



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103272982 B

(45) 授权公告日 2015.06.03

(21) 申请号 201310185506.X

(22) 申请日 2013.05.16

(73) 专利权人 东南大学

地址 210096 江苏省南京市四牌楼2号

(72) 发明人 汤文成 倪俊 幸研 仇晓黎

赵勇 吴晓飞 庄建凯

(74) 专利代理机构 江苏永衡昭辉律师事务所

32250

代理人 齐旺

(51) Int. Cl.

B21J 15/00(2006.01)

G06F 17/50(2006.01)

审查员 王鹏

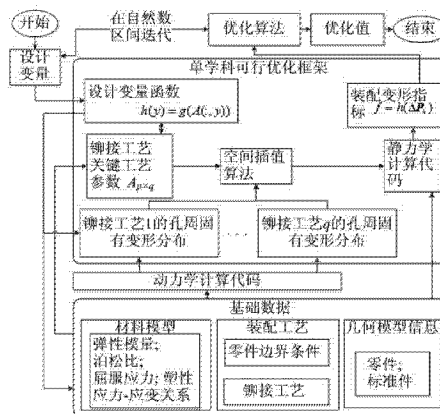
权利要求书1页 说明书6页 附图9页

(54) 发明名称

金属薄壁件铆接装配的铆钉镢粗方向确定方法

(57) 摘要

本发明公开了一种金属薄壁件铆接装配的铆钉镢粗方向确定方法,包括基础工艺信息模块、铆接工艺固有变形指标模块、空间插值模块和优化模块。采用单学科可行优化框架,集成铆接工艺固有变形指标模块、空间插值模块、优化模块,建立铆钉镢粗方向和装配偏差的定量函数关系,通过适用于离散设计空间寻优的优化算法实现功能。本发明利用铆接变形等效计算、空间插值、有限元分析技术,实现铆接装配铆钉镢粗方向的快速、高精度设计,具有降低金属薄壁件全局铆接装配变形的优点;本发明模块简洁、计算精度高,实现了包含数百铆钉连接的金属薄壁件铆接装配铆钉镢粗方向的快速优化,降低铆接装配件的全局变形。



1. 一种金属薄壁件铆接装配的铆钉镢粗方向确定方法,其特征在于包含以下步骤:

建立基础工艺信息模块步骤:所述基础工艺信息模块包含材料参数、铆接工艺、装配体三维几何模型三类信息,其中材料参数包括装配体和铆钉材料的弹性模量、波松比以及塑性应力-应变曲线,铆接工艺包括铆接装配局部辅助装夹位置、铆接冲头最大位移、铆钉镢粗方向、铆钉杆长度以及铆钉直径;依据所述三类信息,为每组不同铆接工艺,建立局部动力学有限元分析模型,进行动力学分析,得到每组铆接工艺的孔周固有变形分布,创建铆接工艺的固有变形指标;

建立铆接工艺固有变形指标模块步骤:铆接工艺固有变形指标模块包含铆接辅助装夹位置、铆接冲头最大位移、铆钉镢粗方向、孔周离散点的坐标和所述固有变形指标;其中固有变形指标为核心数据;孔周离散点坐标暗含了局部连接件的孔周直径、长度,同时,所述铆接工艺固有变形指标模块中其他信息可用于判断固有变形指标所属的不同铆接工艺;将铆接辅助装夹位置、铆接冲头最大位移、铆钉镢粗方向、孔周离散点的坐标和所述固有变形指标存入数据库,形成模块,供后续算法调用;

铆接变形等效计算步骤:依据所述基础工艺信息模块中装配体三维几何模型,建立全局静力学有限元模型,形成初步的静力学计算代码;依据所述基础工艺信息模块中装配体铆接工艺信息,提取铆接工艺固有变形指标,运用空间插值算法,将固有变形指标作为位移载荷加入所述静力学计算代码的边界条件中,完成装配体全局变形的快速计算;

以及优化步骤:采用单学科可行优化框架,从所述铆接工艺固有变形指标模块提取铆钉镢粗方向、铆接辅助装夹位置工艺参数,建立设计变量与铆钉镢粗方向的映射关系;从所述静力学计算代码输出的计算结果中,提取装配体变形指标,作为目标变量;运用离散空间寻优算法,最小化装配体变形指标,得到与之对应的一组铆钉镢粗方向。

2. 按照权利要求 1 所述的铆钉镢粗方向确定方法,其特征在于:优化步骤中,定义每处铆钉连接的铆钉镢粗方向为设计变量;若铆钉共有 n 个,则有 n 组设计变量, $x_1, \dots, x_i, \dots, x_n$;将不同的铆接工艺参数的 q 组取值,存储在数组 $A(q)$ 中;分别以 f, g 表示设计变量的优化目标函数、约束函数;铆接装配关键工艺参数优化的数学形式为,

最小化

$$f(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n),$$

约束

$$g(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n) \geq 0$$

$$x_i \in \{A(k) \mid 1 \leq k \leq q\}$$

$$1 \leq i \leq n.$$

若取函数 h 使得 $h(y) = A(y)$,并替换掉目标函数、约束函数中的 x ,则可将设计空间转化为连续自然数区间,进而集成常用的离散设计空间优化算法,完成优化迭代。

3. 按照权利要求 1 或 2 所述的铆钉镢粗方向确定方法,其特征在于:所述铆接变形等效计算步骤中空间插值采用的插值算法为线性插值、牛顿插值、Lagrange 插值或有理 B 样条插值。

4. 按照权利要求 1 或 2 所述的铆钉镢粗方向确定方法,其特征在于:所述优化步骤中的寻优算法为适用于离散设计空间寻优的遗传算法或蚁群算法。

金属薄壁件铆接装配的铆钉镢粗方向确定方法

技术领域

[0001] 本发明属于金属薄壁件的现场装配偏差控制领域,涉及金属薄壁件铆接装配关键工艺参数优化,具体是装配工艺中铆钉镢粗方向的确定方法。

背景技术

[0002] 一般而言,金属薄壁件均由大量零件通过焊接或铆接成骨架,再安装其他零部件、或铺设面板构成。在现场装配过程中,利用工装将大量的薄壁零件定位并夹紧,再完成铆接成形;同时,装配精度的测量和零件位置的调整一直贯穿于现场装配。由于该过程极其耗时,并且成品后的薄壁件装配偏差也主要受到这一过程中的结构变形影响。因焊接或铆接的应力或振动力规律不易控制、刚强度分析困难,故现行装配工艺规划均依赖经验,缺乏快速、高精度的规划措施。

[0003] 固有应变法可有效实现焊接变形的快速计算,但铆接变形仍缺少类似的快速、高精度计算方法。现行的铆接模拟方法有数学公式计算法、静力学有限元法、动力学有限元法。其中具有较高精度的动力学有限元法多用于单铆钉铆接力学分析,而多铆钉连接仅采用数学公式计算法、或是不同简化程度的静力学有限元法。然而,简化方法不足以满足有着高装配精度控制要求的金属薄壁件铆接装配工艺优化。这严重制约着多铆钉铆接金属薄壁件的现场装配效率和装配精度的提升。

发明内容

[0004] 技术问题:本发明所要解决的技术问题是针对上述现有技术的不足,而提供了一种基于铆接工艺局部结构动力学分析结果的通过差值和优化的方法快速获得高精度结果的金属薄壁件铆接装配关键工艺中铆钉镢粗方向的确定方法。

[0005] 技术方案:为解决上述技术问题,本发明采用的技术方案是:

[0006] 一种金属薄壁件铆接装配的铆钉镢粗方向确定方法,其特征在于:包含以下步骤:

[0007] 建立基础工艺信息模块包含材料参数(装配体和铆钉材料的弹性模量、波松比、塑性应力-应变曲线)、铆接工艺(铆接装配局部辅助装夹位置、铆接冲头最大位移、铆钉镢粗方向、铆钉杆长度、铆钉直径)、装配体三维几何模型三类信息;依据所述三类信息,为每组不同铆接工艺,建立局部动力学有限元分析模型,进行动力学分析,得到每组铆接工艺的孔周固有变形分布,创建铆接工艺的固有变形指标;

[0008] 建立铆接工艺固有变形指标模块步骤:铆接工艺固有变形指标模块包含铆接辅助装夹位置、铆接冲头最大位移、铆钉镢粗方向、孔周离散点的坐标和所述固有变形指标;其中固有变形指标为核心数据;孔周离散点坐标暗含了局部连接件的孔周直径、长度,同时,所述模块中其他信息可用于判断固有变形指标所属的不同铆接工艺;将上述信息存入数据库,形成模块,供后续算法调用;

[0009] 铆接变形等效计算步骤:依据所述基础工艺信息模块中装配体三维几何模型,建

立全局静力学有限元模型,形成初步的静力学计算代码;依据所述基础工艺信息模块中装配体铆接工艺信息,提取铆接工艺固有变形指标,运用空间插值算法,将固有变形指标作为位移载荷加入所述静力学计算代码中边界条件中,完成装配体全局变形的快速计算;

[0010] 以及优化步骤:采用单学科可行优化框架,从所述铆接工艺固有变形指标模块提取铆钉镢粗方向、铆接辅助装夹位置工艺参数,建立设计变量与铆钉镢粗方向的映射关系;从所述装配体静力学计算代码输出的计算结果中,提取装配体变形指标,作为目标变量;运用离散空间寻优算法,最小化装配体变形指标,得到与之对应的一组铆钉镢粗方向。

[0011] 优化步骤中,定义每处铆钉连接的铆钉镢粗方向为设计变量;若铆钉共有 n 个,则有 n 组设计变量, $x_1, \dots, x_i, \dots, x_n$;将不同的铆接工艺参数的 q 组取值,存储在数组 $A(q)$ 中;分别以 f, g 表示设计变量的优化目标函数、约束函数;铆接装配关键工艺参数优化的数学形式为,

[0012] 最小化

[0013] $f(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$,

[0014] 约束

[0015] $g(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n) \geq 0$

[0016] $x_i \in \{A(k) \mid 1 \leq k \leq q\}$

[0017] $1 \leq i \leq n$.

[0018] 若取函数 h 使得 $h(y) = A(y)$,并替换掉目标函数、约束函数中的 x ,则可将设计空间转化为连续自然数区间,进而集成常用的离散设计空间优化算法,完成优化迭代。

[0019] 所述空间插值步骤采用的插值算法为线性插值、牛顿插值、Lagrange 插值或有理 B 样条插值。

[0020] 所述优化步骤中的寻优算法为适用于离散设计空间寻优的遗传算法或蚁群算法。

[0021] 本发明基础工艺信息模块中铆接工艺参数涉及被铆接件的厚度、钉孔直径、铆接辅助约束、铆钉直径和长度、材料属性、铆接冲头位移-时间近似关系、铆钉材料镢粗方向等。因同组铆接工艺参数下被铆件的孔周应变能分布是一致的,故可以孔周变形分布表示该工艺在该类结构孔周的应变能分布。据此,对每组不同的铆接工艺参数建立局部铆接的动力学分析模型,计算得到孔周变形分布,作为铆接工艺固有变形指标,存入铆接工艺固有变形指标模块。

[0022] 本发明铆接变形等效计算步骤中空间插值,可集成常用的插值算法,从所述的铆接工艺固有变形指标模块中提取变形指标,加载到所述基础工艺信息模块生成的装配体全局静力学有限元计算代码中,实现铆接变形的快速、高精度计算。

[0023] 有益效果:本发明有效的利用了每组铆接工艺下单铆钉动力学有限元法的计算精度,实现了多铆钉薄壁件的装配变形的快速计算,确保了关键铆接工艺参数优化的可行性;在单学科可行优化框架中,集成了铆接工艺固有变形指标模块、空间插值模块、优化模块,建立铆接工艺关键参数和装配偏差的定量函数关系,通过适用于离散设计空间寻优的优化算法实现功能。其中空间插值算法、优化算法、优化框架具有较强的拓展性,可有效的利用最新的插值、优化算法,优化框架,来进一步提高所述金属薄壁件铆接装配铆钉镢粗方向确定方法的效率。

[0024] 所述金属薄壁件铆接装配铆钉镢粗方向确定方法最好直接应用于铆钉数大于 2、

不超过 300, 结构最大长度不超过 2m 的金属薄壁件铆接变形计算及工艺优化, 可明显的提升铆接工艺优化的效率和精度。对于更大规模的薄壁件, 应对结构分段分层次, 再采用所述金属薄壁件铆接装配铆钉镢粗方向确定方法进行工艺优化, 可保证铆接工艺优化的在可以接受的时间内完成。

[0025] 鉴于此, 本发明具有广阔的应用和发展前景。

附图说明

[0026] 图 1 是本发明的各模块信息传递示意图。

[0027] 图 2 是本发明中的铆接工艺固有变形数据点空间分布示意图。

[0028] 图 3 是本发明中应用插值算法前数据的一般位置关系示意图。

[0029] 图 4 是实施例 1 装配体示意图。

[0030] 图 5 是实施例 1 装配体的静力学有限元网格图。

[0031] 图 6 是实施例 1 装配体静力学有限元模型的任一孔周网格放大图。

[0032] 图 7 是实施例 1 装配体局部铆接结构的装配关系图。

[0033] 图 8 是实施例 1 装配体局部铆接结构的动力学、静力学有限元网格图。

[0034] 图 9 是实施例 1 装配体局部铆接结构有限元模型的铆钉网格图。

[0035] 图 10 是实施例 1 装配体局部铆接结构有限元模型的任一孔周网格放大图。

[0036] 图 11 是实施例 1 动力学分析结果中铆接冲头与铆钉初始接触的位移等值线图。

[0037] 图 12、图 13、图 14 是实施例 1 动力学分析结果中铆钉镢粗过程的三组位移等值线图。

[0038] 图 15 是实施例 1 动力学分析结果中铆钉铆后回弹的位移等值线图。

[0039] 图 16 是实施例 1 中单铆钉铆接动力学分析结果中板件位移等值线图。

[0040] 图 17 是实施例 1 中单铆钉铆接静力学分析结果中板件位移等值线图。

[0041] 图 18 是实施例 1 铆钉镢粗方向优化历程图。

[0042] 图 19 是实施例 2 结构装配关系示意图。

[0043] 图 20 是实施例 2 铆钉镢粗方向优化历程图。

[0044] 图 21 是实施例 3 结构装配关系示意图。

[0045] 图 22 是实施例 3 铆钉镢粗方向优化历程图。

具体实施方式

[0046] 下面结合说明书附图和具体实施方式对本发明做进一步详细的说明。

[0047] 实施例 1 用于说明本发明的详细实施步骤、以及每一步的具体做法以及获得的结果; 实施例 2、3 用于说明所述发明在不同复杂程度的结构上的实施效果。

[0048] 所有实施例中的设计变量为: 所有铆钉的镢粗方向; 优化目标为: 最小化金属薄壁件的轮廓关键点的均方根值。

[0049] 其中: 实施例 2、3 中均方根值 RMS 满足,

$$[0050] \quad RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z_i - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n z_j)^2};$$

[0051] 而实施例 1 中均方根值 RMS 去除平移量均值 $\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n z_j$ 的影响。

[0052] 实施例 1 (16 个铆钉 3 板薄壁件) :

[0053] 参见图 1-18。

[0054] 该金属薄壁装配体为某产品的局部相邻板件连接件 (包含 16 个铆钉), 图 4。尺寸为 465mm×400mm×257mm。图 4 中, 工装 6、12 为铁质合金, 其他板件和铆钉为铝质合金。采用同一铆接工具 (铆接冲头等) 镢粗铆钉, 实现装配。应用所述方法, 进行 16 个铆钉镢粗方向的设计, 优化目标为轮廓变形的均方根最小。其中轮廓变形采用图 5 中轮廓上有限元模型节点 29 变形的 RMS 表示。

[0055] 步骤 1 : 建立基础工艺信息模块包含材料参数和铆接工艺的固有变形指标

[0056] 工装 6、12 采用线性材料模型, 弹性模量 200GPa、泊松比 0.33 ; 板件 7-11、铆钉 13-28 分别选择铝合金双线性材料模型、各向同性硬化材料模型, 弹性模量 68.9GPa、泊松比 0.33 ; 板件屈服强度 275MPa、切线模量 1.46GPa, 铆钉屈服强度 150MPa、切线模量 26MPa、Cowper-Symonds 率相关模型常数 $D = 6500s^{-1}$ 、 $q = 4$ 。各向同性硬化材料本构如下式所示。

$$[0057] \quad \sigma_Y = \left[1 + \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{D} \right)^{\frac{1}{q}} \right] \left(\sigma_0 + \frac{E_{\tan} E}{E - E_{\tan}} \varepsilon_P^{eff} \right)$$

[0058] 其中 $\dot{\varepsilon}$ 为有效应变率, D 、 q 为 Cowper-Symonds 率相关模型常数, σ_0 为初始屈服应力, E 为应力应变关系曲线弹性段模量, E_{\tan} 为应力应变关系曲线塑性段切线的模量, ε_P^{eff} 为有效塑性应变。

[0059] 建立装配体静力学有限元模型 (图 5); 分别选择每个铆钉孔周所有节点, 创建节点组, 共 16 个, 作为铆接材料变形加载位置; 图 6 为孔周局部网格放大图, 并显示出一个铆钉孔周节点 5; 同时, 提取局部铆接结构 (图 7), 建立局部铆接结构的有限元模型 (图 8), 图 9、图 10 分别为铆钉网格图、孔周局部网格放大图; 因局部铆接结构的有限元模型可用于动力学和静力学分析, 故图 10 中孔周节点 4(5) 兼有插值算法前数据的一般位置关系示意图 3 中节点 4、5。

[0060] 完成局部铆接结构单铆钉镢粗过程的动力学有限元分析, 边界条件如图 2 所示。分析结果中, 冲头和铆钉初始接触、铆钉镢粗、铆钉回弹过程中等效位移等值线图如图 11 至图 15 所示。同时, 图 16 显示出铆接装配后的局部铆接结构中两个板件的等效位移等值线分布情况。从分析结果中提取板件铆钉孔周变形分布, 构成铆接工艺的固有变形指标。

[0061] 步骤 2 : 建立铆接工艺固有变形指标模块步骤

[0062] 记录局部铆接结构的铆接辅助装夹位置 3 (通过该位置与坐标轴 x 的夹角 2 表示)、铆钉镢粗方向 1、孔周离散点的坐标和所述固有变形指标; 将上述信息存入数据库, 形成模块, 供后续算法调用;

[0063] 步骤 3 : 铆接变形等效计算步骤

[0064] 通过有限元法, 形成结构的初步静力学计算代码; 提取铆接工艺固有变形指标, 依据静力学有限元模型每个铆接孔周节点组中节点坐标和铆接辅助装夹位置, 运用空间插值算法, 将固有变形指标作为位移载荷加入所述静力学计算代码中边界条件中, 完成静力学

计算。

[0065] 以局部铆接结构的铆接变形等效计算为例,对于图 3 所示一般情形,首先进行坐标变换,然后对于静力学模型铆钉孔周每个节点 $[x, y, z]^T$,在固有变形节点中选定距离最小三点,运用 Lagrange 插值方法,根据节点组 4 的变形计算节点组 5 的变形,并完成位移载荷加载和静力学计算。图 11 显示出具体的板件位移等值线图。对比图 16 和图 17 中线条分布和量值,可见两者数值相当、分布基本一致,误差小于 0.003mm。

[0066] 另一方面,通过相同的步骤可以实现装配体 16 个铆钉孔周位移载荷加载和静力学计算,得到结构变形。因铆接变形的等效计算方法耗时较短,故可明显提高多铆钉薄壁件的铆接变形计算效率。

[0067] 步骤 4 :优化步骤

[0068] 建立设计变量与铆钉镟粗方向的映射关系;从步骤 3 中得到的装配体结构变形中,提取有限元模型节点 29 变形,计算出 RMS,作为目标变量;运用遗传算法,最小化装配体变形指标,得到与之对应的一组铆钉镟粗方向。下表中列出所有变量在优化前后的取值。其中 -X 表示往 X 轴负方向镟粗,X 表示往 X 轴正方向镟粗;同时,-Z、Z 与之类似。

[0069]

变量	优化前取值	优化后取值
铆钉 13 镟粗方向	-X	X
铆钉 14 镟粗方向	-X	X
铆钉 15 镟粗方向	X	-X
铆钉 16 镟粗方向	X	-X
铆钉 17 镟粗方向	Z	-Z
铆钉 18 镟粗方向	Z	Z
铆钉 19 镟粗方向	-Z	-Z
铆钉 20 镟粗方向	-Z	-Z
铆钉 21 镟粗方向	X	X
铆钉 22 镟粗方向	X	-X
铆钉 23 镟粗方向	-X	X
铆钉 24 镟粗方向	-X	X
铆钉 25 镟粗方向	-Z	-Z
铆钉 26 镟粗方向	-Z	Z
铆钉 27 镟粗方向	Z	-Z

[0070]

铆钉 28 镟粗方向	Z	-Z
$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i^2}$	1.4744mm	1.3348mm

[0071] 实施例 2(144 个铆钉 6 板薄壁件):

[0072] 参见图 1-3、19、20。

[0073] 该金属薄壁件为某产品的局部铝质盒段结构(包含 144 个铆钉),图 19。尺寸为 1105mm×465mm×150mm。

[0074] 应用所述方法,进行 144 个铆钉镢粗方向的设计,优化目标为轮廓变形的均方根最小。优化历程如图 20 所示,历时 6 小时 26 分钟。优化后轮廓均方根为 $1.15E-2\text{mm}$ 。与其中迭代历程中最大的轮廓均方根 $5.5E-2\text{mm}$ 相比,降低了 79%,优化效果较为显著。由于铆钉数目较多,优化后的工艺参数取值不一列出。

[0075] 实施例 3(567 个铆钉板薄壁件):

[0076] 参见图 1-3、21、22。

[0077] 该金属薄壁件为某产品铝质承重骨架结构(包含 567 个铆钉),图 21。尺寸为 $1499\text{mm}\times 1393\text{mm}\times 278\text{mm}$ 。结构最大长度为 2060mm。

[0078] 应用所方法,进行 567 个铆钉镢粗方向的设计,优化目标为轮廓变形的均方根最小。图 22 为截取的优化历程。该过程迭代了 1403 步,历时 32 小时。从中可获得样本空间中均方根最小为 $1.55E-2\text{mm}$ 的一组铆钉镢粗方向。但由于变量较多,全局最优解的获取需要更多的迭代步骤。尽管如此,与初值 $2.93E-2\text{mm}$ 相比,均方根值降低了 47%。因此,为了更好的使用所提方法,建议铆钉总数不应超过 300,结构最大尺寸不超过 2m。

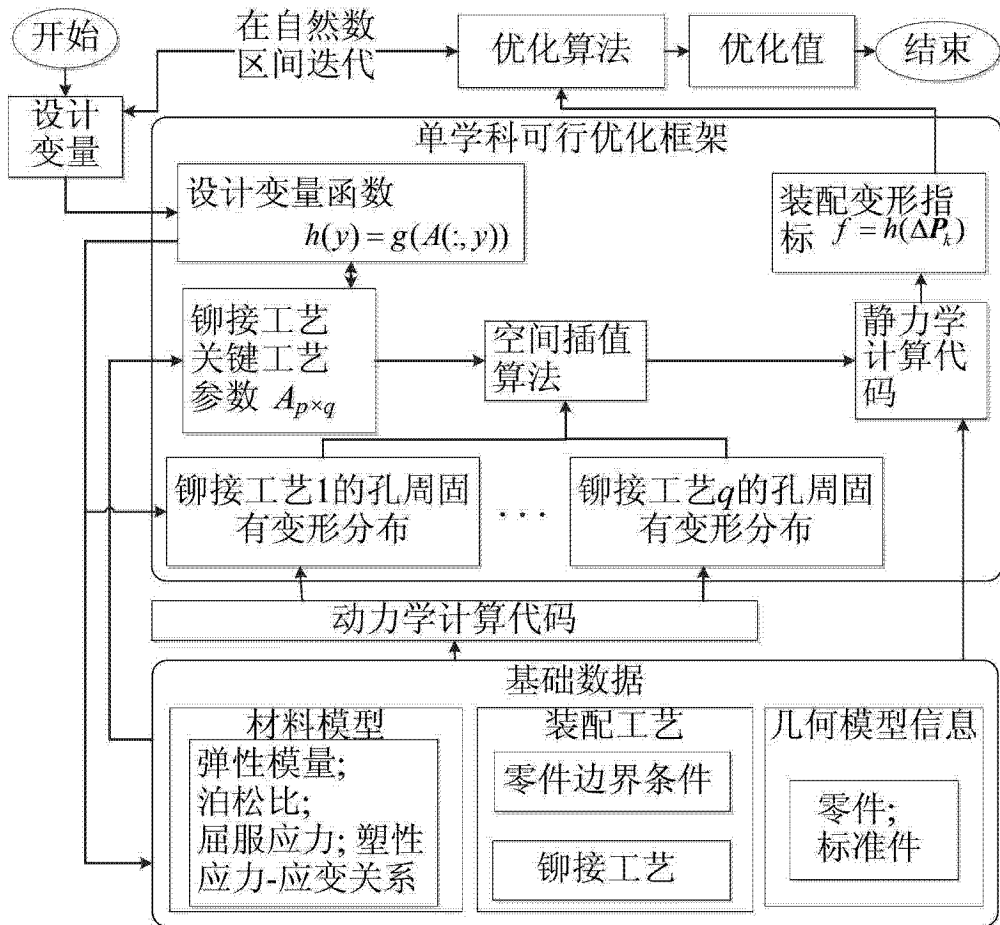


图 1

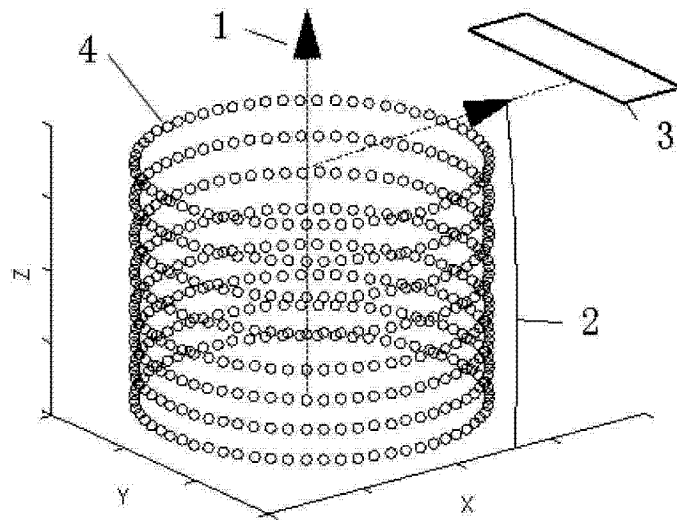


图 2

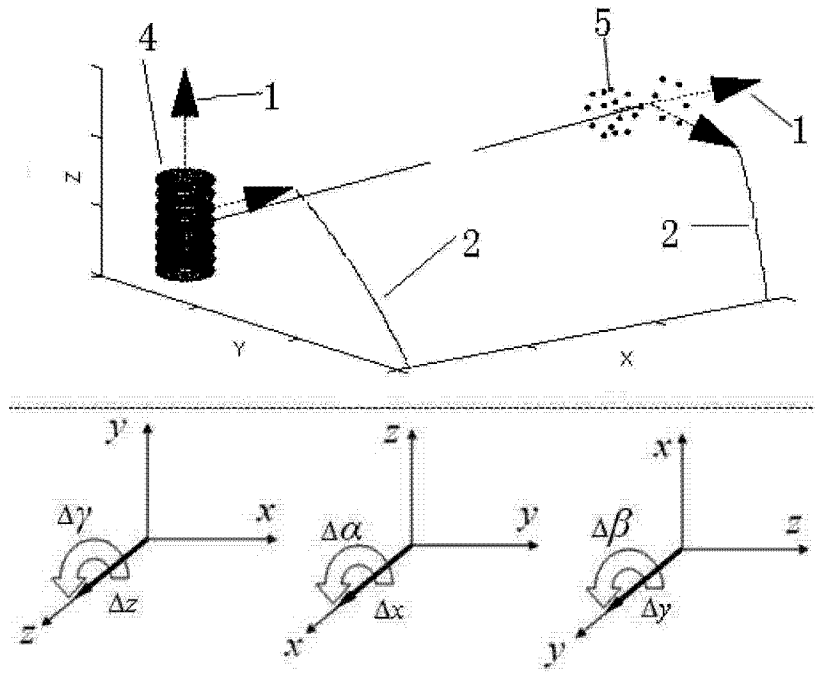


图 3

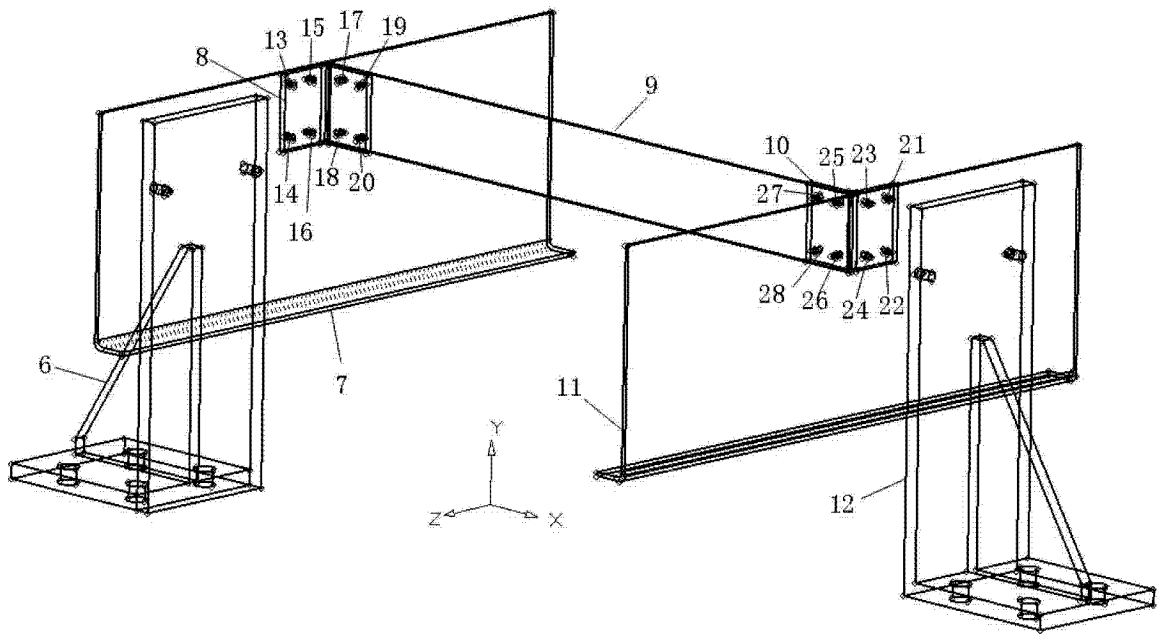


图 4

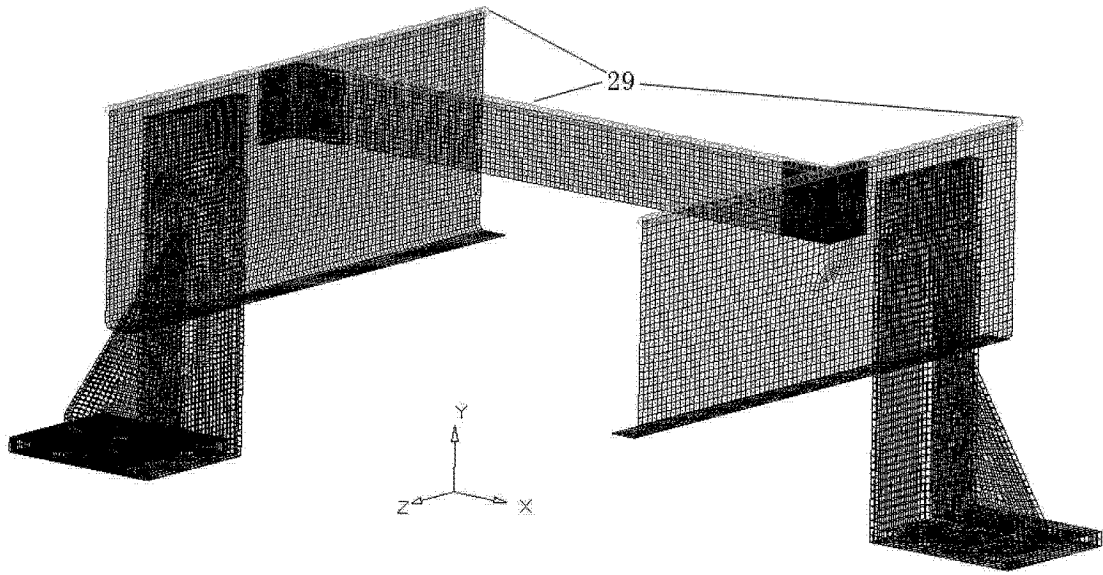


图 5

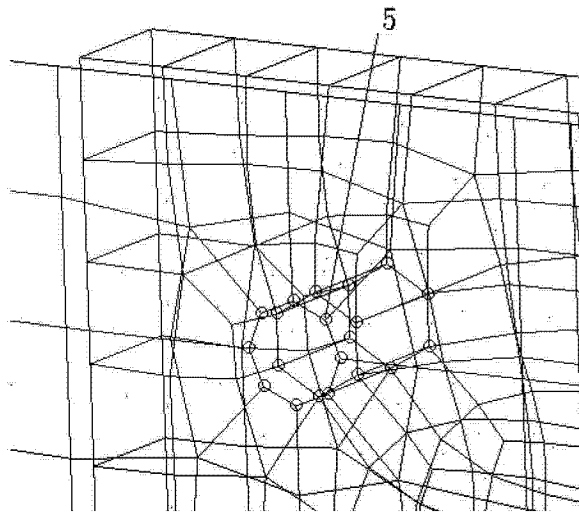


图 6

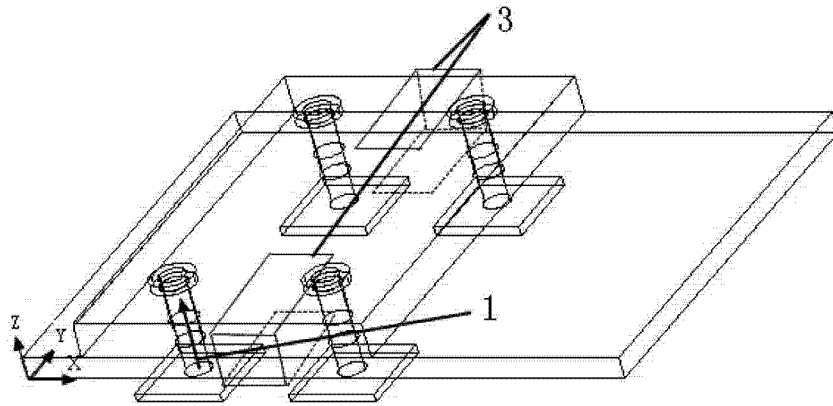


图 7

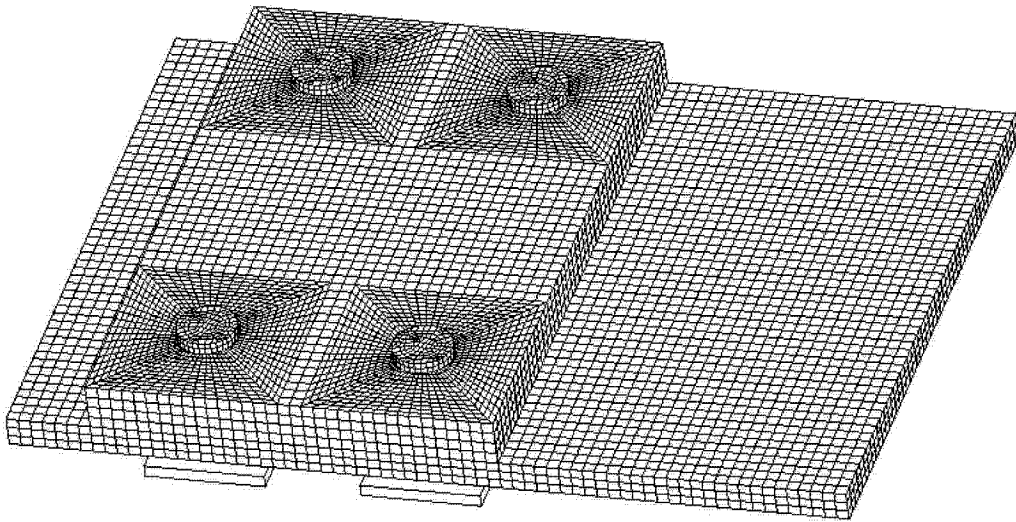


图 8

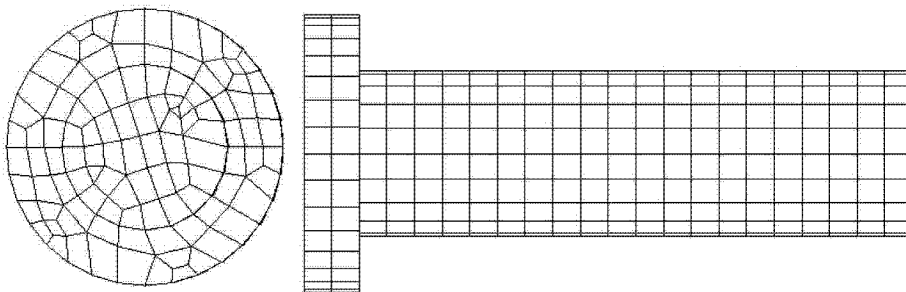


图 9

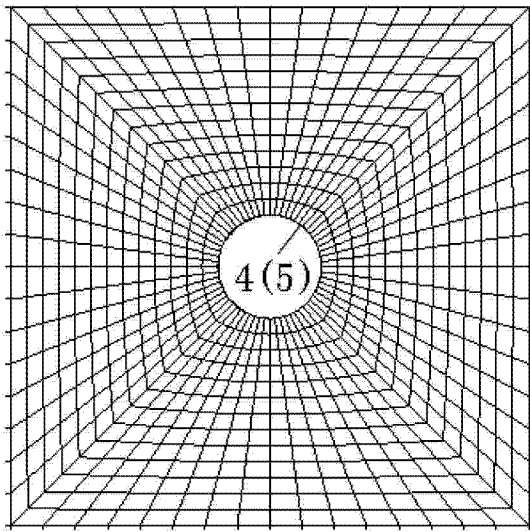


图 10

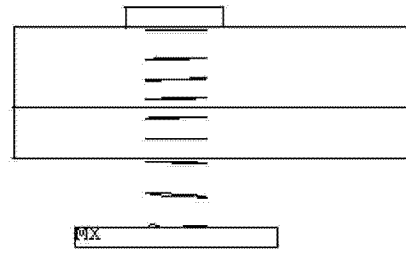


图 11

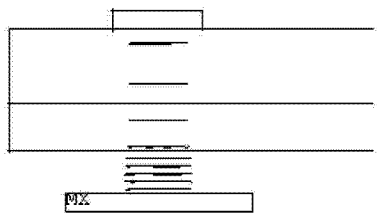


图 12

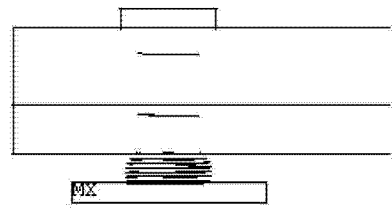


图 13

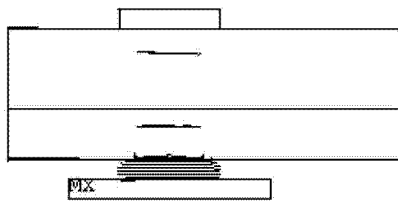


图 14

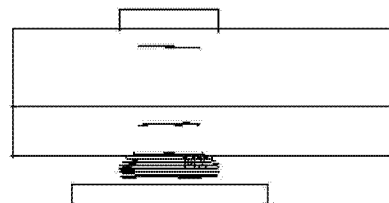


图 15

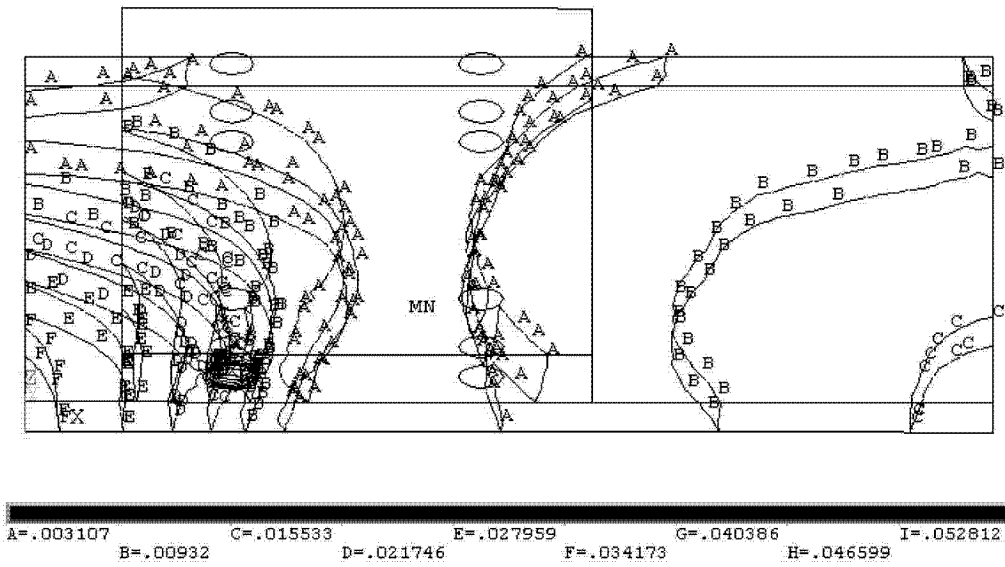


图 16

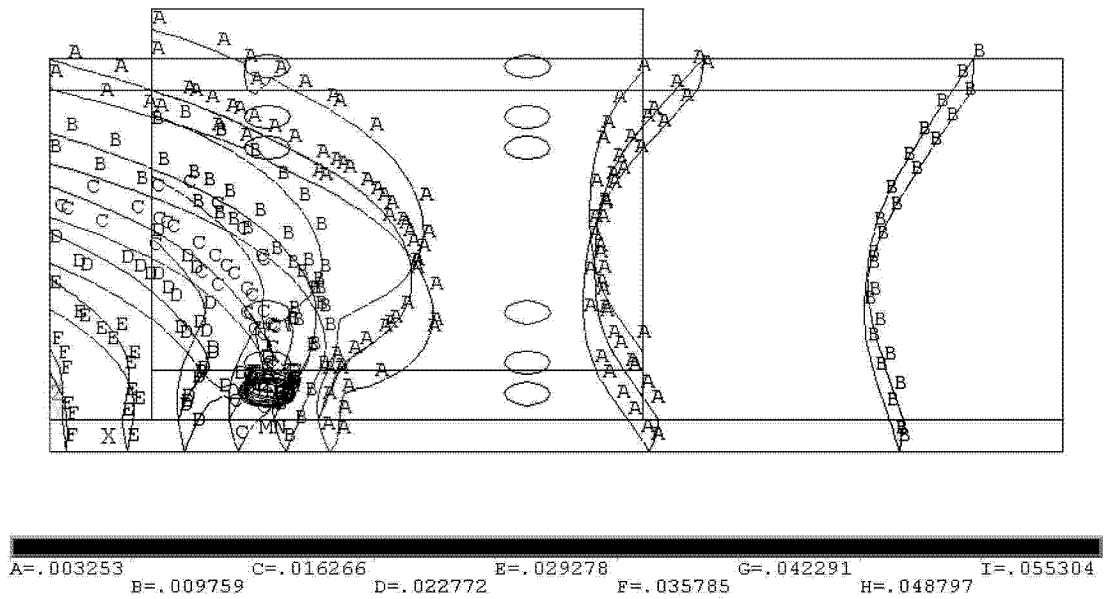


图 17

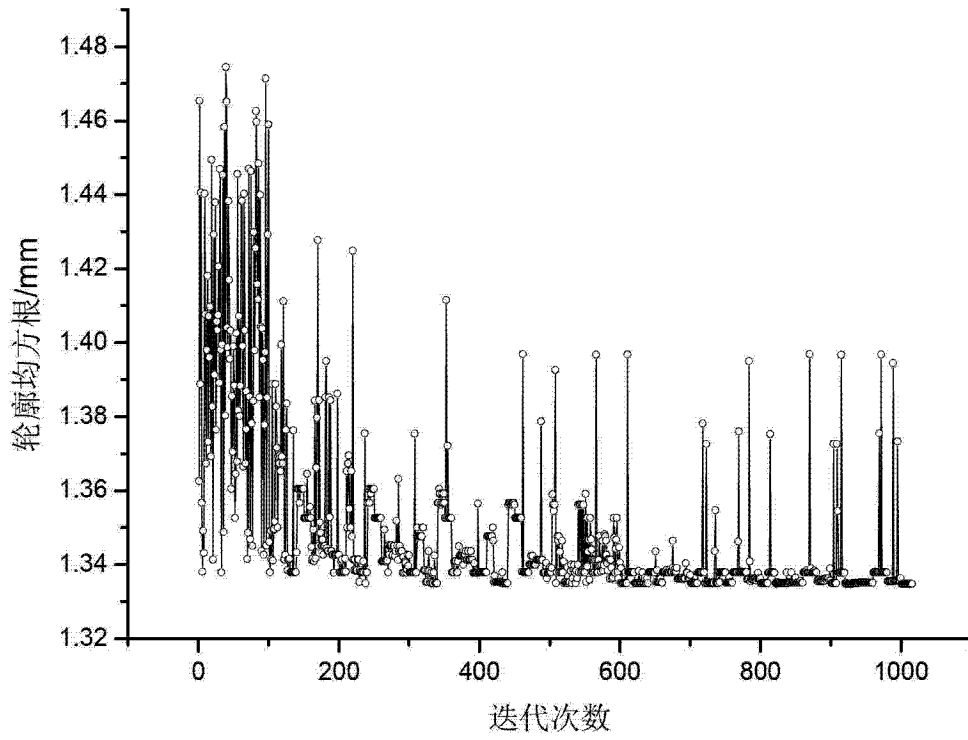


图 18

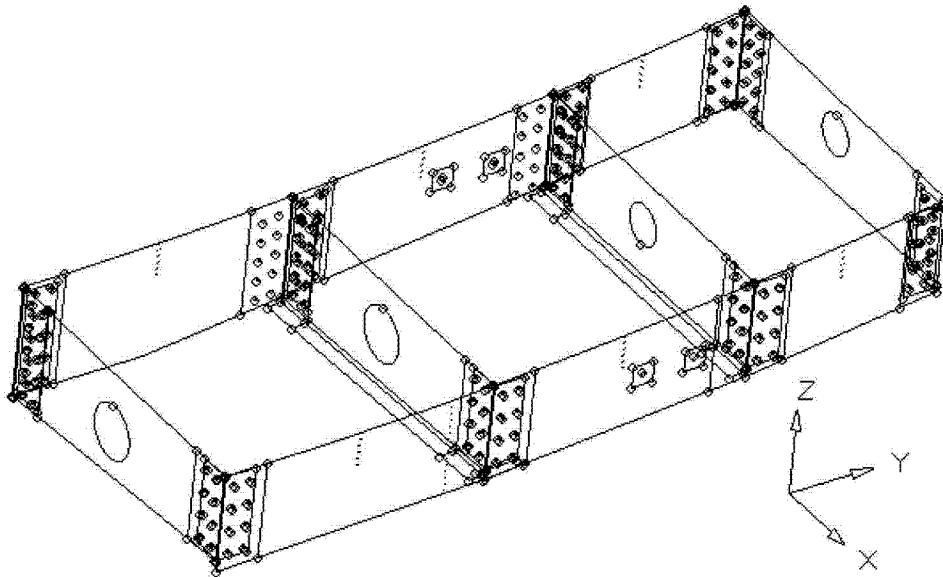


图 19

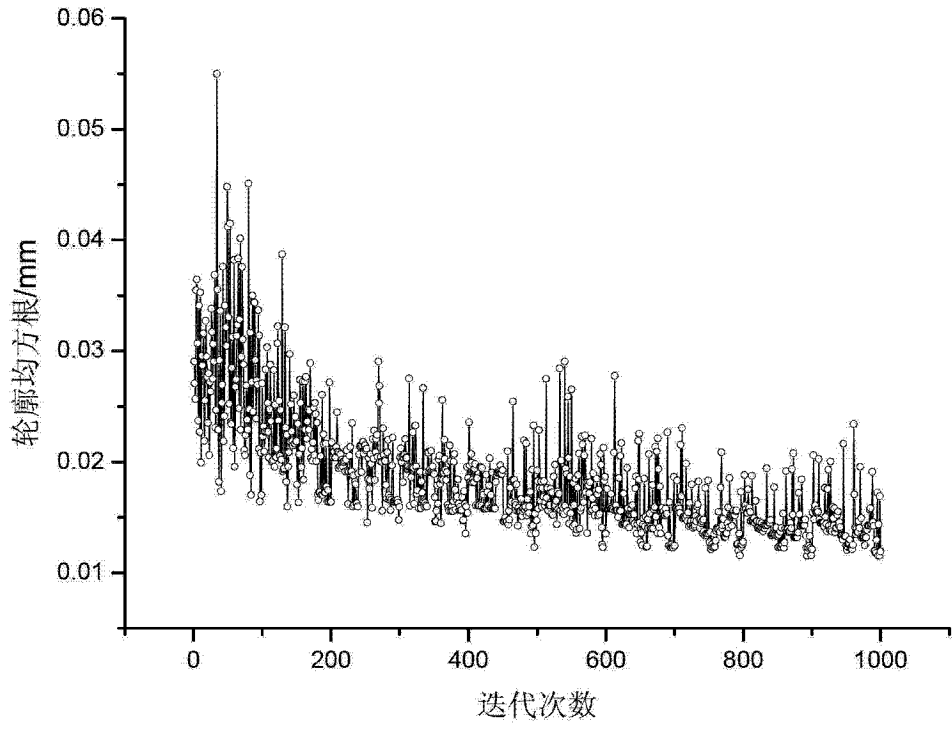


图 20

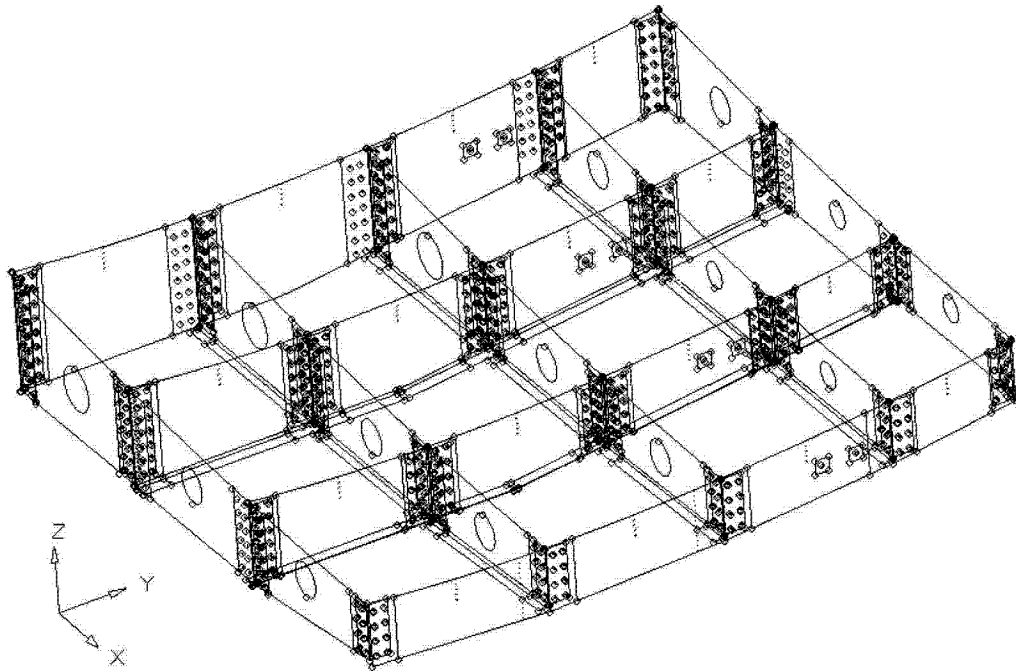


图 21

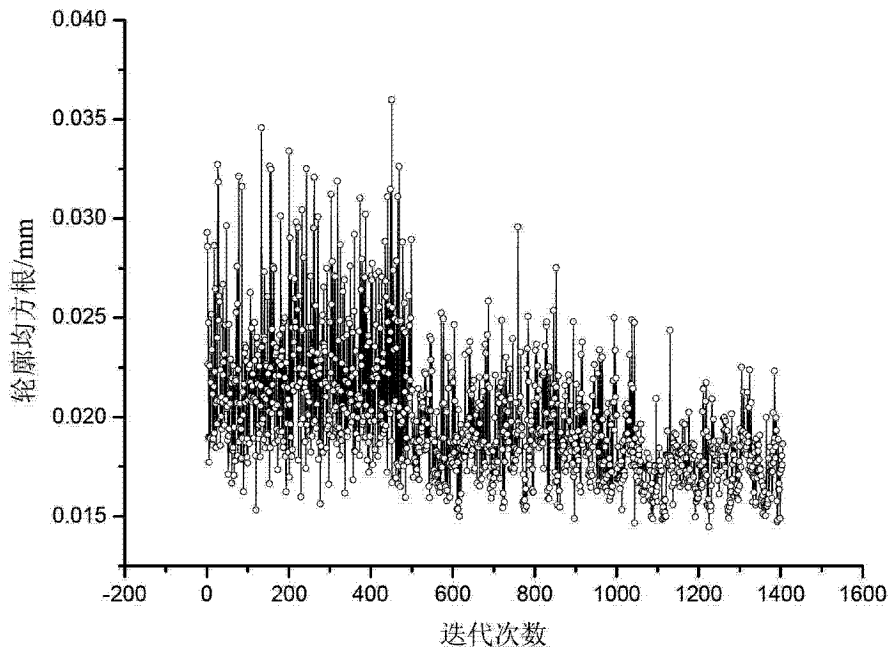


图 22