

开关电源的热分析与计算

深圳电源技术研讨会

2011年10月

邹超洋

内容提要

- 开关电源热分析与计算的意义
- 热设计的目标
- 热路与温度的计算
- 散热方式分析与选择
- 散热设计的一般原则与步骤
- 热设计仿真介绍
- 总结

开关电源热分析与计算的意义

- 高效率，高集成度，高功率密度是电源发展的重要方向，然而对于电源设计人员而言，功率器件跟整个电源系统的热设计，依然是非常有挑战性的工作。

如：一台输出700W的全砖模块电源，即使转换效率高达95%，然而依然有近37W的发热量需要处理，如果不仔细分析计算，将会影响整个系统的MTBF与可靠性，严重时甚至可能烧毁功率器件。

- 高温对电源的影响：

绝缘性能退化；元器件损坏；材料的热老化；低熔点焊缝开裂、焊点脱落；器件之间的机械应力增大；

- 对开关电源的热分析与计算的积极意义：

能精确计算元器件的温升，为电源寿命计算提供依据

通过对系统的整体温升分析与计算，为器件的选型与降额设计提供依据

通过对元器件热分析与计算，为散热方式与散热器件的选择提供依据

能有效控制整体温升，降低元器件的早期失效率，大大提升可靠性

热设计的目标

- **确保任何的元器件不超过它的最大工作节温**

也就是说如何的控制元器件的发热量，如果元器件的发热量得不到有效控制，那么元器件将在几分钟甚至更短的时间里失效。

一般而言，温度升高电阻阻值降低；高温会降低电容器的使用寿命；高温会使变压器、扼流圈绝缘材料的性能下降；晶体三极管的电流放大倍数加大；MOSFET的漏源导通电阻增大。

方法：

- a、优选控制方式：软开关技术 (QR, LLC, 有源钳位), 移相控制技术, 同步整流
- b、选用低功耗的器件：CoolMOS, SiC diode, 高磁导率的磁性材料等
- c、根据应用的场合，做好元器件的降额设计

结温的推荐值：

根据标准，任何情况下器件的结温不要超出以下值：

民用等级： $T_{jmax} \leq 150^{\circ}\text{C}$

工业等级： $T_{jmax} \leq 135^{\circ}\text{C}$

军用等级： $T_{jmax} \leq 125^{\circ}\text{C}$

航天等级： $T_{jmax} \leq 105^{\circ}\text{C}$

热设计的目标

- 在给定有限的空间和重量条件下，尽可能保持元器件良好的散热，使其在所处的工作环境条件下，不超过标准及规范所规定的最高温度。

这个目标就是提升系统的长期寿命跟可靠性。

有统计资料表明，电子元器件温度每升高2℃，可靠性下降10%元器件温升为50℃时的寿命只有温升为25℃时的1/6。而温升每超过10℃，电解电容的寿命就要下降一半。

方法：

- a、优化PCB上元器件的布局，Layout
- b、根据系统要求，选用合适的散热方式：传导，辐射，对流
- c、选用更好的散热器件加强散热：涂硅脂，导热硅胶垫，散热片氧化发黑

温升的推荐值：

任何情况下，器件与整个电源内部环境以及外壳的温升不要超出60℃

即

$$\Delta T \leq 60^{\circ}\text{C}$$

热路与温度的计算

- 热路实际上是欧姆定律的一个变形，可以与电路等效，在进行热路的分析与计算式，可以参照电路，建立热路模型进行计算

Thermal Unit Parameter	Units	Electrical Analogue	Units
Time t	s	Time t	s
Temperature difference T_d	°C	Potential difference P_d	V
Thermal resistance* R_θ	°C/W	Resistance R	Ω
Thermal conductivity* K	W/°C	Electrical Conductivity	S
Heat energy P_q	J	Electric energy P	J
Heat flow Q	J/s (W)	Current I	A
Heat capacity* C_h	J/°C	Capacitance C	F

热路与温度的计算

几个概念：

热阻：

电子器件耗散的热流在传输过程中(通过一定的介质)所遇到的阻力，是反映阻止热量传递的能力的综合参量。

用 R_{θ} 表示，单位是 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ；其特性跟电阻类似，与介质材料的热导率，体积，密度，结构，表面积大小，颜色，几何尺寸与冷却条件等因素有关

在热平衡之前，热阻是时间的函数(热抗)，但热稳定之后，热阻跟时间无关

$$R_{\theta} = \Delta T / P_D$$

其中 R_{θ} 是介质之间的热阻
 ΔT 是介质之间的温度差
 P_D 是耗散的功率

热路与温度的计算

Thermal Resistances of Common Thru-hole Power Packages

Package	$R_{\theta ja}$		$R_{\theta jc}$	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
TO-3	*	30.0	0.7	1.56
TO-3P	*	30.0	0.67	1.00
TO-218	*	30.0	0.7	1.00
TO-218FP	*	30.0	2.0	3.20
TO-220	*	62.5	1.25	4.10
TO-225	*	62.5	3.12	10.0
TO-247	*	30.0	0.67	1.00
DPACK	71.0	100.0	6.25	8.33

- 普通穿孔插件型封装器件的典型热阻

热路与温度的计算

Typical Surface Mount Package Thermal Resistances

Package	$R_{\theta ja}$	$R_{\theta jc}$
SOD123	340	150
SOT23	556	75
SOT223	159	7.5
SO-8	63	21
SMB		13
SMC		11
DPAK	80	6
D2PAK	50	2

- 表面贴片型封装器件的典型热阻

热路与温度的计算

热流：也称为热流密度或热流量，指两种介质由于温度的差异而形成的热量传递。

用 Q 表示，单位是 J/s (W)，其特性类似于电流，总是从温度高的介质传递到温度低的介质，其大小正比于热阻

即
$$Q \propto (\Delta T/R_{\theta})$$

注：固态散热器的热流是线性，而液态与气态散热的热流是非线性的

热容量：是指一定质量的某种物质升高一定温度所需的热量，用 C 表示，单位为 J/K ，跟物质本身的比热容有关

比热容
$$C_T = \Delta E / (m \Delta T)$$

ΔE 为吸收的热量； m 是物体的质量； ΔT 是吸热(放热)后温度所上升(下降)的值

热容量
$$C = C_T * m = \Delta E / \Delta T$$

几种材料的比热容

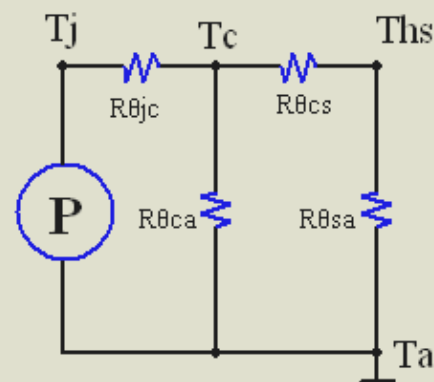
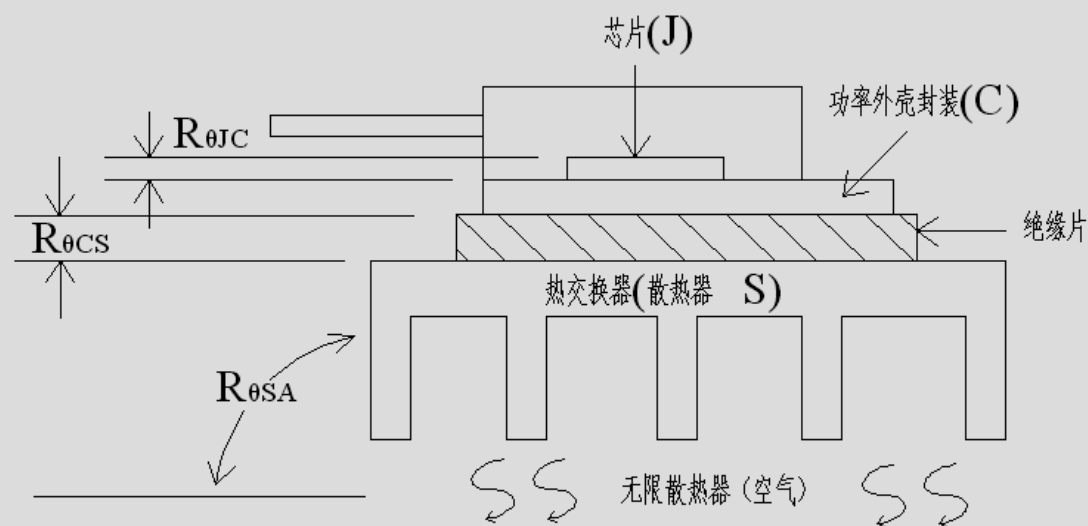
材 料	钢	铁	铝	铜	镍	银	锡
比热容 $cal/(g \cdot K^{①})$	0.093	0.105	0.213	0.06	0.106	0.056	0.054

① K 为绝对温度。

$1cal=4.18J$

热路与温度的计算

功率管与等效热电路模型



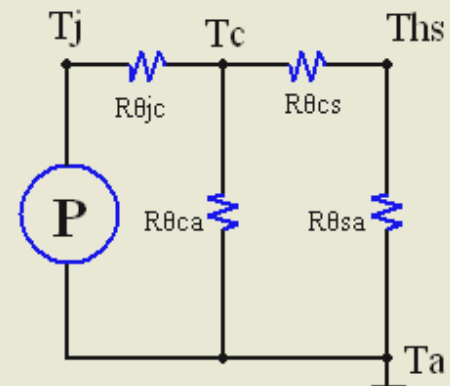
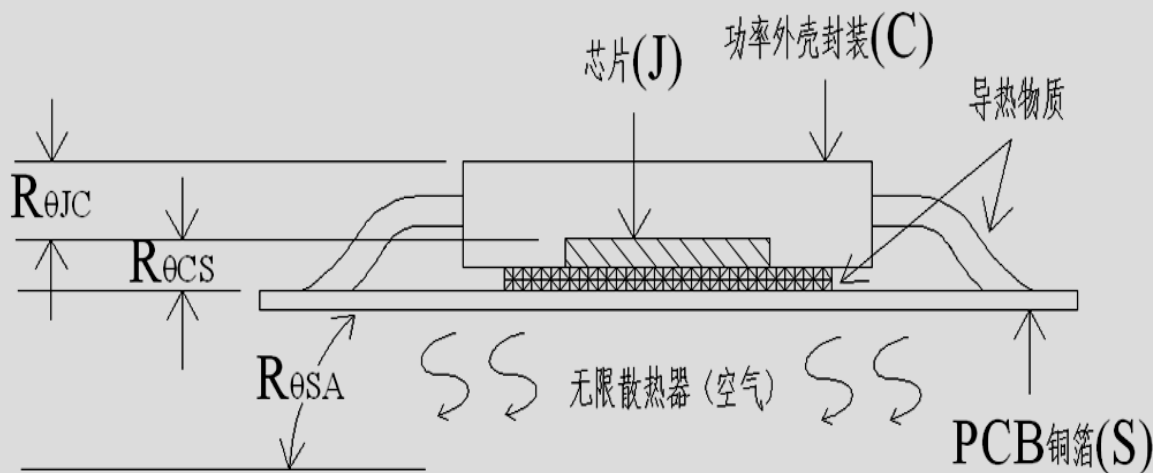
散热器上功率管的热电路

因为 $R_{\theta ca}$ 的值很大，对整个热电路的分析影响很小，故可以忽略

$$R_{\theta ja} \approx R_{\theta jc} + R_{\theta cs} + R_{\theta sa}$$

热路与温度的计算

贴片IC与等效热电路模型



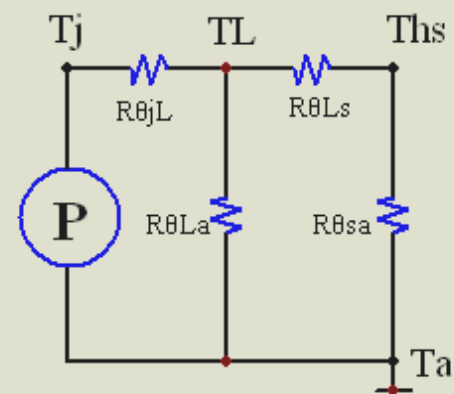
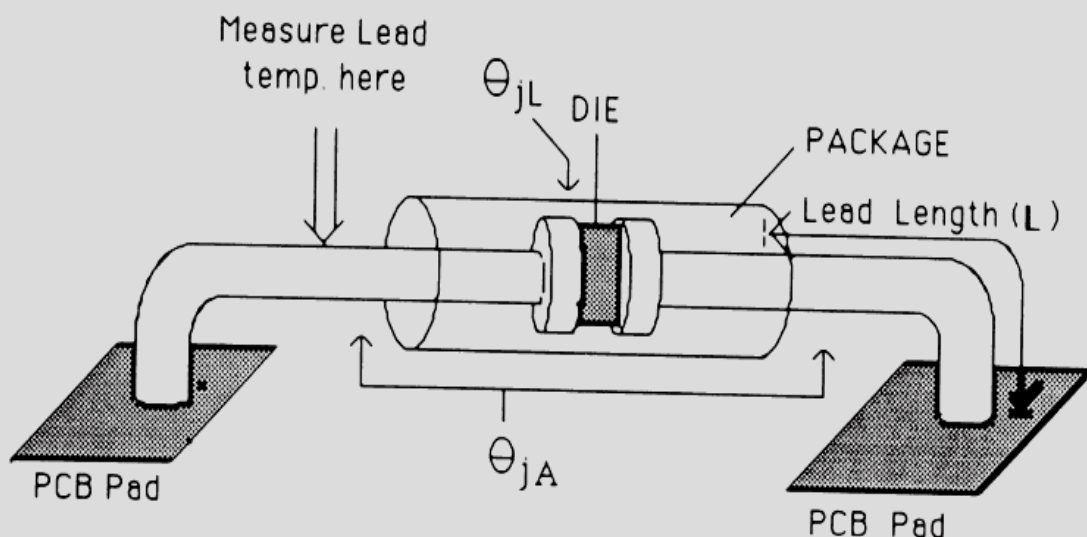
PCB上功率IC的热电路

- 因为 $R_{\theta ca}$ 的值很大，对整个热电路的分析影响很小，故可以忽略

$$R_{\theta ja} \approx R_{\theta jc} + R_{\theta cs} + R_{\theta sa}$$

热路与温度的计算

径向引线二极管与等效热电路模型



轴向引线二极管热电路

因为 $R_{\theta La}$ 的值很大，对整个热电路的分析影响很小，故可以忽略

$$R_{\theta ja} \approx R_{\theta jL} + R_{\theta Ls} + R_{\theta sa}$$

热路与温度的计算

- 结温的计算:

从以上几个热电路可以看出，结温等于热路中温升之和再加上环境温度。

即
$$T_{jmax} = P_D * (R_{\theta jc} + R_{\theta cs} + R_{\theta sa}) + T_a$$

例：某大功率工业电源的PFC电路，经计算IGBT的损耗为15W，升压二极管损耗为17W，两管同时装在一个散热器上；IGBT芯片到外壳的热阻为0.85℃/W，升压二极管到外壳的热阻为1.9℃/W，绝缘矽胶片与散热膏的总热阻为0.7℃/W，散热器的热阻为1.3℃/W；环境温度为60℃，求IGBT与二极管芯片的结温。

解：根据题意可以画出等效热电路（略）

对于IGBT, 有
$$\begin{aligned} T_{jmax1} &= (15+17) * 1.3 + (0.85+0.7) * 15 + 60 \\ &= 41.6 + 23.25 + 60 \\ &= 124.85 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

对于Diode, 有
$$\begin{aligned} T_{jmax2} &= (15+17) * 1.3 + (1.9+0.7) * 17 + 60 \\ &= 41.6 + 44.2 + 60 \\ &= 145.8 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

热路与温度的计算

- 散热片的计算：

a:散热片的尺寸：可以求出散热片的热阻，再根据厂商提供的散热片参数选择合适的散热片。

即
$$R_{\theta sa} = (T_{jmax} - T_a) / P_D - (R_{\theta jc} + R_{\theta cs})$$

例：某军工电源，现经计算主功率MOSFET IRFP460的总损耗为7.6W，装在散热器上自然冷却；经查手册， $R_{\theta jc}$ 为0.45℃/W， $R_{\theta cs}$ 为0.24℃/W，绝缘矽胶片与散热膏的总热阻为0.7℃/W，当环境温度为60℃时，要求所有器件的结温不能超过125℃，求散热片的尺寸。

解：根据题意可以画出等效热电路（略）

$$\begin{aligned} \text{对于MOSFET, 有 } R_{\theta sa} &= (T_{jmax} - T_a) / P_D - (R_{\theta jc} + R_{\theta cs}) \\ &= (125 - 60) / 7.6 - (0.45 + 0.24 + 0.7) \\ &= 7.16 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W} \end{aligned}$$

然后参照散热片厂家的数据，结合电源结构要求寻找合适的散热器

热路与温度的计算

b、散热器温度与耗散功率的计算

根据热电路可以得出散热器温度的计算公式

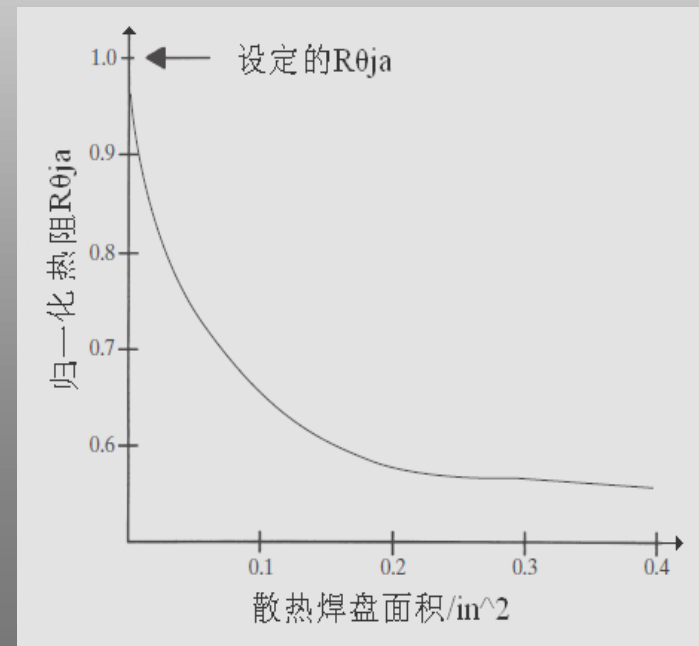
$$T_{hs} = P_D * R_{\theta sa} + T_a$$

同样可以得出耗散功率的计算公式

$$P_D = (T_{hs} - T_a) / R_{\theta sa}$$

● 焊盘大小对散热的影响：

如右图是PCB上铜箔厚度为2oz(约70um 56.7g)焊盘面积与热阻的对应关系，由图可以看出，当散热焊盘面积大于0.2in²时，热阻对应约0.5°C/W，即使再继续加大焊盘面积，但热阻基本不变，也就是说对散热不再有帮助，所以说散热焊盘的面积也不越大越好。



散热方式分析与选择

- 开关电源中的发热量较大的元件

功率开关管：开通损耗，导通损耗，关断损耗

整流二极管：正向导通损耗，反向恢复损耗

变压器、电感：铁损，铜损

电容，功率电阻等无源元件：欧姆热损耗

- 散热的常用方式与器件

常用的方式：热传导，热辐射，热对流，蒸散发热

散热器件：

PCB铜箔，散热器（铜，铝，铁），风扇冷却，水冷，油冷，半导体制冷，热管

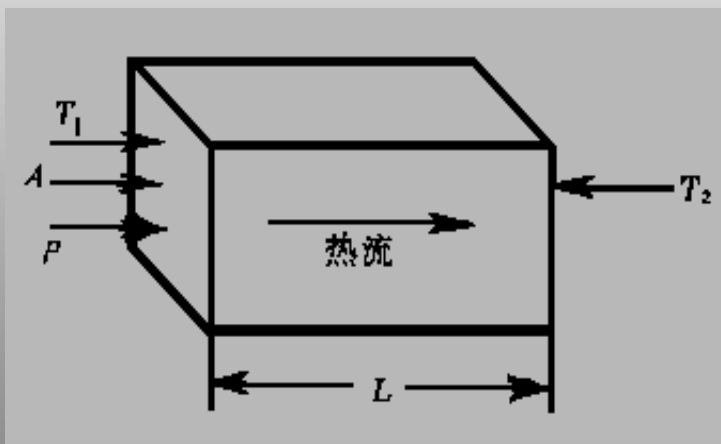
散热方式分析与选择

● 传导散热：

具有温度差异的两个直接接触的物体或物体内部个部分之间发生的热传递。
本质是分子动能的相互传递。

$$P = \frac{KA}{L}(T_1 - T_2)$$

- 其中： P：传递的热流（功率）(W)
A：与热传输方向垂直的单元端面积(cm²)
L：热传输单元的长度(cm)
(T₁-T₂)：热传输单元两边的温度差(°C)
K：材料的导热率，量纲为W/(cm²·°C)



材料	空气	铝	氧化铝	氧化铍	铜	环氧树脂	铁	金	云母	硅橡胶
K[W/(cm ² ·°C)]	2.4×10 ⁻⁴	2.25	0.2	2.08	4.01	3×10 ⁻³	0.71	3.39	4.3×10 ⁻³	2.6×10 ⁻³

散热方式分析与选择

- **辐射散热：**

借助于电磁波(红外线)的形式将热量传递出去，不需要任何的介质，传播方向为直线，可以在真空中传播。例如太阳的热量通过热辐射到达地球。

根据史蒂芬·玻尔兹曼定律

$$P = \frac{eA}{1793 \times 10^8} (T_s^4 - T_a^4)$$

P: 传递的热流（功率）(W)

A: 辐射表面的面积 (cm²)

e: 表面发射率，与辐射物体的表面粗糙度以及颜色有关。

T_s: 辐射表面温度 (°C)

T_a: 环境温度 (°C)

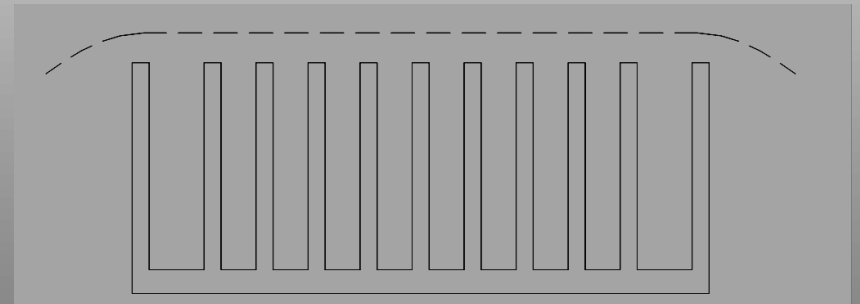
常用材料不同表面光洁度和颜色作用下的典型发射率

材 料	表面光洁度和颜色	典型的发射率e
真实黑体	真实黑体	1.0
铝	抛光的	0.04
铝	抛光的(任何颜色)	0.9
铝	粗糙的	0.06
铝	暗淡无光的(任何颜色)	0.8
钢	包金箔明亮的	0.03
钢	光洁面的	0.5
钢	着了色的(任何颜色)	0.8

散热方式分析与选择

● 辐射换热的考虑原则

- 如果物体表面的温度低于 50°C ，可忽略颜色对辐射换热的影响。因为此时辐射波长相当长，处于不可见的红外区。而在红外区，一个良好的发射体也是一个良好的吸收体，发射率和吸收率与物体表面的颜色无关。
- 对于强迫风冷，由于散热表面的平均温度较低，一般可忽略辐射换热的贡献。
- 如果物体表面的温度低于 50°C ，可不考虑辐射换热的影响。
- 好的热辐射器，同样是好的热吸收器，所以应该避免太阳光的直射。
- 辐射换热面积计算时，如表面积不规则，应采用投影面积。即沿表面各部分绷紧绳子求得的就是这一投影面积，如图所示。辐射传热要求辐射表面必须彼此可见。



散热方式分析与选择

- **对流换热：**

对流换热是指流体与其相接触的流体或固体表面，而且具有不同温度时，所发生的热量转移过程。

对流换热的计算一般采用牛顿所提出的公式：

$$\Phi = \alpha A (T_1 - T_2) \quad (\text{W})$$

其中

A为与流体接触的壁面面积 (m²)

α 为对流换热系数

T₁为壁面温度 (K)

T₂为流体平均温度 (K)

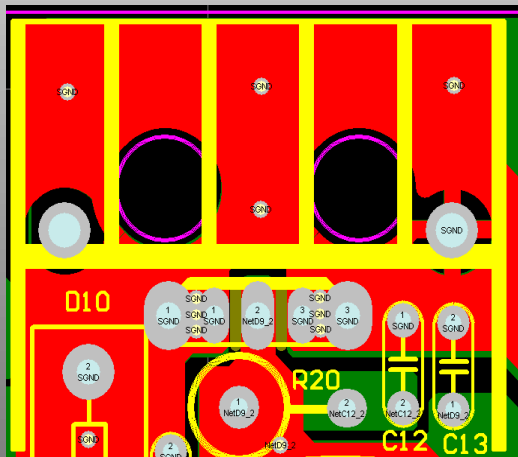
从上面的公式可以看出，在热对流传递中，热量传递的数量跟热对流系数、有效接触面积以及温度差成正比，热对流系数越大，有效接触面积越大，温差越高，所能带走的热量就越多。

根据流体产生流动的原因不同，分为自然对流与强迫对流。

散热方式分析与选择

● 自然对流：

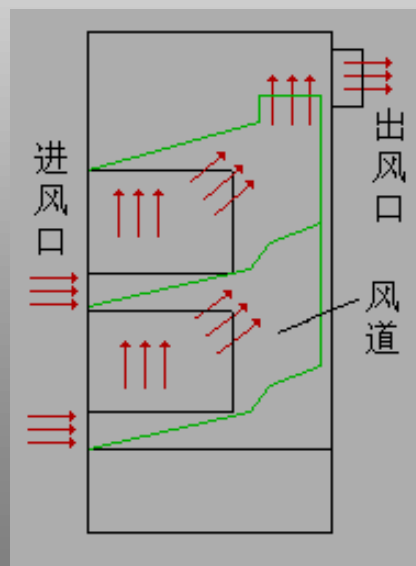
热量通过热传导的方式传给与它紧靠在一起的流体层，这层流体受热后，体积膨胀，密度变小，向上流动，周围的密度大的流体流过来填充，填充过来的流体吸热膨胀向上，如此循环，不断从发热元器件表面带走热量



小功率电源自然对流散热

风道设计技巧：

- a: 如果采用直齿结构散热片，则散热片必须垂直放置。
- b: 小型机壳电源一般是紊流散热，可以在散热底座下开小孔，以便在一定区域内增强散热效果。
- c: 大型机柜电源，不能有漏风口，要给风道留有一定的空间。
- d: 在散热器前端加入扰流片，引入紊流可显著的提高散热效果



大功率机柜电源风道

散热方式分析与选择

强迫对流：

热源将热量以热传导方式传至导热介质，再由介质传至散热片基部，由基部将热量传至散热片肋片并通过风扇与空气分子进行受迫对流，将热量散发到空气中。

风道的设计原则：

风道尽可能短，缩短风道长度可以降低风道的阻力；

尽可能采用直线形风道设计，局部阻力小；

风道的截面尺寸最好和风扇的出口一致，以避免因变换截面而增加阻力损失，截面形状可为圆形，也可以是正方形或长方形；

进风口的结构设计尽量使其对气流的阻力最小，还要考虑防尘，需综合考虑二者的影响。

如果发热分布均匀，元器件的间距应均匀，以使风均匀流过每一个发热源。

如果发热分布不均匀，在发热量大的区域元器件应稀疏排列，而发热量小的区域元器件布局应稍密些，或加导流条，以使风能有效的流到关键发热器件。

散热方式分析与选择

● 海拔高度对自然对流热设计的影响及解决对策

随着海拔高度的增加，空气的密度逐渐减小，空气上升的能力也就减少，自然对流换热的能力减弱。自然对流换热能力的变化最终体现在对流换热系数的变化上，根据美国斯坦伯格的经验公式，如果忽略空气温度的变化，可按下式计算海拔高度对自然对流的影响强弱。

$$hc_{(\text{高空})} = hc_{(\text{海平面})} (\rho_{\text{高空}} / \rho_{\text{海平面}})^{0.5} = hc_{(\text{海平面})} (p_{\text{高空}} / p_{\text{海平面}})^{0.5}$$

$hc_{(\text{高空})}, hc_{(\text{海平面})}$ - 分别为高空及海平面的自然对流换热系数，W/m.k

$\rho_{\text{高空}}, \rho_{\text{海平面}}$ - 分别为高空及海平面的空气密度，Kg/m³

$p_{\text{高空}}, p_{\text{海平面}}$ - 分别为高空及海平面的空气压力，帕斯卡

解决措施：

预先计算出海拔高度对自然对流换热系数的影响大小，通过增加相应的对流换热面积来弥补高空换热能力的减弱，按下式计算：

$$F_{\text{对流}(\text{高空})} = F_{\text{对流}(\text{海平面})} / (\rho_{\text{高空}} / \rho_{\text{海平面}})^{0.5}$$

散热方式分析与选择

● 海拔高度对强迫对流热设计的影响及解决对策

由于随着海拔高度的增加，空气密度减小，质量流速减小，空气分子间碰撞的概率降低，对流换热能力减弱。同样，强迫对流换热随海拔高度的变化最终体现在对流换热系数的变化上，美国军用标准规定，低于5000米以下的高空，如果忽略空气温度的变化，可按下列式计算海拔高度对强迫风冷换热影响的强弱。

$$\text{层流: } hc_{(\text{高空})} = hc_{(\text{海平面})} (\rho_{\text{高空}} / \rho_{\text{海平面}})^{0.5}$$

$$\text{湍流: } hc_{(\text{高空})} = hc_{(\text{海平面})} (\rho_{\text{高空}} / \rho_{\text{海平面}})^{0.8}$$

$hc_{(\text{高空})}$, $hc_{(\text{海平面})}$ - 分别为高空及海平面的强迫风冷对流换热系数，W/m.k

$\rho_{\text{高空}}$, $\rho_{\text{海平面}}$ - 分别为高空及海平面的空气压力，帕斯卡

解决措施:

增大面积法

预先计算出海拔高度对自然对流换热系数的影响大小，通过增加相应的对流换热面积来弥补高空换热能力的减弱，按下式计算：

$$F_{\text{对流}(\text{高空})} = F_{\text{对流}(\text{海平面})} / (\rho_{\text{高空}} / \rho_{\text{海平面}})^{0.5}$$

提高风扇的转速

$$\text{RPM}_2 / \text{RPM}_1 = \rho_{\text{海平面}} / \rho_{\text{高空}}$$

散热方式分析与选择

- 散热器的表面积计算与选择

自然对流散热器的表面积，由下式来确定：

$$S=0.86W/(\Delta T*\alpha) \quad (m^2)$$

ΔT ：散热器温度与周围环境温度(ΔT)的差 ($^{\circ}C$)

α ：热传导系数，是由空气的物理性质及空气流速决定，由下式决定。

$$\alpha = nu*\lambda / L$$

λ ：热导率 ($kcal/m^2h$) 空气物理性质

L ：散热器高度 (m)

nu ：空气流速系数。由下式决定：

$$nu=0.664*\sqrt{V_1/V_2}*^3\sqrt{pr}$$

V_1 ——动黏性系数，是空气的物理性质；

V_2 ——散热器表面的空气流速 (m/sec)；

pr 系数见下表：

散热方式分析与选择

温度 t(°C)	动粘性系数(m ² /sec)	热电导率 λ (Kcal/mh°C)	Pr
0	0.138	0.0207	0.72
20	0.156	0.0221	0.71
40	0.175	0.0234	0.71
60	0.196	0.0247	0.71
80	0.217	0.0260	0.70
100	0.230	0.0272	0.70
120	0.262	0.0285	0.70

- **直齿间隙对散热片自然对流散热的影响**

描述流体与固体间对流传热的基本方程式为：

$$Q=hA\Delta T$$

可以看出，通过提高传热系数h，增大传热面积来强化流体与散热片表面间的对流传热效果。当基面宽度W给定时，假定传热温差 ΔT ，传热系数h不变，这样散热量Q的提高就取决于换热面积A的大小。增加散热片数量就可以增加换热面积，有利于散热。但散热片数目的增多，减小了散热片间的距离S，传热系数h也随之降低。

散热方式分析与选择

高度、长度对散热片自然对流散热的影响：

提高散热片的高度 H 或增加长度可以增加换热面积 A ，从而达到强化传热的目的。但增加高度会使散热片顶部的局部传热系数降低，增加长度会使散热边缘传热系数降低，导致平均传热系数的降低。

此外，高度也影响着从散热片基面到端部的温度降。高度越大，温度降也越大，同理长度会影响到散热片中部到边缘的温度降，导致散热片表面与周围大气的平均温度差就随之降低，不利于散热。

实际上，散热片的高度还将受到整机外型尺寸的限制。

厚度对散热片自然对流散热的影响：

散热片越薄，则单位长度上可装载的散热片的数量就越多，从而增大散热面积，强化散热片的散热；随着散热片厚度的增大，散热片表面与周围大气的平均换热温度差 ΔT 就随之降低，这对于散热是不利的。

在实际的应用中，厚度 δ 的大小往往受工艺水平高低所限。一般铸造散热片的厚度 δ 不小于2 mm，机加工散热片的厚度 δ 不小于1 mm。

体积对散热片自然对流散热的影响：

散热体积增大，在合理的直齿间距条件下，可以增大散热的面积，强化散热片的散热效果；随着散热片体积的增大，相应的高度、长度、厚度，这对于散热是有利的。但体积会受到外型结构尺寸的限制，而且增大体积需要增加成本。

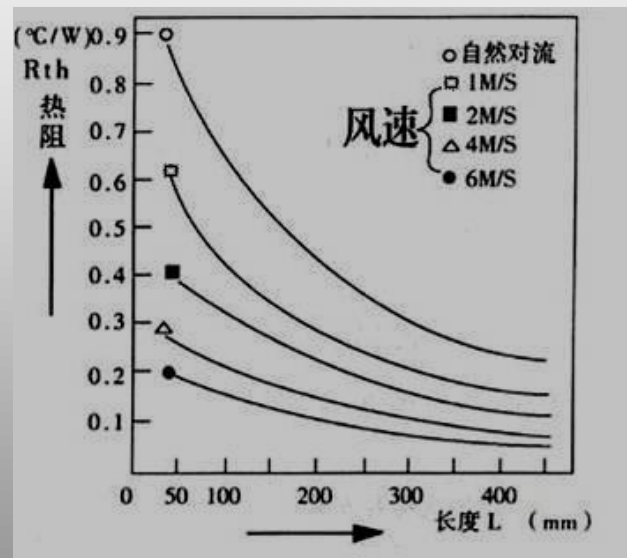
散热方式分析与选择

❖ 散热器冷却方式的判据

- 对通风条件较好的场合：散热器表面的热流密度小于 $0.039\text{W}/\text{cm}^2$ ，可采用自然风冷。大于 $0.039\text{W}/\text{cm}^2$ 而小于 $0.078\text{W}/\text{cm}^2$ ，必须采用强迫风冷。
- 对通风条件较恶劣的场合：散热器表面的热流密度小于 $0.024\text{W}/\text{cm}^2$ ，可采用自然风冷。大于 $0.024\text{W}/\text{cm}^2$ 而小于 $0.078\text{W}/\text{cm}^2$ ，必须采用强迫风冷。

❖ 根据散热器冷却方式选择散热器：

- 按照散热器的工作条件(自然冷却或强迫风冷)，根据 R_{sa} 或 ΔT_{sa} 和 P_c 选择散热器，查所选散热器的散热曲线(R_{sa} 曲线或 ΔT_{sa} 线)，曲线上查出的值小于计算值时，就找到了合适的热阻散热器及其对应的风速，根据风速流经散热器截面核算流量，及根据散热器流阻曲线上风速对应的阻力压降，选择满足流量和压力工作点的风扇。



散热方式分析与选择

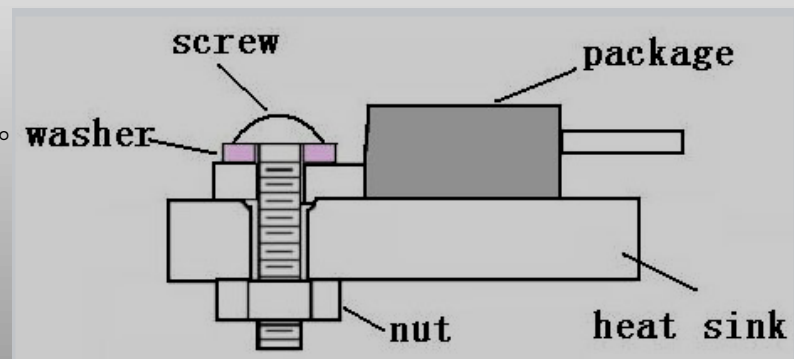
散热器选择注意事项：

- ①一般来说，能满足散热要求的散热器不止一种，应该根据器件与散热器的安装尺寸和为散热器余留的空间尺寸决定散热器的类型：单肋，双肋或异型。对于自冷散热器，如果条件许可的话，采用双肋散热器，散热效率比较高。
- ②尽可能单个器件或模块配单独的散热器，这样散热效率高，总用铝量少，而且可以降低成本。
- ③尽可能采用长度和宽度相近的散热器，这样热效率高，避免采用“狭长”的散热器，即肋片的长向比宽向大很多；这样的散热器散热效率低下。
- ④当采用肋片密度很大的密齿类散热器时，必须强制风冷，而且肋片的方向要与风道一致，否则散热效果极差，散热效率极低。这类散热器在有效风冷条件下，有很高的散热效率。
- ⑤整机设计中器件散热器的选择，应根据器件在整机中工作的实际冷却条件(冷却介质温度和流量)和稳、瞬态负载情况，并适当考虑安全系数应有的余量，按稳态不超过最高工作结温并留有一定裕量来选取。

散热方式分析与选择

散热器的紧固与安装：

- ① 螺丝紧固散热片：这种方法由于安装或拆卸快速、简便，所以被广泛使用。在该安装方法中，确定合适的紧固螺丝扭矩是非常重要的。如扭矩小了，热接触电阻就会因接触压力不足造成热接触不良而增加。当扭矩大了，则会产生变形，造成热接触不良和增大热阻。



- ② 散热器要跟功率器件保持好良好的绝缘，一般使用云母片，矽胶片，绝缘橡胶等，在要求较高的场合可以使用软性导热硅胶垫
- ③ 散热器表面不会是理想的平滑面，所以跟功率器件的接触面会存在一些空隙，空隙中填充的是空气，而空气的热阻较大，所以需要在接触面涂覆一层导热硅脂，以减少外壳到散热片的热阻。硅脂层越薄越好。
- ④ 功率器件尽量安装在散热器的中部，这样可以让散热片均匀散热

散热方式分析与选择

● 风扇的计算与选择:

计算流经散热器阻力压降:

$$\Delta P = \frac{f * L * \rho V^2}{2 * D}$$

式中

ΔP —沿程压力损失, Pa;

V —空气平均流速, m/s;

f —沿程阻力系数;

ρ —空气密度, kg/m³;

L —沿程长度, m;

D —当量直径, m。

($D=4$ 散热器截面面积/截面周长)

计算流经散热器流量

$$Q = A * V$$

式中 Q —流量

A —风量流经散热器截面积

V —风量流经散热器风速

风量和温度的关系

$$T = T_a + 1.76P / Q$$

式中 T_a —环境温度, °C

P —整机功率损耗, W

Q —风扇的风量, CFM

T —机箱内的温度, °C

散热方式分析与选择

风扇选择：

选择风扇时，也要注意把握以下几个原则：

- ①在功率允许的情况下，尽可能选择风量较大的风扇，与风量有关的因素包括风扇的大小，转速等。

如右图，风扇的转速跟热阻成反比。

风速 (英尺/秒)	热阻 ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)
0	3.5
100	2.8
200	2.3
300	2.0
400	1.8

- ②风扇的送风形式对散热效果也有较大的影响，鼓风时产生的是紊流，风压大但容易受到阻力损失；抽风时产生的是层流，风压小但气流稳定。

理论上说，紊流的换热效率比层流大得多，但是气流的运动与散热片也有直接关系。在某些散热片设计中（比如过于紧密的鳍片），气流受散热片阻碍非常大，此时采用抽风可能会有更好的效果。因而在选用时要注意。

- ③风扇的噪音，寿命，外型结构是非常重要的指标，关系到整机设计的寿命与可靠性，故选择风扇时要根据实际的使用场合加以综合考虑。

散热方式分析与选择

④ 风扇的分类与特点:

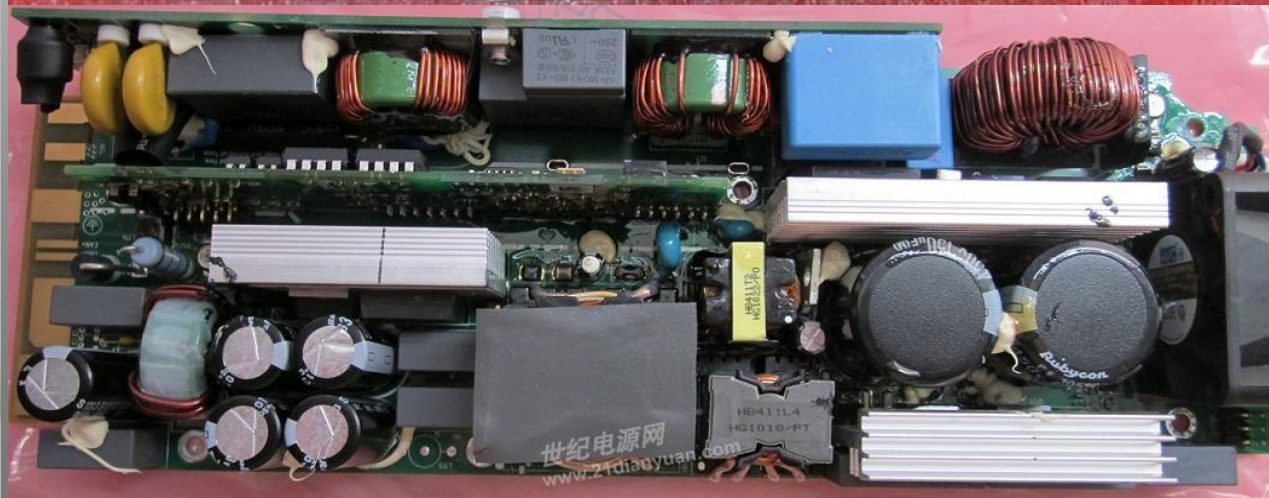
含油轴承、单滚珠轴承、双滚珠轴承、来福轴承、Hypro轴承、液压轴承、纳米陶瓷轴承、磁悬浮轴承
其特性如右表所示:

⑤ 风扇的安装也要注意

- a: 进出风口的位置
- b: 风道的设计
- c: 风扇要跟散热器保持一定距离, 理论为一个风扇Hub的直径。
- d: 一定要将风扇固定好, 且要加装隔离栅, 防止外部较大颗粒的异物进入并将风扇堵转。

技术名称	结构特点	工艺要求	价格	噪音	寿命(单位:小时)	特殊需求适应能力		
						静音	暴力	长寿
含油轴承	利用润滑油填充、润滑	低	低	低	5000~8000	√	×	×
双滚珠轴承	以滚动摩擦替代滑动摩擦	较低	高	高	50000~100000	×	√	√
单滚珠轴承	双滚珠轴承的折衷产物	较高	一般	一般	40000 以上	×	√	√
液压轴承	增加储油槽与自动回油设计	较高	较高	低	50000 以上	√	√	√
来福轴承	增加逆向螺旋型号油槽	较低	较低	低	40000 以上	√	×	√
Hypro 轴承	增加储油槽, 强化轴承材料	较高	较低	低	50000 以上	√	*	√
磁悬浮轴承	利用磁悬浮原理减少摩擦, 配合其它轴承使用	高	很高	很低	50000 以上	√	**	√
纳米陶瓷轴承	轴承材料与润滑剂纳米技术	较低	较高	低	80000~100000	√	√	√

散热方式分析与选择



散热设计的一般原则与步骤

热设计的一般原则

- ① 从有利于散热的角度出发, 印制版最好是直立安装, 板与板之间的距离一般不应小于20mm
- ② 同一块印制板上的器件应尽可能按其发热量大小及散热程度分区排列, 发热量小或耐热性差的器件(如小信号晶体管、小规模集成电路、电解电容等)放在冷却气流的最上流(入口处), 发热量大或耐热性好的器件(如功率晶体管、大规模集成电路等)放在冷却气流最下游.
- ③ 在水平方向上, 大功率器件尽量靠近印制板边沿布置, 以便缩短传热路径; 在垂直方向上, 大功率器件尽量靠近印制板上部布置, 以便减少这些器件工作时对其它器件温度的影响.
- ④ 对温度比较敏感的器件最好安置在温度最低的区域(如设备的底部), 千万不要将它放在发热器件的正上方, 多个器件最好是在水平面上交错布局.
- ⑤ 设备内印制板的散热主要依靠空气流动, 所以在设计时要研究空气流动路径, 合理配置器件或印制电路板. 空气流动时总是趋向于阻力小的地方流动, 所以在印制电路板上配置器件时, 要避免在某个区域留有较大的空域. 整机中多块印制电路板的配置也应注意同样的问题.

散热设计的一般原则与步骤

热设计的实际步骤：

- ①分析电源电路的布局结构，确定主要发热单元；根据电路理论中的相关公式，求得各发热单元的理论损耗值。
- ②分析电源电路对应的热路，确定传热途径，绘出等效的热模型。根据热设计理论，计算各个元器件的热阻值；根据热路图建立热平衡方程式，分析温度场分布特性，解出各节点的温度值；根据热路模型与电气模型的对应关系，确立电气模型。
- ③建立该电路的3D热模型。利用专业热仿真软件(如Flotherm、ANSYS等)，根据流体力学和数值传热学原理，采用有限元体积法，对建立的模型进行数值计算；根据计算结果，得出最佳方案。
- ④分别对元件、线路、印制电路板和机箱进行热设计
- ⑤模型或样机试验分析。通过对模型或样机测试测量，检验理论计算与试验结果的偏差程度。⑥除了热设计，还应考虑可靠性、安全性、维修性及电磁兼容性的协同设计，满足相应的标准与要求。

热设计仿真介绍

- **仿真的意义**

- ①可以加快设计开发的周期
- ②可以降低设计与生产的费用
- ③可以减少产品调试的次数，为调试优化指明方向，减低失败的风险性
- ④可以大大的提高产品性能的可靠性

- **热设计仿真的作用**

- ①对元器件的温升做出优化计算，从而对器件的选型与降额设计提供数据支持
- ②对整个电源系统的各个发热点进行分析计算，对发热器件的布局，散热器件的选型，风道设计提供依据
- ③对采用的各种散热方式进行模拟的计算优化，最大限度的提高散热效率
- ④但软件只是工具，要得到精确的值需要精准的模型，还要丰富的经验与理论水平

- **热设计仿真软件介绍**

Flotherm、I-deas、Ice-pack占据大部分的市场份额，还有Tas—Harvard thermal、Cool it、Betasoft等软件

总 结

- 热设计的等效热电路计算，其本质就是功耗，温升，热阻三者的关系计算，可以用电路中的欧姆定理去理解。
- 几种散热方式各自的优缺点，根据热点路的计算结果选择主要的散热方式，选用合适的散热器件。
- 在实际的热设计中。热传输是一个非常复杂的过程，要进行非常精确的计算将是十分困难的，在实际工程应用中，误差能控制在5-10℃已经非常不容易了。
- 要想得到较精确的值，必须依靠科学的仿真技术跟实际测试相结合，建立精准的热电路模型，再进行复杂的计算。



The end

Thanks for your time!