

TO封装电阻器安装指南

在一些常见的功率模块电路中，要求电阻器承受较大的功率。受限于PCB尺寸和安装空间要求，电阻器的尺寸不能过大，且温度要控制在安全范围内。平面厚膜功率电阻器正是这种应用场景下的最佳选择。如果仅考虑到电路的原理功能实践，并未综合考虑到电路热设计，最终可能会在应用端导致电子电路因过热而失效。

下面我们从基本原理出发，配合开步睿思TO封装平面厚膜功率电阻器，对其散热器选型、安装进行指导。

认识热阻

当有热量在物体上传输时，在物体两端温度差与热源的功率之间的比值，

$$R_{th} = \frac{T_2 - T_1}{P}$$

单位：°C/W。

上式中， T_1 为物体一端的温度、 T_2 为物体另一端热源的温度， P 为热源的功率。适用于一维、稳态、无内热源的情况下的热阻。在近似分析中，我们依然可以参照此式。

简单的说，热阻 R_{th} 就是描述阻碍散热的物理量，热阻越大，散热越困难。为了便于理解，我们可以做如下类比：



温度差 ΔT 取代电压差 ΔV

电阻 $R = \frac{\Delta V}{I}$

单位： Ω , V/A



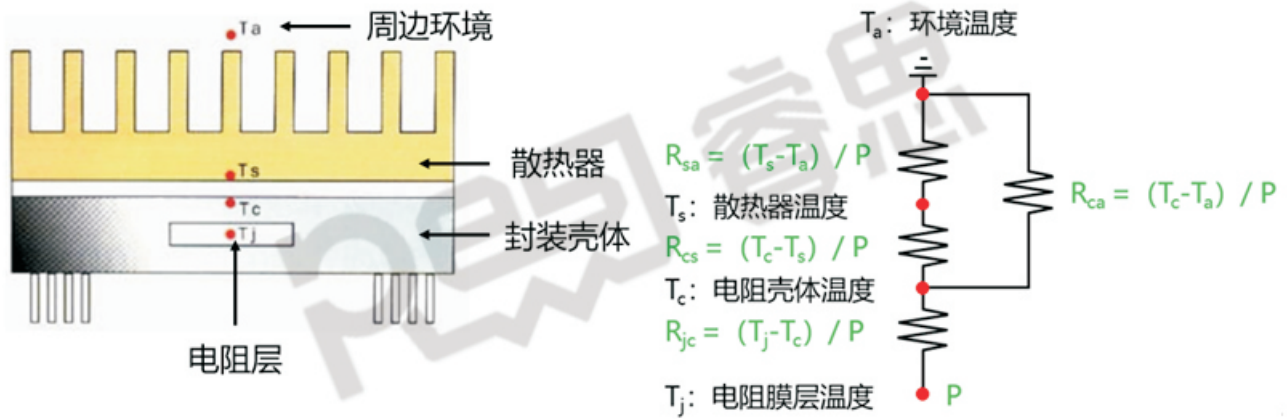
热阻 $R_{th} = \frac{\Delta T}{P}$

单位：°C/W

热源功率 P 取代电流 I

电阻是对电流的阻碍作用，热阻是对温度的阻碍作用。

我们针对如下左图常见的功率电阻器散热实况进行分析，如下右图所示热路图，并定义各部分热阻。其中环境温度 T_a 可以看做热容量极大，且温度保持不变，相当于电路中的地。



那么电阻层对环境的总热阻为 $R_{ja} = (T_j - T_a) / P = R_{jc} + (R_{cs} + R_{sa}) / R_{ca}$ ，

而一般认为电阻壳体对环境的热阻 $R_{ca} > (R_{cs} + R_{sa})$ ，

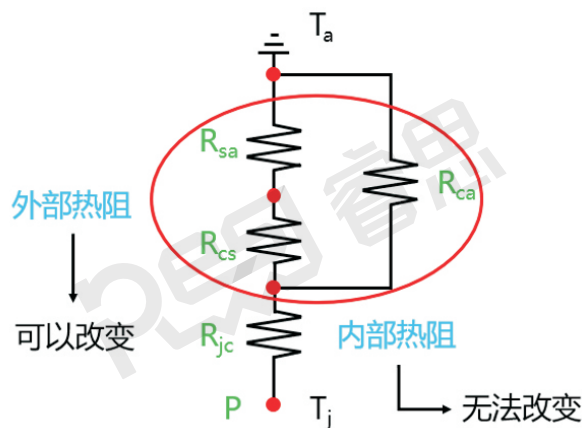
故可认为： $R_{ja} = (T_j - T_a) / P = R_{jc} + R_{cs} + R_{sa}$

若电阻壳体与散热器表面涂覆导热硅脂，使得电阻与散热器表面紧密相连，那么热阻 R_{cs} 可以忽略。故总热阻 $R_{ja} = (T_j - T_a) / P = R_{jc} + R_{sa}$ 。

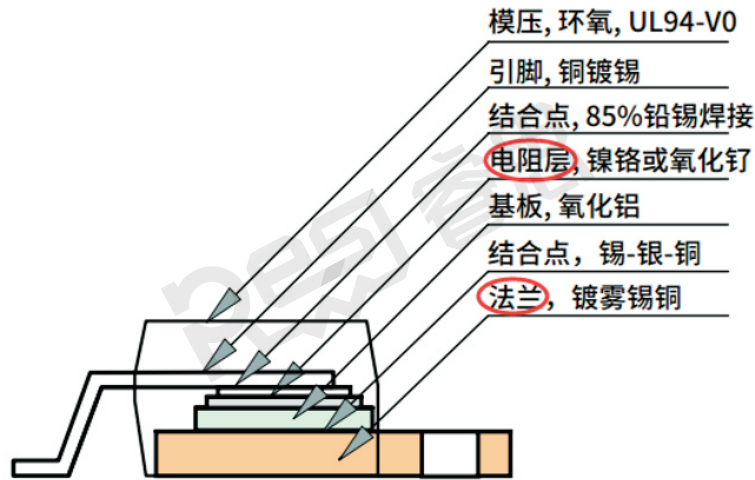
那么我们来分析热路图，看看哪些热阻是我们所能改变的。

如下图所示，电阻层对壳体的热阻 R_{jc} 属于电阻内部热阻，无法改变。

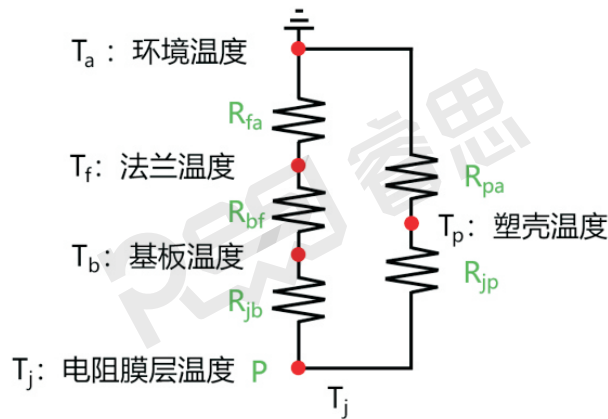
而能改变的是下列红色椭圆形框中的外部热阻，经过上列分析，外部热阻约等于 R_{sa} ，即散热器对环境的热阻。



我们来看开步睿思TO263封装的厚膜功率电阻器结构图，如下图所示：



电阻层属于发热源，其温度为 T_j 。电阻层附着于陶瓷基板上，陶瓷基板紧贴铜制法兰盘，引脚与法兰盘完全绝缘。其热路图可描述如下：



其中 $R_{jp} + R_{pa} > R_{fa} + R_{bf} + R_{jb}$,

故可认为 $(R_{jp} + R_{pa}) // (R_{fa} + R_{bf} + R_{jb}) = R_{fa} + R_{bf} + R_{jb} = R_{jc}$

对于电阻器制造商，通常会给到硬件工程师电阻器内部热阻参数 R_{jc} 。

开步睿思作为平面厚膜功率电阻器制造商，其生产的RNP20E、RNP20S、RNP50S的 R_{jc} 参数如下：

产品系列	RNP20E	RNP20S	RNP50S
外形			
封装形式	TO263	TO220	TO247
安装方式	表贴式	直插式	直插式
R_{ja}	3.3°C/W	3.3°C/W	1.3°C/W
最大工作功率	35W	35W	100W
最大工作温度	175°C	175°C	175°C

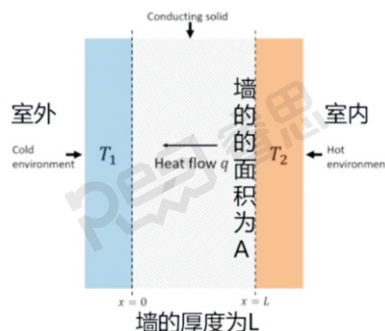
需要指出的是，此处的 R_{ja} 是电阻层对法兰的热阻。当已知 R_{jc} ，并测量出电阻法兰的温度 T_c ，可以推算出电阻层的发热温度 $T_j = R_{jc} \times P + T_c$ 。

电阻器作为一个纯发热元件，会将全部电能转换为热能，表现为温度上升。当电阻长期工作在高温状态下，电阻的电气性能与寿命会被削弱。故应用在大功率场合下，要控制电阻的发热温度，就必须考虑电阻器的散热问题。

认识热导率

热阻是一个对热量传导阻碍的宏观参数，它与很多参数有关。比如散热器的面积，厚度，材料种类、风速等等。而关于材料本身的导热能力，我们用热导率 λ 来描述。

以冬天房屋墙壁（一种保温建筑材料）为例，如下图所示：



假设热流传导时，没有热损失，墙体内、外面平行。E为时间t内传递的能量，A为墙体面积，L为墙体厚度，T₂与T₁为内、外墙面的温度。

室内外温差试图通过热流传导建立温度平衡：

$$\text{热流密度: } q = \frac{E}{t \times A} \quad (\text{W/m}^2)$$

$$\text{根据热力学定律: } q = \lambda \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (\text{W/m}^2)$$

$$\text{可推得热导率: } \lambda = \frac{E \times L}{t \times (T_2 - T_1) \times A} \quad (\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K}))$$

$$\text{将热导率公式变形, } \frac{1}{\lambda} \frac{L}{A} = \frac{T_2 - T_1}{P} = R_{th}$$

从上式，我们可以看出，相同材料的散热器，材料的长度越长，材料的厚度越厚，材料的热阻越大。热导率λ越大，热阻越小，越是优良热导体。而热导率 < 0.12W/(m·K)时，我们称之为绝热材料。

从上式可以看出，散热器的热阻和电阻器的阻值公式形式非常相似，根据电阻定律，电阻阻值R为：

$$R = \frac{1}{\sigma} \frac{L}{A}$$

其中L为电阻器长度，A为电阻器的横截面，σ为电导率，为电阻率ρ的倒数。散热器的热阻R_{th}为：

$$R_{th} = \frac{1}{\lambda} \frac{L}{A}$$

其中λ为热导率。

不同材料的导热性能是不一样的，我们在PCB板上常用的是铝或铜作为散热器。

表 不同材料的热导率

材料	热导率 @ 25°C (W/(m·K))
空气	0.026
水泥	0.92
橡胶	0.138
环氧树脂	0.35
金	317
铜	384.1
铝	225
天然钻石	895~1350

平面厚膜功率电阻器不加散热器

若平面厚膜功率电阻器不加散热器，仅直接依靠法兰和塑壳对环境散热，那结果会是怎样的呢？

我们做了如下系列测试。通过对两只相同规格的电阻串联并加载功率的方式，用非接触式红外热成像测温仪和接触式热电偶温度计共同测温，记录不同加载功率下，电阻塑壳与法兰的温度。

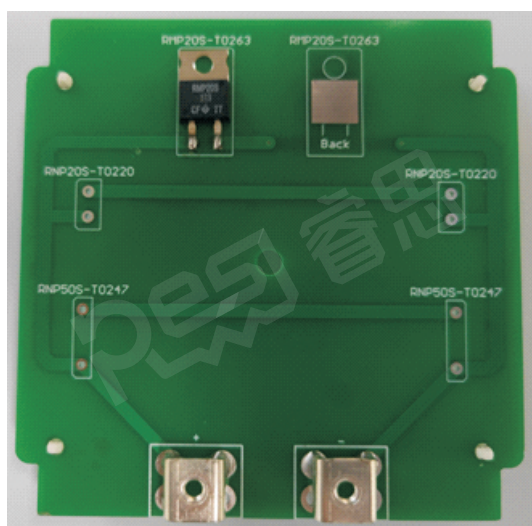


图1 RNP20E系列 TO263封装 PCB正面



图2 RNP20E系列 TO263封装 PCB反面

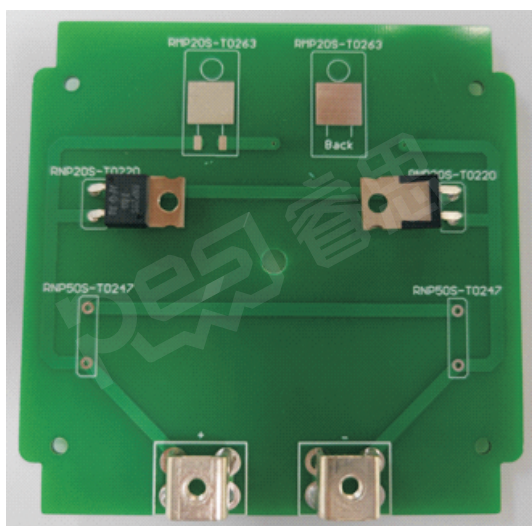


图3 RNP20S系列 TO220封装

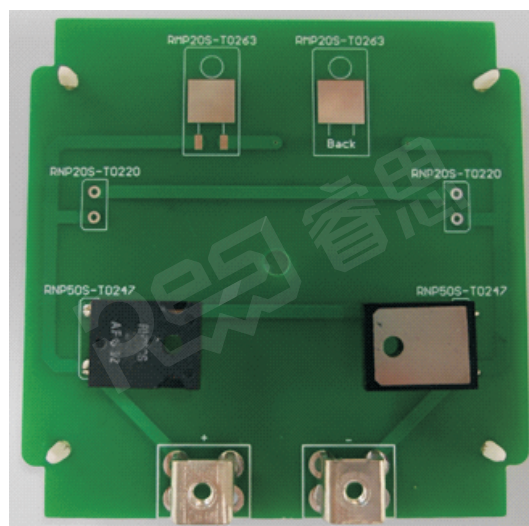


图4 RNP50S系列 TO247封装

表 RNP20E 系列 TO263 封装			
电阻标称阻值	电阻 R1 实测阻值	电阻 R2 实测阻值	环境温度
13000 Ω	12987.8 Ω	12986.8 Ω	20°C
记录数据			
单个电阻 目标加载功率 (W)	实际加载总电压 (V)	法兰表面温度 (°C)	塑壳表面温度 (°C)
0.5	161.25	43.5	35.1
1	228.04	61.6	44.1
1.5	279.28	78.2	57.2
2	322.49	99.1	72.1
2.5	360.56	112.4	82.4
2.75	378.15	124.4	90.2

表 RNP20S 系列 TO220 封装			
电阻标称阻值	电阻 R1 实测阻值	电阻 R2 实测阻值	环境温度
2 Ω	1.99682 Ω	1.99748 Ω	20°C
记录数据			
单个电阻 目标加载功率 (W)	实际加载电流 (A)	法兰表面温度 (°C)	塑壳表面温度 (°C)
0.5	0.5	51.3	41.2
1	0.71	76.1	54.1
1.5	0.87	106.2	75.7
1.8	0.95	114.7	88.9
2	1.00	127.4	95.1

表 RNP50S 系列 TO247 封装			
电阻标称阻值	电阻 R1 实测阻值	电阻 R2 实测阻值	环境温度
2 Ω	1.99622 Ω	1.99619 Ω	20°C
记录数据			
单个电阻 目标加载功率 (W)	实际加载电流 (A)	法兰表面温度 (°C)	塑壳表面温度 (°C)
0.5	0.5	45.1	39.6
1	0.71	61.8	53.2
1.5	0.87	80.2	64.2
2	1.00	94.1	82.5
2.5	1.12	110.6	100.3
3	1.22	126.2	110.9

可以看到电阻不加散热器时，以105℃为电阻长期稳定工作的最大温度，电阻可加载功率是非常小的。RNP20S可加载功率大约为1.5W，RNP50S可加载功率大约为2.2W，而RNP20E法兰盘紧贴PCB裸露大焊盘，借助PCB辅助散热，故其可加载功率大约为2.2W。

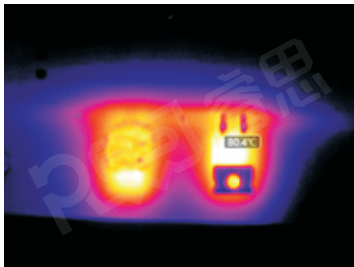


图4 TO263温度分布

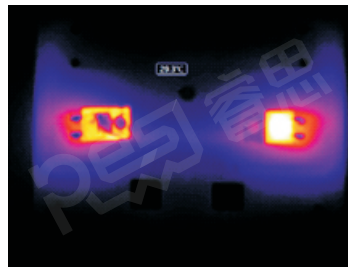


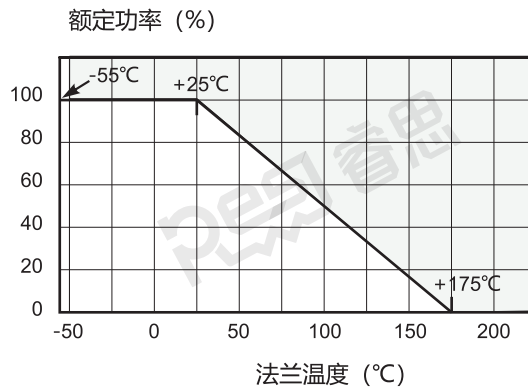
图5 TO220温度分布



图6 TO247温度分布

选择一款合适的散热器

通过上述分析，电阻对环境的总热阻 $R_{ja} = (T_j - T_a) / P = R_{jc} + R_{sa}$ ，其中 R_{jc} 是已知的、且无法改变的，所以我们能“做文章”的只有 R_{sa} ，即散热器对环境温度的热阻。那么如何针对RNP20E，RNP20S，RNP50S选择合适热阻的散热器呢？这得结合电阻工作场景的环境温度 T_a ，电阻的加载功率 P 来确认。电阻器的加载功率 P 还必须参考降功率曲线，开步睿思厚膜功率电阻器的降功耗曲线所参考的温度为法兰温度 T_c 。



一般情况下，建议电阻的长期工作温度不超过105℃，则对散热器的热阻 R_{sa} 要求为：

$$R_{sa} < \frac{105^\circ\text{C} - R_{ja} \times P - T_a}{P} = \frac{T_c - T_a}{P}$$

假设环境温度 $T_a = 50^\circ\text{C}$ ，工程师所加载功率 $P = 10\text{W}$ ，若选择RNP20S系列功率电阻器，则散热器热阻要求：

$$R_{sa} < \frac{105^\circ\text{C} - 3.3^\circ\text{C/W} \times 10\text{W} - 50^\circ\text{C}}{10\text{W}} = 7.2^\circ\text{C/W}$$

此时，对应法兰温度为72℃，参考降功率曲线，电阻的额定功率为 $35\text{W} \times 68.6\% \approx 24\text{W}$ ，所施加10W功率并未超过额定功率24W，电阻可以安全长时间工作。

散热器安装案例

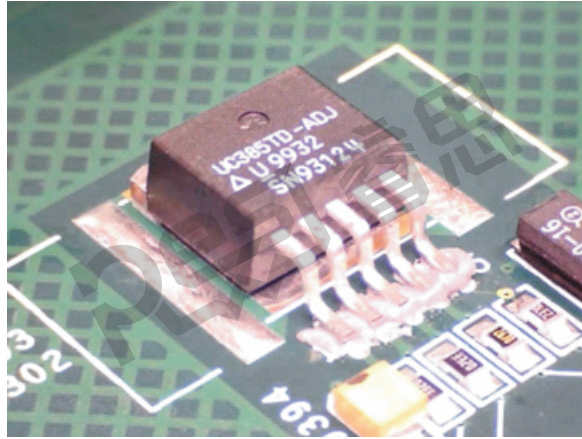


图 TO 263封装借助PCB板散热

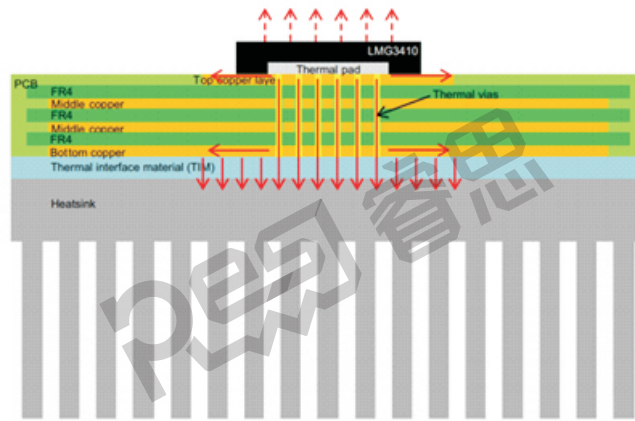


图 TO263封装器件通过PCB的通孔进行散热且PCB背板安装散热器



图 To263封装器件塑壳紧贴散热片进行散热

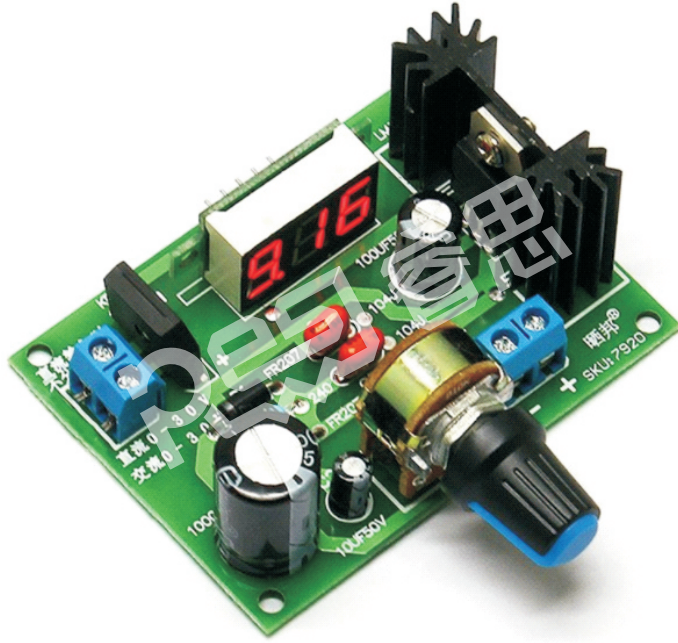


图 插件式TO220封装器件紧贴散热器进行散热

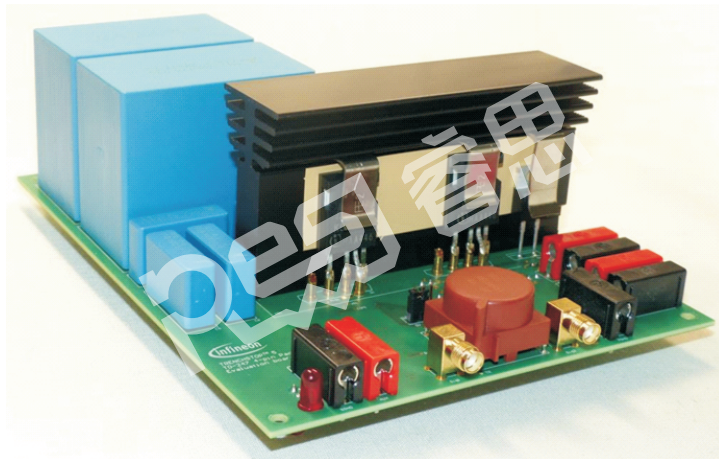


图 To247器件散热器安装

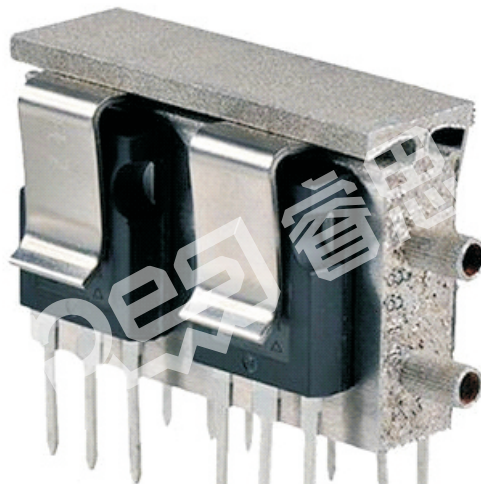


图 To247器件安装于水冷散热器上