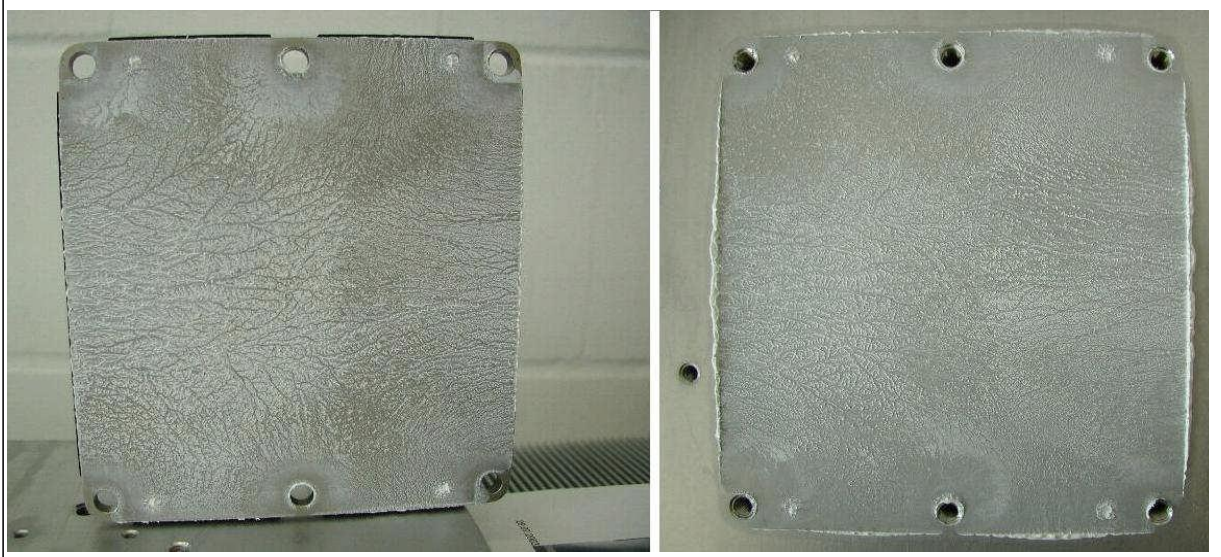


图. 8: 导热膏在模块表面（左）和散热片表面（右）的分布

刚涂完导热膏的时候，导热膏从边缘渗透出来，显现出筛网的形状。根据导热膏粘性的不同，导热膏形成一个均匀条纹的时间由几分钟（低粘性导热膏）到几个小时（高粘性导热膏）不等。



图. 9: 模块边缘渗漏出过量的导热膏

当使用工具将导热膏敷涂到模具上时，要定期检查模具可能产生的磨损及随之而来的导热层厚度的降低。如果模具不再具有原先的厚度，就应该要替换掉。

8.2.2 敷涂导热膏的其它方法

如果不能使用推荐的丝网印刷来敷涂导热膏，导热膏可以改成人工敷涂。一般模块基板上均匀的导热胶厚度为100 μm 就足够了。用户需要对所使用的导热膏的适用性和长期稳定性进行检验。

基板尺寸	导热膏的量
140x73 mm 模块	1.02 cm ³ / 0.06 in ³
140x130 mm 模块	1.82 cm ³ / 0.11 in ³
140x190 mm 模块	2.66 cm ³ / 0.16 in ³

表 5: 100 μm 厚导热层所需的导热膏的量

导热膏的量可以通过注射器或试管测量得到。

这样一个薄层通过滚轴或齿刮刀的手工制作是有问题的。导热胶层厚度的均匀性和可重复制作总是有问题的。实践证明这样的导热胶层厚度的可通过湿毛梳来实现，如图10。把湿毛梳垂直放在散热器表面，用梳子缓慢刮导热胶层。湿毛梳每一边都有不同长度的齿。导热胶厚度取决于“涂敷的”或“湿”齿的最大值和“未涂敷的”和“干”齿的最小值。

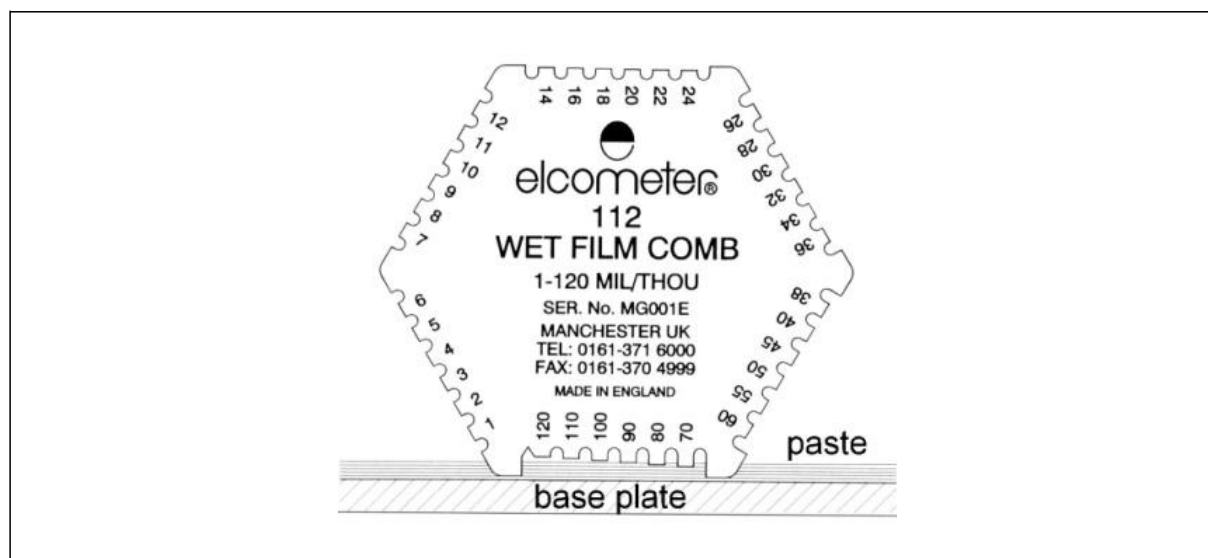


图. 10: 测量导热层厚度的湿毛梳

用户选用的导热材料的使用方法、热接触性能和长期稳定性必须由用户对敷涂方法及应用场合进行评估，也可与导热膏的厂商讨论。

8.3 将模块安装到散热片上

模块的安装必须符合模块数据手册中给出的公差。模块具体的尺寸图纸可从数据手册中得到。

将模块安装到散热片上的螺钉必须正确使用以确保全部作用力之和不超过连接组件的承受力。沉降器件，比如弹簧垫圈，可以增加连接处的弹性并因此补偿沉淀效应。这样可以极大的保留预紧力且可以抵消装配时的松散程度。

描述	值	备注
固定螺栓	M 6	1.
建议最大转矩	$M_{\max} = 5.75 \text{ Nm}$	2.
建议螺栓等级	8.8	
散热片上最小的螺纹长度	$1.6 - 2.2 \times d$	3.

表 6: 固定螺栓的技术参数

1. 模块的装配建议参照ISO4762, DIN6912, DIN7984, ISO14581或者DIN7991选用螺栓，配合合适的垫圈，如参照DIN433或DIN125选用垫圈或者参照DIN6900选用组合螺栓。

2. 螺纹要干净且无润滑或未受导热膏污染

3. 要深入铝材中；参照关于散热片和螺丝的材料性质的技术文献；**d**:螺栓直径
其它螺栓的材料制品和/或散热片材料需要调整其力学参数并评估其抗腐蚀性。

为了避免基板受到不必要的应变和张应力，在装配和运输过程中，散热片要有足够的硬度和抗扭曲能力。

所有的安装螺钉统一按照指定的安装扭矩拧紧。一个较合适的工具是电子控制的或者至少是缓慢移动的电动螺丝刀。这个过程也可以通过扭矩扳手手动完成。由于气动螺丝刀精密度和准确度低，我们建议您不要使用。

为了实现与散热片的良好热接触，在涂完导热膏并将模块对准放置在散热片上以后，我们建议按以下程序装配140x130(或 140x190mm)模块的6个（或8个）螺丝：

对于低粘性的导热膏：

1. 用两个对角螺丝拧住（拧松点），如# 3 - 6（或1 - 5）螺丝，将模块宽松地装配起来。轻轻用手按住模块并通过轻轻的旋转运动来分配导热胶。
2. 按以下次序用 $0.5 \text{ Nm} \pm 15\%$ 扭矩拧紧螺丝：
2 - 5 - 3 - 6 - 1 - 4（或 2 - 6 - 3 - 7 - 4 - 8 - 1 - 5）
3. 按相同的次序以 $5 \text{ Nm} \pm 15\%$ 扭矩拧紧螺丝。

如果使用高粘度的导热胶，在步骤2和步骤3之间插入以下步骤：

2a 按先前的次序以 $2\text{ Nm} \pm 15\%$ 扭矩拧紧螺丝。拧紧的保持时间取决于所使用的材料以及由用户对自己所偏爱的材料实验和研究决定。作为开发阶段初步研究的一个指导，可以考虑保持时间为15min到30min之间。

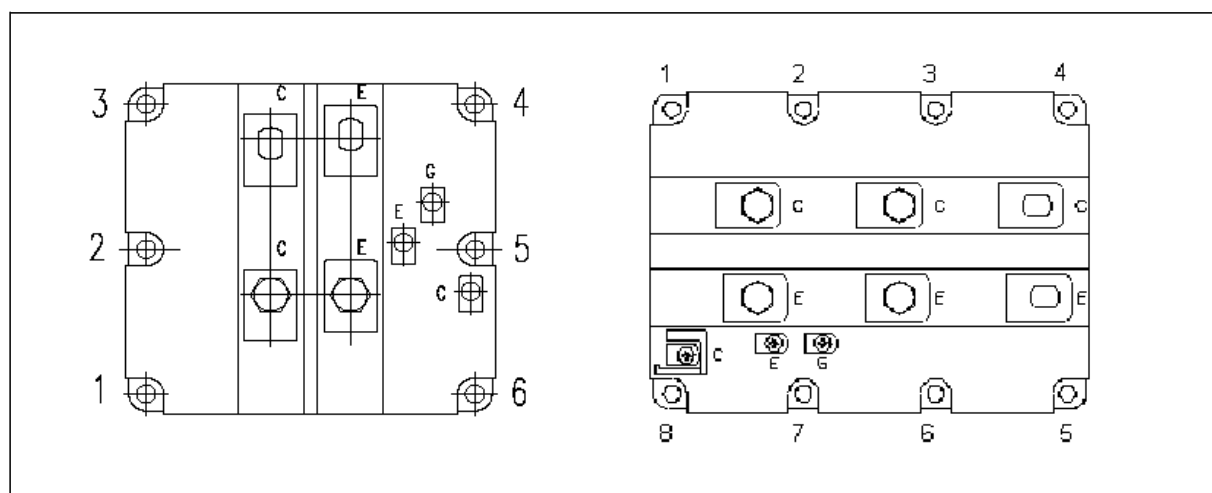


图 11: 拧紧次序的端子标号

对于所有的IHM/IHV模块及型号，拧紧次序都一样。

对于铜和AlSiC基板模块，这三个步骤必须严格依次执行，以使得导热膏流动并使模块慢慢地与散热片的形状相匹配。

当使用标准的导热膏时，根据导热膏的特性，或许有必要在一段时间老化后检查螺栓的拧紧扭矩是否正确。当使用相变膜代替导热膏来导热时，建议一定要进行这个检验步骤。由于不适用于功率模块器件，不建议使用固体导热绝缘垫片。

对于装配程序及热设计适用性的评估和检验，有必要对导热膏或者其它替换材料进行试验和测量。实际应用中的结温需要通过热测量进行评估。在脉冲工作模式下的最大结温 (T_{vjop}) 不能超过数据手册中规定的最大结温[4]！

对于靠近IGBT芯片的温度测量，有必要在芯片下方放置传感器探头，如图12所示。测量时知道IGBT芯片确切的位置是十分必要的。具体模块中芯片的位置可以通过咨询Infineon IGBT功率模块经销商获得。

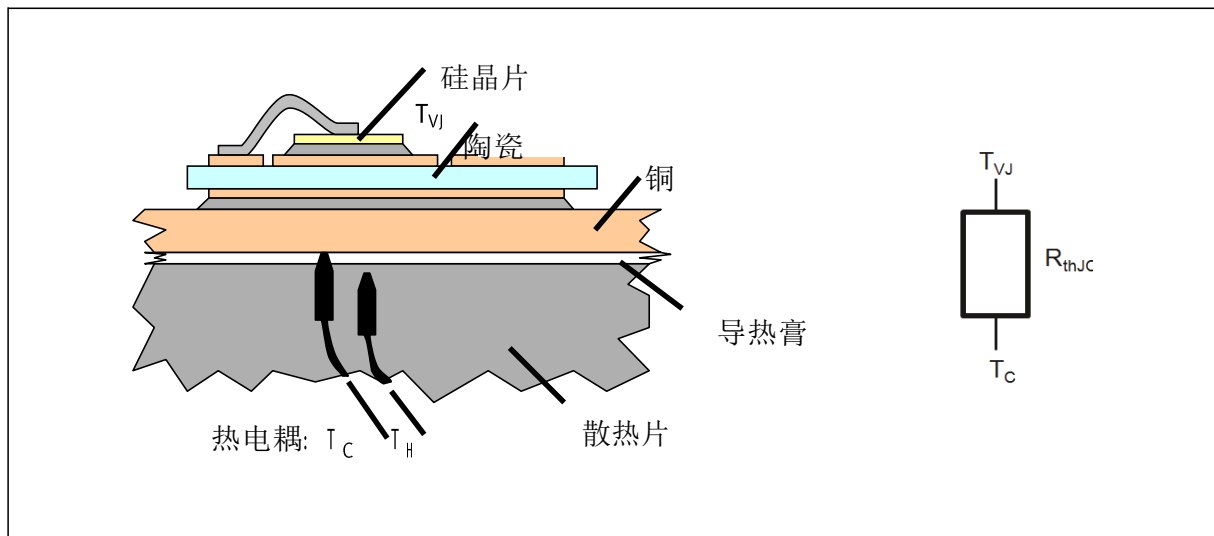


图12: 使用热电偶进行温度测量示例

结温 T_{vj} 可以通过以下公式计算。

$$T_{vj} = T_c + \frac{P_v}{R_{thJC}}$$

开关及导通损耗 (P_v) 及基板温度 (T_c) 在计算时必须给出:

T_{vj} : 实际结温

T_c : 壳温

P_v : 总的功率损耗

R_{thJC} : 结到壳的热阻

8.4 与功率端子和辅助端子的连接

模块的连接装配的误差必须在相关数据手册中外形尺寸标出的允许值之内。相邻组件比如PCB、直流母线、固定螺栓或电缆的位置及偏差必须正确设计，以保证连接后没有静态和/或动态的拉力持续作用在端子上。

为了连接IHM/IHV模块的功率端子，需要使用M8螺栓。应当根据ISO4762, DIN7984或DIN7985选择不少于8.8等级的螺栓，同时配上合适的垫圈或防松垫圈，或者根据DIN6900选择组合螺丝。螺纹应当保持清洁且不能润滑。螺丝要根据数据手册中给出的扭矩拧紧。建议使用接近最大值的扭矩。然而，不能超过表7中给出的最大值。

拧紧扭矩必须正确选择，使得施加的预紧力对器件只产生单纯的摩擦性连接。为了决定预紧力和拧紧扭矩的大小，知道摩擦系数 μ 是先决条件。摩擦力大小取决于很多因素，比如材料组合、表面、润滑、温度等等。表6中设定了一组米制M6铁制镀锌螺栓的扭矩值。如果实际结构中的摩擦系数不等于这个值，则相应地调整扭矩值。

端子	螺栓	最大扭矩
功率	M 8	8 - 10 N m
辅助	M 4	2 Nm +5%,-10%

表 7: 电气连接中固定螺栓的拧紧扭矩M

螺栓长度的选择取决于模块中最大的螺纹深度以及连接组件的尺寸。这些尺寸的总和不能小于所选螺栓的螺纹长度。螺栓深入模块功率端子的有效螺纹长度不得超过16mm的最大标称深度。对于辅助端子，这一值为8mm。其它螺栓的材料组合和/或直流母线的材料或许需要对这些机械参数进行调整以及连接处抗蚀性的评估。

功率端子的螺纹连接必须正确设计，以使得产生的所有负载总和不超过连接组件的变形的承受力。沉降器件可以增加连接处的弹性并因此补偿沉降影响。这样可以极大的保留预紧力，且可以抵消装配时的松散程度。

连接件必须以正确的方式装配在电气连接处上面，使得器件的受力在装配过程中不超过标称的最大允许值。

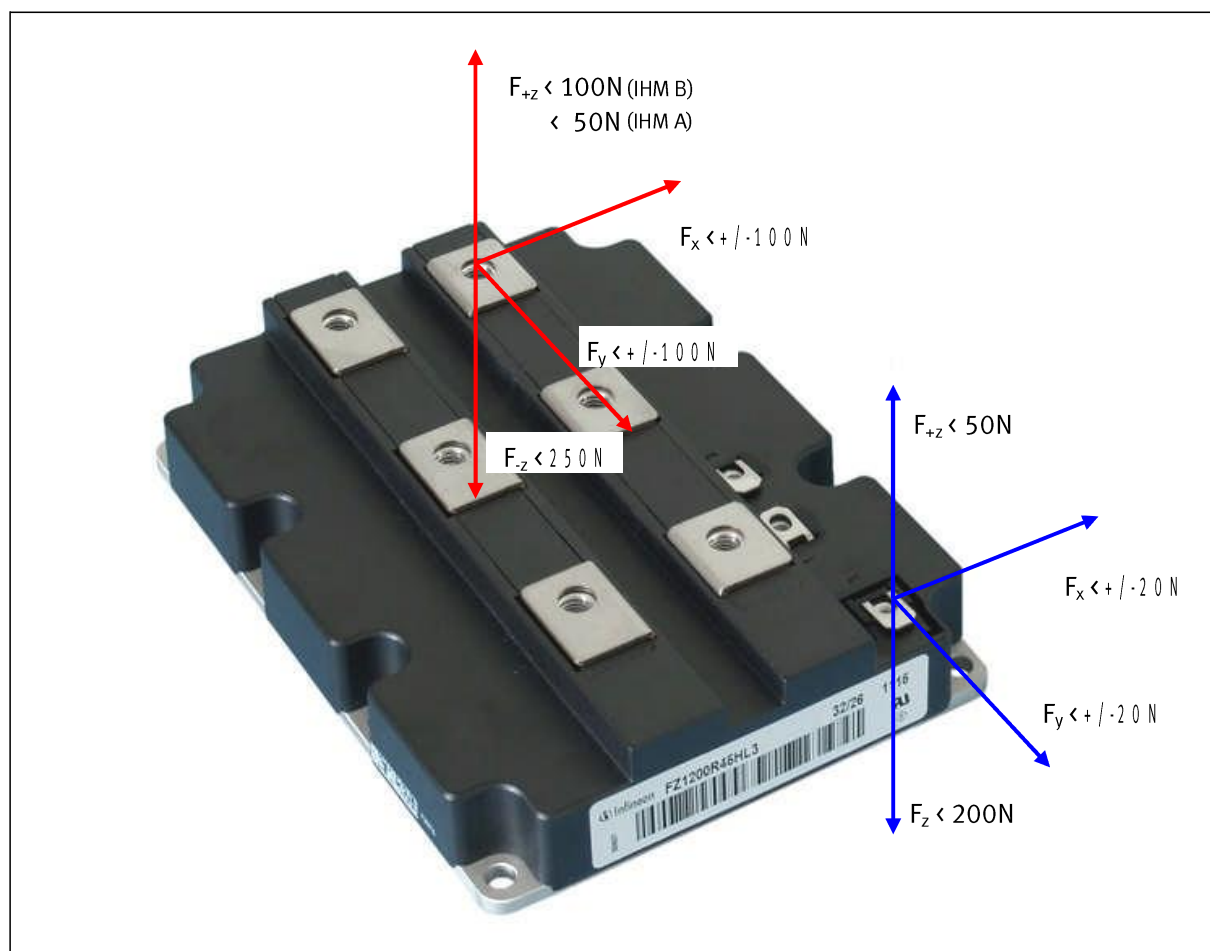


图13: 装配过程中, IHM/IHV模块端子上允许的最大受力值。

建议选用一种合适的装配方式, 使得功率端子和辅助端子长期不受机械应力的影响。由于这样要求的装配方式在整个温度范围内一定是有问题的, 因此合适的装配方式应该是, 所有模块封装的功率端子和辅助端子通过合适的垫片实现负荷偏置。

必须要保证的是, 偏移力的方向要总是朝着底板的方向。支架的适用性必须在结构中进行单独的评估。

应当避免其它方向的静态力及振动和/或热膨胀。

辅助端子需要进行相应的连接, 请参考通用ESD指南。不允许有负载电流流过辅助集电极。

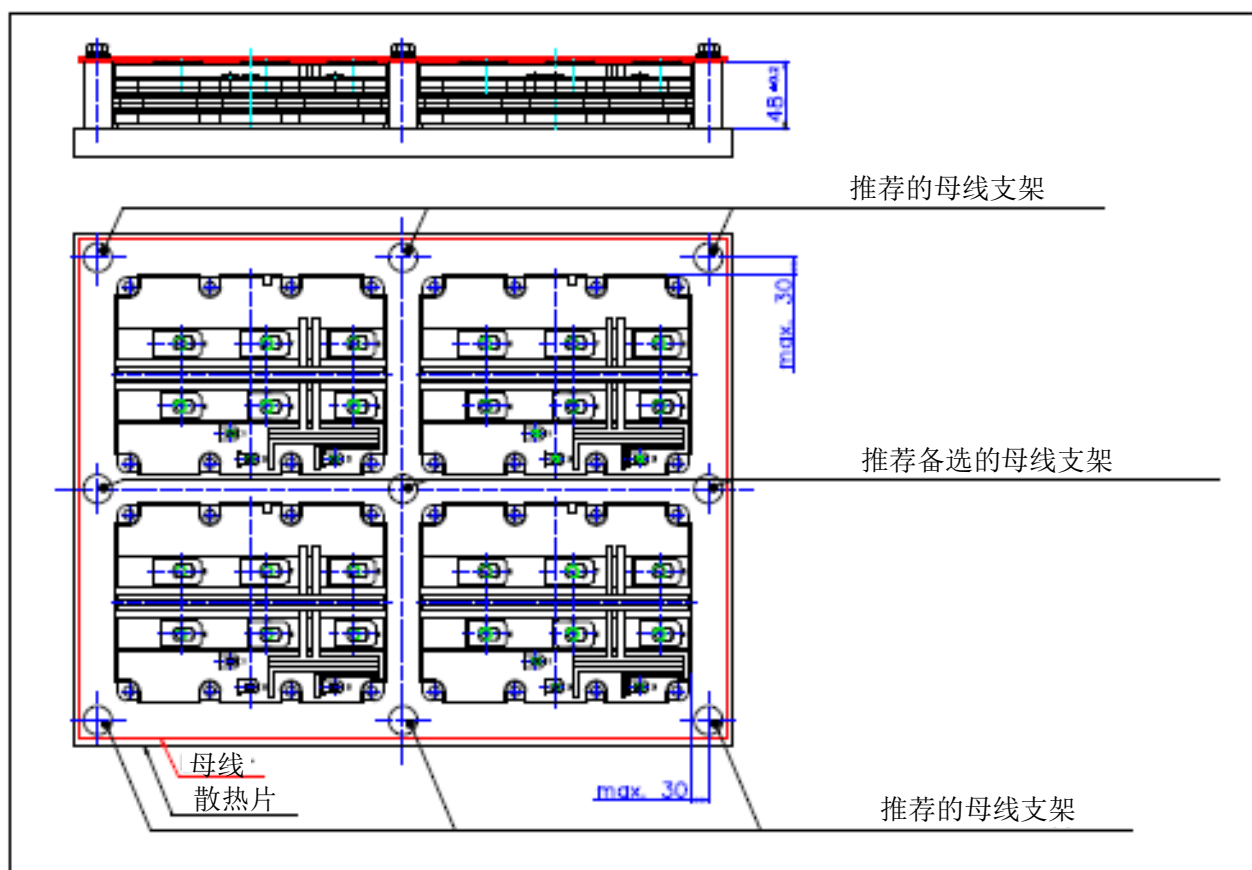


图14: 母线支架示例

直流母线必须设计正确, 使得功率端子的最大温度不超过 $T_{\text{Terminal}} = 125^{\circ}\text{C}$ 。

为了正确设计功率母线, 不仅要考虑额定电流的大小, 而且还要考虑模块端子连接处的功率损耗。

8.5 一种低杂散电感的对称性相桥臂设计示例

除了连接端子的最大温度，还必须确保功率端子处，即IGBT芯片的电压不超过模块数据手册中相应RBSOA曲线确定的最大集射极电压（VCE）。

建议使用叠片的直流母线连接直流侧，以便通过尽可能减小杂散电感来减小系统开关时的过电压。

为了实现低杂散电感的结构并实现直流母线线路上电流的对称分配，建议采用所有模块平衡连接的设计[7]。图15的设计给出了所建议采用的相桥臂对称布置，在这种布置中模块的3个相桥臂电流环路相对于直流电容、其它桥臂和输出相都是对称的。

在比较差的设计中，相桥臂不是对称布置的，在该设计中模块是沿着母线的长度方向布置。在这样布置中，开关过程中的 di/dt 将导致沿着发射极和集电极回路，也即辅助发射极的电压降不同。这样的结果将导致三个相桥臂的栅极-发射极电压不相同，从而引起不同的开通速度、电流尖峰及模块内部的电流分配不均。

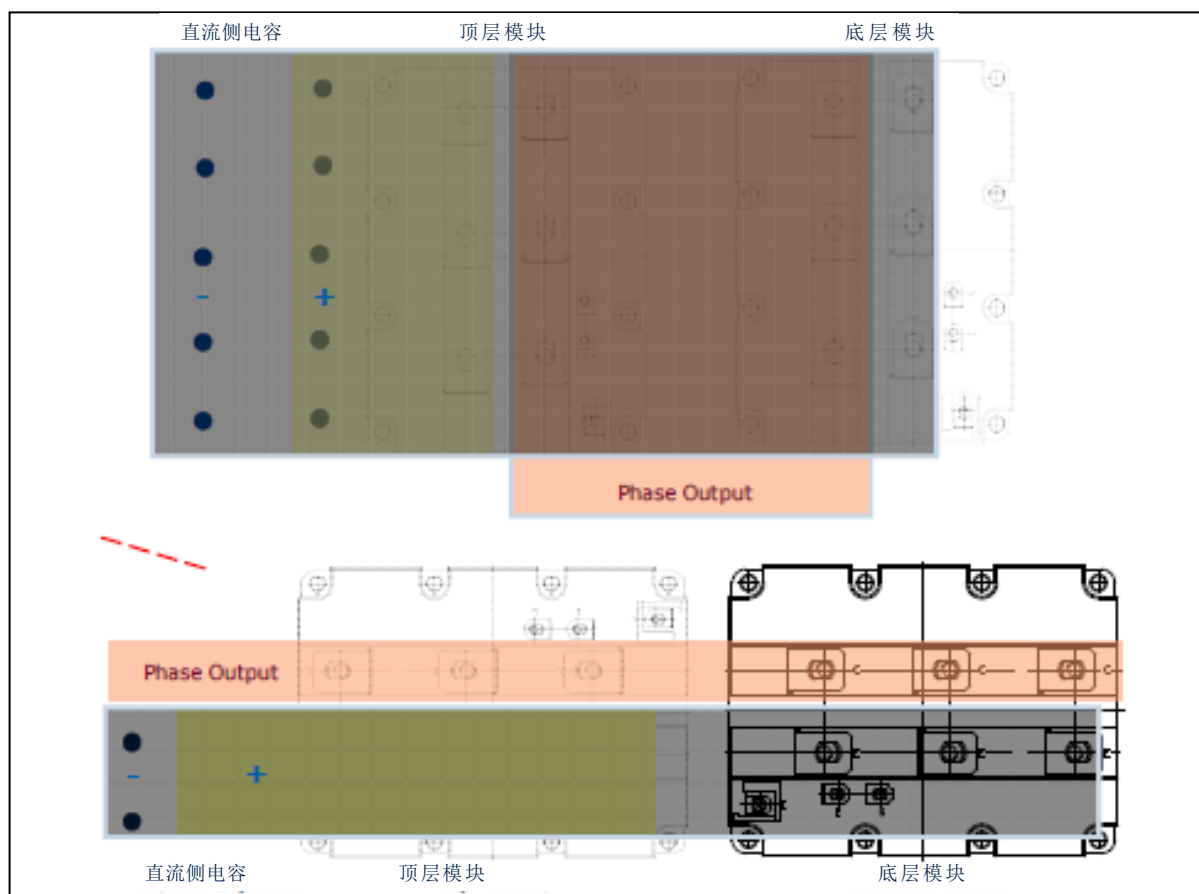


图15: 两个IHM/IHV模块相桥臂位置布置举例

上图：对称性的相桥臂位置布置

下图：不对称的相桥臂位置布置；模块沿着母线的长度方向布置

9. 参考资料

- [1] TR14 Storage of Products supplied by Infineon Technologies
- [2] AN2011-05 Industrial IGBT Modules - Explanation of Technical Information
- [3] AN2010-02 Use of Power Cycling Curves for IGBT4
- [4] AN2008-01 Definition and use of junction temperature values
- [5] AN2006-02 Application of silk screen print templates
- [6] Infineon Technologies IGBT Modules -Technologies, Driver and Applications; A. Volke, M. Hornkamp, ISBN 978-3-00-032076-7
- [7] Power Circuit design for clean switching; R. Bayerer, D. Domes, CIPS 2010