

车载相控阵雷达阵面电源的热设计

王孝红 鲍承斌 沈 凯
浙江嘉科电子有限公司 浙江 嘉兴 314000

摘要: 车载相控阵雷达阵面供电电源一般采用开关电源,在转台设计方面由于体积重量受限,对开关电源的功率密度要求比较高。电源的热设计作为产品可靠性的重要一环,在这类应用中显得至关重要^[1]。本文基于车载平台给出了某型大功率电源的热设计方案、热仿真和样机温度摸底测试,提供了一个可靠性工程应用案例。

关键词: 开关电源;热设计;液冷板

1 引言

车载相控阵雷达阵面需要功率很大的直流电源,电压不高,但电流达到数百安培。在阵面上安装时,要求电源具有高功率密度、高可靠性。采用风冷冷却的电源明显不适合此类应用。一般选用液冷方式冷却,散热效率高。

2 电源基本原理

基于车载平台设计一款通用化的AC/DC电源,相关技术指标如下:

- a) 电源输入:三相交流输入,三相四线AC 380 (1±10%) V, 50Hz±1Hz;
- b) 输入特性:功率因数:PF ≥ 0.95 (满载);
- c) 电源输出:直流:28±1VDC,输出总电流 ≥ 330A;

- d) 电源效率: $\eta \geq 90\%$;
- e) 电压调整率: $S_V \leq 1\%$;
- f) 负载调整率: $SR \leq 2\%$ (负载10%~100%);
- g) 输出纹波及噪声: $V_{p-p} \leq 280\text{mV}$ (BW = 20MHz);
- h) 瞬态响应能力:输出电压瞬态响应,输出电流在负载10%~100%变化时(电流上升速率1.5A/μS,电流下降速率3A/μS),输出电压变化范围应能与功放匹配联试;
- i) 散热方式:采用液冷方式散热;

基本组成见图1。电源由滤波器、AC/DC变换器、DC/DC变换器、控制电路组成。其中只有AC/DC变换器、DC/DC变换器是发热组件,需要将其热量通过液冷冷却方式带出设备。采用盲插结构形式。

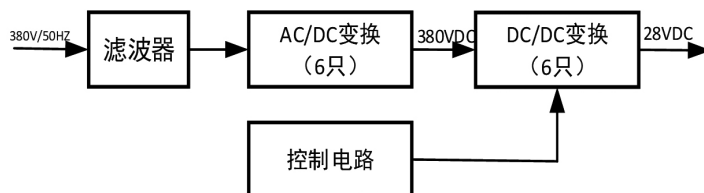


图1 电源组成框图

3 热设计方案

3.1 功能组件热分析

开关电源是利用现代电力电子技术,控制开关管开通和关断的时间比率,维持稳定输出电压的一种电源,开关电源的发热器件主要有高频隔离变压器、半导体及印制板上铜线。

本设计整体的散热方案是将开关电源按功能分解成基本发热单元:AC/DC变换器,2000W/只;DC/DC变换器,1700W/只;发热器件通过导热胶密封在金属壳体内形成功能组件,导热胶具有可压缩性,并且应力很小,可适应凹凸不平的元器件表面。功能组件再贴在冷板上进行散热,功能组件图如图2所示。

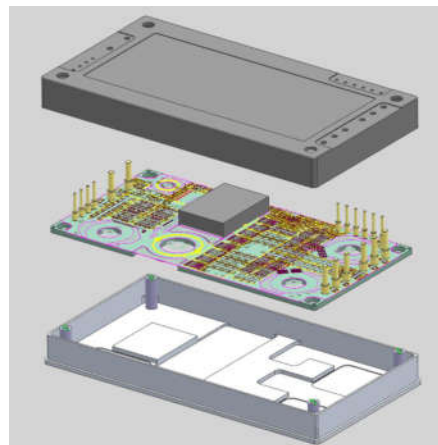


图2 功能组件示意图

热传导方向如图3所示，发热元器件管芯热量传导至液冷板上，等效热阻分别为R1，R2，R3。其中R1为热量从管芯到半导体封装外上的等效热阻；R2为半导体壳体

到功能组件壳体的等效热阻；R3为功能组件壳体到液冷板表面的等效热阻。



图3 热传导方向示意图

采用热电模拟法^[2]，这种方法是将功耗 ($P_{\max \text{ diss}}$) 模拟成电流，温差 ($T_b - T_a$) 模拟成电压，热阻 R_{th} 模拟成电阻，热导模拟成电导的方法。热阻模拟成R1、R2、R3的串联模型。

$$P_{\max \text{ diss}} = \frac{T_b - T_a}{R_{th}}$$

其中 T_b 为 140°C ， T_a 为 50°C ，分别计算每种发热器件的耗散功率。并得出功能组件的最大耗散功率为 120W 。

3.2 功能组件布局

本设计中主要包含2种发热功能组件，每种组件6只，每只最大耗热量为 120W ，分别分布在液冷板的两面。其中顶面的热负荷分布图如图4所示。

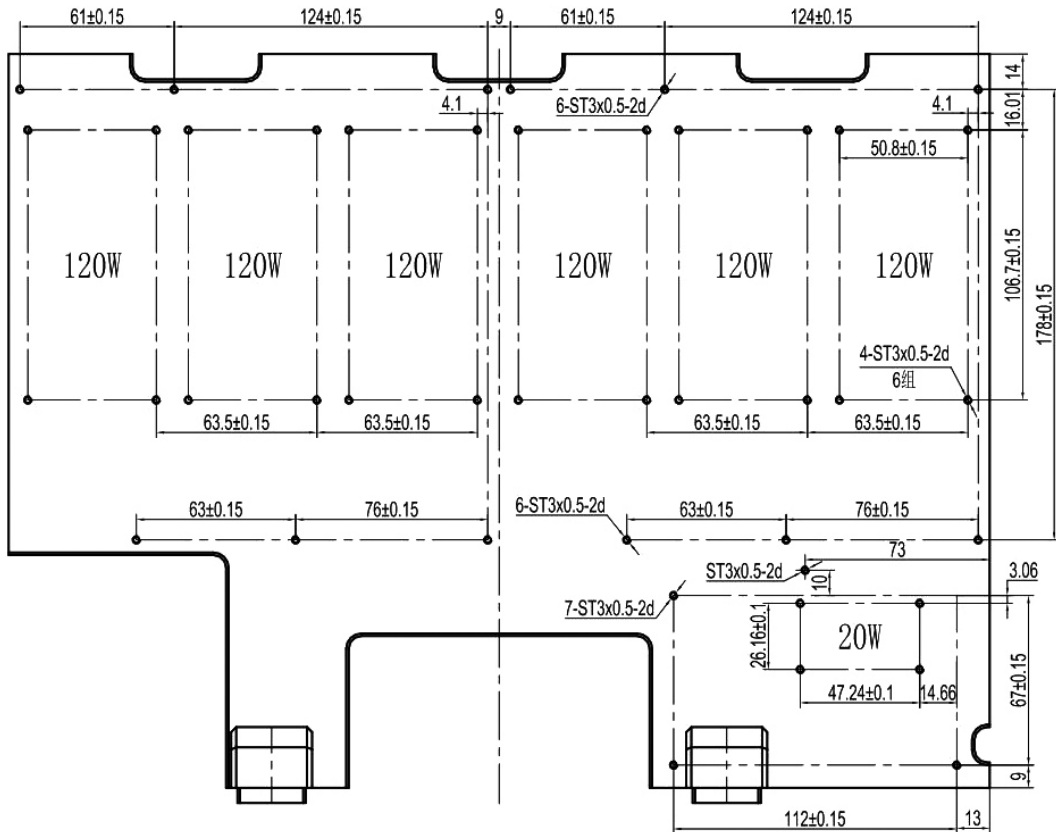


图4 液冷板热负荷分布情况

3.3 液冷板设计

液冷板主要是用于高功率、高热流密度等要求下采用的内部结构设计液体通道，通过液体循环流动为电子器件散热。可采用真空扩散焊、真空钎焊、搅动摩擦

焊、电子束焊等焊接方式成型材，也可采用预埋铜管等方式成型。

本设计采用摩擦焊。它是预先加工好流道，通过摩擦焊机在压力作用下，在恒定或递增压力以及扭矩的作

用下，利用焊接接触端面之间的相对运动在摩擦面及其附近区域产生摩擦热和塑性变形热，使其附近区域温度上升到接近但一般低于熔点的温度区间，材料的变形抗力降低、塑性提高、界面的氧化膜破碎，在顶端压力的作用下，伴随材料产生塑性变形及流动，通过界面的分子扩散和再结晶而实现焊接的固态焊接方法。搅拌摩擦焊液冷板优点：

- 1.可以实现一体化，能够统一材质，比如就用铝6063，导热性能较好，相对于埋铜管的可靠性更高；
- 2.对于水道设计较为复杂与精细的水冷板，采用搅拌摩擦焊工艺可以较好的实现；
- 3.更高强度。避免钎焊由于长时间高温，材质某些成分或挥发，以及退火变软；
- 4.更可控的流道形状，避免流道阻塞的可能。

4 热仿真

热仿真属于计算流体力学（CFD）的一个分支，这意味着使用数值软件来构建电源的数值模型，并使用数值性能和图像显示来评估电源的散热，热模拟可以被视为一种虚拟实验。通过输入一系列信息数据，无需制作实际产品，就可以计算出不同操作场景下产品的散热风险。因此，可以预先预测产品的散热方案是否合理，从而节省了研发时间和验证成本。当前，随着计算机性能的提高和仿真模型的不断改进，数值计算的准确性和效率逐渐提高。热仿真已成为热设计工作中最重要的辅助工具之一。

4.1 边界条件

热仿真的边界条件设置如下所示。

- 1.环境温度为50°C；
- 2.冷板的进液温度为35°C；
- 3.介质为65#冷却液，进口流量为4L/min；

4.材料的为Al6061，导热系数为168W/mk。

4.2 温度仿真计算

设置好热参数和边界条件，用FloEFD进行仿真计算，通过迭代收敛，得到以下结果。

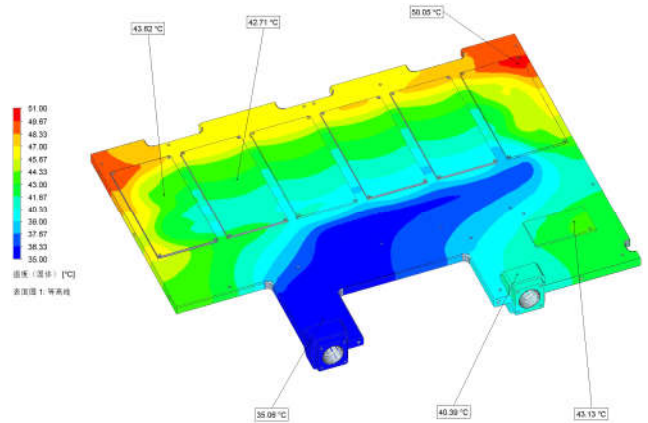


图5 冷板正面温度云图

液冷板主要发热器件的温度汇总如表1所示。

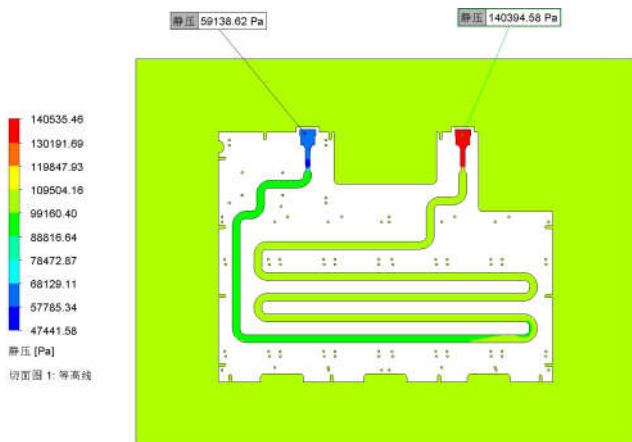
表1 主要发热器件温度

序号	发热位置	热耗	热源温度
1	组件1	120W	42°C~50°C
2	组件2	20W	43.1°C
3	进口处	-	35°C
4	出口处	-	40.4°C

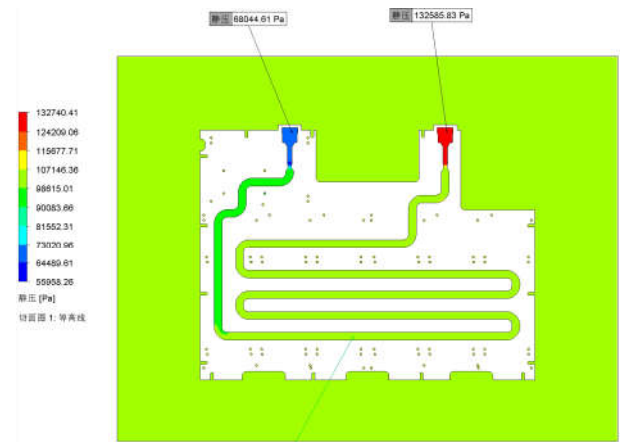
通过仿真分析可以看到，组件1处的仿真温度最高，为42°C~50°C之间，平均温升为10°C，最高温升为15°C。进出口的温升约为5.4°C。冷板的温升满足设计要求。

4.3 流阻仿真计算

对不同流量下的冷板进口压力进行仿真计算，得到以下仿真云图，如下图6所示。



5L/min



4L/min

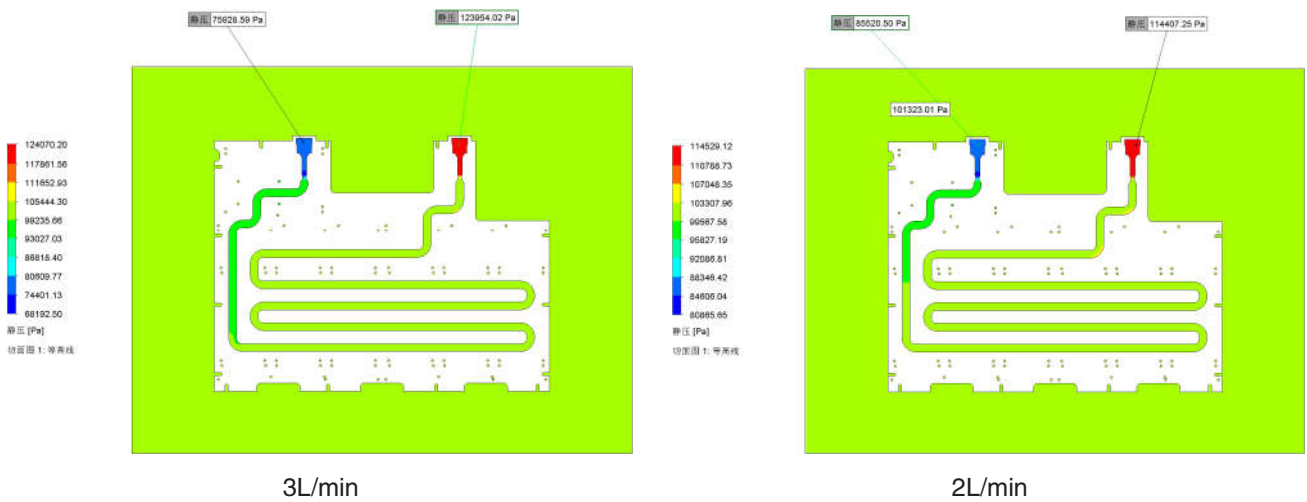


图6 液冷板压力云图

冷板在不同流量下的流阻，如表2所示。

表2 冷板的流阻表

序号	发热位置	进口压力 (kPa)	出口压力 (kPa)	流阻 (kPa)
1	2L/min	114.4	85.5	28.9
2	3L/min	123.9	75.9	48
3	4L/min	132.6	68.0	64.6
4	5L/min	140.4	59.1	81.3

通过仿真分析可以看到，在4L/min时，流阻为64.6kpa，属于合理的设计范围。

5 高温试验

将测试样机电源放入高低温环境试验箱模拟高温环境。环境试验箱调至50℃，液冷源调至25℃。在液冷板上任选3个位置放置温度传感器，检测到的温度可通过样机电源自带的CAN通信上传，每30分钟检测一次液冷板温度，测试结果见表3。测试结果表明电源冷板监测点温度最高48.5℃。整体冷板温差在3℃以内，电源工作2小时温度基本保持平衡。

表3 液冷板实测温度表

时间 (h)	检测位置1 (°C)	检测位置2 (°C)	检测位置3 (°C)
0	25.5	25.5	25.5
0.5	35.3	34.7	34.1
1	45.4	44.8	44.5
1.5	47.8	45.6	45.3
2	48.5	47.5	47.2

结语

通过对某型车载相控阵雷达阵面电源的热设计、热仿真，解决了相控阵雷达电源的散热问题，模块化的设计思想，热量更均匀。采用液冷的散热方式，提高了电源的功率密度。为工程化应用提供了成熟的电源案例。

参考文献

- [1]黄春江, 鞠文耀, 赵岭. 机载相控阵雷达阵面电源的热设计[J]. 现代雷达, 2005(06):034.
- [2]GJB/Z-1992电子设备可靠性热设计手册. 国防科学技术工业委员会, 1993-03-01.