



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103970943 A

(43) 申请公布日 2014. 08. 06

(21) 申请号 201410174889. 5

(22) 申请日 2014. 04. 28

(71) 申请人 西安电子科技大学

地址 710071 陕西省西安市太白南路 2 号

(72) 发明人 王从思 李兆 康明魁 王伟锋

段宝岩 黄进 宋立伟 李鹏

王艳

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任

公司 61200

代理人 徐文权

(51) Int. Cl.

G06F 17/50 (2006. 01)

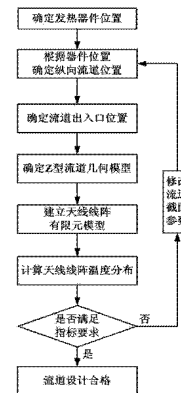
权利要求书2页 说明书9页 附图5页

(54) 发明名称

一种基于器件布局的有源相控阵天线 Z 型流道冷板设计方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于器件布局的有源相控阵天线 Z 型流道冷板设计方法,包括:1) 确定各发热器件的位置;2) 确定 Z 型流道的纵向和横向流道位置;3) 确定 T/R 组件 Z 型流道几何模型;4) 计算线阵的温度分布和压降;5) 判断是否满足天线热设计指标。本发明提出一种 Z 型流道冷板的设计方法,通过计算阵面温度分布,判断 Z 型流道冷板是否满足热设计要求。该方法设计的 Z 型流道与传统的 Z 型流道相比,具有更好的散热能力,发热器件最高温度更低,并且有效降低冷板的压降,能够满足天线热设计指标,也能明显降低泵功,增强天线平台工作能力;该方法能够针对不同发热器件分布设计相应的 Z 型流道,以达到有源相控阵天线的温度要求,具有实际的工程意义。



1. 一种基于器件布局的有源相控阵天线 Z 型流道冷板设计方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:

1) 根据 T/R 组件中各发热器件的布局,确定各发热器件的位置坐标;

2) 由各个发热器件的位置坐标,进而确定 T/R 组件 Z 型流道的纵向流道位置以及 Z 型流道的入口横向流道位置和出口横向流道位置;

3) 由 T/R 组件 Z 型流道的纵向流道位置以及 Z 型流道的入口横向流道位置和出口横向流道位置,确定 T/R 组件 Z 型流道几何模型;

4) 根据 T/R 组件 Z 型流道几何模型,建立有源相控阵天线线阵的有限元模型,并计算有源相控阵天线线阵的温度分布以及压降;

5) 根据天线热设计的指标要求,判断计算有源相控阵天线线阵的温度分布以及压降是否满足有源相控阵天线热设计的指标要求,如果满足要求,则有源相控阵天线热设计符合要求;否则,修改阵列天线 Z 型流道几何截面参数,并重复步骤 3) 至步骤 4),直至满足要求。

2. 根据权利要求 1 所述的基于器件布局的有源相控阵天线 Z 型流道冷板设计方法,其特征在于,所述步骤 1) 中 T/R 组件包括发热器件高功率放大器、驱动放大器、低噪声放大器以及 T/R 组件外壳。

3. 根据权利要求 1 所述的基于器件布局的有源相控阵天线 Z 型流道冷板设计方法,其特征在于,所述步骤 1) 中各发热器件的位置坐标包括各发热器件的 x 方向坐标以及 y 方向坐标。

4. 根据权利要求 3 所述的基于器件布局的有源相控阵天线 Z 型流道冷板设计方法,其特征在于,所述步骤 2) 中确定 T/R 组件 Z 型流道的纵向流道位置以及 Z 型流道的入口横向流道位置和出口横向流道位置按照以下步骤进行:

2a) 根据各发热器件的 x 方向坐标,以发热器件的 x 方向坐标作为 Z 型流道冷板的纵向流道的 x 方向坐标,从而确定 Z 型流道冷板的纵向流道位置;

如果两片发热器件距离大于 Z 型流道宽度的 2 倍,则以发热器件的 x 方向坐标作为 Z 型流道冷板的纵向流道的 x 方向坐标;

如果发热器件距离小于 Z 型流道宽度的 2 倍,且两片或者两片以上的发热器件的发热功率相差大于 10 倍,则两片或者两片以上的发热器件共用流道并分为一组,以发热功率较大的发热器件的 x 方向坐标作为 Z 型流道冷板的纵向流道的 x 方向坐标;

如果两片或者两片以上的发热器件距离小于 Z 型流道宽度的 2 倍,且发热器件的发热功率相差小于 10 倍,则两片或者两片以上发热器件共用流道并分为一组,采用下式确定 Z 型流道冷板的纵向流道的 x 方向坐标  $x'$  :

$$x' = x_1 + (x_2 - x_1) \cdot \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2}$$

式中,  $Q_1$ 、 $Q_2$  分别为两片发热器件的发热功率,  $x_1$  为分为一组的两片或者两片以上发热器件中 x 方向最小的发热器件的坐标,  $x_2$  为分为一组的两片或者两片以上发热器件中 x 方向最大的发热器件的坐标,并将共用流道的发热器件分为一组;

从而确定 Z 型流道的纵向流道位置,同时,采用下式确定 Z 型流道的纵向流道条数  $N'$  :  
 $N' = N - M + L$

式中,  $N$  为发热器件个数,  $M$  为共用一条纵向流道的发热器件个数,  $L$  为共用流道的发热器件的组数;

2b) 根据各个发热器件的  $y$  方向坐标, 确定其中最小  $y$  方向坐标为  $Z$  型流道入口横向流道  $y$  方向坐标, 确定其中最大  $y$  方向坐标为  $Z$  型流道出口横向流道  $y$  方向坐标, 从而确定  $Z$  型流道的入口横向流道位置和出口横向流道位置。

5. 根据权利要求 1 所述的基于器件布局的有源相控阵天线  $Z$  型流道冷板设计方法, 其特征在于, 所述步骤 3) 中确定 T/R 组件  $Z$  型流道几何模型按照以下步骤进行:

3a) 根据确定的 T/R 组件  $Z$  型流道的纵向流道位置以及  $Z$  型流道的入口横向流道位置和出口横向流道位置, 分别连接  $Z$  型流道的纵向流道和  $Z$  型流道的入口横向流道位置以及出口横向流道;

3b) 沿  $x$  方向坐标增大方向  $N'$  条  $Z$  型流道的纵向流道分别命名为纵向流道 1、纵向流道 2 ····· 纵向流道  $N'$ ;

3c) 在平行于  $Z$  型流道的入口横向流道沿  $y$  方向坐标增大方向做  $N' - 1$  条  $Z$  型流道的入口横向流道, 沿  $y$  方向坐标增大方向将  $N'$  条  $Z$  型流道的入口横向流道分别命名为入口横向流道 1、入口横向流道 2 ····· 入口横向流道  $N'$ ; 并在平行于  $Z$  型流道的出口横向流道沿  $y$  方向坐标减小方向做  $N' - 1$  条  $Z$  型流道的出口横向流道, 沿  $y$  方向坐标增大方向将  $N'$  条  $Z$  型流道出口的横向流道分别命名为出口横向流道 1、出口横向流道 2 ····· 出口横向流道  $N'$ ;

3d) 依次连接  $Z$  型流道纵向流道、 $Z$  型流道入口横向流道和  $Z$  型流道出口横向流道, 删除命名标号不相同的  $Z$  型流道的纵向流道、 $Z$  型流道的入口横向流道、 $Z$  型流道的出口横向流道相连接的流道, 得到  $N'$  条  $Z$  型流道;

3e) 在  $N'$  条  $Z$  型流道的直角折角处加入圆角, 确定  $Z$  型流道轴线轨迹, 并使  $Z$  型流道几何截面沿  $Z$  型流道轴线轨迹拉伸, 从而确定 T/R 组件  $Z$  型流道几何模型。

6. 根据权利要求 1 所述的基于器件布局的有源相控阵天线  $Z$  型流道冷板设计方法, 其特征在于, 所述步骤 4) 中有源相控阵天线线阵的有限元模型包括  $Z$  型流道冷板、T/R 组件、加强筋以及天线单元。

7. 根据权利要求 1 所述的基于器件布局的有源相控阵天线  $Z$  型流道冷板设计方法, 其特征在于, 所述步骤 5) 中有源相控阵天线热设计的指标要求包括发热器件限定温度、发热器件限定温差和限定冷板压降。

## 一种基于器件布局的有源相控阵天线 Z 型流道冷板设计方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及天线技术领域,特别是一种面向有源相控阵天线的 Z 型流道冷板的设计方法。

### 背景技术

[0002] 有源相控阵雷达由于器件高度集中,工作温度很高,所以热设计一直是相控阵雷达设计的关键问题之一。T/R 组件是有源相控阵天线的核心部分,包含了功率放大器、低噪声放大器、衰减器等发热器件,而天线阵面上密布着数量庞大的 T/R 组件,所产生的发热量非常大,工作环境下天线阵面热流密度急剧上升。此外,T/R 组件中的高功率放大器对温度敏感,高温工作环境对高功率放大器性能影响严重,从而对相控阵雷达性能产生非常大的影响。液冷冷板具有结构简单、冷却效率高、流体可选种类多、冷却的热载荷范围宽的特点,对于高热流密度相控阵雷达 T/R 组件的冷却能起到很好的效果。因此,冷板在相控阵雷达中得到了更加广泛的应用,冷板散热成为目前较为高效、稳定的散热方法。

[0003] Z 型流道可作为冷板流道的一种形式,并能够达到一定散热效果。传统的 Z 型流道是由纵向流道与横向流道构成的,横向流道连接流道的出口与入口,出口处的横向流道与入口处的横向流道通过纵向流道相互连通。但是传统 Z 型流道在实际应用中容易出现发热器件温差较大的问题,造成高功率放大器件不能达到很好的散热效果,对冷板整体的散热效果会产生很大的影响。

[0004] 因此,有必要根据有源相控阵天线的热设计指标要求,对 Z 型流道冷板进行设计以达到最优的散热效果。在确定 T/R 组件中各个发热器件的位置后,根据器件位置设计出与之相应的 Z 型流道,从而使天线线阵的最高温度以及压降达到热设计指标要求。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供基于器件布局的有源相控阵天线 Z 型流道冷板设计方法,该方法通过确定 T/R 组件中各个发热器件的位置,设计出与之相应的 Z 型流道,从而使有源相控阵天线冷板散热效果达到其热设计指标要求。

[0006] 本发明是通过下述技术方案来实现的:

[0007] 一种基于器件布局的有源相控阵天线 Z 型流道冷板设计方法,该方法包括以下步骤:

[0008] 1) 根据 T/R 组件中各发热器件的布局,确定各发热器件的位置坐标;

[0009] 2) 由各个发热器件的位置坐标,进而确定 T/R 组件 Z 型流道的纵向流道位置以及 Z 型流道的入口横向流道位置和出口横向流道位置;

[0010] 3) 由 T/R 组件 Z 型流道的纵向流道位置以及 Z 型流道的入口横向流道位置和出口横向流道位置,确定 T/R 组件 Z 型流道几何模型;

[0011] 4) 根据 T/R 组件 Z 型流道几何模型,建立有源相控阵天线线阵的有限元模型,并计

算有源相控阵天线线阵的温度分布以及压降；

[0012] 5) 根据天线热设计的指标要求,判断计算有源相控阵天线线阵的温度分布以及压降是否满足有源相控阵天线热设计的指标要求,如果满足要求,则有源相控阵天线热设计符合要求;否则,修改阵列天线 Z 型流道几何截面参数,并重复步骤 3) 至步骤 4),直至满足要求。

[0013] 进一步地,所述步骤 1) 中 T/R 组件包括发热器件高功率放大器、驱动放大器、低噪声放大器以及 T/R 组件外壳。

[0014] 进一步地,所述步骤 1) 中各发热器件的位置坐标包括各发热器件的 x 方向坐标以及 y 方向坐标。

[0015] 进一步地,所述步骤 2) 中确定 T/R 组件 Z 型流道的纵向流道位置以及 Z 型流道的入口横向流道位置和出口横向流道位置按照以下步骤进行：

[0016] 2a) 根据各发热器件的 x 方向坐标,以发热器件的 x 方向坐标作为 Z 型流道冷板的纵向流道的 x 方向坐标,从而确定 Z 型流道冷板的纵向流道位置；

[0017] 如果两片发热器件距离大于 Z 型流道宽度的 2 倍,则以发热器件的 x 方向坐标作为 Z 型流道冷板的纵向流道的 x 方向坐标；

[0018] 如果发热器件距离小于 Z 型流道宽度的 2 倍,且两片或者两片以上的发热器件的发热功率相差大于 10 倍,则两片或者两片以上的发热器件共用流道并分为一组,以发热功率较大的发热器件的 x 方向坐标作为 Z 型流道冷板的纵向流道的 x 方向坐标；

[0019] 如果两片或者两片以上的发热器件距离小于 Z 型流道宽度的 2 倍,且发热器件的发热功率相差小于 10 倍,则两片或者两片以上发热器件共用流道并分为一组,采用下式确定 Z 型流道冷板的纵向流道的 x 方向坐标  $x'$ ：

$$[0020] \quad x' = x_1 + (x_2 - x_1) \cdot \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2}$$

[0021] 式中,  $Q_1$ 、 $Q_2$  分别为两片发热器件的发热功率,  $x_1$  为分为一组的两片或者两片以上发热器件中 x 方向最小的发热器件的坐标,  $x_2$  为分为一组的两片或者两片以上发热器件中 x 方向最大的发热器件的坐标,并将共用流道的发热器件分为一组；

[0022] 从而确定 Z 型流道的纵向流道位置,同时,采用下式确定 Z 型流道的纵向流道条数  $N'$ ：

$$[0023] \quad N' = N - M + L$$

[0024] 式中,  $N$  为发热器件个数,  $M$  为共用一条纵向流道的发热器件个数,  $L$  为共用流道的发热器件的组数；

[0025] 2b) 根据各个发热器件的 y 方向坐标,确定其中最小 y 方向坐标为 Z 型流道入口横向流道 y 方向坐标,确定其中最大 y 方向坐标为 Z 型流道出口横向流道 y 方向坐标,从而确定 Z 型流道的入口横向流道位置和出口横向流道位置。

[0026] 进一步地,所述步骤 3) 中确定 T/R 组件 Z 型流道几何模型按照以下步骤进行：

[0027] 3a) 根据确定的 T/R 组件 Z 型流道的纵向流道位置以及 Z 型流道的入口横向流道位置和出口横向流道位置,分别连接 Z 型流道的纵向流道和 Z 型流道的入口横向流道位置以及出口横向流道；

[0028] 3b) 沿 x 方向坐标增大方向  $N'$  条 Z 型流道的纵向流道分别命名为纵向流道 1、纵

向流道 2 ····· 纵向流道  $N'$  ；

[0029] 3c) 在平行于 Z 型流道的入口横向流道沿 y 方向坐标增大方向做  $N' - 1$  条 Z 型流道的入口横向流道, 沿 y 方向坐标增大方向将  $N'$  条 Z 型流道的入口横向流道分别命名为入口横向流道 1、入口横向流道 2 ····· 入口横向流道  $N'$  ；并在平行于 Z 型流道的出口横向流道沿 y 方向坐标减小方向做  $N' - 1$  条 Z 型流道的出口横向流道, 沿 y 方向坐标增大方向将  $N'$  条 Z 型流道出口的横向流道分别命名为出口横向流道 1、出口横向流道 2 ····· 出口横向流道  $N'$  ；

[0030] 3d) 依次连接 Z 型流道纵向流道、Z 型流道入口横向流道和 Z 型流道出口横向流道, 删除命名标号不相同的 Z 型流道的纵向流道、Z 型流道的入口横向流道、Z 型流道的出口横向流道相连接的流道, 得到  $N'$  条 Z 型流道；

[0031] 3e) 在  $N'$  条 Z 型流道的直角折角处加入圆角, 确定 Z 型流道轴线轨迹, 并使 Z 型流道几何截面沿 Z 型流道轴线轨迹拉伸, 从而确定 T/R 组件 Z 型流道几何模型。

[0032] 进一步地, 所述步骤 4) 中有源相控阵天线线阵的有限元模型包括 Z 型流道冷板、T/R 组件、加强筋以及天线单元。

[0033] 进一步地, 所述步骤 5) 中有源相控阵天线热设计的指标要求包括发热器件限定温度、发热器件限定温差和限定冷板压降。

[0034] 本发明与现有技术相比, 具有以下优点：

[0035] 1. 本发明提出基于器件布局的有源相控阵天线 Z 型流道冷板设计方法, 通过对有源相控阵天线线阵进行建模并计算得到其阵面温度分布, 进而判断 Z 型流道冷板是否满足天线热设计要求。本方法提供了一种高效的利用 Z 型流道冷板对有源相控阵天线的散热方案, 以保证有源相控阵天线在工作状态下能够有效工作。

[0036] 2. 该方法设计的 Z 型流道与传统的 Z 型流道相比, 具有更好的散热能力, 发热器件最高温度更低, 并且有效降低冷板的压降, 不仅能满足有源相控阵天线的热设计指标, 也能够明显降低泵功, 从而增强天线平台的供给能力；

[0037] 3. 该方法相比于传统的 Z 型流道, 能够针对不同发热器件分布, 对其设计相应的 Z 型流道, 以达到有源相控阵天线的温度要求, 具有实际的工程价值。

## 附图说明

[0038] 图 1 是本发明 Z 型流道冷板的设计流程图；

[0039] 图 2 是 T/R 组件发热器件位置图；

[0040] 图 3 是 Z 型流道冷板的纵向流道位置图；

[0041] 图 4 是 Z 型流道初步方案；

[0042] 图 5 是 Z 型流道进一步方案；

[0043] 图 6 是 Z 型流道几何模型俯视图；

[0044] 图 7 是天线线阵几何模型；

[0045] 图 8 是天线线阵有限元模型；

[0046] 图 9 是天线线阵温度分布。

## 具体实施方式

[0047] 下面结合附图及实施例对本发明做进一步说明。

[0048] 参照图 1 所示,本发明一种基于发热器件位置的 Z 型流道冷板的设计方法,步骤如下:

[0049] 步骤一,确定各发热器件的位置坐标

[0050] 根据 T/R 组件的各个发热器件的布局,确定各发热器件的位置坐标。其中发热器件包括高功率放大器 HPA、驱动放大器、低噪声放大器 LNA1、低噪声放大器 LNA2。T/R 组件包括发热器件和 T/R 组件外壳。高功率放大器 HPA 发热功率为 15.5W,驱动放大器发热功率为 0.75W,低噪声放大器 LNA1 发热功率为 0.2W,低噪声放大器 LNA2 发热功率为 0.3W。

[0051] 步骤二,确定纵向以及横向流道位置

[0052] 根据各个发热器件的位置坐标,确定 T/R 组件 Z 型流道的纵向流道位置以及横向流道位置。

[0053] 确定 T/R 组件 Z 型流道的纵向流道位置以及横向流道位置按照以下步骤进行:

[0054] 2a) 根据各发热器件的 x 方向坐标,以发热器件的 x 方向坐标作为 Z 型流道冷板的纵向流道的 x 方向坐标,从而确定 Z 型流道冷板的纵向流道位置;

[0055] 如果两片发热器件距离大于 Z 型流道宽度的 2 倍,则以发热器件的 x 方向坐标作为 Z 型流道冷板的纵向流道的 x 方向坐标;

[0056] 如果发热器件距离小于 Z 型流道宽度的 2 倍,且两片或者两片以上的发热器件的发热功率相差大于 10 倍,则两片或者两片以上的发热器件共用流道并分为一组,以发热功率较大的发热器件的 x 方向坐标作为 Z 型流道冷板的纵向流道的 x 方向坐标;

[0057] 如果两片或者两片以上的发热器件距离小于 Z 型流道宽度的 2 倍,且发热器件的发热功率相差小于 10 倍,则两片或者两片以上发热器件共用流道并分为一组,采用下式确定 Z 型流道冷板的纵向流道的 x 方向坐标  $x'$  :

$$[0058] \quad x' = x_1 + (x_2 - x_1) \cdot \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2}$$

[0059] 式中,  $Q_1$ 、 $Q_2$  分别为两片发热器件的发热功率,  $x_1$  为分为一组的两片或者两片以上发热器件中 x 方向最小的发热器件的坐标,  $x_2$  为分为一组的两片或者两片以上发热器件中 x 方向最大的发热器件的坐标,并将共用流道的发热器件分为一组;

[0060] 从而确定 Z 型流道的纵向流道位置,同时,采用下式确定 Z 型流道的纵向流道条数  $N'$  :

$$[0061] \quad N' = N - M + L$$

[0062] 式中,  $N$  为发热器件个数,  $M$  为共用一条纵向流道的发热器件个数,  $L$  为共用流道的发热器件的组数;

[0063] 2b) 根据各个发热器件的 y 方向坐标,确定其中最小 y 方向坐标为 Z 型流道入口横向流道 y 方向坐标,确定其中最大 y 方向坐标为 Z 型流道出口横向流道 y 方向坐标,从而确定 Z 型流道的入口横向流道位置和出口横向流道位置。

[0064] 步骤三、确定 T/R 组件 Z 型流道几何模型

[0065] 根据 T/R 组件 Z 型流道冷板的纵向流道的位置以及横向流道位置,确定 Z 型流道设计方案;

[0066] 3a) 根据确定的 T/R 组件 Z 型流道的纵向流道位置以及 Z 型流道的入口横向流道

位置和出口横向流道位置,分别连接 Z 型流道的纵向流道和 Z 型流道的入口横向流道位置以及出口横向流道;

[0067] 3b) 沿 x 方向坐标增大方向  $N'$  条 Z 型流道的纵向流道分别命名为纵向流道 1、纵向流道 2 ····· 纵向流道  $N'$  ;

[0068] 3c) 在平行于 Z 型流道的入口横向流道沿 y 方向坐标增大方向做  $N' - 1$  条 Z 型流道的入口横向流道,沿 y 方向坐标增大方向将  $N'$  条 Z 型流道的入口横向流道分别命名为入口横向流道 1、入口横向流道 2 ····· 入口横向流道  $N'$  ;并在平行于 Z 型流道的出口横向流道沿 y 方向坐标减小方向做  $N' - 1$  条 Z 型流道的出口横向流道,沿 y 方向坐标增大方向将  $N'$  条 Z 型流道出口的横向流道分别命名为出口横向流道 1、出口横向流道 2 ····· 出口横向流道  $N'$  ;

[0069] 3d) 依次连接 Z 型流道纵向流道、Z 型流道入口横向流道和 Z 型流道出口横向流道,删除命名标号不相同的 Z 型流道的纵向流道、Z 型流道的入口横向流道、Z 型流道的出口横向流道相连接的流道,得到  $N'$  条 Z 型流道;

[0070] 3e) 在  $N'$  条 Z 型流道的直角折角处加入圆角,确定 Z 型流道轴线轨迹,并使 Z 型流道几何截面沿 Z 型流道轴线轨迹拉伸,从而确定 T/R 组件 Z 型流道几何模型。

[0071] 步骤四、计算天线线阵的温度分布以及压降

[0072] 根据 T/R 组件 Z 型流道几何模型,建立有源相控阵天线线阵的有限元模型,并计算有源相控阵天线线阵的温度分布以及压降;

[0073] 本发明根据 T/R 组件 Z 型流道设计方案,在 Solidworks 中通过确定的 Z 型流道几何模型,将 4 个 Z 型流道几何模型的出口与入口依次相连接,构成线阵 Z 型流道几何模型;建立 T/R 组件的几何模型,并将 4 个相同的 T/R 组件与 Z 型流道冷板、线阵 Z 型流道、加强筋以及 4 个天线单元的几何模型进行装配,建立有源相控阵天线线阵的几何模型,并在 ICEM 中划分网格,建立有源相控阵天线线阵的有限元模型。确定有源相控阵天线线阵的有限元模型的各部分物性参数,在 CFX-Pre 中设置有源相控阵天线线阵的有限元模型的边界条件,并计算有源相控阵天线线阵的温度分布,并在 CFX-Post 提取高功率放大器最高温度、冷板压降、发热器件温差。

[0074] Solidworks 由达索公司设计的具有强大的功能,组件较多,是一款功能强大的 3D 软件。Solidworks 的拖拽功能能够在较短时间内完成复杂的零件装配设计。通过很多易学易用的操作和强大的设计功能的协同。CFX 软件是一款的大型应用于热分析的商业 CFD 软件。CFX 软件主要包括三个部分:ICEM(前处理模块)、CFX-Pre(分析计算模块)和 CFX-Post(后处理模块)。ICEM 提供了一个强大的工具来进行实体建模以及网格划分;CFX-Pre 可进行对模型进行稳态、瞬态以及非线性分析;CFX-Post 可以将计算结果以图形的方式显示出来,同时可以将计算结果以图表、曲线形式输出显示。

[0075] 步骤五、判断是否满足热设计要求

[0076] 5) 根据天线热设计的指标要求,判断计算有源相控阵天线线阵的温度分布以及压降是否满足有源相控阵天线热设计的指标要求,如果满足要求,则有源相控阵天线热设计符合要求;否则,修改阵列天线 Z 型流道几何截面参数,即将最高温度过高的器件下方通过的流道的宽度加宽,并重复步骤 3) 至步骤 4),直至满足要求。

[0077] 有源相控阵天线热设计的指标要求包括发热器件限定的最高温度、发热器件限定

的最大温差和限定冷板压降。

[0078] 本发明可以通过仿真进一步说明：

[0079] 1. 仿真有源相控阵天线线阵参数

[0080] 为验证 Z 型流道冷板的散热能力，将其应用于 X 波段 10GHz 的有源相控阵天线线阵。Z 型流道冷板和 T/R 外壳的材料为铝、发热器件的材料为砷化镓 (GaAs)、冷却液的材料为水。

[0081] 表 1 铝、砷化镓、水的物性参数

[0082]

	热传导率(W/m·K)	比热容(J/kg·K)	密度(kg/m <sup>3</sup> )
铝	217.7	880	2700
砷化镓	45	325	5330
水	0.593	4182.6	1000

[0083] 2. 计算天线线阵的温度分布以及压降

[0084] 天线线阵的温度分布以及压降可以通过以下四步得到：

[0085] (1) 确定各发热器件的位置坐标

[0086] 根据 T/R 组件的各个发热器件的布局，确定各发热器件的位置坐标。其中发热器件包括高功率放大器 HPA、驱动放大器、低噪声放大器 LNA1、低噪声放大器 LNA2。T/R 组件包括发热器件和 T/R 组件外壳。高功率放大器 HPA 发热功率为 15.5W，驱动放大器发热功率为 0.75W，低噪声放大器 LNA1 发热功率为 0.2W，低噪声放大器 LNA2 发热功率为 0.3W；T/R 组件各个发热器件位置图 2 所示。

[0087] (2) 确定纵向以及横向流道位置

[0088] 根据各个发热器件的位置坐标，确定 T/R 组件 Z 型流道的纵向流道位置以及横向流道位置；

[0089] 确定 T/R 组件 Z 型流道的纵向流道位置以及横向流道位置按照以下步骤进行：

[0090] 2a) 根据各发热器件的 x 方向坐标，以发热器件的 x 方向坐标作为 Z 型流道冷板的纵向流道的 x 方向坐标，从而确定 Z 型流道冷板的纵向流道位置；

[0091] 如果两片发热器件距离大于 Z 型流道宽度的 2 倍，则以发热器件的 x 方向坐标作为 Z 型流道冷板的纵向流道的 x 方向坐标；

[0092] 如果发热器件距离小于 Z 型流道宽度的 2 倍，且两片或者两片以上的发热器件的发热功率相差大于 10 倍，则两片或者两片以上的发热器件共用流道并分为一组，以发热功率较大的发热器件的 x 方向坐标作为 Z 型流道冷板的纵向流道的 x 方向坐标；

[0093] 如果两片或者两片以上的发热器件距离小于 Z 型流道宽度的 2 倍，且发热器件的发热功率相差小于 10 倍，则两片或者两片以上发热器件共用流道并分为一组，采用下式确定 Z 型流道冷板的纵向流道的 x 方向坐标  $x'$ ：

[0094] 
$$x' = x_1 + (x_2 - x_1) \cdot \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2}$$

[0095] 式中,  $Q_1$ 、 $Q_2$  分别为两片发热器件的发热功率,  $x_1$  为分为一组的两片或者两片以上发热器件中  $x$  方向最小的发热器件的坐标,  $x_2$  为分为一组的两片或者两片以上发热器件中  $x$  方向最大的发热器件的坐标, 并将共用流道的发热器件分为一组;

[0096] 从而确定 Z 型流道的纵向流道位置, 同时, 采用下式确定 Z 型流道的纵向流道条数  $N'$  :

$$[0097] \quad N' = N - M + L$$

[0098] 式中,  $N$  为发热器件个数,  $N$  为 16,  $M$  为共用一条纵向流道的发热器件个数,  $M$  为 14,  $L$  为共用流道的发热器件的组数,  $L$  为 5, 则  $N'$  为 7; 沿  $x$  方向坐标增大方向 7 条发热流道分别命名为纵向流道 1、纵向流道 2 ····· 纵向流道 7; Z 型流道冷板的纵向流道位置图如图 3 所示;

[0099] 2b) 根据各个发热器件的  $y$  方向坐标, 确定其中最小  $y$  方向坐标为 Z 型流道入口横向流道  $y$  方向坐标, 确定其中最大  $y$  方向坐标为 Z 型流道出口横向流道  $y$  方向坐标, 从而确定 Z 型流道的入口横向流道位置和出口横向流道位置。

[0100] (3) 确定 Z 型流道几何模型

[0101] 根据 T/R 组件 Z 型流道冷板的纵向流道的位置以及横向流道位置, 确定 Z 型流道几何模型;

[0102] 3a) 根据确定的 T/R 组件 Z 型流道的纵向流道位置以及 Z 型流道的入口横向流道位置和出口横向流道位置, 分别连接 Z 型流道的纵向流道和 Z 型流道的入口横向流道位置以及出口横向流道, 构成 Z 型流道初步方案; Z 型流道初步方案如图 4 所示;

[0103] 3b) 沿  $x$  方向坐标增大方向 7 条 Z 型流道的纵向流道分别命名为纵向流道 1、纵向流道 2 ····· 纵向流道 7;

[0104] 3c) 在平行于 Z 型流道的入口横向流道沿  $y$  方向坐标增大方向做 6 条 Z 型流道的入口横向流道, 沿  $y$  方向坐标增大方向将 7 条 Z 型流道的入口横向流道分别命名为入口横向流道 1、入口横向流道 2 ····· 入口横向流道 7; 并在平行于 Z 型流道的出口横向流道沿  $y$  方向坐标减小方向做 6 条 Z 型流道的出口横向流道, 沿  $y$  方向坐标增大方向将 7 条 Z 型流道出口的横向流道分别命名为出口横向流道 1、出口横向流道 2 ····· 出口横向流道 7, 从而构成 Z 型流道进一步方案, Z 型流道进一步方案如图 5 所示;

[0105] 3d) 依次连接 Z 型流道纵向流道、Z 型流道入口横向流道和 Z 型流道出口横向流道, 删除命名标号不相同的 Z 型流道的纵向流道、Z 型流道的入口横向流道、Z 型流道的出口横向流道相连接的流道, 得到 7 条 Z 型流道;

[0106] 3e) 在 7 条 Z 型流道的直角折角处加入圆角, 确定 Z 型流道轴线轨迹, 并使 Z 型流道几何截面沿 Z 型流道轴线轨迹拉伸, 从而确定 T/R 组件 Z 型流道几何模型, Z 型流道几何模型俯视图如图 6 所示。

[0107] (4) 计算天线线阵的温度分布以及压降

[0108] 根据 T/R 组件 Z 型流道设计方案, 建立有源相控阵天线线阵的有限元模型; 并计算有源相控阵天线线阵的温度分布以及压降;

[0109] 本发明根据 T/R 组件 Z 型流道几何模型, 在 Solidworks 中将 4 个 Z 型流道几何模型的出口与入口相连接, 建立线阵 Z 型流道几何模型; 建立 T/R 组件的几何模型, 并将 4 个相同的 T/R 组件与 Z 型流道几何模型、冷板、加强筋以及 4 个天线单元的几何模型进行装

配,建立有源相控阵天线线阵的几何模型,天线线阵几何模型如图 7 所示,图中 A 为天线单元,B 为 Z 型流道,C 为 T/R 组件,D 为 Z 型流道冷板,E 为 Z 型流道入口,F 为 Z 型流道出口;T/R 组件从左到右依次命名为 T/R 组件 1、T/R 组件 2、T/R 组件 3、T/R 组件 4。由于所有发热器件中高功率放大器的发热功率占到 T/R 组件总发热功率的 90%以上,因此本发明的器件发热功率主要考虑高功率放大器的发热功率,T/R 组件中的高功率放大器从左到右依次命名为 HPA1、HPA2、HPA3 . . . . . HPA15、HPA16。

[0110] 在 ICEM 中划分网格,建立有源相控阵天线线阵的有限元模型,天线线阵有限元模型如图 8 所示。有源相控阵天线线阵的有限元模型包括 Z 型流道冷板、T/R 组件、Z 型流道、加强筋以及天线单元的有限元模型。

[0111] 确定有源相控阵天线线阵的有限元模型的部分物性参数,Z 型流道冷板、T/R 组件、加强筋材料均为铝,Z 型流道冷却液为水,天线单元材料为砷化镓。在 CFX-Pre 中设置有源相控阵天线线阵的有限元模型的边界条件,并计算有源相控阵天线线阵的温度分布,仿真求解类型为静态热求解;模型流体入口条件为速度边界,入口流速为 1.5m/s;流体入口温度为 273K(20℃);流体出口条件为相对静压;收敛残差设置为  $10^{-5}$ ;迭代次数设置为 120 步;计算得到的天线线阵温度分布如图 9 所示;从 CFX-Post 中发热器件最高温度、发热器件最大温差、冷板压降。

[0112] 3. 仿真结果

[0113] 利用以上步骤得到的天线线阵温度分布如图 9 所示。从 CFX-Post 中提取的高功率放大器最高温度如表 1 所示。

[0114] 表 1 器件最高温度

[0115]

	HPA1	HPA2	HPA3	HPA4	HPA5	HPA6	HPA7	HPA8
最高温度(℃)	52.5	53.8	54.0	53.6	58.0	57.2	55.3	58.0
	HPA9	HPA10	HPA11	HPA12	HPA13	HPA14	HPA15	HPA16
最高温度(℃)	55.9	54.6	54.1	58.9	58.6	55.6	59.0	57.9

[0116] 从表 1 可以看出,由于有源相控阵天线 T/R 组件 90%的热量来自其内部的功率放大器,且功率放大器对温度较为敏感,其电性能随着温度升高逐步恶化,根据天线电性能的要求,必须使 T/R 组件的功率放大器最高温度低于许可值 70℃,以提高 T/R 增益,保证它正常可靠地工作;表 1 中所有的高功率放大器最高温度均低于 70℃,满足热设计指标要求的高功率放大器最高温度。

[0117] 从表 1 可以看出,由于有源相控阵天线的热设计应满足器件最大温差要求,即控制器件最大温差不能过大,从而达到整个天线阵面的温差不能过大的目的,因为阵面温差过大不仅会影响 T/R 组件相位一致性,还会使天线冷板与 T/R 组件外壳产生热变形,这些因素都会影响有源相控阵天线电性能,通常温度一致性要求温差最大为 7℃;表 2 中 HPA15 的最高温度最高达到 59.0℃,HPA1 的最高温度最低为 52.5℃,温差为 6.5℃,满足热设计指标要求的器件最大温差要求。

[0118] 此外,CFX-Post 中提取的冷板压降达到 0.16MPa,小于指标要求的 0.3MPa,满足指

标热设计要求的冷板压降。

[0119] 综上所述,采用 Z 型流道冷板的天线线阵的器件最高温度、器件最大温差以及冷板压降满足有源相控阵天线热设计指标要求。

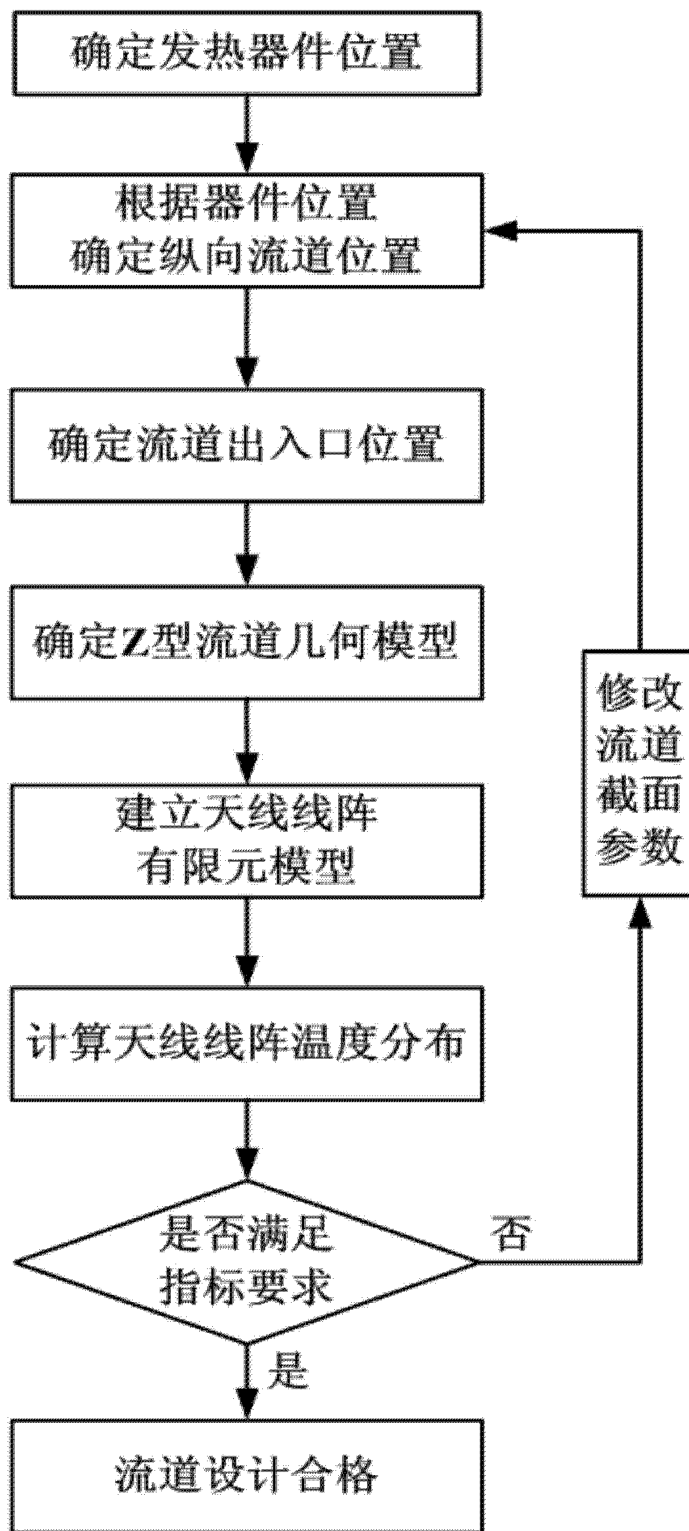


图 1

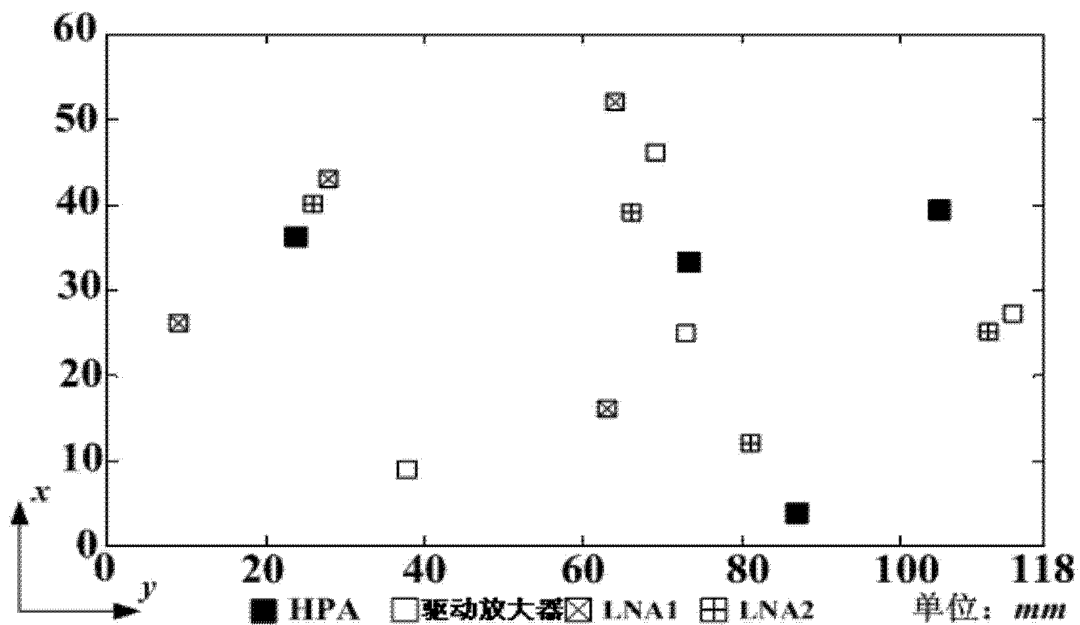


图 2

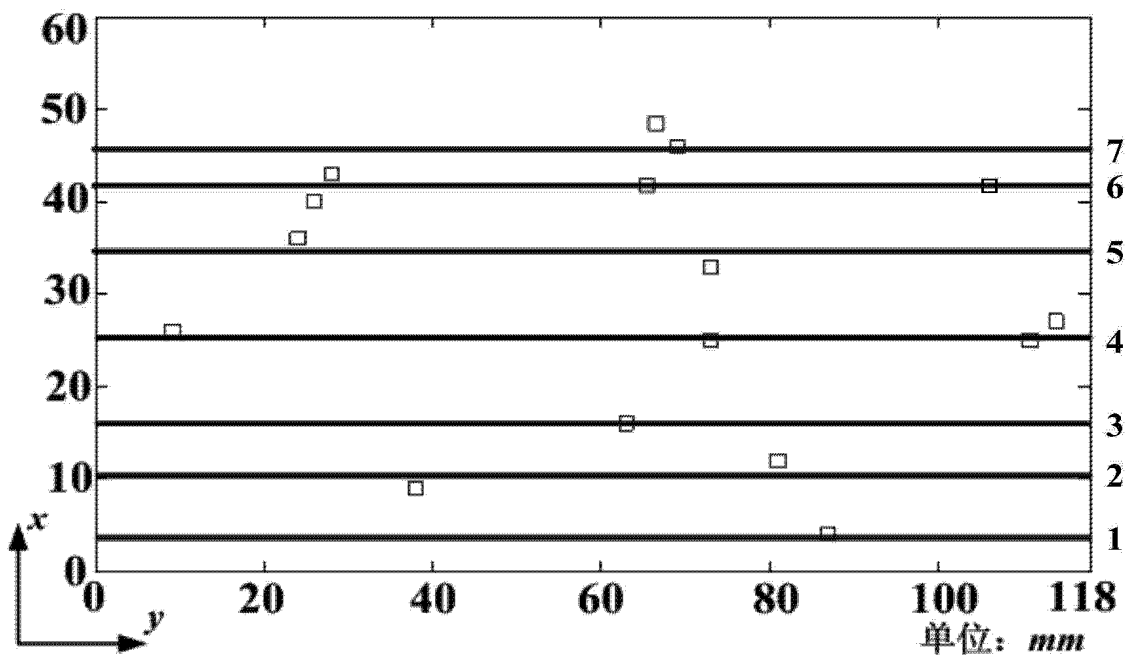


图 3

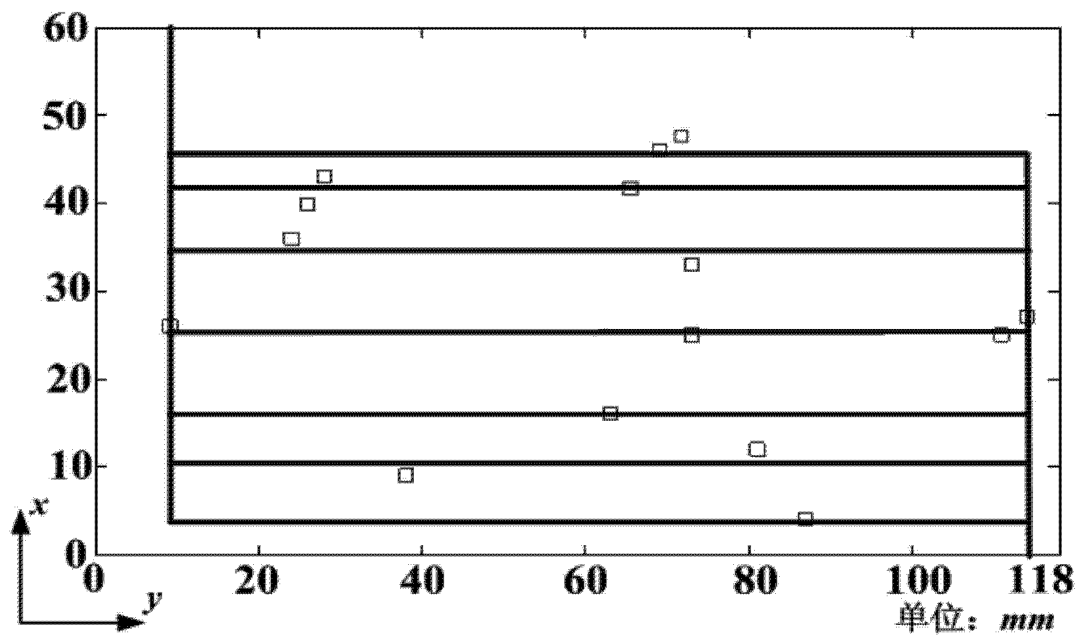


图 4

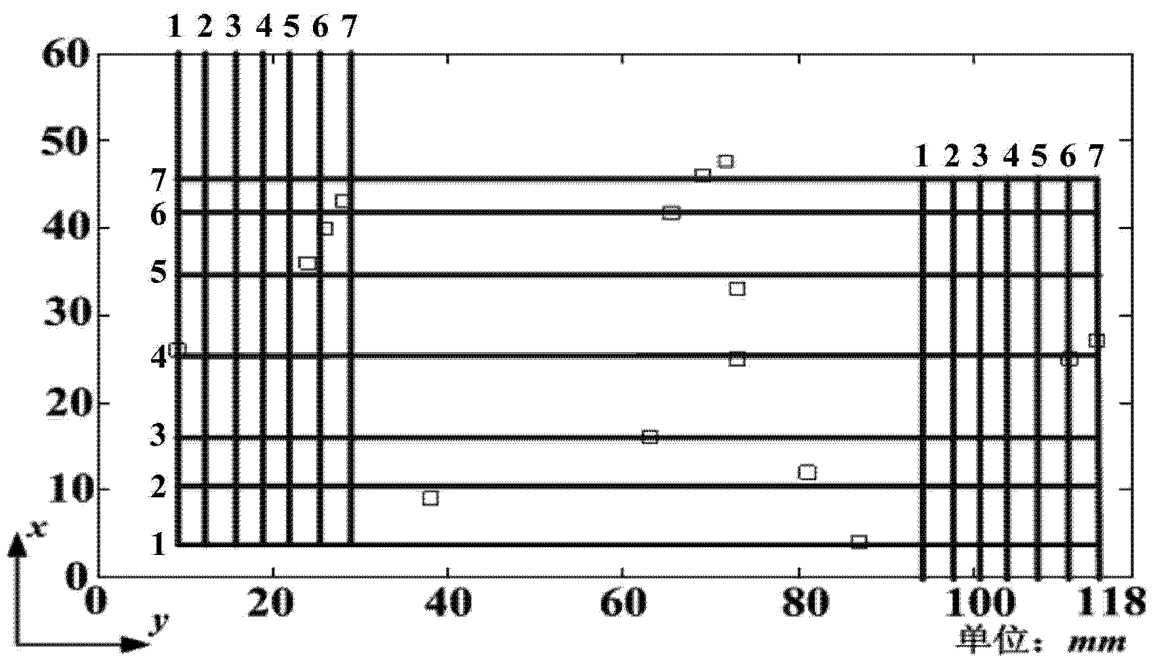


图 5

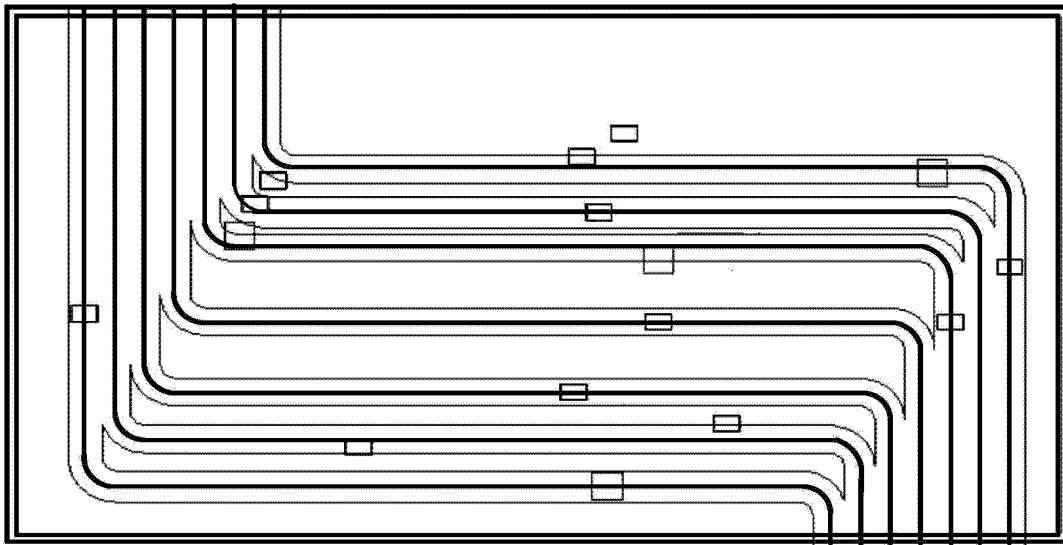


图 6

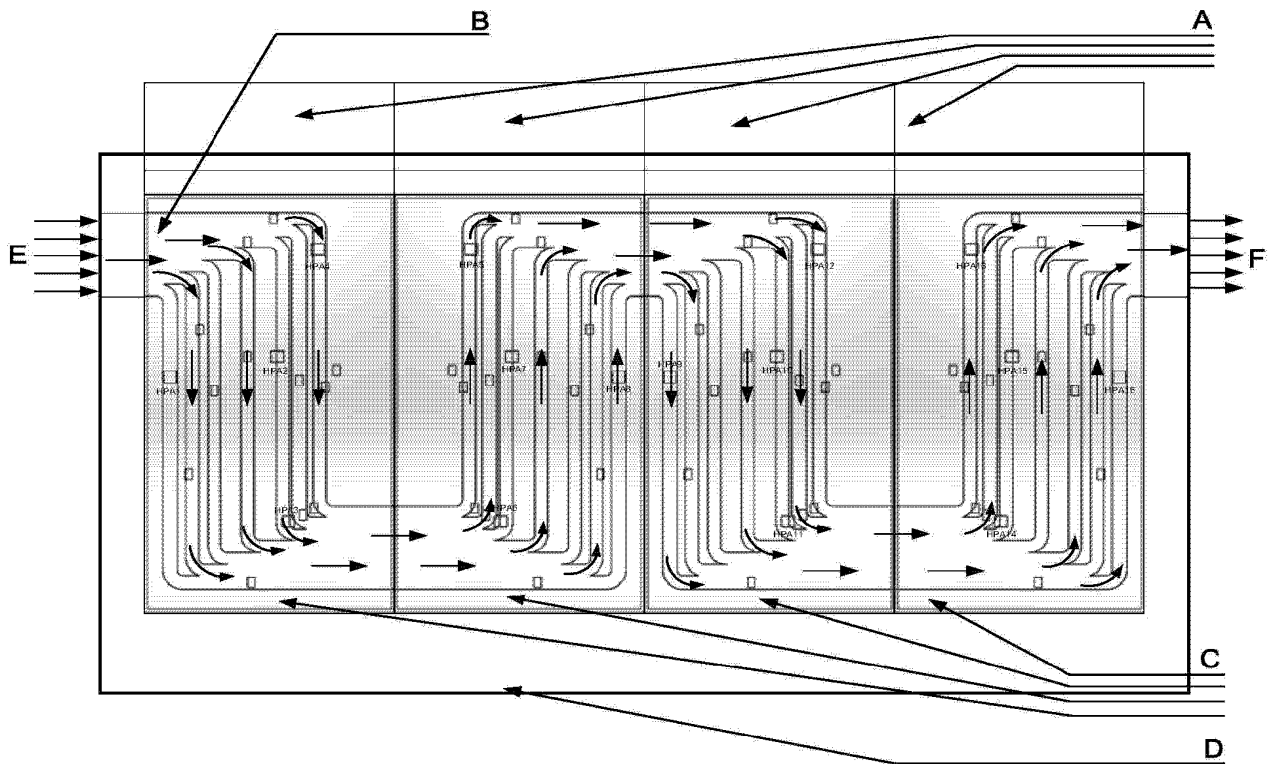


图 7

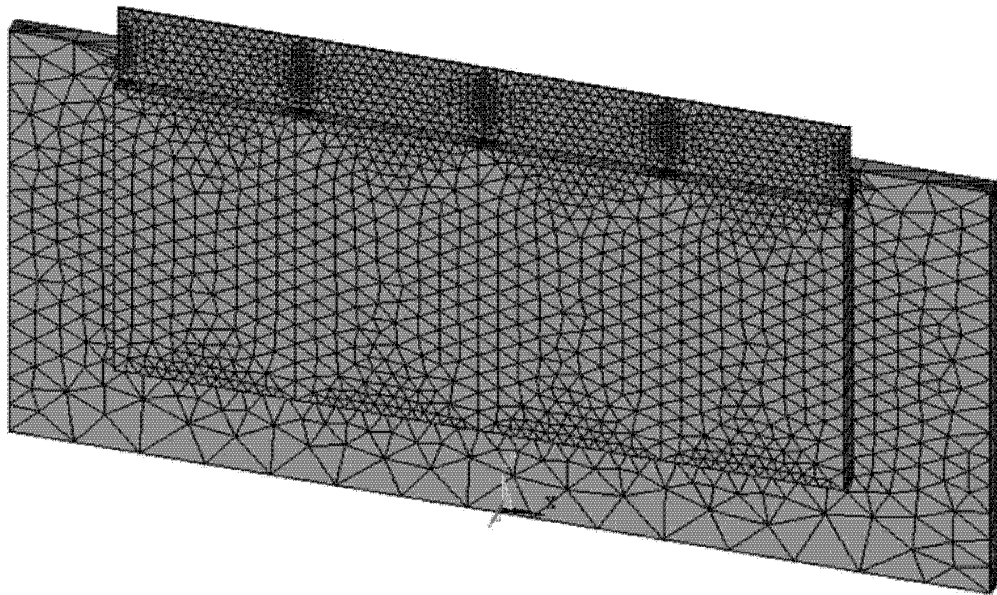


图 8

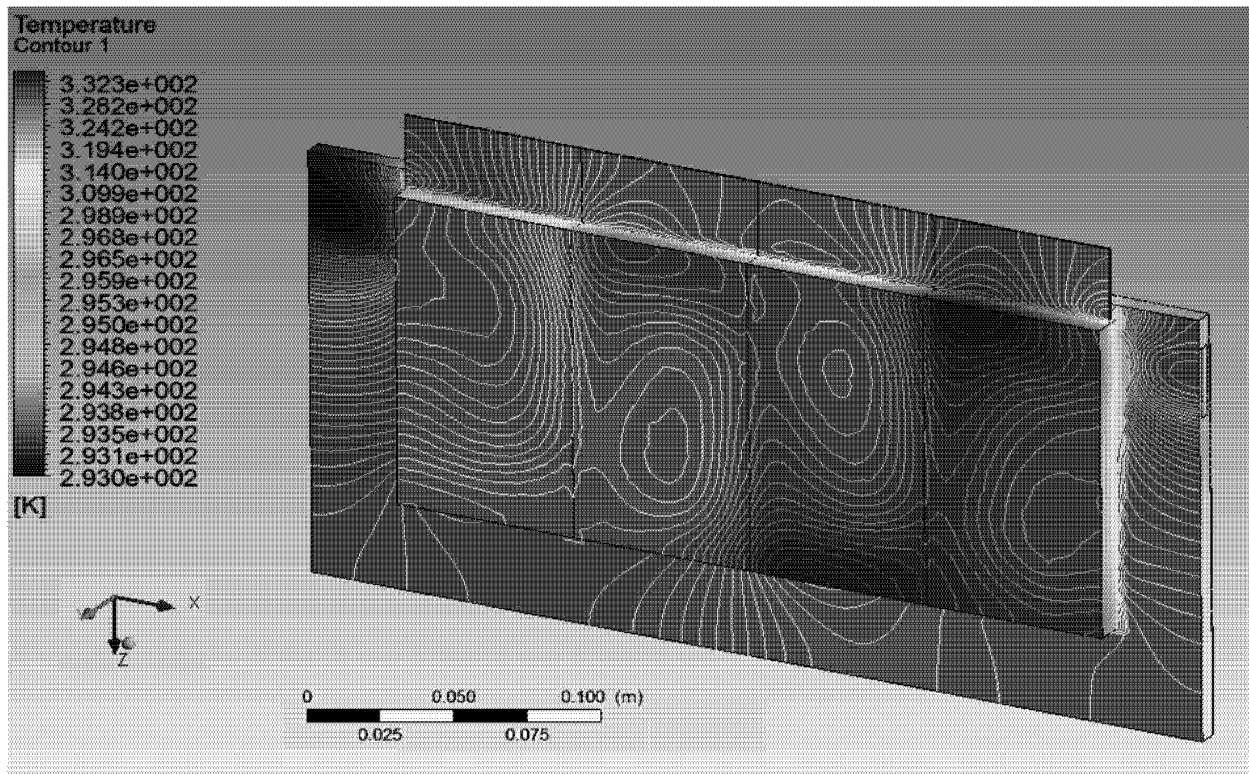


图 9