

Important notice

Dear Customer,

On 7 February 2017 the former NXP Standard Product business became a new company with the tradename **Nexperia**. Nexperia is an industry leading supplier of Discrete, Logic and PowerMOS semiconductors with its focus on the automotive, industrial, computing, consumer and wearable application markets

In data sheets and application notes which still contain NXP or Philips Semiconductors references, use the references to Nexperia, as shown below.

Instead of <http://www.nxp.com>, <http://www.philips.com/> or <http://www.semiconductors.philips.com/>, use <http://www.nexperia.com>

Instead of sales.addresses@www.nxp.com or sales.addresses@www.semiconductors.philips.com, use salesaddresses@nexperia.com (email)

Replace the copyright notice at the bottom of each page or elsewhere in the document, depending on the version, as shown below:

- © NXP N.V. (year). All rights reserved or © Koninklijke Philips Electronics N.V. (year). All rights reserved

Should be replaced with:

- © **Nexperia B.V. (year). All rights reserved.**

If you have any questions related to the data sheet, please contact our nearest sales office via e-mail or telephone (details via salesaddresses@nexperia.com). Thank you for your cooperation and understanding,

Kind regards,

Team Nexperia

AN11113

LFLPAK MOSFET 热设计指南 - 第二部分

修订版: 2 — 2011 年 11 月 16 日

应用笔记

文档信息

项目	内容
关键字	LFLPAK、MOSFET、热分析、设计与性能、散热考虑、热阻、散热孔、SMD、表面贴装, PCB 设计、密封壳体、底部冷却、顶部冷却。
摘要	设计功率 MOSFET 时,需着重考虑散热有关事项。本设计指南 (AN10874) 的第 1 部分介绍了在环境温度为 20 °C 的大气中,各种 PCB 和设备配置对散热性能的影响。第 2 部分讨论了密封壳体的结构和配置是如何影响功率 MOSFET 设备的运行温度的。



修订记录

版本	日期	描述
v.2	20111116	提高图形质量，更改文本修饰。
v.1	20110906	初始版本。

联系信息

有关详细信息，请访问：<http://www.nxp.com>

欲咨询销售办事处地址，请发送电子邮件至：salesaddresses@nxp.com

1. 引言

随附文件 AN10874 考虑了各种不同的 PCB 和设备配置对散热性能的影响。通过分析和比较多种方案，在为 LFPK MOSFET 提供最佳散热冷却途径方面，可以得出许多结论。

AN10874 中论述的所有 PCB 配置都有一个共同点 — 它们都安装在环境温度 20 °C 的大气中，方案中不包括密封壳体或外壳。但是，在实际应用中，我们不可能将 PCB 暴露在外面，不加密封壳体。为了使 PCB 不受环境因素的影响，再加上对电磁兼容 (EMC) 问题的考虑，PCB 是一定要安装在某种形式的密封壳体中的。密封壳体难免会干扰 PCB 周围空气的自由流通，所以也会影响系统的散热性能。

在这份文档中，我们将密切关注密封壳体的结构和配置对功率 MOSFET 设备的运行温度有何影响。需分析的因素包括：

- 壳体材料和表面光洁度。
- PCB 上、下方及周围的内部间隔。
- PCB 的底部冷却（例如，PCB 与壳体内表面接触的底部表面）。
- MOSFET 设备顶部冷却（与壳体内表面接触的设备封装顶部）。
- 壳体内封装（即 PCB 周围的空气间隙处）的作用是用封装化合物部分或全部填充间隙。
- “模块”与隔板的贴近程度。

为了理顺可能的变量数量，我们只考虑取自 AN10874 的一个 PCB 配置。壳体加 PCB 在后文中被称为“模块”。

与 AN10874 一样，本文档讲述的热分析是通过热模拟软件执行的。模拟场景采用了根据经验数据进行验证的 MOSFET 模型，并能准确仿真实际器件的热性能。

Mentor Graphics 公司 (Flomerics) 的“FloTHERM”软件包为用于分析的热模拟软件。分析所使用的模型可以在 NXP 网站免费下载，还有编写该文件所使用方案的选集。

2. 模块模型

2.1 PCB 特性

为了将可能的变量数量降到最低，我们只考虑取自 AN10874 章节 5.4 的一个 PCB 配置。PCB 如图 1 所示。

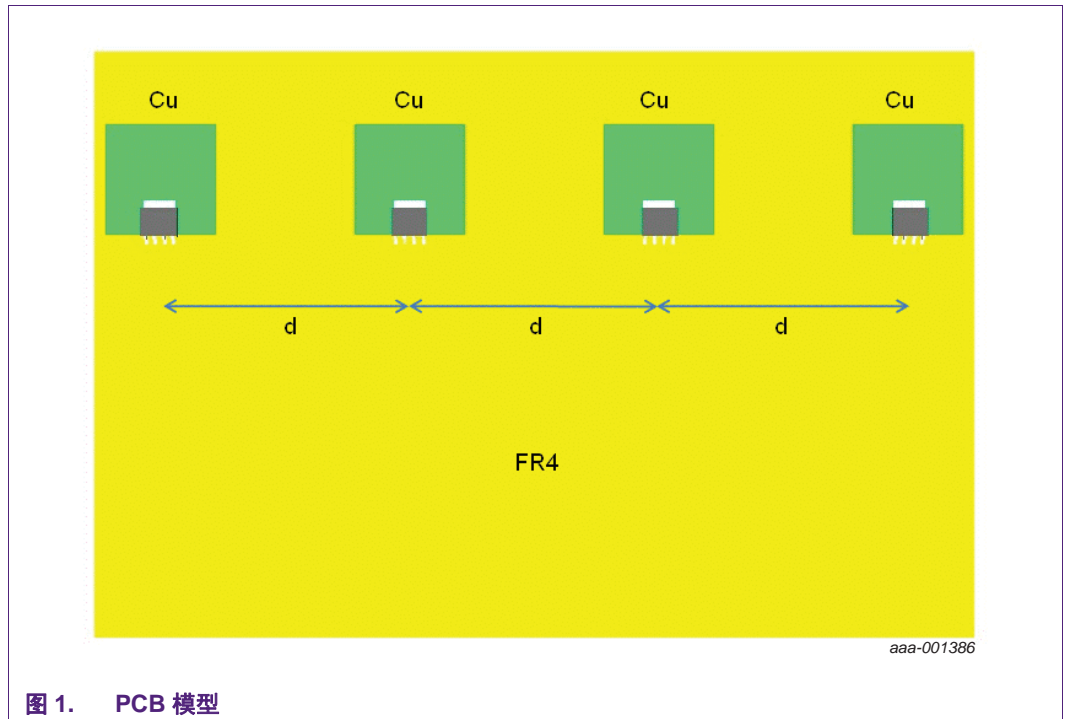


图 1. PCB 模型

PCB 主要特征为：

- 总体 PCB 尺寸为 80 mm×120 mm，厚度 1.6 mm。
- 标准 FR4 PCB 材料。
- 所有的铜层为 1 oz/35 mm 厚。
- 每个器件顶部铜面积 - 15 mm×15 mm，连接到设备插脚上（如图所示）。
- 每个器件的底部铜面积 - 也是 15 mm×15mm，通过过孔和上部铜相连。
- 内部层 - 平均 50 % 的面积覆盖。
- 散热孔 - 每个器件的下面有一组内径为 0.8 mm 的 5×4 散热孔。
- 设备间距 $d = 25$ mm。
- 功耗为每器件 0.5 W。

AN10874 指出，事实上单个 MOSFET 的放置对其运行温度的影响很小 - 仅在 ± 1 °C 周围变化。

2.2 密封壳体特性

在本文档整个论述过程中，有几个壳体特性会改变。但是，一些基本特征始终保持不变：

- 壳体是全封闭的，没有孔或开口。
- 无论使用什么壳体材料，壳体壁厚均为 2mm。
- 壳体可以通过对流、传导和辐射机制向外部环境散热。

本设计指南本来也可以考虑很多不同的壳体材料。但为了使变量数目保持在可控的水平，同时提供有用的典型材料实用分析，我们将限制在下列三个变量，如表 1 所示。

表 1. 壳体材料及其特性总结

材料	热导率 (W/m.K)	表面发射率
黑色塑料	0.2	0.95
抛光铝	201	0.04
阳极（黑）铝	201	0.8

表面发射率同时适用于壳体的内表面和外表面。

示例模块如图 2 所示。注意，壳体的顶部和一个侧面做成透明的，这样可以看见 PCB 的位置。

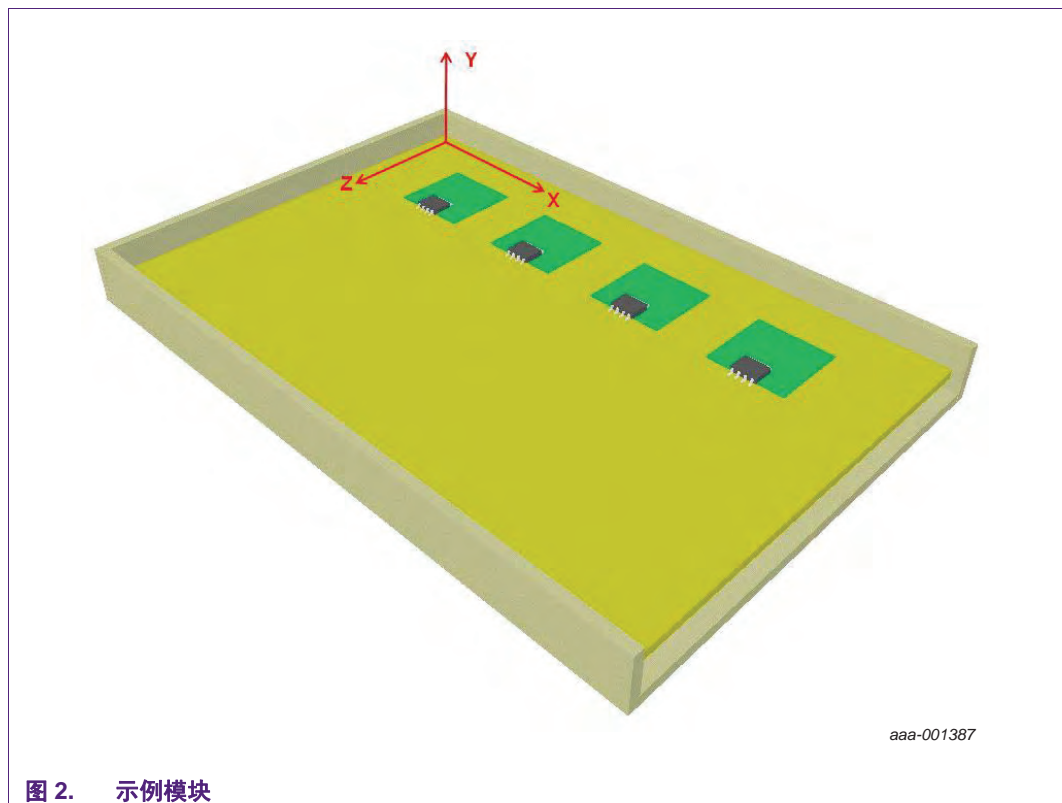


图 2. 示例模块

2.3 轴命名约定

在本文档中，我们会考虑在三个空间方向上移动或调整物体大小的影响。因此，我们需要一个约定来作为这些方向的参考，如[图 2](#)中箭头所示。

例如，当我们要在 PCB 的短边（x 轴方向）增加 PCB 和壳体之间的间隙时，这将被称为“x 间隙”。同理，PCB 上方和下方的间隙将被称为“y 间隙”，等等。

2.4 周围环境

模块的安装环境具有以下特点：

- 模块周围环境温度为 20 °C。
- 尽管模块可以通过其外表面的自然对流形成气流，但是没有强加气流。
- 模块可通过对流、传导和辐射与环境自由交换热量。

2.5 可能的热通路

PCB 的热量可以沿着很多可能的通道传播。这些通路使用传导、对流和辐射三种热传递机制，如[图 3](#)。

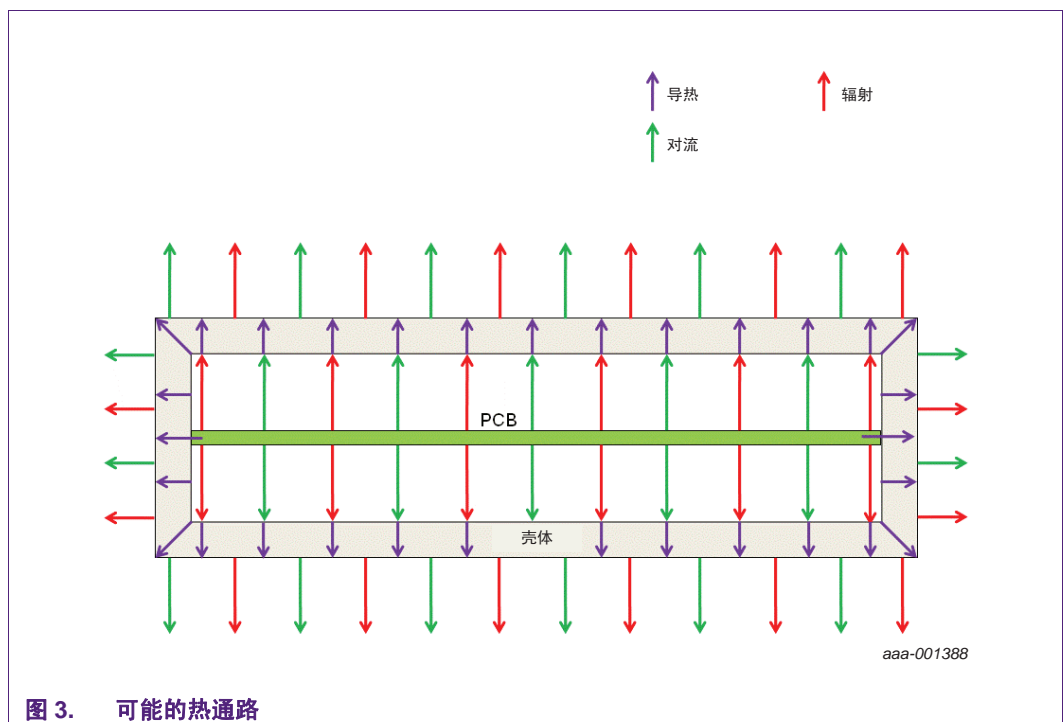


图 3. 可能的热通路

3. y 间隙对 T_j 的影响

3.1 黑色塑料壳体；x 和 z 间隙 = 零

在第一次分析中，我们将变量减少到可能的最小数目。电路板的 x 和 z 间隙将设置为零，因此实际上 PCB 的边将与壳体的内壁接触，并且我们只考虑黑色塑料壳体材料。PCB 上下的 y 间隙将改变，如图 4 所示。

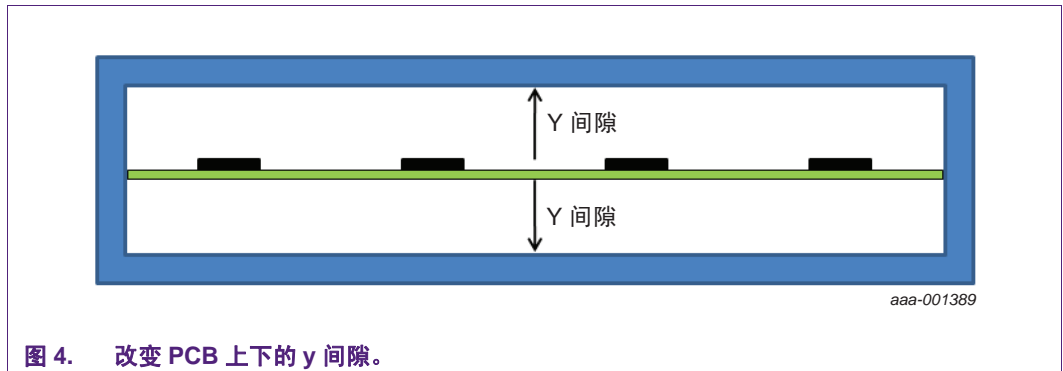


图 4. 改变 PCB 上下的 y 间隙。

我们将运行 y 间隙值为 2 mm、5 mm 和 10 mm 的模型并观察器件 T_j 的变化。结果显示在图 5 的图形中，还有不带壳体情况下所观察到的温度变化。显示的温度是四个器件的平均值。

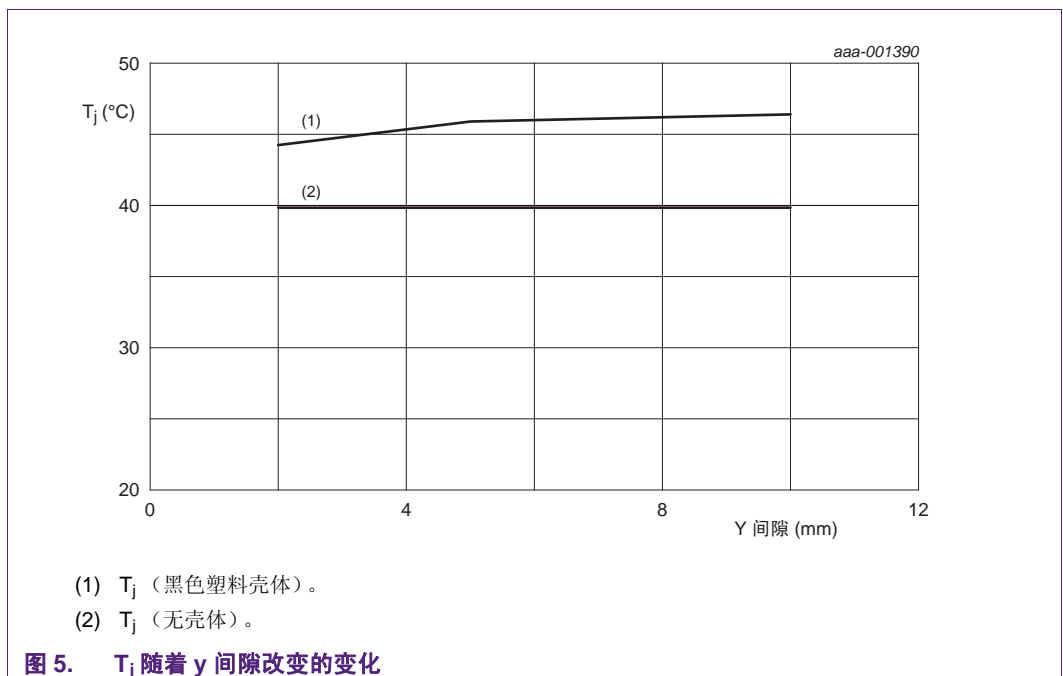


图 5. T_j 随着 y 间隙改变的变化

图 5 的图形有一些有趣的特点：

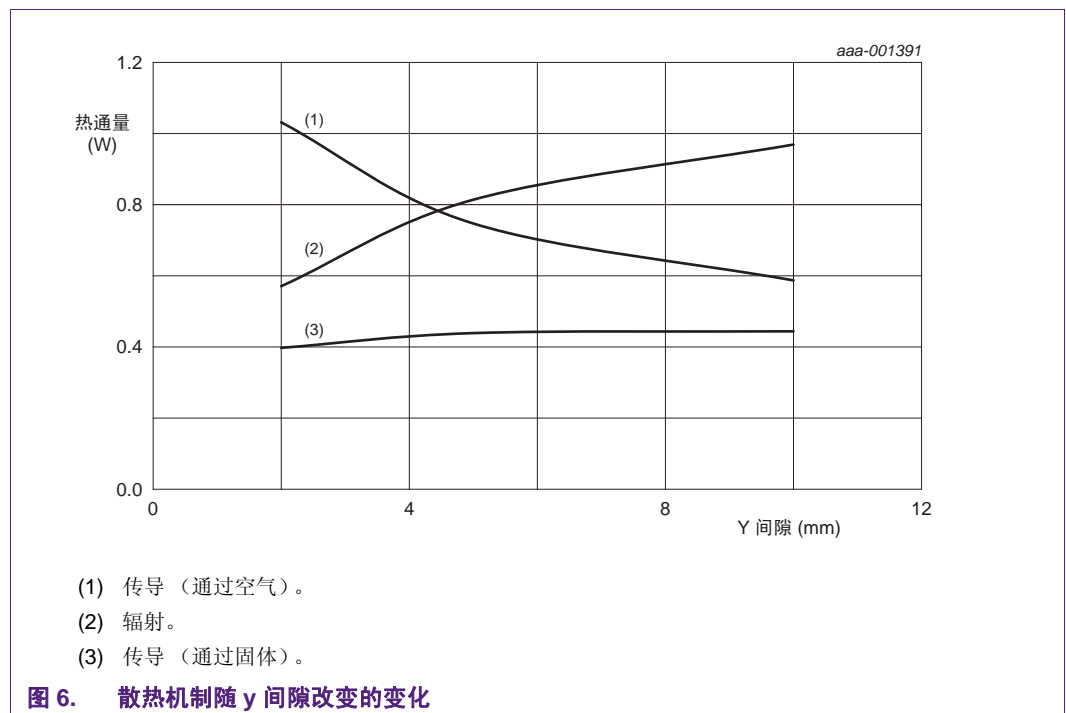
- 与无壳体比较，有壳体环绕的 PCB 会有较高的 T_j 。
- 随着 y 间隙增加， T_j 也轻微增加。

这些观察的前一项符合引言的预期情况，即壳体干扰 PCB 和设备表面通过自然对流进行的散热。因此，安装了壳体 T_j 就会上升是很合理的。

第二项观察是一种反直觉的结果！当我们增加 PCB 周围的空气间隙时，PCB 的冷却就会更加有效吗？为了回答这个问题，我们需要考虑模块内各种可能的热通路（图 3）。

虽然空气不能出去，但改变 y 间隙应该能增加 PCB 表面可以流通的空气量，从而提供更好的冷却。但是，我们看到的却不是这样的效果。原因是只有有足够的空间，空气才会以自然对流的方式流通。空气在接触固体表面时会承受“拉”力，如果这些力有足够强势（因为体积小），那么自然对流不会发生。空气是静止的，被称为“停滞的”¹。模拟表明这正是这种情况下的结果，即使 y 间隙为 10 mm，报告显示壳体内部风速实际上为零。最终结果是，壳体内不会发生自然对流散热机制，相反，我们只有空气传导散热，而空气的传导率很低（20 °C 的空气一般为 0.003 W/m.K）。

利用 FloTHERM 我们可检查方案中热传递机制的幅值，而将此分析应用于方案将产生图 6 中的图形。



1. 这也是为什么，比如说，双层玻璃的空气间隙是一个有效的绝热体的原因。有关这种现象的详细解释信息，鼓励读者研究“努塞尔特数”和“瑞利数”这两个术语。

输入从图 6 我们可以看出，实际上空气传导随着 y 间隙的增加而降低，而 PCB 的边到壳体壁的传导保持恒定。同时，随着 y 间隙的增加，PCB 的辐射散热有所增加，这是为什么呢？

辐射热交换发生在 PCB 和壳体的内壁之间。所有的表面都辐射热量，但是由于 PCB 的温度比壳体壁温度高，综合效果是热量由 PCB 传向壳体。交换热量的多少取决于几个因素，包括：

- 表面的温度。
- 表面的发射率（与表面的颜色、光洁度等有关）。
- 表面之间的“视角系数”。

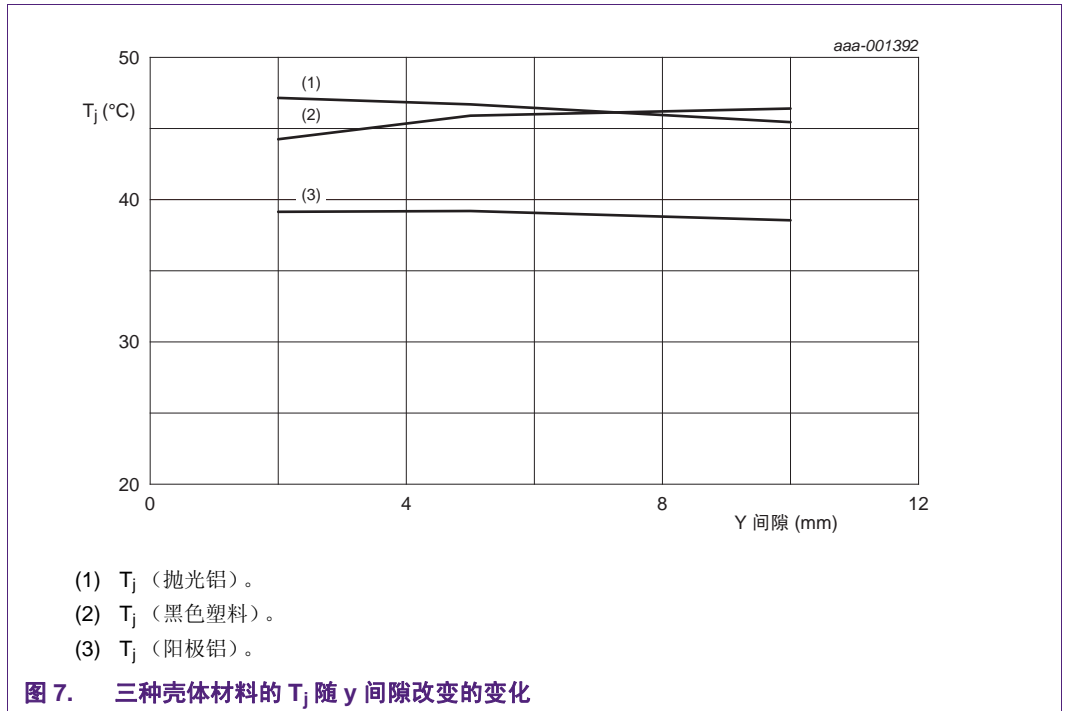
“视角系数”衡量接收表面能被发射表面“看到”多少。在此模拟中，当我们增加 y 间隙时，也增加了壳体内部的表面面积，因此有更多有效的区域通过辐射来接收来自 PCB 的热量。因此，在图 6 中，随着 y 间隙的增加，通过辐射散出的热量也增加。注意，无论 y 间隙的值为多少，三种机制的散热总量之和必须始终与壳体消散的总量相同，在此案例中 $4 \times 0.5 \text{ W} = 2 \text{ W}$ 。

3.2 另两种壳体材料

到现在为止我们只考虑了壳体内部的热流动。当然，如图 3 所示，还有顺着壳体壁和来自壳体外表面的其它热通路，它们也会影响整个模块的散热性能。热流的性质将在很大程度上取决于壳体材料的热性能：

- 通过壳体壁的传导受壳体材料传导率的影响。
- 从壳体外表面辐射出的热量受模块表面发射率的影响。

除此之外，模块尺寸（随着我们改变 y 间隙而改变）将决定壳体内热流的性质，这一点我们已经确定。另外，通过壳体壁和模块外表面散失的热量都是通过对流和辐射进行的。显然这些因素是相互关联的，不要对它们进行简单的人工分析。因此我们使用两种新的壳体材料重新模拟，结果如图 7 所示。



我们可以用一种简单的方法总结三种材料的特性，如图 2 所示。

表 2. 材料特性的简单总结

材料	辐射传热	传导传热
黑色塑料	良好	差
抛光铝	差	良好
阳极铝	良好	良好

黑色塑料和抛光铝材料都是在一方面良好另一方面较差。因此，尽管特性变化没有正好抵消，这两种材料的温度往往要高一些。但是，阳极铝材料“两方面都很好”，既是好的导体也善于辐射交换，所以该材料的温度结果较低。

3.3 小结: y 间隙对 T_j 的影响

以下列表是本部分的观察总结:

1. 与没有壳体相比, 壳体的存在能使器件温度上升 —— 这从黑色塑料和抛光铝材料可以看出。
2. 但是, 发现阳极铝制造的壳体轻微降低了器件温度。
3. 壳体内部的空气是“停滞的”, 所以不会发生自然对流。
4. 因此壳体内部的热量散失机制是:
 - a. 通过停滞的空气传导。
 - b. 从 PCB 边直接传导到壳体。
 - c. 辐射。
5. 辐射热交换取决于辐射表面之间的“视角系数”, 它随着壳体内部尺寸的增加也趋于增加。
6. 壳体材料影响整个模块的散热性能。尤其是材料的热导率和表面发射率。
7. 在考虑的三种材料中, 阳极铝的热导率和表面的发射率是最佳组合。

4. 在 PCB 周围加上 x 和 z 间隙

到目前为止，我们所考虑的情况都有 PCB 和壳体壁之间的物理接触。虽然接触面积很小，[图 6](#) 中的图形显示通过此路径传递的热量是十分显著的，在黑色塑料壳体的情况中几乎占整个数量的 20 %。

但是，在一些实际配置中，PCB 边和壳体壁之间很可能有空气间隙 - 可能为了提供电绝缘或因为其它机械原因。引入这样的空气间隙会改变模块内的热通路，不可避免地对安装在 PCB 内的 MOSFET 器件的温度产生影响。

为了研究 PCB 周围空气间隙的影响，我们重新运行了之前的模型，但这一次 x 和 z 间隙分别是 5 mm 和 10 mm。见[图 8](#)。

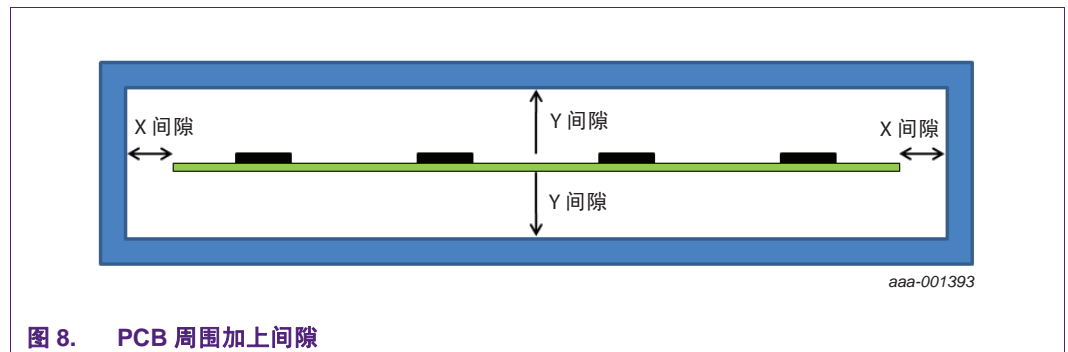
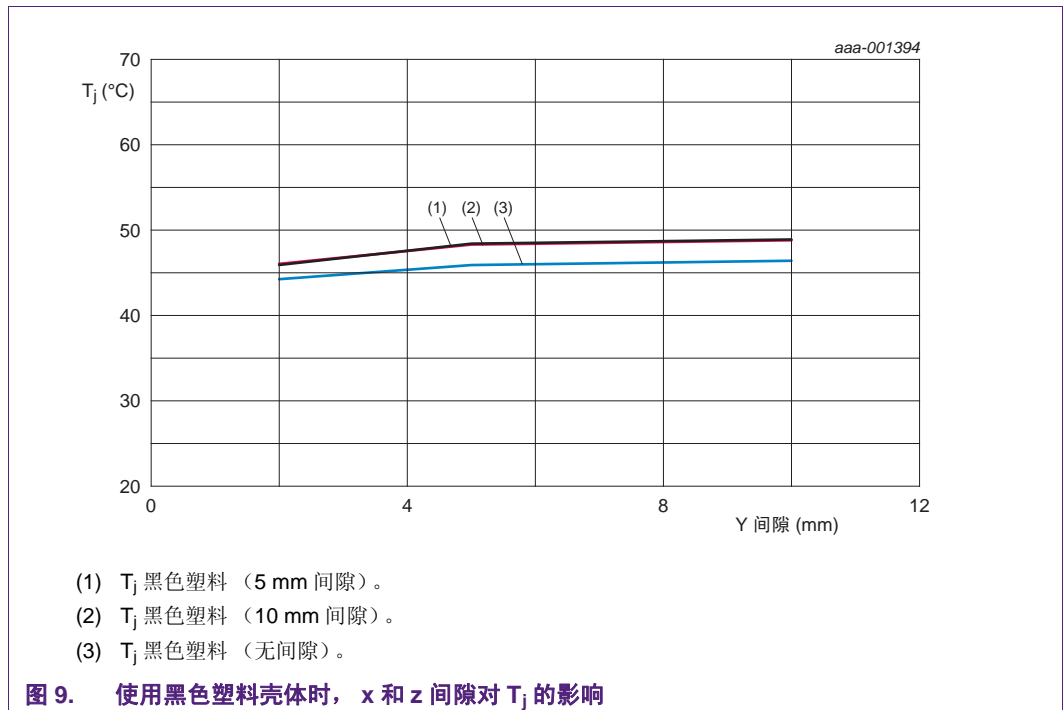


图 8. PCB 周围加上间隙

4.1 黑色塑料壳体

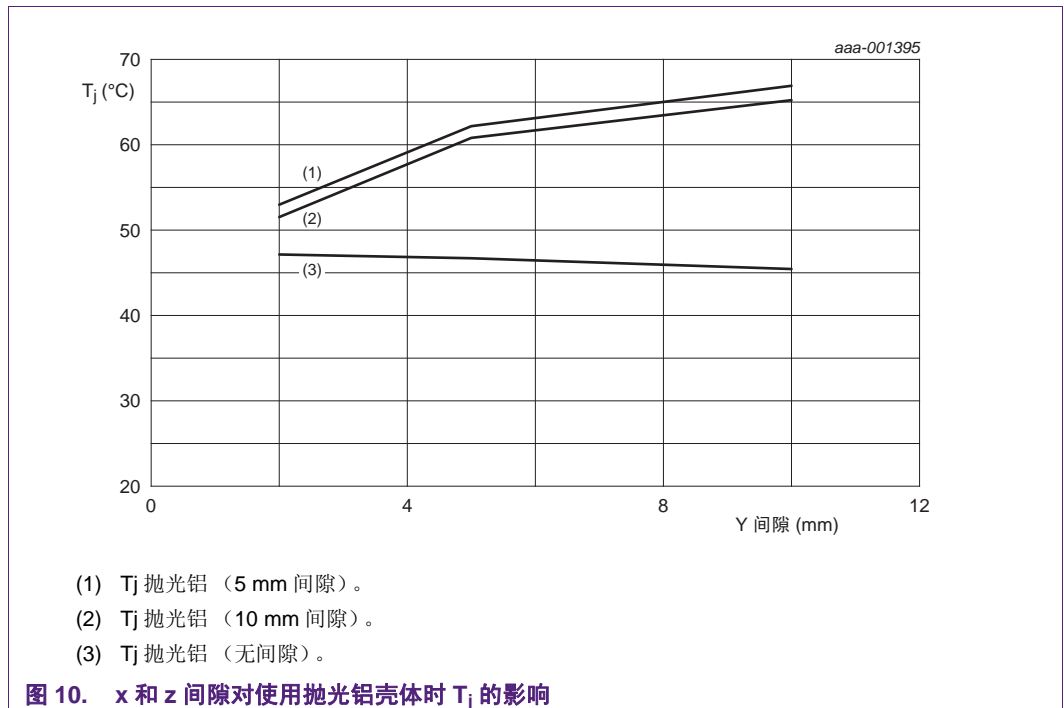
黑色塑料壳体的结果显示在[图 9](#)中。



尽管有间隙时, 我们可以看出一些不同, 但效果并不明显, 约 2.5 °C。这是因为塑料材料不是热能的良好导体, 因此壳体传导不是主导的热通路 (见[图 6](#))。另外, 视角系数增大会导致辐射传递的热量增加。因此, 取消传导热通路不会导致温度剧烈变化。

4.2 抛光铝壳体

对于铝壳体应该会有更显著的效果, 因为与塑料相比, 铝是更好的导体, 因此取消传导通路对 T_j 的影响会更大。抛光铝壳体的结果显示在[图 10](#)中。

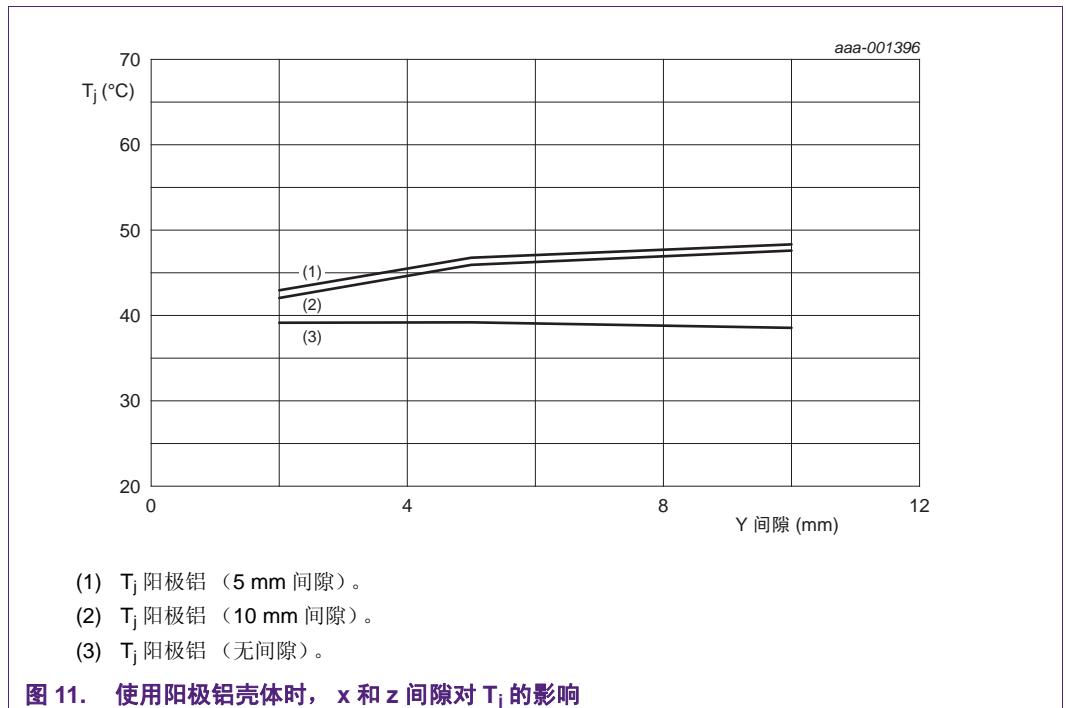


在这个案例中，在 PCB 周围加上 x 和 z 间隙的效果更显著，尤其是 y 间隙增加时。当 y 间隙为 10 mm 时会导致 ~20 °C 的差别。通过取消 PCB 边的传导通路，我们增加了 PCB 和壳体之间的热绝缘：

- PCB 和壳体之间的直接传导消除。
- 通过空气的热流依然很小，因为空气仍然是停滞的。
- 由于铝的表面发射率很低，辐射热交换也很少。

4.3 阳极铝壳体

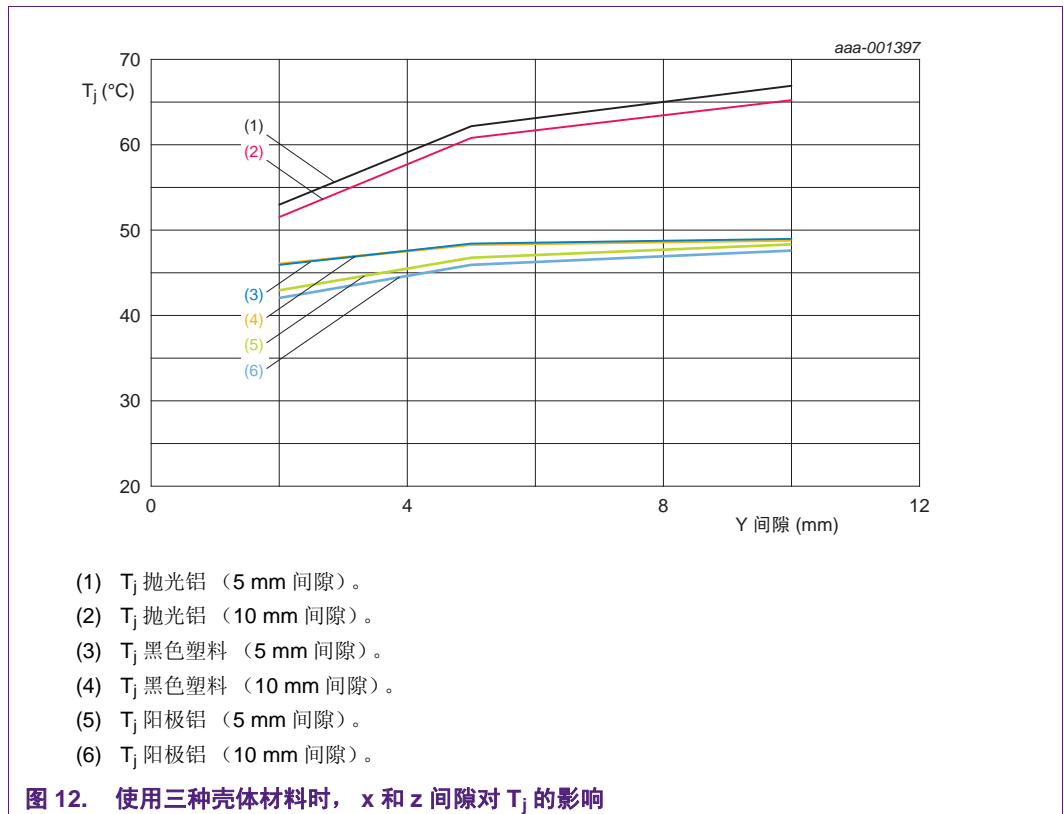
对于阳极铝壳体来说，增加 x 和 z 间隙的效果较不明显。参见图 11。



尽管在此案例中, 失去了模块内的直接传热通路, 但由于外壳材料的表面光洁度, 辐射热通路仍然很有效。因此 T_j 的变化不像抛光铝材料那么大。

4.4 三种壳体并排排列

所有三种壳体类型的结果都显示在图 12 的单个图形中。利用该图形可以比较三种材料类型在 PCB 和壳体之间没有直接传导时的影响。



应该记住，壳体表面的光洁度也影响其外表面通过辐射向环境散热的方式。所以，抛光铝材料不但内表面和 PCB 之间的辐射热传递性能差，其外表面和当地环境的辐射热传递也很差。

4.5 小结：在 PCB 周围加上 x 和 z 间隙

- 在 PCB 和壳体之间加上间隙会消除它们之间的直接传导热通路。
- 对于黑色塑料壳体，空气间隙对 T_j 的影响不明显，因为塑料是一种很差的热导体，而表面之间的辐射交换良好。
- 对于 y 间隙较大的抛光铝壳体，效果比较明显，因为铝是良好的热导体而辐射交换很差。
- 阳极铝材料的温度变化介于上面两种材料之间。这是因为，尽管铝具有较好的热导率，但阳极铝的表面特性也可提供良好的辐射热交换。
- 排列起来看，阳极铝和黑色塑料材料所观察到的温度十分相似，而抛光铝的结果比较高 - 尤其是 y 间隙较大的时候。
- 壳体热传导率和发射率也影响顺着壳体和来自壳体外部表面到环境的热通路。

5. 封装 PCB

目前为止我们只考虑了 PCB 在壳体内被空气环绕的情况。但是，有时壳体内部可能部分或全部被封装（或“密封”）化合物所填充。这通常是为了保护 PCB 免受污物和水分的影响，同时也从整体上提高模块的机械可靠性。

显而易见，假如我们将壳体的一部分或全部用固体材料填充，模块的散热特性将改变。即使不通过详细的分析，以下几个方面似乎也会受到影响：

- 假设密封材料是不传热的，则辐射通路的一部分或全部将被消除。
- 壳体内空气传导通路的一部分或全部将有所提高，前提是密封材料的热导率比停滞的空气热导率高。

在接下来的分析中，我们将研究一种热导率为 0.55 W/m.K 的典型密封材料的影响。为了进行比较，静止空气的热导率为 0.003 W/m.K 左右，所以尽管密封材料的绝对热导率不是很高，但比它将取代的空气高很多。我们将考虑两种封装办法 - 一种是封装材料刚达到 PCB 的上表面，另一种是壳体的整个空间都被封装材料填充。参见图 13。

我们只研究 x 和 z 间隙为 5 mm 的配置，换句话说，就是 PCB 边和壳体壁被 5 mm 的间隙分开。这样做的理由如下：

- 需要将变量数量保持在可控水平。
- 实际设计中有可能在使用铝壳体时，需要在 PCB 和壳体之间提供电绝缘间隙。
- 还可能在 x 和 z 方向上，PCB 将是模块中最大的单一物体，因此壳体在这些方向上很可能不会比 PCB 大很多。

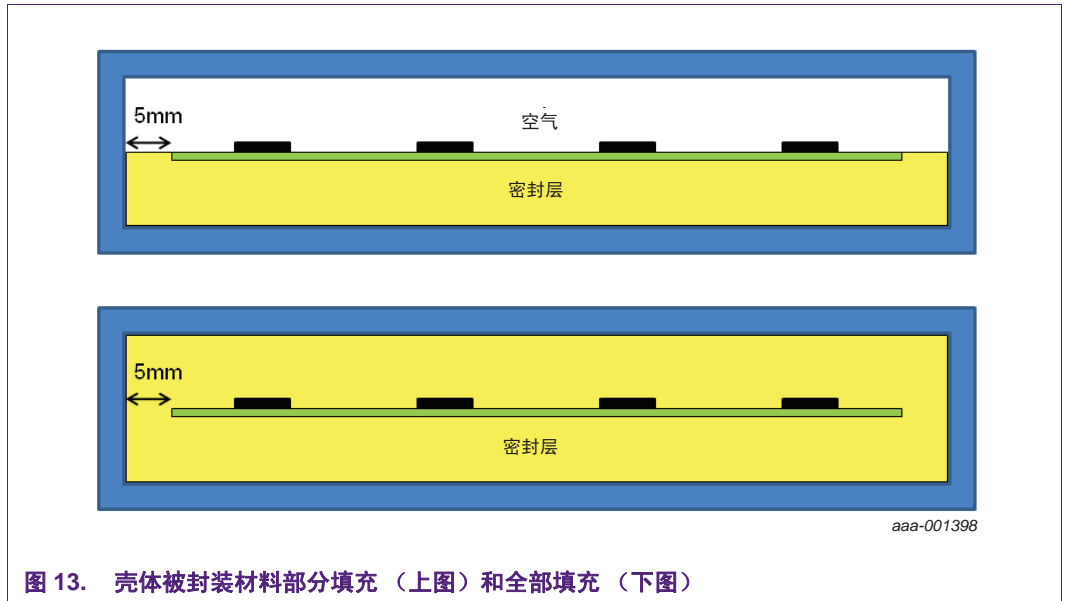


图 13. 壳体被封装材料部分填充 (上图) 和全部填充 (下图)

5.1 部分封装

三种壳体类型的结果显示在图 14、图 15 和图 16 中。为了对比，没有封装的结果也显示在每个图形中。

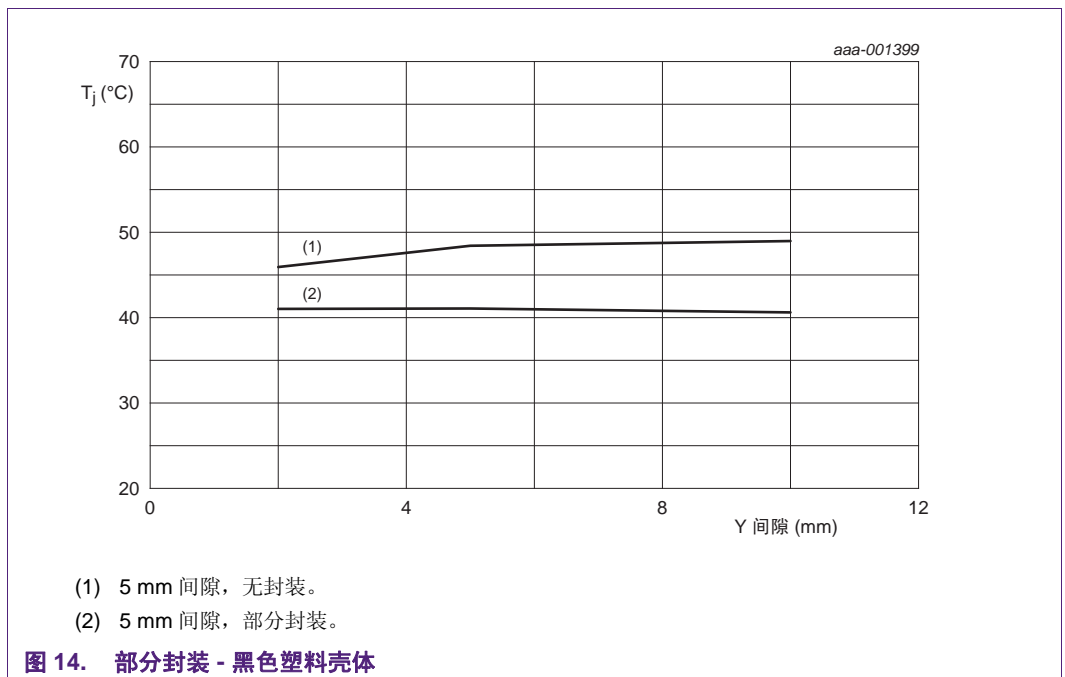
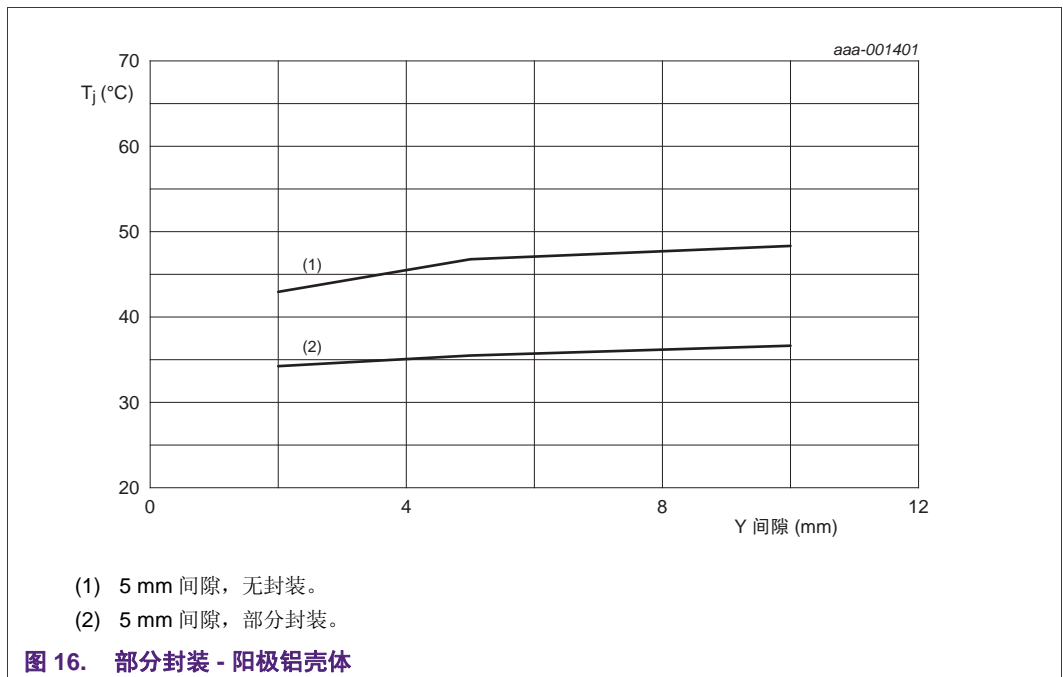
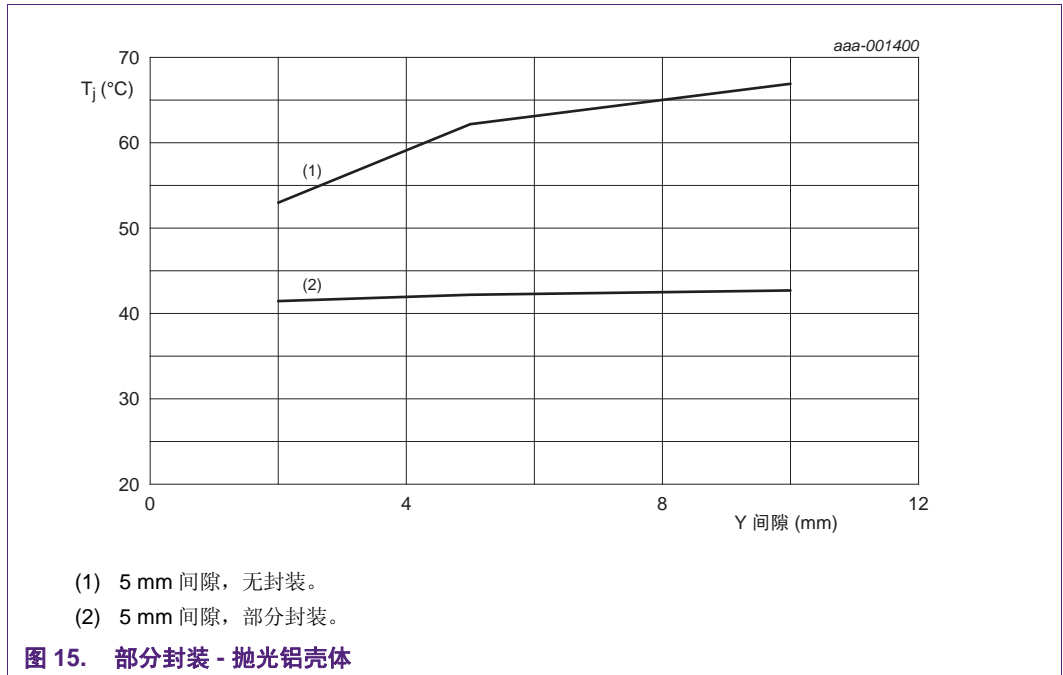
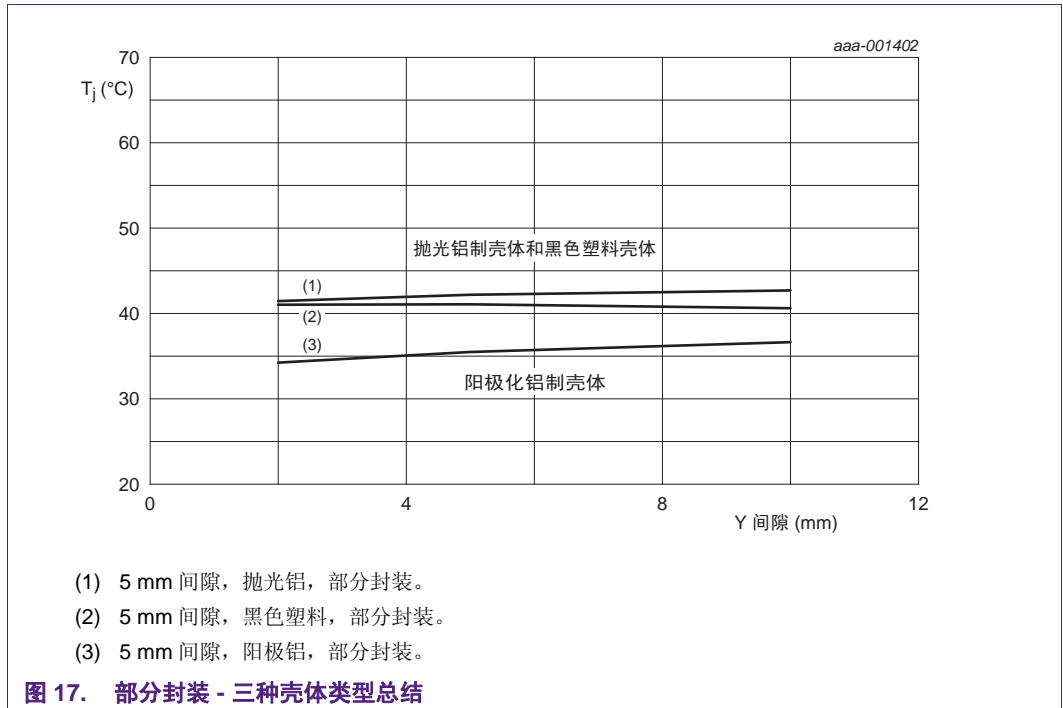


图 14. 部分封装 - 黑色塑料壳体



在所有三种情况下, 封装都导致温度有较大降低。这有力表明, 密封材料形成的新传导通路比它取代的传导通路的散热性能好。这对于抛光铝材料尤其明显, (相对) 差的辐射热通路被更有效的传导通路取代。

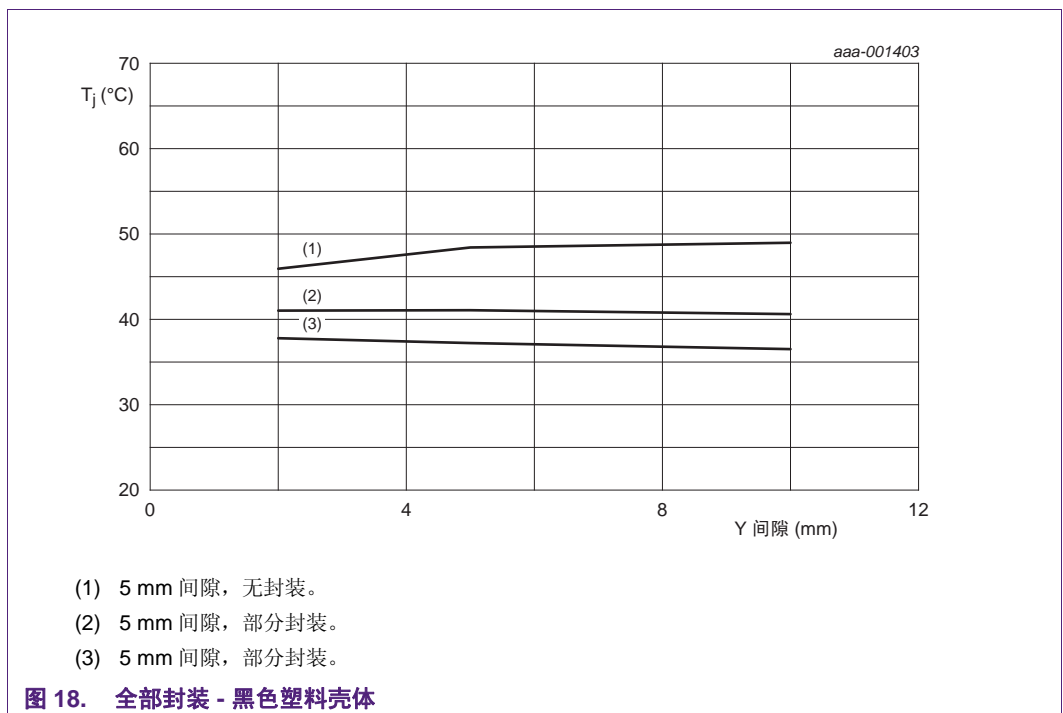
为了对比, 又将结果整理到单张图形图 17。

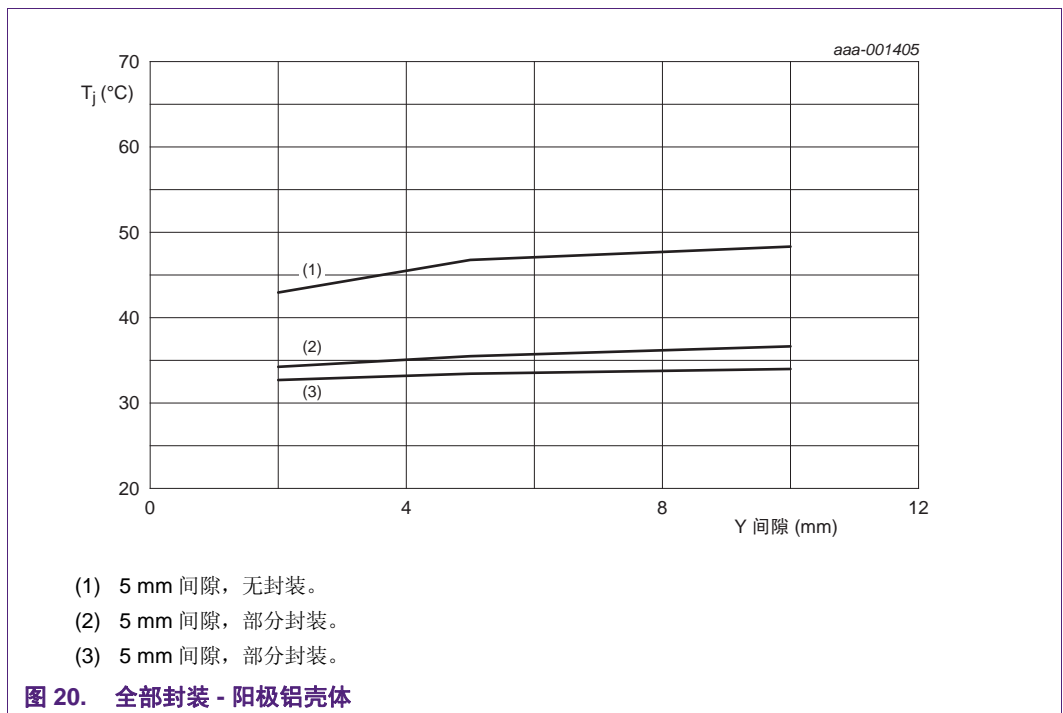
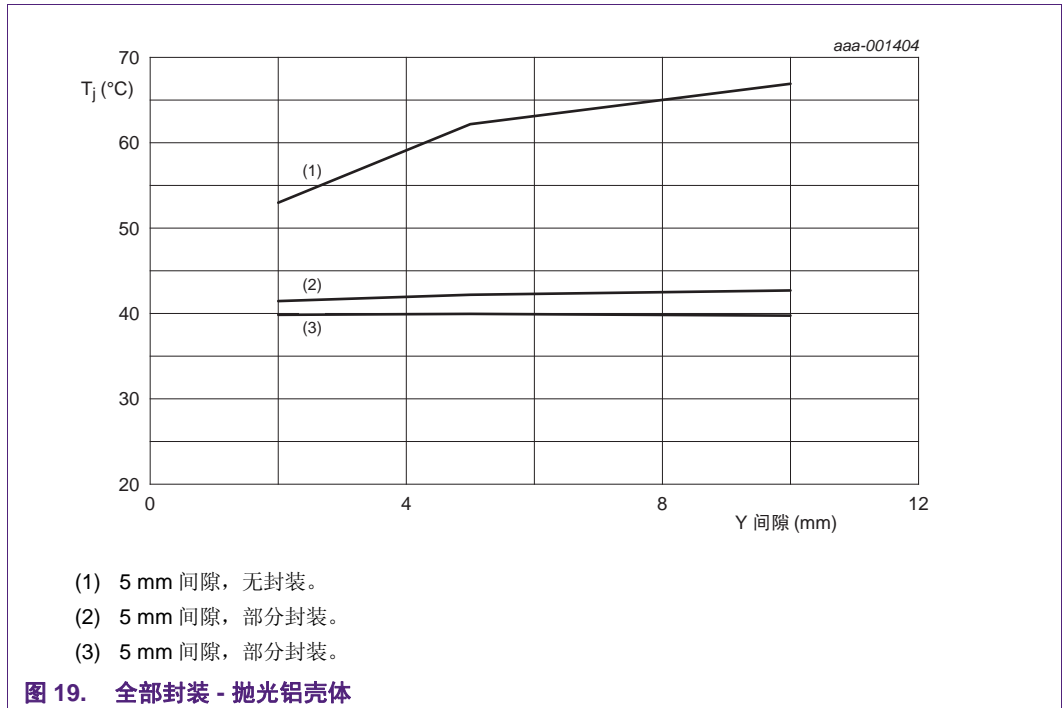


有趣的是, 结果受 y 间隙的变化影响较小。

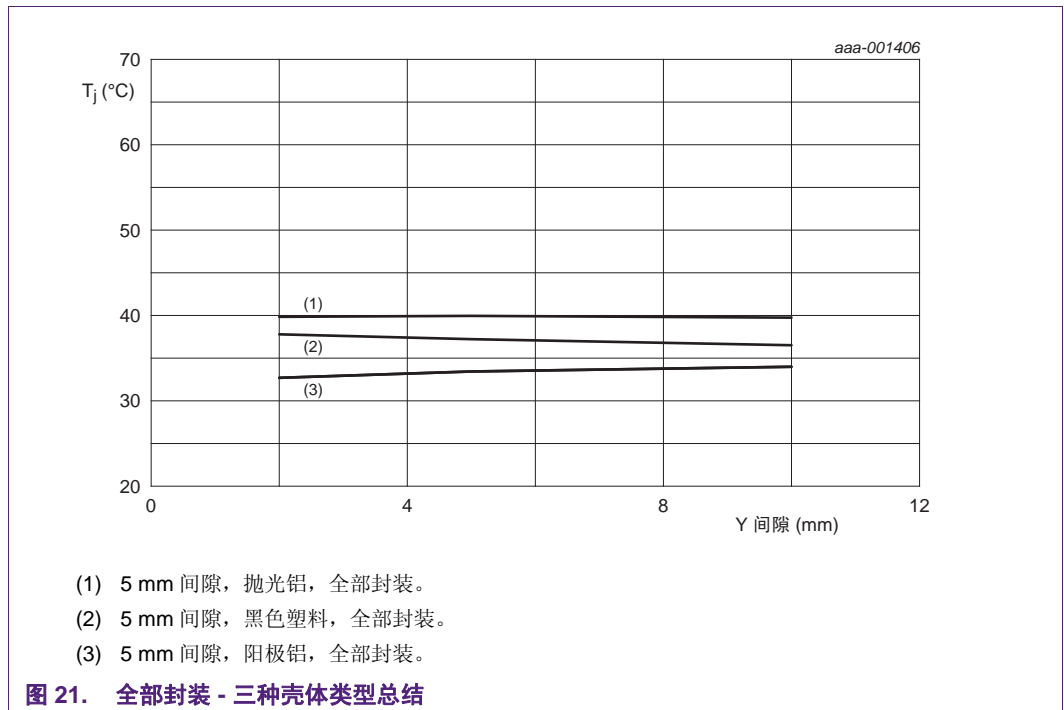
5.2 全部封装

三种壳体类型的结果显示在图 18、图 19 和图 20 中。为了对比, 半封装和没有封装的结果也显示在每个图形中。





结果与部分封装的结果十分相似，温度整体上全部降低，有的相当明显，受 y 间隙的影响都不大。为了对比，又将结果整理到单张图形图 21。



我们通过将壳体内部空间全部封装（无论壳体材料是什么），得到了相同的热通路。但是，对于相同尺寸不同材料的壳体的散热特性，我们仍能发现它们的不同。这是因为壳体内部的散热通路只是热量从其源头散失到环境中的所有通路的一部分。热量仍然避免不了沿着壳体壁传导，然后在壳体外部通过传递和辐射向环境散热。所有这些热通路都极大地取决于材料特性，当壳体被完全封装时，我们仍能发现相同尺寸的壳体的散热特性有所不同。

5.3 小结：封装 PCB

1. 无论部分还是全部封装，都消除了部分或全部的模块内辐射热通路并用传导材料代替了静止空气。
2. 部分和全部封装都会导致器件温度普遍降低。
3. 结果受 y 间隙的影响较小。

6. 通过壳体直接冷却

目前为止，我们只考虑了 PCB 和壳体接触面积很小（只在 PCB 的边）或没有接触的情况。在这一部分，我们将考虑 PCB 和壳体接触更直接的两种情况。

6.1 PCB 底部冷却

PCB 的底部冷却 (BSC) 是一种通过将 PCB 的底面靠近壳体的内表面并使用薄绝缘层隔离的布置。参见图 22。

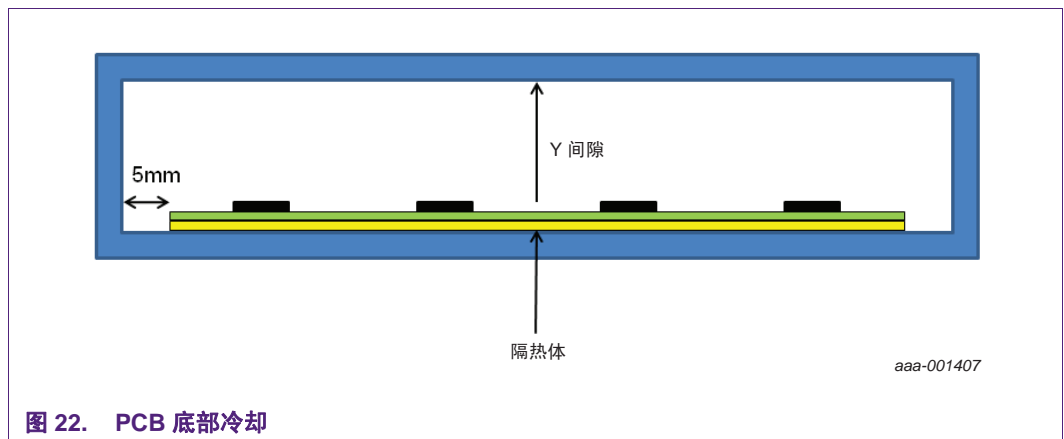
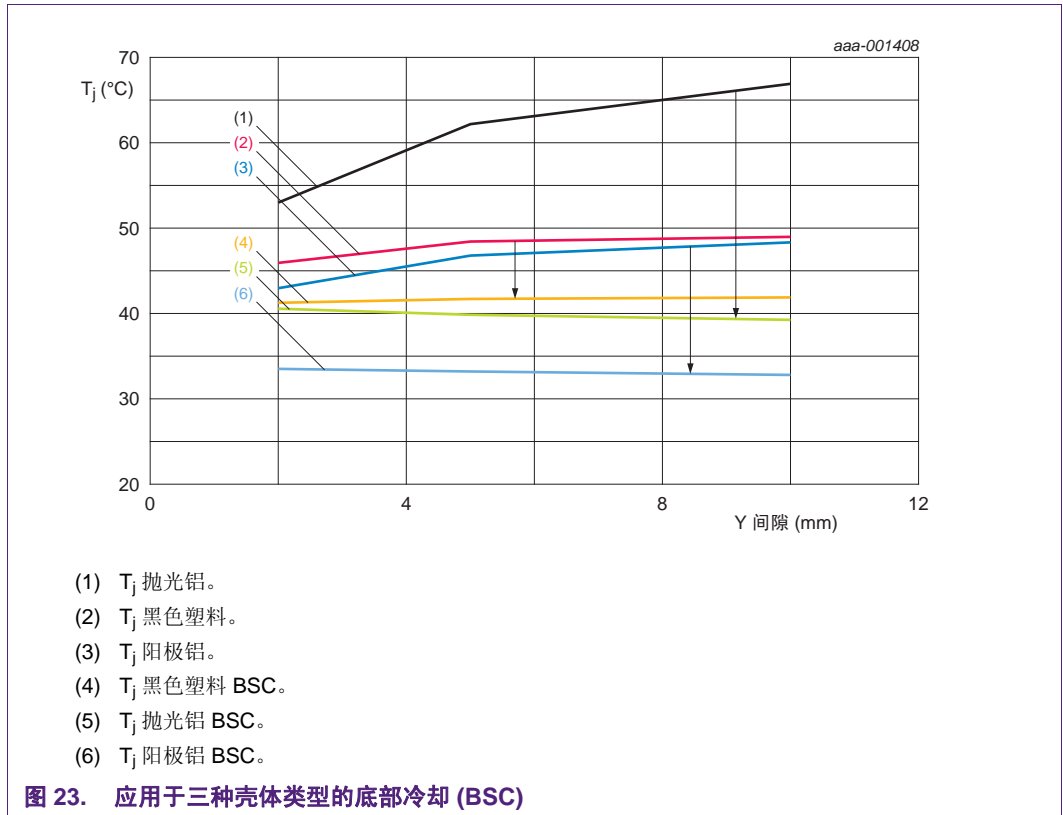


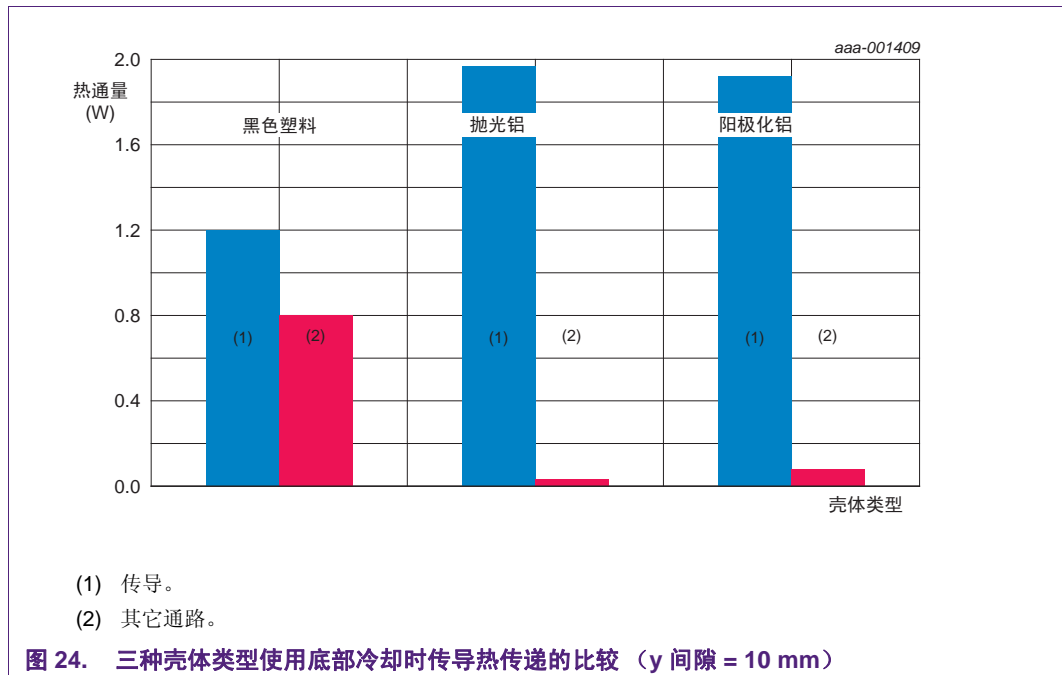
图 22. PCB 底部冷却

底部冷却的目的是为了给 MOSFET 的芯片产生的热量提供通路，先通过 MOSFET 器件封装的底部，再通过 PCB 散热孔进入壳体。在壳体内部的目的是使传导成为主要的热传递机制。一旦热量到达壳体，它就会正常地通过壳体外表面的传导和辐射散失到当地环境中。

我们选择的绝缘体的热导率为 2.6 W/m.K，厚度为 2.54 mm，是典型的常见绝缘材料。y 间隙现在只与 PCB 的一面有关，和前面的章节一样，我们将仅考虑 PCB 边与壳体壁只有 5 mm 间隙的配置。三种壳体类型的结果显示在图 23 中，为了比较，还同时给出了没有底部冷却的结果。



在所有情况中，底部冷却都使温度降低，结果几乎与 y 间隙无关。我们使传导成为主导机制的成功程度如 [图 24](#) 所示。由于现在 T_j 几乎与 y 间隙无关，[图 24](#) 仅显示 y = 10 mm 的结果。10 mm 间隙被认为是允许其它元件（连接器、电容等）置于 PCB 顶部的合理距离。



对于两种铝壳体，每种情况下壳体内传导热传递的总量大于 95%。这并不奇怪，因为铝是相对较好的热导体（见表 1 和表 2），所以不会显著阻碍传导散热。甚至对于塑料壳体，壳体内传导热传递仍然几乎为总量的 60%。结合图 23 的图形考虑，事实表明底部冷却对于消除 PCB 的热量非常有效。最后，如我们之前所看到的，阳极铝壳体的性能最佳，这得益于其良好的热传导率和有效的辐射热传递。

6.2 PCB 底部冷却，带封装。

对于底部冷却分析的最后一部分，我们可以研究一下壳体内部加密封材料的影响。在章节 5 中，我们看到将壳体内部的部分或全部空气用密封材料代替会降低器件的温度，因为密封材料的热传导率比停滞空气高。在章节 6 的第一部分，我们发现使用底部冷却对器件温度有显著影响，因为顺着壳体壁存在直接的传导热通路。对于铝材料壳体尤其明显，绝大部分的热量通过壳体壁传导（图 24）。因此，要观察到的现象将很有趣，比如，如果通过壳体壁已经获得良好的传导能力时，添加密封材料是否会使得器件温度进一步显著变化。参见图 25。

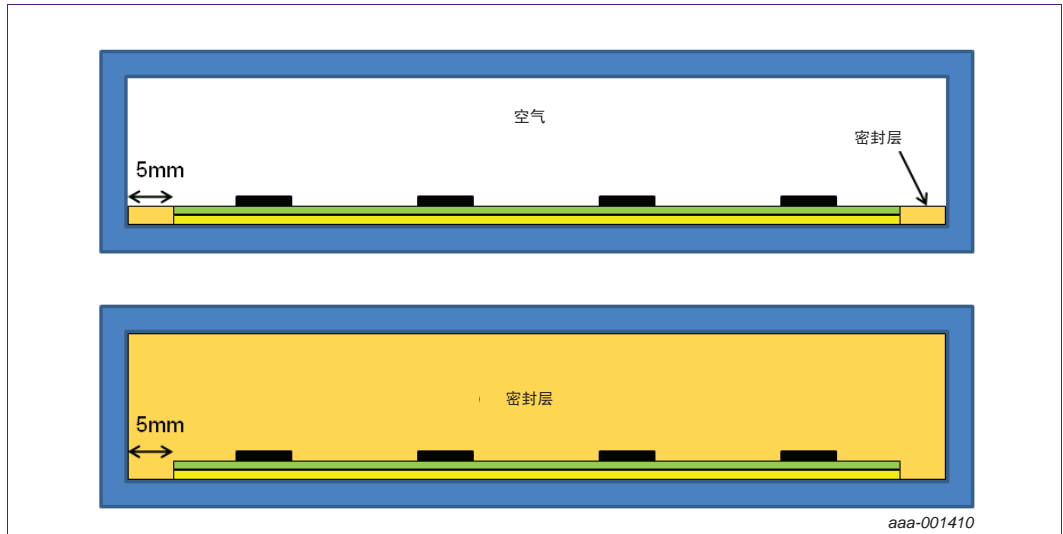


图 25. 底部冷却，部分封装（上图）和全部封装（下图）

对[章节 6.1](#)中的三种底部冷却方案增加了部分或全部封装后进行模拟，结果显示在[图 26](#)的图形中。

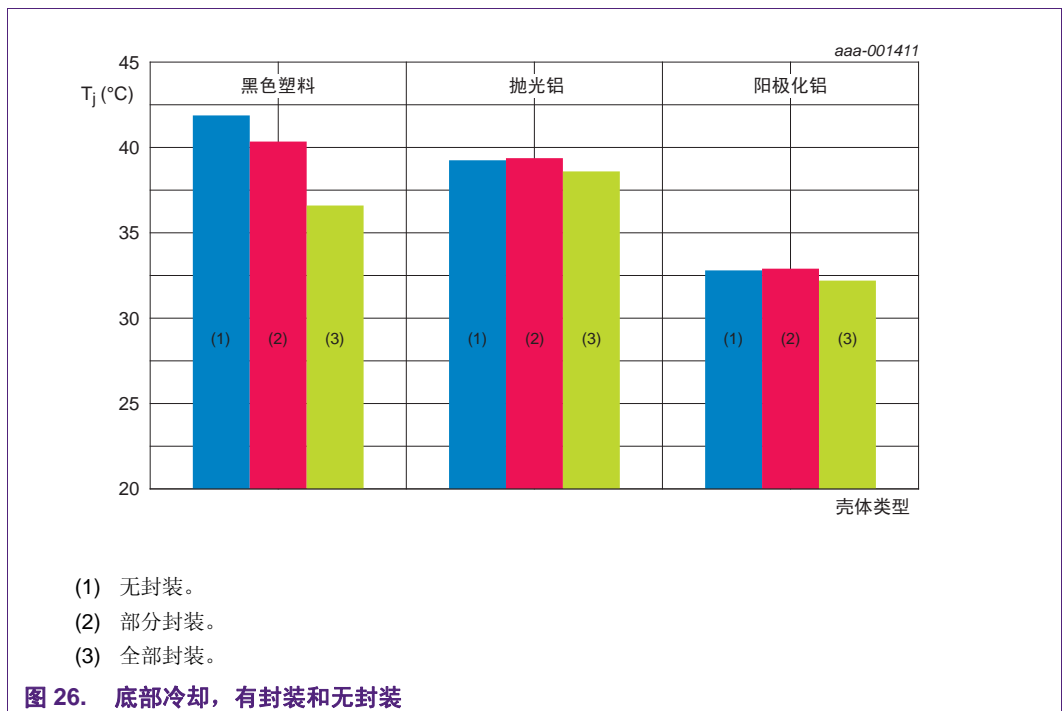
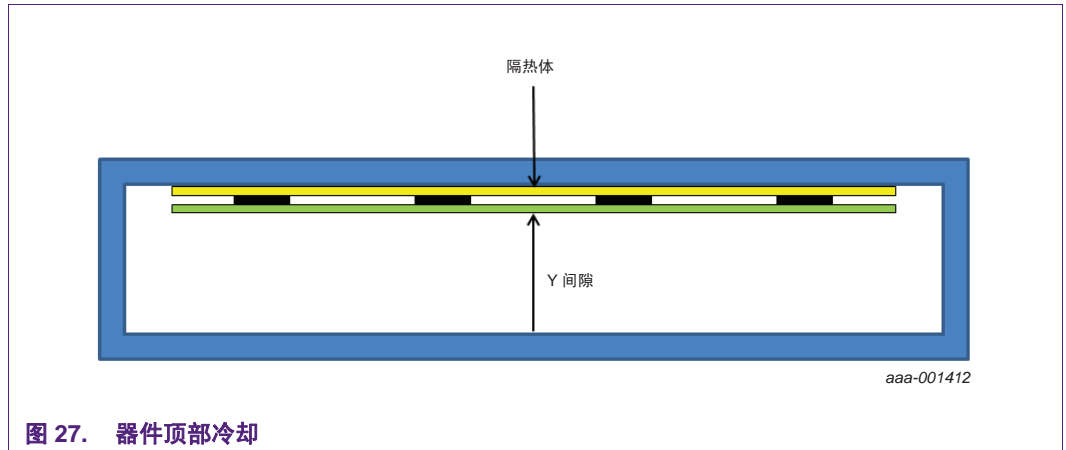


图 26. 底部冷却，有封装和无封装

对于铝壳体，封装的存在对器件温度几乎没有影响。这种结果没有什么可惊奇的，因为大部分热量通过直接传导从 PCB 传递到了壳体，所以增加密封材料几乎没有作用。但是对于塑料壳体，由于直接接触而传递到壳体的热量较少（[图 24](#)），所以密封材料的存在产生了较为显著的变化。

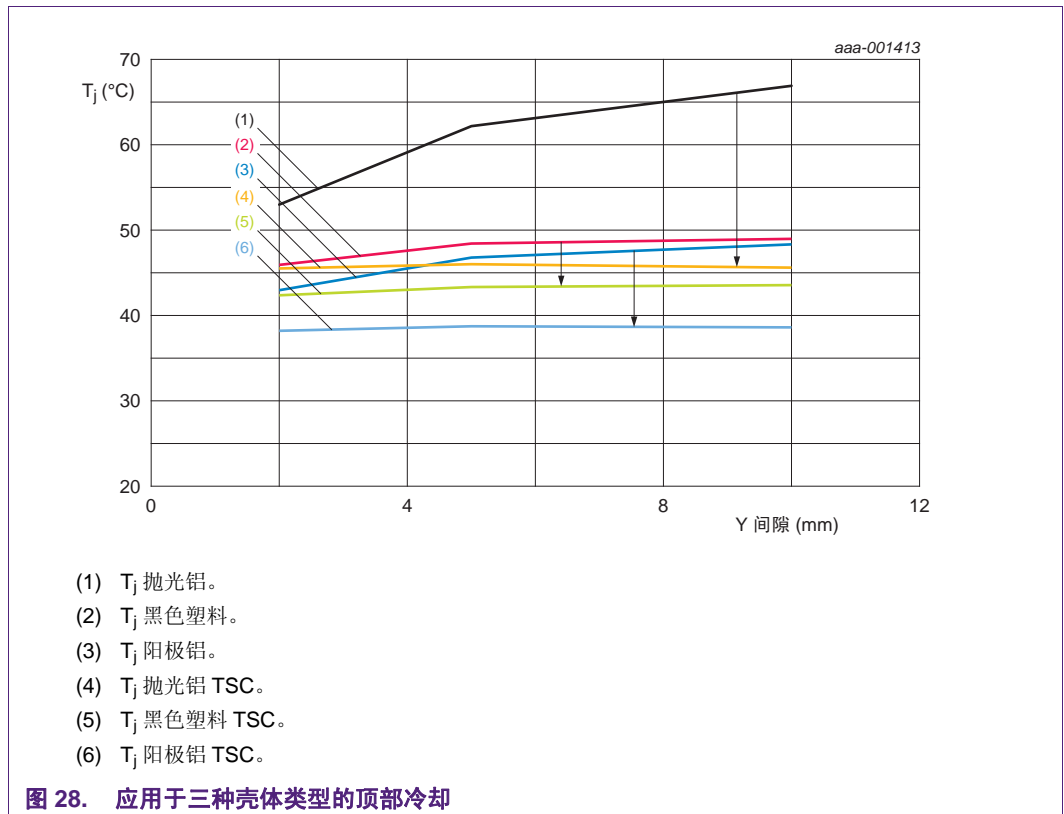
6.3 PCB 顶部冷却

PCB 顶部冷却 (TSC) 是一种通过将器件封装的顶部靠近壳体的内表面并使用薄绝缘层隔离的布置。参见图 27。虽然没有必要在器件封装和壳体之间加电绝缘体，但通常使用热“间隙填充剂”为所有器件和壳体表面提供稳定的接触。根据本次模拟的目的，我们将使用与底部冷却模拟中相同的绝缘材料。

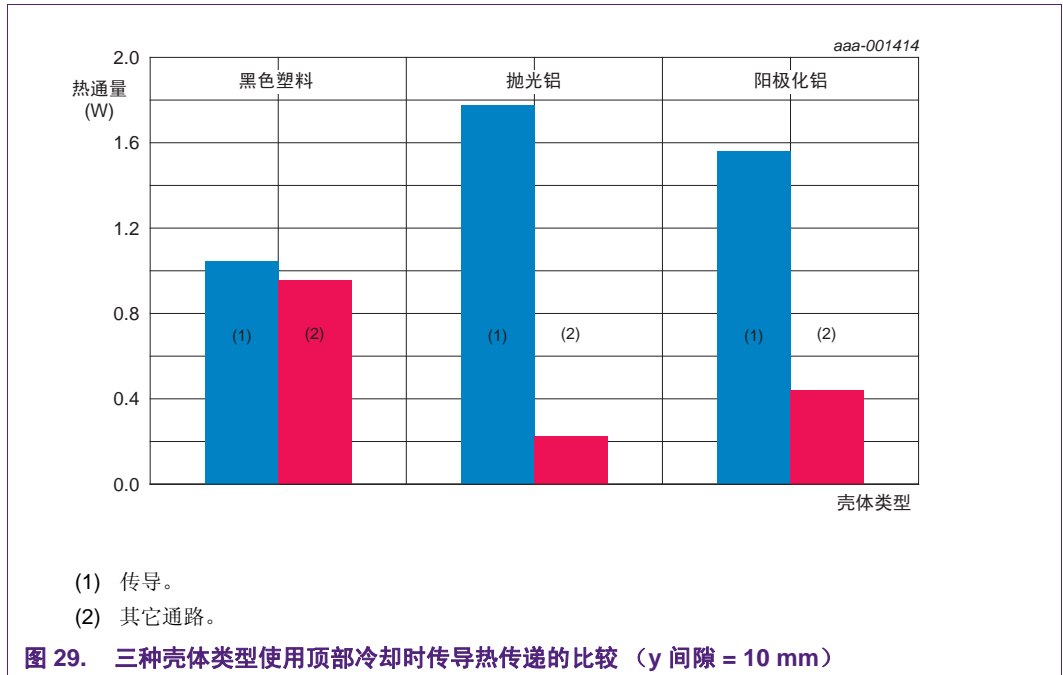


该布置是为了给 MOSFET 芯片产生的热量提供通路，通过 MOSFET 器件封装的顶部到达壳体。

y 间隙又只与 PCB 的一面有关，和前面的章节一样，我们将仅考虑 PCB 边与壳体壁只有 5 mm 间隙的配置。三种壳体类型的结果显示在图 28 中，为了比较，还同时给出了没有顶部冷却的结果。



结果和顶部冷却的结果惊人相似，如[章节 6.2](#)所示：所有三种情况下，顶部冷却的应用也导致温度降低。同样，结果明显不受 y 间隙变化的影响。我们使传导成为主导机制的成功程度如[图 29](#)所示。和之前一样， T_j 几乎与 y 间隙无关，所以[图 29](#)仅显示了 $y = 10\text{ mm}$ 的结果。



与底部冷却的图 (图 24) 对比, 我们可以发现, 对于铝壳体, 传导不太占主导地位, 而对于塑料壳体, 传导和其他散热通路组合的作用几乎相同。这也许不值得惊奇, 因为在顶部冷却方案中, 热量在到达绝缘层和壳体之前必须经过 (相对薄) 的封装顶部的塑料层, 正如我们所观察到的, 塑料是相对差的热导体。另一方面, 对于底部冷却方案, 热量在到达绝缘层之前有一个传导率相对较高的通路 (焊料、PCB 架、散热孔), 且没有塑料层阻碍。

6.4 PCB 顶部冷却, 带封装。

按照和底部冷却相同的步骤, 我们将研究向顶部冷却方案加密封材料的影响。参见图 30。

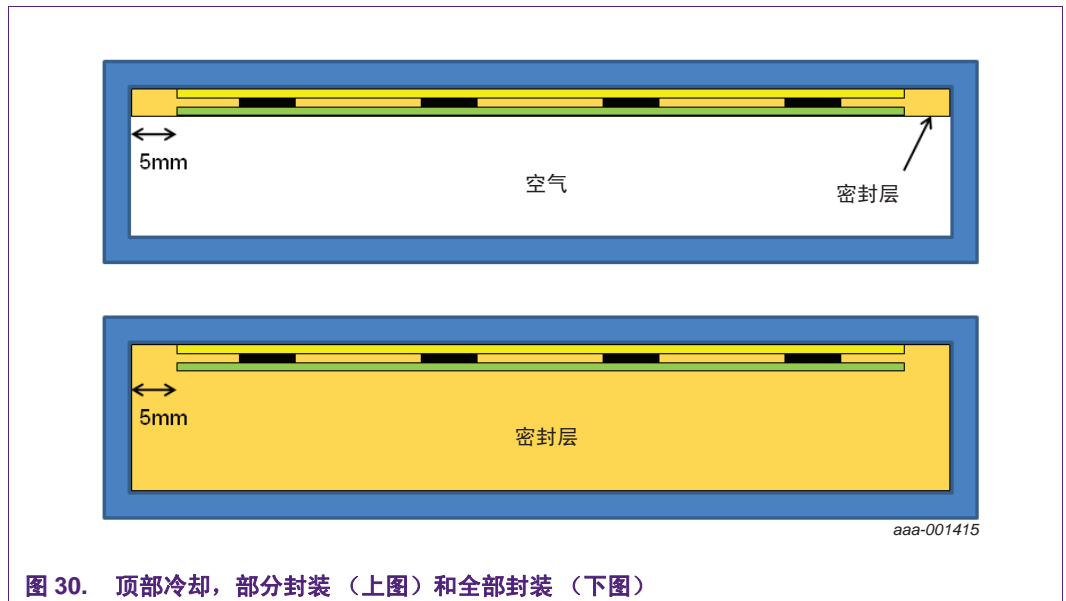
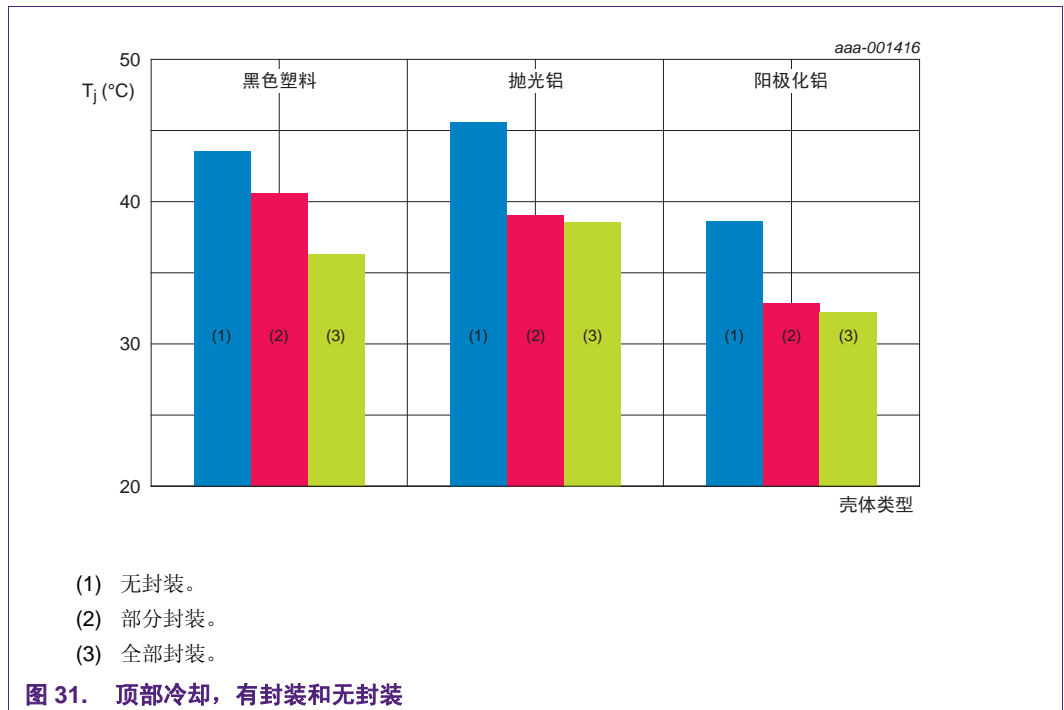


图 30. 顶部冷却，部分封装（上图）和全部封装（下图）

在底部冷却方案中，我们发现加入密封材料对于塑料壳体而言，会使器件温度降低，但对于铝壳体几乎没有影响。这是因为，对于铝壳体材料，大部分器件热量都通过 PCB 和壳体壁的传导散出，所以加密封材料对其已经很有效的热通路几乎没有影响。

在顶部冷却方案中，我们已经证实了器件塑料是潜在的热流障碍，所以观察加入密封材料是否会对器件温度产生显著影响非常有趣。

对[章节 6.3](#)中的三种顶部冷却方案增加了部分或全部封装后进行模拟，结果显示在[图 31](#)的图形中。



将这些结果和底部冷却的结果（图 26）对比是很有趣的。对于具有底部冷却的铝壳体，封装的存在对器件温度几乎没有造成差异。但对于顶部冷却，我们发现应用密封材料后，温度明显降低。这反映了一个事实，即顶部冷却方案中自器件的热通路没有底部冷却方案中的直接，所以改善自 PCB 底部的通路（通过使用密封材料代替空气）会使温度降低。

6.5 小结：通过壳体直接冷却

底部冷却：

- 底部冷却的应用导致器件温度下降。温度下降的程度取决于壳体材料。
- 结果几乎不受 y 间隙影响。
- 对于铝壳体，封装的存在对器件温度几乎没有影响。对于塑料壳体，密封材料导致器件温度下降。

顶部冷却：

- 顶部冷却的应用也导致器件温度下降。同样，温度下降的程度取决于壳体材料。
- 但是，顶部冷却没有底部冷却有效。
- 结果几乎不受 y 间隙影响。
- 对于所有三种壳体类型，应用顶部冷却时器件温度都有明显的下降。

7. 将壳体安装到隔板

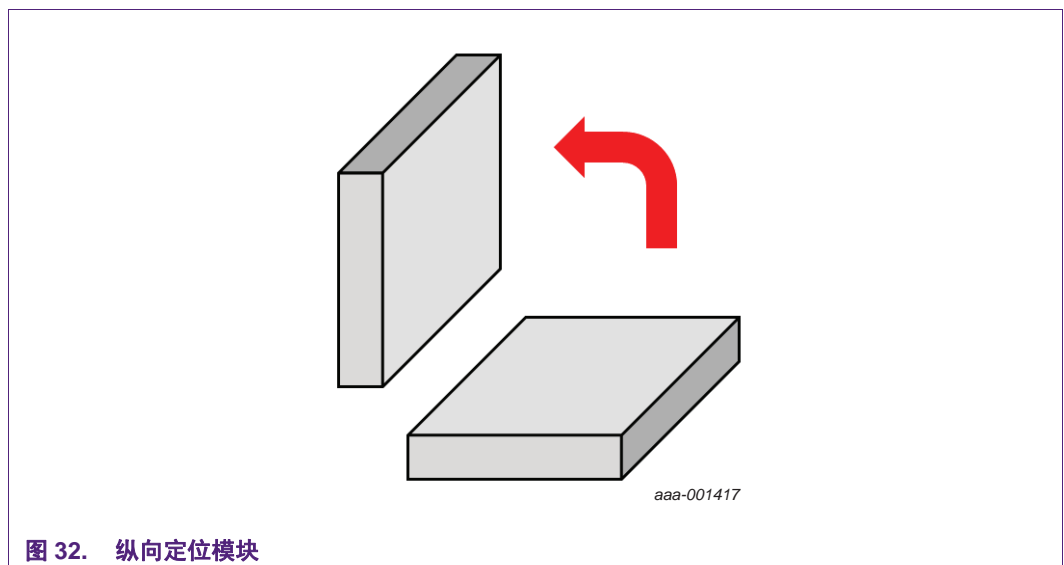
目前为止我们研究的情况都是将模块水平放置在自由空气中。在最后一章，我们将考虑将模块按照更能代表实际应用的方式安装，例如，垂直贴近钢隔板安装情况下的散热性能。

根据本次模拟的目的，我们将考虑下列模块变量：

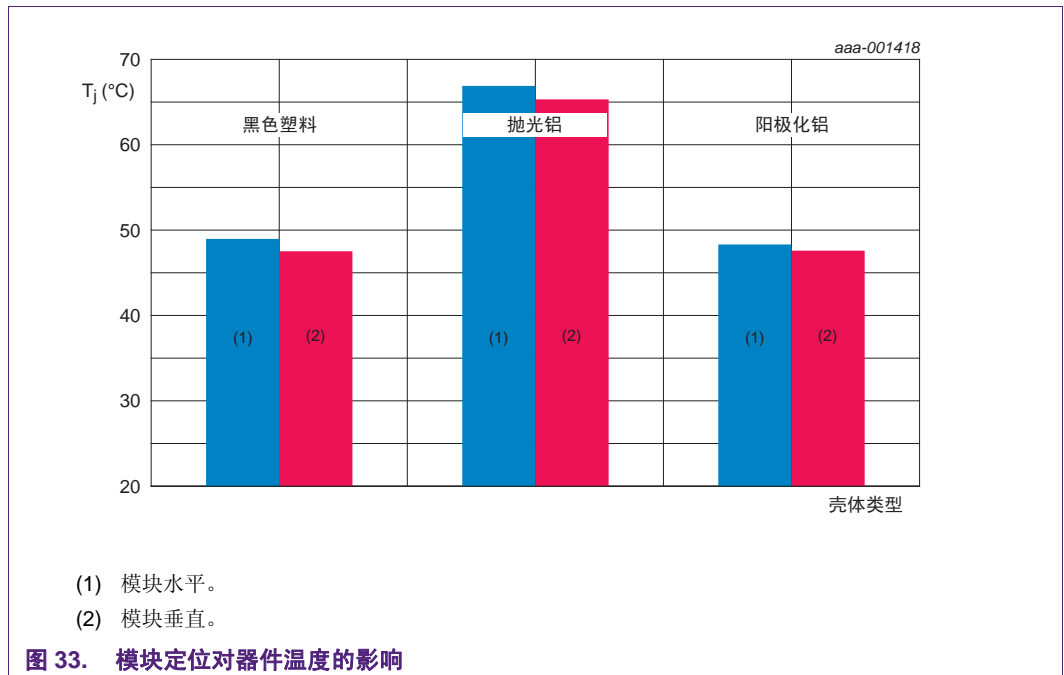
1. 模块 x 和 z 间隙固定为 5 mm。
2. 模块 y 间隙固定为 10 mm。
3. 三种壳体材料（黑色塑料、抛光铝、阳极铝）。
4. PCB 安装在壳体中央。
5. PCB 使用底部冷却。
6. PCB 使用顶部冷却。

7.1 模块垂直定位

在考虑钢隔板的影响之前，我们先研究将模块纵向而非横向定位时会出现什么情况。参见图 32。



对器件温度的影响显示在图 33 的图形中。



定位最多造成器件温度降低 1.5 °C。记住，在这个阶段 PCB 仍然安装在壳体中央，也就是说，PCB 上下的 y 间隙是 10 mm。

7.2 加隔板

下一阶段是向方案中加隔板。我们选择使用 5 mm 的塑料“支柱”来安装模块，而不是直接将模块安装于有着完全平坦的毗邻表面的隔板。这意味着模块表面和隔板表面之间有 5 mm 的空气间隙。觉得这个能更好地代表实际情况，因为任何实际模块都很可能使用某种形式的塑料夹来安装。参见图 34。

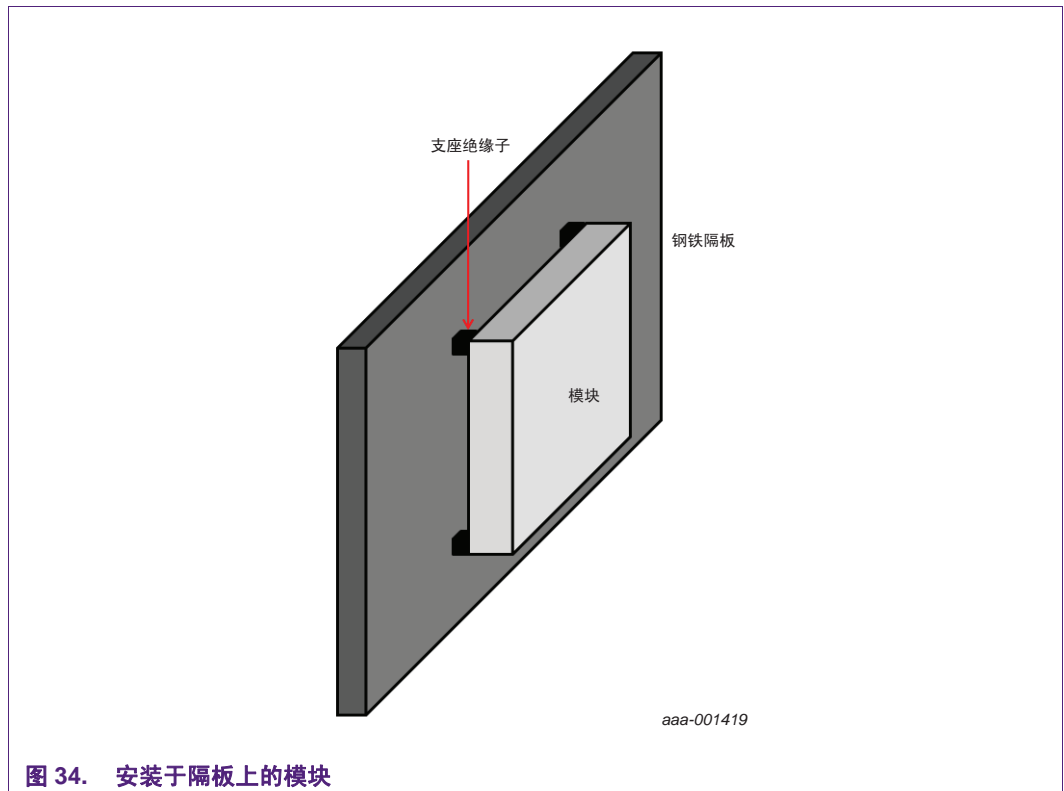


图 34. 安装于隔板上的模块

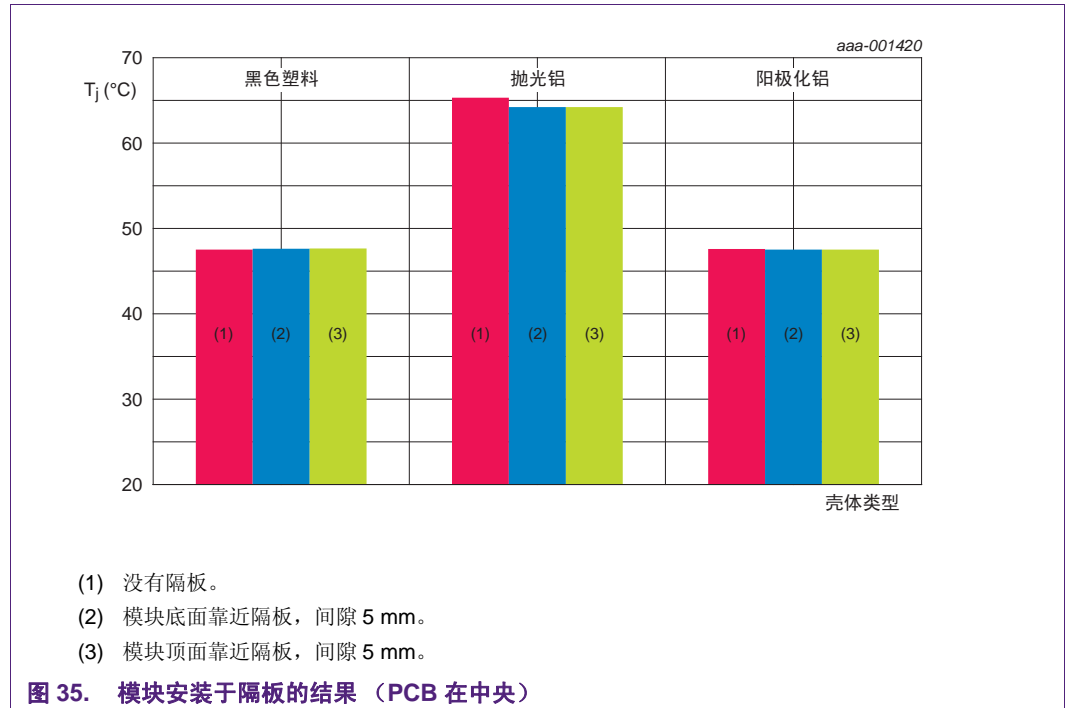
隔板本身被建模为体积为 $220\text{ mm} \times 170\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ 的钢片。由于现在隔板是整个散热系统的一部分，我们必须决定怎样建立其散热特性模型。一方面，我们可以将隔板建模为一片普通的导热材料，它可以通过传导、对流和辐射过程传递热量。但是，如果我们采用这种方法，我们必须考虑隔板部分自身是怎样向周围环境散热的，这种方法的危险是我们最终可能会试图对整个车辆进行建模！

另一种方法，也是这里采用的方法，是将隔板定义为固定温度块，为环境温度 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这意味着无论有多少热量传入隔板，其温度都保持固定，始终为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这种方法的依据是，在实际中，车辆的车身比模块大很多，因此对于所有实用性目的，隔板几乎是模型中使用的“完美散热器”。

最后要解决的一点是，模块两面中哪一面应该最靠近隔板。这对于一些方案非常重要，比如，使用了 PCB 的顶部冷却和底部冷却的方案。因此两种情况我们都将考虑，即模块的顶部和底部都最靠近隔板的情况。模块的“底”被视为最靠近 PCB 的焊料面，模块的“顶”最靠近 PCB 的元件侧。

7.3 PCB 安装于模块中央的结果

PCB 安装于中央的模块的结果（PCB 上下的 y 间隙为 10 mm）显示在图 35 中。给出了模块底面安装到隔板上、顶面安装到隔板上和没有隔板的结果。

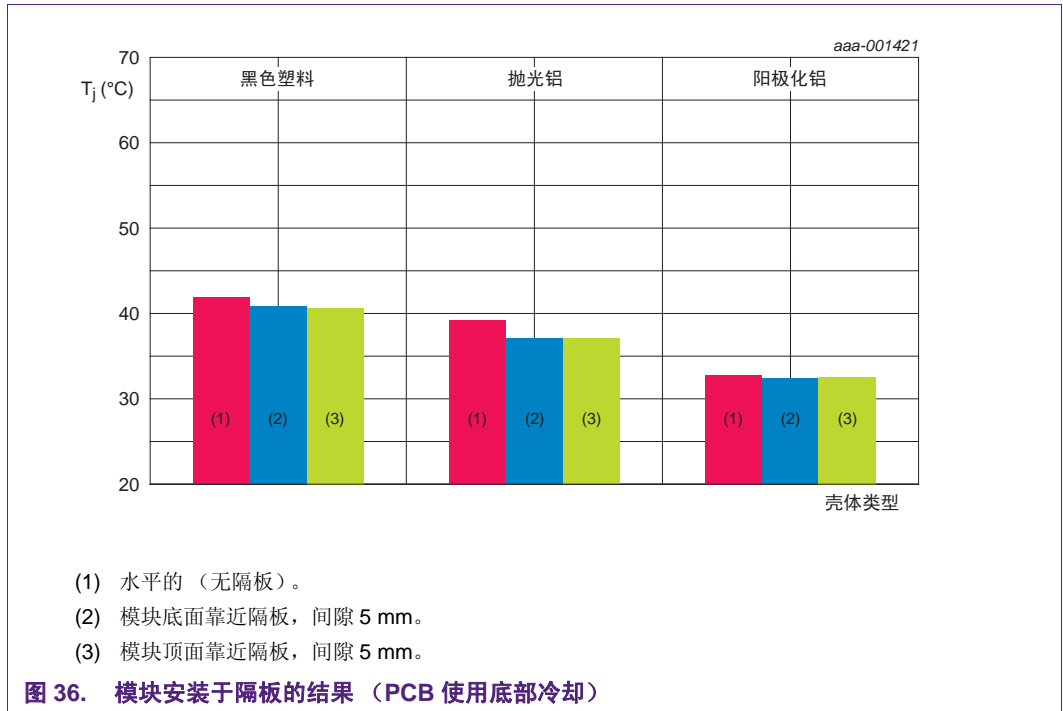


对于给定的壳体材料，模块是否安装在隔板上温度几乎没有差异，同样模块的底面还是顶面最靠近隔板也几乎没有差异。

我们可以认为这是没有料想到的结果，因为隔板的存在应该会干扰模块一面的自然对流。但这无疑是事实，受影响面上的空气仍然“被困”并与模块的面相对静止，由于隔板温度保持不变，空气（因而与之接触的模块面）保持在比正常气温低的温度。我们可以认为这种效应是“远距离散热”。因此，一侧上缺少的对流被补偿了，对器件温度几乎没有影响。

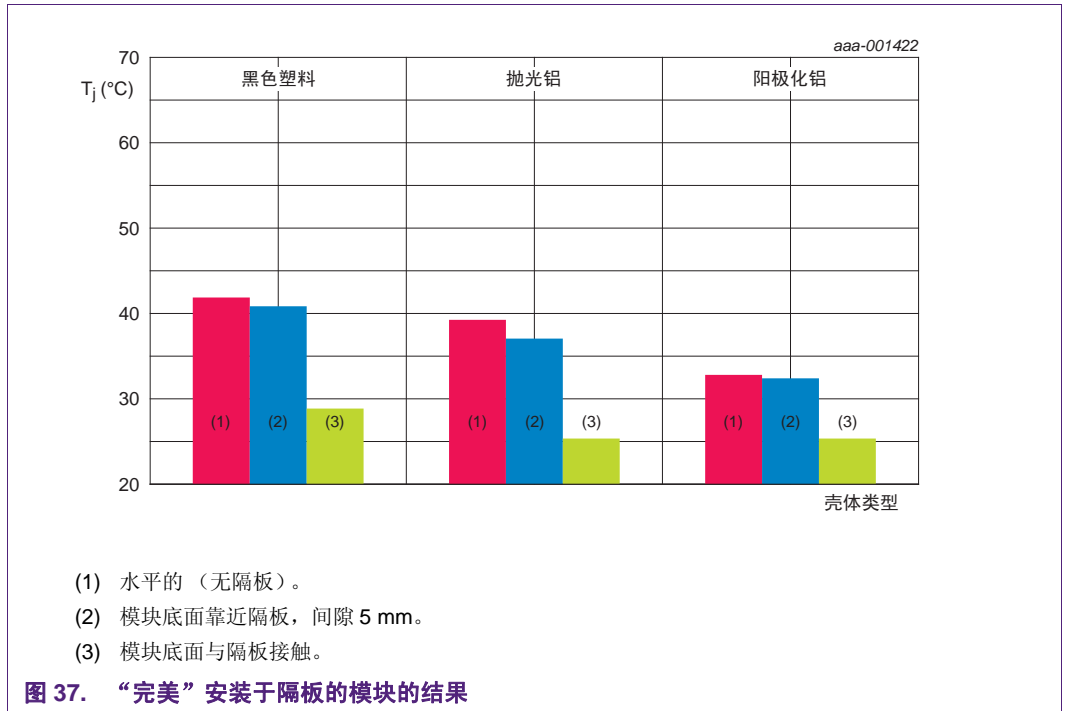
7.4 具有底部冷却的 PCB 的结果

具有底部冷却的模块的结果（PCB 上面的 y 间隙为 10 mm）显示在图 36 中。为了便于结果对比，特意将图 36 中的垂直比例设置为与图 35 中的一样。



又一次, 对于给定的壳体材料, 当模块安装于隔板上时, 我们看不到明显的差异。这可能有点令人惊奇, 因为在模块内, 自器件的传导通路良好, 通过 PCB 进入壳体材料。但是, 仍要求热量通过模块外表面和隔板之间的空气间隙, 这样, 自隔板的任何散热效果都被有效消除。

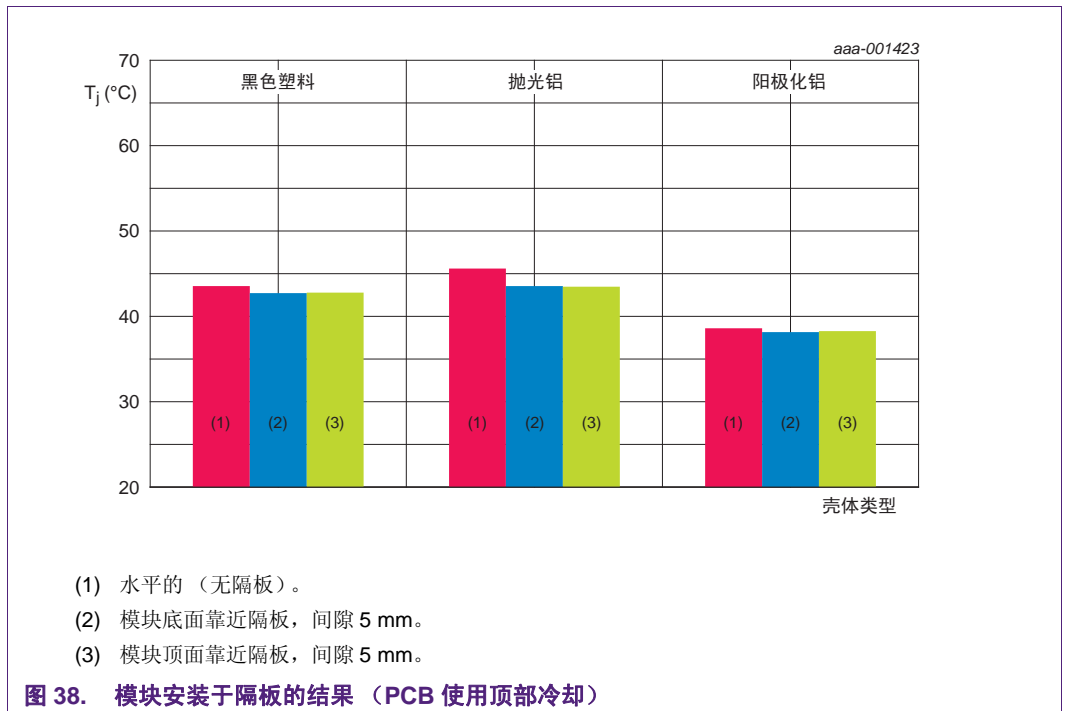
为了更好地证明这一点, 我们将再次考虑相同方案 (PCB 在模块中底部冷却), 但这一次我们将把模块的面直接连接到隔板。这将是一个“完美的连接”, 没有接触电阻并且是两个表面完全一致的接触。在实际中这样的配置绝对不可能实现, 在此显示结果以供兴趣参考 (图 37)。



与预期相同，有了模块和隔板之间无间断的传导通路，器件温度明显降低。

7.5 具有顶部冷却的 PCB 的结果

具有顶部冷却的模块的结果 (PCB 下面的 y 间隙为 10 mm) 显示在图 38 中。



结果的趋势与底部冷却的 PCB 十分相似，也就是说，隔板的存在实际上几乎没改变器件温度。

7.6 小结：将壳体安装到隔板

- 将隔板定位从水平改变为垂直对设备温度几乎没有影响—最多观察到1.5 °C的温度降低。
- 对 PCB 置于中央的模块加隔板同样几乎不会改变器件温度。
- 隔板限制了壳体表面的传导散热，但也提供了“远距离散热”效应。这两种现象趋于相互抵消。
- 底部冷却的模块没有受益于隔板的存在，除非通过“完美的”热接触将模块直接安装在隔板上。在现实中这种配置不可能实现。
- 顶部冷却的模块也不受益于贴近的隔板。
- 总的来说，垂直安装模块并靠近隔板没有使情况明显变好或变坏。

8. 小结

设计功率 MOSFET 时，需着重考虑散热有关事项。要确保可靠运行，MOSFET 结点温度和 PCB 温度都必须保持在安全范围内。

操作说明书 AN10874 “LFPACK 热设计指南”考虑了各种不同的 PCB 和设备配置对热性能的影响。考虑的因素包括 PCB 层计算、散热孔的影响和多种器件的放置。

AN10874 中考虑的方案使用了置于自由空气中的 PCB，方案中没有包含密封壳体或外壳。因此自 PCB 的主要散热机制是自然传导，不被任何其它物理结构妨碍。

此设计指南强调了这种可能性，即在绝大部分的实际应用中，需要保护 PCB 不受环境因素的影响，加上电磁兼容性方面的考虑，几乎明确地指定 PCB 应安装在某种形式的壳体内。这些调查研究了壳体及可能安装的隔板会怎样影响系统的散热性能。

设计指南考虑了三种具有不同散热性能和尺寸的壳体材料。还对壳体内的封装及顶部冷却和底部冷却的作用进行了研究，也研究了将模块贴近隔板安装的效果。从此研究中我们可以得出几个有趣的结论：

1. 在 PCB 周围添加壳体可能会也可能不会提高器件温度 - 这取决于其它几个因素。
2. 壳体内部的空气不能流动，因此不会发生通常的对流散热。相反，空气表现为导热率低的静止导体。
3. 在没有对流的情况下，辐射散热变得更加重要，因此材料表面的光洁度也很重要。
4. 使用密封材料部分或全部填充壳体将导致温度降低，因为密封材料的热导率比它替代的静止空气高。
5. 底部冷却和顶部冷却技术的应用明显降低了器件温度。这两者当中，底部冷却更有效。
6. 将模块的定位从水平改为垂直对器件温度几乎没有影响。
7. 是否有隔板对器件温度造成的差异很小。

本文档无法论述所有可能的不同模块配置，只希望本文阐述了典型“实际”应用的代表。

最后要强调的是，本设计指南所记载的信息只为设计师提供初级指导。任一新设计无疑都需要制作原型，确定其热性能特征，而后再将设计付诸生产。

9. 缩略词

表 3. 缩略词

首字母缩略词	描述
EMC	电磁兼容性
LFPK	无损封装
MOSFET	金属氧化物半导体场效应晶体管
PCB	印刷电路板
SMD	表面贴装器件

10. 法律信息

10.1 定义

初稿 — 本文仅为初稿版本。内容仍在内部审查，尚未正式批准，可能会有进一步修改或补充。恩智浦半导体对本文信息的准确性或完整性不做任何说明或保证，并对因使用此信息而导致的后果不承担任何责任。

10.2 免责声明

有限担保和责任 — 本文中的信息据信是准确和可靠的。但是，恩智浦半导体对此处所含信息的准确性或完整性不做任何明示或暗示的说明或保证，并对因使用此信息而导致的后果不承担任何责任。对于由恩智浦半导体外的信息源提供的本文档中的内容，恩智浦半导体对其不承担任何责任。

在任何情况下，对于任何间接、意外、惩罚性、特殊或衍生性损害（包括但不限于利润损失、积蓄损失、业务中断、因拆卸或更换任何产品而产生的开支或返工费用），无论此等损害是否基于侵权行为（包括过失）、担保、违约或任何其他法理，恩智浦半导体均不承担任何责任。

对于因任何原因给客户带来的任何损害，恩智浦半导体对本文所述产品的总计责任和累积责任仅限于恩智浦商业销售条款和条件所规定的范围。

更改的权力 — 恩智浦半导体保留对本文所发布的信息（包括但不限于规格和产品说明）随时进行修改的权利，恕不另行通知。本文件将取代并替换之前就此提供的所有信息。

适用性 — 恩智浦半导体产品并不设计、授权或担保适合用于生命保障、生命关键或安全关键系统或器件，亦不设计、授权或担保适合用于在恩智浦半导体产品失效或故障时可导致人员受伤、死亡或严重财产或环境损害的应用。恩智浦半导体及其供应商对在此类设备或应用中加入和 / 或使用恩智浦半导体产品不承担任何责任，客户需自行承担因加入和 / 或使用恩智浦半导体产品而带来的风险。

应用 — 本文件所载任何产品的应用只用于例证目的。此类应用如不经进一步测试或修改用于特定用途，恩智浦半导体对其适用性不做任何说明或保证。

客户负责自行利用恩智浦半导体的产品进行设计和应用，对于应用或客户产品设计，恩智浦半导体无义务提供任何协助。客户须自行判断恩智浦半导体的产品是否适用于其应用和设计计划，以及是否适用于其第三方客户的规划应用。客户须提供适当的设计和操作系统安全保障措施，以降低与应用和产品相关的风险。

对于因客户应用或产品的任何缺陷或故障，或者客户的第三方客户的应用或使用导致的任何故障、损害、开支或问题，恩智浦半导体均不承担任何责任。客户负责对自己基于恩智浦半导体的产品的应用和产品进行所有必要测试，以避免这些应用和产品或者客户的第三方客户的应用或使用存在任何缺陷。恩智浦不承担一切相关的任何责任。

出口管制 — 本文件以及此处所描述的产品可能受出口法规的管制。出口可能需要事先经国家主管部门批准。

评估产品 — 本产品仅用于评估目的，不保证产品没有任何瑕疵。恩智浦半导体、其关联公司及其供应商特别声明，无论是明确、暗示或明文的，包括但不限于默认的不侵权、适销性和特殊用途的适用性。由产品质量、性能导致的无法使用的情况，一切风险由客户自行承担。

在任何情况下，对于任何客户因特殊、间接、衍生、惩罚性或其他损害（包括但不限于业务损失、业务中断、使用丢失、数据或信息丢失、以及类似的）造成的产品无法使用，无论是否基于侵权行为（包括过失）、严格的法律责任、合同中断或其它任何理由，恩智浦或其关联公司及供应商均不承担责任，即使已获悉此类损害的可能性亦不例外。

对于因任何原因给客户带来的任何损害（包括但不限于以上列出的所有损害以及所有直接或普通损害），恩智浦半导体、其关联公司及其供应商和客户对所有上述损害的唯一补救措施和全部责任仅限于客户产生的实际损失，并应基于客户实际上为产品所付出的合理数量或 5 美元 (US\$5.00)。上述限制、例外以及声明应适用于法律所允许的最大程度，即使补救措施并非出自原来的目的。

10.3 商标

注意：所有引用的品牌、产品名称、服务名称以及商标均为其各自所有者的资产。

11. 内容

1	引言	3	11	内容	42
2	模块模型	4			
2.1	PCB 特性	4			
2.2	密封壳体特性	5			
2.3	轴命名约定	6			
2.4	周围环境	6			
2.5	可能的热通路	6			
3	y 间隙对 T_j 的影响	7			
3.1	黑色塑料壳体; x 和 z 间隙 = 零	7			
3.2	另两种壳体材料	9			
3.3	小结: y 间隙对 T_j 的影响	11			
4	在 PCB 周围加上 x 和 z 间隙	12			
4.1	黑色塑料壳体	12			
4.2	抛光铝壳体	13			
4.3	阳极铝壳体	14			
4.4	三种壳体并排排列	15			
4.5	小结: 在 PCB 周围加上 x 和 z 间隙	16			
5	封装 PCB	17			
5.1	部分封装	18			
5.2	全部封装	20			
5.3	小结: 封装 PCB	22			
6	通过壳体直接冷却	23			
6.1	PCB 底部冷却	23			
6.2	PCB 底部冷却, 带封装	25			
6.3	PCB 顶部冷却	27			
6.4	PCB 顶部冷却, 带封装	29			
6.5	小结: 通过壳体直接冷却	31			
7	将壳体安装到隔板	32			
7.1	模块垂直定位	32			
7.2	加隔板	33			
7.3	PCB 安装于模块中央的结果	35			
7.4	具有底部冷却的 PCB 的结果	35			
7.5	具有顶部冷却的 PCB 的结果	37			
7.6	小结: 将壳体安装到隔板	38			
8	小结	39			
9	缩略词	40			
10	法律信息	41			
10.1	定义	41			
10.2	免责声明	41			
10.3	商标	41			

注意: 关于本文及相关产品的重要说明详见“法律信息”一节。

© NXP B.V. 2012.

保留所有权利。

有关详细信息, 请访问: <http://www.nxp.com>

欲咨询销售办事处地址, 请发送电子邮件至: salesaddresses@nxp.com

发布日期: 2011 年 11 月 16 日

文档号: AN11113