

# 一种相控阵天线强迫风冷热设计方法

户艳<sup>1,2</sup>, 刘焕玲<sup>2</sup>, 宋丹<sup>3</sup>, 邵晓东<sup>2</sup>

- (1. 西安航空学院 机械系, 陕西 西安 710077;
2. 西安电子科技大学 机电工程学院, 陕西 西安 710071;
3. 中国电子科技集团公司第20研究所, 陕西 西安 710068)

**摘要:** 阵面温度控制是相控阵天线结构设计的关键技术之一。文中针对某相控阵天线的热设计要求, 设计了一种用于相控阵天线散热的强迫风冷系统, 并采用数值分析方法, 对该系统作用下的相控阵天线阵面热性能进行了分析。对不同流道参数、散热器参数和冷却气体流速下的阵面温度和流体压力进行了仿真。仿真结果表明: 冷却气体温度和速度对散热效果影响显著, 增加散热片的肋片数量和高度能够提高散热性能。以仿真结果为依据, 对相控阵天线的结构参数进行了优选。进行了对比实验, 验证了仿真计算的有效性。

**关键词:** 相控阵天线; 热设计; 风冷

**中图分类号:** TP301

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2014)05-0235-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.05.058

## A Design Method of Air Cooling System for Phased Array Antenna

HU Yan<sup>1,2</sup>, LIU Huan-ling<sup>2</sup>, SONG Dan<sup>3</sup>, SHAO Xiao-dong<sup>2</sup>

- (1. Department of Mechanical Engineering, Xi'an Aeronautical University, Xi'an 710077, China;
2. School of Mechano-electronic Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China;
3. 20th Institute of Electronic Technology Group Co. Ltd., Xi'an 710068, China)

**Abstract:** The control of array temperature is one of the key technologies of structure design of phased array antenna. According to the thermal design requirements of a certain phased array antenna, an air cooling system is constructed which can be used for phased array antenna and the heat transfer efficiency of the antenna which is controlled by this system is analyzed. The temperature and the pressure are simulated under different conditions are simulated. The simulation results indicate that the temperature and velocity of cooling gas have a significant influence on the radiating effect, and the increase of the number and height of fins can improve the heat dissipating performance. A selection of heat sink is conducted on the base of the simulating data. An experiment is conducted which authenticates the simulation is perfect.

**Key words:** phased array antenna; thermal design; air cooling

## 0 引言

阵面温度控制是相控阵天线结构设计的关键技术之一<sup>[1-4]</sup>, 其难点主要来自两个方面: 一是温度控制要求严格<sup>[5-6]</sup>。由于相控阵天线对电磁波信号有严格的相位要求, 并且 T/R 组件的性能容易受温度影响, 因此对 T/R 组件的工作温度提出了严格要求; 二是散热环境恶劣<sup>[7-8]</sup>。T/R 组件不仅发热功率大, 而且数量数以百计, 结构紧凑散热条件差。苛刻的温度控制要求和恶劣的散热环境对结构设计提出了极高要求。

强迫风冷具有结构简单、可维护性好等优点, 是相

控阵天线常见的冷却方式之一<sup>[9-16]</sup>。文中针对某研究所相控阵天线的热设计要求, 设计了一种强迫风冷结构, 并对该结构的散热特性进行了研究。

## 1 相控阵天线热分析

### 1.1 设计要求

某相控阵天线结构如图 1 所示: 支架是用于放置辐射振子和 T/R 组件的支撑结构, 其材料为铸铝; 辐射振子位于支架前部; 支架后部呈菱形结构分 15 层放置了 169 个 T/R 组件; 支架两侧分别开有进风口和出

收稿日期: 2013-07-20

修回日期: 2013-10-27

网络出版时间: 2014-02-11

基金项目: 中央高校基本科研业务费(72134181); 陕西省自然科学基金(2012JM7022)

作者简介: 户艳(1979-), 女, 陕西大荔人, 硕士, 研究方向为机械设计及其自动化。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140211.1619.050.html>

风口,与 T/R 组件散热片共同构成冷却气体通道。

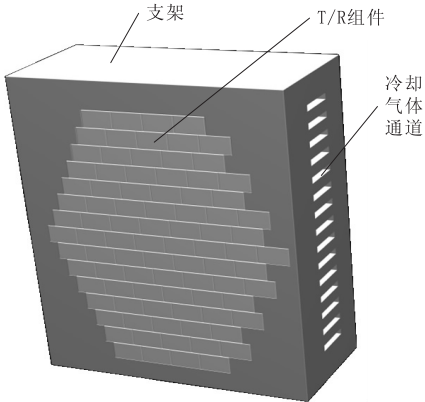


图 1 相控阵天线结构模型

T/R 组件结构如图 2 所示,图中剖面线部分为铝制材料,用于传导芯片发出的热量;铝下部贴有两块发热芯片,其中芯片 1 功率为 2.9 W,芯片 2 功率为 0.9 W。空白部分为导热性较差的填充材料。整个 T/R 组件的外观像一块砖,其左上方为散热片结构,形成冷却气体的流道。

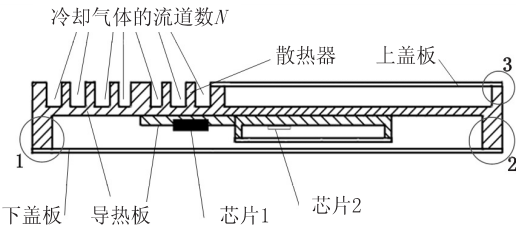


图 2 T/R 组件结构示意图

1.2 冷却系统结构

采用强迫风冷方式对天线阵面进行冷却,其基本结构如图 3 所示:冷却系统由风机、通风管道、阵面外流道和阵面内流道组成。风机用于产生风速和风压符合设计要求的流体;阵面外流道将冷却气体输送到天线阵面;导流管用于实现阵面外流道和阵面内流道的过渡;阵面内流道由整齐排列的 T/R 组件自然形成。

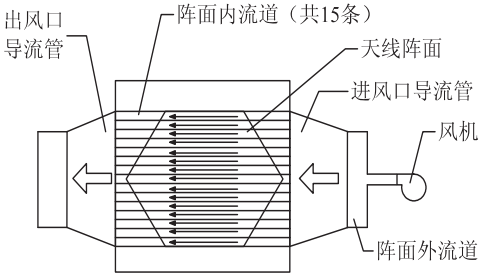


图 3 相控阵天线冷却系统结构

冷却系统工作时,T/R 组件芯片发出的热量通过铝制导热板传递到散热片,流体从阵面内流道流过时,将散热片热量带走从而实现对芯片的散热。

1.3 仿真模型

1.3.1 模型简化

T/R 组件的芯片是相控阵天线阵面的主要发热器

件,又是温度控制的主要对象。因此 T/R 组件的模型简化对整个分析工作的计算精度影响很大。

如图 2 所示:T/R 组件散热的主要通道是左上方的散热片。芯片产生的热量主要通过 T/R 组件上的散热片传给流体,由流体带走热量,达到降温目的。上、下盖板以及导热板上的结构 1、2 和 3 距离热源较远,散热面积很小。将其去掉后基本不影响计算结果,并可以显著减少网格数量,建模时可以忽略。同时为制造方便,往往将两组 T/R 组件放在一个单元内。

1.3.2 物性参数设置

各零件使用的材料如表 1 所示。在仿真时,将其分为两类处理:一是固体。固体材料主要考虑其导热系数。由于在可能的温度范围内,固体导热系数随温度变化很小,因此计算时将其视为常数(见表 2);二是冷却气体即空气。空气的导热系数、动力粘度及密度随温度变化较大,因此需在迭代过程中根据当前温度插值选取。

表 1 相控阵天线各零件材料

部件	材料	部件	材料
芯片	硅化物	隔热层	空气
T/R 组件	铝	支架	铝
散热片	铝	辐射单元	空气
冷却气体	空气	导流管	铝

表 2 常温下固体材料热物性参数

材料	硅化物	铝	空气
导热系数(J/m/K/Sec)	20	214	0.32

1.4 计算结果

环境温度 20 ℃,自然散热情况下 T/R 组件的温度计算结果为:最低温度 26.5 ℃,最高温度 29.9 ℃。从区域分布看,芯片 1 中心位置区域温度最高,芯片 2 中心位置区域的温度次之,温度最低的是靠近散热片的区域。

环境温度 40 ℃、强迫风冷、风速 2.0 m/s 情况下对整个天线阵面进行仿真计算后,得到第 7 层 T/R 组件的温度云图。结果表明:该层 T/R 组件的最低温度为 42.5 ℃,最高温度为 47.2 ℃。沿冷却气体入口区域的温度最低,出口区域的温度次之。在垂直气体流动方向,远离流道的区域温度较高。

2 结构参数优选

图 2 所示结构中,流道深度  $H$ 、散热器肋片数量  $N$  和冷却体流速  $V$  等参数对系统的散热性能有重要影响。在仿真基础上,采用固定其他参数不变,改变其中一个变量的方法,对散热结构参数进行了优选。

2.1 流道深度  $H$  选择

$H$  值变化对振面散热性能的影响如图 4 所示。图中曲线表明:随着  $H$  增大,温度和压降都呈下降趋势。在  $H > 3\text{ mm}$  后下降趋势趋于平缓。考虑到加工经济性,取  $H = 3\text{ mm}$ 。

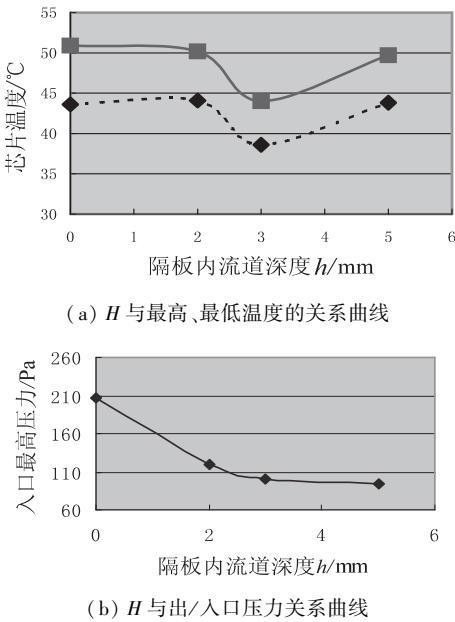


图 4  $H$  值变化对振面散热性能的影响曲线图

2.2 散热器肋片数量  $N$  选择

$N$  值变化对振面散热性能的影响如图 5 所示。图中曲线表明: $N$  增加则阵面温度呈下降趋势,但压降上升。考虑到选择风机的可行性以及散热片的可加工性,取  $N = 19$  个。

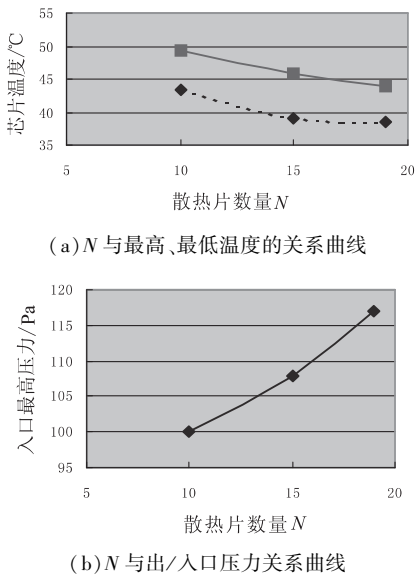


图 5  $N$  值变化对振面散热性能的影响曲线图

2.3 冷却气体流速  $V$  的选择

$V$  变化对阵面散热性能的影响如图 6 所示。图中曲线表明: $V$  越大散热效果越好,但是压降也随之增大。考虑到选择风机的可行性,选择风速  $V = 6\text{ m/s}$ 。

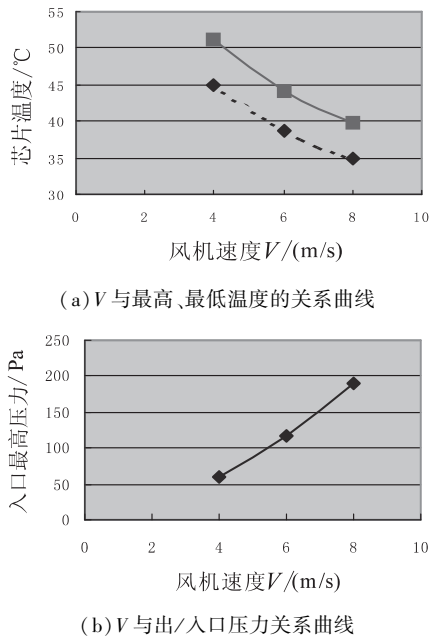


图 6  $V$  变化对阵面散热性能的影响曲线图

3 相控阵天线的气冷实验

3.1 实验装置与结果

为验证仿真结果的有效性,设计了实验验证装置(见图 7(a)),并进行了强迫风冷实验。依据仿真计算的优选结果,实验装置对风道的结构参数设置为:风道宽度  $W = 60\text{ mm}$ ,翅片数  $N = 19$  个,翅片高度  $H = 3\text{ mm}$ ,冷却气体流速  $V = 6\text{ m/s}$ 。

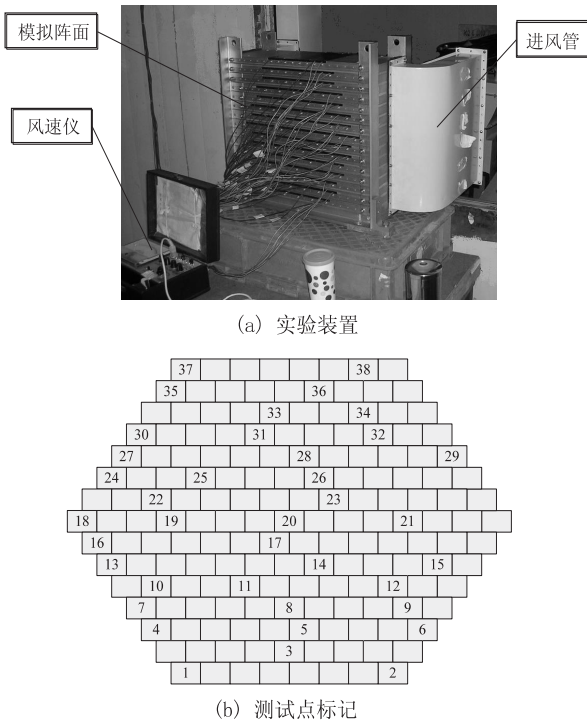


图 7 相控阵天线的气冷实验

定制了一台风压为  $6\,500\text{ Pa}$ ,风量为  $120\text{ m}^3/\text{h}$  的离心式风机;出口安装了一个风量调节阀进行风速调

节;使用一台 QFD-3 型热球式电风速仪,在阵面的进出口不同位置进行风速测量。

模拟热源采用功率为 15 W、阻值为 75 k $\Omega$  的金属膜电阻并联连接,用一个调压器控制输入电压,以此来控制模拟热源的发热。将 169 只模拟热源组装在一起,形成模拟阵面。

用两台 20 个通道的温度巡检仪(型号为 DR020)对模拟阵面进行定时温度测量和采集,实验测量点的位置安排如图 7(b)所示。

在环境温度为 40  $^{\circ}\text{C}$ ,风机入口速度为 1.3 m/s ~ 2.4 m/s,流体温度为 22  $^{\circ}\text{C}$  ~ 23  $^{\circ}\text{C}$  的情况下,得到的实验和仿真结果如图 8 所示。

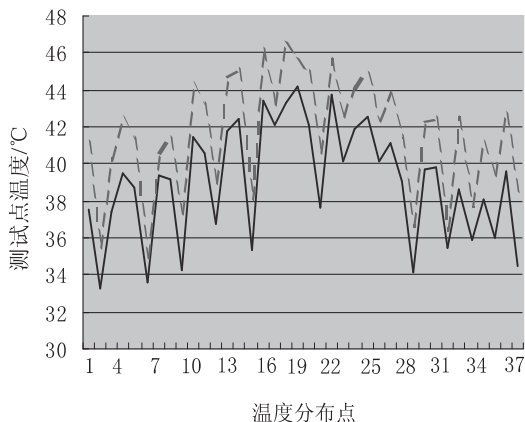


图 8 实验与仿真结果对比

### 3.2 结果分析

从图 8 可以看出:实验共采样了 38 个观测点,从曲线趋势看,实验与仿真结果完全一致;从数值看,实验与仿真结果的误差不大于 8%。

产生误差的主要原因有以下几点:

(1)测量位置误差。实验中采用传感器测量观察点温度,由于探测头很难放置在准确的观测位置,因此其测量到的温度与理论数值存在偏差;

(2)热源模拟误差。模拟热源与实际芯片在形状、尺寸等方面存在误差;

(3)流体速度误差。计算时按照入口速度 6 m/s 进行仿真,实验时很难保证完全精确;

(4)接触热阻误差。仿真时没有考虑芯片与导热板的接触热阻,实验时接触热阻很难避免。

## 4 结束语

文中对基于强迫风冷散热的相控阵天线阵面温度控制技术进行了研究。通过数值仿真得到了流道深度、散热器肋片数量、冷却气体数量等关键参数与 T/R 组件最高温度的关系曲线,进而对结构参数进行了优选。在仿真基础上,进行了阵面散热的模拟实验。实验结果与仿真结果相吻合。

通过文中工作,可以得出以下结论:

(1)强迫风冷散热基本可以满足该型相控阵天线的散热需求;

(2)冷却气体温度和速度对散热效果影响显著。风速对阵面的散热效果作用明显,在环境温度、风温相同的情况下提高风速,整个阵面散热效果明显改善,温度梯度减小,但仍不能达到设计要求;

(3)增加散热片的肋片数量和高度能够提高散热性能。但是过大的肋片数量和高度会导致对入口冷却气体风压的苛刻要求,并增加散热片的制造难度。

### 参考文献:

- [1] 梅启元. 热仿真分析技术在相控阵雷达天线散热设计中的应用[J]. 电子机械工程, 2007, 23(3): 11-13.
- [2] 罗震. 某舰载相控阵雷达热设计技术研究[J]. 电子机械工程, 2005, 21(2): 18-21.
- [3] 叶菁. 某相控阵雷达天线的热设计[J]. 电子机械工程, 2001(1): 42-46.
- [4] 魏忠良. 相控阵天线阵面的热设计[J]. 电子机械工程, 2003(4): 15-18.
- [5] 王建峰. 大型固态有源相控阵雷达热控制技术[J]. 电子机械工程, 2007, 23(6): 27-32.
- [6] 宋志行, 关宏山, 钱海涛, 等. 机载有源相控阵天线的结构设计[J]. 雷达科学与技术, 2005, 3(3): 189-192.
- [7] 方益奇, 孙玲玲. 雷达电子机箱的热设计与仿真分析[J]. 机械设计与制造, 2010(12): 23-25.
- [8] 董志君, 汪淇. 雷达天线子部件热分析及其模型简化研究[J]. 微计算机信息, 2008, 24(34): 223-225.
- [9] 李勤. 某类车载相控阵测量雷达结构总体设计要点[J]. 电子机械工程, 2005, 21(4): 41-43.
- [10] 谭宗嘯, 齐颖. 热设计分析在雷达天线中的应用[J]. 空间电子技术, 2005, 2(3): 55-59.
- [11] 曹良强, 吴钢, 王怀. 相控阵雷达 T/R 组件冷却仿真研究[J]. 低温与超导, 2008, 36(8): 37-40.
- [12] 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, 27(6): 72-75.
- [13] Kobayashi T, Nakamura M, Ogushi T, et al. Thermal design of a closed cabinet with a heat exchanger for inner air cooling[J]. Heat Transfer, 2001, 30(4): 267-279.
- [14] Jiang S, Min X. Thermal design of the vertical machining centre headstock by the forced cooling method[J]. Journal of Mechanical Engineering Science, 2012, 226(3): 738-751.
- [15] Sahin B, Demir A. Performance analysis of a heat exchanger having perforated square fins[J]. Applied Thermal Engineering, 2008, 28(5-6): 621-632.
- [16] Bilen K, Yapici S, Celik C. A Taguchi approach for investigation of heat transfer from a surface equipped with rectangular blocks[J]. Energy Conversion & Management, 2001, 42(8): 951-961.

# 一种相控阵天线强迫风冷热设计方法

作者：

[户艳](#)，[刘焕玲](#)，[宋丹](#)，[邵晓东](#)，[HU Yan](#)，[LIU Huan-ling](#)，[SONG Dan](#)，[SHAO Xiao-dong](#)

作者单位：

[户艳, HU Yan\(西安航空学院 机械系, 陕西 西安 710077; 西安电子科技大学 机电工程学院, 陕西 西安 710071\)](#)，[刘焕玲, 邵晓东, LIU Huan-ling, SHAO Xiao-dong\(西安电子科技大学 机电工程学院, 陕西 西安, 710071\)](#)，[宋丹, SONG Dan\(中国电子科技集团公司第20研究所, 陕西 西安, 710068\)](#)

刊名：

[计算机技术与发展](#)

英文刊名：

[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：

2014(5)

本文链接：[http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjz201405058.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjz201405058.aspx)