

导热系数和热阻的实际应用

夏俊峰 2009.08 第2版

一、定义

导热系数 λ ：是指在稳定传热条件下，设在物体内部垂直于导热方向取两个相距 1 米，面积为 1 平方米的平行面，而这两个平面的温度相差 1 度，则在 1 秒内从一个平面传导到另一平面的热量就规定为该物质的热导率。其单位为：瓦/（米·度），导热系数在 0.12 瓦/（米·度）以下的材料称为绝热材料。

热阻 θ ：就是热流量在通过物体时，在物体两端形成的温度差。即：

$$\theta = (T_2 - T_1) / P \quad \text{—— (1)}$$

单位是：℃/W。

式中： T_2 是热源温度

T_1 是导热系统端点的温度

P 是热源的功率

(1) 式是指在一维、稳态、无内热源的情况下的热阻。

物体对热流传导的阻碍能力，与传导路径长度成正比，与通过的截面积成反比，与材料的导热系数成反比。热阻还可以由下式表达：

$$\theta = L / (\lambda S) \quad \text{—— (2)}$$

式中： λ 是导热系数

L 是材料厚度

S 是传热面积

二、对导热系数与热阻的理解和应用场合

导热系数反映的是物质在单位体积下的导热能力。实际上它反映了物质导热的固有属性。这种能力是由物质的原子或分子结构决定的。它是评价物质之间导热能力的参数。

热阻其实是导热系数与物体的几何形状相结合而体现的该形状物体的导热能力。

对非均匀厚度的物体，均匀热流密度的热流通过物体后，两端任意两点的温度差可能是不同的，也就是说，任意两点间的热阻可能是不同的。

谈热阻，必须要明确这一点：**热阻必须是指定的两个点之间的热阻**，并且两点之间没有其它的热源。它反映的是特定两点间的导热能力。就是说，给定了热阻值，同时必须明确给出计量的起点和终点。偏离了这两个位置点，这个热阻值就没有意义了。

参看图 1，从 1、2 点分别到 A、B、C 点的热阻都是不同的，即：

$$\theta_{1A} \neq \theta_{1B} \neq \theta_{2B} \neq \theta_{2A} \neq \theta_{1C} \neq \theta_{2C}$$

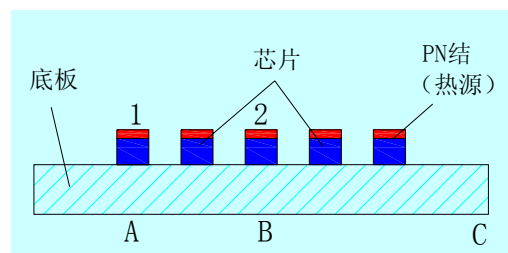


图 1

单纯就每种物质而言，谈热阻是没有太大意义的。因为几何形状不同，热阻就不同了。只有确定了几何形状，才可以利用热阻的概念做导热能力的比较。

比如：

a. 同一种材料，截面积相同、长度不同的柱体，它们的导热系数是相同的，而它们两对面的热阻是绝不同的。

b. 同一种材料，设计成不同的形状，则不同几何结构之间，它们的两个对面的热阻可能不同。某些不同形状的物体，热源端某点到对面某点和到侧面某点的热阻可能相同。

公式（1）可以不考虑材料的几何形状与构成。也就是说，不管传导热的物体是什么形状，也不管是由几种材料组合而成，只要测得两点间的温度和施加的热功率，就可以得到热阻值。这对实际应用测量是很方便的。

公式（2）则是根据材料特征来计算热阻。利用公式（2），可以不用做实际的测量实验，利用各材料的导热系数和各组成材料的几何形状，就可以计算出热阻。这对做模拟计算是非常好的理论依据。同时，公式（2）更容易让人理解热阻产生的本质。

三、导热系数与热阻的应用问题

采用热阻的概念，只能是两个系统保持不变的情况下来分析、比较系统的热状态。两个系统若有改变，比较的结果可能完全相反。

比如，两种不带铝基板的 1W 白光 LED，见图 2 和图 3，它们的结构尺寸见图 4 和图 5，根据铜底座尺寸，按照公式（2）计算，图 2 产品的中心轴向热阻应是图 3 产品的 1.54 倍。可在实际使用中，图 3 的芯片温度要低。**怎么会这样？**因为，它的底板下部的面积大，便于热流横向扩展。上面的计算没有考虑热流横向扩展！它们实际应用时，还必须加散热器，见图 5。通常散热器是铝合金材料，导热系数远小于纯铜材料。图 2 的 LED 接触面小，热量在往散热器上传导时，横向的热阻就大了；而图 3 的产品由于铜底座面积大，热量便于横向散开传导到散热器上，使得热流密度减小，将热量更有效地传导到散热器的外部翅片上。所以，虽然图 3 的结构纵向路径长了，但由于有了好的横向路径，**其实热阻反倒小了。**



图 2

$$\theta_a > \theta_b$$



图 3

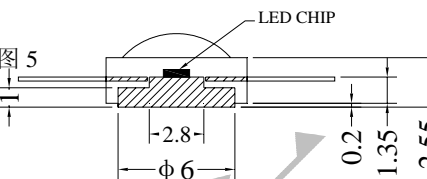
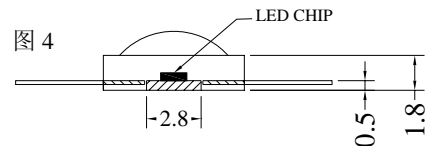
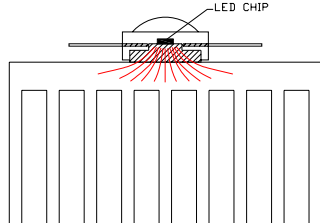
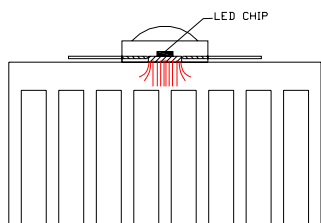


图 6

再比如，两个材料、工艺相同制成的散热器，A 表面积比 B 表面积大一倍，似乎 A 的热阻比 B 小，A 要好。可是，给 B 配上风扇，B 的热阻就会小于 A。事实上是 B 和风扇形成了系统，是这个系统比 A 好。并不是 A 比 B 的热阻小而最终在使用上 A 比 B 系统好。A 和 B 的比较就没有意义，因为 B 不是单独使用。

这个例子是有实际应用意义的。在设计产品的散热器结构时，我们可能采用两种方案：只用散热器自然散热和散热器加风扇散热。在采用风扇散热时，可以选取一个较小的散热器，其与风扇组合的散热效果可能远优于只采用一个较大的散热器的效果。虽然小散热器的热阻大于大散热器的热阻，但在两个系统中，我们也不能单以两个散热器的热阻大小来说好坏。

在系统构成后，不用热阻的概念，通过温度值就可以知道导热效果的差异。这里“系统的构成后”是指相比较的系统的结构确定，热源确定。可以测试相关点的温度就知道结果。没有必要已经知道了相关点的温度后再去算出个热阻来。通过相关点的温度值已经很明确了哪个好，哪个不好。如果说不是测试，而是要通过模拟计算得到结果的话，在模拟计算中，也是通过导热系数和结构参数，先算出相关点的温度。计算得到了各点的温度，导热好坏也就明了了。也可以不需要再多算一步来算出热阻值。

对于热系统间的比较，仅仅知道各系统的热阻值，也无法比较哪个好坏。

举例说明。两个不同 LED 灯具，采用相同型号、规格和数量的 LED，它们的芯片 PN 结到灯具最外端的热阻不同。可是这两个灯具设计的芯片工作电流是不同的。一个灯具的工作电流比另一个要小的多，即使这个灯具的热阻大些，它的芯片温度还是要低，它的寿命相对就要好。所以，给出热阻值而不同时了解其它相关条件，单从热阻值来比较这两个灯具，是没有意义的。而若给出灯具在正常工作条件下的温度值，则可以很好低判定它们的热状况好坏了，由此才可以推断哪个灯具的可靠性和寿命会好。

当然，热阻的概念也还是有用的。比如，某些元件出厂后，用户可能无法测试其内部热源点的温度，这样用户就无法利用公式（1）和（2）来做后续应用的测试和设计计算。比如半导体二极管、LED 等元件，用户无法测试 PN 结处的温度。厂家可以根据半导

体物理的理论，根据 PN 结在稳定的电流下结温与正向电压的关系，再考虑封装材料的影响，计算出 PN 结到封装外部某处的热阻。有了 PN 结到封装体外部某处的热阻值，用户才能计算元件在不同供电条件下元件内部的热状况，从而采取相应的散热措施。

根据图 1 的说明，对于多芯片封装的 LED 元件，给出的热阻值实际是一个加权平均值。

四．结论

1. 导热系数是材料的特征。做热结构设计，要利用的是导热系数、材料的几何尺寸。
2. 热阻的概念，便于对系统做定性分析和讨论。
3. 热阻的数值，不适于对没有确定最终使用方式的产品间的相互比较。运用热阻值来比较产品，还必须知道这些产品的工作条件，否则结论可能不正确。
4. 运用热阻来分析、比较，一定要明确热阻的概念和约束条件（两点间及两点间无其它热源）。

五、问题解答

1. 有人说：10W 的 LED 由 10 个 1W 的芯片组成，与 1W 芯片封装采用相同的封装，因为 10W 组件是由 10 个芯片并联，所以 10W 的产品热阻是 1W 产品的热阻的 1/10。

这种说法是不对的！

前面已经讲了，讲热阻，必须要明确，我们研究的这个热阻是热流起于何处，止于何处。起点和终点都是唯一的点（很小的、连续的面可以视为点），并且，在起点和终点之间，没有其它热源。也就是说，一个热阻值必须是指从何处到何处之间的热阻，而不能是从几个地方到一个或另几个地方的热阻。

如何计算或推论多热源和单热源置于相同系统中，到相同终点的热阻？定量计算较繁杂，这里不赘述。这里就是简单地、定性地来讲解一下。

首先要明确，我们研究 LED 热阻的目的，是为了今后使用 LED 产品时，能够在不同的使用条件下，通过热阻值推算出芯片 PN 结的温度。接下来我们来讨论。若有 N 个芯片并排置于一个、与单个芯片使用相同尺寸的底板做为封装。参看图 7。N 个芯片各自产生的热量，并没有通过其它的芯片，所以，每个芯片的热流，并没有得到其它芯片的通路，不存在热路并联的关系！各芯片的热流到达底板，沿底板径向传播到达另一面。以两芯片间隔的中心面为界，等距点的

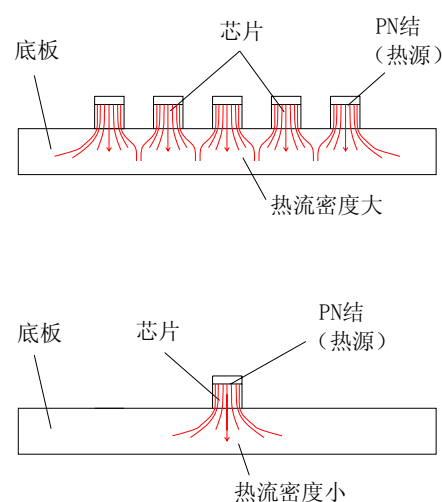


图 7

温度相同，所以在靠近这个中面处，热流不能很好地横向扩展。而对于最外侧的芯片的靠外面的部分，热流可以有更多的横向扩展，由此，中间芯片下面底板的热流密度要大于最外侧芯片下面底板的热流密度。而单个芯片时，四面都有热流的横向扩展。因此，单芯片的热流通过底板有较小的热阻。这一点从公式（2）就可以反映出来——单位热量通过的截面大，热阻就小。

同样，对于是单个芯片面积 N 倍的大芯片，在底板上，其靠近芯片内部的区域向下的热流密度大于外沿区域的热流密度。所以大面积芯片和切割成的小面积芯片具有相同的封装时，PN 结到封装外端的热阻是不同的。

但就芯片内部而言，考察 PN 结到芯片材料底部或顶部，大芯片的热阻和小芯片的热阻是基本相同的。（注意，这里的热阻是指从 PN 结到芯片材料底部，且不考虑芯片电极造成电流密度不均的影响。）

所以采用相同的封装，单芯片和多芯片产品，热阻是不同的。我们这里所说的热阻，是指从某个 PN 结到底板外端指定的某点。对于 N 个芯片的封装，给出每个 PN 结到外部的热阻没有实际意义，所以给出的应该是一个加权平均值。

上面的分析，正是体现出热阻是和系统的结构密切相关的。

2. 有人说，电阻不是越并越小吗？这点没错。不过，当电源电压直接加到并联的一组电阻群上时，每个电阻消耗的功率是和电压只加到一个电阻上的情况是相同的。对这样的简单电路来讲，电阻并联与否，每个电阻的表现和单独一个电阻时的表现是一样的。（当然，要和 LED 的状况对比，所有的电阻值应该取相等的。）所以， N 个芯片并联，每个芯片的状况还是和一个芯片的状况是相同的（这里只讲各芯片，不含外界构件是否相同）。

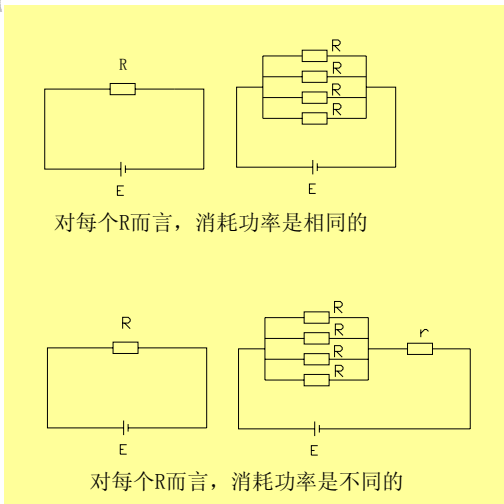


图 8

另外，当并联的电阻群之外还有其它元件时，电源电压不变时，电阻群的总电阻相对整体电路确实小了，但这种状况就不能和芯片并联的状况做直接对比了，因为它们的条件不同了。

假如热源不是 PN 结，而是相同能量的外部热源分别加到 N 个芯片结构和一个芯片结构上，通过芯片一端传播到另一端，那么， N

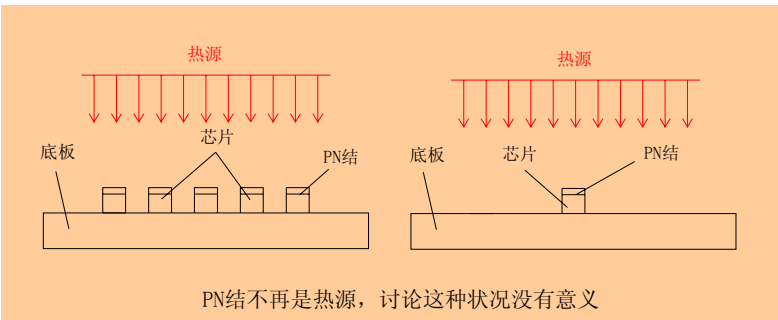


图 9

个芯片并联的热阻一定小于一个芯片的热阻。这只是将芯片当作单纯的热传导物质，这样的状况，对我们讨论 LED 的热性能来说是毫无意义的。

不是什么事情都可以简单的类比或类推的，具体问题要具体分析。

夏夜微风轻拂，月光如水洒满庭院。远处的灯火阑珊，近处的花香扑鼻。在这宁静的夜晚，思绪万千，仿佛置身于一个遥远的梦境。月光如水，洒在青石板的小径上，映出斑驳的光影。微风轻拂，带来阵阵凉意，让人心旷神怡。在这宁静的夜晚，思绪万千，仿佛置身于一个遥远的梦境。