(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 110705173 B
(45)授权公告日 2022.12.20

(21)申请号 201911075479.4

(22)申请日 2019.11.06

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110705173 A

(43)申请公布日 2020.01.17

(73)专利权人 中国计量科学研究院
地址 100013 北京市朝阳区北三环东路18号

(72)发明人 郝小鹏 司马瑞衡 宋健

(74)专利代理机构 北京华仁联合知识产权代理有限公司 11588
专利代理师 陈建

(51)Int.Cl.
G06F 30/23(2020.01)
G06F 119/08(2020.01)

(56)对比文件
CN 108647432 A,2018.10.12
CN 106093108 A,2016.11.09
CN 110197000 A,2019.09.03
CN 101017510 A,2007.08.15
HSIN WANG et al..Thermal Conductivity of Thermal Interface Materials Evaluated By a Transient Plane Source Method.《Journal of ELECTRONIC MATERIALS》.2019,第48卷(第7期),全文.

审查员 马晋涛

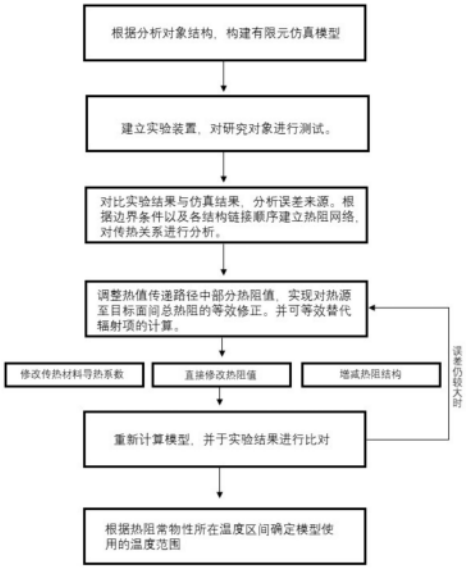
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54)发明名称

一种基于边界热源传热模型不确定参数的热阻等效修正方法

(57)摘要

本发明提供了一种基于边界热源传热模型不确定参数的热阻等效修正方法,基于温度范围内热阻的常物性和足够的温度均匀性,将传热模型视作热阻网络结构进行简化分析,根据一组位于参与面的温度测量信息,通过调整热流路径中某一区域热阻来对两温度面间总热阻的等效修正,以获得真实的传热速率,调整方法包括修改传热材料导热系数、直接修热阻值和增减热阻结构来实现。本发明可以有效地替代材料、间隙、接触等未知的导热参数与结构复杂的面面辐射,有效地提高了模型的精度,并大幅度减少因面面辐射运算而导致的计算量。



CN 110705173 B

1.一种基于边界热源传热模型不确定参数的热阻等效修正方法,其包括:

步骤1、根据分析研究对象,构建有限元仿真模型;

步骤2、建立实验装置,对研究对象进行测试;

步骤3、对比实验结果与仿真结果,分析误差来源;

步骤4、根据边界条件以及各结构链接顺序建立热阻网络,对传热关系进行分析,找出不确定参数所处位置,与其对传热过程的影响;

步骤5、对传热模型进行修正,调整热值传递路径中部分热阻值,实现对热源-目标面间总热阻的等效修正,以消除不确定参数对模型精度的影响;所述调整热值传递路径中部分热阻值的方法包括“修改传热材料导热系数、直接修热阻值和增减热阻结构”三种之一;

步骤6、省略边界条件中辐射项的计算,通过减小热值传递路径中导热热阻来弥补辐射散热,对辐射热阻进行等效替代;

步骤7、将修正后的结果与模型进行对比,当仍具有较大误差时,重复上述步骤4-6,直到获得符合要求的精确传热模型;

步骤8、确定模型使用温度范围,根据模型使用材料,确定各热物性保持常数的温度范围。

2.如权利要求1所述的热阻等效修正方法,其特征在于:步骤1中的构建有限元仿真模型包括,根据对象结构建立几何模型,根据对象使用材料物性设置有限元仿真模型构件材料参数,设置物理场与边界条件。

3.如权利要求1所述的热阻等效修正方法,其特征在于:步骤5中的调整热值传递路径中部分热阻,实现对总热阻的等效替代。

4.如权利要求1所述的热阻等效修正方法,其特征在于:步骤6中的通过减小热值传递路径中导热热阻,实现对边界条件中辐射项的省略和等效替代。

5.如权利要求1所述的热阻等效修正方法,其特征在于:步骤8中还包括根据材料热物性和辐射速率-温差关系,确定修正后模型的可使用的温度范围。

一种基于边界热源传热模型不确定参数的热阻等效修正方法

技术领域

[0001] 本发明涉及传热仿真分析领域。特别是涉及一种基于边界热源传热模型不确定参数的热阻等效修正方法。

背景技术

[0002] 传热是指由于温度差引起的能量转移，又称热传递，物体的传热过程分为三种基本传热模式，即：热传导、热对流、辐射。传热分析被广泛应用于现代工程应用中。而有限元模型分析则是传热分析中最主要的方法之一。根据实验装置和少量的样机试验所获得的数据构建有限元模型，进行结构优化、应用模拟、结果预测等分析和研究，从而替代那些复杂、耗资巨大的物理样机的尝试和制造，以及大量不同条件的实验测试，节省费用和缩短研制周期。

[0003] 然而，对于复杂的传热结构，建立精确的有限元模型是当前的一个重要挑战。大量的特征结构将带来巨大的计算量，而复杂结构带来的众多变量使得有限元模型难以获得准确的计算结果。此外，对于高精度的研究对象来说，各构件间的接触方式、孔隙以及不准确的材料参数将对计算结果造成巨大的影响。

[0004] 热阻定义为驱动势与相应的传输速率的比值。在没有内热源和物性为常数的一维传热情况下，常常使用热阻的概念来对传热过程进行分析，可以清楚的将热流传输过程表示出来。如专利CN109510544A、CN108647432A、CN101017510A等运用热阻网络对模型进行分析，然而，这些研究的目的主要是对某一参数进行预测和评估，而非修正方法的研究和对模型的修正。

发明内容

[0005] 本发明要解决的技术问题是材料、缝隙、接触等不确定的参数对模型精度的影响。

[0006] 本发明针对现有技术缺点，提供了一种基于边界热源传热模型不确定参数的热阻等效修正方法，其包括：

[0007] 步骤1、根据分析研究对象，构建有限元仿真模型；

[0008] 步骤2、建立实验装置，对研究对象进行测试；

[0009] 步骤3、对比实验结果与仿真结果，分析误差来源；

[0010] 步骤4、根据边界条件以及各结构链接顺序建立热阻网络，对传热关系进行分析，找出不确定参数所处位置，与其对传热过程的影响；

[0011] 步骤5、对传热模型进行修正，调整热值传递路径中部分热阻值，实现对热源-目标面间总热阻的等效修正，以消除不确定参数对模型精度的影响；

[0012] 步骤6、省略边界条件中辐射项的计算，通过减小热值传递路径中导热热阻来弥补辐射散热，对辐射热阻进行等效替代；

[0013] 步骤7、将修正后的结果与模型进行对比，当仍具有较大误差时，重复上述步骤3-6，直到获得符合要求的精确传热模型；

[0014] 步骤8、确定模型可使用的温度范围，根据模型使用材料，确定各热物性保持常数的温度范围。

[0015] 其中，步骤1中的构建有限元仿真模型包括，根据对象结构建立几何模型，根据对象使用材料物性设置有限元仿真模型构件材料参数，设置物理场与边界条件。

[0016] 其中，步骤5中的调整热值传递路径中部分热阻值的方法包括修改传热材料导热系数、直接修热阻值和增减热阻结构。

[0017] 其中，步骤5中的调整热值传递路径中部分热阻，实现对总热阻的等效替代。

[0018] 其中，步骤6中的通过减小热值传递路径中导热热阻，实现对边界条件中辐射项的省略和等效替代。

[0019] 其中，步骤8中还包括根据材料热物性和辐射速率-温差关系，确定修正后模型的可使用的温度范围。

[0020] 本发明通过精确仿真模型的构建，热值传递过程的分析，热源面和目标面温度实验测量，对热阻的修正与模型验证等环节。基于温度范围内热阻的常物性和足够的温度均匀性，将传热模型视作热阻网络结构进行简化分析，根据一组位于参与面的温度测量信息，通过调整热流路径中某一区域热阻来对两温度面间总热阻的等效修正，以获得真实的传热速率，调整方法包括修改传热材料导热系数、直接修热阻值和增减热阻结构来实现。这一方法可以有效地替代材料、间隙、接触等未知的导热参数与结构复杂的面面辐射，有效地提高了模型的精度，并大幅度减少因面面辐射运算而导致的计算量。

附图说明

[0021] 图1为本发明的修正流程示意图；

[0022] 图2为原模型热阻网络结构图；

[0023] 图3为未知热阻等效修正示意图；

[0024] 图4为辐射热阻等效替代示意图；

[0025] 图5为表面-环境温差与单位面积净辐射量关系图。

具体实施方式

[0026] 为了便于理解本发明，下面结合附图对本发明的实施例进行说明，本领域技术人员应当理解，下述的说明只是为了便于对发明进行解释，而不作为对其范围的具体限定。

[0027] 考虑导热热阻、接触热阻与辐射热阻在小温度变化范围内可近似为定值，在两温度面间，调整热阻网络中某一项热阻，可以等效替代未知热阻以及计算量巨大的辐射项。热阻的种类和数量并不是关心的重点，它们都被总热阻所包含。需要注意两个重要前提：(1)良好的表面温度均匀性，使得温度空间分布被忽略，方可将物理模型使用一维度热阻网络结构进行分析。否则，这一方法将导致模型在面域上的不准确。(2)在使用温度范围内各热阻保持常物性。仅当各热阻为定值时，根据某一温度点数据完成修正的模型在温度范围内适用。

[0028] 基于边界热源传热模型不确定参数的热阻等效修正方法可包括以下步骤：

[0029] 根据分析研究对象，构建有限元仿真模型。

[0030] 建立实验装置，对研究对象进行测试。

[0031] 对比实验结果与仿真结果，分析误差来源。当差异来源为边界热源传热模型参数的不确定时，使用下面方法对模型进行修正，以消除不确定参数对模型造成的影响。

[0032] 根据边界条件以及各结构链接顺序建立热阻网络，对传热关系进行分析。找出不确定参数所处位置，与其对传热过程的影响。

[0033] 对传热模型进行修正。通过调整热值传递路径中部分热阻值，实现对热源-目标面间总热阻的等效修正，以消除不确定参数对模型精度的影响。

[0034] 省略边界条件中辐射项的计算，通过减小热值传递路径中导热热阻来弥补辐射散热，对辐射热阻进行等效替代。

[0035] 将修正后的结果与模型进行对比。当仍具有较大误差时，重复上述修正过程，直到获得符合要求的精确传热模型。

[0036] 确定模型使用温度范围，并根据这一修正模型进行下一步研究和计算。

[0037] 下面进行更为详细的描述，图1所示为本发明的修正流程示意图，基于边界热源传热模型不确定参数的热阻等效修正方法具体包括以下步骤：

[0038] 根据分析对象结构，构建有限元仿真模型。构建过程包括，根据对象结构建立几何模型。根据对象使用材料物性设置有限元仿真模型构件材料参数。设置物理场与边界条件，其中可能包括的有边界热源、边界温度源、边界热损耗、热通量、热接触、边界辐射等。对有限元仿真模型进行网格划分。设置求解器并进行求解计算。

[0039] 建立实验装置，对分析对象进行测试，获得实验数据作为修正的标准来源。

[0040] 对比实验结果与仿真结果，分析误差来源。当差异来源为边界热源传热模型参数的不确定时，使用下面方法对模型进行修正，以消除不确定参数对模型造成的影响。

[0041] 根据边界条件以及各结构链接顺序建立热阻网络，对传热关系进行分析。找出不确定参数所处位置，与其对传热过程的影响。如图2为例，在热值传递路径中，T_A为待求解温度，T_B已知的恒温热源温度，在T_A和T_B之间为保持链接的热阻网络，q_{heat}为已知的恒功率边界热源(如加热功率恒定的加热电阻片)。在热值传递路径中，热阻$R_3 \cdots R_n$无法准确得知。

[0042] 对传热模型进行修正的步骤中，如图3所示，根据热阻等效修正法，仅需将热阻R_3进行调整，调整后的热阻R_3'将包含无限热阻$R_3 \cdots R_n$，使得总热阻R_{total}与真实热阻保持一致即可，这一方法使用了等效替代的思路。

[0043] 对总热阻的修正可以使用三种方法：直接修改某一项热阻值，在热值传递路径上增减某一热阻和通过修改材料导热系数来对热阻进行修正。

[0044] 此外，对边界条件中的辐射项目也可以进行等效替代。材料表面的单位面积净辐射速率可以写作$\varepsilon\sigma(T_{sub}^4-T_{amb}^4)$。在小温度变化范围内时，黑体辐射速率与黑体与环境温差可近似视作线性关系可以简化为$h(T_{sub}-T_{amb})$，热阻视作定值。当模型应用的变化范围在一个较低的温度范围时，可以通过热阻的修正来等效替代辐射散热，大幅度降低因辐射计算而增加的计算量。如图4所示，通过热阻R_2的调整(例如R_{rad}、R_1、R_2分别为8，2，2，可以将R_2修改为2/3，即可等效替代R_{rad}。通常辐射热阻是远大于导热热阻的，如果辐射热阻相对较小，通过调整R_2无法等效替代R_{rad}，则需要同时调整R_1、R_2)等效替代辐射热阻R_{rad}。

[0045] 在对热阻网络进行等效修正以后，重新计算模型，与实验结果进行比对。当误差仍较大时，根据比对结果进行再次修正。

[0046] 确定模型可使用的温度范围。根据模型使用材料，确定各热物性保持常数的温度

范围。计算净辐射量与环境-目标面温差。图5为表面-环境温差与单位面积净辐射量关系图，如图5所示，当环境温度为273K时，材料表面温度由273K升至283K时，R_{rad}热阻均为23，即当目标面温度在273K-283K时，热辐射热阻均近似保持常物性。

[0047] 可以理解的是，虽然本发明已以较佳实施例披露如上，然而上述实施例并非用以限定本发明。对于任何熟悉本领域的技术人员而言，在不脱离本发明技术方案范围情况下，都可利用上述揭示的技术内容对本发明技术方案作出许多可能的变动和修饰，或修改为等同变化的等效实施例。因此，凡是未脱离本发明技术方案的内容，依据本发明的技术实质对以上实施例所做的任何简单修改、等同变化及修饰，均仍属于本发明技术方案保护的范围内。

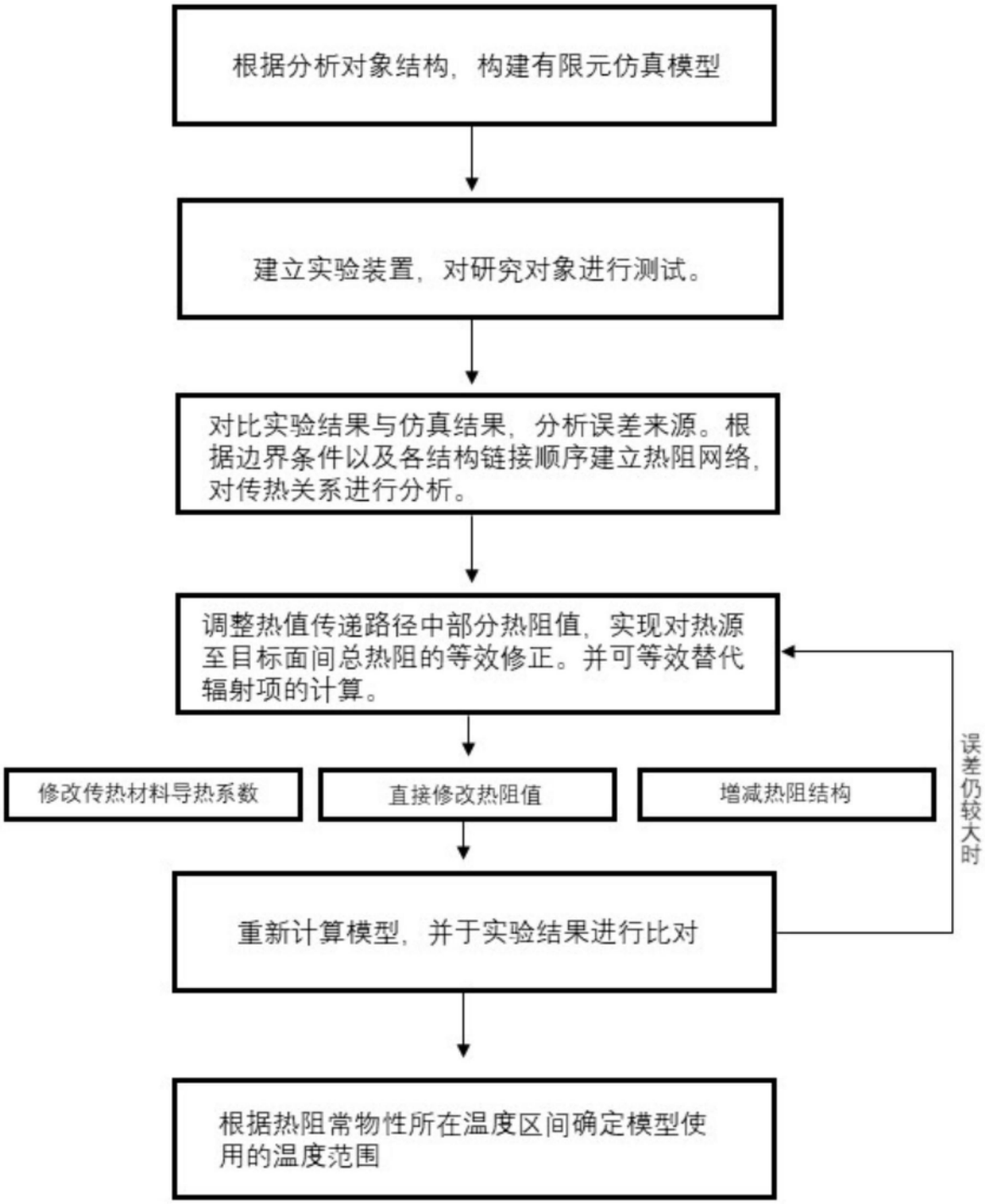

根据分析对象结构，构建有限元仿真模型
建立实验装置，对研究对象进行测试。
对比实验结果与仿真结果，分析误差来源。根据边界条件以及各结构链接顺序建立热阻网络，对传热关系进行分析。
调整热值传递路径中部分热阻值，实现对热源至目标面间总热阻的等效修正。并可等效替代辐射项的计算。
修改传热材料导热系数
直接修改热阻值
增减热阻结构
误差仍较大时
重新计算模型，并于实验结果进行比对
根据热阻常物性所在温度区间确定模型使用的温度范围

图1

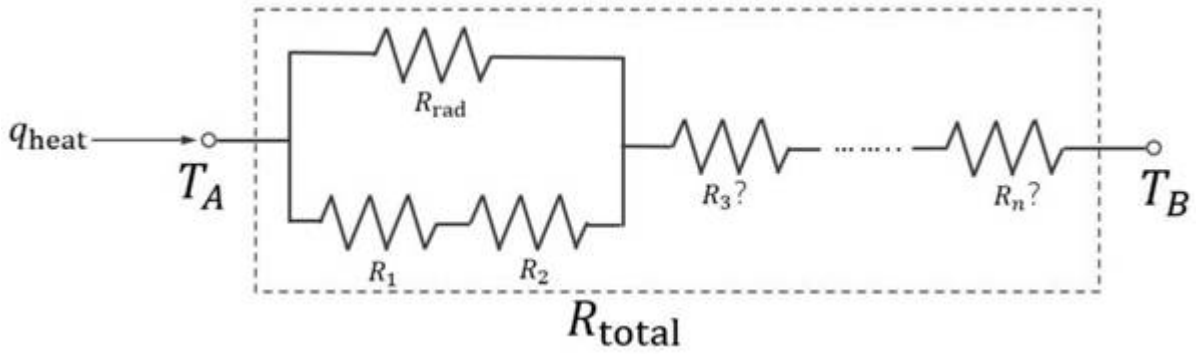

q_{heat}
T_A
R_{rad}
R_1
R_2
$R_3?$
$R_n?$
T_B
R_{total}

图2

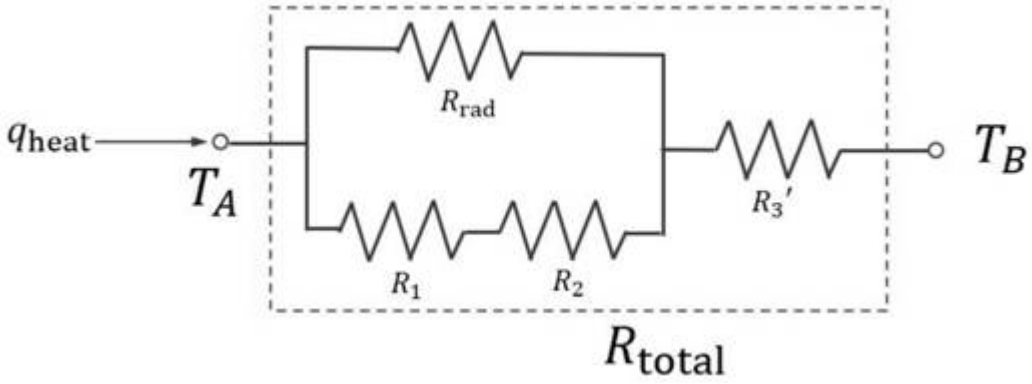

q_{heat}
T_A
R_{rad}
R_1
R_2
R_3'
T_B
R_{total}

图3

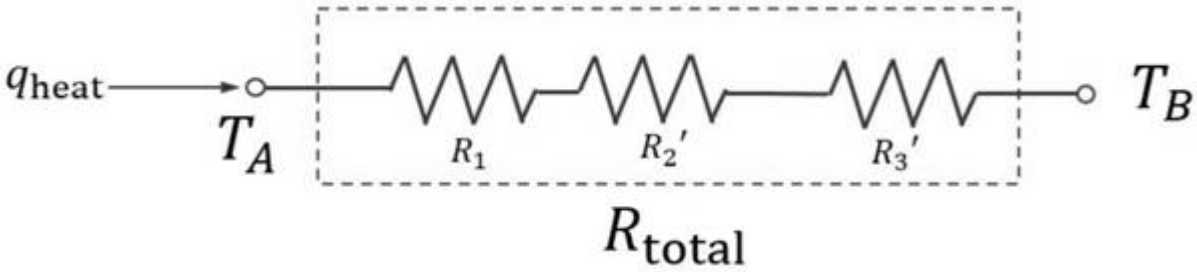

q_{heat}
T_A
R_1
R_2'
R_3'
T_B
R_{total}

图4

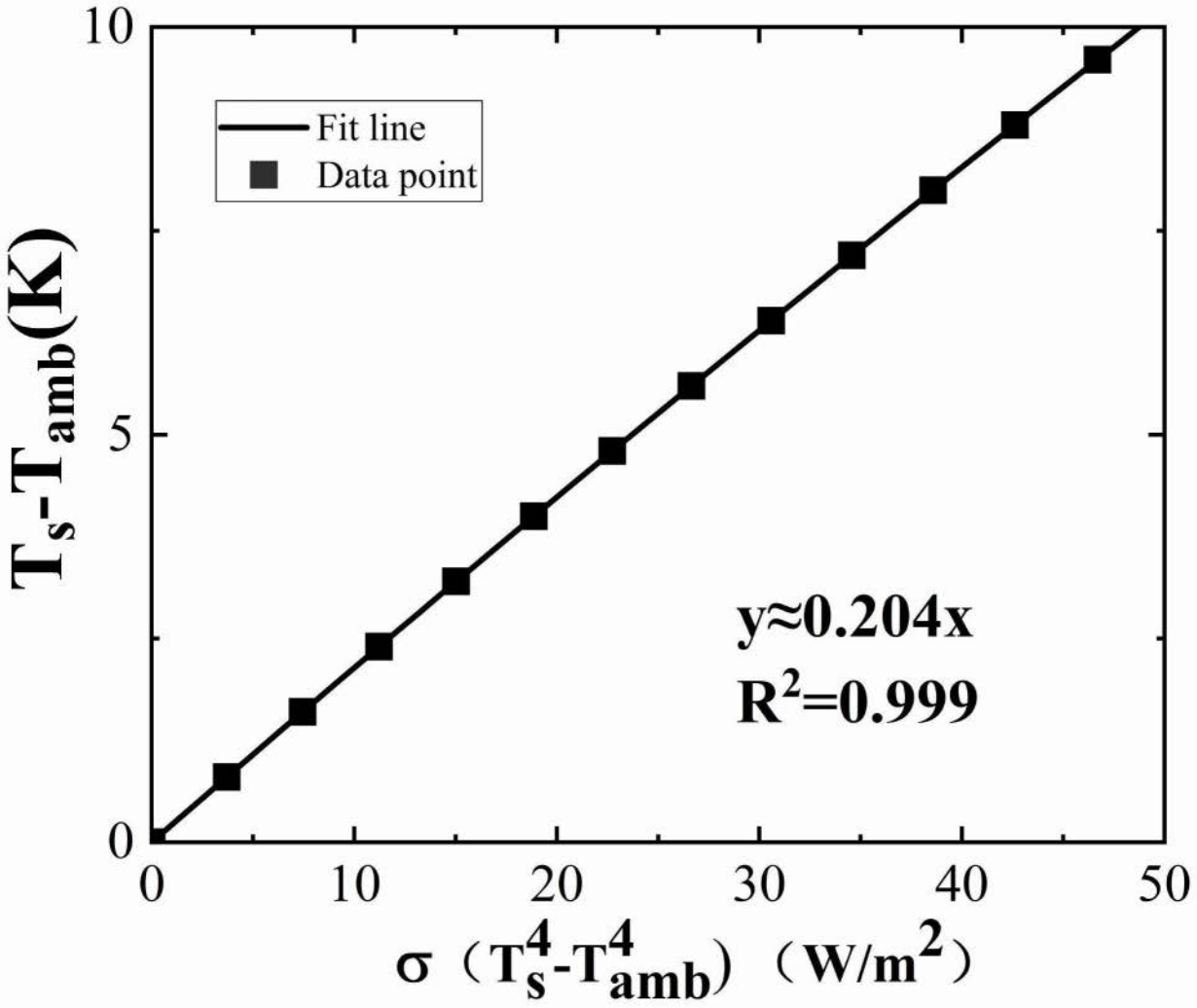

10
5
0
0
10
20
30
40
50
Fit line
Data point
y≈0.204x
R²=0.999
Ts-Tamb(K)
σ（T⁴s-T⁴amb）（W/m²）

图5