DOI: 10.19659/j.issn.1008-5300.2020.03.004

某雷达密闭高频箱热仿真分析及优化设计*

潘忠堂

(南京恩瑞特实业有限公司, 江苏南京 211106)

摘 要:为了有效保护高频箱内电子设备并将其产生的热量有效散出高频箱,文中对高频箱进行了密封与散热 设计。在高频箱密封腔中间设计散热风道,风道将密封腔体分成上、下密封腔体,上、下密封腔体内的热量通 过传导传到散热翅片上,在密封腔隔板上设计翅片过孔,散热翅片通过该过孔伸入风道内,风道内的风扇将翅 片上的热量吹出风道。在风道内加导风板,通过热仿真分析,优化导风板位置、散热翅片厚度和散热翅片间 距。经过优化改进,高频箱的最高温度降低了8.9°C,从而提高了高频箱的散热效率。设计的高频箱可为其他 产品解决防护与散热这一技术问题提供有益的参考。

关键词: 密闭高频箱; 结构设计; 热仿真; 优化设计

中图分类号: TN876.7 文献标识码: A 文章编号: 1008-5300(2020)03-0014-04

Thermal Simulation Analysis and Optimization Design of Sealed High Frequency Box of a Radar

PAN Zhongtang

(Nanjing NRIET Industrial Co., Ltd., Nanjing 211106, China)

Abstract: In order to effectively protect the electronic equipment in the high frequency box and effectively disperse the heat generated by it out of the high frequency box, sealing and heat dissipation design for the high frequency box is carried out in this paper. A cooling duct is designed in the middle of the sealed chamber of the high frequency box. The duct divides the sealed chamber into upper and lower sealed chambers. Heat in the upper and lower sealed chambers is transmitted to the radiator fins through conduction. The through-holes for fins are designed on the sealed chamber baffle. The fins extend into the duct through the through-holes. The fans in the duct blow the heat from the fins out of the duct. A wind guide plate is added to the duct. The position of the guide plate, the fin thickness and the fin spacing are optimized by thermal simulation analysis. After optimization and improvement, the high frequency box is improved. This high frequency box can provide useful reference for other products to solve the protection and heat dissipation problem.

Key words: sealed high frequency box; structural design; thermal simulation; optimization design

引 言

雷达高频箱用于安装雷达发射机、接收机、电源 等电子设备,通常工作在室外环境。雷达高频箱内的 发射机和电源会产生较大的热量,从而使高频箱内产 生较高的温度,对高频箱内电子元器件的寿命和可靠 性产生不利影响。此外,室外环境会使雨水和灰尘进 入高频箱。因此,需要对高频箱的防护与散热进行充 分设计。目前在高频箱中使用较多的散热方式主要有 自然风冷、强迫风冷和液冷。自然风冷常用于产品热 大的场合,其散热效率比自然风冷好,但体积增大, 同时带来风扇噪声;液冷的散热效率比风冷高很多, 但冷却系统较为复杂,成本较高。针对高频箱的散热 技术,国内学者开展了一系列研究。文献[1]在雷达 高频箱的下部开进风口,上部开出风口,进、出风口 加防尘网和防雨罩,出风口加风机抽风,冷风直接流 过发热组件,带走组件的热量。文献[2]采用双层箱 式结构,将箱体分为2层:上层安装器件,下层安装 散热风机,风机将热量抽出高频箱。文献[1]的方案 结构简单,但进出口要加防尘网和防雨罩,对风压有 影响,雨水和灰尘容易进入雷达高频箱内;文献[2]

^{*} 收稿日期: 2020-03-10

的方案对高频箱内的电子设备起到了有效防护和散热 作用,但器件平铺布置使高频箱在器件多时占用较大 面积,上层底板与风机气流对流效率不够高。针对上 述高频箱的不足之处,本文提出了一种具有中间散热 风道的雷达高频箱结构。该高频箱既能解决雷达电子 设备密闭防护问题,又能解决雷达电子设备散热的问 题,而且结构简单,散热效率高。

1 高频箱结构设计

进行高频箱结构设计时,既要考虑雷达电子设备 的防护密闭,又要考虑雷达电子设备的有效散热。通 过在密闭高频箱的中间增加一个散热风道,将原来单 个的密闭腔分为上下2个密封腔,可有效地解决雷达 电子设备的密闭防护和散热问题,如图1所示。



图 1 密闭散热雷达高频箱结构示意图

雷达高频箱由上密闭腔、下密闭腔和散热风道组 成。上、下密闭腔结构相同,由箱体、隔板、进风门 盖、出风门盖和走线夹组成,隔板、进风门盖、出风 门盖、箱体间的结合面用密封垫密封。箱体、隔板、 进风门盖和出风门盖形成一个密闭腔体,用于安装馈 线、发射机、接收机和电源等。线缆或波导经过隔板 上的过孔进出密闭腔,并由走线夹固定。走线夹和隔 板以及线缆间加密封胶带和密封胶进行密封。发射 机、接收机和电源的底板上带散热翅片,隔板上安装 发射机、接收机和电源的地方开有供翅片通过的方 孔,翅片可穿过隔板伸到散热风道里。

散热风道是一个外部气流通过的通道,用于散热 风道里器件翅片的散热。散热风道由隔板、进风门 盖、出风门盖、进风口、出风口、进风口罩、出风口 罩和风机组成。进、出风口是门盖上对应风道进、出 口处的孔口。风机安装在进风口处,工作时在散热风 道内产生气流,气流与散热翅片进行热交换,从而将 散热翅片上的热量排放到外部空间。进风口罩和出风 口罩用于导流,同时防止雨水直接进入散热风道。

高频箱顶部安装天线,两侧设有与俯仰轴连接的 法兰,俯仰轴驱动高频箱作俯仰运动。高频箱前后都 有门盖,门盖与箱体铰链连接,打开门盖可方便地对 高频箱里的设备进行拆装和维护。

2 高频箱热仿真

2.1 冷却方式选择

高频箱的冷却方式应根据电子设备表面散热功率 系数^[3]来选择。电子设备表面散热功率系数为:

$$\varphi = Q/A \tag{1}$$

式中: φ 为电子设备表面散热功率系数, W/cm²; Q 为整个电子设备内总热耗, W; A 为电子设备外表面 散热总面积, cm²。

高频箱的外形尺寸为 350 mm × 450 mm × 500 mm,内装发射机、馈线网络、接收机和电源等。如表1所示,整个高频箱的热耗合计为 500 W。在稳态下整个高频箱外表面的平均热流密度可按式(1)计算,得 $\varphi = 0.045$ W/cm²。由计算结果可知,高频箱的散热方式落在强迫风冷区^[4],应选择强迫风冷的散热方式。

模块名称	热耗/W	数量/个	热耗合计/W
发射机	260	1	
接收机	90	1	500
电源	150	1	

2.2 建立热仿真模型

利用仿真软件模型库分别创建高频箱热仿真模型的计算域、高频箱壁、隔板、发射机模块、接收机模块、电源模块、发射机翅片、接收机翅片、电源翅片、出风口格栅和风扇等^[5]。发射机模块的热耗为260 W,接收机模块的热耗为90 W,电源模块的热耗为150 W,设定环境温度为40°C。高频箱的热仿 真模型如图2 所示。



2020年6月

2.3 热仿真结果

仿真计算结束后,利用后处理工具得到高频箱内 部主要发热组件的温度云图,如图3所示。由图3可 知,环境温度为40°C时,高频箱内部的最高温度达 到61.85°C。在电子行业,器件的环境温度每升高 10°C,失效率往往会增加一个数量级,这就是所谓 的"10°C法则"^[6]。研究表明,功率器件的失效率 随器件温度呈指数关系增长^[7],在实际工作中,可 能会因为热量不能及时排出,器件温度过高甚至被烧 毁而影响电路的可靠性和寿命^[8]。为了提高高频箱 系统的可靠性,需要对高频箱结构的散热作进一步的 优化设计。



图 3 高频箱内部温度云图

3 散热结构优化设计

由于发射机等的翅片高度受高频箱安装空间的限制,其高度不是很高,只占风道高度的一部分,风道 内有部分风绕过翅片,从而降低风道对流散热的效 率。只要在风道内增加导风板,引导风流过翅片,就 能提高风道的散热效率。导风板与翅片间的间距会影 响风道的散热效率,翅片的厚度和翅片间隙也影响翅 片的散热效率。为了提高高频箱的散热效率,应该对 导风板的位置、翅片厚度和翅片间隙进行优化设计。 高频箱散热结构的优化分两步进行:第一步是在风道 内增加导风板,然后改变导风板与散热翅片顶端的距 离,来确定高频箱内最高温度最小时的导风板位置不变,改 变翅片的厚度和翅片间的间隙,来确定高频箱内最高 温度最小时的翅片厚度和翅片间的间隙。

3.1 导风板位置优化设计

导风板安装在风道内,由2块平板和2块斜板组 成。斜板一端与平板焊接,另一端与另一块斜板焊接 在一起,形成">"的端头。端头对着风扇,分开风 扇来风,引导风向上和向下流过散热翅片,增加翅 片对流散热效率。增加导风板后高频箱的热仿真模 型如图4所示。仿真时,取翅片厚度为2mm,翅片 间隙为6mm,分别取导风板到散热翅片顶端距离为 30mm、10mm和5mm进行热仿真。仿真计算结束 后,利用后处理工具得到上述3种状况下高频箱内部 主要发热组件的温度云图,如图5所示。热仿真结果 见表2。



图 4 加导风板的高频箱热仿真模型图





(c) 导风板到翅片顶端距离5 mm

图 5 加导风板的高频箱内部温度云图

表 2 导风板位置与高频箱最高温度

导风板到翅片顶端距离/mm	最高温度/°C
无导风板	61.85
30	57.98
10	54.23
5	53.33

从图 3、图 5 和表 2 可以看出,高频箱加入导风 板后可降低它的最高温度。当风道内无导风板时,高 频箱内的最高温度最高。随着导风板离散热翅片顶端 距离的减小,高频箱内的最高温度也减小。考虑到导 风板安装的方便性,选择导风板到散热翅片顶端的最 小距离为5mm。对导风板位置进行仿真优化,高频 箱内的最高温度由 61.85°C 降到了 53.33°C。

3.2 翅片厚度和翅片间隙优化设计

以翅片厚度和翅片间隙为优化变量,分别用 hou 和 jianxi 表示,以高频箱最高温度为优化函数,用 maxt 表示。优化变量 hou 的取值为 2 mm、3 mm 和 4 mm,优化变量 jianxi 的取值为 1 mm、2 mm、 3 mm、4 mm、5 mm、6 mm 和 8 mm,优化变量 hou 和 jianxi 的初值都取为 1 mm。仿真结果见表 3。 根据表 3 绘制翅片厚度 hou、翅片间隙 jianxi 和高频 箱最高温度 maxt 的曲线图,如图 6 所示。

翅片厚度/mm	翅片间隙/mm	最高温度/°C
0.002	0.001	60.17
0.002	0.002	53.84
0.002	0.003	53.42
0.002	0.004	52.94
0.002	0.005	53.38
0.002	0.006	53.35
0.002	0.008	54.83
0.003	0.001	61.26
0.003	0.002	55.95
0.003	0.003	54.50
0.003	0.004	54.27
0.003	0.005	53.82
0.003	0.006	54.40
0.003	0.008	54.65
0.004	0.001	62.27
0.004	0.002	57.23
0.004	0.003	55.30
0.004	0.004	55.21
0.004	0.005	54.59
0.004	0.006	54.41
0.004	0.008	55.47





图 6 翅片间隙、厚度和高频箱最高温度关系曲线

由图 6 可以看出,翅片厚度为 2 mm、翅片间隙 为 4 mm 时,高频箱最高温度最小,为 52.94 °C。利 用后处理工具得到高频箱在翅片厚度为 2 mm、翅片 间隙为 4 mm 时的温度云图,如图 7 所示。



图 7 高频箱内部温度云图

4 结束语

本文设计的某雷达高频箱采用散热风道从高频箱 密闭腔体中间穿过的结构,既解决了雷达电子设备密 闭防护的问题,又解决了雷达电子设备散热的问题, 而且结构简单、紧凑,安装维护方便。与双层结构的 高频箱相比,其空间利用率和散热效率都较高。该雷 达高频箱己在多个雷达产品中得到了应用,长期运行 的效果良好。

参考文献

- [1] 顾林卫. 高频箱的结构设计 [J]. 舰船电子对抗, 2000, 23(3): 35-37.
- [2] 杨飞, 张一帆. 卫星测控系统高频箱的热优化设计[J]. 电视技术, 2007, 47(5): 180-183.
- [3] 赵惇殳. 电子设备热设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [4] 王健石. 电子机械工程设计手册 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [5] 胡仁喜, 张秀辉. ANSYS 14 热力学/电磁学/耦合场分析 自学手册[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2013.
- [6] 余涛,周晨龙,马岩. 某伺服控制模块热仿真分析及优化
 设计[J].电子机械工程,2017,33(2):41-43,47.
- [7] 张小旭. 一种全密闭电子设备机箱的热设计 [J]. 无线电 工程, 2018, 48(5): 424-427.
- [8] 李亚梅, 刘伟增, 田兴, 等. 基于 Flotherm 的集装箱散热 设计[J]. 电子机械工程, 2016, 32(1): 5-8.

潘忠堂 男,1964年生,硕士,高级工程师,主 要从事雷达系统结构总体设计工作。