



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107526868 B

(45) 授权公告日 2020.09.25

(21) 申请号 201710578991.5

G06F 1/20 (2006.01)

(22) 申请日 2017.07.17

G06F 119/08 (2020.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107526868 A

(56) 对比文件

CN 106793686 A, 2017.05.31

CN 106528935 A, 2017.03.22

(43) 申请公布日 2017.12.29

CN 105760624 A, 2016.07.13

(73) 专利权人 安徽四创电子股份有限公司
地址 230088 安徽省合肥市高新技术产业
开发区香樟大道199号

CN 105677991 A, 2016.06.15

CN 106649976 A, 2017.05.10

(72) 发明人 杜志杰 丁飞 叶诚 刘鲁军
陈晶晶

张云超. 某船用电子机柜热设计研究. 《舰船
电子工程》. 2017, (第275期), 第146-148页.

席广辉等. 某雷达电子方舱的热设计研究.
《ELECTRONICS WORLD 探索与观察》. 2016, 第84-
85页.

(74) 专利代理机构 合肥和瑞知识产权代理事务
所(普通合伙) 34118
代理人 王挺 柯凯敏

审查员 石蒙蒙

(51) Int. Cl.

G06F 30/20 (2020.01)

权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

一种用于雷达电子机柜系统的热设计方法

(57) 摘要

本发明涉及热仿真设计领域,具体涉及一种用于雷达电子机柜系统的热设计方法。本方法包括以下步骤:选择散热方式;得到机柜与外界空气的传热量和辐射换热量;求解机柜整体散热所需风量;计算总压降;选择具体的散热部件;建立雷达电子机柜系统的三维模型;建立三维网格化的计算域;对雷达电子机柜系统进行仿真计算,得到初始仿真结果;建立温度分布的等高线云图以及流体的流动迹线,对不符合工作要求的机柜内部的结构及布局进行改进或者重新选择散热方式。本发明可以准确的模拟预测雷达电子机柜系统在使用过程中的温度分布和流体流动状况,从而实现对机柜内电子设备的布局以及散热方式的优化改良功能。



1. 一种用于雷达电子机柜系统的热设计方法,其特征在于包括以下步骤:

(1)、选择机柜内部需额外进行散热的器件的散热方式;

(2)、根据雷诺公式,雷诺数 $Re = \rho v D / \mu$;若 $Re < 10^5$,努谢尔特数 $Nu = 0.66 Re^{0.5}$;若 $Re > 10^5$, $Nu = 0.032 Re^{0.3}$;计算得到换热系数 h :

$$h = Nu \lambda_{\text{空}} / D$$

式中, $\lambda_{\text{空}}$ 为空气的导热系数,单位W/(mK);

D为机柜的特征尺寸,单位m;

根据所述换热系数 h ,分别计算出机柜内外壁面与空气的换热系数 h_1 和 h_2 ;建立能量守恒方程,根据下式得到机柜与外界空气的传热量 Q_1 :

$$Q_1 = \frac{A \Delta t_1}{\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} + \frac{\delta}{\lambda}}$$

式中,A为机柜有效换热面积,单位 m^2 ;

Δt_1 为机柜内外空气温差,单位 $^{\circ}C$;

δ 为机柜壁面的厚度,单位m;

h_1 为机柜内表面的换热系数,单位W/(m^2K);

h_2 为机柜外表面的换热系数,单位W/(m^2K);

λ 为机柜壁面的导热系数,单位W/(mK);

此外,如果机柜处于室外环境,还需依据以下辐射换热公式计算辐射换热量 Q_2 :

$$Q_2 = 0.047 \times h_2 \times A \times E \times \alpha$$

式中: h_2 为机柜外表面的换热系数,单位W/(m^2K);

A为机柜有效换热面积,单位 m^2 ;

E为当地太阳辐射强度,单位W/ m^2 ;

α 为机柜的吸收率;

(3)、将步骤(2)计算所得热量 Q_1 与 Q_2 同机柜内部器件发热量进行叠加,根据下式求解机柜整体散热所需风量V:

$$V = \frac{0.86(Q_1 + Q_2 + \sum_{i=1}^n P_i)}{C_p \rho \Delta t_2}$$

式中:V为机柜整体散热所需风量,单位 m^3/h ;

P_i 为机柜内部各器件耗散功率,单位W;

C_p 为空气的比热,单位J/($kg^{\circ}C$);

ρ 为空气密度,单位 kg/m^3 ;

Δt_2 为进出口空气温度差,单位 $^{\circ}C$;

(4)、根据机柜内部器件布局形式以及空气流向计算在步骤(3)中机柜整体散热所需风量下通过该机柜时的沿程阻力和局部阻力,得到总压降;

(5)、根据步骤(3)中的机柜整体散热所需风量V和步骤(4)中的总压降来选择具体的散热部件;

(6)、建立雷达电子机柜系统的三维模型；

(7)、根据边界条件、目标参数选择仿真计算的分析类型，并建立三维网格化的计算域；

(8)、根据机柜的结构和仿真结果所需的精度，手动划分局部网格，对发热器件、温度敏感区域、结构复杂区域以及重点研究区域进行局部网格加密处理；

(9)、对雷达电子机柜系统进行仿真计算，得到初始仿真结果；根据所述仿真结果，建立温度分布的等高线云图以及流体的流动迹线；根据所述的云图和流动迹线，分析各电子设备的温度以及流体流动状况是否符合工作要求，对不符合工作要求的机柜内部的结构及布局进行改进或者重新选择散热方式；

(10)、重复步骤(6)～步骤(9)，直至机柜内部所有电子设备的温度以及流体的流动状况均符合工作要求。

2. 根据权利要求书1所述的用于雷达电子机柜系统的热设计方法，其特征在于：所述步骤6)中，建立雷达电子机柜系统的三维模型包括机柜、机柜内电子设备以及散热设备；对三维模型中可简化的结构进行简化处理，以降低网格数量。

3. 根据权利要求书1所述的用于雷达电子机柜系统的热设计方法，其特征在于：所述步骤(8)中，所述的局部网格加密处理的方法包括提高细化网格的级别、提高细小固体特征细化级别以及降低待封闭孔缝的最大高度。

4. 根据权利要求书1所述的用于雷达电子机柜系统的热设计方法，其特征在于：所述步骤(1)中，散热方式分为强迫风冷和强迫液冷两种。

一种用于雷达电子机柜系统的热设计方法

技术领域

[0001] 本发明涉及热仿真设计领域,具体涉及一种用于雷达电子机柜系统的热设计方法。

背景技术

[0002] 雷达是一个复杂庞大的电子系统,内部集成了各种规格、型号数量众多的电子元器件,对散热一直有很高的要求。随着现代雷达技术的快速发展和功率器件制造技术的不断进步,雷达组装密度、功率密度的不断提高已经成为当前雷达发展的重要标志。雷达电子机柜是承载雷达电子设备的主要载体,雷达电子机柜系统温度分布是否合理是雷达能否正常工作的前提。利用外场实验对机柜系统性能和指标的测试已经不能满足需求:一方面,机柜所处的外界环境因素较多,且变化莫测,包括风速,空气温度、太阳辐射等都会对其产生较大影响,因此实测数据难以获取。另一方面,外场实验需要成品机柜系统,一旦系统的温度分布不能满足要求,必须重新设计生产,代价昂贵。有鉴于此,目前很多企业在产品的设计阶段就开始进行热设计,以选择合理的散热方式和结构布局。然而,现阶段的热设计工作都存在一定的缺陷,或仅采用粗浅的理论计算,或单纯的仅进行计算机仿真计算等,导致热设计的准确性和可信度往往不高。

发明内容

[0003] 本发明的目的为克服上述现有技术的不足,提供一种更为高效快捷的用于雷达电子机柜系统的热设计方法。本发明可以准确的模拟预测雷达电子机柜系统在使用过程中的温度分布和流体流动状况,从而实现机柜内电子设备的布局以及散热方式的优化改良功能,最终保证雷达电子机柜系统的正常平稳运行。

[0004] 为实现上述目的,本发明采用了以下技术方案:

[0005] 一种用于雷达电子机柜系统的热设计方法,其特征在于包括以下步骤:

[0006] (1)、选择机柜内部需额外进行散热的器件的散热方式;

[0007] (2)、根据雷诺公式,雷诺数 $Re = \rho v D / \mu$,若 $Re < 10^5$,努谢尔特数 $Nu = 0.66 Re^{0.5}$;若 $Re > 10^5$, $Nu = 0.032 Re^{0.3}$,计算得到换热系数 h :

[0008] $h = Nu \lambda_{\text{空}} / D$

[0009] 式中, $\lambda_{\text{空}}$ 为空气的导热系数,单位W/(mK);

[0010] D为机柜的特征尺寸,单位m;

[0011] 根据所述换热系数 h ,分别计算出机柜内外壁面与空气的换热系数 h_1 和 h_2 ;建立能量守恒方程,根据下式得到机柜与外界空气的传热量 Q_1 :

$$[0012] \quad Q_1 = \frac{A \Delta t_1}{\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} + \frac{\delta}{\lambda}}$$

[0013] 式中,A为机柜有效换热面积,单位 m^2 ;

[0014] Δt_1 为机柜内外空气温差,单位 $^{\circ}\text{C}$;

[0015] δ 为机柜壁面的厚度,单位 m ;

[0016] h_1 为机柜内表面的换热系数,单位 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$;

[0017] h_2 为机柜外表面的换热系数,单位 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$;

[0018] λ 为机柜壁面的导热系数,单位 $\text{W}/(\text{mK})$;

[0019] 此外,如果机柜处于室外环境,还需依据以下辐射换热公式计算辐射换热量 Q_2 :

$$[0020] \quad Q_2 = 0.047 \times h_2 \times A \times E \times \alpha$$

[0021] 式中: h_2 为机柜外表面的换热系数,单位 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$;

[0022] A 为机柜有效换热面积,单位 m^2 ;

[0023] E 为当地太阳辐射强度,单位 W/m^2 ;

[0024] α 为机柜的吸收率;

[0025] (3)、将步骤(2)计算所得热量 Q_1 与 Q_2 同机柜内部器件发热量进行叠加,根据下式求解机柜整体散热所需风量 V :

$$[0026] \quad V = \frac{0.86(Q_1 + Q_2 + \sum_{i=1}^n P_i)}{C_p \rho \Delta t_2}$$

[0027] 式中: V 为机柜整体散热所需风量,单位 m^3/h ;

[0028] P_i 为机柜内部各器件耗散功率,单位 W ;

[0029] C_p 为空气的比热,单位 $\text{J}/(\text{kg}^{\circ}\text{C})$;

[0030] ρ 为空气密度,单位 kg/m^3 ;

[0031] Δt_2 为进出口空气温度差,单位 $^{\circ}\text{C}$;

[0032] (4)、根据机柜内部器件布局形式以及空气流向,计算在步骤(3)中机柜整体散热所需风量下通过该机柜时的沿程阻力和局部阻力,得到总压降;

[0033] (5)、根据步骤(3)中的机柜整体散热所需风量 V 和步骤(4)中的总压降来选择具体的散热部件;

[0034] (6)、建立雷达电子机柜系统的三维模型;

[0035] (7)、根据边界条件、目标参数选择仿真计算的分析类型,并建立三维网格化的计算域;

[0036] (8)、根据机柜的结构和仿真结果所需的精度,手动划分局部网格,对发热器件、温度敏感区域、结构复杂区域以及重点研究区域进行局部网格加密处理;

[0037] (9)、对雷达电子机柜系统进行仿真计算,得到初始仿真结果;根据所述仿真结果,建立温度分布的等高线云图以及流体的流动迹线;根据所述的云图和流动迹线,分析各电子设备的温度以及流体流动状况是否符合工作要求,对不符合工作要求的机柜内部的结构及布局进行改进或者重新选择散热方式;

[0038] (10)、重复步骤(6)~步骤(9),直至机柜内部所有电子设备的温度以及流体的流动状况均符合工作要求。

[0039] 优选的,所述步骤6)中,建立雷达电子机柜系统的三维模型包括机柜、机柜内电子设备以及散热设备;对三维模型中可简化的结构进行简化处理,以降低网格数量。

[0040] 优选的,所述步骤(8)中,所述的局部网格加密处理的方法包括提高细化网格的级别、提高细小固体特征细化级别以及降低待封闭孔缝的最大高度。

[0041] 优选的,所述步骤(1)中,散热方式分为强迫风冷和强迫液冷两种。

[0042] 本发明的主要优点在于:

[0043] 1)、本发明通过建立新的理论计算模型,并搭配计算机仿真计算,将理论计算与计算机仿真计算彼此整合,从而有效的实现对机柜内电子设备的布局以及散热方式的优化改良功能。具体而言,本实用新型通过在仿真计算之前即初步确定雷达电子机柜的散热方式,并根据有限体积法的思想进行计算流体热力学的仿真,依靠对仿真结果不断修正再计算,通过计算-分析-修正-再计算的方式,以期实现准确地模拟预测雷达电子机柜系统在使用过程中的温度分布和流体流动状况的目的;本发明可确保雷达电子机柜系统能正常平稳地运行。

附图说明

[0044] 图1为本发明的方法流程框图;

[0045] 图2为雷达电子机柜系统的立体结构示意图。

具体实施方式

[0046] 为便于理解,此处结合图1-2对本发明的实施过程作以下进一步描述:

[0047] 本发明的具体应用对象如图2所示,其设计目的则是为了达到对雷达电子机柜系统在使用过程中的温度分布和流体流动状况的准确模拟及改良效果。

[0048] 本发明主要包括以下步骤:

[0049] (1)、选择机柜内部需额外进行散热的器件的散热方式,散热方式包括强迫风冷以及强迫液冷。

[0050] (2)、根据雷诺公式,雷诺数 $Re = \rho v D / \mu$,若 $Re < 10^5$,努谢尔特数 $Nu = 0.66 Re^{0.5}$;若 $Re > 10^5$, $Nu = 0.032 Re^{0.3}$,计算得到换热系数h:

[0051] $h = Nu \lambda_{\text{空}} / D$

[0052] 式中, $\lambda_{\text{空}}$ 为空气的导热系数,单位W/(mK);

[0053] D为机柜的特征尺寸,单位m。

[0054] 根据所述换热系数h,分别计算出机柜内外壁面与空气的换热系数 h_1 和 h_2 ;建立能量守恒方程,根据下式得到机柜与外界空气的传热量 Q_1 :

$$[0055] \quad Q_1 = \frac{A \Delta t_1}{\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} + \frac{\delta}{\lambda}}$$

[0056] 式中,A为机柜有效换热面积,单位 m^2 ;

[0057] Δt_1 为机柜内外空气温差,单位 $^{\circ}C$;

[0058] δ 为机柜壁面的厚度,单位m;

[0059] h_1 为机柜内表面的换热系数,单位W/(m^2K);

[0060] h_2 为机柜外表面的换热系数,单位W/(m^2K);

[0061] λ 为机柜壁面的导热系数,单位W/(mK)。

[0062] 此外,如果机柜处于室外环境,还需依据以下辐射换热公式计算辐射换热量 Q_2 :

$$[0063] \quad Q_2 = 0.047 \times h_2 \times A \times E \times \alpha$$

[0064] 式中: h_2 为机柜外表面的换热系数,单位 $W/(m^2K)$;

[0065] A 为机柜有效换热面积,单位 m^2 ;

[0066] E 为当地太阳辐射强度,单位 W/m^2 ;

[0067] α 为机柜的吸收率。

[0068] (3)、将步骤(2)计算所得热量 Q_1 与 Q_2 同机柜内部器件发热量进行叠加,根据下式求解机柜整体散热所需风量 V :

$$[0069] \quad V = \frac{0.86(Q_1 + Q_2 + \sum_{i=1}^n P_i)}{C_p \rho \Delta t_2}$$

[0070] 式中: V 为机柜整体散热所需风量,单位 m^3/h ;

[0071] P_i 为机柜内部各器件耗散功率,单位 W ;

[0072] C_p 为空气的比热,单位 $J/(kg^\circ C)$;

[0073] ρ 为空气密度,单位 kg/m^3 ;

[0074] Δt_2 为进出口空气温度差,单位 $^\circ C$ 。

[0075] (4)、根据机柜内部器件布局形式以及空气流向,计算在步骤(3)中机柜整体散热所需风量下通过该机柜时的沿程阻力和局部阻力,得到总压降。

[0076] (5)、根据步骤(3)中的机柜整体散热所需风量 V 和步骤(4)中的总压降来选择具体的散热部件。

[0077] (6)、建立雷达电子机柜系统的三维模型;建立雷达电子机柜系统的三维模型包括机柜、机柜内电子设备以及散热设备;对三维模型中可简化的结构进行简化处理,以降低网格数量。

[0078] (7)、根据边界条件、目标参数选择仿真计算的分析类型,并建立三维网格化的计算域。

[0079] (8)、根据机柜的结构和仿真结果所需的精度,手动划分局部网格,对发热器件、温度敏感区域、结构复杂区域以及重点研究区域进行局部网格加密处理。局部网格加密处理的方法包括提高细化网格的级别、提高细小固体特征细化级别以及降低待封闭孔缝的最大高度。

[0080] (9)、对雷达电子机柜系统进行仿真计算,得到初始仿真结果;根据所述仿真结果,建立温度分布的等高线云图以及流体的流动迹线。根据所述的云图和流动迹线,分析各电子设备的温度以及流体流动状况是否符合工作要求,对不符合工作要求的机柜内部的结构及布局进行改进或者重新选择散热方式。

[0081] (10)、重复步骤(6)~步骤(9),直至机柜内部所有电子设备的温度以及流体的流动状况均符合工作要求。

[0082] 为便于进一步理解本发明,此处给出以下实施例1:

[0083] 实施例1:

[0084] (1)、根据机柜内部需额外进行散热的器件的相关物性参数计算其体积功率密度,

并据此选择散热方式,一般为强迫风冷和强迫液冷:

[0085] 本实施例1中的机柜系统如图2所示,其内部需额外进行散热的器件为TR组件,根据TR组件的三维尺寸,得出该组件的体积为S;发热量为Q;根据常规的体积功率密度计算公式 $q=Q/S$,得到TR组件的体积功率密度 q 。由于 $q<0.18\text{W}/\text{cm}^3$,故在本实施例1中选择强迫风冷的散热方式。

[0086] (2)、利用相似原理所得出的相关相似准则数计算机柜内外表面的换热系数,并结合傅里叶定理和牛顿冷却公式,计算得到机柜与外界空气的传热量 Q_1 。

[0087] 根据雷诺公式,雷诺数 $Re=\rho vD/\mu$,若 $Re<10^5$,努谢尔特数 $Nu=0.66Re^{0.5}$;若 $Re>10^5$, $Nu=0.032Re^{0.3}$,计算得到换热系数 h :

$$[0088] \quad h=Nu\lambda_{\text{空}}/D$$

[0089] 式中, $\lambda_{\text{空}}$ 为空气的导热系数,单位 $\text{W}/(\text{mK})$;

[0090] D 为机柜的特征尺寸,单位 m 。

[0091] 根据所述换热系数 h ,分别计算出机柜内外壁面与空气的换热系数 h_1 和 h_2 ;建立能量守恒方程,根据下式得到机柜与外界空气的传热量 Q_1 :

$$[0092] \quad Q_1 = \frac{A\Delta t_1}{\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} + \frac{\delta}{\lambda}}$$

[0093] 式中, A 为机柜有效换热面积,单位 m^2 ;

[0094] Δt_1 为机柜内外空气温差,单位 $^{\circ}\text{C}$;

[0095] δ 为机柜壁面的厚度,单位 m ;

[0096] h_1 为机柜内表面的换热系数,单位 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$;

[0097] h_2 为机柜外表面的换热系数,单位 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$;

[0098] λ 为机柜壁面的导热系数,单位 $\text{W}/(\text{mK})$ 。

[0099] (3)、如果机柜处于室外环境,还需依据以下辐射换热公式计算辐射换热量 Q_2 :

$$[0100] \quad Q_2=0.047\times h_2\times A\times E\times\alpha$$

[0101] 式中: h_2 为机柜外表面的换热系数,单位 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$;

[0102] A 为机柜有效换热面积,单位 m^2 ;

[0103] E 为当地太阳辐射强度,单位 W/m^2 ;

[0104] α 为机柜的吸收率。

[0105] (4)、将步骤(2)计算所得热量 Q_1 与 Q_2 同机柜内部器件发热量进行叠加,根据下式求解机柜整体散热所需风量 V :

$$[0106] \quad V = \frac{0.86(Q_1 + Q_2 + \sum_{i=1}^n P_i)}{C_p \rho \Delta t_2}$$

[0107] 式中: V 为机柜整体散热所需风量,单位 m^3/h ;

[0108] P_i 为机柜内部各器件耗散功率,单位 W ;

[0109] C_p 为空气的比热,单位 $\text{J}/(\text{kg}^{\circ}\text{C})$;

[0110] ρ 为空气密度,单位 kg/m^3 ;

[0111] Δt_2 为进出口空气温度差,单位 $^{\circ}\text{C}$ 。

[0112] (5)、根据机柜内部器件布局形式以及空气流向,计算在步骤(3)中机柜整体散热所需风量下通过该机柜时的沿程阻力和局部阻力,得到总压降。

[0113] 根据流体力学的知识:沿程阻力,可先根据风道的摩擦系数,确定单位长度沿程阻力,再计算整个风道长度,确定总的沿程阻力。对于局部阻力,主要是针对风道折弯部位,流体力学上明确说明了不同类型弯道的阻力系数,可根据不同类型弯道的数量来计算局部阻力;将沿程阻力和局部阻力叠加便可得到总压降。由于该类计算均为常规计算方式,因此不再多作赘述。

[0114] (6)、根据步骤(3)中的机柜整体散热所需风量 V 和步骤(4)中的总压降来选择具体的散热部件。由于步骤(1)中选择了强迫风冷,因此此处具体的散热部件选择相应的风扇即可。

[0115] (7)、建立雷达电子机柜系统的三维模型,包括机柜、机柜内各电子设备以及散热设备,并对相关结构进行简化处理,如去掉螺钉螺纹孔、风扇简化为立方块等,以降低网格数量;

[0116] 图2是本发明实施例1所应用的雷达电子机柜系统。如图2所示,整个雷达电子机柜系统的三维模型包括两个机柜,每个机柜的顶端各设置一台风扇,入口流量为 $700\text{m}^3/\text{h}$,自由进风,压力为一个标准大气压。机柜内部在发热量较大的器件周围同样布置风扇,并增加挡风罩以限制流体的流动方向。模型已经对部分结构进行了简化处理。

[0117] (8)、根据边界条件、目标参数选择仿真计算的分析类型,并建立三维网格化的计算域。通过计算机热仿真软件模拟雷达电子机柜系统的使用环境、所用的固体材料、发热元器件的发热量、使用过程中的边界条件以及机柜内部风扇。

[0118] 考虑到仿真主要是研究机柜内部温度分布和流场分布,而不对机柜外的区域部进行研究;因此,本实施例选择内部的分析类型,计算域仅包括机柜所围区域。初始条件中以恒定温度为 20°C 的空气设定仿真的入口条件,开口压力为 101.325kPa 的环境压力。

[0119] (9)、根据机柜的结构和仿真结果所需的精度,手动划分局部网格,对发热器件、温度敏感区域、结构复杂区域、重点研究区域进行局部网格加密处理。

[0120] 由于整个机柜系统的结构较为复杂,因此在进行全局网格设置时,选择了二级基础网格,以减少网格数量。但为了提高相关区域的仿真精度,尤其是TR组件区域,因此又进行了网格加密处理。采取提高细化网格的级别和细小固体特征细化级别、降低待封闭孔缝的最大高度等手段来保证该区域仿真精度。

[0121] (10)、对雷达电子机柜系统进行仿真计算,得到初始仿真结果。根据所述仿真结果建立温度分布的等高线云图以及流体的流动迹线。根据所述的云图和流动迹线分析各电子设备的温度以及流体流动状况是否符合工作要求,若不符合,则对机柜内部的结构及布局进行改进或者重新选择散热方式。

[0122] 上述仿真计算基于有限体积法;固体内部的传热则依据有内热源的三维稳态导热微分方程,即:

$$[0123] \quad a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}\right) + \frac{q_V}{\rho c} = 0$$

[0124] 式中:a为热扩散率,单位 m^2/s ;

[0125] t为温度,单位 $^{\circ}C$;

[0126] q_v 为内热源强度,单位W;

[0127] ρ 为空气密度,单位 kg/m^3 ;

[0128] c为内热源的比热容,单位 $J/(kg^{\circ}C)$ 。

[0129] 表面对流换热依据对流换热过程微分方程,即:

$$[0130] \quad h_x = - \frac{\lambda}{\Delta \Theta_x} \left(\frac{\partial \Theta}{\partial y} \right)_{y,x}$$

[0131] 式中,过剩温度 $\Theta = t - t_w$,单位 $^{\circ}C$;

[0132] $\Delta \Theta_x = (\Theta_w - \Theta_f)_x$,单位 $^{\circ}C$ 。

[0133] 仿真计算后,获得初始仿真结果。分析机柜进出口压力损失,对比步骤(5)中所估算的总压降,判断风扇是否符合要求,若不符,应重新选择风压更大的风扇。同时,建立机柜系统的温度分布云图,并针对发热量较大的TR组件,单独建立温度分布云图。根据温度分布云图判断各个电子设备的温度是否满足要求,若不满足需调整设备的分布。通过建立机柜系统内部流体的流动迹线,直观地观察流体的流动方向和流速,基于尽量减少风道折弯,并使更多风量经过温度超高设备的原则进行设备分布调整。如果温度仍不能满足要求,可更换风量更大的风扇或者选用其他换热方式。通过上述不断修正并继续仿真计算,直到机柜内部所有电子设备的温度以及流体的流动状况均符合工作要求,此时整个热设计过程结束。

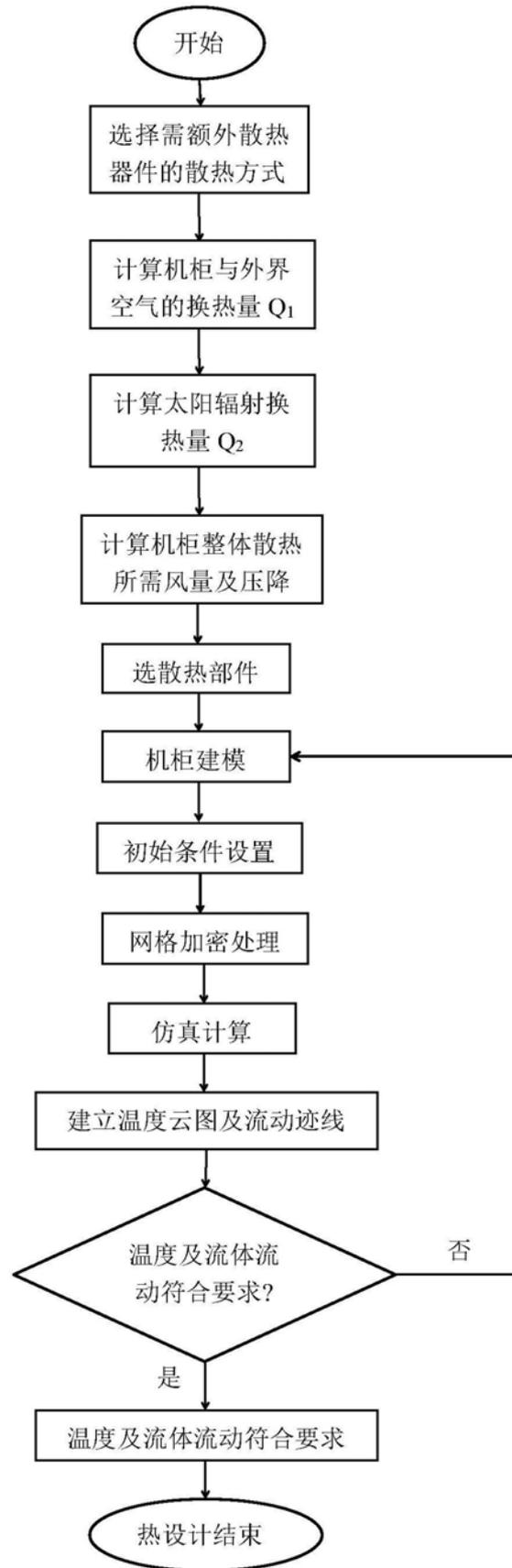


图1

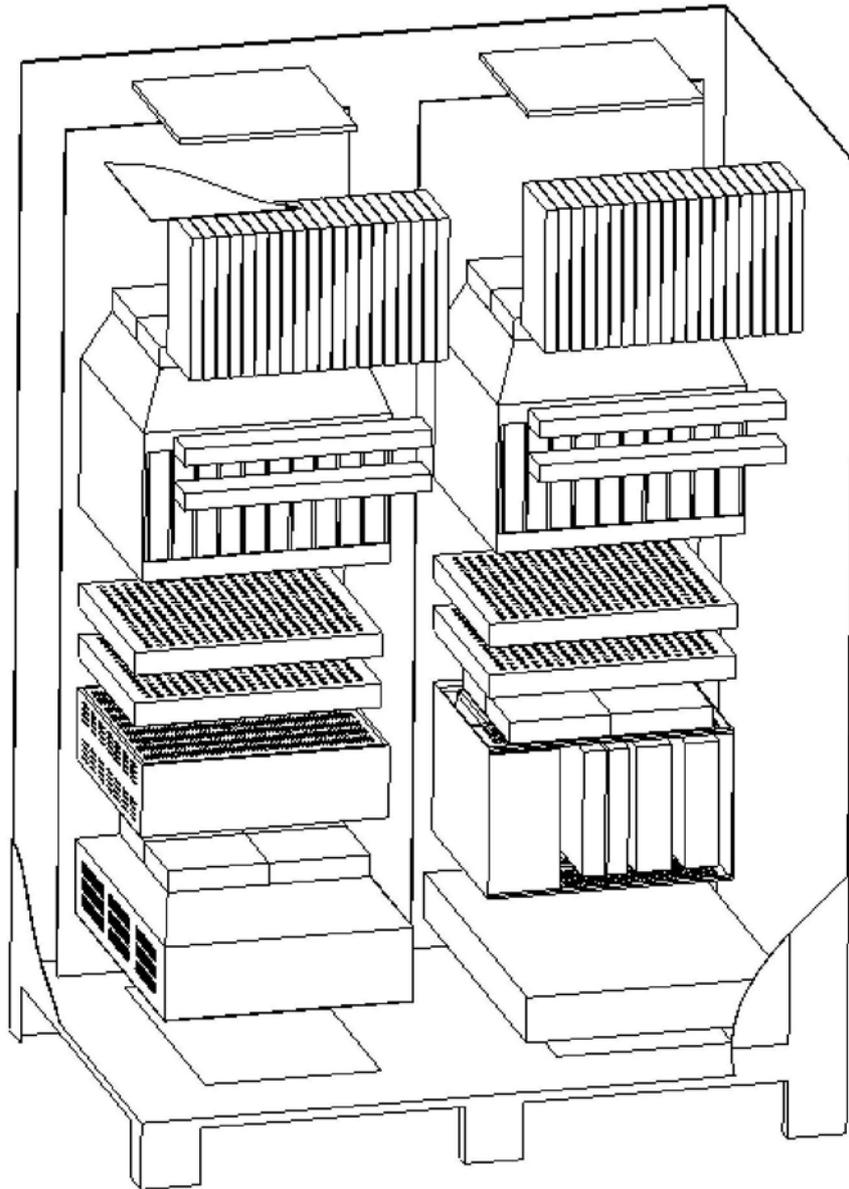


图2