



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114626269 B

(45) 授权公告日 2023.03.24

(21) 申请号 202210275786.2

G06F 119/14 (2020.01)

(22) 申请日 2022.03.21

审查员 沈乐平

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 114626269 A

(43) 申请公布日 2022.06.14

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72) 发明人 王睿星 宋宏伟 马特 王喆

袁武 路玲玲

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理

事务所(普通合伙) 11390

专利代理师 焦海峰

(51) Int. Cl.

G06F 30/23 (2020.01)

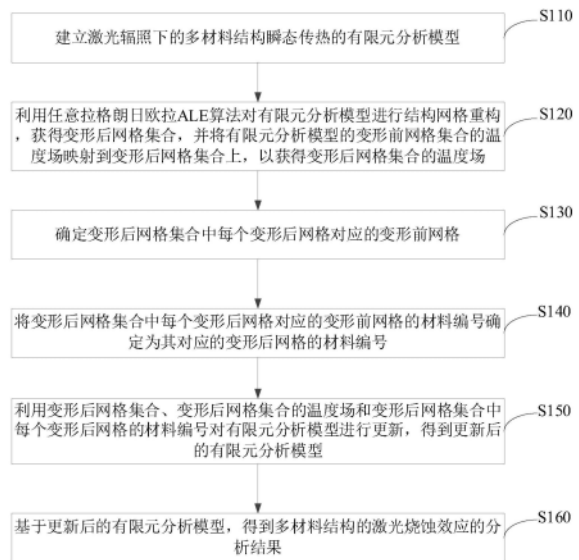
权利要求书2页 说明书9页 附图5页

(54) 发明名称

一种分析多材料结构激光烧蚀效应的方法和装置

(57) 摘要

本申请实施例提供一种分析多材料结构激光烧蚀效应的方法和装置,该方法包括:建立多材料结构瞬态传热的有限元分析模型;利用ALE算法对有限元分析模型进行结构网格重构,并将变形前网格集合的温度场映射到变形后网格集合上,以获得变形后网格集合的温度场;确定每个变形后网格对应的变形前网格;将每个变形后网格对应的变形前网格的材料编号确定为其对应的变形后网格的材料编号;利用变形后网格集合、变形后网格集合的温度场和变形后网格集合中每个变形后网格的材料编号对有限元分析模型进行更新;基于更新后的有限元分析模型,得到多材料结构的激光烧蚀效应的分析结果。本申请实施例能够实现激光对多材料结构烧蚀效应的高精度数值仿真分析。



1. 一种分析多材料结构激光烧蚀效应的方法,其特征在于,包括:
 - 建立激光辐照下的多材料结构瞬态传热的有限元分析模型;
 - 利用任意拉格朗日欧拉ALE算法对所述有限元分析模型进行结构网格重构,获得变形后网格集合,并将所述有限元分析模型的变形前网格集合的温度场映射到所述变形后网格集合上,以获得所述变形后网格集合的温度场;
 - 确定所述变形后网格集合中每个变形后网格对应的变形前网格;
 - 将所述变形后网格集合中每个变形后网格对应的变形前网格的材料编号确定为其对应的变形后网格的材料编号;
 - 利用所述变形后网格集合、所述变形后网格集合的温度场和所述变形后网格集合中每个变形后网格的材料编号对所述有限元分析模型进行更新,得到更新后的有限元分析模型;
 - 基于所述更新后的有限元分析模型,得到所述多材料结构的激光烧蚀效应的分析结果;
 - 其中,所述利用任意拉格朗日欧拉ALE算法对所述有限元分析模型进行结构网格重构,获得变形后网格集合,包括:
 - 将结构耦合面的烧蚀退化量作为待插值量,运用插值函数对所述结构耦合面网格节点的变形量进行拟合,然后利用构造的插值函数将耦合面变形效应光滑地分散到整个结构网格区域的节点上,以得到结构所有节点的总变形量,以及结合变形前节点坐标和节点变形量,得到结构节点的变形后坐标;
 - 所述确定所述变形后网格集合中每个变形后网格对应的变形前网格,包括:
 - 对第一变形后网格的信息进行统计,得到所述第一变形后网格的中心坐标;其中,所述第一变形后网格为所述变形后网格集合中任意一个变形后网格;
 - 计算所述第一变形后网格的中心坐标和所述变形前网格集合中每个变形前网格的中心坐标之间的距离;
 - 将所述距离最小的变形前网格确定为所述第一变形后网格对应的变形前网格。
2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述第一变形后网格的中心坐标为所述第一变形后网格的各个节点坐标的算术平均值,以及所述每个变形前网格的中心坐标为所述每个变形前网格的各个节点坐标的算术平均值。
3. 根据权利要求1或2所述的方法,其特征在于,在所述将所述距离最小的变形前网格确定为所述第一变形后网格对应的变形前网格之前,所述方法还包括:
 - 对所述每个变形前网格的信息进行统计,得到所述每个变形前网格的中心坐标,并分别确定所述每个变形前网格的材料编号。
4. 一种分析多材料结构激光烧蚀效应的装置,其特征在于,包括:
 - 建立模块,用于建立激光辐照下的多材料结构瞬态传热的有限元分析模型;
 - 重构映射模块,用于利用任意拉格朗日欧拉ALE算法对所述有限元分析模型进行结构网格重构,获得变形后网格集合,并将所述有限元分析模型的变形前网格集合的温度场映射到所述变形后网格集合上,以获得所述变形后网格集合的温度场;
 - 第一确定模块,用于确定所述变形后网格集合中每个变形后网格对应的变形前网格;
 - 第二确定模块,用于将所述变形后网格集合中每个变形后网格对应的变形前网格的材

料编号确定为其对应的变形后网格的材料编号；

更新模块,用于利用所述变形后网格集合、所述变形后网格集合的温度场和所述变形后网格集合中每个变形后网格的材料编号对所述有限元分析模型进行更新,得到更新后的有限元分析模型；

分析模块,用于基于所述更新后的有限元分析模型,得到所述多材料结构的激光烧蚀效应的分析结果；

所述重构映射模块,具体用于:将结构耦合面的烧蚀退化量作为待插值量,运用插值函数对所述结构耦合面网格节点的变形量进行拟合,然后利用构造的插值函数将耦合面变形效应光滑地分散到整个结构网格区域的节点上,以得到结构所有节点的总变形量,以及结合变形前节点坐标和节点变形量,得到结构节点的变形后坐标；

所述第一确定模块,具体用于:对第一变形后网格的信息进行统计,得到所述第一变形后网格的中心坐标;其中,所述第一变形后网格为所述变形后网格集合中任意一个变形后网格;计算所述第一变形后网格的中心坐标和所述变形前网格集合中每个变形前网格的中心坐标之间的距离;将所述距离最小的变形前网格确定为所述第一变形后网格对应的变形前网格。

5. 根据权利要求4所述的装置,其特征在于,所述第一变形后网格的中心坐标为所述第一变形后网格的各个节点坐标的算术平均值,以及所述每个变形前网格的中心坐标为所述每个变形前网格的各个节点坐标的算术平均值。

6. 根据权利要求 4或5所述的装置,其特征在于,所述装置还包括:

统计模块,用于在所述将所述距离最小的变形前网格确定为所述第一变形后网格对应的变形前网格之前,对所述每个变形前网格的信息进行统计,得到所述每个变形前网格的中心坐标,并分别确定所述每个变形前网格的材料编号。

7. 一种存储介质,其特征在于,所述存储介质上存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器运行时执行如权利要求1-3任一所述的分析多材料结构激光烧蚀效应的方法。

8. 一种电子设备,其特征在于,所述电子设备包括:处理器、存储器和总线,所述存储器存储有所述处理器可执行的机器可读指令,当所述电子设备运行时,所述处理器与所述存储器之间通过总线通信,所述机器可读指令被所述处理器执行时执行如权利要求1-3任一所述的分析多材料结构激光烧蚀效应的方法。

一种分析多材料结构激光烧蚀效应的方法和装置

技术领域

[0001] 本申请涉及热力学结构领域,特别是涉及一种分析多材料结构激光烧蚀效应的方法和装置。

背景技术

[0002] 近年来,随着激光器输出功率和能量的进一步提升,激光技术已被广泛应用于精密加工与制造、纳米材料制备、核聚变驱动和高速目标毁伤等领域。其中,激光与物质的相互作用效应是一个共性的科学问题,并且该科学问题已成为领域内学者关注的重点问题。

[0003] 强激光辐照靶体时,可能会发生熔融、氧化、热解、升华和机械剥蚀等复杂的物理化学过程,从而造成质量损失而引起材料烧蚀,属于典型的移动边界问题。因此,对强激光烧蚀问题开展研究时,需要充分考虑烧蚀界面动态演化对结构传热和烧蚀行为的影响。

[0004] 以及,任意拉格朗日欧拉(Arbitrary Lagrange Euler,ALE)算法兼具了拉格朗日算法和欧拉算法的优势,允许网格在材料域内流动,能够保持烧蚀界面退化时的结构域网格处于高质量水平,是处理烧蚀移动边界问题最常用的方法之一。然而,传统的ALE算法中,网格仅仅允许在单一材料域内流动,无法在不同材料域之间流动,导致在不同材料域界面处网格发生严重畸变,不再适用于多材料结构的烧蚀仿真分析。

发明内容

[0005] 本申请实施例的目的在于提供一种分析多材料结构激光烧蚀效应的方法和装置,以解决现有技术中存在着的对多材料结构激光烧蚀效应分析能力不足的问题。

[0006] 第一方面,本申请实施例提供了一种分析多材料结构激光烧蚀效应的方法,该方法包括:建立激光辐照下的多材料结构瞬态传热的有限元分析模型;利用任意拉格朗日欧拉ALE算法对有限元分析模型进行结构网格重构,获得变形后网格集合,并将有限元分析模型的变形前网格集合的温度场映射到变形后网格集合上,以获得变形后网格集合的温度场;确定变形后网格集合中每个变形后网格对应的变形前网格;将变形后网格集合中每个变形后网格对应的变形前网格的材料编号确定为其对应的变形后网格的材料编号;利用变形后网格集合、变形后网格集合的温度场和变形后网格集合中每个变形后网格的材料编号对有限元分析模型进行更新,得到更新后的有限元分析模型;基于更新后的有限元分析模型,得到多材料结构的激光烧蚀效应的分析结果。

[0007] 因此,本申请实施例通过利用任意拉格朗日欧拉ALE算法对有限元分析模型进行结构网格重构,获得变形后网格集合,并将有限元分析模型的变形前网格集合的温度场映射到变形后网格集合上,以获得变形后网格集合的温度场,以及确定变形后网格集合中每个变形后网格对应的变形前网格,以及将变形后网格集合中每个变形后网格对应的变形前网格的材料编号确定为其对应的变形后网格的材料编号,以及利用变形后网格集合、变形后网格集合的温度场和变形后网格集合中每个变形后网格的材料编号对有限元分析模型进行更新,得到更新后的有限元分析模型,以及基于更新后的有限元分析模型,得到多材料

结构的激光烧蚀效应的分析结果,从而能够实现激光对多材料结构烧蚀效应的高精度数值仿真分析,为明确激光对多材料靶目标的毁伤机理提供有效的技术支撑。

[0008] 在一个可能的实施例中,确定变形后网格集合中每个变形后网格对应的变形前网格,包括:对第一变形后网格的信息进行统计,得到第一变形后网格的中心坐标;其中,第一变形后网格为变形后网格集合中任意一个变形后网格;计算第一变形后网格的中心坐标和变形前网格集合中每个变形前网格的中心坐标之间的距离;将距离最小的变形前网格确定为第一变形后网格对应的变形前网格。

[0009] 在一个可能的实施例中,第一变形后网格的中心坐标为第一变形后网格的各个节点坐标的算术平均值,以及每个变形前网格的中心坐标为每个变形前网格的各个节点坐标的算术平均值。

[0010] 在一个可能的实施例中,在将距离最小的变形前网格确定为第一变形后网格对应的变形前网格之前,方法还包括:对每个变形前网格的信息进行统计,得到每个变形前网格的中心坐标,并分别确定每个变形前网格的材料编号。

[0011] 第二方面,本申请实施例提供了一种分析多材料结构激光烧蚀效应的装置,该装置包括:建立模块,用于建立激光辐照下的多材料结构瞬态传热的有限元分析模型;重构映射模块,用于利用任意拉格朗日欧拉ALE算法对有限元分析模型进行结构网格重构,获得变形后网格集合,并将有限元分析模型的变形前网格集合的温度场映射到变形后网格集合上,以获得变形后网格集合的温度场;第一确定模块,用于确定变形后网格集合中每个变形后网格对应的变形前网格;第二确定模块,用于将变形后网格集合中每个变形后网格对应的变形前网格的材料编号确定为其对应的变形后网格的材料编号;更新模块,用于利用变形后网格集合、变形后网格集合的温度场和变形后网格集合中每个变形后网格的材料编号对有限元分析模型进行更新,得到更新后的有限元分析模型;分析模块,用于基于更新后的有限元分析模型,得到多材料结构的激光烧蚀效应的分析结果。

[0012] 在一个可能的实施例中,第一确定模块,具体用于:对第一变形后网格的信息进行统计,得到第一变形后网格的中心坐标;其中,第一变形后网格为变形后网格集合中任意一个变形后网格;计算第一变形后网格的中心坐标和变形前网格集合中每个变形前网格的中心坐标之间的距离;将距离最小的变形前网格确定为第一变形后网格对应的变形前网格。

[0013] 在一个可能的实施例中,第一变形后网格的中心坐标为第一变形后网格的各个节点坐标的算术平均值,以及每个变形前网格的中心坐标为每个变形前网格的各个节点坐标的算术平均值。

[0014] 在一个可能的实施例中,装置还包括:统计模块,用于在将距离最小的变形前网格确定为第一变形后网格对应的变形前网格之前,对每个变形前网格的信息进行统计,得到每个变形前网格的中心坐标,并分别确定每个变形前网格的材料编号。

[0015] 第三方面,本申请实施例提供了一种存储介质,该存储介质上存储有计算机程序,该计算机程序被处理器运行时执行第一方面或第一方面的任一可选的实现方式所述的方法。

[0016] 第四方面,本申请实施例提供了一种电子设备,包括:处理器、存储器和总线,所述存储器存储有所述处理器可执行的机器可读指令,当所述电子设备运行时,所述处理器与所述存储器之间通过总线通信,所述机器可读指令被所述处理器执行时执行第一方面或第

一方面的任一可选的实现方式所述的方法。

[0017] 第五方面,本申请提供一种计算机程序产品,所述计算机程序产品在计算机上运行时,使得计算机执行第一方面或第一方面的任意可能的实现方式中的方法。

[0018] 为使本申请实施例所要实现的上述目的、特征和优点能更明显易懂,下文特举较佳实施例,并配合所附附图,作详细说明如下。

附图说明

[0019] 为了更清楚地说明本申请实施例的技术方案,下面将对本申请实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,应当理解,以下附图仅示出了本申请的某些实施例,因此不应被看作是对范围的限定,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他相关的附图。

[0020] 图1示出了本申请实施例提供的一种分析多材料结构激光烧蚀效应的方法的流程图;

[0021] 图2示出了本申请实施例提供的一种分析多材料结构激光烧蚀效应的方法的具体流程图;

[0022] 图3示出了本申请实施例的一种对碳纤维增强基复合材料CFRP层合板的激光烧蚀效应进行数值仿真分析的示意图;

[0023] 图4示出了本申请实施例中的一种不同时刻结构对称面烧蚀形貌的示意图;

[0024] 图5示出了本申请实施例提供的一种激光辐照CFRP层合板时各铺层烧蚀退化过程试验与仿真结果对比的示意图;

[0025] 图6示出了本申请实施例提供的一种用于测试视频传输质量的装置的结构框图;

[0026] 图7为本申请实施例提供的一种电子设备的结构框图。

具体实施方式

[0027] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图对本发明的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0028] 为了解决现有技术中对多材料结构激光烧蚀效应分析能力不足的问题,本申请实施例巧妙的提出了一种分析多材料结构激光烧蚀效应的方法和装置,其通过改进传统的ALE算法,从而实现激光对多材料结构烧蚀效应的高精度数值仿真分析,为明确激光对多材料靶目标的毁伤机理提供有效的技术支撑。

[0029] 请参见图1,图1示出了本申请实施例提供的一种分析多材料结构激光烧蚀效应的方法的流程图。应理解,该方法可以由分析多材料结构激光烧蚀效应的装置执行,并且该装置可以是如图6所示的分析多材料结构激光烧蚀效应的装置。以及,该装置的具体装置可以根据实际需求来进行设置,本申请实施例并不局限于此。例如,该装置可以是计算机,也可以是服务器等。具体地,该方法包括:

[0030] 步骤S110,建立激光辐照下的多材料结构瞬态传热的有限元分析模型;

[0031] 步骤S120,利用任意拉格朗日欧拉ALE算法对有限元分析模型进行结构网格重构,

获得变形后网格集合,并将有限元分析模型的变形前网格集合的温度场映射到变形后网格集合上,以获得变形后网格集合的温度场;

[0032] 步骤S130,确定变形后网格集合中每个变形后网格对应的变形前网格;

[0033] 步骤S140,将变形后网格集合中每个变形后网格对应的变形前网格的材料编号确定为其对应的变形后网格的材料编号;

[0034] 步骤S150,利用变形后网格集合、变形后网格集合的温度场和变形后网格集合中每个变形后网格的材料编号对有限元分析模型进行更新,得到更新后的有限元分析模型;

[0035] 步骤S160,基于更新后的有限元分析模型,得到多材料结构的激光烧蚀效应的分析结果。

[0036] 因此,借助于上述技术方案,本申请实施例能够实现激光对多材料结构烧蚀效应的高精度数值仿真分析,为明确激光对多材料靶目标的毁伤机理提供有效的技术支撑。

[0037] 为了便于理解本申请实施例,下面通过具体的实施例来进行描述。

[0038] 具体地,请参见图2,图2示出了本申请实施例提供的一种分析多材料结构激光烧蚀效应的方法的具体流程图。如图2所示的方法包括:

[0039] 步骤S210,建立激光辐照下的多材料结构瞬态传热的有限元分析模型。其中,该有限元分析模型的具体模型可根据实际需求来进行设置,本申请实施例并不局限于此。

[0040] 具体地,该有限元分析模型中的材料总数可以为N,并且N为大于等于2的正整数,以及还可对N种材料进行顺序编号,分别为 $Mat_1, Mat_2, \dots, Mat_N$ 。以及,还可对有限元分析模型的变形前网格集合的各个变形前网格的信息进行统计,以获得各个变形前网格对应的中心坐标和材料编号。其中,变形前网格对应的中心坐标是指变形前网格的各节点坐标的算术平均值。

[0041] 例如,可通过如下公式计算当前变形前网格的中心坐标:

$$[0042] \begin{cases} \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \\ \bar{y} = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n}; \\ \bar{z} = \frac{z_1 + z_2 + \dots + z_n}{n} \end{cases}$$

[0043] 其中, $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ 为当前变形前网格的中心坐标, n 为当前变形前网格所包含的节点数目, (x_k, y_k, z_k) , $k=1, \dots, n$ 为第 k 个节点的空间坐标。

[0044] 步骤S220,基于当前的有限元分析模型进行瞬态传热分析,得到变形前网格集合的温度场。其中,变形前网格集合包括多个变形前网格。

[0045] 应理解,温度场也可称为结构温度场。

[0046] 还应理解,瞬态传热分析所使用的分析步长也可根据实际需求来进行设置,本申请实施例并不局限于此。

[0047] 这里需要说明的是,由于当前的有限元分析模型可以是步骤S210建立的初始的有限元分析模型,也可以是循环过程中逐渐更新的有限元分析模型,本申请实施例并不局限于此。

[0048] 步骤S230,根据变形前网格集合的温度场,并结合各种材料烧蚀模型,进行多材料

结构烧蚀分析,获得结构耦合面的烧蚀退化量。

[0049] 在步骤S230中,材料烧蚀模型通过烧蚀界面法向线烧蚀速率 v 进行表征,其在分析时间步内积分得到烧蚀界面的烧蚀退化量,对应的表达式为:

$$[0050] \quad v = v_{TC} + v_{TM};$$

[0051] 其中, v_{TC} 为热化学烧蚀线速率, v_{TM} 为机械剥蚀线速率。

[0052] 步骤S240,根据结构耦合面的烧蚀退化量,利用ALE算法,首先对当前的有限元分析模型进行结构网格重构,获得变形后网格集合;然后,将变形前网格集合的温度场映射到变形后网格集合上,获得变形后网格集合的温度场。其中,变形后网格集合包括多个变形后网格。

[0053] 应理解,变形前网格是相对于变形后网格来说明的,其变形前网格可以是变形的,也可以是不变形的,本申请实施例并不局限于此。

[0054] 在步骤S240中,网格重构可以通过插值方法实现的,以及网格重构是在保证外形的情况下,网格节点位置重新分布。将结构耦合面变形量(即结构耦合面的烧蚀退化量)作为待插值量,运用插值函数对结构耦合面网格节点的变形量进行拟合,然后利用构造的插值函数将耦合面变形效应光滑地分散到整个结构网格区域的节点上,从而得到结构所有节点的总变形量。结合变形前节点坐标和节点变形量,可得到结构节点的变形后坐标,从而实现结构网格重构。以及,该网格重构方法还能够保证耦合界面的高精度捕捉与重构。

[0055] 此外,在步骤S240中,映射是通过数据插值方法实现温度场从变形前网格到变形后网格之间的传递。

[0056] 步骤S250,对变形后网格进行信息统计,获得各个变形后网格的中心坐标。

[0057] 这里需要说明的是,确定各个变形后网格的中心坐标的计算过程与步骤S210中确定变形前网格的中心坐标的计算过程是类似的,具体可参见步骤S210的相关描述,在此不再重复赘述。

[0058] 步骤S260,对任一变形后网格,以网格中心之间的距离为指标,搜寻有限元分析模型(例如,步骤S210中的多材料结构瞬态传热的有限元分析模型)中相距最近的网格,将该网格对应的材料编号定义为变形后网格的材料编号,实现了有限元分析模型中材料的重新分布。

[0059] 也就是说,在第一变形后网格为变形后网格集合中任意一个变形后网格的情况下,计算第一变形后网格的中心坐标和有限元分析模型的所有变形前网格中每个变形前网格的中心坐标之间的距离,以及将距离最小的变形前网格确定为第一变形后网格对应的变形前网格。

[0060] 在步骤S260中,网格的中心坐标之间的距离 d 是变形前网格的中心到变形后网格中心的几何距离:

$$[0061] \quad d = \sqrt{(x_o - x_d)^2 + (y_o - y_d)^2 + (z_o - z_d)^2};$$

[0062] 其中, (x_o, y_o, z_o) 为变形前网格的中心坐标, (x_d, y_d, z_d) 为变形后网格的中心坐标。

[0063] 步骤S270,利用步骤S240得到的变形后网格集合和变形后网格集合的温度场以及步骤S260得到的每个变形后网格的材料编号,更新当前的有限元分析模型,并基于更新后的有限元分析模型进行下一时刻瞬态传热分析。

[0064] 步骤S280,判断是否满足预设的停止条件。

[0065] 若满足预设的停止条件,则执行步骤S290;若不满足预设的停止条件,则返回步骤S220,以最终完成多材料结构的激光烧蚀效应数值分析。

[0066] 步骤S290,停止流程。

[0067] 因此,本申请实施例克服了现有技术中对多材料结构激光烧蚀效应分析能力不足的问题,并且通过改进传统的ALE算法,从而实现激光对多材料结构烧蚀效应的高精度数值仿真分析,为明确激光对多材料靶目标的毁伤机理提供有效的技术支撑。

[0068] 此外,本申请实施例还能够量化地给出目标特性、激光参数、毁伤模式、毁伤时间等众多因素之间的关系,从而明确激光对多材料靶目标的毁伤机理,为激光的高效应用提供基础性和技术性支撑。

[0069] 以下是以具体实施例对本申请实施例的工作过程作详细说明。

[0070] 请参见图3,图3示出了本申请实施例的一种对碳纤维增强基复合材料CFRP(Carbon Fibre-reinforced Polymer,CFRP)层合板的激光烧蚀效应进行数值仿真分析的示意图。其中,CFRP层合板每层材料铺层不同,是一种典型的多材料结构。以及,该CFRP层合板长、宽、高分别为50mm、50mm和2.4mm,铺层形式为 $[45^{\circ}, 0^{\circ}, -45^{\circ}, 90^{\circ}]_{2s}$;激光载荷为功率2kW,呈高斯分布,作用于层合板中心,半径为5mm,辐照时间为4s,时间间隔 Δt 取为0.1s。

[0071] 在使用本申请实施例的分析多材料结构激光烧蚀效应的方法的基础上,对该CFRP层合板这种典型的多材料结构的激光烧蚀效应进行分析,得到了相应的烧蚀结果。其中,图4示出了本申请实施例中的一种不同时刻结构对称面烧蚀形貌的示意图,其验证了本申请实施例的可行性;图5示出了本申请实施例提供的一种激光辐照CFRP层合板时各铺层烧蚀退化过程试验与仿真结果对比的示意图,其验证了本申请实施例的有效性。

[0072] 应理解,上述分析多材料结构激光烧蚀效应的方法仅是示例性的,本领域技术人员根据上述的方法可以进行各种变形。

[0073] 例如,尽管在附图中以特定顺序描述了本发明方法的操作,但是,这并非要求或者暗示必须按照该特定顺序来执行这些操作,或是必须执行全部所示的操作才能实现期望的结果。相反,流程图中描绘的步骤可以改变执行顺序。附加地或备选地,可以省略某些步骤,将多个步骤合并为一个步骤执行,和/或将一个步骤分解为多个步骤执行。

[0074] 请参见图6,图6示出了本申请实施例提供的一种用于测试视频传输质量的装置600的结构框图,应理解,该装置600能够执行上述方法实施例的各个步骤,该装置600具体的功能可以参见上文中的描述,为避免重复,此处适当省略详细描述。装置600包括至少一个能以软件或固件(firmware)的形式存储于存储器中或固化在装置600的操作系统(operating system,OS)中的软件功能模块。具体地,该装置600包括:

[0075] 建立模块610,用于建立激光辐照下的多材料结构瞬态传热的有限元分析模型;

[0076] 重构映射模块620,用于利用任意拉格朗日欧拉ALE算法对有限元分析模型进行结构网格重构,获得变形后网格集合,并将有限元分析模型的变形前网格集合的温度场映射到变形后网格集合上,以获得变形后网格集合的温度场;

[0077] 第一确定模块630,用于确定变形后网格集合中每个变形后网格对应的变形前网格;

[0078] 第二确定模块640,用于将变形后网格集合中每个变形后网格对应的变形前网格

的材料编号确定为其对应的变形后网格的材料编号；

[0079] 更新模块650,用于利用变形后网格集合、变形后网格集合的温度场和变形后网格集合中每个变形后网格的材料编号对有限元分析模型进行更新,得到更新后的有限元分析模型；

[0080] 分析模块660,用于基于更新后的有限元分析模型,得到多材料结构的激光烧蚀效应的分析结果。

[0081] 在一个可能的实施例中,第一确定模块630,具体用于:对第一变形后网格的信息进行统计,得到第一变形后网格的中心坐标;其中,第一变形后网格为变形后网格集合中任意一个变形后网格;计算第一变形后网格的中心坐标和变形前网格集合中每个变形前网格的中心坐标之间的距离;将距离最小的变形前网格确定为第一变形后网格对应的变形前网格。

[0082] 在一个可能的实施例中,第一变形后网格的中心坐标为第一变形后网格的各个节点坐标的算术平均值,以及每个变形前网格的中心坐标为每个变形前网格的各个节点坐标的算术平均值。

[0083] 在一个可能的实施例中,该装置600还包括:统计模块(未示出),用于在将距离最小的变形前网格确定为第一变形后网格对应的变形前网格之前,对每个变形前网格的信息进行统计,得到每个变形前网格的中心坐标,并分别确定每个变形前网格的材料编号。

[0084] 所属领域的技术人员可以清楚地了解到,为描述的方便和简洁,上述描述的装置的具体工作过程,可以参考前述方法中的对应过程,在此不再过多赘述。

[0085] 请参见图7,图7为本申请实施例提供的一种电子设备700的结构框图。如图7所示,电子设备700可以包括处理器710、通信接口720、存储器730和至少一个通信总线740。其中,通信总线740用于实现这些组件直接的连接通信。其中,本申请实施例中设备的通信接口720用于与其他节点设备进行信令或数据的通信。处理器710可以是一种集成电路芯片,具有信号的处理能力。上述的处理器710可以是通用处理器,包括中央处理器(Central Processing Unit,简称CPU)、网络处理器(Network Processor,简称NP)等;还可以是数字信号处理器(DSP)、专用集成电路(ASIC)、现成可编程门阵列(FPGA)或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件。可以实现或者执行本申请实施例中的公开的各方法、步骤及逻辑框图。通用处理器可以是微处理器或者该处理器710也可以是任何常规的处理器等。

[0086] 存储器730可以是,但不限于,随机存取存储器(Random Access Memory,RAM),只读存储器(Read Only Memory,ROM),可编程只读存储器(Programmable Read-Only Memory,PROM),可擦除只读存储器(Erasable Programmable Read-Only Memory,EPR0M),电可擦除只读存储器(Electric Erasable Programmable Read-Only Memory,EEPROM)等。存储器730中存储有计算机可读取指令,当所述计算机可读取指令由所述处理器710执行时,电子设备700可以执行上述方法实施例中的各个步骤。

[0087] 电子设备700还可以包括存储控制器、输入输出单元、音频单元、显示单元。

[0088] 所述存储器730、存储控制器、处理器710、外设接口、输入输出单元、音频单元、显示单元各元件相互之间直接或间接地电性连接,以实现数据的传输或交互。例如,这些元件相互之间可通过一条或多条通信总线740实现电性连接。所述处理器710用于执行存储器

730中存储的可执行模块,例如电子设备700包括的软件功能模块或计算机程序。

[0089] 输入输出单元用于提供给用户输入数据实现用户与服务器(或本地终端)的交互。所述输入输出单元可以是,但不限于,鼠标和键盘等。

[0090] 音频单元向用户提供音频接口,其可包括一个或多个麦克风、一个或者多个扬声器以及音频电路。

[0091] 显示单元在所述电子设备与用户之间提供一个交互界面(例如用户操作界面)或用于显示图像数据给用户参考。在本实施例中,所述显示单元可以是液晶显示器或触控显示器。若为触控显示器,其可为支持单点和多点触控操作的电容式触控屏或电阻式触控屏等。支持单点和多点触控操作是指触控显示器能感应到来自该触控显示器上一个或多个位置处同时产生的触控操作,并将该感应到的触控操作交由处理器进行计算和处理。

[0092] 可以理解,图7所示的结构仅为示意,所述电子设备700还可包括比图7中所示更多或者更少的组件,或者具有与图7所示不同的配置。图7中所示的各组件可以采用硬件、软件或其组合实现。

[0093] 本申请提供一种存储介质,该存储介质上存储有计算机程序,该计算机程序被处理器运行时执行方法实施例中的任一可选的实现方式所述的方法。

[0094] 所属领域的技术人员可以清楚地了解到,为描述的方便和简洁,上述描述的系统的具体工作过程,可以参考前述方法中的对应过程,在此不再过多赘述。

[0095] 需要说明的是,本说明书中的各个实施例均采用递进的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处,各个实施例之间相同相似的部分互相参见即可。对于装置类实施例而言,由于其与方法实施例基本相似,所以描述的比较简单,相关之处参见方法实施例的部分说明即可。

[0096] 本申请所提供的几个实施例中,应该理解到,所揭露的装置和方法,也可以通过其它的方式实现。以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的,例如,附图中的流程图和框图显示了根据本申请的多个实施例的装置、方法和计算机程序产品的可能实现的体系架构、功能和操作。在这点上,流程图或框图中的每个方框可以代表一个模块、程序段或代码的一部分,所述模块、程序段或代码的一部分包含一个或多个用于实现规定的逻辑功能的可执行指令。也应当注意,在有些作为替换的实现方式中,方框中所标注的功能也可以以不同于附图中所标注的顺序发生。例如,两个连续的方框实际上可以基本并行地执行,它们有时也可以按相反的顺序执行,这依所涉及的功能而定。也要注意的,框图和/或流程图中的每个方框、以及框图和/或流程图中的方框的组合,可以用执行规定的功能或动作的专用的基于硬件的系统来实现,或者可以用专用硬件与计算机指令的组合来实现。

[0097] 另外,在本申请各个实施例中的各功能模块可以集成在一起形成一个独立的部分,也可以是各个模块单独存在,也可以两个或两个以上模块集成形成一个独立的部分。

[0098] 所述功能如果以软件功能模块的形式实现并作为独立的产品销售或使用,可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解,本申请的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品存储在一个存储介质中,包括若干指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机,服务器,或者网络设备)执行本申请各个实施例所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括:U盘、移动硬盘、只读存储器(ROM,Read-Only Memory)、随机存取存

储器(RAM,Random Access Memory)、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。需要说明的是,在本文中,诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来,而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且,术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素,而且还包括没有明确列出的其他要素,或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包括一个……”限定的要素,并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

[0099] 以上所述仅为本申请的优选实施例而已,并不用于限制本申请,对于本领域的技术人员来说,本申请可以有各种更改和变化。凡在本申请的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本申请的保护范围之内。应注意到:相似的标号和字母在下面的附图中表示类似项,因此,一旦某一项在一个附图中被定义,则在随后的附图中不需要对其进行进一步定义和解释。

[0100] 以上所述,仅为本申请的具体实施方式,但本申请的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本申请揭露的技术范围内,可轻易想到变化或替换,都应涵盖在本申请的保护范围之内。因此,本申请的保护范围应所述以权利要求的保护范围为准。

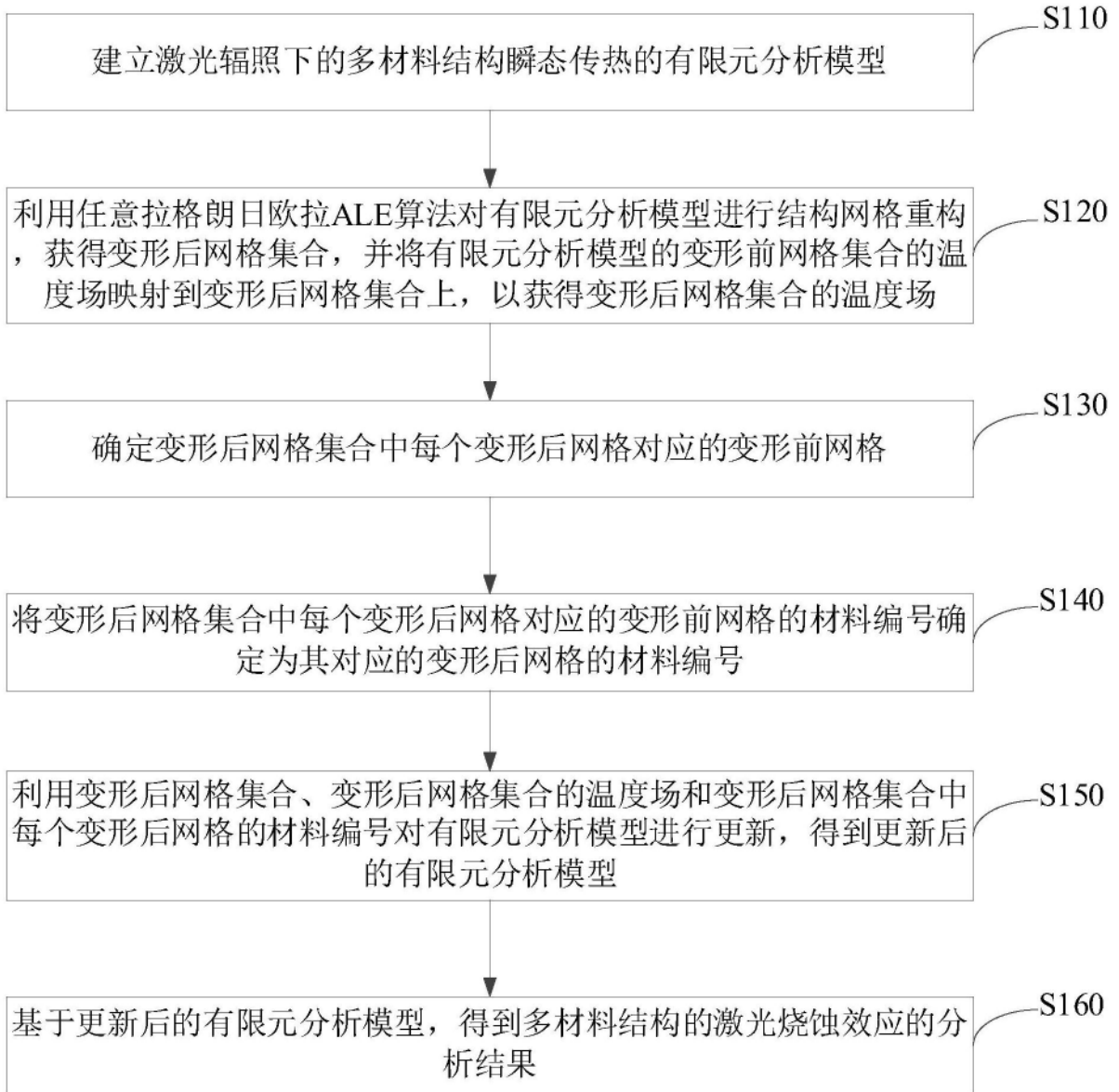


图1

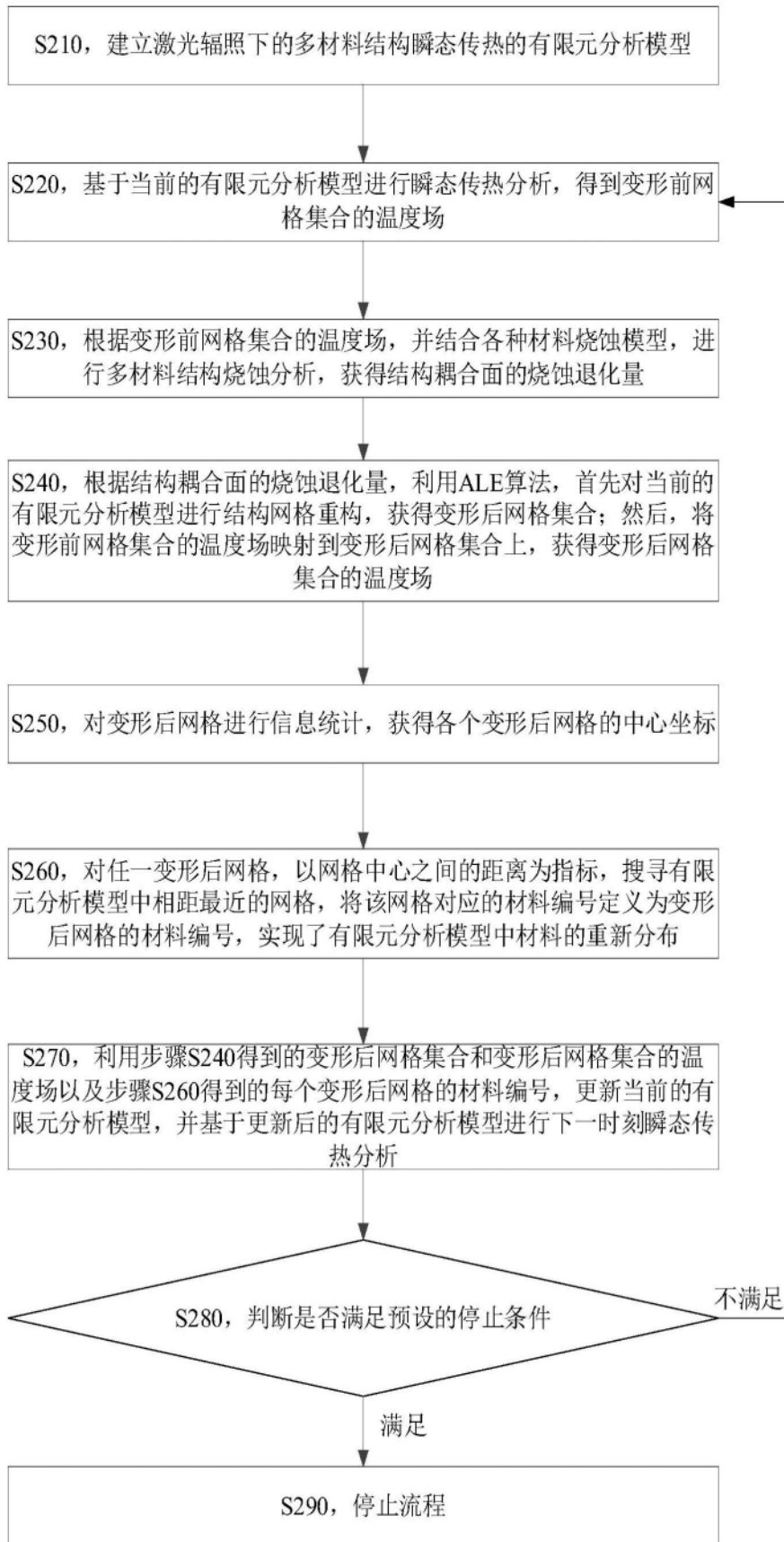


图2

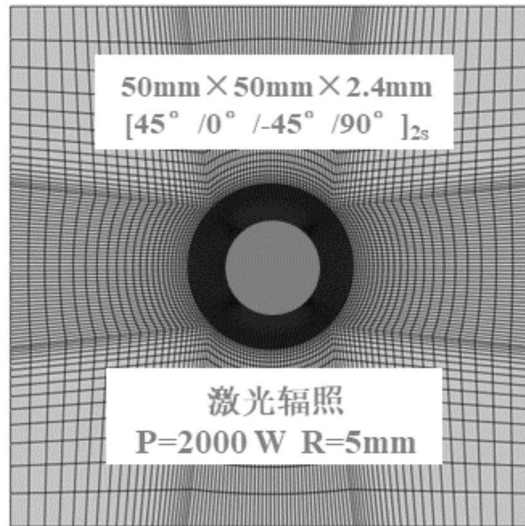


图3

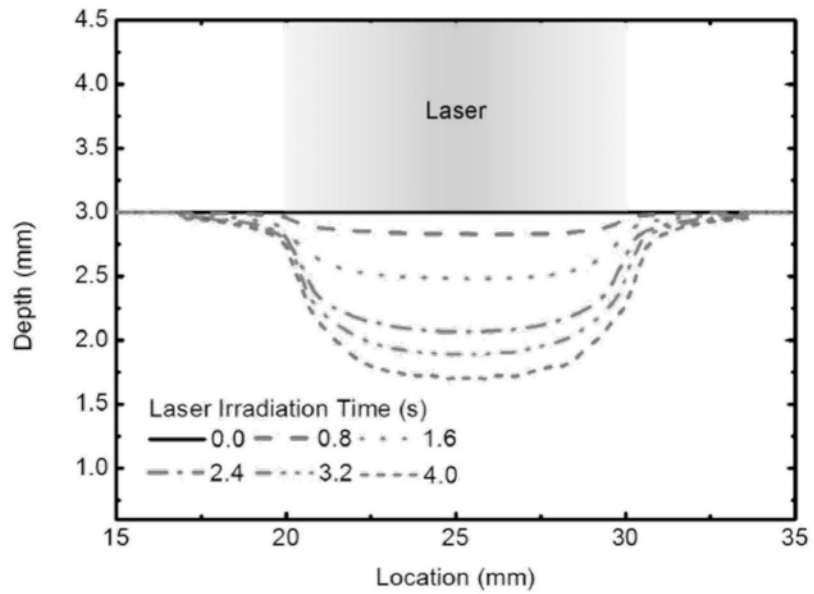


图4

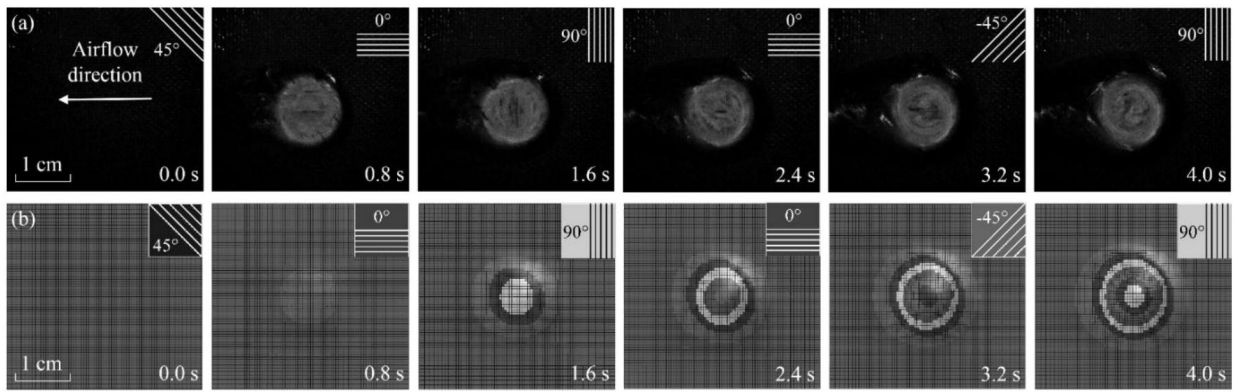


图5

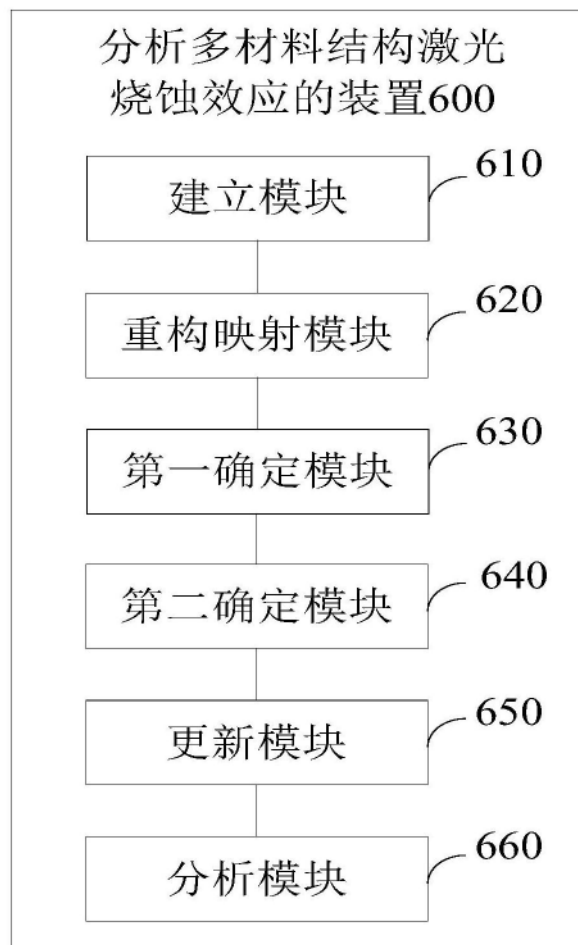


图6

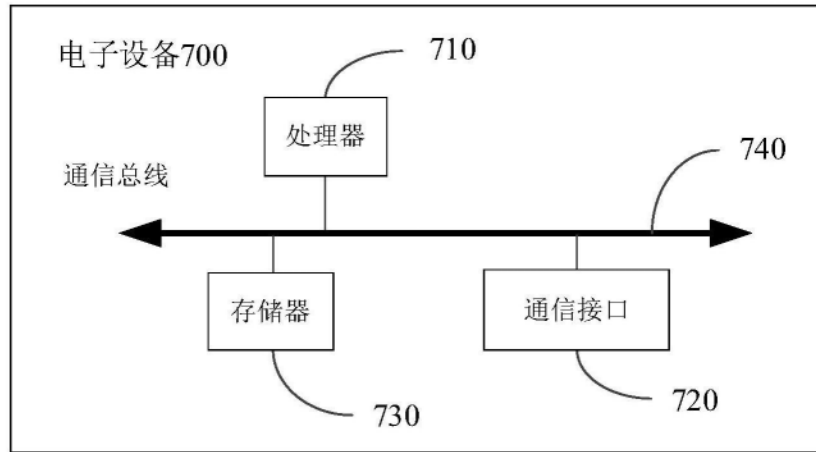


图7